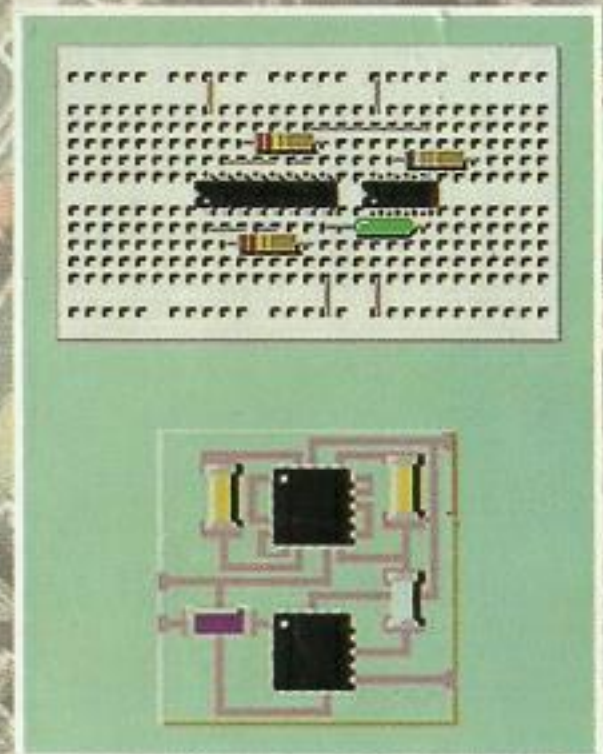
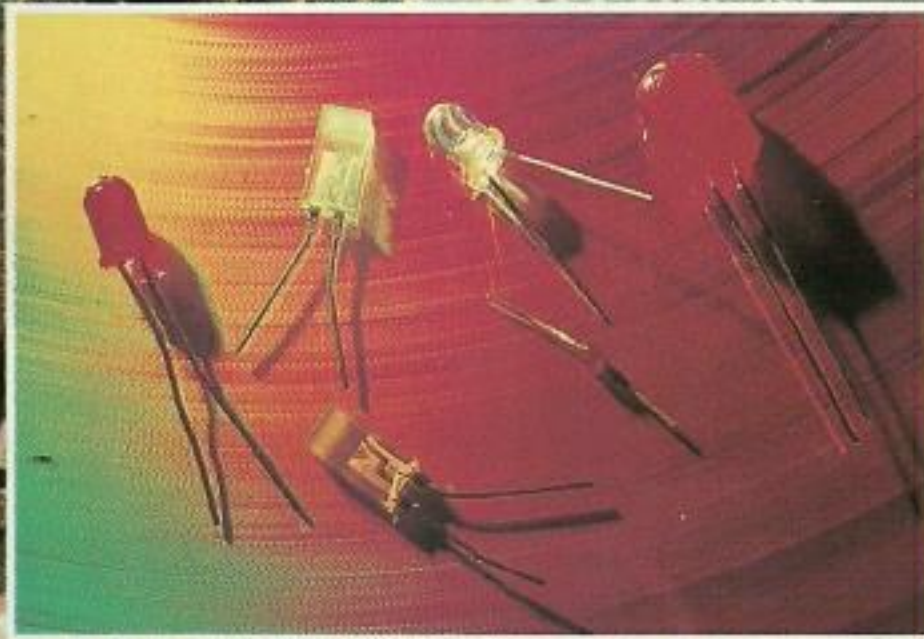


# ဝင်းထက်ဝင်း

## ရာစုသစ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်



New Century  
Basic Electronics



### စာရေးသူ၏အမှာစာ

၂၀၀၂ ခုနှစ် ဇန်နဝါရီလတွင် လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ် အပိုင်း (၃) စာအုပ်ရေးသားပြီးစီးခဲ့စဉ်က ထိုစာအုပ်၏အမှာစာတွင် အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်ကို စတင်လေ့လာလိုသော လူငယ်များအတွက် အခြေခံ အီလက်ထရွန်းနစ် စာအုပ်တစ်အုပ် ရေးသားပြုစုနေပြီဖြစ်ပါကြောင်း တင်ပြခဲ့ပါသည်။ မလွဲမရှောင်သာ သည့် အလုပ်တာဝန်များကြောင့် တစ်နှစ်ခွဲကျော်ကြာပြီးမှ ဤ "ရာစုသစ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်စာအုပ်" ကို ရေးသားပြီးစီးပါတော့သည်။ ထိုမျှကြာရှည်သွားခြင်းအတွက် စောင့်မျှော်နေသူများအနေနှင့် နားလည်ခွင့်လွတ် ကြပါရန် တောင်းပန်အပ်ပါသည်။

စာရေးသူရေးသားထုတ်ဝေခဲ့သည့် လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ်စာအုပ်များမှာ အီလက်ထရွန်းနစ် အခြေခံပိုင်းကို တတ်သိနားလည်ပြီးသူများအတွက် ရည်ရွယ်ရေးသားထားသည့် စာအုပ်များဖြစ်ပါသည်။ ဤ ရာစုသစ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ် စာအုပ်ကိုမူကား အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်ကို အခြေခံမှစ၍ စနစ်တကျ စတင်လေ့လာလိုသူများအတွက် အဓိကရည်ရွယ်၍ ရေးသားထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။

အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်သည် နာရီ မိနစ်နှင့်အမျှ အရှိန်အဟုန်ပြင်းစွာ တိုးတက်လျက်ရှိကြောင်းကို အီလက်ထရွန်းနစ်ဝါသနာရှင်များ သိကြသည့်အတိုင်းပင်ဖြစ်ပါသည်။ နည်းပညာသစ်များ တိုးတက်ထွန်းကား လာသည်နှင့်အမျှ ချစ်ပ်ရီစစ္စတာ (Chip resistor)၊ ချစ်ပ်ကပယ်စီတာ (Chip capacitor) စသည်တို့ ကဲ့သို့သော အီလက်ထရွန်းနစ်အစိတ်အပိုင်း (Electronic Components) အသစ်များ ထုတ်လုပ်သုံးစွဲလာကြ သည်ကို သတိပြုမိကြပါလိမ့်မည်။ အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်ကို လေ့လာနေကြသူတိုင်း ခေတ်နောက်ကျ မကျန်ရစ်စေလိုသော ရည်ရွယ်ချက်ဖြင့် ထိုအစိတ်အပိုင်းအသစ်များအကြောင်းကို ဤစာအုပ်တွင် ရေးသားထား ပါသည်။ သို့ပါ၍ ဤစာအုပ်သည် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်ကို စတင်လေ့လာသူများအတွက်သာမက မိမိ၏ လေ့လာမှုကို Updated ဖြစ်အောင် အစဉ်ကြိုးစားနေကြသော ဝါသနာရှင်များအတွက်ပါ အထောက်အကူ ပြုနိုင်လိမ့်မည်ဟု မျှော်လင့်ပါသည်။

ယနေ့ခေတ်တွင် အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများကို စမ်းသပ်တည်ဆောက်သည့်အခါ အစိတ်အပိုင်းများ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ဆက်သွယ်ရာတွင် ဂဟေဆော်သည့်နည်းကို အသုံးပြုရန်မလိုဘဲ ပရိုဂျက်ဘုတ် (Project Board) ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ဆက်သွယ်သည့်နည်းကို အသုံးပြုနေကြပြီဖြစ်ပါသည်။ ထိုသို့ပရိုဂျက်ဘုတ်များကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် အစိတ်အပိုင်းများ ထိခိုက်ပျက်စီးမှုလျော့နည်းစေသည့်အပြင် တည်ဆောက်မှုလည်း လွယ်ကူ မြန်ဆန်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။ ပရိုဂျက်ဘုတ် အသုံးပြုနည်းအကြောင်းကို ဤစာအုပ်တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြ ထားပါသည်။

ထရန်စစ္စတာအမျိုးအစား စံသတ်မှတ်ချက်များကို နောက်ဆက်တွဲ(၁)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ အသုံး များနေသော အော့ပ်အမ်အိုင်စီ (Operational Amplifier, Op Amp IC) များကို ရွေးချယ်အသုံးပြုနည်း နှင့် ယင်းတို့၏ ငုတ်နံပါတ်သတ်မှတ်ချက်များကိုလည်း နောက်ဆက်တွဲ(၂)တွင် ပြည့်ပြည့်စုံစုံ ဖော်ပြထားပါသည်။



အထူးဖော်ပြလိုသည်အချက်တစ်ခုမှာ အခြေခံပညာအထက်တန်းအဆင့် ကျောင်းသားလူငယ်များ အတွက် အီလက်ထရွန်းနစ်လော့ဂျစ်ဂိတ်များအကြောင်းကို အခန်းတစ်ခန်း ထည့်သွင်းရေးသားထားကြောင်းပင် ဖြစ်ပါသည်။ ဒစ်ဂျစ်တယ်အီလက်ထရွန်းနစ်မိတ်ဆက်ဟု ဆိုနိုင်ပါသည်။

စာရေးသူထံသို့ စာဖြင့်လည်းကောင်း တယ်လီဖုန်းဖြင့်လည်းကောင်း ဆက်သွယ် မေးမြန်း အကြံပြုကြ သော အီလက်ထရွန်းနစ်ဝါသနာရှင်များအား အထူးကျေးဇူးတင်ရှိကြောင်း ပြန်ကြားအပ်ပါသည်။ တစ်ဦးချင်း ထံသို့ ပြန်စာမရေးနိုင်သည်ကို ခွင့်လွှတ်ကြပါရန် အနူးအညွတ်တောင်းပန်အပ်ပါသည်။ ကောင်းနိုးရာရာများကို ဆက်လက်၍ အကြံပြုကြပါရန်လည်း လေးစားစွာဖိတ်ခေါ်အပ်ပါသည်။

မိုက်ခရိုပရိုဆက်ဆာ/မိုက်ခရိုကွန်ထရိုလာ အခြေခံသီအိုရီများနှင့် အသုံးချပတ်လမ်းများစာအုပ် နှင့် လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ် အပိုင်း(၄) စာအုပ်များကိုလည်း ဆက်လက်၍ ရေးသားရန် ရည်ရွယ်ထား ပါသည်။ အမြန်ဆုံးပြီးစီးအောင် ကြိုးစားလျက်ရှိပါသည်။

၂၀၀၃ခုနှစ်၊ ဇွန်လ (၂၇)ရက်နေ့။

ဝင်းထက်ဝင်း  
အမှတ်(၅၄၂)၊ အဝေရာလမ်း၊ လမ်းသွယ်(၇)၊  
နံ့သာကုန်းရပ်ကွက်၊ အင်းစိန်စာတိုက်၊  
ရန်ကုန်မြို့။  
ဖုန်း-၆၄၂၅၆၈  
E-mail: shwethanthida@mptmail.net.mm



မာတိကာ

စာမျက်နှာ

	စာရေးသူ၏အမှာစာ	i
<b>အခန်း(၁)</b>	<b>အိလက်ထရွန်းနစ်သမိုင်းအကျဉ်းချုပ်</b>	၁
၁-၁	နိဒါန်း	၁
၁-၂	အိလက်ထရွန်းနစ်သမိုင်းအကျဉ်းချုပ်	၂
၁-၃	ကက်သုတ်ရောင်ခြည်စတင်တွေ့ရှိခြင်း	၂
၁-၄	လေဟာနယ်မီးလုံးများတီထွင်ခြင်း	၂
၁-၅	ရေဒီယိုနှင့်တယ်လီဗီးရှင်းစတင်ပေါ်ပေါက်လာခြင်း	၃
၁-၆	ရေဒါနှင့်ဒုတိယကမ္ဘာစစ်	၄
၁-၇	ထရန်စစ္စတာပေါ်ပေါက်လာခြင်း	၄
၁-၈	အိုင်စီပေါ်ပေါက်လာခြင်း	၅
၁-၉	မိုက်ခရိုပရိုဆက်ဆာပေါ်ပေါက်လာခြင်း	၅
<b>အခန်း(၂)</b>	<b>ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်း</b>	၇
၂-၁	နိဒါန်း	၇
၂-၂	ဗို့အား	၇
၂-၃	ဆယ်လီထပ်ညွှန်းကိန်းများ	၈
၂-၄	လျှပ်စီးကြောင်း	၈
၂-၅	တိုက်ရိုက်လျှပ်စီးကြောင်း	၉
၂-၆	ပြန်လှန်လျှပ်စီးကြောင်း၊ ပြန်လှန်ဗို့အားတိုင်းတာမှု	၁၀
၂-၇	ဒီစီဗို့အားနှင့်အေစီဗို့အားတို့ကိုနှိုင်းယှဉ်ခြင်း	၁၃
၂-၈	လျှပ်စစ်ဓါတ်အားပင်ရင်းများ	၁၃
<b>အခန်း(၃)</b>	<b>ရီစစ္စတာ</b>	၁၅
၃-၁	နိဒါန်း	၁၅
၃-၂	ရီစစ္စတာအမျိုးအစားများ	၁၆
၃-၂-၁	ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်းရီစစ္စတာ	၁၆
၃-၂-၂	ကာဘွန်-ဖလင်ရီစစ္စတာ	၁၇
၃-၂-၃	မက်တယ်-ဖလင်ရီစစ္စတာ	၁၈
၃-၂-၄	ဝါယာ-ဂျစ်ဒီရီစစ္စတာ	၁၉
၃-၂-၅	ဆားဖေးစ်-မောင်(သို့)ချစ်ပရီစစ္စတာ	၁၉
၃-၂-၆	ဖြူစင်ရီစစ္စတာ	၂၀
၃-၃	ရီစစ္စတာများ၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အရောင်ဖြင့်သတ်မှတ်ခြင်း	၂၀
၃-၃-၁	အရောင်အရစ်(၄)ရစ်ဖြင့်ခုခံမှုတန်ဖိုးသတ်မှတ်ခြင်း	၂၁
၃-၃-၂	10Ω အောက်ငယ်သောခုခံမှုတန်ဖိုးသတ်မှတ်ခြင်း	၂၃
၃-၃-၃	ခုခံမှုတန်ဖိုး အတိုး/အလျော့တွက်နည်း	၂၄



	၃-၃-၄ အရောင်အရစ်(၅)ရစ်ဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးဖတ်နည်း	၂၄
၃-၄	ဝါယာ-ဝှေးနိဒါးရီစစ္စတာတွင် တန်ဖိုးသတ်မှတ်နည်း	၂၅
၃-၅	အသုံးပြုလေ့ရှိသော ရီစစ္စတာတန်ဖိုးများ	၂၅
၃-၆	ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုဖြိုတိသျှစ်နစ် BS1852 ဖြင့်သတ်မှတ်ခြင်း	၂၆
၃-၇	သုည-အုမ်း ရီစစ္စတာ	၂၈
၃-၈	ဆားဖေ့စ်-မောင်း(သို့)ချစ်ပရီစစ္စတာများ၏တန်ဖိုးသတ်မှတ်နည်း	၂၉
၃-၉	တန်ဖိုးပြောင်းနိုင်သော ရီစစ္စတာများ	၃၀
၃-၁၀	ရီအိုစတက်နှင့်ပိုတင်ရှိုမီတာများ	၃၁
	၃-၁၀-၁ ရီအိုစတက်ပတ်လမ်း	၃၁
	၃-၁၀-၂ ပိုတင်ရှိုမီတာပတ်လမ်း	၃၂
	၃-၁၀-၃ ပိုတင်ရှိုမီတာကို ရီအိုစတက်အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ပုံ	၃၃
၃-၁၁	ရီစစ္စတာများ၏ ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက်	၃၄
၃-၁၂	ရီစစ္စတာများကို တန်းဆက်နှင့်အပြိုင် ဆက်သွယ်ခြင်း	၃၅
	၃-၁၂-၁ ရီစစ္စတာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ခြင်း	၃၅
	၃-၁၂-၂ ရီစစ္စတာများကို အပြိုင် ဆက်သွယ်ခြင်း	၃၆
<b>အခန်း(၄)</b>	<b>အုမ်းနိယာမ</b>	၃၇
၄-၁	နိဒါန်း	၃၇
၄-၂	လျှပ်စီးကြောင်း	၃၇
	၄-၂-၁ ဗို့အားမြင့်သော်လည်း လျှပ်စီးကြောင်းငယ်သည်	၃၉
	၄-၂-၂ ဗို့အားနိမ့်သော်လည်း လျှပ်စီးကြောင်းကြီးသည်	၃၉
	၄-၂-၃ ခုခံမှုပိုများလျှင် လျှပ်စီးကြောင်း လျော့နည်းသည်	၃၉
၄-၃	ဗို့အား	၄၀
၄-၄	ခုခံမှု	၄၀
၄-၅	လက်တွေ့သုံးယူနစ်များ	၄၁
၄-၆	ဆပွားယူနစ်များ	၄၂
၄-၇	ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးတို့၏ အဖြောင့်သဘာဝ ဆက်စပ်မှု	၄၃
၄-၈	လျှပ်စစ်ပါဝါ	၄၄
၄-၉	ခုခံမှုတစ်ခု၏ ပါဝါဆုံးရှုံးမှု	၄၄
၄-၁၀	ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် ရီစစ္စတာကို ရွေးချယ်ခြင်း	၄၅
<b>အခန်း(၅)</b>	<b>ကပယ်စီတာ</b>	၄၇
၅-၁	နိဒါန်း	၄၇
၅-၂	ဒိုင်အီလက်ထရစ်အတွင်း လျှပ်စစ်သိုလှောင်ထားပုံ	၄၇
၅-၃	ကပယ်စီတာတစ်လုံးကို လျှပ်စစ်သွင်းခြင်း/ထုတ်ခြင်း	၄၈
၅-၄	လက်တွေ့သုံး ကပယ်စီတာ အမျိုးအစားများ	၅၀
	၅-၄-၁ မိုက်ကာ ကပယ်စီတာများ	၅၀
	၅-၄-၂ ပေပါ ကပယ်စီတာများ	၅၁



၅-၄-၃	ဖလင် ကပယ်စီတာများ	၅၂
၅-၄-၄	စရာမစ် ကပယ်စီတာများ	၅၂
၅-၄-၅	ဆားဖေ့စ်မောင်(သို့)ချစ်ပံ ကပယ်စီတာများ	၅၃
၅-၄-၆	အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများ	၅၄
၅-၅	ကပယ်စီတာတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်	၅၆
၅-၅-၁	ဖလင် ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်	၅၆
၅-၅-၂	စရာမစ်ဒစ်စ် ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်	၅၇
၅-၅-၃	မိုက်ကာ ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်	၅၉
၅-၅-၄	ချစ်ပံ ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်	၆၀
၅-၅-၅	တန်တလမ် ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်	၆၂
၅-၆	ကပယ်စီတာများကို အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်း	၆၃
၅-၇	ကပယ်စီတာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ခြင်း	၆၃
၅-၈	နန်းပိုလာ ကပယ်စီတာများ	၆၄
၅-၉	ကပယ်စီတာများ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့် စမ်းသပ်နည်း	၆၅
၅-၉-၁	ရှော့တ်ဖြစ်နေသော ကပယ်စီတာများ	၆၆
၅-၉-၂	ပွင့်နေသော ကပယ်စီတာများ	၆၇
၅-၉-၃	ယိုဖိတ်(လိခံဖြစ်)နေသော ကပယ်စီတာများ	၆၇
၅-၉-၄	သိမ်းထားမှုသက်တမ်း	၆၇
၅-၉-၅	ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးပြောင်းလဲခြင်း	၆၇
၅-၉-၆	ကပယ်စီတာများကိုအစားထိုးခြင်း	၆၈

<b>အခန်း(၆)</b>	<b>အင်ဒတ်တာ</b>	၆၉
၆-၁	နိဒါန်း	၆၉
၆-၂	အပြန်အလှန်ပြောင်းလဲနေသော လျှပ်စီးကြောင်း(အေစီ)ကြောင့် လျှပ်ညှို့မှုဖြစ်ခြင်း	၆၉
၆-၃	ပင်ကိုယ်-အင်ဒတ်တင်	၇၁
၆-၄	အင်ဒတ်တာများ၏ အင်ဒတ်တင်	၇၂
၆-၅	အင်ဒတ်တာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ခြင်း	၇၄
၆-၆	အင်ဒတ်တာများကို အပြိုင် ဆက်သွယ်ခြင်း	၇၄
၆-၇	ထရန်စဖော်မာ	၇၅
၆-၈	ပါဝါ ထရန်စဖော်မာ	၇၅
၆-၉	ထရန်စဖော်မာ၏လုပ်ဆောင်ချက်များ	၇၆
၆-၉-၁	အပတ်ရေအချိုး	၇၆
၆-၉-၂	ဗို့အားအချိုး	၇၆
၆-၉-၃	လျှပ်စီးကြောင်းအချိုး	၇၇
၆-၉-၄	စွမ်းရည်	၇၇
၆-၁၀	ထရန်စဖော်မာအမျိုးအစားများ	၇၇
၆-၁၀-၁	ဗို့အားလျော့ချ-ထရန်စဖော်မာ	၇၇
၆-၁၀-၂	ဗို့အားမြှင့်-ထရန်စဖော်မာ	၇၈



	၆-၁၀-၃ အိုင်ဆိုလေးရှင်း-ထရန်စဖော်မာ	၇၈
	၆-၁၀-၄ အော်တို-ထရန်စဖော်မာ	၇၉
	၆-၁၀-၅ ပရိုင်မာရီကျွိုင်တွင်၎င်းတို့များစွာပါဝင်သော-ထရန်စဖော်မာ	၇၉
	၆-၁၀-၆ စကင်ဒရီကျွိုင်တွင်ဗဟို၎င်းတို့ပါဝင်သော-ထရန်စဖော်မာ	၈၀
<b>အခန်း(၇)</b>	<b>ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများ</b>	<b>၈၁</b>
၇-၁	နိဒါန်း	၈၁
၇-၂	ကိုဗေးလင်ဘွန်းနှင့် ခရစ္စတယ်ဖွဲ့စည်းပုံ	၈၂
၇-၃	အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ	၈၃
၇-၄	ပီ-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ	၈၄
၇-၅	ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများအတွင်းဖြစ်ပေါ်နေသောအများစုလျှပ်စစ်နှင့်အနည်းစုလျှပ်စစ်	၈၄
၇-၆	အင်ပျူရီတီသွင်းထားသောဆီမီးကွန်ဒတ်တာအတွင်းရှိမရွေ့လျားနိုင်သောအိုင်ယွန်းများ	၈၅
၇-၇	ပီ-အင်န် ဂျန်းရှင်း	၈၆
	၇-၇-၁ ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ်	၈၇
	၇-၇-၂ ဖော်ဝဒ်ဗို့အားနှင့်ရီဗတ်စ်ဗို့အား	၈၈
	၇-၇-၃ ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်းသဘာဝပြုချဉ်းကွေး	၈၉
<b>အခန်း(၈)</b>	<b>ဒိုင်အုတ်</b>	<b>၉၁</b>
၈-၁	နိဒါန်း	၉၁
၈-၂	ဒိုင်အုတ်ကို ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားပေးခြင်း	၉၂
၈-၃	ဒိုင်အုတ်ကောင်း/မကောင်း အုန်းမီတာဖြင့် စစ်ဆေးခြင်း	၉၄
၈-၄	ဒိုင်အုတ်အမျိုးအစားနံပါတ်သတ်မှတ်ချက်	၉၄
၈-၅	ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်းသဘာဝကို လက်တွေ့ဖော်ထုတ်ခြင်း	၉၅
<b>အခန်း(၉)</b>	<b>ပါဝါဆပ်ပလိုင်း ပတ်လမ်းများ</b>	<b>၉၇</b>
၉-၁	နိဒါန်း	၉၇
၉-၂	လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ	၉၈
၉-၃	ထရန်စဖော်မာဖြင့် အဝင်အစီဗို့အားပေးထားသော လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ	၉၉
၉-၄	အများဆုံးပြောင်းပြန်ဗို့အား	၁၀၀
၉-၅	လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာ	၁၀၁
	၉-၅-၁ ဗဟို၎င်းတို့ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း	၁၀၁
	၉-၅-၂ ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း	၁၀၃
၉-၆	ဖစ်လ်တာ ပတ်လမ်းများ	၁၀၅
	၉-၆-၁ ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာ	၁၀၅
	၉-၆-၂ ရစ်ပယ်ဗို့အား	၁၀၇
	၉-၆-၃ ရစ်ပယ်ကိန်း	၁၀၇
	၉-၆-၄ အယ်လ်စီ ဖစ်လ်တာ	၁၀၈
	၉-၆-၅ ပိုင် ဖစ်လ်တာ	၁၁၀
၉-၇	တည်ငြိမ်ဗို့အား ပါဝါဆပ်ပလိုင်းများ	၁၁၀

	၉-၇-၁ ဇီနာဒိုင်အုတ် ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်း	၁၁၁
	၉-၇-၂ Linear Series Type ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ	၁၁၆
၉-၈	ငုတ်(၃)ငုတ်ပါဝင်သော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ	၁၁၇
၉-၉	ငုတ်(၃)ငုတ်ပါဝင်သော ကိန်းသေဗို့အား အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ	၁၁၈
၉-၁၀	Line Regulation	၁၂၀
၉-၁၁	Load Regulation	၁၂၁
<b>အခန်း(၁၀)</b>	<b>ထရန်စစ္စတာ</b>	<b>၁၂၃</b>
၁၀-၁	နိဒါန်း	၁၂၃
၁၀-၂	BJT ထရန်စစ္စတာနှစ်မျိုး	၁၂၃
၁၀-၃	BJT ထရန်စစ္စတာကို ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားပေးပုံ	၁၂၆
၁၀-၄	ထရန်စစ္စတာဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းများ	၁၂၈
၁၀-၄-၁	ဘေ့စ် ဘိုင်းယက်စ်	၁၂၈
၁၀-၄-၂	အိမ်တာ ဘိုင်းယက်စ်	၁၂၉
၁၀-၄-၃	ဗို့အား-ခွဲခြား ဘိုင်းယက်စ်	၁၃၀
၁၀-၄-၄	ကော်လက်တာ-ပြန်ကျွေး ဘိုင်းယက်စ်	၁၃၂
၁၀-၅	ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ခြင်း	၁၃၃
၁၀-၅-၁	PNP ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ခြင်း	၁၃၄
၁၀-၅-၂	NPN ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ခြင်း	၁၃၆
၁၀-၅-၃	သင်္ကေတအမှတ်အသားပျက်နေသောထရန်စစ္စတာကိုစမ်းသပ်ခြင်း	၁၃၈
၁၀-၆	ထရန်စစ္စတာ ချို့ယွင်းမှုများ	၁၃၈
၁၀-၇	ထရန်စစ္စတာချဲ့စက်ပတ်လမ်းအနေအထားများ	၁၃၉
၁၀-၇-၁	ဘုံဘေ့စ်ပတ်လမ်းအနေအထား	၁၃၉
၁၀-၇-၂	ဘုံအိမ်တာပတ်လမ်းအနေအထား	၁၄၁
၁၀-၇-၃	ဘုံကော်လက်တာပတ်လမ်းအနေအထား	၁၄၃
<b>အခန်း(၁၁)</b>	<b>ပရိုဂျက်ဘုတ်အသုံးပြုနည်း</b>	<b>၁၄၅</b>
၁၁-၁	နိဒါန်း	၁၄၅
၁၁-၂	ပရိုဂျက်ဘုတ်ဖြင့် ပတ်လမ်းတည်ဆောက်ပုံ	၁၄၅
<b>အခန်း(၁၂)</b>	<b>အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများ</b>	<b>၁၄၉</b>
၁၂-၁	နိဒါန်း	၁၄၉
၁၂-၂	အလင်းလွှတ်ဒိုင်အုတ်	၁၄၉
၁၂-၃	အလင်းအမှီပြုရီစစ္စတာ	၁၅၂
၁၂-၄	အပူအမှီပြုရီစစ္စတာ(သို့)သာမစ္စတာ	၁၅၃
၁၂-၅	သံလိုက်ခလုတ်	၁၅၄
၁၂-၆	လျှပ်စစ်သံလိုက်ရီလေး	၁၅၇
၁၂-၇	ရီလေးပတ်လမ်းတွင် ကာကွယ်ဒိုင်အုတ်အသုံးပြုပုံ	၁၅၈



<b>အခန်း(၁၃)</b>	<b>လက်တွေ့ထရန်စစ္စတာခလုတ်ပတ်လမ်းများ</b>	၁၅၉
၁၃-၁	နိဒါန်း	၁၅၉
၁၃-၂	ခလုတ်ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် အီလက်ထရွန်းနစ်စံနှုန်း	၁၅၉
၁၃-၃	လက်တွေ့ပတ်လမ်းများ	၁၆၀
	၁၃-၃-၁ အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်း	၁၆၁
	၁၃-၃-၂ သံလိုက်ခလုတ်	၁၆၂
	၁၃-၃-၃ အပူခလုတ်	၁၆၂
	၁၃-၃-၄ အစိုဓါတ်ခလုတ်	၁၆၃
၁၃-၄	အချိန်နှေးပြီးအလုပ်လုပ်စေသောပတ်လမ်း	၁၆၃
<b>အခန်း(၁၄)</b>	<b>အိုင်စီများ</b>	၁၆၅
၁၄-၁	နိဒါန်း	၁၆၅
၁၄-၂	အိုင်စီအမျိုးအစားများ	၁၆၆
၁၄-၃	အောင်အမ်အိုင်စီ	၁၇၀
<b>အခန်း(၁၅)</b>	<b>အီလက်ထရွန်းနစ်လော့ဂျစ်ဂိတ်များ</b>	၁၇၃
၁၅-၁	နိဒါန်း	၁၇၃
၁၅-၂	Electronic Logic Gates	၁၇၃
၁၅-၃	AND Gate	၁၇၄
၁၅-၄	OR Gate	၁၇၅
၁၅-၅	NOT Gate	၁၇၆
၁၅-၆	NAND Gate	၁၇၇
၁၅-၇	NOR Gate	၁၇၈
၁၅-၈	Exclusive OR (XOR) Gate	၁၇၉
၁၅-၉	Exclusive NOR (XNOR) Gate	၁၇၉
၁၅-၁၀	Combination of Gates	၁၈၀
၁၅-၁၁	NAND Gate များဖြင့်အခြား Logic Gate များရယူပုံ	၁၈၀
၁၅-၁၂	Logic Gate များ အကျဉ်းချုပ်ဖော်ပြချက်	၁၈၂
၁၅-၁၃	The Bistable Circuit	၁၈၃
၁၅-၁၄	A Bistable Circuit Using NOT(Invertor)Gates	၁၈၃
၁၅-၁၅	A Bistable Circuit Using NOR Gates	၁၈၄
၁၅-၁၆	A Bistable Circuit Using NAND Gates	၁၈၅
၁၅-၁၇	An Astable Circuit	၁၈၆
<b>နောက်ဆက်တွဲ(၁)</b>	<b>Semiconductor Type Numbers</b>	၁၈၉
<b>နောက်ဆက်တွဲ(၂)</b>	<b>Operational Amplifier Data</b>	၁၉၃

# အခန်း(၁) အီလက်ထရွန်းနစ်သမိုင်းအကျဉ်းချုပ်

## ၁-၁။ နိဒါန်း

ယနေ့အချိန်အခါသည် အီလက်ထရွန်းနစ်ခေတ် အချိန်အခါ ဖြစ်ပါသည်။ လူသားတို့၏ ပတ်ဝန်းကျင်တွင် အီလက်ထရွန်းနစ်သည် တစ်နည်းမဟုတ်တစ်နည်း ပါဝင်ပတ်သက်နေပါသည်။ အီလက်ထရွန်းနစ်နှင့် ကင်းကွာ၍ မရနိုင်ပါချေ။ လူ့အသုံးအဆောင်ပစ္စည်းများ၊ စက်ရုံသုံးစက်ကိရိယာများ၊ ဆက်သွယ်ရေးကိရိယာများ၊ ဆေးကုသရေးကိရိယာများ၊ သယ်ယူပို့ဆောင်ရေးယာဉ်များ...စသည်တို့တွင် အီလက်ထရွန်းနစ် အတတ်ပညာပိုင်းဆိုင်ရာ အထောက်အပံ့များနှင့် မကင်းနိုင်ပါချေ။ ထို့အပြင် ကျောင်းသားများအတွက် ပညာသင်ကြားရေးကဏ္ဍတွင်လည်း အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရေးစနစ် (e-education system) ဟူ၍ ပေါ်ပေါက်နေပေပြီ။ ထို့ကြောင့်မျိုးဆက်သစ် လူငယ်များအနေနှင့် အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်နှင့်ပတ်သက်သော အခြေခံဗဟုသုတများကို နားလည်သိရှိပြီး စနစ်တကျ တတ်ကျွမ်းထားလျှင် အလွန်အကျိုးရှိနိုင်မည်ဖြစ်ပေသည်။

အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်သည် ခေတ်အဆက်ဆက်ကို ဖြတ်သန်း၍ တိုးတက်လာခဲ့ခြင်းဖြစ်ပေသည်။ လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်း(၁၀၀)ခန့်က အီလက်ထရွန်းနစ်အကြောင်းကို သိပ်မသိကြသေးပါ။ ထိုအချိန်က ရေဒီယို၊ တယ်လီဗီးရှင်း၊ ကွန်ပျူတာ၊ ရီဗော့၊ ဂြိုဟ်တု...စသည်တို့မပေါ်သေးပါ။ သို့သော် တိုတောင်းသော အချိန်ကာလအတွင်းမှာပင် တိုးတက်ပြောင်းလဲမှုများဖြစ်ပေါ်လာကာ အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်၏ အသီးအပွင့်များသည် ပေါ်ပေါက်လာခဲ့ပေတော့သည်။ စင်စစ်အားဖြင့် လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်း(၂၀၀၀)ခန့်က ဂရိပညာရှင်များ စတင်သိရှိခဲ့သည့် လျှပ်စစ်ပညာရပ်(Electricity)ကို အတွေးအမြင်သစ်များဖြင့် တီထွင် ပြုပြင် မွမ်းမံခြင်းမှ ထွက်ပေါ်လာသော ရလဒ်တစ်ခုပင် ဖြစ်ပါသည်။

အီလက်ထရွန်းနစ်ဆိုသည်မှာ ထရန်စစ္စတာ၊ အိုင်စီ စသည်တို့ကိုအသုံးပြုပြီး လျှပ်စစ်ခါတ်ကို လူသားတို့အတွက် အသုံးချနိုင်အောင် ပြုလုပ်ပေးသော ပညာရပ်ပင်ဖြစ်ပါသည်ဟု အလွယ်ဆုံးနည်းဖြင့် မှတ်ယူနိုင်ပါသည်။ နှစ်ဆယ်ရာစုနှစ် အစပိုင်းကာလ အချိန်အခါမှစတင်၍ ပထမဦးဆုံး အီလက်ထရွန်းနစ်ပစ္စည်းဖြစ်သော လေဟာနယ်မီးလုံး (Valve) ကိုစတင်တီထွင် လာနိုင်ခဲ့ကြပါသည်။ ၁၉၄၈ခုနှစ်တွင် ထရန်စစ္စတာ (transistor) ကို တီထွင်ခဲ့ပြီးသည့်နောက်ပိုင်းတွင် အီလက်ထရွန်းနစ်၏ အသုံးဝင်မှုကဏ္ဍသည် တစ်ဟုန်ထိုး တိုးတက်လာခဲ့ပေတော့သည်။ ထရန်စစ္စတာပေါ်ပြီးနောက်ပိုင်း အိုင်စီ(Integrated Circuit, IC) များပေါ်လာပြန်သောအခါ အီလက်ထရွန်းနစ်၏ အသုံးဝင်မှု ကဏ္ဍသည် အံ့မခန်းနိုင် လောက်အောင် ပြုပြင် ပြောင်းလဲတိုးတက်လာခဲ့ပေသည်။

ယနေ့အခါတွင် ကျွန်ုပ်တို့၏ ပတ်ဝန်းကျင်၌ အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်၏ တိုးတက်မှု အများဆုံးဖြစ်သော ကဏ္ဍကြီး(၅)ခုမှာ-

- ၁။ အသုံးအဆောင် အီလက်ထရွန်းနစ် (consumer electronics)
- ၂။ ဆက်သွယ်ရေး အီလက်ထရွန်းနစ် (communication electronics)
- ၃။ ကွန်ပျူတာ အီလက်ထရွန်းနစ် (computer electronics)
- ၄။ ထိန်းချုပ်မှု အီလက်ထရွန်းနစ် (control electronics)
- ၅။ ဆေးပညာ အီလက်ထရွန်းနစ် (medical electronics) ... စသည်တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

ကဏ္ဍအသီးသီးမှ လူသားတို့၏ဘဝကိုသက်တောင့် သက်သာဖြစ်စေပါသည်။ ပျော်ရွှင်မှုများကို ဖန်တီးပေးပါသည်။ စိတ်လှုပ်ရှားဖွယ်ရာများကိုလည်း လုပ်ဆောင်ပေးပါသည်။



၁-၂။ အီလက်ထရွန်းနစ်သမိုင်းအကျဉ်းချုပ်

လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်း(၂၀၀၀)ခန့်ကတည်းက ဂရိလူမျိုးတို့သည် လျှပ်စစ်ပညာကို စတင်လေ့လာခဲ့ကြ သော်လည်း ကုန်လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်း(၁၀၀)ခန့်မတိုင်မီအထိ အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာကို လူအများမသိရှိကြသေး ပေ။ ထိုအချိန်က ရေဒီယို၊ တယ်လီဗီးရှင်း၊ ကွန်ပျူတာ၊ ရိဘော့၊ ဂြိုဟ်တု...စသည်တို့ မပေါ်ပေါက်သေးပါ။

သို့သော်လည်း အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်ကိုအခြေခံ၍ ဆက်သွယ်မှု၊ ထိန်းချုပ်မှု၊ တိုင်းတာမှု၊ ဖျော်ဖြေမှုစသည့် ကဏ္ဍများတွင် အဆင့်ဆင့်ပြုပြင်ပြောင်းလဲ တီထွင်မှုများကို အစဉ်တစိုက် ပြုလုပ်လာခဲ့ကြ သောအခါ တိုတောင်းသော အချိန်ကာလအတွင်းမှာပင် တိုးတက်မှုများသည် အံ့မခန်းနိုင်လောက်အောင်ပင် ဖြစ် ထွန်းလာခဲ့ပေသည်။ ထိုသို့ပြောင်းလဲ တိုးတက်လာသော အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်၏ သမိုင်းဖြစ်စဉ်ကို ဗဟု သုတအဖြစ် သိရှိစေရန်အလို့ငှာ အောက်ပါအတိုင်း အကျဉ်းချုပ်၍ တင်ပြလိုက်ပါသည်။

၁-၃။ ကက်သုတ်ရောင်ခြည်စတင်တွေ့ရှိခြင်း (The Discovery of Cathode Rays)

အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာအစ၊ ကက်သုတ်ရောင်ခြည်က ဟုဆိုစမှတ်ပြုကြပါသည်။ ၁၉ရာစုနှစ်ကုန်ခါနီး အချိန်အခါလောက်တွင် သိပ္ပံပညာရှင်များသည် လေစုပ်ထုတ်ထားသော ဖန်ပြွန်ချောင်း၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် အီလက်ထရုတ်များတပ်ဆင်ထားသော လျှပ်ထုတ်ပြွန် (electric discharge tube) အတွင်း လျှပ်ကူးမှုကို စမ်းသပ်လေ့လာခဲ့ကြပါသည်။ ထိုသို့လေ့လာမှုများမှ ထူးဆန်းသော ရောင်ခြည်တစ်မျိုးကို တွေ့ရှိခဲ့ကြသည်။ ၁၈၅၉ခုနှစ်တွင် အင်္ဂလန်နိုင်ငံမှ အင်္ဂလိပ်သိပ္ပံပညာရှင် ဆာဝီလီယံခရုတ်စ် (Sir William Crookes) က ထိုရောင်ခြည်ကို ကက်သုတ်ရောင်ခြည်(cathode ray) ဟုအမည်တပ်ပေးခဲ့ပါသည်။ တဖန် ၁၈၉၇ခုနှစ်တွင် သိပ္ပံပညာရှင် ဆာဂျေ့ဂျွန်မဆင် (Sir J.J Thomson) က ကက်သုတ်ရောင်ခြည်၏ ဂုဏ်သတ္တိများကို စူးစမ်း လေ့လာကြည့်သောအခါ ကက်သုတ်ရောင်ခြည်သည် အလွန်သေးငယ်ပြီး လျှပ်စစ်အမခါတ်ဆောင်သော အမှန် များ ပါဝင်လျက်ရှိသော ရောင်ခြည်တန်းတစ်ခုပင်ဖြစ်ကြောင်းနှင့် အမှန်တစ်ခု၏ဒြပ်ထုသည် ဟိုက်ဒရိုဂျင်အိုင် ယွန်း (hydrogen ion) ၏ ဒြပ်ထု၏(၁/၁၈၃၆)ပမာဏသာရှိကြောင်း ဖော်ထုတ်နိုင်ခဲ့ပေသည်။ နောက်ပိုင်းတွင် ထိုအမှန်ကို အီလက်ထရွန် (electron) ဟုခေါ်ဆိုခဲ့ကြပါသည်။

အီလက်ထရွန်ဟူသောစကားသည် ဂရိဘာသာအားဖြင့် ပယင်း (amber) ဟု အဓိပ္ပါယ်ရပါသည်။ ပယင်းသည် သစ်ပင်များမှထွက်သော သစ်စေးများ၏ကျောက်ဖြစ်ရုပ်ကြွင်းတစ်မျိုးဖြစ်ပြီး၊ ယင်းတွင်ထူးခြား သောဂုဏ်သတ္တိတစ်မျိုးရှိကြောင်း ရှေးခေတ် ၁၇ရာစုနှစ်ခန့် အချိန်အခါကတည်းက ဂရိလူမျိုးတို့ တွေ့ရှိထားပြီး ဖြစ်ပေသည်။ ထိုဂုဏ်သတ္တိမှာ ပယင်းတုံးကို သားမွေးသို့မဟုတ်ခြောက်သွေ့သောအဝတ်ဖြင့် ပွတ်တိုက်ပေး လိုက်လျှင် ယင်းသည်စက္ကူစငယ်လေးများ၊ ဖုန်မှန်များကို ဆွဲငင်နိုင်သည် ဆိုသည့်အချက်ပင် ဖြစ်ပေသည်။ ထိုခေတ်အခါက ဂရိလူမျိုးတို့သည် ထိုဖြစ်စဉ်၏အကြောင်းရင်းကို မရှင်းပြနိုင်ခဲ့ကြပေ။ သို့သော် အီလက်ထရွန် ကို တွေ့ရှိပြီးနောက်ပိုင်းကျမှသာ ထိုပြဿနာကိုရှင်းပြရန်လွယ်ကူသွားခဲ့ပေတော့သည်။ ပယင်းတုံးနှင့် သား မွေးတို့ ပွတ်တိုက်မိသောအခါ သားမွေးမှ အီလက်ထရွန်များသည် ပယင်းတုံးဆီသို့ ကူးပြောင်းသွားကြသဖြင့် ပယင်းတုံးတွင် လျှပ်စစ်အမခါတ်များ(အီလက်ထရွန်များ) ပိုများလာကာ သေးငယ်သော စက္ကူစများကို ဆွဲငင် နိုင်ခြင်းဖြစ်ပေသည်။ ထိုဖြစ်စဉ်ကို တည်ငြိမ်လျှပ်စစ် (static electricity) ပညာရပ်တွင် ပွတ်တိုက်ခြင်းနည်းဖြင့် လျှပ်စစ်ခါတ်ထွက်ပေါ်လာခြင်း ဟုခေါ်ပါသည်။

၁-၄။ လေဟာနယ်မီးလုံးများတီထွင်ခြင်း (The Invention of Vacuum Tubes)

ဆာဂျေ့ဂျွန်မဆင်ခေတ်နှင့်အပြိုင် အမေရိကန်နိုင်ငံသား သောမတ်စ် အေ အက်ဒီဆင် (Thomas A Edison ) ဆိုသူ သိပ္ပံပညာရှင်က လေစုပ်ထုတ်ထားသော ဖလ်မီးလုံးအတွင်း တပ်ဆင်ထားသော အမစွန်း (negative pole) နှင့် အဖိုစွန်း (positive pole) တို့အကြားတွင် လျှပ်စစ်စီးစေသောအခါ အဖိုစွန်းနားတွင်

အပြာရောင်တောက်ခြင်းဖြစ်ပေါ်လာပုံကို စတင်တွေ့ရှိခဲ့ပါသည်။ ထိုသို့တွေ့ရှိမှုကို အက်ဒီဆင်အကျိုး (Edison effect) ဟုသမိုင်း တွင်ခံခဲ့ရပါသည်။

၁၉၀၄ခုနှစ်တွင် ဆာဂျွန်အဖဲလ်မင်း (Sir John A Fleming) ဆိုသူ ပညာရှင်က အက်ဒီဆင်အကျိုးကို အခြေခံ၍ လေဟာနယ်ဒိုင်အုတ်မီးလုံး (Vacuum Tube Diode) ကို စတင်တီထွင်ခဲ့ပါသည်။ ဖလ်မီးလုံးအတွင်း မှလေကိုစုပ်ထုတ်ထားသဖြင့် လေဟာနယ်ဟုခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်ပြီး အမစွန်းခေါ် ကက်သုတ် (cathode) နှင့် အဖိုစွန်းခေါ် အဲနုဒ် (anode) ဟူ၍ လျှပ်ခေါင်းနှစ်ခုပါဝင်သဖြင့် ဒိုင်အုတ် (di electrode or diode) ဟုခေါ်ရခြင်း ဖြစ်ပါသည်။ ကက်သုတ်သည် ဝါယာကြိုးနန်းမျှင် (filament) ဖြစ်ပြီး ထိုနန်းမျှင်ကို အပူပေးလိုက်သောအခါ အပူတိုက်ခြင်းနည်းဖြင့် အီလက်ထရွန်ထုတ်ခြင်း (thermionic emission) ဖြစ်စဉ်ကြောင့် အီလက်ထရွန်များ ထွက်ပေါ်လာစေပါသည်။ အဲနုဒ်ကို ကက်သုတ်ထက်စာလျှင် အပေါင်းပိုတင်ရှယ်ပိုပေးထားလျှင် နန်းမျှင်မှထွက်လာသော အီလက်ထရွန်များသည် အဲနုဒ်ဆီသို့ လျင်မြန်စွာစီးသွားကြပေသည်။ အကယ်၍ အဲနုဒ်ရှိပို့အားသည် ကက်သုတ်ထက်ပို၍ရှိမိသွားလျှင် အီလက်ထရွန်များစီးဆင်မှုသည် ရပ်တန့်သွားပေတော့သည်။ အီလက်ထရွန်များသည် ကက်သုတ်မှအဲနုဒ်သို့ ဦးတည်ဖက်တစ်ဖက်တည်းကိုသာ စီးဆင်းနေသောကြောင့် ဤလေဟာနယ်မီးလုံးကို ခလုတ် (valve or one-way switch) ဟုလည်းခေါ်ဆိုကြပါသေးသည်။ ယင်းသည် အီလက်ထရွန်းနစ်၏ ပထမဆုံးသော အစိတ်အပိုင်း (component) တစ်ခုဖြစ်လာခဲ့ပေသည်။

၁၉၀၇ခုနှစ်တွင် လီးဒီဖောရက်စ် (Lee DeForest) ဆိုသူ အမေရိကန်သိပ္ပံပညာရှင်က ဒိုင်အုတ်မီးလုံးကို မွမ်းမံပြင်ဆင်မှုများ ပြုလုပ်ခဲ့ပါသည်။ ကက်သုတ်နှင့်အဲနုဒ်အကြားတွင် ဂရစ် (grid) ဟုခေါ်သော ဇကာကွက်လျှပ်ခေါင်းတစ်ခုကို ဖြည့်စွက်လိုက်ပြီး လျှပ်ခေါင်း(၃)ခုပါဝင်သော ထရိုင်အုတ် (triode) မီးလုံးကို တီထွင်ခဲ့ပါသည်။ ထရိုင်အုတ်ကို ခလုတ်တစ်ခုအဖြစ်ပိုမိုပီပြင်စွာ အသုံးချနိုင်ခဲ့သည့်အပြင် ဂရစ်ကို ပေးသော ပိုတင်ရှယ်ကို ပြောင်းလဲပေးခြင်းအားဖြင့် ထရိုင်အုတ်သည် အလွန်ငယ်သော အချက်ပြလှိုင်းများကို ချဲ့ပေးနိုင်သော ချဲ့စက် (amplifier) အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ကြောင်း တွေ့ရှိလာခဲ့ပေသည်။ ထိုသို့ထရိုင်အုတ်မီးလုံး ပေါ်ပေါက်လာခြင်းကြောင့် ဝေးလံသောအရပ်ဒေသများကို ရေဒီယိုဆက်သွယ်မှုများ ပြုလုပ်လာနိုင်ခဲ့ကြပေသည်။ ၁၉၁၂ခုနှစ်တွင် အတ္တလန်တစ်သမုဒ္ဒရာအတွင်း၌ တိုင်တင်းနစ် (Titanic) သင်္ဘောကြီး စတင်နှစ်မြုပ်စဉ်က ယင်းမှလွှင့်ထုတ်လိုက်သော (S.O.S) ရေဒီယိုအချက်ပြလှိုင်းကို အနီးအနားမှ သင်္ဘောများက ဖမ်းယူရရှိခဲ့ကြပေသည်။

**၁-၅။ ရေဒီယိုနှင့်တယ်လီဗီးရှင်း စတင်ပေါ်ပေါက်လာခြင်း (The Beginnings of Radio & Television)**

၁၉၁၄ခုနှစ်မှ ၁၉၁၈ခုနှစ်အတွင်းဖြစ်ပွားခဲ့သော ပထမကမ္ဘာစစ်ပွဲတွင် လေဟာနယ်မီးလုံးများ၏ အသုံးချမှုသည် အနည်းငယ်မျှသာရှိခဲ့သော်လည်း ထိုစစ်ပွဲကြီးပြီးဆုံးသွားပြီးနောက် လေဟာနယ်မီးလုံးများကို အသုံးချမှုသည် အလွန်လျင်မြန်စွာတိုးတက်လာခဲ့ပါသည်။ ၁၉၂၂ခုနှစ်တွင် လန်ဒန်မြို့၌ ဘီဘီစီအသံလွှင့်ဌာနကို စတင်တည်ထောင်လိုက်သောအခါ မီးလုံးရေဒီယိုများထုတ်လုပ်မှုသည် တစ်မဟုတ်ချင်း တိုးတက်လာခဲ့ပါသည်။ ထို့အပြင် ၁၉၂၆ခုနှစ်တွင် လန်ဒန်မြို့ပေါ်ရှိ အလက်ဇင်ဒားဒရားနန်းတော် (Alexandra Palace) မှ တယ်လီဗီးရှင်း အစီအစဉ်များကို စတင်ထုတ်လွှင့်ခဲ့ပါသည်။ စတင်ထုတ်လွှင့်ခါစတွင် လူများသိပ်စိတ်မဝင်စားကြချေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ထိုစဉ်က ဂျွန်လောဂျီဘတ် (John Logie Briad) တီထွင်လိုက်သော စက်မှုဆိုင်ရာနည်းဖြင့်ပုံဖော်ခြင်းစနစ် (mechanical scanning system) သည် အချိုးမကျလှသဖြင့် ရုပ်ပုံများသည် ကောင်းမွန်စွာ ကြည်လင်ပြတ်သားမှုမရှိသောကြောင့်ဖြစ်ပေသည်။ ထိုနောက်ပိုင်းတွင် EMI ကုမ္ပဏီမှ တီထွင်လိုက်သော အီလက်ထရွန်းနစ်နည်းဖြင့်ပုံဖော်ခြင်းစနစ် (electronic scanning system) ပေါ်ပေါက်လာသောအခါကျမှသာလျှင် ရုပ်ပုံများသည် ပိုမိုကြည်လင် ပြတ်သားမှုရှိလာခဲ့သောကြောင့် လူများသည် တယ်လီဗီးရှင်းကို ပိုမိုစိတ်ဝင်စားလာခဲ့ကြပေတော့သည်။



သို့သော် ၁၉၃၉ခုနှစ်တွင် ဒုတိယကမ္ဘာစစ်ကြီးစတင်ဖြစ်ပွားလာသောအခါ ဂျာမန်တို့ဗုံးကြဲမည့် အန္တရာယ်ကို တားဆီးနိုင်ရန်အတွက် ထိုနှစ် စက်တင်ဘာလတွင် အလက်ဇင်းဒရာ့နန်းတော်မှ တယ်လီဗီးရှင်း ထုတ်လွှင့်မှုကို ရပ်ဆိုင်းထားလိုက်ရပေတော့သည်။

**၁-၆။ ရေဒါနှင့်ဒုတိယကမ္ဘာစစ် (Radar and the Second World War)**

၁၉၃၉ခုနှစ်မှ ၁၉၄၅ခုနှစ်အတွင်းဖြစ်ပွားခဲ့သော ဒုတိယကမ္ဘာစစ်ပွဲကြီးကာလအတွင်း အီလက်ထရွန်းနစ်ဆိုင်ရာတိုးတက်မှုများ ဖြစ်ပေါ်ခဲ့ပါသည်။ အထူးသဖြင့် ရန်သူတို့၏ လေယာဉ်ပျံနှင့်သင်္ဘောများကို ရှာဖွေရာတွင်အသုံးပြုသော ရေဒါ (Radar) ကို အင်္ဂလိပ်တို့တီထွင်နိုင်ခဲ့ပါသည်။ အင်္ဂလိပ်စာလုံး Radar သည် (Radio detection and ranging) ကို အတိုကောက်ရေးထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ရေဒါစနစ်တွင် မဂ္ဂနက်ထရွန် (Magentron) ဟုခေါ်သော ပါဝါမြင့် လေဟာနယ်မီးလုံးကြီးကို အသုံးပြုထားပါသည်။ ရေဒါအလုပ်လုပ်ပုံမှာ ကြိမ်နှုန်းမြင့် ရေဒီယိုအချက်ပြလှိုင်း(မိုက်ခရိုလှိုင်း)ကို ထုတ်လွှတ်လိုက်ပြီးနောက် လေယာဉ်ပျံသို့မဟုတ်သင်္ဘောတို့ကိုထိရိုက်ပြီး ပြန်ထွက်လာသော ရေဒီယိုလှိုင်းကိုပြန်လည်ဖမ်းယူခြင်းဖြင့် လေယာဉ်ပျံသို့မဟုတ်သင်္ဘောတို့၏ တည်နေရာကို ဖော်ထုတ်နိုင်အောင် စီစဉ်ထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ မဂ္ဂနက်ထရွန်သည် နောင်အခါတွင် အသုံးပြုကြမည့် မိုက်ခရိုလှိုင်းမီးဖို (microwave oven) ၏ မူလအစပင် ဖြစ်ပေတော့သည်။

**၁-၇။ ထရန်စစ္စတာ ပေါ်ပေါက်လာခြင်း (The Invention of the Transistor)**

ဒုတိယကမ္ဘာစစ်ပွဲကြီး ဖြစ်ပွားပြီးနောက်များမကြာမီကာလတွင် အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်၌ ကြီးမားသော တိုးတက်ပြောင်းလဲမှုကြီးတစ်ရပ် ပေါ်ပေါက်လာခဲ့ပေသည်။ ထိုတိုးတက်ပြောင်းလဲမှုမှာ ထရန်စစ္စတာ (Transistor) ကို စတင်တီထွင်နိုင်ခဲ့ခြင်းပင် ဖြစ်ပေသည်။ လေဟာနယ်နှင့်ခါတ်ငွေ့များအတွင်း လျှပ်ကူးမှုကို လေ့လာနေရာမှ အခဲအခြေရူပဗေဒပညာ (Solid State Physics) တိုးတက်လာသည်နှင့်အမျှ တစ်ပိုင်းလျှပ်ကူးပစ္စည်း (Semiconductors) များအတွင်း လျှပ်ကူးမှုကို လေ့လာခဲ့ကြရာ ၁၉၄၈ခုနှစ်တွင် အမေရိကန်နိုင်ငံ ဘဲလ်တယ်လီဖုန်းစမ်းသပ်ခန်းများ (Bell Telephone Laboratories) မှ ပညာရှင်များဖြစ်ကြသော ရော့ကလီ (Shockley) ဘာဒင် (Bardeen) နှင့် ဘရက်တိန် (Brattain) တို့သည် ထရန်စစ္စတာကို စတင်တီထွင်နိုင်ခဲ့ကြပါသည်။ အမှန်စင်စစ်အားဖြင့် ထရန်စစ္စတာကိုပြုလုပ်ရာတွင် အသုံးပြုထားသော ဂျာမေနီယမ် (Germanium) ကို လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်း ၂၅နှစ်ခန့် ကတည်းကပင် ထရိုင်အုတ် မီးလုံးနေရာတွင် အစားထိုး အသုံးပြုရန် ကြိုးပမ်းခဲ့ကြသေးသည်။ သို့သော်ထိုအချိန်က ဂျာမေနီယမ်ကဲ့သို့သော အခဲအခြေပစ္စည်းများ အတွင်း လျှပ်စီးမှုသဘောတရားကို ကောင်းမွန်စွာ နားမလည်ကြ သေးသည့်အတွက်ကြောင့် အောင်မြင်မှုမရရှိ ခဲ့ကြပေ။

၁၉၅၀ခုနှစ်တွင် သန့်စင်သောဂျာမေနီယမ် (Pure Germanium) ကိုအောင်မြင်စွာ တီထွင်လာနိုင်ခဲ့သောအခါ ထရန်စစ္စတာများသည် အီလက်ထရွန်းနစ်အသုံးချနယ်ပယ်အတွင်းသို့ အရှိန်အဟုန်ပြင်းစွာ ဝင်ရောက်လာခဲ့ကြပေတော့သည်။ ၁၉၆၀ခုနှစ်များတွင် ထရန်စစ္စတာကိုပြုလုပ်ရာတွင် ဂျာမေနီယမ်အစား စီလီကွန် (Silicon) ကို အစားထိုးအသုံးပြုလာနိုင်ပြန်ပါသည်။ ထရန်စစ္စတာများသည် ထရိုင်အုတ်မီးလုံးများနှင့်နှိုင်းယှဉ်လျှင် အားသာသည့်အချက်များရှိနေပါသည်။ ယင်းတို့မှာ- အရွယ်အစားသေးငယ်ခြင်း၊ ပေါ့ပါးခြင်း၊ အလုပ်လုပ်မှုမြန်ဆန်ခြင်း၊ ဈေးပေါ်ခြင်း၊ တစ်ပြိုင်နက်တည်း အရေအတွက်မြောက်မြားစွာကို ထုတ်လုပ်နိုင်ခြင်း၊ အကြမ်းခံနိုင်ခြင်း၊ ကြာရှည်စွာအသုံးပြုနိုင်ခြင်း၊ ပါဝါစားသုံးမှုနည်းပါးခြင်း စသည်တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

နှိုင်းယှဉ်ပြစရာ ဥပမာတစ်ခုအဖြစ်တင်ပြရသော်- ၁၉၄၆ခုနှစ်က အမေရိကန်နိုင်ငံ ပင်စီလဗေးနီးယား တက္ကသိုလ် (University of Pennsylvania) တွင် တည်ဆောက်ထားသော အဲနစ် (ENIAC, Electronic Numerical Integrator And Computer) ဟုခေါ်သည့် လေဟာနယ်မီးလုံးသုံး ကွန်ပျူတာကြီးသည်

ခန်းတစ်ခန်းပြည့်လှန်းပါး နေရာယူထားသော အရွယ်အစားပမာဏရှိပါသည်။ အလျားပေ(၈၀)၊ အမြင့်(၈)ပေ ဦး အလေးချိန်အားဖြင့် တန်(၃၀)ခန့်လေးပါသည်။ ယင်းတွင် ထရိုင်အုတ်မီးလုံး(၁၈၀၀၀)၊ ရီစစ္စတာ (၇၀၀၀)၊ ကပယ်စီတာ(၁၀၀၀၀)၊ ရီလေး(၁၅၀၀)နှင့် ခလုတ်ပေါင်း(၆၀၀၀) ပါဝင်လျက်ရှိပြီး၊ လျှပ်စစ်ပါဝါ 200 kiloWatt ခန့် စားသုံးပါသည်။ တန်ဖိုးမှာလည်း ဒေါ်လာတစ်သန်းခန့် ကုန်ကျကြောင်းသိရပါသည်။ သို့သော် ၁၉၆၀ခုနှစ်ခန့်က ထရန်စစ္စတာများဖြင့် တည်ဆောက်ထားသော စားပွဲတင် ဂဏန်းပေါင်းစက် ( transistorized desk-top calculator) တစ်ခုသည် ဘက်ထရီဖြင့် ပါဝါပေးနိုင်ပြီး အလေးချိန်အားဖြင့် ကီလိုဂရမ် အနည်းငယ်မျှသာ လေးပါသည်။ အလုပ်လုပ်နိုင်မှုအရည်အသွေးမှာလည်း အဲနစ်ထက် များစွာသာလွန်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

ထိုအချိန်မှစ၍ အရွယ်အစားသေးငယ်ပေါ့ပါး၊ ဈေးနှုန်းသက်သာ၊ ပါဝါစားသုံးမှုနည်းပါး၊ အသုံးပြုရာ တွင်ပိုမိုစိတ်ချရသော တစ်ပိုင်းလျှပ်ကူး အီလက်ထရွန်းနစ်ပစ္စည်းကိရိယာများကို တီထွင်မှုသည် အီလက်ထရွန်းနစ်၏ သမိုင်းတစ်ခေတ်ကို စတင်ပြောင်းလဲစေသော အကြောင်းတရားများပင် ဖြစ်ပေတော့သည်။

၁-၈။ အိုင်စီ ပေါ်ပေါက်လာခြင်း (The Invention of Integrated Circuit, IC)

၁၉၄၆ခုနှစ်က အဲနစ် ဟုခေါ်သော လေဟာနယ်မီးလုံးသုံးကွန်ပျူတာကို ပထမမျိုးဆက်ကွန်ပျူတာ (first generation computer) ဟုခေါ်ဆိုနိုင်ပြီး၊ ၁၉၆၀ခုနှစ်က တီထွင်နိုင်ခဲ့သော ထရန်စစ္စတာသုံးကွန်ပျူတာ ကို ဒုတိယမျိုးဆက်ကွန်ပျူတာ (second generation computer) ဟုခေါ်ဆိုနိုင်ပေသည်။ တဖန် ၁၉၆၀ခုနှစ် နောက်ပိုင်းကာလများတွင် ထရန်စစ္စတာများထုတ်လုပ်မှုနည်းပညာအသစ်များ တိုးတက်များပြားလာသည်နှင့်အမျှ သို့နည်းပညာအသစ်များကိုအခြေခံ၍ စုပေါင်းပတ်လမ်းဟုခေါ်သော အိုင်စီ (integrated circuit, IC) ကိုစတင် ထုတ်လုပ်လာနိုင်ခဲ့ပါသည်။ အိုင်စီဆိုသည်မှာ- စီလီကွန်အပြားကလေး (silicon chip) ပေါ်တွင် ဒိုင်အုတ်၊ ထရန်စစ္စတာ၊ ရီစစ္စတာ၊ ကပယ်စီတာ စသည့် အီလက်ထရွန်းနစ်အစိတ်အပိုင်းများကို အလုံးပေါင်း ရာနှင့်ချီ၍ တည်ဆောက်ထားနိုင်ပြီး အသုံးချနိုင်သည့်ပတ်လမ်းတစ်ခုလုံး ဖြစ်သွားအောင်လည်း ဆက်သွယ်မှုများကိုပါ ဆည့်သွင်းတည်ဆောက်ထားသော ပစ္စည်းလေးကို ခေါ်ပါသည်။ အိုင်စီများတွင်ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းပမာဏ ကိုမူတည်၍ အမျိုးအစားသတ်မှတ်လေ့ရှိပါသည်။ 3mm<sup>2</sup> အရွယ်ရှိသော စီလီကွန်ပြားပေါ်တွင် အစိတ်အပိုင်း ပေါင်း (၁၀မှ၁၀၀)အထိပါဝင်သော အိုင်စီအမျိုးအစားကို (small scale integration, SSI) ဟု လည်းကောင်း၊ အစိတ်အပိုင်းပေါင်း (၁၀၀မှ၁၀၀၀)အထိပါဝင်သော အိုင်စီအမျိုးအစားကို (medium scale integration, MSI) ဟုလည်းကောင်းသတ်မှတ်ပါသည်။ ၁၉၇၀ခုနှစ်များတွင် ပေါ်ပေါက်လာသော အစိတ်အပိုင်းပေါင်း (၂၀၀၀) ကျော်ပါဝင်သော အိုင်စီအမျိုးအစားကို (large scale integration, LSI) ဟု သတ်မှတ်ကြပြန်ပါသည်။

ထို MSI, LSI အိုင်စီအမျိုးအစားများဖြင့် တည်ဆောက်ထားသော ကွန်ပျူတာကို တတိယမျိုးဆက်ကွန်ပျူတာ (third generation computer) ဟုခေါ်ပါသည်။ ၁၉၆၀ခုနှစ်နှောင်းပိုင်းနှစ်များနှင့် ၁၉၇၀ခုနှစ်ရှေ့ပိုင်း နှစ်များတွင် လကမ္ဘာသို့သွားရောက်ခဲ့သော အပိုလိုအာကာသလွန်းပျံယာဉ်များတွင် ထိုကွန်ပျူတာများကို စတင် အသုံးပြုနိုင်ခဲ့ပါသည်။

၁-၉။ မိုက်ခရိုပရိုဆက်ဆာ ပေါ်ပေါက်လာခြင်း (The Invention of microprocessor)

၈ရီယာပမာဏအားဖြင့် 5mm<sup>2</sup>ခန့်သာရှိသော အလွန်သေးငယ်သည့် စီလီကွန်ပြားပေါ်တွင် ထရန်စစ္စတာအလုံးပေါင်း ထောင်ပေါင်းများစွာ ပါဝင်သော (very large scale integration, VLSI)အိုင်စီမျိုးကို တီထွင်နိုင်သော မိုက်ခရိုအီလက်ထရွန်းနစ် (microelectronics) ဟုခေါ်သည့် အတတ်ပညာသည် ၁၉၇၀ခုနှစ် နောက်ပိုင်းကာလများတွင် အရှိန်အဟုန်ကြီးစွာဖြင့် ဖွံ့ဖြိုးတိုးတက်လာခဲ့ပြီး ယင်းကြောင့်ထွက်ပေါ်လာသော အရွယ်အစားသေးငယ်မှု ရလဒ်ကို စစ်လက်နက်ဆိုင်ရာပစ္စည်းများထုတ်လုပ်မှု၊ အာကာသသိပ္ပံဆိုင်ရာပစ္စည်းများ

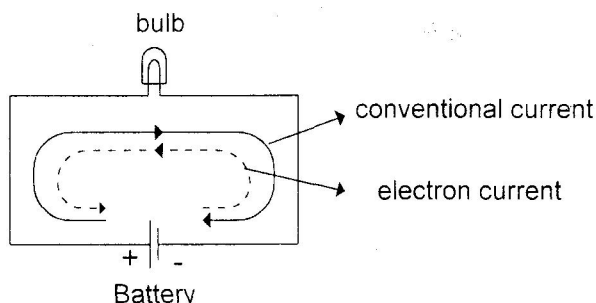
**၂-၃။ ဆယ်လီထပ်ညွှန်းကိန်းများ (Prefixes)**

သိပ္ပံနှင့်အင်ဂျင်နီယာပညာရပ်များတွင် အသုံးများသော ဆယ်လီထပ်ညွှန်းကိန်းများကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

Multiple	Prefix	Symbol
$10^{12}$	tera (တယ်ရာ)	T
$10^9$	giga (ဂိုက်ဂါ)	G
$10^6$	mega (မဂ္ဂါ)	M
$10^3$	kilo (ကီလို)	k
$10^{-3}$	milli (မီလီ)	m
$10^{-6}$	micro (မိုက်ခရို)	$\mu$
$10^{-9}$	nano (နန်နို)	n
$10^{-12}$	pico (ပီကို)	p
$10^{-15}$	femto (ဖမ်တို)	f

**၂-၄။ လျှပ်စီးကြောင်း**

လျှပ်စီးကြောင်း၏သင်္ကေတမှာ I ဖြစ်ပါသည်။ လျှပ်စီးကြောင်း၏အဓိပ္ပါယ်မှာ အချိန်တစ်စက္ကန့် အတွင်းအမှတ်တစ်နေရာကို ဖြတ်သန်းသွားသော လျှပ်စစ်ပမာဏကို ခေါ်ပါသည်။ လျှပ်စီးကြောင်းကို အဓိပ္ပါယ် ဖွင့်ဆိုချက်နှင့်ပတ်သက်၍ သိသင့်သိထိုက်သော အကြောင်းအရာတစ်ခုမှာ အီလက်ထရွန်းကိုမတွေ့ရှိသေးမီ အချိန်က လျှပ်စစ်ပညာရပ်တွင် လျှပ်စီးကြောင်းကိုအဓိပ္ပါယ်သတ်မှတ်ရာတွင် လျှပ်စစ်ဖိုများသည် ပတ်လမ်း တစ်ခုအတွင်း ပိုတင်ရှယ်မြင့်ရာမှ နိမ့်ရာသို့ရွေ့လျားနေသော ဦးတည်ဖက်အတိုင်း လျှပ်စီးကြောင်းစီး နေသည် ဟု သတ်မှတ်ခဲ့ကြသည်။ အီလက်ထရွန်းကိုတွေ့ရှိပြီးသောအခါ လက်တွေ့တွင် အီလက်ထရွန်းများသည် ပိုတင် ရှယ်နိမ့်ရာမှမြင့်ရာသို့ စီးနေခြင်းကြောင့်သာ လျှပ်စီးကြောင်းဖြစ်ပေါ်ရခြင်းဖြစ်ကြောင်း သိရှိလာခဲ့ကြသည်။ ယခင်ကယူဆခဲ့သည့်အတိုင်း လျှပ်စစ်ဖို ရွေ့လျားမှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော လျှပ်စီးကြောင်းကို သတ်မှတ်ချက် လျှပ်စီးကြောင်း(သို့မဟုတ်)သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်း (conventional current) ဟုခေါ်ပါသည်။



ပုံ(၂-၁) သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်းနှင့် အီလက်ထရွန်းလျှပ်စီးကြောင်းတို့ ဦးတည်ဖက်ဆန့်ကျင်နေပုံ



သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်းနှင့် အီလက်ထရွန်းလျှပ်စီးကြောင်းတို့သည် ဦးတည်ဖက် ဆန့်ကျင်နေကြသည်။ အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများတွင် လက်တွေ့စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်းသည် အီလက်ထရွန်းလျှပ်စီးကြောင်းဖြစ်သော်လည်း သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်းနှင့်ပတ်သက်သောယူဆချက်ကို နှစ်ပေါင်းများစွာ လက်ခံကျင့်သုံးလာခဲ့ပြီးဖြစ်သဖြင့် ထိုအတိုင်းပင်ယနေ့ထက်တိုင် ဆက်လက်၍ အသုံးပြုလျက်ရှိကြပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အီလက်ထရွန်းလျှပ်စီးကြောင်းအတွေးအခေါ်ကို မကျင့်သုံးသော်လည်း ပတ်လမ်း၏ အဓိကလုပ်ငန်းစဉ်မှာ ပြောင်းလဲမှုမရှိသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။

ပုံ(၂-၁)တွင် လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်းဦးတည်ဖက်နှင့် အီလက်ထရွန်းလျှပ်စီးကြောင်းဦးတည်ဖက်တို့ ဆန့်ကျင်နေပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။

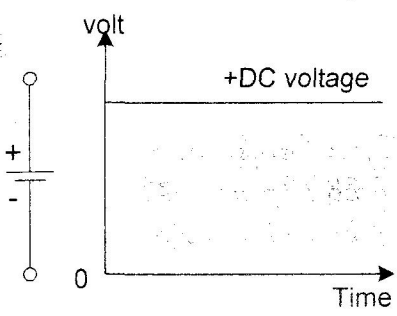
လက်တွေ့အသုံးများသော လျှပ်စီးကြောင်း၏ယူနစ်များမှာ-

- ▣ အမ်ပီယာ (ampere, or amp, A)
- ▣ မီလီအမ်ပီယာ (milliampere(mA);  $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ )
- ▣ မိုက်ခရိုအမ်ပီယာ (microampere( $\mu\text{A}$ );  $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ )
- ▣ နန်နိုအမ်ပီယာ (nanoampere(nA);  $1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}$ )
- ▣ ပီကိုအမ်ပီယာ (picoampere(pA);  $1\text{pA} = 10^{-12}\text{A}$ )

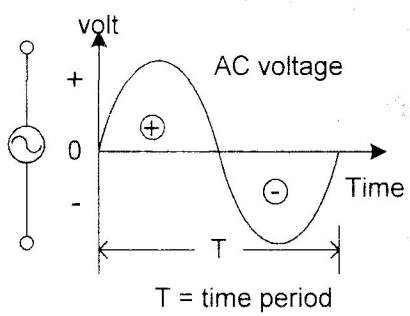
တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

ပတ်လမ်းတစ်ခု၏အမှတ်တစ်နေရာတွင် အချိန် 1second အတွင်း လျှပ်စစ်ပမာဏ 1coulomb ဖြတ်စီးသွားလျှင် လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏ 1ampere ရှိသည်ဟု ဆိုလိုပါသည်။

၂-၅။ တိုက်ရိုက်လျှပ်စီးကြောင်း (Direct Current, DC) နှင့် ပြန်လှန်လျှပ်စီးကြောင်း (Alternating Current, AC)



(က) DCဗို့အား



(ခ) ACဗို့အား

ပုံ(၂-၂) တိုက်ရိုက်ဗို့အားနှင့် ပြန်လှန်ဗို့အားတို့ အချိန်နှင့်လိုက်၍ပြောင်းလဲပုံ

မော်တော်ကားဘက်ထရီ၊ နာရီခါတ်ခဲနှင့် လက်နှိပ်ခါတ်မီးခါတ်ခဲစသည့် ဗို့အားပင်ရင်းတို့မှရရှိသော လျှပ်စီးကြောင်းသည် ဗို့အားပင်ရင်း၏ အပေါင်းသတ်မှတ်ပေးပြီး ပတ်လမ်းအတွင်း ဦးတည်ဖက် တစ်ဖက်တည်းတိုသာစီးပြီး အမတ်သို့ပြန်ဝင်လာသဖြင့် ထိုလျှပ်စီးကြောင်းမျိုးကို တစ်ဖက်သွား လျှပ်စီးကြောင်း (unidirectional current) သို့မဟုတ် တိုက်ရိုက်လျှပ်စီးကြောင်း (direct current, DC) ဟုခေါ်ပါသည်။

ထိုလျှပ်စီးကြောင်းသည် အချိန်နှင့်လိုက်၍ ဦးတည်ဖက်ပြောင်းလဲခြင်းမရှိပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထိုလျှပ်စီးကြောင်းမျိုးသည် အချိန်၏ဖန်ရှင်မဟုတ်ပေ။ တိုက်ရိုက်လျှပ်စီးကြောင်းထုတ်ပေးနေသော ဗို့အားပင်ရင်းကို တိုက်ရိုက်ဗို့အားပင်ရင်း (DC voltage source) ဟုခေါ်ပါသည်။

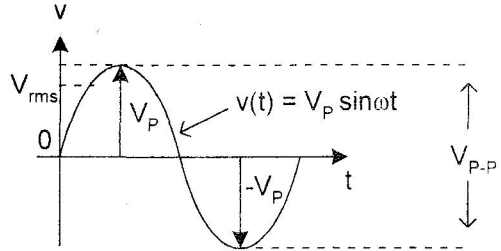
အိမ်သုံးလျှပ်စစ်နှင့် ဂျင်နရေတာ(မီးစက်)စသည့် ဗို့အားပင်ရင်းတို့မှရရှိသော လျှပ်စီးကြောင်းသည် ဦးတည်ဖက် တစ်ဖက်တည်းသာစီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းမျိုးမဟုတ်ဘဲ ဗို့အားပင်ရင်း၏ ငုတ်စွန်းနှစ်ခုအကြား နှင့် ပတ်လမ်းတစ်လျှောက်တို့တွင် ဦးတည်ဖက် အပြန်ပြန်အလှန်လှန် စီးမှန်ဝါးမှန်စီးနေပါသည်။ ထို့ကြောင့် ထိုလျှပ်စီးကြောင်းကို ပြန်လှန်လျှပ်စီးကြောင်း (alternating current, AC) ဟုခေါ်ပါသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထိုလျှပ်စီးကြောင်းမျိုးသည် အချိန်နှင့်လိုက်ပြီး ပမာဏနှင့် ဦးတည်ဖက်ပြောင်းလဲနေသော အချိန်၏ဖန်ရှင်ဖြစ်သော လျှပ်စီးကြောင်းမျိုးဖြစ်ပါသည်။ ထိုပြန်လှန်လျှပ်စီးကြောင်းကိုထုတ်ပေးနေသော ဗို့အားပင်ရင်းကို ပြန်လှန်ဗို့အားပင်ရင်း (AC voltage source) ဟုခေါ်ပါသည်။

ပုံ(၂-၂)တွင် တိုက်ရိုက်ဗို့အား နှင့် ပြန်လှန်ဗို့အားတို့၏ အချိန်နှင့်လိုက်၍ ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ပြန်လှန်ဗို့အားပင်ရင်းငုတ်အစွန်းများတွင် အပေါင်းအနှုတ် လက္ခဏာသတ်မှတ်ချက်သည် တိုက်ရိုက်ဗို့အားပင်ရင်းကဲ့သို့ တစ်သတ်မတ်တည်းမဟုတ်ဘဲ အပေါင်းနှင့်အနှုတ်သည် အချိန်နှင့်လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေပါသည်။ ထိုသို့ပြောင်းလဲမှုသာဘာဝသည် ပုံ(၂-၂)တွင် ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ ဆိုင်းလှိုင်း (sine wave) ပုံဖြစ်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ အပေါင်းအနှုတ်တစ်ကြိမ် ပြောင်းလဲရန်ကြာသောအချိန်ကို လွှဲချိန် (time period, T) ဟုခေါ်ပြီး တစ်စက္ကန့်အတွင်း အပေါင်းအနှုတ် ပြောင်းလဲမှုအကြိမ်ပေါင်းကို ဖရီကွင်စီ (frequency, f) ဟုခေါ်ပါသည်။ ဆက်စပ်မှုအရ  $T = 1/f$  ဖြစ်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ T ကို second(s) ဖြင့်တိုင်းပြီး f ကို hertz(Hz) ဖြင့်တိုင်းပါသည်။ တိုက်ရိုက်ဗို့အားတွင် အပေါင်းအနှုတ်ပြောင်းလဲမှုမရှိသောကြောင့် ယင်း၏ ဖရီကွင်စီသည် သုည ( $f = 0$ ) ဖြစ်ပါသည်။

ကျွန်ုပ်တို့နိုင်ငံတွင် အိမ်သုံးလျှပ်စစ်မီးသည် ဗို့အား 230V AC ရှိပြီး ဖရီကွင်စီသည် 50Hz ဖြစ်ပါသည်။ အမေရိကန်နိုင်ငံနှင့် ဂျပန်နိုင်ငံတို့တွင် အိမ်သုံးလျှပ်စစ်မီးသည် ဗို့အား 110V AC ရှိပြီး ဖရီကွင်စီသည် 60Hz ဖြစ်ပါသည်။

၂-၆။ ပြန်လှန်လျှပ်စီးကြောင်း၊ ပြန်လှန်ဗို့အားတိုင်းတာမှုများ

အခေါ်အဝေါ်အသုံးအနှုန်းနှင့်ပတ်သက်၍ ပြန်လှန်လျှပ်စီးကြောင်း/ပြန်လှန်ဗို့အားကို အေစီလျှပ်စီးကြောင်း/အေစီဗို့အားဟူ၍လည်းကောင်း၊ တိုက်ရိုက်လျှပ်စီးကြောင်း/တိုက်ရိုက်ဗို့အားကို ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်း/ဒီစီဗို့အားဟူ၍လည်းကောင်း ခေါ်ဝေါ်ရေးသားလေ့ရှိကြပါသည်။ အဓိပ္ပါယ်ကောက်မလွဲမှားကြဖို့ ကြိုတင်သတိပေးလိုပါသည်။



AC ဗို့အားတိုင်းတာမှုများ

ပုံ(၂-၃) အေစီဗို့အားတိုင်းတာမှုများပုံ

ဒီစီလျှပ်စီး သို့မဟုတ် ဒီစီဗို့အားကို တိုင်းတာရာတွင် တန်ဖိုးမှာ တစ်မျိုးတည်းသာရှိသော်လည်း အေစီလျှပ်စီး သို့မဟုတ်အေစီဗို့အားကိုတိုင်းတာရာတွင် တန်ဖိုး(၅)မျိုးရှိပါသည်။  
ယင်းတို့မှာ-

- အများဆုံးတန်ဖိုး (peak or maximum value,  $V_p$ )
- ထိပ်စွန်းနှစ်ခုအကြားတန်ဖိုး (peak to peak value,  $V_{p-p}$ )
- ညှမ်းမျှသို့မဟုတ်ဒီစီတန်ဖိုး (average or dc value,  $V_{dc}$ )
- ညှမ်းမျှနှစ်ထပ်ကိန်းရင်းတန်ဖိုး(သို့မဟုတ်)အကျိုးဖြစ်တန်ဖိုး (root mean square (rms) value, or effective value,  $V_{rms}$  or  $V_{eff}$ )
- ရုတ်ခြည်းတန်ဖိုး (instantaneous value,  $v(t)$ ) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ ပုံ(၂-၃)တွင်ကြည့်ပါ။

အေစီဗို့အားလှိုင်း၏လွှဲကျယ် (amplitude) ကို အများဆုံးတန်ဖိုး  $V_p$  ဟုသတ်မှတ်ပါသည်။ အထက် နှင့် အောက်ထိပ်စွန်းတန်ဖိုးနှစ်ခုကြားပမာဏကို ထိပ်စွန်းနှစ်ခုကြားတန်ဖိုး  $V_{p-p}$  ဟုသတ်မှတ်ပါသည်။ ညှမ်းမျှခြင်းတန်ဖိုးကို ဒီစီဗို့အားတန်ဖိုး  $V_{dc}$  ဟု သတ်မှတ်ပါသည်။ ခေါက်ချိုးညီ စည်းမှန်လှိုင်းများ (symmetrical periodic waves) ၏ပျမ်းမျှခြင်းတန်ဖိုးသည် သုညဖြစ်နေသောကြောင့် ပျမ်းမျှခြင်းတန်ဖိုးသည် နေရာတကာတွင် အသုံးမဝင်ချေ။ ထို့ကြောင့်ပျမ်းမျှနှစ်ထပ်ကိန်းရင်းတန်ဖိုး (rms) ကိုအသုံးပြုကြရပါသည်။ အေစီလှိုင်းတစ်ခု၏ rms တန်ဖိုးသည် ယင်း၏ပါဝါထုတ်ပေးနိုင်မှု အရည်အချင်းကိုဖော်ညွှန်းပါသည်။ အေစီ လျှပ်စီးကြောင်းမှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် အပူစွမ်းအင်ပမာဏနှင့်ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်းမှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် အပူစွမ်း အင်ပမာဏတို့ တူညီနေသောကြောင့် တစ်နည်းအားဖြင့် rms တန်ဖိုးကို အကျိုးဖြစ်တန်ဖိုး (effective value) ဟုလည်းခေါ်ပါသေးသည်။

အချိန်နှင့်လိုက်၍ပြောင်းနေသောလှိုင်းကို သင်္ချာညီမျှခြင်းဖြင့်ဖော်ပြလိုသည့်အခါ ရုတ်ခြည်းတန်ဖိုး  $v(t) = V_p \sin \omega t$  ဖြင့်ဖော်ပြပါသည်။ ယင်းတွင်  $V_p$  သည် အများဆုံးဗို့အား၊  $\omega = 2\pi f$  ဖြစ်ပြီး  $\omega$  ကို ထောင့်ပြောင်းဖရီကွင်စီ (angular frequency) ဟုခေါ်ပါသည်။  $f$  သည် အဖြောင့်ဖရီကွင်စီ (linear frequency) ဖြစ်ပါသည်။  $\omega t$  ကို အသွင်ထောင့် (phase angle) ဟုခေါ်ပါသည်။

**အေစီဗို့အားနှင့် အေစီလျှပ်စီးကြောင်းတို့ကို ဗို့မီတာ/အမ်မီတာတို့ဖြင့်တိုင်းတာရရှိသောတန်ဖိုးသည် ပျမ်းမျှနှစ်ထပ်ကိန်း rms တန်ဖိုးများဖြစ်ကြကြောင်း အထူးသတိပြုမှတ်သားစေလိုပါသည်။**

အေစီဗို့အားကို အော်စီလိုစကုပ် (oscilloscope) ဖြင့်တိုင်းတာသောအခါ အေစီဗို့အားလှိုင်း၏ ပုံသဏ္ဍာန်ကို မြင်တွေ့ရပါသည်။ ထိုလှိုင်းပုံသဏ္ဍာန်မှ အများဆုံးဗို့အား  $V_p$ ၊ ထိပ်စွန်းနှစ်ခုကြားဗို့အား  $V_{p-p}$  စသည်တို့ကို တိုင်းတာရယူနိုင်ပါသည်။ အများဆုံးဗို့အားတန်ဖိုးကိုရလျှင် ကျန်တန်ဖိုးများကို ဆက်စပ်မှုပုံသေ နည်းများမှတဆင့် ရယူနိုင်ပါသည်။

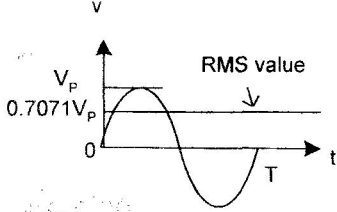
အေစီဗို့အား/လျှပ်စီးလှိုင်းသည် ဆိုင်းပုံလှိုင်းအပြင် အခြားပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုးလည်း ရှိနိုင်ပါသည်။ ပုံ(၂-၄)တွင် အေစီဗို့အားလှိုင်းအချို့၏ ပုံသဏ္ဍာန်များနှင့်တကွ ယင်းလှိုင်းများအတွက် တိုင်းတာမှုဆိုင်ရာ တန်ဖိုးများ ဆက်စပ်မှုကို ပူးတွဲဖော်ပြထားပါသည်။

ပုံ(၂-၄-က)တွင် ဆိုင်းပုံအေစီဗို့အားလှိုင်းအတွက် တိုင်းတာမှုများကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ဆိုင်းပုံအေစီ ဗို့အားလှိုင်းတွင် အပေါင်းလှိုင်းဝက်နှင့်အနှုတ်လှိုင်းဝက်တို့ ပမာဏတူညီနေကြသဖြင့် ယင်းလှိုင်း၏ပျမ်းမျှ တန်ဖိုးသည် သုညဖြစ်ပါသည်။ ယင်းလှိုင်း၏ rms တန်ဖိုးသည် အများဆုံးဗို့အား  $V_p$  ၏  $1/\sqrt{2}$  ပမာဏ သို့မဟုတ်  $0.7071V_p$  ဖြစ်ပါသည်။

ပုံ(၂-၄-ခ)တွင် အေစီမှဒီစီသို့ပြောင်းထားသော ဆိုင်းပုံလှိုင်းဝက်အတွက် တိုင်းတာမှုများကို ဖော်ပြထား ပါသည်။ ဆိုင်းပုံလှိုင်းဝက်ဗို့အားသည် အပေါင်းလှိုင်းဝက်များသာရှိပြီးအနှုတ်လှိုင်းဝက်မရှိချေ။

ယင်းလိုင်း၏ ပျမ်းမျှတန်ဖိုးသည်  $V_P/\pi$  သို့မဟုတ်  $0.31 V_P$  ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းလိုင်း၏ rms တန်ဖိုးသည် အများဆုံးဗို့အား  $V_P$  ၏  $1/\sqrt{2}$  ဝေပမာဏ သို့မဟုတ်  $0.7071V_P$  ဖြစ်ပါသည်။

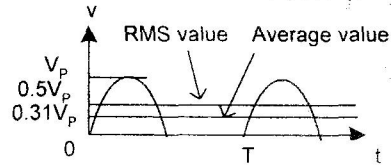
ပုံ(၂-၄၈)တွင် အေစီမှဒီစီသို့ပြောင်းထားသော ဆိုင်းပုံလိုင်းပြည့်အတွက် တိုင်းတာမှုများကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ဆိုင်းပုံ လိုင်းပြည့်ဗို့အားသည် အပေါင်းလိုင်းဝက်များသာရှိပြီးအနှုတ်လိုင်းဝက်မရှိချေ။ ယင်းလိုင်း၏ ပျမ်းမျှတန်ဖိုးသည်  $2V_P/\pi$  သို့မဟုတ်  $0.636 V_P$  ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းလိုင်း၏ rms တန်ဖိုးသည် အများဆုံးဗို့အား  $V_P$  ၏  $1/\sqrt{2}$  ဝေပမာဏ သို့မဟုတ်  $0.7071V_P$  ဖြစ်ပါသည်။



Average value = 0

$$RMS\ value = V_{rms} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = 0.7071 V_P$$

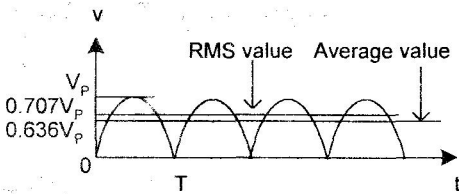
(က) Sine wave



$$Average\ value = V_{avg} = \frac{V_P}{\pi} = 0.31 V_P$$

$$RMS\ value = V_{rms} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = 0.7071 V_P$$

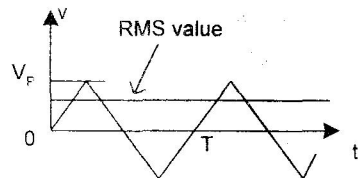
(ခ) Half-wave rectified sine wave



$$Average\ value = V_{avg} = \frac{2V_P}{\pi} = 0.636 V_P$$

$$RMS\ value = V_{rms} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = 0.7071 V_P$$

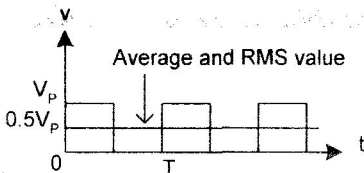
(ဂ) Full-wave rectified sine wave



Average value = 0

$$RMS\ value = V_{rms} = \sqrt{\frac{V_P^2}{3}}$$

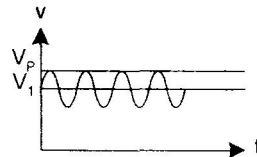
(ဃ) Triangular wave



$$Average\ value = V_{avg} = \frac{V_P}{2} = 0.5 V_P$$

$$RMS\ value = V_{rms} = \frac{V_P}{2} = 0.5 V_P$$

(င) Square wave



Average value =  $V_1$

$$RMS\ value = \sqrt{V_1^2 + 1/2(V_P - V_1)^2}$$

(စ) Sine wave superimposed on a DC level

ပုံ(၂-၄) အေစီဗို့အားလိုင်းပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုးအတွက် တိုင်းတာမှုများဆက်စပ်ပုံ



၂-၄-၁) တွင် အပေါင်းလှိုင်းဝက်နှင့် အနှုတ်လှိုင်းဝက်တို့ ပမာဏတူညီနေကြသဖြင့် ယင်းလှိုင်း၏ ရှိသည် သည် သည်ဖြစ်ပါသည်။ တရိဂံပုံအေစီဗိုအားလှိုင်းအတွက် rms တန်ဖိုးသည်  $\frac{1}{\sqrt{3}} V_p$  ဖြစ်ပါသည်။

၂-၄-၂) တွင် စတုရန်းပုံအေစီဗိုအားလှိုင်းအတွက် တိုင်းတာမှုများကိုဖော်ပြထားပါသည်။ စတုရန်းပုံအေစီဗိုအားလှိုင်း၏ပျမ်းမျှတန်ဖိုးသည်  $V_p/2 = 0.5V_p$  ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းလှိုင်း၏ rms တန်ဖိုးသည်လည်း  $V_p/2 = 0.5V_p$  ပင်ဖြစ်ပါသည်။

၂-၄-၃) တွင် ဒီစီဗိုအားတန်ဖိုးတစ်ခုပေါ်တွင် ထပ်လျက်တည်ရှိနေသော ဆိုင်းပုံအေစီဗိုအားလှိုင်းအတွက် တိုင်းတာမှုများကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုလှိုင်း၏ပျမ်းမျှတန်ဖိုးသည်  $V_1$  ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းလှိုင်း၏ rms တန်ဖိုးသည်  $\sqrt{(V_1)^2 + 1/2 (V_p - V_1)^2}$  ဖြစ်ပါသည်။

၂-၇။ ဒီစီဗိုအားနှင့်အေစီဗိုအားတို့ကိုနှိုင်းယှဉ်ခြင်း

ဒီစီဗိုအား	အေစီဗိုအား
-အပေါင်းအနှုတ်တန်ဖိုးမူသေရှိပါသည်။	-အပေါင်းအနှုတ်တန်ဖိုးပြောင်းလဲနေပါသည်။
-ပမာဏကို ကိန်းသေ(သို့)ပြောင်းလဲပေးနိုင်ပါသည်။	-ပမာဏသည်အပြန်အလှန်ပြောင်းလဲနေပါသည်။
-တည်ငြိမ်နေသောပမာဏကို ထရန်စဖော်မာဖြင့် အတင်အချ မပြုလုပ်နိုင်ချေ။	-ပမာဏကိုထရန်စဖော်မာဖြင့် အတင်အချပြုလုပ်ပေးနိုင်ပါသည်။
-ထရန်စဖော်မာချဲ့စက်များတွင် ၎င်းတို့အားများအဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။	-ချဲ့စက်များတွင် အဝင်/အထွက် အချက်ပြများအဖြစ် ပါဝင်နေကြပါသည်။
-တိုင်းတာရန်လွယ်ကူပါသည်။	-အကြီးချဲ့ရန် လွယ်ကူပါသည်။

အပူစွမ်းအင်ထုတ်လွှတ်မှုသည် အတူတူပင်ဖြစ်ကြပါသည်။

၂-၈။ လျှပ်စစ်ဓါတ်အားပင်ရင်းများ (Sources of Electricity)

ဒြပ်ပစ္စည်းများအားလုံးတွင်ပါဝင်လျက်ရှိသော အက်တမ် (atom) များတွင် အနှုတ်လျှပ်စစ်ဓါတ်ဆောင်သောအီလက်ထရွန် (electron) နှင့် အပေါင်းလျှပ်စစ်ဓါတ်ဆောင်သောပရိုတွန် (proton) တို့ပါဝင်နေကြပါသည်။ ထိုလျှပ်စစ်ဓါတ်ဆောင်အမှုန်များကို သီးသန့်ခွဲခြားထားနိုင်လျှင် လျှပ်စစ်ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းရရှိလာပြီး လျှပ်စီးကြောင်းစီးဆင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်ပါသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် လျှပ်စစ်ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းကို ဖြစ်ပေါ်စေသော လျှပ်စစ်ပင်ရင်းများအကြောင်းကို ဆက်လက်တင်ပြပါမည်။

ပွတ်တိုက်ခြင်းဖြင့်လျှပ်စစ်ဓါတ်ဖြစ်ပေါ်ခြင်း (Static Electricity by Friction)

ပွတ်တိုက်ခြင်းကြောင့် လျှပ်ကာပစ္စည်း (insulator) များတွင်တည်ရှိနေသော အီလက်ထရွန်များကို ခွဲထုတ်ပြီး ဆန့်ကျင်ဖက်လျှပ်စစ်ဆောင်အမှုန်များကို ဒိုင်အီလက်ထရစ် (dielectric) တွင် ကျန်ရစ်ခဲ့စေပါသည်။

**ဓါတုစွမ်းအင်ကိုအသွင်ပြောင်းခြင်း (Conversion of Chemical Energy)**

ဆဲလ်အစို(wet cell)၊ ဆဲလ်အခြောက်(dry cell) နှင့် ဘက်ထရီ (battery) များသည် ဓါတုစွမ်းအင်ကို လျှပ်စစ်စွမ်းအင်သို့ အသွင်ပြောင်းထားသော သာဓကများဖြစ်ကြပါသည်။ ဓါတုတုန့်ပြန်မှုများကြောင့် မျိုးမတူသော သတ္တုနှစ်ခုပေါ်တွင် လျှပ်စစ်အဖိုနှင့်အမများ စုစည်းစေပြီး အဖိုငုတ်နှင့်အမငုတ်တို့ ဖြစ်ပေါ်လာစေပါသည်။

**လျှပ်စစ်သံလိုက် (Electromagnetism)**

လျှပ်စစ်ဓါတ်(electricity) နှင့် သံလိုက်ဓါတ်(magnetism) တို့သည် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ဆက်သွယ်မှု ရှိကြပါသည်။ ရွှေ့လျားနေသော လျှပ်စစ်၏ဝန်းကျင်တွင် သံလိုက်စက်ကွင်းတစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လျက်ရှိနေပါသည်။ အလားတူပင် ပြောင်းလဲနေသော သံလိုက်စက်ကွင်းကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်းတစ်ခု ဖြစ်ပေါ်နေပါသည်။ လျှပ်စစ်ကြောင့် သံလိုက်ဖြစ်ပေါ်နေပုံကို မော်တာတစ်လုံးလည်ပတ်မှုတွင် လေ့လာတွေ့ရှိနိုင်ပါသည်။ သံလိုက်စက်ကွင်းအတွင်း လျှပ်ကူးပစ္စည်းတစ်ခု လည်ပတ်နေမှုကြောင့် လျှပ်စစ်ဗို့အားဖြစ်ပေါ်နေပုံကို ဂျင်နရေတာတစ်လုံးတွင် လေ့လာတွေ့ရှိနိုင်ပါသည်။

**အလင်းလျှပ်စစ် (Photoelectricity)**

အချို့သောပစ္စည်းများ၏မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ အလင်းကျရောက်သောအခါ ထိုပစ္စည်းများမှ အီလက်ထရွန်များထွက်ပေါ်လာတတ်ပါသည်။ ထိုဖြစ်စဉ်ကို အလင်းလျှပ်စစ်အကျိုး (photoelectric effect) ဟုခေါ်ပါသည်။ ထွက်ပေါ်လာသော အီလက်ထရွန်များကိုလည်း ဖိုတိုအီလက်ထရွန်များဟုခေါ်ပါသည်။ စီဆီယမ် (cesium) ကဲ့သို့သော ပစ္စည်းသည် ဖိုတိုအီလက်ထရွန်များကို လွယ်လွယ်ကူကူ ပေါ်ပေါ်များများ ထုတ်ပေးနိုင်သော ပစ္စည်းအမျိုးအစား တစ်မျိုးဖြစ်ပါသည်။ ဖိုတိုဗို့တိတ်ဆဲလ်(photovoltaic cell) သို့မဟုတ် ဆိုလာဆဲလ် (solar cell) တို့တွင် စီလီကွန်(silicon) ဟုခေါ်သော ပစ္စည်းကို အလင်းကျရောက်မှုကြောင့် အထွက်ဗို့အားဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် အသုံးပြုပါသည်။ စီလီနီယမ် (selenium) ကဲ့သို့သော ပစ္စည်း၏ခုခံမှု (resistance) သည် ယင်းအပေါ်သို့ ကျရောက်နေသော အလင်းပြင်းအား အပေါ်မူတည်ပြီး ပြောင်းလဲလျက်ရှိနေပါသည်။ ယင်းကို ကိန်းသေဗို့အားတစ်ခုနှင့်ဆက်သွယ်လိုက်သောအခါ ကျယ်ပြန့်သော အလင်းလျှပ်စီးကြောင်းနှင့် အမှောင်လျှပ်စီးကြောင်း ပြောင်းလဲမှုကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ ထိုအချက်ကိုအခြေခံပြီး များစွာသော အလင်းလျှပ်စစ်ဆိုင်ရာ ပစ္စည်းများဖြစ်ကြသည့် တယ်လီဗီးရှင်းကင်မရာဗီးလုံး၊ ဖိုတိုဆဲလ်၊ နှင့် ဖိုတိုထရန်စစ္စတာ စသည်တို့ပေါ်ထွက်လာခဲ့ကြပေသည်။

**အပူကြောင့် ထုတ်လွှတ်ခြင်း (Thermal Emission)**

အချို့သောပစ္စည်းများကို အပူပေးလိုက်သောအခါ ယင်းတို့၏မျက်နှာပြင်ပေါ်မှ အီလက်ထရွန်များထုတ်လွှတ်ကြောင်းတွေ့ရသည်။ ဤဖြစ်စဉ်ကို အပူတိုက်ထုတ်လွှတ်ခြင်း (thermionic emission) ဟုခေါ်ပါသည်။ ထိုသို့ထွက်ပေါ်လာသော အီလက်ထရွန်များကို စနစ်တကျထိန်းချုပ်ပေးပြီး အီလက်ထရွန်လျှပ်စီးကြောင်းအဖြစ် အကျိုးရှိအသုံးချနိုင်ပေသည်။ အီလက်ထရွန်ထုတ်ပေးသော လျှပ်ခေါင်း (electrode) ကို ကက်သုတ် (cathode) ဟုခေါ်ပြီး အီလက်ထရွန်များကို စုစည်းဆွဲယူသော လျှပ်ခေါင်းကို အဲနုဒ်(anode) ဟုခေါ်ပါသည်။

# အခန်း(၃) ရီစစ္စတာ (Resistor)

## ၁-၁-၁) ဒီဇိုင်း

ရီစစ္စတာသည် အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများတွင် အသုံးအများဆုံးဖြစ်သော အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်ပစ္စည်းတစ်ခု ဖြစ်ပါသည်။ ယင်း၏အဓိကလုပ်ငန်းစဉ်မှာ ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွင်း စီးဆင်းနေသော လျှပ်စီးကြောင်းကို အလိုရှိသလို လျှော့ချရန်နှင့် ပတ်လမ်းတစ်ခုခုတွင် အလိုရှိသောဖို့အား V ကို ရရှိအောင် ဆောင်ရွက်ပေးခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ရီစစ္စတာတစ်ခုကို ထုတ်လုပ်သည့်အခါ သတ်မှတ်ထားသော ခုခံမှု (resistance) တန်ဖိုး R ရရှိအောင် ထုတ်လုပ်ကြရပါသည်။ ရီစစ္စတာ၏ မျက်မြင်အရွယ်အစားသည် ပါဝါပေးသတ်မှတ်ချက်ပမာဏ (power rating) အပေါ်မူတည်နေပါသည်။ သို့သော်လည်း ရီစစ္စတာ၏ မျက်မြင်အရွယ်အစားသည် ခုခံမှု တန်ဖိုးအပေါ်မူတည်ခြင်းမရှိပေ။ ရီစစ္စတာများကို စံခုခံမှု တန်ဖိုးအမျိုးမျိုးနှင့် ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက် အမျိုးမျိုးတို့ကို ခွဲခြားပြီး ထုတ်လုပ်လေ့ရှိကြပါသည်။

ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အုမ်း ohm ( $\Omega$ ) ဟုခေါ်သော ယူနစ်ဖြစ်တိုင်းတာပါသည်။ ရီစစ္စတာ၏ပတ်လမ်းသင်္ကေတကို အောက်ပါပုံ(၃-၁)အတိုင်း ပုံစံနှစ်မျိုးဖြင့်ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။

### Version 1



Fixed



Variable



Pre-set resistor

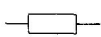


Pre-set  
potentiometer

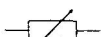


Potentiometer

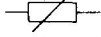
### Version 2



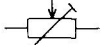
Fixed



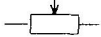
Variable



Pre-set resistor



Pre-set  
Potentiometer



Potentiometer

## ပုံ(၃-၁) ရီစစ္စတာ သင်္ကေတပုံများ

ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် ကိန်းသေတန်ဖိုး (fixed value) သို့မဟုတ် ပြောင်းလဲနိုင်သော (adjustable value) ဖြစ်နိုင်ပါသည်။ ကိန်းသေခုခံမှုတန်ဖိုးဆောင်သော ရီစစ္စတာများ၏ ကိုယ်ထည်

ပေါ်တွင် အရောင်အရစ်များ(၄)ရောင် သို့မဟုတ် (၅)ရောင်ခွဲခြားပြီး ယင်းတို့၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကို သတ်မှတ်ပေးလေ့ရှိပါသည်။ အရောင်အရစ်များဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံကို နောက်ပိုင်းတွင် သီးခြား ဖော်ပြပါမည်။ တစ်ခါတစ်ရံတန်ဖိုးကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကို ရီစစ္စတာများ၏ ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် ပုံနှိပ်ထားလေ့ရှိပါသည်။

ထူးခြားချက်မှာ ရီစစ္စတာများသည် အေစီပတ်လမ်း နှင့် ဒီစီပတ်လမ်းနှစ်ခုစလုံးတို့တွင် လုပ်ဆောင်ချက် အတူတူပင်ဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပေသည်။

**၃-၂။ ရီစစ္စတာအမျိုးအစားများ (Types of Resistors)**

ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ အဓိကအရည်အချင်းနှစ်ခုမှာ ohm(Ω) ဖြင့်ဖော်ပြသောခုခံမှုတန်ဖိုး R နှင့် watt ဖြင့်ဖော်ပြသော ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက် W တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

ခုခံမှုတန်ဖိုးများသည် 0.01Ω, 10Ω, 100Ω, 1kilo ohm(kΩ), 1Mega ohm(MΩ) စသည်ဖြင့် အငယ်ဆုံး ဒဿမကိန်း မှ အကြီးဆုံး သန်းကိန်းအထိ ရှိနိုင်ပါသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက်သည် အငယ်ဆုံး 1/10 W မှ အကြီးဆုံး ရာဂဏန်း hundred watts အထိ ရှိနိုင်ပါသည်။

ရီစစ္စတာ၏ခုခံမှုတန်ဖိုး R ကို မှန်ကန်စွာရွေးချယ်အသုံးပြုသည့်အခါ လိုအပ်သော လျှပ်စီးကြောင်း I နှင့် ဗို့အား V တို့ကို ရရှိနိုင်မည် ဖြစ်ပါသည်။ ထိုသို့ရွေးချယ်သည့်အခါ ရီစစ္စတာ၏ပါဝါခံနိုင်မှု သတ်မှတ်ချက် W ကိုပါ ထည့်သွင်း စဉ်းစားရပေလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ထိုတန်ဖိုးသည် ရီစစ္စတာတစ်လုံးအတွက် အပူထပ်တိုးခြင်းမရှိဘဲ အများဆုံး ပါဝါဆုံးရှုံးမှုကိုခံနိုင်သော တန်ဖိုးဖြစ်သောကြောင့်ပင် ဖြစ်ပါသည်။ ရီစစ္စတာများတွင်ခုခံမှုတန်ဖိုးတူသော်လည်း ပါဝါခံနိုင်မှုမတူညီကြကြောင်းသတိပြုရပေမည်။ ထို့ကြောင့် မိမိအသုံးပြုမည့် ရီစစ္စတာသည် ပါဝါခံနိုင်မှုနှင့် ကိုက်ညီခြင်း ရှိမရှိ သတိပြုရပေမည်။

ရီစစ္စတာများကို အမျိုးအစားခွဲခြားသော် အောက်ပါအတိုင်းရှိနေကြကြောင်းတွေ့ရပေမည်။

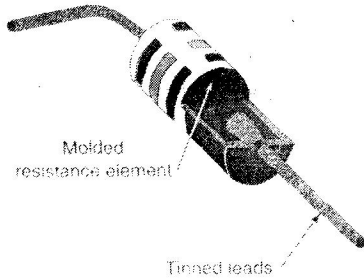
- ၁. ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာ (Carbon-Composition Resistor)
- ၂. ကာဘွန်-ဖလင် ရီစစ္စတာ (Carbon-Film Resistor)
- ၃. မယ်တယ်-ဖလင် ရီစစ္စတာ (Metal-Film Resistor)
- ၄. ဆားဖေစ်-မောင် ရီစစ္စတာ(သို့)ချစ်ပ်ရီစစ္စတာ (Surface-Mount Resistor or Chip Resistor)
- ၅. ဝါယာ-ဝူန်ဒ် ရီစစ္စတာ (Wire-Wound Resistor)
- ၆. ဖြစ် ရီစစ္စတာ (Fusible Resistor)

**၃-၂-၁။ ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာ (Carbon-Composition Resistor)**

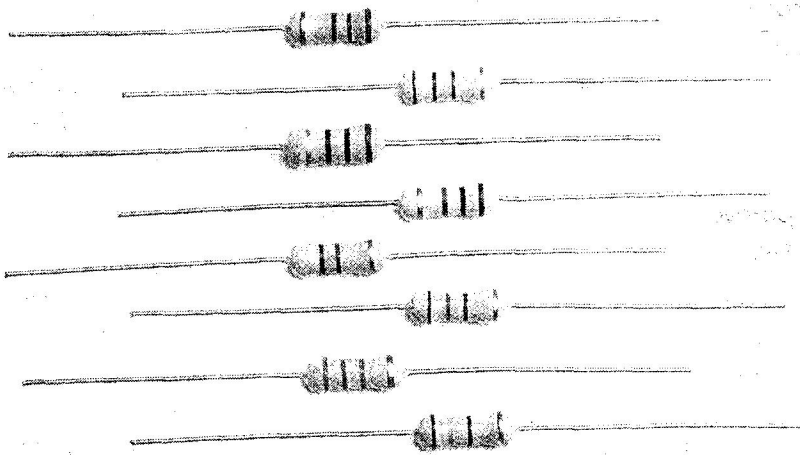
လျှပ်ကာမှုန်များကို တွယ်ကပ်ပစ္စည်း (binder) အဖြစ်အသုံးပြုကာ ယင်းတွင် ကာဘွန်မှုန်သို့မဟုတ် ဂရက်ဖိုက်မှုန်များကို အချိုးကျကျ ပေါင်းစပ်ရောနှောပြီးနောက် အလိုရှိသော ခုခံမှုတန်ဖိုး R ရရှိအောင် ပုံသွင်းဖော်ထုတ်ခြင်းဖြင့် ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာများကို ရရှိလာပါသည်။

ပုံ(၃-၂)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ကာဘွန်မှုန်နှင့် တွယ်ကပ်ပစ္စည်းတို့ ရောနှောပြီး ပုံသွင်းထားသောခုခံမှုပစ္စည်းကို ခိုင်ခန့်စေရန်နှင့် ထိခိုက်ပျက်စီးမှု မဖြစ်ရအောင် အပေါ်မှ ပလပ်စတစ်အခွံဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားပါသည်။ ထိုနောက် အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ခဲကြွေးထားသော ကြေးနီချောင်းများနှင့်ဆက်ထားသော သတ္တုအဖုံး (metal caps) များဖြင့် စွပ်ထားသဖြင့် ပတ်လမ်းတွင် ဂဟေဆော်၍ဆက်သွယ် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာများသည် ခုခံမှုတန်ဖိုးအမျိုးအမျိုးရှိကြပါသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် 10Ω, 220Ω, 4.7kΩ, 68kΩ စသည်ဖြင့် 1Ωမှ 20MΩ အထိ ရှိနိုင်ပါသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှု သတ်မှတ်ချက်မှာလည်း ယေဘုယျအားဖြင့် 1/10, 1/8, 1/4, 1/2, 1 or 2 W တို့ဖြစ်ကြပါသည်။





ပုံ(၃-၂) ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာတစ်ခု တည်ဆောက်ထားပုံ

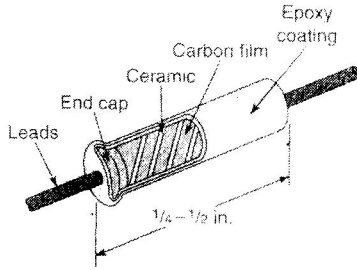


ပုံ(၃-၃) ပတ်လမ်းများတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသော ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာများပုံ

၃-၂-၂။ ကာဘွန်-ဖလင် ရီစစ္စတာ (Carbon-Film Resistor)

ပုံ(၃-၄)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ကြွေကဲ့သို့သော အင်ဆူလေတာ ပစ္စည်းအောက်ခံပေါ်တွင် ကာဘွန်ဖလင် အလွှာပါးကို deposit ဖြစ်စေပြီး ဖလင်ပြားကို စပရင်အခွေပုံသဏ္ဍာန် အရစ်လိုက်ဖြစ်အောင် ခုံနှိပ်ထားပါသည်။ ကာဘွန်နှင့် အင်ဆူလေတာတို့ပါဝင်မှုအချိုးကို ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးကို လိုအပ်သည့် ဆိန်းချုပ်နိုင်ပါသည်။ ထိုနောက် ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် အိပေါ့စီ (Epoxy) ကဲ့သို့သော ပေါ်လီမာကော်ဇင်းကို ဖုံးအုပ်ထားပါသည်။

ကာဘွန်-ဖလင် ရီစစ္စတာသည် ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာ ထက်စာလျှင် လွှဲမှားမှုရာခိုင်နှုန်း နည်းပါးခြင်း၊ အပူချိန်ပြောင်းလဲသဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းလဲမှုနည်းပါးခြင်း၊ ကြာရှည်ခံနိုင်ခြင်း၊ ကိုယ်ထည်အ ကျွမ်းဝင် ဆူညံသံထွက်ပေါ်မှုနည်းပါးခြင်း စသည့်အားသာချက်ချက်များ ရှိပါသည်။



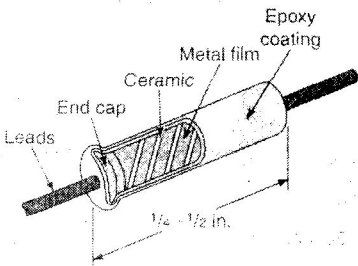
ပုံ(၃-၄) ကာဘွန်-ဖလင် ရီစစ္စတာတစ်ခု တည်ဆောက်ထားပုံ

၃-၂-၃။ မယ်တယ်-ဖလင် ရီစစ္စတာ (Metal-Film Resistor)

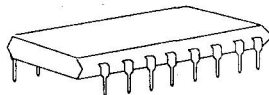
မယ်တယ်-ဖလင် ရီစစ္စတာ တည်ဆောက်ပုံသည် ကာဘွန်-ဖလင် ရီစစ္စတာ တည်ဆောက်ပုံနှင့်ဆင်တူပါသည်။ ကြွေကဲ့သို့သော အင်ဆူလေတာ ပစ္စည်းအောက်ခံပေါ်တွင် သံဖြူအောက်ဆိုက် (tin oxide) မယ်တယ်ဖလင်အလွှာပါးကို deposit ဖြစ်စေပြီး ဖလင်ပြားကို စပရင်အခွေပုံသဏ္ဍာန် အရစ်လိုက်ဖြစ်အောင် ဖန်တီးထားပါသည်။ သတ္တုဖလင်၏ အလျား၊ အထူ နှင့် ဗျက်အကျယ် တို့ဖြင့် တိကျသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကို သတ်မှတ် ရယူနိုင်ပါသည်။ မယ်တယ်-ဖလင် ရီစစ္စတာများသည် အပူချိန်၊ စိုထိုင်းမှု (humidity) တို့နှင့်လိုက်၍ ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းလဲမှု အလွန်နည်းပါးကြပါသည်။ ကြာရှည်လည်းခံကြပါသည်။ ထို့အပြင် ကိုယ်ထည်အတွင်းမှ ဆူညံသံထုတ်လွှတ်မှုလည်း အလွန်နည်းပါးကြပါသည်။

ပုံ(၃-၅)တွင်မယ်တယ်ဖလင်ရီစစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုးတို့ကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(၃-၅-ခ)ကဲ့သို့ သီးခြားတည်ရှိနေသော (Dual-in-Line, DIL) အိုင်စီအသွင်ဖြင့် လည်းကောင်း၊ ပုံ(၃-၅-ဂ)ကဲ့သို့ ဘုံငုတ်တစ်ခုပါရှိနေသော (Single-in-Line, SIL) အိုင်စီ အသွင်ဖြင့်လည်းကောင်း၊ စုစည်းတည်ဆောက် ထားပါသေးသည်။

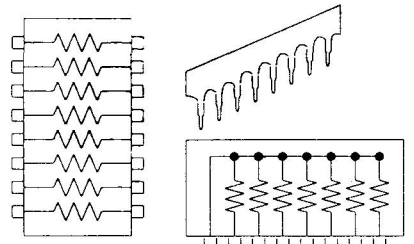
ယေဘုယျလုပ်ဆောင်မှုအရ နှိုင်းယှဉ်တင်ပြရလျှင် မယ်တယ်-ဖလင် ရီစစ္စတာများသည် အရည်အချင်းအကောင်းဆုံးဖြစ်ကြသည်။ ကာဘွန်-ဖလင် ရီစစ္စတာသည် ဒုတိယအကောင်းဆုံးဖြစ်ပြီး ကာဘွန်-ကွန်ပိုဇေးရှင်း ရီစစ္စတာသည် တတိယအကောင်းဆုံးဖြစ်ပါသည်။



(က) Metal film resistor



(ခ) DIL package

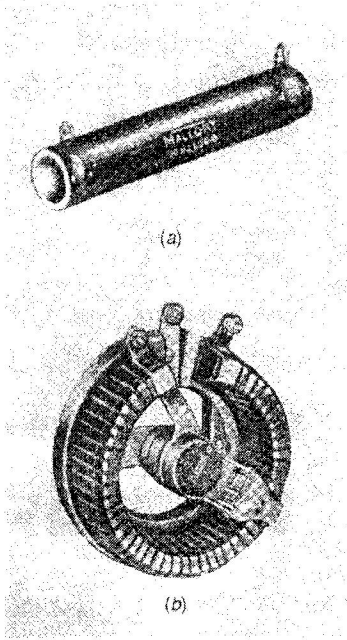


(ဂ) SIL package

ပုံ(၃-၅) မယ်တယ်-ဖလင် ရီစစ္စတာ တည်ဆောက်မှုပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုးပုံ

၃-၂-၄။ ဝါယာ-ပူးနံဒ် ရီစစ္စတာ (Wire-Wound Resistor)

တန်စတင် (tungsten)၊ မဂ္ဂနင် (manganin) ကဲ့သို့သော ခုခံမှုရှိသော ဝါယာကြိုးကို ကြော့၊ ဘီလပ်  
ကြော့၊ စက္ကူကပ်ထူပြားစသည့် လျှပ်ကာပစ္စည်းတစ်ခုခု အပေါ်တွင် ပုံ (၃-၆) တွင်ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ ရစ်ပတ်  
ထားပြီးလိုက်မည်ဆိုပါက ပါဝါများများခံနိုင်သော စပယ်ရှယ် ရီစစ္စတာများဖြစ်လာပါသည်။ ဝါယာကြိုး၏  
လျှားနှင့် ယင်း၏ ခုခံသတ္တိ (specific resistivity) ပေါ်မူတည်၍ ခုခံမှုတန်ဖိုးအမျိုးမျိုးကို ရယူနိုင်ပါသည်။



ပုံ(၃-၆) ဝါယာ-ပူးနံဒ် ရီစစ္စတာ တည်ဆောက်ထားပုံ

ပုံ(၃-၆က)တွင် ကြော့ချောင်းပေါ်တွင် ဝါယာကိုရစ်ပတ်ပြီးနောက် အပေါ်မှ ကြော့ရည်လောင်းထားသော  
ပူးနံဒ်သေခုခံမှုတန်ဖိုးဆောင် ဝါယာ-ပူးနံဒ် ရီစစ္စတာ အမျိုးအစားကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(၃-၆ခ)တွင် ကြော့  
အောက်ခံပေါ်တွင် ဝါယာရစ်ပတ်ထားသော တန်ဖိုးပြောင်းလဲနိုင်သော ဝါယာ-ပူးနံဒ် ရီစစ္စတာ အမျိုးအစားကို  
ဖော်ပြထားပါသည်။

ဝါယာ-ပူးနံဒ် ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးမှာ 1Ω မှ 20kΩ ခန့်အထိရှိနိုင်ကြပြီး ပါဝါခံနိုင်မှုမှာ 5 W  
ထိ 100 W အထိရှိနိုင်ပါသည်။

၃-၂-၅။ ဆားဖေစ်-မောင် (သို့) ချစ်ပ် ရီစစ္စတာ (Surface-Mount or Chip Resistor)

ဆားဖေစ်-မောင် ရီစစ္စတာကို ချစ်ပ် ရီစစ္စတာ (Chip Resistor) ဟုလည်းခေါ်ပါသေးသည်။ ပရင့်  
ကတ်ဆားကစ်ပြားမျက်နှာပြင်ကို အပေါက်ဖောက်စရာမလိုဘဲ ဆားကစ်ပြားပေါ်ရှိ ဆက်သွယ်မှု ကြေးပြားလှိုင်း  
ပေါ်တွင် တိုက်ရိုက် ဂဟေဆော် တပ်ဆင်နိုင်သော နောက်ဆုံးပေါ် အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။ အောက်ခံ  
ပြားပေါ်တွင် ကာဘွန်ဖလင်ပြားကို ခပ်ထူထူအလွှာဖြစ်လာအောင် ဖုံးအုပ် (deposit) ထားပါသည်။

ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် ကာဘွန်ပါဝင်မှု ပမာဏ နှင့် deposit ပြုလုပ်မှု အချိန်အဆတို့ အပေါ်မူတည် နေပါသည်။ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အလွန်သေးငယ်သော ဒဿမကိန်းမှ အလွန်ကြီးမားသော သန်းကိန်းအထိရယူနိုင် ပါသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှုမှာ 1/8 W မှ 1/4W အထိရှိနိုင်ပါသည်။ ပုံ(၃-၇)တွင် ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများကို ခဲတန် တစ်ချောင်း၏ ထိပ်ဖျားနှင့် နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပါသည်။ ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများသည် သာမန် ရီစစ္စတာများ ထက်စာလျှင် လွန်စွာသေးငယ်ကြပါသည်။ 1/8 W ချစ်ပ် ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ အတိုင်းအတာ အရွယ်ပမာဏမှာ အရှည် 0.125 လက်မ၊ အကျယ် 0.063 လက်မ နှင့် အထူ 0.028 လက်မ အသီးသီး ရှိတတ်ကြပါသည်။ ယင်းတို့သည် အပူချိန်ပေါ်မူတည်၍ ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းလဲမှု အလွန်နည်းပါးကြသည့်အပြင် အကြမ်းလည်းခံကြ ပါသည်။ ယနေ့ခေတ်ပေါ် လူ့အသုံးအဆောင်ပစ္စည်းများဖြစ်ကြသော တယ်လီဖုန်း၊ ဂဏန်းပေါင်းစက်၊ ကွန်ပျူတာ စသည်တို့တွင် ယင်းတို့ကိုအများဆုံး အသုံးပြုလျက်ရှိနေကြပါသည်။



ပုံ(၃-၇) သေးငယ်သော ဆားဖေ့စ်-မောင်. (သို့) ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများပုံ

**၃-၂-၆။ ဖြစ်. ရီစစ္စတာ (Fusible Resistor)**

ဤအမျိုးအစား ရီစစ္စတာသည် တစ်နည်းအားဖြင့် ဝါယာ-ဝူးနဒ်အမျိုးအစားတစ်ခုဖြစ်ပါသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှု ကျော်လွန်သွားသောအခါ လွယ်ကူစွာ လောင်ကျွမ်းသွားနိုင်သဖြင့် ပတ်လမ်းကို ဖြတ်တောက် ပစ်လိုက်ပါသည်။ ထိုကြောင့်ယင်းတို့သည် လျှပ်စီးကြောင်းကို ကန့်သတ်ပေးသော ရီစစ္စတာကဲ့သို့ လည်း ကောင်း၊ ဖြစ်. အဖြစ်လည်းကောင်း၊ တာဝန်နှစ်ရပ်ကို ထမ်းဆောင်နိုင်ကြပါသည်။

**၃-၃။ ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အရောင်ဖြင့် သတ်မှတ်ခြင်း (Resistor Color Coding)**

ကာဘွန်ရီစစ္စတာများသည် အရွယ်အစားသေးငယ်ကြသဖြင့် ယင်းတို့၏တန်ဖိုးကို အရောင်အရစ်များ ဖြင့်သတ်မှတ်ဖော်ပြလေ့ရှိကြပါသည်။ အီလက်ထရွန်းနစ်စက်ရုံများဆိုင်ရာ အဖွဲ့အစည်း (Electronic Industrial Association, EIA) မှဆုံးဖြတ် သဘောတူညီချက်အရ အရောင်တန်ဖိုးကို အောက်ပါဇယား(၃-၁) အတိုင်း သတ်မှတ်ပါသည်။

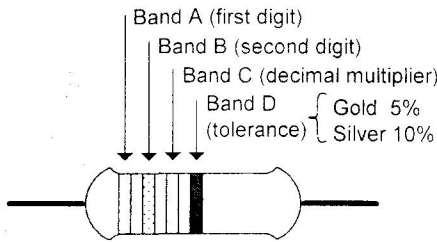


**ပုံ(၃-၁) အရောင်သတ်မှတ်ချက် (Color Code)**

Color (အရောင်)		Value (တန်ဖိုး)
Black (အမဲ)	မဲ	0
Brown (အညို)	ညို	1
Red (အနီ)	နီ	2
Orange (လိမ္မော်)	မော်	3
Yellow (အဝါ)	ဝါ	4
Green (အစိမ်း)	စိမ်း	5
Blue (အပြာ)	ပြာ	6
Violet (ခရမ်း)	ရမ်း	7
Grey (မီးခိုး)	ခိုး	8
White (အဖြူ)	ဖြူ	9

**၃-၃-၁။ အရောင်အရစ်(၄)ရစ်ဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးသတ်မှတ်ခြင်း (4 Band Color Coding)**

ကာဘွန်ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို သတ်မှတ်သောအခါ ပုံ(၃-၈)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း အရောင်အရစ်(၄)ရစ်ဖြင့် သတ်မှတ်ထားသည်ကို တွေ့မြင်ရပေမည်။



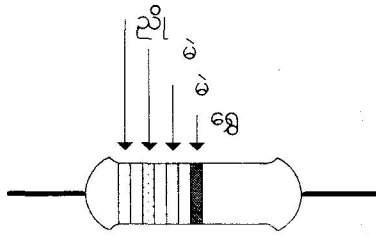
ပုံ(၃-၈) အရောင်အရစ်(၄)ရစ်ဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးဖတ်ပုံ

အရောင်အရစ်များကို ရီစစ္စတာ၏ကိုယ်ထည်တစ်ဖက်စွန်းတွင် ကပ်လျက်ချယ်ထားပါသည်။ ခုခံမှုတန်ဖိုးဖတ်သည့်အခါ ပုံ(၃-၈)တွင် ပြထားသည့်အနေအထားအတိုင်းထားပြီး ဘယ်ဖက်မှစတင်၍ ဖတ်ရပါမည်။

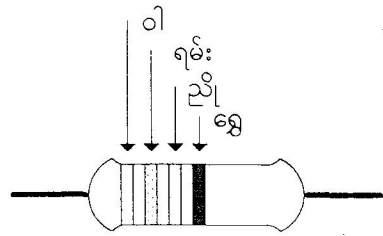
- ပထမအရစ်သည် ပထမဒစ်ဂျစ် (first digit)
- ဒုတိယအရစ်သည် ဒုတိယဒစ်ဂျစ် (second digit)
- တတိယအရစ်သည် ဆယ်လီမြောက်ဖော်ကိန်း (decimal multiplier) တနည်းအားဖြင့် သုညအရေအတွက်
- စတုတ္ထအရစ်သည် တန်ဖိုးအတိုး/အလျော့ (tolerance %)
- ပုံ(၃-၈)တွင် အသီးသီးကိုယ်စားပြုကြပါသည်။

ပုံ(၃-၉)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အညိုရောင်(1)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အမဲရောင်(0)၊ တတိယအရစ်သည် အမဲရောင်(10<sup>0</sup>=1)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြလျှင် ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

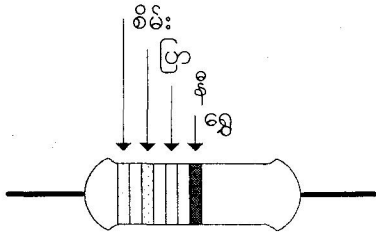
ညို ၀ ၀ x 1 ± 5% = 10 Ω ± 5% ဖြစ်ပါသည်။



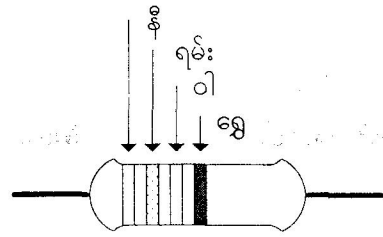
(က) R = 10Ω ± 5%



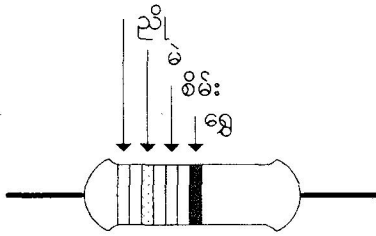
(ခ) R = 470Ω ± 5%



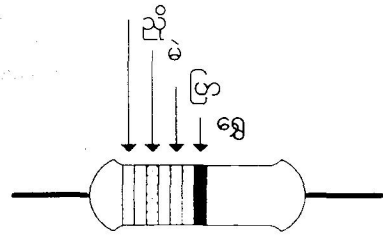
(ဂ) R = 5.6kΩ ± 5%



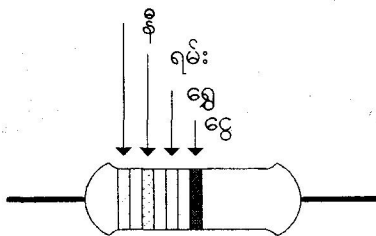
(ဃ) R = 270kΩ ± 5%



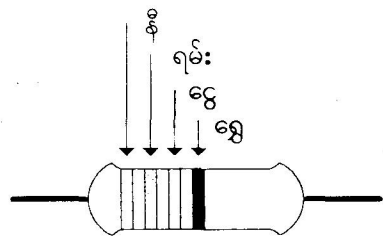
(င) R = 1MΩ ± 5%



(စ) R = 10MΩ ± 5%



(ဆ) R = 2.7Ω ± 10%



(ဇ) R = 0.27Ω ± 5%

ပုံ(၃-၉) ကာဘွန်ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အရောင်အရပ်များ (၄)ရပ်ဖြင့် သတ်မှတ်ပုံ

ပုံ(၃-၉-ခ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရပ်သည် အဝါရောင် (4)၊ ဒုတိယအရပ်သည် ခရမ်းရောင် (7)၊ တတိယအရပ်သည် အညိုရောင်(10<sup>1</sup>=10)၊ စတုတ္ထအရပ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြလျှင် ယင်း၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

$$7 \times 10 \pm 5\% = 470\Omega \pm 5\% \text{ ဖြစ်ပါသည်။}$$

ပုံ(၂-၈-ဂ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အစိမ်းရောင် (5)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အနီရောင် (6)၊ တတိယအရစ်သည် အနီရောင်(10<sup>2</sup>=100)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြပြီး ယင်း၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

$$6 \times 100 \pm 5\% = 5600\Omega \pm 5\% \text{ or } 5.6k\Omega \pm 5\% \text{ ဖြစ်ပါသည်။}$$

ပုံ(၂-၉-ဃ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အနီရောင် (2)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အနီရောင် (7)၊ တတိယအရစ်သည် အဝါရောင်(10<sup>4</sup>=10000)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြပြီး ယင်း၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

$$7 \times 10000 \pm 5\% = 270000\Omega \pm 5\% \text{ or } 270k\Omega \pm 5\% \text{ ဖြစ်ပါသည်။}$$

ပုံ(၂-၉-င)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အညိုရောင် (1)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အညိုရောင် (0)၊ တတိယအရစ်သည် အစိမ်းရောင်(10<sup>5</sup>=100000)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြလျှင် ယင်း၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

$$0 \times 100000 \pm 5\% = 1000000\Omega \pm 5\% \text{ or } 1M\Omega \pm 5\% \text{ ဖြစ်ပါသည်။}$$

ပုံ(၂-၉-စ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အညိုရောင် (1)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အညိုရောင် (0)၊ တတိယအရစ်သည် အပြာရောင်(10<sup>6</sup>=1000000)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြလျှင် ယင်း၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

$$0 \times 1000000 \pm 5\% = 10000000\Omega \pm 5\% \text{ or } 10M\Omega \pm 5\% \text{ ဖြစ်ပါသည်။}$$

**၃-၃-၂။ 10Ω အောက်ငယ်သော ခုခံမှုတန်ဖိုးဖတ်နည်း**

10Ωအောက်ငယ်သောခုခံမှုများ၏တန်ဖိုးကိုသတ်မှတ်သည့်အခါ တတိယအရစ်သည် ရွှေရောင် သို့မဟုတ် ငွေရောင်ဖြစ်နေတတ်ပါသည်။ တတိယအရစ်သည်ရွှေရောင်ဖြစ်လျှင် မြောက်ဖော်ကိန်းသည် 0.1 ဖြစ်ပြီး ငွေရောင်ဖြစ်လျှင် မြောက်ဖော်ကိန်းသည် 0.01 ဖြစ်ပါသည်။

ပုံ(၂-၉-ဆ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အနီရောင် (2)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အနီရောင် (7)၊ တတိယအရစ်သည် ရွှေရောင်(10<sup>-1</sup>=0.1)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ငွေရောင်(10%) အသီးသီးဖြစ်ကြသောကြောင့် ယင်း၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

နီ	ခရမ်း	ရွှေ	ငွေ	
2	7	x	0.1	10% = 2.7Ω ± 10% ဖြစ်ပါသည်။

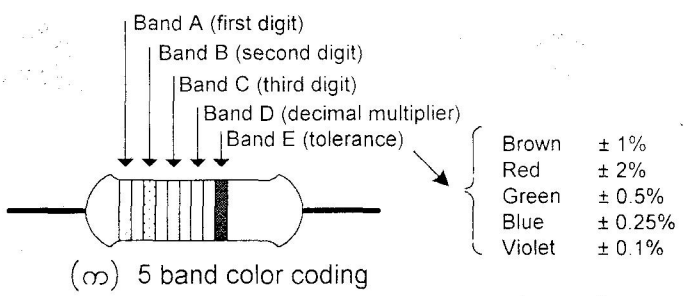
ပုံ(၃-၉-၈)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အနီရောင် (2)၊ ဒုတိယအရစ်သည် ခရမ်းရောင် (7)၊ တတိယအရစ်သည် ငွေရောင်(10<sup>-2</sup>=0.01)၊ စတုတ္ထအရစ်သည် ရွှေရောင်(5%) အသီးသီးဖြစ်ကြသောကြောင့် ယင်း၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

နီ	ခရမ်း	ငွေ	ရွှေ	
2	7	x	0.01	5% = 0.27Ω ± 5% ဖြစ်ပါသည်။

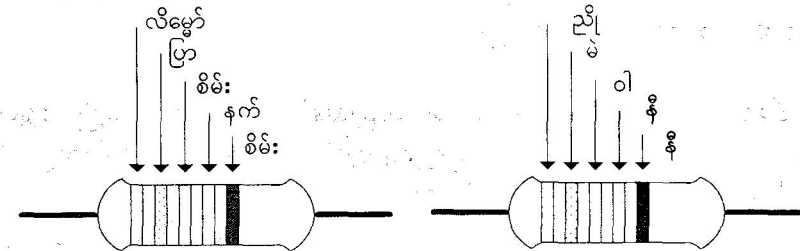
**၃-၃-၃။ ခုခံမှုတန်ဖိုး အတိုး/အလျော့တွက်နည်း (Resistor Tolerance)**

ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အရောင်အရစ်များဖြင့်ဖော်ပြသည့်အခါ ဖတ်ရတန်ဖိုးနှင့် အမှန်တကယ်ရှိမည့် တန်ဖိုးတို့ ကွာခြားနိုင်မှု အတိုး/အလျော့ကို ရာခိုင်နှုန်းဖြင့်ဖော်ပြကြောင်း အထက်တွင် ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်ပေသည်။ ဥပမာအားဖြင့် 2000Ω ခုခံမှုတန်ဖိုးရှိသော ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ အတိုး/အလျော့သည် ± 10% ရှိသည်ဟုဆိုခြင်းသည် ထိုရီစစ္စတာ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် 2000Ω ၏ 10% ဖြစ်သော 200Ω ၏ ပေါင်းလဒ် သို့မဟုတ် နှုတ်လဒ်ဖြစ်သော 2000Ω + 200Ω = 2200Ω (သို့) 2000Ω - 200Ω = 1800Ω တို့အကြားတွင် တစ်ခုခု ဖြစ်နိုင်သည်ဟု ဆိုလိုခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် အတိုး/အလျော့% ပမာဏနည်းလေလေ အရောင်ဖြင့်သတ်မှတ်ချက်တန်ဖိုးနှင့် အမှန်တကယ်တန်ဖိုးတို့ နီးစပ်လေလေ ဖြစ်ပေသည်။ မှတ်ချက်။ ။ စတုတ္ထအရစ်နေရာတွင် မည်သည့်အရောင်အရစ်မျှ မရှိလျှင် အတိုး/အလျော့သည် ±20%ဖြစ်သည် ဟုသတ်မှတ်ပါသည်။

**၃-၃-၄။ အရောင်အရစ်(၅)ရစ်ဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးဖတ်နည်း ( 5 Band Color Coding)**



(က) 5 band color coding



(ခ) R = 365 Ω ± 0.5%      (ဂ) R = 10.4k Ω ± 2%

ပုံ(၃-၁၀) ကာဘွန်ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အရောင်အရစ်(၅)ရစ်ဖြင့်သတ်မှတ်ပုံ



အလွန်တိကျသောခုခံမှုများ (precision resistors) ၏ တန်ဖိုးကိုသတ်မှတ်သည့်အခါ အရောင် အရစ်များကို(၄)ရစ်အစား(၅)ရစ်ကို အသုံးပြုလေ့ရှိကြပါသည်။ ပုံ(၃-၁၀)တွင်ကြည့်ပါ။ ဤစနစ်တွင် ပထမအရောင်(၃)ရစ်သည် ပထမဒစ်ဂျစ်သုံးခုကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ စတုတ္ထအရစ်သည် မြောက်ဖော်ကိန်းကို ကိုယ်စားပြုပြီး ပဉ္စမအရစ်သည် အတိုး/အလျော့ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ ပုံ(၃-၁၀-ခ)နှင့် ပုံ(၃-၁၀-ဂ)တို့တွင်ဖတ်နည်း ဥပမာများကို ဖော်ပြထားပါသည်။ အတိုး/အလျော့ကို ပဉ္စမအရစ်ဖြင့်ဖော်ပြသည့်အခါ အရောင်များ၏ % တန်ဖိုးကို ပုံ(၃-၁၀-က)တွင် ပူးတွဲဖော်ပြထားပါသည်။

ပုံ(၃-၁၀-ခ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် လိမ္မော်ရောင် (3)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အပြာရောင် (6)၊ တတိယအရစ်သည် အစိမ်းရောင်(5) စတုတ္ထအရစ်သည် အနက်ရောင်(10<sup>0</sup>=1)၊ ပဉ္စမအရစ်သည် အစိမ်းရောင်(0.5%) အသီးသီးဖြစ်ကြသောကြောင့် ယင်း၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

မော် 3    ပြာ 6    စိမ်း 5 x    နက် 1    စိမ်း 0.5%    = 365Ω ± 0.5%    ဖြစ်ပါသည်။

ပုံ(၃-၁၀-ဂ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပထမအရစ်သည် အညိုရောင် (1)၊ ဒုတိယအရစ်သည် အနီရောင် (0)၊ တတိယအရစ်သည် အဝါရောင်(4) စတုတ္ထအရစ်သည် အနီရောင်(10<sup>2</sup>=100)၊ ပဉ္စမအရစ်သည် အနီရောင်(2%) အသီးသီးဖြစ်ကြသောကြောင့် ယင်း၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရပေမည်။

ညို 1    မဲ 0    ဝါ 4 x    နီ 100    နီ 2%    = 10400Ω ± 2% or 10.4kΩ ± 2%    ဖြစ်ပါသည်။

**၄-၄။ ဝါယာ-ဝူးနိဒ်ရီစစ္စတာတွင် တန်ဖိုးသတ်မှတ်နည်း (Wire-Wound Resistor Marking)**

အများအားဖြင့် ဝါယာ-ဝူးနိဒ် ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် ယင်း၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုမှတ်သားဖော်ပြလောက်အောင် နေရာရှိတတ်ပါသည်။ အတိုး/အလျော့ပမာဏမှာလည်း ± 5% သို့မဟုတ် တိကျသည့် တန်ဖိုးအတွက် ± 1% အောက် လျော့နည်းတတ်ကြပါသည်။

အချို့အလွန်သေးငယ်သော ဝါယာ-ဝူးနိဒ် ရီစစ္စတာတွင် ကာဘွန်ရီစစ္စတာများကဲ့သို့ အရောင်အရစ်များ ဖော်ပြလည်း တန်ဖိုးကိုသတ်မှတ်လေ့ရှိပါသည်။ ထိုအခါမျိုးတွင် ပထမအရစ်သည် ကျန်အရစ်များထက်နှစ်ဆ ပိုကျယ်လေ့ရှိပါသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှုမှာ 3 W သို့မဟုတ် 4W အထိရှိနိုင်ပါသည်။

**၃-၅။ အသုံးပြုလေ့ရှိသော ရီစစ္စတာ တန်ဖိုးများ (Preferred Resistor Values)**

ရီစစ္စတာထုတ်လုပ်သူများအနေနှင့် တန်ဖိုးများကိုသတ်မှတ်သည့်အခါ သတ်မှတ်ချင်တိုင်း သတ်မှတ်၍ ဖော်ပြနိုင်ချေ။ အသင့်တော်ဆုံးနည်းတစ်ခုမှာ ပထမရီစစ္စတာတန်ဖိုး၏ အတိုး/အလျော့ဆုံးဖြစ်သည့် တန်ဖိုးသည် သက်ရှိစစ္စတာတန်ဖိုး၏ အလျော့အနည်းဆုံးဖြစ်သည့်တန်ဖိုးနှင့်တူညီနိုင်လျှင် အကောင်းဆုံးဖြစ်ပေသည်။

100Ω ± 10% ရီစစ္စတာကို ထုတ်လုပ်ပြီးသောအခါ 105Ω ± 10% ကို ထပ်မံထုတ်လုပ်ရန် နှိုးဆော်ကြောင်း ဖော်ပြထားပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် 105Ω သည် 100Ω ± 10% ၏ အတိုး/အလျော့ တန်ဖိုးခွင်အတွင်း၌ ရှိနေသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။ ထိုကြောင့် 100Ω ပြီးလျှင် နောက်ထပ် ထုတ်လုပ်သင့်သော ရီစစ္စတာတန်ဖိုးသည် 120Ω ± 10% ဖြစ်သင့်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် 100Ω ± 10% ရီစစ္စတာတန်ဖိုး၏ အတိုး/အလျော့ဆုံးတန်ဖိုးသည် 100+(100/10) = 110Ω ဖြစ်ပြီး 120Ω ± 10% ရီစစ္စတာတန်ဖိုး၏ အလျော့အနည်းဆုံးတန်ဖိုးသည် 120-(120/10) = 108Ω ဖြစ်သောကြောင့်ပင်ဖြစ်ပါသည်။ ထိုကြောင့် ရီစစ္စတာများကို ထုတ်လုပ်သည့်အခါ ကြုံတွေ့ရသော အခက်အခဲကို နည်းနိုင်သမျှနည်းစေရန်နှင့်

အသုံးပြုရသည်မှာလည်း အဆင်ပြေ လွယ်ကူစေရန်အလို့ငှါ ထုတ်လုပ်သူများ သဘောတူစွာဖြင့် ရီစစ္စတာ တန်ဖိုးများကို အောက်ပါအတိုင်းသတ်မှတ်ထားကြပါသည်။ (ဝါယာ-ဂူးနိန် ရီစစ္စတာများသည် ချွင်းချက်ဖြစ် ပါသည်။)

**E12 Series** (Preferred values for  $\pm 10\%$  tolerance)

ဤ E12 Series တွင် တန်ဖိုး (၁၂)မျိုးပါဝင်ပါသည်။ ယင်းတို့မှာ 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ ထိုကိန်းများသည် ပထမအရစ်နှင့် ဒုတိယအရစ်တို့ဖြင့်သတ်မှတ်မည့် တန်ဖိုးများဖြစ်ကြပါသည်။ တတိယအရစ်က ထပ်ပေါင်းထည့်ရမည့်သည့်အရေအတွက်ကို ဖော်ပြပါမည်။

**E24 Series** (Preferred values for  $\pm 5\%$  tolerance)

ဤ E24 Series တွင် တန်ဖိုး (၂၄)မျိုးပါဝင်ပါသည်။ ယင်းတို့မှာ E12 Series တွင်ပါဝင်သော တန်ဖိုး (၁၂)မျိုးအပြင် နောက်ထပ်(၁၂)မျိုးထပ်တိုးပြီး စုစုပေါင်း (၂၄)မျိုးပါဝင်ပါသည်။ ထပ်တိုးလာသော တန်ဖိုးများမှာ 11, 13, 16, 20, 24, 30, 36, 43, 51, 62, 75, 91 တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

အောက်ပါဇယား(၃-၂)တွင်  $\pm 20\%$  tolerance,  $\pm 10\%$  tolerance,  $\pm 5\%$  tolerance တို့နှင့်ပတ်သက်၍ အသုံးပြုလေ့ရှိသော ရီစစ္စတာတန်ဖိုးကို စုစည်း၍ဖော်ပြထားပါသည်။

ဇယား(၃-၂) PREFERRED VALUES FOR RESISTORS

TOLERANCE			TOLERANCE		
20%	10%	5%	20%	10%	5%
10	10	10	33	33	33
		11			36
	12	12		39	39
		13			43
15	15	15	47	47	47
		16			51
	18	18		56	56
		20			62
22	22	22	68	68	68
		24			75
	27	27		82	82
		30			91

**၃-၆။ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို ဗြိတိသျှစ်စနစ် BS 1852 ဖြင့်သတ်မှတ်ခြင်း (British Standard BS 1852 Code)**

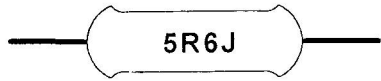
ဤစနစ်သည် ရီစစ္စတာ၏ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် အရောင်အရစ်များအစား အင်္ဂလိပ်စာလုံးများနှင့် ဒစ်ဂျစ် ဂဏန်းများဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးကို ရေးသားပြီး ဖော်ပြခြင်းဖြစ်ပါသည်။ အထူးသဖြင့် အီလက်ထရွန်းနစ် ဆားကစ် ပုံများတွင် ရီစစ္စတာပုံများရေးဆွဲပြီး ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးများကို ဖော်ပြလိုသည့်အခါ ဤစနစ် ကိုအသုံး ပြုလေ့ရှိပါသည်။ ကိန်းသေခုခံမှုတန်ဖိုးနှင့် ပြောင်းလဲနိုင်သောခုခံမှုတန်ဖိုး နှစ်မျိုးစလုံးအတွက် ဤနည်းကို အသုံးပြုပါနိုင်သည်။ BS 1852 Code ဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးများကို ဖော်ပြထားပုံကို အောက်ပါဥပမာ များတွင် ဦးစွာလေ့လာကြည့်ပါ။

5R6J =  $5.6\Omega \pm 5\%$  ; 2K2K =  $2.2k\Omega \pm 10\%$   
 47KK =  $47k\Omega \pm 10\%$  ; 2M2G =  $2.2M\Omega \pm 2\%$

ဤစနစ်တွင် အင်္ဂလိပ်စာလုံးများ R, K နှင့် M တို့သည် ခုခံမှုတန်ဖိုးဖော်ပြချက်၏ ပထမစာလုံးနေရာများတွင် တည်ရှိနေကြလျှင် ယင်းတို့သည် မြှောက်ကိန်းများဖြစ်ကြပြီး ယင်းစာလုံးများတည်ရှိသောနေရာသည် ဒဿမ အစက်နေရာလည်းဖြစ်ပါသည်။ R, K နှင့် M တို့တွင် R သည် မြှောက်ဖော်ကိန်း 1 ဖြစ်ပြီး၊ K သည် မြှောက်ဖော်ကိန်း 1000 ဖြစ်ကာ M သည် မြှောက်ဖော်ကိန်း 1 000 000 ဖြစ်ပါသည်။ ခုခံမှုတန်ဖိုးဖော်ပြချက်၏ ဒုတိယစာလုံးများဖြစ်ကြသော F, G, H, J, K နှင့် M တို့သည် တန်ဖိုးအတိုး/အလျော့%ကို ဖော်ပြပါသည်။ ထိုအတိုးအလျော့တန်ဖိုးများကိုဖော်ပြသော စာလုံးများနှင့်ပတ်သက်၍ အောက်ပါအတိုင်းသတ်မှတ်ပါသည်။

F = 1%; G = 2%; H = 2.5%; J = 5%; K = 10%; M = 20%

အောက်ပါပုံ(၃-၁၁)တွင် BS 1852 စနစ်ဖြင့် ရီစစ္စတာ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးဖော်ပြချက်ကိုကြည့်ပါ။



ပုံ(၃-၁၁) BS 1852 စနစ်ဖြင့် ရီစစ္စတာ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးဖော်ပြပုံ အထက်တွင် ဖော်ပြခဲ့သောပထမဥပမာ 5R6J = 5.6Ω ± 5% ကိုပြန်လည် လေ့လာကြည့်ကြပါစို့။

5	R	6	J
1 <sup>st</sup> digit	decimal point and x1 factor	2 <sup>nd</sup> digit	tolerance 5%

ဤဥပမာတွင် R သည် ပထမစာလုံးဖြစ်သောကြောင့် မြှောက်ဖော်ကိန်း x1 ဖြစ်သည်။ ယင်းသည် ဒဿမအစက် နေရာတွင်လည်း တည်ရှိနေသည်။ ဒုတိယစာလုံး J သည် အတိုးအလျော့ 5% ကိုဖော်ပြသည်။ ထို့ကြောင့် 5R6J သည် 5.6Ω ± 5% နှင့် တူညီနေပါသည်။

ဒုတိယဥပမာတွင် K သည် ပထမစာလုံးဖြစ်သောကြောင့် မြှောက်ဖော်ကိန်း x1000 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဒဿမအစက် နေရာတွင်လည်း တည်ရှိနေသည်။ တစ်ဖန် ဒုတိယစာလုံး K သည် အတိုးအလျော့ 10% ကိုဖော်ပြသည်။ ထို့ကြောင့် 2K2K သည် 2.2kΩ ± 10% နှင့် တူညီနေပါသည်။

တတိယဥပမာတွင် K သည် ပထမစာလုံးဖြစ်သောကြောင့် မြှောက်ဖော်ကိန်း x1000 ဖြစ်သည်။ ဒဿမအစက် နေရာတွင်လည်း တည်ရှိနေသည်။ တစ်ဖန် ဒုတိယစာလုံး K သည် အတိုးအလျော့ 10% ကိုဖော်ပြသည်။ ထို့ကြောင့် 47KK သည် 47kΩ ± 10% နှင့် တူညီနေပါသည်။

အလားတူပင်စတုတ္ထဥပမာတွင် M သည် ပထမစာလုံးဖြစ်သောကြောင့် မြှောက်ဖော်ကိန်း x1000000 ဖြစ်သည်။ ယင်းသည် ဒဿမအစက် နေရာတွင်လည်း တည်ရှိနေသည်။ တစ်ဖန် ဒုတိယစာလုံး G သည် အလျော့ 2% ကိုဖော်ပြသည်။ ထို့ကြောင့် 2M2G သည် 2.2MΩ ± 2% နှင့် တူညီနေပါသည်။

အောက်ပါပုံတွင်များကို လေ့လာကြည့်ပါ။

ပုံ(၃-၁၁)။ အောက်ပါ BS 1852 Code ဖြင့် ရေးသားထားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးများကိုရှာပါ။

- (i) 1M2F
- (ii) 150RM
- (iii) 1K2J
- (iv) 68KK

(v) R47G

အဖြေ။ ။ (i)  $1.2M\Omega \pm 1\%$  ; (ii)  $150\Omega \pm 20\%$  ; (iii)  $1.2k\Omega \pm 5\%$  ; (iv)  $68k\Omega \pm 10\%$  ; (v)  $0.47\Omega \pm 2\%$

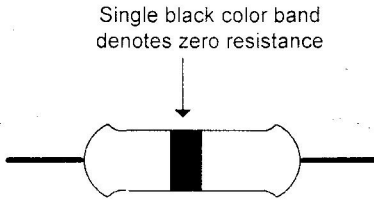
ပုံစံတွက်(၂)။ ။ အောက်ပါခုခံမှုတန်ဖိုးများကို BS 1852 Code ဖြင့် ရေးသားပြပါ။

- (i)  $330k\Omega \pm 10\%$
- (ii)  $47\Omega \pm 5\%$
- (iii)  $1.2k\Omega \pm 2\%$
- (iv)  $240\Omega \pm 2.5\%$

အဖြေ။ ။ (i) 330RK ; (ii) 47RJ ; (iii) 1K2G ; (iv) 240RH

**၃-၇။ သုည-အုမ်း ရီစစ္စတာ (Zero-Ohm Resistor)**

ခုခံမှု သုညအုမ်း တန်ဖိုးရှိသော ရီစစ္စတာ ဟုပြောဆိုလျှင် ရီစရာဖြစ်နေပေလိမ့်မည်။ သို့သော် မယုံမရှိကြပါနှင့်။ ဤရီစစ္စတာမျိုးသည် လက်တွေ့တွင် အမှန်တကယ်ပင် ရှိနေပါသည်။ ယခုခေတ်တွင် ပုံနှိပ်ထားကပ်ပြားများ (printed circuit boards) တွင် ရီစစ္စတာ၊ ထရန်စစ္စတာ၊ ကပယ်စီတာစသည့် အီလက်ထရွန်းနစ် အစိတ်အပိုင်းများကို တပ်ဆင်ရာတွင် မြန်ဆန်မှု၊ တိကျမှု၊ ရှိစေရန်အတွက် လူဖြင့်မလုပ်တော့ဘဲ အလိုအလျောက်တပ်ဆင်နိုင်သော စက်ရုပ် (robot) များဖြင့်သာ ပြုလုပ်လေ့ရှိကြပေသည်။ ထိုသို့ပြုလုပ်သည့်အခါ ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် အမှတ်နှစ်နေရာကို ဖြတ်လမ်းတို (short-circuit) ပြုလုပ်လိုသောအခါ ယခင်က လူဖြင့်တပ်ဆင်သည့် အခါကဆိုလျှင် ဂျမ်ပါ (jumper) ဟုခေါ်သော ဝါယာကြိုးငယ်ကလေးတစ်ချောင်းဖြင့် ဆက်ပေးလိုက်ရပါသည်။ စက်ရုပ်များအနေဖြင့် ရီစစ္စတာကဲ့သို့သော အစိတ်အပိုင်းမျိုးကိုသာ ကိုင်တွယ်တပ်ဆင်ပေးသည့်အခါလွယ်ကူနိုင်ပြီး သေးငယ်လှသော ဝါယာကြိုးဂျမ်ပါများကို ကိုင်တွယ်ရန် အခက်အခဲရှိနေသဖြင့် စက်ရုပ်များအတွက် ဂျမ်ပါဝါယာနေရာတွင် သုည-အုမ်း ရီစစ္စတာများကို အစားထိုးအသုံးပြုနိုင်ရန်အတွက် တီထွင်ထားခြင်း ဖြစ်ပေတော့သည်။



ပုံ(၃-၁၂) သုည-အုမ်း ရီစစ္စတာတစ်ခု

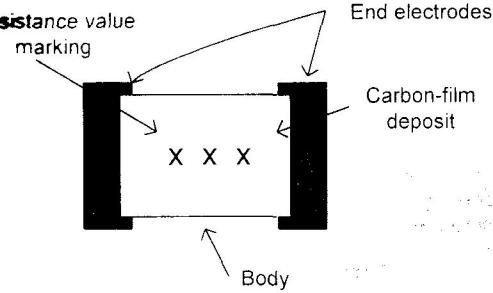
အထက်ပါပုံ(၃-၁၂)တွင် သုည-အုမ်း ရီစစ္စတာတစ်ခုကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် ရီစစ္စတာ၏ ကိုယ်ထည်အလယ်ဗဟိုပတ်လည်တွင် အမဲအစင်းပြားတစ်ခုချယ်ထားကြောင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။

ယခုခေတ်ပေါ် အဆင့်မြင့်အီလက်ထရွန်းနစ် ပုံနှိပ်ပတ်လမ်းတစ်ခုကို ဒီဇိုင်းရေးဆွဲပြီးနောက် ဆက်သွယ်မှုများကို ပြင်ဆင်ရန်လိုအပ်လာသည့်အခါ ဤသုည-အုမ်းရီစစ္စတာများသည် အလွန်အသုံးဝင်ကြကြောင်း တွေ့ရှိရပေသည်။

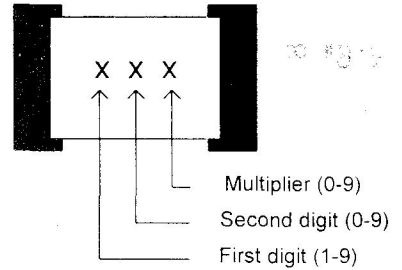
သုည-အုမ်း ရီစစ္စတာများကို 1/8 or 1/4W အရွယ်အစားများအဖြစ် တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ အတိအကျပြောမည်ဆိုလျှင် 1/8W အရွယ် ရီစစ္စတာ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးသည်  $0.004\Omega$  ခန့်ရှိပြီး၊ 1/4W အရွယ် ရီစစ္စတာ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးသည်  $0.003\Omega$  နီးပါးခန့်ရှိပါသည်။

**ဆားဖေ့စ်-မောင် (သို့) ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများ၏ တန်ဖိုးသတ်မှတ်နည်း (Surface-Mount or Chip Resistor Color Coding)**

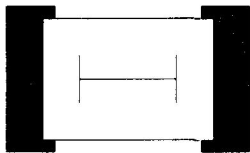
ဆားဖေ့စ်-မောင် ရီစစ္စတာ သို့မဟုတ် ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ ကိုဆက်လက် ဖြေပါမည်။



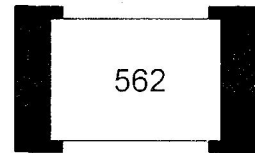
(က) Typical chip resistor coding system



(ခ) Digit values



(ဂ) Zero-ohm chip resistor



(ဃ) Chip resistor with number coding

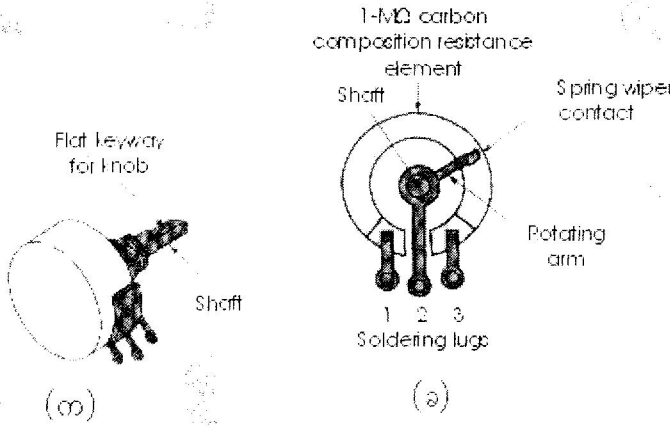
ပုံ(၃-၁၃) ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများအတွက် ခုခံမှုတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်ဖော်ပြပုံ

ဆားဖေ့စ်-မောင် ရီစစ္စတာ သို့မဟုတ် ချစ်ပ် ရီစစ္စတာများတွင် အောက်ပါထူးခြားချက်အချို့ရှိနေပါ

- ကိုယ်ထည်ကြော အရောင်သည် အဖြူ သို့မဟုတ် အဝါဖျော့ဖျော့ အရောင်ဖြစ်ပါသည်။
- အနက် သို့မဟုတ် မီးခိုး သို့မဟုတ် အစိမ်းရင့်ရင့် အရောင်ရှိသော ကာဘွန်ဖလင်ပြားသည် ကိုယ်ထည်၏ တစ်ဖက်တွင်တည်ရှိပါသည်။
- ကိုယ်ထည်အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် C ပုံသဏ္ဍာန် ငုတ်စွန်းများရှိပါသည်။
- ဒစ်ဂျစ်သုံးလုံးဖြင့် ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် သို့မဟုတ် ဖလင်ပြားပေါ်တွင် တန်ဖိုးသတ်မှတ်ထားပါသည်။
- ဒစ်ဂျစ်သုံးလုံးဖော်ပြချက်သည် အရောင်အရစ်(၄)ရစ်ဖြင့် တန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် အတိုင်းဖြစ်ပါသည်။
- ထမဒစ်ဂျစ်သည် ပထမကိန်းတန်ဖိုး၊ ဒုတိယဒစ်ဂျစ်သည် ဒုတိယကိန်းတန်ဖိုးဖြစ်ပြီး တတိယဒစ်ဂျစ် သည် မြှောက်ဖော်ကိန်းဖြစ်ပါသည်။

ပုံ(၃-၁၃-ခ)တွင်ကြည့်ပါ။ အကယ်၍ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို ဒစ်ဂျစ်(၄)လုံးဖြင့် ဖော်ပြခဲ့သည်ရှိသော် ပထမ ဒစ်ဂျစ်သုံးလုံးသည် ပထမကိန်းသုံးခုကိုဖော်ပြပြီး စတုတ္ထဒစ်ဂျစ်သည် မြောက်ဖော်ကိန်းကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ အင်္ဂလိပ်စာလုံး R သည် ခုခံမှုတန်ဖိုး 1 မှ 10Ω အကြားရှိ တန်ဖိုးများအတွက် ဒဿမအစက်နေရာကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ ဥပမာ 2R7 သည် 2.7Ω ကို ဖော်ပြခြင်းဖြစ်ပါသည်။ သုည-အုမ်း ချစ်ပီရီစစ္စတာ အတွက်ဆိုလျှင် ပုံ(၃-၁၃-ဂ)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ကန့်လန့်ဖြတ်မျဉ်းကြောင်းဆွဲ၍ ဖော်ပြပေမည်။ ပုံ(၃-၁၃-ဃ)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ကိုယ်ထည်ပေါ်၌ 562 ဟူ၍ဖော်ပြထားသော ချစ်ပီရီစစ္စတာ၏တန်ဖိုးကို ဖတ်မည်ဆိုလျှင်  $562 = 56 \times 100 \Omega = 5600 \Omega = 5.6k \Omega$  ဖြစ်ပေသည်။

**၃-၉။ တန်ဖိုးပြောင်းနိုင်သော ရီစစ္စတာများ (Variable Resistors)**

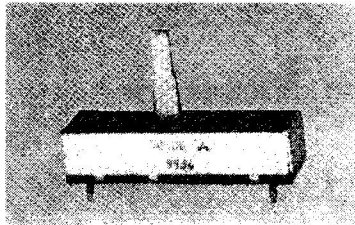


ပုံ(၃-၁၄) တန်ဖိုးပြောင်းနိုင်သောရီစစ္စတာနှင့် ယင်း၏အတွင်းပိုင်း တည်ဆောက်ပုံ

ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းနိုင်သော ရီစစ္စတာများသည် ပုံ(၃-၆)တွင်ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ ဝါယာ-ဂူးနိဒ် အမျိုးအစားများအပြင် အထက်ပါပုံ(၃-၁၄)တွင်ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ ကာဘွန်အမျိုးအစားများလည်း ရှိနိုင်ပါသည်။ ပုံ(၃-၁၄-က)တွင် အပြင်မှမြင်ရပုံကို ဖော်ပြပြီး၊ ပုံ(၃-၁၄-ခ)တွင် အတွင်းပိုင်းဖွဲ့စည်းပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ကာဘွန်ပြားကို အပိုင်းပုံသဏ္ဍာန်တည်ဆောက်ထားပြီး ၎င်းတို့၏ 1 နှင့် 3 တို့ဖြင့် ပြင်ပပတ်လမ်းနှင့် ဂဟေဆော်၍ ဆက်သွယ်နိုင်ပါသည်။ အလယ်ဌာတ် နံပါတ် 2 သည် ကာဘွန်ပြားပေါ်တွင် စပရင်ပြား ပုံသဏ္ဍာန်ဖြင့် ထိကပ်နေသည့် ရွေ့လျားနိုင်သော အထိန်းလက်တံဖြင့် ဆက်သွယ်ထားပါသည်။ အထိန်းလက်တံကိုလှည့်ပေးလိုက်သောအခါ ကာဘွန်ပြားနှင့်ထိနေသော နေရာပြောင်းသွားသဖြင့် ၎င်းတို့၏ 2 နှင့် 1 အကြားသို့မဟုတ် ၎င်းတို့၏ 2 နှင့် 3 တို့အကြားရှိခုခံမှုတန်ဖိုးများသည် ပြောင်းလဲသွားကြပါသည်။ သို့သော် ၎င်းတို့၏ 1 နှင့် 3 တို့ကြားခုခံမှုမှာမူကား မပြောင်းလဲဘဲ အများဆုံးကိန်းသေတန်ဖိုး ဖြစ်နေပေသည်။

ပုံ(၃-၁၅)တွင် တန်ဖိုးပြောင်း လီနီယာ ရီစစ္စတာ (linear variable resistor) ပုံစံတစ်ခုကိုဖော်ပြထားပါသည်။ အထိန်းလက်တံကို အဖြောင့်အတိုင်း နေရာရွေ့ပေးခြင်းဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးကို ပြောင်းပေးနိုင်ခြင်းဖြစ်ပေသည်။ ယခုခေတ် ကက်ဆက်၊ အသံချဲ့စက်များတွင် တုန်းကွန်ထရို၊ ဖော်လွန်းကွန်ထရိုစသည်တို့တွင် ဤတန်ဖိုးပြောင်း လီနီယာ ရီစစ္စတာများကို အများဆုံးအသုံးပြုလျက်ရှိကြပါသည်။





ပုံ(၃-၁၅) တန်ဖိုးပြောင်း လီနီယာ ရီစစ္စတာ ပုံစံတစ်ခုပုံ

၃-၁၀။ ရီအိုစတတ်နှင့် ပိုတင်ရှိုမီတာများ (Rheostats and Potentiometers)

ဒီစီပတ်လမ်းတစ်ခုတွင်ဖြစ်စေ၊ အေစီပတ်လမ်းတစ်ခုတွင်ဖြစ်စေ လျှပ်စီးကြောင်းသို့မဟုတ် ဗို့အားကို ပြောင်းပေးနိုင်ရန်အတွက် ကာဘွန် သို့မဟုတ် ဝါယာ-ပူနံနိ တန်ဖိုးပြောင်း ခုခံမှုမျိုးစုံကို အသုံးပြုကြရပါသည်။

ရီအိုစတတ်ဆိုသည်မှာ လျှပ်စီးကြောင်းကို ပြောင်းလဲပေးရာတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသော တန်ဖိုးပြောင်း ခုခံမှုအမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။ ယင်း၏ငုတ်စွန်းနှစ်ခုကို ဝန်နှင့်တန်းဆက်ထားပြီး အသုံးပြုရပါသည်။

ပိုတင်ရှိုမီတာဆိုသည်မှာ ဗို့အားကို ပြောင်းလဲပေးရာတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသော တန်ဖိုးပြောင်း ခုခံမှုအမျိုးအစား ဖြစ်ပါသည်။ ပိုတင်ရှိုမီတာကို အတိုကောက်အားဖြင့် ပေါ့တ် (pot) ဟုလည်းခေါ်လေ့ရှိပါသည်။ ယင်းတွင် ငုတ်စွန်း(၃)ခုပါဝင်ပါသည်။ အစွန်းဆုံးငုတ်စွန်းနှစ်ခုကြားရှိ ခုခံမှုသည် ကိန်းသေတန်ဖိုးဆောင်ပါသည်။ ထိုငုတ်စွန်းနှစ်ခုကို ဗို့အားပင်ရင်းနှင့်ပြိုင်၍ ဆက်ထားလိုက်ပြီးနောက် ရွေ့လျားနိုင်သော လက်တံကို လှည့်ပေးလိုက်သောအခါ ထိုလက်တံနှင့် အစွန်းဆုံးငုတ်နှစ်ခုတို့အကြားရှိ ဗို့အားသည် ပြောင်းလဲသွားပေတော့သည်။

အောက်ပါဇယား(၃-၃)တွင် ရီအိုစတတ်၏လုပ်ငန်းစဉ်နှင့် ပိုတင်ရှိုမီတာ၏လုပ်ငန်းစဉ်တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပါသည်။

ဇယား(၃-၃) ရီအိုစတတ် နှင့် ပိုတင်ရှိုမီတာ တို့၏လုပ်ငန်းစဉ်များ နှိုင်းယှဉ်ချက်

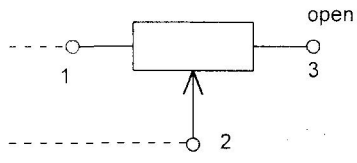
ရီအိုစတတ် (RHEOSTAT)	ပိုတင်ရှိုမီတာ (POTENTIOMETER)
- ငုတ်နှစ်ခု (Two terminals)	- ငုတ်သုံးခု (Three terminals)
- ဝန်နှင့် ဗို့အားပင်ရင်းတို့နှင့်တန်းဆက် (In series with load and V source)	- ငုတ်စွန်းများကိုဗို့အားပင်ရင်းနှင့်ပြိုင်ဆက် (Ends are connected across V source)
- လျှပ်စီးကြောင်းကိုပြောင်းပေး (Varies the I)	- ဗို့အားကိုခွဲထုတ်ပေး (Taps off part of V)

၃-၁၀-၁။ ရီအိုစတတ်ပတ်လမ်း (Rheostat Circuit)

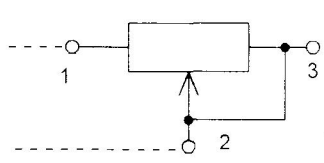
ရီအိုစတတ်ကို လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲမှုတွင် အသုံးပြုနိုင်ကြောင်း အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်ပေသည်။ ပုံ(၃-၁၆-က)တွင်ကြည့်ပါ။

မီးလုံးကဲ့သို့သော ဝန်  $R_L$  တွင် ဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏ  $I$  ကို အတိုး/အလျော့ပြုလုပ်ပေးလိုလျှင် ရီအိုစတတ်  $R_S$  ၏ငုတ်စွန်းနှစ်ခုကို  $R_L$  နှင့် တန်းဆက်ထားပြီး  $R_S$  ကို ပြောင်းလဲပေးသည့်အခါ ဗို့အားပင်ရင်း ဆဲလ်အပါအဝင် ပတ်လမ်းပိတ်အတွင်းရှိနေသော စုစုပေါင်းခုခံမှု  $R_T$  တန်ဖိုးပြောင်းလဲသွားသည့်အတွက် လျှပ်စီးကြောင်း  $I$  သည်လည်းပြောင်းလဲရပေသည်။ ထိုသို့ လျှပ်စီးကြောင်း အနည်း/အများပြောင်းလဲမှုကို အင်မီတာ  $A$  တွင် ဖော်ပြနေပေမည်။

သည် ရီအိုစတက်တစ်ခုအသွင်သို့ ပြောင်းသွားပေတော့သည်။ ပုံ(၃-၁၉-က)တွင်ကြည့်ပါ။ အခြားနည်းတစ်ခုမှာ အသုံးမပြုသော အစွန်းငုတ်ကို အလယ်ငုတ်နှင့် ပူးတွဲဆက်သွယ်ထား လိုက်ခြင်းပင် ဖြစ်ပေသည်။ ပုံ(၃-၁၉-ခ) တွင်ကြည့်ပါ။ ထိုအခါ အလယ်ငုတ်ကိုလှည့်ပေးလိုက်လျှင် အလိုမရှိသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကို ရှေ့တံလုပ်လိုက်သကဲ့သို့ ဖြစ်သွားပြီး ကျန်သော ခုခံမှုကိုသာ အသုံးပြုမည်ဖြစ်ပါသည်။ ဤနည်းတွင် လွတ်နေသောခုခံမှု ဖြစ်ပေါ်နေခြင်း မရှိသောကြောင့် ပိုတင်ရှိုမီတာကို ရီအိုစတက် အဖြစ်အသုံးပြုရာတွင် ဤနည်းကိုပို၍ အသုံးပြုလေ့ရှိပေသည်။



(က) Pot. used as rheostat (one end terminal open)



(ခ) Pot. used as rheostat (one end terminal shorted to variable arm)

ပုံ(၃-၁၉) ပိုတင်ရှိုမီတာကို ရီအိုစတက်အဖြစ် အသုံးပြုပုံ

၃-၁၁။ ရီစစ္စတာများ၏ ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက် (Power Rating of Resistors)

ရီစစ္စတာများကို အသုံးပြုသည့်အခါ လိုအပ်သော ခုခံမှု-အုမ်းတန်ဖိုး သာမက ယင်း၏ပါဝါခံနိုင်မှု သတ်မှတ်ချက်နှင့်လည်း ကိုက်ညီရန်လိုအပ်ပါသည်။ ထိုပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက်ပမာဏသည် ယင်းကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းကြောင့် ထွက်ပေါ်လာသော ပါဝါထုတ်လွှတ်မှုကို လုံလောက်အောင် လက်ခံနိုင်မည့် ပမာဏ ဖြစ်ပေမည်။ သို့မှသာ ရီစစ္စတာသည် အပူချိန်တိုးမလာဘဲ ကြာရှည်ခံနိုင်ပေမည်။

အများအားဖြင့် ကာဘွန်ရီစစ္စတာများသည် အများဆုံးအပူချိန် 85 C အထိခံနိုင်ကြပြီး ဝါယာ-ဂူးနိဒ် ရီစစ္စတာများသည် အများဆုံးအပူချိန် 300 C အထိခံနိုင်ကြပါသည်။ သို့သော် ရီစစ္စတာများသည် ပါဝါထုတ်လွှတ်မှုများပြီး အပူချိန်တိုးတိုးလာပါက ယင်းတို့၏ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းလဲသွားနိုင်သည့်အပြင် အခန့်မသင့်ပါက လောင်ကျွမ်း ပျက်စီးသွားတတ်ကြပါသည်။

ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက်သည် တည်ဆောက်မှု အရွယ်ပမာဏ အပေါ်တွင်မီခိုလျက် ရှိနေပါသည်။

- ၁. အရွယ်ကြီးသော ရီစစ္စတာသည် ပါဝါခံနိုင်မှုပိုများသည်။
- ၂. ပါဝါခံနိုင်မှုကြီးသော ရီစစ္စတာများကို အပူချိန်မြင့်သော နေရာများတွင် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။
- ၃. ဝါယာ-ဂူးနိဒ် ရီစစ္စတာများသည် ကာဘွန်ရီစစ္စတာများထက်စာလျှင် အရွယ်ပိုကြီးပြီး၊ ပါဝါခံနိုင်မှုလည်းပိုကြီးကြပါသည်။

ဥပမာ- 2-W ကာဘွန်ရီစစ္စတာတစ်လုံးသည် အရှည် 1 လက်မခန့်ရှိပြီး လုံးပတ်အချင်း 1/4 လက်မ ခန့်ရှိပါသည်။ 1/4-W ကာဘွန်ရီစစ္စတာတစ်လုံးသည် အရှည် 0.35 လက်မခန့်ရှိပြီး လုံးပတ်အချင်း 0.1 လက်မ ခန့် ရှိပါသည်။

ကာဘွန်နှင့် ဝါယာ-ဂုန်းဒ်အမျိုးအစား နှစ်ခုစလုံးတွင် ပါဝါခံနိုင်မှုများလာသည်နှင့်အမျှ ဗို့အားများလည်း ခံနိုင်ကြပါသည်။ ထိုအများဆုံးခံနိုင်သော ဗို့အားသည် ရီစစ္စတာကိုယ်ထည် အတွင်းပိုင်းတွင်  $arcing$  မဖြစ်စေဘဲ ခံနိုင်သော ဗို့အားပင်ဖြစ်ပါသည်။ ဝါယာ-ဂုန်းဒ် ရီစစ္စတာများတွင်  $arcing$  သည် ဝါယာခွေ တစ်ခုနှင့်တစ်ခုအကြားဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိပြီး၊ ကာဘွန်ရီစစ္စတာများတွင်  $arcing$  သည် ကာဘွန်  $carbon granules$ ) များအကြားဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိပါသည်။

ဥပမာအချို့မှာ 1-W ရီစစ္စတာများအတွက် အများဆုံးခံနိုင်သော ဗို့အားသည် 500V ဖြစ်ပြီး၊ 1/4-W ရီစစ္စတာများအတွက် အများဆုံးခံနိုင်သော ဗို့အားသည် 250V ဖြစ်ကာ၊ 1/8-W ရီစစ္စတာများအတွက် အများဆုံးခံနိုင်သောဗို့အားသည် 150V အသီးသီးဖြစ်ကြပါသည်။

**၃-၁၂။ ရီစစ္စတာများကို တန်းဆက် နှင့် အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်း (Series & Parallel Combinations of Resistors)**

ရီစစ္စတာများကို အသုံးပြုသည့်အခါ လိုအပ်သော ခုခံမှု အမိန့်တန်ဖိုးနှင့် ပါဝါခံနိုင်မှုများများကို ရရှိစေရန်အလိုရှိရာ ရီစစ္စတာများကို တန်းဆက်၍လည်းကောင်း၊ အပြိုင်ဆက်၍လည်းကောင်း တန်းဆက်နှင့် တန်းဆက် နှစ်မျိုးစလုံးကို တွဲဖက်၍လည်းကောင်း အသုံးပြုကြရပေသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် ခုခံမှုတန်ဖိုးများစေလိုလျှင် တန်းဆက်ဆက်သွယ်ရပြီး၊ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို လျော့သွားစေလိုလျှင် အပြိုင်ဆက်သွယ်ရပေသည်။

**၃-၁၂-၁။ ရီစစ္စတာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ခြင်း (Series Combination of Resistors)**

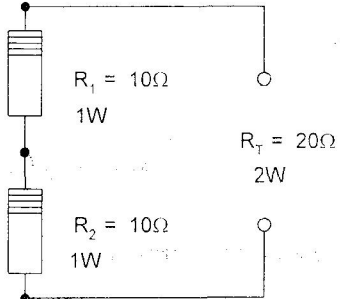
ရီစစ္စတာများကို တစ်ခုနှင့်တစ်ခု တန်းဆက်သည့်အခါ အကျိုးတူခုခံမှုသည် ပေါင်းလဒ် နှင့်တူညီပေသည်။ အကျိုးတူ ပါဝါခံနိုင်မှုသတ်မှတ်ချက်သည်လည်း ပေါင်းလဒ်နှင့်တူညီပေသည်။

ပုံ(၃-၂၀) ယှဉ်ပုံသေနည်းအရ -

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

ယင်းတွင်  $R_T$  သည် အကျိုးတူတန်းဆက်ခုခံမှုတန်ဖိုးဖြစ်ပြီး  $R_1, R_2, R_3$  တို့သည် ရီစစ္စတာတစ်ခုစီ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုး အသီးသီးဖြစ်ကြပေသည်။ ခုခံမှုတန်ဖိုးတူ ရီစစ္စတာနှစ်ခုကိုတန်းဆက်လိုက်လျှင် အကျိုးတူခုခံမှုသည် နှစ်ဆဖြစ်သွားသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှုသည်လည်း နှစ်ဆဖြစ်သွားသည်။

ပုံ(၃-၂၀)တွင် 1W, 10Ω ရီစစ္စတာ နှစ်ခုကို တန်းဆက်ထားသောအခါ အကျိုးတူခုခံမှု  $R_T$  သည် 20Ω ဖြစ်သွားပြီး အကျိုးတူပါဝါခံနိုင်မှုမှာလည်း 2W ဖြစ်သွားပေတော့သည်။



ပုံ(၃-၂၀) ခုခံမှုတန်ဖိုးတူ ရီစစ္စတာနှစ်ခု တန်းဆက် ဆက်သွယ်ထားပုံ

၃-၁၂-၂။ ရီစစ္စတာများကို အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်း (Parallel Combination of Resistors)

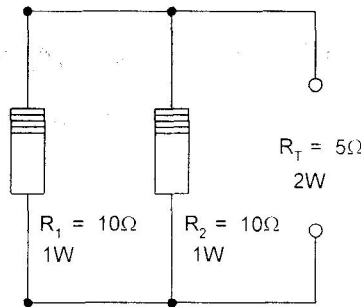
ရီစစ္စတာများကို တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြိုင်ဆက်သည့်အခါ အကျိုးတူခုခံမှု၏ပြောင်းပြန်တန်ဖိုးသည် တစ်ခုချင်းပြောင်းပြန်တန်ဖိုးတို့၏ ပေါင်းလဒ်နှင့်တူညီပေသည်။ အကျိုးတူ ပါဝါခံနိုင်မှု သတ်မှတ်ချက်သည်လည်း ပေါင်းလဒ်နှင့်တူညီပေသည်။

ယေဘုယျပုံသေနည်းအရ-

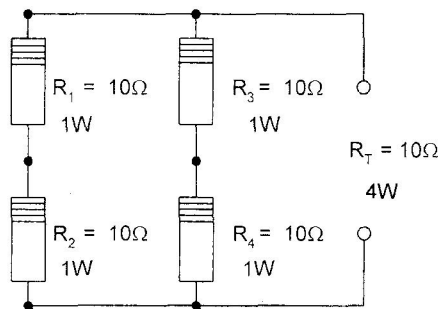
$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$$

ယင်းတွင်  $R_T$  သည် အကျိုးတူတန်းဆက်ခုခံမှုတန်ဖိုးဖြစ်ပြီး  $R_1, R_2, R_3$  တို့သည် ရီစစ္စတာ တစ်ခုချင်းစီ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုး အသီးသီးဖြစ်ကြပေသည်။ ခုခံမှုတန်ဖိုးတူ ရီစစ္စတာနှစ်ခုကိုအပြိုင်ဆက်လိုက်လျှင် အကျိုးတူခုခံမှုသည် တစ်ဝက်ဖြစ်သွားသည်။ ပါဝါခံနိုင်မှုသည် နှစ်ဆဖြစ်သွားသည်။

ပုံ(၃-၂၁)တွင် 1W, 10Ω ရီစစ္စတာနှစ်ခုကို အပြိုင်ဆက်ထားသောအခါ အကျိုးတူခုခံမှု  $R_T$  သည် 5Ω ဖြစ်သွားပြီး အကျိုးတူပါဝါခံနိုင်မှုမှာ 2W ဖြစ်ပေသည်။



ပုံ(၃-၂၁) ခုခံမှုတန်ဖိုးတူ ရီစစ္စတာနှစ်ခု အပြိုင် ဆက်သွယ်ထားပုံ



ပုံ(၃-၂၂) ခုခံမှုတန်ဖိုးတူ ရီစစ္စတာလေးခုကို တန်းဆက်-အပြိုင် ဆက်သွယ်ထားပုံ

ရီစစ္စတာတစ်ခု၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို မပြောင်းစေဘဲ ပါဝါခံနိုင်မှုပမာဏကို (၄)ဆ တိုးစေလိုသော် အထက်ပါပုံ(၃-၂၂) ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း တန်းဆက်ထားသော ရီစစ္စတာ အတွဲနှစ်ခုကို တဖန် အပြိုင် ဆက်လိုက်ခြင်းဖြင့် အကျိုးတူခုခံမှုသည် မူလအတိုင်းဖြစ်ပြီး ပါဝါခံနိုင်မှုသည် (၄)ဆ တိုးလာပေလိမ့်မည်။



# အခန်း(၄) အုမ်းနိယာမ (Ohm's Law)

## ၄-၁။ နိဒါန်း

ဗို့အား V လျှပ်စီးကြောင်း I နှင့် ခုခံမှု R တို့ဆက်စပ်မှုကို ဖော်ပြသော နိယာမဖြစ်ပါသည်။ သင်္ချာ ညီမျှခြင်းဖြင့်ရေးသော်၊  $I = V/R$  ဟူ၍ဖြစ်ပါသည်။ ၁၈၂၈ခုနှစ်တွင် ဂျော့ချ် ဆင်မွန် အုမ်း(George Simon Ohm)ဆိုသည့် ပညာရှင်က လက်တွေ့စမ်းသပ်မှုများပြုလုပ်ပြီး ဖော်ထုတ်ထားသည့်အတွက်ကြောင့် အုမ်းနိယာမ (Ohm's Law) ဟုခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်ပါသည်။

ဗို့အား၊ လျှပ်စီးကြောင်းနှင့် ခုခံမှု သုံးခုအနက် နှစ်ခုကိုသိလျှင် ကျန်တစ်ခုကို အုမ်းနိယာမ ညီမျှခြင်း ဖြင့် အောက်ပါဆက်စပ်မှုများအတိုင်း ရှာနိုင်ပေတော့သည်။

$$I = \frac{V}{R}, V = IR, R = \frac{V}{I}$$

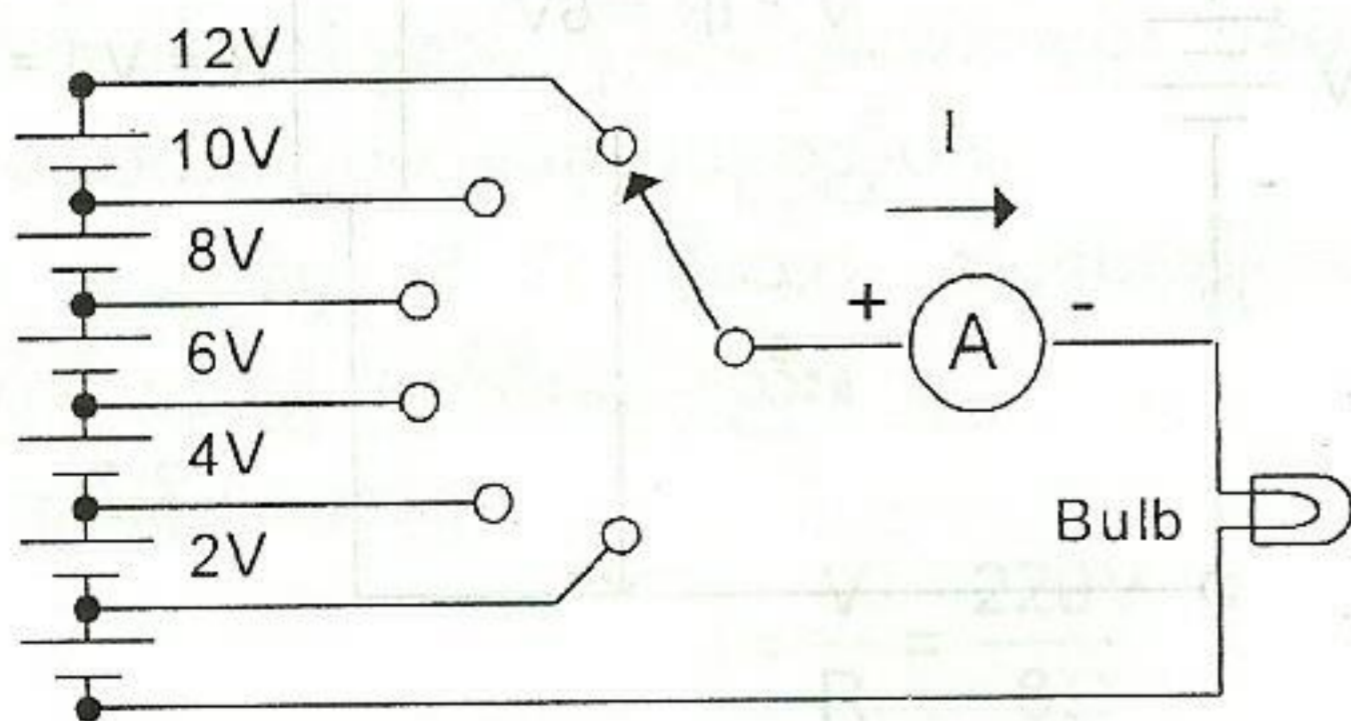
ဥပမာ။ ။ခုခံမှု  $2\Omega$  ရှိသော ရီစစ္စတာတစ်လုံး၏ အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ဗို့အား 6V ပေးထားလိုက်လျှင် ယင်းကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းမှာ  $I = V/R = 6V/2\Omega = 3A$  ဖြစ်ပေသည်။

အုမ်းနိယာမကို အသုံးပြု၍ လျှပ်စီးပတ်လမ်းတစ်ခုအတွင်း အသုံးပြုနေသော လျှပ်စစ်ပါဝါ P ကို လည်းတွက်ချက်နိုင်ပါသည်။ P သည်  $P = VI$  သို့မဟုတ်  $P = I^2R$  ဖြစ်ပေသည်။

\* အုမ်းနိယာမကို ဒီစီပတ်လမ်းနှင့် အေစီပတ်လမ်းနှစ်မျိုးစလုံးတွင် အသုံးပြုနိုင်ပေသည်။

## ၄-၂။ လျှပ်စီးကြောင်း ( The Current , $I = V/R$ )

ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် ခုခံမှုကိုမပြောင်းဘဲ ဗို့အားကိုပြောင်းပေးသော် လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲပေလိမ့် မည်။ အောက်ပါပုံ(၄-၁)တွင် ထိုဖြစ်ရပ်ကို တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ မီးလုံးကိုပေးထားသော ဗို့အားကို 0 to 12V ပြောင်းပေးနိုင်ပါသည်။ အမ်မီတာ A သည် မီးလုံးကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းကို ဖော်ပြနေပါသည်။ မီးလုံးသည် 12V ခံနိုင်သော မီးလုံးဖြစ်ပါသည်။ ယင်းကို 12V အပြည့်ပေးမှ ပုံမှန်အပြည့် လင်းပေလိမ့်မည်။



ပုံ(၄-၁) ဗို့အားပိုပေးလျှင် မီးလုံးပိုလင်းကြောင်းတွေ့ရပုံ



အခန်း(၄) အုမ်းနိယာမ

မီးလုံးကို ပေးသောဗို့အားကို 12V မှ 10V သို့လျှော့ချလိုက်သောအခါ ယင်းကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းသည် အနည်းငယ်လျော့ကျသွားသဖြင့် မီးလုံးသည် အနည်းငယ်မှိန် သွားကြောင်းတွေ့ရပေ သည်။ ဆက်လက်၍ ဗို့အားကို တစ်ဆင့်ခြင်းလျှော့ချလိုက်သောအခါ မီးလုံးသည် ပို၍မှိန်သွားကြောင်းတွေ့ ရပေသည်။ ဗို့အားသည် 0V ဖြစ်သွားလျှင် မီးလုံးကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်း မရှိတော့သဖြင့် မီးလုံးသည် လုံးဝမလင်းတော့ချေ။ (မီးလုံး၏တောက်ပမှု ပြောင်းလဲခြင်းသည် လျှပ်စီးကြောင်းကဗို့အားနှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျ ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်ကိုဖော်ပြနေခြင်းဖြစ်ပါသည်။)

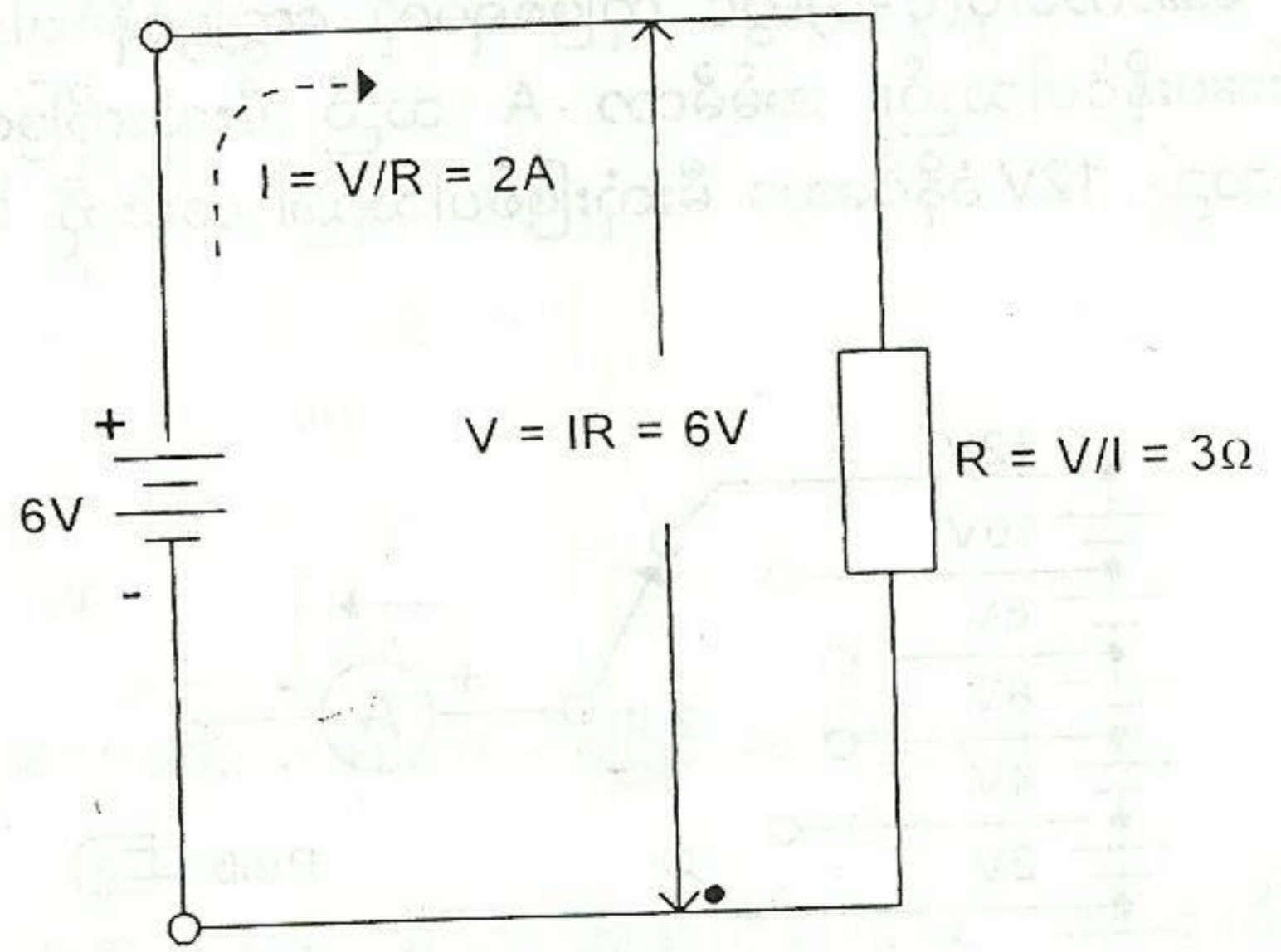
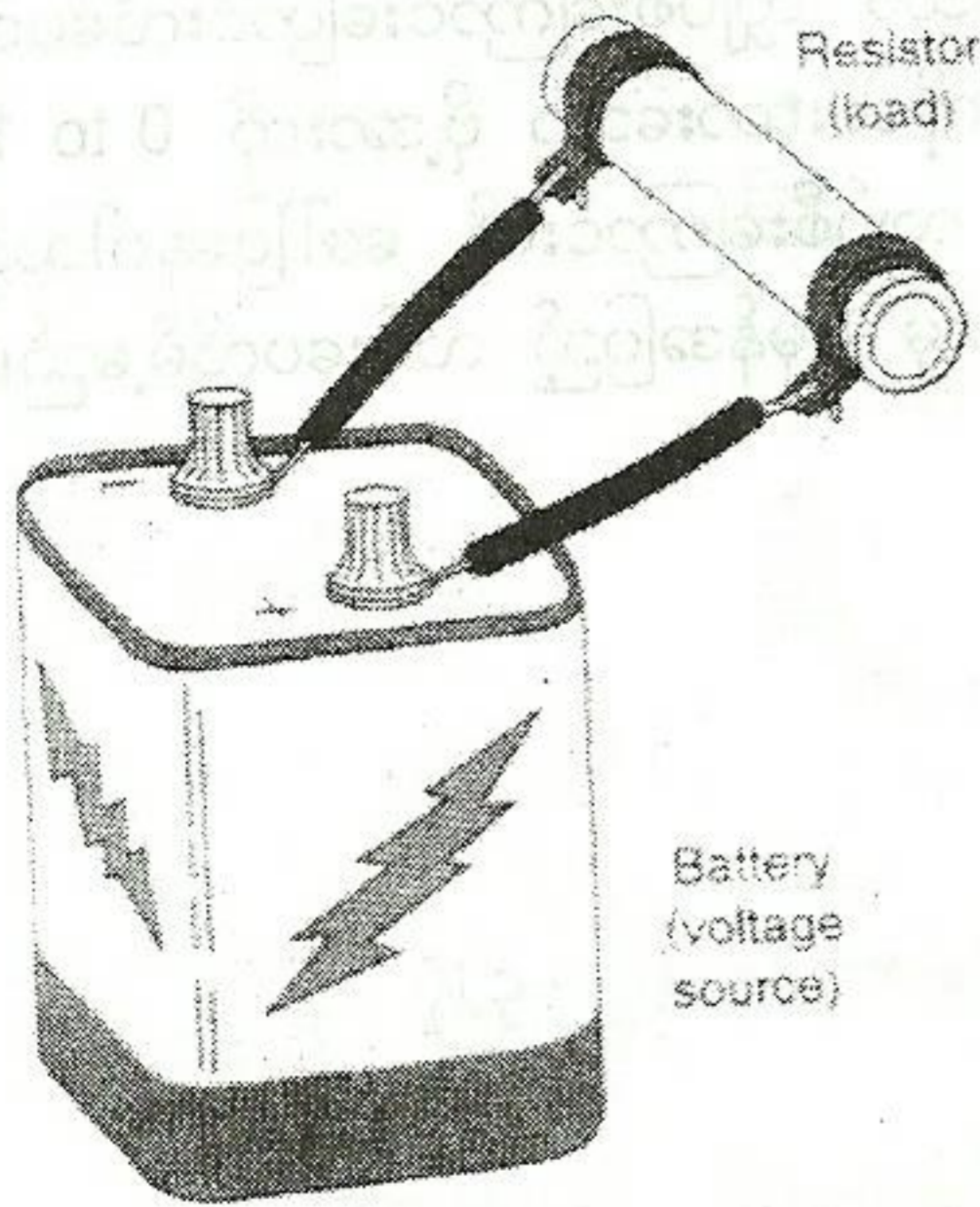
မည်သည့်တန်ဖိုးရှိသည့် ဗို့အား V နှင့် ခုခံမှု R တို့အတွက်မဆို ယေဘုယျအားဖြင့် အုမ်းနိယာမကို အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း ဖော်ပြနိုင်ပေသည်။

$$I = \frac{V}{R}$$

ယင်းတွင် I သည် ဗို့အားခြားနားခြင်း V ရှိသော ခုခံမှု R ကို ဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်း ဖြစ်ပါသည်။ V ၏ယူနစ်သည် volt ဖြစ်ပြီး၊ R ၏ယူနစ်သည် ohm ( $\Omega$ ) ဖြစ်ကာ I ၏ယူနစ်သည် ampere ဖြစ်ပေသည်။

$$\text{Ampere} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}$$

ဤပုံသေနည်းအရ ရီစစ္စတာတစ်ခု၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ပေးထားသော ဗို့အား(ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်း) ကို ခုခံမှုတန်ဖိုးနှင့် စားလိုက်လျှင် ယင်းရီစစ္စတာကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်း ပမာဏကို သိနိုင်ပေ တော့သည်။ ဥပမာ- အောက်ပါပုံ(၄-၂)တွင် ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ 3 $\Omega$  ရီစစ္စတာကို ဗို့အား 6V ပေးလိုက် သောအခါ အုမ်းနိယာမအရ ယင်းရီစစ္စတာကိုဖြတ်စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်း I သည် 6/3=2A ဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။



(က) ပုံ(၄-၂) အုမ်းနိယာမကိုအသုံးပြု၍ လျှပ်စီးကြောင်း၊ ဗို့အားနှင့်ခုခံမှုတို့ကိုရှာနိုင်သည့် နမူနာပတ်လမ်းတစ်ခုပုံ (ခ)



၄-၂-၁။ ဗို့အားမြင့်သော်လည်း လျှပ်စီးကြောင်းငယ်သည် ( High Voltage but Low Current )

ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် ခုခံမှုတန်ဖိုးကြီးမားသည့်အခါ ဗို့အားမြင့်မြင့်ပေးသော်လည်း လျှပ်စီးကြောင်း တန်ဖိုးသေးငယ်မည်ကို ကြိုတင်တွက်ဆ သတိထားမိကြပါလိမ့်မည်။ ဥပမာအားဖြင့်- ခုခံမှု 1,000,000 Ω ၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် 1000V ကိုပေးသွင်းလိုက်သောအခါ ယင်းကိုဖြတ်စီးမည့် လျှပ်စီးကြောင်းသည် 1/1000 ချာသာ ရှိပေမည်။

အုမ်းနိယာမအရ-

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{1000V}{1,000,000\Omega} = \frac{1}{1000}$$

$$I = 0.001A$$

လက်တွေ့တွင် ဗို့အားမြင့်ပတ်လမ်းများတွင် လျှပ်စီးကြောင်းအနည်းငယ်ကိုသာ အသုံးပြုလေ့ရှိကြပါသည်။ သို့မဟုတ်ပါက အဆမတန်ကြီးမားသော ပါဝါကို အသုံးပြုနေရပေလိမ့်မည်။

၄-၂-၂။ ဗို့အားနိမ့်သော်လည်း လျှပ်စီးကြောင်းကြီးသည် ( Low Voltage but High Current )

ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် ခုခံမှုတန်ဖိုးသေးငယ်သော်လည်း နိမ့်သောဗို့အားပေးရုံမျှနှင့်ပင် ကြီးမားသော လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏ စီးနိုင်ပေသည်။ ဥပမာအားဖြင့်- ခုခံမှု 0.01 Ω ၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် 6V ကိုပေးသွင်းလိုက်သောအခါ ယင်းကိုဖြတ်စီးမည့် လျှပ်စီးကြောင်းသည် 600A ရှိနေကြောင်းတွေ့ရပေမည်။

အုမ်းနိယာမအရ-

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{6V}{0.01\Omega}$$

$$I = 600A$$

၄-၂-၃။ ခုခံမှုပိုများလျှင် လျှပ်စီးကြောင်းလျော့နည်းသည် ( Less I with More R )

ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် ဗို့အားတူသော်လည်း ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းပေးလျှင် လျှပ်စီးကြောင်း တန်ဖိုးပြောင်း သွားပုံကို အောက်ပါဥပမာနှစ်ခုတွင်ကြည့်ပါ။

ဥပမာ(၁)။ ။ ခုခံမှု 8 Ω ရှိသော အပူပေးကျွိုင်တစ်ခုကို 220V ဗို့အားလှိုင်းနှင့်ဆက်သွယ်လိုက်လျှင် လျှပ်စီးကြောင်းမည်မျှ ဖြတ်စီးမည်နည်း။

အဖြေ။ ။ အုမ်းနိယာမအရ-

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220V}{8\Omega}$$

$$I = 27.5A$$



ဥပမာ(၂)။ ။ နန်းမျှင်ခုခံမှု 2400 Ω ရှိသော မီးလုံးတစ်လုံးကို 220V ဗို့အားလိုင်းနှင့် ဆက်သွယ် လိုက်လျှင် လျှပ်စီးကြောင်းမည်မျှ ဖြတ်စီးမည်နည်း။

အဖြေ။ ။ အုမ်းနိယာမအရ-

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220V}{2400\Omega}$$
$$I = 0.092A$$

အထက်ပါဥပမာနှစ်ခုတို့တွင် ပေးသွင်းထားသောဗို့အားသည် 220V ပင်ဖြစ်သော်လည်း ဥပမာ(၂)တွင် မီးလုံးသည် ခုခံမှုပိုကြီးသဖြင့် ယင်းကိုဖြတ်စီးသော လျှပ်စီးကြောင်းသည် ပို၍ငယ်သွားရပေသည်။

**၄-၃။ ဗို့အား ( The Voltage,  $V = IR$  )**

ပုံ(၄-၂)တွင်ဖော်ပြထားသည့် ပတ်လမ်းကို ပြန်ကြည့်လျှင် ရီစစ္စတာ R သည် ဘက်ထရီ၏ ငုတ်စွန်း နှစ်ခုတွင် ခွ၍ဆက်ထားသောကြောင့် R ၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော ဗို့အားတန်ဖိုးသည် ဘက်ထရီ ၏ငုတ်စွန်းနှစ်ဖက်တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော ဗို့အား V နှင့်အတူတူပင် ဖြစ်ပေသည်။ ပုံသေနည်းအားဖြင့်ဖော်ပြလျှင်

$$V = IR$$

ပုံ(၄-၂)တွင်ဖော်ပြထားသည့် ပတ်လမ်းအရ  $V = IR = 2A \times 3\Omega = 6V$  ဖြစ်ပေသည်။

အထက်ပါပုံသေနည်းဖြင့် ဗို့အားကို ရှာဖွေနိုင်ရုံမက  $IR$  မြောက်လဒ်သည် ဗို့အားဖြစ်သည်ဆိုသည့် အချက်ကိုလည်း ပေါ်လွင်စေပါသည်။ ခုခံမှုတစ်ခုတွင် ယင်းကိုဖြတ်၍လျှပ်စီးကြောင်းစီးနေလျှင် ယင်း၏အစွန်း နှစ်ဖက်တွင် ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်း  $IR$  ဖြစ်ပေါ်နေစေမည်ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းမရှိလျှင် အီလက်ထရွန်ရွေ့လျားခြင်းမရှိသဖြင့် လျှပ်စီးကြောင်းမစီးနိုင်တော့ချေ။

**၄-၄။ ခုခံမှု ( The Resistance,  $R = V/I$  )**

အုမ်းနိယာမ၏ နောက်ဆုံးပုံစံတစ်ခုမှာ ဗို့အားနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းသိလျှင် ခုခံမှုကိုရှာနိုင်ခြင်းပင်ဖြစ်ပေ တော့သည်။ ပုံသေနည်းအရ-

$$R = \frac{V}{I}$$

ပုံ(၄-၂)တွင်ဖော်ပြထားသည့် ပတ်လမ်းတွင် R သည် 3Ω ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ရီစစ္စတာ၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ဗို့အား 6V ပေးထားပြီးလျှင်လျှပ်စီးကြောင်းသည် 2A စီးနေသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။

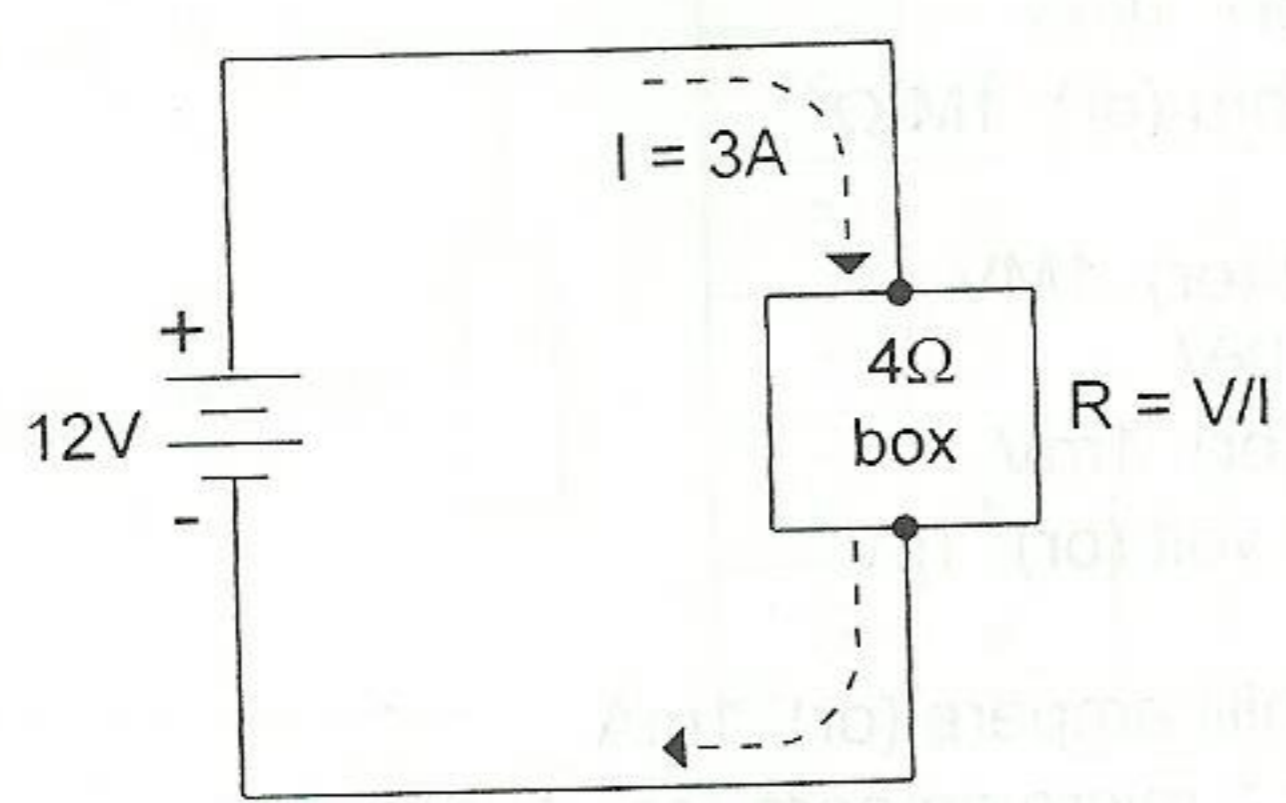
ရုပ်ပိုင်းဆိုင်ရာအားဖြင့်ဆိုလျှင် ခုခံမှုဆိုသည်မှာ ယင်း၏ အက်တမ်ဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်မှုအရ ယင်းကို အားသက်ရောက်မှု အနည်းနှင့်အများ ဆိုသလို ပေးမှသာလျှင် လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနေသော အီလက်ထရွန်များ ကိုဖြတ်သန်းခွင့်ပြုမည့် ပစ္စည်းအမျိုးအစားဖြစ်ပေသည်။ သို့သော် လျှပ်စစ်ဆိုင်ရာအားဖြင့်ဆိုလျှင် ခုခံမှုကို စဉ်း စားသည့်အခါ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းတို့၏ အချိုးကိုသာ အသုံးပြုပါသည်။ 10V ဗို့အားသက်ရောက်မှု ကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်း 1A ဖြတ်စီးလျှင် ယင်း၏ခုခံမှုသည် 10Ω ဖြစ်ပေသည်။ အကယ်၍ဗို့အားကို



အခန်း(၄) အုမ်းနိယာမ

နှစ်ဆတိုး၍ 20V ပေးလိုက်လျှင် လျှပ်စီးသည်လည်းနှစ်ဆ 2A ဖြစ်သွားပေမည်။ ခုခံမှုတန်ဖိုးမှာမူကား 10Ω ဝင်ဖြစ်ပေသည်။

တဖန် ခုခံမှု၏ ရုပ်ပိုင်းဆိုင်ရာဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံကို သိစရာမလိုဘဲ ဗို့အားနှင့် လျှပ်စီးအချိုးကို သိရုံမျှနှင့် ပတ်လမ်းအတွင်း ခုခံမှု၏ အကျိုးသက်ရောက်မှုကို လေ့လာနိုင်ပေသည်။  
အောက်ပါပုံ(၄-၃)တွင်ကြည့်ပါ။ ခုခံမှုတန်ဖိုးမသိသော ပစ္စည်းတစ်ခုကို သေတ္တာတစ်လုံးတွင်ထည့်ထားပြီး ပြင်ပမှ 12V ပေးလိုက်သည့်အခါ လျှပ်စီးကြောင်းသည် 3A စီးနေသည်ကို တွေ့ရလျှင် သေတ္တာတွင်းရှိပစ္စည်း၏ ခုခံမှုသည်  $12V/3A = 4\Omega$  ဖြစ်ကြောင်းသိနိုင်သည်။ သေတ္တာတွင်းရှိပစ္စည်းသည် အရည်၊ အခဲ၊ အမှန်၊ အငွေ့ စသည်ဖြင့် မည်သည့်အမျိုးအစားပင် ဖြစ်စေလျှပ်စစ်ဆိုင်ရာ ခုခံမှုမှာ  $V/I$  အချိုးအရ 4 ဖြစ်သောကြောင့် 4Ω ဝင်ဖြစ်ပေတော့သည်။



ပုံ(၄-၃) မည်သည့်ပစ္စည်းမျိုးမဆို ခုခံမှု R သည်  $V/I$  အချိုး နှင့်တူညီသည်။

၄-၅။ လက်တွေ့သုံး ယူနစ်များ (Practical Units)

အုမ်းနိယာမ၏ ပုံစံတစ်ခုချင်းဖြင့် လျှပ်စီးကြောင်း၊ ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းနှင့် ခုခံမှုတို့၏ လက်တွေ့ သုံး ယူနစ်များကို အောက်ပါအတိုင်း အဓိပ္ပာယ်သတ်မှတ်နိုင်ပါသည်။

$$1 \text{ ampere} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ohm}}$$
$$1 \text{ volt} = 1 \text{ ampere} \times 1 \text{ ohm}$$
$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}}$$

- ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်း 1V ရှိသော 1Ω ခုခံမှုတွင် ဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းမှာ 1A ဖြစ်ပါသည်။
- 1Ω ခုခံမှုတွင် ဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းမှာ 1A ဖြစ်လျှင် ယင်း၏အစွန်းနှစ်ဖက်ရှိ ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းမှာ 1V ဖြစ်ပါသည်။
- ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်း 1V ပေးထားသော ပစ္စည်းတစ်ခုတွင် ဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းမှာ 1A ဖြစ်လျှင် ယင်း၏ခုခံမှုသည် 1Ω ဖြစ်ပါသည်။



၄-၆။ ဆပွား ယူနစ်များ (Multiple Units )

အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့သော volt, ampere, ohm တို့သည် လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းများတွင် အခြေခံအားဖြင့် အသုံးပြုကြရသော ယူနစ်များဖြစ်ကြပေသည်။ သို့သော် အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများတွင် အသုံးပြုကြလေ့ရှိသော ယူနစ်များသည် အလွန်ကြီးမားသော၊ အလွန်သေးငယ်သော ယူနစ်မျိုးများဖြစ်နေတတ်ပါသည်။ ဥပမာအားဖြင့်- ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် 100,000 ohm ခန့်ရှိနေနိုင်သလို တီဗီစက်တစ်လုံးအတွင်းအသုံးပြုထားသော ဗို့အားသည် 20,000V ခန့် ရှိနေတတ်ပါသည်။ အလားတူပင် မီးလုံးနှင့် ထရန်စစ္စတာ တို့တွင်ဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းသည်လည်း 1 ampere ၏ အပုံတစ်သန်းပုံ တစ်ပုံခန့်သာ ရှိနေနိုင်ပါသည်။

ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကြောင့် အခြေခံယူနစ်များကို ဆပွားယူနစ်များနှင့် တွဲဖက်ဖော်ပြလျှင် ပိုမိုအဆင်ပြေနိုင်ပေသည်။ အောက်ပါဆပွားယူနစ်များကို လေ့လာပါ။

1,000 ohm = 1x10<sup>3</sup> ohm = 1 kilo ohm (or) 1k Ω  
1000,000 ohm = 1x10<sup>6</sup> ohm = 1 Mega ohm (or) 1M Ω

1000,000 volt = 1x10<sup>6</sup> volt = 1 Mega volt (or) 1MV  
1,000 volt = 1x10<sup>3</sup> volt = 1 kilo volt (or) 1kV  
1/1,000 volt = = 1x10<sup>-3</sup> volt = 1 milli volt (or) 1mV  
1/1000,000 volt = = 1x10<sup>-6</sup> volt = 1 micro volt (or) 1μV

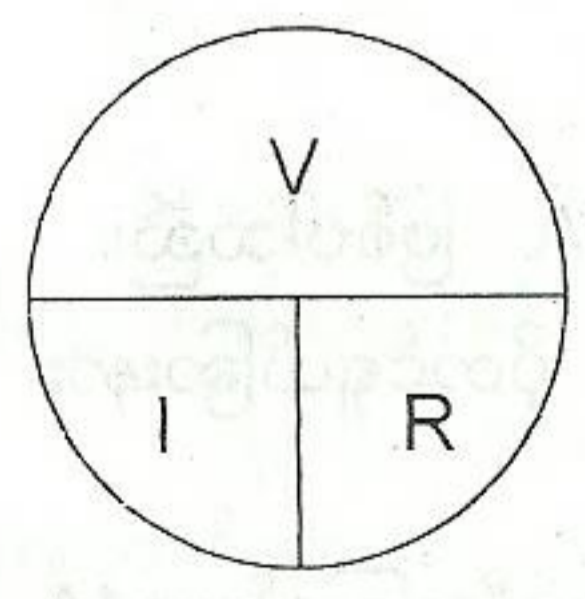
1/1,000 ampere = = 1x10<sup>-3</sup> ampere = 1 milli ampere (or) 1mA  
1/1000,000 ampere = = 1x10<sup>-6</sup> ampere = 1 micro ampere (or) 1μA  
1/1000,000,000 ampere = = 1x10<sup>-9</sup> ampere = 1 nano ampere (or) 1nA

အုမ်းနိယာကိုတွက်ချက်မှုတွင် တစ်ခါတစ်ရံ အောက်ပါ ယူနစ်ဆက်စပ်မှုများကိုလည်း အလွယ်တစ်ကူ အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

$\frac{V}{k\Omega} = mA$       and       $\frac{V}{M\Omega} = \mu A$

$mA \times k\Omega = V$  and  $\mu A \times M\Omega = V$

အုမ်းနိယာကို အလွယ်တကူမှတ်သားနိုင်ရန်အတွက် အောက်ပါပုံ(၄-၄) ဖော်ပြထားသည့် ပုံသေနည်းစနစ်ကိုလည်း အသုံးပြုလေ့ရှိပါသည်။



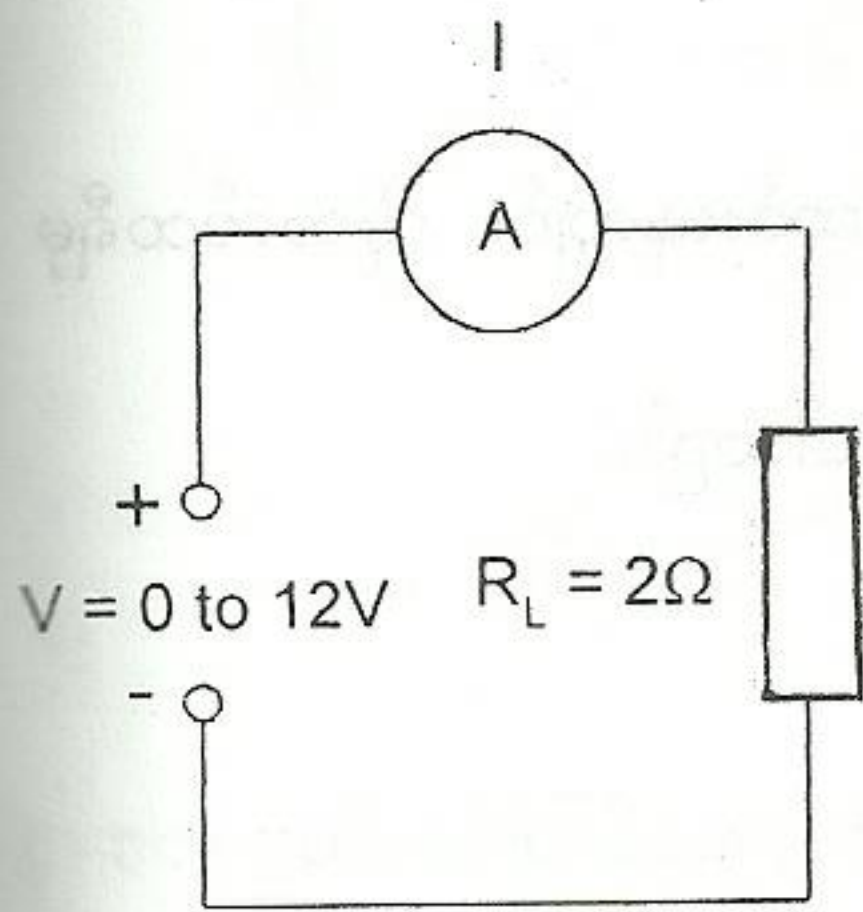
ပုံ(၄-၄) အုမ်းနိယာမကို မှတ်မိစေသောစက်ဝိုင်းပုံ

ယင်းပုံတွင် သိလိုသော တန်ဖိုးကိုဖုံးအုပ်ထားလိုက်လျှင် ကျန်သည့်ဆက်စပ်မှုသည် အသုံးပြုရမည့် ပုံသေနည်းပင်ဖြစ်သည်။  
V ကိုသိလိုလျှင် V ကိုအုပ်ထားလိုက်ပါက IR ကိုရမည်။  
I ကိုသိလိုလျှင် I ကိုအုပ်ထားလိုက်ပါက V/R ကိုရမည်။  
R ကိုသိလိုလျှင် R ကိုအုပ်ထားလိုက်ပါက V/I ကိုရမည်။

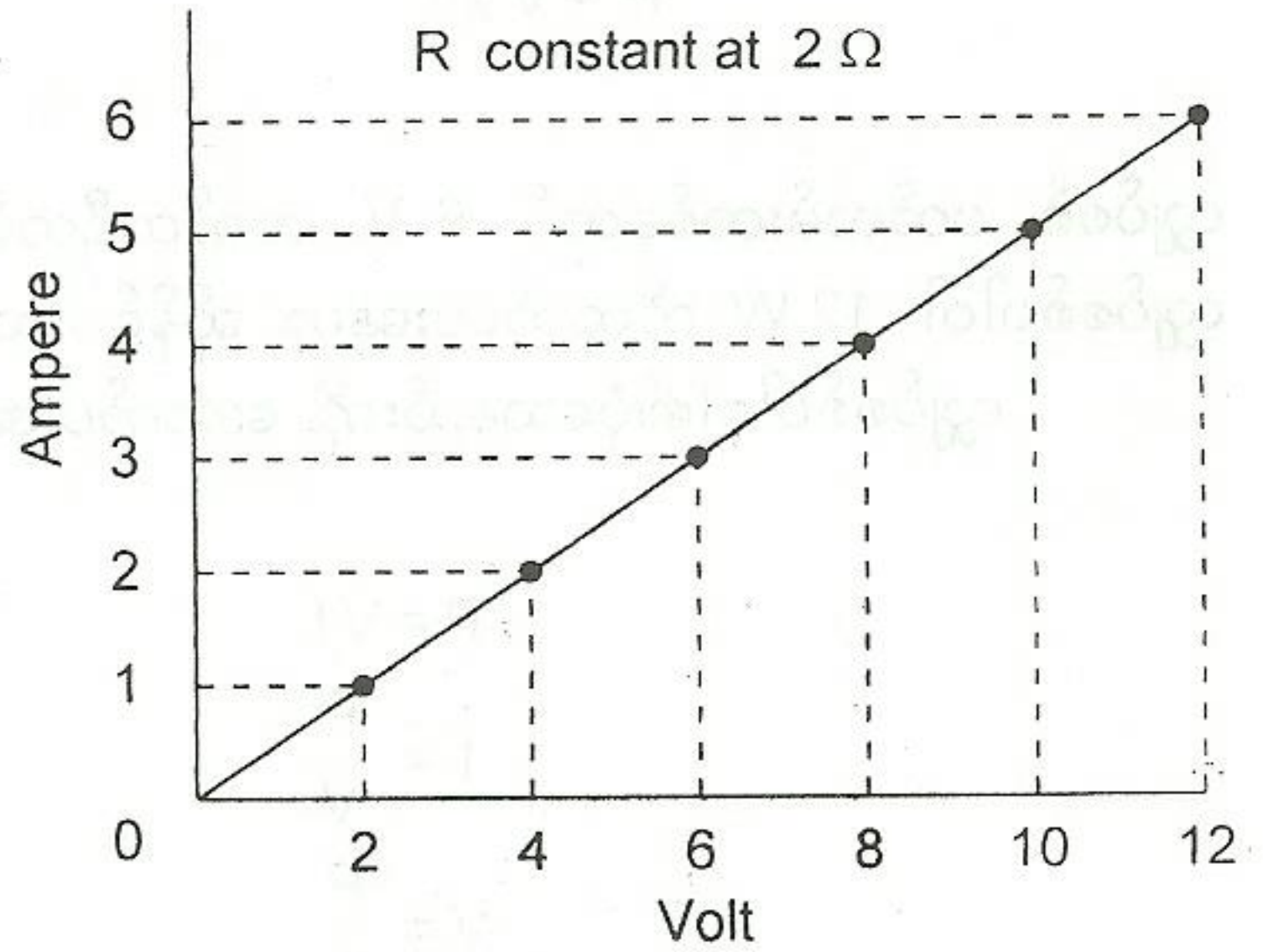


၄-၇။ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးတို့၏ အဖြောင့်သဘာဝ ဆက်စပ်မှု  
(The Linear Proportion between V and I)

အုမ်းနိယာမ  $V = RI$  ကို အဓိပ္ပါယ်ဖွင့်ဆိုမည်ဆိုလျှင် ဗို့အား V နှင့် လျှပ်စီးကြောင်း I တို့သည် မည်သည့် ခုခံမှုတန်ဖိုး R အတွက်မဆို တိုက်ရိုက်အချိုးကျ ဆက်စပ်နေကြသည် ဟူ၍ဖြစ်ပေသည်။



Volt V	Ohm Ω	Ampere A
0	2	0
2	2	1
4	2	2
6	2	3
8	2	4
10	2	5
12	2	6



(က)

(ခ)

(ဂ)

ပုံ(၄-၅) ဗို့အားနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းတို့ အဖြောင့်သဘာဝ ဆက်စပ်မှုပြပုံ

အထက်ပါပုံ(၄-၅)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ခုခံမှု 2Ω အတွက် ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းတို့ ဆက်စပ်ပုံလေ့လာချက်တွေ့ရှိချက်ကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(က)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဗို့အားကို 0V မှ 12V အထိပြောင်းပေးပြီး အမ်မီတာမှဖော်ပြသော လျှပ်စီးကြောင်းတန်ဖိုးများကို ပုံ(ခ)တွင် ဖော်ပြထားသော ဇယားအတိုင်း မှတ်သားပါသည်။ ဗို့အားနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းတို့ဆက်စပ်ပုံကို ဂရပ်ဆွဲကြည့်သောအခါ ပုံ(ဂ) တွင် ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ ဗို့အားများလာလျှင် လျှပ်စီးကြောင်းလည်းလိုက်၍ များလာကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ ဗို့အားကိုနှစ်ဆတိုးပေးလျှင် လျှပ်စီးကြောင်းလည်း နှစ်ဆတိုးလာကြောင်း တွေ့ရပေသည်။ ဗို့အားနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းတို့ဆက်စပ်မှုသည် အဖြောင့်သဘာဝဆောင်နေကြောင်းကို ဂရပ်ဆွဲကြည့်သောအခါ မျဉ်းဖြောင့်တစ်ကြောင်းကိုရရှိခြင်းက ဖော်ပြနေပါသည်။

အုမ်းနိယာမကိုလိုက်နာသော ပစ္စည်းတိုင်း၏ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်း ဆက်စပ်မှုသည် အဖြောင့်သဘာဝဆောင်ကြသည်ချည်းဖြစ်ကြပါသည်။ နောက်ပိုင်းတွင်တွေ့မြင်ကြရမည့် ဒိုင်အုတ်၊ ထရန်စစ္စတာ ကဲ့သို့သော လျှပ်စစ်အစိတ်အပိုင်းများသည် အုမ်းနိယာမကို မလိုက်နာကြသဖြင့် ယင်းတို့အတွက် ဗို့အားလျှပ်စီးကြောင်း ဆက်စပ်မှုသည် အဖြောင့်သဘာဝမဟုတ်ကြချေ။ တနည်းအားဖြင့် ယင်းကဲ့သို့သော ပစ္စည်းမျိုးတွင် ဗို့အားတန်ဖိုးတိုးပေးတိုင်း လျှပ်စီးကြောင်းတန်ဖိုးသည် တိုးလာခြင်းမရှိချေ။ (ထိုကြောင့် ရီစစ္စတာကို အဖြောင့်ပစ္စည်း (linear component) ဟုခေါ်ပြီး၊ ဒိုင်အုတ်၊ ထရန်စစ္စတာ စသည်တို့ကို အဖြောင့်မဲ့ပစ္စည်း (Nonlinear component) ဟုခေါ်ပါသည်။)

*резистор - это линейный компонент*

*диоды, транзисторы, усилители - это нелинейные компоненты*



၄-၈။ လျှပ်စစ်ပါဝါ ( The Electric Power, P )

လျှပ်စစ်ပါဝါ၏ယူနစ်သည် watt (W) ဖြစ်ပါသည်။ လျှပ်စစ်ပမာဏ 1 coulomb ကို ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်း 1 volt အား ဆန့်ကျင်ပြီးသယ်ဆောင်ရာတွင် အချိန် 1 second အတွင်း ပြီးမြောက်သည့် အလုပ်ကို ခေါ်ပါသည်။ 1 coulomb per second သည် 1 ampere ဖြစ်သည့်အတွက် ပါဝါ၏ယူနစ် watt သည် volt နှင့် ampere တို့၏ မြောက်လဒ်နှင့်တူညီကြောင်းတွေ့ရပေမည်။

Power in watt = volt x ampere  
P = V x I

လျှပ်စစ် ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် 6 V ဘက်ထရီတစ်လုံးမှ လျှပ်စီးကြောင်း 2A စီးဆင်းနေလျှင်၊ ထိုဘက်ထရီမှ လျှပ်စစ်ပါဝါ 12 W ကိုထုတ်ပေးနေဟု ဆိုနိုင်ပါသည်။

လျှပ်စစ်ပါဝါ၏ပုံသေနည်းကို အောက်ပါအတိုင်း ပုံစံ(၃)မျိုးဖြင့် ဖော်ပြနိုင်ပါသည်။

P = VI  
I = P / V  
V = P / I

၄-၉။ ခုခံမှုတစ်ခု၏ ပါဝါဆုံးရှုံးမှု ( Power Dissipation in Resistance )

ခုခံမှုတစ်ခုအတွင်း လျှပ်စီးကြောင်းစီးသည့်အခါ လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားသွားနိုင်သော အီလက်ထရွန်များ နှင့် ခုခံမှုအတွင်းရှိ လျှပ်စီးကြောင်းကို ဟန့်တားနေသော အက်တမ်များအကြား ပွတ်တိုက်မှုဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် အပူစွမ်းအင်ထွက်ပေါ်လာပါသည်။ ထိုအပူထွက်ခြင်းကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်းစီးစေရန် ပါဝါကိုအသုံးပြုရကြောင်းသိနိုင်ပါသည်။ ဖြုတ်ဝါယာအတွင်း လျှပ်စီးကြောင်းများစီးသောကြောင့် အပူဖြစ်ပေါ်မှုများလာပြီး ဖြုတ်ပြတ်သွားရခြင်းဖြစ်ပေသည်။

(ပါဝါကို ဗို့အားပင်ရင်းမှထုတ်ပေးနေပြီး ခုခံမှုအတွင်း အပူစွမ်းအင်အဖြစ် ပြုန်းတီးလျက်ရှိနေပါသည်။ ထိုသို့ ခုခံမှုမှ အပူစွမ်းအင်အဖြစ်ပြုန်းတီးနေသောပါဝါကို ဗို့အားပင်ရင်းမှပြန်လည်ဖြည့်ဆည်းပေးနေရပါသည်။ သို့မဟုတ်ပါက လျှပ်စီးကြောင်းစီးရန်လိုအပ်သော ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းကို ထိန်းထားနိုင်မည်မဟုတ်တော့ချေ။

(လျှပ်စစ်ပါဝါနှင့် အပူစွမ်းအင်တို့ ဆက်သွယ်ပုံမှာ- အချိန် 1s အတွင်း ပါဝါ 1W ကိုအသုံးပြုလိုက်ရလျှင် အပူစွမ်းအင် 0.24 calorie ထွက်ပေါ်လာသည်။) လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် အပူအဖြစ် ပြောင်းလဲသွားသော လျှပ်စစ်စွမ်းအင်သည် ပြန်လည်၍မရရှိနိုင်တော့သောကြောင့် ပြုန်းတီးသွားသည် သို့မဟုတ် ဆုံးရှုံးသွားသည်ဟု သတ်မှတ်ကြပါသည်။

ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွင်း ခုခံမှုမှ ပါဝါဆုံးရှုံးမှုဖြစ်ပေါ်နေသောကြောင့် ပါဝါကို ခုခံမှုဖြင့်ဖော်ပြရလျှင် ပိုမိုသင့်တော်ပေမည်။ ထိုကြောင့် ပါဝါပုံသေနည်းကို အောက်ပါအတိုင်းပြင်ဆင်ရေးသားဖော်ပြနိုင်ပါသည်။

P = V x I = IR x I  
P = I<sup>2</sup> R



သို့မဟုတ်

$$P = VI = V \times \frac{V}{R}$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

ပါဝါနှင့်ပတ်သက်သောပုံသေနည်းများကို ထပ်မံဆင့်ပွားယူလိုက်သော် အောက်ပါအတိုင်းပုံစံ(၉)မျိုးဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။

\*

$$P = VI$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$\text{or } I = \frac{P}{V}$$

$$\text{or } R = \frac{P}{I^2}$$

$$\text{or } R = \frac{V^2}{P}$$

$$\text{or } V = \frac{P}{I}$$

$$\text{or } I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$\text{or } V = \sqrt{PR}$$

၄-၁၀။ ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် ရီစစ္စတာကိုရွေးချယ်ခြင်း  
( Choosing the Resistor for a Circuit )

အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် လျှပ်စီးကြောင်းကို ကန့်သတ်ရန်အတွက်သော်လည်းကောင်း၊ ဗို့အားတန်ဖိုးကို ပိုင်းခြားရန်အတွက်သော်လည်းကောင်း လိုအပ်သောခုခံမှုကို ရရှိလာစေရန်အတွက် ရီစစ္စတာများကိုအသုံးပြုရပေသည်။ ထိုသို့အသုံးပြုသည့်အခါ ရီစစ္စတာ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို သိရှိမှုမကသေးဘဲ ယင်း၏ပါဝါ ဆုံးရှုံးမှုတန်ဖိုးကိုပါ သိရှိဖို့လိုအပ်ပေသည်။ သို့မှသာ ပါဝါခံနိုင်မှုနှင့်ကိုက်ညီမည့် ရီစစ္စတာအရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ပြီး စိတ်ချလက်ချ အသုံးပြုနိုင်မည်ဖြစ်ပေသည်။ အောက်ပါဥပမာနှစ်ခုကိုလေ့လာကြည့်ပါ။

ဥပမာ(၁)။ ။ 100V ဗို့အားပင်ရင်းတစ်ခုမှ ခုခံမှု 900Ω ရှိသော ဝန်သို့ လျှပ်စီးကြောင်း 0.1A ကိုသာ ကန့်သတ်အသုံးပြုလိုသည်ဖြစ်အံ့။ ရှေးဦးစွာ အုမ်းနိယာမအရ စုစုပေါင်းလိုအပ်သောခုခံမှုကိုတွက်ကြည့်သော်-

$$R = \frac{V}{I} = \frac{100V}{0.1A} = 1000 \Omega$$

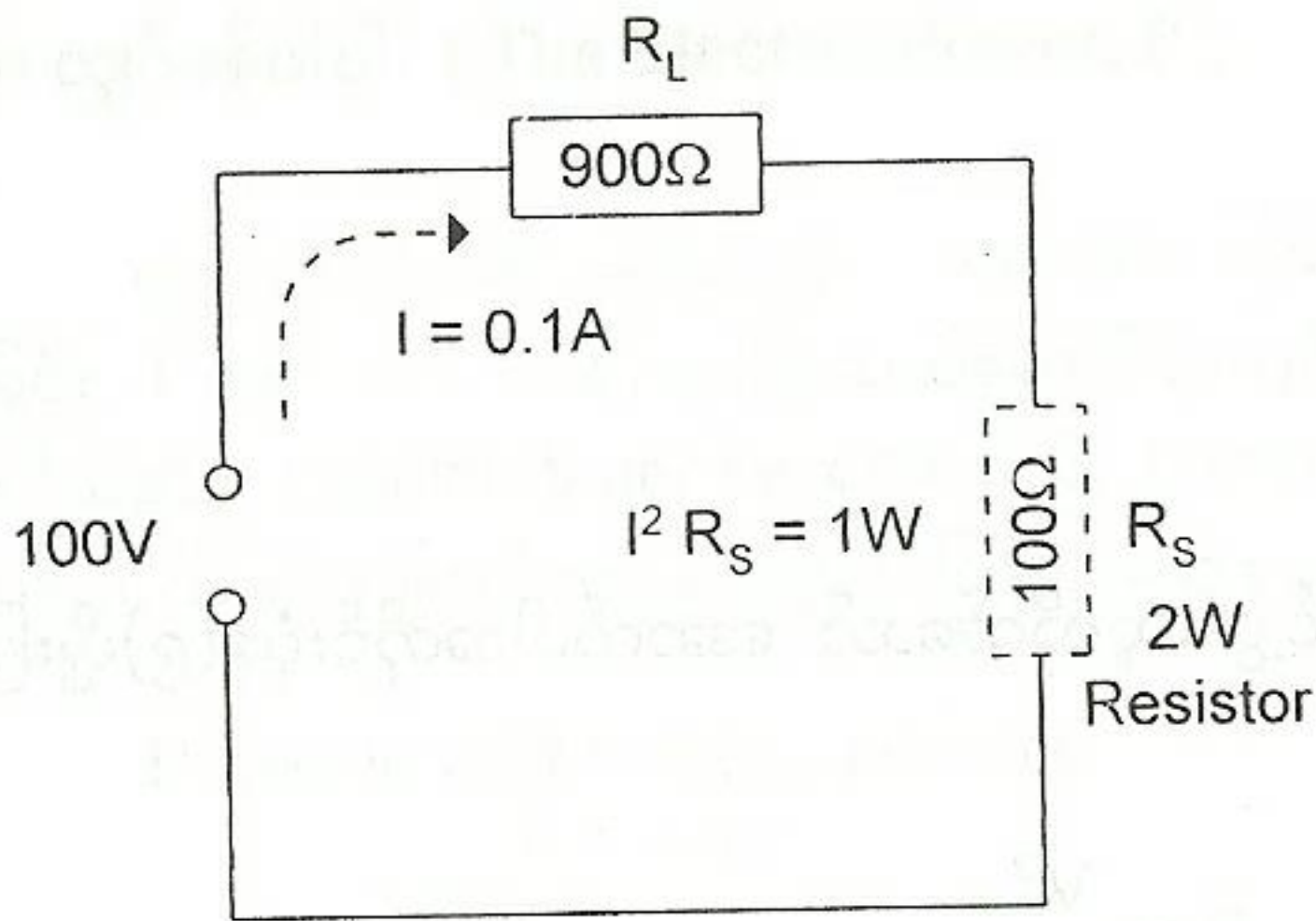
ထိုအခါ ဝန်ခုခံမှု 900Ω ကို 100Ω ရီစစ္စတာတစ်လုံးနှင့် ပုံ(၄-၆-က)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း တန်းဆက်ပေးပြီး အသုံးပြုရမည်ဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပေသည်။

100Ω ရီစစ္စတာ၏ ပါဝါဆုံးရှုံးမှုကိုတွက်ကြည့်သော်-

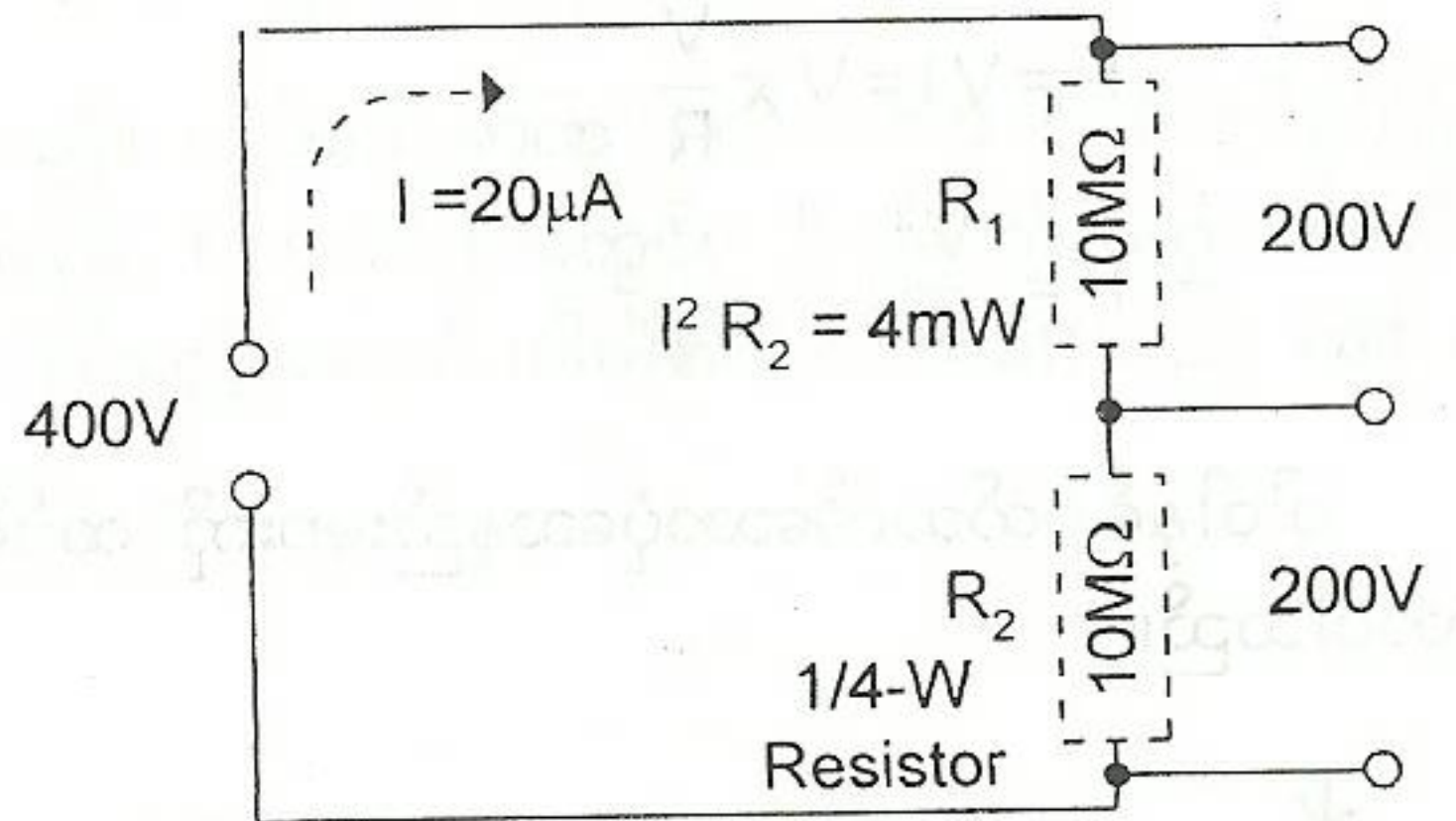
$$P = I^2 R$$
$$P = (0.1A)^2 \times 100\Omega = 0.01 \times 100$$
$$P = 1 W$$

ထိုအခါ စိတ်ချလက်ချ ကြာရှည်အသုံးပြုနိုင်စေရန်အတွက် ပါဝါခံနိုင်မှု 2 W ရှိသော 100Ω ရီစစ္စတာကို အသုံးပြုရပါမည်။ ရီစစ္စတာ၏ ပါဝါခံနိုင်မှုသည် ယင်း၏ပါဝါဆုံးရှုံးမှုထက်ကြီးသင့်ပေသည်။





(က)



(ခ)

ပုံ(၄-၆) ပါဝါခံနိုင်မှုနှင့်ကိုက်ညီသော ရီစစ္စတာကိုရွေးချယ်ပုံ

ဥပမာ(၂)။ ။ 400V ဗို့အားပင်ရင်းတစ်ခုမှ 200V ဗို့အားနှစ်ခုကို ခွဲခြားလိုသည်ဖြစ်အံ့။ ပုံ(၄-၆-ခ)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ခုခံမှု 10MΩ ရှိသော ရီစစ္စတာနှစ်လုံးကို တန်းဆက်ထားလိုက်သောအခါ ရီစစ္စတာတစ်လုံးစီတွင်ကျသော ဗို့အားအကျများတူညီကြမည်ဖြစ်ပြီး ပင်ရင်းဗို့အား 400V ၏ထက်ဝက်ဖြစ်သော 200V စီရှိကြပေမည်။ ထိုဗို့အားအကျကို အောက်ပါအတိုင်းတွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$I = \frac{V}{R} = \frac{400V}{20M\Omega} = 20\mu A$$

$$V_{R1} = 20\mu A \times 10M\Omega = 200V$$

$$V_{R2} = 20\mu A \times 10M\Omega = 200V$$

ရီစစ္စတာတစ်လုံးစီ၏ပါဝါဆုံးရှုံးမှုကိုတွက်ကြည့်သော်-

$$\begin{aligned} * P &= I^2 R \\ &= (20\mu A)^2 \times 10M\Omega \\ &= 400 \times 10^{-12} \times 10 \times 10^6 \\ P &= 400\mu W = 0.004W, \text{ or } 4mW \end{aligned}$$

ထိုကြောင့် ပါဝါခံနိုင်မှု 1/4W or 250mW ရှိသော 10MΩ ရီစစ္စတာများကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

ဤပတ်လမ်းတွင် ဗို့အားမြင့်သော်လည်း ခုခံမှုအလွန်ကြီးသောကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်းငယ်သဖြင့် ပါဝါဆုံးရှုံးမှုငယ်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။



# အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ (Capacitor)

## ၅-၁။ နိဒါန်း

အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများတွင် ရီစစ္စတာကဲ့သို့ အများဆုံးအသုံးပြုနေရသော အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ် အစိတ်အပိုင်း နောက်တစ်မျိုးမှာ ကပယ်စီတာ (capacitor) ပင်ဖြစ်ပါသည်။ <ကပယ်စီတာသည် လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို လျှပ်စစ်စက်ကွင်းအသွင်ဖြင့် သိုလှောင်ထားသည့်ပစ္စည်းဖြစ်သောကြောင့် ယင်းကိုလျှပ်သိုသို့မဟုတ် ကွန်ဒင်ဆာ (condenser) ဟုလည်းခေါ်ပါသေးသည်။> အခြေခံအားဖြင့် ကပယ်စီတာကို လျှပ်ကူးပစ္စည်း (conductor) ဖြစ်သော သတ္တုအပြားနှစ်ခုအကြားတွင် လျှပ်ကာပစ္စည်း (insulator) သို့မဟုတ် ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်း (dielectric substance) ကိုထည့်သွင်းတည်ဆောက်ထားပါသည်။ လျှပ်ကူးပစ္စည်းအပြားများ မှတစ်ဆင့် ဒိုင်အီလက်ထရစ်ကို ဗို့အားပေးနိုင်ပါသည်။

ကပယ်စီတာ၏ လျှပ်စစ်သိုလှောင်နိုင်မှုအရည်အချင်းကို လျှပ်သိုသတ္တိ သို့မဟုတ် ကပယ်စီတင် (capacitance) ဖြင့် တိုင်းတာလေ့ရှိပါသည်။ ကပယ်စီတင်သည် ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်း၏ လျှပ်စစ်သိုလှောင်နိုင်မှုအရည်အချင်းတစ်ရပ်ပင်ဖြစ်ပါသည်။ <ပေးထားသောဗို့အားတစ်ခုအတွက် လျှပ်စစ်များများ သိုလှောင်နိုင်လေလေ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကြီးလေလေပင်ဖြစ်ပါသည်။> ကပယ်စီတင်၏ သင်္ကေတမှာ C ဖြစ်ပြီး ယူနစ်မှာ farad (F) ဖြစ်ပါသည်။

ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးအမျိုးမျိုးအတွက် ကပယ်စီတာအမျိုးမျိုးကို ထုတ်လုပ်ထားကြပါသည်။ အသုံးပြုထားသော ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းကို အခြေခံ၍ လေ (air)၊ ကြေ (ceramic)၊ မိုက်ကာ (mica)၊ စက္ကူ (paper)၊ ဖလင် (film)၊ အီလက်ထရိုလစ်တစ် (electrolytic) ဟူ၍ ကပယ်စီတာ အမျိုးအစားများစွာရှိပါသည်။

\*<sup>le</sup> ကပယ်စီတာ၏ အဓိကလုပ်ငန်းစဉ်မှာ ဒီဇီဗီအားကို ဟန့်တားပိတ်ဆို့ခြင်းဖြစ်ပြီး အေစီအချက်ပြဗို့အားလှိုင်းကို လွယ်ကူစွာဖြတ်သန်းခွင့်ပြုခြင်း ပင်ဖြစ်ပါသည်။

## ၅-၂။ ဒိုင်အီလက်ထရစ်အတွင်း လျှပ်စစ်သိုလှောင်ထားပုံ (How Charge is Stored in the Dielectric)

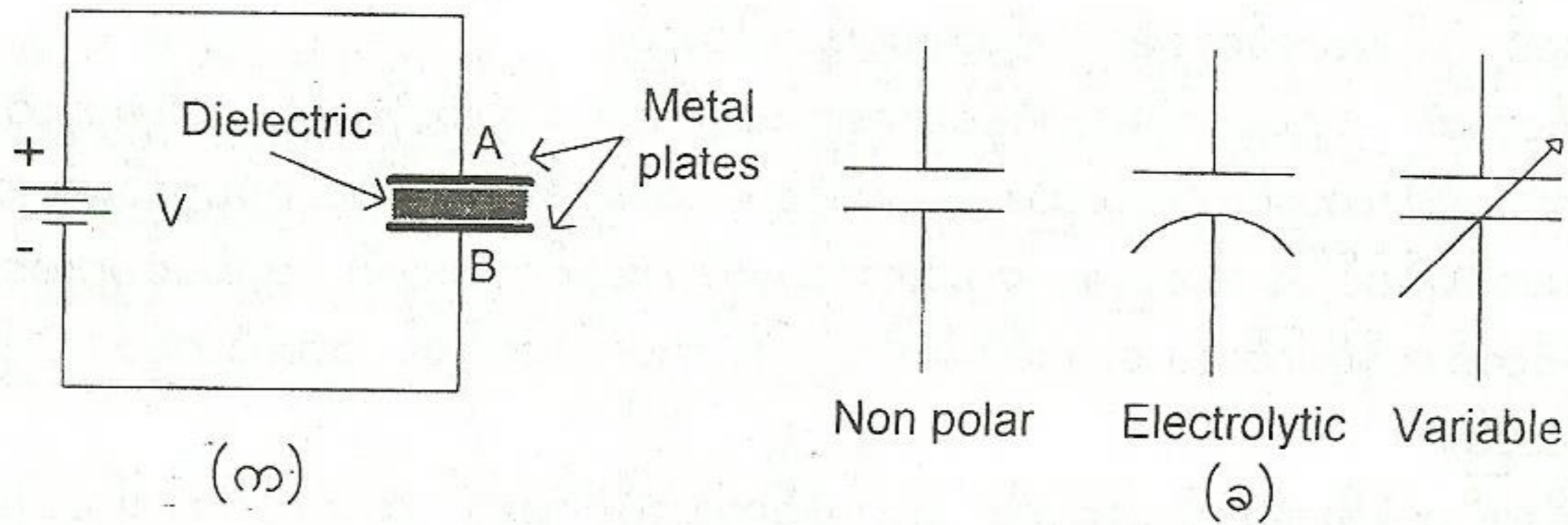
လေ၊ စက္ကူ ကဲ့သို့သောဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းများတွင် လွတ်လပ်အီလက်ထရွန်များ လွယ်ကူစွာ ဖြတ်သန်း မသွားနိုင်ကြသော်လည်း ယင်းတို့သည် လျှပ်စစ်ဓါတ်ကို သိုလှောင်ထားနိုင်စွမ်းရှိကြပါသည်။ ဆောက်ပါ ပုံ(၅-၁-က) တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဘက်ထရီမှ ကပယ်စီတာသို့ လျှပ်စစ်ဓါတ်ပေးသွင်းနေပုံ ဖော်ပြခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတာသည် လျှပ်ကူးအပြားနှစ်ခုအကြားတွင် ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းထည့်သွင်းသော အပြိုင်ပြားကပယ်စီတာ (parallel plate capacitor) အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။ ဘက်ထရီ၏အမုတ်နှင့် ဆက်ထားသော အပြား B တွင် လျှပ်စစ်အမ(အီလက်ထရွန်)များစုဝေးနေကြပြီး ဘက်ထရီ၏အဖိုမုတ်နှင့် ဆက်ထားသော အပြား A တွင်အီလက်ထရွန်များလျော့နည်းသွားသည်။ (တနည်းအားဖြင့် လျှပ်စစ်အဖို များစုဝေးနေကြလေမည်။) အပြား B တွင် အီလက်ထရွန်အရေအတွက်ပေါင်း  $6.25 \times 10^{18}$  စုဝေးနေလျှင် လျှပ်စစ်အမဓါတ် 1 coulomb (1C) ရှိသည်ဟုခေါ်ဆိုနိုင်ပါသည်။ ကပယ်စီတာအပြားနှစ်ခုတွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော လျှပ်စစ်အမဓါတ်နှင့် အဖိုဓါတ်တို့သည် အစဉ်အမြဲတူညီနေကြပါသည်။



ဗို့အားပင်ရင်းမှ အပြားများတွင်တူညီသော လျှပ်စစ်များဖြစ်ပေါ်လာအောင်ပြုလုပ်ပေးခြင်းကို လျှပ်စစ် သွင်းခြင်း (charging) ဟုခေါ်ပါသည်။ ထိုသို့လျှပ်စစ်သွင်းရာ၌ အပြားများတွင်ဖြစ်ပေါ်လာသောပိုတင်ရှယ် ခြားနားခြင်းက ပြင်ပမှ လျှပ်စစ်ဓါတ်ပေးသွင်းနေသော ဗို့အားပင်ရင်း၏ဗို့အားနှင့် တူညီသွားသည်အထိသာ ဖြစ်သောကြောင့် လျှပ်စစ်သွင်းနေစဉ် ပတ်လမ်းတွင်စီးသောလျှပ်စီးကြောင်းသည် တမဟုတ်ချင်း သို့မဟုတ် ရုတ်ခြည်းသာဖြစ်ပေသည်။ ကပယ်စီတာကို လျှပ်စစ်သွင်းပြီးနောက် ပြင်ပမှဗို့အားပင်ရင်းကိုဖြုတ်ထားလိုက် သော်လည်း ကပယ်စီတာတွင် လျှပ်စစ်ဓါတ်များ ဆက်လက်တည်ရှိနေသောကြောင့် ကပယ်စီတာသည် လျှပ်စစ် ကိုသိုလှောင်ထားသည်ဟု ခေါ်ဆိုနိုင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။

ကပယ်စီတာတွင် လျှပ်စစ်မည်မျှသိုလှောင်ထားနိုင်စွမ်းကို တိုင်းတာသည့်အခါ လျှပ်သိုသတ္တိ သို့မ ဟုတ် ကပယ်စီတင် C ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။ ပေးထားသော ဗို့အားတန်ဖိုးတစ်ခုတွင် လျှပ်စစ်ပမာဏများ များကို သိုလှောင်နိုင်လေလေ လျှပ်သိုသတ္တိကြီးလေလေဖြစ်ပေသည်။

ပုံ(၅-၁-၁)တွင် မူသေနှင့် တန်ဖိုးပြောင်း ကပယ်စီတာများ၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတများကို ဖော်ပြ ထားပါသည်။



ပုံ(၅-၁) အပြားပြိုင်ကပယ်စီတာတွင် လျှပ်စစ်သိုလှောင်ထားပုံနှင့် ပတ်လမ်းသင်္ကေတများပုံ

**၅-၃။ ကပယ်စီတာတစ်လုံးကို လျှပ်စစ်သွင်းခြင်း/လျှပ်စစ်ထုတ်ခြင်း (Charging and Discharging of a Capacitor)**

ကပယ်စီတာတစ်လုံးကို ပြင်ပမှဗို့အားနှင့်ဆက်သွယ်ပေးထားလိုက်လျှင် ယင်းကို လျှပ်စစ်သွင်းခြင်း (charging) ဟု ခေါ်ပါသည်။ ပြင်ပမှဗို့အားကြောင့် အပြားနှစ်ခုတွင် မျိုးမတူသော လျှပ်စစ်များစုဝေးနေကြပြီး ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းကို ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ ထိုပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းနှင့် ပြင်ပမှဗို့အားတို့တူညီသွားလျှင် လျှပ်စစ်သွင်းခြင်းသည် ရပ်တန့်သွားပေတော့သည်။ ပြင်ပမှဗို့အားကို ဖြုတ်လိုက်သော်လည်း ကပယ်စီတာတွင် လျှပ်စစ်များ သိုလှောင်ပြီးကျန်ခဲ့လေတော့သည်။

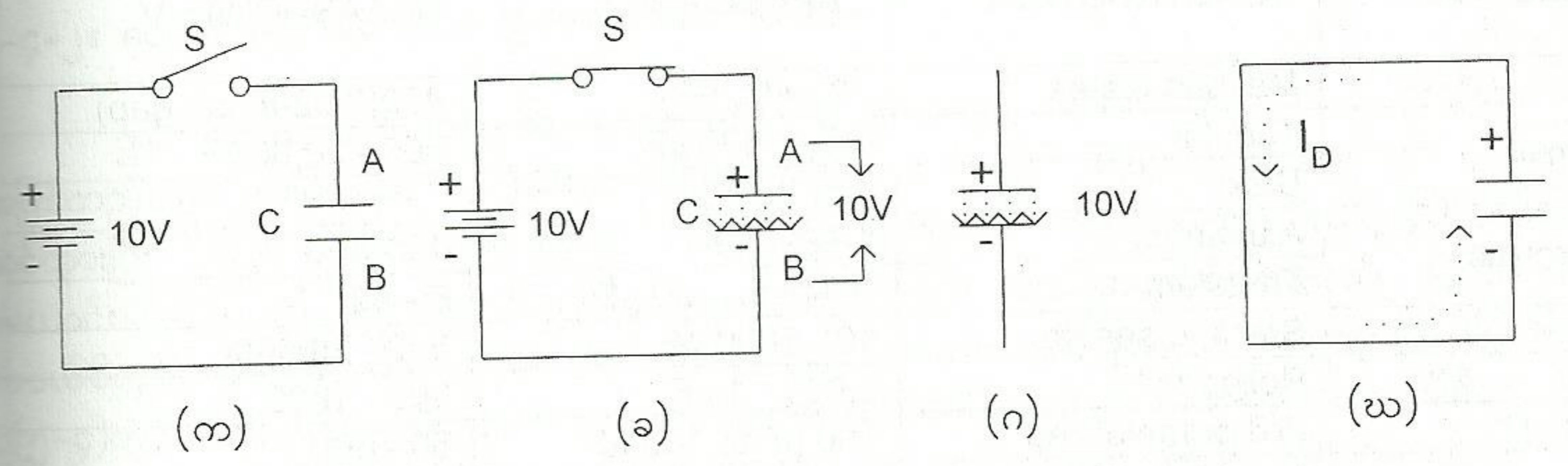
ထိုနောက် အပြားနှစ်ခုအကြားတွင် လျှပ်စစ်စီးနိုင်သော လမ်းကြောင်းတစ်ခု ဖန်တီးပေးလိုက်လျှင် ကပယ်စီတာတွင်သိုလှောင်ထားသော လျှပ်စစ်များကို ထုတ်လွှတ်ပေးခြင်း (discharging) ဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။

ကပယ်စီတာတစ်လုံးတွင် လျှပ်စစ်သွင်းပုံ၊ သိုလှောင်ပုံနှင့် လျှပ်စစ်ထုတ်ပုံတို့ကို ပုံ(၅-၂)တွင် အသေး စိပ်ဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(၅-၂-က)တွင် ခလုတ် S ကိုဖွင့်ထားသောကြောင့် ကပယ်စီတာတွင် လျှပ်စစ်မရှိ သေးချေ။ ပုံ(၅-၂-ခ)တွင် ခလုတ် S ကိုပိတ်လိုက်သောအခါ ကပယ်စီတာ၏အပြားများကို ဘက်ထရီဖြင့် ဆက်သွယ်ပေးလိုက်ပါသည်။ ဘက်ထရီ၏အမုတ်သည် ဝါယာကြိုးအတွင်းလွတ်လပ်အီလက်ထရွန်များကို တွန်း ကန်သဖြင့် အီလက်ထရွန်များသည် ကပယ်စီတာ၏အပြား B တွင်စုဝေးနေကြသည်။ တစ်ချိန်တည်းမှာပင် ဘက်



အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ

ထရီ၏အဖိုဂုတ်သည် လွတ်လပ်အီလက်ထရွန်များကို ကပယ်စီတာ၏အပြား A မှတစ်ဆင့် ဆွဲငင်နေပါသည်။ ထို့ကြောင့် အပြိုင်ပြားနှစ်ခုတို့တွင် လျှပ်စစ်အဖိုနှင့်အမများ စုဝေးဖြစ်ပေါ်လာကာ လျှပ်စစ်စက်ကွင်း ဖြစ်ပေါ်လာပြီး အပြားနှစ်ခုအကြားတွင် ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို လျှပ်စစ်သွင်းခြင်း ဟုခေါ်ပါသည်။ ကပယ်စီတာ၏ အပြားများအကြားဖြစ်ပေါ်လာသော ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းသည် ဘက်ထရီ၏ဖို့အား 10V နှင့် တူညီသွားသောအခါ လျှပ်စစ်သွင်းခြင်းသည် ရပ်တန့်သွားပေတော့သည်။ ထိုအခါ ဘက်ထရီကို ဖြုတ်ထားလိုက်သော်လည်း လျှပ်စစ်များသည် ပုံ(၅-၂-ဂ)တွင် ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ ကပယ်စီတာတွင် သိုလှောင်လျက် ကျန်နေခဲ့ပေမည်။ ပုံ(၅-၂-ဃ)တွင်ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ အပြားနှစ်ခုကို ဝါယာကြိုးတစ်ချောင်းဖြင့် ဆက်သွယ်ပေးလိုက်လျှင် ထုတ်လွှတ်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_D$  ဖြစ်ပေါ်လာပြီးနောက် အဖိုပြားမှလျှပ်စစ်အဖိုများနှင့် အမပြားမှ လျှပ်စစ်အမများအချင်းချင်းချေဖျက်ကြကာ အပြားများတွင် သိုလှောင်ထားသောလျှပ်စစ်များ မရှိတော့ချေ။ အပြားများအကြားတွင် ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်းလည်း မရှိတော့ချေ။ ထိုအခြေအနေကို ကပယ်စီတာသည် လျှပ်စစ်ထုတ်လွှတ်ခြင်း ဟုခေါ်ပါသည်။ အကယ်၍ အထက်ပါအတိုင်း ကပယ်စီတာကို ပြင်ပမှဘက်ထရီနှင့် ပြန်လည်ဆက်သွယ်လိုက်လျှင် ကပယ်စီတာတွင် လျှပ်စစ်သွင်းခြင်း ထပ်မံဖြစ်ပေါ်လာပေလိမ့်မည်။



ပုံ(၅-၂) ကပယ်စီတာတစ်လုံးကို လျှပ်စစ်သွင်း/ထုတ်ပြုလုပ်ပုံ

ကပယ်စီတာတွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ပိုတင်ရှယ်ခြားနားခြင်း  $V$  ၊ သိုလှောင်ထားနိုင်သော လျှပ်စစ်ပမာဏ  $Q$  နှင့် လျှပ်သိုသတ္တိ  $C$  တို့သည် အောက်ပါညီမျှခြင်းများအတိုင်း ဆက်စပ်နေကြပါသည်။

$$C = \frac{Q}{V} \text{ or } Q = CV \text{ or } V = \frac{Q}{C}$$

ထိုင်းတွင် C ကို farad (F) ၊ Q ကို coulomb (C) ၊ V ကို volt(V) စသည်ယူနစ်တို့ဖြင့် တိုင်းတာကြပါသည်။ C ကိုတိုင်းတာရာတွင် 1farad သည် အလွန်ကြီးမားသောတန်ဖိုးဖြစ်ပါသည်။ လက်တွေ့တွင် C ကို အောက်ဖော်ပြပါသေးငယ်သော ယူနစ်များဖြင့်သာ တိုင်းတာလေ့ရှိပါသည်။

- 1microfarad =  $1\mu F = 1 \times 10^{-6} F$
- 1nanofarad =  $1nF = 1 \times 10^{-9} F$
- 1picofarad =  $1pF = 1 \times 10^{-12} F$



အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ

၅-၄။ လက်တွေ့သုံး ကပယ်စီတာ အမျိုးအစားများ (Typical Capacitors)

လက်တွေ့တွင်အသုံးပြုလေ့ရှိသော ကပယ်စီတာများကို ယင်းတို့တွင်အသုံးပြုထားသော ဒိုင်အီလက်ထရစ် အမျိုးအစားကိုအခြေခံ၍ အမျိုးအစားခွဲခြားထားပါသည်။ လက်တွေ့အသုံးများသော အမျိုးအစားများမှာ လေ (air) ၊ မိုက်ကာ (mica) ၊ ပေပါ(paper) ၊ ပလတ်စတစ်ဖလင် (plastic film) ၊ ကြွေ(စရာမစ်) (ceramic) နှင့် အီလက်ထရိုလစ်တစ် (electrolytic) အမျိုးအစားများဖြစ်ကြပါသည်။ ဒိုင်အီလက်ထရစ် အမျိုးအစားတွင် မော်လီကျူးလာ အလွှာပါးအောက်ဆိုက်ဖလင် (molecular-thin oxide film) ကို ဒိုင်အီလက်ထရစ်အဖြစ်အသုံးပြုထားပါသည်။ ယင်းအမျိုးအစားသည် ကြီးမားသောကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို သေးငယ်သော အရွယ်အစားဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်ပါသည်။ အီလက်ထရိုလစ်တစ်အမျိုးအစားတွင် အလူမီနီယမ် (aluminum) နှင့် တန်တလမ် (tantalum) ဟူ၍ အမျိုးအစားနှစ်ခု ထပ်မံခွဲခြားထားပါသေးသည်။ အောက်ပါဇယား(၅-၁) တွင် ကပယ်စီတာ အမျိုးအစားများကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပါသည်။

ဇယား(၅-၁) ကပယ်စီတာအမျိုးအစားများနှိုင်းယှဉ်ချက်

DIELECTRIC	CONSTRUCTION	CAPACITANCE	BREAKDOWN, V
Air	Meshed plates	10 - 400 pF	400(0.02-in. air gap)
Ceramic	Tubular	0.5 - 1600 pF	500 - 20,000
	Disk	1 pF to 1 μF	
Electrolytic	Aluminum	1-6800 μF	10 - 450
	Tantalum	0.047 to 330 μF	6 - 50
Mica	Stacked sheets	10 - 5000 pF	500 - 20,000
Paper	Rolled foil	0.001 - 1 μF	200 - 1600
Plastic film	Foil or metalized	100 pF to 100 μF	50 - 600

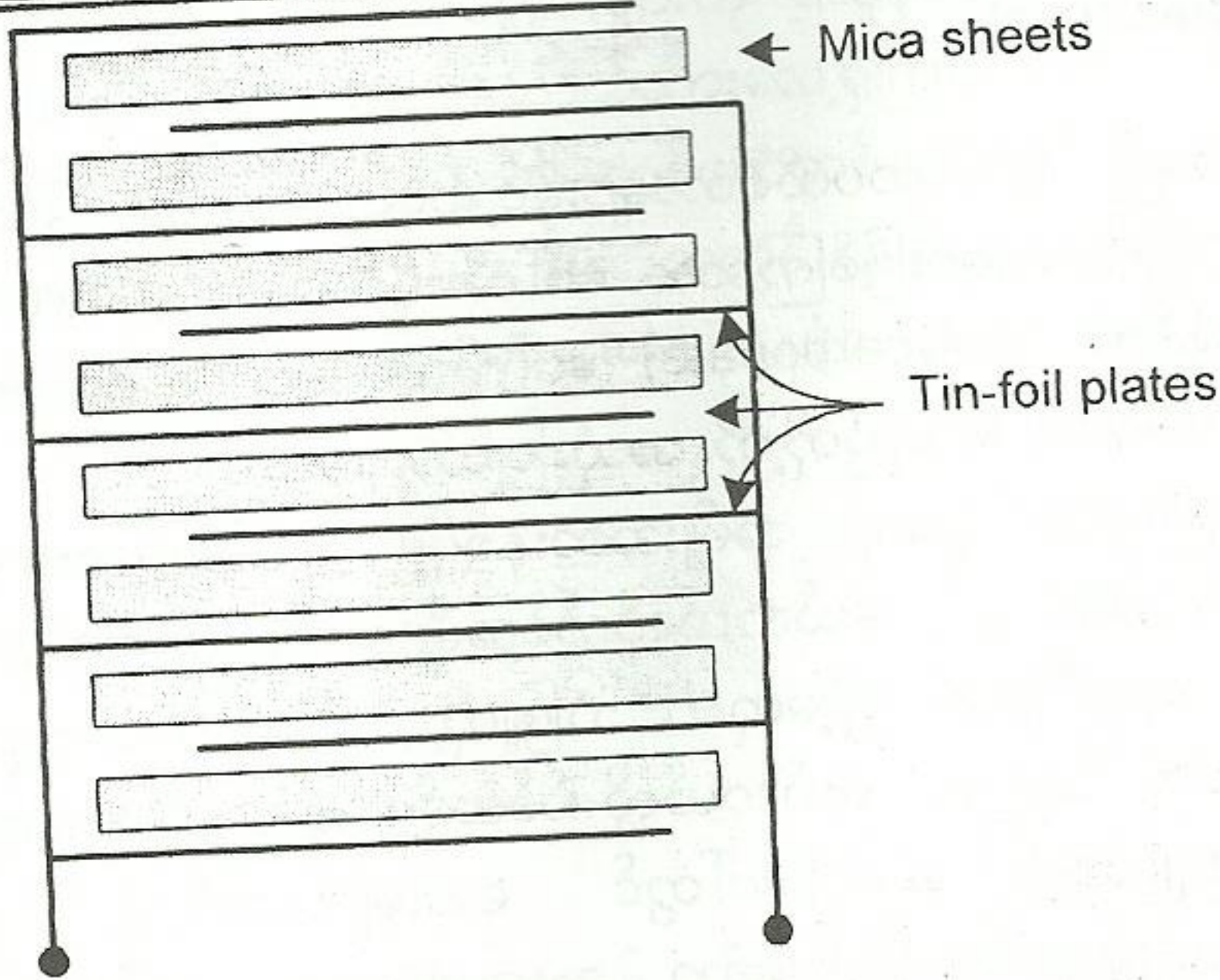
အီလက်ထရိုလစ်တစ်အမျိုးအစားများသည် ငုတ်များတွင် အပေါင်း/အနှုတ် လက္ခဏာသတ်မှတ်ချက်ရှိကြပါသည်။ ထို့ကြောင့်ယင်းတို့ကို ပတ်လမ်းတွင်ဆက်သွယ်သောအခါ အပေါင်း/အနှုတ် ပိုတင်ရှယ် မှန်ကန်အောင် တပ်ဆင်ရပါမည်။ မှားယွင်း၍ပြောင်းပြန်တပ်ဆင်မိပါက ကပယ်စီတာပျက်စီးသွားနိုင်ပါသည်။ သို့ပါ၍ \* အီလက်ထရိုလစ်တစ်ကပယ်စီတာများကို အသုံးပြုသည့်အခါ ငုတ်လက္ခဏာသတ်မှတ်ချက်ကို သေချာစွာ ဂရုစိုက်ပြီး တပ်ဆင်ရန်လိုအပ်ပါသည်။ \* ကျန်အမျိုးအစားများတွင်မူ လက္ခဏာသတ်မှတ်ချက်မရှိကြသောကြောင့် ကြိုက်သလိုတပ်ဆင်နိုင်ပါသည်။ ကပယ်စီတာအမျိုးအစားတစ်ခုချင်းစီ၏ အကြောင်းအရာများကို အောက်တွင် ဆက်လက်ဖော်ပြပါမည်။

၅-၄-၁။ မိုက်ကာ ကပယ်စီတာများ (Mica Capacitors)

လိုအပ်သောကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကိုရရှိစေရန် မိုက်ကာပြားပါးပါးကို သံဖြူသတ္တုပြား (tin foil) အထပ်ထပ် အကြားတွင် ဒိုင်အီလက်ထရစ်အဖြစ် ထည့်သွင်းတည်ဆောက်ထားပါသည်။ သံဖြူပြားများကို တစ်ခုခြားစီ ဆက်သွယ်ထားပြီး ငုတ်များအဖြစ်ထုတ်ယူထားပြီးနောက် တစ်ခုလုံးကို အပေါ်မှ ဘိတ်လိုက် (bakelite) ကဲ့သို့သောပစ္စည်းမျိုးဖြင့် ဖုံးအုပ်ပြီး ပုံသွင်းထားပါသည်။ ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို ဖော်ပြသော သင်္ကေတအမှတ်အသားများ ရိုက်နှိပ်ထားပါသည်။ ပုံ(၅-၃)တွင်ကြည့်ပါ။



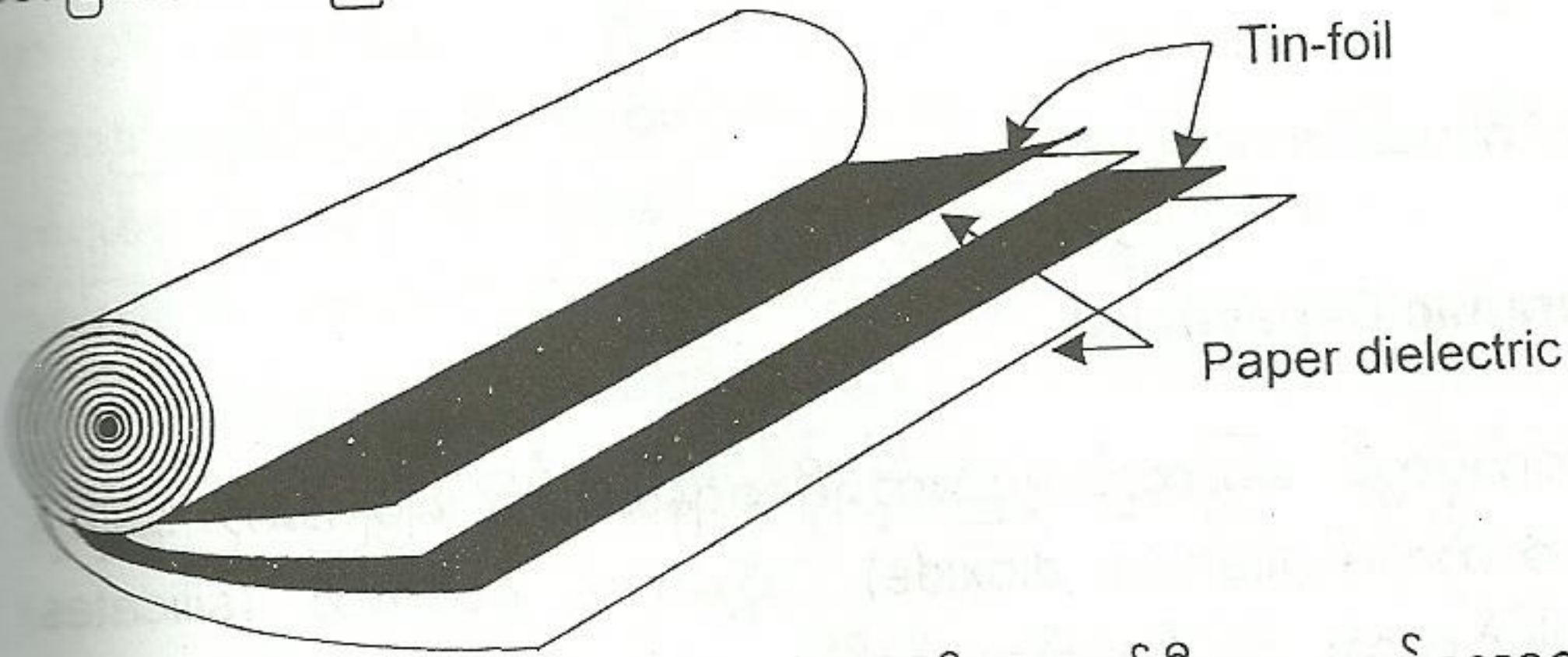
အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ



ပုံ(၅-၃) မိုက်ကာ ကပယ်စီတာ တည်ဆောက်ပုံ

၅-၄-၂။ ပေပါ ကပယ်စီတာများ (Paper Capacitors)

ဤအမျိုးအစားတွင် သံဖြူအလွှာပြားနှစ်ခုအကြားတွင် (စက္ကူ) ပေပါအလွှာပါးပါးကို ဒိုင်အီလက်ထရစ် အဖြစ်ထည့်သွင်းထားပြီး ဆလင်ဒါပုံသဏ္ဍာန်ရအောင် လိပ်ထားပါသည်။ သံဖြူအပြားတစ်ခုစီတွင် ၎င်းတို့များတပ် ဆင်ထားပြီး အပြင်သို့ထုတ်ထားပါသည်။ ကိုယ်ထည်တစ်ခုလုံးကို အပေါ်မှစက္ကူကပ်ထူပြားဖြင့်ပတ်ထားပြီး ဖယောင်း သို့မဟုတ် ပလပ်စတစ်တို့ဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားပါသည်။ ပေပါကပယ်စီတာများကို အလယ်အလတ် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးဖြစ်သော 0.001 to 1.0 $\mu$ F ခန့်လိုအပ်သော နေရာများတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိကြပါသည်။ ပုံ(၅-၄)တွင် ပေပါကပယ်စီတာတစ်ခု တည်ဆောက်ပုံကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ပေပါကပယ်စီတာများတွင် ၎င်းတို့လက္ခဏာ သတ်မှတ်ချက်မရှိချေ။ သို့သော်လည်း အမဲရောင်ကိုယ်ထည်၏ အစွန်းတစ်ဖက်တွင် အဖြူရောင်အရစ် သို့မဟုတ် အဖြူရောင်ကိုယ်ထည်၏အစွန်းတစ်ဖက်တွင် အမဲရောင်အရစ်တစ်ခုကို တွေ့နိုင်ပါသည်။ ထိုသင်္ကေတမှာ အရစ်နှင့်နီးသော၎င်းသည် လိပ်ထားသော သံဖြူပြားနှစ်ခုအနက် အပေါ်ဖက်သံဖြူပြားနှင့် ဆက်သွယ်ထားသည့်၎င်းတို့ဖြစ်ကြောင်းကို သတ်မှတ်ပေးထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ထို၎င်းကို ပိုတင်ရှယ်နိမ်သော အမှတ်(ဥပမာ-မြေစိုက်လိုင်း)တွင် တပ်ဆင်ပါက နောက်ယှက်မှုကာကွယ်ခြင်းအကျိုး(shielding effect) ကိုရရှိ ခေနိုင်ပါသည်။ ဆလင်ဒါပုံကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးနှင့် ခံနိုင်ရည်မိုအားတန်ဖိုးများကို ပုံနှိပ် ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၅-၄) ပေပါ ကပယ်စီတာ တည်ဆောက်ပုံ



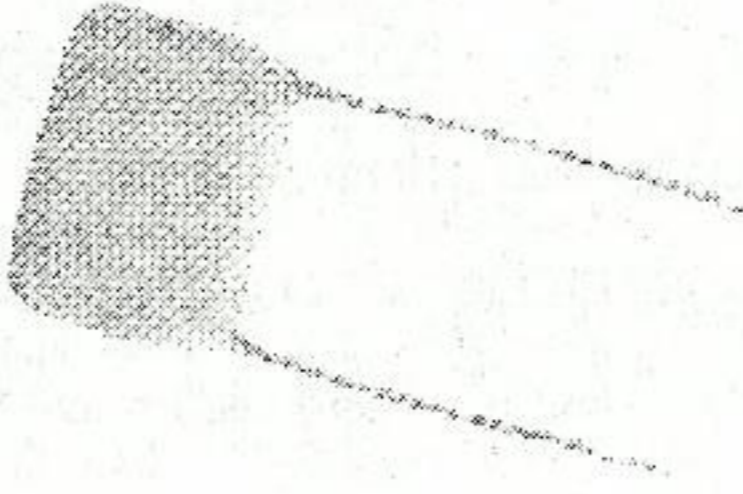
၅-၄-၃။ ဖလင် ကပယ်စီတာများ (Film Capacitors)

ဖလင်ကပယ်စီတာများတည်ဆောက်ပုံသည် ပေပါကပယ်စီတာများနှင့်ဆင်တူပါသည်။ ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းနေရာတွင် စက္ကူအစား ပလပ်စတစ်အမျိုးအစားများဖြစ်ကြသော ပေါ်လီပရိုပီလင်း (polypropylene) ပေါ်လီစတရိုင်း (polystyrene) ပေါ်လီကာဘွန်နိတ် (polycarbonate) ပေါ်လီသဲလင်း (poly ethelene terephthalate) သို့မဟုတ် မိုက်လာ (Mylar) စသည်တို့ကို အသုံးပြုထားပါသည်။

ဖလင်ကပယ်စီတာများကို ဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံအရ အမျိုးအစားနှစ်မျိုး ထပ်မံခွဲခြားထားပါသေးသည်။ ယင်းတို့မှာ-အလွှာပြားအမျိုးအစား (foil type) နှင့် မယ်တယ်လိုက်စ်အမျိုးအစား (metallized type) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ အလွှာပြားအမျိုးအစားတွင် အလူမီနီယမ် သို့မဟုတ် သံဖြူတို့ကဲ့သို့သော သတ္တုအလွှာပါးအချပ်များကို လျှပ်ကူးပြားအဖြစ် အသုံးပြုထားပါသည်။ မယ်တယ်လိုက်စ်အမျိုးအစားတွင် အလူမီနီယမ် သို့မဟုတ် သွတ်သတ္တုကို ပလပ်စတစ်ပြားများနှာပြင်နှစ်ဖက်ပေါ်တွင် ဆေးမှတ်သကဲ့သို့ မှတ်တင် (depositing or spraying) ထားပါသည်။ ထိုသို့မှတ်တင်ထားသော သတ္တုအလွှာကို လျှပ်ကူးပြားအဖြစ် အသုံးပြုထားပါသည်။

တူညီသောဗို့အားနှင့် တူညီသောကပယ်စီတင်တန်ဖိုးအတွက် မယ်တယ်လိုက်စ်အမျိုးအစားသည် အလွှာပြားအမျိုးအစားထက်စာလျှင် အရွယ်အစားပိုငယ်ကြပါသည်။ ထို့အပြင် မယ်တယ်လိုက်စ်အမျိုးအစားသည် ဗို့အားပိုပေးမိသောကြောင့် ယင်း၏ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပေါက်သွားခဲ့လျှင် လုံးဝပျက်စီးမသွားဘဲ မိမိဖာသာ ပြန်လည်၍ကုသခြင်း (self-healing) ရှိကြသောကြောင့် အလွှာပြားအမျိုးအစားထက်စာလျှင် အပျက်အစီးနည်းပါးပြီး ကြာရှည်ခံပါသည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် ဖလင်ကပယ်စီတာများသည် အပူချိန်နှင့်လိုက်၍ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမပြောင်းလဲဘဲ တည်ငြိမ်မှုရှိကြသောကြောင့် ယင်းတို့ကို ရေဒီယိုဖရီကွင်စီလိုင်ထုတ်ပတ်လမ်းများ အချိန်ကိုက်ပတ်လမ်းများတွင် အဓိကအသုံးပြုကြပါသည်။ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှာ 100 pF မှ 100 μF အတွင်း ရရှိနိုင်ပါသည်။ ဖလင်ကပယ်စီတာ အမျိုးအစားတစ်ခုကို ပုံ(၅-၅)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



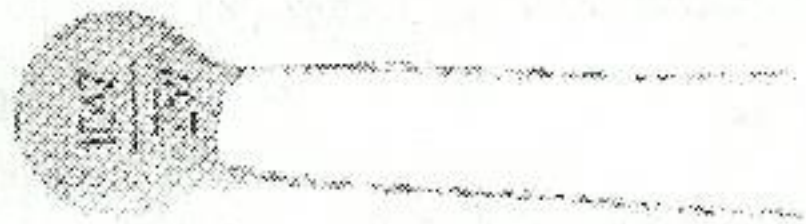
ပုံ(၅-၅) ဖလင်ကပယ်စီတာတစ်ခု

၅-၄-၄။ စရာမစ် ကပယ်စီတာများ ( Ceramic Capacitors)

စရာမစ်ကပယ်စီတာများတည်ဆောက်ပုံတွင် ကြွေထည်ပစ္စည်းကိုရရှိစေရန်အတွက် မြေကြီးကို အပူချိန်မြင့် ပေးရပါသည်။ တိုက်တာနီယမ်ဒိုင်အောက်ဆိုက်(titanium dioxide) သို့မဟုတ် စီလီကိတ် (silicates) အမျိုးအစားများစွာတို့ကို အသုံးပြုခြင်းအားဖြင့်လည်း ဒိုင်အီလက်ထရစ်ကိန်းသေ(dielectric constant)ပမာဏ



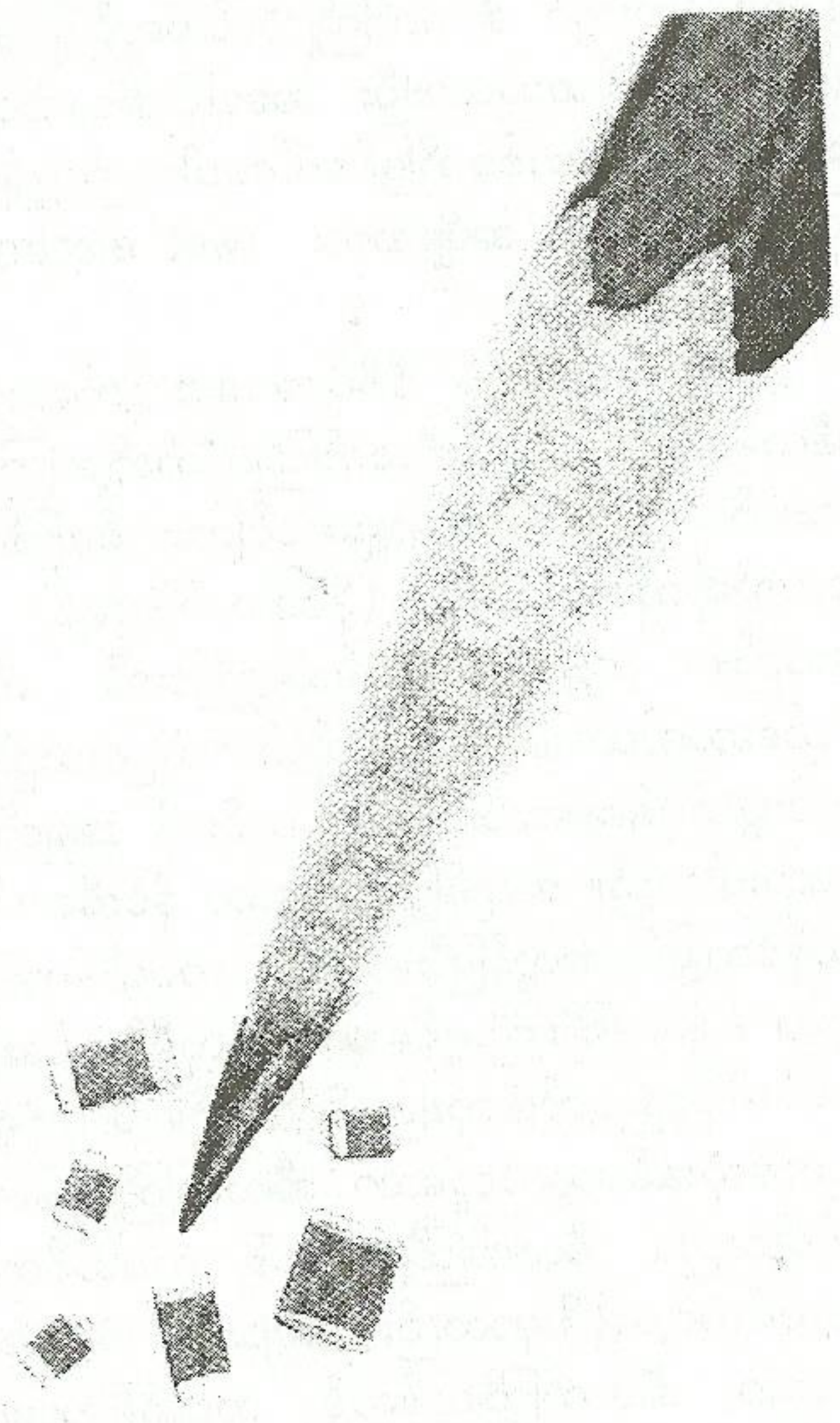
အလွန်ကြီးမားသော ကြွေထည်ပစ္စည်းများကို ရယူနိုင်ပါသေးသည်။ များသောအားဖြင့် စရာမစ်ကပယ်စီတာများကို ဒစ်ခ် (disk) ပုံဏ္ဍာန်တည်ဆောက်ထားလေ့ရှိကြပါသည်။ ပုံ(၅-၆)တွင်ကြည့်ပါ။ ငွေသတ္တုကိုလျှပ်ကူးပြားအဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ရန် ကြွေပြား၏ တစ်ဖက်တစ်ချက်တွင် မျက်တင်ထားပါသည်။ စရာမစ်ကပယ်စီတာများကို ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး 1pF မှ 1μF အတွင်းရအောင် တည်ဆောက်နိုင်ပါသည်။ စရာမစ်ကပယ်စီတာများကို ဒစ်ခ် ပုံသဏ္ဍာန်အပြင် တာဘူလာ (tubular) ပုံသဏ္ဍာန် အဖြစ်နှင့်လည်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသေးသည်။



ပုံ(၅-၆) စရာမစ် ဒစ်ခ် ကပယ်စီတာတည်ဆောက်ပုံ

၅-၄-၅။ ဆားဖေ့စ်မောင် (သို့) ချစ်ပ်ကပယ်စီတာများ ( Surface Mount or Chip Capacitors)

ချစ်ပ်ရီစစ္စတာများကဲ့သို့ပင်ချစ်ပ်ကပယ်စီတာများကိုလည်းတည်ဆောက်ထားပါသည်။လျှပ်ကူးဖလင်ပြားများအကြားတွင် စရာမစ်တုံးကလေးများကို ထည့်သွင်း၍ တည်ဆောက်ထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသည် စရာမစ်၏ ဒိုင်အီလက်ထရစ် ကိန်းသေတန်ဖိုးနှင့် ဖလင်ပြား၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာတို့အပေါ်တွင်မူတည်နေပါသည်။ အသုံးများသော အရွယ်ပမာဏများမှာ အရှည် ၀.၁၂၅လက်မ၊ အနံ ၀.၀၆၃လက်မနှင့် အထူမှာ အရွယ်အမျိုးမျိုး ရှိပါသည်။ နောက်တစ်မျိုးမှာ အရှည် ၀.၀၈၀လက်မ၊ အနံ ၀.၀၅၀လက်မနှင့် အထူမှာ အရွယ်အမျိုးမျိုးရှိပါသည်။ ပုံ(၅-၇)တွင် ချစ်ပ်ကပယ်စီတာ အရွယ်အမျိုးမျိုးကို ခဲတံတစ်ချောင်းဖြင့် နှိုင်းယှဉ်၍ ဖော်ပြထားပါသည်။ ချစ်ပ်ကပယ်စီတာများ၏ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှာ pF အနည်းငယ်မှ μF အတော်များများအထိ ရှိနိုင်ပါသည်။ချစ်ပ်ကပယ်စီတာများကိုအလွန်သေးငယ်သော ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ် အသုံးချပတ်လမ်းများဖြစ်ကြသော တယ်လီဖုန်းအတွင်းပတ်လမ်းများ၊ ဗွီစီဒီပလေရာစက်များ၊ အိတ်ဆောင်ရေဒီယို၊ ကက်ဆက်သေည်တို့တွင် အများဆုံးတွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။

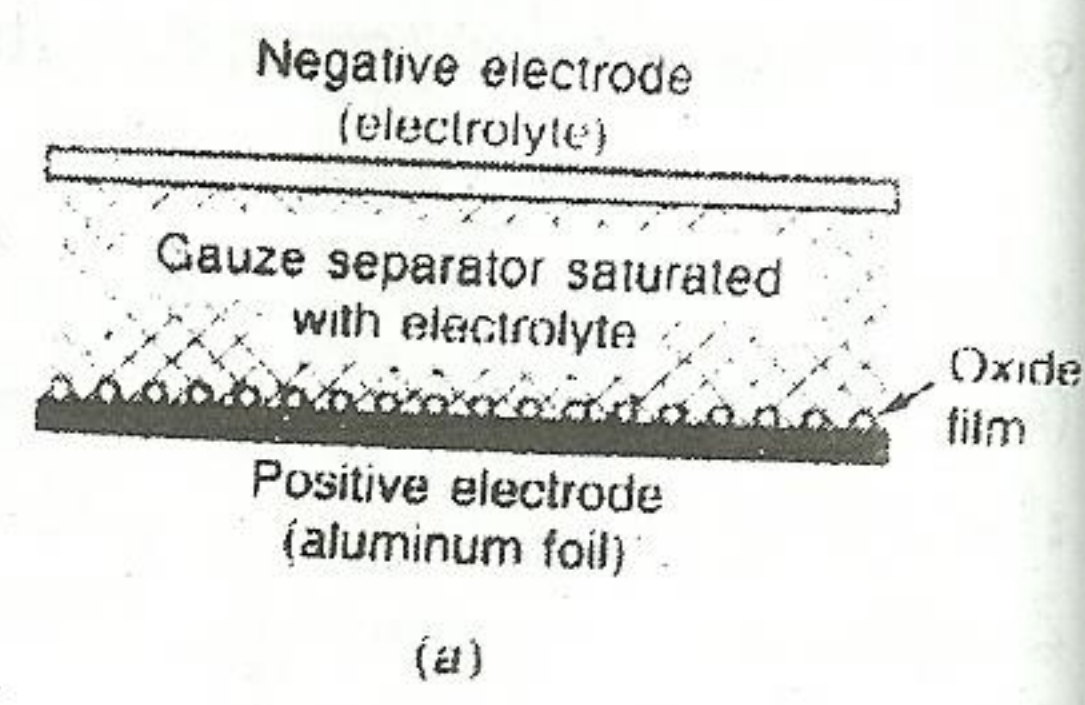


ပုံ(၅-၇) ချစ်ပ် ကပယ်စီတာများပုံ

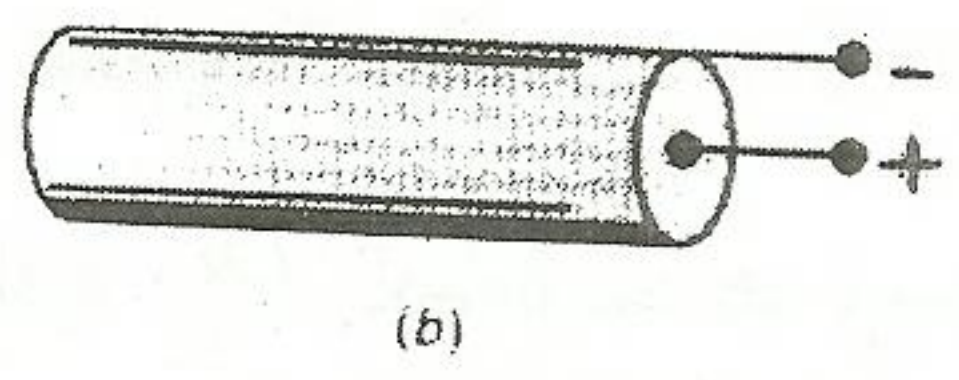


၅-၄-၆။ အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများ (Electrolytic Capacitors)

ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးများများ (1μF to 6800μF) ရယူနိုင်ရန်အတွက် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများကို တည်ဆောက်ထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများသည် ဈေးနှုန်း ချိုသာကြပြီး၊ အရွယ်ငယ်ငယ်ဖြင့် ကပယ်စီတင်များများ ရရှိနိုင်ကြပါ သည်။ တည်ဆောက်ပုံအရ အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာ နှစ်မျိုး ရှိပါသည်။ ယင်းတို့မှာ အလူမီနီယမ် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီ တာ နှင့် တန်တလမ် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာ တို့ဖြစ်ကြပါ သည်။



ပုံ(၅-ဂ)တွင် အလူမီနီယမ် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာ တည် ဆောက်ပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(၅-ဂ-က)တွင် အတွင်းပိုင်း ဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံကို တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ အလူမီနီယမ်အီလက် ထရတ်နှစ်ခုအကြားတွင်ဘိုရိတ်စ် (borax)၊ ဖေါ့စဖိတ် (phosphate)၊ ကာဘွန်နိတ်(carbonate)စသည့်အီလက်ထြိုလိုက်ပစ္စည်းများထည့်သွင်း ရှိတည်ဆောက်ထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ အလူမီနီယမ် အီလက်ထရတ်ပြား နှစ်ခုအကြားတွင် အီလက်ထြိုလိုက်အရည်များနှင့် စိမ်းထားသော ဝှမ်းစ (gauze) ကိုထည့်ထားပြီး အပေါင်းအီလက်ထရတ်ပေါ်တွင် အောက် ဆိုက်ဖလင်ပြားတစ်ခုကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ဤအမျိုးအစားကို အီလက် ထြိုလစ်တစ်အစို အမျိုးအစား (wet electrolytic type) ဟုခေါ်ပါ သည်။



ပထမအကြိမ် ဒီစီဗိုအားပေးလိုက်သောအခါ အပေါင်း အလူ မီနီယမ်အပြားနှင့် အီလက်ထြိုလိုက်တို့အကြားတွင် အလူမီနီယမ် အောက်ဆိုက် ဖော်လီကျူးဖလင်ပြားတစ်ခုဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။ ထို အောက်ဆိုက်ဖလင်သည် (ဒိုင်အီလက်ထရစ်) လျှပ်ကာပစ္စည်း ဖြစ် ပါသည်။ ကျန်အလူမီနီယမ်သတ္တုပြားကို ကိုယ်ထည် အခွံအဖြစ် တည်ဆောက်ထားပါသည်။ ကိုယ်ထည်ပြားသည် အီလက်ထြိုလိုက်နှင့် ဆက်သွယ်မှုရှိနေသောသဖြင့် ယင်းကို အနှုတ်အီလက်ထရတ် အဖြစ် ယူထားပါသည်။ အလွန်ပြားလွှာသော ဒိုင်အီလက်ထရစ် ဖလင်ပြားကို ရယူနိုင်သဖြင့် အလွန်ကြီးမားသော ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို ရရှိနိုင်ပါ သည်။ ဧရိယာကြီးကြီးရရှိအောင် အလူမီနီယမ်အပြားနှင့် ဝှမ်းစတို့ကို ဆလင်ဒါပုံရှည်ရှည်အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ 0.1μFရှိသောပေပါကပယ်စီ တာတစ်လုံးနှင့်အရွယ်တူသော အီလက်ထြိုလစ်တစ်ကပယ်စီတာ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသည် 1000μF အထိ ရှိနိုင်ပါသည်။ အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများသည် ခံနိုင်ရည်ဗို့အားအများဆုံး 450V အထိရှိနိုင်ပြီး၊ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှာလည်း အများဆုံး 6800μF အထိရရှိနိုင်ပါသည်။ သို့သော်လည်း ကပယ်စီတင် တန်ဖိုး ကြီးသော အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများအတွက် ခံနိုင်ရည်ဗို့အားသည် နိမ့်ကျလျက်ရှိကြပါသည်။ သတိပြုရန်အချက်မှာ-အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများကို ပတ်လမ်းတွင် အသုံးပြုသောအခါ ယင်းတို့၏ ငုတ်လက္ခဏာ အပေါင်း အနှုတ်သတ်မှတ်ချက်ကို ဂရုပြုကြရန်လိုအပ်ပါသည်။ အပေါင်း အနှုတ်မှားတပ်မိပါက ပေါက်ကွဲပျက်စီးမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပါသည်။



ပုံ(၅-ဂ) အလူမီနီယမ်အီလက်ထြို လစ်တစ်ကပယ်စီတာတစ်လုံး တည်ဆောက်ထားပုံ

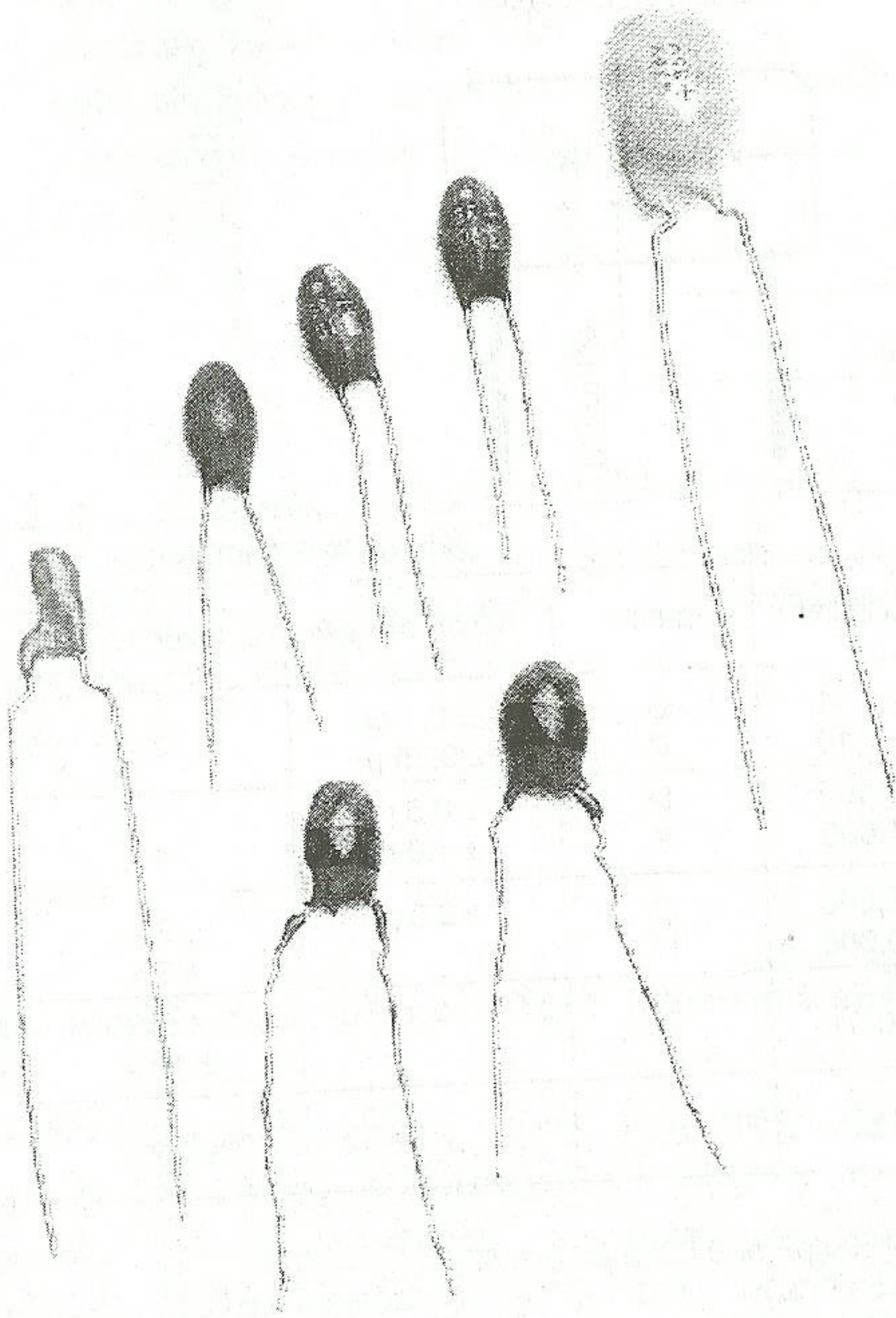


အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ

အလူမီနီယမ် အီလက်ထြိုလစ်တစ်ကပယ်စီတာများ၏ အားနည်းချက်တစ်ခုမှာ အခြားသော ကပယ်စီတာအမျိုးအစားများထက်စာလျှင် ယိုဖိတ်လျှပ်စီး (leakage current) အတော်အသင့်များနေခြင်းပင်ဖြစ်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အောက်ဆိုက်ဖလင်ပြားသည် လုံးဝဥသည့် လျှပ်ကာပစ္စည်းမဖြစ်နိုင်သောကြောင့် ဖြစ်ပါသည်။

ယိုဖိတ်လျှပ်စီးနည်းပါးစေရန်၊ ကြာရှည်အသုံးပြုနိုင်စေရန်နှင့် အရွယ်ငယ်ငယ်ဖြင့် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကြီးကြီးရယူနိုင်စေရန် စသည့်အရည်အချင်းကောင်းများနှင့် ပြည့်စုံစေရန်အတွက် အလူမီနီယမ်သတ္တုအစား တန်တလမ်သတ္တုကို အသုံးပြုပြီး အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများကို တည်ဆောက်ထားပါသည်။

တန်တလမ်အမျိုးအစားကပယ်စီတာများသည် အလူမီနီယမ်ထက်စာလျှင် ဈေးပိုကြီးကြပါသည်။ ယင်းတို့ကို အစို-အပြားအမျိုးအစား (wet-foil type) ၊ ချစ်ပ်အတုံးအမျိုးအစား (solid chip or slug type) စသည်ဖြင့် အသွင်အမျိုးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်ပါသည်။ ပုံ(၅-၉)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၅-၉) တန်တလမ် ကပယ်စီတာများပုံ

အထိ  
ပြီး၊  
နိမ့်  
သည်။  
ကို၏  
ပါက



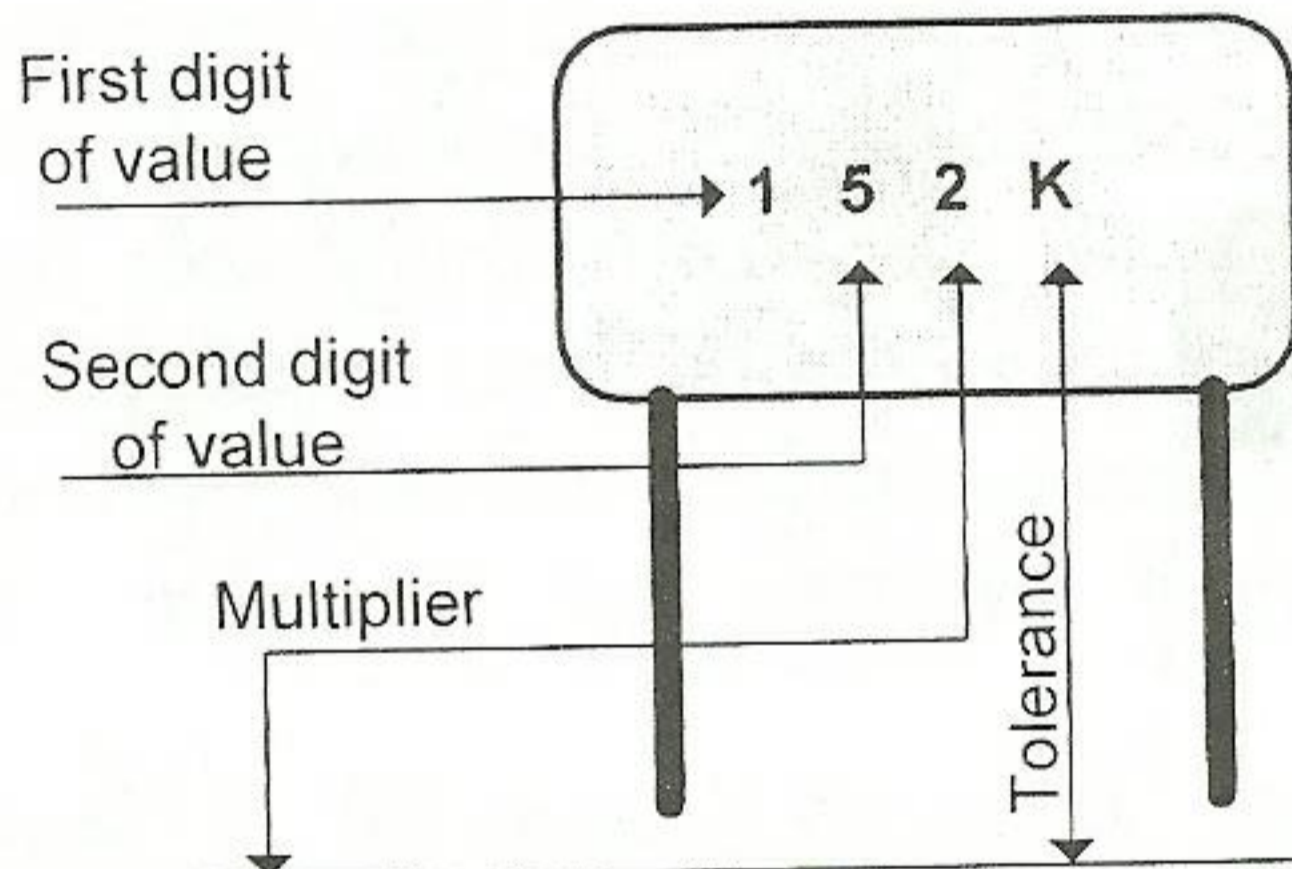
အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ

၅-၅။ ကပယ်စီတာ တန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် (Capacitor Coding)  $\mu F = 10^{-6} F$  ,  $pF = 10^{-12} F$

ကပယ်စီတာများ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးများကိုသတ်မှတ်သည့်အခါ အများအားဖြင့်  $\mu F$  or  $pF$  များဖြင့်သာ သတ်မှတ်လေ့ရှိကြပါသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများမှအပ ကျန်ကပယ်စီတာများအတွက် ကိန်းပြည့်ဂဏန်းများဖြင့်ဖော်ပြထားလျှင် (ဥပမာ- 33, 220, 680 စသည်ဖြင့်) ယင်းတို့သည်  $pF$  တန်ဖိုးများကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ အကယ်၍ ဒသမကိန်းများဖြင့် ဖော်ပြထားလျှင် (ဥပမာ- 0.1, 0.047, 0.0082 စသည်ဖြင့်) ယင်းတို့သည်  $\mu F$  တန်ဖိုးများကို ကိုယ်စားပြုကြပါသည်။  
သို့သော်လည်း ထုပ်လုပ်သူကုမ္ပဏီများက ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို နည်းမျိုးစုံဖြင့် သတ်မှတ်ထားကြပါသေးသည်။ အောက်တွင်ထိုသတ်မှတ်ချက်များကို ကပယ်စီတာအမျိုးအစားများခွဲခြား၍ ဖော်ပြလိုက်ပါသည်။

၅-၅-၁။ ဖလင် ကပယ်စီတာများ တန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် (Film Capacitor Coding)

Film-Type Capacitor



Multiplier		Tolerance of Capacitor		
For the Number	Multiplier	Letter	10 pF or Less	Over 10 pF
0	1	B	$\pm 0.1 pF$	
1	10	C	$\pm 0.25 pF$	
2	100	D	$\pm 0.5 pF$	
3	1,000	F	$\pm 1.0 pF$	$\pm 1\%$
4	10,000	G	$\pm 2.0 pF$	$\pm 2\%$
5	100,000	H		$\pm 3\%$
8	0.01	J		$\pm 5\%$
		K		$\pm 10\%$
9	0.1	M		$\pm 20\%$

Examples:

$152K = 15 \times 100 = 1500 pF$  or  $0.0015 \mu F$ ,  $\pm 10\%$

$759J = 75 \times 0.1 = 7.5 pF$ ,  $\pm 5\%$

Note: The letter R may be used at times to signify a decimal point, as in

$2R2 = 2.2 (pF \text{ or } \mu F)$

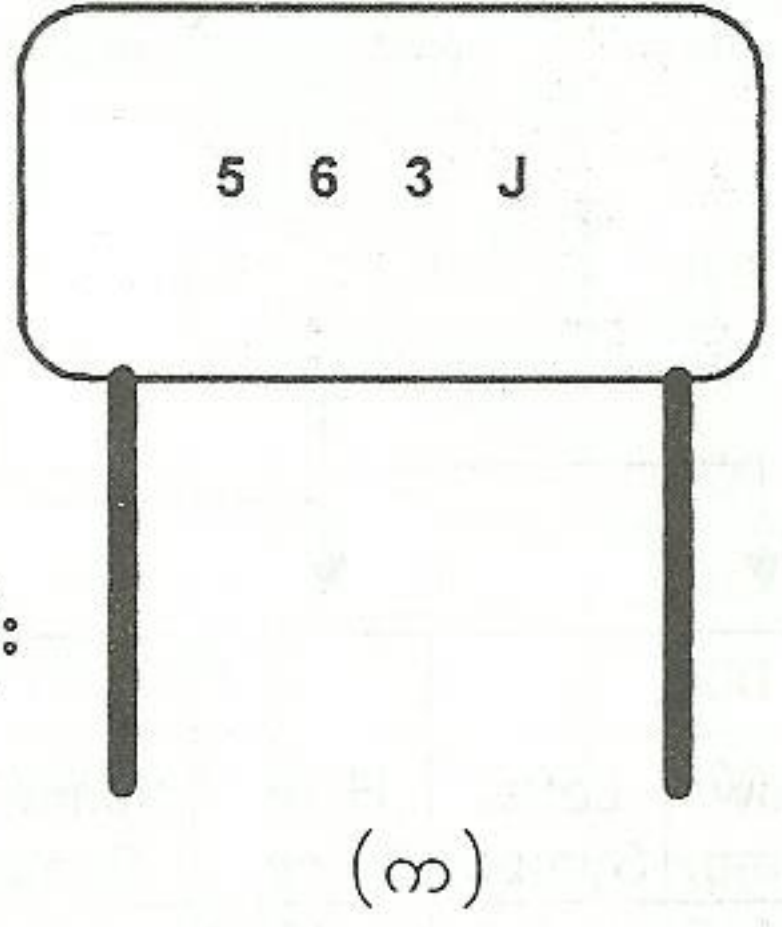
ပုံ(၅-၁၀) ဖလင် ကပယ်စီတာများအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်



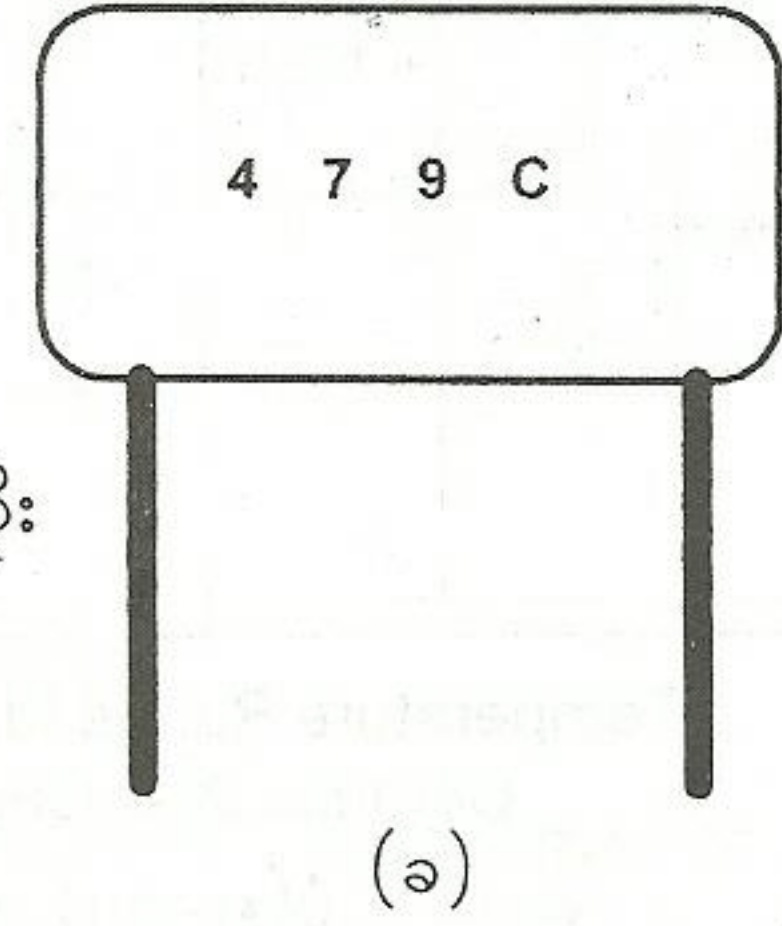
ဖလင် ကပယ်စီတာများ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးများ သတ်မှတ်ချက်ကို ပုံ(၅-၁၀)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ဖလင် ကပယ်စီတာ၏ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် ရေးထားသောဂဏန်းများအနက် ပထမဂဏန်းနှစ်လုံးသည် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှ ပထမနှင့်ဒုတိယတန်ဖိုးများကို ဖော်ပြပြီး တတိယဂဏန်းသည် မြှောက်ဖော်ကိန်းကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ စတုတ္ထမြောက်စာလုံးသည် တန်ဖိုးအတိုးအလျှော့ကို ဖော်ညွှန်းပါသည်။ နောက်ဆုံးတန်ဖိုးကို pF ယူနစ်ဖြင့်ဖော်ပြပါသည်။ ကပယ်စီတာ၏ ခံနိုင်ရည်ဖို့အားကို ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(၅-၁၁)တွင် ဥပမာဖော်ပြချက်များကိုလေ့လာကြည့်ပါ။

ဥပမာ။ ။ပုံ(၅-၁၁)တွင်ပြထားသော ဖလင်ကပယ်စီတာများ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးများကိုတွက်ပြပါ။

ပုံ(က)အရ- 5 နှင့် 6 တို့သည် တန်ဖိုး၏ ပထမကိန်းနှစ်လုံးဖြစ်ပြီး၊ တတိယဂဏန်း 3 သည် ဇယားအရ မြှောက်ဖော်ကိန်း 1000 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့်  $56 \times 1000 = 56,000$  pF ဖြစ်သည်။ နောက်ဆုံးစာလုံး J သည် တန်ဖိုးအတိုးအလျှော့  $\pm 5\%$  ဖြစ်သောကြောင့် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှာ  $56,000 \pm 5\%$  pF ဖြစ်ပါသည်။



ပုံ(ခ)အရ- 4 နှင့် 7 တို့သည် တန်ဖိုး၏ ပထမကိန်းနှစ်လုံးဖြစ်ပြီး၊ တတိယဂဏန်း 9 သည် ဇယားအရ မြှောက်ဖော်ကိန်း 0.1 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့်  $47 \times 0.1 = 4.7$  pF ဖြစ်သည်။ နောက်ဆုံးစာလုံး C သည် တန်ဖိုးအတိုးအလျှော့  $\pm 0.25\%$  ဖြစ်သောကြောင့် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှာ  $4.7 \pm 0.25\%$  pF ဖြစ်ပါသည်။



ပုံ(၅-၁၁)

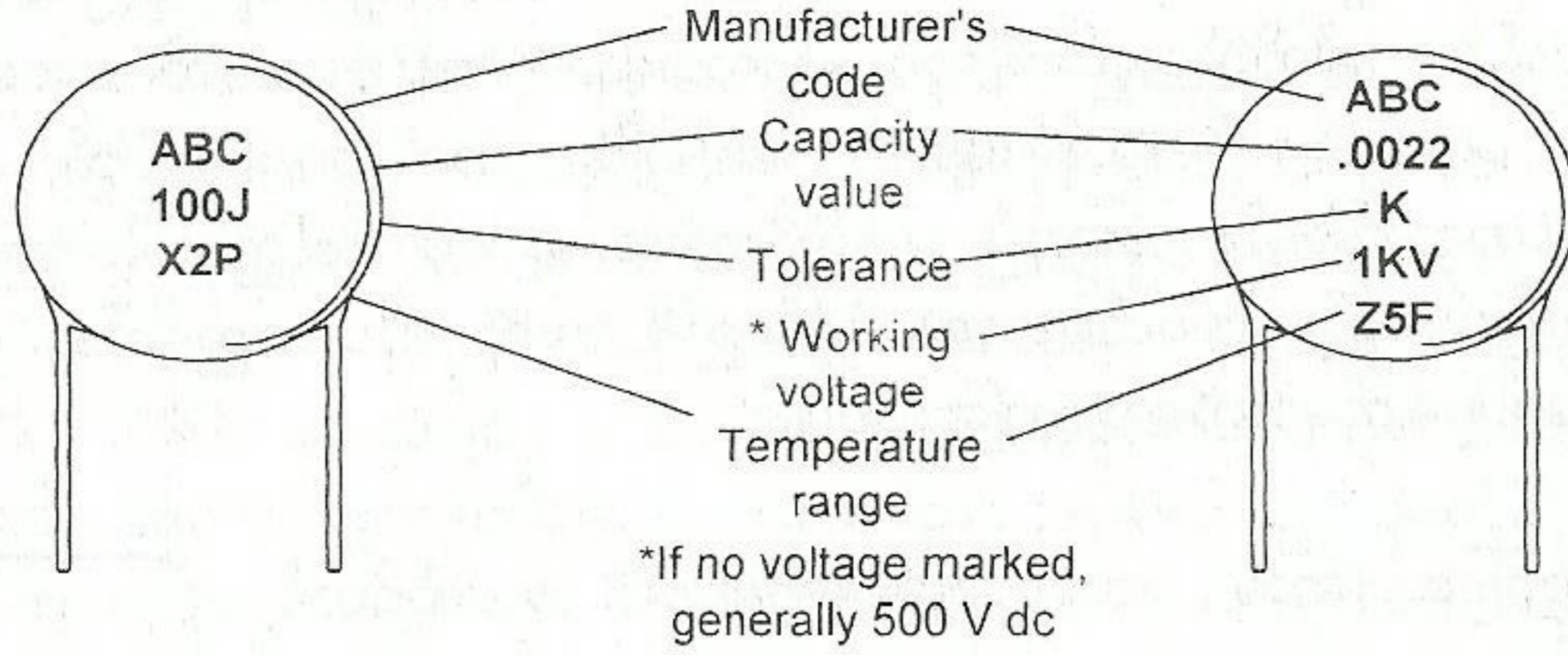
၅-၅-၂။ စရာမစ်ဒစ်စ် ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် (Ceramic Disk Capacitors Coding)

စရာမစ်ကပယ်စီတာများအနက် ချပ်ပြားပုံသဏ္ဍာန် ဒစ်စ် (disk) အမျိုးအစားအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး သတ်မှတ်ချက်ကို ပုံ(၅-၁၂)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံအရ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို သတ်မှတ်ရာတွင် ကိန်းပြည့်ဂဏန်း ဖြင့်သော်လည်းကောင်း၊ ဒဿမဂဏန်းများဖြင့်သော်လည်းကောင်း ဖော်ပြထားကြောင်းတွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ ထိုသို့ဖော်ပြချက်သည် ထုတ်လုပ်သော ကုမ္ပဏီပေါ်မူတည်ပါသည်။

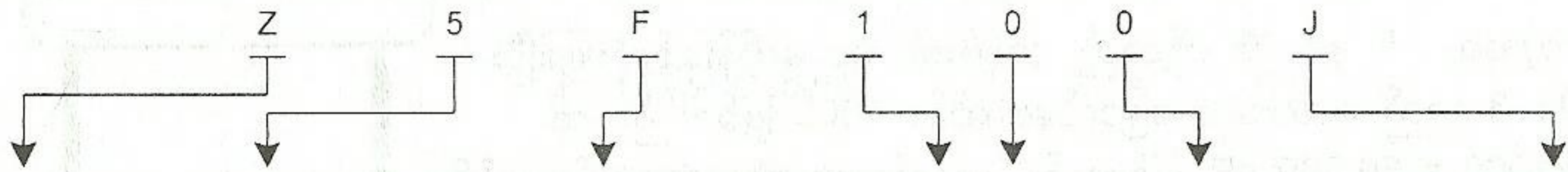
ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသောစာလုံးများမှာ ကုမ္ပဏီ၏သင်္ကေတအမှတ်အသား၊ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးဖော်ပြချက်၊ တန်ဖိုးအတိုးအလျှော့ဖော်ပြချက်တို့အပြင် အပူချိန်ခံနိုင်မှု၊ ဖို့အားခံနိုင်မှုတို့ကိုပါ ရိုက်နှိပ်ထားကြောင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။



Ceramic Disk Capacitors



Typical Ceramic Disk Capacitor Markings



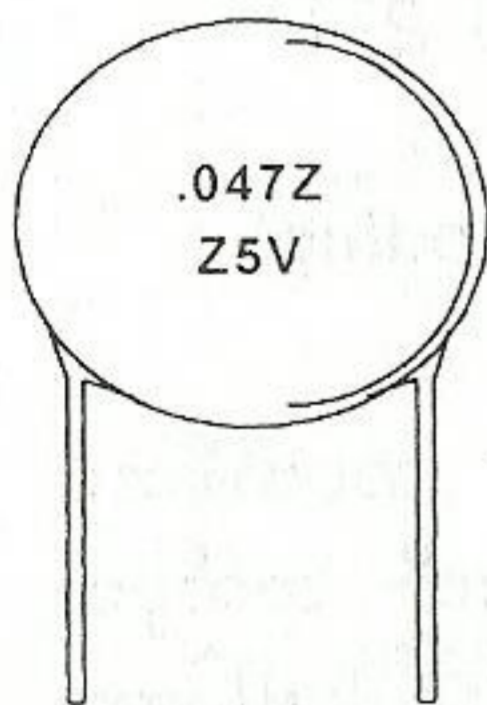
Low Temp.	Letter Symbol	High Temp.	Numerical Symbol	Max. Capacitance Change over Temp Range	Letter Symbol
+ 10°C	Z	+ 45°C	2	+1.0%	A
- 30°C	Y	+ 65°C	4	±1.5%	B
- 55°C	X	+ 85°C	5	±1.1%	C
		+ 105°C	6	±3.3%	D
		+ 125°C	7	±4.7%	E
				±7.5%	F
				±10.0%	P
				±15.0%	R
				±22.0%	S
				+22%, -33%	T
				+22%, -56%	U
				+22%, -82%	V

1st & 2nd Fig of Capacitance	Multiplier	Numerical Symbol	Tolerance on Capacitance	Letter Symbol
	1	0		
	10	1		
	100	2	±5%	J
	1,000	3	±10%	K
	10,000	4	±20%	M
	100,000	5	+100%, -0%	P
		--	+80%, -20%	Z
	0.01	8		
	0.1	9		

Capacity Value and Tolerance of Ceramic Disk Capacitors

Temperature Range Identification of Ceramic Disk Capacitors

ပုံ(၅-၁၂) စရာမစ်ဒစ်စ် ကပယ်စီတာအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ



ပုံ(၅-၁၃)

ဥပမာ။ ။ပုံ(၅-၁၃) တွင်ဖော်ပြထားသော ဒစ်စ်ကပယ်စီတာအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးဖတ်ပုံ ကိုဖော်ပြပါမည်။

ပထမစာတန်း: .047Z ဖော်ပြချက်အရ  $C = 0.047\mu F$  ဖြစ်ပါသည်။ Z သည် အတိုးအလျော့တန်ဖိုး +80% နှင့် -20% ရှိကြောင်းကို အထက်ပါဇယားအရသိရပါသည်။ ဆိုလိုသည်မှာ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသည်  $C = 0.047 + 0.047 \times 0.8\mu F = 0.047 + 0.0376 = 0.0846 \mu F$  နှင့်  $C = 0.047 - 0.047 \times 0.2\mu F = 0.047 - 0.0094 = 0.0376 \mu F$  အတွင်းဖြစ်နိုင်ပါသည်။

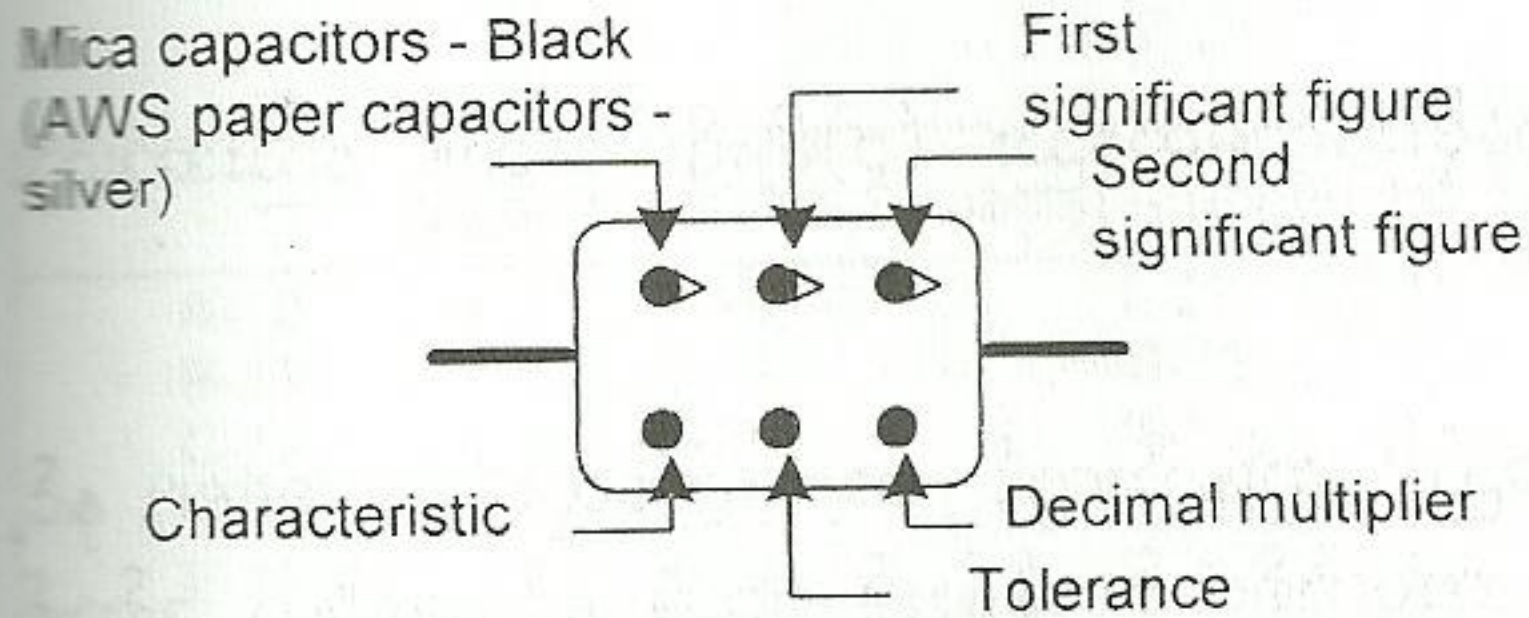
ဒုတိယစာတန်း: Z5V ဖော်ပြချက်အရ Z သည် အနိမ့်ဆုံးအပူချိန် +10°C ကိုဖော်ပြပြီး 5 သည် အမြင့်ဆုံးအပူချိန် +85°C ကိုဖော်ပြပါသည်။ V သည် သတ်မှတ်ထားသော အပူချိန်ခွင်(အနိမ့်ဆုံးအပူချိန် +10°C နှင့် အမြင့်ဆုံးအပူချိန် +85°C) အတွင်း ကပယ်စီတင်အများဆုံးပြောင်းလဲမှုသည် +22% နှင့် -82% ရှိကြောင်းကို ဖော်ပြနေပါသည်။



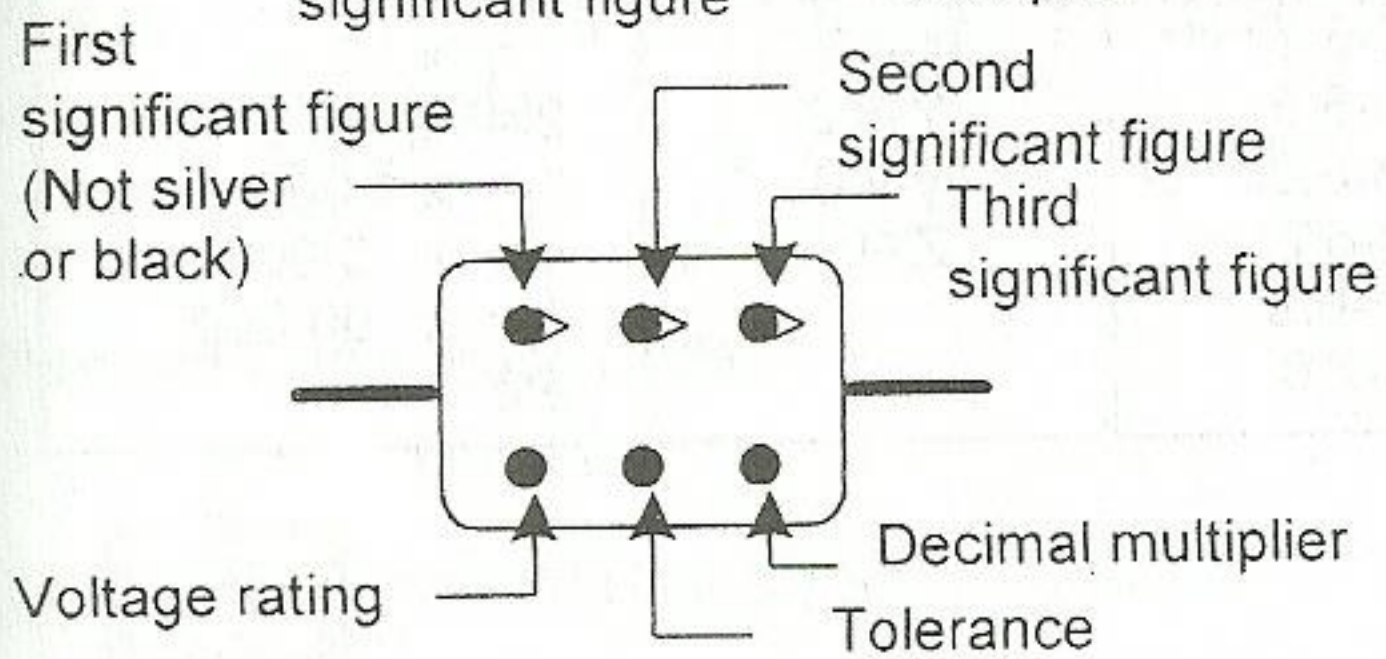
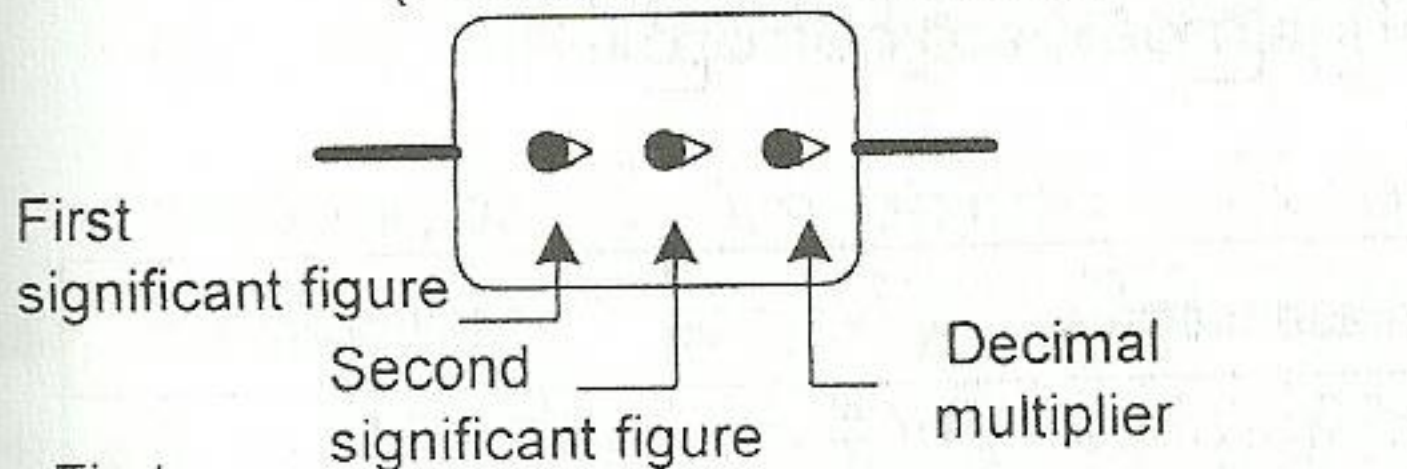
၅-၅-၃။ မိုက်ကာ ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် (Mica Capacitors Coding)

မိုက်ကာ ကပယ်စီတာများအတွက် ကပယ်စီတင်္ဂတန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံကို ပုံ(၅-၁၄)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

Postage Stamp Mica Capacitors



AWS and JAN fixed capacitors (First dot silver or black)

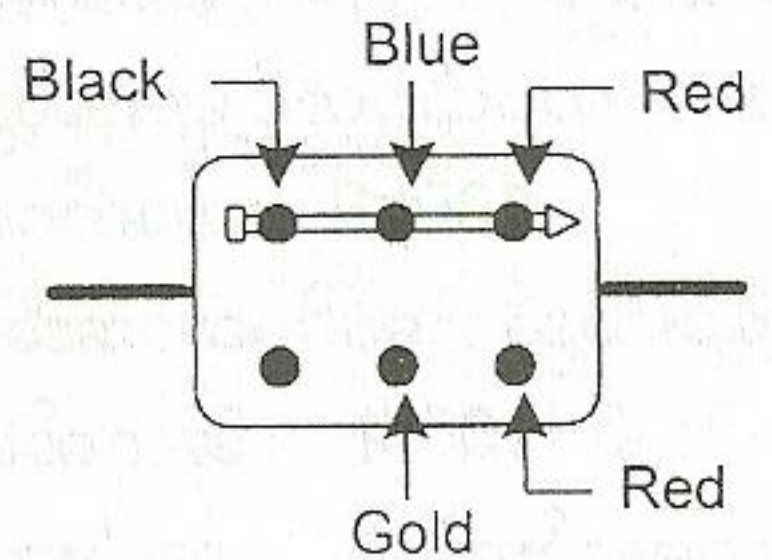


Color	Significant Figure	Multiplier	Tolerance (%)	Voltage Rating
Black	0	1	-	-
Brown	1	10	1	100
Red	2	100	2	200
Orange	3	1,000	3	300
Yellow	4	10,000	4	400
Green	5	100,000	5	500
Blue	6	1,000,000	6	600
Violet	7	10,000,000	7	700
Gray	8	100,000,000	8	800
White	9	1,000,000,000	9	900
Gold	-	0.1	5	1,000
Silver	-	0.01	10	2,000
No color	-	-	20	500

ပုံ(၅-၁၄) မိုက်ကာ ကပယ်စီတာ၏ ကပယ်စီတင်္ဂတန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ

ဥပမာတစ်ခုအနေဖြင့် ပုံ(၅-၁၅) ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် အရောင်အစက်ငယ်များဖြင့် ဖော်ပြထားသော မိုက်ကာကပယ်စီတာအတွက် ကပယ်စီတင်္ဂတန်ဖိုးဖတ်ပုံကို တင်ပြပါမည်။ တန်ဖိုးဖတ်ပုံဖတ်နည်းမှာ အပေါ်ဆုံး အရောင်တန်းကို ဘယ်ဖက်မှ ညာဖက်သို့ဦးတည်ဖတ်ရပါမည်။ ထိုနောက် အောက်ဖက်အရောင်တန်း ကိုဖတ်သည့်အခါ ညာဖက်မှ ဘယ်ဖက်သို့ဦးတည်၍ ဖတ်ရပါမည်။

ပုံ(၅-၁၅)တွင် ဖော်ပြထားသော ကပယ်စီတာပုံတွင် အပေါ်တန်းမှ ဘယ်ဖက် အစွန်ဆုံး အစက်သည် အနက်ရောင် သို့မဟုတ် ငွေရောင် သို့မဟုတ် အခြားအရောင် တစ်ခုခုဖြစ်နိုင်သည်။ အကယ်၍ အနက်ရောင်ဖြစ်လျှင် မိုက်ကာ ကပယ်စီတာဖြစ်ကြောင်းကို ဖော်ပြသည်။ ငွေရောင်ဖြစ်လျှင် AWSပေပါ ကပယ်စီတာဖြစ်ကြောင်းကို ဖော်ပြသည်။ အခြားသောအရောင်တစ်ခုခုဖြစ်လျှင် ကပယ်စီတင်္ဂ တန်ဖိုး၏ပထမဂဏန်းကိုဖော်ပြသည်။ အပေါ်တန်းမှညာဖက် ဒုတိယနှင့် တတိယအစက်များသည် ကပယ်စီတင်္ဂ၏ ပထမနှင့် ဒုတိယဂဏန်းများကိုဖော်ပြပါသည်။ ပုံတွင် အပြာရောင်နှင့်အနီရောင်တို့ဖြစ်ကြသောကြောင့် 62 ဖြစ်ကြပါသည်။



ပုံ(၅-၁၅)

အောက်တန်းညာ ဖက်အစွန်ဆုံး အစက်သည် အနီရောင်ဖြစ်သောကြောင့် မြောက်ဖော်ကိန်း 100 ဖြစ်ပါသည်။ အောက်တန်း အလယ်စက်သည် ရွှေရောင်ဖြစ်သောကြောင့် အတိုးအလျှော့ 5% ရှိပါသည်။ ထိုကြောင့်ပုံ



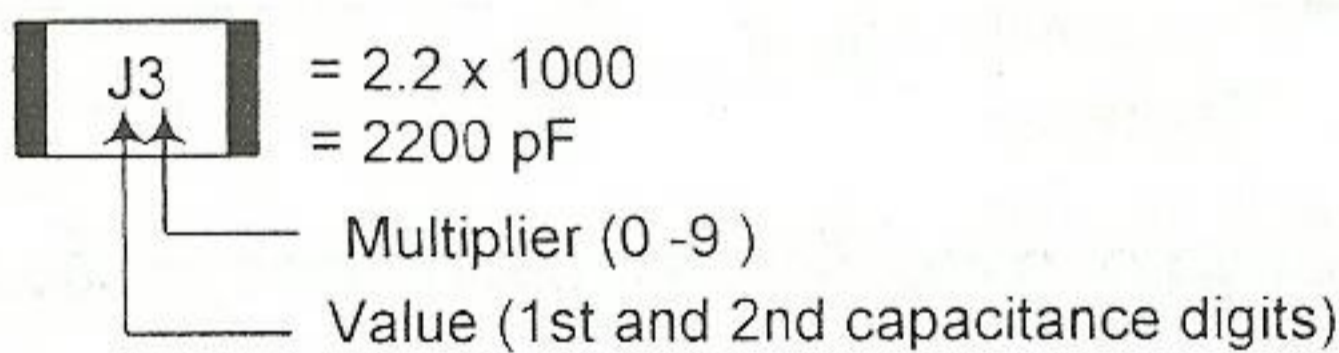
(၅-၁၅)တွင် ဖော်ပြထားသော မိုက်ကာ ကပယ်စီတာ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသည်  $C = 62 \times 100\text{pF} = 6200\text{pF} \pm 5\%$  ဖြစ်ပါသည်။ အောက်ဖက်တန်း၏ဘယ်ဖက်အစွန်ဆုံးအစက်သည် မိုအားခံနိုင်မှုတန်ဖိုးကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ ပုံ(၅-၁၄)မှ ဇယားတွင် ထိုအစက်အတွက် အရောင်နှင့်တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြထားပါသည်။

**၅-၅-၄။ ချစ်ပ် ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် (Chip Capacitors Coding)**

ချစ်ပ် ကပယ်စီတာများအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်နည်း (၃)မျိုးရှိပါသည်။ နည်းအားလုံးသည် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို pF ဖြင့် ဖော်ပြကြပါသည်။

ပထမနည်း ကို ပုံ(၅-၁၆)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ဤနည်းတွင် စာလုံးတစ်လုံး (a letter) နှင့် ဂဏန်းတစ်လုံး (a number) ပါဝင်ပါသည်။ စာလုံးသည် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး၏ ပထမ နှင့် ဒုတိယ ဒစ်ဂျစ်များကို ကိုယ်စားပြုပြီး ဂဏန်းသည် မြှောက်ဖော်ကိန်း (0 to 9) ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ ပုံ(၅-၁၆)တွင် J3 သည်  $C = 2.2 \times 1000\text{pF} = 2200\text{pF}$  ကို ကိုယ်စားပြုဖော်ပြကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

Value (33 Value Symbols) -- Upper and lowercase Letters					Multiplier
A-1.0	H-2.0	b-3.5	f-5.0	X-7.5	0 = x 1.0
B-1.1	J-2.2	P-3.6	T-5.1	t-8.0	1 = x 10
C-1.2	K-2.4	Q-3.9	U-5.6	Y-8.2	2 = x 100
D-1.3	a-2.5	d-4.0	m-6.0	y-9.0	3 = x 1,000
E-1.5	L-2.7	R-4.3	V-6.2	Z-9.1	4 = x 10,000
F-1.6	M-3.0	e-4.5	W-6.8		5 = x 100,000
G-1.8	N-3.3	S-4.7	n-7.0		etc.



**ပုံ(၅-၁၆) ချစ်ပ်ကပယ်စီတာအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ (ပထမနည်း)**

ဒုတိယနည်း ကို ပုံ(၅-၁၇)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ဤနည်းတွင်စနစ်(J)မျိုး ထပ်မံခွဲခြားထားပြန်ပါသည်။ 100pF အောက်ငယ်သောကပယ်စီတင်များအတွက် တန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်နှင့် 100pF အထက်ကြီးသော ကပယ်စီတင်များအတွက်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက်ဟူ၍ဖြစ်ပါသည်။

100pF အောက်ငယ်သောကပယ်စီတင်များအတွက်တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြချက်အတိုင်း တိုက်ရိုက်ဖတ်နိုင်ပါသည်။ ဖော်ပြထားသော ဂဏန်းများသည် pF တန်ဖိုးများပင်ဖြစ်ပါသည်။

100pF အထက်တန်ဖိုးများအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးဖတ်နည်းမှာ အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့ပြီးသော ပထမနည်းကဲ့သို့ စာလုံးတစ်လုံး နှင့် ဂဏန်းတစ်လုံး ပါဝင်သောစနစ်အတိုင်းဖတ်ရပါသည်။ ပုံ(၅-၁၇) တွင် ကြည့်ပါ။

မှတ်ချက်။ ။ ဒုတိယနည်းတွင် စာလုံးတန်ဖိုးများသည် ပထမနည်းမှ စာလုံးတန်ဖိုးများထက် (၁၀)ဆပိုပါသည်။



Alternate Two-Place Code

\* Values below 100pF-- Value read directly

\* Values 100pF and above --Letter/ number code

05 = 5 pF      82 = 82 pF      A1 = 10 x 10 = 100 pF      N3 = 33 x 1000 = 33000 pF = 0.033 μF  
 Multiplier ( 1 - 9 )  
 Value (1st and 2nd significant digits)

Value (24 Value Symbols) -- Uppercase Letters Only					Multiplier
A-10	F-16	L-27	R-43	W-68	1 = x 10
B-11	G-18	M-30	S-47	X-75	2 = x 100
C-12	H-20	N-33	T-51	Y-82	3 = x 1,000
D-13	J-22	P-36	U-56	Z-91	4 = x 10,000
E-15	K-24	Q-39	V-62		5 = x 100,000 etc

ပုံ(၅-၁၇) ချစ်ပ် ကပယ်စီတာများအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ (ဒုတိယနည်း)

တတိယနည်း ကို ပုံ(၅-၁၈)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ဤနည်းတွင် စာလုံးတစ်လုံးတည်း သို့မဟုတ် ဂဏန်း တစ်လုံးတည်းကို အရောင်နှင့်ဖော်ပြထားပါသည်။ စာလုံးနှင့် ဂဏန်းတို့သည် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး၏ ထမ နှင့် ဒုတိယ ဒစ်ဂျစ်များကို ကိုယ်စားပြုပြီး အရောင်သည် မြောက်ဖော်ကိန်းကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ ပုံ(၅-၁၈)တွင်ကြည့်ပါ။

Standard Single-Place Code

Orange  
W = 4.7 x 1.0 = 4.7 pF  
 Color multiplier  
 Symbol value

Examples: R (Green) = 3.3 x 100 = 330 pF  
 7 (Blue) = 8.2 x 1000 = 8200 pF

Value (24 Value Symbols) -- Uppercase Letters Only					Multiplier (Color)
A-1.0	H-1.6	N-2.7	V-4.3	3-6.8	Orange = x 1.0
B-1.1	I-1.8	O-3.0	W-4.7	4-7.5	Black = x 10
C-1.2	J-2.0	R-3.3	X-5.1	7-8.2	Green = x 100
D-1.3	K-2.2	S-3.6	Y-5.6	9-9.1	Blue = x 1,000
E-1.5	L-2.4	T-3.9	Z-6.2		Violet = x 10,000
					Red = x 100,000

ပုံ(၅-၁၈) ချစ်ပ် ကပယ်စီတာများအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ (တတိယနည်း)

အထက်ပါပုံ(၅-၁၈)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ချစ်ပ်ကပယ်စီတာ၏ ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် လိမ္မော်ရောင်ဖြင့် ရေးထားသော စာလုံး W သည် ဇယားတွင်ဖော်ပြထားသော တန်ဖိုးများအရ C = 4.7 x 1.0 pF = 4.7 pF ကို ကိုယ်စားပြုဖော်ပြကြောင်း တွေ့ရပါသည်။  
 ချစ်ပ်ကပယ်စီတာများ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို သတ်မှတ်သည့်နည်းသည် ယခုဖော်ပြခဲ့သော နည်းများအပြင် အခြားနည်းများလည်းရှိနိုင်ပါသေးသည်။ သို့သော် ယခုဖော်ပြခဲ့သော နည်းများသည် ယေဘုယျအကျဆုံးနှင့် လက်တွေ့အသုံးအများဆုံးသော နည်းများဖြစ်ကြပါသည်။

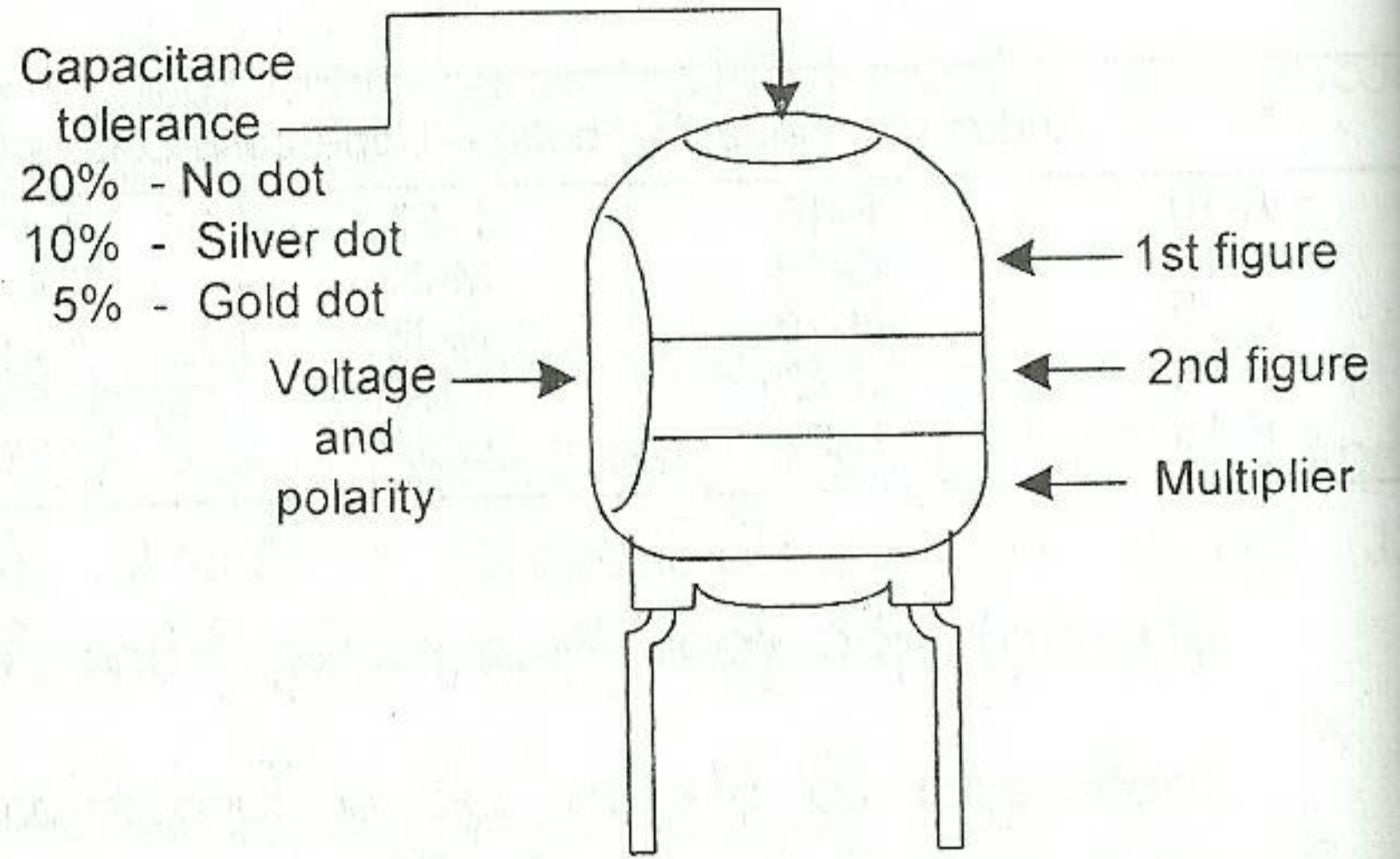


၅-၅-၅။ တန်တလမ် ကပယ်စီတာများတန်ဖိုးသတ်မှတ်ချက် (Tantalum Capacitors Coding)

တန်တလမ် ကပယ်စီတာများအတွက် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်နည်းမှာ ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် အရောင်များချယ်၍ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို pF ဖြင့်ဖော်ပြကြပါသည်။ ပုံ(၅-၁၉)တွင်ကြည့်ပါ။

Dipped Tantalum Capacitors

Color	Rated Voltage	Capacitance in Picofarads		Multiplier
		1st Figure	2nd Figure	
Black	4	0	0	-
Brown	6	1	1	-
Red	10	2	2	-
Orange	15	3	3	-
Yellow	20	4	4	10,000
Green	25	5	5	100,000
Blue	35	6	6	1,000,000
Violet	50	7	7	10,000,000
Gray	-	8	8	-
White	3	9	9	-

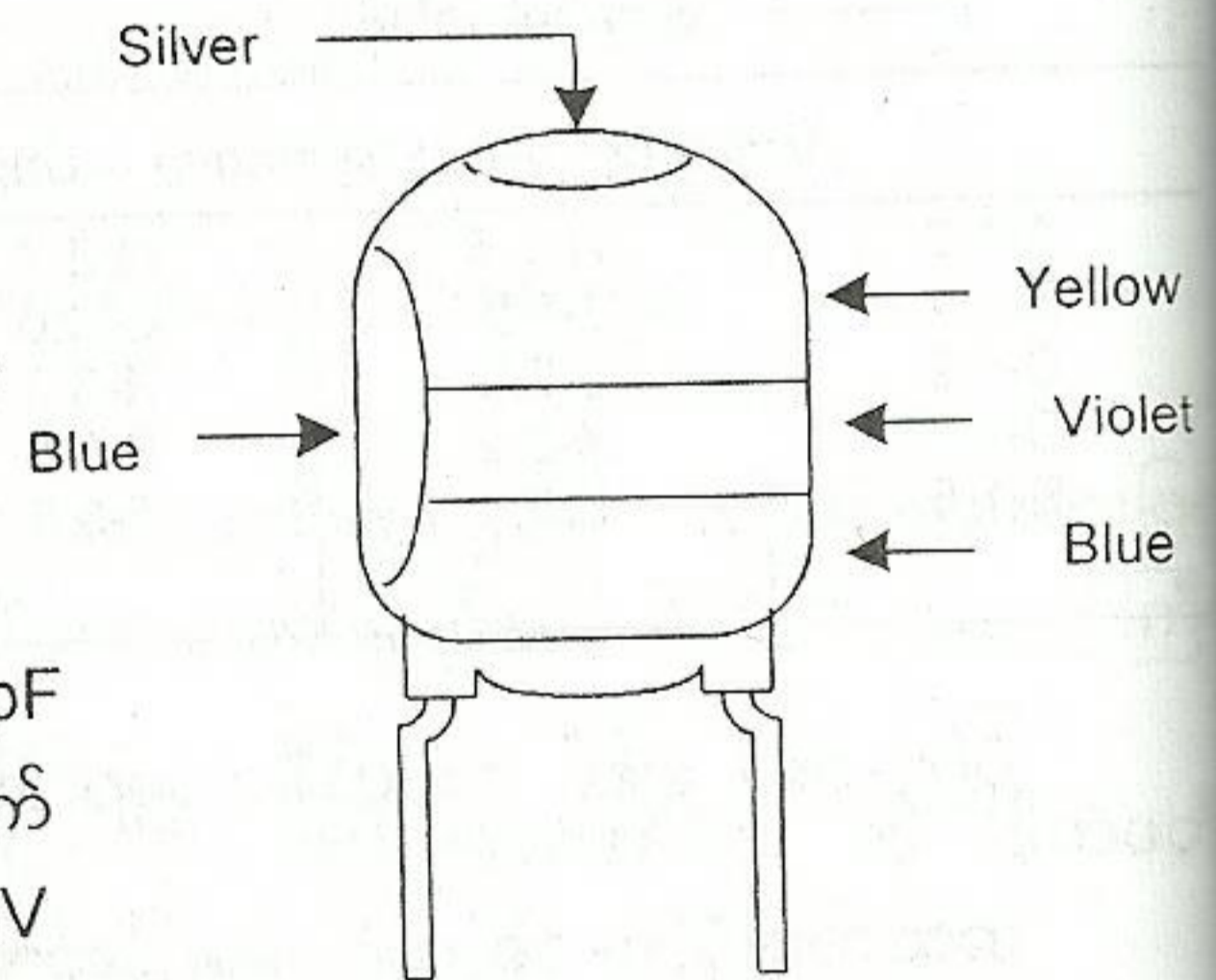


ပုံ(၅-၁၉) တန်တလမ် ကပယ်စီတာ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသတ်မှတ်ပုံ

ဥပမာတစ်ခုအနေနှင့် ပုံ(၅-၂၀)ဖော်ပြထားသော တန်တလမ် ကပယ်စီတာ၏ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးဖတ်ပုံကို ဖော်ပြပါမည်။

ပုံအရ- ကပယ်စီတာ၏ ထိပ်ပိုင်းမှအောက်ခြေသို့ကြည့်လိုက်သော အခါ ပထမအရစ်သည် အဝါရောင်ဖြစ်ပြီး ဒုတိယအရစ်သည် ခရမ်းရောင်ဖြစ်သောကြောင့် ပထမကိန်းနှင့်ဒုတိယကိန်းတို့မှာ 4 နှင့် 7 တို့ အသီးသီးဖြစ်ကြသည်။ တတိယအရစ်မှာ အပြာရောင်ဖြစ်သောကြောင့် မြောက်ဖော်ကိန်းမှာ 1,000,000 ဖြစ်ပါသည်။

ထို့ကြောင့် ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးမှာ  $C = 47 \times 1,000,000 \text{ pF} = 47,000,000 \text{ pF} = 47 \mu\text{F}$  ဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။ ဘယ်ဖက်ခြမ်းတွင် ချယ်ထားသော အပြာရောင်သည် ပို့အားခံနိုင်မှုတန်ဖိုး 35V ကို ဖော်ပြပါသည်။ ထို့အပြင် ထိပ်တွင်ချယ်ထားသော ငွေရောင်အစက်မှာ တန်ဖိုး အတိုးအလျော့  $\pm 10\%$  ဖြစ်ကြောင်းကို ဖော်ပြပါသည်။



ပုံ(၅-၂၀)

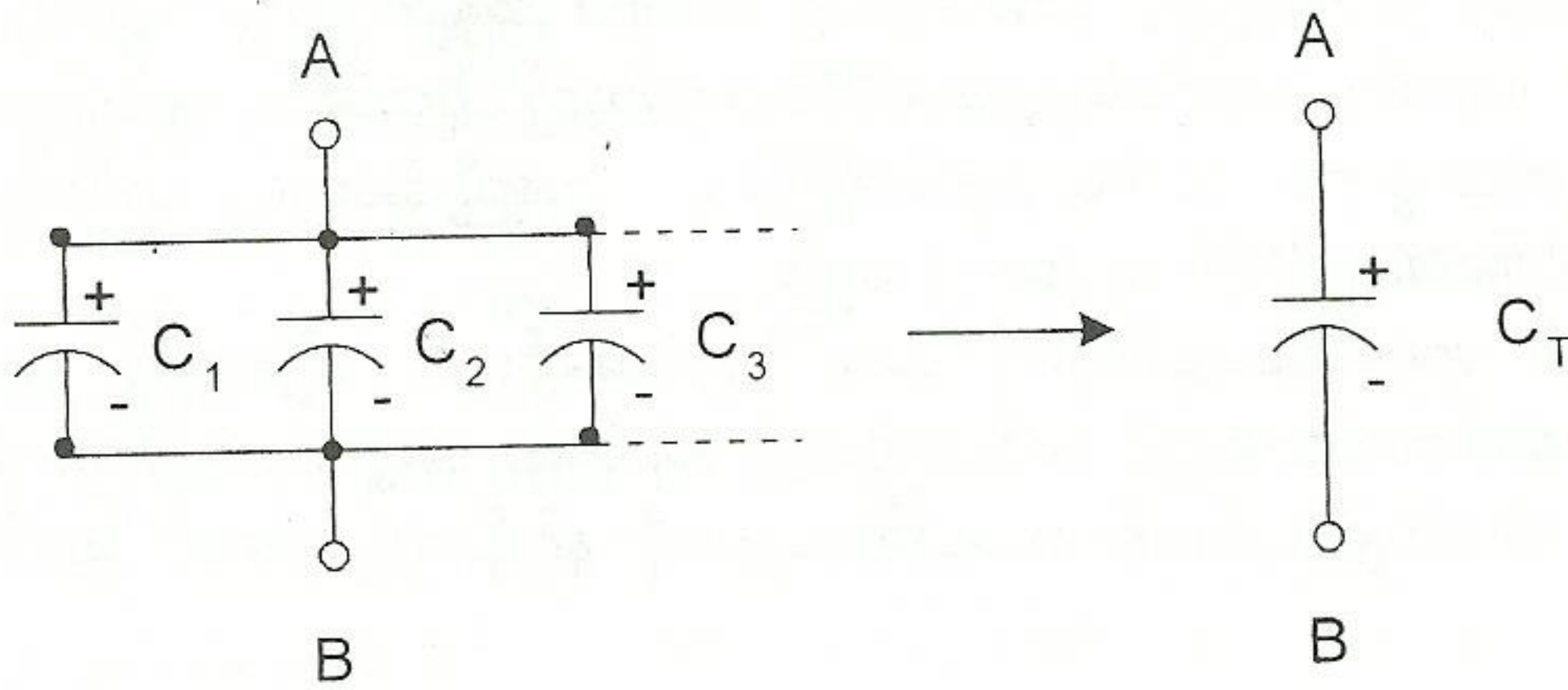


၅-၆။ ကပယ်စီတာများကို အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်း (Parallel Combination of Capacitors)

ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးများများ ရလိုလျှင် ကပယ်စီတာများကို အပြိုင်ဆက်သွယ်ရပါသည်။ ဥပမာအား ဖြင့် 220μF ကပယ်စီတာနှစ်လုံးကို ပြိုင်၍ဆက်လိုက်လျှင် 440μF ကိုရရှိလာပါသည်။ ကပယ်စီတာများကို အပြိုင်ဆက်ထားသောအခါ ရရှိလာသော အကျိုးကပယ်စီတင်တန်ဖိုးသည် တစ်ခုချင်း၏ပေါင်းလဒ် နှင့်တူညီ ပါသည်။ အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

ကပယ်စီတာများကို အပြိုင်ဆက်သွယ်ပုံကို ပုံ(၅-၂၁) တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုသို့အပြိုင်ဆက်သွယ် သည့်အခါ အီလက်ထြိုလစ်တစ်ကပယ်စီတာများအတွက် အပေါင်းအနှုတ်ငုတ်များ အတူတူထား၍ ဆက်သွယ် ရန်လိုအပ်ပါသည်။။ အီလက်ထြိုလစ်တစ်မဟုတ်သော ကပယ်စီတာများအတွက် ကြိုက်သလိုဆက်နိုင်ပါသည်။



ပုံ(၅-၂၁) ကပယ်စီတာများကို အပြိုင်ဆက်သွယ်ပုံ

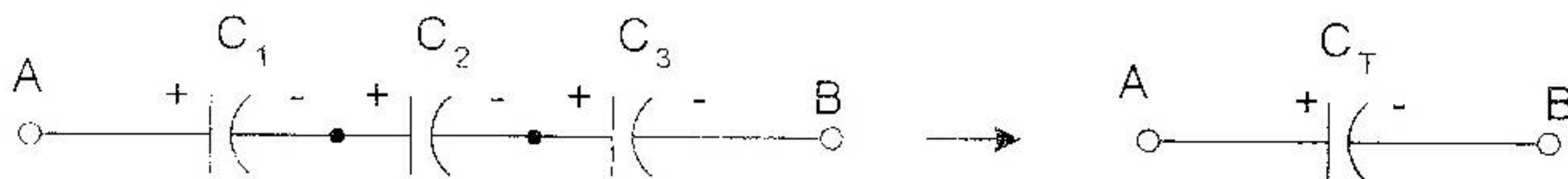
၅-၇။ ကပယ်စီတာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ခြင်း (Series Combination of Capacitors)

ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကိုလျှော့ချလိုလျှင် ကပယ်စီတာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ရပါသည်။ ဥပမာ အားဖြင့် 220μF ကပယ်စီတာနှစ်လုံးကို တန်းဆက် ဆက်လိုက်လျှင် 110μF ကိုရရှိလာပါသည်။ ကပယ်စီ တာများကို တန်းဆက်ထားသောအခါ ရရှိလာသော အကျိုးကပယ်စီတင်တန်ဖိုး၏ ပြောင်းပြန်လှန်ကိန်းသည် တစ်ခုချင်းကိုပြောင်းပြန်လှန်ပြီးပေါင်းလဒ်နှင့် တူညီပါသည်။ အောက်ပါပုံသေနည်း ကိုကြည့်ပါ။

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

ကပယ်စီတာများတန်းဆက် ဆက်သွယ်ပုံကို ပုံ(၅-၂၂) တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများအတွက် ထိုသို့ ဆက်သွယ်သည့်အခါ ရှေ့အလုံး၏အနှုတ်ငုတ်နှင့် နောက်အလုံး၏ အပေါင်း ငုတ်များ တန်းဆက်၍ ဆက်သွယ်ရန် လိုအပ်ပါသည်။ အီလက်ထြိုလစ်တစ်မဟုတ်သော ကပယ်စီတာများအ တွက် ကြိုက်သလိုဆက်နိုင်ပါသည်။





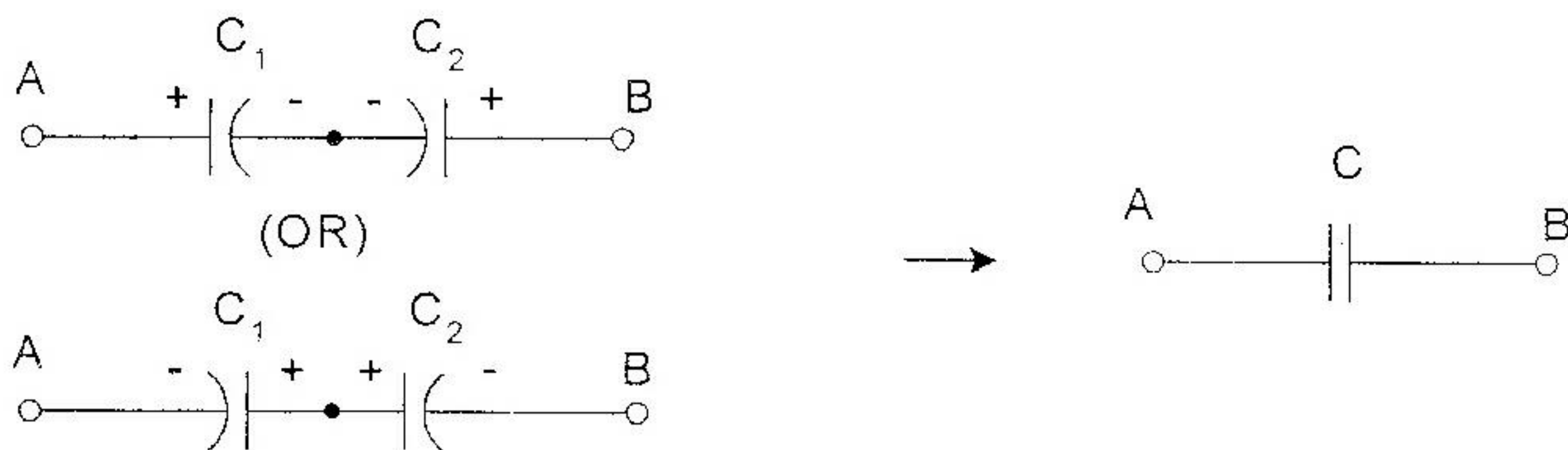
ပုံ(၅-၂၂) ကပယ်စီတာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ပုံ

၅-၈။ နန်းပိုလာ ကပယ်စီတာများ (Non-Polar Capacitors)

အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများသည် ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းတွင် မျိုးမတူလျှပ်စစ်များဖြစ်ပေါ်လာစေအောင်ပြုလုပ်ခြင်းကို ပိုလာရိုင်ဇေးရှင်း (polarization) ဟုခေါ်ပါသည်။ ထိုသို့ ပိုလာရိုင်ဇေးရှင်းပြုလုပ်ရန် ဒီစီဗို့အားပေးရန် လိုအပ်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများကို ပိုလာရိုင်ဇေးရှင်းကပယ်စီတာများဟုခေါ်ပါသည်။ ယင်းတို့တွင် ငုတ်လက္ခဏာ အပေါင်း အနှုတ်သတ်မှတ်ချက်ရှိပါသည်။

ပေပါ၊ မိုက်ကာ၊ စရာမစ်၊ ဖလင်စသည့်ကပယ်စီတာများသည် ပိုလာရိုင်ဇေးရှင်းပြုလုပ်ရန်မလိုသောကြောင့် ယင်းတို့တွင် ငုတ်လက္ခဏာ သတ်မှတ်ချက်မရှိကြချေ။ တနည်းအားဖြင့် ယင်းတို့ကို နန်းပိုလာ ကပယ်စီတာများ (Non-Polarization)(NP) ဟု ခေါ်ပါသည်။

အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာနှစ်လုံးကို အပေါင်းငုတ်အချင်းချင်း သို့မဟုတ် အနှုတ်ငုတ်အချင်းချင်း အတူထားလျက် တန်းဆက်ဆက်ထားလျှင် ယင်းအတွဲသည် နန်းပိုလာ အမျိုးအစားဖြစ်သွားပေတော့သည်။ အောက်ပါပုံ (၅-၂၃)တွင် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများကို နန်းပိုလာဖြစ်အောင် ဆက်သွယ်ထားပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၅-၂၃) နန်းပိုလာ ကပယ်စီတာ ပြုလုပ်ပုံ

နန်းပိုလာ ကပယ်စီတာများကို အေစီမော်တာများနှင့်တွဲဖက်၍သော်လည်းကောင်း အသံချဲ့စက်များတွင် စပီကာအသံလမ်းခွဲ ပတ်လမ်းများတွင်လည်းကောင်း အသုံးပြုလေ့ရှိကြပါသည်။

နန်းပိုလာ ကပယ်စီတာများတွင် အပေါင်းအနှုတ်ငုတ်လက္ခဏာ သတ်မှတ်ချက်မရှိသဖြင့် ယင်းတို့ကို ဘိုင်ပိုလာ ကပယ်စီတာ (Bi polar capacitor) ဟုလည်းခေါ်ကြပါသေးသည်။

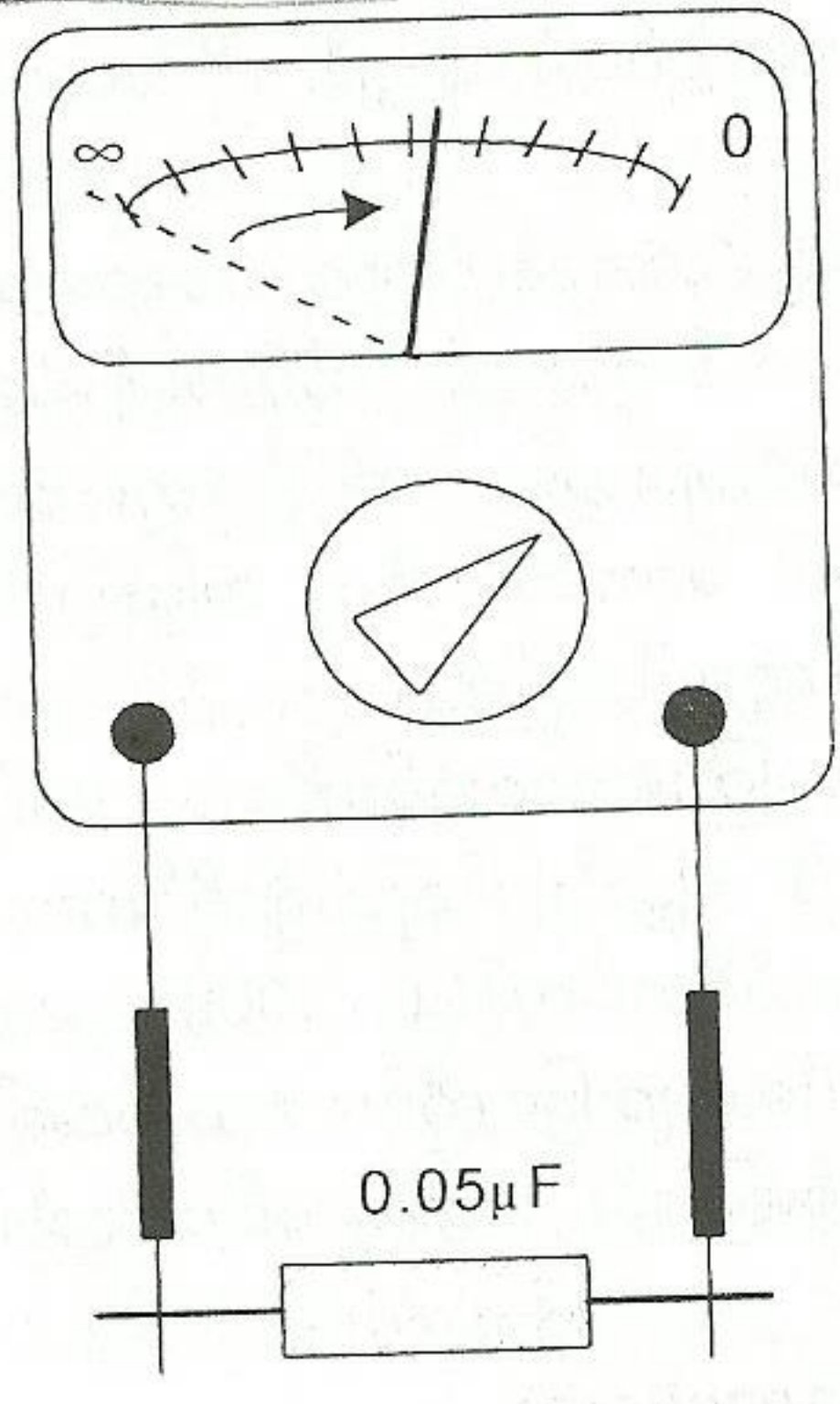


၅-၉။ ကပယ်စီတာများ ကောင်း/မကောင်း အုပ်စုဖွဲ့စစ်စမ်းသပ်နည်း (Checking Capacitors with an Ohmmeter)

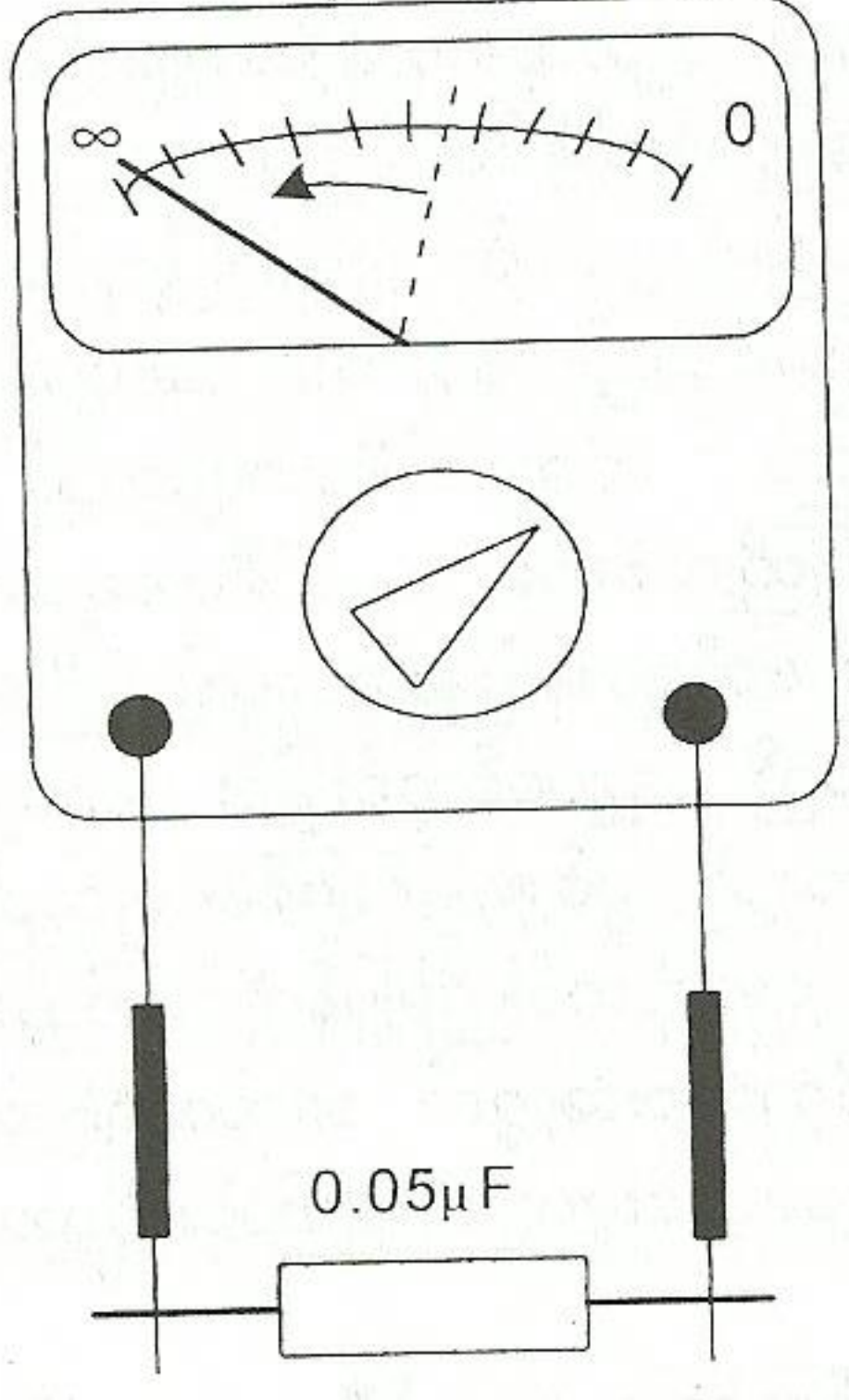
ကပယ်စီတာများသည် ပွင့်နေခြင်း (open) သို့မဟုတ် ရှော့တ် (short) ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် လျှပ်စစ်ယိုဖတ်နေခြင်း (leakage) တစ်ခုခုဖြစ်နေနိုင်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်နေလျှင် လျှပ်စစ်ကို မသိုလှောင်ထားနိုင် တော့ချေ။ ကပယ်စီတာအတွင်းရှိ ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းသည် ပြင်ပဗို့အားသက်ရောက်မှုကြောင့် ယင်း၏ လျှပ်ကာနိုင်စွမ်းသတ္တိသည် တစ်ဖြောင့်ဖြောင့် လျော့ကျလာပါသည်။ ထိုအခါ ယင်း၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ခုခံမှုနည်း သော ဖြတ်လမ်းတိုတစ်ခု (short circuit) ဖြစ်ပေါ်နေကာ လျှပ်စစ်ယိုဖတ်နေသော (leaky) ကပယ်စီတာ တစ်လုံးအဖြစ်သို့ ရောက်သွားပါတော့သည်။

ကပယ်စီတာများ ကောင်း/မကောင်းကို အလွယ်ကူဆုံး စမ်းသပ်စစ်ဆေးနိုင်သောနည်းမှာ အုပ်စုဖွဲ့ ဖြင့် တိုင်းတာနည်းပင်ဖြစ်ပါသည်။ လုံးဝကောင်းမွန်သော ကပယ်စီတာတွင် ယင်း၏အစွန်းနှစ်ဖက်အကြား၌ အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုး (megohm) ခန့်ဖြစ်ပေါ်နေပါသည်။ ပွင့်နေသော ကပယ်စီတာတွင် အနန္တခုခံမှု (infinite ohm,  $\infty$ ) ဖြစ်ပေါ်နေပြီး ရှော့တ်ဖြစ်နေသော ကပယ်စီတာတွင် သုညခုခံမှု (zero ohm,  $0\Omega$ ) ဖြစ်ပေါ်နေပေမည်။ လျှပ်စစ်ယိုဖတ်နေသော (လိမ်ဖြစ်နေသော) ကပယ်စီတာတစ်လုံးတွင် ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် ပုံမှန်ထက်လျော့နည်း နေပေလိမ့်မည်။

အုပ်စုဖွဲ့တိုင်းသောအခါ ခုခံမှုအများဆုံးတိုင်းနိုင်ခွင့် ( $R \times 1M\Omega$ ) ကို အသုံးပြုရပါမည်။ ကပယ် စီတာ၏ အစွန်းတစ်ဖက်ကိုလည်း ပတ်လမ်းဆက်သွယ်မှုမှ ဖြုတ်ထားရပါမည်။ တိုင်းတာသည့်အခါတွင် လည်း ကပယ်စီတာငုတ်များကို လက်ဖြင့်မကိုင်ရပါ။ မီတာလက်တံများကိုသာ ကပယ်စီတာ၏ ငုတ်များကို ထိ၍တိုင်း ရပါမည်။ လက်ဖြင့်ကိုင်လိုက်သောအခါ လူခန္ဓာကိုယ်၏ ခုခံမှုသည် ကပယ်စီတာ၏ခုခံမှုနှင့်အပြိုင်ဖြစ်သွားပြီး အကျိုးခုခံမှု လျော့နည်းသွားသဖြင့် တိုင်းတာမှု မှားယွင်းသွားနိုင်ပေသည်။



(က)



(ခ)

ပုံ(၅-၂၄) ကပယ်စီတာ ကောင်း/မကောင်း ကို အုပ်စုဖွဲ့စစ်စမ်းသပ်စစ်ဆေးပုံ



ပုံ(၅-၂၄)တွင်ပြထားသကဲ့သို့ ကပယ်စီတာ၏ငုတ်နှစ်ဖက်ကို အုမ်းမီတာ၏ တိုင်းတာတံများဖြင့် ထောက်ထားရပါမည်။ ကောင်းသောကပယ်စီတာအတွက် မီတာညွှန်တံသည် ခုခံမှုနည်းသို့ဖက်ဆီသို့ လျှင်မြန်စွာ တက်သွားပြီးနောက် ပြေးညှင်းစွာ ပြန်ကျလာပါမည်။ မီတာညွှန်တံ ရပ်တန့်သွားသောနေရာတွင် ဖတ်၍ ရသော ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် ကပယ်စီတာ၏ လျှပ်ကာနိုင်မှု ခုခံမှုတန်ဖိုးပင်ဖြစ်ပြီး ယင်းတန်ဖိုးသည် သာမန်အားဖြင့် အလွန်ကြီးမားပါသည်။ ပေပါ၊ မိုက်ကာ နှင့် စရာမစ် ကပယ်စီတာများအတွက် ထိုခုခံမှုတန်ဖိုးသည် 500 to 1000 MΩ ခန့်အထိရှိနိုင်ပါသည်။ လက်တွေ့တွင် ထိုတန်ဖိုးသည် အနန္တခုခံမှုတန်ဖိုးပင်ဖြစ်ပါသည်။ သို့သော်လည်း အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများတွင်မူကား ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် 500 kΩ to 10 MΩ ခန့်အထိသာရှိနိုင်ပါသည်။ ထိုသို့ အုမ်းမီတာနှင့်မတိုင်းမီ ကပယ်စီတာများကို လျှပ်စစ်ထုတ်ထားရပါမည်။

အုမ်းမီတာဖြင့် စတင်တိုင်းတာစဉ် အုမ်းမီတာအတွင်းရှိ ဘက်ထရီသည် ကပယ်စီတာကို လျှပ်စစ်သွင်းလိုက်ပါသည်။ ထိုအခါ မီတာညွှန်တံသည် စတင်ရွေ့လျားလာပါသည်။ မီတာတံများများရွေ့ခြင်းသည် လျှပ်စီးကြောင်းများစီးခြင်းကိုပြပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် ခုခံမှုနည်းခြင်းကိုဆိုလိုပါသည်။ စတင်တိုင်းတာပြီး တမဟုတ်ချင်းတွင် အများဆုံးလျှပ်စီးကြောင်းသို့တက်သွားပါသည်။ ပုံ(၅-၂၄-က)တွင်ကြည့်ပါ။ ထိုနောက် ကပယ်စီတာ၏ဗို့အားသည် ဘက်ထရီ၏ဗို့အားနှင့်တူညီသွားသောအခါ လျှပ်စီးကြောင်းဆက်မစီးတော့သဖြင့် မီတာညွှန်တံသည် ပြန်ကျသွားပါတော့သည်။ နောက်ဆုံး၌ မီတာညွှန်တံသည် ပုံ(၅-၂၄-ခ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဒိုင်အီလက်ထရစ်အတွင်း ဖြတ်စီးနေသော အလွန်သေးငယ်သည့် ယိုဖိတ်လျှပ်စီးကြောင်းကိုသာ ဖော်ပြနေပေတော့သည်။ ထိုသို့လျှပ်စစ်သွင်းခြင်းအခြေအနေကို မှန်ကန်စွာဖော်ပြနိုင်သောကပယ်စီတာများသည် ပုံမှန်လျှပ်စစ်သိုလှောင်ခြင်းကို ပြုလုပ်နိုင်ကြသဖြင့် ကောင်းသည်ဟု သတ်မှတ်နိုင်ပါသည်။ မီတာညွှန်တံများကို ပြောင်းပြန်ထား၍ တိုင်းတာလိုက်လျှင် လျှပ်စစ်ထုတ်ခြင်းဖြစ်ပေါ်သွားပေလိမ့်မည်။

\* အုမ်းမီတာဖြင့် ကပယ်စီတာများ စစ်ဆေးရာတွင် အောက်ပါအတိုင်းအချက်များကို အခြေခံ၍ ကောင်း/မကောင်းကို ဆုံးဖြတ်ချက်ချနိုင်ပါသည်။

- ၁။ မီတာညွှန်တံသည် သုညအုမ်းတန်ဖိုးနေရာသို့တက်သွားပြီး ပြန်မကျဘဲရပ်တန့်နေလျှင် ထိုကပယ်စီတာသည် ရှော့တ်ဖြစ်နေကြောင်းသိနိုင်ပါသည်။
- ၂။ ကပယ်စီတာသည် လျှပ်စစ်သွင်းမှုကိုပြုလုပ်သော်လည်း နောက်ဆုံးမီတာညွှန်တံပြသောနေရာ၏ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် ပုံမှန်ပြသင့်သည့်တန်ဖိုးထက် လျော့နည်းနေလျှင် ထိုကပယ်စီတာသည် ယိုဖိတ်မှုရှိနေကြောင်းကို ဖော်ပြနေပါသည်။ ထိုကပယ်စီတာမျိုးသည် ခုခံမှုမြင့်-ပတ်လမ်းများတွင် အလွန်ဒုက္ခပေးတတ်ကြပါသည်။ အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများကို စစ်ဆေးသောအခါ မီတာတိုင်းတံကို အပြန်ပြန်အလှန်လှန်ပြောင်းတိုင်းပြီး ဖတ်ရတန်ဖိုးနှစ်ခုအနက် ကြီးသောခုခံမှုတန်ဖိုးကို ယူရပါသည်။
- ၃။ ကပယ်စီတာသည် လျှပ်စစ်သွင်းခြင်း လက္ခဏာကိုမပြဘဲ ခုခံမှုကြီးသောတန်ဖိုးကိုသာ ဖော်ပြနေလျှင် ထိုကပယ်စီတာသည် ပွင့်နေခြင်းဖြစ်နိုင်ပါသည်။ မီတာတိုင်းတံကို ပြောင်းပြန်လှည့်၍တိုင်းတာ လျှပ်စစ်ထုတ်လိုက်ပြီး နောက်တစ်ကြိမ်ပြန်တိုင်းကြည့်သင့်ပါသည်။ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး 100pF အောက်ငယ်သော ကပယ်စီတာများအတွက် ဘက်ထရီဗို့အားငယ်သော အုမ်းမီတာများဖြင့်တိုင်းတာသည့်အခါ အလွန်ငယ်သော လျှပ်စစ်သွင်းမှုလျှပ်စီးကြောင်းကိုသာ တွေ့မြင်နိုင်မည်ဖြစ်ကြောင်း သတိပြုသင့်ပါသည်။

**၅-၉-၁။ ရှော့တ်ဖြစ်နေသော ကပယ်စီတာများ (Short-Circuited Capacitors)**

ကပယ်စီတာများသည် အသုံးပြုနေရာမှ ကြာမြင့်လာသောအခါ ရှော့တ်ဖြစ်သွားတတ်ကြပါသည်။ ထိုသို့ဖြစ်ရခြင်းမှာ ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပစ္စည်းများသည် ပြင်ပဗို့အားပေးမှုကြောင့် အပူချိန်မြင့်တက်လာပြီး အချိန်ကြာမြင့်လာသောအခါ ပျက်စီးယိုယွင်းလာကြသောကြောင့်ဖြစ်ရပါသည်။ ထိုသို့ရှော့တ်ဖြစ်မှုသည် ပေပါ နှင့်



အီလက်ထရိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာအမျိုးအစားများတွင် အဖြစ်များကြပါသည်။ လျှပ်စစ်ယိုဖိတ်မှု စတင်ဖြစ်ပေါ်လာပြီးနောက် တဖြေးဖြေးတွင် ဒိုင်အီလက်ထရစ်ပေါက်သွားပြီး ရှော့တ်ဖြစ်သွားပေတော့သည်။

**၅-၉-၂။ ပွင့်နေသော ကပယ်စီတာများ (Open Capacitors)**

အထူးသဖြင့် အီလက်ထရိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများသည် အပူချိန်မြင့်တွင် ခုခံမှုမြင့်တက်လာကြပါသည်။ ထို့အပြင် ကြာမြင့်စွာအသုံးပြုလာသည့်အခါ အီလက်ထရိုလစ်များ ချောက်လာပြီး ကပယ်စီတာသည် တဖြေးဖြေး ခုခံမှုမြင့်တက်လာခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ထိုအခါ ကပယ်စီတာ၏ လျှပ်စစ်သိုလှောင်နိုင်စွမ်းသည် လျော့နည်းသွားပေတော့သည်။ ထို့ကြောင့် ကပယ်စီတာ အသစ်များနှင့် အစားထိုး လဲလှယ်သင့်ပါသည်။

**၅-၉-၃။ ယိုဖိတ်(လိမ်ဖြစ်)နေသော ကပယ်စီတာများ (Leaky Capacitors)**

လိမ်ဖြစ်နေသော ကပယ်စီတာများ၏ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို အုန်းမီတာဖြင့်တိုင်းကြည့်လိုက်သောအခါ ပုံမှန်တန်ဖိုးထက် လျော့နည်းနေကြောင်းတွေ့ရပေမည်။ ကပယ်စီတာများ လိမ်ဖြစ်နေခြင်းရှိ/မရှိကို ပတ်လမ်းအတွင်းအလုပ်လုပ်နေစဉ် အစွန်းနှစ်ဖက်ရှိဒီစီပိုအားကို တိုင်းတာကြည့်ခြင်းအားဖြင့် အလွယ်တကူ စစ်ဆေးနိုင်ပါသည်။ ကပယ်စီတာ၏ အစွန်းနှစ်ဖက်ရှိ ဒီစီပိုအားတန်ဖိုးများသည် တူညီနေခဲ့လျှင် ယင်းသည် လိမ်ဖြစ်နေကြောင်း သတ်မှတ်နိုင်ပေသည်။

**၅-၉-၄။ သိမ်းထားမှု သက်တမ်း (Shelf Life)**

အီလက်ထရိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများမှလွဲ၍ ကျန်ကပယ်စီတာများသည် အသုံးမပြုဘဲ သိမ်းထားမှု သက်တမ်းကြာရှည်သော်လည်း ပျက်စီးသွားခြင်းမရှိကြချေ။ အီလက်ထရိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများသည် ဓါတ်ခဲများကဲ့သို့ပင် ထုတ်လုပ်ပြီးများမကြာမီအချိန်အတွင်း အသုံးပြုသင့်ပေသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အသုံးမပြုဘဲကြာရှည်စွာ သိမ်းဆည်းထားပါက အတွင်းမှ အီလက်ထရိုလိုက်များ ခြောက်သွေ့သွားပြီး ကပယ်စီတာ၏လုပ်ငန်းစဉ် ပုံမှန်မဖြစ်နိုင်တော့ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေသည်။

**၅-၉-၅။ ကပယ်စီတင်္တန်ဖိုးပြောင်းလဲခြင်း (Capacitance Value Change)**

ကပယ်စီတာများအားလုံးသည် အချိန်ကြာရှည်လာသောအခါ ကပယ်စီတင်္တန်ဖိုးသည် အနည်းနှင့်အများ ဆိုသလို ပြောင်းလဲလာတတ်ကြပါသည်။ အချို့သည် ဆိုးဆိုးဝါးဝါးပြောင်းလဲတတ်ကြပါသည်။ စရာမစ်အမျိုးအစား ကပယ်စီတာများသည် ပထမတစ်နှစ်အသုံးပြုပြီးပါက 10% မှ 15% အထိတန်ဖိုးပြောင်းလဲသွားတတ်ကြပါသည်။ အီလက်ထရိုလစ်တစ်အမျိုးအစား ကပယ်စီတာများသည် အီလက်ထရိုလိုက်များခြောက်သွေ့သွားမှုကြောင့် တန်ဖိုးပြောင်းလဲတတ်ကြပါသည်။



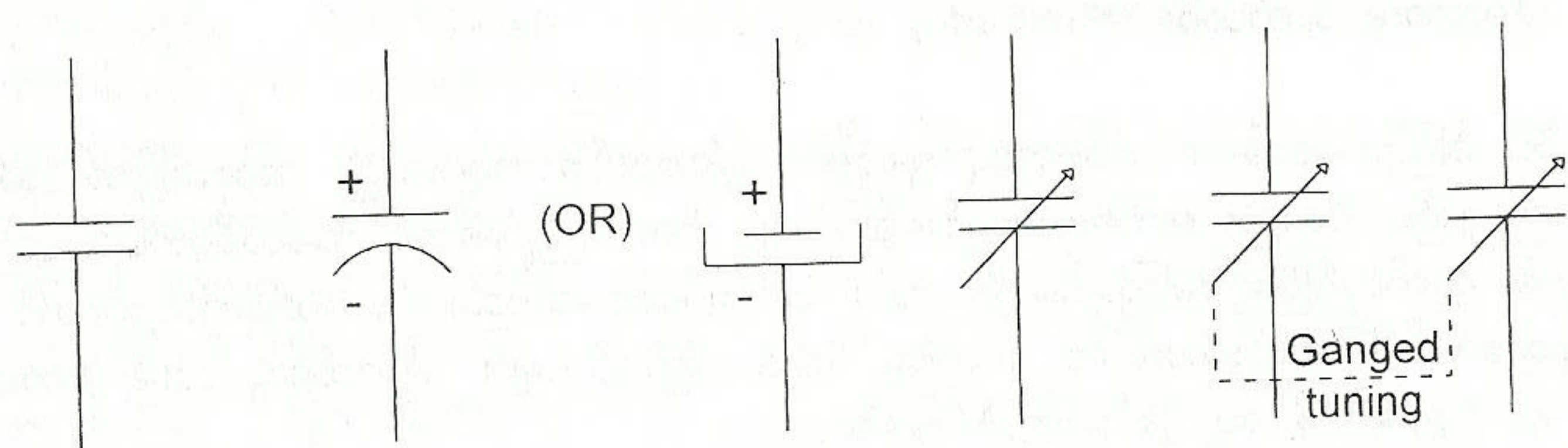
အခန်း(၅) ကပယ်စီတာ

၅-၉-၆။ ကပယ်စီတာများကို အစားထိုးခြင်း ( Replacement Capacitors )

ချို့ယွင်းသွားသော ကပယ်စီတာများနေရာတွင် အစားထိုးသည့်အခါ မူလကပယ်စီတာ၏ ကပယ်စီတင် တန်ဖိုးနှင့် ခံနိုင်ရည်ပိုအားတို့ တူညီကြရန်အထူးလိုအပ်ပါသည်။ ပြောင်းလဲနိုင်သောကပယ်စီတာများအတွက် အစားထိုးသည့်အခါ တူညီရန်သိပ်အရေးမကြီးသော်လည်း မူသေကပယ်စီတာများအတွက်မူကား အလွန်အရေးကြီးပါသည်။ အထူးသဖြင့် အီလက်ထြိုလစ်တစ် ကပယ်စီတာများအတွက် ခံနိုင်ရည်ပိုအားကို တူညီသော တန်ဖိုးရအောင် ရွေးထည့်ပေးနိုင်လျှင်ပိုကောင်းပါသည်။ သို့မှသာ ကပယ်စီတာအတွင်း လိုအပ်သော အောက် ဆိုက်ဖလင်ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်ပြီး လိုအပ်သော ကပယ်စီတင်တန်ဖိုးကို ရရှိနိုင်မည်ဖြစ်ပေသည်။

ကပယ်စီတာများကို အစားထိုးသည့်အခါ အထူးသတိပြုရမည့်အချက်မှာ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး သိတ်ကြီးလွန်းသော ကပယ်စီတာများဖြင့် အစားမထိုးမိစေရန် ဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတင်တန်ဖိုး သိတ်ကြီး လွန်းပါက လျှပ်စစ်သွင်းသည့်အခါ လျှပ်စီးကြောင်းများများ လိုအပ်သောမည်ဖြစ်သောကြောင့် ပတ်လမ်းတွင် သတ်မှတ်ထားသော အတိုင်းအတာထက် ကျော်လွန်သွားပါက အခြားအစိတ်အပိုင်းများ ထိခိုက်ပျက်စီးသွား တတ်ပါသည်။

ကပယ်စီတာ၏ ပတ်လမ်းသုံး သင်္ကေတအမျိုးမျိုးတို့ကို အောက်ပါပုံ(၅-၂၅)တွင် ဖော်ပြထားပါ သည်။



Fixed type (က) Electrolytic type (ခ) Variable type (ဂ) Ganged Variable type (ဃ)

ပုံ(၅-၂၅) ကပယ်စီတာ၏ ပတ်လမ်းသုံး သင်္ကေတအမျိုးမျိုးပုံ



အခန်း(၆)  
အင်ဒတ်တာ  
(Inductor )

*သင်္ချာနာမည်*

၆-၁။ နိဒါန်း

လျှပ်ညှို့သတ္တိ သို့မဟုတ် အင်ဒတ်တင် (Inductance) ဆိုသည်မှာ လျှပ်ကူးပစ္စည်းတစ်ခုအတွင်း စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲမှုကြောင့် လျှပ်ညှို့ဗို့အား (Induced voltage ) ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည့် အရည်အချင်းကို ခေါ်ပါသည်။ <ရှည်လျားသော ဝါယာကြိုးသည် တိုသောဝါယာကြိုးထက် အင်ဒတ်တင် ပိုများပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ရှည်သောဝါယာတွင် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်း (magnetic flux) များများဖြတ်သန်းသွားနိုင်သောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။> အလားတူပင် <အလျားတူညီသော ဝါယာနှစ်ချောင်းအနက် ခွေးထားသော ဝါယာသည် အဖြောင့်ဝါယာထက် အင်ဒတ်တင်ပိုများပါသည်။> အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ခွေးထားသောဝါယာသည် ယင်း၏အလယ်ဗဟိုတွင် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများကို ပိုမိုစုစည်းပေးနိုင်သောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။> ထိုသို့တိကျသော အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးရရှိအောင် ဝါယာကြိုးကို ပတ်ခွေးထားသော ကွိုင်ကို အင်ဒတ်တာ (Inductor) ဟုခေါ်ပါသည်။> အင်ဒတ်တာသည် အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများတွင် ရီစစ္စတာ နှင့် ကပယ်စီတာများကဲ့သို့ အများဆုံးအသုံးပြုနေရသော အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ် အစိတ်အပိုင်းတစ်မျိုး ပင် ဖြစ်ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် အင်ဒတ်တာသည် လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို သံလိုက်စက်ကွင်းအသွင်ဖြင့် သိုလှောင်ထားသည့်ပစ္စည်းလည်းဖြစ်ပါသည်။ ယင်းကို လျှပ်ညှို့ခွေ သို့မဟုတ် ကွိုင် (coil) ဟုလည်းခေါ်ပါသေးသည်။

*wire - magnetic*

လျှပ်ညှို့သတ္တိ သို့မဟုတ် အင်ဒတ်တင်သည် အင်ဒတ်တာ၏ လျှပ်စစ်ညှို့နိုင်မှုအရည်အချင်းကို ဖော်ပြခြင်းဖြစ်ပါသည်။ အင်ဒတ်တင်၏ သင်္ကေတမှာ  $L$  ဖြစ်ပြီး ယူနစ်မှာ ဟင်နရီ (henry , H) ဖြစ်ပါသည်။

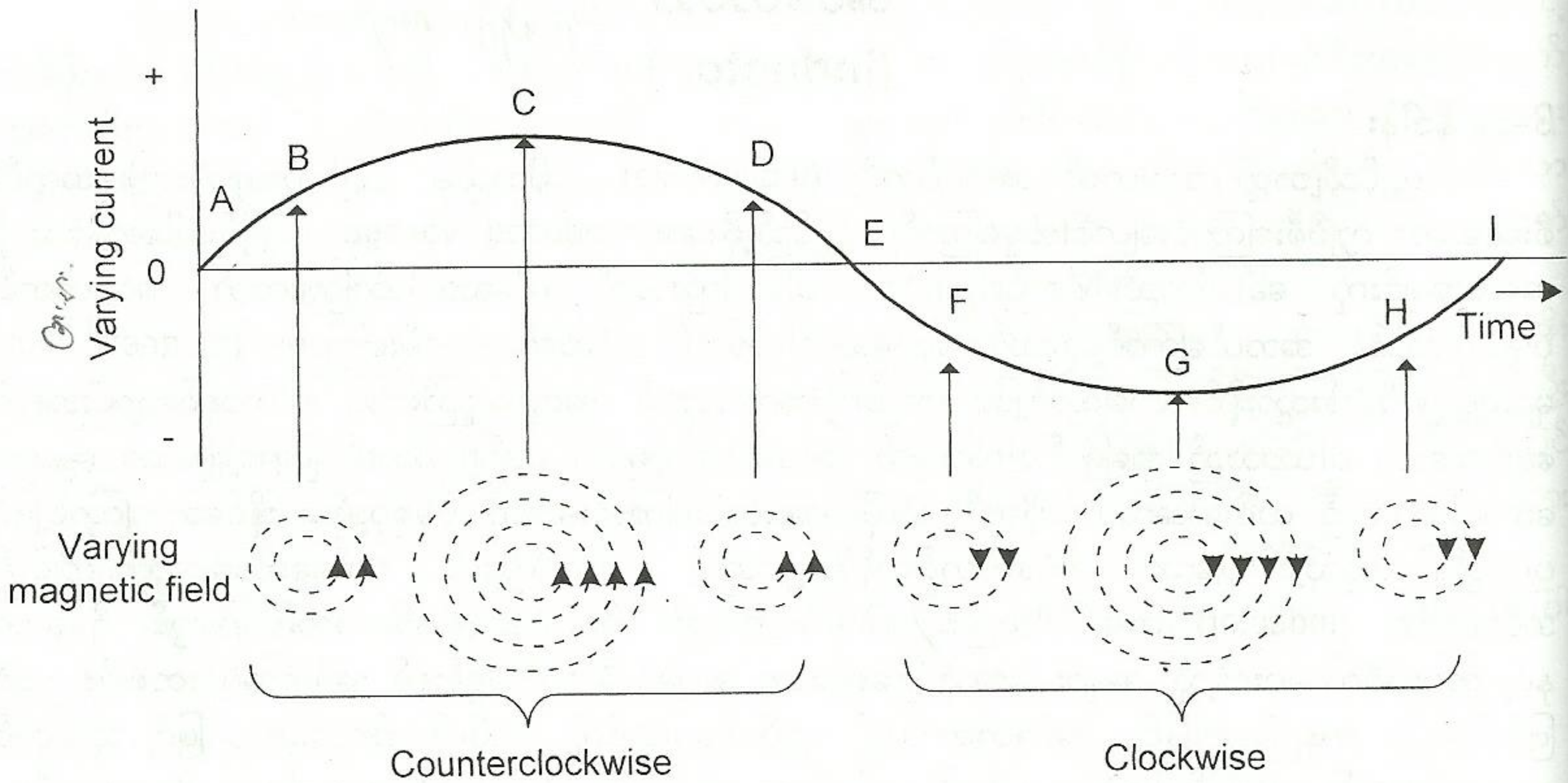
အင်ဒတ်တာများတွင် အလယ်ခေါင်ရှိ အူတိုင် သို့မဟုတ် ကိုး (Core) ကိုအခြေခံ၍ အဲယားကိုးအမျိုးအစား (Air core type) ၊ အိုင်းယင်းကိုးအမျိုးအစား (Iron core type) နှင့် ဖဲရိုက်ကိုးအမျိုးအစား (Ferrite core type) ဟူ၍ အမျိုးအစား အမျိုးမျိုးရှိပါသည်။

၆-၂။ အပြန်အလှန်ပြောင်းလဲနေသောလျှပ်စီးကြောင်း(အေစီ)ကြောင့်လျှပ်ညှို့မှုဖြစ်ပေါ်ခြင်း  
(Induction by Alternating Current)

လျှပ်ကူးပစ္စည်းတစ်ခုတွင် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများဖြတ်သန်းမှုကြောင့် လျှပ်ညှို့ဗို့အားဖြစ်ပေါ်လာရပါသည်။ ဤဖြစ်စဉ်ကို လက်တွေ့စမ်းသပ်ကြည့်မည်ဆိုလျှင် သံလိုက်စက်ကွင်းကို ရွေ့လျားစေခြင်းဖြင့်သော်လည်းကောင်း၊ လျှပ်ကူးပစ္စည်းကို ရွေ့လျားစေခြင်းဖြင့်သော်လည်းကောင်း ပြုလုပ်ကြည့်နိုင်ပါသည်။ လျှပ်ကူးပစ္စည်းအတွင်း စီးဆင်းနေသော လျှပ်စီးကြောင်း၏ ပမာဏပြောင်းလဲနေလျှင် ထိုပြောင်းလဲမှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော သံလိုက်စက်ကွင်းပြောင်းလဲမှုသည် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများ ပြောင်းလဲမှုနှင့် အတူတူပင်ဖြစ်ပေသည်။ လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏတိုးလာလျှင် သံလိုက်စက်ကွင်းသည် လျှပ်ကူးပစ္စည်းပြင်ပသို့ ပြန့်ထွက်(expand) လာပြီး၊ လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏလျော့ကျသွားလျှင် သံလိုက်စက်ကွင်းသည် လျှပ်ကူးပစ္စည်းဆီသို့ ပြန်လည်လျော့ကျ (collapse) လာပေသည်။ ထိုသို့ လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏပြောင်းလဲမှုကြောင့် သံလိုက်စက်ကွင်းအတိုးအလျော့ဖြစ်ပေါ်နေခြင်းသည် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများ ရွေ့လျားမှုဖြစ်ပေါ်နေခြင်းဟု ခေါ်ဆိုနိုင်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် လျှပ်ကူးပစ္စည်းသည် မရွေ့လျားသော်လည်း ယင်းအတွင်းဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲနေမှုကြောင့် လျှပ်ညှို့ဗို့အား ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။



ပုံ(၆-၁)တွင် ဆိုင်းလှိုင်း (sine wave) အေစီလျှပ်စီးကြောင်းကြောင့် သံလိုက်စက်ကွင်းပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၆-၁) ဆိုင်းလှိုင်း အေစီလျှပ်စီးကြောင်းကြောင့် သံလိုက်စက်ကွင်းပြောင်းလဲပုံ

စာရွက်မျက်နှာပြင်ကို ထောင်မှန်ကျလျက်တည်ရှိနေသော ဝါယာကြိုးတစ်ချောင်းထဲတွင် ဆိုင်းလှိုင်း အေစီလျှပ်စီးကြောင်းတစ်ခုစီးနေသည်ဖြစ်အံ့။ အေစီလျှပ်စီးကြောင်း၏ ပမာဏနှင့်ဦးတည်ဖက်နှစ်မျိုးစလုံးသည် အချိန်နှင့်လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော သံလိုက်စက်ကွင်းသည်လည်း လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေပေမည်။ အမှတ် A တွင် လျှပ်စီးကြောင်းမရှိသေးသဖြင့် သံလိုက်စက်ကွင်းသည်လည်း မဖြစ်ပေါ်သေးချေ။ အမှတ် B တွင် အပေါင်းဦးတည်ဖက်သို့ (စာမျက်နှာအပြင်ဖက်သို့) လျှပ်စီးကြောင်း အနည်းငယ် စီးနေသောကြောင့် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများသည် နာရီလက်တံလည်သည့်အတိုင်းနှင့် ပြောင်းပြန် ဦးတည်ဖက် (counterclockwise) အတိုင်း ဖြစ်ပေါ်လာမည်။ အမှတ် C တွင် အများဆုံး လျှပ်စီးကြောင်းဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများသည်လည်း အများဆုံးဖြစ်ပေမည်။ အမှတ် D တွင် လျှပ်စီးကြောင်းပြန်လည် လျော့သွားသည့်အတွက် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများသည်လည်း ပြန်လည် လျော့ကျသွားပေမည်။ အမှတ် E သို့ရောက်သောအခါ လျှပ်စီးကြောင်း သုညဖြစ်သွားသဖြင့် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများလည်း ဖြစ်ပေါ်ခြင်းမရှိတော့ချေ။ ထိုအချိန်တွင် သံလိုက်စက်ကွင်းသည် ဝါယာဆီသို့ လျော့ကျသွားသည်ဟု ယူဆနိုင်ပါသည်။

လျှပ်စီးကြောင်း၏ ဒုတိယအနှုတ်လှိုင်းဝက်အချိန်အတွင်းတွင်လည်း သံလိုက်စက်ကွင်းသည် ဝါယာမှ ပြန်ထွက်ခြင်း၊ ပြန်လည်လျော့ကျခြင်းဖြစ်ပေါ်ဖြစ်ပေါ်ပါသည်။ သို့သော် လျှပ်စီးကြောင်းသည် အနှုတ်လားရာသို့ (စာမျက်နှာအတွင်းဖက်သို့) ဦးတည်နေသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော သံလိုက်စက်ကွင်း၏ ဦးတည်ဖက်သည် နာရီလက်တံလည်သောဦးတည်ဖက် (clockwise) အတိုင်းဖြစ်ပေမည်။



ထိုသို့ သံလိုက်စက်ကွင်း ပြန့်ထွက်ခြင်းနှင့် လျော့ကျခြင်းတို့သည် သံလိုက်စက်ကွင်းရွေ့လျားနေသည် နှင့်အတူတူပင်ဖြစ်သည်။ ရွေ့လျားနေသော သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများသည် လျှပ်စီးကြောင်းသယ်ဆောင်နေ သော ဝါယာကိုဖြတ်သန်းကြပြီး ဝါယာအတွင်း ညှိညှိအားကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ အလားတူပင် အခြားဝါယာ များတွင်လည်း လျှပ်စီးကြောင်းသယ်ဆောင်နေခြင်း ရှိသည်ဖြစ်စေ၊ မရှိသည်ဖြစ်စေ ယင်းတို့သည် သံလိုက်စက် ကွင်းအတွင်းတည်ရှိနေကြလျှင် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများဖြတ်သန်းခြင်းခံရလျှင် လျှပ်ညှိညှိအားဖြစ်ပေါ်လာ နိုင်ပါသည်။

အထူးမှတ်သားသင့်သည့်အချက်မှာ လျှပ်ညှိညှိခြင်းဖြစ်ပေါ်မှုသည် လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏအနည်းအများ ပေါ်မူမတည်ဘဲ လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏပြောင်းလဲနေမှုအပေါ်တွင်သာ မူတည်နေခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ဥပမာ 1000A ပမာဏရှိသော လျှပ်စီးကြောင်းသည် မပြောင်းလဲဘဲ တည်ငြိမ်နေသမျှကာလပတ်လုံး ညှိညှိအား ဖြစ် ပေါ်ခြင်းမရှိနိုင်ချေ။ သို့သော်လည်း လျှပ်စီးကြောင်း 1μA သည် 2μA သို့ပြောင်းလဲသွားသော် ညှိညှိအား ဖြစ် ပေါ်လာနိုင်ပေသည်။ <တစ်ဖန်လျှပ်စီးကြောင်းမြန်မြန်ပြောင်းလဲလေလေ ညှိညှိအားကြီးကြီးဖြစ်ပေါ်လာလေလေ ဖြစ်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် သံလိုက်အားလမ်းကြောင်းများ ရွေ့လျားမှုမြန်ခြင်းကြောင့် ကြီးမားသော ညှိညှိအားဖြစ် ပေါ်လာရခြင်း ဖြစ်ပေသည်။ >

အင်ဒတ်တာသည် ညှိညှိအားဖြစ်ပေါ်မှုပမာဏကို တိုင်းတာခြင်းဖြစ်သောကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်း ပြောင်းလဲနေသောပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် အင်ဒတ်တာ အနည်းအများသည် အရေးကြီးသော အခန်းကဏ္ဍမှ ပါဝင် နေပေသည်။ ထို့အပြင် ပတ်လမ်းတစ်ခု၏ အင်ဒတ်တာသည် ခုခံမှုကဲ့သို့ အရေးပါသော အရည်အချင်းတစ်ရပ် ဖြစ်ပါသည်။ အေစီပတ်လမ်းများနှင့် ဒီစီပတ်လမ်းများတွင် အင်ဒတ်တာအရေးပါပုံကို အောက်ပါအတိုင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။

၁။ \* အေစီပတ်လမ်း။ လျှပ်စီးကြောင်းသည် အစဉ်မပြတ်ပြောင်းလဲနေသဖြင့် ညှိညှိအားသည်လည်း အစဉ်အ မြဲဖြစ်ပေါ်နေသည်။ တူညီသောညှိညှိအားကိုဖြစ်ပေါ်စေရန် ဖရီကွင်စီနိမ်သောအေစီလျှပ်စီးကြောင်းသည် ဖရီကွင်စီမြင်သောအေစီလျှပ်စီးကြောင်းထက် အင်ဒတ်တာကြီးကြီး လိုအပ်ပါသည်။ မည်သည့်ပုံ သဏ္ဍာန်ရှိသော အေစီလှိုင်းမဆို အင်ပလီကျုပြောင်းလဲနေသမျှကာလပတ်လုံး ညှိညှိအားကို ဖြစ်ပေါ်စေ နိုင်ပါသည်။

၂။ \* ဒီစီပတ်လမ်း။ လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏပြောင်းလဲနေသော ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်းသည် ဦးတည်ဖက်ပြောင်း လဲရန်မလိုအပ်ဘဲ ညှိညှိအားကိုဖြစ်ပေါ်စေနိုင်ပေသည်။ လျှပ်စီးကြောင်းကို အပိတ်/အဖွင့် ပြုလုပ်ပေး ရုံမျှနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းတန်ဖိုးသည် သုညမှတည်ငြိမ်ခြေတန်ဖိုးသို့ ပြောင်းသွားသောအခါ အချိန် ခဏတာအတွင်း အင်ဒတ်တာအကျိုး (inductance effect) ဖြစ်ပေါ်လာစေနိုင်ပါသည်။ ထိုသို့ တမဟုတ်ချင်း ပြောင်းလဲမှုအကျိုးကို (transient response) ဟုခေါ်ပါသည်။ ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်း သည် ပမာဏမပြောင်းလဲဘဲ တည်ငြိမ်နေသမျှကာလပတ်လုံး ညှိညှိအားကိုမဖြစ်ပေါ်နိုင်ချေ။

၆-၃။ ပင်ကိုယ်-အင်ဒတ်တာ (Self-Inductance, L)

လျှပ်ကူးပစ္စည်းတစ်ခုတွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲမှုကြောင့် လျှပ်စစ်ဗို့အားကို ညှိနိုင် သည့်အရည်အချင်းကို ပင်ကိုယ်-အင်ဒတ်တာ သို့မဟုတ် (အလွယ်ဆုံးခေါ်လျှင်) အင်ဒတ်တာဟုခေါ်ပါသည်။ အင်ဒတ်တာ၏ သင်္ကေတမှာ L ဖြစ်ပြီး ယူနစ်မှာ ဟင်နရီ (henry, H) ဖြစ်ပါသည်။

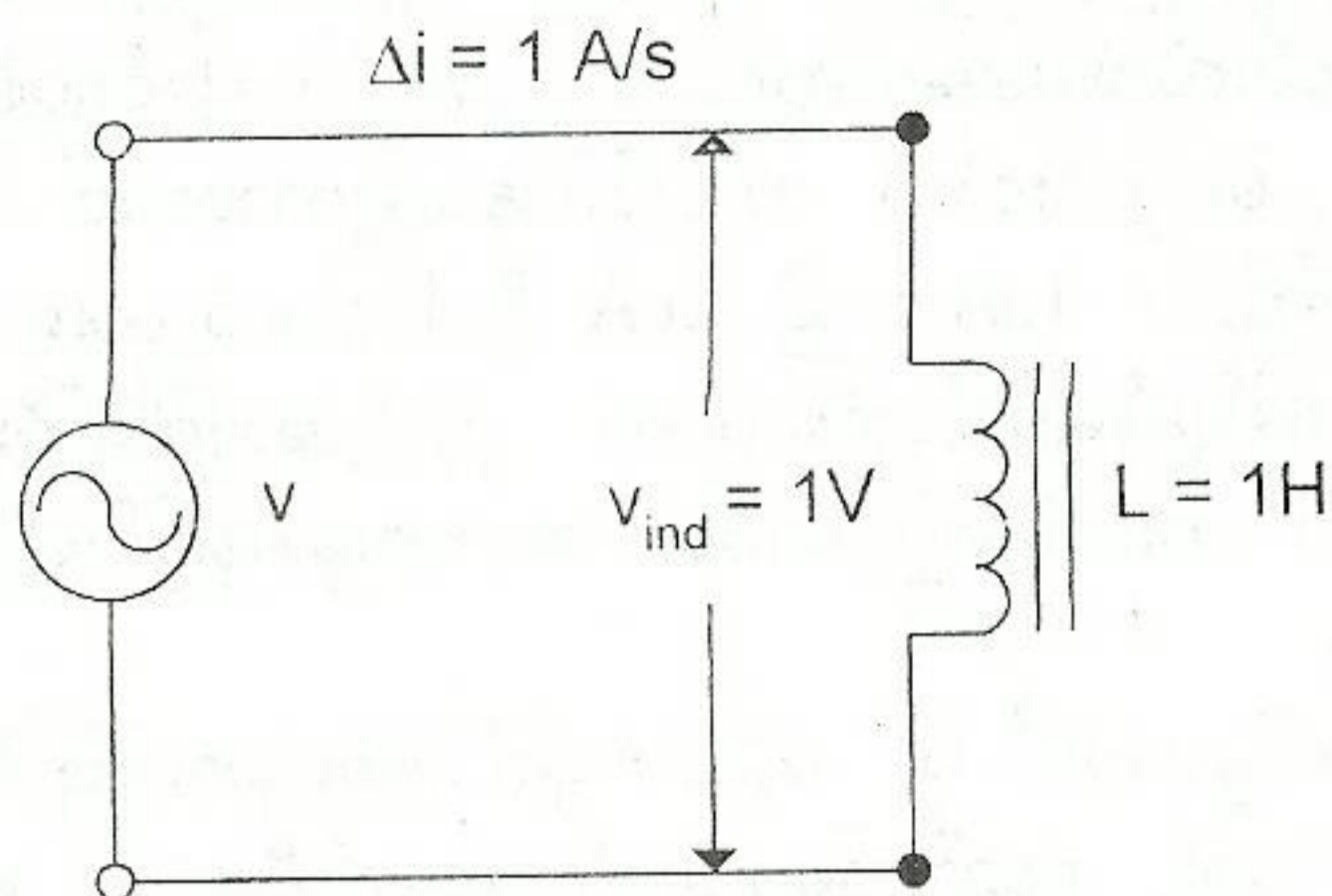
ဟင်နရီ၏အဓိပ္ပါယ်သတ်မှတ်ချက်။ ။ ပုံ(၆-၂)အရ တစ်ဟင်နရီဆိုသည်မှာ ပတ်လမ်းတစ်ခုတွင် အချိန်တစ်စက္ကန့်အတွင်း လျှပ်စီးကြောင်းတစ်အမ်ပီယာ ပြောင်းလဲမှုကြောင့် ညှိညှိအားတစ်ဗို့ ကိုဖြစ်ပေါ်စေ နိုင်သော အင်ဒတ်တာ တန်ဖိုးကိုခေါ်ပါသည်။ ပုံသေနည်းအရဆိုလျှင် -



$$* \quad L = \frac{V_L}{di/dt}$$

ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းတွင် -

$V_L$  သည် ညှို့ဖို့အားဖြစ်ပြီး၊  $di/dt$  သည် တစ်စက္ကန့်အတွင်းပြောင်းလဲနေသော လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏ ဖြစ်ပါသည်။



$$L = N^2$$

ပုံ(၆-၂) တစ်ဟင်နရီ၏အဓိပ္ပါယ်သတ်မှတ်ချက်ဖော်ပြပုံ

၆-၄။ အင်ဒတ်တာများ၏ အင်ဒတ်တင် (Inductance of Coils)

\* အင်ဒတ်တာတစ်ခု၏ အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးကိုတွက်သည့်အခါ အောက်ပါအချက်အလက်များကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားကြရပါသည်။

- ၁။ အင်ဒတ်တင် L သည် ကွိုင်အပတ်ရေ N ၏နှစ်ထပ်ကိန်း  $N^2$  နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျနေသဖြင့် ကွိုင်အပတ်ရေ N များလေလေ အင်ဒတ်တင် L တန်ဖိုးကြီးလေလေဖြစ်ပါသည်။ အပတ်ရေကို နှစ်ဆတိုးပေးလိုက်လျှင် အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုး လေးဆ တိုးလာပေသည်။
  - ၂။ အင်ဒတ်တင် L သည် ပတ်ထားသောကွိုင်၏ ဧရိယာ A နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျနေသဖြင့် A ကြီးလေလေ အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးကြီးလေလေဖြစ်ပါသည်။
  - ၃။ အင်ဒတ်တင် L သည် အလယ်အူတိုင်၏ သံလိုက်ဖြစ်လွယ်သတ္တိ(သို့) ပါမီယာဘီလီတီ (Permeability,  $\mu$ ) နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျနေသဖြင့်  $\mu_r$  ကြီးလေလေ အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးကြီးလေလေဖြစ်ပါသည်။
  - ၄။ အင်ဒတ်တင် L သည် ကွိုင်၏အလျား  $l$  နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျနေသဖြင့်  $l$  ကြီးလေလေ အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးကြီးလေလေဖြစ်ပါသည်။
- အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးတွက်သည့်အခါ အောက်ပါပုံသေနည်းကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

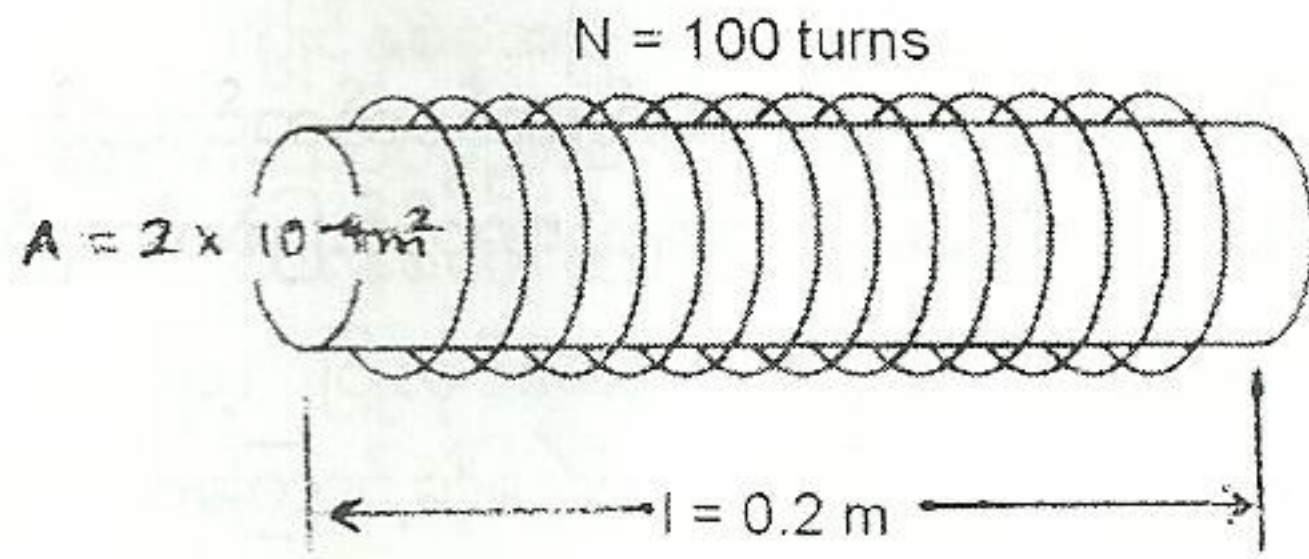
$$\left\langle L = \mu_r \times \frac{N^2 \times A}{l} \times 1.26 \times 10^{-6} \text{ H} \right\rangle$$

ယင်းတွင် -

$l$  ကို meter ၊ A ကို square meter ၊ L ကို henry(H) တို့ဖြင့်အသီးသီးတိုင်းတာကြပါသည်။ ကိန်းသေတန်ဖိုး  $1.26 \times 10^{-6}$  သည် SI ယူနစ်စနစ်တွင် L ကို henry(H) ဖြင့်တိုင်းရန်အတွက် လေ သို့မဟုတ် လေဟာနယ်အတွက် ပကတိပါမီယာဘီလီတီ (absolute permeability) တန်ဖိုးဖြစ်ပါသည်။



ဥပမာအားဖြင့် အောက်ပါပုံ (၆-၃)တွင်ပေးထားသော လေအူတိုင် အင်ဒတ်တာ၏ အင်ဒတ်တင်ကို တွက်ကြည့်သော်-



ပုံ(၆-၃) လေအူတိုင် အင်ဒတ်တာတစ်ခုပုံ

ပုံတွင်ပေးထားချက်များအရ- ဧရိယာ  $A = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ၊ အလျား  $l = 0.2 \text{ m}$ ၊ အပတ်ရေ  $N = 100$  အသီးသီး ဖြစ်ကြပြီး လေအူတိုင်အတွက်  $\mu_r = 1$  ဖြစ်သောကြောင့်

$$L = 1 \times \frac{10^4 \times 2 \times 10^{-4}}{0.2} \times 1.26 \times 10^{-6}$$

$$L = 12.6 \times 10^{-6} \text{ H} = 12.6 \mu\text{H}$$

ထိုတန်ဖိုး၏အဓိပ္ပါယ်မှာ ညီမျှခြင်း  $v_L = L(di/dt)$  အရ ကြိုင့်အတွင်းစီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်းသည် တစ်စက္ကန့်အတွင်း တစ်အမ်ပီယာပြောင်းလဲနေလျှင် လျှပ်ညှို့ဖို့အား  $12.6 \mu\text{V}$  ဖြစ်ပေါ်လာမည်ဟုဆိုလိုခြင်း ဖြစ်ပါသည်။ အကယ်၍ အလယ်အူတိုင်သည်  $\mu_r = 100$  ရှိသော သံအူတိုင်ဖြစ်လျှင် ထိုလျှပ်ညှို့ဖို့အားသည် အဆ ၁၀၀ ပို ကြီးလာပေလိမ့်မည်။

ရေဒီယိုဖရီကွင်စီနှင့်သက်ဆိုင်သော အင်ဒတ်တာများ၏ အင်ဒတ်တင်တန်ဖိုးသည် မီလီဟင်နရီ millihenry(mH) နှင့် ခိုက်ခရိုဟင်နရီ microhenry( $\mu\text{H}$ ) တန်ဖိုးများဖြစ်ကြပါသည်။

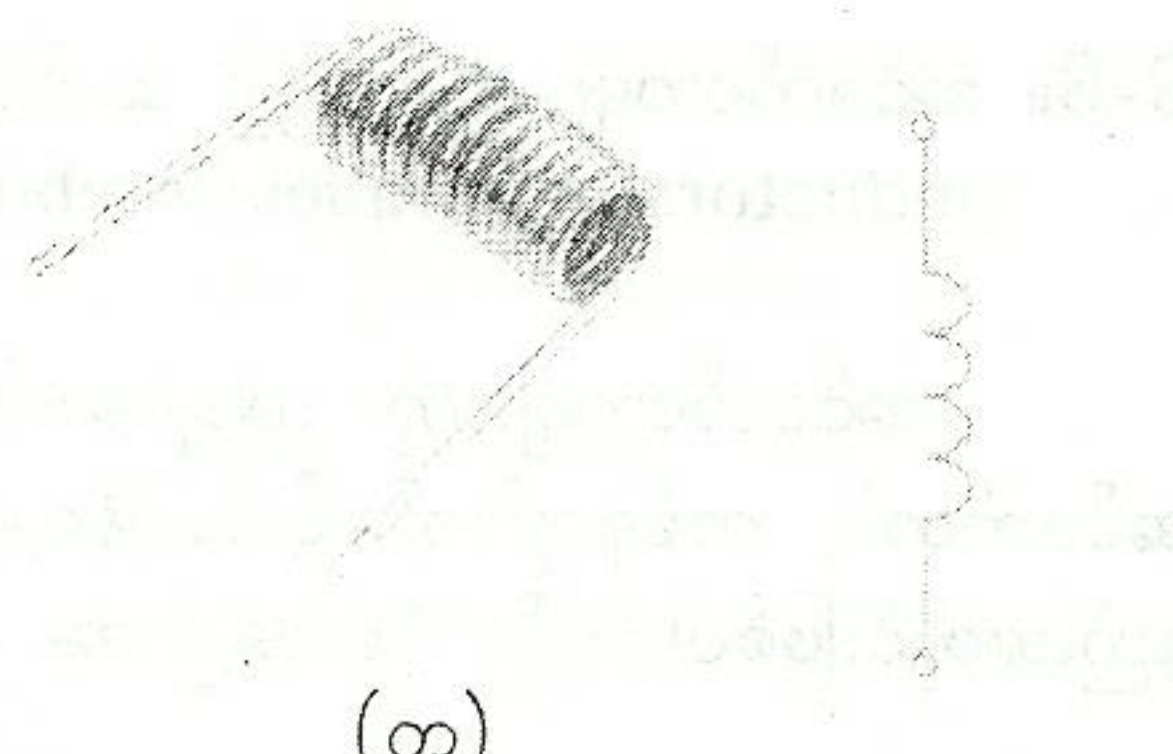
$1 \text{ mH} = 1 \times 10^{-3} \text{ H}$

$1 \mu\text{H} = 1 \times 10^{-6} \text{ H}$

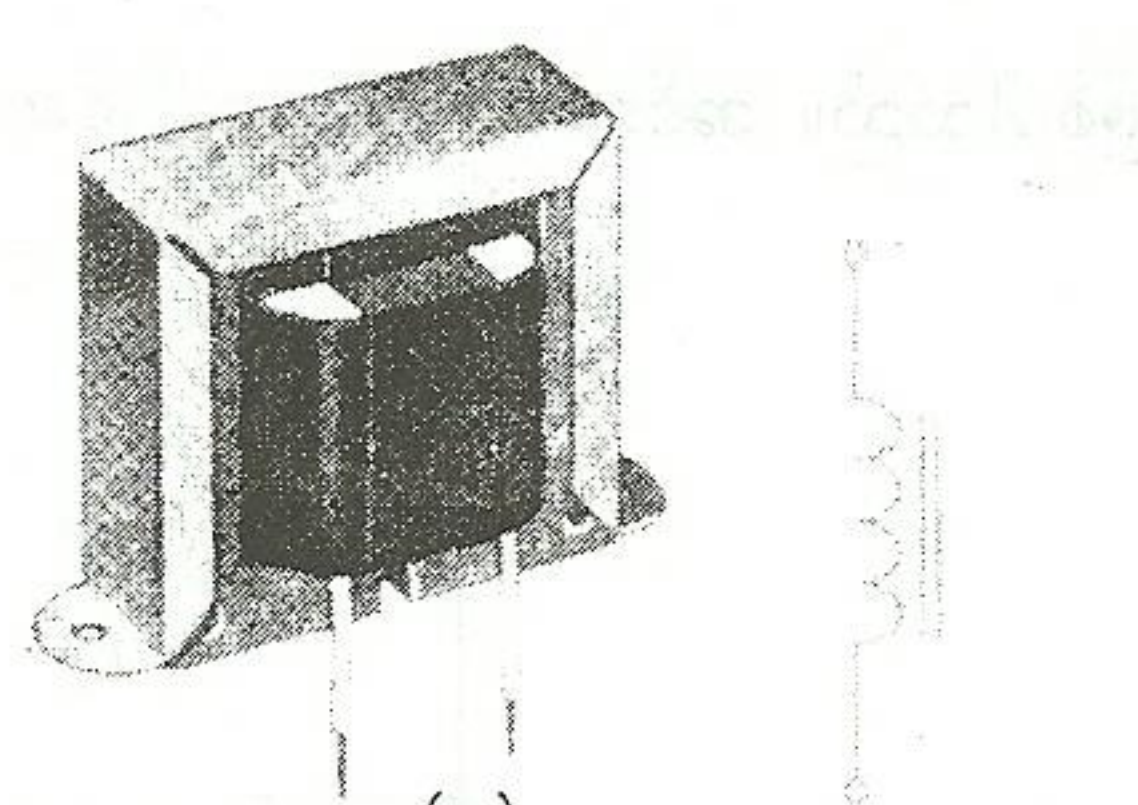
ဥပမာ 535 to 1605kHz ရေဒီယိုဖရီကွင်စီအသံလွှင့်လှိုင်းအတွက် အသုံးပြုရသော အင်ဒတ်တာများသည်  $250 \mu\text{H}$  to  $0.250 \text{ mH}$  ခန့်ရှိတတ်ပြီး၊ 50Hz လှိုင်းဖရီကွင်စီအတွက် အသုံးပြုလေ့ရှိသော အင်ဒတ်တာများသည်  $1 \text{ H}$  to  $25 \text{ H}$  ခန့်ရှိတတ်ကြပါသည်။

ပုံ(၆-၄-က)တွင် ရေဒီယိုဖရီကွင်စီချုပ် (RF choke) ဟုခေါ်သော လေအူတိုင် အင်ဒတ်တာ တစ်ခု၏ပုံနှင့် ယင်းအတွက် ပတ်လမ်းသုံး သင်္ကေတတို့ကို ဖော်ပြထားပါသည်။

ပုံ(၆-၄-ခ)တွင် သံအူတိုင် အင်ဒတ်တာတစ်ခု၏ပုံနှင့် ယင်းအတွက် ပတ်လမ်းသုံး သင်္ကေတတို့ကို ဖော်ပြထားပါသည်။



(က)



(ခ)

ပုံ(၆-၄) အသုံးများသောအင်ဒတ်တာများပုံ



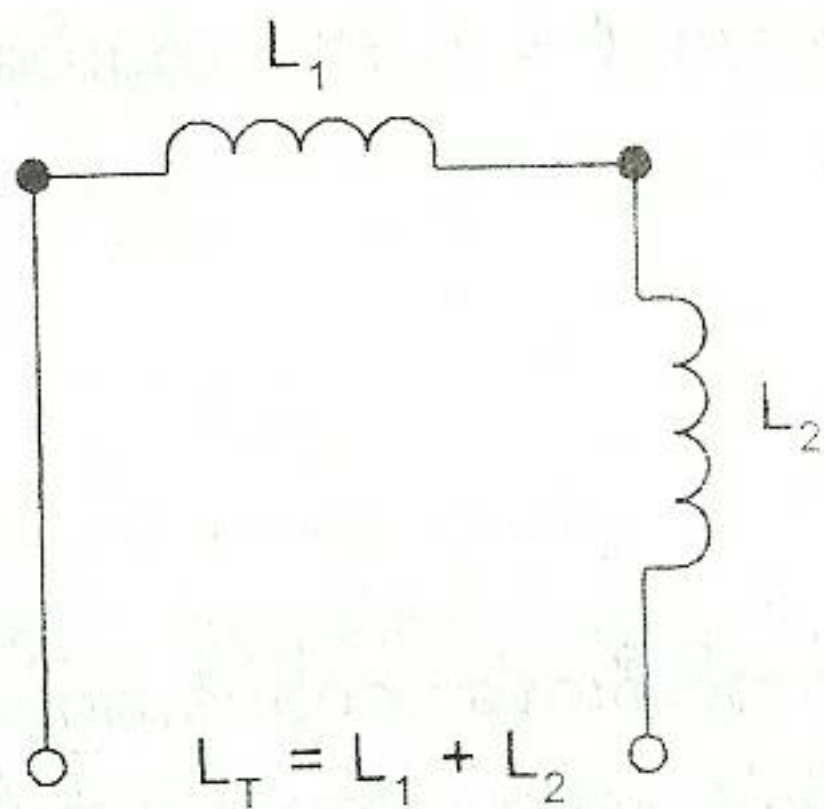
အခန်း(၆) အင်ဒတ်တာ

၆-၅။ အင်ဒတ်တာများကို တန်းဆက် ဆက်သွယ်ခြင်း  
(Inductors in Series Combination)

အင်ဒတ်တာများကိုတန်းဆက်ဆက်သွယ်သောအခါ အကျိုးအင်ဒတ်တင်သည် အင်ဒတ်တင် တစ်ခုချင်း၏ပေါင်းလဒ်နှင့် တူညီပါသည်။ ရီစစ္စတာများ တန်းဆက်သည့်နည်းအတိုင်းဖြစ်ပါသည်။ ပုံသေနည်းအရ-

\*  $L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$

ဖြစ်ပါသည်။ အင်ဒတ်တာများ တန်းဆက် ဆက်သွယ်နည်းကို ပုံ(၆-၅)တွင်ကြည့်ပါ။



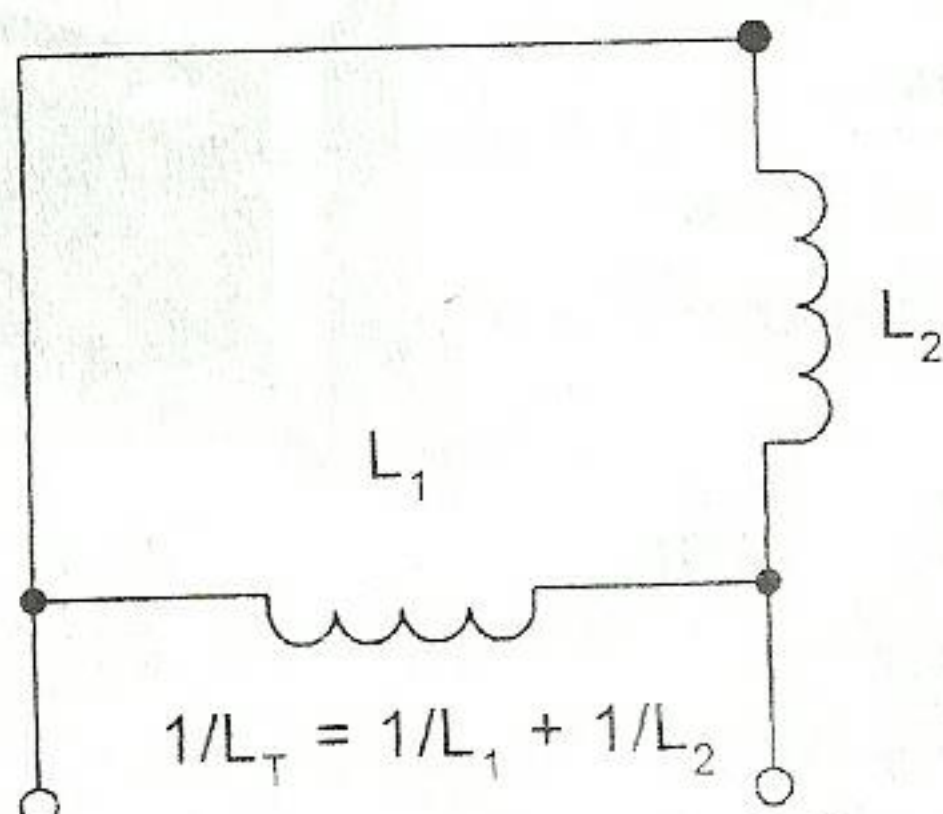
ပုံ(၆-၅) အင်ဒတ်တာများ တန်းဆက် ဆက်သွယ်ပုံ

၆-၆။ အင်ဒတ်တာများကို အပြိုင် ဆက်သွယ်ခြင်း  
(Inductors in Parallel Combination)

အင်ဒတ်တာများကို အပြိုင်ဆက်ဆက်သွယ်သောအခါ အကျိုးအင်ဒတ်တင်၏ပြောင်းပြန်လှန်ကိန်းသည် အင်ဒတ်တင် တစ်ခုချင်းကိုပြောင်းပြန်လှန်ပြီး ပေါင်းလဒ်နှင့် တူညီပါသည်။ ရီစစ္စတာများ အပြိုင်ဆက်သည့်နည်းအတိုင်းဖြစ်ပါသည်။ ပုံသေနည်းအရ-

\*  $1/L_T = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots$

ဖြစ်ပါသည်။ အင်ဒတ်တာများ အပြိုင်ဆက်သွယ်နည်းကို ပုံ(၆-၆)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၆-၆) အင်ဒတ်တာများ အပြိုင် ဆက်သွယ်ပုံ



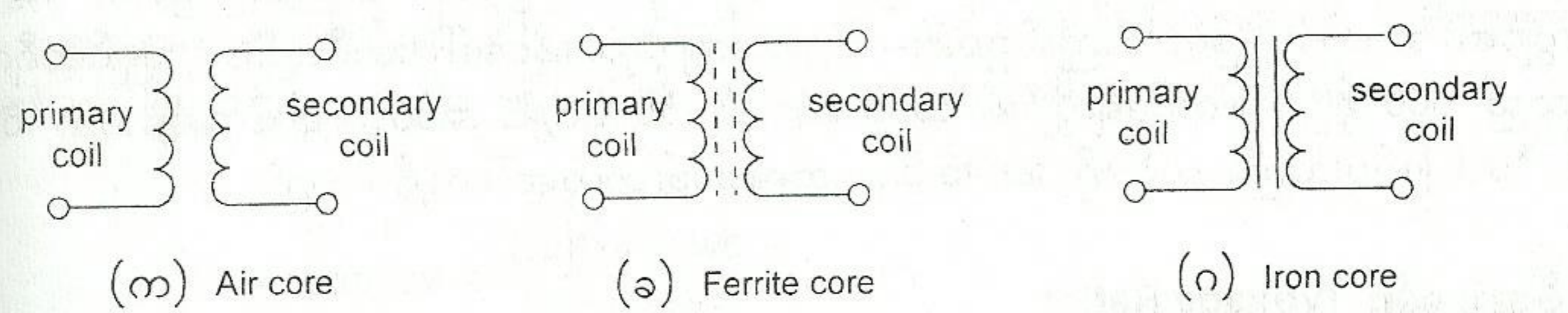
၆-၇။ ထရန်စဖော်မာ (Transformer)

AC  
no induce voltage  
DC  
no induce voltage

ထရန်စဖော်မာသည် ကွိုင်နှစ်ခုအကြား လျှပ်စစ်သံလိုက်ညှို့ခြင်း (electromagnetic induction) ကိုအခြေခံပြီး တည်ဆောက်ထားသောပစ္စည်းတစ်ခု ဖြစ်ပါသည်။ ပတ်လမ်းတစ်ခုမှ အစီပါဝါကို အခြားတစ်ခု သို့ပြောင်းလဲပေးလိုသည့်အခါ ထရန်စဖော်မာကို အသုံးပြုရပါသည်။ <တနည်းအားဖြင့် ထရန်စဖော်မာသည် အစီဗို့အားကို အတိုး/အလျော့၊ ပြုလုပ်ပေးနိုင်ပါသည်။ ထရန်စဖော်မာသည် ဒီစီဗို့အားကို အတိုး/အလျော့ မပြုလုပ်ပေးနိုင်ချေ။> အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဒီစီဗို့အားသည် လျှပ်ညှို့ခြင်း မပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့်ဖြစ် ပါသည်။

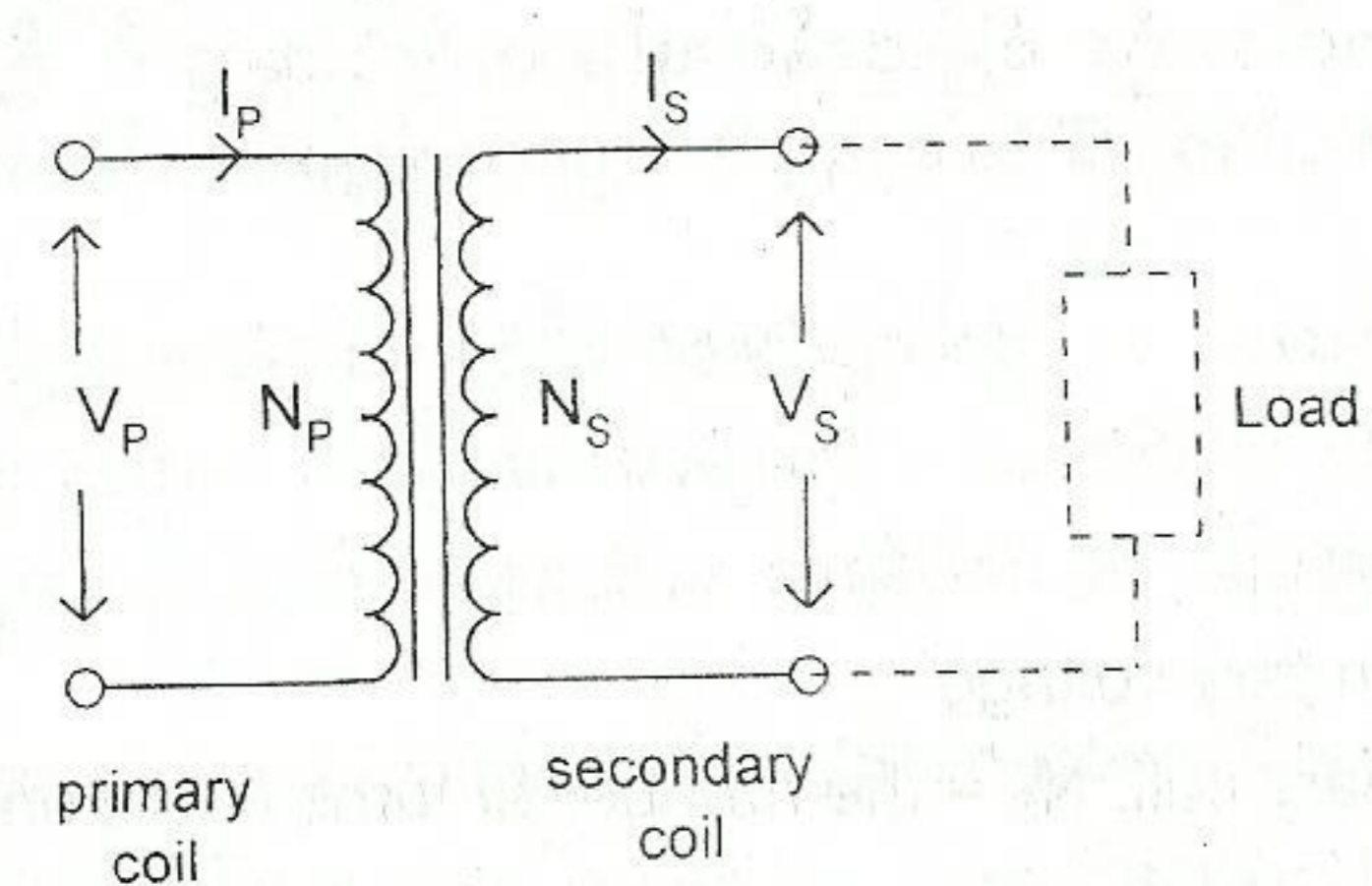
ထရန်စဖော်မာတွင် အဓိကအားဖြင့် ကွိုင်နှစ်ခုပါဝင်ပါသည်။ အစီအဝင်ဗို့အားထည့်ပေးသည့်ကွိုင်ကို မူလကွိုင် (သို့မဟုတ်) ပရိုင်းမာရီကွိုင် (primary coil) ဟုခေါ်ပြီး၊ အစီဗို့အားကို အလိုရှိသလို အတိုး/ အလျော့ပြုလုပ်ပြီးနောက် ပြန်လည်ထုတ်ယူနိုင်သောကွိုင်ကို တဆင့်ခံကွိုင်(သို့မဟုတ်) စကင်ဒရီကွိုင် (secondary coil) ဟုခေါ်ပါသည်။ ကွိုင်များကိုပတ်သည့်အခါ အောက်ခံထားသောပစ္စည်းကို ကိုး (core) ဟု ခေါ်ပါသည်။

လက်တွေ့အသုံးပြုနေသော ထရန်စဖော်မာများကို တည်ဆောက်ပုံအရ အမျိုးအစားခွဲခြားသော် ပုံ(၆-၇) တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း အဲယားကိုး (air core) ထရန်စဖော်မာ၊ ဖဲရိုက်ကိုး (ferrite core) ထရန်စဖော်မာ၊ အိုင်းယင်းကိုး (iron core) ထရန်စဖော်မာဟူ၍ ပုံစံအမျိုးမျိုး တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ ထရန်စဖော်မာတွင် ကွိုင်နှစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခုထက်ပို၍ ပါဝင်နိုင်ပါသည်။ ကွိုင်တစ်ခုနှင့်တစ်ခုအကြားတွင် လျှပ်စစ်သံလိုက်ညှို့ခြင်းနည်း ဖြင့် စွမ်းအင်ကိုပြောင်းလဲပေးပြီး ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းအမျိုးမျိုးတို့ကို ဖြစ်ပေါ်လာစေပါသည်။



ပုံ(၆-၇) ထရန်စဖော်မာ အမျိုးအစားများခွဲခြားထားပုံ

၆-၈။ ပါဝါ ထရန်စဖော်မာ (Power Transformer)



ပုံ(၆-၈) ထရန်စဖော်မာတစ်လုံး တည်ဆောက်ပုံ



အခန်း(၆) အင်ဒတ်တာ

ပတ်လမ်းတစ်ခုမှ အစီပါဝါကို အခြားပတ်လမ်းတစ်ခုသို့ ပြောင်းလဲပေးလိုသောအခါ ပါဝါထရန်စဖော်မာများကို အသုံးပြုကြရပါသည်။ အိုင်ယင်းကို ပါဝါထရန်စဖော်မာတစ်လုံး တည်ဆောက်ထားပုံကို ပုံ(၆-၈)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ပရိုင်းမာရီကွိုင်ကို အစီဗို့အားပင်ရင်းနှင့် ဆက်သွယ်ထားပြီး အထွက်ဗို့အားကို စကင်ဒရီကွိုင်မှ ထုတ်ယူပြီး အသုံးပြုမည့် ဝန် (load) နှင့် ဆက်သွယ်ရပါသည်။ ကွိုင်များတွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ဗို့အား၊ လျှပ်စီးကြောင်းနှင့် အပတ်ရေ တို့ကို ပုံ(၆-၈)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

**၆-၉။ ထရန်စဖော်မာ၏ လုပ်ဆောင်ချက်များ (Transformer Action)**

ထရန်စဖော်မာတစ်လုံး၏ လုပ်ဆောင်ချက်များကို မှတ်သားရာတွင် လွယ်ကူစေရန်အတွက် အောက်ပါအတိုင်း အပိုဒ်ငယ်များဖြင့် ခွဲခြားဖော်ပြထားပါသည်။

**၆-၉-၁။ အပတ်ရေများအချိုး (Turns Ratio)**

ထရန်စဖော်မာတစ်လုံးတွင် ပရိုင်းမာရီကွိုင်ကိုပတ်ထားသော အပတ်ရေနှင့် စကင်ဒရီကွိုင်ကိုပတ်ထားသော အပတ်ရေတို့၏ အချိုးကို ကိန်းတစ်ခုအဖြစ် အောက်ပါအတိုင်း ဖော်ပြပါသည်။

$$\text{Turns Ratio} = \frac{N_p}{N_s}$$

ယင်းတွင်  $N_p$  သည် ပုံ(၆-၈)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပရိုင်းမာရီကွိုင်၏ အပတ်ရေ ဖြစ်ပြီး  $N_s$  သည် စကင်ဒရီကွိုင်၏ အပတ်ရေ ဖြစ်ပါသည်။ ဥပမာ- ဗို့အားလျှော့ချထရန်စဖော်မာတစ်လုံးတွင် ပရိုင်းမာရီကွိုင်၏ အပတ်ရေသည် 500 ရှိပြီး၊ စကင်ဒရီကွိုင်၏ အပတ်ရေသည် 50 ရှိလျှင် အပတ်ရေများ အချိုးသည် 500/50 သို့မဟုတ် 10:1 ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းကို ten-to-one ထရန်စဖော်မာဟုခေါ်လေ့ရှိပါသည်။

**၆-၉-၂။ ဗို့အားအချိုး (Voltage Ratio)**

ထရန်စဖော်မာတစ်လုံး၏ ပရိုင်းမာရီကွိုင်ကို အစီဗို့အား  $V_p$  ပေးလိုက်သောအခါ ပရိုင်းမာရီကွိုင်ထဲတွင် လျှပ်စီးကြောင်း  $I_p$  စီးနေပေမည်။  $I_p$  သည် သံလိုက်စက်ကွင်းအားလမ်းကြောင်းများကို ဖြစ်ပေါ်စေပြီး စကင်ဒရီကွိုင်တွင် ညှို့ဗို့အား  $V_s$  ကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ စံပြထရန်စဖော်မာတစ်လုံးအတွက် ဗို့အားနှစ်ခုဆက်စပ်ပုံသည် အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်ပါသည်။

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

ယင်းတွင် -  $V_p$  = primary voltage,  $V_s$  = secondary voltage  
 $N_p$  = the number of turns in primary coil,  $N_s$  = the number of turns in secondary coil

အသီးသီးဖြစ်ကြပါသည်။ ထို့ကြောင့် ဗို့အားအချိုးသည် အပတ်ရေများအချိုးနှင့် တူညီကြောင်းတွေ့ရပါသည်။



၆-၉-၃။ လျှပ်စီးကြောင်းအချိုး (Current Ratio)

ထရန်စဖော်မာတစ်လုံး၏ ပရိုင်းမာရီကွိုင်ကို အေစီဗို့အား  $V_p$  ပေးလိုက်သောအခါ ပရိုင်းမာရီကွိုင်ထဲတွင် ပရိုင်းမာရီလျှပ်စီးကြောင်း  $I_p$  စီးနေပေမည်။ စကင်ဒရီကွိုင်တွင် ဝန်တစ်ခုတပ်ထားလိုက်သောအခါ ဝန်ကိုဖြတ်၍ စကင်ဒရီလျှပ်စီးကြောင်း  $I_s$  စီးနေပေမည်။ ထရန်စဖော်မာတွင် ပါဝါဆုံးရှုံးမှုမရှိဟုယူဆလျှင် စကင်ဒရီကွိုင်၏ပါဝါသည် ပရိုင်းမာရီကွိုင်၏ ပါဝါနှင့်တူညီပေသည်။

$$V_s I_s = V_p I_p$$

or

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s}$$

ထို့ကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်းအချိုးသည် ဗို့အားအချိုးနှင့် ပြောင်းပြန်ဖြစ်နေပေသည်။ အပတ်ရေများအချိုး၊ ဗို့အားအချိုးနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းအချိုးတို့သည် အောက်ပါအတိုင်း ဆက်စပ်နေကြပါသည်။

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

၆-၉-၄။ စွမ်းရည် (Efficiency)

ထရန်စဖော်မာတစ်လုံး၏ ပါဝါပြောင်းလဲနိုင်သည့် အရည်အချင်းကို စွမ်းရည် (Efficiency) ဖြင့် သတ်မှတ် ဖော်ပြလေ့ရှိကြပါသည်။ စွမ်းရည်ကို အောက်ပါအတိုင်း အဓိပ္ပာယ်သတ်မှတ်ပါသည်။

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output power}}{\text{Input power}} \times 100\%$$

ပါဝါဆုံးရှုံးမှုမရှိသော စံပြထရန်စဖော်မာအတွက် စွမ်းရည်သည် 100% ဖြစ်ပြီး လက်တွေ့သုံး ထရန်စဖော်မာများအတွက် စွမ်းရည်သည် 100% အောက် လျော့ကျလျက်ရှိပါသည်။

၆-၁၀။ ထရန်စဖော်မာအမျိုးအစားများ (Types of Transformer)

အေစီဗို့အားတန်ဖိုးအမျိုးမျိုးကိုအလိုရှိသလို ရယူနိုင်ရန်အတွက် ထရန်စဖော်မာအမျိုးအစားကို အသုံးပြုကြရပါသည်။ ထရန်စဖော်မာများကို ယင်းတို့၏လုပ်ငန်းစဉ်အရ အမျိုးအစား ခွဲခြားသတ်မှတ်လေ့ရှိကြပါသည်။ လက်တွေ့အသုံးများသော ထရန်စဖော်မာအမျိုးအစားများအကြောင်းကိုဆက်လက်ဖော်ပြပါမည်။

၆-၁၀-၁။ ဗို့အားလျော့ချ-ထရန်စဖော်မာ (Step-down Transformer) *non-inverting*

စကင်ဒရီကွိုင်မှထွက်ပေါ်လာသော အထွက်အေစီဗို့အားသည် ပရိုင်းမာရီကွိုင်သို့ပေးသွင်းလိုက်သော အဝင်အေစီဗို့အားထက် လျော့နည်းနေလျှင် ဗို့အားလျော့ချခြင်းဖြစ်ပေါ်ပေမည်။ ထိုထရန်စဖော်မာအမျိုးအစားကို

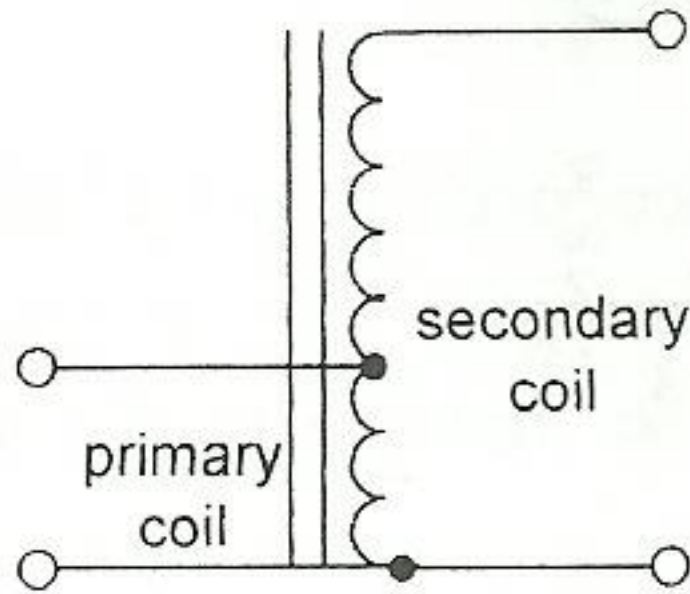




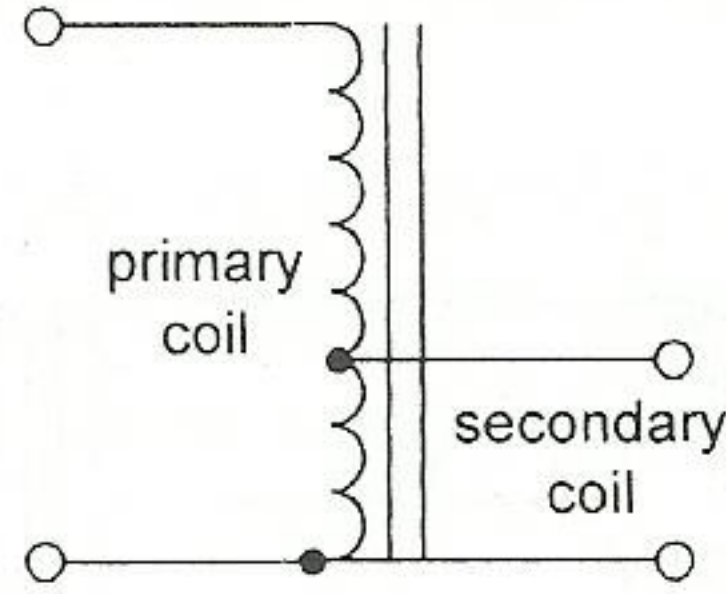


၆-၁၀-၄။ အော်တို-ထရန်စဖော်မာ (Auto Transformer) *αὐτομνηστρομομαμια*

သမရိုးကျအတိုင်း ပရိုင်းမာရီနှင့်စကင်ဒရီကွိုင်တို့ကို သီးခြားပတ်ထားခြင်းမရှိဘဲ ပရိုင်းမာရီကွိုင် တစ်ဖက်နှင့် စကင်ဒရီကွိုင်တစ်ဖက်တို့ ဘုံအဖြစ်ပတ်ထားသော ထရန်စဖော်မာအမျိုးအစားကို အော်တို-ထရန်စဖော်မာဟုခေါ်ပါသည်။ ပုံ(၆-၁၁)တွင်ကြည့်ပါ။



(က) Step-up auto transformer



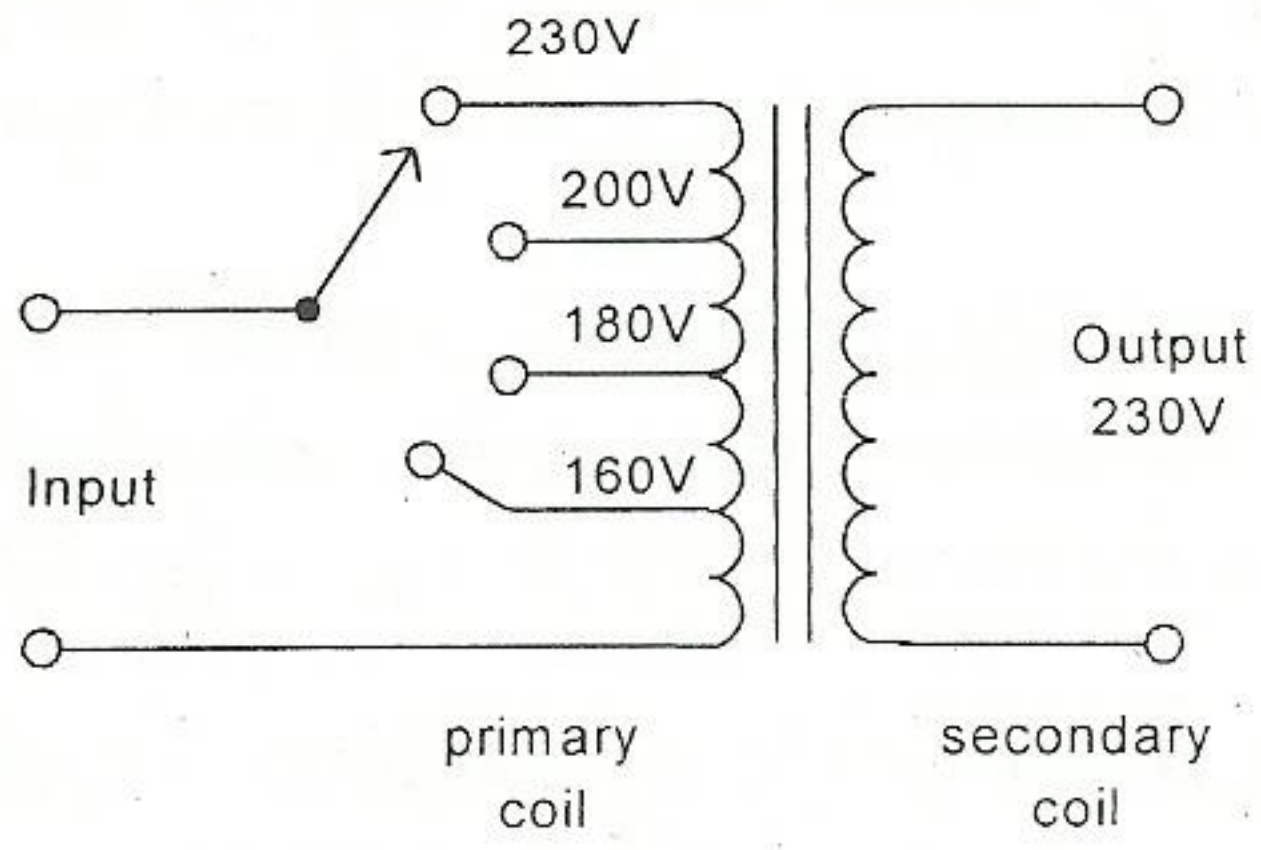
(ခ) Step-down auto transformer

ပုံ(၆-၁၁) အော်တို-ထရန်စဖော်မာပုံ

ပုံ(၆-၁၁-က)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ကွိုင်တစ်ခုလုံးသည် စကင်ဒရီကွိုင်ဖြစ်နေပြီး ကွိုင်အစိတ်အပိုင်းတစ်ခုသည် ပရိုင်းမာရီကွိုင်ဖြစ်နေလျှင်ယင်းကို ဗို့အားမြှင့်-အော်တိုထရန်စဖော်မာအဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ပြီး၊ ပုံ(၆-၁၁-ခ)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ကွိုင်တစ်ခုလုံးသည် ပရိုင်းမာရီကွိုင်ဖြစ်နေပြီး ကွိုင်အစိတ်အပိုင်းတစ်ခုသည် စကင်ဒရီကွိုင်ဖြစ်နေလျှင် ယင်းကိုဗို့အားလျှော့ချ-အော်တိုထရန်စဖော်မာအဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ (အေစီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်း (AC Voltage Stabilizer) များတွင် ဗို့အားမြှင့်-အော်တိုထရန်စဖော်မာများကို အသုံးပြုကြရပါသည်။ )

၆-၁၀-၅။ ပရိုင်းမာရီကွိုင်တွင် ငုတ်များစွာပါဝင်သော ထရန်စဖော်မာ (Tapped Primary Winding Transformer) *ποσμησα μεταμομομα*

စကင်ဒရီကွိုင်မှ အလိုရှိသော အထွက်ဗို့အားကိုရရှိအောင် ပရိုင်းမာရီကွိုင်တွင် ငုတ်များစွာထုတ်ထားပြီး အဝင်အေစီဗို့အားများကို ပြောင်းလဲ၍ထည့်သွင်းပေးနိုင်သော ထရန်စဖော်မာမျိုးဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၆-၁၂)တွင် ကြည့်ပါ။ ထိုထရန်စဖော်မာမျိုးကို အေစီဗို့အားမြှင့်-ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများတွင်အသုံးပြုလေ့ရှိကြပါသည်။



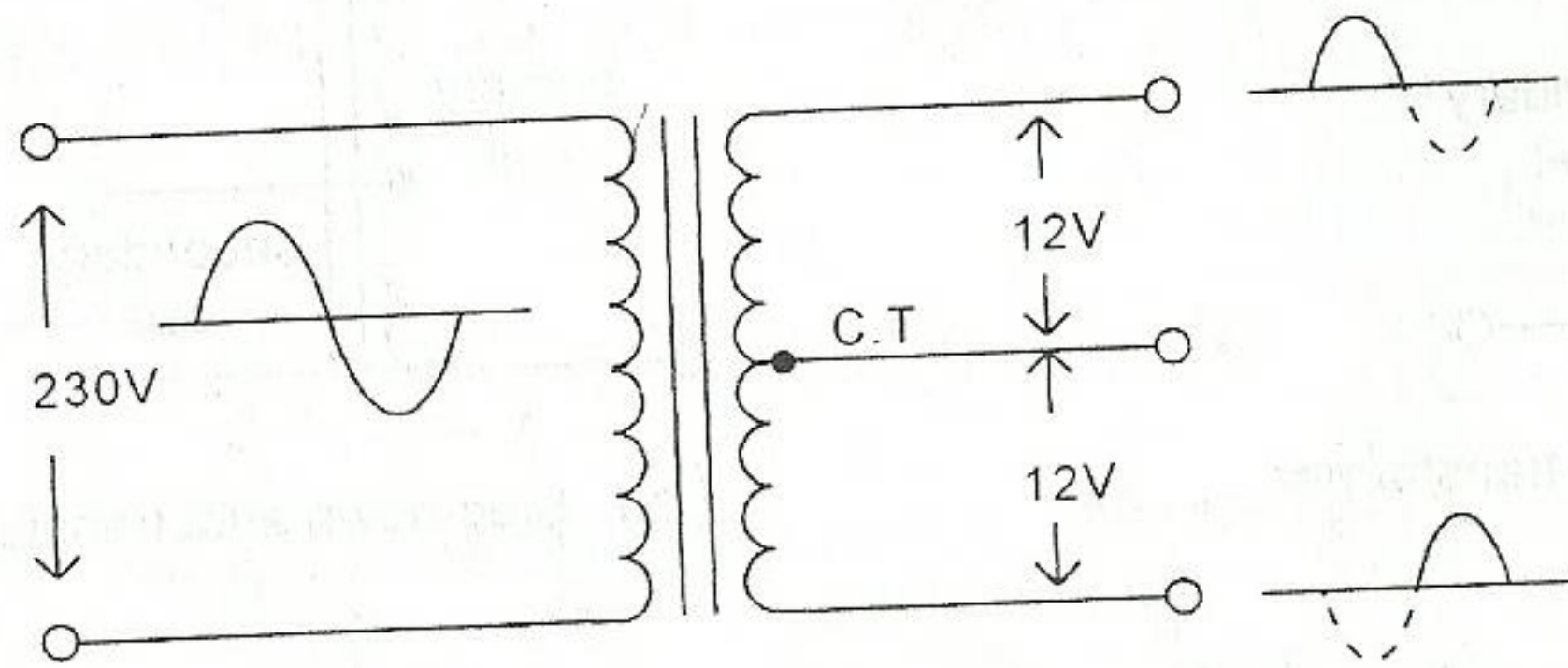
ပုံ(၆-၁၂) ပရိုင်းမာရီကွိုင်တွင်ငုတ်များစွာပါဝင်သော ထရန်စဖော်မာပုံ



အခန်း(၆) အင်ဒတ်တာ

၆-၁၀-၆။ စကင်ဒရီကွိုင်တွင်ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော ထရန်စဖော်မာ *Централизованная*  
(Centre-Tapped Secondary Winding Transformer)

စကင်ဒရီကွိုင်တွင် ပမာဏတူညီသောဗို့အားနှစ်ခုရရှိအောင် ဗဟိုငုတ် (Centre-Tap) ထုတ်၍ ပတ်ထားသော ထရန်စဖော်မာမျိုးဖြစ်ပါသည်။ ထွက်ပေါ်လာသော ဗို့အားနှစ်ခုသည် ဖဲ့စ်ထောင် ၁၈၀ ခြား နားလျက်ရှိကြောင်း ပုံ(၆-၁၃)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။



ပုံ(၆-၁၃) စကင်ဒရီကွိုင်တွင်ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော ထရန်စဖော်မာပုံ

ထိုထရန်စဖော်မာမျိုးကို အခန်း(၉)တွင်ဖော်ပြမည့် လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းများ (Full-Wave Rectifier Circuits) တွင် အသုံးပြုလေ့ရှိကြပါသည်။



# အခန်း(၇) ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများ (Semiconductors )

## ၇-၁။ နိဒါန်း

လျှပ်စစ်ဆိုင်ရာဂုဏ်သတ္တိတစ်ခုဖြစ်သော လျှပ်စီးကြောင်းလွယ်ကူစွာ စီးဆင်းနိုင်မှုကိုအခြေခံ၍ ပစ္စည်းများကို လျှပ်ကူးပစ္စည်းခေါ် ကွန်ဒတ်တာ (conductor) ၊ လျှပ်ကာပစ္စည်းခေါ် အင်ဆူလေတာ (Insulator) နှင့် တစ်ပိုင်းလျှပ်ကူးပစ္စည်းခေါ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ (Semiconductor) ဟူ၍ အမျိုးအစား (၃)မျိုးခွဲခြားထားပါသည်။

### ကွန်ဒတ်တာများ (conductors)

လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနိုင်သော အီလက်ထရွန်လွတ်များ (Free electrons) ပေါများလျက်ရှိကြပြီး လျှပ်စီးကြောင်း အလွယ်တကူဖြတ်သန်းသွားနိုင်သော ပစ္စည်းများကိုခေါ်ပါသည်။ ဥပမာ- ရွှေ၊ ငွေ၊ ကြေးနီ စသည့် သတ္တု (Metal) များသည် ကွန်ဒတ်တာများဖြစ်ကြပါသည်။

### အင်ဆူလေတာများ (Insulators)

လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနိုင်သော အီလက်ထရွန်လွတ်များ မရှိသလောက်ရှားပါးကြသဖြင့် လျှပ်စီးကြောင်း ဖြတ် စီးသွားရန် အလွန်ခဲယဉ်းသော ပစ္စည်းမျိုးကို ခေါ်ပါသည်။ ဥပမာ- ရာဘာ၊ စက္ကူ၊ ပလပ်စတစ် စသည့် ပစ္စည်းများသည် အင်ဆူလေတာများဖြစ်ကြပါသည်။

### ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများ (Semiconductors)

လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနိုင်သော အီလက်ထရွန်လွတ်များ အသင့်အတင့်ရှိပြီး၊ လျှပ်စီးကြောင်းဖြတ်စီးရန် များစွာမခဲယဉ်းသောပစ္စည်းမျိုးကိုခေါ်ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့်ဆိုလျှင် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ၏ လျှပ်ကူးသတ္တိ ခေါ် ကွန်ဒတ်တီဗီတီ (conductivity) သည် ကွန်ဒတ်တာ၏ ကွန်ဒတ်တီဗီတီ နှင့် အင်ဆူလေတာ၏ ကွန်ဒတ်တီဗီတီတို့၏ အကြားတွင် တည်ရှိနေပါသည်။ ဥပမာ-ဂျာမေးနီယမ် (Germanium, Ge) ၊ စီလီကွန် (Silicon, Si) ၊ နှင့် ကာဘွန် (Carbon, C) တို့ကဲ့သို့သော သန့်စင်သော (pure) ပစ္စည်းများနှင့် ယင်းတို့အတွင်းသို့ အခြားမျိုးမတူသော အင်ပျူရီတီအက်တမ်များ (impurity atoms) ကို ထည့်သွင်းပေးခြင်း (doping) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ကွန်ပေါင်းပစ္စည်းများကို ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများဟုခေါ်ပါသည်။

ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများကို အဓိကအားဖြင့် အုပ်စု(၂)စုခွဲနိုင်ပါသည်။ ယင်းတို့မှာ-

- (၁) အင်ထရင်းစစ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ (Intrinsic Semiconductor) နှင့်
- (၂) အိတ်စ်ထရင်းစစ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ (Extrinsic Semiconductor) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

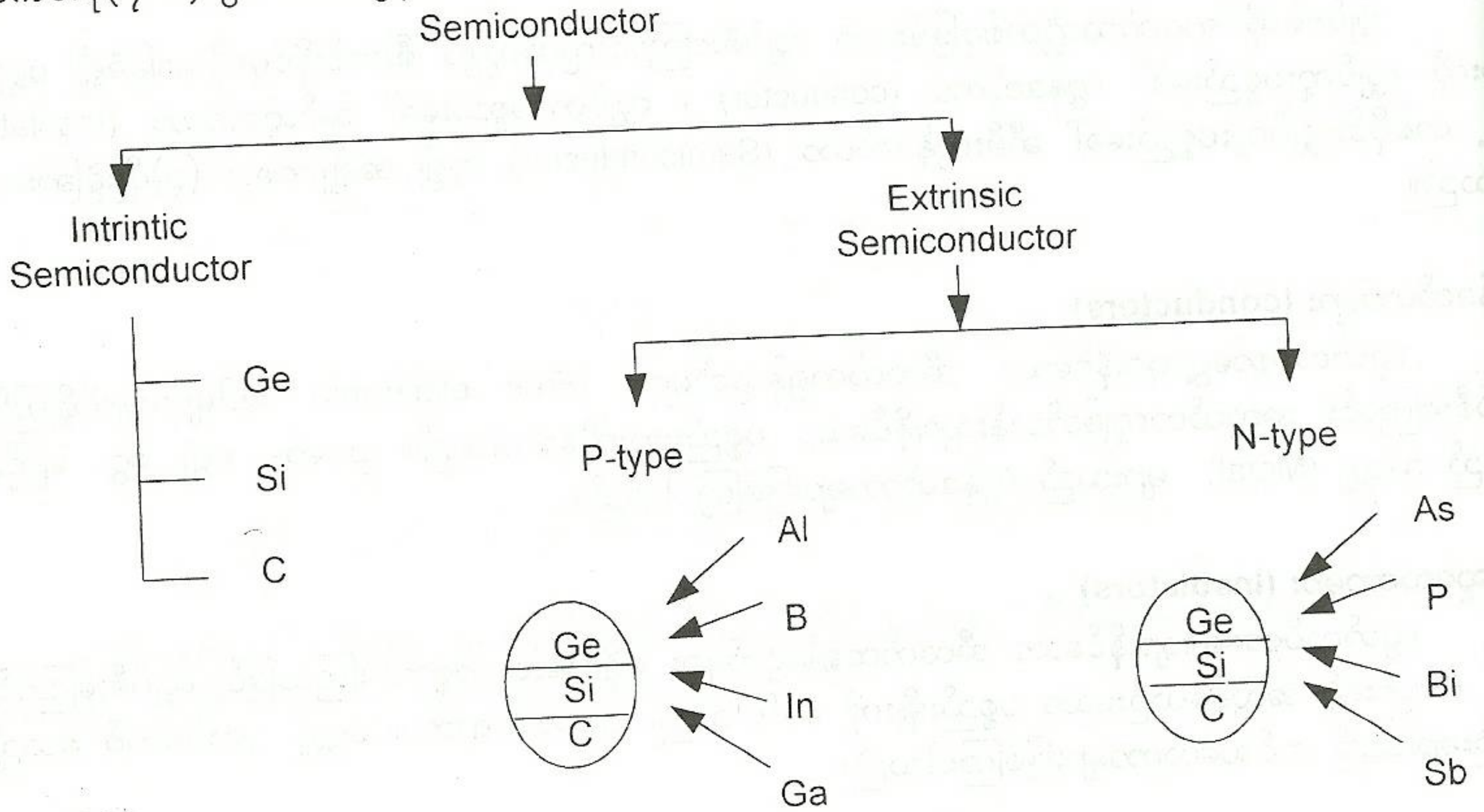
အင်ထရင်းစစ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာဆိုသည်မှာ ပင်ကိုယ်သဘာဝအလျောက်ဖြစ်ပေါ်နေသော သန့်စင်သော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ (pure semiconductor) မျိုးဖြစ်ပါသည်။ ဥပမာ- ဂျာမေးနီယမ်၊ စီလီကွန် နှင့် ကာဘွန် တို့ကို ခေါ်ပါသည်။



အခန်း(၇) ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများ

အိတ်စ်ထရင်းစစ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာဆိုသည်မှာ အထက်ပါ သန့်စင်သော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများအတွင်း သို့ပြင်ပမှ အခြားမျိုးမတူသော အင်ပျူရီတီ ပစ္စည်းတစ်ခုခုထည့်သွင်းပေးလိုက်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာမျိုးကိုခေါ်ပါသည်။

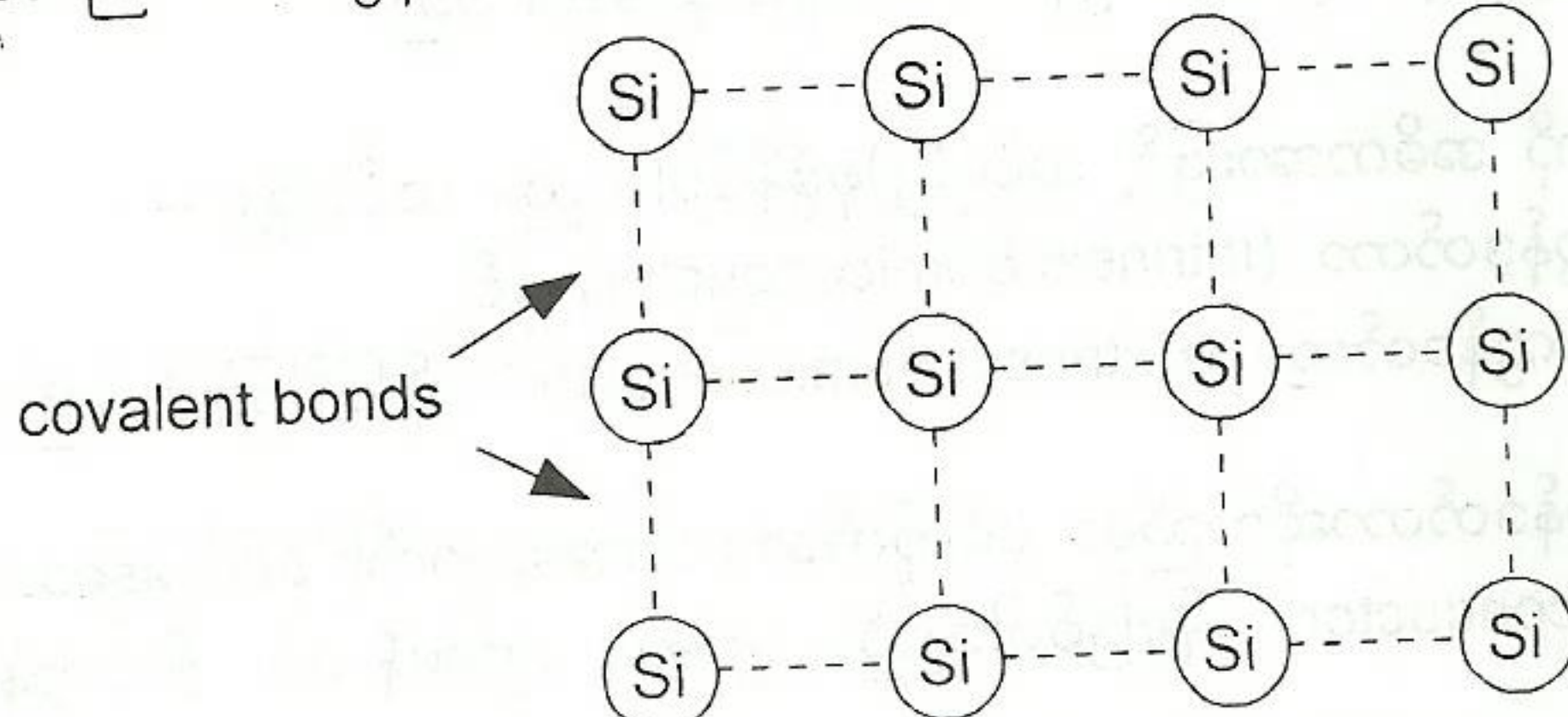
အိတ်ထရင်းစစ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများတွင် ပြင်ပမှ အင်ပျူရီတီထည့်သွင်းပေးခြင်း အပေါ်မူတည်၍ ပီ-အမျိုးအစား (P-type) နှင့် အင်န်-အမျိုးအစား (N-type) ဟူ၍ (၂)မျိုးထပ်မံခွဲခြားနိုင်ပါသေးသည်။ အောက်ပါပုံ(၇-၁)တွင် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ အမျိုးအစားခွဲခြားထားပုံကို လေ့လာနိုင်ပါသည်။



ပုံ(၇-၁) ဆီမီးကွန်ဒတ်တာအမျိုးအစားခွဲခြားပုံ

၇-၂။ ကိုဗေးလင်ဘွန်းများ နှင့် ခရစ္စတယ် ဖွဲ့စည်းပုံ (Covalent Bonds and Crystal Structure)

စီလီကွန်နှင့်ဂျာမေးနီယမ်တို့တွင် အက်တမ်တည်ဆောက်ပုံအရ နျူကလိယ (nucleus) ကိုအီလက်ထရွန် များသည် ပြင်ပမှ အခွံပုံစံဖြင့်လှည့်ပတ်နေကြရာ အပြင်ဖက်ဆုံးပတ်လမ်းတွင် အီလက်ထရွန်(၄)လုံး တည်ရှိ နေကြပါသည်။ ထိုအီလက်ထရွန်(၄)လုံးသည် အက်တမ်များ အချင်းချင်းအကြား၌ ကိုဗေးလင်ဘွန်းများဖြင့် ချိတ်တွဲလျက် ညီညာသော လက်တစ်ဖွဲ့စည်းပုံ (regular lattice structure) ဖြစ်ပေါ်ကာ ခရစ္စတယ် အခဲအခြေ အဖြစ်တည်ရှိနေပေသည်။ စီလီကွန်အက်တမ်အတွက် ထိုသို့ဖွဲ့စည်းမှုကို ပုံ(၇-၂)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၇-၂) စီလီကွန်အက်တမ်များအကြား ကိုဗေးလင်ဘွန်းများဖြင့် ခရစ္စတယ် လက်တစ် ဖွဲ့စည်းပုံ

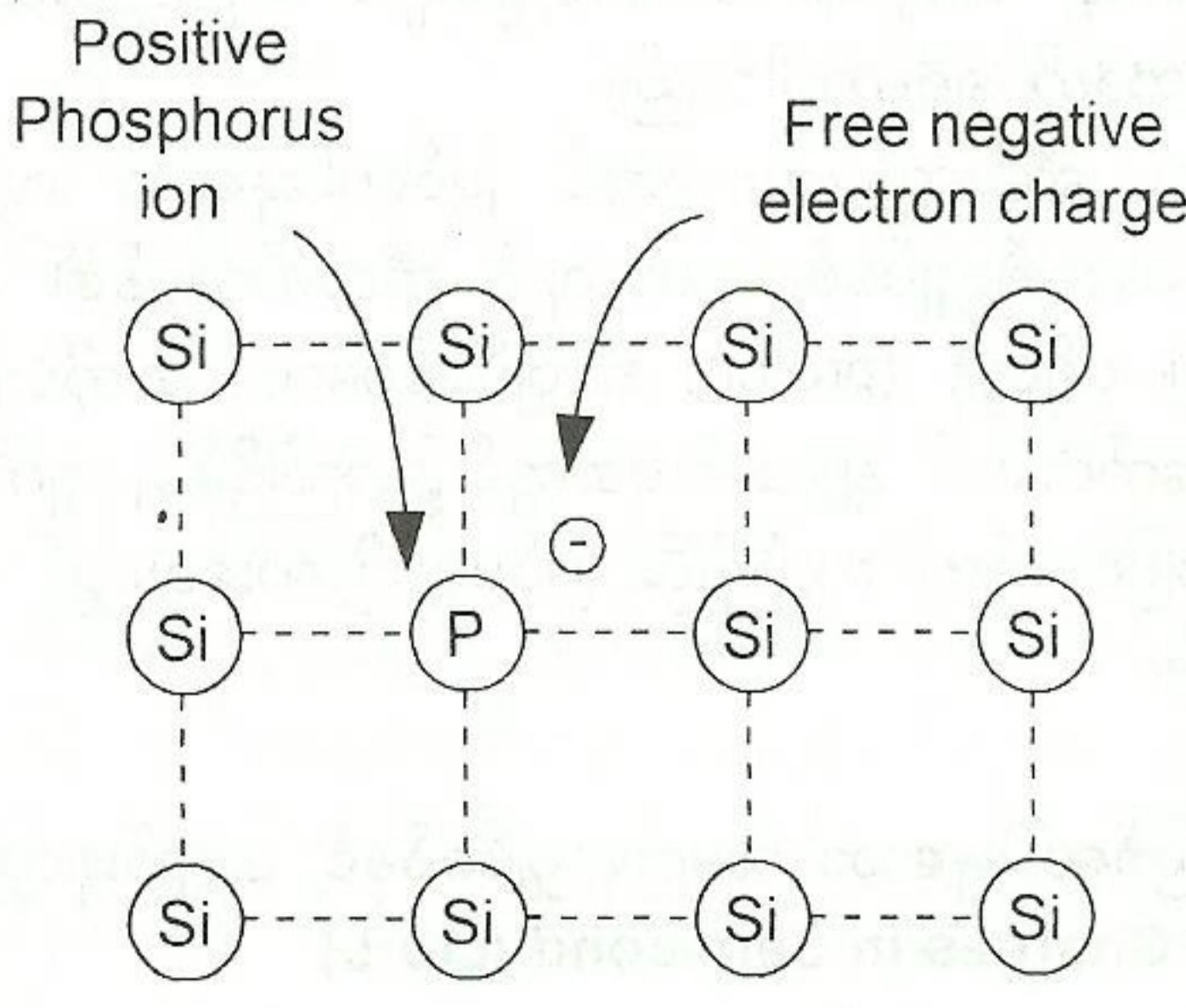


ကိုဗေးလင် ဘွန်းဖြစ်ပေါ်စေသော အပြင်ဖက်ဆုံးအီလက်ထရွန်များကို ဗေးလင် အီလက်ထရွန်များ (valence electrons) ဟုခေါ်ပါသည်။ ခရစ္စတယ်တစ်ခု၏ အတွင်းပိုင်းရှိ အက်တမ်ဖွဲ့စည်းပုံသည် တိကျသော ဂျီဩမေတြီဆိုင်ရာ ပုံပမ်းသဏ္ဍာန်ရှိပါသည်။

ဥပမာ-စိန် (diamond) သည် ကာဘွန်အက်တမ်များကို တိကျသော ခရစ္စတယ်ဖွဲ့စည်းပုံဖြင့် တည်ဆောက်ထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတစ်ခုဖြစ်ပါသည်။ ခရစ္စတယ်တစ်ခုကို ခွဲခြမ်းလိုက်သောအခါ ဖြစ်ပေါ်လာသော အစိတ်အပိုင်းများသည်လည်း မူလခရစ္စတယ်ဖွဲ့စည်းပုံအတိုင်းပင် တည်ရှိနေပေသည်။ စီလီကွန်နှင့် ဂျာမေနီယမ်တို့တွင်ရှိနေသော ကိုဗေးလင် ဘွန်းများကြောင့် ယင်းတို့အတွင်းသို့ အခြားမျိုးမတူသော မသန့်စင်သော အင်ပျူရီတီ အက်တမ်များကို ထည့်သွင်းပေးခြင်းအားဖြင့် အလိုရှိသော လျှပ်စစ်ဆိုင်ရာဂုဏ်သတ္တိများကို ထုတ်ဖော် ရယူနိုင်ပေသည်။

၇-၃။ အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ (N-type Semiconductor)

သန့်စင်သော စီလီကွန်အက်တမ်များ၏ အပြင်ဖက်ဆုံးပတ်လမ်းတွင် အီလက်ထရွန်(၄)လုံး တည်ရှိနေကြောင်း အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့ပြီးပေပြီ။ ထိုစီလီကွန်အက်တမ်များအတွင်းသို့ အာဆင်းနစ် (arsenic, As) ၊ ဖော့စဖရပ်စ် (phosphorus, P) ၊ ဘစ်စမတ် (bismuth, Bi) အင်တီမိုနီ (antimony, Sb) ၊ စသည့် ပြင်ပအခွံတွင် အီလက်ထရွန်(၅)လုံးပါရှိသော အင်ပျူရီတီအက်တမ်များကို ထည့်သွင်းလိုက်သောအခါ အင်ပျူရီတီအက်တမ်တစ်လုံးစီတွင် ကိုဗေးလင် ဘွန်း၌ မပါဝင်နိုင်ဘဲ လွတ်နေသော (ပိုနေသော) အီလက်ထရွန်တစ်လုံး ထွက်ပေါ်လာပေမည်။ ထိုအခါ အီလက်ထရွန်လွတ်များပေါများသော အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာကို ရရှိလာပါသည်။ မူလသန့်စင်သော စီလီကွန် အတွင်းသို့ အင်ပျူရီတီအက်တမ်များ ထည့်သွင်းနိုင်လေလေ အီလက်ထရွန်လွတ်များထွက်ပေါ်လာလေလေ ဖြစ်ပေတော့သည်။ ပုံ(၇-၃)တွင် စီလီကွန်အတွင်းသို့ ဖော့စဖရပ်စ်အက်တမ်ထည့်သွင်းလိုက်ခြင်းကြောင့် အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာဖြစ်ပေါ်လာပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



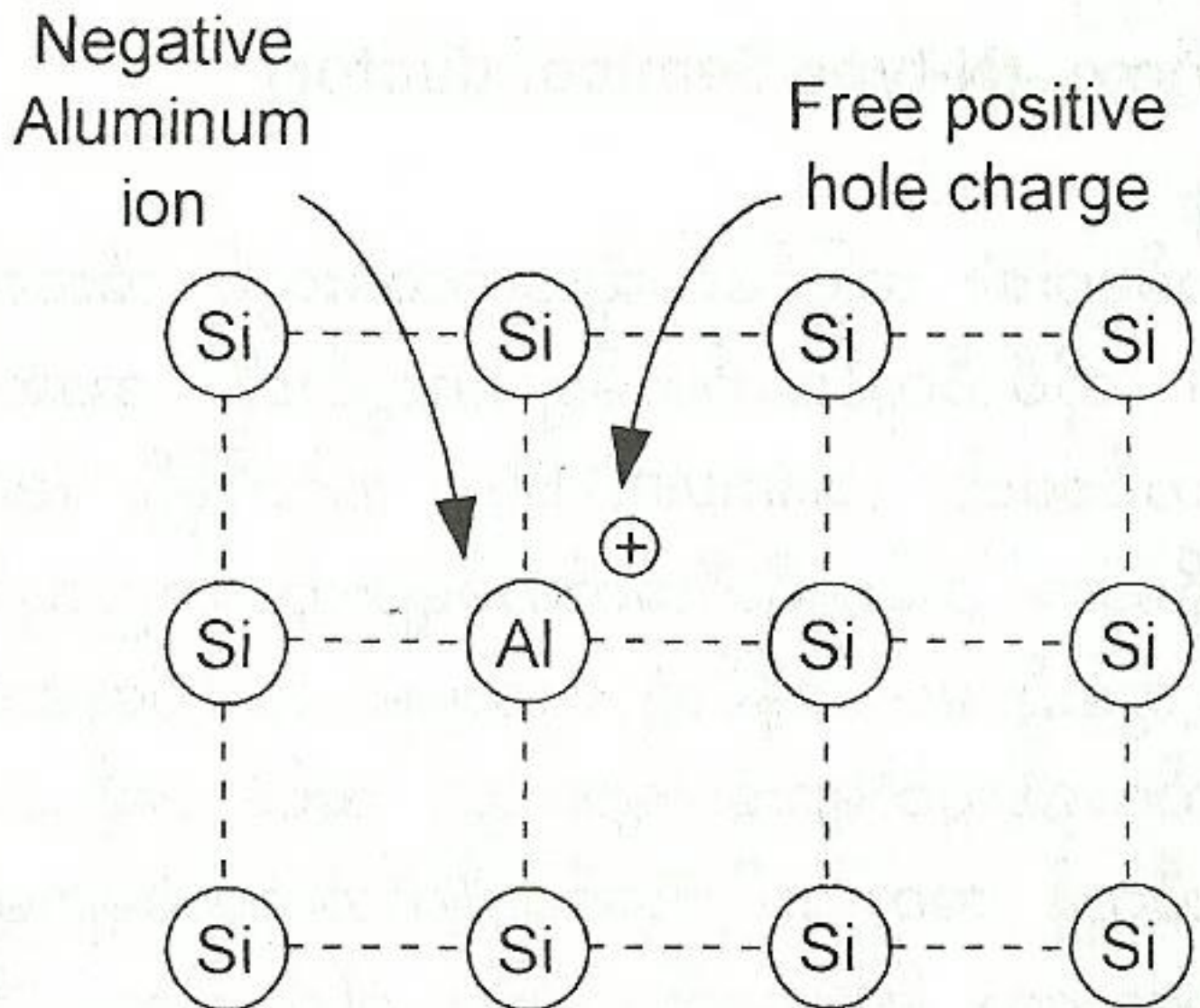
ပုံ(၇-၃) အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတွင် အီလက်ထရွန်လွတ် ဖြစ်ပေါ်လာပုံ

အင်န်-အမျိုးအစားတွင် အီလက်ထရွန်လွတ်များ ပေါများနေသောကြောင့် ပြင်ပမှ ဗို့အားပေးလိုက်သော အခါ အီလက်ထရွန်လျှပ်စီးကြောင်း အလွယ်တကူ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်ပါသည်။



၇-၄။ ပီ-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ (P-type Semiconductor)

သန့်စင်သော စီလီကွန်အက်တမ်များ အတွင်းသို့ အလူမီနီယမ် (aluminum, Al) ၊ ဗိုရွန် (boron, B) ၊ အင်ဒီယမ် (indium, In) ၊ ဂယ်လီယမ် (gallium, Ga) စသည့် ပြင်ပအခွံတွင် အီလက်ထရွန်(၃)လုံးပါရှိသော အင်ပျူရီတီ အက်တမ်များကို ထည့်သွင်းလိုက်သောအခါ အင်ပျူရီတီအက်တမ်တစ်လုံးစီတွင် ကိုဗေးလင်ဘွန်း၌ ပါဝင်နိုင်ရန် ဗေးလင်အီလက်ထရွန်တစ်လုံးစီ လိုအပ်နေပေမည်။ ထိုသို့အီလက်ထရွန် လိုအပ်နေသည့် နေရာသည် တနည်းအားဖြင့် ဟိုး (hole) ဟုခေါ်သော အပေါင်းလျှပ်စစ်တစ်နေရာ ဖြစ်ပေါ်နေခြင်းနှင့် ဆင်တူပါသည်။ ပုံ(၇-၄)တွင် စီလီကွန်အတွင်းသို့ အလူမီနီယမ်အက်တမ်သွင်းထားပြီး ဟိုးဖြစ်ပေါ်လာပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၇-၄) ပီ-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတွင် ဟိုး(အပေါင်းလျှပ်စစ်)တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာပုံ

စီလီကွန်အက်တမ်များအတွင်းသို့ အလူမီနီယမ်အက်တမ်များ ထည့်သွင်းထားလျှင် ဟိုးများ ပေါများသော ပီ-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာကို ရရှိလာပါသည်။

ဟိုး သည် ပီ-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနိုင်သည့် လျှပ်စစ်အသစ်တစ်မျိုးဖြစ်ပါသည်။ ယင်း၏လျှပ်စစ်ပမာဏသည် အီလက်ထရွန်၏ လျှပ်စစ်ပမာဏနှင့် တူညီသော်လည်း လက္ခဏာဆန့်ကျင်သည်။ ပရိုတွန် (proton) ၏လျှပ်စစ်ပမာဏ အတိုင်းဖြစ်သော်လည်း ဟိုး သည် ပရိုတွန်မဟုတ်ချေ။ ပရိုတွန်သည် အက်တမ်၏ နျူကလိယအတွင်း၌တည်ငြိမ်နေလျက် လွတ်လပ်စွာ မရွေ့လျားနိုင်ချေ။ ဟိုးသည် နျူကလိယ၏ အပြင်ဖက်တွင်တည်ရှိပြီး ပြင်ပမှ ဗိုအားပေးလျှင် လွတ်လပ်စွာ ရွေ့လျားကာ လျှပ်စီးကြောင်းဖြစ်ပေါ်စေနိုင်ပါသည်။

၇-၅။ ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများအတွင်းဖြစ်ပေါ်နေသော အများစုလျှပ်စစ်နှင့် အနည်းစုလျှပ်စစ်များ (Majority and Minority Charges in Semiconductors)

သာမန်အခန်းအပူချိန်၌ပင်လျှင် အပူစွမ်းအင်ကြောင့် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများအတွင်း၌ အီလက်ထရွန်-ဟိုး အတွဲများ (electron-hole pairs) ဖြစ်ပေါ်လျက်ရှိနေပါသည်။ အပူချိန်တိုးလာလျှင် အီလက်ထရွန်-ဟိုး အတွဲများသည် ပိုမိုဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။ အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတွင် အီလက်ထရွန်များသည် အများစုလျှပ်စစ်များ (majority charges) ဖြစ်ကြပြီး အပူစွမ်းအင်ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ဟိုးများသည်



အနည်းစုလျှပ်စစ်များ (minority charges) ဖြစ်ကြပေသည်။ တနည်းအားဖြင့် အီလက်ထရွန်များကို အများစုလျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများ (majority charge carriers) ဟုခေါ်ပြီး ဟိုးများကို အနည်းစု လျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများ (minority charge carrier) ဟုခေါ်ပါသည်။

အလားတူပင် ပီ-အမျိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတွင် ဟိုးများသည် အများစုလျှပ်စစ်များ ဖြစ်ကြပြီး အပူစွမ်းအင်ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော အီလက်ထရွန်များသည် အနည်းစုလျှပ်စစ်များ ဖြစ်ကြပေသည်။ တနည်းအားဖြင့် ဟိုးများကို အများစု လျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများဟုခေါ်ပြီး အီလက်ထရွန်များကို အနည်းစု လျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများဟုခေါ်ပါသည်။

ဆီမီးကွန်ဒတ်တာတစ်ခုတွင် ပြင်ပမှ ဗို့အားပေးမှုကြောင့် အများစုလျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများသည် ရွေ့လျားကြပြီး ရှေ့ညွှန်းလျှပ်စီးကြောင်း (forward current) ကို ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ ထိုလျှပ်စီးကြောင်းပမာဏသည် မီလီအမ်ပီယာအနည်းငယ်မှ အမ်ပီယာအထိရှိနိုင်ပါသည်။ တစ်ချိန်တည်းမှာပင် အနည်းစုလျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများသည်လည်း ဆန့်ကျင်ဖက်လားရာသို့ ရွေ့လျားကြပြီး ပြောင်းပြန်လျှပ်စီးကြောင်း(သို့မဟုတ်) ယိုဖိတ်လျှပ်စီးကြောင်း [reverse current (or) leakage current] ကို ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ ပြောင်းပြန်လျှပ်စီးကြောင်း၏ပမာဏသည် အလွန်သေးငယ်ပြီး မိုက်ခရိုအမ်ပီယာခန့်သာရှိကြပါသည်။ သို့သော်လည်း ပြောင်းပြန်လျှပ်စီးကြောင်းသည် အပူချိန်တိုးလာလျှင် လိုက်၍တိုးလာနိုင်စွမ်းရှိပါသည်။ ထို့ကြောင့် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများကို အသုံးပြုသောအခါ အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်းကို အထူးဂရုစိုက်ရပါသည်။

**၇-၆။ အင်ပျူရီတီသွင်းထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာအတွင်းရှိ မရွေ့လျားနိုင်သော အိုင်းယွန်းများ (Fixed Ion Charges in the Doped Semiconductor)**

အင်ပျူရီတီသွင်းထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာအတွင်း၌ လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနိုင်သော လျှပ်စစ်ဆောင်အမှုန်ပမာဏသည် မရွေ့လျားနိုင်ဘဲတည်ငြိမ်နေသည့် အင်ပျူရီတီအိုင်းယွန်းများနှင့် လျှပ်စစ်မျှခြေအနေအထားတွင် ရှိနေကြပေသည်။ ထိုအိုင်းယွန်းများနှင့်ပတ်သက်၍ အောက်ပါအချက်(၂)ချက်သည် အဓိကကျပါသည်။

- ၁။ အိုင်းယွန်းတစ်ခုသည် နျူကလိယပါဝင်သော အက်တမ်တစ်လုံးပင်ဖြစ်ပြီး ယင်းသည် အသားတင်လျှပ်စစ်အပေါင်း သို့မဟုတ် အနှုတ်ဆောင်နေပါသည်။
- ၂။ အဲဒါအခြေတွင်တည်ရှိနေသော အိုင်းယွန်းတစ်ခုသည် အီလက်ထရွန်နှင့်ဟိုးများကဲ့သို့ လွယ်ကူ လွတ်လပ်စွာ မရွေ့လျားနိုင်ချေ။

ဥပမာအားဖြင့် -ပုံ(၇-၃) တွင်ဖော်ပြထားသော ဖေါ့စ်ပရပ်စ်သည် ယင်း၏အပြင်ဖက်ဆုံးအခွံတွင် ရှိနေသော ပေးလင်အီလက်ထရွန်(၅)လုံးအနက် (၄)လုံးသည် ပတ်ဝန်းကျင်ရှိ စီလီကွန်အက်တမ်များမှ ပေးလင်အီလက်ထရွန် (၄)လုံးနှင့် ကိုပေးလင်ဘွန်းဖြင့် ချိတ်တွဲကြပြီး ကျန်ပေးလင်အီလက်ထရွန်တစ်လုံးသည် လွတ်လပ်စွာ ရွေ့လျားသွားနေသဖြင့် ယင်း၏နျူကလိယမှ ပရိုတွန်တစ်လုံးက လျှပ်စစ်အပေါင်း လျှပ်စစ်ကို ထုတ်ပေးသောကြောင့် ယင်းသည် အပေါင်းလျှပ်စစ်ဆောင် အိုင်းယွန်းဖြစ်သွားပါသည်။ အလားတူပင် ပုံ(၇-၄) တွင်ဖော်ပြထားသော အလူမီနမ်သည် အနှုတ်လျှပ်စစ်ဆောင် အိုင်းယွန်းဖြစ်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အပြင်ဆုံးအခွံတွင် ကိုပေးလင်ဘွန်းတစ်ခုဖွဲ့စည်းမှုအတွက် လိုအပ်နေသော အီလက်ထရွန်တစ်လုံးကို ထည့်ပေးထားရသကဲ့သို့ ဖြစ်နေသောကြောင့်ပင်ဖြစ်ပါသည်။

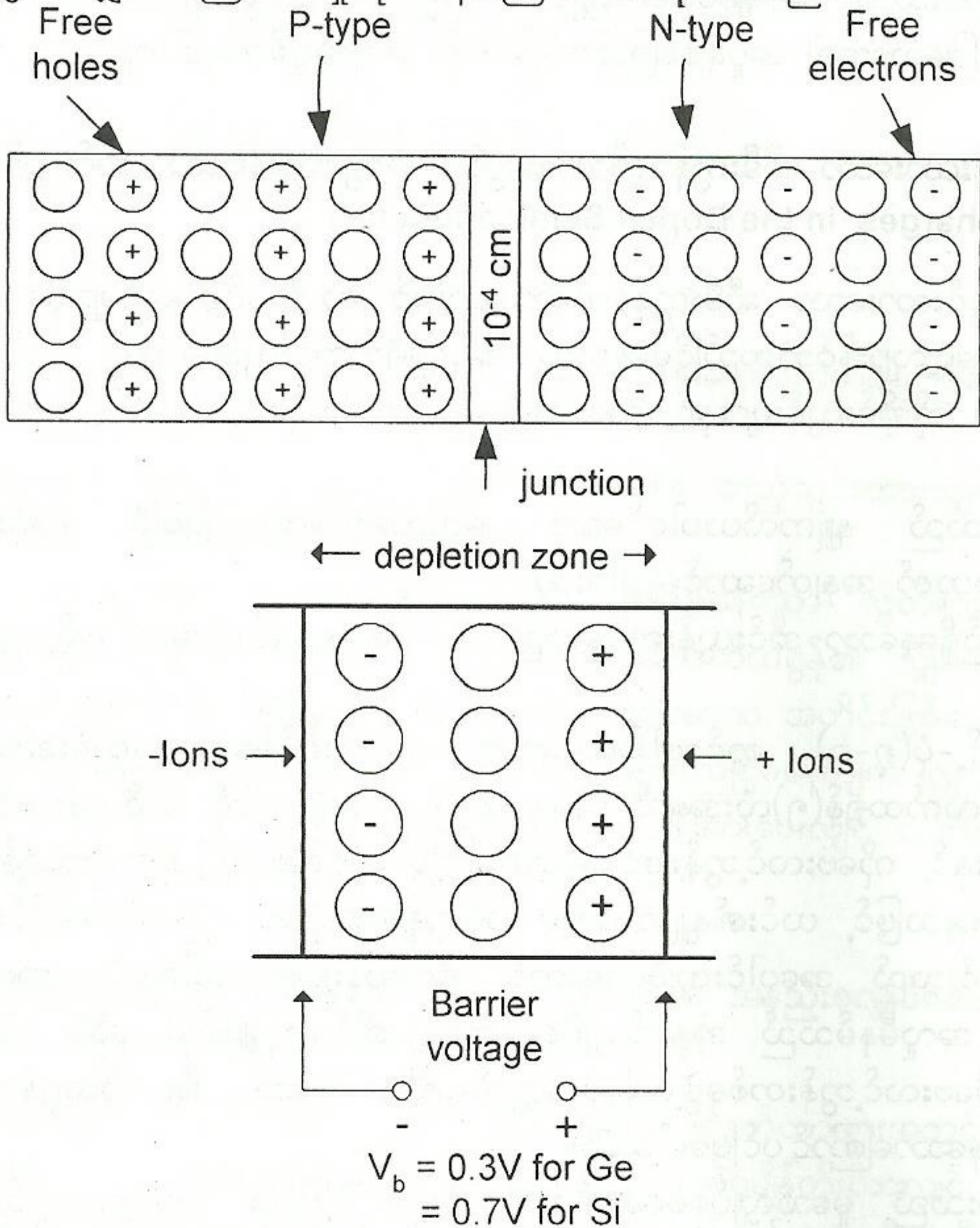
အိုင်းယွန်းများသည် မူသေလျှပ်စစ်ဆောင်အက်တမ်များဖြစ်ကြပြီး အဲဒါများအတွင်းလွတ်လပ်စွာ မရွေ့လျားနိုင်ကြချေ။ ထို့အပြင် ယင်းတို့သည် အင်ပျူရီတီအက်တမ်များလည်း ဖြစ်ကြသောကြောင့် ယင်းတို့ကို အိတ်ထရင်းစစ် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများတွင်သာ ဖြစ်ပေါ်တည်ရှိနေကြပါသည်။ အိုင်းယွန်းများတွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော



မူသေလျှပ်စစ်များသည် ပီ-အမျိုးအစား နှင့် အင်န်-အမျိုးအစားတို့တွေ့ဆုံသောအခါ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဂျန်းရှင်း (junction) တွင် အတွင်းပိုင်းကွန်တက်ပိုတင်ရှယ် (internal contact potential) သို့မဟုတ် ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ် ဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် အရေးကြီးသောကဏ္ဍမှ ပါဝင်လျက်ရှိပါသည်။ ထို ပီအင်န် ဂျန်းရှင်း သို့မဟုတ် အင်န်ပီဂျန်းရှင်းသည် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများ အလုပ်လုပ်သည့်နေရာတွင် အလွန်အရေးပါ လျက်ရှိကြပါသည်။

၇-၇။ ပီအင်န် ဂျန်းရှင်း (The PN junction)

ဆီမီးကွန်ဒတ်တာအတွင်း အင်ပျူရီတီများများ ထည့်သွင်းပေးနိုင်လျှင် လွတ်လပ်စွာရွေ့လျားနိုင်သော လျှပ်စစ်များ ပိုမိုများပြားလာသည့်အချက်သည် စိတ်ဝင်စားဖွယ်ရာကောင်းသည့်အချက်ဖြစ်သော်လည်း အမှန် တကယ်အသုံးကျသည့်အချက်မှာ ပီ-အမျိုးအစားနှင့် အင်န်-အမျိုးအစားတို့ တွေ့ဆုံကြသောအခါ ယင်းတို့နှစ်ခု အကြားတွင် ဂျန်းရှင်း ဖြစ်ပေါ်လာမှုပင်ဖြစ်ပါသည်။ ထိုဂျန်းရှင်းသည် စီလီကွန် (Si) အတွက် ကွန်တက် ပိုတင်ရှယ် သို့မဟုတ် ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ် 0.7V ကိုဖြစ်ပေါ်စေပြီး၊ ဂျာမေနီယမ် (Ge) အတွက် 0.3V ကိုဖြစ်ပေါ်စေနိုင်ပါသည်။ ဂျန်းရှင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော ယင်းပိုတင်ရှယ်များကို ထိန်းချုပ်ပေးခြင်းအားဖြင့် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာအတွင်း လျှပ်စီးကြောင်းစီးမှုကို ထိန်းကြောင်း ပေးနိုင်ပါသည်။



ပုံ(၇-၅) ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းတွင် ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ်ဖြစ်ပေါ်လာပုံ



ပုံ(၇-၅)တွင် ပီအင်နဂျန်းရှင်းဖြစ်ပေါ်ပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ဂျန်းရှင်း၏အကျယ်သည်  $10^{-4}$  cm ခန့်သာရှိပါသည်။ အောက်ဖက်ရှိ အကျယ်ချဲ့ပြထားသောပုံတွင် ဂျန်းရှင်း၏အစွန်နှစ်ဖက်တို့တွင် ဆန့်ကျင်ဖက် လျှပ်စစ်များဖြစ်ပေါ်နေသော အင်ပျူရီတီအိုင်းယွန်းများတည်နေပုံကို တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ ထိုအိုင်းယွန်းများကြောင့် ကွန်တက်ပိုတင်ရှယ် သို့မဟုတ် ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ် ဖြစ်ပေါ်လာခြင်းဖြစ်ပါသည်။

ဂျန်းရှင်း၏တစ်ဖက်တစ်ချက်တွင်ရှိနေကြသော အင်န-အမျိုးအစားအတွင်းရှိ အီလက်ထရွန်လွတ်အချို့သည် ပီ-အမျိုးအစားဖက်ဆီသို့လည်းကောင်း၊ ပီ-အမျိုးအစားအတွင်းရှိ ဟိုးအချို့တို့သည် အင်န-အမျိုးအစားဖက်ဆီသို့လည်းကောင်း အသီးသီးဆွဲငင်ခြင်းခံကြရသည်။ ယင်းတို့သည် ဂျန်းရှင်းကိုဖြတ်၍ကူးသွားကြကာ အီလက်ထရွန်-ဟိုး စုံတွဲများအဖြစ် ဖွဲ့စည်းသွားကြကာ လျှပ်စစ်ခါတ် ချေဖျက်သွားကြလေတော့သည်။ ထိုအခါ မျိုးမတူသော အိုင်းယွန်းများဖြစ်ပေါ်လာပေတော့သည်။ အိုင်းယွန်းများမှာမူကား ဂျန်းရှင်းကို ဖြတ်မကူးနိုင်ကြချေ။ ဤသို့ မရွေ့လျားနိုင်သော အိုင်းယွန်းများသာ တည်ရှိနေပြီး လွတ်လပ်သော လျှပ်စစ်ဆောင်အမှန်များမရှိသော ဂျန်းရှင်းဧရိယာကို ဒီပလီရှင်းဇုန် (depletion zone) ဟု လည်းခေါ်ပါသည်။

ထိုအိုင်းယွန်းများကြောင့် ဂျန်းရှင်းတွင် ကွန်တက်ပိုတင်ရှယ်  $V_b$  ကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ ထိုပိုတင်ရှယ်ကို အီလက်ထရွန်နှင့်ဟိုးများ ဂျန်းရှင်းကို ထပ်မံဖြတ်သန်းခြင်းမပြုနိုင်အောင်တားဆီး ပေးထားသော ဘယ်ရီယာဗို့အား (barrier voltage) အဖြစ်ရှုမြင်နိုင်ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် ထိုပိုတင်ရှယ်သည် အင်န-အမျိုးအစားတွင် အီလက်ထရွန်များကိုလည်းကောင်း၊ ပီ-အမျိုးအစားတွင် ဟိုးများကိုလည်းကောင်း ဆက်လက်တည်မြဲနေစေပြီး ယင်းတို့ ဂျန်းရှင်းကိုဖြတ်ပြီး စုံတွဲအဖြစ် မပူးပေါင်းမိစေအောင် ဟန့်တားပေးနေပါသည်။

စင်စစ်အားဖြင့် ဂျန်းရှင်းသည် ပီ နှင့် အင်န-အမျိုးအစားတို့အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော လျှပ်စစ်ပိုင်းဆိုင်ရာ နယ်ခြား (electrical boundary) တစ်ခုမျှသာဖြစ်ပါသည်။ ရုပ်ပိုင်းဆိုင်ရာအားဖြင့် ခွဲခြားထားခြင်း (physical separation) မျိုးမဟုတ်ချေ။

**၇-၇-၁။ ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ် (The Barrier Potential  $V_b$ )**

အထက်ပါ ပုံ(၇-၅)တွင် ဖော်ပြထားသော ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ်  $V_b$  ၏ လက္ခဏာသတ်မှတ်ချက်များကို သတိထားကြည့်ပါ။  $V_b$  ၏ အနှုတ်လက္ခဏာသည် ပီ-အမျိုးအစား၏အစွန်ဖက်တွင်ရှိနေသဖြင့် အင်န-အမျိုးအစားမှအီလက်ထရွန်များကိုတွန်းကန်နေပြီး ယင်းအီလက်ထရွန်များ ဂျန်းရှင်းကို ဖြတ်သန်းမသွားနိုင်အောင်ကာကွယ်ပေးပါသည်။ အလားတူစွာပင်  $V_b$  ၏ အပေါင်းလက္ခဏာသည် အင်န-အမျိုးအစား၏ အစွန်ဖက်တွင်ရှိနေသဖြင့် ပီ-အမျိုးအစားမှ ဟိုးများကိုတွန်းကန်နေပြီး ယင်းဟိုးများ ဂျန်းရှင်းကို ဖြတ်သန်းမသွားနိုင်အောင် ဟန့်တားပေးပါသည်။

ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ်သည် အတွင်းပိုင်းတွင်ရှိနေသောကြောင့် ယင်းကိုတိုက်ရိုက်တိုင်းတာ၍မရနိုင်ချေ။ သို့သော် ဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ်ကို ချေဖျက်စေရန် ပြင်ပမှ ဆန့်ကျင်ဖက် ဗို့အားပေးခြင်းနည်းဖြင့် တိုင်းတာနိုင်ပါသည်။ ထိုဘယ်ရီယာပိုတင်ရှယ်သည် ဂျာမေနီယမ်အတွက် 0.3V ရှိပြီး၊ စီလီကွန်အတွက် 0.7V ရှိကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ စီလီကွန်အတွက်  $V_b$  ပိုကြီးရခြင်းမှာ အက်တမ်အမှတ်စဉ်ငယ်သော အက်တမ်များအတွက် ကိုဗေးလင်ဘွန်းသည် ပိုမိုခိုင်မာသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။

ဂျန်းရှင်းအတွက်  $V_b$  သည် ပစ္စည်းအမျိုးအစားတစ်ခုအတွက် ထူးခြားသော ဝိသေသလက္ခဏာတစ်ခုဖြစ်ပါသည်။ ဂျာမေနီယမ်အတွက် 0.3V ရှိပြီး၊ စီလီကွန်အတွက် 0.7V ဆိုသောတန်ဖိုးများသည် သာမန်အခန်းအပူချိန် 25 °C အတွက်သာဖြစ်ပါသည်။ အပူချိန်တိုးလာသည့်အခါ အနည်းစုလျှပ်စစ်သယ်ဆောင် မှန်များတိုးလာသောကြောင့်  $V_b$  တန်ဖိုးလျော့ကျသွားကြောင်း တွေ့ရပါသည်။



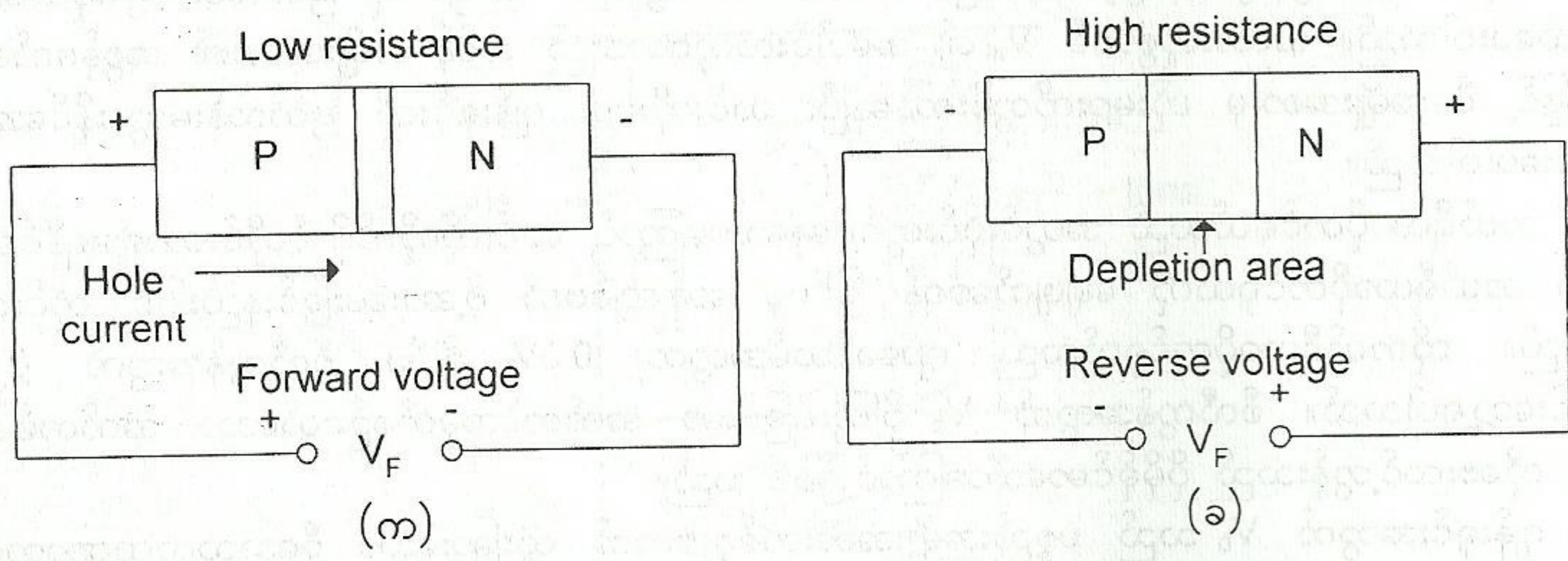
အခန်း(၇) ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများ

၇-၇-၂။ ဖော်ဝါဒ်ဗို့အားနှင့် ရီဗာ့စ်ဗို့အား (The Forward Voltage and Reverse Voltage)

ပုံ(၇-၆-က)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပီအင်နံ ဂျန်းရှင်းတစ်ခုတွင် ပီ-အမျိုးအစားကိုအပေါင်း (+V<sub>F</sub>) အင်နံ-အမျိုးအစားကို အနှုတ် (-V<sub>F</sub>) ဟူ၍ ဖော်ဝါဒ်ဗို့အား V<sub>F</sub> ပေးလိုက်သောအခါ ဂျန်းရှင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော ဘယ်ရီယာဗို့အား V<sub>b</sub> ကို ချေဖျက်လိုက်သလို ဖြစ်သွားသည့်အတွက် ဂျန်းရှင်းကိုဖြတ်ပြီး ဖော်ဝါဒ် လျှပ်စီးကြောင်း I<sub>F</sub> စီးဆင်းနေကြောင်း တွေ့ရပေသည်။ ပီ-အမျိုးအစားကို ပေးထားသော +V<sub>F</sub> သည် ဟိုးများကို တွန်းကန်ပြီး ဂျန်းရှင်းရှိအနှုတ်အိုင်းယွန်းများနှင့် တွေ့ဆုံစေကာ အနှုတ်အိုင်းယွန်းများကို ဖျောက်ဖျက်ပေးသည်။ အလားတူစွာပင် အင်နံ-အမျိုးအစားကို ပေးထားသော -V<sub>F</sub> သည် အီလက်ထရွန်များကို တွန်းကန်ပြီး ဂျန်းရှင်းရှိ အပေါင်းအိုင်းယွန်းများနှင့် တွေ့ဆုံစေကာ အပေါင်းအိုင်းယွန်းများကို ဖျောက်ဖျက်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် အားလုံးကိုခြုံလိုက်သော် V<sub>F</sub> သည် V<sub>b</sub> ကို ချေဖျက်ပေးသည်။ ပီအင်နံ ဂျန်းရှင်းကို ဖော်ဝါဒ်ဗို့အားပေးလိုက်ခြင်းကြောင့် အောက်ပါအကျိုး(၂)ရပ်ကို ရရှိလာသည်။

- ၁။ ဂျန်းရှင်းကိုဖြတ်၍ ဖော်ဝါဒ်လျှပ်စီးကြောင်း I<sub>F</sub> စီးနိုင်သည်။
  - ၂။ ဂျန်းရှင်းတွင် အလွန်ငယ်သော လျှပ်စစ်ခုခံမှု သာရှိတော့သည်။
- V<sub>F</sub> ၏ပမာဏ အနည်းအများကိုမူတည်၍ V<sub>b</sub> သည် တစ်ချို့တစ်ဝက် သို့မဟုတ် လုံးဝ ပျောက်ပျက်သွားပေသည်။

ပုံ(၇-၆-ခ)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပီအင်နံ ဂျန်းရှင်းတစ်ခုတွင် ပီ-အမျိုးအစားကိုအနှုတ်(-V<sub>R</sub>) အင်နံ-အမျိုးအစားကို အပေါင်း (+V<sub>R</sub>) ဟူ၍ ရီဗာ့စ်ဗို့အား V<sub>R</sub> ပေးလိုက်သောအခါ ပီ-အမျိုးအစားကို ပေးထားသော -V<sub>R</sub> သည် ဟိုးများကို ဂျန်းရှင်းမှဝေးရာသို့ ဆွဲငင်လျက်ရှိပြီး အင်နံ-အမျိုးအစားကို ပေးထားသော +V<sub>R</sub> သည်လည်း အီလက်ထရွန်များကို ဂျန်းရှင်းမှဝေးရာသို့ ဆွဲငင်လျက်ရှိနေပါသည်။ ထို့ကြောင့် အိုင်းယွန်းများသည် ပျောက်ပျက်သွားခြင်းမရှိနိုင်ဘဲ ဘယ်ရီယာဗို့အားကို ဆက်လက်ဖြစ်ပေါ်နေစေသည်။ ထိုရီဗာ့စ်ဗို့အား ပေးထားမှုကြောင့် ဖော်ဝါဒ်လျှပ်စီးကြောင်း မစီးနိုင်တော့ချေ။ ဂျန်းရှင်း၏ခုခံမှုသည်လည်း အနန္တတန်ဖိုး နီးပါးဆောင်လျက်ရှိနေပေတော့သည်။ သို့သော် အလွန်ငယ်သော ရီဗာ့စ်လျှပ်စီးကြောင်း I<sub>R</sub> သာစီး နေပေသည်။ ထိုရီဗာ့စ်လျှပ်စီးကြောင်း I<sub>R</sub> သည် ဂျာမေနီယမ်အတွက် 10<sup>-6</sup> A ခန့်ရှိပြီး။ စီလီကွန်အတွက် 10<sup>-9</sup> A ခန့်သာရှိနေပါသည်။



ပုံ(၇-၆) ပီအင်နံဂျန်းရှင်းကို ဖော်ဝါဒ်ဗို့အားနှင့် ရီဗာ့စ်ဗို့အားပေးပုံ

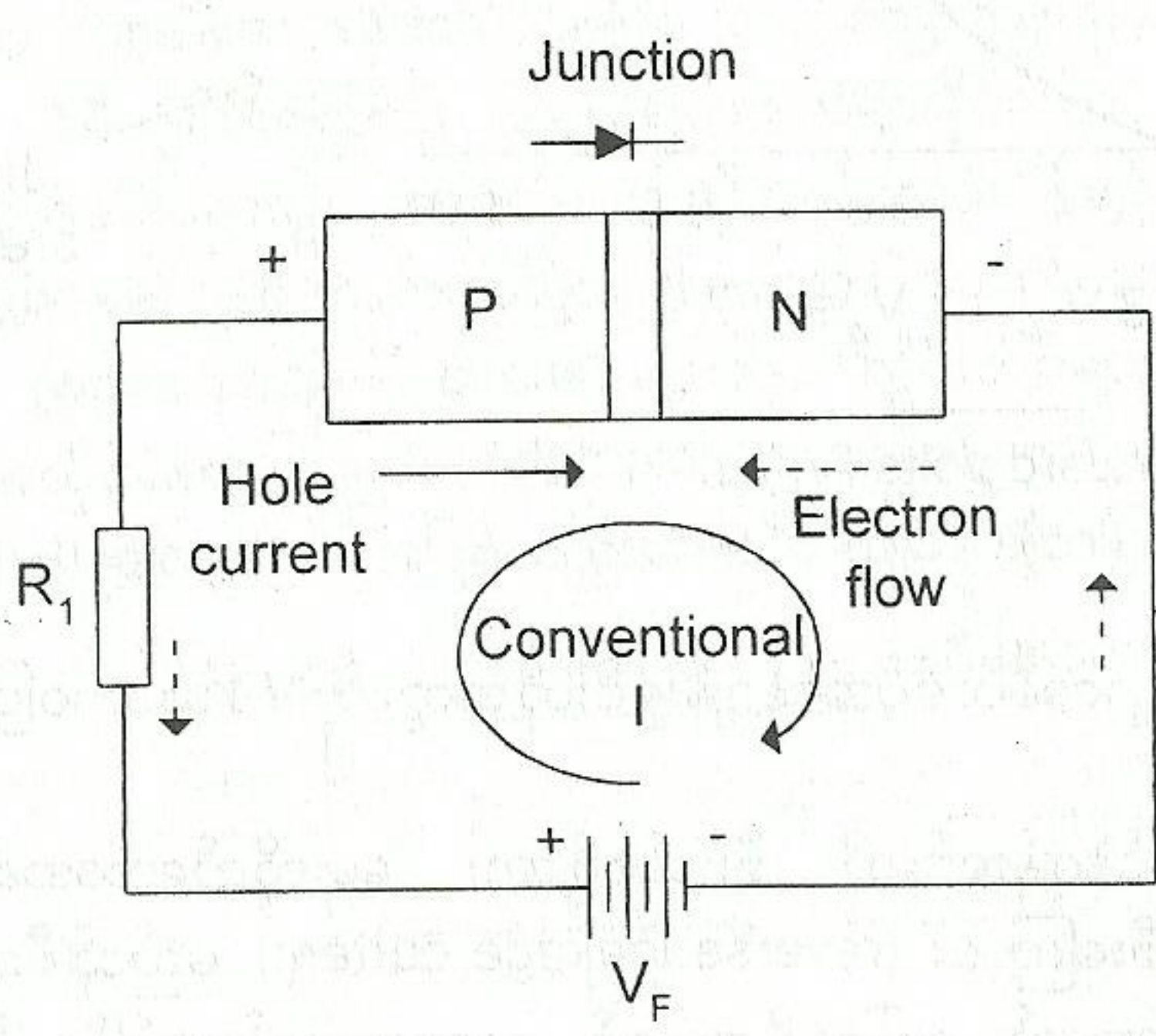


၇-၇-၃။ ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်း သဘာဝပြုများကွေး (Volt - Ampere Characteristics)

ပုံ(၇-၇)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပီအင်န် ဂျန်းရှင်းတစ်ခုကို ပြင်ပမှ ဗို့အားပေးလိုက်သောအခါ ဂျန်းရှင်းကိုဖြတ်၍ လျှပ်စစ်သယ်ဆောင်မှုများရွေ့လျားကြပေမည်။ ပီ-အမျိုးအစားတွင် ဟိုးများသည် ဂျန်းရှင်းဆီသို့ လက်ျာရစ်ဦးတည်ဖက်အတိုင်း ရွေ့လျားနေကြသလို အင်န်-အမျိုးအစားတွင် အီလက်ထရွန်များသည် လည်း ဂျန်းရှင်းဆီသို့ လက်ဝဲရစ်ဦးတည်ဖက်အတိုင်း ရွေ့လျားနေကြပေမည်။ ရီစစ္စတာ  $R_1$  နှင့် ဝါယာကြိုးများအတွင်းတွင် အီလက်ထရွန်လျှပ်စီးကြောင်းသာ စီးနေမည်။ ရီစစ္စတာ  $R_1$  သည် လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏကို လျှော့ချရန်အတွက် ဖြစ်ပါသည်။ ဟိုးများ၏ဦးတည်ဖက်နှင့် အီလက်ထရွန်များ၏ဦးတည်ဖက်တို့သည် ဆန့်ကျင်နေကြသော်လည်း ပတ်လမ်းတွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းမှာမူကား တစ်မျိုးတည်းသာရှိပါသည်။ ထိုလျှပ်စီးကြောင်းသည် အခန်း(၂)တွင်ဖော်ပြခဲ့သည့်အတိုင်း သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်း  $I$  သို့မဟုတ် ဖော်ဝင်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_F$  ဖြစ်ပါသည်။

ဂျန်းရှင်း၏ သင်္ကေတပုံကို ဖော်ပြရာတွင် များဦးတပ်ထားသောဖက်သည် ပီ-အမျိုးအစားကို ကိုယ်စားပြုပြီး အဲနုဒ်ဟု ခေါ်ပါသည်။ အပြားလေးသည် အင်န်-အမျိုးအစားကို ကိုယ်စားပြုပြီး ကက်သုတ်ဟုခေါ်ပါသည်။

စင်စစ်အားဖြင့် ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းသည် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ ဒိုင်အုတ်ပင်ဖြစ်ပါသည်။ အခန်း(၈)တွင် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ ဒိုင်အုတ်အကြောင်း အသေးစိတ် ထပ်မံတင်ပြပါမည်။

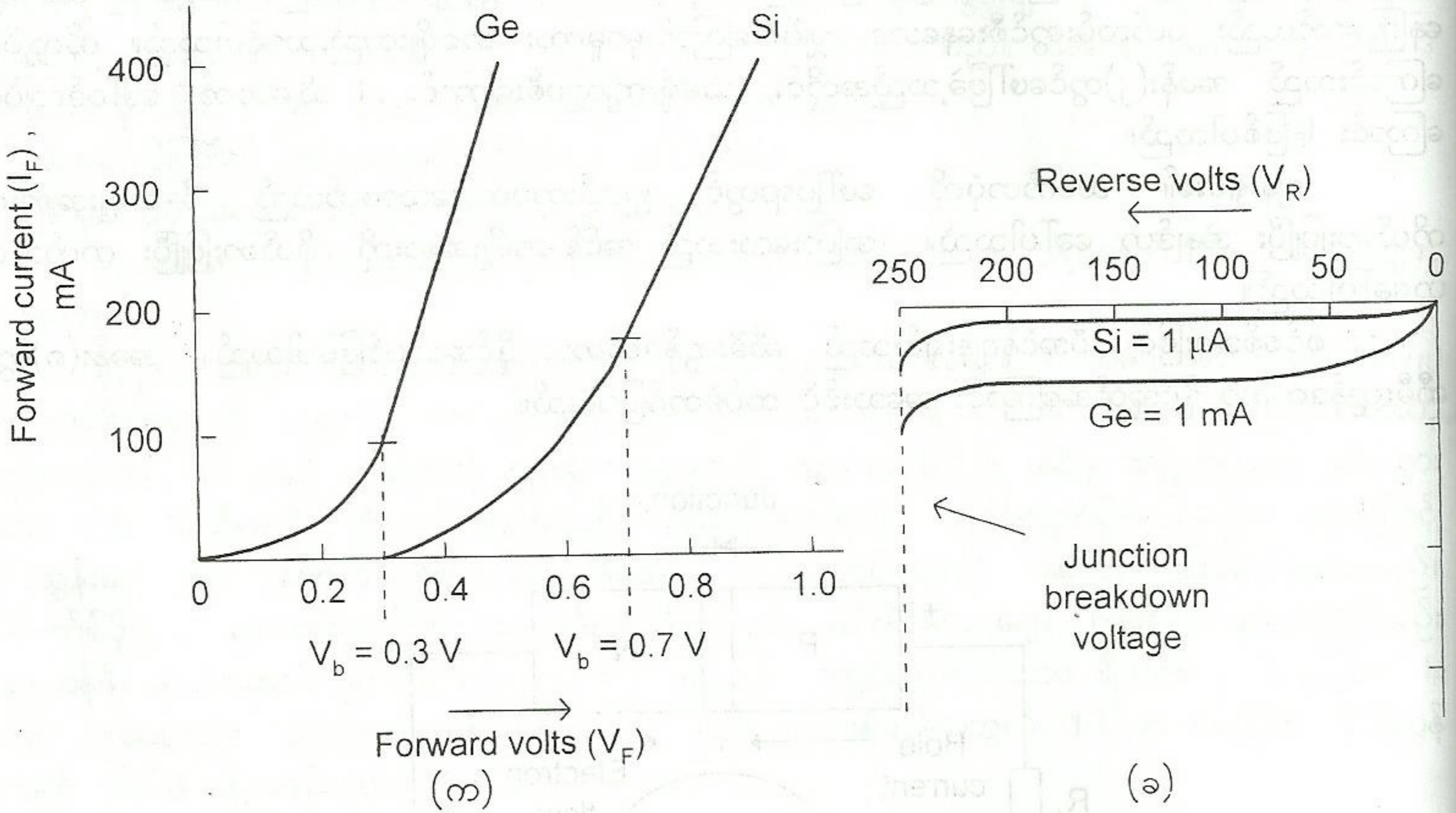


ပုံ(၇-၇) ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းတွင် သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်းစီးနေပုံ

ပီအင်န် ဂျန်းရှင်းတစ်ခု၏ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းတို့ဆက်စပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသော ဂရပ်ပုံကို ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်း သဘာဝပြုများကွေးဟုခေါ်ပါသည်။ ပုံ(၇-၈) တွင်ကြည့်ပါ။ ပုံ(၇-၈-က)တွင် ဂျာမေနီယမ်နှင့်စီလီကွန် ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းတို့ကို ဖော်ဝင်ဗို့အား ပေးလိုက်သောအခါ ဗို့အားပြောင်းလဲခြင်း အပေါ်မူတည်၍ လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲပုံကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပါသည်။ 1V အောက်ငယ်သော ဖော်ဝင်ဗို့အားပမာဏ အနည်းငယ်သာတိုးပေးရုံမျှနှင့် ဖော်ဝင်လျှပ်စီးကြောင်းသည် မီလီအင်ပီယာ အတော်များများ တိုးသွားကြောင်းတွေ့မြင်ရပေသည်။ စီလီကွန်အတွက် ဗို့အားသည် 0.5V ခန့်ရောက်သည့်အခါ လျှပ်စီးကြောင်းအသင့်



အတင်စတင် စီးကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ ဗိုလ်အားထပ်တိုးပေးလျှင် လျှပ်စီးကြောင်းသည် သိသိသာသာတိုးလာပြီး 0.7V မှအထက်ကျော်သွားသည့်အခါ လျှပ်စီးကြောင်းသည် တစ်မဟုတ်ချင်းတိုးလာပြီး ယင်း၏အမြင့်ဆုံး တန်ဖိုးသို့ ထောင်တက်သွားကြောင်းတွေ့ရပေမည်။ အလယ်တန်ဖိုးဖြစ်သော 0.6V သည် စီလီကွန်ပီအင်န်ဂျန်းရှင်း အတွက် ပုံမှန်အလုပ်လုပ်စေရန် ပေးရသော ဖော်ဝါဒ်ဗိုလ်အားဖြစ်ပါသည်။ အလားတူပင် ဂျာမေနီယမ်အတွက် ဖော်ဝါဒ်ဗိုလ်အားခွင်သည် 0.1V မှ 0.3V ဖြစ်ပြီး အသုံးများသော ဖော်ဝါဒ်ဗိုလ်အားမှာ 0.2V ဖြစ်ပါသည်။ ဖော်ဝါဒ်လျှပ်စီးကြောင်းကို 1mA မှ 20A အထိစီးအောင် ပြုလုပ်နိုင်ပါသည်။



ပုံ(၇-၈) စီလီကွန်နှင့်ဂျာမေနီယမ်ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းတို့အတွက် V-I သဘာဝပြုချဉ်းကွေးများပုံ

ပုံ(၇-၈-ခ)တွင် ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းကို ရီဗတ်စ်ဗိုလ်အား ပေးလိုက်သောအခါ ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်း သို့မဟုတ် ရီဗတ်စ်လိကိတ်လျှပ်စီးကြောင်း (reverse leakage current) မည်သို့စီးဆင်းပုံကို သီးခြားဂရပ်ဖြင့် ဆွဲပြထားပါသည်။ ရီဗတ်စ်ဗိုလ်အားသည် ဖော်ဝါဒ်ဗိုလ်အားနှင့် လက္ခဏာဆန့်ကျင်ပြီး ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းသည် လည်း ဖော်ဝါဒ်လျှပ်စီးကြောင်းနှင့် လက္ခဏာဆန့်ကျင်လျက်ရှိကြောင်း သတိပြုစေလိုပါသည်။ စီလီကွန်အတွက် ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏသည် 1μA ခန့်သာရှိသဖြင့် လက်တွေ့တွင် သုညတန်ဖိုးနည်းပါးရှိသည်ဟု ယူဆနိုင်ပါသည်။

ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းကို ဖော်ဝါဒ်ဗိုလ်အားပေးထားသောအခါ ယင်းသည် ရှော့တ်ဖြစ်နေသကဲ့သို့ ယူဆနိုင်ပြီး ရီဗတ်စ်ဗိုလ်အားပေးထားသောအခါ ယင်းသည် ပွင့်နေသည် ဟုယူဆနိုင်ပါသည်။

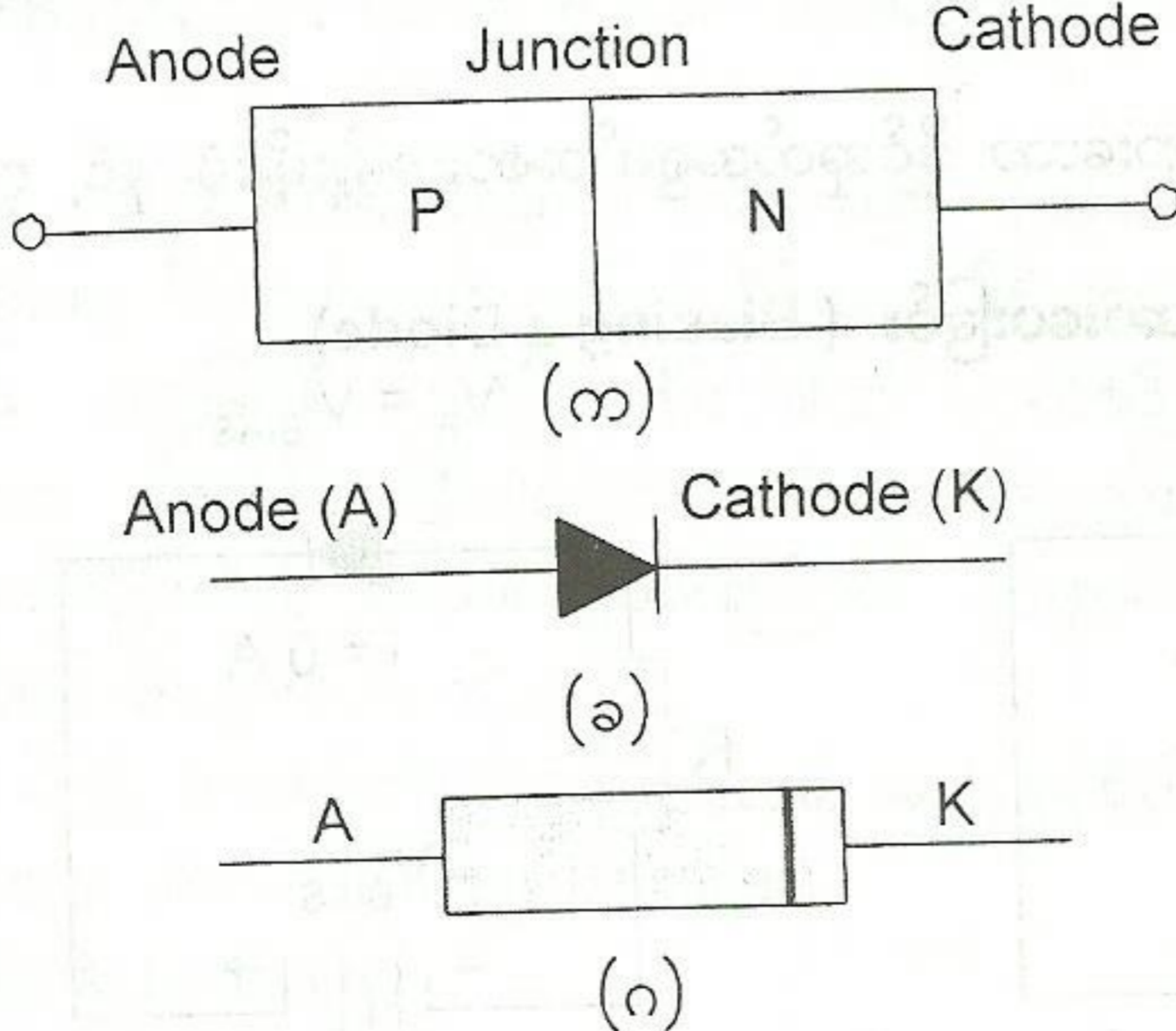
ရီဗတ်စ်ဗိုလ်အားကိုတိုးပေးလိုက်သောအခါ ပြိုပျက်ဗိုလ်အား (breakdown voltage) သို့ရောက်သွားလျှင် ကြီးမားသော ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းဖြစ်ပေါ်လာပြီး ဂျန်းရှင်းသည် ပျက်စီးသွားပေတော့သည်။



# အခန်း(၈) ဒိုင်အုတ် (Diode)

## ၈-၁။ နိဒါန်း

အီလက်ထရွန်းနစ်ပစ္စည်းတစ်ခုဖြစ်သော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာဒိုင်အုတ်အကြောင်းကို ဖော်ပြပါမည်။ ဆီမီးကွန်ဒတ်တာဒိုင်အုတ်သည် ပြီးခဲ့သောအခန်း(၇)တွင် ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်သော ပီအင်နီဂျန်းရှင်းတစ်ခုပင်ဖြစ်ပါသည်။ အဲနဒ်နှင့် ကက်သုတ်ဟူ၍ အီလက်ထရုတ်နှစ်ခု (di-electrodes) ပါရှိသောပစ္စည်းဖြစ်သောကြောင့် ဒိုင်အုတ် (diode) ဟု ခေါ်ရခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ဒိုင်အုတ်၏သင်္ကေတပုံတွင် များဦးတပ်မျဉ်းကြောင်းနှင့် ကန့်လန့်ဖြတ် (diode) ဟု ခေါ်ရခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ဒိုင်အုတ်၏သင်္ကေတပုံတွင် များဦးတပ်မျဉ်းကြောင်းနှင့် ကန့်လန့်ဖြတ် အပြားတို့ပါဝင်ကြရာ များဦးသည် ဟိုးလျှပ်စီးကြောင်းများရွေ့လျားသည့် ဦးတည်ဖက် (တစ်နည်းအားဖြင့် သမရိုးကျလျှပ်စီးကြောင်းစီးနေသည့်ဖက်)ကို ဖော်ပြပြီး များသည်ပီ-အမျိုးအစားဖြစ်သောအဲနဒ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ အပြားငယ်သည် အင်နီ-အမျိုးအစားဖြစ်သော ကက်သုတ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ အဲနဒ်ကို ကက်သုတ်နှင့်နှိုင်းယှဉ်လျှင် အပေါင်းပိုတယ်ရှယ်ပေးထားသော ဖော်ဝင်ဖို့အား အခြေအနေတွင် ဒိုင်အုတ်ကိုဖြတ်၍ ဖော်ဝင် လျှပ်စီးကြောင်းစီးနိုင်ပြီး အဲနဒ်ကိုကက်သုတ်နှင့်နှိုင်းယှဉ်လျှင် အနုတ်ပိုတယ်ရှယ်ပေးထားသော ရီဗတ်စ် ဖို့အားအခြေအနေတွင် ဒိုင်အုတ်ကိုဖြတ်၍ လျှပ်စီးကြောင်းမစီးနိုင်တော့ချေ။ ဤအချက်ကိုအခြေခံ၍ ဒိုင်အုတ်ကို တစ်လမ်းသွား-ခလုတ် (one-way switch) အဖြစ် လက်တွေ့အသုံးချပါသည်။ အထူးသဖြင့် ဒိုင်အုတ်ကို အေစီလျှပ်စီးကြောင်းအား ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်း အဖြစ်ပြောင်းလဲပေးနိုင်သော ရက်တီဖာရာ (rectifier) အဖြစ် လည်းကောင်း၊ ရေဒီယိုအသံဖမ်းစက်တွင် ရေဒီယိုသံလှိုင်းနှင့်အသံလှိုင်းတို့ပေါင်းစပ်ထားသော မော်ဂျူလိတ် တက်လှိုင်း (modulated wave) ကို တစ်ဖက်သွားဖြစ်စေသော ဒီတက်တာ (detector) အဖြစ်လည်းကောင်း၊ လှိုင်းပုံ ပြုပြင်ပတ်လမ်း (wave shaping circuit) များတွင် လှိုင်းထိပ်များကိုဖြတ်တောက်ခြင်း (limiting or clipping) ၊ လှိုင်းများကိုအထိုင်နေရာပြင်ခြင်း (clamping) စသည်တို့တွင်လည်းကောင်း၊ ဒစ်ဂျစ်တယ်ပတ်လမ်း များတွင် လော့ဂျစ်ဂိတ်များ (logic gates) အဖြစ်လည်းကောင်း ကျယ်ကျယ်ပြန့်ပြန့် အသုံးချနိုင်ပါသည်။

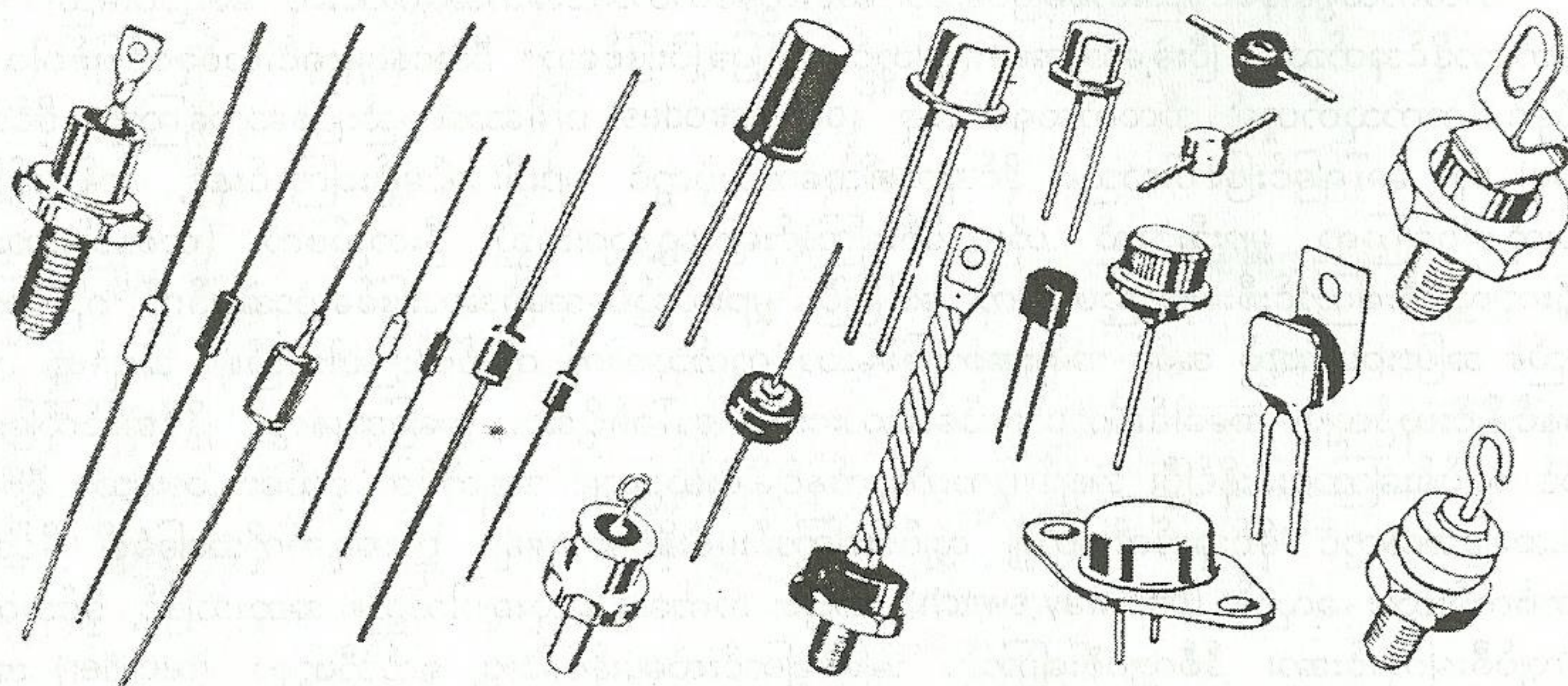


ပုံ(၈-၁) ဆီမီးကွန်ဒတ်တာဒိုင်အုတ်တည်ဆောက်ပုံနှင့် ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ

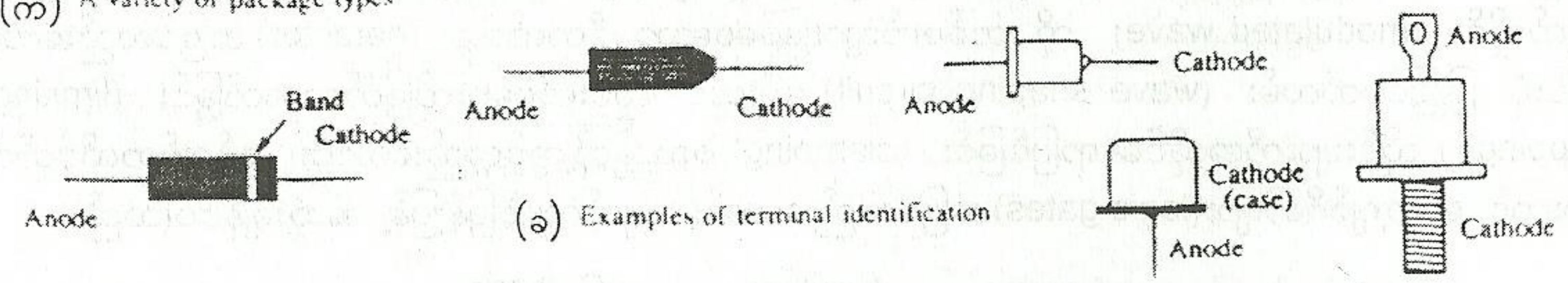
အထက်ပါပုံ(၈-၁-က)တွင် ပီအင်နီဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်တည်ဆောက်ပုံကိုတွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ပုံ(၈-၁-ခ)



တွင် ပတ်လမ်းသင်္ကေတကိုဖော်ပြထားပြီး၊ ပုံ(၈-၁-ဂ)တွင် လက်တွေ့မြင်ရမည့် ဒိုင်အုတ်ပုံသဏ္ဍာန်ကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် ကိုယ်ထည်တစ်ဖက်စွန်းတွင် အရစ်တစ်ခု မှတ်သားထားပါသည်။ ထိုအရစ်ပါရှိသောဘက်သည် ကက်သုတ်ဖြစ်ကြောင်းကို ဖော်ပြပါသည်။ ပုံ(၈-၂)တွင် လက်တွေ့အသုံးများသော ဒိုင်အုတ်ပုံစံအမျိုးမျိုးကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ပုံ(၈-၂-က)တွင် လက်တွေ့အသုံးပြုနေသော ပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြထားပြီး၊ ပုံ(၈-၂-ခ)တွင် ငုတ်သတ်မှတ်ချက်များကို ဖော်ပြထားပါသည်။

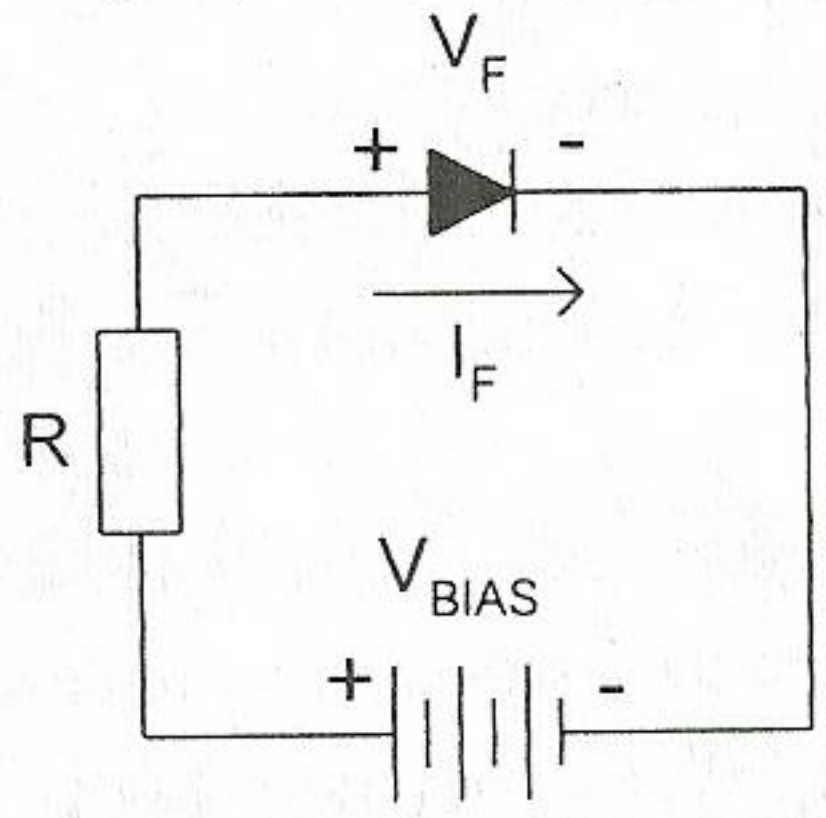


(က) A variety of package types

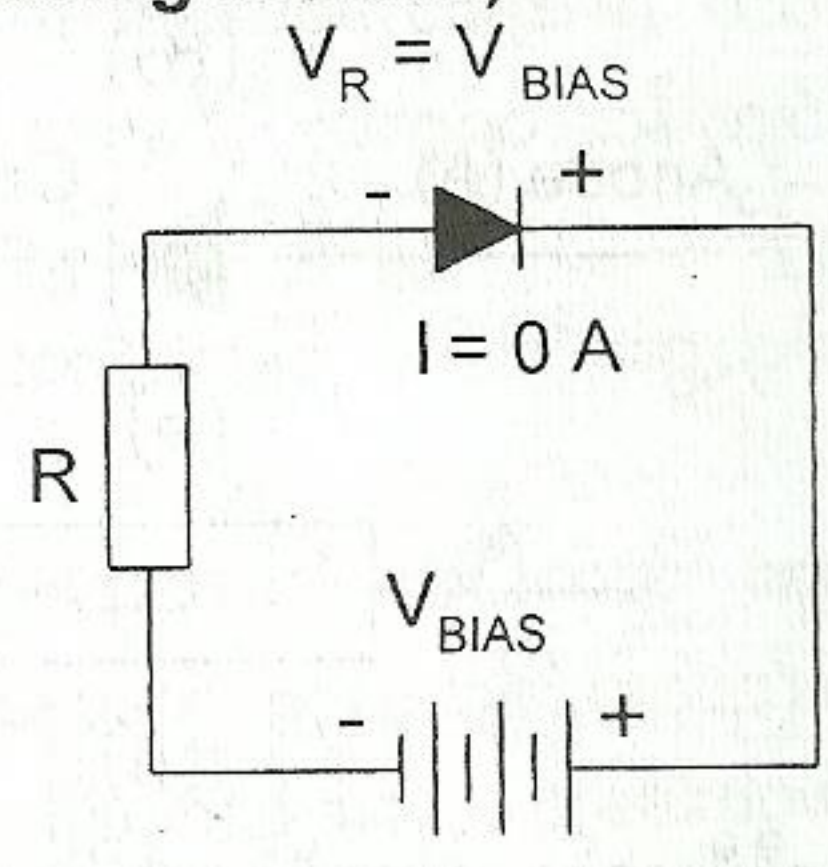


ပုံ(၈-၂) လက်တွေ့အသုံးများသော ဒိုင်အုတ်အရွယ်အစားအမျိုးမျိုးပုံ နှင့် ငုတ်သတ်မှတ်ချက်ဖော်ပြပုံ

၈-၂။ ဒိုင်အုတ်ကို ဘိုင်းယက်စ်ဖို့အားပေးခြင်း ( Biasing a Diode )



(က) ဖော်ဝဒ် ဘိုင်းယက်စ်



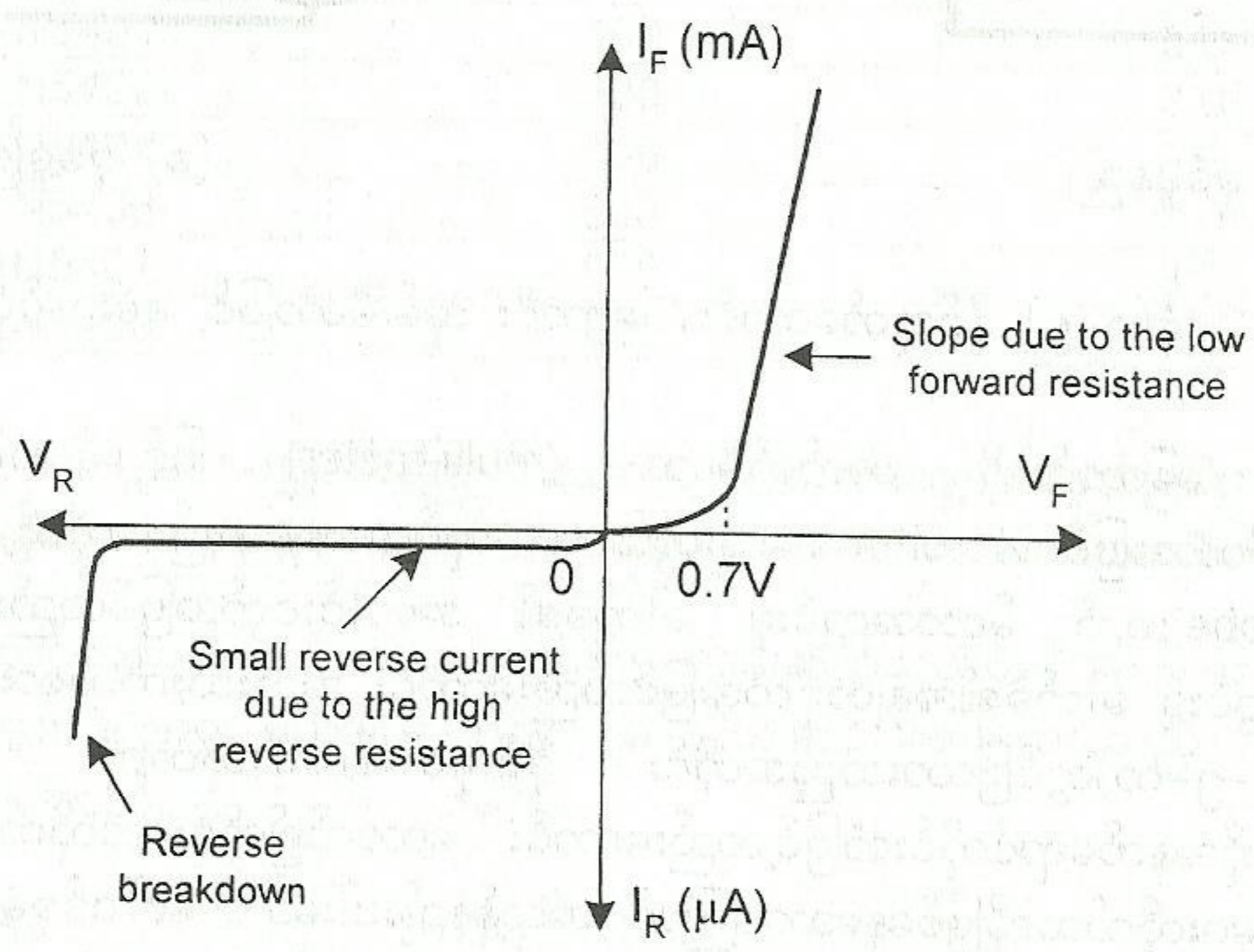
(ခ) ရီဗတ်စ် ဘိုင်းယက်စ်

ပုံ(၈-၃) ဒိုင်အုတ်ကို ဘိုင်းယက်စ်ဖို့အားနှစ်မျိုး ပေးထားပုံ



ပုံ(၈-၃-က)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ပီ-အမျိုးအစားဖြစ်သော အဲနုဒ်ကို အပေါင်းဗို့အားပေးပြီး အင်န်-အမျိုးအစားဖြစ်သော ကက်သုတ်ကို အနုတ်ဗို့အားပေးထားခြင်းကို ရှေ့ညွှန်းဘက်လိုက်ဗို့အားပေးခြင်း သို့မဟုတ် ဖော်ဝါဒ်ဘိုင်ယား (forward bias) ပေးသည်ဟုခေါ်ပါသည်။ ထိုအခြေအနေတွင် ဒိုင်အုတ်ကိုဖြတ်၍ ဖော်ဝါဒ်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_F$  စီးနိုင်ပါသည်။

ပုံ(၈-၃-ခ)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ပီ-အမျိုးအစားဖြစ်သော အဲနုဒ်ကို အနုတ်ဗို့အားပေးပြီး အင်န်-အမျိုးအစားဖြစ်သော ကက်သုတ်ကို အပေါင်းဗို့အားပေးထားခြင်းကို ပြောင်းပြန်ဘက်လိုက်ဗို့အားပေးခြင်း သို့မဟုတ် ရီဗတ်စ်ဘိုင်ယား (reverse bias) ပေးသည်ဟုခေါ်ပါသည်။ ထိုအခြေအနေတွင် ဒိုင်အုတ်ကိုဖြတ်၍ လျှပ်စီးကြောင်း မစီးနိုင်တော့ချေ။ (အလွန်အလွန်သေးငယ်သော ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းသာ စီးနေပေမည်။ လက်တွေ့တွင် ထိုလျှပ်စီးကြောင်းကို လျစ်လျူရှုနိုင်ပါသည်။) ထို့ကြောင့် ရီဗတ်စ်ဘိုင်ယားယက်စ်ဗို့အားသည် ဒိုင်အုတ်၏ အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် လာပေါ်နေပါသည်။



ပုံ(၈-၄) ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်း သဘာဝပြုမျဉ်းပုံ

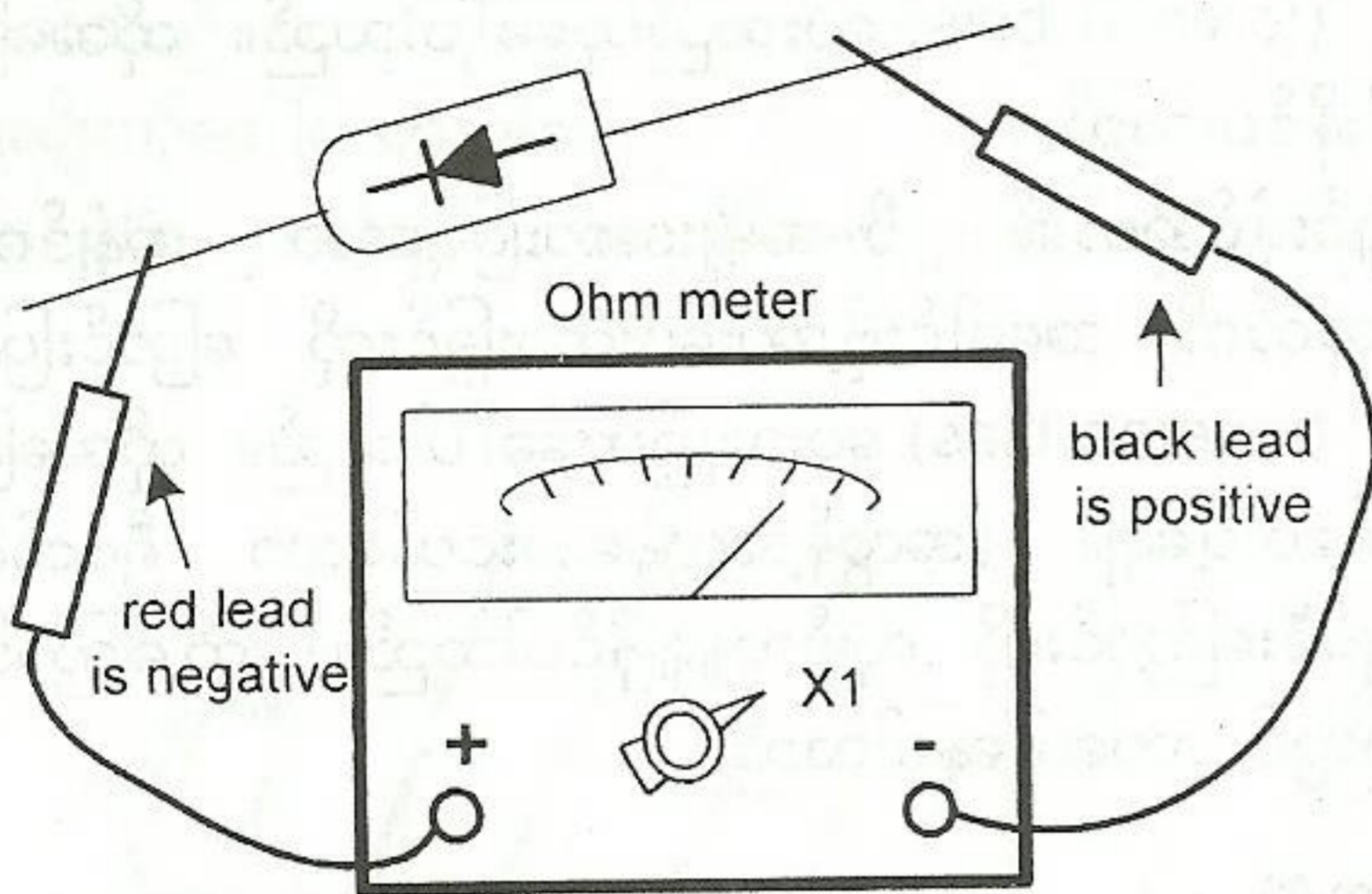
အထက်ပါပုံ(၈-၄)တွင် စီလီကွန်ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်း သဘာဝပြုမျဉ်းပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံအရ ဒိုင်အုတ်သည် ဖော်ဝါဒ်ဘိုင်ယားယက်စ်ဗို့အား 0.7V ခန့်ရောက်သည့်အခါမှသာ လျှပ်ကူးမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်ကြောင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ ရီဗတ်စ်ဘိုင်ယားယက်စ်ဗို့အား အသင့်အတင့် ပေးထားသောအခါ အလွန်သေးငယ်သော ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းသာစီးနေသော်လည်း ရီဗတ်စ်ဘိုင်ယားယက်စ်ဗို့အားများများပေးလိုက်သောအခါ ဒိုင်အုတ်ကိုဖြတ်၍ ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်း များစွာစီးဆင်းပြီး ပြိုပျက်ခြင်း (break-down) ဖြစ်ပေါ်ကာ ဒိုင်အုတ်ပျက် စီးသွားပေတော့သည်။

ဒိုင်အုတ်ကို အဓိကအားဖြင့် အောက်ပါနယ်ပယ်များတွင် အသုံးချနိုင်ပါသည်။

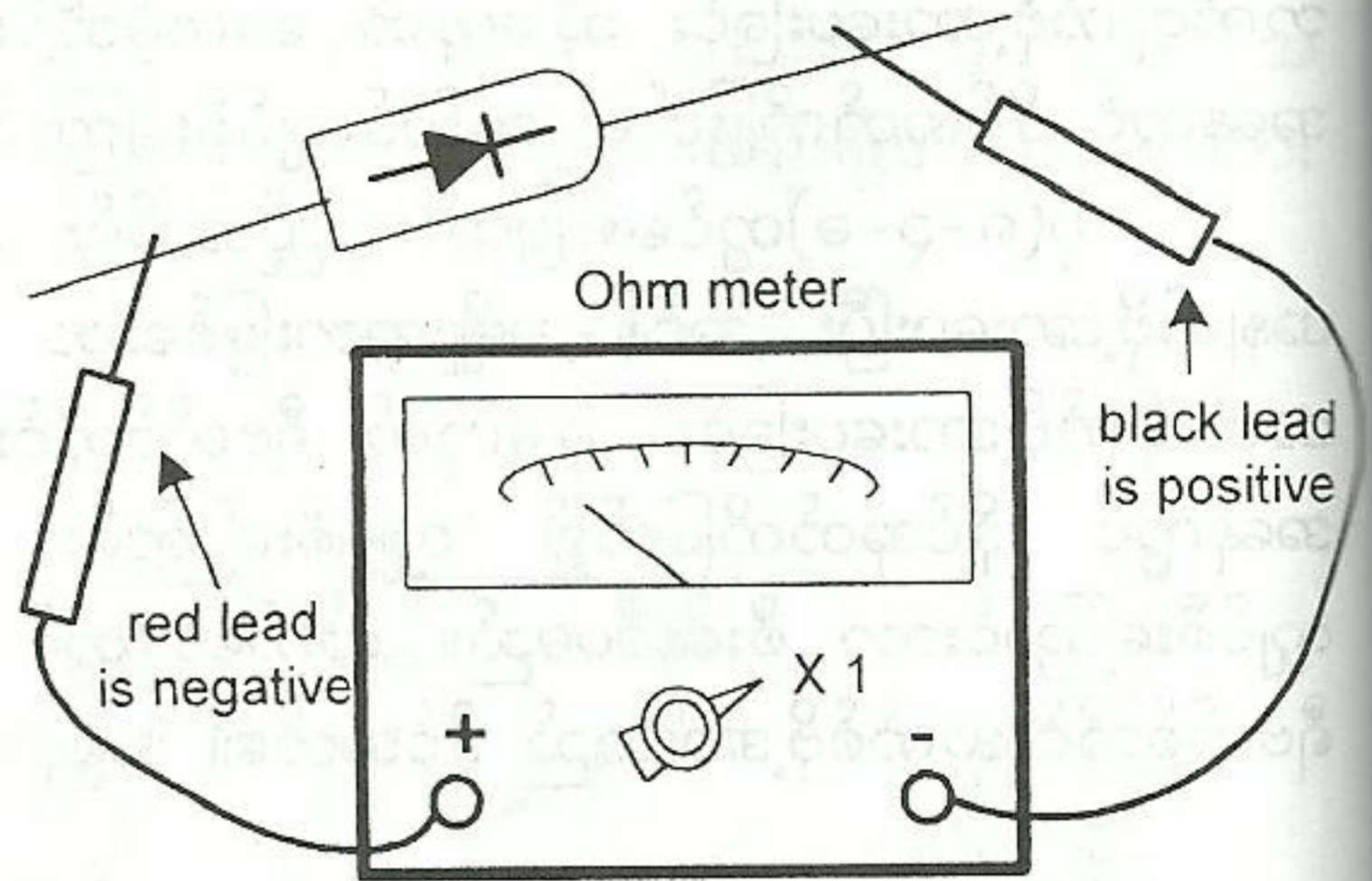
- ၁။ ပါဝါဆပ်ပလိုင်း ရက်တီဖါယာ (Power Supply Rectifier)
- ၂။ ဆစ်ဂနယ် ဒီတက်တာ (Signal Detector)
- ၃။ လှိုင်းပုံပြုပြင်ခြင်း (Limiting & Clamping)
- ၄။ ဒစ်ဂျစ်တယ် လောဂျစ်ဂိတ်များ (Digital Logic Gates)



၈-၃။ ဒိုင်အုတ် ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့် စစ်ဆေးခြင်း ( Testing a Diode with Ohm meter)



(က) ခုခံမှုနည်း



(ခ) ခုခံမှုကြီး

ပုံ(၈-၅) ဒိုင်အုတ်ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့် စမ်းသပ်ပုံ

ဒိုင်အုတ်ကောင်း/မကောင်းကို မာလ်တီမီတာ (multi-meter) ဖြင့်စမ်းသပ်စစ်ဆေးနိုင်ပါသည်။ မာလ်တီမီတာကို အုမ်းမီတာအဖြစ် X1 ohm စကေးတွင် set လုပ်ထားရပါမည်။ ထိုသို့ set လုပ်သည့်အခါ အနက်ရောင်တိုင်းတံ(probe)သည် မီတာအတွင်းမှ ဓါတ်ခဲ၏ အပေါင်းပိုင်းအဖြစ်လည်းကောင်း၊ အနီရောင်တိုင်းတံသည် မီတာအတွင်းမှ ဓါတ်ခဲ၏အနုတ်ပိုင်းအဖြစ်လည်းကောင်း အသီးသီးကိုယ်စားပြုနေပေမည်။

အထက်ပါပုံ(၈-၅-က)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ဒိုင်အုတ်၏ကက်သုတ်ကို အနီရောင်တိုင်းတံဖြင့် လည်းကောင်း၊ အဲနုတ်ကိုအနက်ရောင်တိုင်းတံဖြင့်လည်းကောင်း ထောက်၍တိုင်းတာလိုက်သောအခါ ဒိုင်အုတ်ကို ဖော်ဝင်တိုင်းယက်စ်ပေးလိုက်သလိုဖြစ်နေသောကြောင့် အလွန်နည်းပါးသော ဖော်ဝင်ခုခံမှုကိုပြပေမည်။

တဖန်ပုံ(၈-၅-ခ)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ဒိုင်အုတ်၏ကက်သုတ်ကို အနက်ရောင်တိုင်းတံဖြင့် လည်းကောင်း၊ အဲနုတ်ကို အနီရောင်တိုင်းတံဖြင့်လည်းကောင်း ပြောင်း၍ ထောက်တိုင်းလိုက်သောအခါ ဒိုင်အုတ်ကို ရီဗတ်စ်တိုင်းယက်စ်ပေးလိုက်သလိုဖြစ်နေသောကြောင့် အလွန်ကြီးမားသော ရီဗတ်စ်ခုခံမှုကိုပြပေမည်။

ရှေ့တစ်ဖြစ်နေသောဒိုင်အုတ်ဆိုလျှင် တိုင်းတာမှုနှစ်မျိုးစလုံးတွင် ခုခံမှုညှန်နီးပါးပြပြီး၊ ပွင့်နေသော ဒိုင်အုတ်ဆိုလျှင် တိုင်းတာမှုနှစ်မျိုးစလုံးတွင် ခုခံမှုအနန္တ တန်ဖိုးနီးပါးပြပေမည်။

ကက်သုတ်ကိုသတ်မှတ်ထားသော အရစ်ပျက်နေသောဒိုင်အုတ်အတွက် ကက်သုတ်ပိုင်းနှင့် အဲနုတ်ပိုင်း ခွဲခြားသိရှိလိုလျှင် အထက်ပါအတိုင်း တိုင်းတာမှု နှစ်မျိုးဖြင့်စစ်ဆေးကြည့်ပါ။ ထိုအခါ ခုခံမှုနည်းသော တိုင်းတာမှုတွင် အနီရောင်တိုင်းတာတံထောက်ထားသောပိုင်းသည် ကက်သုတ်ပိုင်းဖြစ်ကြောင်း အလွယ်တကူ ဖော်ထုတ်နိုင်ပါသည်။

၈-၄။ ဒိုင်အုတ် အမျိုးအစား နံပါတ်သတ်မှတ်ချက် ( Type Numbers)

ဒိုင်အုတ်အမျိုးအစားကို 1NXXXX, 1SXXXX, BYXXX စသည်ဖြင့် နံပါတ်များဖြင့် သတ်မှတ်လေ့ ရှိပါသည်။ အသုံးများသော ရက်တီဖါယာဒိုင်အုတ်နံပါတ်များနှင့် ယင်းတို့၏ ဒေတာအချက်အလက်များကို ဇယား(၈-၁)တွင် ကြည့်ပါ။



ဇယား(၈-၁) အသုံးများသော ရက်တီဖါယာဒိုင်အုတ်များ

Type Number	Peak Inverse Voltage (PIV) (Volts)	Forward Current ( $I_F$ ) (Amps.)
1N4001	50	1.0
1N4002	100	1.0
1N4003	200	1.0
1N4004	400	1.0
1N4005	600	1.0
1N4006	800	1.0
1N4007	1000	1.0
1N5400	50	3.0
1N5401	100	3.0
1N5402	200	3.0
1N5404	400	3.0
1N5406	600	3.0
1N5407	800	3.0
1N5408	1000	3.0

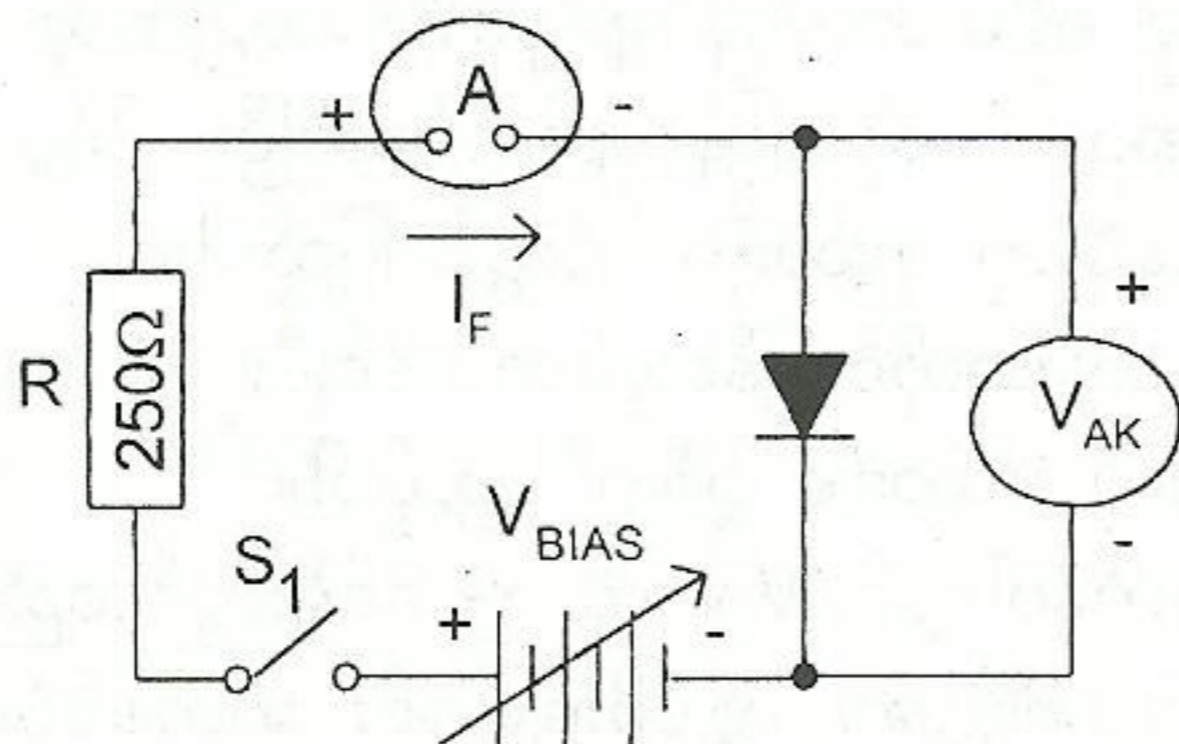
၈-၅။ ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်းသဘာဝကို လက်တွေ့ဖော်ထုတ်ခြင်း  
 (Determination of Volt-ampere Characteristics of a Junction Diode)

ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်တစ်လုံး၏ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းဆက်သွယ်ပုံကို ပုံ(၈-၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း ဆက်သွယ်မှုများပြုလုပ်၍ ဇယား(၈-၂)နှင့် (၈-၃)တို့တွင် ဖော်ပြထားသည့် လက်တွေ့တိုင်းတာမှုများ ပြုလုပ်ပြီး လေ့လာနိုင်ပါသည်။

လိုအပ်သောကိရိယာများ

- Power supply: Variable regulated low-voltage high-current dc source.
- Equipment: Digital multimeter; VOM, 20,000Ω/V
- Resistors: 250 Ω/ 2-W
- Silicon diode: 1N4001 (other choices: 1N914 or almost any small-signal silicon diode)
- Miscellaneous: SPST (single-pole single-throw) switch

လက်တွေ့စမ်းသပ်ပတ်လမ်း



ပုံ(၈-၆) လက်တွေ့စမ်းသပ်ပတ်လမ်းပုံ



ဇယား(၈-၂) ဒိုင်အုတ် တိုင်းတာချက်များ

လုပ်ဆောင်ချက် အမှတ်စဉ်	$V_{AK}$	$I_D$	ဒိုင်အုတ်ခုခံမှု
၂	0.7V		
၃၊ ၄			
၅	X	X	Forward: _____ Reversed: _____

ဇယား(၈-၃) ဗို့-အမ်ပီယာ ဆက်သွယ်မှု တိုင်းတာချက်များ

Forward bias		Reverse bias	
$V_{AK}$ (V)	$I_D$ (mA)	$V_{AK}$ (V)	$I_D$ ( $\mu$ A)
0		0	
0.1		-5	
0.2		-10	
0.3		-15	
0.4		-20	
0.5		-25	
0.6		-30	
0.7		-35	
0.8		-40	

**လုပ်ဆောင်ချက်။**

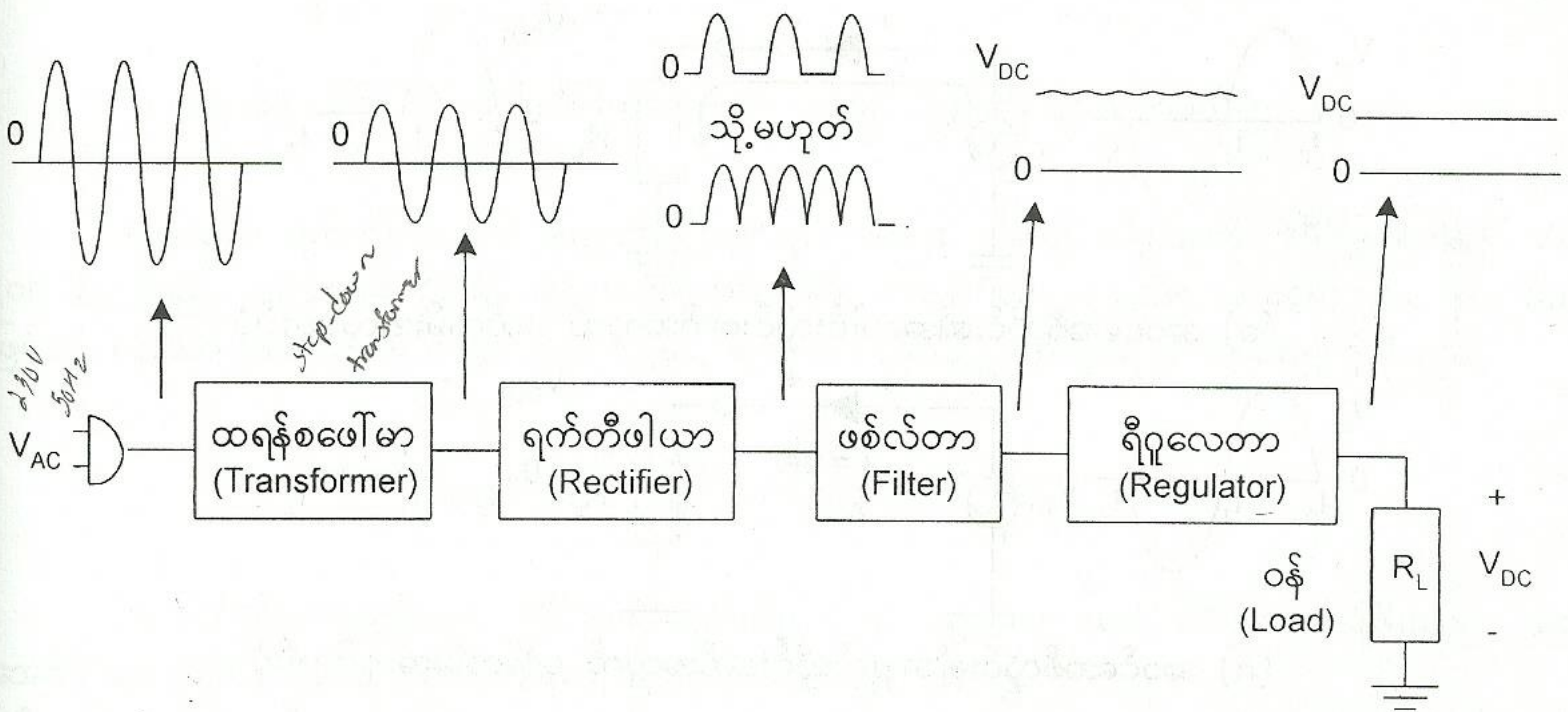
- ၁။ ပုံ(၈-၆)တွင်ပြထားသည့် ပတ်လမ်းကိုဆက်သွယ်ပါ။ (အမ်မီတာ A နေရာတွင် VOM(volt-ohm meter) ကိုအသုံးပြုပါ။ ဗို့မီတာ  $V_{AK}$  နေရာတွင် ဒစ်ဂျစ်တယ်ဗို့မီတာကိုအသုံးပြုပါ။)
- ၂။ ဗို့မီတာ  $V_{AK}$  တွင်ပြနေသောဗို့အားကို 0.7Vရအောင် ပါဝါဆပ်ပလိုင်းဗို့အားကိုပြောင်းပေးပြီး ရရှိလာသော  $I_D$  တန်ဖိုးကို ဇယား(၈-၂)တွင်ဖြည့်ပါ။
- ၃။ ဒိုင်အုတ်ကို ပြောင်းပြန်ပြောင်းတပ်ပြီး ရရှိလာသော  $I_D$  တန်ဖိုးကို ဇယား(၈-၂)တွင်ဖြည့်ပါ။
- ၄။ ဒိုင်အုတ်ကို ပြောင်းပြန်တပ်ထားစဉ် ဗို့အား  $V_{AK}$  ကို တိုင်းတာပြီး ဇယား(၈-၂)တွင်ဖြည့်ပါ။ ဖော်ဝါဒ်နှင့် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်နှစ်ခုစလုံးအတွက် ရရှိလာသော  $V_{AK}$  ကို  $I_D$  နှင့်စားပြီး ဒိုင်အုတ်ခုခံမှုများကိုတွက်ပါ။
- ၅။ ဒိုင်အုတ်ကိုပတ်လမ်းမှဖြုတ်ပြီး ယင်း၏ဖော်ဝါဒ်ခုခံမှုနှင့် ရီဗတ်စ်ခုခံမှုများကို အုမ်းမီတာဖြင့်တိုင်းပြီး ဇယား(၈-၂)တွင်ဖြည့်ပါ။ လုပ်ဆောင်ချက်(၂၊၃၊၄) တို့မှ ရရှိသောတန်ဖိုးများနှင့်နှိုင်းယှဉ်ကြည့်ပါ။
- ၆။ ဒိုင်အုတ်ကို ဖော်ဝါဒ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးသည့်အနေအထားအတိုင်းပြန်လည်တပ်ဆင်ပြီး  $V_{AK}$  ကို ဇယား(၈-၃)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ပြောင်းလဲပြီး  $I_D$  တန်ဖိုးကို ဇယား(၈-၃)တွင် ဖြည့်ပါ။
- ၇။ ဒိုင်အုတ်ကို ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးသည့်အနေအထားအတိုင်းပြန်လည်တပ်ဆင်ပြီး  $V_{AK}$  ကို ဇယား(၈-၃) တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ပြောင်းလဲပြီး  $I_D$  တန်ဖိုးကို ဇယား(၈-၃)တွင် ဖြည့်ပါ။
- ၈။ ဇယား(၈-၃)မှ ရရှိသောတန်ဖိုးများဖြင့် ဂရပ်စာရွက်ပေါ်တွင်  $V_{AK}$  ကို x- ဝင်ရိုးတွင်လည်းကောင်း၊  $I_D$  ကို y- ဝင်ရိုးတွင်လည်းကောင်း သတ်မှတ်ကာ ဒိုင်အုတ်၏ဗို့အား-လျှပ်စီးကြောင်း ဆက်စပ်ပုံကို ဂရပ်ဆွဲကြည့်ပါ။ (သင်အဖြေကို ပုံ(၈-၄)နှင့် နှိုင်းယှဉ်ကြည့်ပါ။)



# အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်:ပတ်လမ်းများ (Power Supply Circuits )

## ၉-၁။ နိဒါန်း

အီလက်ထရွန်းနစ်ဆိုင်ရာပတ်လမ်းများကို ပုံမှန်အလုပ်လုပ်နိုင်စေရန်အတွက် ဗို့အားနိမ့်ဒီစီဗို့အား ပေးရပါသည်။ စမ်းသပ်ခန်းပြင်ပတွင် အသုံးပြုသော အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများအတွက် လိုအပ်သော ဒီစီဗို့အားကို ခါတ်ခဲ၊ ဘက်ထရီ...စသည်တို့မှ ရယူနိုင်ပြီး၊ စမ်းသပ်ခန်းတွင်းသုံး သို့မဟုတ် အိမ်တွင်းသုံး အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများအတွက်မူကား အိမ်သုံးအေစီ လျှပ်စစ်ပင်ရင်းမှ ဒီစီဗို့အားကိုပြောင်းပေးနိုင်သော ပါဝါဆပ်ပလိုင်:ပတ်လမ်းများကို တည်ဆောက်ပြီး လိုအပ်သောဒီစီဗို့အားကို ထုတ်ယူ၍ အသုံးပြုကြရပါသည်။ အခြေခံဒီစီပါဝါဆပ်ပလိုင်:ပတ်လမ်းဖွဲ့စည်းပုံကို အောက်ပါပုံ(၉-၁)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၉-၁) အခြေခံဒီစီပါဝါဆပ်ပလိုင်:ပတ်လမ်းဖွဲ့စည်းပုံ

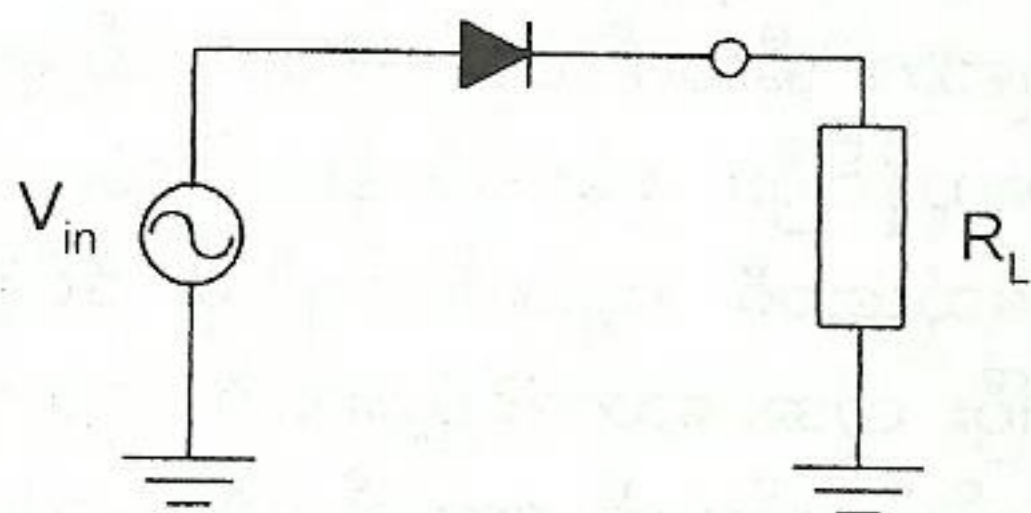
အခြေခံဒီစီပါဝါဆပ်ပလိုင်:ပတ်လမ်းတွင် ရှေးဦးစွာ 230V, 50Hz အိမ်သုံးလျှပ်စစ်အေစီဗို့အားကို ထရန်စဖော်မာခံပြီးဗို့အားနိမ့်အေစီသို့ လျှော့ချပေးလိုက်ပါသည်။ ထိုနောက်အေစီဗို့အားကို ဒီစီဗို့အားသို့ပြောင်းပေးနိုင်သော ရက်တီဖါယာ (rectifier) ပတ်လမ်းသို့ထည့်လိုက်ပါသည်။ <ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းသည် လှိုင်းဝက် (Half-wave) သို့မဟုတ် လှိုင်းပြည့် (Full-wave) ပတ်လမ်းတစ်မျိုးမျိုးဖြစ်နိုင်ပါသည်။> ရက်တီဖါယာမှထွက်လာသောလှိုင်းသည် ဒီစီနှင့်အေစီတို့ရောနှောနေသော ခုန်လှိုင်းဒီစီဗို့အား (pulsating dc voltage) ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းလှိုင်းတွင်ပါဝင်နေသော အေစီအစိတ်အပိုင်းများကို ဖစ်လ်တာ (filter) ပတ်လမ်းဖြင့် စစ်ထုတ်



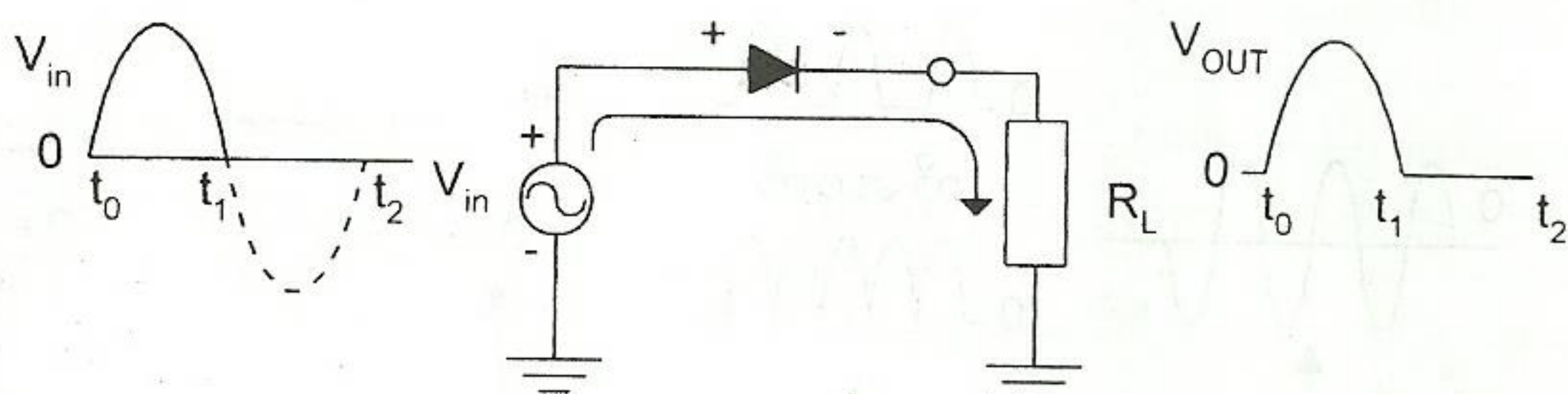
လိုက်သောအခါ အထွက်တွင် ဒီစီဗို့အားသန့်သန့်ကို ရရှိလာပေသည်။ တဖန်ထိုအထွက်ဒီစီဗို့အားကို တည်ငြိမ်မှု ရှိလာအောင် ရီဂူလေတာ (regulator) ပတ်လမ်းများထပ်ဆင့်၍ ခံထားရပါသည်။

၉-၂။ လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ (Half-Wave Rectifier)

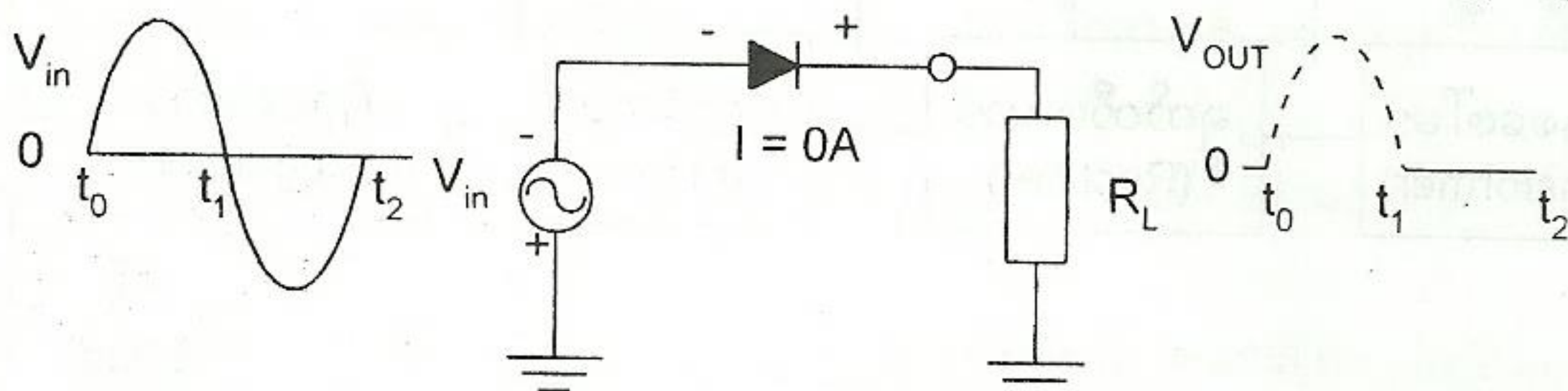
အေစီဗို့အားလှိုင်း၏ လှိုင်းတစ်ဝက်ကိုသာ ဒီစီဗို့အားသို့ပြောင်းလဲပေးနိုင်သောပတ်လမ်းကို လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ (Half-Wave Rectifier) ပတ်လမ်းဟုခေါ်ပါသည်။ ပုံ(၉-၂)တွင် လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ ပတ်လမ်းနှင့် ယင်းပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်ပုံကို အသေးစိတ် ဖော်ပြထားပါသည်။



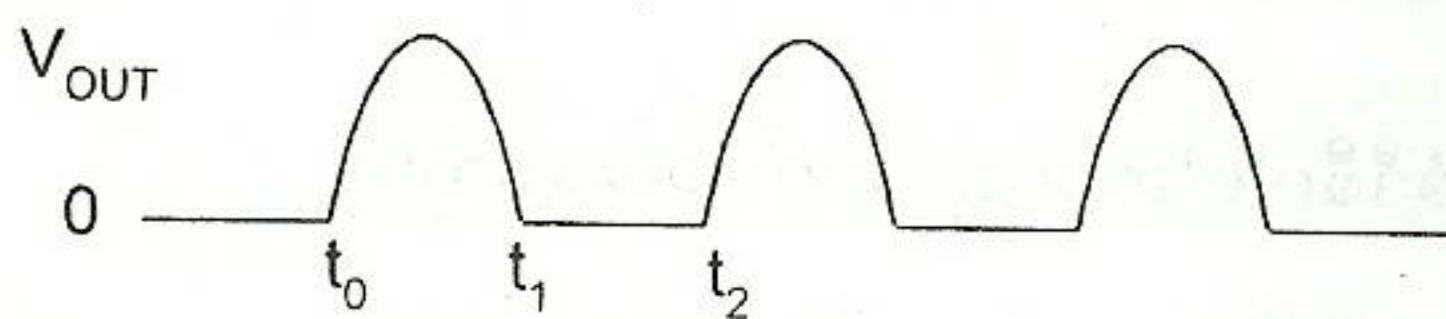
(က) လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း



(ခ) အဝင်အေစီလှိုင်း၏အပေါင်းလှိုင်းဝက်အတွက် ပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်ပုံ



(ဂ) အဝင်အေစီလှိုင်း၏အနှုတ်လှိုင်းဝက်အတွက် ပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်ပုံ



(ဃ) အဝင်အေစီလှိုင်းအလျား(၃)ခုအတွက် လှိုင်းဝက်အထွက်ဗို့အားလှိုင်းပုံ ပုံ(၉-၂) လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်ပုံ

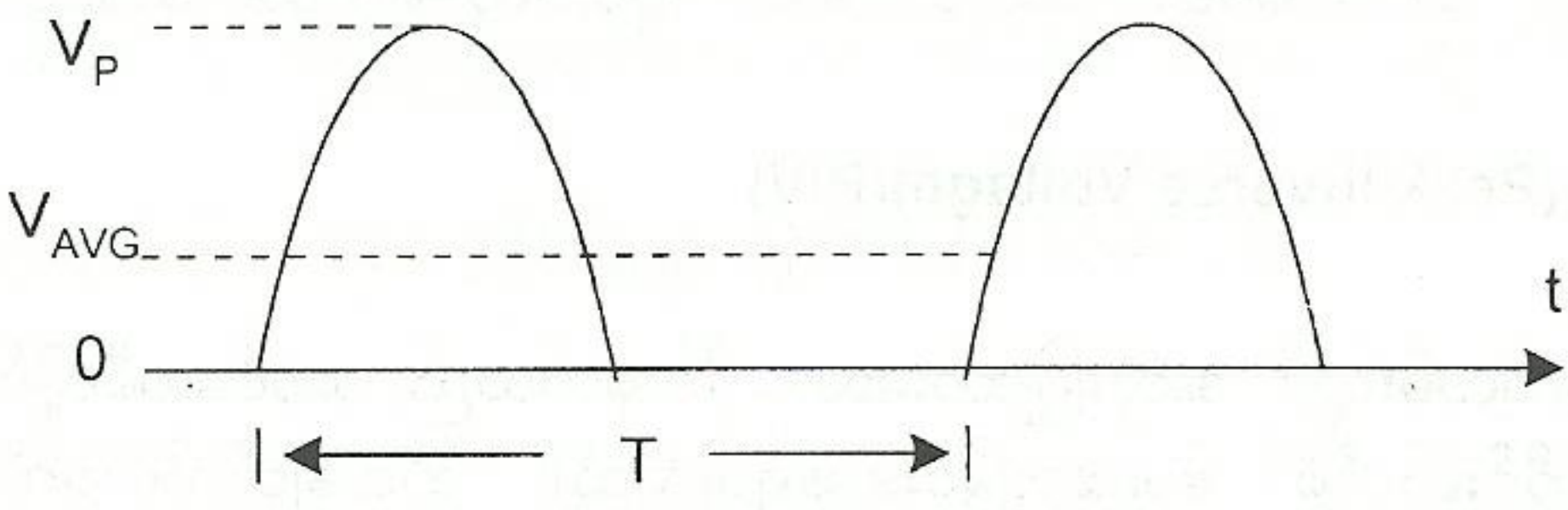
အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အပေါင်းလှိုင်းဝက် ( $t_0$  to  $t_1$ ) တွင်ဒိုင်အုတ်သည် ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးထားခြင်း ခံရသဖြင့် ယင်းကိုဖြတ်၍ လျှပ်စီးကြောင်းစီးနိုင်သဖြင့် ဝန်တွင် လှိုင်းတစ်ဝက် ဒီစီဗို့အား ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ပုံ(၉-၂-ခ)တွင်ကြည့်ပါ။ အဝင်အေစီလှိုင်း၏အနှုတ်လှိုင်းဝက် ( $t_1$  to  $t_2$ ) တွင်ဒိုင်အုတ်သည် ရီဗတ်စ်ဘိုင်း



ယက်စ် ပေးထားခြင်းခံရသဖြင့် ယင်းကိုဖြတ်၍ လျှပ်စီးကြောင်းမစီးနိုင်တော့သဖြင့် ဝန်တွင်ဗို့အားဖြစ်ပေါ်ခြင်း မရှိတော့ချေ။ ပုံ(၉-၂-ဂ)တွင်ကြည့်ပါ။ ထို့ကြောင့် အဝင်အေစီလိုင်း၏ လိုင်းအလျားတစ်ခုလုံးအတွက် အထွက်ဒီစီဗို့အားသည် လိုင်းတစ်ဝက်သာ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

ပုံ(၉-၂-ဃ)တွင် အဝင်အေစီလိုင်းအလျားဆက်တိုက်(၃)ခုအတွက် ရရှိလာမည့် အထွက်ဒီစီဗို့အားပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ လိုင်းဝက်ရက်တီဖါယာမှ ထွက်လာသောလိုင်းသည် ဒီစီနှင့်အေစီတို့ ရောနှောနေသော ခုန်လိုင်းဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

$V_{DC}$  - လိုင်းဝက်ရက်တီဖါယာမှ အထွက်ဒီစီဗို့အားကို ဒီစီဗို့မီတာဖြင့်တိုင်းသောအခါ ရရှိလာသောဗို့အား တန်ဖိုးသည် အထွက်လိုင်းဝက်၏ ပျမ်းမျှတန်ဖိုး (average value) ဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၉-၃)တွင် ပျမ်းမျှဗို့အား သို့မဟုတ် ဒီစီဗို့အား သတ်မှတ်ပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၉-၃) လိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာအတွက် ပျမ်းမျှ(သို့)ဒီစီဗို့အားသတ်မှတ်ပုံ

လိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ၏ အထွက်ပိုင်းတွင်ရရှိလာသော ပျမ်းမျှ သို့မဟုတ် ဒီစီဗို့အားတန်ဖိုး  $V_{AVG}$  (or)  $V_{DC}$  သည် အဝင်အေစီလိုင်း၏ အများဆုံးဗို့အားတန်ဖိုး (maximum or peak voltage)  $V_P$  နှင့် မီတာ ဖြင့်တိုင်းရသော အေစီဗို့အားတန်ဖိုး  $V_{rms}$  တို့နှင့် အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း ဆက်စပ်နေကြပါသည်။

$$* V_{AVG} = V_{DC} = \frac{V_P}{\pi} = \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{3.14} = 0.45V_{rms}$$

အထက်ပါပုံသေနည်းအရ လိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာမှ ထွက်လာသော ဒီစီဗို့အားတန်ဖိုးသည် အဝင် အေစီဗို့အား rms တန်ဖိုး၏ ထက်ဝက်နီးပါးဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

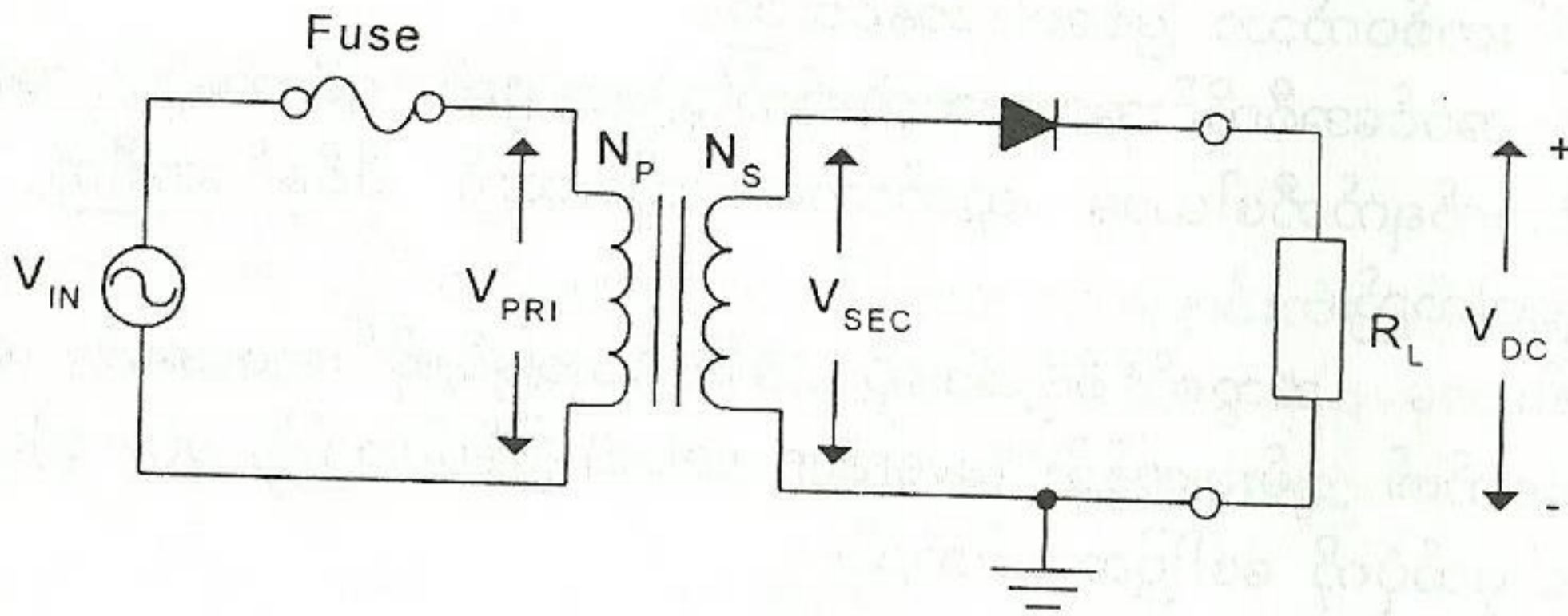
ဖရီကွင်စီ - လိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာမှ ထွက်လာသောခုန်လိုင်း၏ ဖရီကွင်စီသည် အဝင်အေစီလိုင်း၏ ဖရီကွင်စီ နှင့်တူညီနေပါသည်။

**၉-၃။ ထရန်စဖော်မာဖြင့် အဝင်အေစီဗို့အားပေးထားသော လိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ (Half-Wave Rectifier with Transformer Coupled Input Voltage)**

ရက်တီဖါယာအတွက် အဝင်အေစီဗို့အားလိုင်းကို ပေးသွင်းရာတွင် ထရန်စဖော်မာ ကိုအသုံးပြုထား သော ပတ်လမ်းမျိုးသည် လက်တွေ့တွင် အသုံးများကြပါသည်။ ဤသို့ထရန်စဖော်မာကို အသုံးပြုခြင်းသည် အေစီဗို့အားကို အတိုး/အလျော့ပြုလုပ်ပေးရန် လွယ်ကူသည့်အပြင် ဗို့အားမြင့်အေစီဗို့အားကို ရက်တီဖါယာ ပတ်လမ်းနှင့် ခွဲခြားထားသကဲ့သို့ ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် ဓါတ်လိုက်မည့်အန္တရာယ်မှ ကာကွယ်ပြီးသား ဖြစ်သွား



ပါသည်။ ပုံ(၉-၄)တွင် ဗို့အားလျှော့ချ ထရန်စဖော်မာကို အသုံးပြုပြီး အဝင်အေစီဗို့အား ပေးထားသော လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။

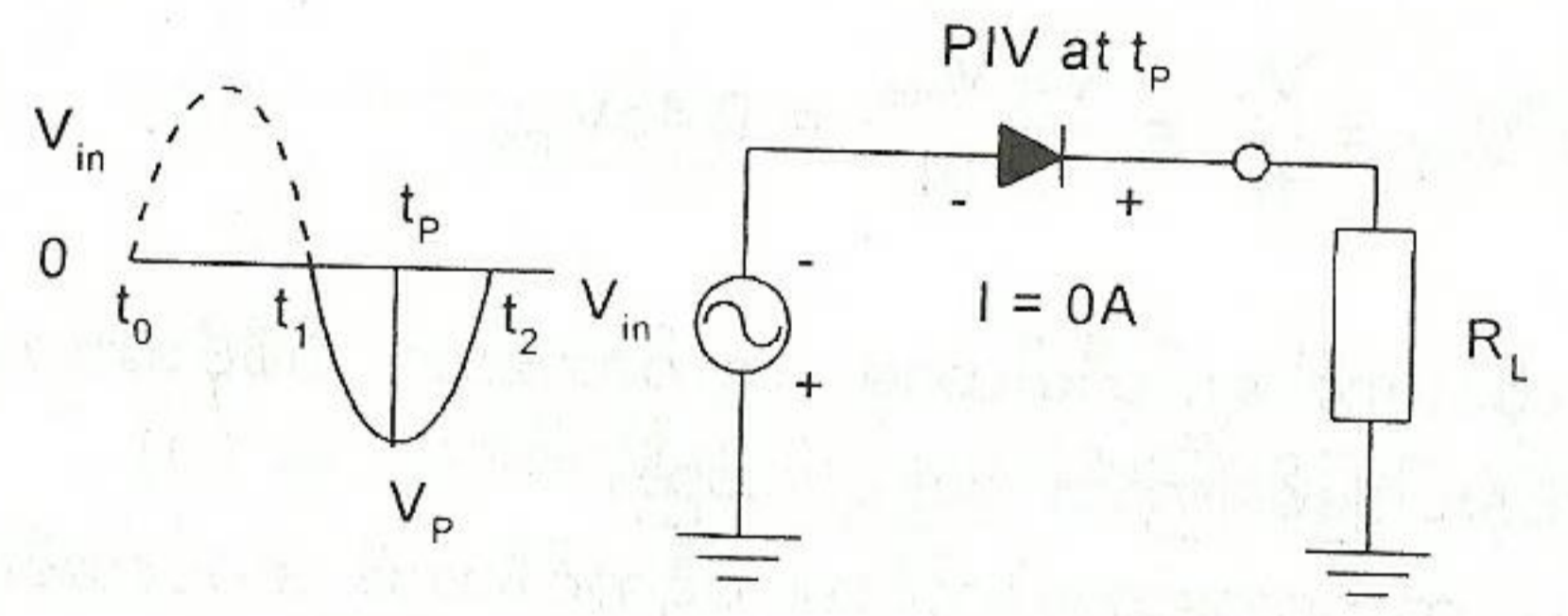


ပုံ(၉-၄) ထရန်စဖော်မာဖြင့် အဝင်အေစီဗို့အားပေးထားသော လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းပုံ

၉-၄။ အများဆုံးပြောင်းပြန်ဗို့အား (Peak Inverse Voltage)(PIV)

လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် အသုံးပြုထားသော ဒိုင်အုတ်သည် အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အနှုတ် လှိုင်းဝက်ရောက်ချိန်တွင် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးထားခြင်းခံနေရပါသည်။ ထိုအနှုတ်လှိုင်းဝက်၏အများဆုံး ဗို့အားတန်ဖိုးကို ဒိုင်အုတ်သည် မပျက်စီးဘဲ ခံနိုင်ရည်ရှိရပေမည်။ တနည်းအားဖြင့် လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် အသုံးပြုထားသော ဒိုင်အုတ်၏ အများဆုံးပြောင်းပြန်ဗို့အား PIV သည် အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အနှုတ်လှိုင်းဝက်၏ အမြင့်ဆုံးတန်ဖိုးနှင့် တူညီနေပါသည်။

ပုံသေနည်းအားဖြင့် (လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာအတွက်) ဒိုင်အုတ်၏  $PIV = V_P = 1.4142 V_{rms}$  ဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၉-၅)တွင် အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် ဒိုင်အုတ်၌ PIV ဖြစ်ပေါ်လာပုံကို ဖော်ပြ ထားပါသည်။



ပုံ(၉-၅) အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် ဒိုင်အုတ်၌ PIV ဖြစ်ပေါ်လာပုံ

ထို့ကြောင့် လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင်အသုံးပြုမည့် ဒိုင်အုတ်အမျိုးအစားကို အခန်း(၈) တွင်ဖော်ပြခဲ့သော ဇယား(၁)အရ ရွေးချယ်သောအခါ ဒိုင်အုတ်၏ PIV သည် ထရန်စဖော်မာ၏ စကင်ဒရီ ဗို့အားကို အေစီဗို့မီတာဖြင့် တိုင်းရသောတန်ဖိုး  $V_{rms}$  ၏ 1.4142 အဆ အနည်းဆုံးရှိသော ဒိုင်အုတ်မျိုးဖြစ် ရပေမည်။ ထိုတန်ဖိုးထက်ကြီးသော ဒိုင်အုတ်မျိုးကို အသုံးပြုမိလျှင် ပြဿနာမရှိသော်လည်း PIV ငယ်သော ဒိုင်အုတ်မျိုးကို အသုံးပြုမိလျှင် ဒိုင်အုတ်ပုံမှန်အလုပ်မလုပ်နိုင်ဘဲ ပျက်စီးသွားပေလိမ့်မည်။



၉-၅။ လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာ (Full-Wave Rectifier)

အဝင်အစီမိုအားလှိုင်း၏ လှိုင်းတစ်လျှားအပြည့်ကို ဒီစီမိုအားသို့ ပြောင်းလဲပေးနိုင်သောပတ်လမ်းကို လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာ (Full-Wave Rectifier) ပတ်လမ်းဟု ခေါ်ပါသည်။

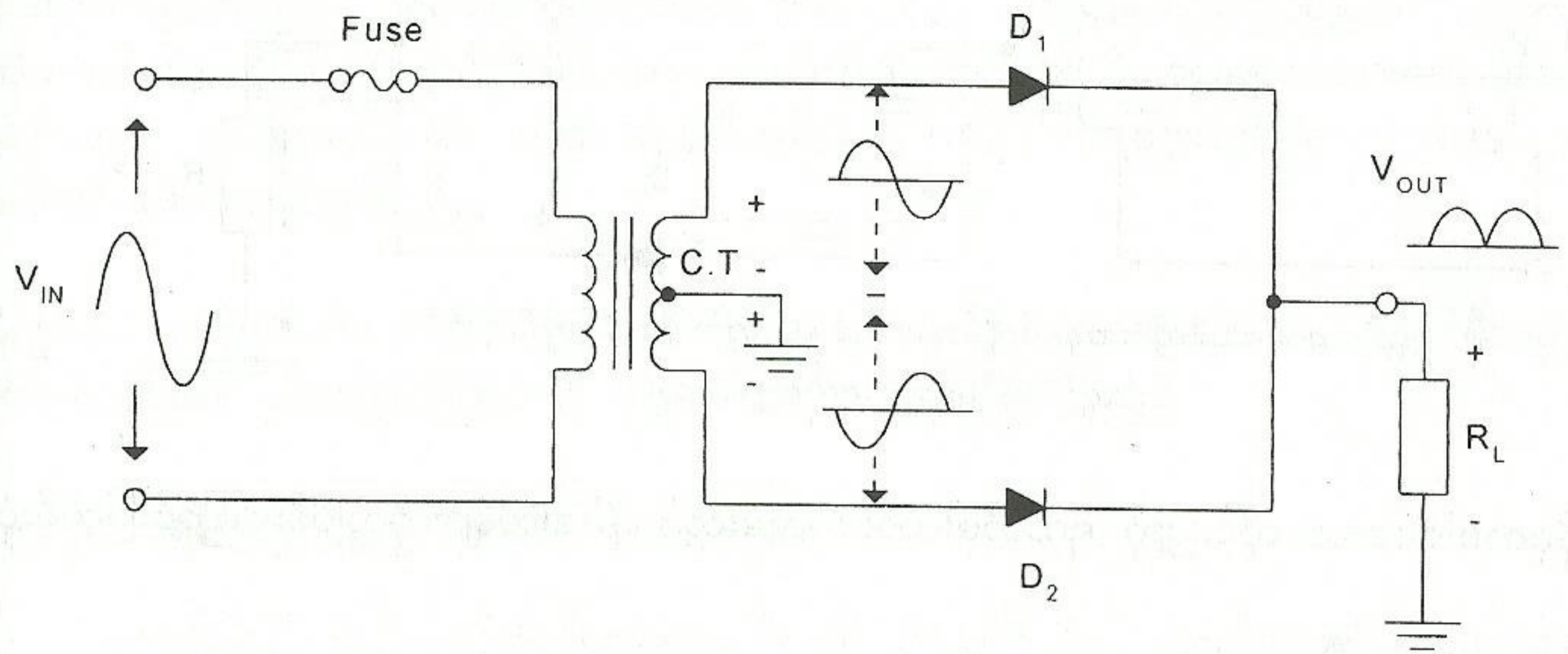
လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းကို အောက်ပါအတိုင်း အမျိုးအစားနှစ်မျိုးခွဲခြားထားပါသည်။

- ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း ( The Full-Wave Center-Tapped Rectifier)
  - ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း (The Full-Wave Bridge Rectifier)
- တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် ဒိုင်အုတ် (၂) လုံးကို အသုံးပြုထားပြီး၊ ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် ဒိုင်အုတ် (၄) လုံးကို အသုံးပြုထားပါသည်။

ဆက်လက်၍ လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတစ်ခုချင်းအကြောင်းကို ဖော်ပြပါမည်။

၉-၅-၁။ ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း

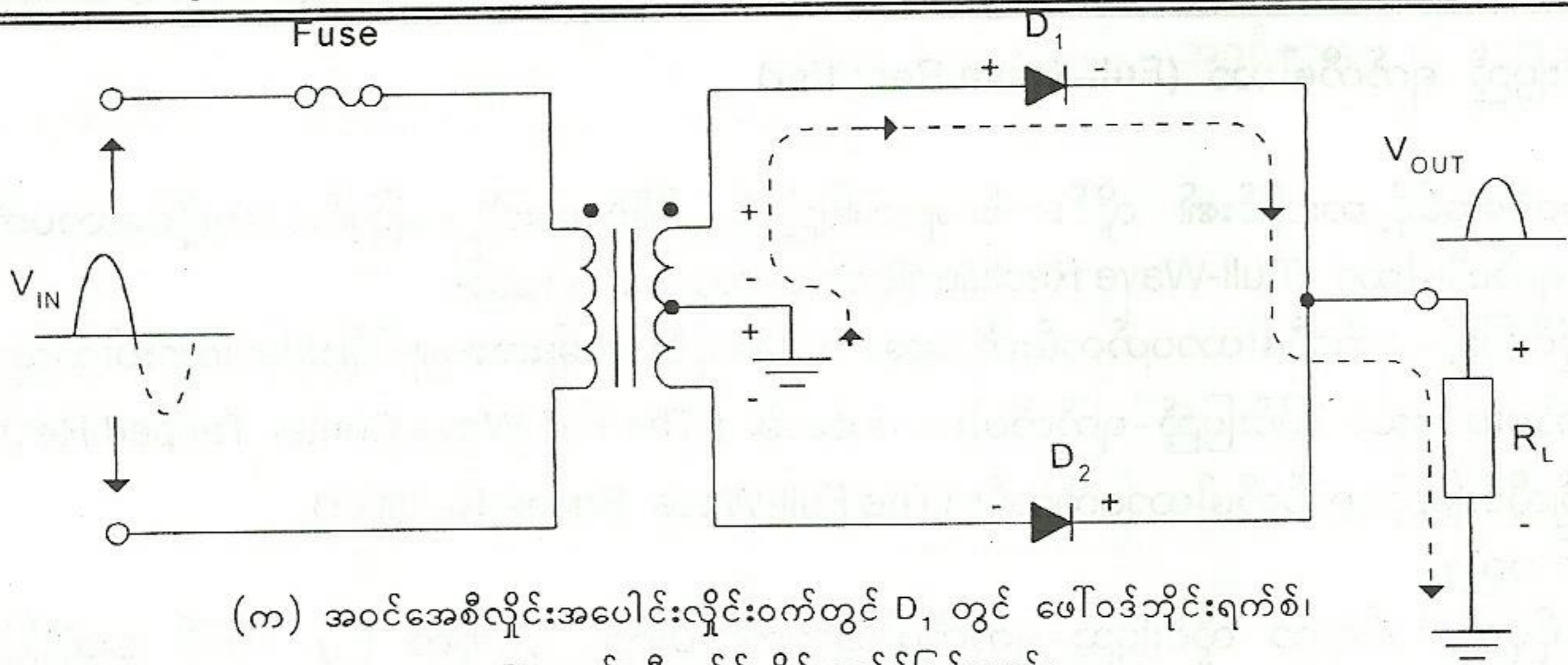


ပုံ(၉-၆) ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းပုံ

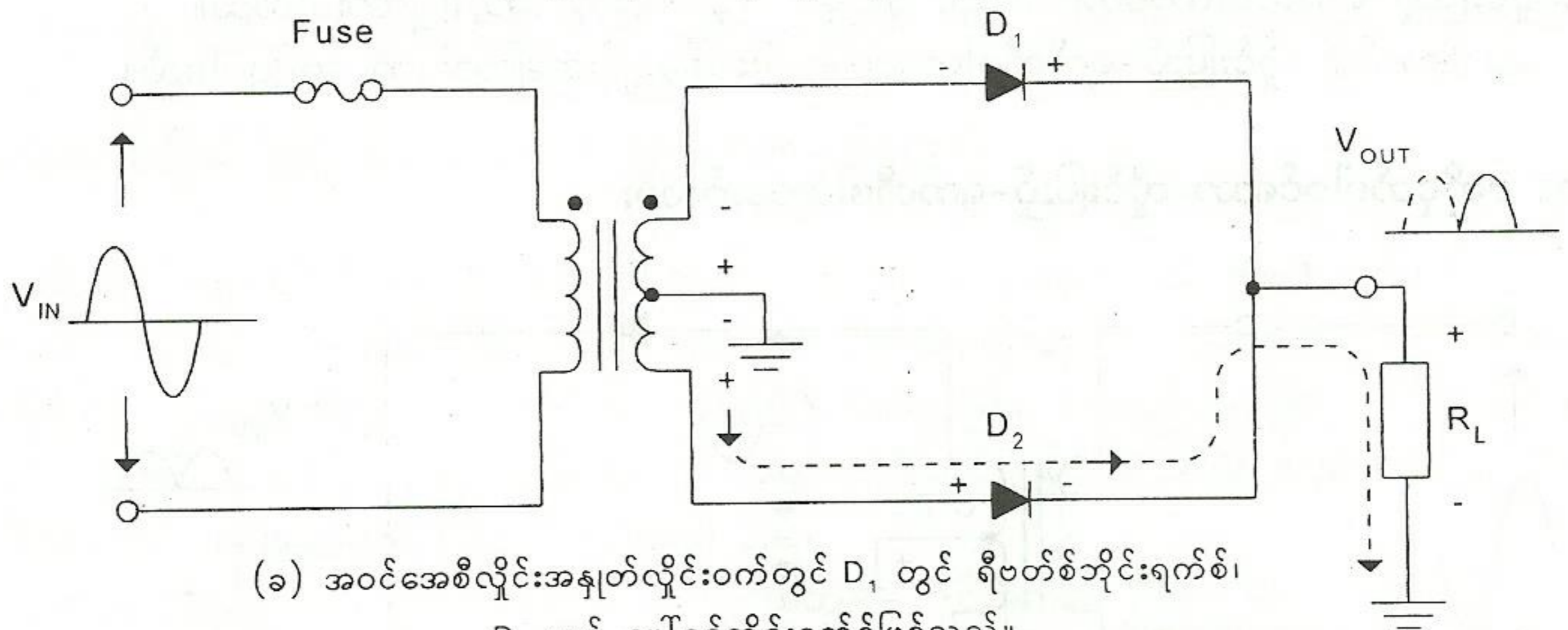
ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် ဒိုင်အုတ်(၂)လုံးကို အသုံးပြုထားပါသည်။ ဗဟိုငုတ်နှင့် စကင်ဒရီကျိုင်အစွန်းနှစ်ခုအကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော အစီလှိုင်းတို့သည် အသွင်ခြားနားခြင်း ဝရံ ရှိနေကြသောကြောင့် အဝင်လှိုင်း၏အပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင် ဒိုင်အုတ် D<sub>1</sub> သည် ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်း ခံရသဖြင့် လျှပ်ကူးကာ ဝန်ကိုလျှပ်စီးကြောင်းဖြတ်စီးစေပါသည်။ ထိုအချိန်တွင် ဒိုင်အုတ် D<sub>2</sub> သည် ရီဗတ်စ် ဘိုင်းယက်စ်ပေးခြင်းခံရသဖြင့် လျှပ်မကူးနိုင်ချေ။ တဖန် အဝင်လှိုင်း၏ အနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် ဒိုင်အုတ် D<sub>2</sub> သည် ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးခြင်းခံပြီး ဒိုင်အုတ် D<sub>1</sub> သည် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်းခံရသဖြင့် D<sub>2</sub> သည် လျှပ်ကူး ကာ ဝန်ကိုလျှပ်စီးကြောင်းဖြတ်စီးစေပါသည်။

ထိုအချိန်တွင် D<sub>1</sub> သည် လျှပ်မကူးနိုင်ချေ။အဝင်အစီလှိုင်းဝက်တစ်ခုစီအတွက် ဒိုင်အုတ်များတွင် လျှပ်စီးကြောင်းများစီးနေပုံကို ပုံ(၉-၇)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ အဝင်လှိုင်းတစ်ပါတ်ပြည့်သောအချိန်တွင် ဝန်၌ လှိုင်းအပြည့်စီးနေပုံကို ပုံ(၉-၈)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



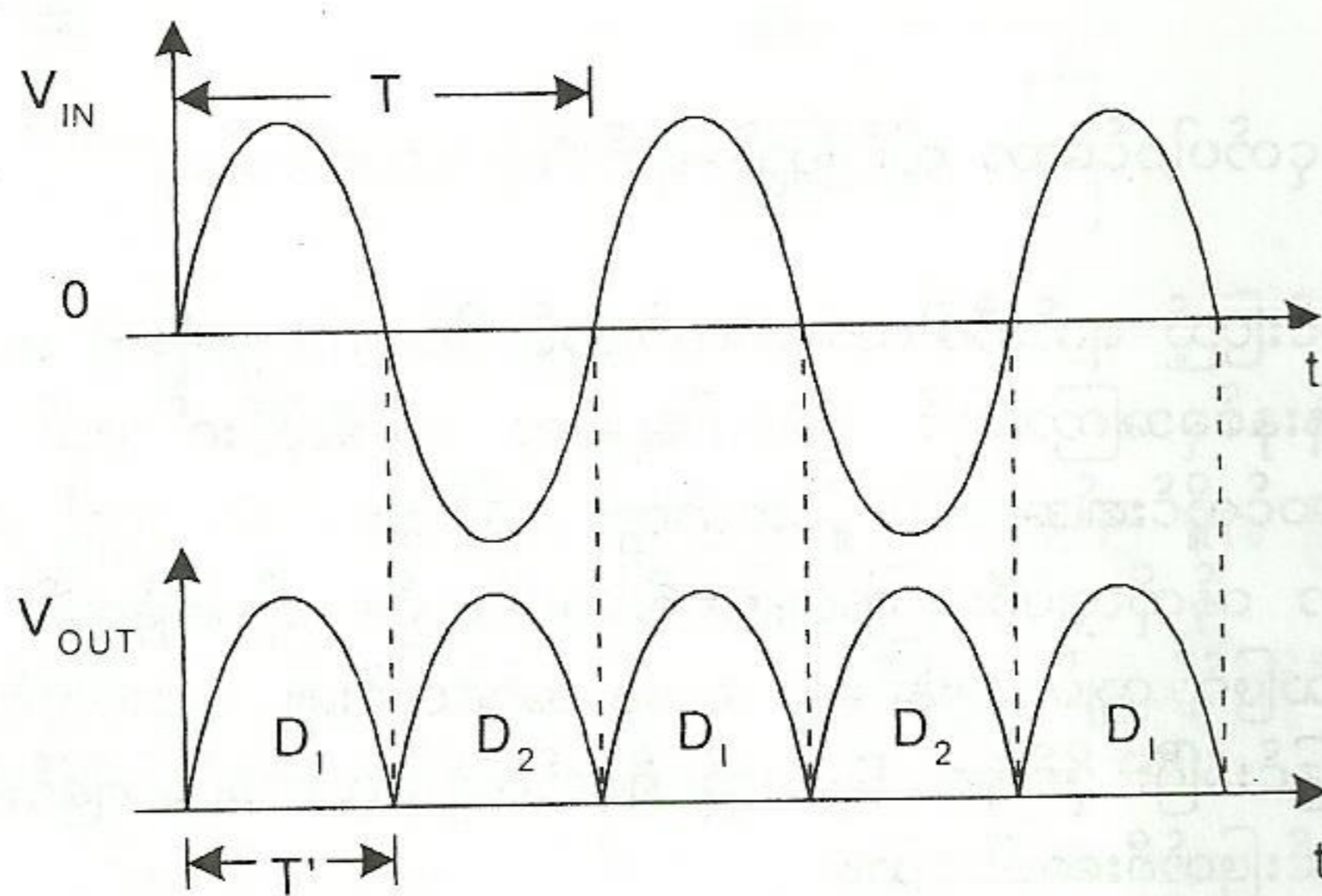


(က) အဝင်အစီလှိုင်းအပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင်  $D_1$  တွင် ဖော်ဝန်ဘိုင်းရက်စ်၊  $D_2$  တွင် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းရက်စ်ဖြစ်သည်။



(ခ) အဝင်အစီလှိုင်းအနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင်  $D_1$  တွင် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းရက်စ်၊  $D_2$  တွင် ဖော်ဝန်ဘိုင်းရက်စ်ဖြစ်သည်။

ပုံ(၉-၇) ဗဟိုငုတ်ပါဝင်သော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် ဒိုင်အုတ်များကိုလျှပ်စီးကြောင်းဖြတ်စီးပုံ



$$T' = \frac{T}{2}; \frac{1}{f'} = \frac{1}{2f}; f' = 2f$$

ပုံ(၉-၈) ဗဟိုငုတ်ပါသော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာတွင် အဝင်လှိုင်းနှင့်အထွက်လှိုင်းများပုံ



$V_{DC}$ - ဗဟိုငုတ်ပါသောလှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာ၏ အထွက်ပိုင်းတွင်ရရှိလာသော ပျမ်းမျှ သို့မဟုတ် ဒီစီ ဗို့အားတန်ဖိုး  $V_{AVG}$  (or)  $V_{DC}$  သည် အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အများဆုံးဗို့အားတန်ဖိုး  $V_P$  နှင့် မီတာဖြင့်တိုင်းရသော အေစီဗို့အား တန်ဖိုး  $V_{rms}$  တို့နှင့် အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း ဆက်စပ်နေကြပါသည်။

$$V_{AVG} = V_{DC} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2\sqrt{2} V_{rms}}{3.14} = 0.9V_{rms}$$

အထက်ပါပုံသေနည်းအရ ဗဟိုငုတ်ပါသောလှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာမှထွက်လာသော ဒီစီဗို့အားတန်ဖိုး သည် ထရန်စဖော်မာ စကင်ဒရီကျွင်တစ်စနှင့် ဗဟိုငုတ်တို့အကြားတိုင်းတာရရှိသော အေစီဗို့အား rms တန်ဖိုး နီးပါးရှိကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

**PIV-** ဗဟိုငုတ်ပါသောလှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာအတွက် ဒိုင်အုတ်၏  $PIV = 2V_P = 2 \times 1.4142 V_{rms} = 2.8284 V_{rms}$  ဖြစ်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်းခံသောဒိုင်အုတ်ကို ရှော့တ်ဖြစ်နေ သည် ဟုယူဆလျှင် ကျန်ဒိုင်အုတ်၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် စကင်ဒရီကျွင် အစွန်းတစ်ဖက်နှင့် ဗဟိုငုတ်တို့အကြားရှိ အေစီဗို့အားနှစ်ဆသည် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားအဖြစ် ပေါ်လာသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် ဗဟိုငုတ်ပါသောလှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းအတွက် ဒိုင်အုတ်ကို ရွေးချယ်သောအခါ ဒိုင်အုတ်၏ PIV တန်ဖိုးသည် ထရန်စဖော်မာ၏ စကင်ဒရီကျွင်တစ်စနှင့် ဗဟိုငုတ်အကြားတွင်ရှိသော အေစီဗို့အားအများဆုံး တန်ဖိုး၏ နှစ်ဆကျော်ရပါမည်။

**ဖရီကွင်စီ-** ဗဟိုငုတ်ပါသောလှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာမှ ထွက်လာသောခုန်လှိုင်း၏ ဖရီကွင်စီသည် အဝင်အေစီ လှိုင်းဖရီကွင်စီ၏ နှစ်ဆဖြစ်ကြောင်းကို ပုံ(၉-၈)အရ တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။

**၉-၅-၂။ ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်း**

ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင် ဒိုင်အုတ် (၄) လုံးကိုအသုံးပြုထားပါသည်။ ပုံ(၉-၉) တွင် ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ထရန်စဖော်မာတွင် ဗဟိုငုတ်မလိုတော့ ချေ။

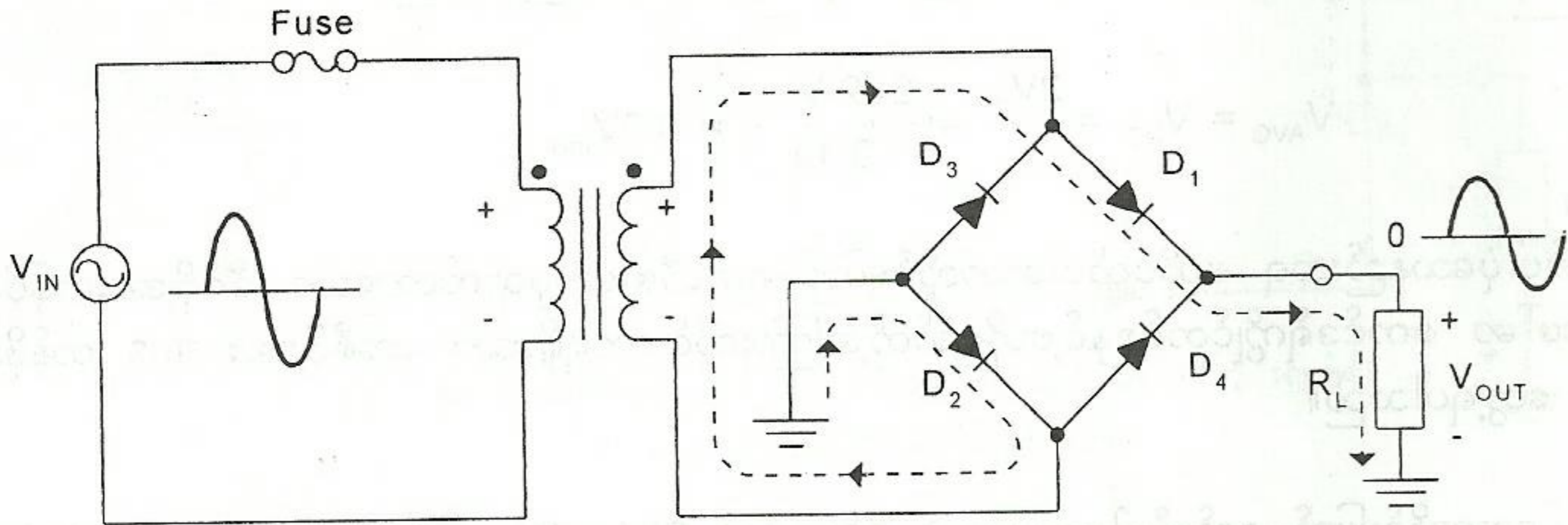
အဝင်လှိုင်း၏အပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင် ဒိုင်အုတ်  $D_1$  နှင့်  $D_2$  တို့သည် ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်းခံရ သဖြင့် လျှပ်ကူးကာ  $D_1-R_L-D_2$  လမ်းကြောင်းအတိုင်း ဝန်ကိုလျှပ်စီးကြောင်းဖြတ်စီးပါသည်။ ထိုအချိန်တွင် ဒိုင်အုတ်  $D_3$  နှင့်  $D_4$  တို့သည်ရီဗတ်စ် ဘိုင်းယက်စ်ပေးခြင်းခံရသဖြင့် လျှပ်မကူးနိုင်ချေ။ တဖန် အဝင်လှိုင်း၏ အနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် ဒိုင်အုတ်  $D_3$  နှင့်  $D_4$  တို့သည် ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်းခံရသဖြင့် လျှပ်ကူးကာ  $D_4-R_L-D_3$  လမ်းကြောင်းအတိုင်း ဝန်ကိုလျှပ်စီးကြောင်းဖြတ်စီးပါသည်။ ထိုအချိန်တွင် ဒိုင်အုတ်  $D_1$  နှင့်  $D_2$  တို့ သည်ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးခြင်းခံရသဖြင့် လျှပ်မကူးနိုင်ချေ။

$V_{DC}$ - ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာ၏ အထွက်ပိုင်းတွင်ရရှိလာသော ပျမ်းမျှ သို့မဟုတ် ဒီစီ ဗို့အား တန်ဖိုး  $V_{AVG}$  (or)  $V_{DC}$  သည် အဝင်အေစီလှိုင်း၏ အများဆုံးဗို့အားတန်ဖိုး  $V_P$  နှင့် မီတာဖြင့်တိုင်းရသော အေစီ ဗို့အားတန်ဖိုး  $V_{rms}$  တို့နှင့် အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း ဆက်စပ်နေကြပါသည်။

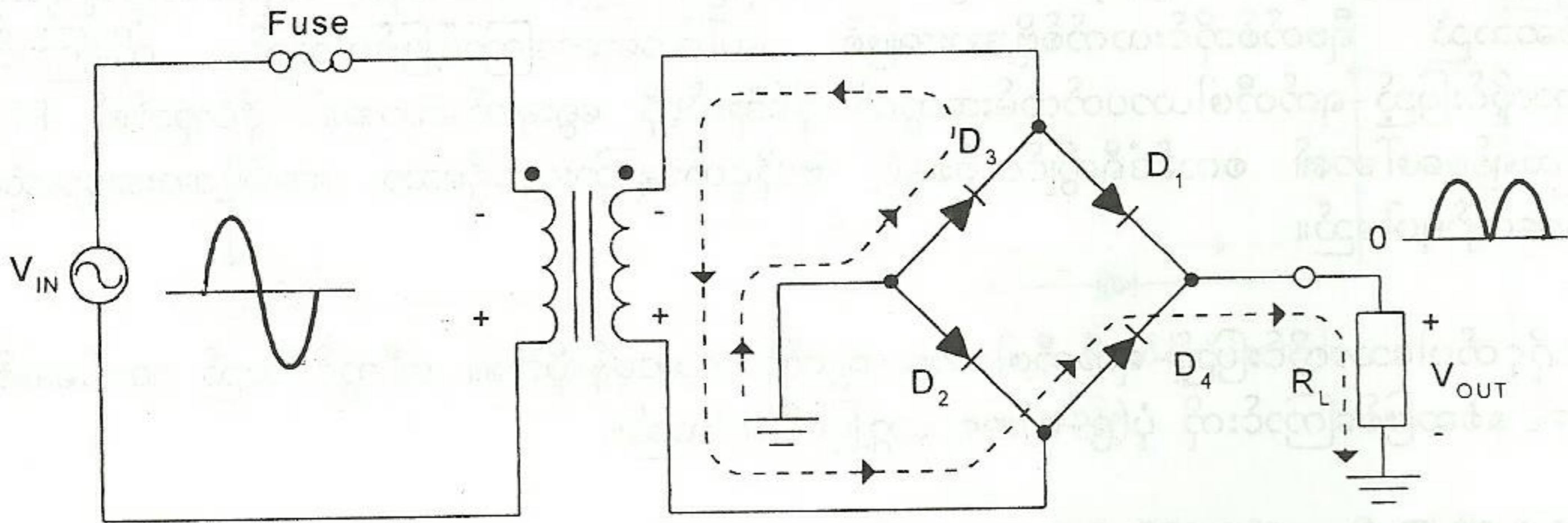
$$V_{AVG} = V_{DC} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2\sqrt{2} V_{rms}}{3.14} = 0.9V_{rms}$$



အဆိုပါပုံသေနည်းအရ ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာမှ ထွက်လာသော ဒီစီဗို့အားတန်ဖိုးသည် ထရန်စဖော်မာ စကင်ဒရီကျိုင်၏ အစီဗို့အား rms တန်ဖိုးနီးပါးဖြစ်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။



(က) အဝင်အစီလှိုင်းအပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင် D<sub>1</sub> နှင့် D<sub>2</sub> တို့တွင် ဖော်ဝင်ဘိုင်းရက်စ်၊ D<sub>3</sub> နှင့် D<sub>4</sub> တို့တွင် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းရက်စ်ဖြစ်ကြသည်။



(ခ) အဝင်အစီလှိုင်းအနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် D<sub>3</sub> နှင့် D<sub>4</sub> တို့တွင် ဖော်ဝင်ဘိုင်းရက်စ်၊ D<sub>1</sub> နှင့် D<sub>2</sub> တို့တွင် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းရက်စ်ဖြစ်ကြသည်။

ပုံ(၉-၉) ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာတွင် ဒိုင်အုတ်များကိုဖြတ်၍ လျှပ်စီးကြောင်းစီးနေပုံ

**PIV-** ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာအတွက် ဒိုင်အုတ်၏  $PIV = V_p = 1.4142 V_{rms}$  ပင်ဖြစ်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ် ပေးထားခြင်းခံရသော ဒိုင်အုတ်နှစ်လုံးတို့ လျှပ်ကူးနေစဉ် ယင်းဒိုင်အုတ်နှစ်လုံးကို ရှော့တ်ဖြစ်နေသည်ဟု ယူဆနိုင်သဖြင့် ကျန်ဒိုင်အုတ်နှစ်လုံးသည် ရီဗတ်စ်ဗို့အားကို အပြိုင်ပေးခြင်းခံနေကြရသောကြောင့် ဖြစ်ပါသည်။

ထို့ကြောင့် ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းတွင်အသုံးပြုရန် ဒိုင်အုတ်ကို ရွေးချယ်သောအခါ ယင်း၏ PIV တန်ဖိုးသည် ထရန်စဖော်မာ၏ စကင်ဒရီကျိုင်၏ အစီဗို့အားအများဆုံး တန်ဖိုးထက်ကြီးရန်သာ လိုအပ်ပါသည်။ ဗဟိုငုတ်ပါသောလှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာမှာကဲ့သို့ နှစ်ဆကျော်ဖြစ်ရန်မလိုချေ။

**ဖရီကွင်စီ-**ဘရစ်ချ်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာမှ ထွက်လာသောခုန်လှိုင်း၏ ဖရီကွင်စီသည်လည်း ဗဟိုငုတ်ပါသော လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာမှာကဲ့သို့ အဝင်အစီလှိုင်း ဖရီကွင်စီ၏ နှစ်ဆဖြစ်ကြောင်းကိုလည်း တွေ့ရပါသည်။



အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်းပတ်လမ်းများ

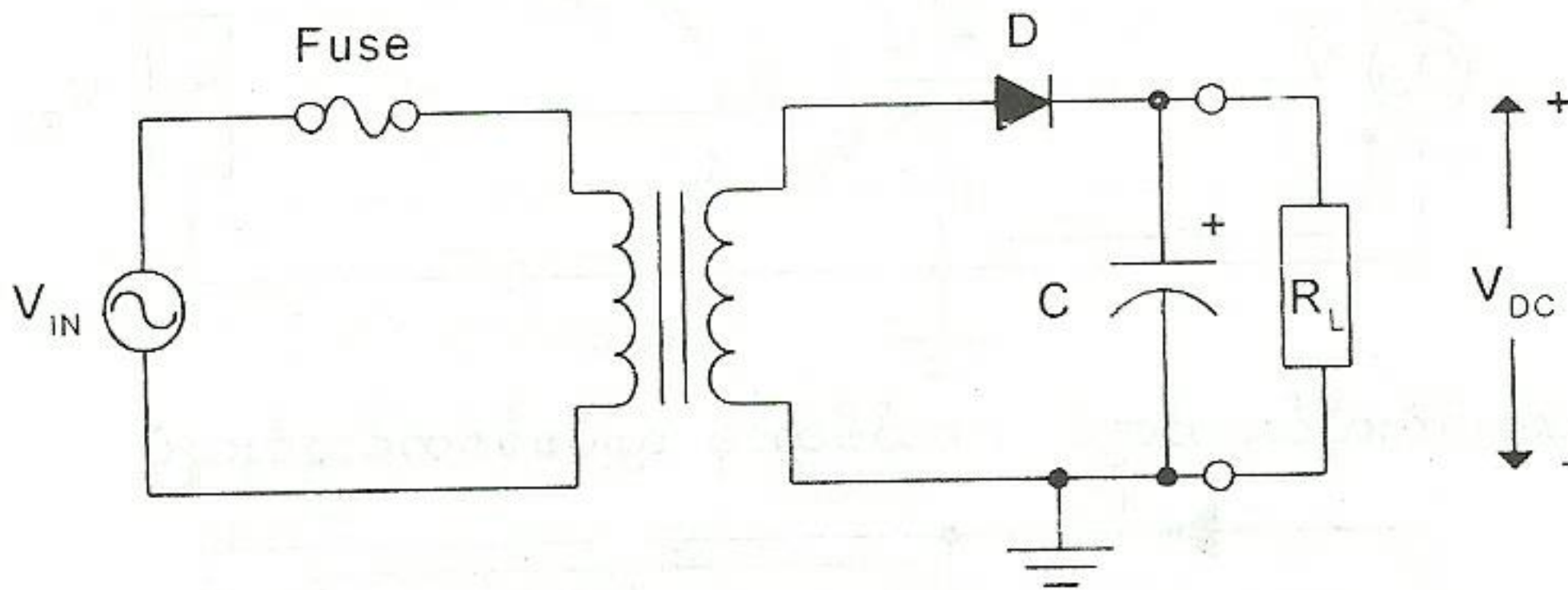
၉-၆။ ဖစ်လ်တာပတ်လမ်းများ (Filter Circuits)

ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းများ၏ အထွက်တွင်ဖြစ်ပေါ်လာသော ဒီစီဗို့အားတွင်ရောနှောပါဝင်လာသော အစီဗို့အားအစိပ်အပိုင်းများကို ရွေးချယ်စစ်ထုတ်ရန်အတွက် ဖစ်လ်တာပတ်လမ်းများကို အသုံးပြုရပါသည်။ အသုံးများသော ဖစ်လ်တာပတ်လမ်းများမှာ-

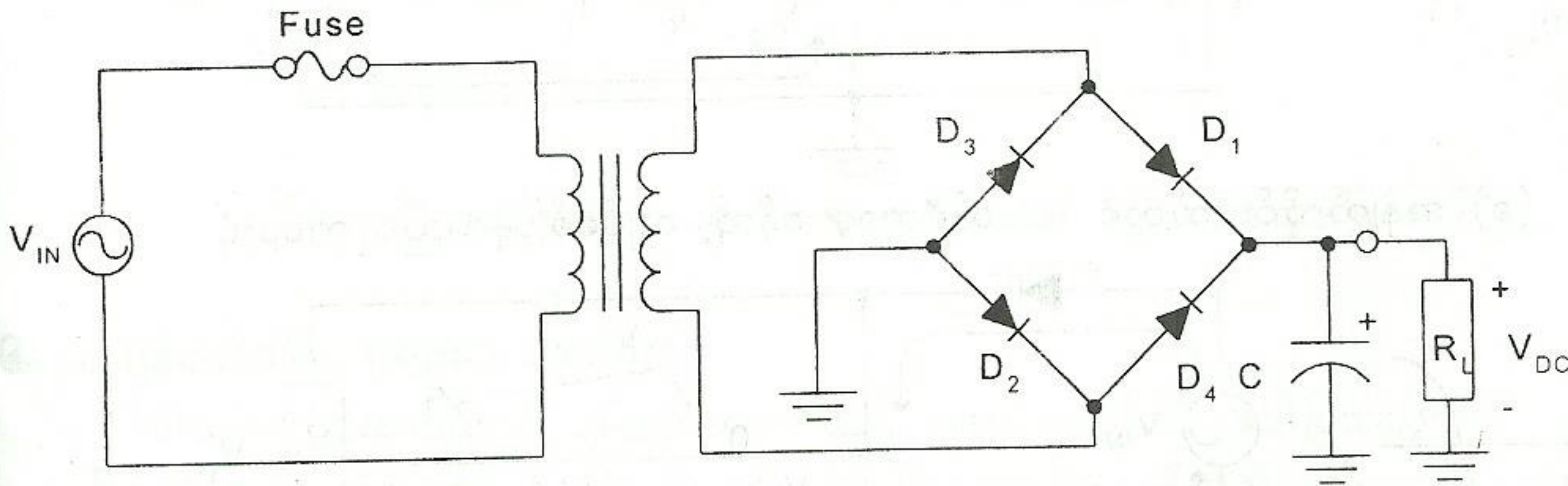
- (၁) ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာ (Capacitor Filter)
- (၂) အယ်လ်စီ ဖစ်လ်တာ (LC Filter)
- (၃) ပိုင်-ဖစ်လ်တာ ( $\pi$ -Type Filter) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

၉-၆-၁။ ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာ (Capacitor Filter)

ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာဆိုသည်မှာ ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းများ၏ အထွက်ပိုင်းတွင် ဝန်နှင့် ပြိုင်လျက် ကပယ်စီတာတစ်လုံးကို တပ်ဆင်ထားလိုက်ခြင်းပင် ဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၉-၁၀-က)တွင် လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ တွင် ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာတပ်ဆင်ထားပုံနှင့် ပုံ(၉-၁၀-ခ)တွင် လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာတွင် ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာတပ်ဆင်ထားပုံတို့ကို ဖော်ပြထားပါသည်။



(က) လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာတွင် ကပယ်စီတာဖစ်လ်တာ တပ်ဆင်ထားပုံ



(ခ) လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာတွင် ကပယ်စီတာဖစ်လ်တာ တပ်ဆင်ထားပုံ

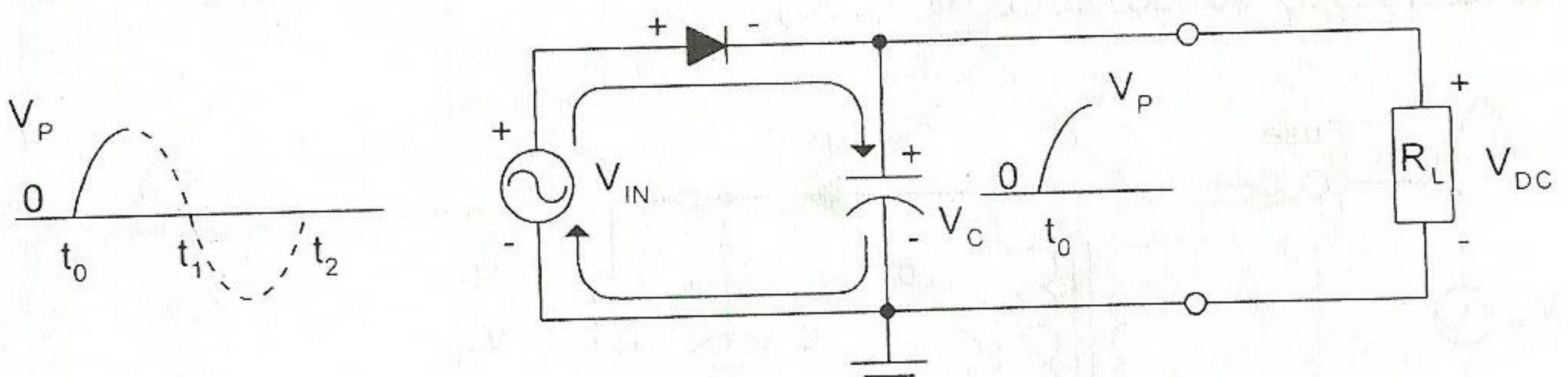
ပုံ(၉-၁၀) ရက်တီဖါယာပတ်လမ်းများတွင် ဖစ်လ်တာကပယ်စီတာ တပ်ဆင်ထားပုံ



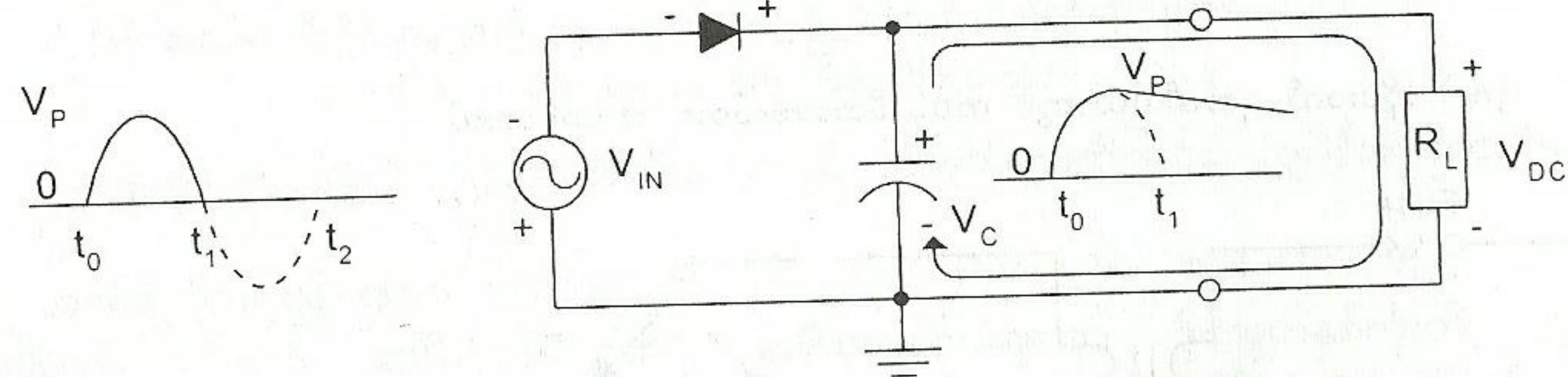
အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်ပတ်လမ်းများ

ပုံ(၉-၁၀-က)တွင်ဖော်ပြထားသော လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာမှ ကပယ်စီတာ ဖိလ်တာအလုပ်လုပ်ပုံကို အသေးစိတ်ဖော်ပြပါမည်။

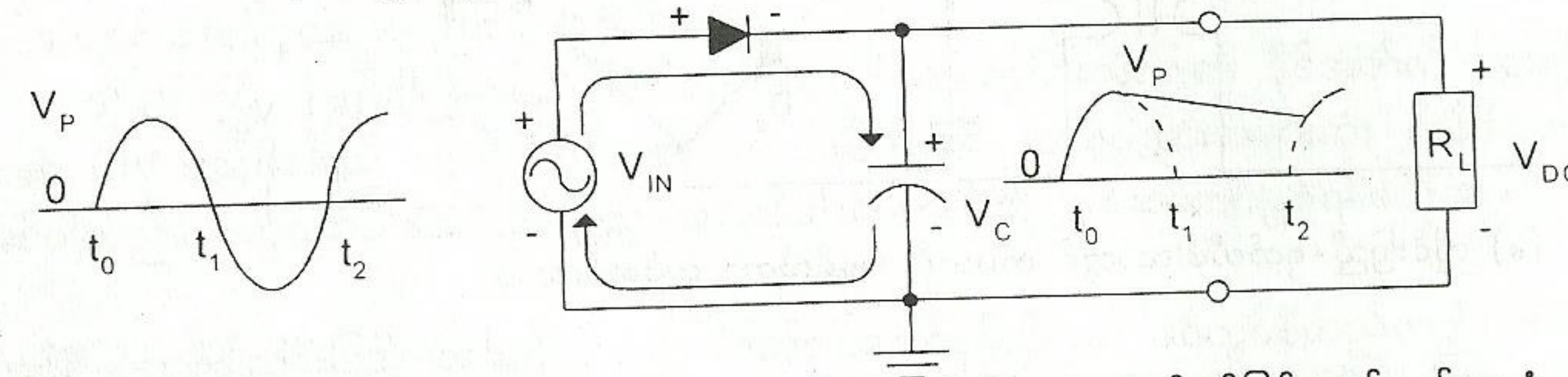
အဝင်လှိုင်း၏ပထမအပေါင်းလှိုင်းလေးပုံတစ်ပုံအချိန်တွင် ဒိုင်အုတ်သည် ဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်း ခံနေရပြီး ထိုအချိန်တွင် ကပယ်စီတာကိုလျှပ်စစ်သွင်းပေးပါသည်။ ဒိုင်အုတ်ကို စံပြဒိုင်အုတ်ဟုယူဆလျှင် ကပယ်စီတာသည် အဝင်လှိုင်းထိပ်မိုးအားတိုင်အောင် လျှပ်စစ်သွင်းယူပါသည်။ ပုံ(၉-၁၁-က)တွင်ကြည့်ပါ။ အဝင်လှိုင်းသည် ထိပ်ဆုံးရောက်ပြီးနောက် ပြန်လည်ကျဆင်းလာသောအခါ ဒိုင်အုတ်သည် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ် ပေးခြင်းခံရသောကြောင့် ယင်းကိုဖြတ်၍ လျှပ်စစ်မစီးနိုင်တော့ချေ။ ထိုအချိန်တွင် ကပယ်စီတာတွင် သိုလှောင်ထားသော လျှပ်စစ်များကို အချိန်ကိန်းသေ (time constant)  $(R_L C)$  နှုန်းထားအတိုင်း ဝန်ဆီသို့ ကျန်ရှိနေသောအချိန်အတွင်း လျှပ်စစ်ထုတ်ပေးနေပါသည်။ ပုံ(၉-၁၁-ခ)တွင်ကြည့်ပါ။ အများအားဖြင့် ထိုအချိန် ကိန်းသေတန်ဖိုးသည် အဝင်လှိုင်း၏ လွှဲချိန်  $T$  ထက်ကြီးလေ့ရှိပါသည်။ အချိန်ကိန်းသေတန်ဖိုးကြီးလေလေ ကပယ်စီတာမှ လျှပ်စစ်ထုတ်လွှတ်မှုနည်းလေလေ ဖြစ်ပါသည်။ အဝင်လှိုင်း၏ ဒုတိယအပေါင်းလှိုင်း လေးပုံတစ်ပုံ ပြန်ရောက်လာချိန်တွင် ဒိုင်အုတ်သည် ဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ် ပြန်လည်ပေးခြင်းခံနေရပြန်သဖြင့် ကပယ်စီတာတွင်ရှိနေသော မိုးအားထက်များလာသောအခါ ကပယ်စီတာကို လျှပ်စစ်သွင်းပေးပြန်ပါသည်။ ပုံ(၉-၁၁-ဂ)တွင်ကြည့်ပါ။



(က) ပထမအပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင် ကပယ်စီတာမှ လျှပ်စစ်စတင်သွင်းယူပုံ



(ခ) အနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် ကပယ်စီတာမှ ဝန်ဆီ လျှပ်စစ်ပြန်လည်ထုတ်ပေးပုံ



(ဂ) ဒုတိယအပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင် ကပယ်စီတာမှ လျှပ်စစ်ပြန်လည်သွင်းယူပုံ

ပုံ(၉-၁၁) လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာတွင် ကပယ်စီတာဖိလ်တာ အလုပ်လုပ်ပုံ



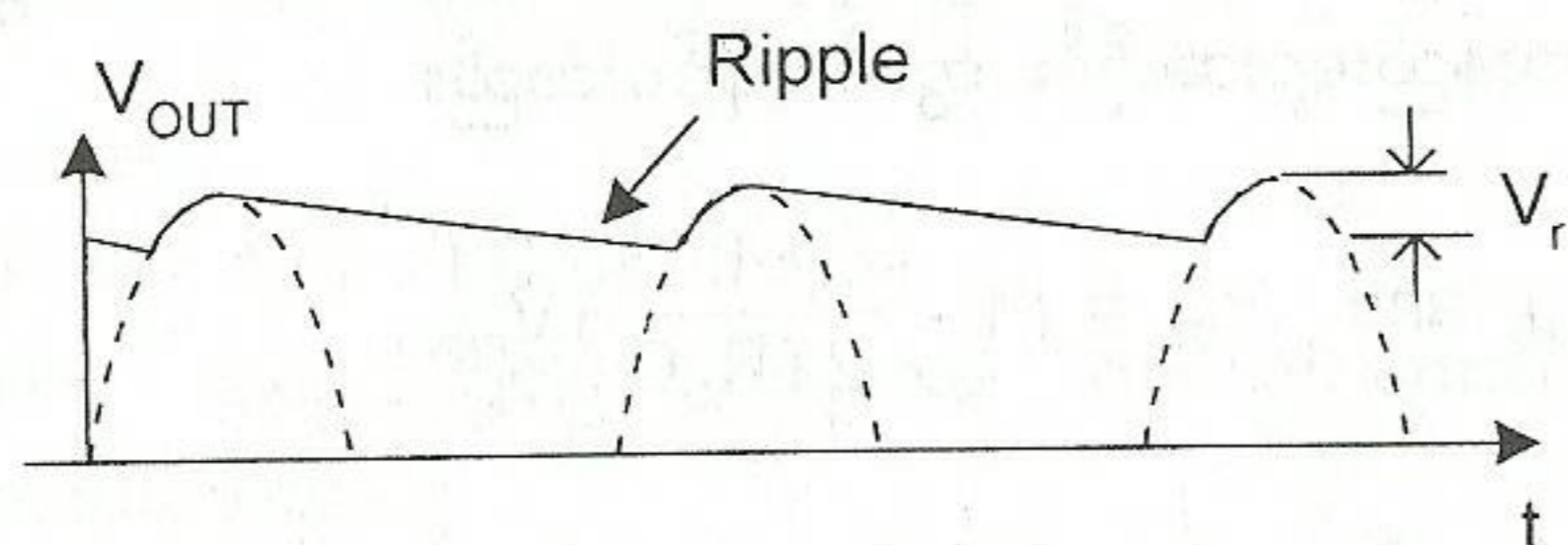
အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်းပတ်လမ်းများ

၉-၆-၂။ ရစ်ပယ်ဗို့အား (Ripple Voltage)

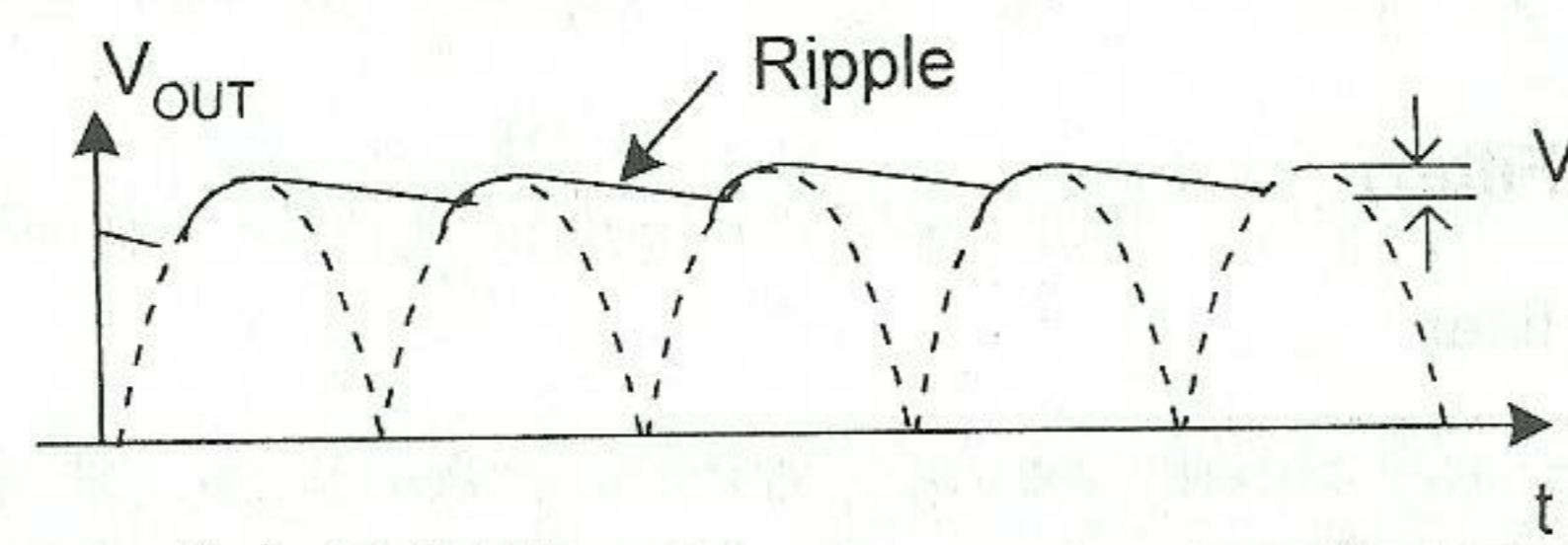
အထက်ပါပုံအရ အဝင်လှိုင်း၏ အစပိုင်းတွင် (ဒိုင်အုတ်ဖော်ဝင်ဒိုင်ယက်စ်ဖြစ်ချိန်) ကပယ်စီတာသည် အဝင်လှိုင်းထိပ်သို့ ရောက်သည့်တိုင်အောင် လျှင်မြန်စွာ လျှပ်စစ်သွင်းပြီးနောက် (ဒိုင်အုတ်ရီဗတ်စ်ဘိုင်ယက်စ် ဖြစ်ချိန်) ဖြည်းဖြည်းချင်း လျှပ်စစ်ပြန်ထုတ်လျက်ရှိပါသည်။ ထိုသို့ အထွက်လှိုင်းတွင် လျှပ်စစ်သွင်း/ထုတ် မှုကြောင့် ပြောင်းလဲနေသောဗို့အားကို ရစ်ပယ်ဗို့အား ဟုခေါ်ပါသည်။

သာမန်အားဖြင့် ရစ်ပယ်ဗို့အားသည် မလိုလားအပ်သောဗို့အားဖြစ်ပါသည်။ (ဖစ်လ်တာတစ်ခု၏ အရည်အချင်းကို သတ်မှတ်သည့်အခါ ရစ်ပယ်ဗို့အားနည်းလေလေ ဖစ်လ်တာ၏အရည်အချင်းကောင်းလေလေ (အထွက်ဗို့အားသည် ဒီစီဗို့အားနှင့်နီးစပ်လေလေ) ဖြစ်ပါသည်။

လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာ၏အထွက်လှိုင်းဖရီကွင်စီသည် အဝင်အစီဗို့အားလှိုင်းဖရီကွင်စီ(သို့မဟုတ်) လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာ၏ အထွက်လှိုင်းဖရီကွင်စီ၏နှစ်ဆ ဖြစ်သောကြောင့်လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာတွင် ကပယ်စီတာဖစ်လ်တာ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာထက်စာလျှင် ရစ်ပယ်ဗို့အား ပိုမိုနည်းပါးသွားကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းမှာ ကပယ်စီတာမှလျှပ်စစ်ထုတ်ရသည့်အချိန် လျော့ကျသွားသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၉-၁၂) တွင်ကြည့်ပါ။



(က) Half-Wave



(ခ) Full-Wave

ပုံ(၉-၁၂) ကပယ်စီတာ ဖစ်လ်တာမှအထွက်တွင် ရစ်ပယ်ဗို့အားဖြစ်ပေါ်ပုံ

၉-၆-၃။ ရစ်ပယ်ကိန်း (Ripple Factor)

ပါဝါဆပ်ပလိုင်းတစ်ခုတွင် ဖစ်လ်တာတစ်ခု၏ အရည်အချင်းကို ဖော်ပြသည့်အခါ ရစ်ပယ်ကိန်း (r) ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။ ရစ်ပယ်ကိန်း (r) ကို အောက်ပါအတိုင်း အဓိပ္ပာယ်သတ်မှတ်ပါသည်။

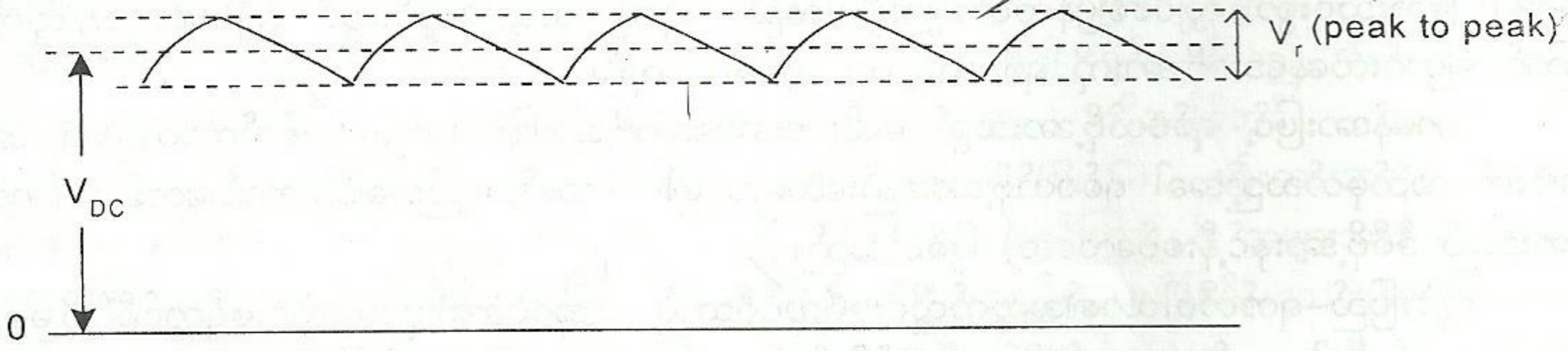
$$r = \frac{V_r}{V_{DC}}$$

ယင်းတွင် -

$V_{DC}$  သည် ဖစ်လ်တာမှ အထွက်ဒီစီဗို့အားဖြစ်ပြီး၊  $V_{r(p-p)}$  သည် ရစ်ပယ်ဗို့အားလှိုင်းထိပ် စွန်းနှစ်ခုအကြားတိုင်းတာရရှိသော တန်ဖိုးဖြစ်ပါသည်။



$V_{DC}$  နှင့်  $V_{r(p-p)}$  တို့ကိုတိုင်းတာပုံကို ပုံ(၉-၁၃)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ ရစ်ပယ်ကိန်းသည် ဂဏန်းငယ်လေလေ ဖစ်လ်တာ၏ အရည်အချင်းကောင်းလေလေပင် ဖြစ်ပါသည်။ ရစ်ပယ်ကိန်းငယ်စေရန်အတွက် ဖစ်လ်တာကပယ်စိတင်  $C$  တန်ဖိုးကြီးကြီးအသုံးပြုရမည်။ ထို့အပြင် အထွက်လျှပ်စီးကြောင်း အဆွဲနည်းသော ဝန်  $R_L$  ကြီးကြီးကို အသုံးပြုချိန်တွင်လည်း ရစ်ပယ်ကိန်းငယ်ပါသည်။



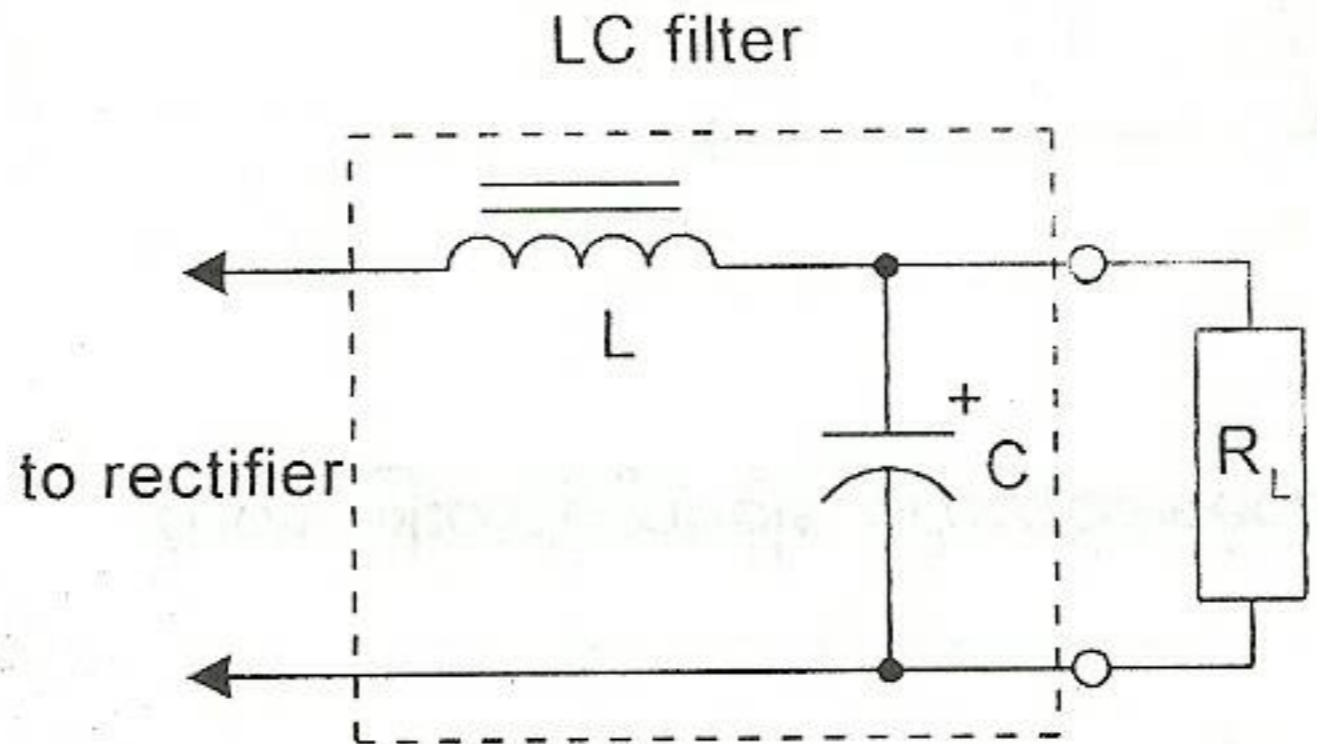
ပုံ(၉-၁၃)  $V_{DC}$  နှင့်  $V_{r(p-p)}$  တို့ကို တိုင်းတာပုံ

လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာတွင် လုံလောက်သော ကပယ်စိတင်တန်ဖိုးရှိသော ကပယ်စိတာ ဖစ်လ်တာကို အသုံးပြုထားစဉ်  $V_{DC}$  သည် ဖစ်လ်တာသို့အဝင်ဗို့အားများဆုံးတန်ဖိုး  $V_{P(IN)}$  ၏ ၁၀%အတွင်းရှိနေသည်ဆိုလျှင်  $V_{DC}$  နှင့်  $V_{r(p-p)}$  တို့ကို အောက်ပါပုံသေနည်းများအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$V_r = \left(\frac{1}{f R_L C}\right) V_{P(IN)} \text{ and } V_{DC} = \left(1 - \frac{1}{2f R_L C}\right) V_{P(IN)}$$

\* (ယင်းတွင်ဖရီကွင်စီ  $f$  သည် လှိုင်းဝက်-ရက်တီဖါယာအတွက် 50Hz ဖြစ်ပြီး၊ လှိုင်းပြည့်-ရက်တီဖါယာအတွက် 100Hz ဖြစ်ပါသည်။)

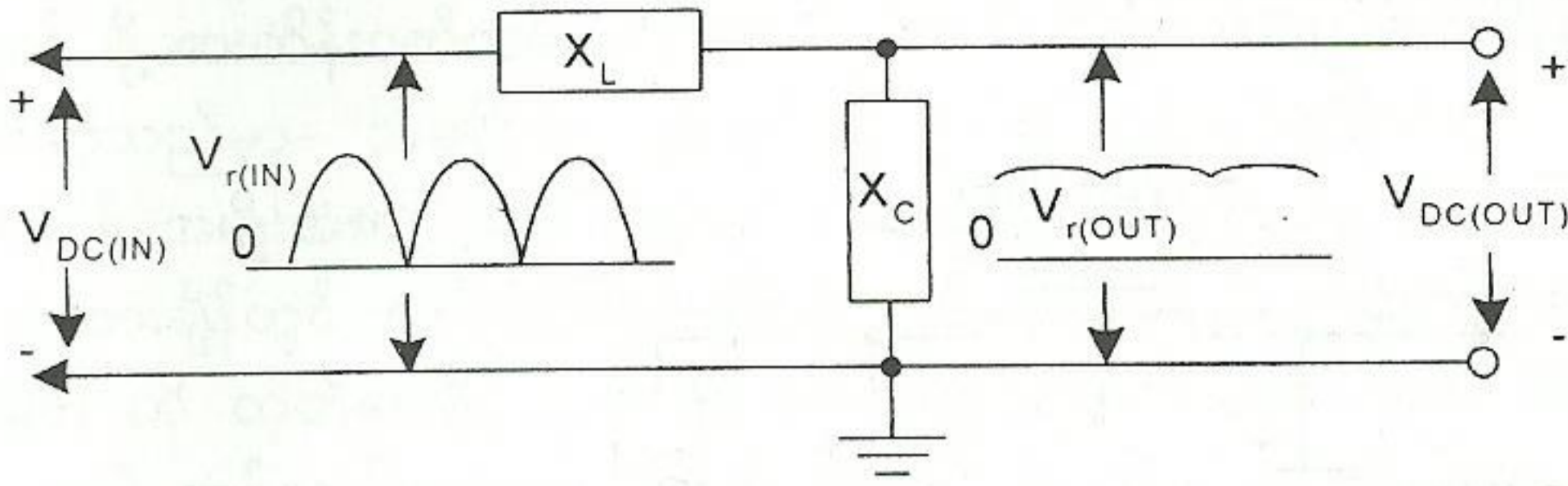
၉-၆-၄။ အယ်လ်စီ ဖစ်လ်တာ (LC Filter)



ပုံ(၉-၁၄) အယ်လ်စီ ဖစ်လ်တာပုံ

အယ်လ်စီဖစ်လ်တာတွင် အင်ဒတ်တာတစ်ခုကို ကပယ်စိတာ၏ရှေ့တွင် တန်းဆက်ထားပါသည်။ ပုံ(၉-၁၄) တွင်ကြည့်ပါ။ ထိုသို့ ပြုလုပ်လိုက်ခြင်းကြောင့် ရစ်ပယ်ဗို့အားပိုမိုလျော့ကျသွားပါသည်။ ရစ်ပယ်ဖရီကွင်စီတွင် အင်ဒတ်တာ၏ရီအက်တင် (reactance)  $X_L$  သည် ကြီးမားပြီး ကပယ်စိတာ၏ရီအက်တင်  $X_C$  သည် သေးငယ်နေပါသည်။ ထိုရီအက်တင်နှစ်ခုသည် ဗို့အားခွဲ (voltage divider) ပတ်လမ်းအဖြစ်တည်ရှိပြီး အထွက်ပိုင်းတွင် ရစ်ပယ်ဗို့အားကိုလျော့ချပစ်လိုက်ပါသည်။ ပုံ(၉-၁၅)တွင်ကြည့်ပါ။





ပုံ(၉-၁၅) အယ်လ်စီ ဖစ်လ်တာတွင် ရစ်ပယ်ဗို့အားလျော့ကျသွားပုံ

ထိုပုံအရ-အထွက်ပိုင်းတွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ရစ်ပယ်ဗို့အားကို အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$V_{r(OUT)} = \left( \frac{X_C}{|X_L - X_C|} \right) V_{r(IN)}$$

ယင်းတွင် -

$X_L = 2\pi fL$  ဖြစ်ပြီး  $X_C = 1/2\pi fC$  ဖြစ်ပါသည်။

အယ်လ်စီ ဖစ်လ်တာမှ အထွက်တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ရစ်ပယ်ဗို့အားသည် အများအားဖြင့် မီလီဗို့ mV အနည်းငယ်မျှသာရှိတတ်ပါသည်။

အလားတူပင် ဖစ်လ်တာ၏အထွက်ဒီစီဗို့အားကို အောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$V_{DC(OUT)} = \left( \frac{R_L}{R_W + R_L} \right) V_{DC(IN)}$$

ယင်းတွင် -

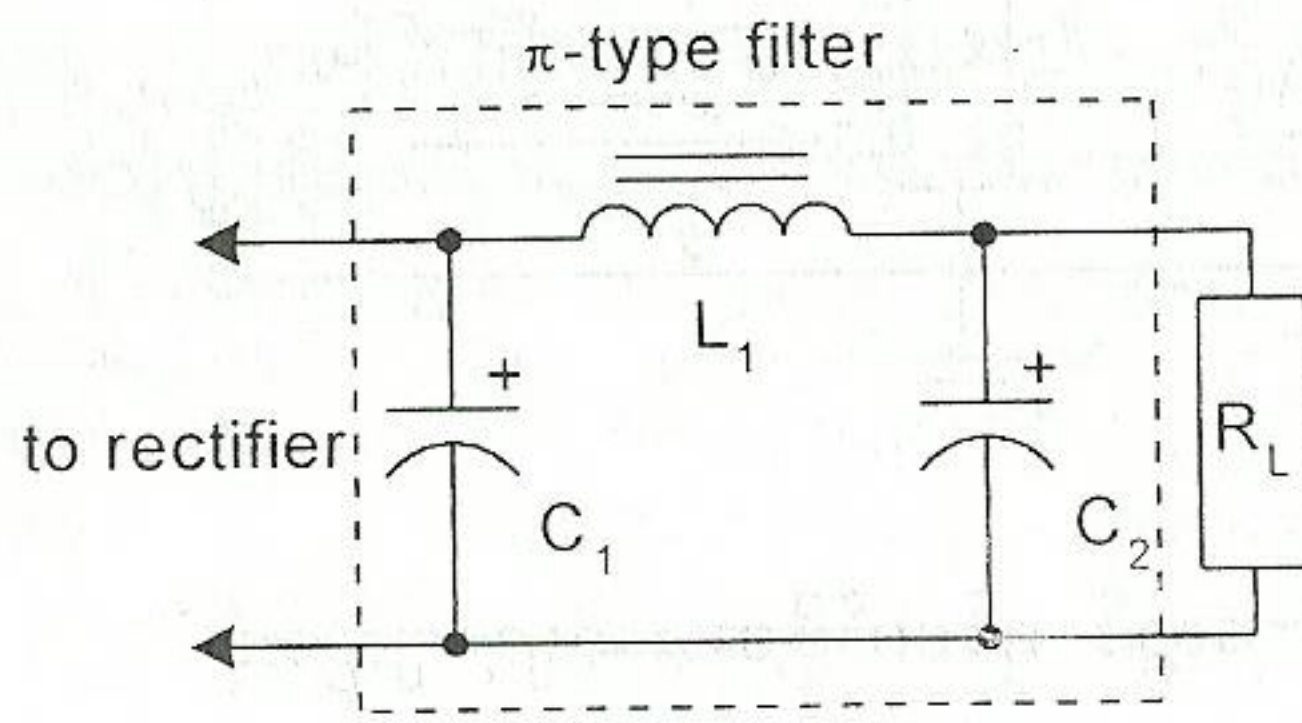
$R_L =$  ဝန်ခံမှုဖြစ်ပြီး  $R_W =$  အင်ဒတ်တာ၏ဝါယာကြိုးခုခံမှု ဖြစ်ပါသည်။

အများအားဖြင့်  $R_L$  ၏ တန်ဖိုးသည်  $R_W$  ထက်များစွာကြီးလေ့ရှိသဖြင့် ဖစ်လ်တာမှအထွက်ဒီစီဗို့အား  $V_{DC(OUT)}$  သည် ဖစ်လ်တာသို့ အဝင်ဒီစီဗို့အား  $V_{DC(IN)}$  နှင့် တူညီလှနီးပါးရှိသည်ဟု ယူဆနိုင်ပါသည်။

\* အယ်လ်စီဖစ်လ်တာ၏ထူးခြားသည့်အချက်မှာ-  $X_C$  တန်ဖိုးသည်  $R_L$  ထက်အလွန်ငယ်နေမည်ဆိုလျှင် ရစ်ပယ်ဗို့အားသည် ဝန်ခံမှုအပေါ်မူတည်ခြင်းမရှိဘဲ  $X_C$  နှင့်  $X_L$  တို့အပေါ်တွင်သာ မူတည်နေသည့် အချက်ပင်ဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတာဖစ်လ်တာတွင်မူကား ရစ်ပယ်ဗို့အားသည် ဝန်ခံမှု  $R_L$  နှင့် ပြောင်းပြန်အချိုးကျ ဆက်စပ်နေကြောင်းတွေ့ခဲ့ရပြီးဖြစ်ပေသည်။



၉-၆-၅။ ပိုင် ဖစ်လ်တာ ( $\pi$ -Type Filter)



ပုံ(၉-၁၆) ပိုင်-ဖစ်လ်တာပုံ

ပိုင်-ဖစ်လ်တာသည် ကပယ်စီတာဖစ်လ်တာ  $C_1$  နှင့် အယ်လ်စီဖစ်လ်တာ  $L_1$   $C_2$  တို့ကို ပေါင်းစပ်ထားခြင်းပင်ဖြစ်ကြောင်း သုံးသပ်ကြည့်နိုင်ပါသည်။

ရှေးဦးစွာ ပိုင်-ဖစ်လ်တာတွင် ကပယ်စီတာ  $C_1$  သည် အဝင်ဗို့အား၏ အများဆုံးတန်ဖိုးရောက်သည့် တိုင်အောင် လျှပ်စစ်သွင်းယူလိုက်ပြီးနောက် အဝင်လှိုင်းတပတ်၏ကျန်အချိန်တွင် ဝန်ဆီသို့လျှပ်စစ်ကို ဖြည်းညှင်းစွာ ပြန်လည်ထုတ်ပေးနေပါသည်။ တဖန် ထိုသို့လျှပ်စစ်ထုတ်လွှတ်မှုတွင် ဖြစ်ပေါ်လာသော ပြောင်းလဲခြင်းကို လျော့နည်းသွားအောင် အင်ဒတ်တာ  $L_1$  က တားဆီးပေးပြန်သည့်အတွက် အထွက်ပိုင်းတွင် ရစ်ပယ်ဗို့အားသည် သိသာစွာ လျော့ကျသွားပါတော့သည်။ ကပယ်စီတာ  $C_2$  က ထပ်ဆင့်၍ အထွက်ဒီစီဗို့အားကို တည်ငြိမ်အောင် ထိန်းပေးပါသည်။

ထို့ကြောင့် ဖစ်လ်တာပတ်လမ်းများအနက် ပိုင်-ဖစ်လ်တာသည် ရစ်ပယ်ဗို့အားကို အလျော့နည်းဆုံးဖြစ်အောင်လျော့ချပေးနိုင်သော ပတ်လမ်းတစ်ခုဖြစ်ပါသည်။

၉-၇။ တည်ငြိမ်ဗို့အား ပါဝါဆပ်ပလိုင်များ ( Stabilized Voltage Power Supplies)

ဖစ်လ်တာပတ်လမ်းများမှ ထွက်လာသောဒီစီဗို့အားသည် တည်ငြိမ်မှုမရှိဘဲ အကြောင်းနှစ်ခုကြောင့် ပြောင်းလဲနိုင်ပါသည်။ ပထမအကြောင်းမှာ-အဝင်အေစီလှိုင်းဗို့အားအတက်အကျပြောင်းလဲမှုကြောင့် အထွက်ဒီစီဗို့အားပြောင်းလဲခြင်း ( Line Regulation) ဖြစ်ပြီး ဒုတိယအကြောင်းမှာ- အထွက်ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်း (ဝန်လျှပ်စီးကြောင်း) ပြောင်းလဲမှုကြောင့် အထွက်ဒီစီဗို့အားပြောင်းလဲခြင်း ( Load Regulation) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

ထိုသို့အထွက်ဒီစီဗို့အားပြောင်းလဲမှုလျော့နည်းစေရန် တနည်းအားဖြင့် Line Regulation နှင့် Load Regulation ကောင်းမွန်လာစေရန် ပုံ(၉-၁)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဖစ်လ်တာ နှင့် ဝန်တို့အကြားတွင် ဗို့အားထိန်း ရီဂူလေတာ ပတ်လမ်းများ ( Voltage Regulator Circuits) ကို ထည့်သွင်းအသုံးပြုကြရပါသည်။

ရိုးရိုးဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများကို အဓိကအားဖြင့် Shunt Type နှင့် Series Type ဟူ၍ နှစ်မျိုးခွဲခြားထားပါသည်။

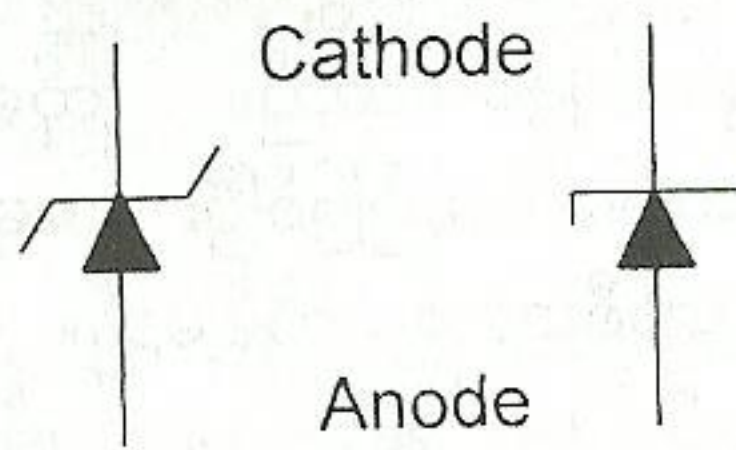
ရှေးဦးစွာ Shunt Type ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခုဖြစ်သည့် ဇီနာဒိုင်အုတ်ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်း (Zener Diode Voltage Regulator Circuit) အကြောင်းကို ဖော်ပြပါမည်။



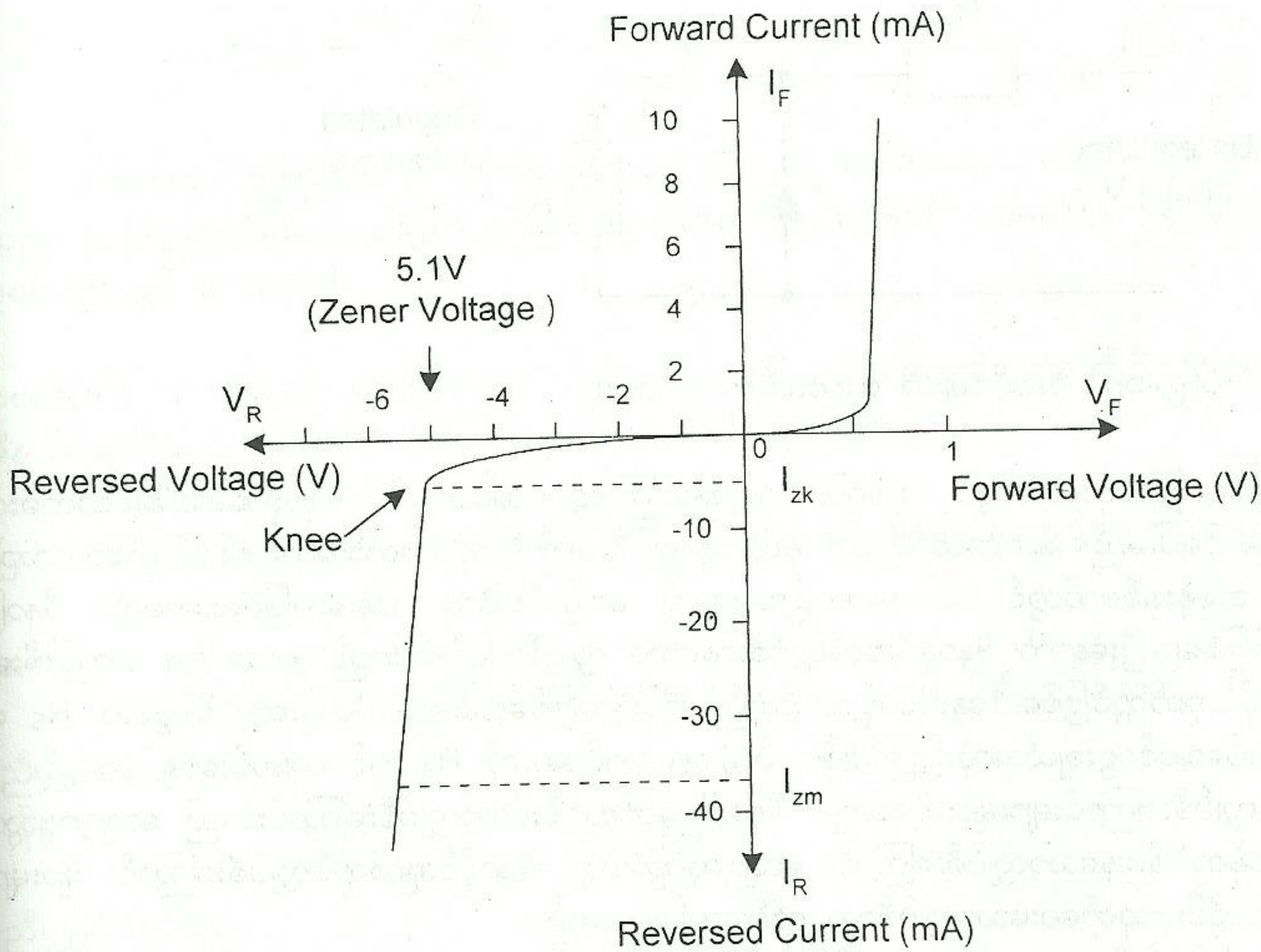
အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်ပတ်လမ်းများ

၉-၇-၁။ ဇီနာဒိုင်အုတ် ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်း ( Zener Diode Voltage Regulator Circuit )

ဇီနာဒိုင်အုတ်ဆိုသည်မှာ - သမရိုးကျ ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်၏ ဂျန်းရှင်းဧရိယာကို သမမျှတမှုရှိအောင် ပီ-အမ်ပိုးအစား နှင့် အင်န်-အမ်ပိုးအစား ဆီမီးကွန်ဒတ်တာများကို အချိုးကျကျ ရောစပ်ထားခြင်းဖြင့် ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားပေးထားချိန်တွင် ယင်း၏အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ကိန်းသေဇီနာပြုပျက်ဗို့အား ( Constant Zener Breakdown Voltage) ကို ထုတ်ပေးနိုင်သော ဒိုင်အုတ်အမ်ပိုးအစားကိုခေါ်ပါသည်။ ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံကို ပုံ(၉-၁၇) တွင်လည်းကောင်း ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ သဘာဝပြုများကို ပုံ(၉-၁၈)တွင် လည်းကောင်း အသီးသီးဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၉-၁၇) ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ



ပုံ(၉-၁၈) ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ သဘာဝပြုများပုံ

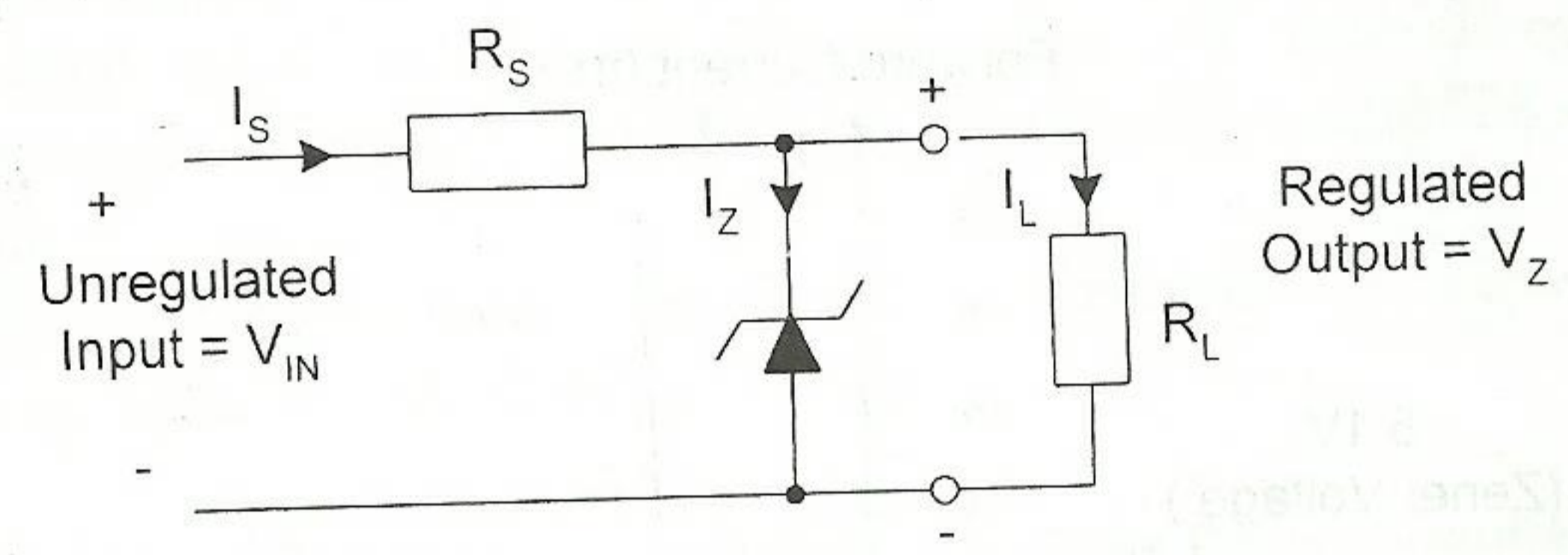


အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်းပတ်လမ်းများ

ဈေးကွက်တွင် 1.8V မှ 200V ထိ ကိန်းသေဗို့အား ထုတ်ပေးနိုင်သော ဇီနာဒိုင်အုတ်များကို ရရှိနိုင်ပါသည်။

ပုံ(၉-၁၈)တွင် ဖော်ပြထားသည့် ကိန်းသေဗို့အား 5.1V ထုတ်ပေးသော ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ သဘာဝပြု မျဉ်းကို လေ့လာကြည့်မည်ဆိုလျှင် ရီဗတ်စ်ဗို့အား  $V_R$  ကို တဖြည်းဖြည်းတိုးပေးလိုက်သောအခါ ရီဗတ်စ် လျှပ်စီးကြောင်း  $I_R$  သည် knee ဟုခေါ်သည့် အကွေး နေရာရောက်သည်အထိ အနည်းငယ်မျှသာ တိုးလာ သည်ကို တွေ့ရပါမည်။ ထို knee နေရာတွင် ရီဗတ်စ်ဗို့အား 5.1V ရှိပြီး ဇီနာပြုပျက်ခြင်း စတင်ဖြစ်ပေါ် လာပါသည်။ ဇီနာဒိုင်အုတ်သည် စတင်လျော့ကျသွားသည့်အတွက် ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_R$  သည် တစ်မဟုတ် ချင်းတိုးသွားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ knee နေရာအောက်ဖက်နားမှစတင်ကာ ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏ  $I_{ZK}$  မှ  $I_{ZM}$  အတွင်း ဇီနာဗို့အား 5.1V သည် ကိန်းသေနီးပါး ဖြစ်နေကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ ထိုအချက်သည် ဇီနာ ဒိုင်အုတ်၏ ဗို့အားထိန်းနိုင်သည့်အရည်အချင်းကို ဖော်ပြနေခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင် အနည်းဆုံး ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_{ZK}$  စီးနေမှသာ ဗို့အားထိန်းနိုင်မည်ဖြစ်ပြီး အများဆုံး ရီဗတ်စ်လျှပ်စီး ကြောင်းသည်  $I_{ZM}$  ထက် ကျော်လွန်သွားပါက ဇီနာဒိုင်အုတ်ပျက်စီးသွားပေလိမ့်မည်။ တနည်းအားဖြင့်ဆိုသော် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင် ဖြတ်စီးနေသော ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $I_{ZK}$  နှင့်  $I_{ZM}$  အကြားတွင်ရှိနေမှသာလျှင် ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ အစွန်းနှစ်ဖက် တွင်ကိန်းသေဗို့အား ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပြီး ဗို့အားထိန်းသည့်အလုပ်ကို လုပ်ပေးနိုင် မည်ဖြစ်ပေသည်။

ဇီနာဒိုင်အုတ်ကို ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းအဖြစ်အသုံးချပုံကို ပုံ(၉-၁၉)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၉-၁၉) ဇီနာဒိုင်အုတ် ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းပုံ

ပါဝါဆပ်ပလိုင်းပတ်လမ်းတွင် ဖစ်လ်တာနှင့် ဝန်အကြား၌ အထက်ပါ ဇီနာဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းကို ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ရပါမည်။ အဝင်အေစီဗို့အား နှင့် ဝန်လျှပ်စီးကြောင်းတို့အတော်အသင့် ပြောင်းလဲသော်လည်း ဇီနာဒိုင်အုတ်၏ အစွန်းနှစ်ဖက်တွင် ပေါ်နေသောဗို့အားသည် မပြောင်းလဲဘဲ ကိန်းသေဖြစ်နေပေမည်။ ဇီနာပြု ပျက်ဗို့အားစတင်ဖြစ်ပေါ်ပြီးနောက် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $I_{ZK}$  မှ  $I_{ZM}$  အတွင်းစီးနေ သည့်အခါ ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသောဗို့အားသည် ကိန်းသေဖြစ်နေပေမည်။ တန်းဆက်ရီစစ္စတာ  $R_S$  ၏ တန်ဖိုးကို မှန်ကန်အောင်ရွေးချယ်အသုံးပြုခြင်းဖြင့် ပိုလျှံနေသောဗို့အားကို  $R_S$  တွင် ကျဆင်းစေနိုင်ပေမည်။ ဝန်တွင်လျှပ်စီးကြောင်းများများဆွဲနေလျှင် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင်စီးသောလျှပ်စီးကြောင်းသည် လျော့ကျသွား ပြီး အကယ်၍ ဝန်တွင်စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်း လျော့ကျသွားလျှင် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင်လျှပ်စီးကြောင်း များများ စီးနေမည်။ ဆပ်ပလိုင်းမှထုတ်ပေးသောလျှပ်စီးမှာ ကိန်းသေဖြစ်နေမည်။

အောက်ပါညီမျှခြင်းများသည် ဇီနာဒိုင်အုတ်ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခုကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်သည့်အခါ အသုံးပြုရမည့် ညီမျှခြင်းများဖြစ်ကြပါသည်။



$I_s = I_z + I_L \dots\dots\dots(1)$

$V_{IN} = I_s \times R_s + V_z \dots\dots\dots(2)$

$R_s = \frac{V_{IN} - V_z}{I_s} \dots\dots\dots(3)$

$P_z = I_{zM} V_z \dots\dots\dots(4)$

ယင်းတွင် -

$P_z$  = ဇီနာဒိုင်အုတ်ခံနိုင်သောပါဝါ

$I_{zM}$  = ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင် အများဆုံးစီးနိုင်သောလျှပ်စီးကြောင်း

$V_z$  = ဇီနာပို့အား

တန်းဆက်ရီစစ္စတာ  $R_s$  ၏ အနည်းဆုံးတန်ဖိုးကို တွက်သည့်အခါ ဝန်ဖြုတ်ထားချိန် (Off-Load) အခြေအနေတွင် တွက်နိုင်ပါသည်။ ထိုအချိန်တွင် ဇီနာဒိုင်အုတ်သည် ဆပ်ပလိုင်မှထုတ်ပေးသော လျှပ်စီးကြောင်းအားလုံးကို လက်ခံရပေမည်။ တနည်းအားဖြင့်  $I_L = 0$  ဖြစ်သောကြောင့်  $I_s = I_z + 0 = I_{zM}$  ဖြစ်ရပေမည်။ ထိုအခါ -

$R_{s(min)} = \frac{V_{IN} - V_z}{I_{zM}} \dots\dots\dots(5)$

အထက်ပါညီမျှခြင်းအရ တွက်ယူရရှိသော  $R_s$  ၏ တန်ဖိုးကို အသုံးပြုမည်ဆိုပါက ဇီနာဒိုင်အုတ်သည် ပုံမှန်ပို့အားထိန်းပေးမည်ဖြစ်ပေသည်။ ဇီနာဒိုင်အုတ်ပို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု ဒီဇိုင်းလုပ်ပုံကို အောက်ပါဥပမာများတွင် လေ့လာပါ။

ဥပမာ(၁)။ ။ ပုံ(၉-၁၉)တွင်ပြထားသော ဇီနာပို့အားထိန်းပတ်လမ်းတွင် အဝင်ဒီစီပို့အားသည် 18V ရှိပြီး ဇီနာဒိုင်အုတ်သည် 12V/400mW ဖြစ်သည်။ အောက်ပါတို့ကိုတွက်ပါ။

- (က) သင့်တော်သော  $R_s$  ၏ တန်ဖိုးကိုတွက်ပါ။
- (ခ) အကယ်၍ ဝန်ခံမှုသည် 2kΩ ဖြစ်ခဲ့လျှင် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင် စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်းကိုရှာပါ။

အဖြေ။ ။ (က) ပေးထားချက်အရ -

$P_z = 400mW = 0.4W, V_z = 12V, V_{IN} = 18V$  ဖြစ်သောကြောင့်.

ညီမျှခြင်း(၄)အရ -  $P_z = I_{zM} \times V_z$

ထိုမှ  $I_{zM} = \frac{P_z}{V_z} = \frac{0.4W}{12V} = 0.0333 A$

ညီမျှခြင်း(၅)အရ -

$R_{s(min)} = \frac{V_{IN} - V_z}{I_{zM}} = \frac{18 - 12}{0.0333} = 180\Omega$  ←



တဖန်ရီစစ္စတာ၏ ပါဝါခံနိုင်မှုကိုတွက်သော်-

$$P_R = (I_{ZM})^2 \times R_S = (0.0333)^2 \times 180\Omega = 0.199W$$

180Ω/ 0.199W ရီစစ္စတာသည် လက်တွေ့တွင်မရှိနိုင်သဖြင့် လက်တွေ့တွင်ရှိနိုင်သော 180Ω/ 0.5W ရီစစ္စတာကို R<sub>S</sub> အဖြစ်အသုံးပြုမည်ဆိုလျှင် ပိုမိုစိတ်ချရပါသည်။

(ခ) V<sub>IN</sub> သည် 18V တွင် မပြောင်းလဲသောကြောင့် လျှပ်စီးကြောင်း I<sub>S</sub> သည် ဝန်ခံမှု R<sub>L</sub> = 2kΩ အတွက် ကိန်းသေဖြစ်နေမည်။ ထိုတန်ဖိုးသည် I<sub>S</sub> = I<sub>ZM</sub> = 0.0333A = 33.3mA ဖြစ်ပေမည်။ တဖန် ဝန်လျှပ်စီးကြောင်း I<sub>L</sub> ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{12V}{2k\Omega} = 6mA$$

ထိုအခါ ညီမျှခြင်း (၁) အရ-

$$I_S = I_Z + I_L$$

ဖြစ်သောကြောင့် ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင်စီးနေသောလျှပ်စီး I<sub>Z</sub> ကိုအောက်ပါအတိုင်းတွက်ယူနိုင်ပါသည်။

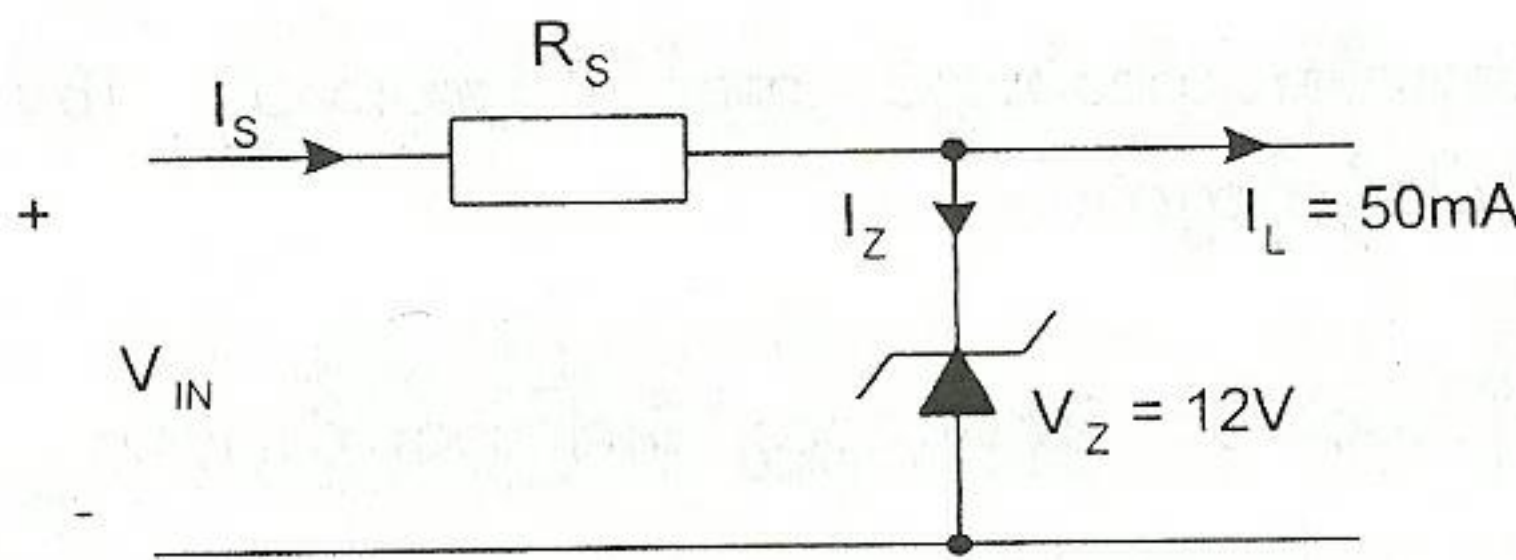
$$\begin{aligned} I_Z &= I_S - I_L \\ &= 33.3mA - 6mA \\ &= 27.3mA \end{aligned}$$



ဥပမာ(၂)။ ။ ပုံ(၉-၂၀)တွင်ပြထားသော ဇီနာဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတွင် အဝင်ဒီစီဗို့အားသည် 23.5V ရှိပြီး ဇီနာဗို့အားသည် 12V ဖြစ်သည်။ အောက်ပါတို့ကိုတွက်ပါ။

(က) ဇီနာဒိုင်အုတ်တွင်စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်းသည် 25mA ဖြစ်စေရန် R<sub>S</sub> ၏ တန်ဖိုးမည်မျှရှိရမည်နည်း။

(ခ) အထက်ပါ R<sub>S</sub> တန်ဖိုးနှင့် ပေးထားသော ဝန်လျှပ်စီးကြောင်းတန်ဖိုးတို့အတွက် ဇီနာတွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းသည် 0mA နှင့် 40mA အတွင်းစီးနေစေရန် အဝင်ဗို့အားသည် အနည်းဆုံးနှင့် အများဆုံး မည်မျှထိပြောင်းလဲနိုင်မည်နည်း။



ပုံ(၉-၂၀) ဥပမာ(၂)အတွက် ဇီနာဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းပုံ

အဖြေ။ ။(က) ပေးထားချက်အရ- I<sub>Z</sub> = 25mA; I<sub>L</sub> = 50mA ဖြစ်သောကြောင့် ညီမျှခြင်း(၁)အရ

$$\begin{aligned} I_S &= I_Z + I_L \\ &= 25mA + 50mA = 75mA \end{aligned}$$

$$\therefore R_S = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_S} = \frac{23.5 - 12}{75mA} = 0.1533k\Omega \approx 150\Omega$$





(ခ) ပေးထားချက်အရ-  $I_{ZK} = 0\text{mA}$ ;  $I_{ZM} = 40\text{mA}$  ဖြစ်သည်။

$V_{IN(\text{min})} = I_{S(\text{min})} \times R_S + V_Z$  ;  $V_{IN(\text{max})} = I_{S(\text{max})} \times R_S + V_Z$  အသီးသီးဖြစ်ကြပေမည်။

$I_{S(\text{min})} = I_{ZK} + I_L = 0\text{mA} + 50\text{mA} = 50\text{mA}$

$I_{S(\text{max})} = I_{ZM} + I_L = 40\text{mA} + 50\text{mA} = 90\text{mA}$

ထို့ကြောင့်-

$V_{IN(\text{min})} = I_{S(\text{min})} \times R_S + V_Z$   
 $= 50\text{mA} \times 0.15\text{k}\Omega + 12\text{V}$   
 $= 19.5\text{V}$  ←

$V_{IN(\text{max})} = I_{S(\text{max})} \times R_S + V_Z$   
 $= 90\text{mA} \times 0.15\text{k}\Omega + 12\text{V}$   
 $= 25.5\text{V}$  ←

ပေးထားသောပတ်လမ်းအတွက် အဝင်ဗို့အားသည် အနည်းဆုံး 19.5V နှင့်အများဆုံး 25.5V အကြား ပြောင်းလဲနေသော်လည်း အထွက်ဗို့အားသည် 12V တွင်ကိန်းသေဖြစ်နေကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

လက်တွေ့အသုံးများသော ဇီနာဒိုင်အုတ်အချို့၏ ဒေတာအချက်အလက်များကို အောက်ပါဇယားတွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

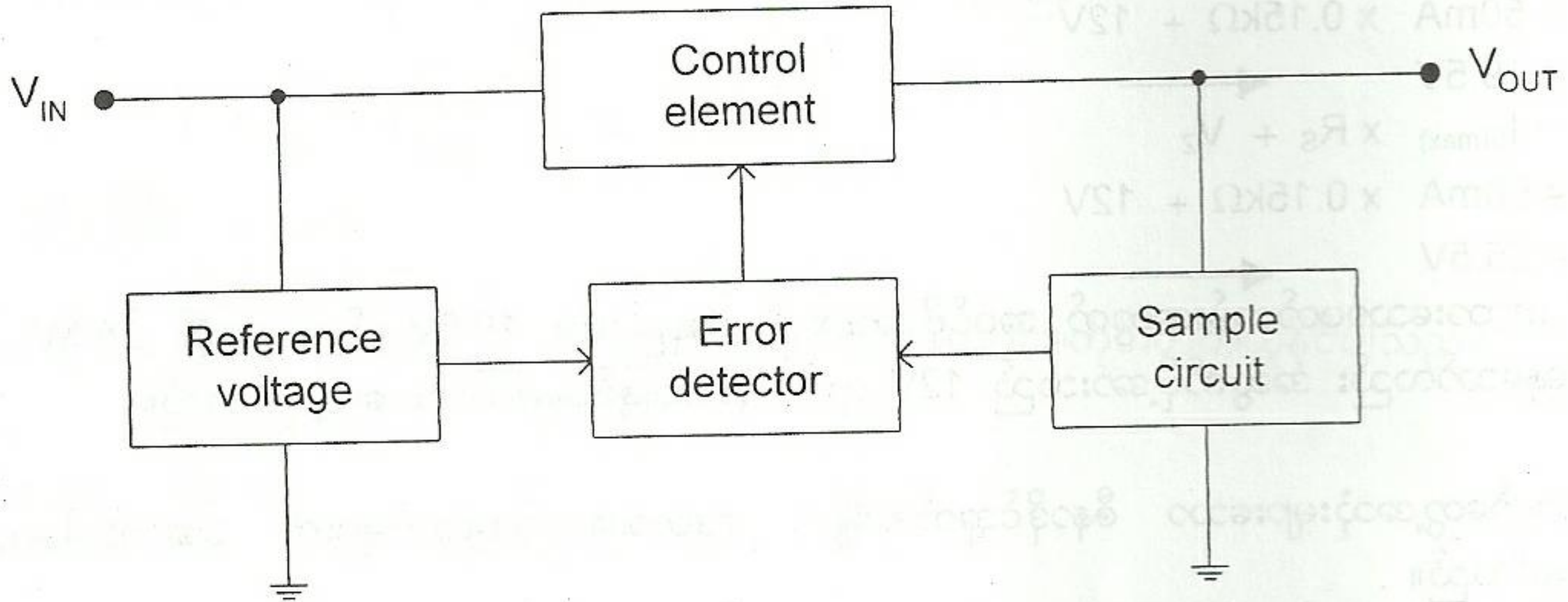
Zener Diode Data

Type No.	Nominal Zener Voltage $V_Z$ (V)	$I_{ZK}$ (mA)	$P_Z$ (watt)
1N4728	3.3	1.0	1.0
1N4730	3.9	1.0	1.0
1N4732	4.7	1.0	1.0
1N4733	5.1	1.0	1.0
1N4735	6.2	1.0	1.0
1N4736	6.8	1.0	1.0
1N4737	7.5	0.5	1.0
1N4739	9.1	0.5	1.0
1N4742	12.0	0.25	1.0
1N4743	13.0	0.25	1.0
1N4744	15.0	0.25	1.0
1N4746	18.0	0.25	1.0
1N4749	24.0	0.25	1.0
1N4751	30.0	0.25	1.0
1N4752	33.0	0.25	1.0
1N4753	36.0	0.25	1.0
1N4754	39.0	0.25	1.0
1N4755	43.0	0.25	1.0
1N4756	47.0	0.25	1.0
1N4757	51.0	0.25	1.0



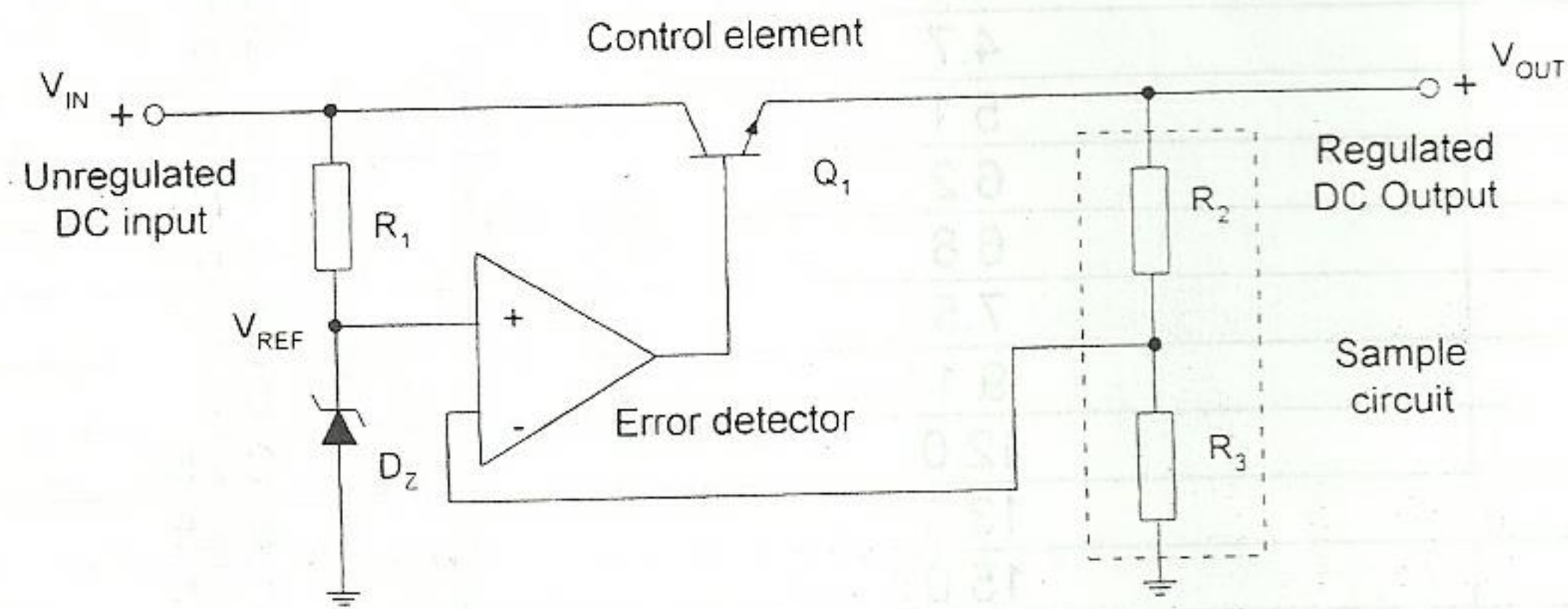
၉-၇-၂။ Linear Series Type ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ

ဆက်လက်၍ Linear Series Type ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ ကိုဖော်ပြပါမည်။ ဤအမျိုးအစားတွင် အထိန်းထရန်စစ္စတာ (control element transistor) သည် အဝင်ဗို့အားနှင့်အထွက်ဗို့အားတို့အကြားတွင် တည်ရှိပြီး ဝန်နှင့်တန်းဆက်ထားသည့် အနေအထားတွင်ရှိနေသောကြောင့် တန်းဆက်ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်း ဟုခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်ပါသည်။ Linear Series Type ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု၏ အခြေခံဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံ ကို အောက်ပါပုံ(၉-၂၁)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၉-၂၁) Linear Series Type ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု၏ အခြေခံဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံ

အခြေခံကျသောတန်းဆက်ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု တည်ဆောက်ပုံကိုအောက်ပါ ပုံ(၉-၂၂) အတိုင်း တွေ့ရပေမည်။



ပုံ(၉-၂၂) အခြေခံ တန်းဆက်ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတည်ဆောက်ပုံ

အထွက်ဗို့အားပြောင်းလဲမှုကို Sample circuit မှ အာရုံခံ (sense) လုပ်ပါသည်။ Error detector သည် Sample circuit မှ အာရုံခံ၍ရသောဗို့အားပြောင်းလဲမှုကို Reference voltage နှင့်နှိုင်းယှဉ်ကာ Control element transistor တွင် လျှပ်စီးမှုကို လိုအပ်သလို အတိုးအလျှော့လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် အထွက်ဗို့အား ပြောင်းလဲမှုကို ချေဖျက်ပေးပါသည်။ ထိုနည်းအားဖြင့် အထွက်ဗို့အားသည် အဝင်ဗို့အားပြောင်းလဲ၍သော်လည်းကောင်း၊ ဝန်လျှပ်စီးပြောင်းလဲ၍သော်လည်းကောင်း လိုက်၍မပြောင်းလဲဘဲ တသတ်မတ်တည်းရှိနေပါသည်။



အခန်း(၉) ပါဝါဆပ်ပလိုင်းပတ်လမ်းများ

Error detector သည် ထရန်စစ္စတာတစ်လုံး သို့မဟုတ် Operational Amplifier (Op-Amp) IC တစ်လုံးဖြစ်နိုင်ပါသည်။ ထရန်စစ္စတာကိုအသုံးပြုလျှင် ဗို့အားထိန်းမှုအရည်အချင်း အသင့်အတင့်သာရနိုင်ပြီး Op-Amp ကိုအသုံးပြုမည်ဆိုပါက ဗို့အားထိန်းမှုအရည်အချင်းအလွန်ကောင်းမွန်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ Op-Amp ကို Error detector အဖြစ်အသုံးပြုထားသော တန်းဆက်ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်း၏ အထွက်ဗို့အားကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းအရ တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$V_{OUT} \cong (1 + \frac{R_2}{R_3})V_{REF}$$

၉-၈။ ၎တ်(၃)၎တ် ပါဝင်သော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ (Three Terminal IC Voltage Regulators)

အဝင် (input) အထွက် (output) နှင့် မြေစိုက် (ground or common) ဟူ၍ ၎တ်(၃)ချောင်းသာ ပါဝင်သော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ (Three Terminal Voltage Regulators) အကြောင်းကို ဆက်လက် ဖော်ပြသွားပါမည်။ ဦးစွာ ကိန်းသေဗို့အားထုတ်ပေးသော အိုင်စီပတ်လမ်းများကို ဖော်ပြပါမည်။

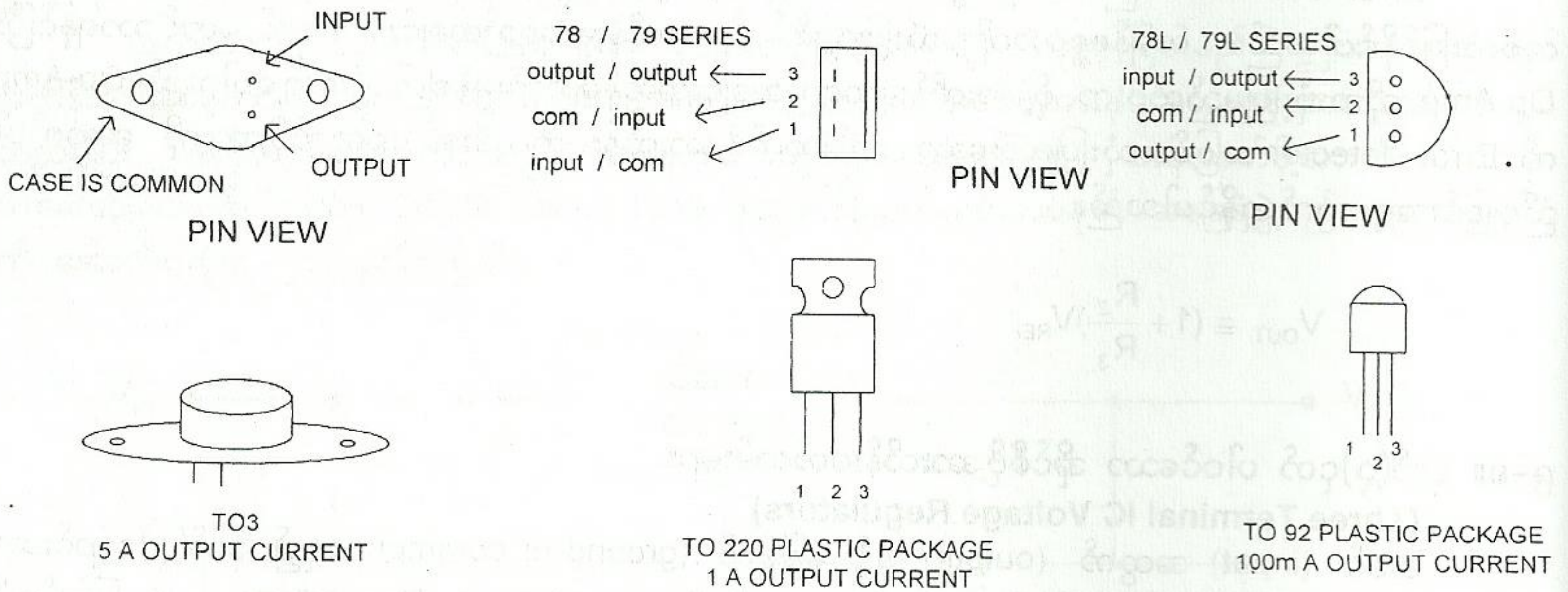
ယခုခေတ်အခါတွင် အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများသည် တည်ဆောက်မှုလွယ်ကူခြင်း၊ အရည်အချင်း ပိုမိုကောင်းမွန်ခြင်း၊ နေရာယူမှုကျဉ်းခြင်း၊ လျှပ်စီးကြောင်းအဆွဲလွန်ခြင်းနှင့် အပူချိန်မြင့်တက်လာခြင်းတို့ အတွက် အလိုအလျောက် ကာကွယ်နိုင်ခြင်းစသည့် အရည်အချင်းကောင်းတို့ကြောင့် ပိုမိုအသုံးများလာကြ ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် ၎တ်(၃)ချောင်းသာ ပါဝင်သော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများတွင် ဇီနာဒိုင်အုတ်၊ အထိန်းထရန်စစ္စတာ လျှပ်စီးလွန်ကန့်သတ်ပတ်လမ်း၊ စသည်တို့ကို ပေါင်းစပ်ပတ်လမ်း (အိုင်စီ) အတွင်း တခါတည်း ထည့်သွင်းတည်ဆောက်ထားခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

အဓိကအားဖြင့် ၎တ်သုံးချောင်းသာပါဝင်သော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများကို 78xx series နှင့် 79xx series ဟူ၍ နှစ်မျိုးနှစ်စားတွေ့နိုင်ပါသည်။ 78xx series သည် အပေါင်းဗို့အားများအတွက်ဖြစ်ပြီး 79xx series သည်အနှုတ်ဗို့အားများအတွက်ဖြစ်ပါသည်။ နောက်ဆုံးကိန်းဂဏန်းနှစ်လုံးသည် ထုတ်ပေးမည့် ကိန်းသေ ဗို့အားတန်ဖိုးကို ဖော်ပြပါသည်။

ဥပမာ။ ။ 7805 သည် ကိန်းသေအပေါင်းဗို့အား +5V ကိုထုတ်ပေးနိုင်သော အိုင်စီဖြစ်ပြီး 7905 သည် ကိန်းသေအနှုတ်ဗို့အား -5V ကိုထုတ်ပေးနိုင်သော အိုင်စီဖြစ်ပါသည်။ အလားတူပင် အပေါင်း/အနှုတ် 5V, 6V, 8V, 9V, 12V, 15V, 18V, 24V စသည့် ကိန်းသေ ဗို့အားများကိုထုတ်ပေးနိုင်သော အိုင်စီနံပါတ်များကို ဈေးကွက်တွင် တွေ့နိုင်ပါသည်။

အသုံးများသော အရွယ်အစား၊ ပုံသဏ္ဍာန် နှင့် ခြေထောက်၎တ်နံပါတ် အနေအထားတို့ကို ပုံ(၉-၂၃) တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

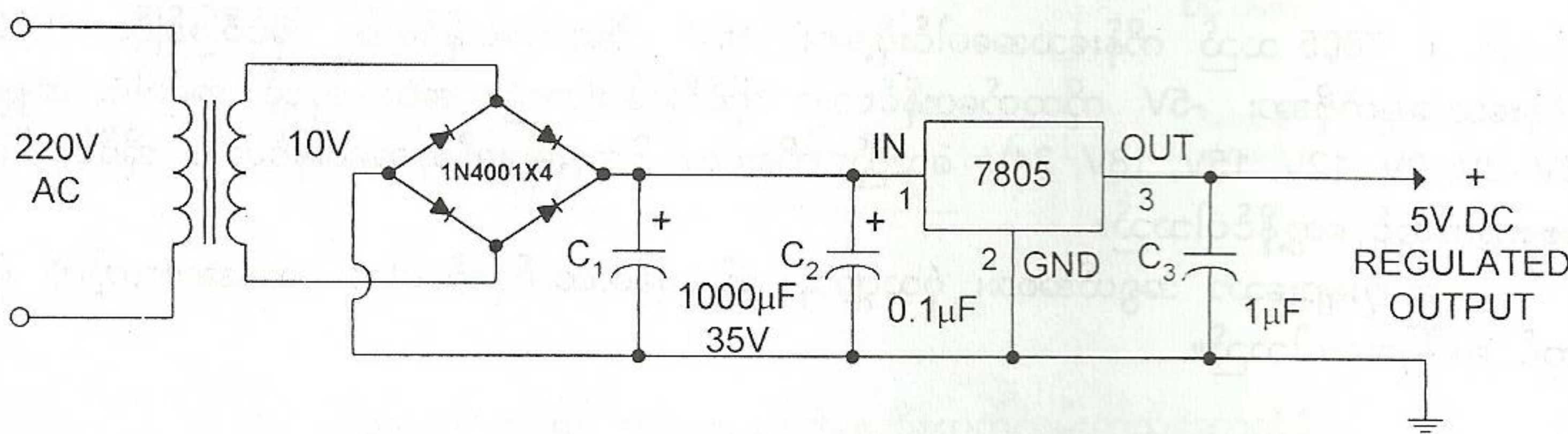




ပုံ(၉-၂၃) ဗို့အားထိန်း အိုင်စီများ၏ ၎င်းအနေအထားပြပုံ

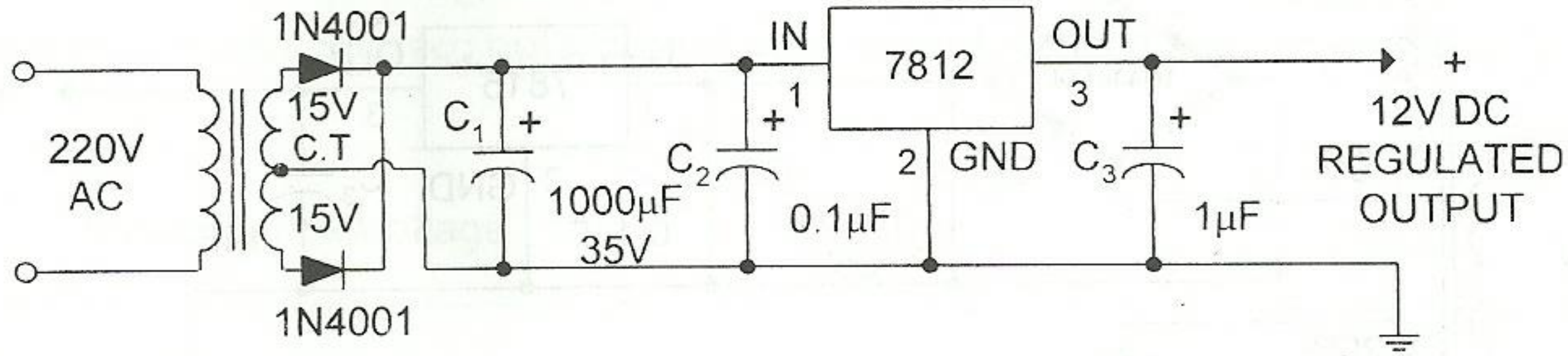
၉-၉။ ၎င်း(၃)ခုပတ်လမ်းကိန်းသေဗို့အား အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများ  
(Three Terminal Fixed Voltage IC Regulator Circuits)

ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများအနက် TTL အိုင်စီသုံးပတ်လမ်းများတွင် အသုံးပြုရသော ပါဝါဆပ်ပလိုင်းဗို့အားသည် ကိန်းသေတန်ဖိုး +5V ဖြစ်ရန်လိုပါသည်။ ထိုဆပ်ပလိုင်းဗို့အားအတွက် 7805 ဗို့အားထိန်းအိုင်စီပါဝင်သော ပတ်လမ်းကိုတည်ဆောက် အသုံးပြုကြပါသည်။ ပုံ(၉-၂၄) တွင်ကြည့်ပါ။ အလားတူပင် စီမော့စ် (CMOS) အိုင်စီသုံးပတ်လမ်းများနှင့် အော့ပ်အမ် (OP AMP) ပတ်လမ်းများအတွက် 7812 ကို သုံးထားသော +12V ထုတ်ပေးနိုင်သော ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းကို ပုံ(၉-၂၅) တွင်လည်းကောင်း 7815 နှင့် 7915 တို့ကို အသုံးပြုထားသော ±15V ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းကို ပုံ(၉-၂၆) တွင်လည်းကောင်း အသီးသီး ဖော်ပြထားပါသည်။



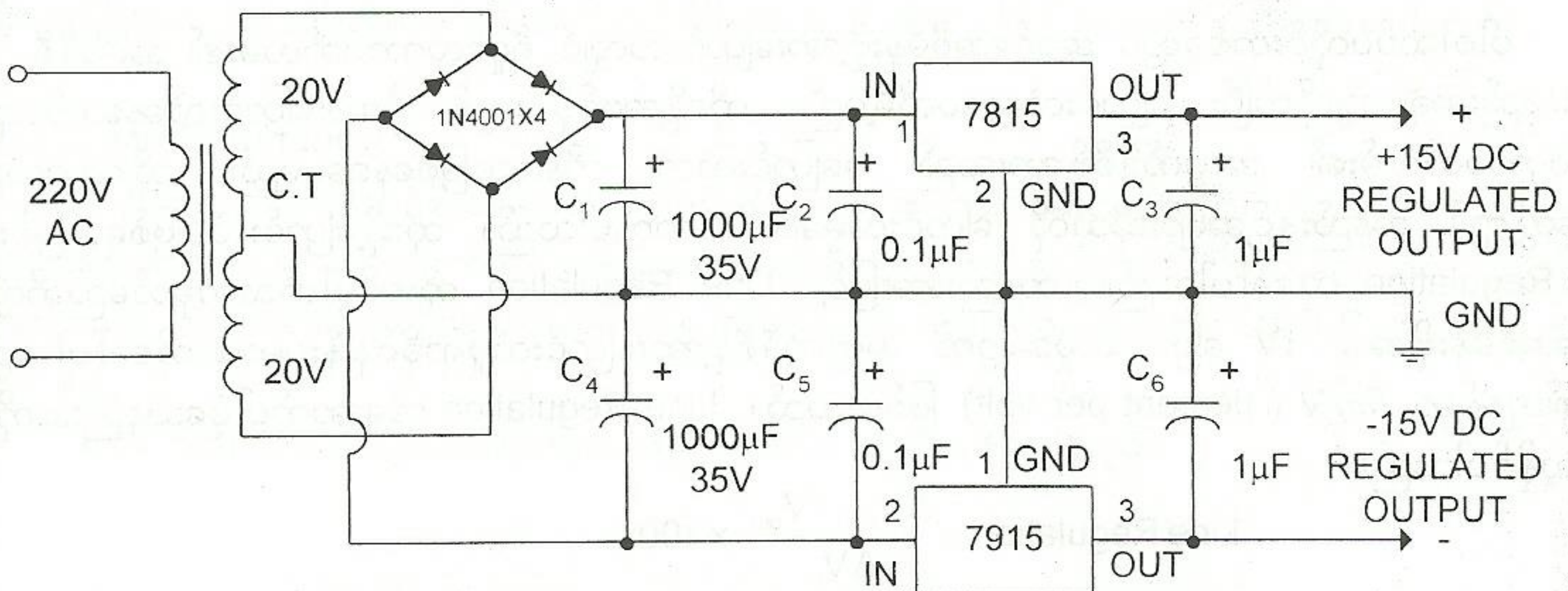
ပုံ(၉-၂၄) ကိန်းသေဗို့အား +5V ထုတ်ပေးသော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းပုံ





ပုံ(၉-၂၅) ကိန်းသေဗို့အား +12V ထုတ်ပေးသော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းပုံ

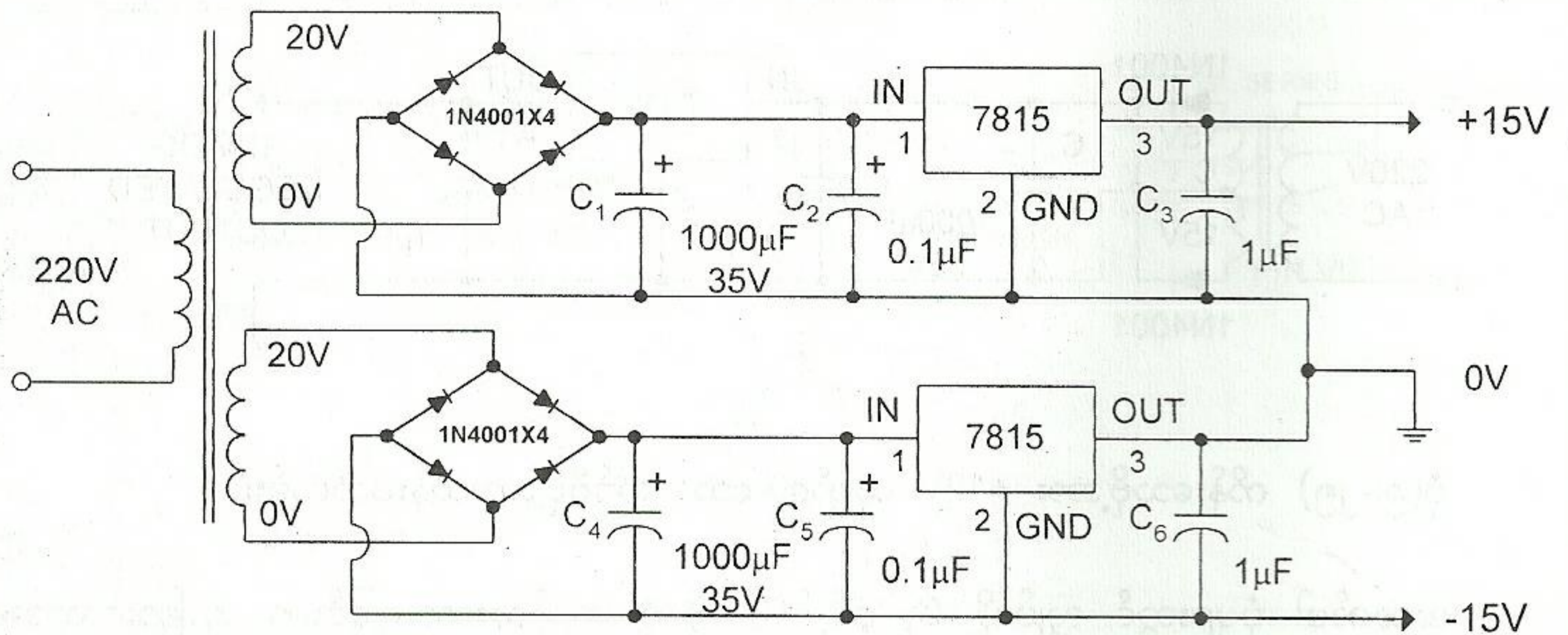
အထက်ပါ ပုံများတွင် လျှပ်သို  $C_2$  နှင့်  $C_3$  တို့ကို ထည့်သုံးထားခြင်းမှာ ထူးခြားသောအကြောင်း ရှိပါသည်။ ပတ်လမ်းတည်ဆောက်မှု အနေအထားအရ  $C_1$  နှင့် ဗို့အားထိန်းအိုင်စီတို့အကြား အကွာအဝေးသည် ၁၅ စင်တီမီတာ သို့မဟုတ် ၆ လက်မခန့် ရှိနေခဲ့လျှင်  $C_2$  ကို တပ်ဆင်ပေးရပါမည်။ သို့မဟုတ်ပါက အထွက်ဗို့အားတွင် ကြိမ်နှုန်းမြင့် နောက်ယှက်မှု (high frequency disturbance) များပါဝင် လာတတ် ပါသည်။  $C_3$  ကိုတပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် အထွက်ဗို့အားသည် တည်ငြိမ်မှုပိုရှိလာပါသည်။ 78/79 series အိုင်စီများသည် TO-220 ပုံစံမျိုးဖြစ်လျှင် လျှပ်စီးကြောင်း 1A အထိ အဆွဲခံနိုင်ကြပါသည်။ ထိုအိုင်စီများကို လုံလောက်သော ဧရိယာရှိသော အပူခံပြားမျိုးတွင် တပ်ဆင်အသုံးပြုရန် လိုအပ်ပါသည်။ ငုတ်နံပါတ်များကို သေချာစွာ ဂရုစိုက်ပြီး တပ်ဆင်ရပါမည်။



ပုံ(၉-၂၆) ±15V ကိန်းသေဗို့အားများ ထုတ်ပေးသော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းပုံ

အကယ်၍ အနှုတ်ဗို့အားထိန်းအိုင်စီ 7915 ကို ဝယ်မရပါက 7815 အိုင်စီပတ်လမ်းနှစ်ခုကို တန်းဆက်ပြီး ±15V ကိန်းသေဗို့အားများထုတ်ယူနိုင်ပုံကို ပုံ(၉-၂၇)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။





ပုံ(၉-၂၇) ±15V ကိန်းသေဗို့အားများထုတ်ပေးသော အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းနောက်တစ်မျိုးပုံ

ဆက်လက်၍ ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု၏ အရည်အချင်းများဖြစ်သည့် Line Regulation နှင့် Load Regulation တို့ကို မည်သို့ တိုင်းတာတွက်ချက်ရမည်ကို ဖော်ပြပါမည်။

**၉-၁၀။ Line Regulation**

ပါဝါဆပ်ပလိုင်:တစ်ခုတွင် အဝင်အစီမံခန့်ခွဲမှုအားပြောင်းလဲလျှင် ရီဂူလေတာပတ်လမ်း၏ အဝင်ဒီစီဗို့အားလည်းအချိုးကျလိုက်ပြီး ပြောင်းလဲနေပေလိမ့်မည်။ ထိုသို့အဝင်ပိုင်းတွင် ဗို့အားပြောင်းလဲနေသော်လည်း ရီဂူလေတာပတ်လမ်း၏ အထွက်ဒီစီဗို့အားသည် မပြောင်းလဲဘဲ ကိန်းသေဖြစ်နေရပေမည်။ သို့သော်လည်း လက်တွေ့တွင် အနည်းနှင့်အများဆိုသလို ပြောင်းလဲမှုများရှိနေတတ်ပါသည်။ ထိုသို့ပြောင်းလဲမှုဖြစ်ပေါ်ခြင်းကို Line Regulation ဟုခေါ်ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် Line Regulation ကိုအဓိပ္ပါယ်သတ်မှတ်မည်ဆိုလျှင် အဝင်အစီမံခန့်ခွဲမှုအား 1V ပြောင်းလဲမှုအတွက် အထွက်ဒီစီဗို့အားပြောင်းလဲမှုရာခိုင်နှုန်းပမာဏကိုခေါ်ပါသည်။ ယင်း၏ယူနစ်မှာ %/V (percent per volt) ဖြစ်ပါသည်။ Line Regulation ကိုအောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$\text{Line Regulation} = \frac{\Delta V_{\text{out}} / V_{\text{out}}}{\Delta V_{\text{in}}} \times 100\%$$

ယင်းတွင် -

- $V_{\text{out}}$  = Regulated dc output voltage at normal line voltage
- $\Delta V_{\text{out}} = V_{\text{out(dc)max.}} - V_{\text{out(dc)min.}}$
- $V_{\text{out(dc)max.}}$  = max. regulated dc output voltage at max. line voltage
- $V_{\text{out(dc)min.}}$  = min. regulated dc output voltage at min. line voltage
- $\Delta V_{\text{in}} = V_{\text{in(dc)max.}} - V_{\text{in(dc)min.}}$
- $V_{\text{in(dc)max.}}$  = max. unregulated dc input voltage to the regulator at max. line voltage
- $V_{\text{in(dc)min.}}$  = min. unregulated dc input voltage to the regulator at min. line voltage.



ဥပမာ(၁)။ ။ အေစီအဝင်ဗို့အားပြောင်းလဲမှုကြောင့် 5V ဒီစီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု၏ အထွက်ဗို့အားပြောင်းလဲပုံကိုအောက်ပါဇယားအတိုင်းတွေ့ရပါသည်။ ထိုပတ်လမ်း၏ Line Regulation မည်မျှရှိသနည်း။

Input AC line Voltage	$V_{in(dc)}$	$V_{out(dc)}$
160V	8V	4.8V
240V	10V	5.0V

$$\Delta V_{in} = 10V - 8V = 2V$$

$$\Delta V_{out} = 5V - 4.8V = 0.2V$$

$$V_{out} = 5V$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Line Regulation} &= \frac{\Delta V_{out} / V_{out}}{\Delta V_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.2/5}{2} \times 100\% \\ &= 0.02 \times 100\% \\ &= 2\% / V \end{aligned}$$

အဝင်အေစီဗို့အား 1V ပြောင်းလဲလျှင် အထွက်ဒီစီဗို့အားသည် 2% ပြောင်းလဲနေကြောင်းတွေ့ရပါသည်။

**၉-၁၁။ Load Regulation**

အလားတူပင် ဝန်တွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်း ပြောင်းလဲနေလျှင်လည်း ရီဂူလေတာပတ်လမ်း၏ အထွက်ဒီစီဗို့အားသည် မပြောင်းလဲဘဲ ကိန်းသေဖြစ်နေရပေမည်။ သို့သော်လည်း လက်တွေ့တွင် အနည်းနှင့်အများဆိုသလို ပြောင်းလဲမှုများရှိနေတတ်ပါသည်။ ထိုသို့ပြောင်းလဲမှုဖြစ်ပေါ်ခြင်းကို Load Regulation ဟုခေါ်ပါသည်။

Line Regulation ကိုအောက်ပါပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$\text{Load Regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

ယင်းတွင် -

- $V_{NL}$  = dc output voltage at no load (i.e,  $I_L = 0$ )
- $V_{FL}$  = dc output voltage at full load (i.e,  $I_L = \text{rated max. value}$ )
- $I_L$  = dc load current



ဥပမာ(၂)။ ။ အေစီအဝင်ဗို့အားကိန်းသေဖြစ်နေသော်လည်း ဝန်လျှပ်စီးကြောင်း ပြောင်းလဲမှုကြောင့် 5V ဒီစီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခု၏ အထွက်ဗို့အားပြောင်းလဲပုံကို အောက်ပါဇယား အတိုင်းတွေ့ရပါသည်။ ထိုပတ်လမ်း၏ Load Regulation မည်မျှရှိသနည်း။

Load current		Output voltage	
No load	0mA	$V_{NL}$	5.0V
	50mA		5.0V
	100mA		5.0V
Full Load	600mA	$V_{FL}$	4.95V

$$\begin{aligned} \therefore \text{Load Regulation} &= \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{5.0V - 4.95V}{4.95V} \times 100\% \\ &\cong 1\% \end{aligned}$$

ပတ်လမ်း၏ ဝန်လျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲမှုကြောင့် အထွက်ဗို့အားပြောင်းလဲမှုသည် တစ်ရာခိုင်နှုန်းခန့် ရှိကြောင်းတွေ့ရပါသည်။

〈မှတ်ချက်။ ။ ဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် Line Regulation နှင့် Load Regulation တန်ဖိုးများသည် ငယ်လေလေ ယင်းပတ်လမ်း၏ အရည်အချင်းသည် ကောင်းလေလေဖြစ်ပါသည်။〉

အိုင်စီဗို့အားထိန်းပတ်လမ်းများနှင့် ပတ်သက်သော အသုံးချပတ်လမ်းများ အကြောင်းကို စာရေးသူရေး ထုတ်ဝေထားသော လုပ်ငန်းခွင်သုံးအီလက်ထရွန်းနစ် အပိုင်း (၁)၊ (၂) နှင့် (၃) တို့တွင် ဖတ်ရှုကြစေလိုပါသည်။



# အခန်း(၁၀) ထရန်စစ္စတာ (Transistor )

## ၁၀-၁။ နိဒါန်း

ထရန်စစ္စတာ (Transistor) ဆိုသည့်စကားရပ်သည် ကူးပြောင်းခြင်း (Transfer ) ဆိုသည့်စကားရပ် နှင့် ရီစစ္စတာ (resistor ) ဆိုသည့်စကားရပ်နှစ်ခုကို ပေါင်းစပ်ထားခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ဆိုလိုသည်မှာ ခုခံမှုကို တစ်နေရာမှတစ်နေရာသို့ ကူးပြောင်းခြင်း (Transfer of resistor) ဆိုသည့်စကားရပ်မှ Tran နှင့် sistor ကို ပေါင်းစပ်လိုက်ခြင်းဖြင့် Transistor ဟူ၍ဖြစ်လာပါသည်။ <တနည်းအားဖြင့် ထရန်စစ္စတာ၏ အဓိပ္ပါယ်ကို သတ်မှတ်မည်ဆိုလျှင် ခုခံမှုနည်းသောအပိုင်းမှ လျှပ်စစ်ပါဝါကို ခုခံမှုကြီးမားသောအပိုင်းသို့ ကူးပြောင်းပေး သည့်ပစ္စည်းပင်ဖြစ်ပါသည်။>

အခြေခံဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်မှုကို မူတည်၍ ထရန်စစ္စတာကို အမျိုးအစားခွဲခြားသတ်မှတ်မည်ဆိုလျှင် ယူနီပိုလာ ထရန်စစ္စတာ (Unipolar Junction Transistor) သို့မဟုတ် ဖီးလ်အဖက် ထရန်စစ္စတာ (Field Effect Transistor, FET) နှင့် ဘိုင်ပိုလာဂျန်းရှင်းထရန်စစ္စတာ (Bipolar Junction Transistor, BJT) ဟူ၍ ထရန်စစ္စတာနှစ်မျိုးနှစ်စားရှိပါသည်။ ယူနီပိုလာ ထရန်စစ္စတာတွင် လျှပ်စစ်အဖိုဓါတ်ဆောင်သောဟိုးများ (holes) ချည်းသက်သက်ကြောင့်သော်လည်းကောင်း၊ လျှပ်စစ်အမဓါတ်ဆောင်သောအီလက်ထရွန်များ (electron) ချည်းသက်သက်ကြောင့်သော်လည်းကောင်း၊ လျှပ်စီးကြောင်း စီးဆင်းမှုကိုဖြစ်ပေါ်စေပြီး၊ ဘိုင်ပိုလာဂျန်းရှင်း ထရန်စစ္စတာတွင်မူကား ဟိုးများနှင့်အီလက်ထရွန်များ နှစ်မျိုးစလုံးပါဝင်ပြီး လျှပ်စီးကြောင်းစီးဆင်းမှုကိုဖြစ်ပေါ် စေပါသည်။

ဤအခန်းတွင် ဘိုင်ပိုလာဂျန်းရှင်းထရန်စစ္စတာ BJT နှင့်ပတ်သက်သော အခြေခံအချက်အလက်များကို ဖော်ပြပါမည်။ ဖီးအဖက်ထရန်စစ္စတာ FET အကြောင်း အပြည့်အစုံကို စာရေးသူရေးသားထုတ်ဝေခဲ့ပြီးသော လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ်အပိုင်း(၂) စာအုပ်တွင် ဖတ်ရှုကြစေလိုပါသည်။

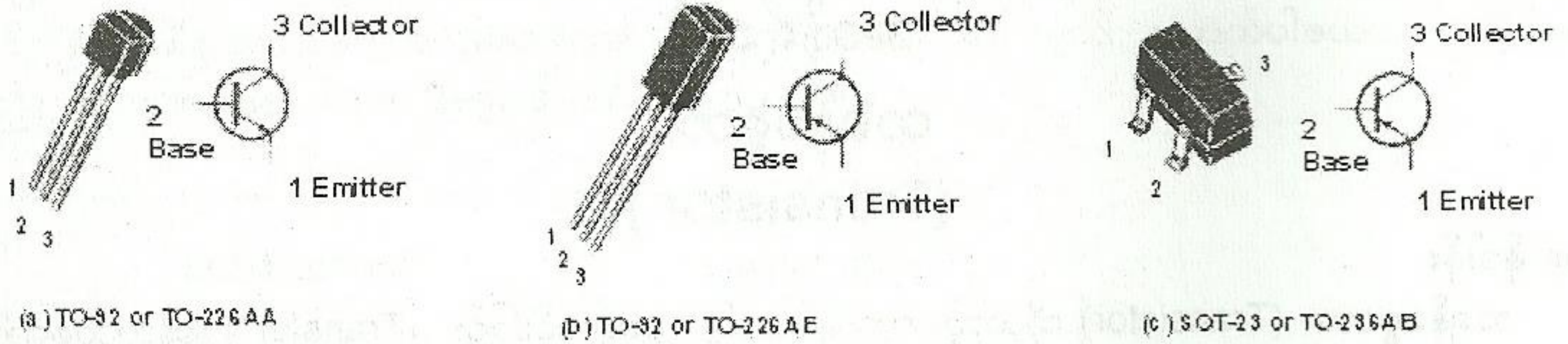
BJT များကို အဓိကအားဖြင့် အသုံးချသည့်နယ်ပယ်နှစ်ခု ရှိပါသည်။ တစ်ခုမှာသေးငယ်သော လျှပ်စစ်အချက်ပြကို ချဲ့ပေးနိုင်သော အမ်ပလီဖာရာ (Amplifier) အဖြစ် အသုံးချခြင်းဖြစ်ပြီး အခြားတစ်ခုမှာ လျှပ်စီးကြောင်းစီးမှုကို အပိတ်/အဖွင့်ပြုလုပ်ပေးနိုင်သော အီလက်ထရွန်းနစ်ခလုတ် (Electronic Switch) အဖြစ် အသုံးချခြင်းပင်ဖြစ်ပါသည်။

## ၁၀-၂။ BJT ထရန်စစ္စတာနှစ်မျိုး

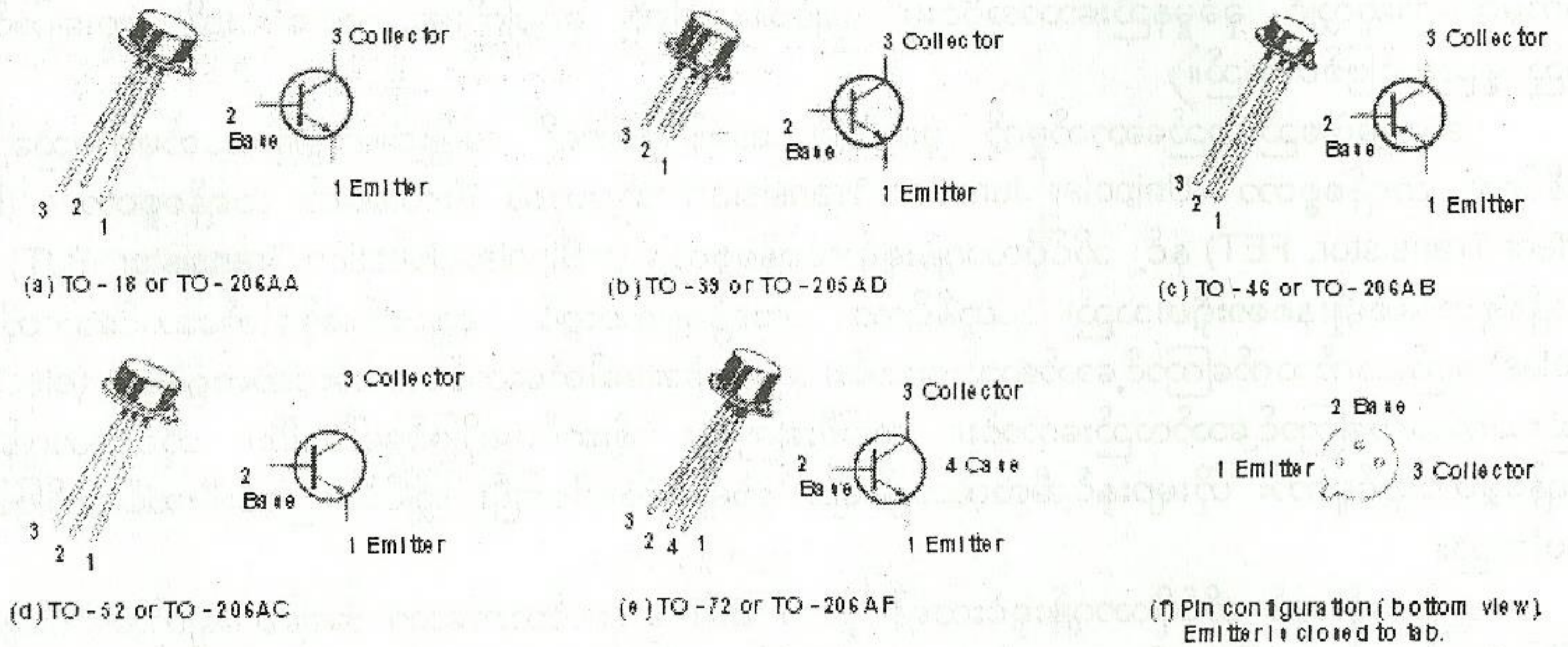
BJT ထရန်စစ္စတာ၏ ဖွဲ့စည်းပုံကိုအခြေခံပြီး အမျိုးအစား ထပ်မံခွဲခြားလိုက်သောအခါ PNP-type နှင့် NPN-type ဟူ၍ အမျိုးအစားနှစ်မျိုးရှိပါသည်။ လက်တွေ့တွင် အသုံးများသော ထရန်စစ္စတာ အရွယ်အစား များနှင့် ပုံသဏ္ဍာန် (transistor outline, TO) အချို့တို့ကို ပုံ(၁၀-၁) မှ ပုံ(၁၀-၅) တို့တွင် ဖော်ပြထား ပါသည်။

ပုံ(၁၀-၁)တွင် ပလပ်စတစ်ကိုယ်ထည် ထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ကိုလည်းကောင်း၊ ပုံ(၁၀-၂)တွင် သတ္တုကိုယ်ထည် ထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ကိုလည်းကောင်း၊ ပုံ(၁၀-၃)တွင် ရေဒီယိုဖရီကွင်စီ ထရန်စစ္စတာ ပုံသဏ္ဍာန်အချို့ကိုလည်းကောင်း၊ ပုံ(၁၀-၄)တွင် ထရန်စစ္စတာများကို စုပေါင်းဖွဲ့စည်းထားသော အိုင်စီပုံ သဏ္ဍာန်အချို့ကိုလည်းကောင်း၊ ပုံ(၁၀-၅)တွင် ပါဝါထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ကိုလည်းကောင်း၊ အသီးသီး ဖော်ပြထားပါသည်။

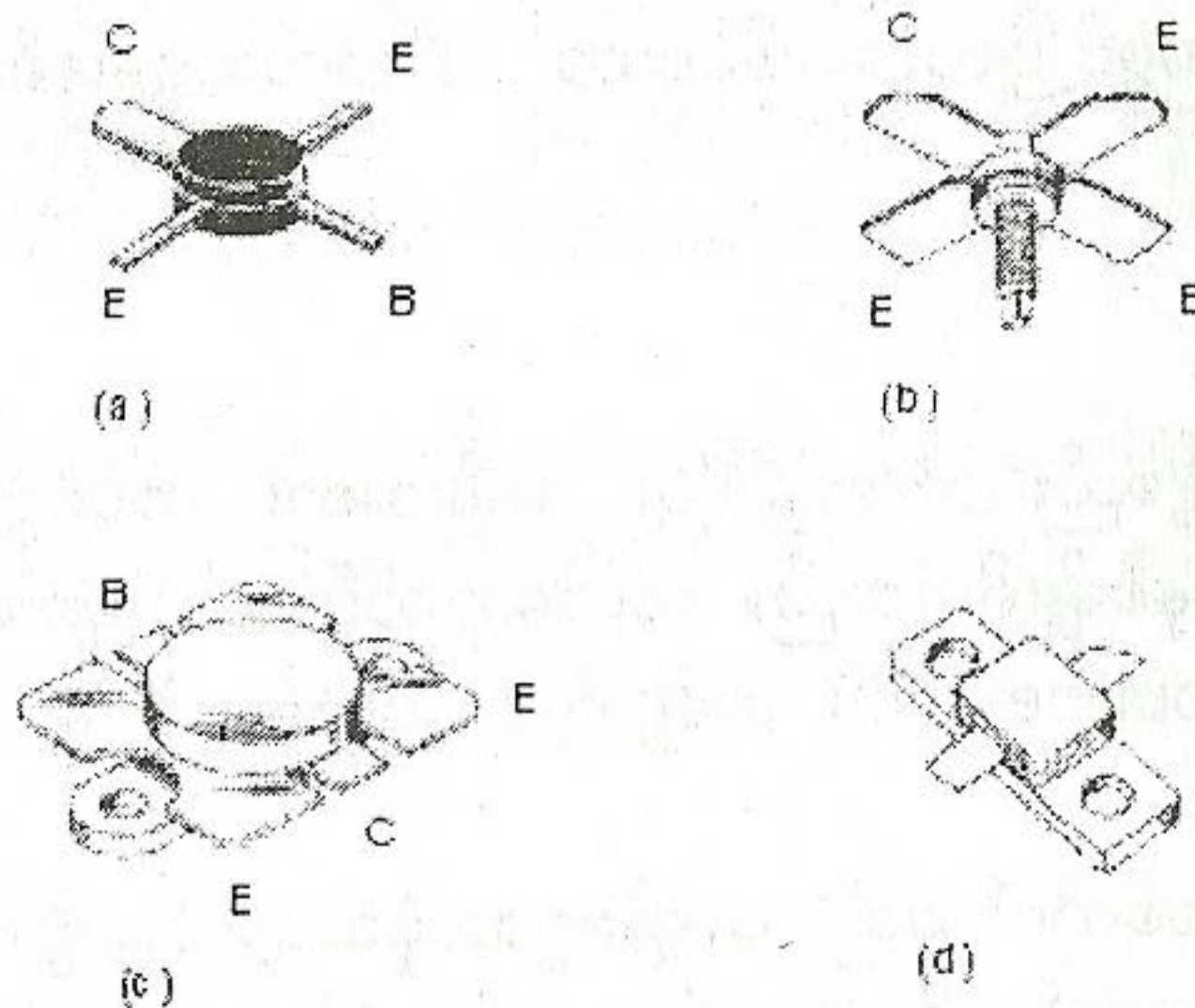




ပုံ(၁၀-၁) ပလပ်စတစ်ကိုယ်ထည် ထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ပုံ

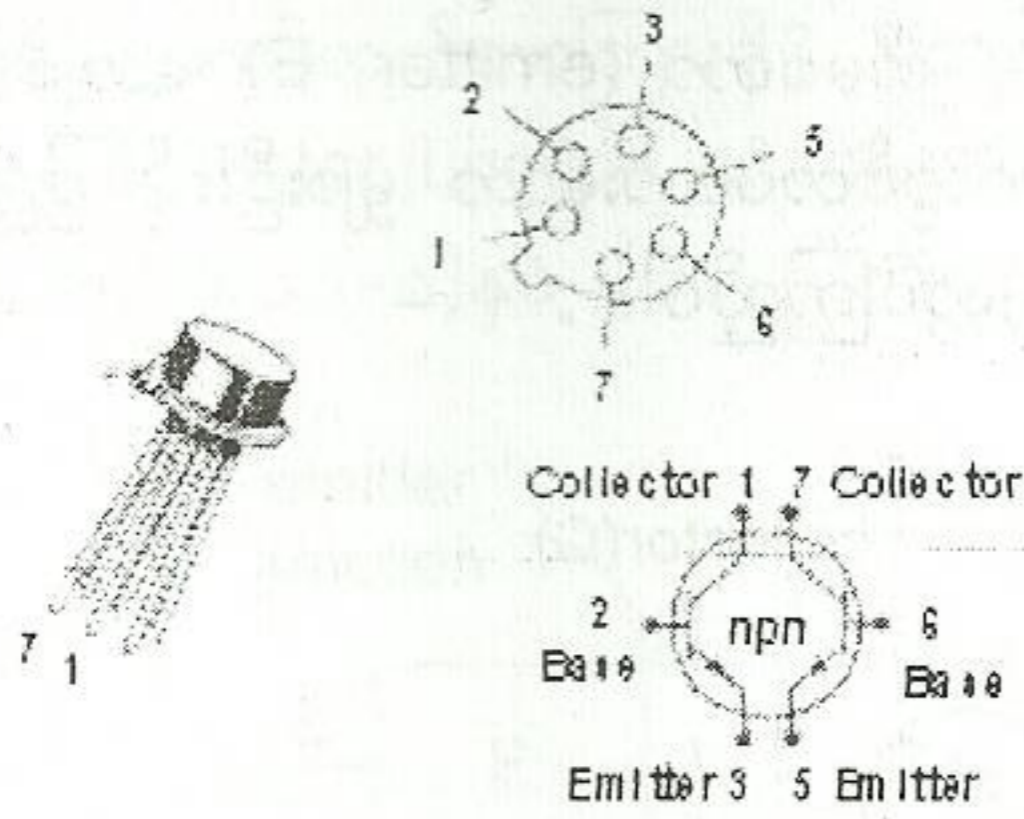


ပုံ(၁၀-၂) သတ္တုကိုယ်ထည် ထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ပုံ

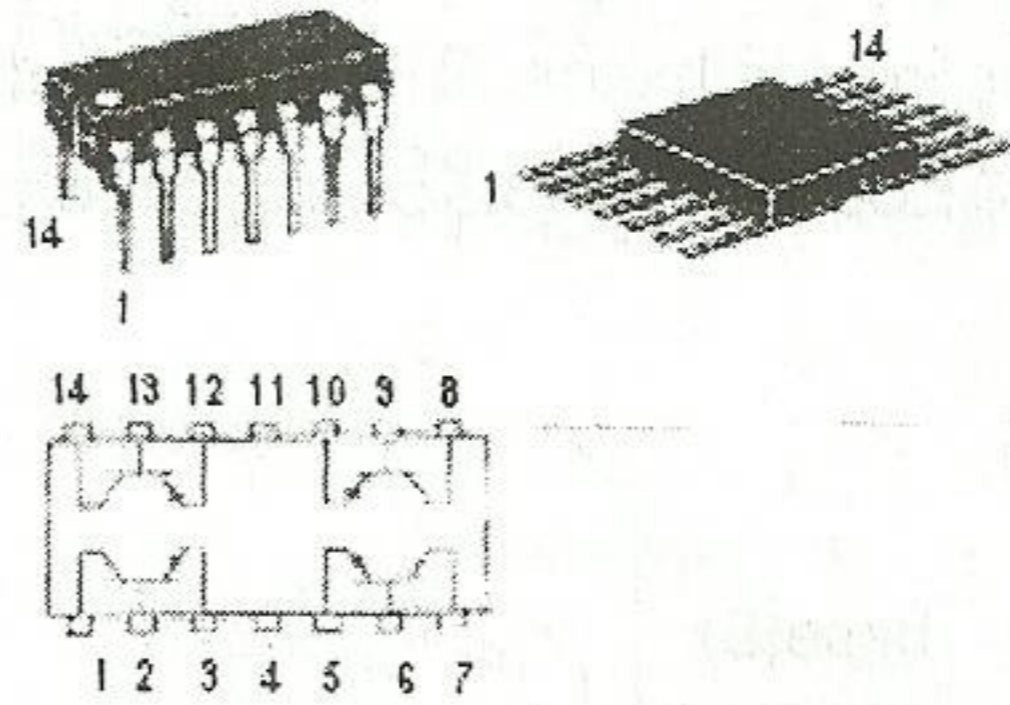


ပုံ(၁၀-၃) ရေဒီယိုဖရီကွင်စီ ထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ပုံ

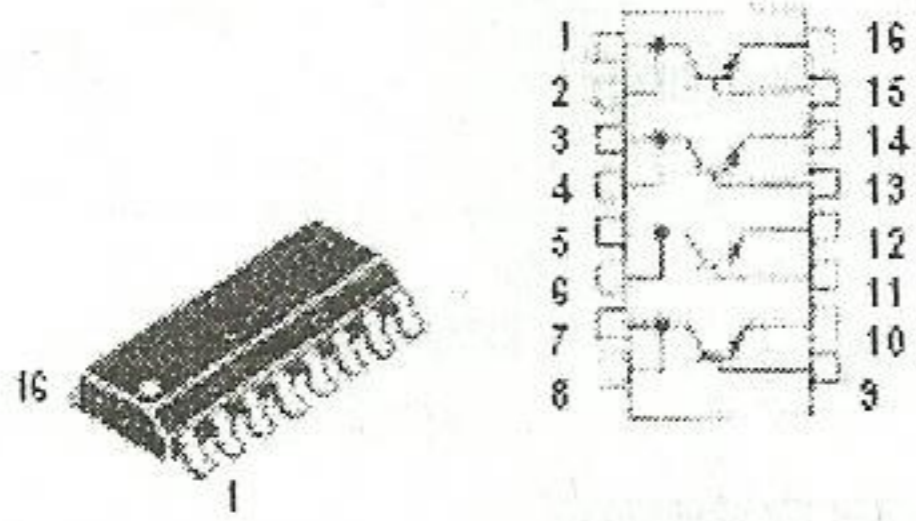




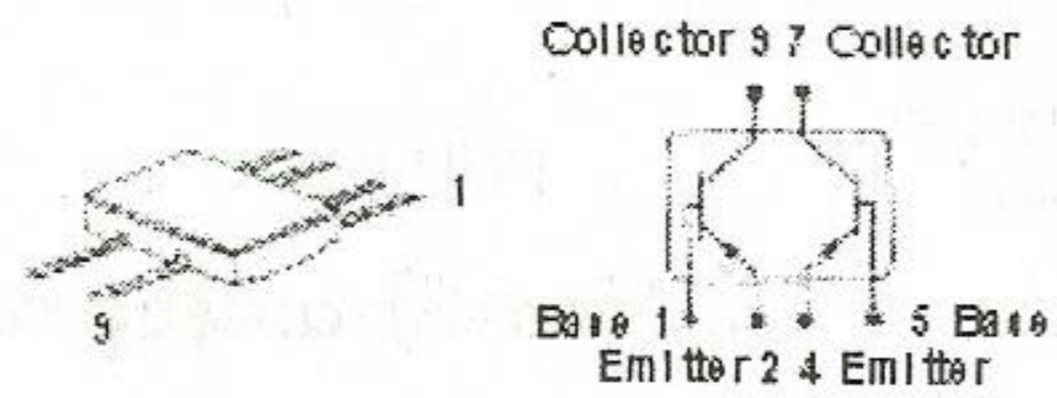
(a) Dual metal can



(b) Quad dual in-line (DIP) and quad flatpack. Dot indicates pin 1.

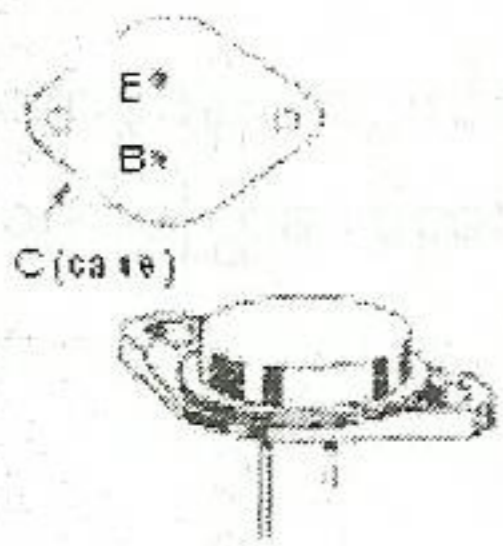


(c) Quad small outline (SO) package for surface-mounted technology

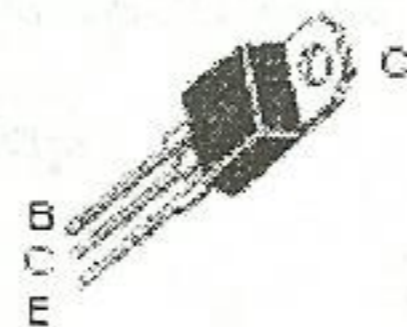


(d) Dual ceramic flatpack

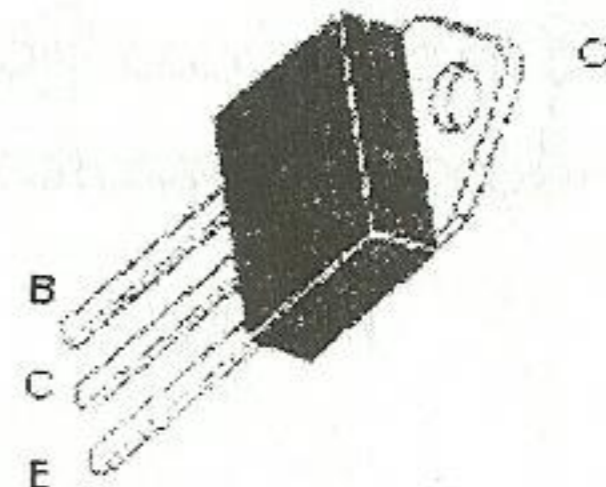
ပုံ(၁၀-၄) ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးမကပါဝင်သော ထရန်စစ္စတာအိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်အချို့ပုံ



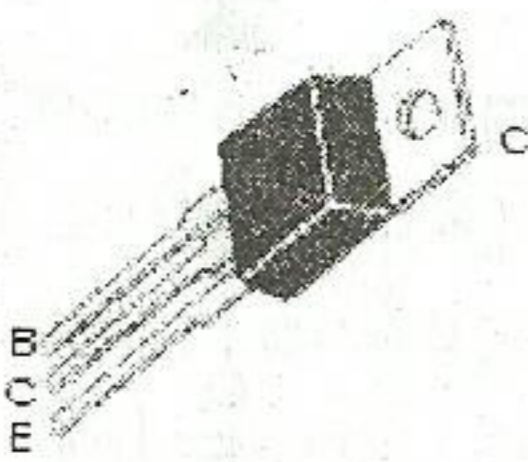
(a) TO-3 or TO-204AE



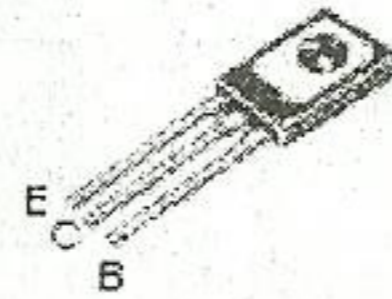
(b) TO-218



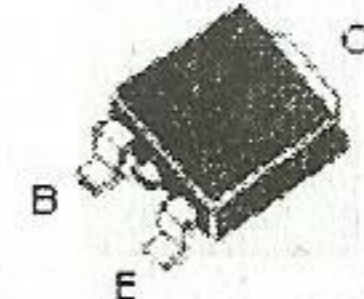
(c) TO-218AC



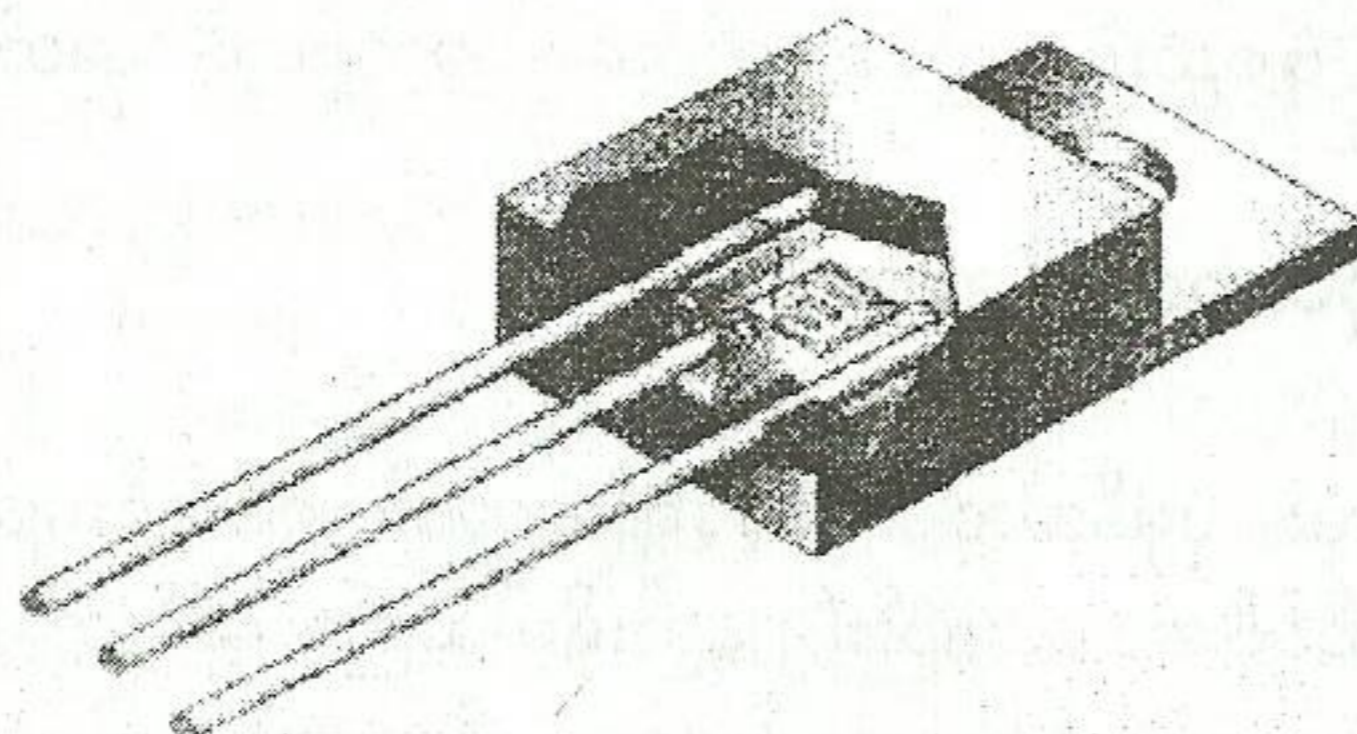
(d) TO-220AB



(e) TO-225AA



(f) Surface-mount technology

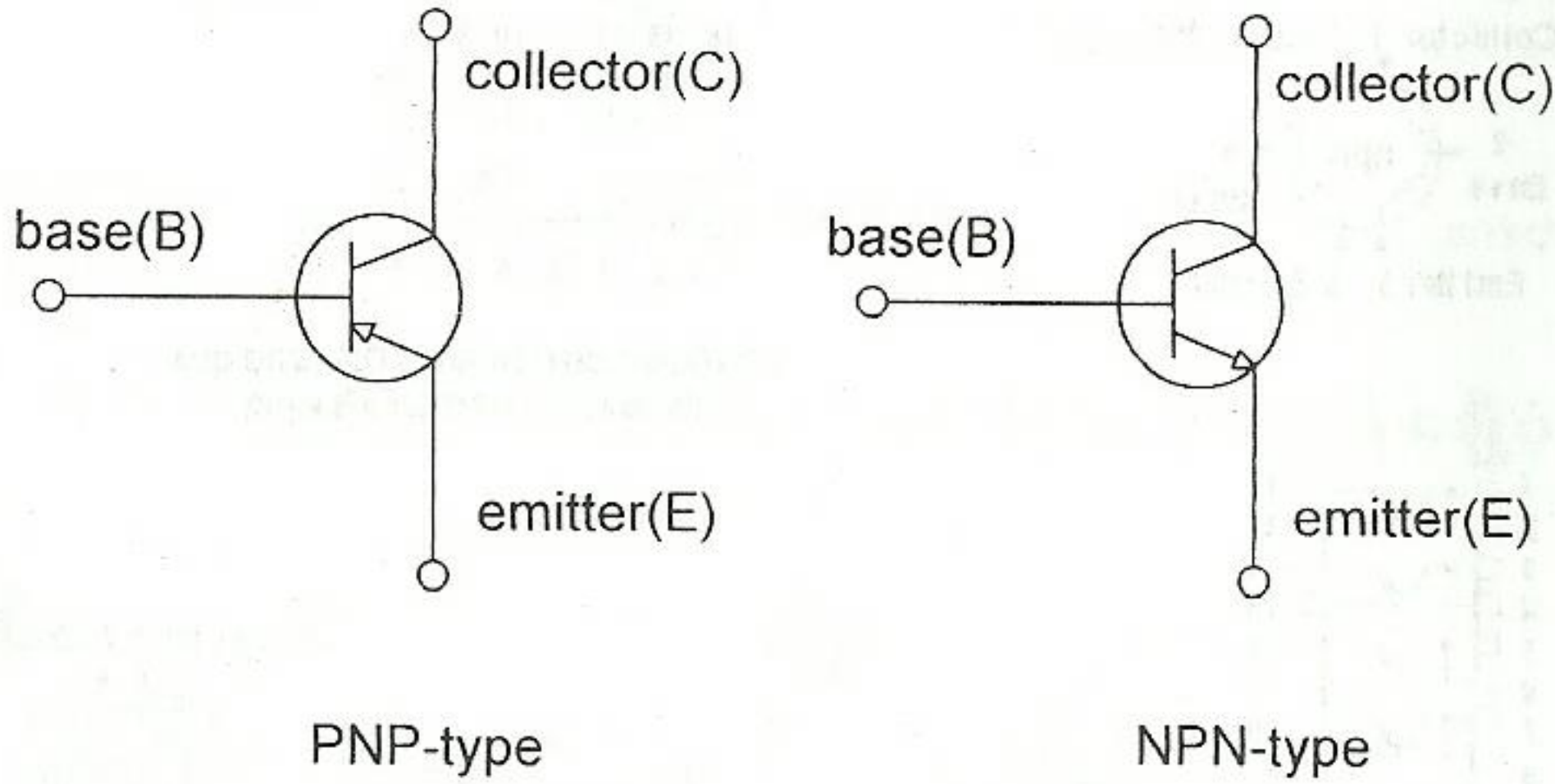


(g) Cutaway view of tiny transistor chip mounted in the encapsulated package

ပုံ(၁၀-၅) ပါဝါထရန်စစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အချို့ပုံ



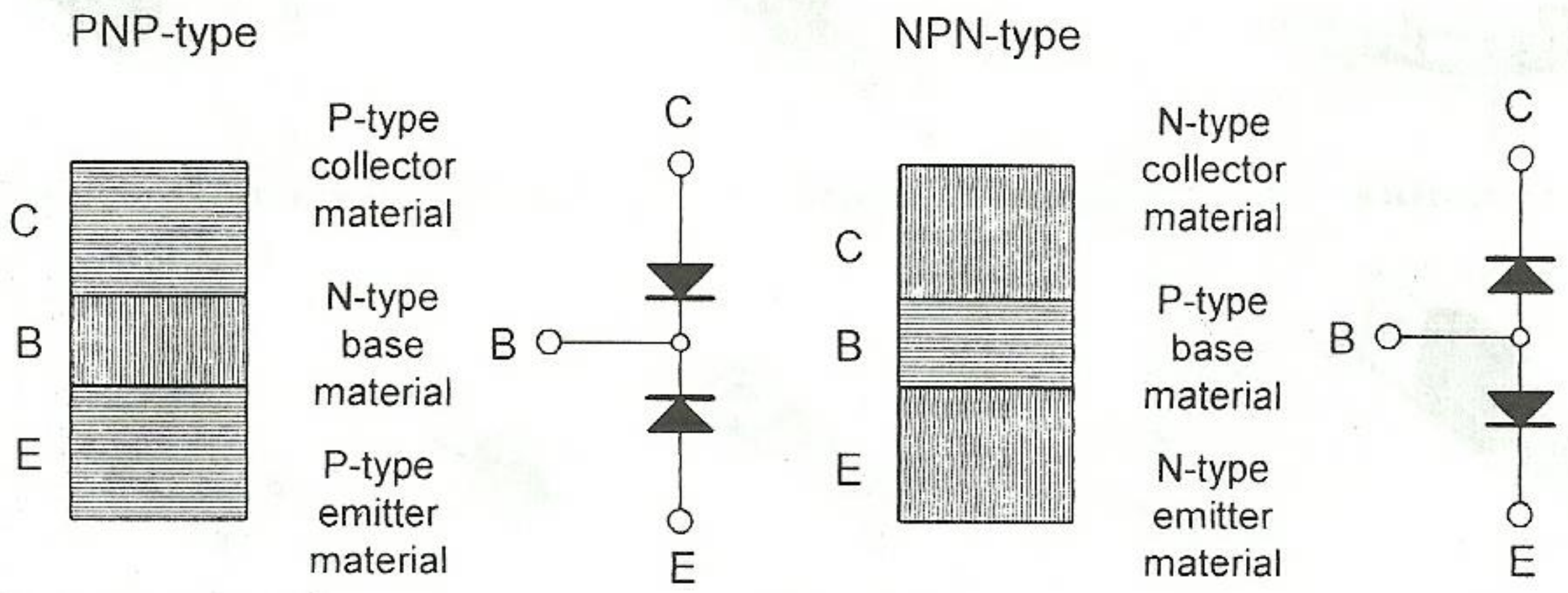
ထရန်စစ္စတာတွင် ငုတ်(၃)ငုတ်ပါဝင်သည်။ ယင်းတို့မှာ- အီမစ်တာ (emitter, E) ဘေ့စ်(base, B) နှင့် ကော်လက်တာ (collector, C) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ အီမစ်တာတွင်တပ်ထားသော များဦးကိုကြည့်၍ PNP နှင့် NPN အမျိုးအစားကို ခွဲခြားနိုင်ပါသည်။ အောက်ပါပုံ(၁၀-၆)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၆) ထရန်စစ္စတာများနှစ်မျိုးငုတ်အနေအထားများပုံ

ထရန်စစ္စတာများ၏ ဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံအရ ဘေ့စ်နှင့်ကော်လက်တာကြားတွင် အကျိုးတူ ခိုင်အုတ်ဓာတ်လုံး၊ ဘေ့စ်နှင့်အီမစ်တာကြားတွင် အကျိုးတူခိုင်အုတ်ဓာတ်လုံးစီပါဝင်နေသကဲ့သို့မှတ်သားနိုင်ပုံကို ပုံ(၁၀-၇)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

ထိုကဲ့သို့မှတ်သားခြင်းဖြင့် ထရန်စစ္စတာအမျိုးအစားခွဲခြားရာတွင်လည်းကောင်း၊ ထရန်စစ္စတာ ကောင်း မကောင်း မီတာဖြင့်စစ်ဆေးရာတွင်လည်းကောင်း အသုံးဝင်နိုင်ကြောင်းကို နောက်ပိုင်းတွင် တွေ့မြင်ရပေမည်။



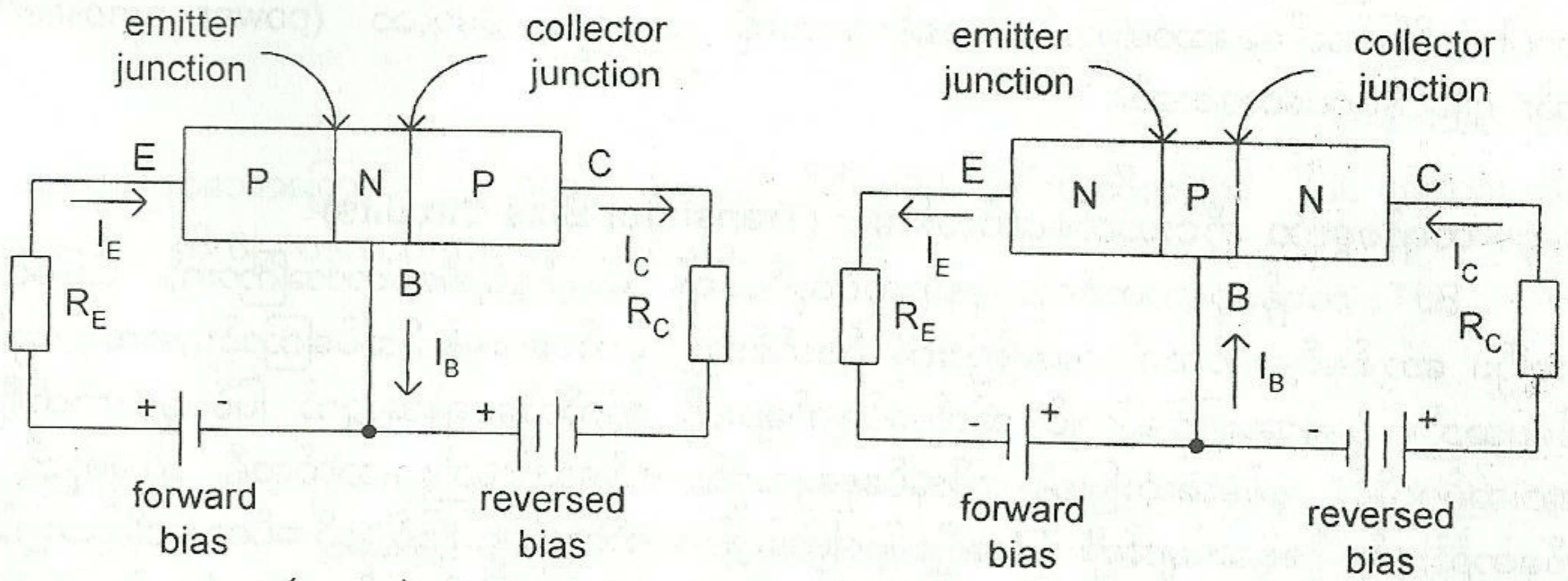
ပုံ(၁၀-၇) ထရန်စစ္စတာ ဖွဲ့စည်းပုံတည်ဆောက်ပုံအရ အကျိုးတူခိုင်အုတ်များ ပါဝင်နေပုံ

၁၀-၃။ BJT ထရန်စစ္စတာကို ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားပေးပုံ

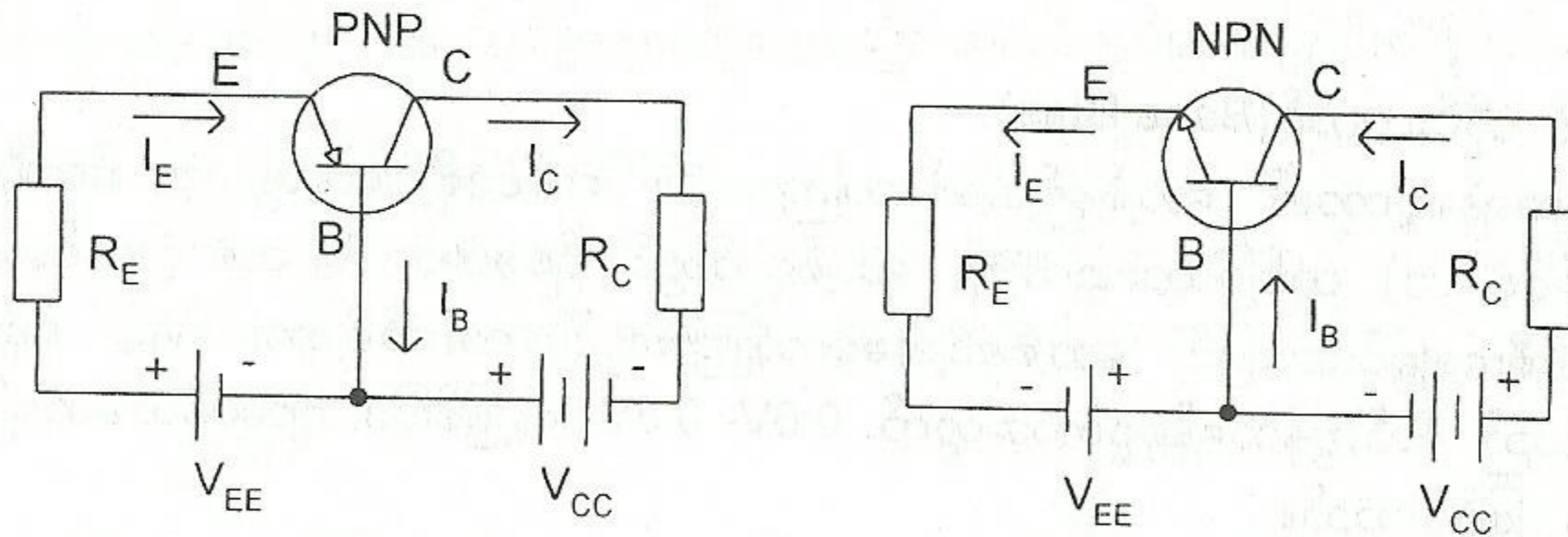
BJT ထရန်စစ္စတာတစ်လုံး ပုံမှန်အလုပ်လုပ်နိုင်ရန်အတွက် ဂျန်းရှင်းများကိုမှန်ကန်သော ဘိုင်းယက်စ် ဗို့အားများပေးရပါမည်။ ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားပေးနည်း(၂)နည်းရှိပါသည်။ ယင်းတို့မှာ- (၁) ဘေ့စ်နှင့်အီမစ်တာကြားရှိ ဘေ့စ်-အီမစ်တာဂျန်းရှင်း သို့မဟုတ် အီမစ်တာဂျန်းရှင်း (base-emitter junction, or emitter junction) ကို ဖော်ဝဲဘိုင်းယက်စ်ပေးရပါမည်။



(၂) ဘေ့စ်နှင့်ကော်လက်တာကြားရှိ ဘေ့စ်-ကော်လက်တာဂျန်းရှင်း သို့မဟုတ် ကော်လက်တာဂျန်းရှင်း (base-collector junction, or collector junction) ကို ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးရပါသည်။ အောက်ပါပုံ(၁၀-၈)နှင့် (၁၀-၉)တို့တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၈) BJT ထရန်စစ္စတာများကို ဘိုင်းယက်စ်ပေးပုံ



ပုံ(၁၀-၉) BJT ထရန်စစ္စတာများကို လက်တွေ့ဘိုင်းယက်စ်ပေးပုံ

အထက်ပါပုံ(၁၀-၉)အရ PNP ထရန်စစ္စတာ နှင့် NPN ထရန်စစ္စတာတို့တွင် ဘိုင်းယက်စ်ပေးပေးသည့် ဘက်ထရီငုတ်များနှင့် လျှပ်စီးကြောင်းများ ပြောင်းပြန်ဖြစ်နေကြကြောင်း သတိပြုမိပေလိမ့်မည်။

PNP ထရန်စစ္စတာ၏ အိမ်တာဂျန်းရှင်းကို ဖော်ဝဒ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးထားသောအခါ အိမ်တာမှ လျှပ်စစ်အဖိုခါတ်ဆောင် တွင်းများသည် ဂျန်းရှင်းကိုဖြတ်ပြီး ဘေ့စ်ဆီသို့ရောက်လာကြပါသည်။ ဘေ့စ်၏အထူသည်အလွန်ပါးလွှာသောကြောင့် အဆိုပါဟိုးအများစုသည် ဘေ့စ်ကိုဖြတ်ပြီး ကော်လက်တာဆီသို့ ရောက်သွားကြသည်။ ထိုအခါ ကော်လက်တာပတ်လမ်းတွင် ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်း  $I_C$  စီးဆင်းလေတော့သည်။ ကျန်သော ဟိုးအနည်းငယ်တို့သည် ဘေ့စ်ထဲသို့စီးဝင်ပြီး ဘေ့စ်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_B$  အဖြစ်စီးလေတော့သည်။ ထိုအခါ အိမ်တာကိုဖြတ်စီးသောလျှပ်စီးကြောင်း  $I_E$  သည်-

$$I_E = I_B + I_C$$

ဖြစ်ပေမည်။ သို့ရာတွင် ဘေ့စ်သည်အလွန်ပါးလွှာသောကြောင့်  $I_B = 0.02I_E$  ဖြစ်ပြီး  $I_C = 0.98I_E$  ဖြစ်သည်။ တနည်းအားဖြင့်  $I_B$  သည်  $I_E$  ၏ 2% မျှသာရှိပြီး  $I_C$  သည်  $I_E$  ၏ 98% ခန့်ရှိပါသည်။ ထို့ကြောင့် အလွန်သေးငယ်သော လျှပ်စီးကြောင်း  $I_B$  သည် အလွန်ကြီးမားသောလျှပ်စီးကြောင်း  $I_C$  ကိုထိန်းနိုင်သဖြင့် ထရန်စစ္စတာကို လျှပ်စီးကြောင်း အင်ပလီဖာယာ (current amplifier) အဖြစ်သတ်မှတ်နိုင်ပါသည်။



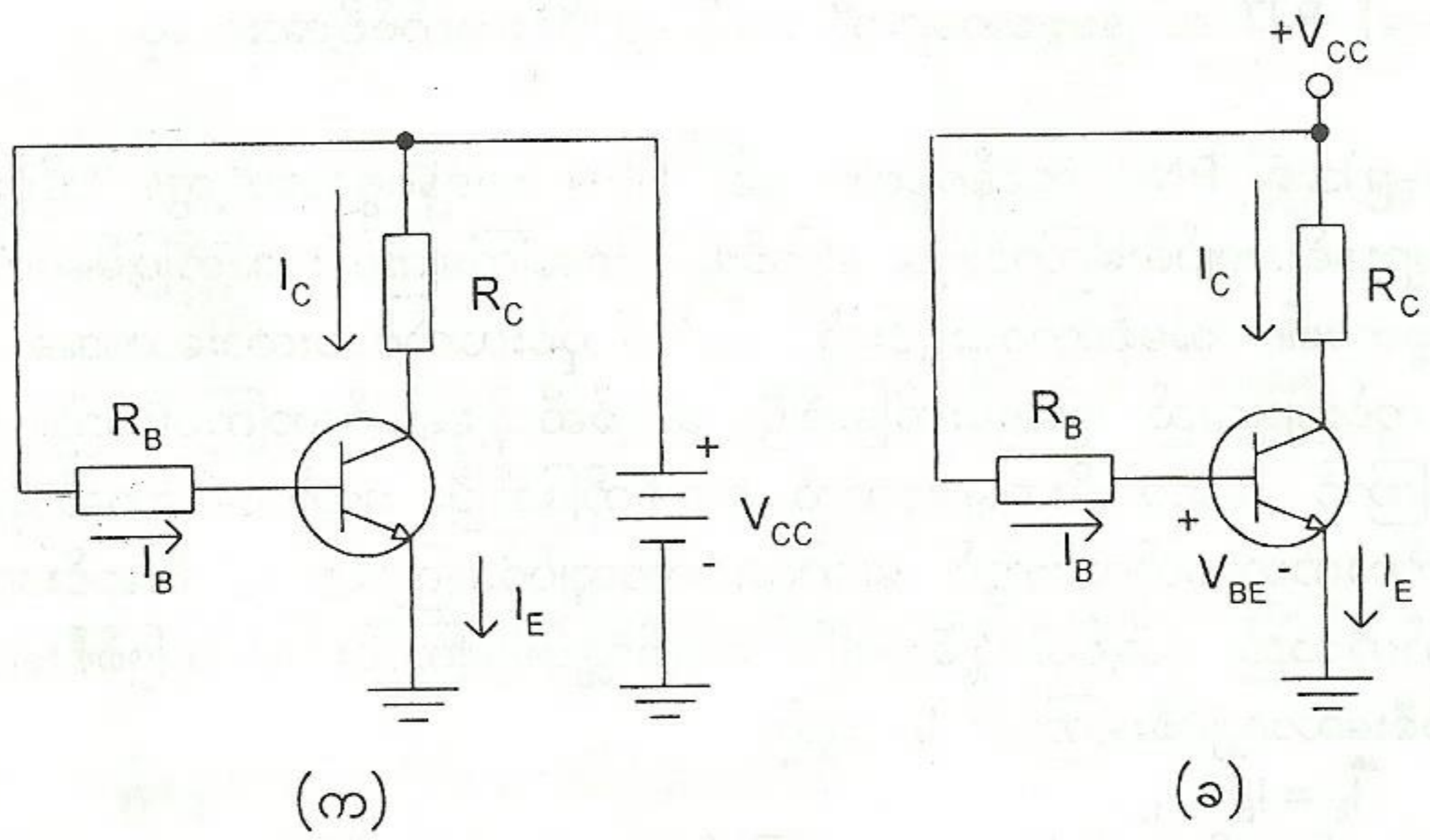
ဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ်ပေးထားခြင်းခံရသော အီမစ်တာဂျန်းရှင်း၏ခုခံမှုသည် အလွန်ငယ်ပြီး ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးထားခြင်းခံရသော ကော်လက်တာဂျန်းရှင်း၏ခုခံမှုသည် အလွန်ကြီးမားလျက်ရှိပါသည်။ ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်း  $I_C$  သည် အီမစ်တာလျှပ်စီးကြောင်း  $I_E$  နှင့် တူညီလှနည်းပါးရှိပါသည်။ လျှပ်စစ်ပါဝါသည်  $I^2R$  ဖြစ်သောကြောင့် အီမစ်တာဘက်တွင်ပါဝါအနည်းငယ်သာဖြစ်ပေါ်နေပြီး ကော်လက်တာဘက်တွင် ကြီးမားသောပါဝါကိုဖြစ်ပေါ်စေသောကြောင့် ထရန်စစ္စတာကို ပါဝါအင်ပလီဖာယာ (power amplifier) အနေဖြစ်လည်း ရှုမြင်နိုင်ပေတော့သည်။

**၁၀-၄။ ထရန်စစ္စတာ ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းများ (Transistor Bias Circuits)**

BJT ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးပုံမှန်အလုပ်လုပ်စေရန် ဘော့စ်နှင့်အီမစ်တာအကြားကို ဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ်ပေးရပြီး၊ ဘော့စ်နှင့်ကော်လက်တာအကြားကို ရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ်ပေးရန်လိုအပ်ကြောင်း အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်ပေသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့်ဆိုလျှင် ထိုလိုအပ်ချက်များကို ကိုက်ညီစေရန်အတွက် ပြင်ပမှဘက်ထရီ သို့မဟုတ် ဗို့အားဆပ်ပလိုင် နှစ်ခုအသုံးပြုရန် လိုအပ်နေပေသည်။ သို့သော်လည်း ဘက်ထရီ သို့မဟုတ် ဆပ်ပလိုင် တစ်ခုတည်းနှင့် ရီစစ္စတာများကို ပုံစံအမျိုးမျိုးပြောင်း၍ ဆက်သွယ်ခြင်းဖြင့် လိုအပ်သောဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားများ ရရှိအောင် လုပ်ဆောင်နိုင်သည့် ပတ်လမ်းအမျိုးမျိုးကို တည်ထွင်ခဲ့ကြပါသည်။ ထိုပတ်လမ်းများကို ဆက်လက်ဖော်ပြပါမည်။

**၁၀-၄-၁။ ဘော့စ် ဘိုင်းယက်စ် (Base Bias)**

BJT ထရန်စစ္စတာ၏ ဘော့စ်နှင့်အီမစ်တာအကြားတွင် ဖော်ဝင်ဗို့အားရရန် ဘက်ထရီတစ်လုံးမသုံးဘဲ အောက်ပါပုံ(၁၀-၁၀-က) တွင်ပြထားသကဲ့သို့ ဘော့စ်ပုတ်တွင် ရီစစ္စတာ  $R_B$  တစ်လုံးတပ်ဆင်ပြီး လျှပ်စီးကြောင်း  $I_B$  ကိုစီးစေခြင်းအားဖြင့် ဘော့စ်နှင့်အီမစ်တာအကြားတွင် ဖော်ဝင်ဗို့အား  $V_{BE}$  ရရှိလာစေပါသည်။ ထိုဗို့အား  $V_{BE}$  သည် စီလီကွန်ထရန်စစ္စတာအတွက်  $0.6V-0.8V$  ခန့်ဖြစ်ပြီး၊ ဂျာမေနီယမ်ထရန်စစ္စတာအတွက်  $0.2V-0.3V$  ခန့် ဖြစ်ပါသည်။



ပုံ(၁၀-၁၀) ဘော့စ် ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းပုံ

ပုံ(၁၀-၁၀-ခ)တွင် ဘက်ထရီကိုထည့်မဆွဲဘဲ ယင်းအစား စက်ဝိုင်းငယ်တပ်ထားသော မျဉ်းကြောင်း ထိပ်တွင်  $+V_{CC}$  ကို ရေးသားထားပါသည်။



ဘေ့စ် ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းအတွက် အောက်ပါညီမျှခြင်းများကို ဖော်ထုတ်ရယူနိုင်ပါသည်။

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (10-1)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (10-2)$$

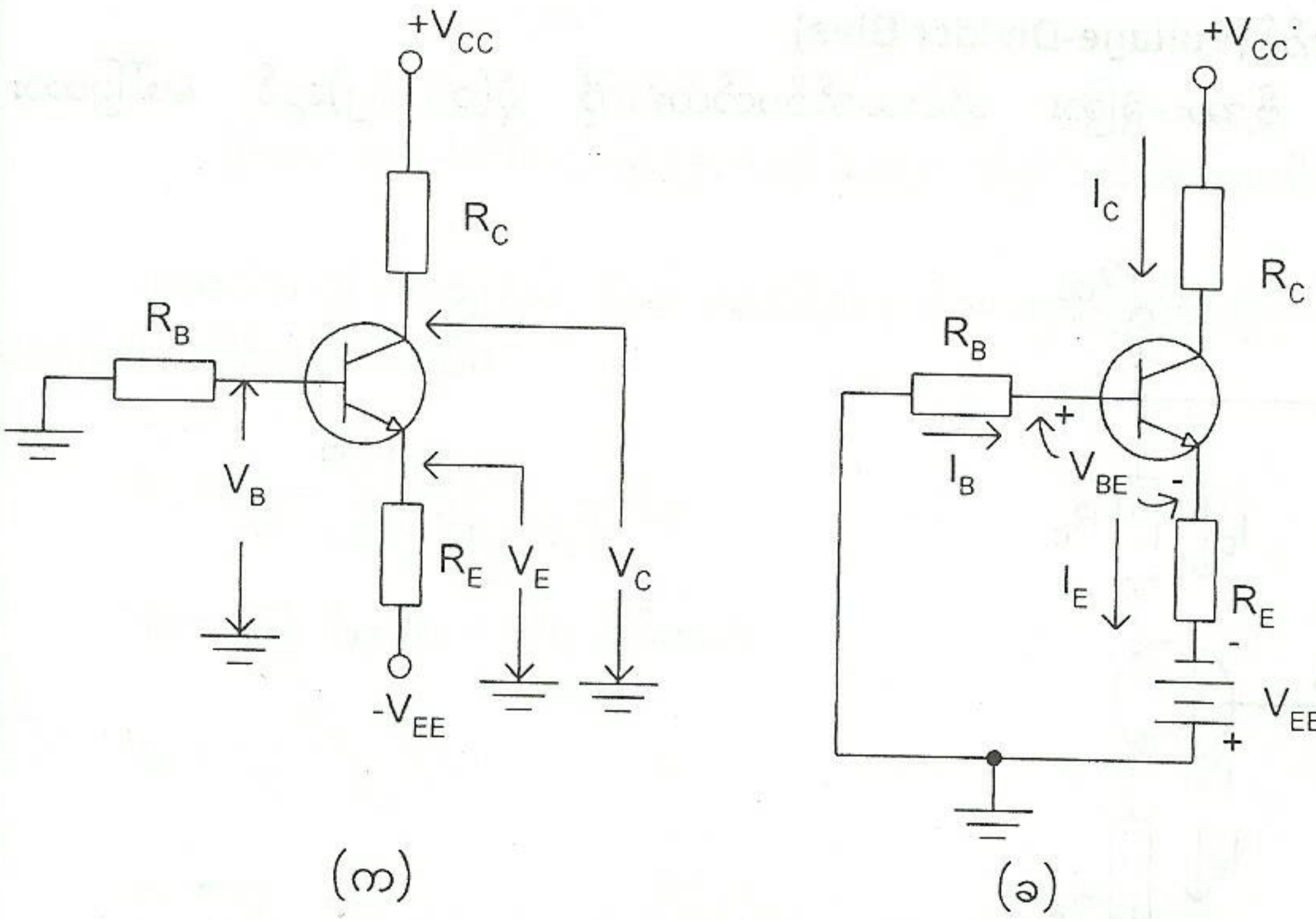
တဖန်  $I_C = h_{FE} I_B$  ဖြစ်သောကြောင့် (ယင်းတွင်  $h_{FE}$  ကို ဒီစီလျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆ (dc current gain) ဟုခေါ်ပါသည်။  $h_{FE}$  ကို  $\beta_{DC}$  ဟုလည်းရေးသားလေ့ရှိပါသည်။)

$$I_C = h_{FE} \left( \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right) \quad (10-3)$$

အောက်ပါညီမျှခြင်းအရ  $I_C$  သည်  $h_{FE}$  နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျလျက်ရှိကြောင်းတွေ့ရပါသည်။  $h_{FE}$  သည် အပူချိန် ပေါ်မူတည်၍ ပြောင်းလဲတတ်သောကြောင့် ဤဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းအမျိုးအစားတွင် အပူချိန်ပြောင်းလျှင်  $I_C$  နှင့်  $V_{CE}$  တို့လိုက်ပြီး ပြောင်းလဲနေကြသည်။ တနည်းအားဖြင့် အလုပ်လုပ်မှတ် (operating point or Q point) ပြောင်းလဲနေပြီး ပတ်လမ်းသည် တည်ငြိမ်မှုမရှိချေ။ ထို့အပြင် ထရန်စစ္စတာ မကောင်း၍ အစားထိုးသည့်အခါ ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးနှင့် တစ်လုံး  $h_{FE}$  ကွာခြားမှုကြောင့်လည်း အလုပ်လုပ်မှတ်ပြောင်းလဲနိုင်ပါသေးသည်။

၁၀-၄-၂။ အီမစ်တာ ဘိုင်းယက်စ် (Emitter Bias)

အီမစ်တာ ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းကို ပုံ(၁၀-၁၁)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ အပေါင်းပါဝါဆပ်ပလိုင်း  $V_{CC}$  နှင့် အနှုတ်ပါဝါဆပ်ပလိုင်း  $V_{EE}$  ဟူ၍ ဆပ်ပလိုင်းနှစ်ခု အသုံးပြုထားပါသည်။



ပုံ(၁၀-၁၁) အီမစ်တာ ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းပုံ



ပုံ(၁၀-၁၁-ခ)တွင် ဘေ့စ်-အီမစ်တာပတ်လမ်းကို ပြန်လည်ဆွဲပြထားပါသည်။ ဆပ်ပလိုင်း  $V_{EE}$  ဖြင့် ဘေ့စ်-အီမစ်တာဂျန်းရှင်းကို ဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ် ရရှိစေပါသည်။ မြေစိုက်မှတ်မှတိုင်းတာရရှိသော ငုတ်များ၏ ဗို့အားများနှင့် ငုတ်များတွင်စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်းများကို တွက်ထုတ်သော် အောက်ပါအတိုင်းရရှိပါသည်။

$$I_E = \left( \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B/h_{FE}} \right) \dots\dots\dots(10-4)$$

$$I_C \cong \left( \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B/h_{FE}} \right) \dots\dots\dots(10-5)$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \dots\dots\dots(10-6)$$

$$V_E = -V_{EE} + I_E R_E \dots\dots\dots(10-7)$$

$$V_B = V_E + V_{BE} \dots\dots\dots(10-8)$$

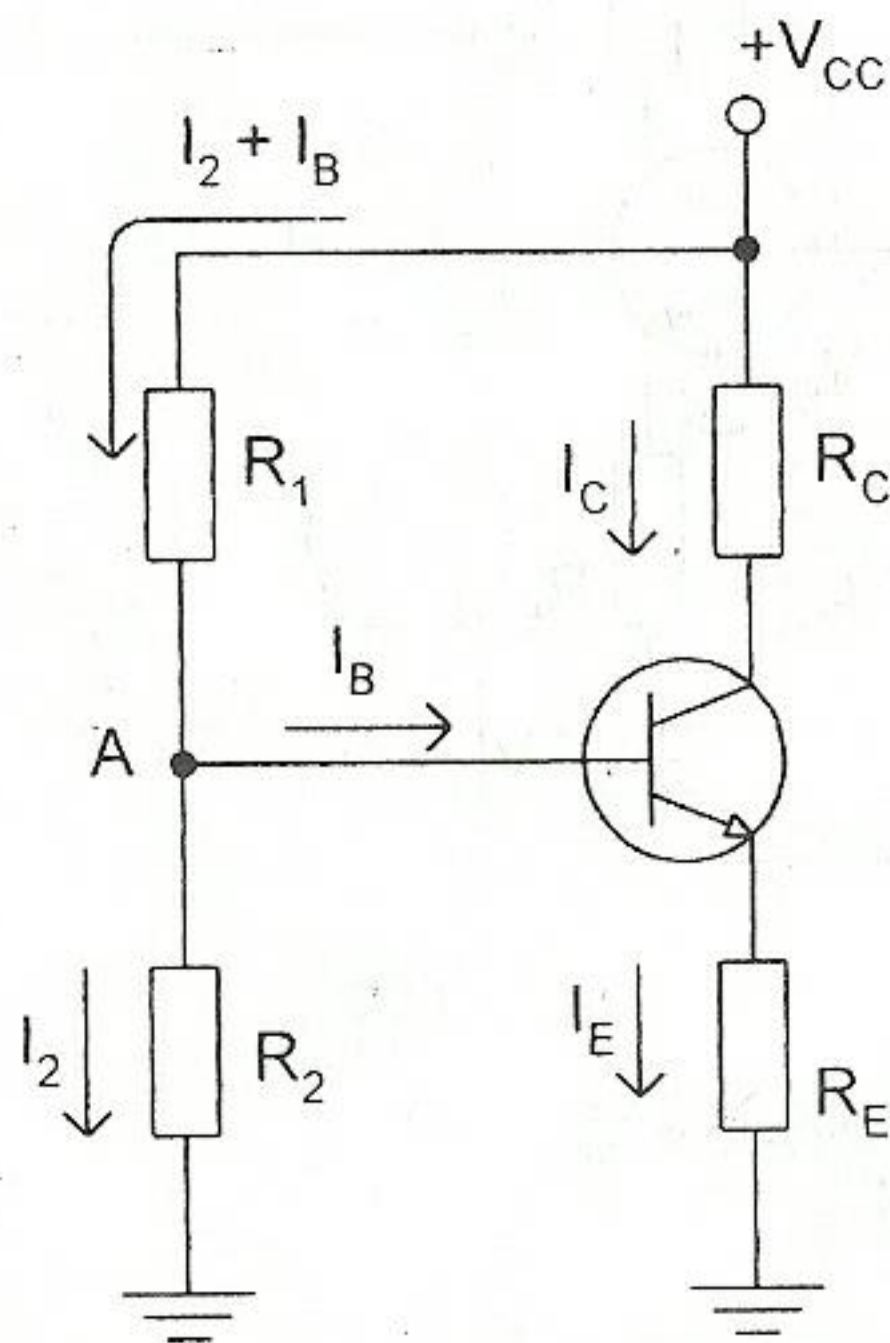
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \dots\dots\dots(10-9)$$

$$V_{CE} \cong V_{CC} + V_{EE} - I_C (R_C + R_E) \dots\dots\dots(10-10)$$

အထက်ပါညီမျှခြင်း(၁၀-၄)အရ  $I_E$  သည်  $V_{BE}$  နှင့်  $h_{FE}$  တို့အပေါ်တွင်မှီခိုနေကြောင်းတွေ့ရပါသည်။  $V_{BE}$  နှင့်  $h_{FE}$  တို့သည် အပူချိန်နှင့်လိုက်ပြီးပြောင်းလဲနေကြပြန်သည်။ အကယ်၍  $R_E \gg R_B / h_{FE}$  ဖြစ်ပြီး  $V_{EE} \gg V_{BE}$  ဖြစ်လျှင်  $I_E \cong V_{EE} / R_E$  ဖြစ်နိုင်သောကြောင့်  $I_E$  သည် အပူချိန်နှင့်လိုက်၍ မပြောင်းလဲတော့ဘဲ ဤပတ်လမ်းသည် ဘေ့စ် ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းထက်စာလျှင် ပိုမိုတည်ငြိမ်မှုရှိကြောင်းတွေ့ရပါသည်။

**၁၀-၄-၃။ ဗို့အား-ခွဲခြား ဘိုင်းယက်စ် (Voltage-Divider Bias)**

လက်တွေ့အသုံးများသော ဗို့အား-ခွဲခြား ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းကို ပုံ(၁၀-၁၂)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

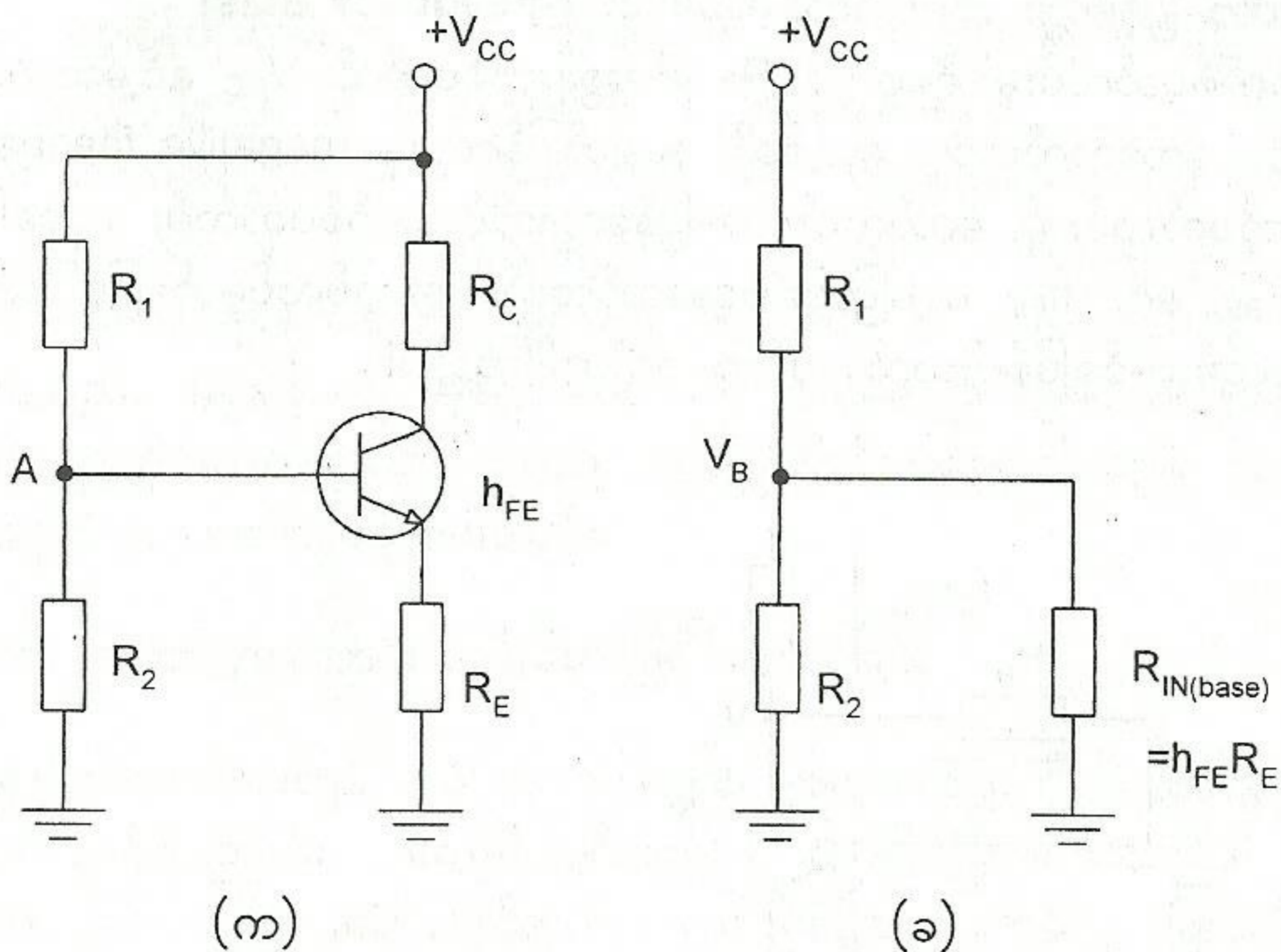


ပုံ(၁၀-၁၂) ဗို့အား-ခွဲခြား ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းပုံ



တနည်းအားဖြင့် ဤပတ်လမ်းသည် ဆပ်ပလိုင်းတစ်ခုတည်းကိုသာ အသုံးပြုထားသော အီမစ်တာ ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းတစ်မျိုးပင်ဖြစ်ပါသည်။ ရီစစ္စတာ  $R_1$  နှင့်  $R_2$  တို့ဖြင့် ဗို့အားခွဲခြားမှုကြောင့် ဘေ့စ်တွင် ဒီစီဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားကို ရရှိစေပါသည်။ အမှတ် A တွင် လျှပ်စီးကြောင်းလမ်းခွဲတစ်ခုဖြစ်ပေါ်နေပါသည်။ လျှပ်စီးကြောင်း  $I_2$  သည်  $R_2$  ကိုဖြတ်စီးနေပြီး  $I_B$  သည် ဘေ့စ်-အီမစ်တာဂျန်းရှင်းကို ဖြတ်စီးနေပါသည်။

ဘေ့စ်နှင့်မြေစိုက်မှတ်အကြားရှိအဝင်ခုခံမှု  $R_{IN(base)}$  or  $h_{FE} R_E$  နှင့်  $R_2$  တို့ပြိုင်လျက်ဖြစ်ပေါ်နေသော ခုခံမှုအတွဲနှင့်  $R_1$  တို့သည် ဗို့အား-ခွဲခြားပတ်လမ်းတစ်ခုအဖြစ် ရပ်တည်နေပါသည်။ ပုံ(၁၀-၁၃-ခ) တွင် ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၁၃) NPN ထရန်စစ္စတာ၏ ဘေ့စ်ဌာတ်မှ အဝင်ခုခံမှုဖော်ထုတ်ပုံ

အထက်ပါပုံ(၁၀-၁၂)နှင့် (၁၀-၁၃)တို့အရ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းတန်ဖိုးများကို တွက်ထုတ်သော် အောက်ပါအတိုင်းရရှိပါသည်။

$$V_B = \left( \frac{R_2 \parallel h_{FE} R_E}{R_1 + (R_2 \parallel h_{FE} R_E)} \right) V_{CC} \dots\dots\dots(10-11)$$

အကယ်၍  $h_{FE} R_E \gg R_2$  ဖြစ်သော်

$$V_B \cong \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} \dots\dots\dots(10-12)$$

$$V_E = V_B - V_{BE} \dots\dots\dots(10-13)$$

$$I_E = V_E / R_E$$

$$I_C \cong I_E$$

$$I_C \cong \left( \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \right) \dots\dots\dots(10-14)$$



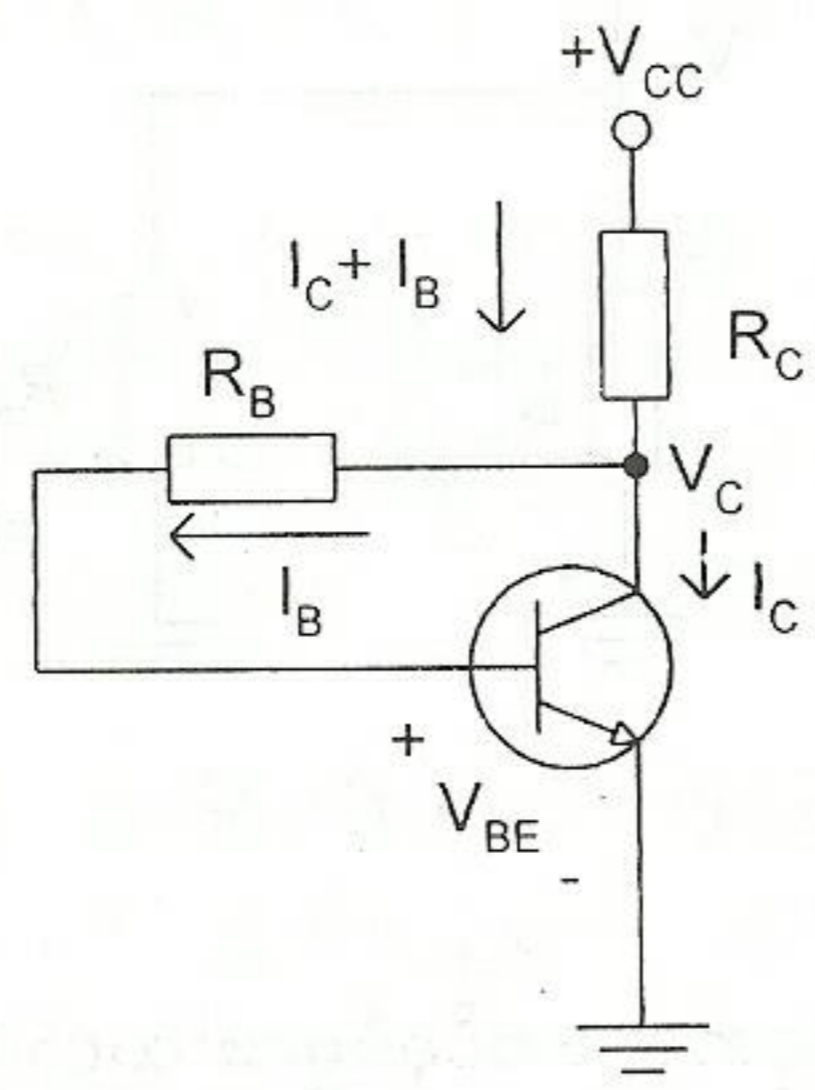
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \dots\dots\dots(10-15)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \dots\dots\dots(10-16)$$

အထက်ပါဗို့အား-ခွဲခြား ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းတွင်  $R_E$  ၏တန်ဖိုးသည်  $R_1$  နှင့်  $R_2$  ပြိုင်ဆက်အကျိုး တူ ခုခံမှုတန်ဖိုးကို လျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆောင်ရွက်ပေးသည့် ဆုံးပမာဏ  $h_{FE(min)}$  နှင့် စား၍ရသောကိန်းထက် (၁၀)ဆခန့် ကြီးအောင် ရွေးချယ်အသုံးပြုလိုက်မည်ဆိုလျှင်  $I_E$  သည်  $h_{FE}$  အပေါ်မှီခိုခြင်းမရှိတော့ဘဲ ပတ်လမ်းသည် အပူချိန်နှင့်ပတ်သက်၍ တည်ငြိမ်မှုအရှိဆုံးဖြစ်ပေတော့သည်။

**၁၀-၄-၄။ ကော်လက်တာ-ပြန်ကျွေး ဘိုင်းယက်စ်(Collector-Feedback Bias)**

ဘေ့စ်ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းမှ ရီစစ္စတာ  $R_B$  ၏အစွန်းတစ်ဖက်ကို  $V_{CC}$  နှင့် မဆက်ဘဲ ကော်လက်တာ နှင့်ဆက်လိုက်သောအခါ ကော်လက်တာမှ ဘေ့စ်သို့ အနှုတ်ပြန်ကျွေးမှု (negative feedback) ပြုထားသကဲ့သို့ ဖြစ်သွားပါသည်။ ထိုပတ်လမ်းကို ကော်လက်တာ-ပြန်ကျွေးဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်း ဟုခေါ်ပါသည်။ အပူချိန် ပြောင်းလဲမှုကြောင့်  $V_{BE}$  နှင့်  $h_{FE}$  တို့ပြောင်းလဲနေသော်လည်း အလုပ်လုပ်မှတ်ပြောင်းလဲမှု အလွန်နည်းစေ သော ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းတစ်ခုဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၁၀-၁၄)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၁၄) ကော်လက်တာ-ပြန်ကျွေး ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းပုံ

အထက်ပါပုံအရ ဗို့အားနှင့်လျှပ်စီးကြောင်းတန်ဖိုးများကို တွက်ထုတ်သော် အောက်ပါအတိုင်း ရရှိ ပါသည်။

$$I_B = \left( \frac{V_C - V_{BE}}{R_B} \right) \dots\dots\dots(10 - 17)$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \dots\dots\dots(10-18)$$

$$I_C = \left( \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / h_{FE}} \right) \dots\dots\dots(10 - 19)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \dots\dots\dots(10-20)$$



ညီမျှခြင်း(၁၀-၁၉)အရ ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်း  $I_c$  သည်  $h_{FE}$  နှင့်  $V_{BE}$  တို့အပေါ်တွင် မှီခိုလျက်ရှိနေကြောင်း တွေ့ရပါသည်။  $R_c \gg R_B / h_{FE}$  နှင့်  $V_{CC} \gg V_{BE}$  တို့ဖြစ်အောင် ရွေးချယ်အသုံးပြုမည်ဆိုလျှင် ထိုမှီခိုမှုများကိုလျော့နည်းစေနိုင်ပေသည်။

သို့သော် အထက်ပါရွေးချယ်မှုများနှင့် မကိုက်ညီသော်လည်း ကော်လက်တာ-ပြန်ကျွေး ဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းသည်  $h_{FE}$  နှင့်  $V_{BE}$  တို့အပေါ်တွင်မှီခိုမှုကို ချေဖျက်ပြီးသားဖြစ်နေကြောင်း အောက်ပါအတိုင်း တွေ့ရပါမည်။

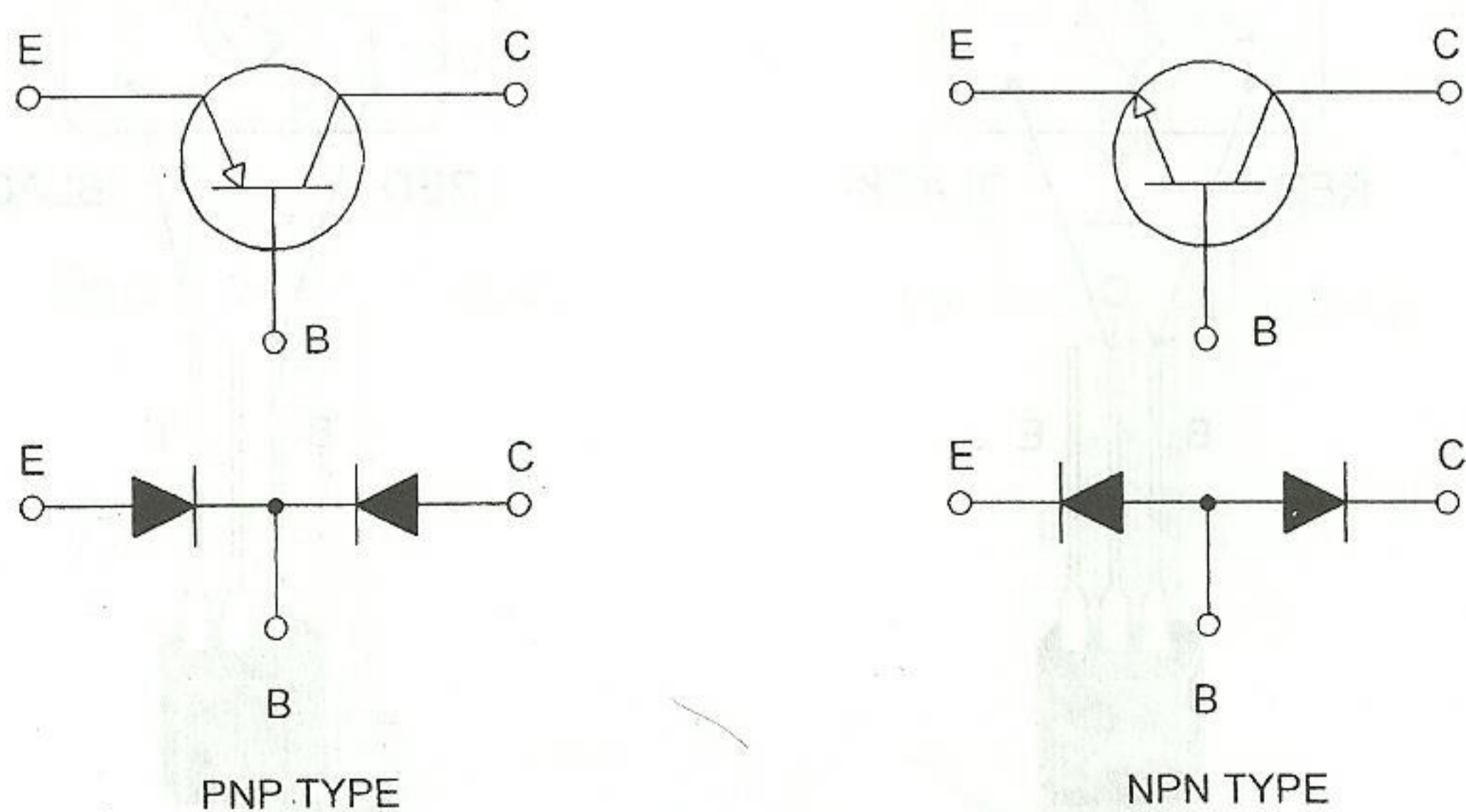
$h_{FE}$  သည် အပူချိန်နှင့်တိုက်ရိုက်အချိုးကျပြောင်းလဲနေပြီး၊  $V_{BE}$  သည် အပူချိန်နှင့်ပြောင်းပြန်အချိုးကျပြောင်းလဲနေသည်။ အပူချိန်တိုးလာလျှင်  $h_{FE}$  တိုးလာပြီး  $V_{BE}$  လျော့ကျသွားသည်။  $h_{FE}$  တိုးလာလျှင်  $I_c$  တိုးလာသည်။  $V_{BE}$  လျော့ကျလျှင်  $I_B$  တိုးလာကာ  $I_c$  ကိုတိုးလာစေသည်။

အပူချိန်တိုးလာသောကြောင့်  $I_c$  တိုးလာလျှင်  $R_c$  တွင်ကျနေသောဗို့အားသည်လည်းတိုးလာသည်။ ထိုအခါကော်လက်တာဗို့အား  $V_c$  လျော့ကျသွားပြီး  $R_B$  တွင်ကျနေသောဗို့အားသည်လည်းလျော့ကျလာသည်။ ထိုအချက်သည်  $I_B$  ကိုလျော့ချလိုက်သကဲ့သို့ဖြစ်နေသောကြောင့်  $I_c$  တိုးလာခြင်းကို ပြန်လည်ချေဖျက်လိုက်သကဲ့သို့ဖြစ်သွားပေသည်။ အပူချိန်လျော့ကျလျှင် အထက်ပါဖြစ်ရပ်သည် ပြောင်းပြန်ဖြစ်ပေါ်နေပေမည်။

ထိုကြောင့် ဤဘိုင်းယက်စ်ပတ်လမ်းသည် အပူချိန်ပြောင်းလဲနေသော်လည်း အလုပ်လုပ်မှတ် မပြောင်းလဲဘဲ တည်ငြိမ်မှုအရှိဆုံးသောပတ်လမ်းဖြစ်ပါသည်။

၁၀-၅။ ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ခြင်း

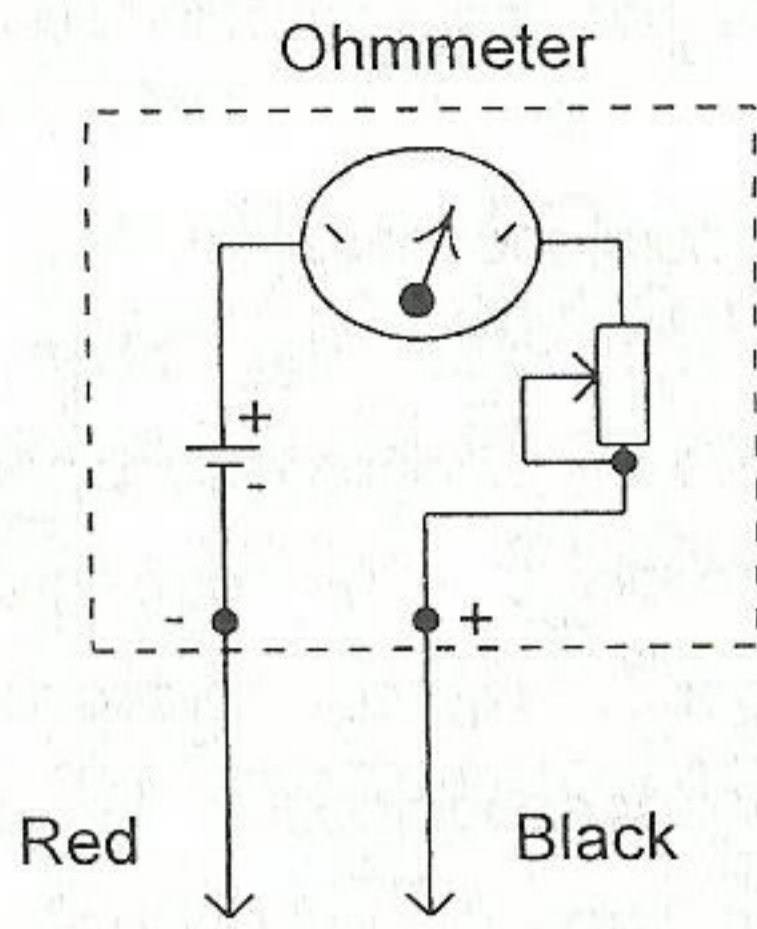
BJTထရန်စစ္စတာတစ်လုံးတွင် ပုံ(၁၀-၁၅)တွင် ပြထားသကဲ့သို့ ပီအင်န်ဂျန်းရှင်းနှစ်ခုသို့မဟုတ် ဒိုင်အုတ်နှစ်လုံးပါဝင်လျက်ရှိကြောင်း ရှေ့ပိုင်းတွင်လည်း ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်ပေသည်။ ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးပုံမှန်အလုပ်မလုပ်တော့ခြင်းသည် အဆိုပါဒိုင်အုတ် တစ်လုံးလုံး ပျက်စီးသွားခြင်းကြောင့်သာဖြစ်ပေသည်။ ဒိုင်အုတ်များပျက်စီးရခြင်းအကြောင်းများတွင် ရှော့တ်ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် ပွင့်သွားခြင်း သို့မဟုတ် ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းပိုများလာခြင်း (leakage) တစ်ခုခုကြောင့် ဖြစ်နိုင်ပေသည်။ အဆိုပါချို့ယွင်းမှုများကို အုမ်းမီတာဖြင့် လွယ်ကူစွာ စမ်းသပ်စစ်ဆေးနိုင်ပါသည်။



ပုံ(၁၀-၁၅) ထရန်စစ္စတာကို ဂျန်းရှင်းဒိုင်အုတ်များဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားပုံ



မာလ်တီမီတာကို အုမ်းမီတာအဖြစ်အသုံးပြုသည့်အခါ မီတာ၏အတွင်းပိုင်းရှိဘက်ထရီကို ခုခံမှု တိုင်းတာရန်အတွက် လျှပ်စီးကြောင်းပင်ရင်းအဖြစ်အသုံးပြုရပါသည်။ ထိုသို့အသုံးပြုသည့်အခါ မာလ်တီမီတာ အများစုတွင် အနီရောင်တိုင်းတာတံသည် ဘက်ထရီအနှုတ်နှင့်ဆက်ထားသဖြင့် အနီရောင်တိုင်းတာတွင် အနှုတ်ပိုတင်ရှယ်ရှိပြီး အနက်ရောင်တိုင်းတာတွင် အပေါင်းပိုတင်ရှယ်ရှိနေကြောင်း သတိပြုရပေမည်။

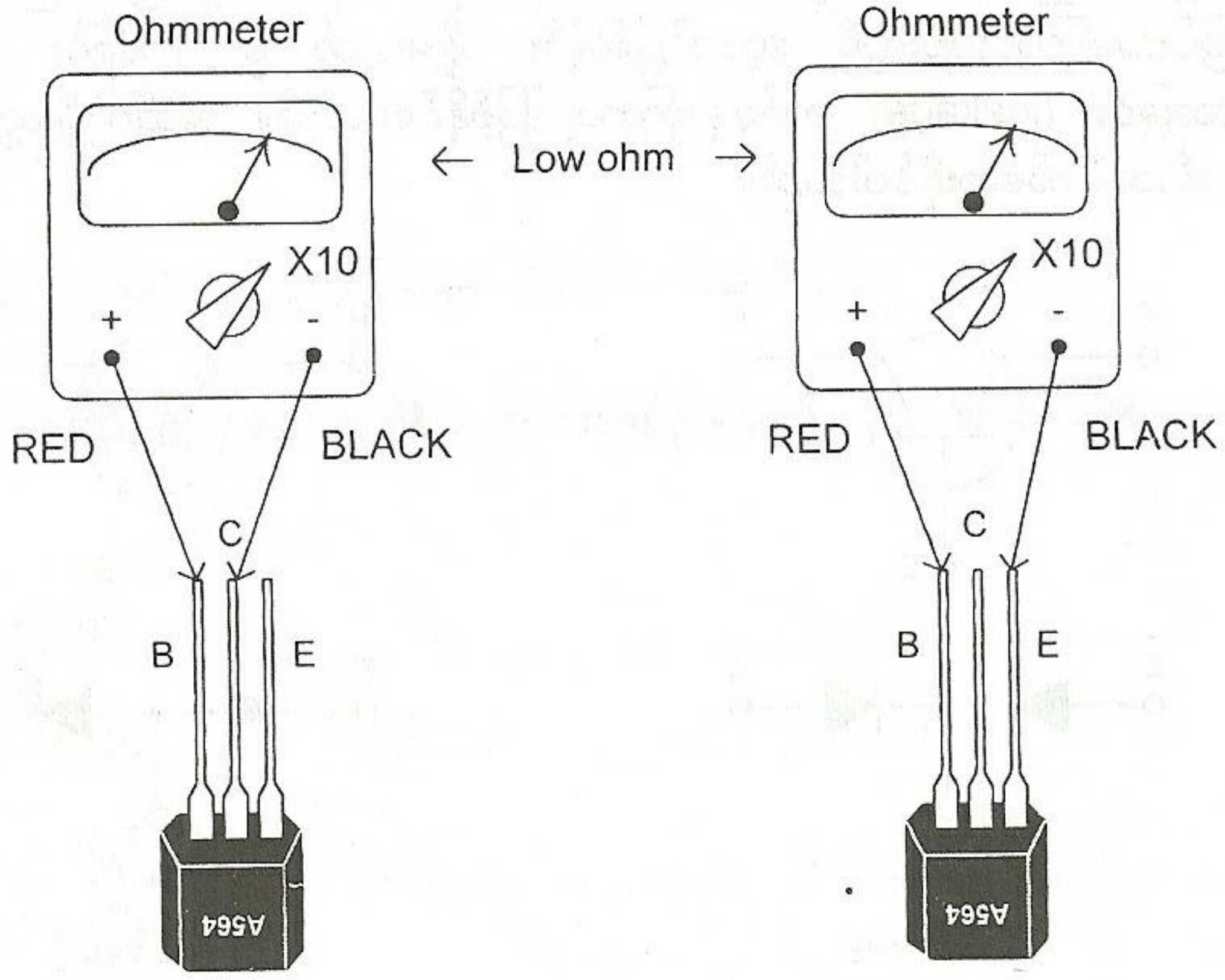


ပုံ(၁၀-၁၆) အုမ်းမီတာတွင် အနီရောင်တိုင်းတာ၌ အနှုတ်ပိုတင်ရှယ်ဖြစ်ပေါ်နေပုံ

၁၀-၅-၁။ PNP ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့် စမ်းသပ်ခြင်း

PNP ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အုမ်းမီတာဖြင့် စမ်းသပ်စစ်ဆေးရန် အောက်ပါအတိုင်း ဆောင်ရွက်ရပါမည်။

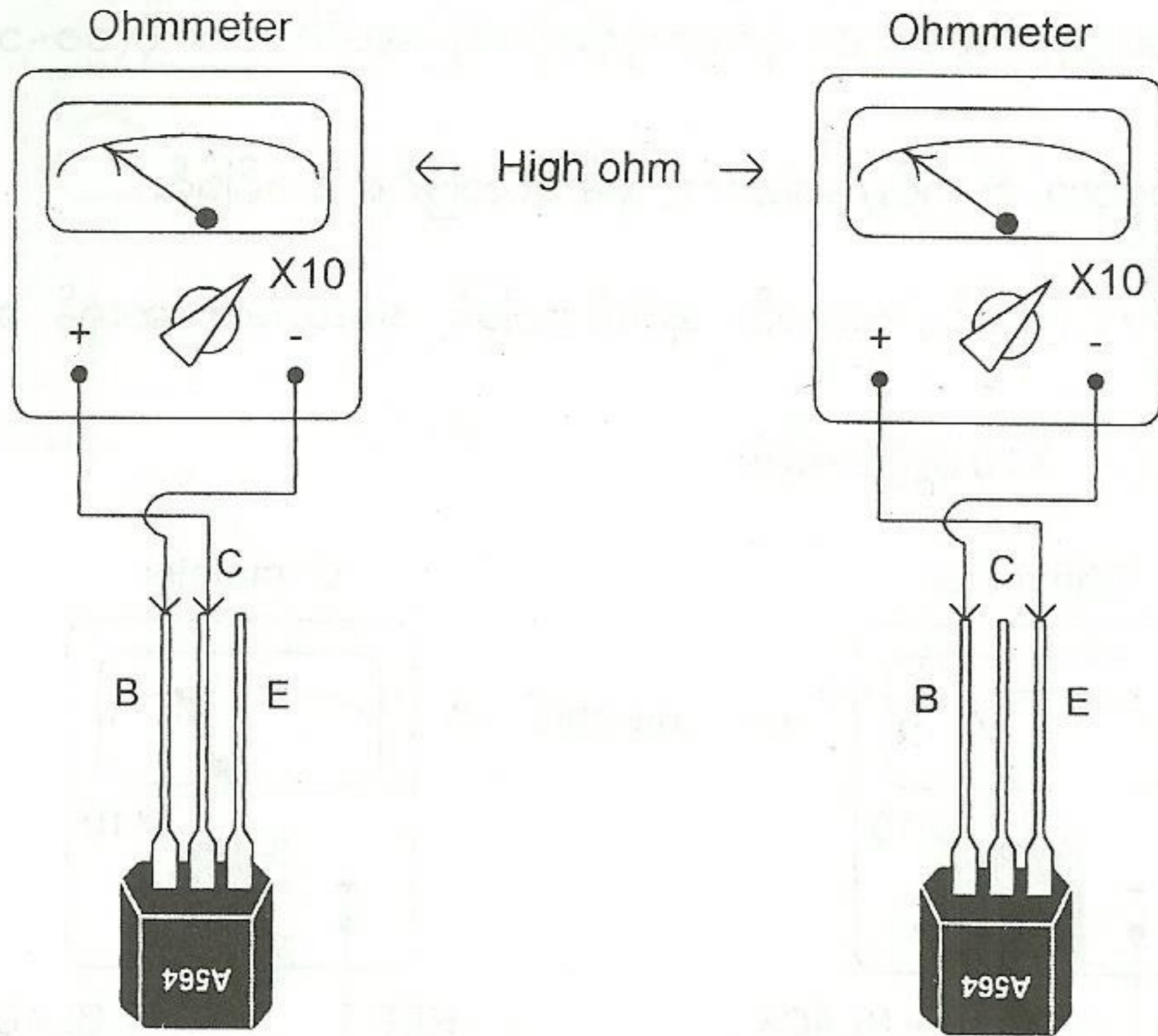
(၁) အုမ်းမီတာစကေးကို X10 တွင်ထားပါ။



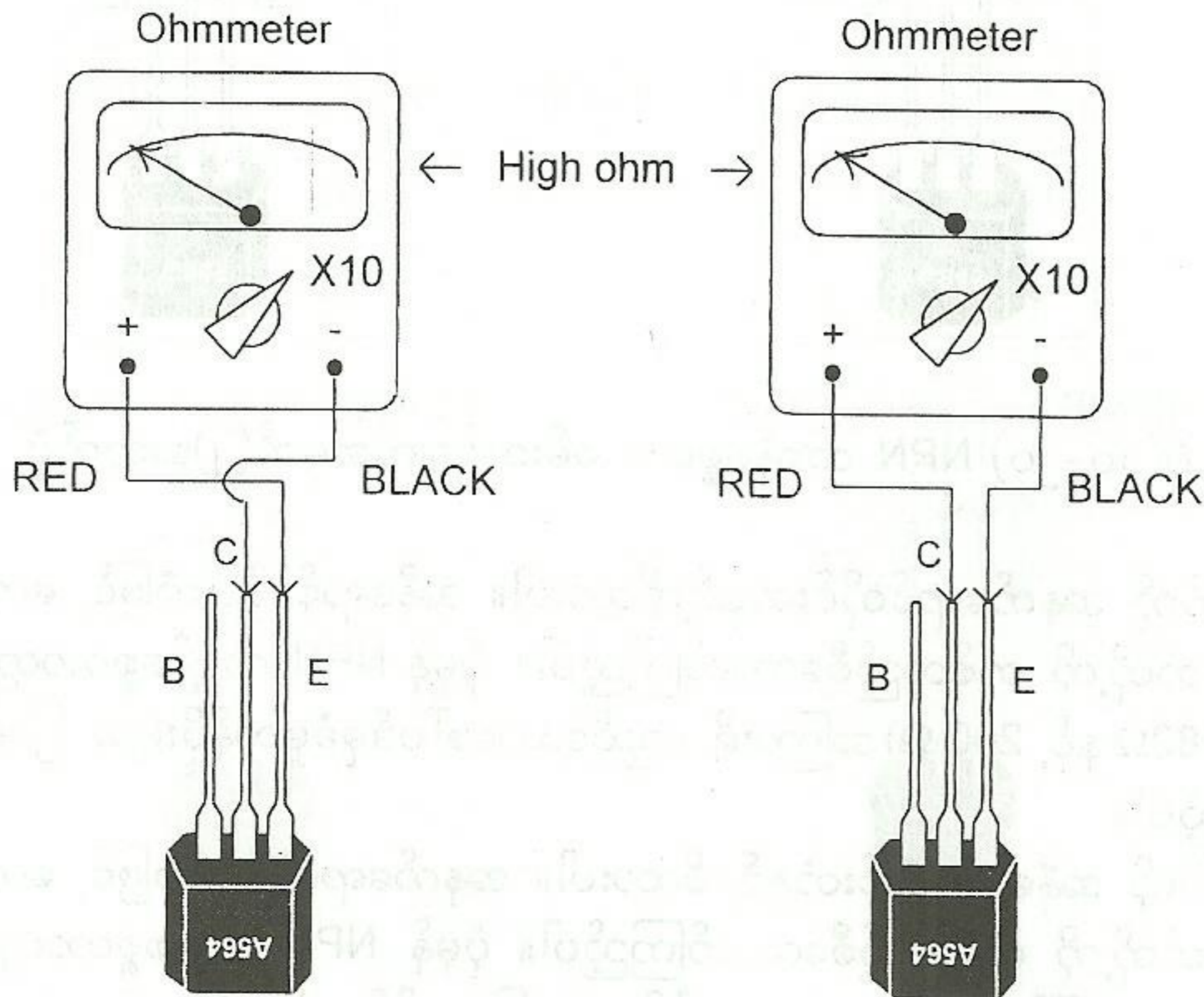
ပုံ(၁၀-၁၇) PNP ထရန်စစ္စတာ စမ်းသပ်ချက်အမှတ်(၂)အတွက်ပုံ



(၂) ဘေ့စ်ဂုတ်ကို အနီရောင်တိုင်းတံနှင့်ထိထားပါ။ အနက်ရောင်တိုင်းတံဖြင့် ကော်လက်တာဂုတ်နှင့် အိမ်စ်တာဂုတ်တို့ကို တစ်လှည့်စီထောက်ကြည့်ပါ။ ပုံမှန် PNP ထရန်စစ္စတာတွင် ဂျန်းရှင်းနှစ်ခုစလုံး အတွက် (80Ω နှင့် 200Ω) အကြားရှိ တူညီသောဖော်ဝင်ခံမှုတန်ဖိုးများ ပြပေလိမ့်မည်။ ပုံ(၁၀-၁၇) တွင် ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၁၈) PNP ထရန်စစ္စတာ စမ်းသပ်ချက်အမှတ်(၃)အတွက်ပုံ



ပုံ(၁၀-၁၉) PNP ထရန်စစ္စတာ စမ်းသပ်ချက်အမှတ်(၄)အတွက်ပုံ

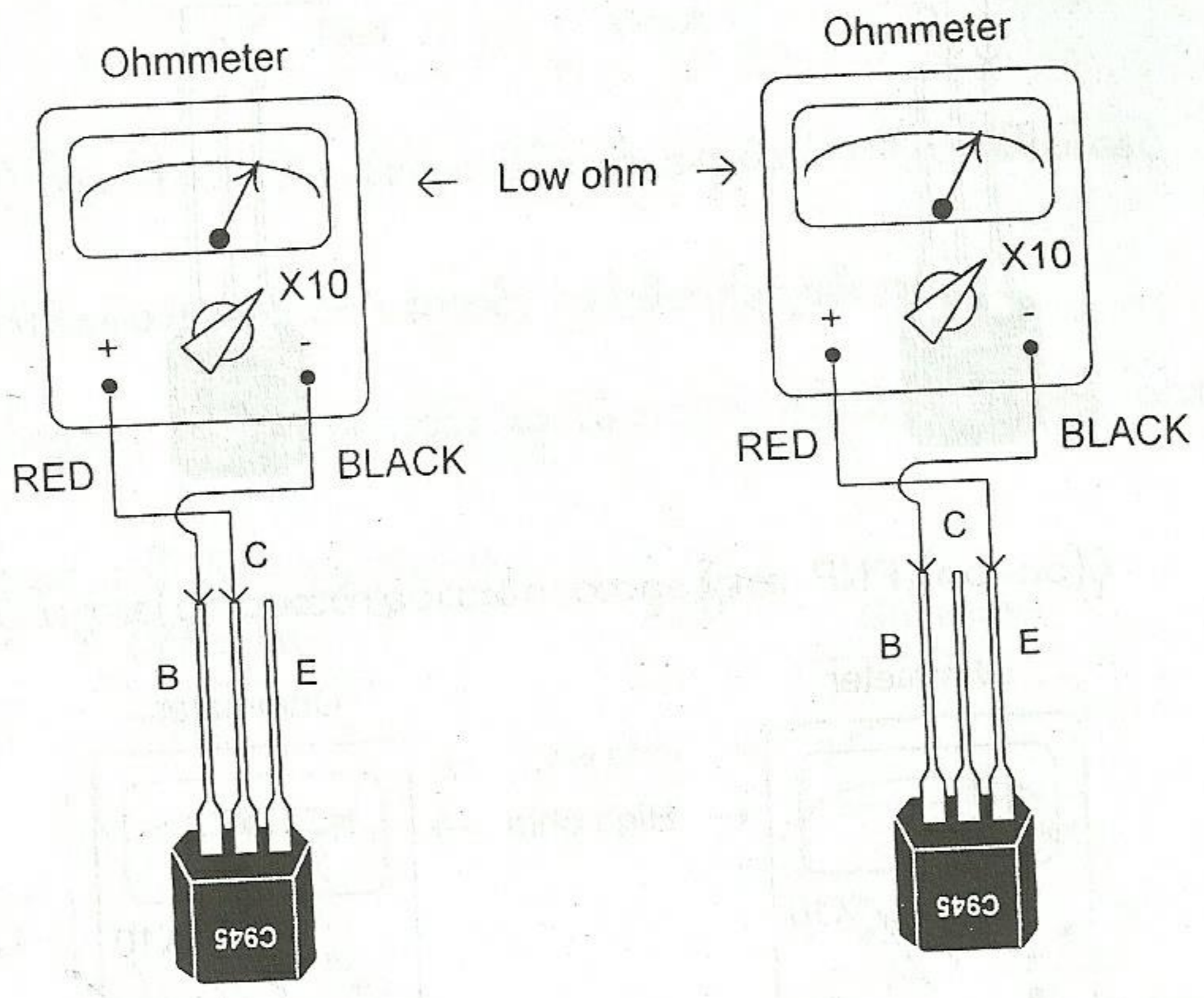


- (၃) ဘေ့စ်ဇုတ်ကို အနက်ရောင်တိုင်းတံနှင့်ထိထားပါ။ အနီရောင်တိုင်းတံဖြင့် ကော်လက်တာဇုတ်နှင့် အီမစ်တာဇုတ်တို့ကို တစ်လှည့်စီထောက်ကြည့်ပါ။ ပုံမှန် PNP ထရန်စစ္စတာတွင် ဂျန်းရှင်းနှစ်ခုစလုံး အတွက် အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးများ ပြပေလိမ့်မည်။ ပုံ(၁၀-၁၈)တွင်ကြည့်ပါ။
- (၄) ကော်လက်တာကို အနက်ရောင်တိုင်းတံနှင့်ထိထားပြီး အီမစ်တာကို အနီရောင်တိုင်းတံဖြင့်ထိထားပါ။ အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုပြလိမ့်မည်။ တိုင်းတံများကို ဖလှယ်၍တိုင်းကြည့်လျှင်လည်း ယခင်အတိုင်း အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုပင်ပြနေလိမ့်မည်။ ပုံ(၁၀-၁၉)တွင်ကြည့်ပါ။

၁၀-၅-၂။ NPN ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ခြင်း

NPN ထရန်စစ္စတာ ကောင်း/မကောင်း အမ်းမီတာဖြင့် စမ်းသပ်စစ်ဆေးရန် အောက်ပါအတိုင်း ဆောင်ရွက်ရပါမည်။

- (၁) အမ်းမီတာစကေးကို X10 တွင်ထားပါ။



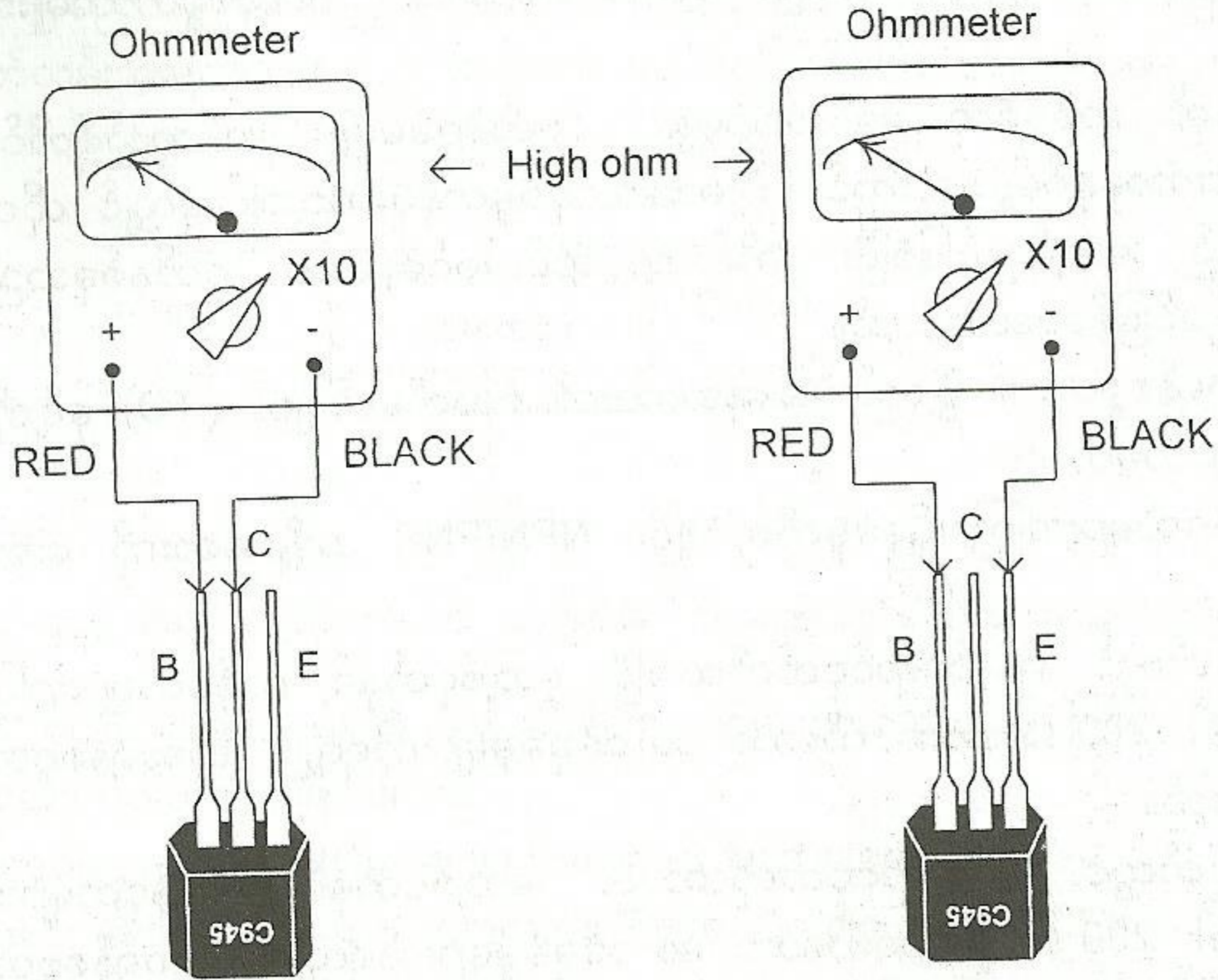
ပုံ(၁၀-၂၀) NPN ထရန်စစ္စတာ စမ်းသပ်ချက်အမှတ်(၂)အတွက်ပုံ

- (၂) ဘေ့စ်ဇုတ်ကို အနက်ရောင်တိုင်းတံနှင့်ထိထားပါ။ အနီရောင်တိုင်းတံဖြင့် ကော်လက်တာဇုတ်နှင့် အီမစ်တာဇုတ်တို့ကို တစ်လှည့်စီထောက်ကြည့်ပါ။ ပုံမှန် NPN ထရန်စစ္စတာတွင် ဂျန်းရှင်းနှစ်ခုစလုံး အတွက် (80Ω နှင့် 200 Ω) အကြားရှိ တူညီသောဖော်ဝင်ခုခံမှုတန်ဖိုးများ ပြပေလိမ့်မည်။ ပုံ(၁၀-၂၀) တွင်ကြည့်ပါ။
- (၃) ဘေ့စ်ဇုတ်ကို အနီရောင်တိုင်းတံနှင့်ထိထားပါ။ အနက်ရောင်တိုင်းတံဖြင့် ကော်လက်တာဇုတ်နှင့် အီမစ်တာဇုတ်တို့ကို တစ်လှည့်စီထောက်ကြည့်ပါ။ ပုံမှန် NPN ထရန်စစ္စတာတွင် ဂျန်းရှင်းနှစ်ခုစလုံး အတွက် အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးများ ပြပေလိမ့်မည်။ ပုံ(၁၀-၂၁)တွင်ကြည့်ပါ။

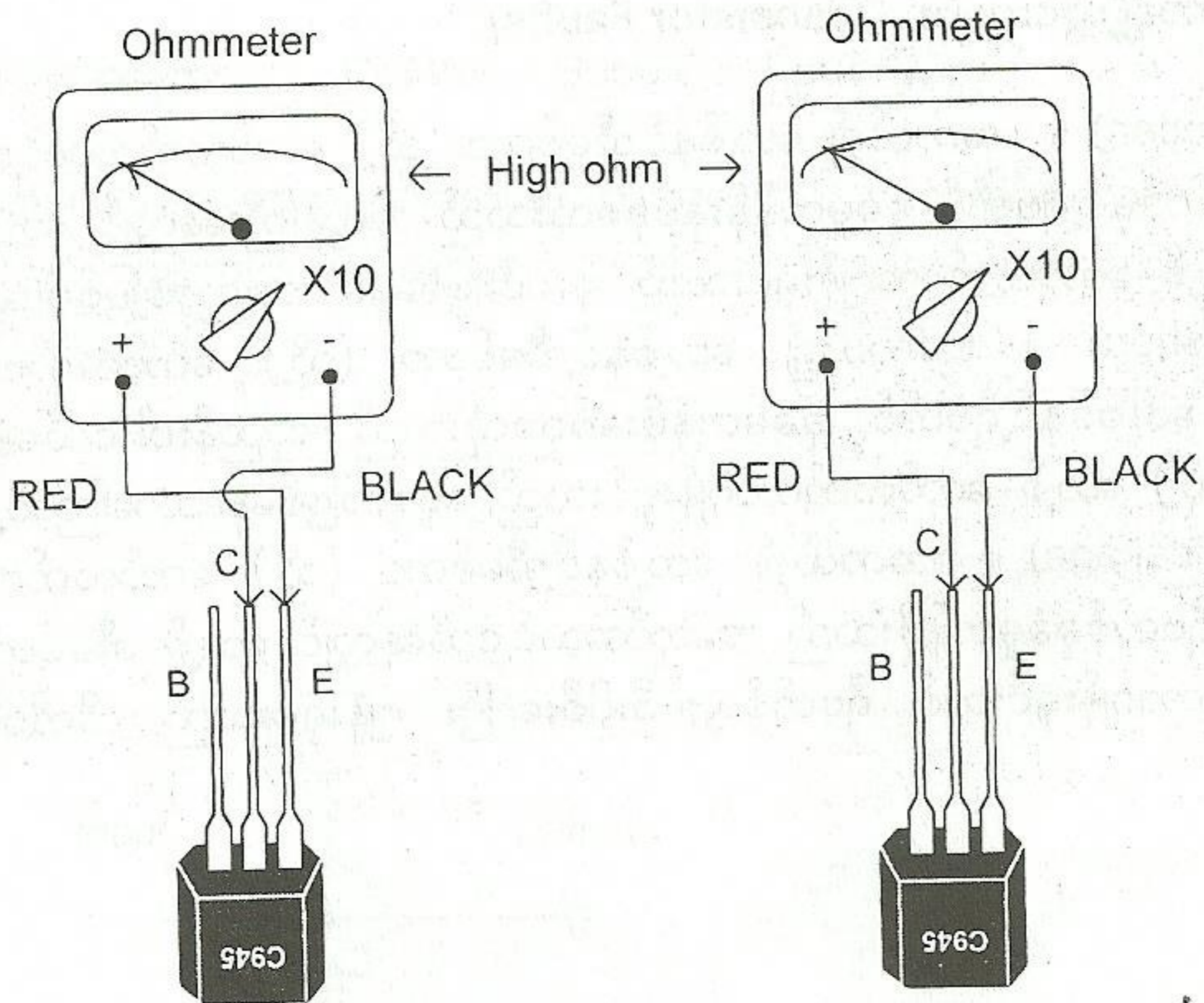


အခန်း(၁၀) ထရန်စစ္စတာ

(၄) အိမ်စစ်တာကို အနီရောင်တိုင်းတံနှင့်ထိထားပြီး ကော်လက်တာကို အနက်ရောင်တိုင်းတံဖြင့်ထိထားပါ။ အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုပြလိမ့်မည်။ တိုင်းတံများကို ဖလှယ်၍တိုင်းကြည့်လျှင်လည်း ယခင်အတိုင်း အလွန်ကြီးမားသော ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုပင်ပြနေလိမ့်မည်။ ပုံ(၁၀-၂၂)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၂၁) NPN ထရန်စစ္စတာ စမ်းသပ်ချက်အမှတ်(၃)အတွက်ပုံ



ပုံ(၁၀-၂၂) NPN ထရန်စစ္စတာ စမ်းသပ်ချက်အမှတ်(၄)အတွက်ပုံ



\*၁၀-၅-၃။ သင်္ကေတအမှတ်အသားပျက်နေသော ထရန်စစ္စတာကို အုမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ခြင်း

ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးတွင် မှတ်သားထားသော သင်္ကေတအမှတ်အသားများ ပျက်စီးသွားသောအခါ ငုတ်အနေအထားများနှင့် ထရန်စစ္စတာအမျိုးအစားများကို ခွဲခြားရန်ခက်ခဲတတ်ပါသည်။ ထိုအခါမျိုးတွင် အောက်ပါအတိုင်း အုမ်းမီတာဖြင့်စမ်းသပ်ပြီး ငုတ်အနေအထားနှင့် ထရန်စစ္စတာအမျိုးအစားကို ခွဲခြားသိရှိနိုင်ပါသည်။

- (၁) ငုတ်သုံးခုအနက် တစ်စုံစီကို ဖော်ဝင်ခံမှုနှင့် ရီဗတ်စ်ခံမှုများ တစ်လှည့်စီတိုင်းကြည့်ပါ။ ငုတ်တစ်စုံအတွက် တိုင်းတာမှုနှစ်မျိုးစလုံးတွင် ကြီးမားသောခုခံမှုတန်ဖိုးကိုသာပြနေလျှင် ထိုတိုင်းတာမှုတွင် မပါဝင်သောငုတ်သည် ဘေ့စ်ငုတ်ဖြစ်ပြီး တိုင်းတာမှုတွင်ပါဝင်နေသော ငုတ်နှစ်ခုသည် ကော်လက်တာနှင့် အီမစ်တာ တို့ပင်ဖြစ်ပေတော့သည်။
- (၂) လက်ဝယ်ရှိထရန်စစ္စတာ၏ ဖွဲ့စည်းပုံအနေအထားကို စံသတ်မှတ်ချက် (TO) နှင့်တိုက်ကြည့်ပြီး E, C, B ငုတ်များကို သတ်မှတ်ပါ။
- (၃) ဘေ့စ်နှင့်ကျန်ငုတ်များအကြားရှိခုခံမှုကိုတိုင်းပြီး NPN/PNP အမျိုးအစားကို အောက်ပါအတိုင်းခွဲခြားနိုင်ပါသည်။
  - (က) ဘေ့စ်ငုတ်တွင် အနက်ရောင်ငုတ်ကိုထားပြီး ဘေ့စ်ငုတ်နှင့် ကျန်ငုတ်များအကြားရှိခုခံမှုများကိုတိုင်းကြည့်သောအခါ 200 Ωအောက်ငယ်သော ဖော်ဝင်ခံမှုများကိုရလျှင် ထိုထရန်စစ္စတာသည် NPN အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။
  - (ခ) ဘေ့စ်ငုတ်တွင် အနီရောင်ငုတ်ကိုထားပြီး ဘေ့စ်ငုတ်နှင့် ကျန်ငုတ်များအကြားရှိခုခံမှုကိုတိုင်းကြည့်သောအခါ 200 Ωအောက်ငယ်သော ဖော်ဝင်ခံမှုများကိုရလျှင် ထိုထရန်စစ္စတာသည် PNP အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။

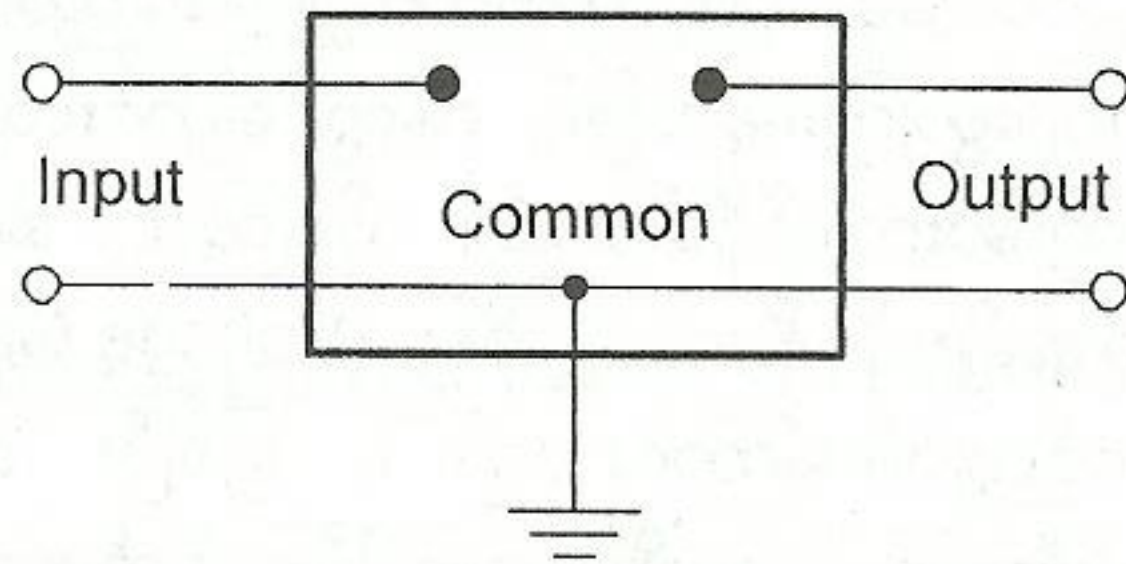
\*၁၀-၆။ ထရန်စစ္စတာချို့ယွင်းမှုများ (Transistor Faults)

- (၁) အိုးပင်း (open) ။ ။အကယ်၍ ဘေ့စ်နှင့်အီမစ်တာ (သို့) ကော်လက်တာတို့အကြား တိုင်းတာရရှိသော ဖော်ဝင်နှင့်ရီဗတ်စ် ခုခံမှုတန်ဖိုးနှစ်ခုစလုံးသည် အလွန်ကြီးနေလျှင် ဘေ့စ်-အီမစ်တာဂျန်းရှင်း (သို့) ဘေ့စ်-ကော်လက်တာဂျန်းရှင်းသည် အိုးပင်းဖြစ်နေသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။
- (၂) ရှော့တ် (short) ။ ။အကယ်၍ ဘေ့စ်နှင့်အီမစ်တာ (သို့) ကော်လက်တာတို့အကြား တိုင်းတာရရှိသော ဖော်ဝင်နှင့်ရီဗတ်စ် ခုခံမှုတန်ဖိုးနှစ်ခုစလုံးသည် သုညနီးပါးငယ်နေလျှင် ဘေ့စ်-အီမစ်တာဂျန်းရှင်း(သို့) ဘေ့စ်-ကော်လက်တာဂျန်းရှင်းသည် ရှော့တ်ဖြစ်နေသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။
- (၃) လိကိတ် (leakage) ။ ။အကယ်၍ ဘေ့စ်နှင့်အီမစ်တာ (သို့) ကော်လက်တာတို့အကြား တိုင်းတာရရှိသော ရီဗတ်စ်ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် အတော်အသင့်ငယ်နေလျှင် ဘေ့စ်-အီမစ်တာဂျန်းရှင်း(သို့) ဘေ့စ်-ကော်လက်တာဂျန်းရှင်းတွင် ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးပိုစီးနေပြီး ဂျန်းရှင်းသည် လိကိတ်ဖြစ်နေသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။



၁၀-၇။ ထရန်စစ္စတာချဲ့စက်ပတ်လမ်းအနေအထားများ (Transistor Amplifier Circuit Configurations)

အစီအချက်ပြကို ချဲ့ရန်အတွက် ငုတ်(၃)ချောင်းပါရှိသော ထရန်စစ္စတာကို ချဲ့စက်ပတ်လမ်းအဖြစ် တည်ဆောက်အသုံးပြုသောအခါ မည်သည့်ငုတ်တွင် အဝင်အချက်ပြထည့်သွင်းမည်၊ မည်သည့်ငုတ်မှ အထွက် အချက်ပြကိုထုတ်ယူမည်၊ မည်သည့်ငုတ်သည် အဝင်/အထွက်တို့တွင် ဘုံ(Common) ဖြစ်နေသည်ဆိုသည့် အချက်ပေါ်မူတည်၍ ပတ်လမ်းအနေအထားသည် အမျိုးအစား(၃)မျိုးဖြစ်နိုင်ပါသည်။ ပုံ(၁၀-၂၃)တွင် ယေဘုယျ အားဖြင့် အဝင်နှင့်အထွက်တို့ ဘုံဖြစ်နေပုံကို ဖော်ပြထား ပါသည်။



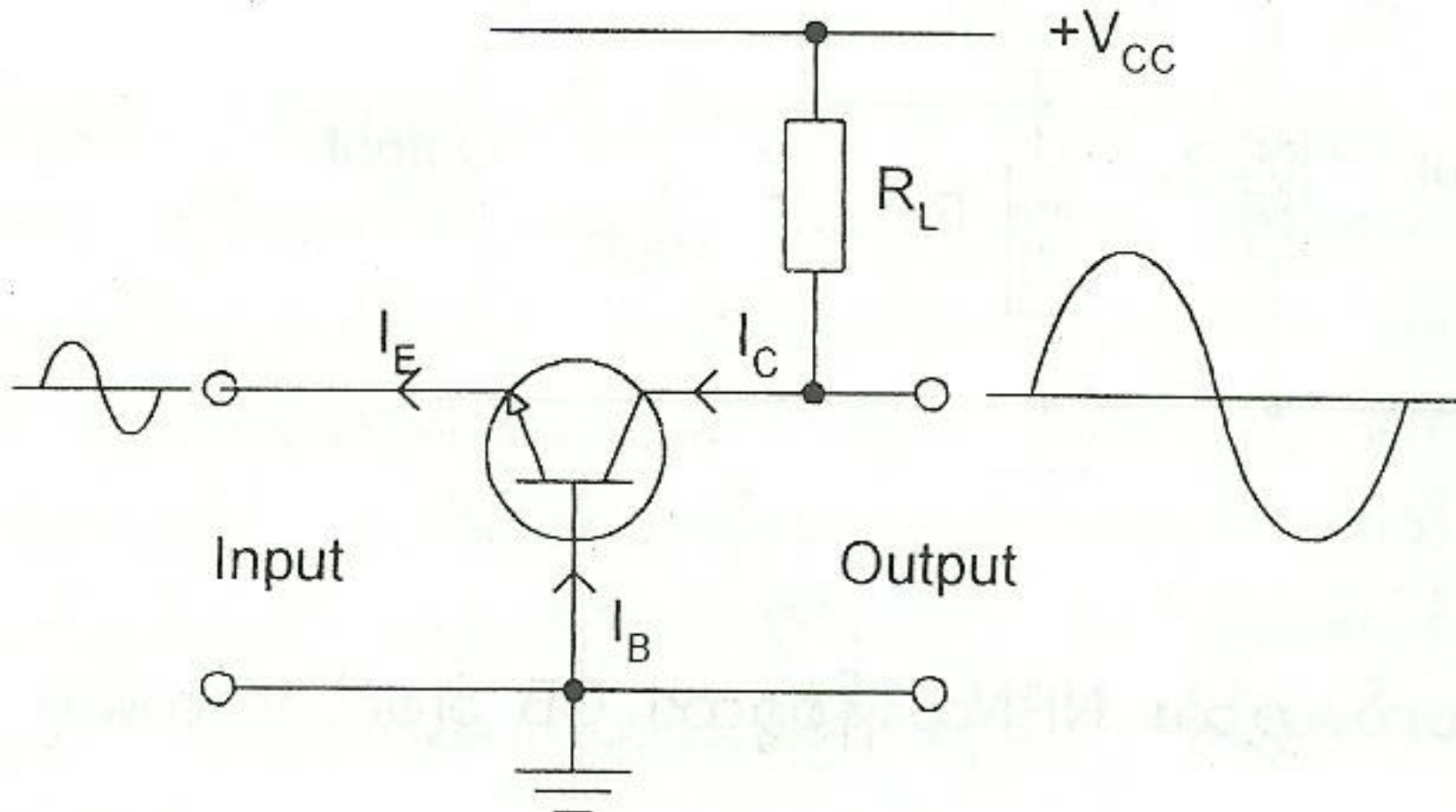
ပုံ(၁၀-၂၃) အဝင်နှင့်အထွက်တို့ ဘုံဖြစ်ပေါ်နေသောပတ်လမ်းအနေအထားပုံ

ထရန်စစ္စတာ၏ ငုတ်(၃)ချောင်းအနက် တစ်ခုစီကို ဘုံအဖြစ်ထားသောအခါ ဖြစ်ပေါ်လာသောပတ်လမ်း အနေအထား(၃)မျိုးမှာ အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်ပါသည်။

- (၁) ဘုံ ဘော့စ်ပတ်လမ်းအနေအထား (Common Base Configuration, CB)
- (၂) ဘုံ အီမစ်တာပတ်လမ်းအနေအထား (Common Emitter Configuration, CE)
- (၃) ဘုံ ကော်လက်တာပတ်လမ်းအနေအထား (Common Collector Configuration, CC) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

၁၀-၇-၁။ ဘုံ ဘော့စ်ပတ်လမ်းအနေအထား (Common Base Configuration)

ဘော့စ်ငုတ်သည် အဝင်နှင့်အထွက်အချက်ပြနှစ်မျိုးစလုံးအတွက် သက်ဆိုင်နေသောကြောင့် (တနည်း အားဖြင့် ဘုံဖြစ်နေသောကြောင့်) ဤပတ်လမ်းအနေအထားကို ဘုံ ဘော့စ်ပတ်လမ်းအနေအထား ဟုခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၁၀-၂၄)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၀-၂၄) NPNထရန်စစ္စတာ ဘုံ ဘော့စ်ပတ်လမ်းပုံ



CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အဝင်အချက်ပြကို အီမစ်တာပုလင်းမှပေးသွင်းရပြီး ဝန်ခံမှုကိုဖြတ်လျက် ထွက်ပေါ်လာသော အထွက်အချက်ပြကို ကော်လက်တာပုလင်းမှ ထုတ်ယူရပါသည်။ အဝင်အချက်ပြသည် အီမစ်တာ-ဘော့စ် ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားကို အားဖြည့်ရာရောက်သဖြင့် အီမစ်တာလျှပ်စီးကြောင်း  $I_E$  သည်တိုးလာပါသည်။ ထိုအခါ ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်း  $I_C$  သည်လည်းတိုးလာပြီး ဝန်တွင်ကြီးမားသော ဗို့အားအကျကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ ကော်လက်တာပုလင်းရှိ အထွက်အချက်ပြသည် အဝင်အချက်ပြနှင့် အသွင်တူ (in phase) ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။

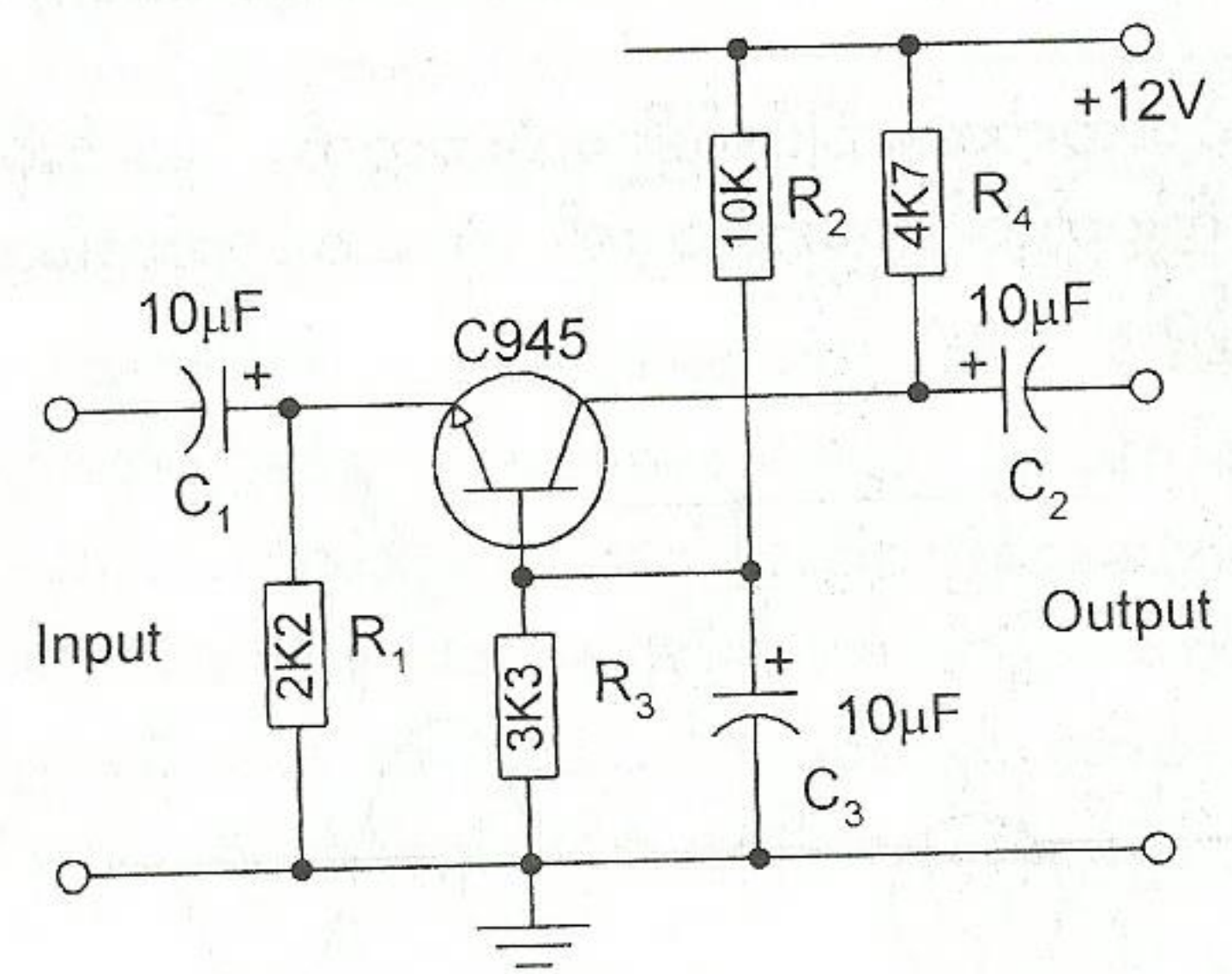
ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲမှုသည် အီမစ်တာလျှပ်စီးကြောင်းပြောင်းလဲမှုနှင့် တူညီလှနီးပါး ရှိပြီး အထွက်ခွန်သည် အဝင်ခွန်ထက်များစွာကြီးနေသဖြင့် ဝန်တွင်ပြောင်းလဲဖြစ်ပေါ်နေသော အထွက်ဗို့အားသည် အဝင်ဗို့အားထက်စာလျှင် များစွာကြီးမားလျက်ရှိပါသည်။ ထို့ကြောင့် အဝင်အချက်ပြသည် ချဲ့ခြင်းခံရပါသည်။ အထွက်ဗို့အားနှင့် အဝင်ဗို့အားတို့အချိုးကို ဗို့အားချဲ့ကိန်း (Voltage Gain) ဟုခေါ်ပါသည်။

CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အဝင်လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $I_E$  ဖြစ်ပြီး အထွက်လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $I_C$  ဖြစ်ပါသည်။  $I_C$  နှင့်  $I_E$  တို့အချိုးကိုလျှပ်စီးကြောင်းချဲ့ကိန်းဟုခေါ်ပြီးသင်္ကေတအားဖြင့်  $\alpha$  ဖြင့်သတ်မှတ်ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။

$$\alpha = I_C / I_E$$

အထက်ပါညီမျှခြင်းအရ လျှပ်စီးကြောင်းချဲ့ကိန်း  $\alpha$  သည် 1 ထက်ငယ်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော်  $I_E = I_B + I_C$  ဖြစ်သဖြင့်  $I_E$  သည်  $I_C$  ထက်ကြီးသောကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။

CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အီမစ်တာလျှပ်စီးကြောင်းသည် အလွန်ကြီးသဖြင့် အီမစ်တာရှိ အဝင်ခွန်  $r_i$  သည် အလွန်ငယ်ပါသည်။ ရီဗတ်စ်ဗို့အားကြောင့် ကော်လက်တာရှိ အထွက်ခွန်  $r_o$  သည် အလွန်ကြီးပါသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် သေးငယ်သောအချက်ပြအတွက် အီမစ်တာလျှပ်စီးကြောင်း 1.5mA ခန့်တွင် အဝင်ခွန်  $r_i$  သည်  $20\Omega$  ခန့်ရှိပြီး အထွက်ခွန်  $r_o$  သည်  $1M\Omega$  ခန့်ရှိပါသည်။



ပုံ(၁၀-၂၅) လက်တွေ့သုံး NPNထရန်စစ္စတာ CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းပုံ

လက်တွေ့အသုံးပြုသော NPNထရန်စစ္စတာ CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းကို ပုံ(၁၀-၂၅)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် ရီစစ္စတာ  $R_2$  နှင့်  $R_3$  တို့ဖြင့် ဘော့စ်တွင်ဒီစီဗို့အားအနည်းငယ်ဖြစ်ပေါ်စေပြီး ဘော့စ်နှင့် အီမစ်တာအကြားတွင်လည်း ဒီစီဖော်ဝင်ဘိုင်းယက်စ်ရရှိနိုင်စေပါသည်။ ကော်လက်တာတွင်တပ်ဆင်ထားသော

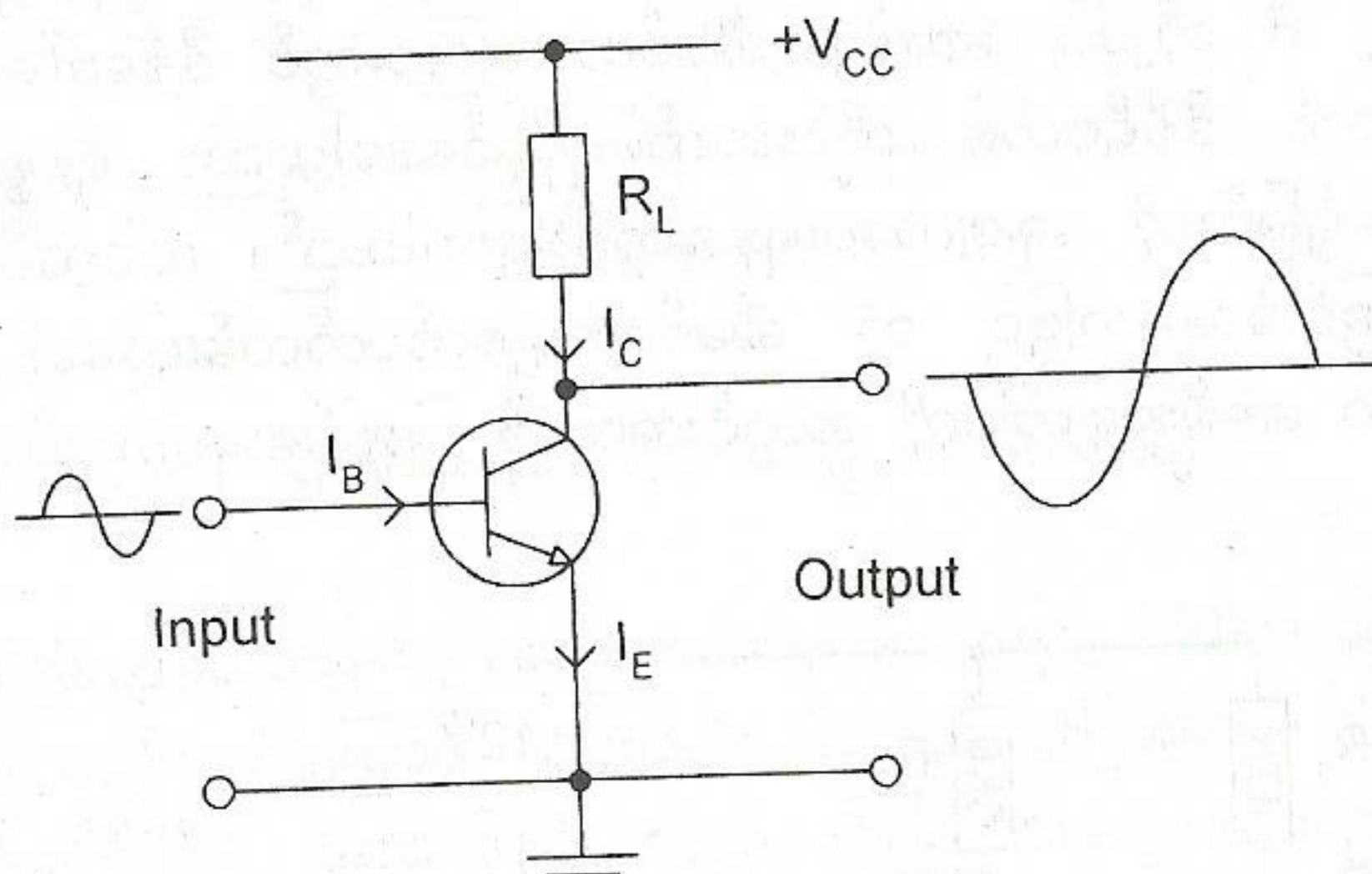


ရီစစ္စတာ  $R_4$  ကြောင့် ကော်လက်တာနှင့်ဘော့စ်ကြားတွင် ဒီစီရီဗတ်စ်ဘိုင်းယက်စ် ရရှိနိုင်စေပါသည်။ ကပယ်စီတာ  $C_3$  ကြောင့် ဘော့စ် သည် မြေစိုက်သို့ချထားခြင်းခံနေရသဖြင့် ဘုံ ဘော့စ်ချဲ့စက်ပတ်လမ်း ဟုခေါ်ဆိုနိုင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စတာ  $C_1$  နှင့်  $C_2$  တို့က အစီအချက်ပြကို အသွင်းအထုတ် ပြုလုပ်ပေးပါသည်။

CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းသည် လျှပ်စီးကြောင်းကိုမချဲ့နိုင်ခြင်း၊ ဗို့အားကို အသင့်အတင့်ချဲ့ပေးနိုင်သော်လည်း အဝင်ခုခံမှုနှင့် အထွက်ခုခံမှု ကွာခြားမှုကြီးမားလွန်းသောကြောင့် ဆက်တွဲ (cascade) ၍အသုံးပြုရန်မသင့်တော်ခြင်း၊ စသည့်အားနည်းချက်များရှိနေသည်ကို တွေ့ရပါသည်။ သို့သော်လည်း ယင်းပတ်လမ်းတွင် ကော်လက်တာမှ ဘော့စ်သို့စီးနေသော ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းသည် အချဲ့မခံရသဖြင့် CB ချဲ့စက်ပတ်လမ်းသည် အပူချိန်နှင့်ပတ်သက်၍ တည်ငြိမ်မှုအလွန်ကောင်းပါသည်။

၁၀-၇-၂။ ဘုံ အီမစ်တာပတ်လမ်းအနေအထား (Common Emitter Configuration)

အီမစ်တာပတ်လမ်းသည် အဝင်နှင့်အထွက်အချက်ပြနှစ်မျိုးစလုံးအတွက် ဘုံဖြစ်နေသောကြောင့် ဘုံ အီမစ်တာ ပတ်လမ်း (သို့) CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်း ဟုခေါ်ရခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၁၀-၂၆)တွင်ကြည့်ပါ။ CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အဝင်အချက်ပြကို ဘော့စ်တာပတ်လမ်းမှပေးသွင်းရပြီး ဝန်ခုခံမှုကိုဖြတ်လျက် ထွက်ပေါ်လာသော အထွက်အချက်ပြကို ကော်လက်တာပတ်လမ်းမှ ထုတ်ယူရပါသည်။



ပုံ(၁၀-၂၆) NPN ထရန်စစ္စတာ CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်းပုံ

NPN ထရန်စစ္စတာ CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အဝင်အချက်ပြသည် အပေါင်းဗို့အားသို့ ချဉ်းကပ်သောအခါ ဘော့စ်-အီမစ်တာ ဘိုင်းယက်စ်ဗို့အားကို အားဖြည့်ပေးသလိုဖြစ်နေသောကြောင့် အီမစ်တာနှင့် ဘော့စ်လျှပ်စီးကြောင်းတို့ကိုများပြားလာပါသည်။ အလားတူပင်ကော်လက်တာ လျှပ်စီးကြောင်းကိုလည်း တိုးလာစေသဖြင့် ဝန်ခုခံမှုတွင် ဗို့အားအကျပိုမိုများလာစေပါသည်။ ထို့ကြောင့် ကော်လက်တာဗို့အားသည် လျော့ကျသွားပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် ကော်လက်တာဗို့အားသည် အနှုတ်ဘက်သို့ဦးတည်သွားပါသည်။ ထိုအချက်ကြောင့် CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အထွက်ဗို့အားလှိုင်းသည် အဝင်ဗို့အားလှိုင်းနှင့် အသွင်ပြောင်းခြင်း (၁၈၀°) ရှိသည်ဟုဆိုနိုင်ပါသည်။ အထွက်ဗို့အားပြောင်းလဲခြင်းသည် အဝင်ဗို့အားပြောင်းလဲခြင်းထက် ပိုများသဖြင့် ဗို့အားချဲ့ခြင်းဖြစ်ပေါ်ပါသည်။



CEချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အဝင်လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $I_B$  ဖြစ်ပြီး အထွက်လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $I_C$  ဖြစ်ပါသည်။  $I_C$  နှင့်  $I_B$  တို့အချိုးကို လျှပ်စီးကြောင်းချဲ့ကိန်းဟုခေါ်ပြီး သင်္ကေတအားဖြင့်  $\beta$  သို့မဟုတ်  $h_{FE}$  ဖြင့် သတ်မှတ်ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။

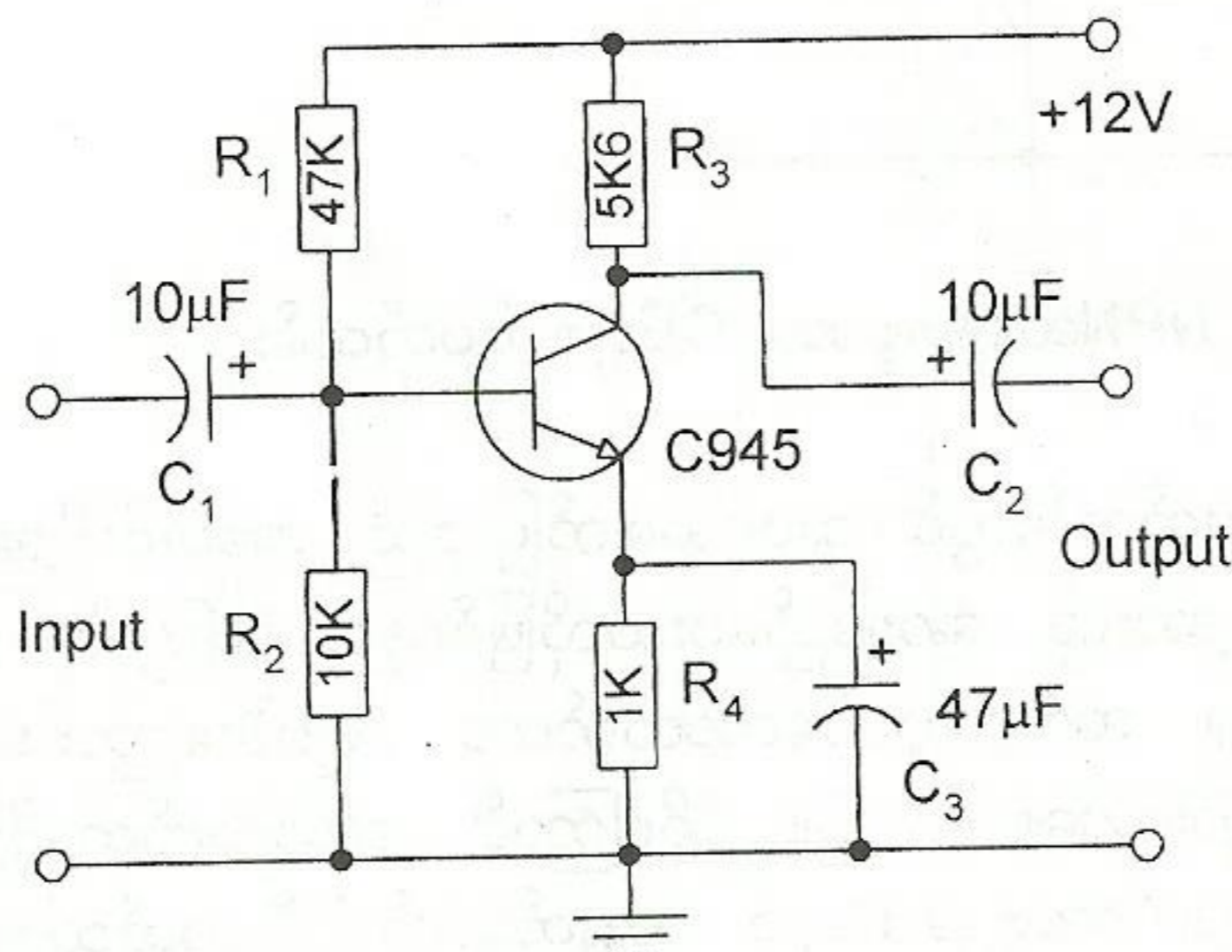
$$\beta \text{ (or) } h_{FE} = I_C / I_B$$

အထက်ပါညီမျှခြင်းအရ လျှပ်စီးကြောင်းချဲ့ကိန်း  $\beta$  (သို့)  $h_{FE}$  သည် 1 ထက် များစွာကြီးကြောင်း တွေ့ရပါသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် ယင်းကိန်းသည် 10 နှင့် 300 အကြားရှိတတ်ပါသည်။

အဝင်လျှပ်စီးကြောင်း  $I_B$  သည်အလွန်ငယ်သဖြင့် CEချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင်အဝင်ခုခံမှု  $r_i$  သည် CBချဲ့စက်ပတ်လမ်းထက် ပိုကြီးပါသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့်  $r_i$  သည်  $1k\Omega$  ခန့်ရှိပြီး အထွက်ခုခံမှု  $r_o$  သည်  $50k\Omega$  ခန့်ရှိတတ်ပါသည်။ CEချဲ့စက်ပတ်လမ်းသည် အဝင်/အထွက်ခုခံမှုကွာခြားချက်သိတ်မကြီးလှသောကြောင့် ပတ်လမ်းများကို ဆက်တွဲအသုံးပြုရန် အလွန်သင့်တော်သော ပတ်လမ်းတစ်ခုဖြစ်ပါသည်။

သို့သော်လည်း CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် ကော်လက်တာမှ ဘော့စ်သို့စီးနေသော ရီဗတ်စ်လျှပ်စီးကြောင်းသည် အချဲ့ခံရသဖြင့် ယင်းပတ်လမ်းသည်အပူချိန်နှင့်ပတ်သက်၍ တည်ငြိမ်မှုမရှိလှချေ။ ထို့ကြောင့် ဘိုင်းယက်စ်မိုအားတည်ငြိမ်မှုရှိအောင် သီးခြားအစီအစဉ်များ ထည့်သွင်းပေးရပါသည်။

လက်တွေ့သုံး NPNထရန်စစ္စတာ CEချဲ့စက်ပတ်လမ်းကို ပုံ(၁၀-၂၇)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် ရီစစ္စတာ  $R_2$  နှင့်  $R_1$  တို့ဖြင့် ဘော့စ်နှင့်အီမစ်တာအကြားတွင် ဒီစီဖော်ဝင် ဘိုင်းယက်စ်ရရှိစေပြီး ဘော့စ်နှင့်ကော်လက်တာအကြားတွင် ဒီစီရီဗတ်စ် ဘိုင်းယက်စ်ရရှိနိုင်စေပါသည်။ ရီစစ္စတာ  $R_4$  က အပူချိန်ကြောင့် ပတ်လမ်းတည်ငြိမ်မှုမရှိခြင်းကို ချေဖျက်ပေးရန်အတွက်ဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတာ  $C_3$  ကြောင့် အီမစ်တာသည် မြေစိုက်သို့ချထားခြင်းခံနေရသဖြင့် ဘုံ အီမစ်တာချဲ့စက်ပတ်လမ်းဟုခေါ်ဆိုနိုင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတာ  $C_1$  နှင့်  $C_2$  တို့က အစီအချက်ပြကို အသွင်းအထုတ် ပြုလုပ်ပေးပါသည်။

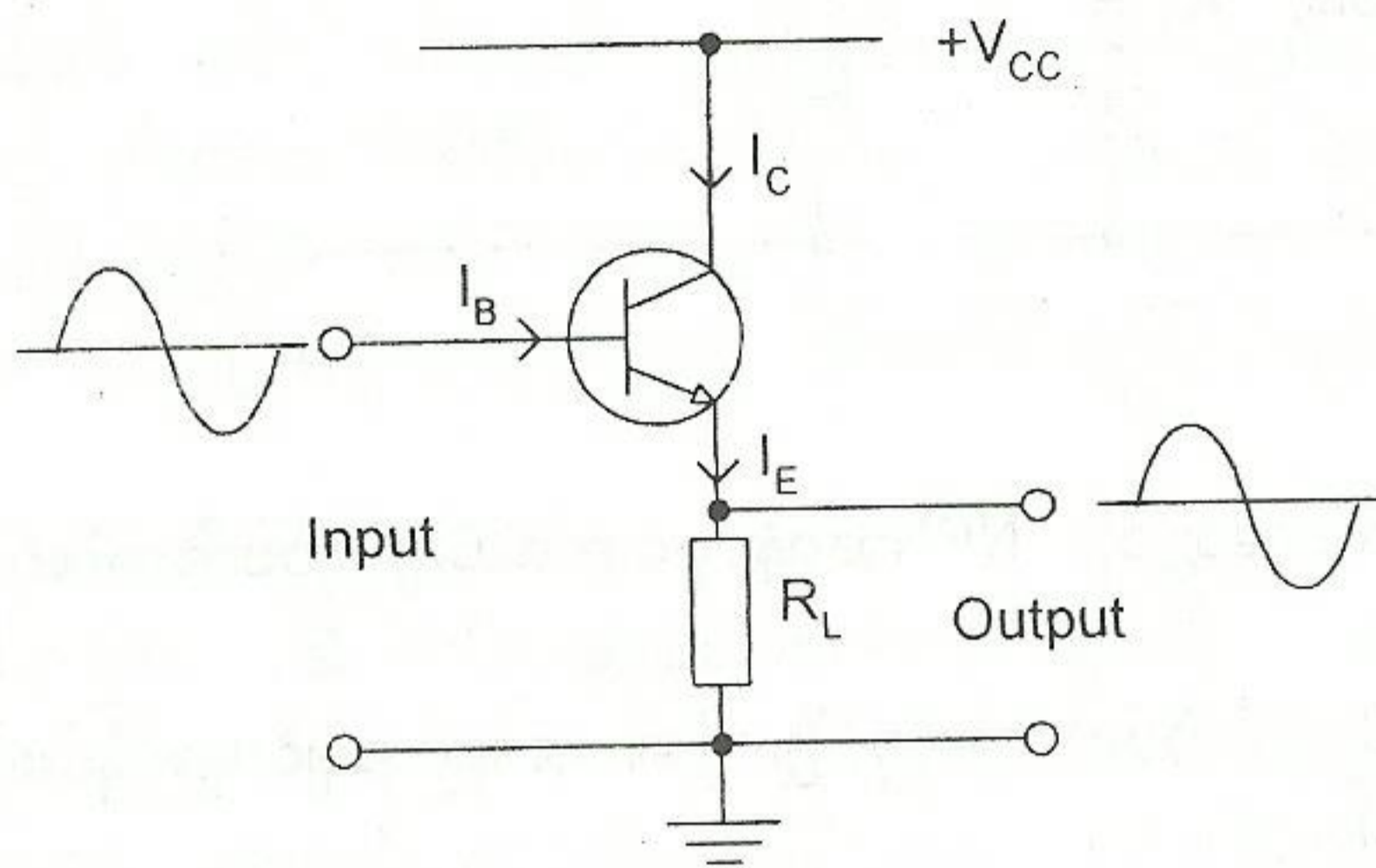


ပုံ(၁၀-၂၇) လက်တွေ့သုံး NPNထရန်စစ္စတာ CEချဲ့စက်ပတ်လမ်းပုံ



၁၀-၇-၃။ ဘုံ ကော်လက်တာပတ်လမ်းအနေအထား (Common Collector Configuration)

ကော်လက်တာပတ်သည် အဝင်နှင့်အထွက်အချက်ပြနှစ်မျိုးစလုံးအတွက် ဘုံဖြစ်နေသောကြောင့် ဘုံ ကော်လက်တာပတ်လမ်း(သို့) CCချဲ့စက်ပတ်လမ်း ဟုခေါ်ရခြင်းဖြစ်ပါသည်။ CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အဝင် အချက်ပြကို ဘေ့စ်တာပတ်မှပေးသွင်းရပြီး ဝန်ခံမှုကိုဖြတ်လျက် ထွက်ပေါ်လာသော အထွက်အချက်ပြကို အီမစ်တာပတ်မှ ထုတ်ယူရပါသည်။ ပုံ(၁၀-၂၈)တွင်ကြည့်ပါ။ ထိုပုံတွင် ဆပ်ပလိုင်း  $V_{CC}$  သည် အစီအချက်ပြ များကိုစဉ်းစားချိန်တွင် ယင်းသည် မြေစိုက်နှင့်ဆက်သွယ်ထားသကဲ့သို့ပြုမူသောကြောင့် ကော်လက်တာသည်လည်း မြေစိုက်နှင့်ဆက်ထားသလို တွေ့မြင်ရပေမည်။



ပုံ(၁၀-၂၈) NPNထရန်စစ္စတာ CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းပုံ

CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင်အဝင်ခုခံမှု  $r_i$ သည် ယေဘုယျအားဖြင့်  $150k\Omega$  ခန့်ရှိပါသည်။ အထွက်ခုခံမှု  $r_o$  သည်  $80\Omega$  ခန့်ရှိတတ်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် ယင်းပတ်လမ်းသည် အခြားသော CB နှင့် CEချဲ့စက်ပတ်လမ်းများ ထက်စာလျှင် အဝင်ခုခံမှုကြီးပြီး အထွက်ခုခံမှုအလွန်ငယ်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် ဗို့အားချဲ့ခြင်းမရှိပါ။ လျှပ်စီးကြောင်းချဲ့ခြင်းတော့ရှိပါသည်။

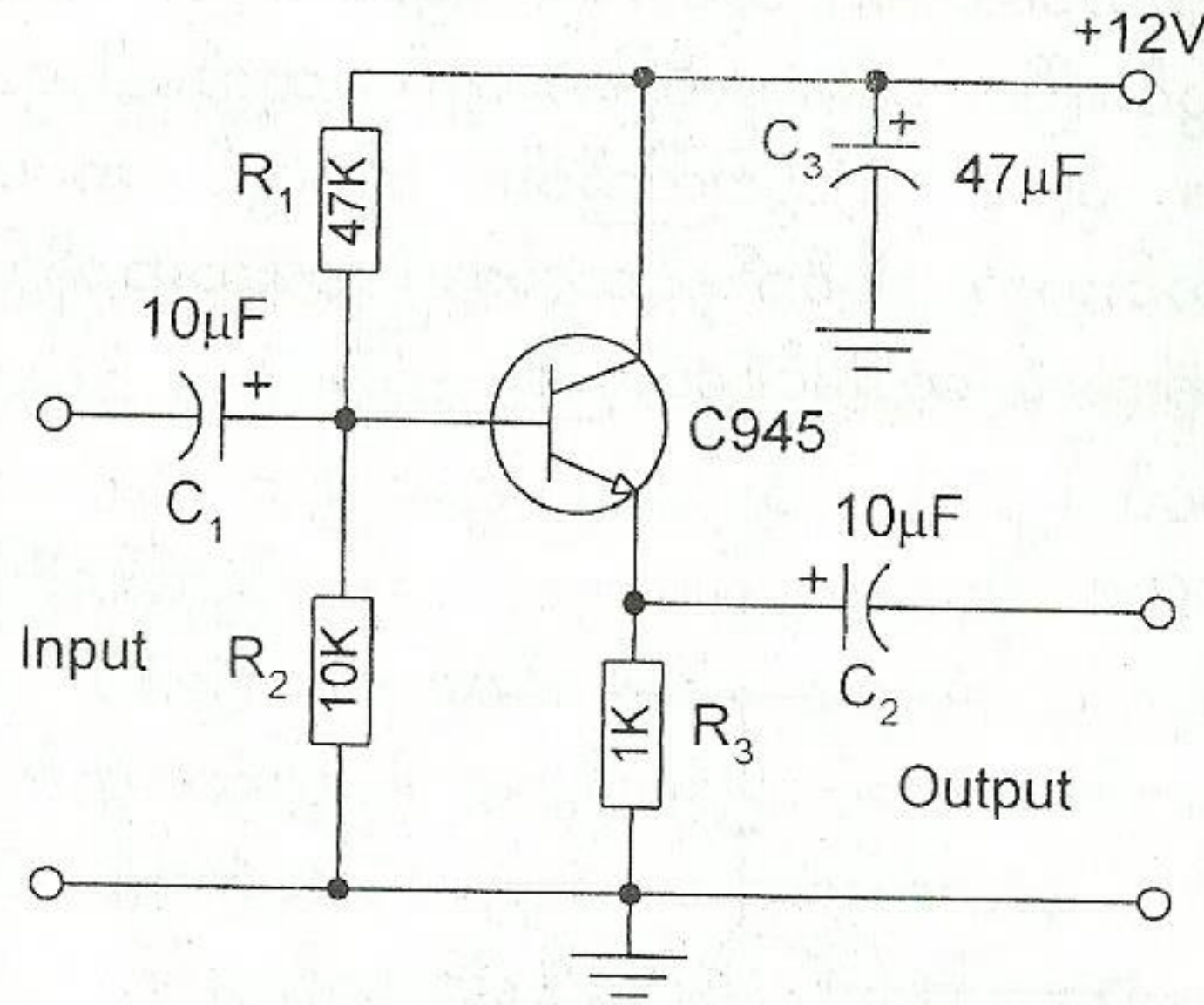
CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းတွင် အီမစ်တာရှိအထွက်ဗို့အားသည် အဝင်ဗို့အားနောက်သို့ အသွင်တူစွာ အစဉ်အမြဲလိုက်နေသဖြင့် CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းကို အီမစ်တာဖော်လိုယာပတ်လမ်း (Emitter Follower Circuit) ဟုလည်းခေါ်ဆိုကြပါသေးသည်။

အီမစ်တာဖော်လိုယာပတ်လမ်းကို အထွက်ဟန့်တားမှုကြီးသောပင်ရင်း (source) နှင့် အဝင်ဟန့်တားမှု ငယ်သောဝန် (source) တို့အကြား ကြားခံတပ်ဆင်ပေးခြင်းဖြင့် ဟန့်တားမှုကိုက်ညီမှု (Impedance matching) ကိုဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။ တဖန် ပင်ရင်းနှင့်ဝန်တို့ကိုလည်း သီးသန့်တည်ရှိမှု (isolation) ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။

လက်တွေ့သုံး NPNထရန်စစ္စတာ CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းကို ပုံ(၁၀-၂၉)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် ရီစစ္စတာ  $R_2$  နှင့်  $R_1$  တို့ဖြင့် ဘေ့စ်နှင့်အီမစ်တာအကြားတွင် ဒီစီဖော်ဝင် ဘိုင်းယက်စ်ရရှိစေပြီး ဘေ့စ်နှင့်ကော်လက်တာကြားတွင် ဒီစီရီဗတ်စ် ဘိုင်းယက်စ်ရရှိနိုင်စေပါသည်။ ရီစစ္စတာ  $R_3$  က ဝန်ခံမှုအဖြစ် အထွက်ဗို့အားကို ထုတ်ပေးပါသည်။



ကော်လက်တာသည် ဘိုင်ပတ်စ်ကပယ်စီတာ  $C_3$  ဖြင့်မြေစိုက်သို့ချထားခြင်းခံနေရသဖြင့် ဘုံ ကော်လက်တာချဲ့စက်ပတ်လမ်းဟုခေါ်ဆိုနိုင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ကပယ်စီတာ  $C_1$  နှင့်  $C_2$  တို့က အစီအချက်ပြ ကို အသွင်းအထုတ် ပြုလုပ်ပေးပါသည်။



ပုံ(၁၀-၂၉) လက်တွေ့သုံး NPNထရန်စစ္စတာ CCချဲ့စက်ပတ်လမ်းပုံ

အထက်ဖော်ပြပါ CB, CE, CC ချဲ့စက်ပတ်လမ်း(၃)မျိုးတို့၏ အရည်အချင်းများနှိုင်းယှဉ်ချက် အကျဉ်းချုပ်ကို ဇယား(၁၀-၁) တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။

ဇယား(၁၀-၁) ထရန်စစ္စတာချဲ့စက်ပတ်လမ်းများ၏ အရည်အချင်းများ နှိုင်းယှဉ်ချက်

CHARACTERISTICS	CONFIGURATION		
	CB	CE	CC
Signal into	Emitter	Base	Base
Signal out of	Collector	Collector	Emitter
Advantage	Stability	High gain	High $r_i$
Phase inversion	No	Yes	No
Input resistance, $r_i$	$20\Omega$ , lowest	$1k\Omega$ , medium	$150k\Omega$ , highest
Output resistance, $r_o$	$1M\Omega$ , highest	$50k\Omega$ , medium	$80\Omega$ , lowest
Power gain	Yes	Yes, highest	Yes
Voltage gain	Yes	Yes	No
Current gain	No	Yes	Yes

အထက်ပါဇယားအရ ထရန်စစ္စတာချဲ့စက်ပတ်လမ်း(၃)ခုအနက် CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်း၏ အဝင်ခုခံမှု  $r_i$  နှင့် အထွက်ခုခံမှု  $r_o$  တို့သည် ကွာခြားမှုနည်းပါးသောကြောင့် ချဲ့ကိန်းများများရရှိရန်အတွက် ပတ်လမ်းများကို ဆင်တွဲအသုံးပြုရာတွင် CE ချဲ့စက်ပတ်လမ်းကိုသာ အသုံးပြုလေ့ရှိပါသည်။

မှတ်ချက်။ ။ ထရန်စစ္စတာအမျိုးအစား စံသတ်မှတ်ချက်များကို နောက်ဆက်တွဲ(၁)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



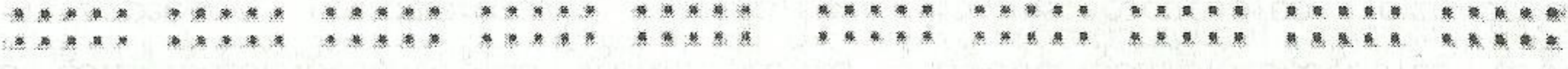
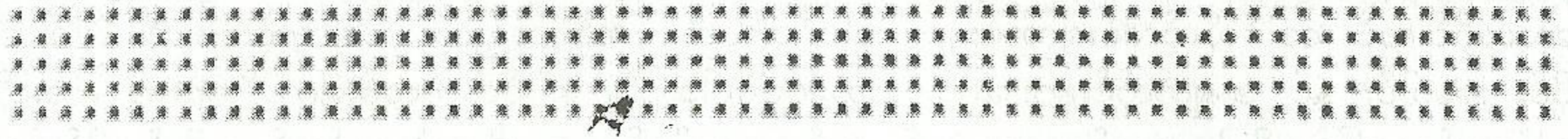
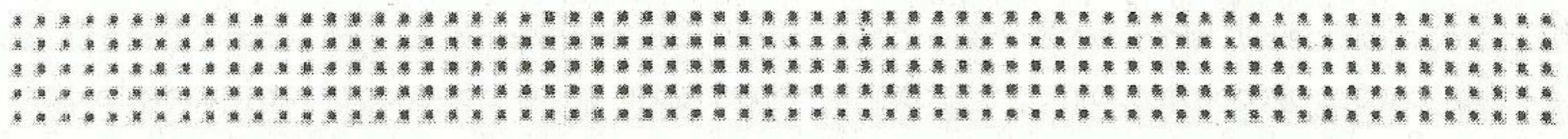
# အခန်း(၁၁) ပရိုဂျက်ဘုတ်အသုံးပြုနည်း (How to use Project Board)

## ၁၁-၁။ နိဒါန်း

ပြီးခဲ့သောအခန်းများတွင် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ် အစိတ်အပိုင်းများအကြောင်းကို တင်ပြခဲ့ပြီးနောက် ဤအခန်းတွင် အခြေခံအစိတ်အပိုင်းများဖြင့် ပတ်လမ်းများတည်ဆောက်၍ မည်သို့မည်ပုံ အသုံးပြုနိုင်ကြောင်းကို ဆက်လက်ဖော်ပြပါမည်။ အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာကို စတင်လေ့လာသူများအဖို့ ပတ်လမ်းတည်ဆောက်ရာတွင် လွယ်ကူပြီး အီလက်ထရွန်းနစ် အစိတ်အပိုင်းများ တစ်ခုနှင့်တစ်ခုဆက်သွယ်ရာတွင် ဂဟေဆော်သည့်နည်းကို အသုံးမပြုဘဲ ပရိုဂျက်ဘုတ် (Project Board) ပေါ်တွင်တပ်ဆင် ဆက်သွယ်သည့်နည်းကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ ပရိုဂျက်ဘုတ်ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် အစိတ်အပိုင်းများကို ထပ်ခါတလဲလဲ ပြန်လည်အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ ဤအခန်းတွင် ပရိုဂျက်ဘုတ်အသုံးပြုနည်းအကြောင်းကို အသေးစိတ်ဖော်ပြပါမည်။

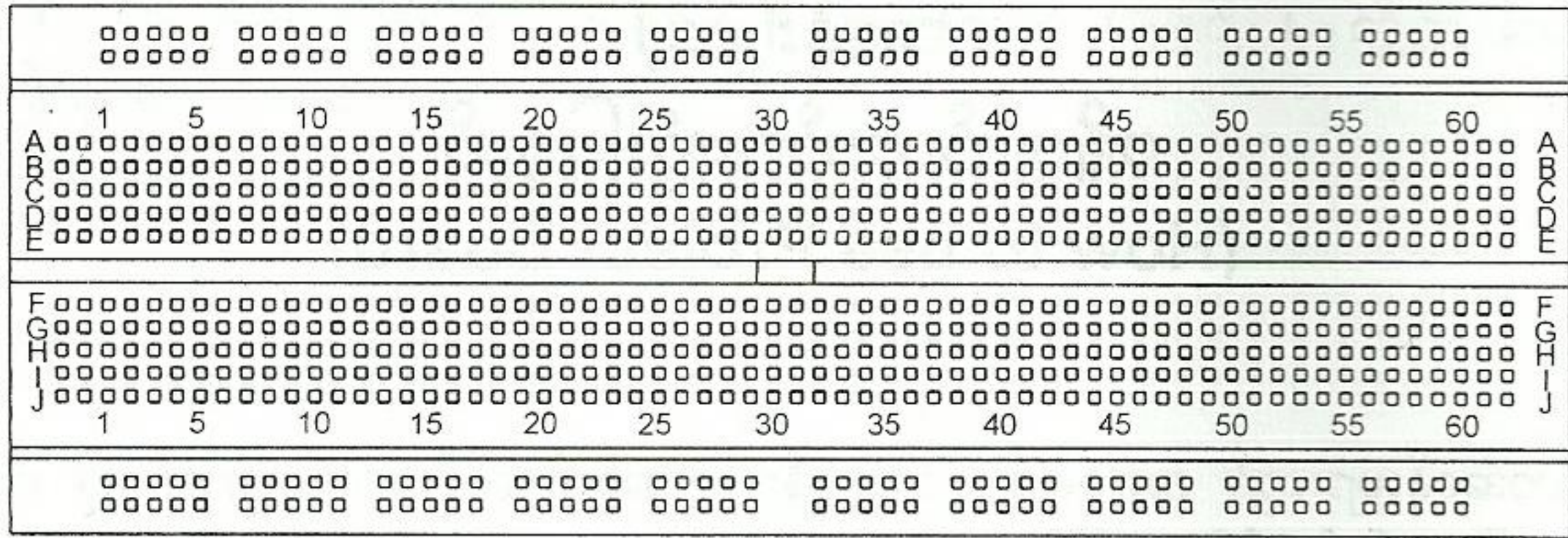
## ၁၁-၂။ ပရိုဂျက်ဘုတ်ဖြင့်ပတ်လမ်းတည်ဆောက်ပုံ

ပရိုဂျက်ဘုတ်ဆိုသည်မှာ အီလက်ထရွန်းနစ်အစိတ်အပိုင်းများကို ဂဟေမဆော်ဘဲ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ဆက်သွယ်ပြီး ပတ်လမ်းတည်ဆောက်နိုင်ရန်အတွက် တည်ထွင်ထားသောပစ္စည်းဖြစ်ပါသည်။ ပုံစံအမျိုးမျိုး ရှိသည့်အနက် ဈေးကွက်တွင် အလွယ်တကူဝယ်ယူရရှိနိုင်သော ပုံစံတစ်ခုကို ပုံ(၁၁-၁)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

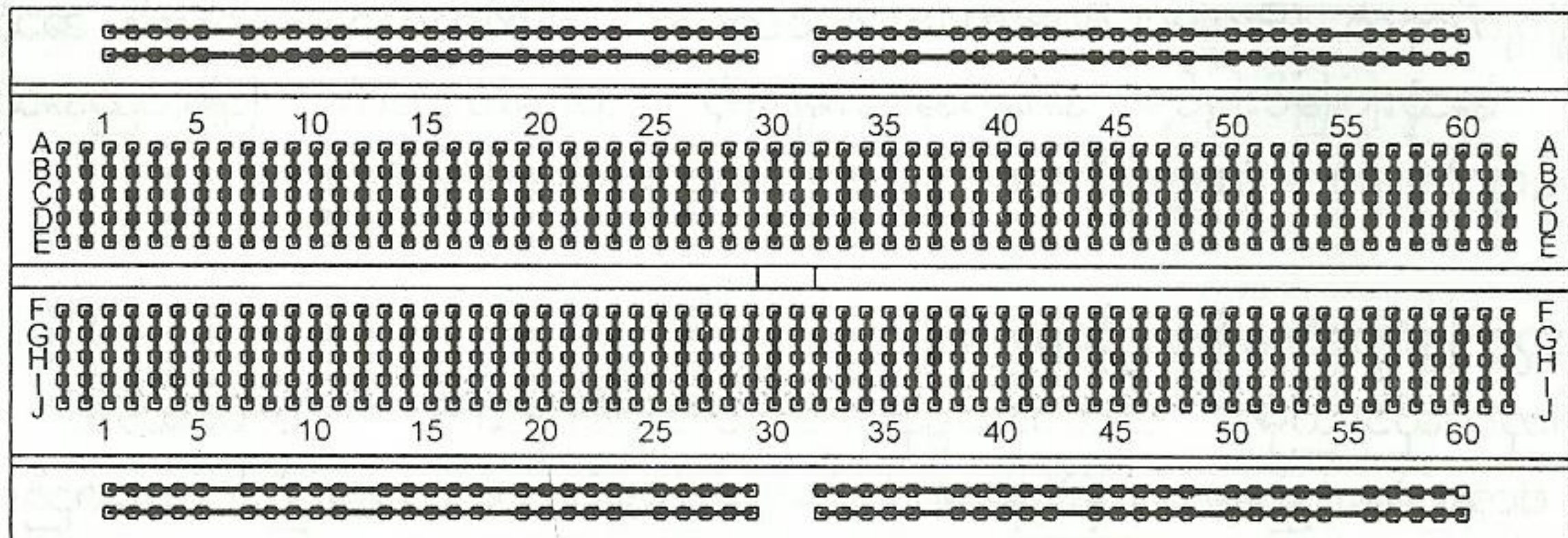


ပုံ(၁၁-၁) ပရိုဂျက်ဘုတ်တစ်ခုပုံ





ပုံ(၁၁-၂) ပရိုဂျက်ဘုတ်တစ်ခုတွင် အလျားလိုက်နှင့် ဒေါင်လိုက်အပေါက်များတည်ရှိနေပုံ



ပုံ(၁၁-၃) ပရိုဂျက်ဘုတ်တစ်ခု၏ အတွင်းဘက်တွင် ကြေးချောင်းကလစ်များဆက်သွယ်ထားပုံ

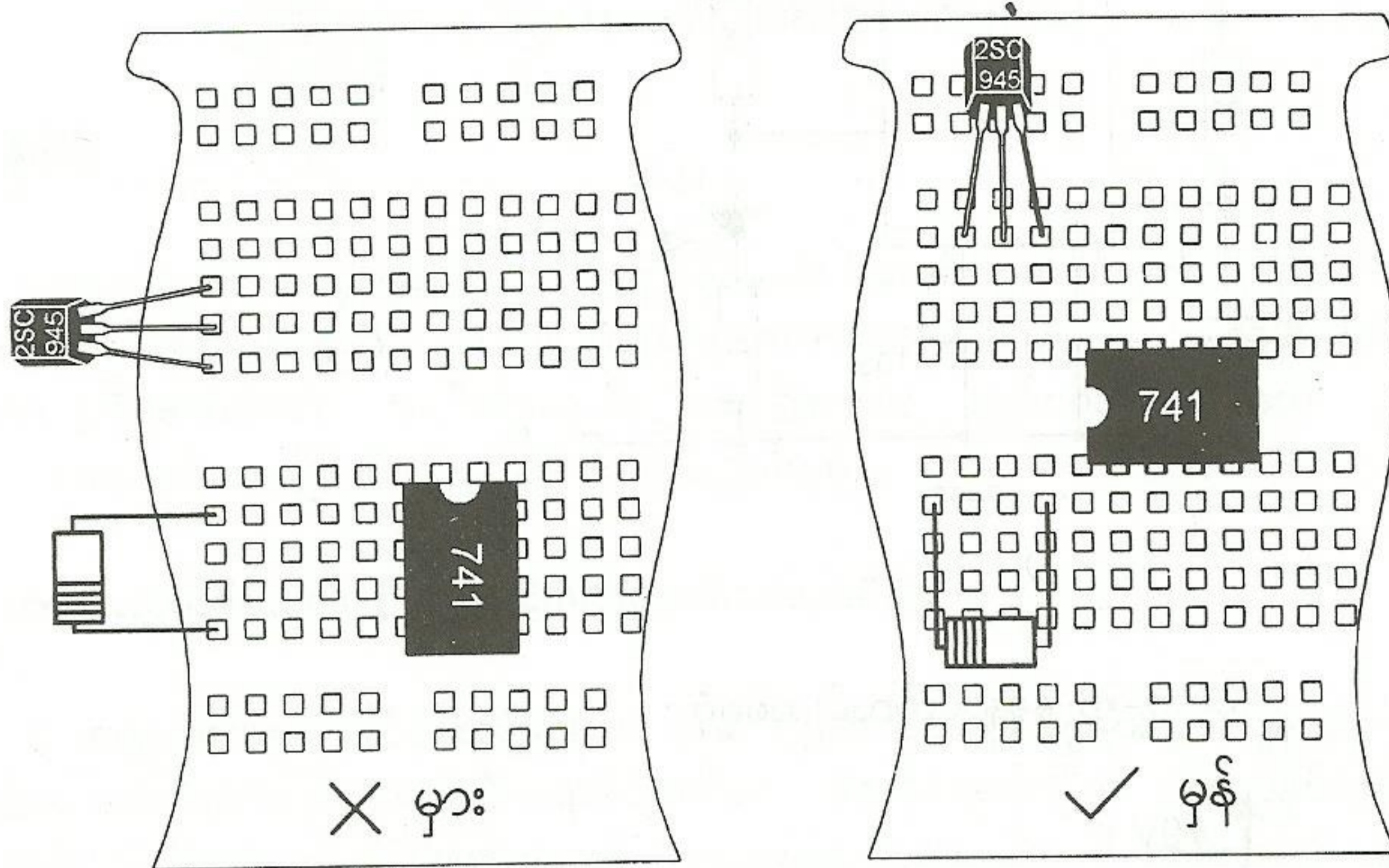
ပုံ(၁၁-၂)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပရိုဂျက်ဘုတ်တွင် အလျားလိုက်နှင့် ဒေါင်လိုက် အပေါက်ငယ်များစွာပါဝင်သည်ကို တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ ထိုပေါက်ငယ်တစ်ခုစီတွင် ကြေးကလစ်တစ်ခုစီပါဝင်ပြီး ရီစစ္စတာ၊ ကပယ်စီတာ၊ ထရန်စစ္စတာ၊ အိုင်စီစသည့် အီလက်ထရွန်းနစ်အစိတ်အပိုင်း၏ငုတ်များကို အပေါက်တွင်းသို့ ထိုးသွင်းလိုက်သောအခါ ကြေးကလစ်ကညှပ်ထားလိုက်ပါသည်။ ထိုကြေးကလစ်တို့ကို အောက်ပိုင်းတွင် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ဆက်သွယ်ထားပါသည်။ ဆက်သွယ်ပုံ ဆက်သွယ်နည်း ကို ပုံ(၁၁-၃)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

ပရိုဂျက်ဘုတ်၏ အပေါ်ဘက်နှင့်အောက်ဘက်ပိုင်းတို့တွင် ကန့်လန့်ဖြတ်လမ်းကြောင်းများပါဝင်ပြီး အလယ်ပိုင်းတွင် ဒေါင်လိုက်လမ်းကြောင်းများ ပါဝင်ပါသည်။ ကန့်လန့်ဖြတ်လမ်းကြောင်းများကို ပါဝါဆပ်ပလိုင်း အပေါင်း နှင့် အနှုတ်လိုင်းများအဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ ဒေါင်လိုက်လမ်းကြောင်းများကို ဘေးတိုက်ဆက်သွယ်ထားခြင်းမရှိပါ။ ထရန်စစ္စတာကဲ့သို့ ငုတ်များစွာပါဝင်သော အီလက်ထရွန်းနစ် အစိတ်အပိုင်းများကို တပ်ဆင်သောအခါ ဒေါင်လိုက်လမ်းကြောင်း တစ်ခုတည်းတွင် ငုတ်သုံးခုစလုံးကို မတပ်ဆင်ရပါ။ ငုတ်တစ်ခုစီကို ဒေါင်လိုက်လမ်းကြောင်းတစ်ခုစီတွင် တပ်ဆင်ရပါမည်။ ဒေါင်လိုက်လမ်းကြောင်းများကို အလယ်ခေါင်တွင်မြောင်းဖြင့် နှစ်ပိုင်းခွဲခြားထားပါသည်။ အိုင်စီများကိုတပ်ဆင်သည့်အခါ ထိုအလယ်ခေါင်မြောင်းကိုခွ၍ တပ်ဆင်ရပါသည်။ ပုံ(၁၁-၄)တွင် အမှားတပ်ဆင်ပုံနှင့် အမှန်တပ်ဆင်ပုံတို့ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပါသည်။

လမ်းကြောင်းတစ်ခုနှင့် တစ်ခုဆက်သွယ်ရန်လိုအပ်သည့်အခါ SWG 22 မှ 24 အရွယ်ရှိသော ဂျမ်ပါဝါယာ (jumper wire) ကြိုးမာအတိုလေးများဖြင့် ဆက်သွယ်နိုင်ပါသည်။



အပေါက်အတွင်းရှိကြေးကလစ်များ ဟသွားသောအခါ ဆက်သွယ်မှု ညံ့သွားနိုင်သောကြောင့် အပေါက် နှင့် မတော်သည့် အရွယ်အစားကြီးလွန်းသည့် ငုတ်များ၊ ဝါယာကြိုးများကိုတပ်ဆင်ခြင်း မပြုမိစေရန် အထူး သတိပြုရပါမည်။



ပုံ(၁၁-၄) ပရိုဂျက်ဘုတ်တွင် အစိတ်အပိုင်းများတပ်ဆင်ပုံ အမှားနှင့် အမှန်တို့ကို နှိုင်းထုတ်ပြထားပုံ

ပရိုဂျက်ဘုတ်ကိုအသုံးပြု၍ ပတ်လမ်းတစ်ခုတည်ဆောက်သည့်အခါ အစိတ်အပိုင်းများ အထားအသိုနှင့် တစ်ခုနှင့်တစ်ခုဆက်သွယ်ပုံကို နားလည်စေရန်အတွက် ပုံ(၁၁-၅) တွင်ဖော်ပြထားသည့် နမူနာပတ်လမ်းတစ်ခု တည်ဆောက်နည်းကို ဖော်ပြပါမည်။

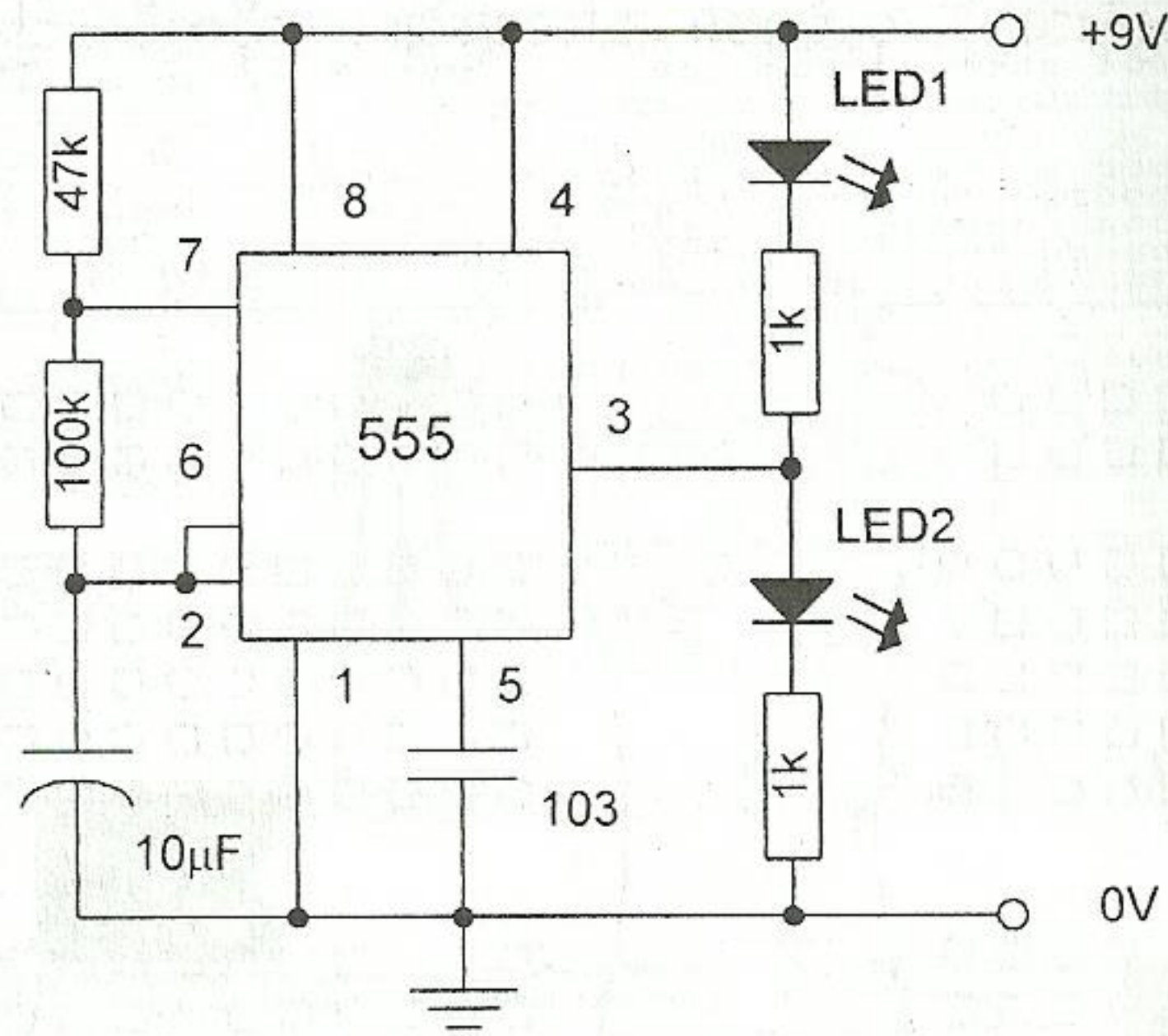
ထိုပုံတွင် အိုင်စီတစ်လုံး၊ ရီစစ္စတာလေးလုံး၊ ကပယ်စီတာနှစ်လုံးနှင့် LED နှစ်လုံးပါဝင်ပါသည်။

ပရိုဂျက်ဘုတ်ပေါ်တွင် ပတ်လမ်းတပ်ဆင်တည်ဆောက်သည့်အခါ အစိတ်အပိုင်းများ၏ တည်နေရာ အနေအထားသည် မူလပတ်လမ်းနှင့် တတ်နိုင်သမျှတူညီအောင် တပ်ဆင်ရပါမည်။ သို့မှသာ ပတ်လမ်းမှန်ကန်မှု ရှိမရှိစစ်ဆေးသည့်အခါ လွယ်ကူပါသည်။

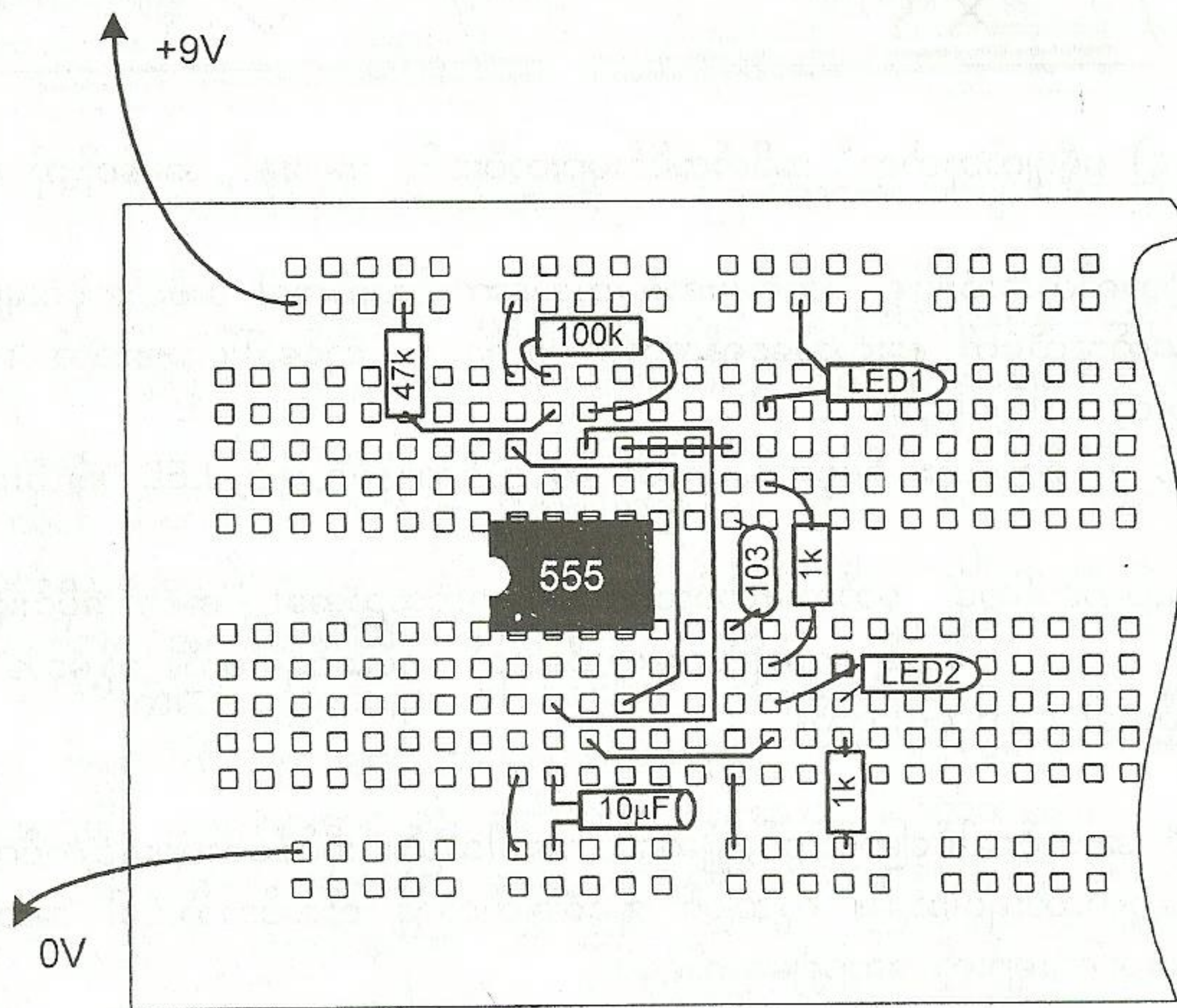
အိုင်စီကို အလယ်ခေါင်မြောင်းတွင်ခွ၍ဆက်ထားရပါသည်။ အိုင်စီငုတ်များနှင့်ကပ်လျက် အပေါက်များ ကိုအသုံး မပြုဘဲလွှတ်ထားရပါသည်။ ထို့အပြင် အိုင်စီဖြုတ်လဲရန် လိုအပ်သည့်အခါ အဆင်ပြေစေရန်အတွက် အိုင်စီပေါ်တွင် ဂျမ်ပါကြိုးများကို ကျော်၍မဆက်ရပါ။

အပေါ်ဘက် ကန့်လန့်ဖြတ်လိုင်းတစ်ခုကို အပေါင်းလိုင်းအဖြစ် အသုံးပြုထားပြီး အောက်ဘက် ကန့်လန့်ဖြတ်လိုင်းတစ်ခုကို မြေစိုက်လိုင်းအဖြစ် အသုံးပြုထားကြောင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။





ပုံ(၁၁-၅) နမူနာပတ်လမ်းတစ်ခု



ပုံ(၁၁-၆) နမူနာပတ်လမ်းကို ပရိုဂျက်ဘုတ်ပေါ်တွင် တပ်ဆင်တည်ဆောက်ထားပုံ



# အခန်း(၁၂) အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများ ( Special Components)

## ၁၂-၁။ နိဒါန်း

ဤအခန်းတွင် အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများဖြစ်သော အလင်းလွှတ်ဒိုင်အုတ် ( Light Emitting Diode, LED) ၊ အလင်းအမှီပြုရီစစ္စတာ ( Light Dependent Resistor, LDR) ၊ အပူအမှီပြုရီစစ္စတာ သို့မဟုတ် သာမစ္စတာ ( Thermistor) ၊ သံလိုက်ခလုတ်( Reed Switch) လျှပ်စစ်သံလိုက်ရီလေး ( Electromagnetic Relay) ၊ စသည်တို့ အကြောင်းကို ဆက်လက်တင်ပြပါမည်။

## ၁၂-၂။ အလင်းလွှတ်ဒိုင်အုတ် ( Light Emitting Diode, LED)

ပီ-အမျိုးအစားနှင့် အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီကွန်ဒတ်တာများအကြားတွင် ဂျန်းရှင်း(ပီ-အင်န်ဂျန်းရှင်း) တစ်ခုဖြစ်ပေါ်စေခြင်းအားဖြင့် ရက်တီဖာရာဒိုင်အုတ်နှင့် ဇီနာဒိုင်အုတ်တို့ကို ပြုလုပ်နိုင်ခဲ့ကြောင်းကို အခန်း (၈)နှင့်အခန်း(၉)တို့တွင်ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်ပါသည်။ အထူးပြုပြင်ထားသော ပီ-အမျိုးအစား နှင့် အင်န်-အမျိုးအစား ဆီမီကွန်ဒတ်တာများကို ရွေးချယ်အသုံးပြုခြင်းဖြင့် ရရှိလာသော ပီ-အင်န်ဂျန်းရှင်းသည် အရောင်မျိုးစုံထုတ်လွှတ်ပေးနိုင်သော အလင်းလွှတ်ဒိုင်အုတ် LED အဖြစ် ဖန်တီးယူနိုင်ကြောင်းကိုတွေ့ရပါသည်။ <LED တွင်ဖော်ပြလျှပ်စီးကြောင်းစီးနေသောအခါ အလင်းရောင်ထုတ်လွှတ်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။ သို့သော် LED ကို ရီဖတ်စ်ဗို့အားပေးလျှင် အလင်းထုတ်လွှတ်ခြင်း မရှိချေ။ >

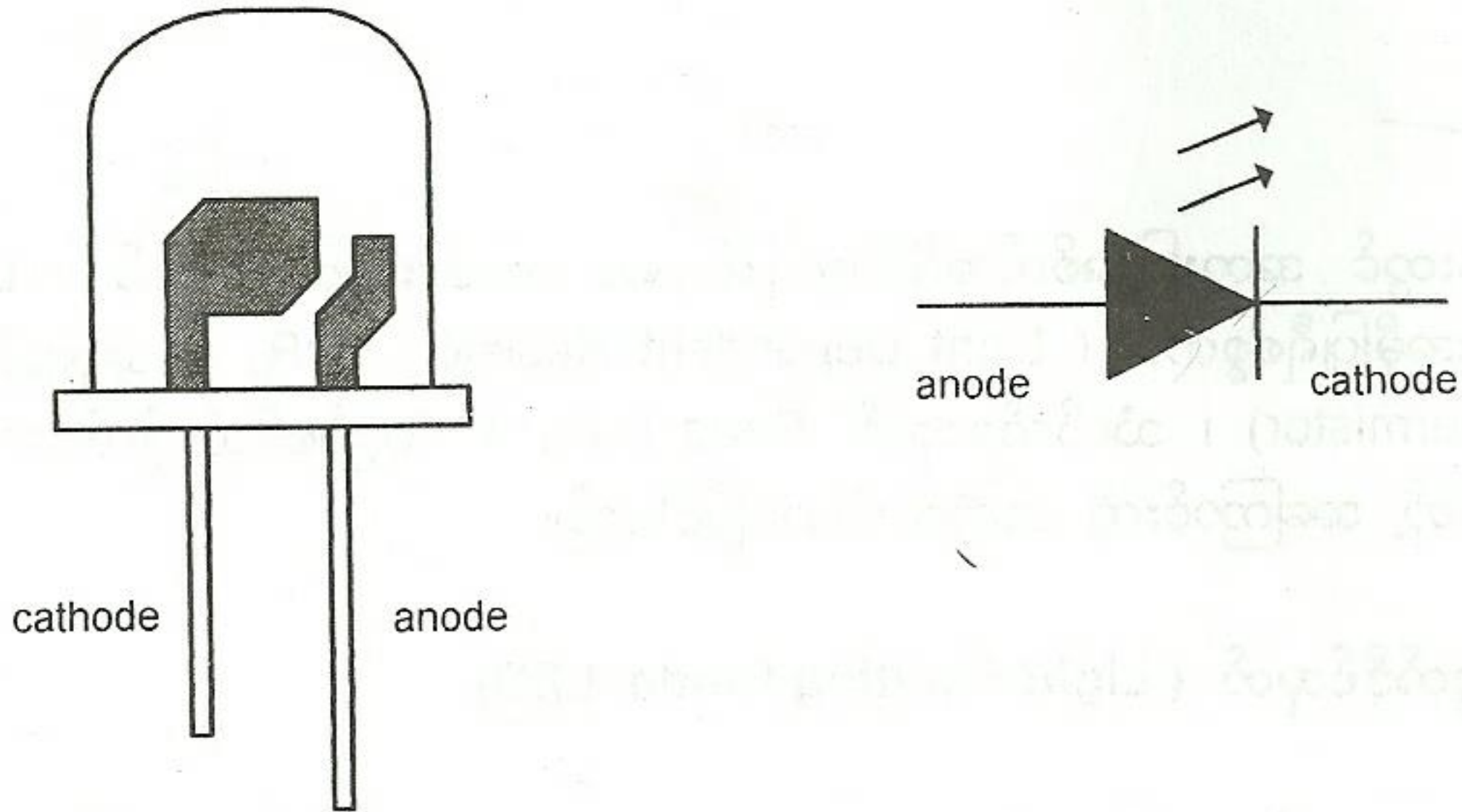
ဆီမီကွန်ဒတ်တာကွန်ပေါင်း အမျိုးအစားနှင့် ပမာဏကို ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြင့် LED မှထုတ်လွှတ်လိုက်သောအလင်းရောင်၏ ပြင်းအားပမာဏနှင့် အရောင်တို့ကို ပြောင်းလဲပေးနိုင်ပါသည်။ Gallium Arsenide phosphide (GaAsP) အမျိုးအစားကိုအသုံးပြုလျှင် အနီရောင်(သို့)အဝါရောင်ထုတ်လွှတ်ပြီး Gallium phosphide (GaP) အမျိုးအစားကိုအသုံးပြုလျှင် အနီရောင်(သို့)အစိမ်းရောင်ထုတ်လွှတ်နိုင်ကာ Gallium Arsenide (GaAs) အမျိုးအစားကို အသုံးပြုမည်ဆိုလျှင် မျက်စေ့ဖြင့်မြင်နိုင်သော အနီအောက် ရောင်ခြည် (Infrared, IR) ကိုထုတ်လွှတ်နိုင်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။

ယခုအခါ အနီ၊ အဝါ၊ အစိမ်း စသည့် LED များကို အရွယ်မျိုးစုံထုတ်လုပ်နိုင်ပေပြီ။ အပြာရောင် LED ကိုမူကား လက်တွေ့အသုံးမပြုနိုင်သေးဘဲ စမ်းသပ်ဆဲကာလအဆင့်တွင်သာရှိပါသေးသည်။ ကိုယ်ထည်တစ်ခုထည်းမှ အရောင်နှစ်မျိုးထုတ်ပေးနိုင်သော bi-color LED များလည်းကို ထုတ်လုပ်ထားကြပါသည်။ Aluminium Indium Gallium phosphide (AlInGaP) အမျိုးအစားဖြင့်ထုတ်လုပ်ထားသော အလင်းပြင်းအား ပိုမိုကောင်းမွန်သည့် LED အလုံးကြီးများကိုလည်း ထုတ်လုပ်နိုင်ကြပေပြီ။ LED များကို လျှပ်စီးကြောင်းနိမ့်အင်ဒီကေတာ အချက်ပြမီးလုံးများအဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သောကြောင့် ယင်းတို့ကို အိမ်သုံးအီလက်ထရွန်းနစ်ပစ္စည်းများဖြစ်ကြသည့် ဟိုင်-ဖိုင်အသံချဲ့စက်များနှင့် စက်ရုံများရှိ ကွန်ထရိုးပင်နယ်များတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိပါသည်။ ထို့အပြင် ဒီဂျစ်တယ်ပတ်လမ်းများတွင် ကိန်းဂဏန်းများကို ပုံဖော် ရန်အတွက် LED များကို 7-segments ပုံဖော်မီးလုံးများအဖြစ်လည်း အသုံးပြုကြကြောင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ IR-LED များကို ဆက်သွယ်ရေးလုပ်ငန်းများနှင့်အဝေးထိန်းစနစ် Remote control system များတွင်အသုံးပြုနိုင်ကြပါသည်။



အလင်းပြင်းအားကောင်းသော LED တို့ကို မီးပွိုင့်အချက်ပြများ ၊ ကြော်ငြာဆိုင်းဘုတ်များ စသည် ဖြင့် ပြင်ပ (outdoor) နေရာများတွင် အသုံးပြုနိုင်ကြပါသည်။

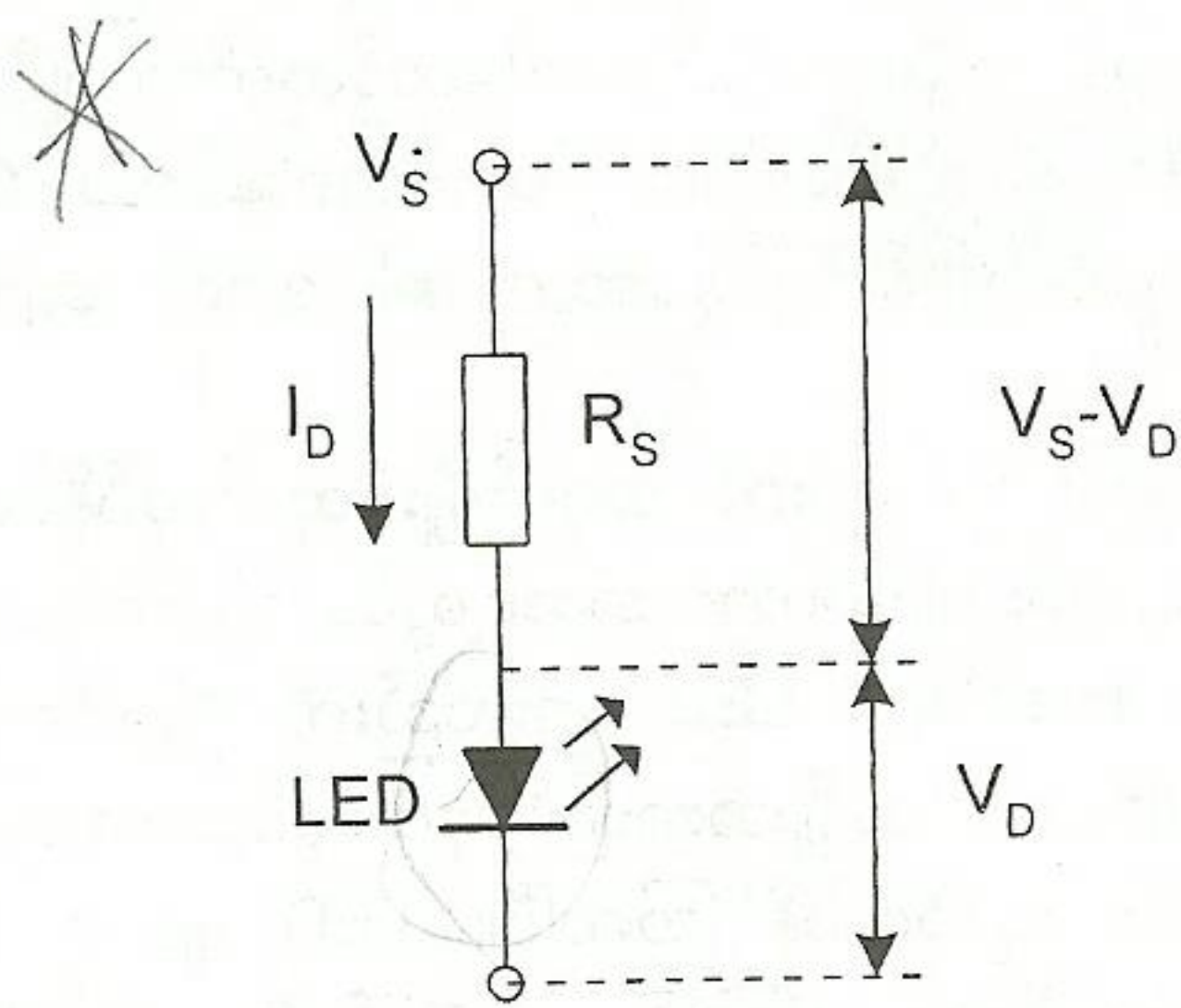
လက်တွေ့တွင် တွေ့မြင်ရမည့် LED ပုံနှင့် ယင်း၏ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံတို့ကို ပုံ(၁၂-၁)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၂-၁) LED တည်ဆောက်ပုံနှင့်ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ

LED တစ်လုံးကို အနီးကပ်ကြည့်လိုက်သော် ကက်သုတ်သည် အပြားကြီးပြီး၊ အဲနုဒ်သည် အပြားငယ် ပါသည်။ အဲနုဒ်ငုတ်သည် ကက်သုတ်ငုတ်ထက်အနည်းငယ်ပို ရှည်ပါသည်။

LED တစ်လုံးသည် အလင်းရောင်ထုတ်ပေးရန် အဲနုဒ်နှင့်ကက်သုတ်အကြား ဖော်ဝဲဗို့အား 2V ခန့် ပေးရန်လိုအပ်ပါသည်။ ဗို့အားမြင်မြင်အသုံးပြုသည့်အခါ LED ကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းကို ကန့်သတ်ပေးရန်အတွက် ရီစစ္စတာတစ်လုံးကို တန်းဆက်ဆက်ပေးရပါသည်။ အောက်ပါပုံ(၁၂-၂) တွင်ကြည့် ပါ။



ပုံ(၁၂-၂) တန်းဆက်ရီစစ္စတာ  $R_s$  ၏တန်ဖိုးကိုတွက်ယူပုံ



အခန်း(၁၂) အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများ

LED တစ်လုံးကို ဆပ်ပလိုင်းဗို့အား  $V_s$  နှင့် ဆက်သွယ်အသုံးပြုလိုသည်ဆိုပါစို့။ LED ကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းကို  $I_D$  ဟုသတ်မှတ်မည်ဆိုလျှင် ရီစစ္စတာ  $R_s$  ၏တန်ဖိုးကိုအောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

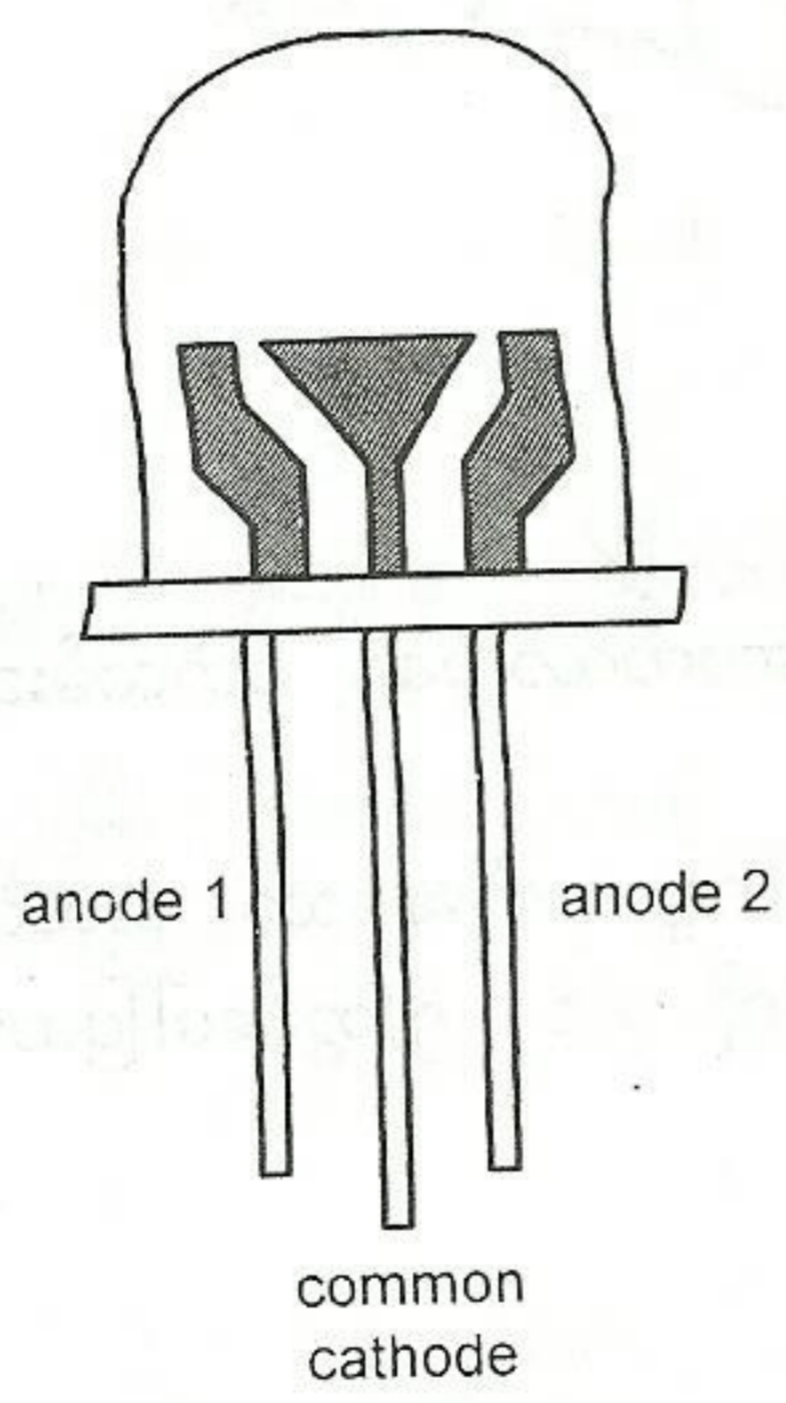
$R_s = \frac{V_s - V_D}{I_D}$  (2V)

$V = IR \Rightarrow R = \frac{V}{I}$   $\leftarrow 10 \mu A$   
 $\leftarrow Amp$

LED ၏အရောင်ပေါ်မူတည်၍  $V_D$  သည် 1.8V မှ 2.1V အကြားရှိတတ်သဖြင့် အကြမ်းအားဖြင့်  $V_D = 2V$  ဟုယူပြီး LED ကိုဖြတ်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်း  $I_D$  ကို 10mA ဟုယူလျှင် စိတ်ချလက်ချ အသုံးပြုနိုင်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။

ဥပမာ။ ။ LED ကို  $V_s = 9V$  နှင့်ဆက်သွယ်အသုံးပြုမည်ဆိုလျှင် -  
 $9V - 2V = 7V$  ဖြစ်ပြီး  $7V / 10mA = 0.7k\Omega = 700\Omega$  ဖြစ်သောကြောင့် စံသတ်မှတ်ထားသော 680Ω ရီစစ္စတာကို LED နှင့် တန်းဆက်အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် LED တစ်လုံးသည် အများဆုံးလျှပ်စီးကြောင်း 50mA ကိုသာဖြတ်စီးခွင့်ပြုနိုင်ကြပါသည်။ ထို့ကြောင့် 5mA နှင့် 25mA အကြားပုံမှန်စီးနေလျှင် LED သည် လောင်ကျွမ်းပျက်စီးခြင်း မရှိဘဲ ကြာရှည်ခံနိုင်ပါသည်။ ထိုအခါ  $V_s = 9V$  နှင့်ဆက်သွယ်အသုံးပြုမည်ဆိုလျှင် 1.5kΩ နှင့် 270Ω အကြားရှိ ရီစစ္စတာကို အသုံးပြုနိုင်ကြောင်းတွေ့ရပါသည်။ 25mA ထက်ပို၍အသုံးပြုမည်ဆိုလျှင် LED သက်တမ်းတိုနိုင်ပါသည်။



$10mA = 10 \times 10^{-3} = 0.01A$   
 $V = IR$   
 $7V = 0.01R$   
 $= 700\Omega$

ပုံ(၁၂-၃) အရောင်နှစ်မျိုးထုတ်ပေးသော Bi-color LED ပုံ

အရောင်နှစ်မျိုးထုတ်ပေးသော Bi-color LED ပုံကို ပုံ(၁၂-၃)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ အဲနဒ်-၁ နှင့် ကက်သုတ်အကြားတွင် ဖော်ဝင်ဗို့အားပေးလျှင် အနီရောင်ထွက်ပြီး အဲနဒ်-၂ နှင့် ကက်သုတ်အကြားတွင် ဖော်ဝင်ဗို့အားပေးလျှင် အစိမ်းရောင်ထွက်ပါသည်။ ရောင်စုံမီးပြေးပတ်လမ်းများတွင် အသုံးပြုရန် အလွန်အဆင်ပြေသော LED အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။

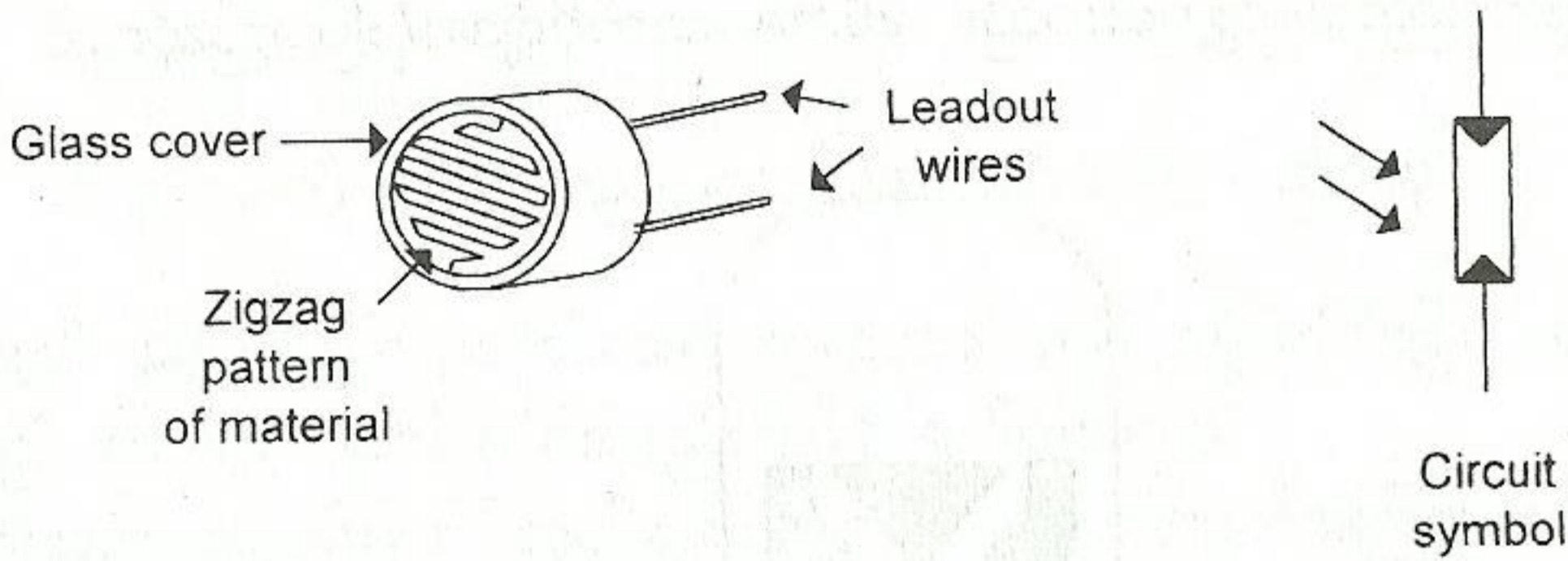


၁၂-၃။ အလင်းအမှီပြုရီစစ္စတာ ( Light Dependent Resistor, LDR)

ကက်မီယံဆာလ်ဖိုဒ် ( Cadmium Sulphide, CdS) အမျိုးအစား ဆီမီကွန်ဒတ်တာကို အသုံးပြုထားသော ရီစစ္စတာတစ်မျိုးဖြစ်ပါသည်။ ယင်းအပေါ်သို့ကျရောက်သော အလင်းရောင်ပြင်းအားပမာဏ အနည်းအများ အပေါ်မူတည်၍ ခုခံမှုတန်ဖိုးပြောင်းလဲနိုင်သောကြောင့် အလင်းအမှီပြုရီစစ္စတာ ဟုခေါ်ရခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ယင်းအပေါ်အလင်းကျရောက်ခြင်းလုံးဝမရှိလျှင်(လုံးဝမှောင်နေလျှင်) ခုခံမှုတန်ဖိုးသည်  $1M\Omega$  ခန့်ရှိတတ်ပြီးနေရောင်ခြည်တိုက်ရိုက်ကျရောက်လျှင် ခုခံမှုတန်ဖိုးသည်  $100\Omega$  ခန့်ရှိတတ်ပါသည်။

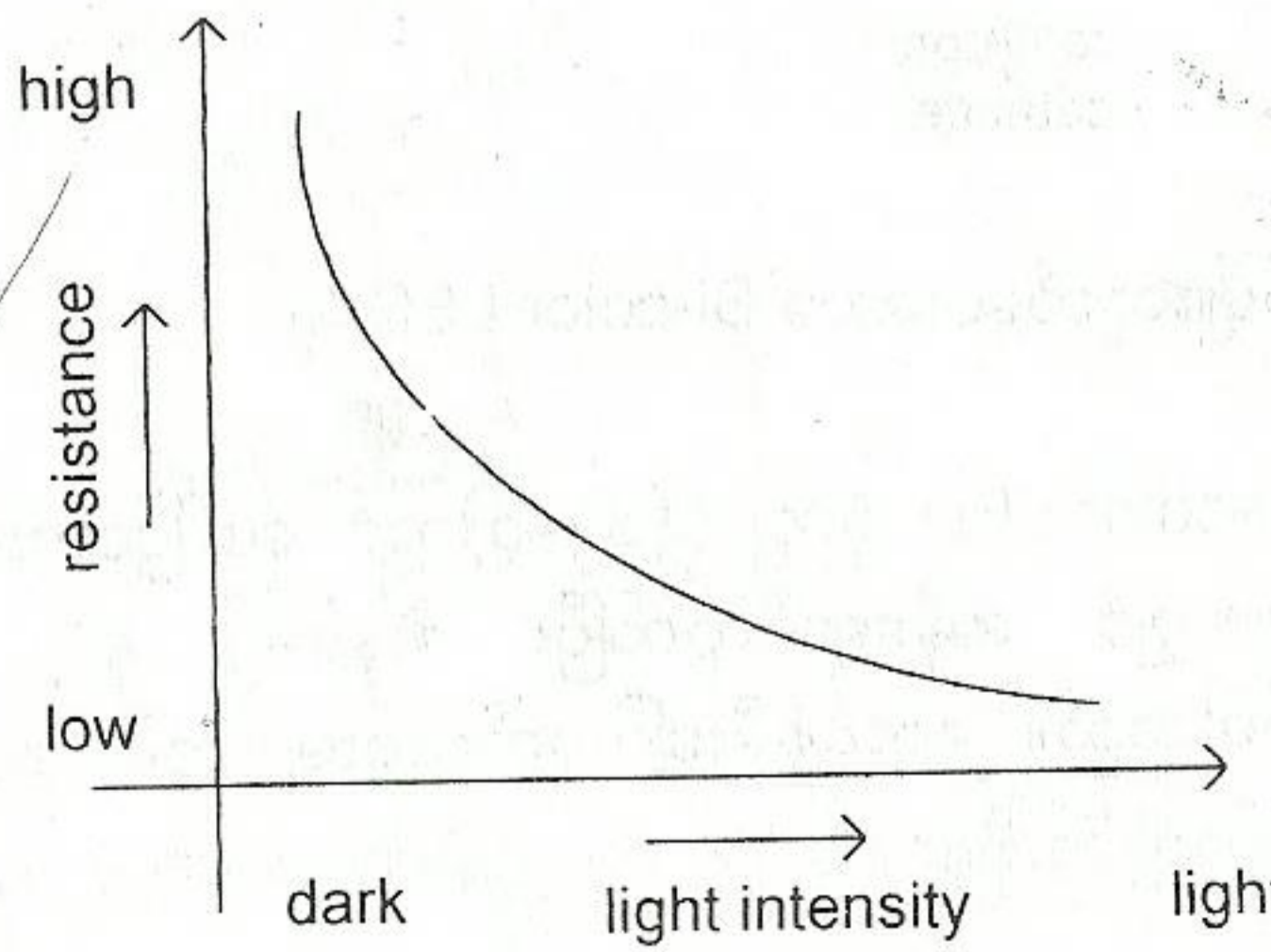
LDR သည် ယင်းအပေါ်ကျရောက်သော အလင်းပမာဏအလိုက် ခုခံမှုပြောင်းလဲမှုကိုသာ ပြုလုပ်ပေးနိုင်ပြီး ဖိုတိုဆဲလ် (photo cell) သို့မဟုတ် ဆိုလာဆဲလ် (solar cell)တို့ကဲ့သို့ လျှပ်စစ်ဓါတ်ထုတ်ပေးခြင်းမရှိကြောင်း သတိပြုစေလိုပါသည်။

ပုံ(၁၂-၄)တွင် LDR တစ်ခုတည်ဆောက်ထားပုံနှင့် ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံတို့ကိုဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် ကက်မီယံဆာလ်ဖိုဒ်ပစ္စည်း အမြွှင်တန်းကို နေရာကြုံသွားစေရန် ဇစ်ဇက်ပုံသဏ္ဍာန်ခွေထားပြီး ဘူးခွံငယ်ဖြင့်ထဲတွင်ထည့်သွင်းထားပါသည်။ အလင်းရောင်ထိတွေ့နိုင်ရန် အပေါ်မျက်နှာပြင်ကို မှန်ဖြင့်ဖုံးအုပ်ထားပါသည်။



ပုံ(၁၂-၄) LDR တစ်ခုတည်ဆောက်ထားပုံနှင့် ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ

LDR တစ်ခုတွင် ယင်းအပေါ်ကျရောက်နေသော အလင်းပြင်းအားပမာဏ ပြောင်းလဲသည့်အခါ အစွန်းနှစ်ဖက်အကြားရှိ ခုခံမှုပြောင်းလဲနေပုံကို ပုံ(၁၂-၅)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၂-၅) LDR တစ်ခုတွင် အလင်းပြင်းအားပမာဏနှင့် ခုခံမှုတို့ပြောင်းပြန်အချိုးကျဆက်စပ်နေပုံ

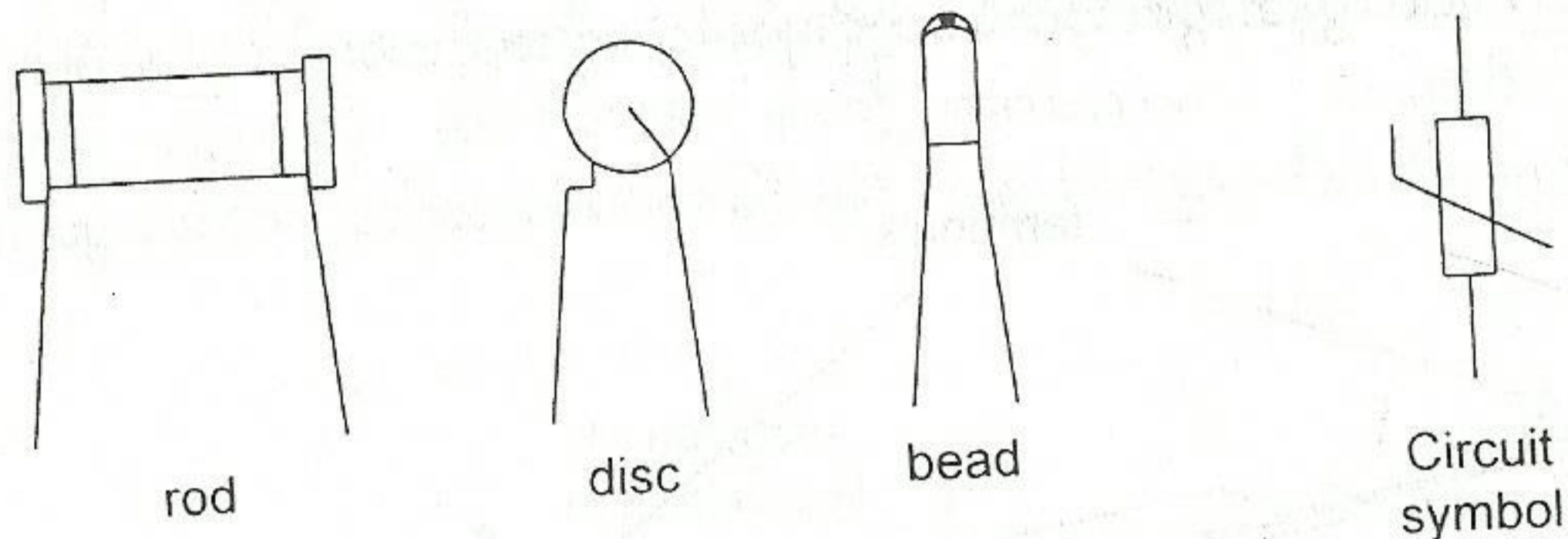


အခန်း(၁၂) အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများ

LDR ကို အလင်းပြင်းအားတိုင်းမီတာများ၊ အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်းများ စသည်တို့တွင် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ (LDR အသုံးချပတ်လမ်းများကို လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ် အပိုင်း(၁)စာအုပ်တွင်ကြည့်ပါ။)

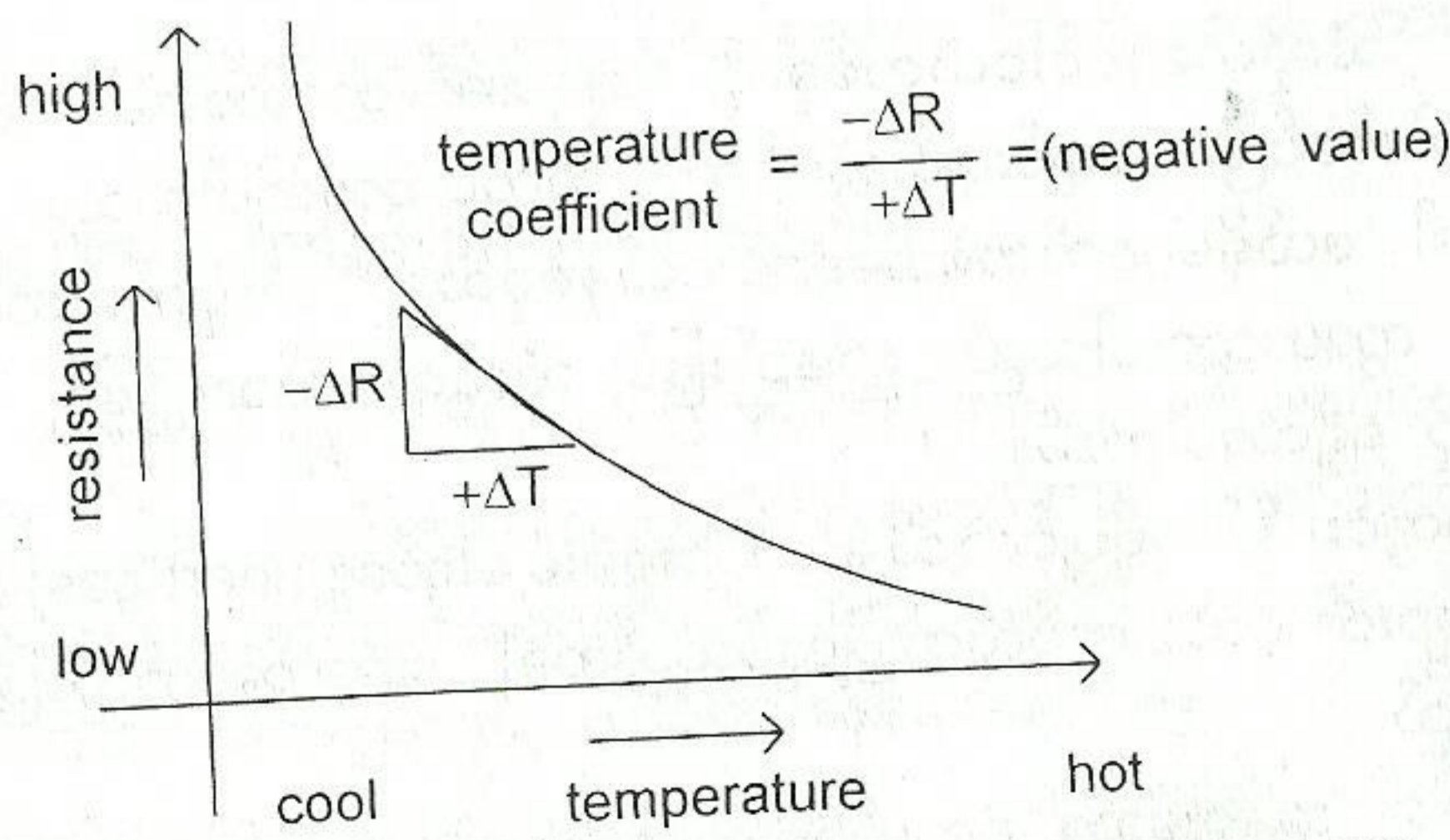
၁၂-၄။ အပူအမှီပြုရီစစ္စတာ (သို့) သာမစ္စတာ (Thermistor)

အပူချိန်ပြောင်းလဲမှုကြောင့် ခုခံမှုပြောင်းနိုင်သော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာပစ္စည်းတစ်မျိုးကို အပူအမှီပြုရီစစ္စတာ သို့မဟုတ် သာမစ္စတာ (Thermal resistor or Thermistor) ဟုခေါ်ပါသည်။ အပူချိန်တိုးလာလျှင် သာမစ္စတာ၏ ခုခံမှုသည် လျော့ကျသွားပြီး၊ အပူချိန်လျော့သွားလျှင် သာမစ္စတာ၏ခုခံမှုသည် တိုးလာပါသည်။ ထို့ကြောင့် သာမစ္စတာ၏ခုခံမှုသည် အပူချိန်နှင့်ပြောင်းပြန်အချိုးကျနေပါသည်။ သာမစ္စတာကို အနှုတ်အပူချိန်ကိန်း (Negative Temperature Coefficient, NTC) ရှိသောရီစစ္စတာဟုခေါ်ကြပါသည်။ ဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ပုံအရ သာမစ္စတာသည် အချောင်း (rod)၊ အပြား (disc)၊ အစေ့ (bead) စသည်ဖြင့် ပုံစံအမျိုးမျိုးဖြစ်နိုင်ပါသည်။ ပုံ(၁၂-၆)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၂-၆) သာမစ္စတာပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုးနှင့် ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ

သာမစ္စတာတစ်ခုတွင် အပူချိန်ပြောင်းလဲသည့်အခါ အစွန်းနှစ်ဖက်အကြားရှိ ခုခံမှုပြောင်းလဲနေပုံကို အောက်ပါပုံ(၁၂-၇)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၂-၇) သာမစ္စတာတစ်ခုတွင် အပူချိန်နှင့် ခုခံမှုတို့ ပြောင်းပြန်အချိုးကျဆက်စပ်နေပုံ

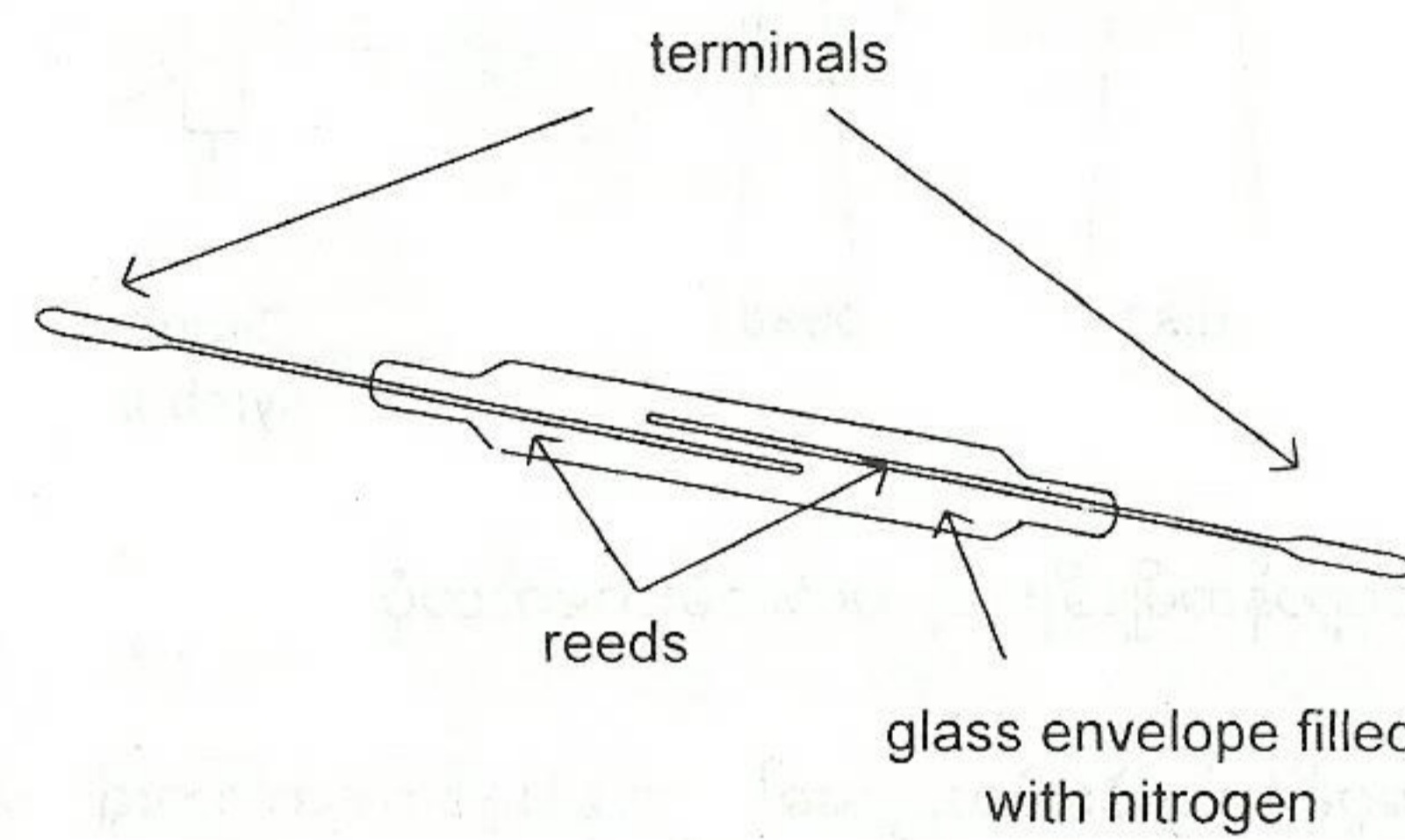


သာမစ္စတာ၏ခုခံမှုသည် အပူချိန်နှင့်လိုက်၍ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် ယင်း၏ခုခံမှုတန်ဖိုးကိုဖော်ပြ သည့်အခါ အများအားဖြင့် အပူချိန် 20 °C (သို့) 25 °C တွင်ရှိသော ခုခံမှုကိုသတ်မှတ်ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။ ဥပမာ။ ။ Bead သာမစ္စတာအမျိုးအစားများဖြစ်ကြသော GL16 နှင့် GL23 တို့သည် အပူချိန် 20 °C တွင် ခုခံမှု 1MΩ နှင့် 2kΩ အသီးသီးရှိကြပါသည်။ rod သာမစ္စတာအမျိုးအစားဖြစ်သော VA1026 သည် အပူချိန် 25 °C တွင် ခုခံမှု 880Ω ရှိကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

သာမစ္စတာကို အပူချိန်တိုင်း သာမိုမီတာပတ်လမ်းများ၊ အပူချိန်ထိန်းပတ်လမ်းများ၊ အီလက်ထရွန်းနစ် သာမိုစတက်ပတ်လမ်းများ စသည်တို့တွင် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ (သာမစ္စတာသုံးချပတ်လမ်းများကို လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ် အပိုင်း(၁)စာအုပ်တွင် ကြည့်ပါ။)

၁၂-၅။ သံလိုက်ခလုတ် ( Reed Switch)

သံလိုက်ဂုဏ်သတ္တိဖြင့် အပိတ်/အဖွင့်ပြုလုပ်ပေးနိုင်သော ခလုတ်တစ်မျိုးကို သံလိုက်ခလုတ် ( reed switch) ဟုခေါ်ပါသည်။ ဖယ်ရိုမဂ္ဂနက်တစ်အချောင်းငယ် ( ferromagnetic reed) နှစ်ခုကို ဖလ်ပြွန်ချောင်း ငယ်ထဲတွင်ထည့်သွင်းထားပြီး ဖလ်ပြွန်အတွင်းတွင် နိုင်ထရိုဂျင်ခါတ်ငွေ့ထည့်ထားပါသည်။ ပုံ(၁၂-၈)တွင်ကြည့် ပါ။



ပုံ(၁၂-၈) reed switch တစ်ခုပုံ

ဖလ်ပြွန်အနီးသို့ သံလိုက်ချောင်းငယ်တစ်ခုကို ယူဆောင်လာသောအခါ ဖယ်ရိုမဂ္ဂနက်တစ်အချောင်း ငယ်နှစ်ခုသည် သံလိုက်ခါတ်ဝင်ပြီး အချင်းချင်းဆွဲငင်ကာ ထိကပ်သွားကြပါသည်။ သံလိုက်ချောင်းကို အဝေး သို့ယူဆောင်သွားသောအခါ ဖယ်ရိုမဂ္ဂနက်တစ်အချောင်းငယ်နှစ်ခုသည် သံလိုက်ခါတ်ပျက်ပြယ်သွားပြီး အချင်း ချင်း ထိကပ်မနေတော့ဘဲ ကွာဟသွားပါသည်။ ဤနည်းဖြင့် သံလိုက်ဂုဏ်သတ္တိဖြင့် အပိတ်/အဖွင့် ပြုလုပ်ပေး နိုင်သော ခလုတ်တစ်မျိုးကို ရရှိလာပါသည်။

ဖလ်ပြွန်ချောင်းအတွင်း နိုင်ထရိုဂျင်ကဲ့သို့သော အစွမ်းမဲ့ခါတ်ငွေ့(inert gas) တစ်မျိုးမျိုးကို ထည့်သွင်း ထားခြင်းဖြင့် အချောင်းများထိလိုက် ကပ်လိုက်ပြုလုပ်သည့်အခါ အောက်ဆိုက်လွှာဖြစ်ပေါ်ခြင်း (corrosion) ကိုလျော့နည်းသွားစေပါသည်။

သံလိုက်ခလုတ်သည် အခြားသော ခလုတ်များထက်စာလျှင် ထူးခြားသော အရည်အချင်းများရှိကြောင်း နောက်စာမျက်နှာတွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း တွေ့ရပါသည်။



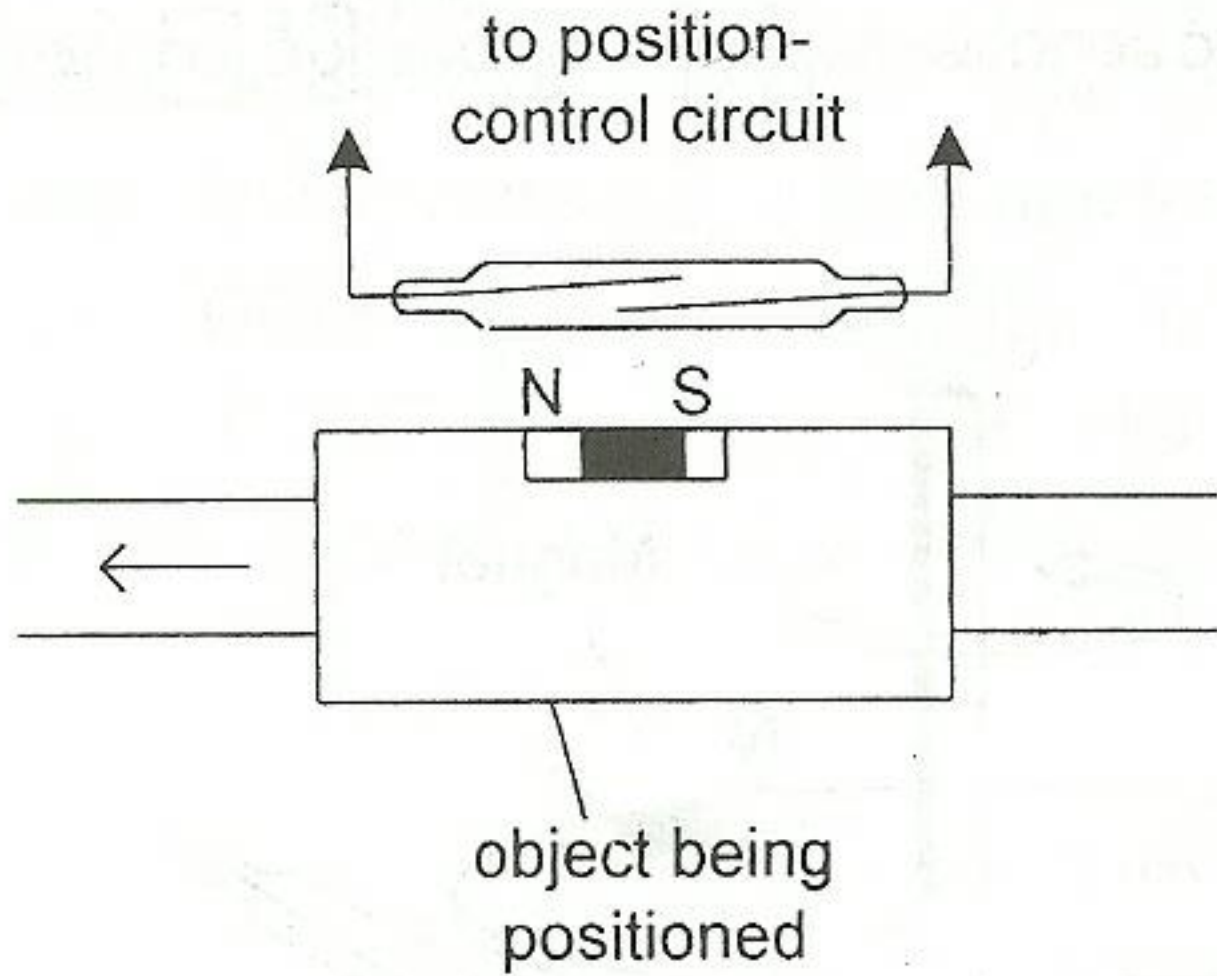
အခန်း(၁၂) အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများ

- (၁) သံလိုက်ကိုဖလ်ချောင်းအနီးအနားတဝိုက်သို့ ယူဆောင်လာရုံမျှနှင့် ပိတ်နိုင်စေသောခလုတ် (proximity switch) မျိုးဖြစ်ပါသည်။
- (၂) ဖလ်ချောင်းအတွင်း အလုံပိတ်ထားသောကြောင့် ပေါက်ကွဲလွယ်သောဓါတ်ငွေ့များ (explosive gases) ပတ်ဝန်းကျင်တွင် စိတ်ချလက်ချ အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။
- (၃) တစ်မိနစ်လျှင် အကြိမ်ပေါင်း ၂၀၀၀ မျှ အပိတ်/အဖွင့်ပြုလုပ်နိုင်သော အလွန်လျှင်မြန်သည့် ခလုတ် မျိုးဖြစ်ပါသည်။
- (၄) သက်တမ်းအလွန်ရှည်ပါသည်။ အသွန်သေးငယ်သော လျှပ်စီးကြောင်းကိုသာ ဖြတ်စီးစေသောကြောင့် သံလိုက်ခလုတ်တစ်ခုသည် အကြိမ်ပေါင်းသန်းတစ်ထောင်ခန့်မျှ အပိတ်/အဖွင့်ပြုလုပ်ပေးနိုင်ပါသည်။

(က) နေရာချအထိန်းပတ်လမ်း (Position Control)

Reed switch များကို နည်းမျိုးစုံဖြင့် အသုံးပြုနိုင်ကြပါသည်။ အောက်ပါပုံ(၁၂-၉)တွင် reed switch ကို ပစ္စည်းများနေရာချသည့်ကိစ္စတွင် အသုံးပြုထားပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ နေရာချလိုသည့်ပစ္စည်းတွင် သံလိုက်ငယ်ကိုတပ်ဆင်ထားပြီး၊ နေရာချလိုသည့်နေရာတွင် reed switch ကိုထားပါသည်။

ပစ္စည်းသည် ရွေ့လာပြီး reed switch နားသို့ရောက်သောအခါ ခလုတ်ပိတ်သွားသောကြောင့် ထိုမှ တဆင့် ပစ္စည်းကိုရွေ့စေသော မော်တာကိုရပ်စေခြင်းဖြင့် ပစ္စည်းသည်ဆက်လက်မရွေ့တော့ဘဲ ရပ်တန့်သွားပေ တော့သည်။

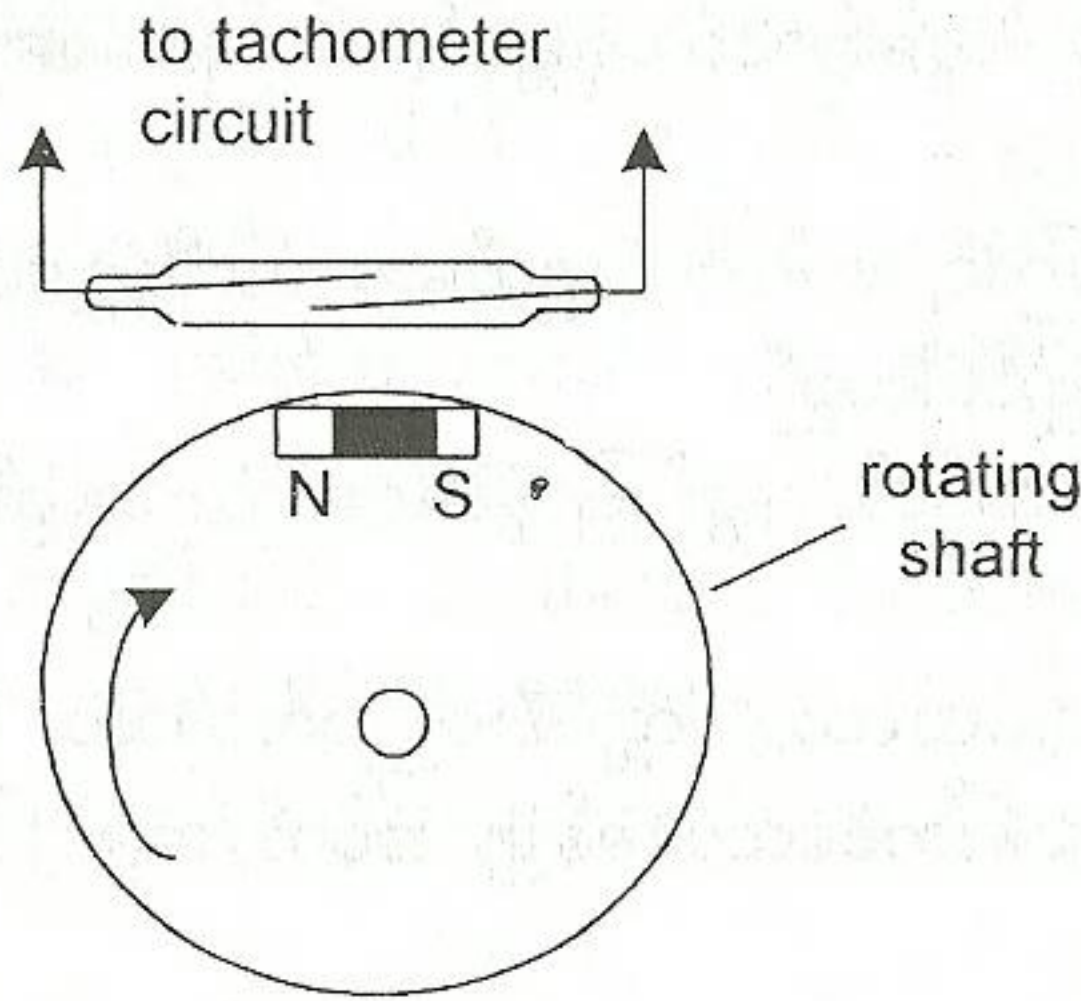


ပုံ(၁၂-၉) ပစ္စည်းနေရာချသည့်ကိစ္စတွင် reed switch ကိုအသုံးပြုထားပုံ

(ခ) လည်နှုန်းတိုင်းတာခြင်း (Measuring Rotational Speed)

Reed switch ကို လည်ပတ်နှုန်းတိုင်းတာသည့် တက်ကိုမီတာ (Tachometer) အဖြစ်အသုံးပြုနိုင်ပုံကို ပုံ(၁၂-၁၀)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။ လည်ပတ်နေသည့်အဝိုင်းပြားပေါ်တွင် သံလိုက်ငယ်ကို တပ်ဆင်ထားပြီး reed switch ကို အဝိုင်းပြားနားတွင် တပ်ဆင်ထားပါသည်။ reed switch သည် အလွန်လျှင်မြန်စွာ အလုပ်လုပ် နိုင်ပါသည်။ တစ်မိနစ်တွင် အပတ်၂၀၀၀နှုန်းဖြင့် လည်ပတ်နေသောအဝိုင်းပြားသည် တစ်ပတ်လည်တိုင်း reed switch ကို တစ်ကြိမ်အပိတ်/အဖွင့်ပြုလုပ်ပေးနေပါသည်။ ခလုတ်တစ်ကြိမ်ပိတ်တိုင်းထွက်ပေါ်လာသော ခုန်လှိုင်းကို မီတာတွင်ဖော်ပြစေခြင်းအားဖြင့် လည်နှုန်းတိုင်း တက်ကိုမီတာတစ်ခုကို ရရှိနိုင်ပေတော့သည်။

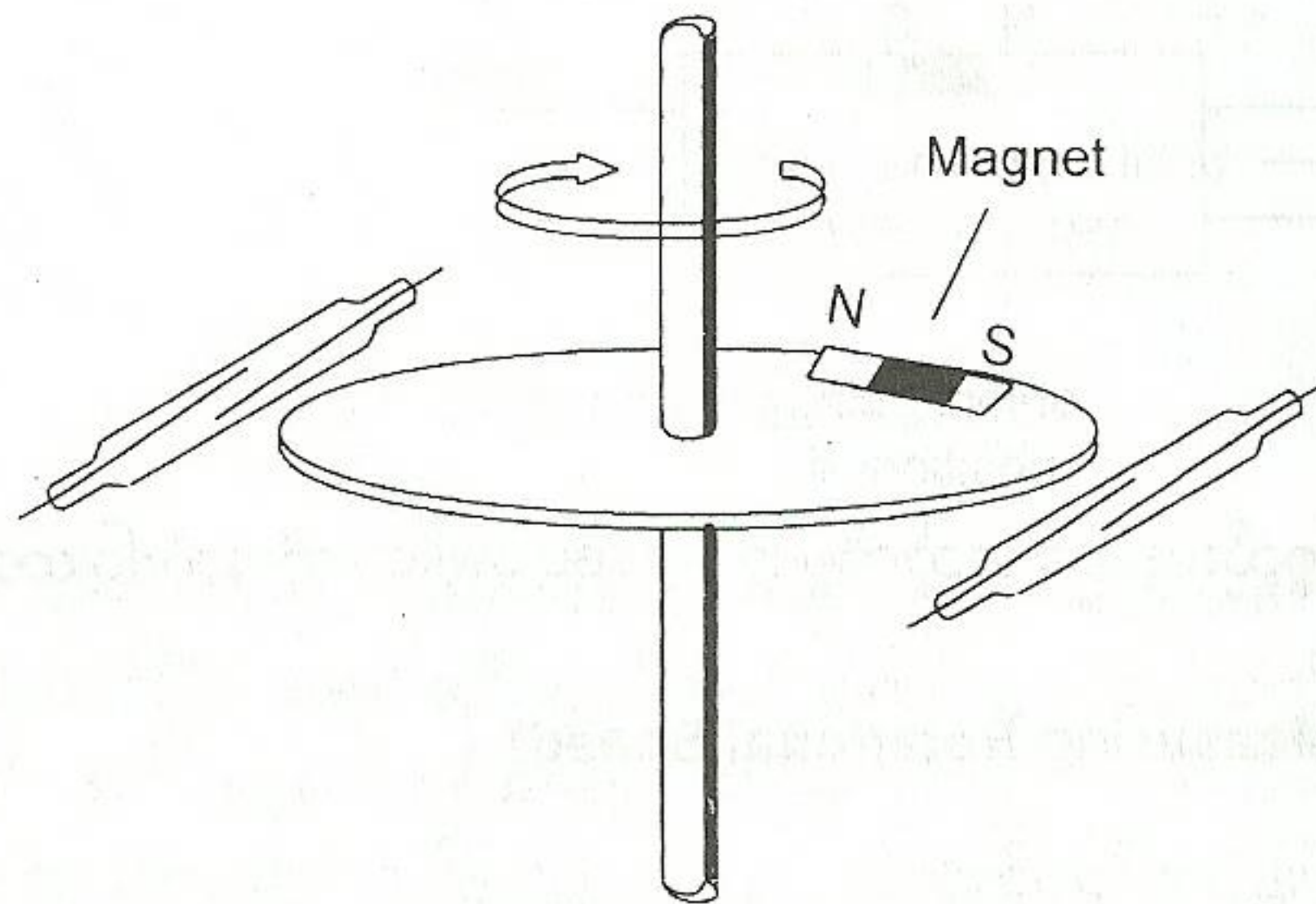




ပုံ(၁၂-၁၀) လည်နှုန်းတိုင်းမီတာပုံ

(c) လည်မှုတည်နေရာပြ (Rotary-Position Indicator)

ပုံ(၁၂-၁၁) တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း လည်ပတ်နေသော အဝိုင်းပြားပေါ်တွင် သံလိုက်ကိုတပ်ဆင်ထားသောအခါ သံလိုက်သည် အနီးဆုံးတွေ့သော reed switch ကိုပိတ်စေပါသည်။ ထိုမှတစ်ဆင့် reed switch နှင့်ဆက်သွယ်ထားသော မီးလုံး သို့မဟုတ် အသံမြည်အချက်ပေးပတ်လမ်းကို အလုပ်လုပ်စေသဖြင့် ချပ်ပြားဝိုင်းလည်မှုသည် မည်သည့်နေရာတွင်ရောက်နေသည်ကို မျက်စေ့ဖြင့်ကြည့်စရာမလိုဘဲ အလင်းရောင် သို့မဟုတ်အသံကြားရုံဖြင့် သိနိုင်ပေသည်။



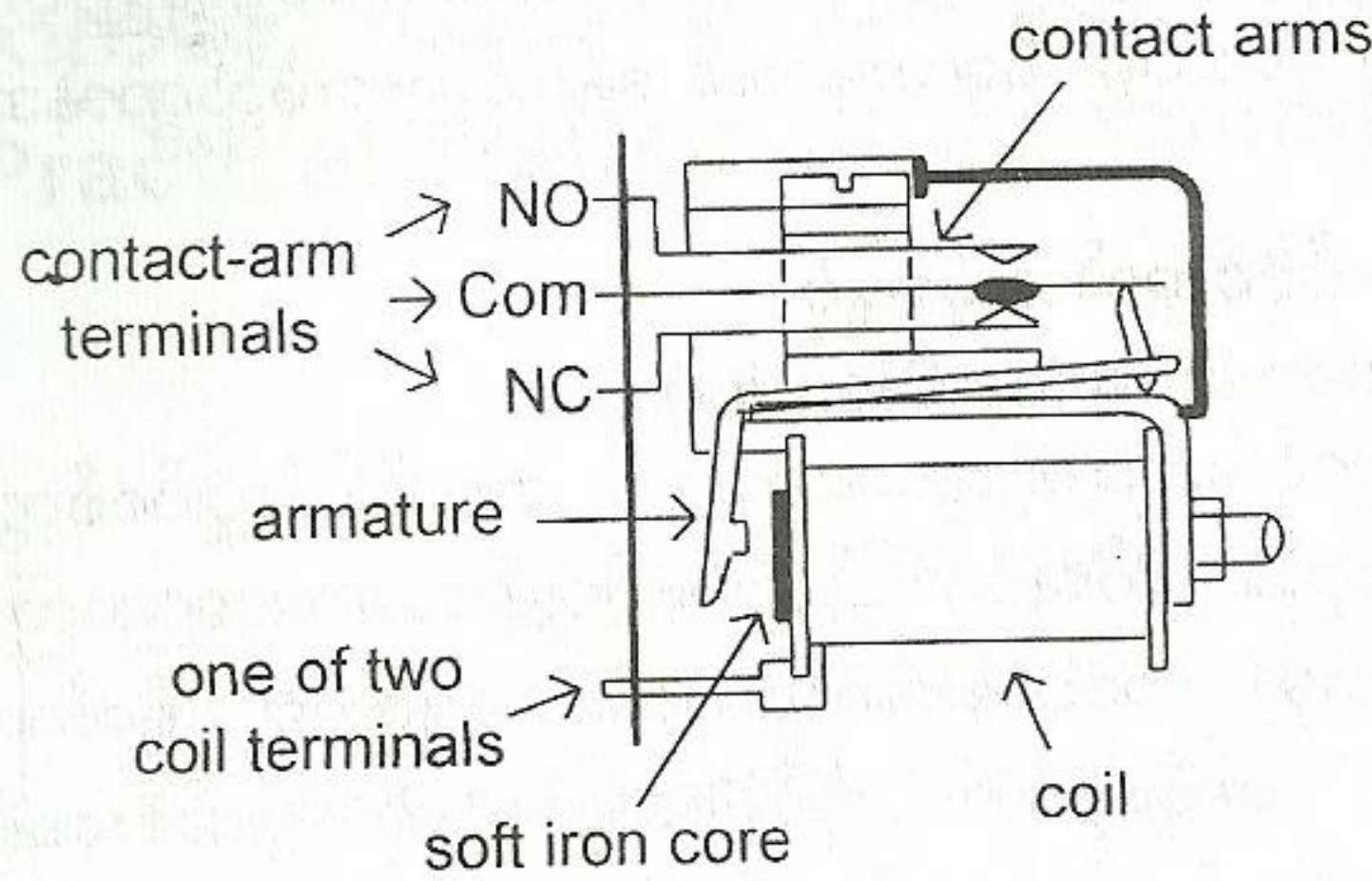
ပုံ(၁၂-၁၁) လည်မှုတည်နေရာပြရန် reed switch ကိုအသုံးပြုပုံ

လေတိုက်ရာအရပ်ကို ဖော်ပြရာတွင်အသုံးပြုသည့် Weather-cock ကို ဤနည်းဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်ပါသည်။



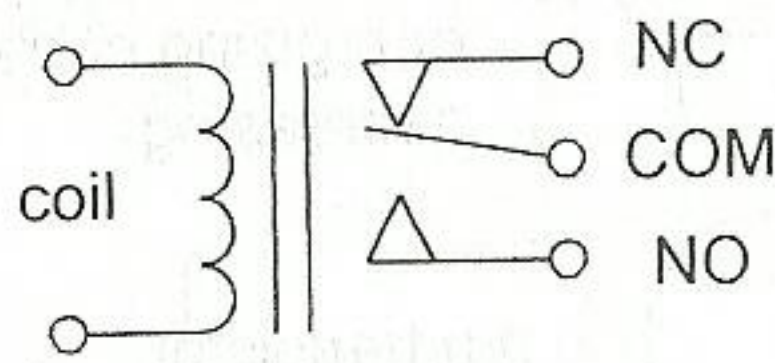
အခန်း(၁၂) အထူးပြုအစိတ်အပိုင်းများ

၁၂-၆။ လျှပ်စစ်သံလိုက် ရီလေး ( Electromagnetic Relay)



ပုံ(၁၂-၁၂) လျှပ်စစ်သံလိုက် ရီလေးတစ်ခု

လျှပ်စစ်သံလိုက်ဂုဏ်သတ္တိကိုအသုံးပြုပြီး တည်ဆောက်ထားသော ရီလေးတစ်ခုကို ပုံ(၁၂-၁၂)တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။ သံပျော့ချောင်းအူတိုင် ( Soft iron core) ပေါ်တွင်ပတ်ထားသောကြိုင်တွင် လျှပ်စီးကြောင်း စီးသောအခါ သံပျော့ချောင်းတွင် သံလိုက်ဓါတ်ဖြစ်ပေါ်လာပြီး အာမေချာပြားကိုဆွဲငင်ပါသည်။ ထိုသို့ဆွဲငင် သည့်အခါ အာမေချာပြားတွင်တပ်ဆင်ထားသော စပရင်အားကို ကျော်လွန်နိုင်အောင် ဆွဲငင်မိလျှင် အာမေချာ ပြားသည် ရွေ့လျားသွားပြီး ယင်း၏အစွန်းတစ်ဖက်တွင်တပ်ဆင်ထားသော ကြွေတုံးငယ်သည် ပွိုင့်များထိကပ်မှု အနေအထားကို ပြောင်းလဲစေပါသည်။ ပွိုင့်ငုတ်များတွင် နဂိုထိငုတ် ( Normally closed, NC terminal)၊ နဂိုပွင့်ငုတ် ( Normally open, NO terminal)နှင့် ( Common terminal, COM) ဟူ၍ ငုတ်(၃)မျိုးရှိပါသည်။ ရီလေးမဆွဲမီတွင် NC နှင့် COM တို့ ထိကပ်နေကြပြီး NO နှင့် COM တို့ ကွာနေကြပါသည်။ ရီလေးဆွဲသောအခါ NC နှင့် COM တို့ ကွာသွားကြပြီး NO နှင့် COM တို့ထိကပ် သွားကြပါသည်။ ပုံ(၁၂-၁၃)တွင် လျှပ်စစ်သံလိုက် ရီလေး၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၂-၁၃) လျှပ်စစ်သံလိုက် ရီလေး၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ

ရီလေးဆွဲမှုကြောင့် ပွိုင့်ငုတ်များနှင့်ဆက်သွယ်ထားသော အထိန်းပတ်လမ်းများတွင် လျှပ်စီးကြောင်း စီးဆင်းမှုကို ပြောင်းလဲစေပါသည်။

ရီလေးကြိုင်တွင်အပတ်ရေများစွာပါဝင်သဖြင့် သေးငယ်သော လျှပ်စီးကြောင်းဖြင့်ပင် အာမေချာပြားကို ဆွဲငင်နိုင်လောက်သော သံလိုက်စက်ကွင်းကိုဖြစ်ပေါ်စေနိုင်ပါသည်။ ကြိုင်တွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းနှင့် ပွိုင့်ငုတ်များတွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းတို့သည် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု သီးခြားဖြစ်ပေါ်နေကြပါသည်။ ကြိုင်တွင် သေးငယ်သောလျှပ်စီးကြောင်းက ပွိုင့်ငုတ်များတွင် ကြီးမားသောလျှပ်စီးကြောင်းစီးဆင်းမှုကို ထိန်းချုပ်ပေးနိုင်



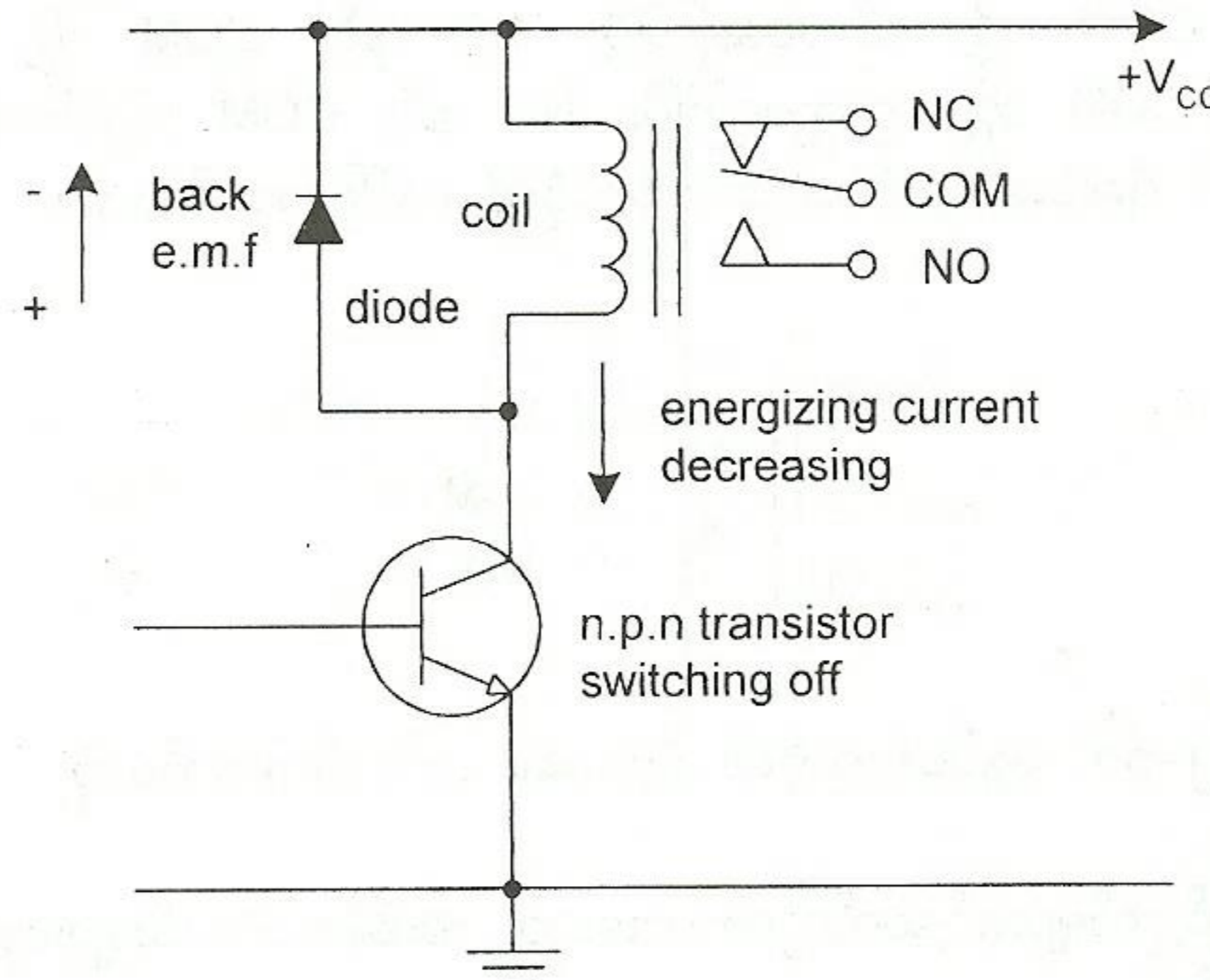
ကြောင်း သတိပြုစေလိုပါသည်။ ပွိုင့်ငုတ်များခံနိုင်သည့်လျှပ်စီးကြောင်းအနည်းအများကိုမူတည်၍ ရီလေးတစ်ခုသည် မီးလုံးကြီးများ၊ မော်တာများ စသည်တို့ကို ထိန်းနိုင်ပေတော့သည်။

အချို့သောရီလေးများတွင် ပွိုင့်ငုတ်များသည် တစ်စုံမကပါဝင်လျက်ရှိနေကြပါသည်။ ပွိုင့်ငုတ်များခံနိုင်သည့်လျှပ်စီးကြောင်း အနည်းအများကိုမူတည်၍ ရီလေးများ၏ အရွယ်အစားပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုး ရှိကြပါသည်။

၁၂-၇။ ရီလေးပတ်လမ်းတွင် ကာကွယ်ဒိုင်အုတ်အသုံးပြုပုံ  
(Using a Protection Diode in Relay Circuits)

ရီလေးကွိုင်တွင် လျှပ်စီးကြောင်းလျော့ကျသွားသောအခါ နောက်ပြန်လျှပ်စစ်တွန်းအား ( Back Electromotive Force) ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိပါသည်။ ထိုနောက်ပြန်လျှပ်စစ်တွန်းအားပမာဏသည် ရီလေးအမျိုးအစားပေါ်မူတည်၍ ဆယ်ဂဏန်းအတော်များများမှ ရာဂဏန်းအထိရှိတတ်သောကြောင့် ရီလေးကွိုင်တွင်ဖြတ်စီးစေသော လျှပ်စီးကြောင်းကို ထိန်းပေးနေသော ထရန်စစ္စတာ၊ ဒိုင်အုတ်တစ်ခုကို ပျက်စီးစေနိုင်ပါသည်။ ထိုကြောင့် ရီလေးကွိုင်ကိုခွဲ၍ ဒိုင်အုတ်တစ်လုံးကိုတပ်ဆင်ပေးရပါသည်။ ပုံ(၁၂-၁၄)တွင် ထရန်စစ္စတာဖြင့်ထိန်းသော ရီလေးပတ်လမ်းတွင် ကာကွယ်ဒိုင်အုတ်တပ်ဆင်ထားပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ 1N4001 to 1N4006 ဒိုင်အုတ်အမျိုးအစားကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

ထိုပုံတွင် ထရန်စစ္စတာကို ခလုတ်အဖြစ်အသုံးပြုထားပါသည်။ ထရန်စစ္စတာတွင်ဖြတ်စီးသော လျှပ်စီးကြောင်းပြတ်တောက်သွားသောအခါ ရီလေးကွိုင်တွင် နောက်ပြန်လျှပ်စစ်တွန်းအားသည် ပုံတွင်ပြထားသည့် လားရာအတိုင်းဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။ ဒိုင်အုတ်ကိုတပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော နောက်ပြန်လျှပ်စစ်တွန်းအား၏လျှပ်စီးကြောင်းသည် ထရန်စစ္စတာဆီသို့ရောက်မလာတော့ဘဲ ဒိုင်အုတ်ဖြတ်စီးသွားပေတော့သည်။ ဒိုင်အုတ်ကိုတပ်ဆင်သည့်အခါ ကက်သုတ်သည် ပါဝါဆပ်ပလိုင်၏ အပေါင်းငုတ်ဖက်တွင်ရှိဖို့လိုအပ်ကြောင်း သတိပြုစေလိုပါသည်။



ပုံ(၁၂-၁၄) ရီလေးပတ်လမ်းတွင် ကာကွယ်ဒိုင်အုတ်တပ်ဆင်ထားပုံ



# အခန်း(၁၃) လက်တွေ့ ထရန်စစ္စတာခလုတ် ပတ်လမ်းများ ( Practical Transistor Switching Circuits)

## ၁၃-၁။ နိဒါန်း

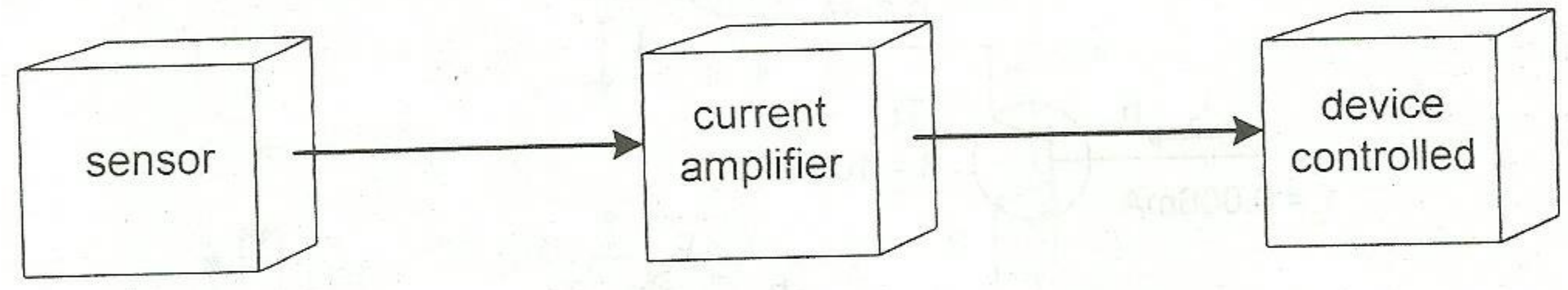
အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်၏ အခြေခံသဘောတရားများကို လေ့လာသိရှိပြီးနောက် လက်တွေ့တွင် အသုံးပြုနိုင်မည့် ပတ်လမ်းများတည်ဆောက်ပုံကို တဆင့်တက်ကြရပေမည်။ အခြေခံကျသော ယေဘုယျ ပတ်လမ်းများကို လက်တွေ့တည်ဆောက်နိုင်ပြီးဆိုလျှင် အခြားအဆင့်မြင့်ပတ်လမ်းများကို တည်ဆောက်ရာတွင် များစွာ အခက်အခဲရှိတော့မည်မဟုတ်ချေ။

လက်တွေ့တွင် ပတ်လမ်းတစ်ခုကို တည်ဆောက်တော့မည်ဆိုလျှင် ရှေးဦးစွာ ဆားကစ်ပုံကိုရယူပြီး ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းများကို စုဆောင်းရပါမည်။ ထို့နောက် ပရိုဂျက်ဘုတ်ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ရပါမည်။ ပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်ပုံ မှန်ကန်မှုရှိမရှိစစ်ဆေးပြီးနောက် ပရင့်တက်ဆားကစ်ပြားပေါ်တွင် ဂဟေဆော်ပြီး တပ်ဆင် အသုံးပြုရပါမည်။

ဤအခန်းတွင် ထရန်စစ္စတာခလုတ်ပတ်လမ်းအချို့ကို ဖော်ပြသွားပါမည်။ အဆင့်မြင့်ပတ်လမ်းများ အကြောင်းကို စာရေးသူထုတ်ဝေထားပြီးဖြစ်သော လုပ်ငန်းခွင်သုံး အီလက်ထရွန်းနစ်စာအုပ် အပိုင်း(၁)၊ အပိုင်း(၂)၊ အပိုင်း(၃) နှင့် ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ်စာအုပ်များတွင် ဆက်လက်ဖတ်ရှုကြစေလိုပါသည်။

## ၁၃-၂။ ခလုတ်ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် အီလက်ထရွန်းနစ်စနစ် ( Electronic System of a Switching Circuit)

ခလုတ်ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် အီလက်ထရွန်းနစ်တည်ဆောက်ပုံကို အောက်ပါပုံ(၁၃-၁)တွင် ဖော်ပြ ထားပါသည်။ ထိုပုံတွင် အာရုံခံကိရိယာ (Sensor) ၊ လျှပ်စီးကြောင်းချဲ့စက် (Current amplifier)၊ နှင့် အထိန်းခံပစ္စည်း (Device controlled) ဟူ၍ အစိတ်အပိုင်း(၃)ခုပါဝင်ပါသည်။



ပုံ(၁၃-၁) ခလုတ်ပတ်လမ်းတစ်ခုအတွက် အီလက်ထရွန်းနစ် ဖွဲ့စည်းထားပုံ

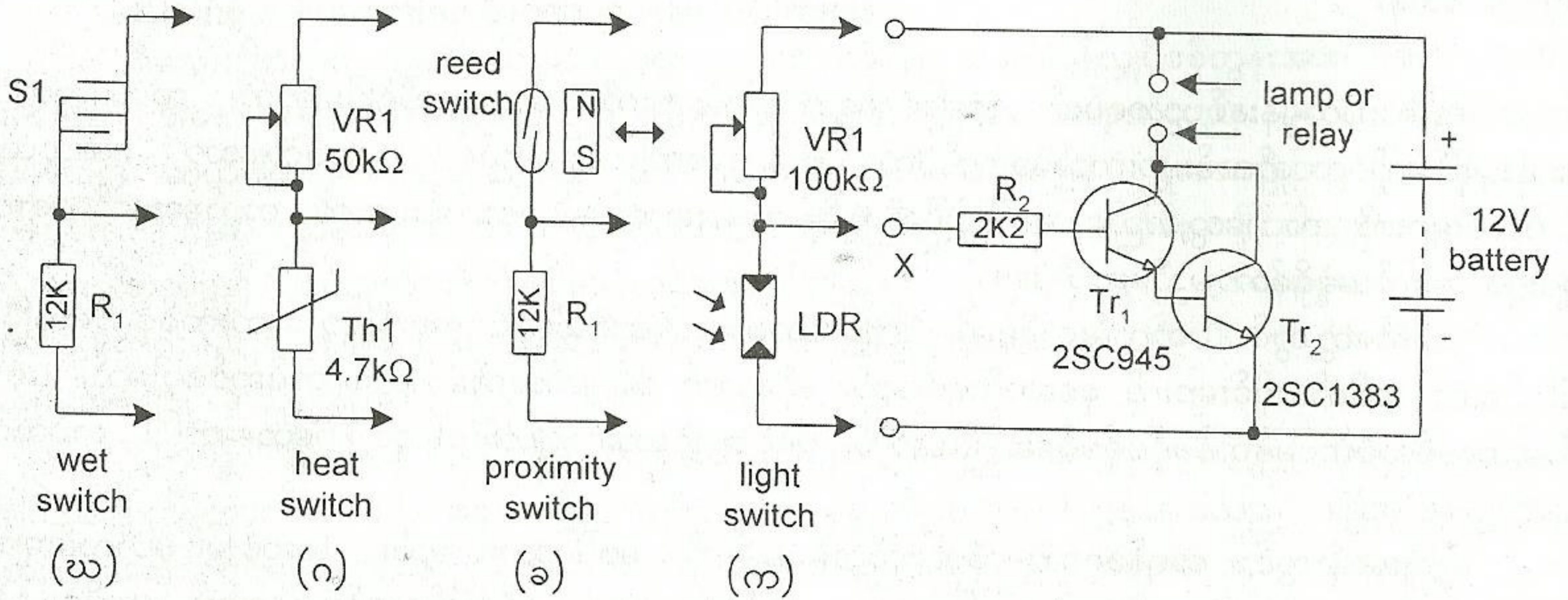
Sensor ပိုင်းတွင် အာရုံခံပစ္စည်းအမျိုးအစားများစွာကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ ဥပမာ- အလင်းအာရုံခံ ပစ္စည်း (LDR)၊ အပူအာရုံခံပစ္စည်း (Thermistor)၊ သံလိုက်အာရုံခံပစ္စည်း (Reed switch)၊ အစိုဓါတ်အာရုံခံ ပစ္စည်း (Wet switch) စသည်တို့ဖြစ်ကြပါသည်။



လျှပ်စီးကြောင်းချဲ့စက်ပိုင်းတွင် ထရန်စစ္စတာတစ်လုံး သို့မဟုတ် ဒါလင်တန်အတွဲကို အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ အထိန်းခံပစ္စည်းများအဖြစ် ရီလေး၊ မီးလုံး၊ မော်တာ စသည်တို့ကိုအသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

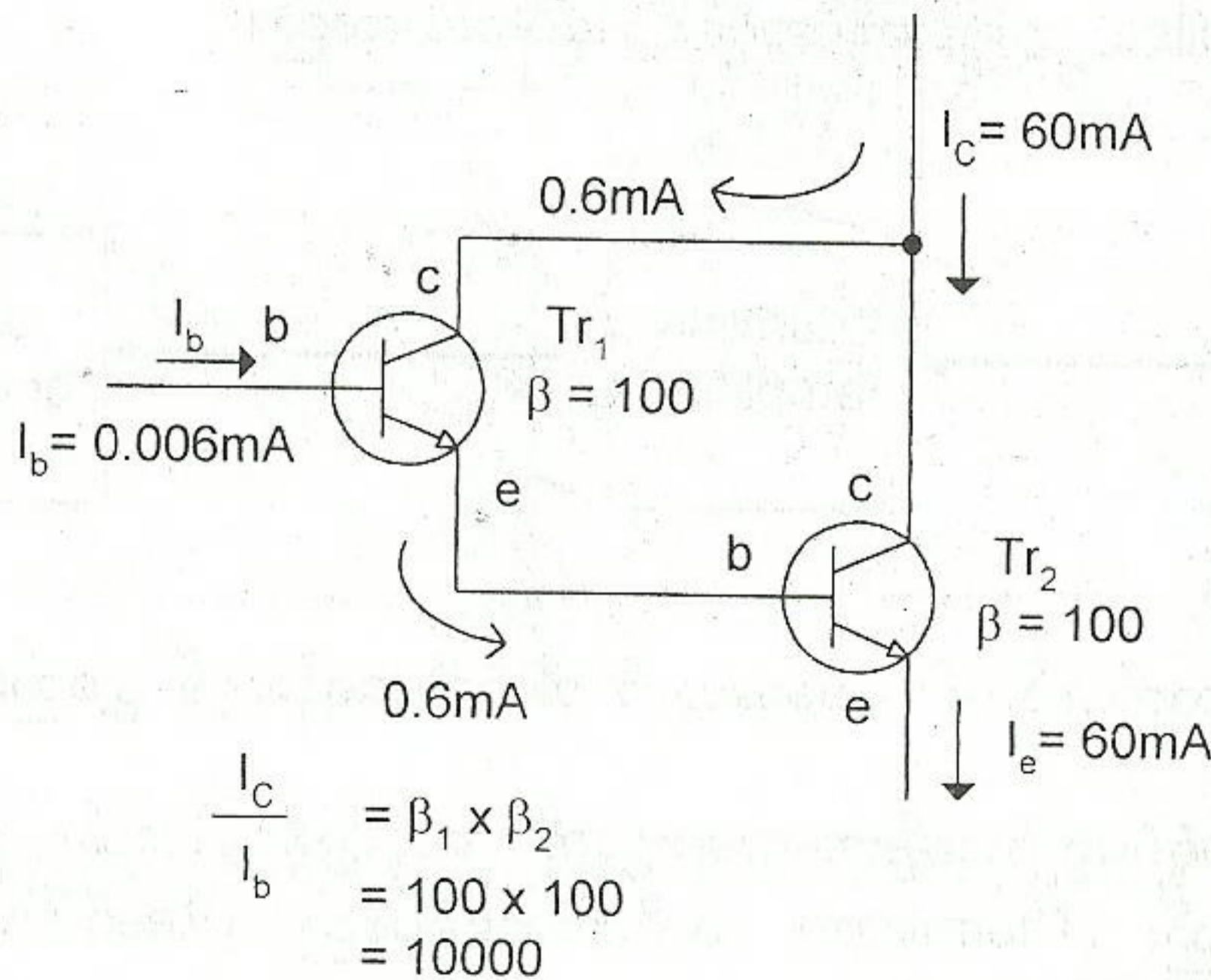
၁၃-၃။ လက်တွေ့ပတ်လမ်းများ ( Practical Circuits)

ပုံ(၁၃-၂)တွင် အာရုံခံပစ္စည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် ဒါလင်တန်-ထရန်စစ္စတာချဲ့စက်ကို တွဲဖက်အသုံးပြုနိုင်ပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၃-၂) အာရုံခံပစ္စည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် ဒါလင်တန်-ထရန်စစ္စတာချဲ့စက်ကို တွဲဖက်အသုံးပြုနိုင်ပုံ

အထက်ပါပုံတွင် ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးတည်းကိုသာအသုံးပြုနိုင်သော်လည်း ဒါလင်တန် ထရန်စစ္စတာ အတွဲကိုအသုံးပြုသည့်အတွက် လျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆပိုမိုရရှိလာပြီး sensitivity ပို၍ကောင်းစေပါသည်။ ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာအတွဲတွင် လျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆများလာပုံကို အောက်ပါအတိုင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။



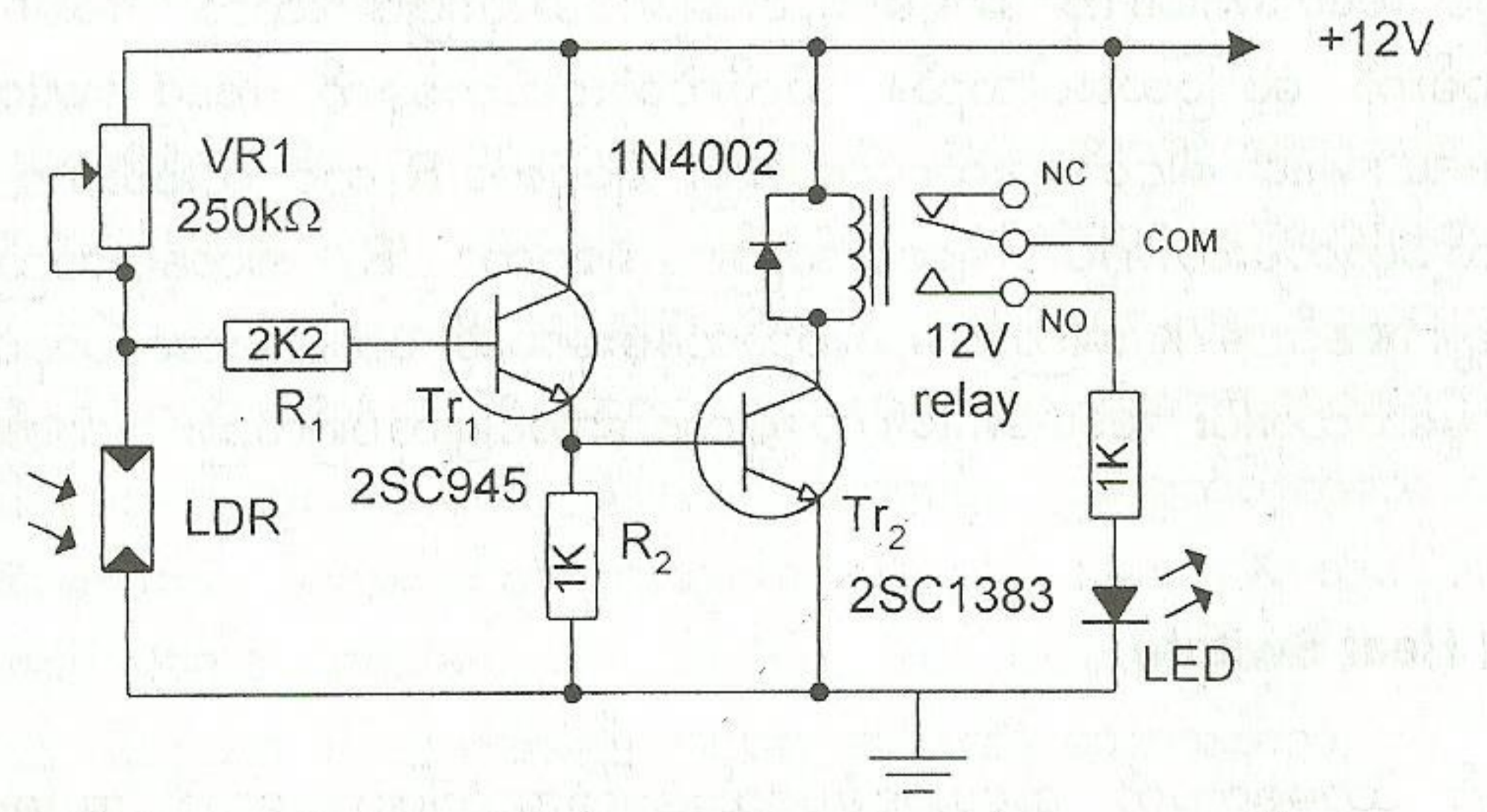
ပုံ(၁၃-၃) ဒါလင်တန်-ထရန်စစ္စတာတွင် လျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆပိုများလာပုံ



ထရန်စစ္စတာတစ်လုံးတွင် အိမ်တာလျှပ်စီးကြောင်းသည် ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်းနှင့် တူညီလှနီးပါးဖြစ်ကြောင်းသိခဲ့ပြီးဖြစ်ပေသည်။ ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာအတွဲတွင် ထရန်စစ္စတာ  $Tr_2$  ဘော့စ်လျှပ်စီးကြောင်းသည် ထရန်စစ္စတာ  $Tr_1$  ၏ အိမ်တာလျှပ်စီးကြောင်းနှင့် တူညီနေကြောင်းတွေ့ရသည်။ ထိုအခါ  $Tr_1$  ၏ ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်းသည်  $Tr_2$  ၏ဘော့စ်လျှပ်စီးကြောင်းနှင့်တူညီလှနီးပါးဖြစ်ပေသည်။ ပုံ(၁၃-၃) တွင် ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာအတွဲ၏ ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်းသည် 60mA ဖြစ်သည်ဟုယူဆပြီး  $Tr_2$  ၏ လျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆ  $\beta_2$  သည် 100 ဖြစ်သည်ဆိုလျှင်  $Tr_2$  ၏ဘော့စ်လျှပ်စီးကြောင်း ( $Tr_1$  ၏ ကော်လက်တာလျှပ်စီးကြောင်း) သည်  $60mA/100$  သို့မဟုတ် 0.6mA ဖြစ်မည်။  $Tr_2$  တွင်စီးနေသောလျှပ်စီးကြောင်းပမာဏသည်  $Tr_1$  တွင်စီးနေသော လျှပ်စီးကြောင်းပမာဏထက် အဆ 100 ပိုများကြောင်းတွေ့ရသည်။ အကယ်၍  $Tr_1$  ၏လျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆ  $\beta_1$  သည်လည်း 100 ဖြစ်သည်ဆိုလျှင် ယင်း၏ဘော့စ်လျှပ်စီးကြောင်းသည်  $0.6mA/100$  သို့မဟုတ် 0.006mA သို့မဟုတ်  $6\mu A$  ဖြစ်မည်။ ထိုသို့  $Tr_1$  ၏ဘော့စ်တွင် အလွန်သေးငယ် ဘော့စ်လျှပ်စီးကြောင်း စီးဆင်းနေပြီး  $Tr_2$  တွင် ထိုထက်အဆ 10000 ကြီးသော ကော်လက်တာ လျှပ်စီးကြောင်း စီးနေသဖြင့် ဒါလင်တန်အတွဲတွင် စုစုပေါင်းလျှပ်စီးကြောင်းတိုးပွားဆသည် ပါဝင်နေသော ထရန်စစ္စတာတစ်ခုချင်းစီ၏ တိုးပွားဆများမြောက်လဒ်နှင့်တူညီနေသည်ဟုဆိုနိုင်ပါသည်။ ထို့ကြောင့် LDR တွင် အလင်းကျရောက်မှုအနည်းငယ် ပြောင်းလဲရုံမျှကို ဒါလင်တန်အတွဲက အလွယ်တကူသိလွယ်ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် sensitivity ပို၍ကောင်းလာပါသည်။

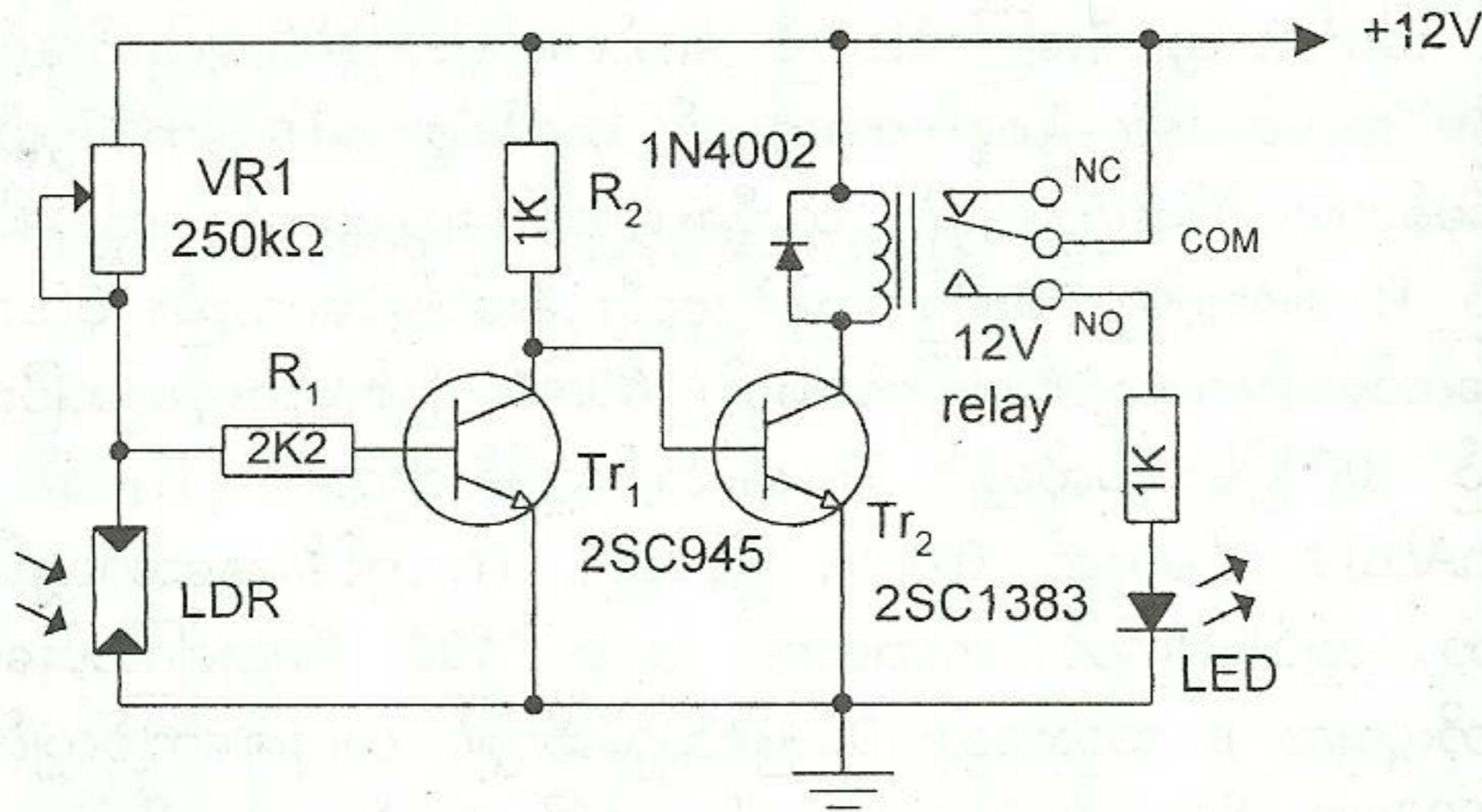
၁၃-၃-၁။ အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်းများ ( Light Switches )

ပုံ(၁၃-၂-က)တွင် LDR ကို အာရုံခံပစ္စည်းအဖြစ် အသုံးပြုထားသော အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်းကို ဖော်ပြထားပါသည်။ LDR ပေါ်တွင်ကျရောက်နေသော အလင်းရောင်ကို ဖုံးအုပ်လိုက်သောအခါ LDR ၏ခုခံမှု တန်ဖိုးသည် ကြီးမားလာပါသည်။ အမှတ် X တွင်ဖြစ်ပေါ်လာသောဗို့အားသည် 1.2Vခန့်ရောက်သွားသောအခါ ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာသည် လျှပ်ကူးမှုဖြစ်ပေါ်ပြီး မီးလုံးကိုလင်းစေပါမည်။ သို့မဟုတ်ရီလေးကိုဆွဲစေပါမည်။ ရီလေး၏ပွိုင့်များသည် ထရန်စစ္စတာ  $Tr_2$  ကခံနိုင်သောလျှပ်စီးကြောင်းထက်ပိုကြီးသော လျှပ်စီးကြောင်းကိုခံနိုင်ကြသဖြင့် လျှပ်စစ်မော်တာကဲ့သို့သော ပစ္စည်းများကို မောင်းနှင်ပါသည်။



ပုံ(၁၃-၄) ထရန်စစ္စတာနှစ်လုံးပါဝင်သော အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်းပုံ(၁)





ပုံ(၁၃-၅) ထရန်စစ္စတာနှစ်လုံးပါဝင်သော အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်းပုံ(၂)

ဒါလင်တန်အတွဲထရန်စစ္စတာကိုမသုံးဘဲ ထရန်စစ္စတာနှစ်လုံးကို တစ်လျှပ်စီလျှပ်ကူးစေခြင်းဖြင့်လည်း အလင်းခလုတ်ပတ်လမ်းများကို တည်ဆောက်နိုင်ပါသေးသည်။ ပုံ(၁၃-၄)အတိုင်း ပြထားသောပတ်လမ်းတွင် ပထမထရန်စစ္စတာလျှပ်ကူးပြီးမှ ဒုတိယထရန်စစ္စတာလျှပ်ကူးကာ ရီလေးကိုဆွဲပေးပါမည်။ ရီလေးဆွဲ/မဆွဲသိနိုင်စေရန်အတွက် ရီစစ္စတာတစ်လုံးနှင့် LED တစ်လုံးတို့ကို ရီလေးငုတ်တွင် တန်းဆက်ထည့်သွင်းထားပါသည်။

ပုံ(၁၃-၅)တွင် ပြထားသောပတ်လမ်းတွင်မူကား ပထမထရန်စစ္စတာလျှပ်ကူးလျှင် ဒုတိယထရန်စစ္စတာလျှပ်မကူးဘဲ ပထမထရန်စစ္စတာလျှပ်မကူးမှသာလျှင် ဒုတိယထရန်စစ္စတာ လျှပ်ကူးကာ ရီလေးကိုဆွဲပေးပါမည်။

အထက်ဖော်ပြပါ ထရန်စစ္စတာခလုတ်ပတ်လမ်းများတွင် VR1 နှင့် LDR တို့ကို နေရာဖလှယ်၍ တပ်ဆင် လိုက်မည်ဆိုလျှင် အမှောင်ခလုတ် သို့မဟုတ် အလင်းခလုတ်အဖြစ် လိုသလိုပြောင်းလဲ အသုံးပြုနိုင်ကြောင်းတွေ့ရပေလိမ့်မည်။

**၁၃-၃-၂။ သံလိုက်ခလုတ် ( Proximity Switch)**

ပုံ(၁၃-၂-ခ)တွင် reed switch ကို အာရုံခံပစ္စည်းအဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် Proximity Switch ခေါ် သံလိုက် ခလုတ်ပတ်လမ်းကို ဖော်ပြထားပါသည်။ သံလိုက်တုံးငယ်တစ်ခုကို reed switch အနီးအနားတွင် ထားလိုက် သောအခါ reed switch ၏ငုတ်များထိကပ်သွားပြီး ရီစစ္စတာ R<sub>1</sub> တွင် လျှပ်စီးကာ ထရန်စစ္စတာများ လျှပ်ကူးကြပြီး ရီလေးသို့မဟုတ်မီးလုံးကိုပါဝါရစေပါသည်။ ရီစစ္စတာ R<sub>1</sub> ၏တန်ဖိုးသည် အထူးတလည် အတိအကျ ဖြစ်ရန်မလိုချေ။ 1k နှင့် 47k အကြား မည်သည့်တန်ဖိုးမှာမဆို ပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်နိုင်ပါသည်။

သံလိုက်တုံးကို မူသေထားပြီး reed switch ကိုရွေ့လျားအောင်ပြုလုပ်၍လည်း ခလုတ်ကိုအပိတ်/အဖွင့် ပြုလုပ်နိုင်ပါသေးသည်။

**၁၃-၃-၃။ အပူခလုတ် ( Heat Switch)**

ပုံ(၁၃-၂-ဂ)တွင် သာမစ္စတာကို အပူအာရုံခံပစ္စည်းအဖြစ်အသုံးပြုထားသော အပူခလုတ်ပတ်လမ်းကို ဖော်ပြထားပါသည်။ သာမစ္စတာတွင် အပူချိန်ပြောင်းလဲမှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ခုခံမှုအနည်းအများကြောင့် ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာကို လျှပ်ကူးစေပြီး ရီလေးကိုအလုပ်လုပ်စေမည်ဖြစ်ပေသည်။ ဤပတ်လမ်းမျိုးဖြင့် အခန်းအပူချိန်ထိန်းပတ်လမ်းများ၊ အီလက်ထရွန်းနစ်သာမိုစတက်ပတ်လမ်းများကိုတည်ဆောက်နိုင်ပေသည်။

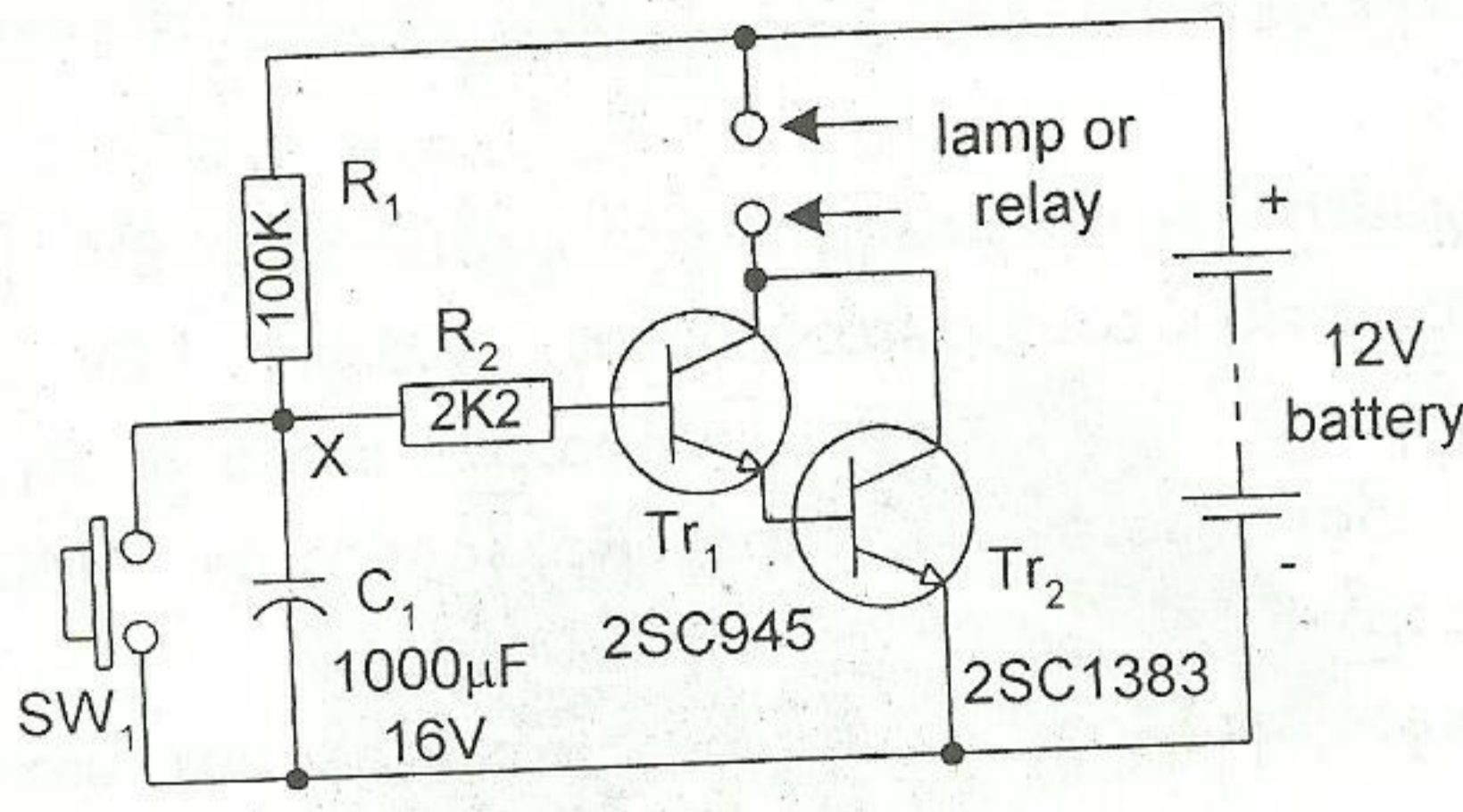


အခန်း(၁၃) လက်တွေ့ ထရန်စစ္စတာခလုတ် ပတ်လမ်းများ

၁၃-၃-၄။ အစိုဓါတ်ခလုတ် (Wet Switch)

ပုံ(၁၃-၂-ဃ)တွင် ကြေးနီဝါယာဂရစ်များကို အစိုဓါတ်အာရုံခံပစ္စည်းအဖြစ် အသုံးပြုထားသော အစိုဓါတ် ခလုတ်ပတ်လမ်းကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ပရင့်တက်ဆားကစ်ပြားပေါ်တွင် ဂရစ်လမ်းကြောင်းများဖော် ပြီးအစိုဓါတ်အာရုံခံပစ္စည်း S<sub>1</sub> အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။ ဂရစ်လိုင်းများအကြား ခြောက်သွေ့နေသောအခါ S<sub>1</sub> ၏ရဲ့ခံမှုသည် အလွန်ကြီးနေသဖြင့် အမှတ် X တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ဗို့အားသည် အလွန်ငယ်နေပါသည်။ ထိုအချိန်တွင် ထရန်စစ္စတာများသည် လျှပ်မကူးနိုင်သေးချေ။ အကယ်၍ ဂရစ်လိုင်းများအကြား ရေငွေ့များကပ် ပြီး စွတ်စိုနေသောအခါ S<sub>1</sub> ၏ရဲ့ခံမှုသည် လျော့ကျသွားပြီး အမှတ် X တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ဗို့အားသည် 1.2V ခန့်ရောက်သွားသောအခါ ထရန်စစ္စတာများ လျှပ်ကူးပြီး မီးလုံး သို့မဟုတ် အချက်ပေးကိရိယာကို အလုပ်လုပ် စေမည်ဖြစ်ပေသည်။ ရီစစ္စတာ R<sub>1</sub> နေရာတွင် 10k ပရီဆက်ကိုထည့်ပြီး အစိုဓါတ်အနည်းအများတွင် အလုပ်လုပ်နိုင်ပုံကို ချိန်ညှိနိုင်ပါသည်။ မိုးရွာခါနီး အချက်ပေးပတ်လမ်း၊ သစ်ပင်ရေလောင်းရန် သတိပေးပတ် လမ်း စသည်တို့ကို ဤခလုတ်ပတ်လမ်းမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်ပေသည်။

၁၃-၄။ အချိန်နှေးပြီးအလုပ်လုပ်စေသောပတ်လမ်း (Time Delay Circuit)



ပုံ(၁၃-၆) အချိန်နှေးပြီးအလုပ်လုပ်စေသောပတ်လမ်းပုံ

အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့သော ခလုတ်ပတ်လမ်းများတွင် ကပယ်စီတာတစ်လုံးကို ထည့်သွင်းအသုံးပြု လိုက်မည်ဆိုလျှင် အချိန်နှေးကွေးပြီး အလုပ်လုပ်စေသော ခလုတ်ပတ်လမ်းတစ်ခုကို ရရှိလာနိုင်ပေသည်။ ဤပတ်လမ်းသည် ကပယ်စီတာ၏လျှပ်စစ်သွင်းမှုကြောချိန်ကို အခြေခံပြီး တည်ဆောက်ထားသော ပတ်လမ်းမျိုး ဖြစ်ပါသည်။ ပုံ(၁၃-၆)တွင် ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာနှင့် တွဲဖက်ထားသော ပတ်လမ်းကို ဖော်ပြထားပါသည်။

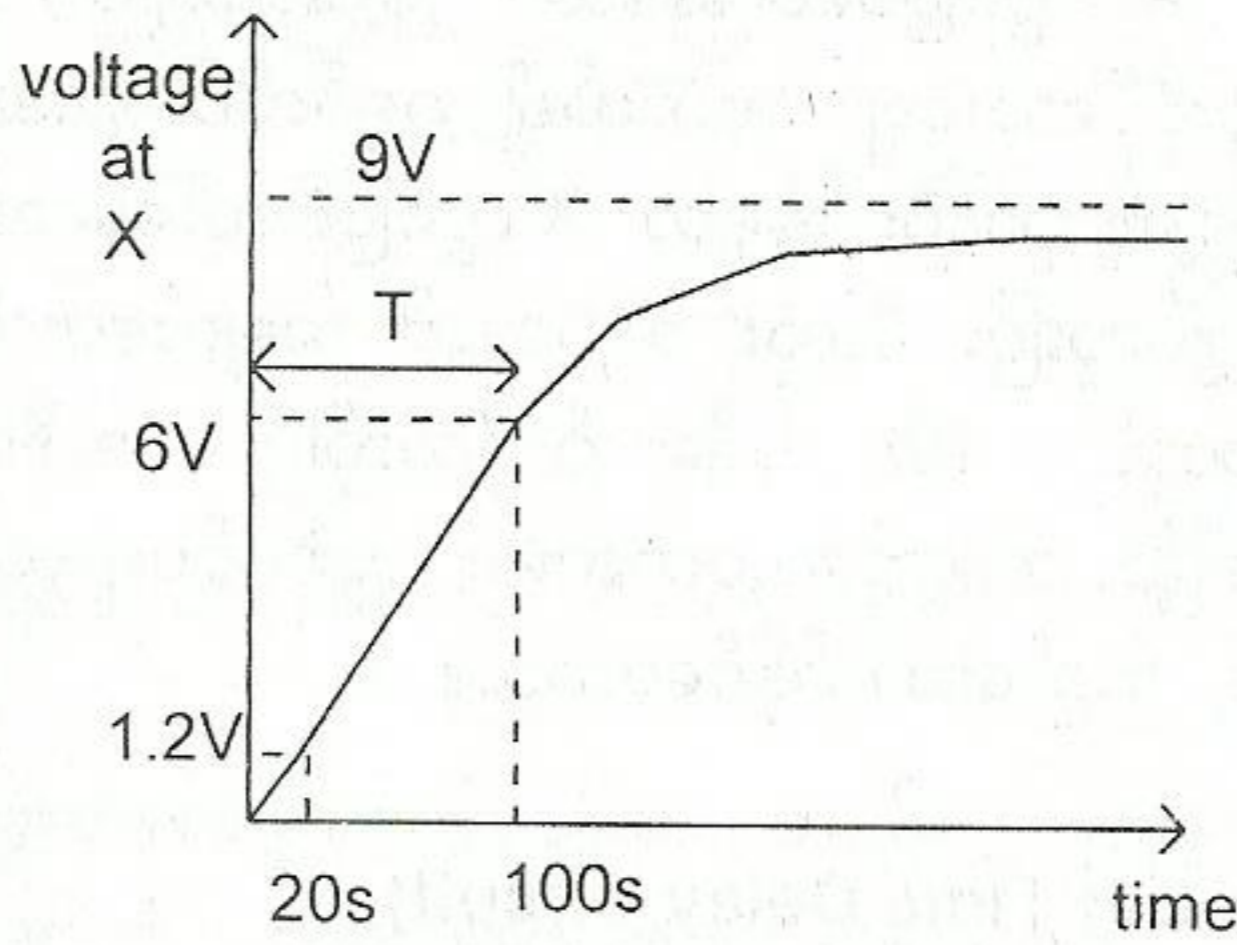
အထက်ပါပုံ(၁၃-၆)တွင် ခလုတ် SW<sub>1</sub> ကိုနှိပ်ထားပြီး ပြန်လွှတ်လိုက်သောအခါ ကပယ်စီတာ C<sub>1</sub> သည် ရီစစ္စတာ R<sub>1</sub> မှတဆင့် လျှပ်စစ်ဓါတ်သွင်းယူပါတော့သည်။ အမှတ် X တွင်ဗို့အားဖြစ်ပေါ်လာသည့်နှုန်း သည် အချိန်ကိန်းသေ (time constant, T = C<sub>1</sub> R<sub>1</sub>) ပေါ်တွင်မူတည်နေပါသည်။ ပုံတွင်ဖော်ပြထားသော ကပယ်စီတာ C<sub>1</sub> နှင့် ရီစစ္စတာ R<sub>1</sub> တို့၏တန်ဖိုးများအရ အချိန်ကိန်းသေတန်ဖိုးသည် -

$T = 1000 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3 = 100s$  ဖြစ်ပါသည်။

ထိုအချိန် 100s သည် အမှတ် X တွင် ဆပ်ပလိုင်းဗို့အား၏ သုံးပုံနှစ်ပုံ ရရှိရန်ကြာသော အချိန်ပင် ဖြစ်ပေသည်။ ဆပ်ပလိုင်းဗို့အားသည် 9V ဖြစ်လျှင် အမှတ် X တွင် 6V ဖြစ်ရန် 100s အချိန်ကြာမည်ဖြစ် ပေသည်။



သို့သော်လည်း အမှတ် X နှင့် ထရန်စစ္စတာ  $Tr_1$ ၏ဘေ့စ်ငုတ်တို့အကြားတွင် ရီစစ္စတာ  $R_2$  ရှိနေသောကြောင့်  $Tr_1$  ၏ဘေ့စ်ငုတ်တွင် ဗို့အား 6V မရောက်နိုင်ချေ။ အမှတ် X တွင် 1.2V ဗို့ရောက်သည်နှင့် ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာသည် လျှပ်ကူးလေတော့သည်။ အမှတ် X တွင် ဗို့အားဖြစ်ပေါ်နေပုံကို ပုံ(၁၃-၇) တွင် ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၃-၇) အမှတ် X တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော ဗို့အားပြောင်းလဲပုံ

ထိုပုံမှတစ်ဆင့် ထရန်စစ္စတာ လျှပ်မကူးမီနှောင့်နှေးနေချိန်ကိုတွက်ယူနိုင်ပါသည်။ 6V ဖြစ်ရန်ကြာချိန် 100s နေရာအထိ ကပယ်စီတာဗို့အားသည် အမြောင့်သဘာဝဆောင်သည်ဟု ယူဆလျှင် 1.2V သည် 6V ၏ ၅ပုံတစ်ပုံသာ ရှိသောကြောင့် နှောင့်နှေးချိန်သည်  $(100/5 = 20s)$  ဖြစ်ပေသည်။ အကယ်၍  $R_1$  သည် တန်ဖိုးပြောင်းနိုင်သော ပရီဆက်သာဖြစ်ခဲ့လျှင် ထိုနှောင့်နှေးချိန်ကို လိုသလိုချိန်ညှိနိုင်ပေသည်။  $1M\Omega$  ပရီဆက်ကို အသုံးပြုလျှင် အချိန် 200s အထိရနိုင်ပေသည်။

သို့သော်လည်း လက်တွေ့တွင် နှောင့်နှေးချိန်ကို ကြီးချင်တိုင်း ကြီး၍မရနိုင်ပေ။ အောက်ပါအတိုင်း ကန့်သတ်ချက်နှစ်ချက်ရှိပါသည်။

◀ ပထမကန့်သတ်ချက်မှာ- အီလက်ထြိုလစ်တစ်ကပယ်စီတာ၏ လိကိတ်လျှပ်စီးကြောင်း ကြောင့်ဖြစ်ပါသည်။  $R_1$  အလွန်ကြီးလျှင် ယင်းကိုဖြတ်စီးမည့် လျှပ်စီးကြောင်းသည် အလွန်ငယ်သွားပြီး ကပယ်စီတာမှ လိကိတ်ဖြစ်သွားနိုင်ပေသည်။ ထိုကြောင့် လက်တွေ့တွင် အကြီးဆုံးသုံးနိုင်သော  $C_1$  နှင့်  $R_1$  တို့၏တန်ဖိုးများမှာ  $2000\mu F$  နှင့်  $1M\Omega$  တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ ထိုတန်ဖိုးများနှင့်ဆိုလျှင် အချိန် 400s သို့မဟုတ် 6mims ခန့် အထိ ကြာအောင်နှောင့်နှေးစေနိုင်ပါသည်။

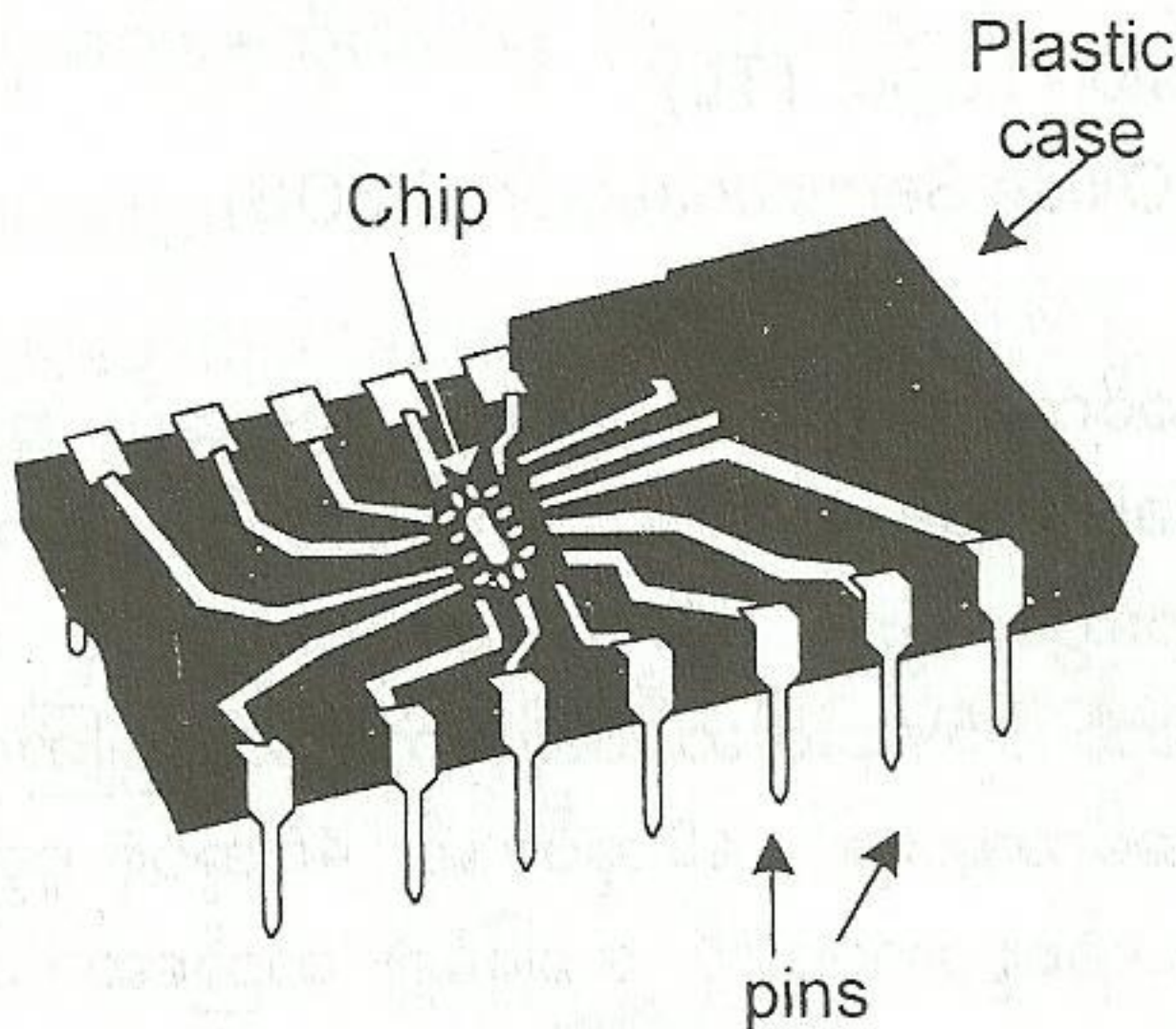
▶ ဒုတိယကန့်သတ်ချက်မှာ- ရီစစ္စတာ  $R_1$  ၏ခုခံမှုသည် အလွန်ကြီးလွန်းပါက လျှပ်စီးကြောင်း အလွန်ငယ်သွားပြီး ဒါလင်တန်ထရန်စစ္စတာ အလုပ်လုပ်ရန်အတွက် အနည်းဆုံးလိုအပ်သော ဘေ့စ်လျှပ်စီးကြောင်းကို မရနိုင်တော့ချေ။



# အခန်း(၁၄) အိုင်စီများ (Integrated Circuits)

## ၁၄-၁။ နိဒါန်း

အီလက်ထရွန်းနစ်အစိတ်အပိုင်းများ၏ တတိယမျိုးနွယ်စုဖြစ်သော အိုင်စီများအကြောင်းကို တင်ပြပါမည်။ အိုင်စီဆိုသည်မှာ စုပေါင်းပတ်လမ်း (Integrated Circuit) ကိုခေါ်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ၁၉၆၀ခုနှစ် နောက်ပိုင်းကာလများတွင် ထရန်စစ္စတာများ ထုတ်လုပ်မှုနည်းပညာအသစ်များ တိုးတက် များပြားလာသည်နှင့်အမျှ ထိုနည်းပညာအသစ်များကိုအခြေခံ၍ အိုင်စီကိုစတင် ထုတ်လုပ်လာနိုင်ခဲ့ပါသည်။ အိုင်စီတစ်လုံး၏ အတွင်းပိုင်းတည်ဆောက်ပုံမှာ- စီလီကွန်အပြားကလေး (silicon chip) ပေါ်တွင် ဒိုင်အုတ်၊ ထရန်စစ္စတာ၊ ရီစစ္စတာ၊ ကပယ်စီတာစသည့် အီလက်ထရွန်းနစ်အစိတ်အပိုင်းများကို အလုံးပေါင်း ရာနှင့်ချီ၍ တည်ဆောက်ထားပြီး အသုံးချနိုင်သည့် ပတ်လမ်းတစ်ခုဖြစ်သွားအောင် အတွင်းပိုင်းဆက်သွယ်မှုများကိုပါ ထည့်သွင်း တည်ဆောက်ထားပါသည်။ ထိုနောက် ပလပ်စတစ်၊ ကြေး စသည်တို့ကို အပြင်ကိုယ်ထည်အဖြစ် ဖုံးအုပ်ထားပြီး၊ ပြင်ပမှဆက်သွယ်မှု ပြုလုပ်နိုင်ရန် ငုတ် (pin) များကို ထုတ်ထားပါသည်။ ပုံ(၁၄-၁)တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၄-၁) အိုင်စီတစ်လုံးအတွင်းပိုင်းတည်ဆောက်ထားပုံ

အိုင်စီများတွင်ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းပမာဏ ကိုမူတည်၍ အမျိုးအစားသတ်မှတ်လေ့ရှိပါသည်။  $3mm^2$  အရွယ်ရှိသော စီလီကွန်ပြားပေါ်တွင် အစိတ်အပိုင်း ပေါင်း (၁၀မှ၁၀၀)အထိပါဝင်သော အိုင်စီအမျိုးအစားကို (small scale integration, SSI) ဟု လည်းကောင်း၊ အစိတ်အပိုင်းပေါင်း (၁၀၀မှ၁၀၀၀) အထိပါဝင်သော အိုင်စီအမျိုးအစားကို (medium scale integration, MSI) ဟုလည်းကောင်းသတ်မှတ်ပါသည်။ ၁၉၇၀ခုနှစ်များတွင် ပေါ်ပေါက်လာသော အစိတ်အပိုင်းပေါင်း (၂၀၀၀) ကျော်ပါဝင်သော အိုင်စီအမျိုးအစားကို (large scale integration, LSI) ဟု သတ်မှတ်ကြပြန်ပါသည်။ ၁၉၇၀ခုနှစ် နောက်ပိုင်းကာလများတွင် မိုက်ခရိုအီလက်ထရွန်းနစ် (microelectronics) ဟုခေါ်သည့် အတတ်ပညာသည် အရှိန်အဟုန်ကြီးစွာဖြင့် ဖွံ့ဖြိုးတိုးတက်လာခဲ့ပြီး ဧရိယာပမာဏအားဖြင့်  $5mm^2$ ခန့်သာရှိသော အလွန်သေးငယ်သည့် စီလီကွန်ပြား



ပေါ်တွင် ထရန်စစ္စတာအလုံးပေါင်း ထောင်ပေါင်းများစွာ ပါဝင်သော (very large scale integration, VLSI) အိုင်စီမျိုးကို တီထွင်ခဲ့ပါသည်။ ၁၉၈၀ခုနှစ်နှင့် ၁၉၉၀ခုနှစ်ကာလများတွင် အဆက်မပြတ် တိုးတက်ထွန်းကားလာသော မိုက်ခရိုအီလက်ထရွန်းနစ်ပညာ၏ ရလဒ်နောက်တစ်ခုမှာ မိုက်ခရိုပရိုဆက်ဆာ (microprocessor) ဟုခေါ်သည့် အိုင်စီကြီးတစ်မျိုးကို တီထွင်လာနိုင်ခဲ့ခြင်းပင် ဖြစ်ပေသည်။

၁၄-၂။ အိုင်စီအမျိုးအစားများ

လုပ်ငန်းပိုင်းလိုအပ်ချက်အရ တီထွင်ထုတ်လုပ်ထားသော အိုင်စီများကိုအမျိုးအစားခွဲခြားကြည့်လျှင် အဓိကအားဖြင့် နှစ်မျိုးရှိပါသည်။ ယင်းတို့မှာ-

- အင်နာလော့သို့မဟုတ် လီနီယာအိုင်စီ (Analog or Linear IC)
- ဒစ်ဂျစ်တယ်အိုင်စီ (Digital IC)

တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

အင်နာလော့ သို့မဟုတ် လီနီယာအိုင်စီ အမျိုးအစားတွင် အသံလှိုင်းကိုချဲ့ပေးနိုင်သော အင်ပလီဖါယာ (Amplifier) အိုင်စီများ၊ တိုင်မာ (Timer) အိုင်စီများ၊ အော့ပံအမ် (Op Amp) အိုင်စီများ၊ ဗို့အားထိန်း (Voltage Regulator) အိုင်စီများ စသည်တို့ပါဝင်ကြပါသည်။

ဒစ်ဂျစ်တယ်အိုင်စီအမျိုးအစားတွင် တီထွင်ထုတ်လုပ်သောနည်းပညာကိုအခြေခံ၍ မျိုးနွယ်စုနှစ်ခုပိုင်း ခြားထားပြန်ပါသည်။ ယင်းတို့မှာ-

၁. တီတီအယ်လ် (Transistor -Transistor- Logic, TTL)
၂. စီမော့စ် (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)

တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

တီတီအယ်လ်အိုင်စီမျိုးနွယ်စုတွင် အဓိကအားဖြင့် 74 အုပ်စုနှင့် 54 အုပ်စုဟူ၍ အုပ်စုနှစ်ခုရှိပါသည်။ 74အုပ်စုသည် လုပ်ငန်းခွင်သုံး (commercial grade) ဖြစ်ပြီး၊ 54အုပ်စုသည် စစ်ဘက်ဆိုင်ရာသုံး (military grade) ဖြစ်ပါသည်။ တီတီအယ်လ်အိုင်စီများတွင် ရိုးရိုး BJT ထရန်စစ္စတာများကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားပါသည်။ တီတီအယ်လ် အိုင်စီအားလုံးသည် +5V ပါဝါဆပ်ပလိုင်းကို အသုံးပြုကြရပါသည်။

စီမော့စ်အိုင်စီမျိုးနွယ်စုတွင်လည်း အဓိကအားဖြင့် 40 အုပ်စုနှင့် 45 အုပ်စုဟူ၍ အုပ်စုနှစ်ခုရှိပါသည်။ စီမော့စ်အိုင်စီအမျိုးအနွယ်များသည် FET ထရန်စစ္စတာများကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားပါသည်။ ယင်းတို့အတွက် ပါဝါဆပ်ပလိုင်းဗို့အားကို +3V မှ +18V အတွင်း ပေးနိုင်ပါသည်။

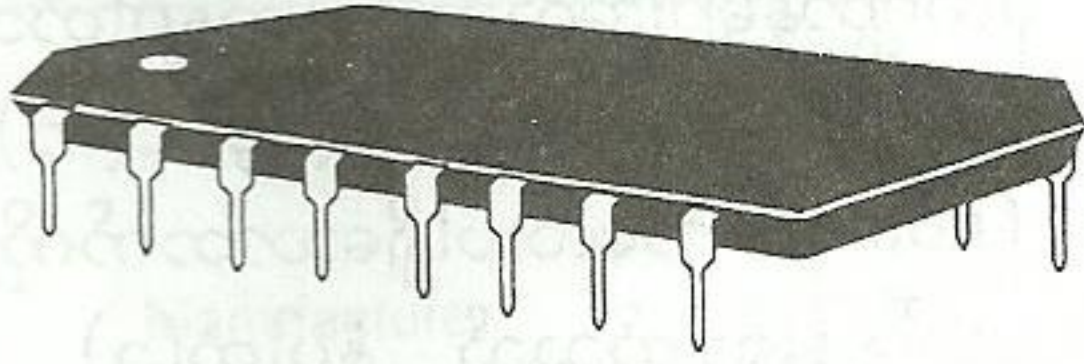
စီမော့စ်အိုင်စီများသည် တီတီအယ်လ်အိုင်စီများထက်စာလျှင် ပါဝါအစားသက်သာကြသည်။ သို့သော် speed နှေးသောကြောင့် တီတီအယ်လ်များကို မကျော်လွှားနိုင်ကြသေးချေ။

ဒစ်ဂျစ်တယ်အိုင်စီများကို ပရင့်တက်ဆားကစ်ပြားပေါ်တွင် တပ်ဆင်နိုင်သည့် အနေအထားပေါ်မူတည်၍ အောက်ပါအတိုင်းအမျိုးအစားနှစ်မျိုးခွဲထားပါသည်။

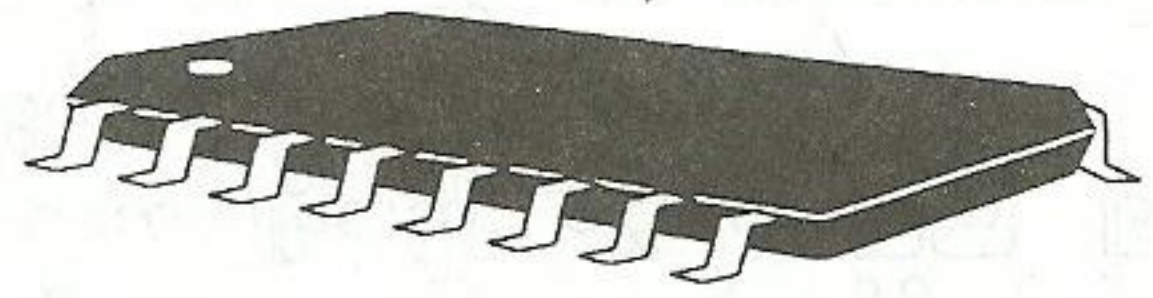
- (၁) Through-hole type
- (၂) Surface-mounted technology (SMT) type

တို့ဖြစ်ကြပါသည်။





(က) Dual-in-line package (DIP)



(ခ) Small-outline IC (SOIC)

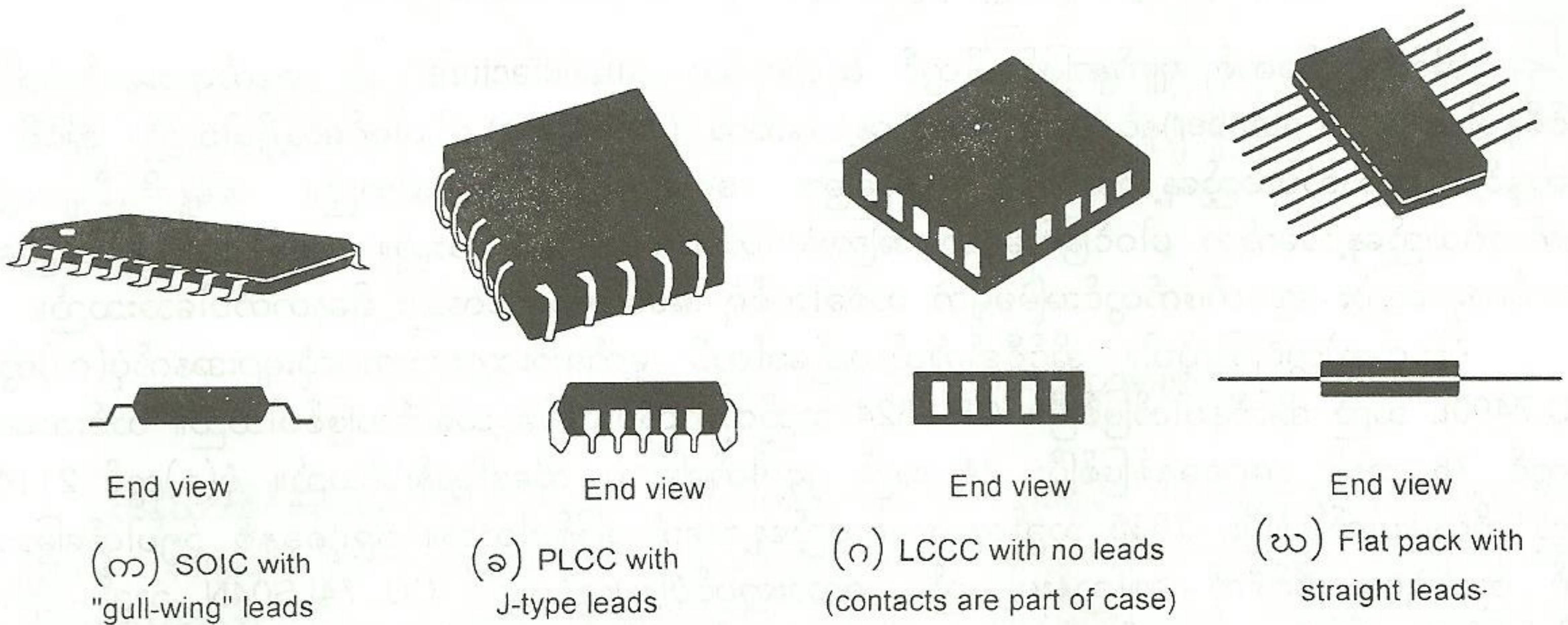
ပုံ(၁၄-၂) အိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်နှစ်မျိုးပုံ

ယင်းတို့အနက် ပထမအမျိုးအစားဖြစ်သော through-hole မှာ ပုံ(၁၄-၂(က)) တွင်ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း ဆားကစ်ပြားပေါ်တွင် အပေါက်ဖောက်၍ ငုတ်များကို တပ်ဆင်နိုင်ပါသည်။ ထိုအမျိုးအစားသည် dual-in-line package (DIL, or DIP) ပုံသဏ္ဍာန်ရှိပါသည်။ DIP ပုံသဏ္ဍာန်တွင် ငုတ်အရေအတွက် ပေါ်မူတည်၍ 14pin-DIP, 16pin-DIP, 20pin-DIP, 40pin-DIP စသည်ဖြင့် အမျိုးမျိုးရှိပါသည်။

ဒုတိယအမျိုးအစားဖြစ်သော surface-mount technology (SMT) အမျိုးအစားမှာ ဆားကစ်ပြားကို အပေါက် ဖောက်ရန်မလိုဘဲ ဆားကစ်ပြား၏ မျက်နှာပြင်တွင်ကပ်၍ ဂဟေဆော်ကာ တပ်ဆင်နိုင်သည့် အမျိုးအစား ဖြစ်ပါသည်။ ဤအမျိုးအစားသည် DIP များထက်ပို၍ သေးငယ်သဖြင့် နေရာယူမှု နည်းပါးကြပါသည်။ ယင်းတို့ကို small-outline IC (SOIC) ဟုခေါ်ပါသည်။ ပုံ(၁၄-၂(ခ))တွင်ကြည့်ပါ။ SMT အမျိုးအစားတွင် ပုံသဏ္ဍာန်ကိုလိုက်၍ အောက်ပါအတိုင်း ထပ်မံခွဲခြားထားကြပြန်ပါသည်။

- SOIC (small-outline IC)
- PLCC (plastic leaded chip carrier)
- LCCC(leadless ceramic chip carrier)
- Flat pack

ဟူ၍ဖြစ်ကြပါသည်။ ပုံ(၁၄-၃)တွင် ထိုအိုင်စီတို့၏ ပုံသဏ္ဍာန်များကို ဖော်ပြထားပါသည်။



(က) SOIC with "gull-wing" leads

(ခ) PLCC with J-type leads

(ဂ) LCCC with no leads (contacts are part of case)

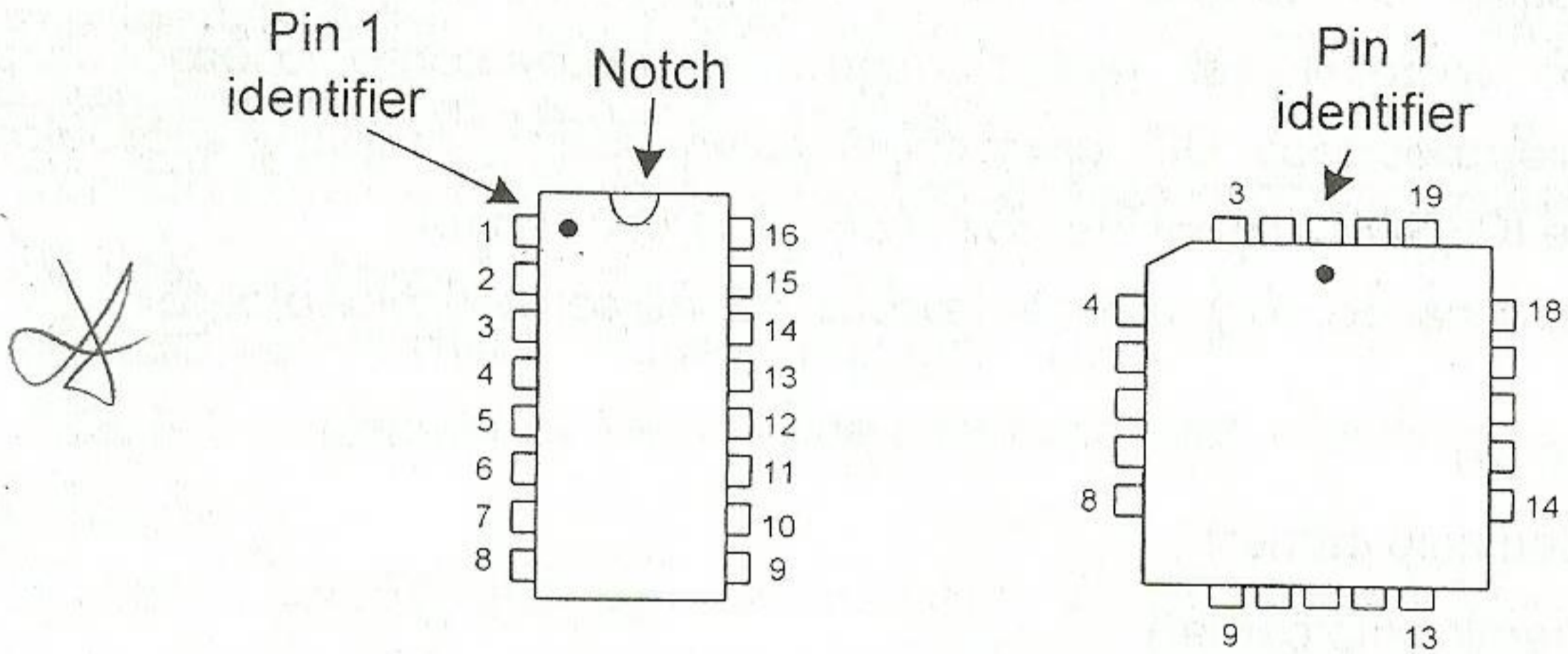
(ဃ) Flat pack with straight leads

ပုံ(၁၄-၃) SMT အမျိုးအစား အိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်များပုံ



ပုံ(၁၄-၄)တွင် DIP နှင့် SMT အိုင်စီတို့ကို ပုံသဏ္ဍာန်များအလိုက် ငုတ်နံပါတ်သတ်မှတ်ပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ DIP နှင့် SOIC အိုင်စီများအတွက် ငုတ်နံပါတ်သတ်မှတ်ပုံမှာ ပုံ(၁၄-၄(က))တွင် ဖော်ပြ ထားသကဲ့သို့ (အိုင်စီကိုယ်ထည်၏တစ်ဖက်စွန်းတွင် အချိုက် (notch) ကလေးပါရှိသောဘက်ကို အပေါ်တွင် ထား၍ ကြည့်လိုက်လျှင် ထိုအချိုက်ကလေး၏ ဘယ်ဘက်အပေါ်စွန်းရှိငုတ်သည် နံပါတ်(၁) ဖြစ်ပေသည်။ ထိုငုတ်ကိုအဝိုင်းစက်ကလေးဖြင့် သတ်မှတ်ပေးထားပါသည်။) ထိုနောက် အောက်ဘက်သို့ အစဉ်အတိုင်းနာရီ လက်တံလည်သည့်ဘက်နှင့် ဆန့်ကျင်သည့်လားရာအတိုင်း အစဉ်လိုက် သတ်မှတ်သွားပါသည်။ နံပါတ် အကြီးဆုံးငုတ်သည် နံပါတ်(၁)ငုတ်၏ ညာဘက်တွင် အမြဲတမ်းတည်ရှိနေပါသည်။

PLCC နှင့် LCCC အိုင်စီများအတွက် ငုတ်နံပါတ် သတ်မှတ်ပုံမှာလည်း ပုံ(၁၄-၄(ခ))တွင် ဖော်ပြထားသကဲ့သို့ အိုင်စီကိုယ်ထည်၏ တစ်ဖက်စွန်းတွင် အစောင်းကလေးပါရှိသောဘက်ကို ဘယ်ဘက် အပေါ်စွန်းတွင်ထား၍ ကြည့်လိုက်လျှင် ငုတ်နံပါတ်(၁)သည် အပေါ်ဘက်အနား၏ အလယ်ဗဟိုတည့်တည့် တွင်ရှိပါမည်။ ကျန်ငုတ်များသည်လည်း နာရီလက်တံလည်သည့်လားရာဘက်နှင့် ဆန့်ကျင်ဘက်အတိုင်း လေးဘက်စလုံးတွင် အစဉ်လိုက် ရှိနေကြပါသည်။ နံပါတ်အကြီးဆုံးငုတ်သည် နံပါတ်(၁)ငုတ်၏ ညာဘက်တွင် အမြဲတမ်းတည်ရှိနေပါသည်။



(က) DIP or SOIC (ခ) PLCC or LCCC

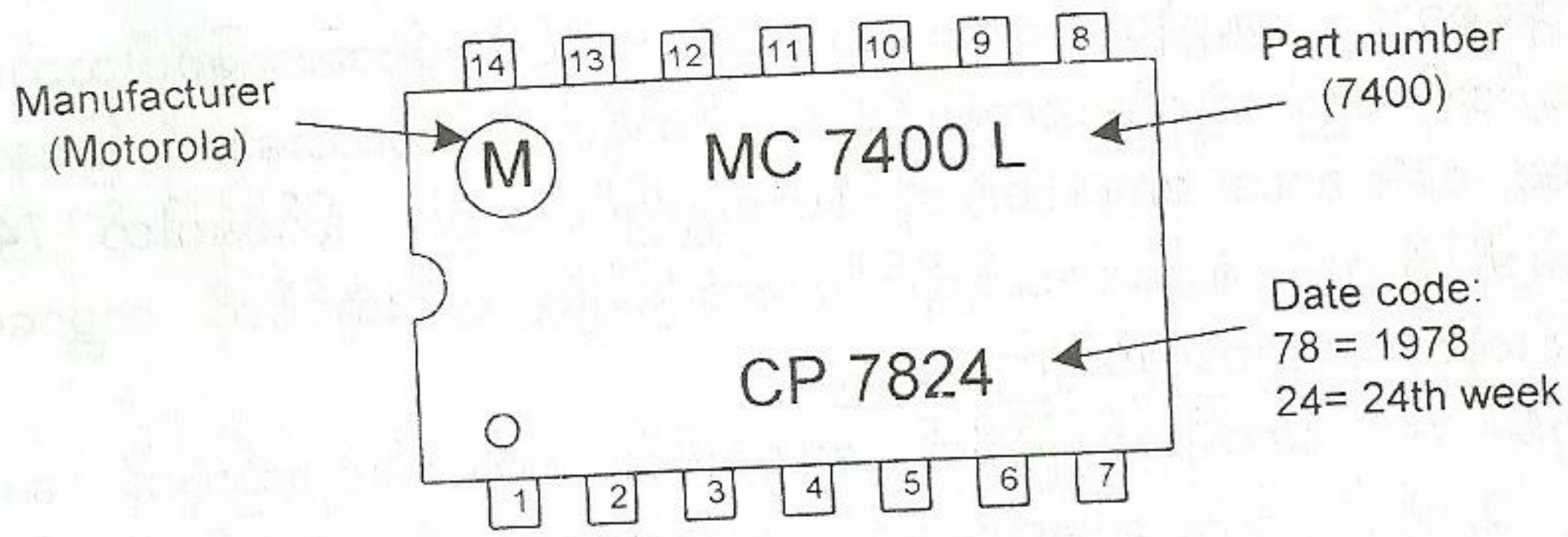
ပုံ(၁၄-၄) အိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်များအလိုက် ငုတ်အနေအထားသတ်မှတ်ပုံ

အိုင်စီပလပ်စတစ် မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ထုတ်လုပ်သူ (manufacturer) ၏ သင်္ကေတအမှတ်တံဆိပ်၊ အိုင်စီနံပါတ် (part number)နှင့်ထုတ်လုပ်သည့်နေ့သင်္ကေတ (date code) တို့ပါဝင်လေ့ရှိပါသည်။ အိုင်စီ နံပါတ်နှင့် ထုတ်လုပ်သည့်နေ့သင်္ကေတ တို့ကိုခွဲခြား ဖတ်ရှုတတ်ရန်လိုအပ်ပါသည်။ အချို့အိုင်စီများတွင် ထုတ်လုပ်သည့်နေ့သင်္ကေတ ပါဝင်ခြင်းမရှိဘဲ အခြားနံပါတ်များပါဝင်တတ်ပါသည်။ တဖန် ထုတ်လုပ်သည့်နေ့ သင်္ကေတမှာလည်း အောက်ဖက်တွင်အမြဲမရှိဘဲ တစ်ခါတစ်ရံ အပေါ်ဖက်တွင်လည်း ရှိနေတတ်ပါသေးသည်။

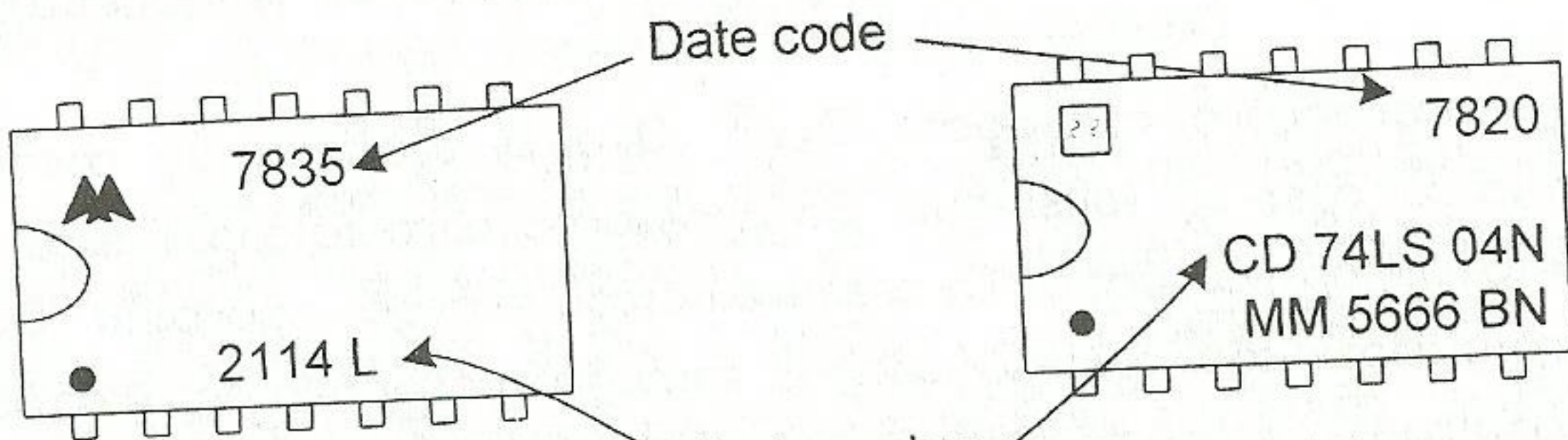
ပုံ(၁၄-၅)တွင်ကြည့်ပါ။ အိုင်စီ၏ကိုယ်ထည်ပေါ်တွင် မှတ်သားထားသောစာလုံးများအနက်ပုံ(က)တွင် MC 7400L သည် အိုင်စီနံပါတ်ဖြစ်ပြီး၊ CP 7824 သည်ထုတ်လုပ်သည့်နေ့သင်္ကေတဖြစ်ပါသည်။ ယင်းသင်္ကေ တတွင် 78 သည် ၁၉၇၈ခုနှစ်ဖြစ်ပြီး 24 သည် ၂၄ပတ်မြောက် ကိုဖော်ညွှန်းပါသည်။ ပုံ(ခ)တွင် 2114L သည် အိုင်စီနံပါတ်ဖြစ်ပြီး၊ 7835 သည်ထုတ်လုပ်သည့်နေ့သင်္ကေတဖြစ်ပါသည်။ ၁၉၇၈ခုနှစ် ၃၅ပတ်မြောက် တွင် ထုတ်ခဲသောအိုင်စီကို ဖော်ညွှန်းပါသည်။ အလားတူပင်ပုံ(ဂ)တွင်လည်း CD 74LS04N သည် အိုင်စီ နံပါတ်ဖြစ်ပြီး၊ 7820 သည်ထုတ်လုပ်သည့်နေ့သင်္ကေတဖြစ်ပါသည်။ ၁၉၇၈ခုနှစ် ၂၀ပတ်မြောက်တွင် ထုတ်ခဲ သောအိုင်စီကို ဖော်ညွှန်းပါသည်။



အခန်း(၁၄) အိုင်စီများ



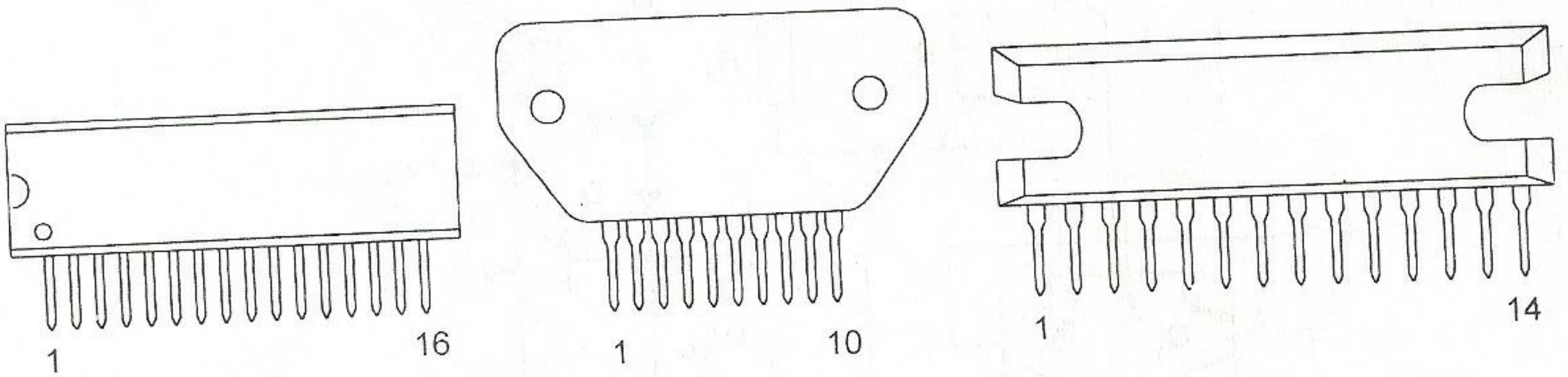
(က)



(ခ)

(ဂ)

ပုံ(၁၄-၅) အိုင်စီကိုယ်ထည်ပေါ်ရှိအမှတ်အသားများ



ပုံ(၁၄-၆) SIP အမျိုးအစား လီနီယာအိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်များပုံ

(လီနီယာအိုင်စီများ၏ပုံသဏ္ဍာန်သည် ကိုယ်ထည်တစ်ဖက်ထည်းတွင် ငုတ်များအတန်းလိုက်တည်ရှိမှု ပုံသဏ္ဍာန် (single-in-line package, SIP) ဖြစ်ပါသည်။) အထူးသဖြင့် စတီရီယိုအမ်ပလီဖီယာစက်များတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသော ပရီအမ်အိုင်စီများ၊ အထွက်ပါဝါအိုင်စီများသည် ထိုပုံသဏ္ဍာန်မျိုး ဖြစ်ကြပါသည်။ ပုံ(၁၄-၆)တွင် အသုံးများသော SIP အမျိုးအစား အိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်အချို့ကို ဖော်ပြထားပါသည်။

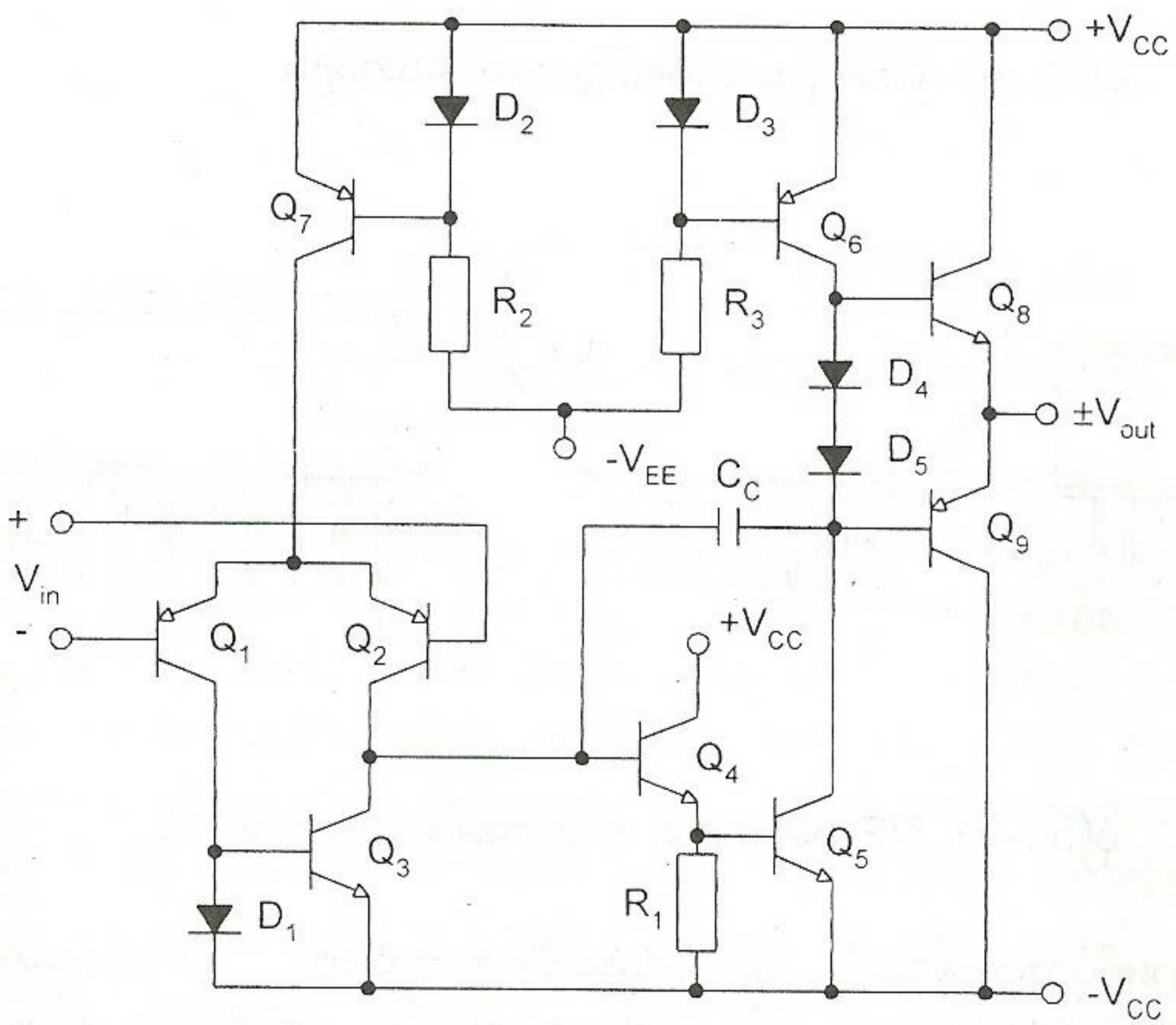


၁၄-၃။ အော့ပံအမ်အိုင်စီ (Operational Amplifier, Op Amp IC)

အော့ပံအမ်အိုင်စီသည် အလွန်အသုံးများသော လီနီယာအိုင်စီအမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။ အဓိပ္ပါယ်သတ်မှတ်ချက်အရ- အော့ပံအမ်သည် ချဲ့ကိန်းအလွန်ကြီးပြီး တိုက်ရိုက်ချိတ်တွဲထားသော ခြားနားချဲ့စက် (high-gain, direct-coupled, differential amplifier) အိုင်စီတစ်မျိုးဖြစ်ပါသည်။ အိုင်စီနံပါတ် 741 ဖြင့်သတ်မှတ်ထားသော အော့ပံအမ်အိုင်စီသည် စံပြအော့ပံအမ်အိုင်စီတစ်လုံးဖြစ်ပြီး ယင်းအိုင်စီကို ကမ္ဘာပေါ်ရှိ အိုင်စီထုတ်လုပ်သော ကုမ္ပဏီတိုင်းလိုလိုက ထုတ်လုပ်ခဲ့ကြပါသည်။

ပုံ(၁၄-၇)တွင် 741 အော့ပံအမ်အိုင်စီ၏ အတွင်းပိုင်း ပတ်လမ်းဖွဲ့စည်းပုံကို ဖော်ပြထားပါသည်။ ထရန်စစ္စတာ Q<sub>1</sub> နှင့် Q<sub>2</sub> တို့ကို ခြားနားချဲ့စက်အဖြစ် ဖွဲ့စည်းထားပါသည်။ Q<sub>1</sub> နှင့် Q<sub>2</sub> တို့၏ဘေ့စ်နှင့်နစ်ခုကို အော့ပံအမ်၏ အဝင်ပိုင်းများအဖြစ် အသုံးပြုထားပါသည်။ ထိုသို့ဖွဲ့စည်းထားမှုကြောင့် အော့ပံအမ်သည် ယင်း၏အဝင်ပိုင်းနှစ်ခုမှ ဝင်ရောက်လာသော အဝင်အချက်ပြ ဗို့အားနှစ်ခုတို့၏ ခြားနားခြင်းကို ချဲ့ပေးနိုင်ခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

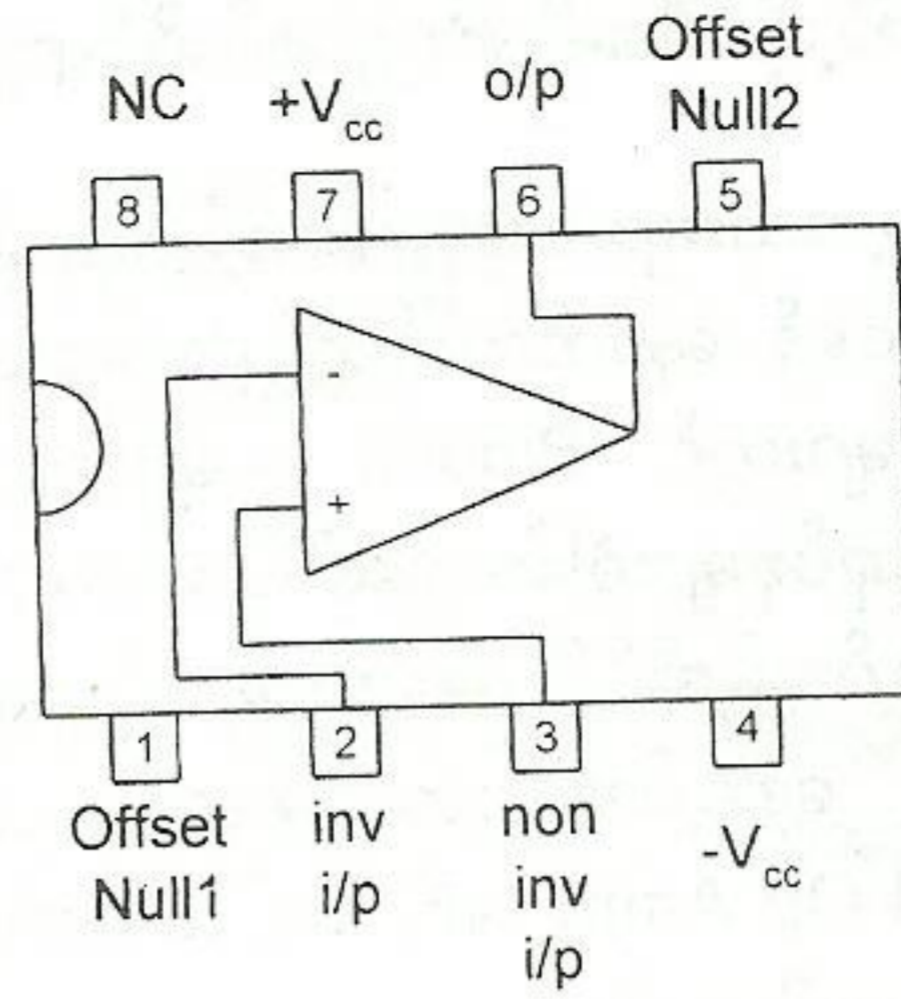
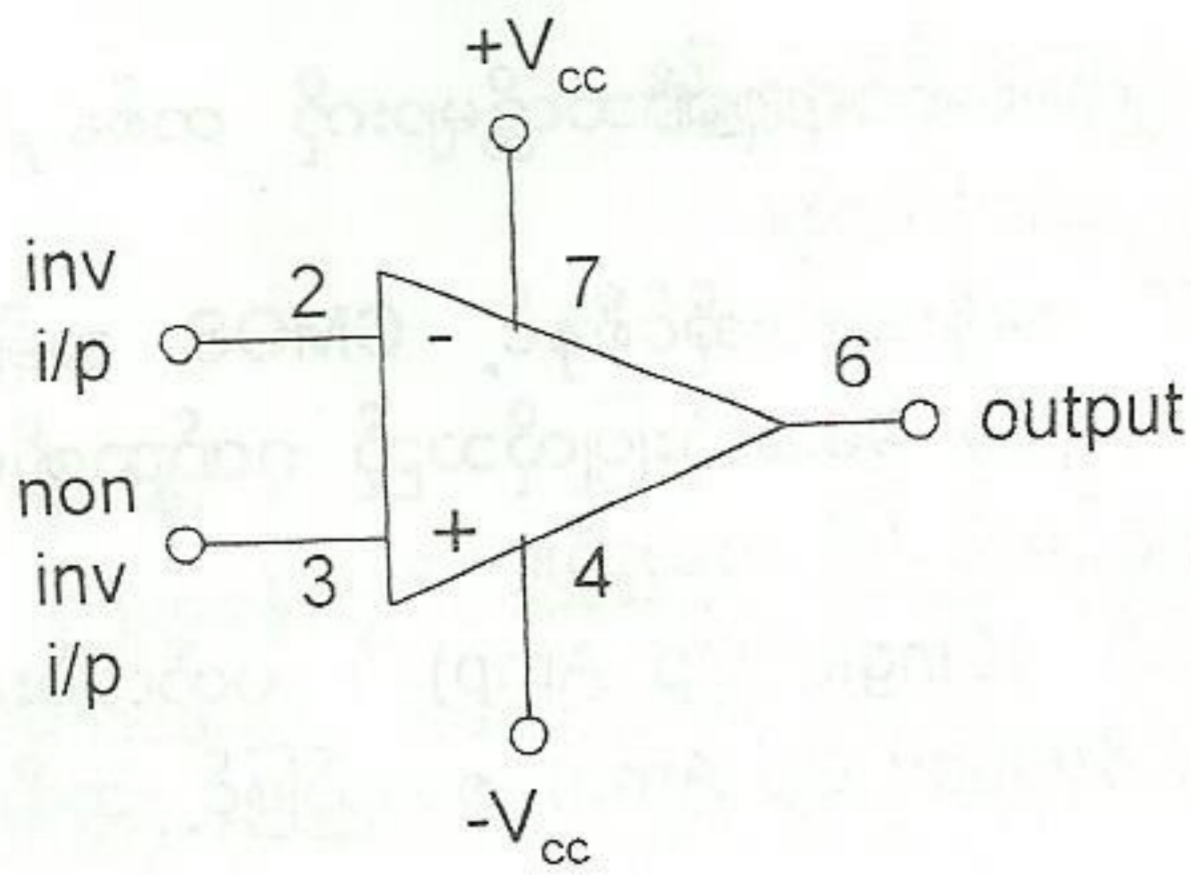
အော့ပံအမ်၏အထွက်ပိုင်းကို ထရန်စစ္စတာ Q<sub>8</sub> နှင့် Q<sub>9</sub> တို့၏ အိမ်စတာများမှ ထုတ်ယူထားပါသည်။ ထိုထရန်စစ္စတာနှစ်လုံးသည် တွန်း-ဆွဲ (push-pull) ပုံသဏ္ဍာန်ဆက်သွယ်ထားပါသည်။ အထွက်အချက်ပြလှိုင်းထွက်ပေါ်လာပုံကို လေ့လာကြည့်မည်ဆိုလျှင် Q<sub>8</sub> သည်အပေါင်းလှိုင်းဝက်တွင် လျှပ်ကူးပြီး Q<sub>9</sub> သည် အနှုတ်လှိုင်းဝက်တွင် လျှပ်ကူးပါသည်။ ထိုသို့တွန်း-ဆွဲပုံသဏ္ဍာန် ဆက်သွယ်ထားခြင်းကြောင့် အော့ပံအမ်၏ အထွက်ခုခံမှုသည် အလွန်ငယ်ပါသည်။ အော့ပံအမ်၏အတွင်းပတ်လမ်းဖွဲ့စည်းမှုတွင် အဆင့် (stage) တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြား တိုက်ရိုက်ဆက်သွယ်ထားသောကြောင့် အော့ပံအမ်သည် ဒီစီကိုလည်းချဲ့ပေးနိုင်ကြောင်းတွေ့ရပေသည်။



ပုံ(၁၄-၇) 741 အော့ပံအမ်အိုင်စီ၏ အတွင်းပိုင်း ပတ်လမ်းဖွဲ့စည်းပုံ

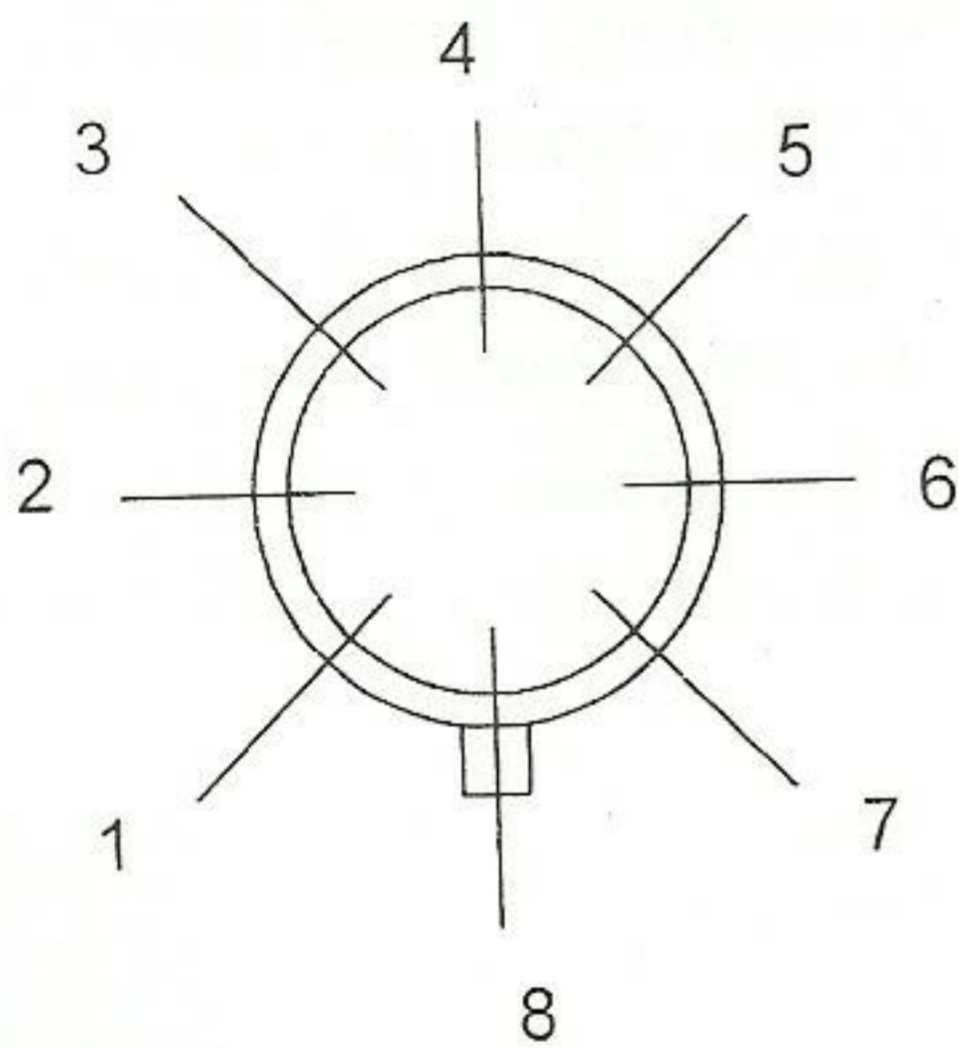


အခန်း(၁၄) အိုင်စီများ

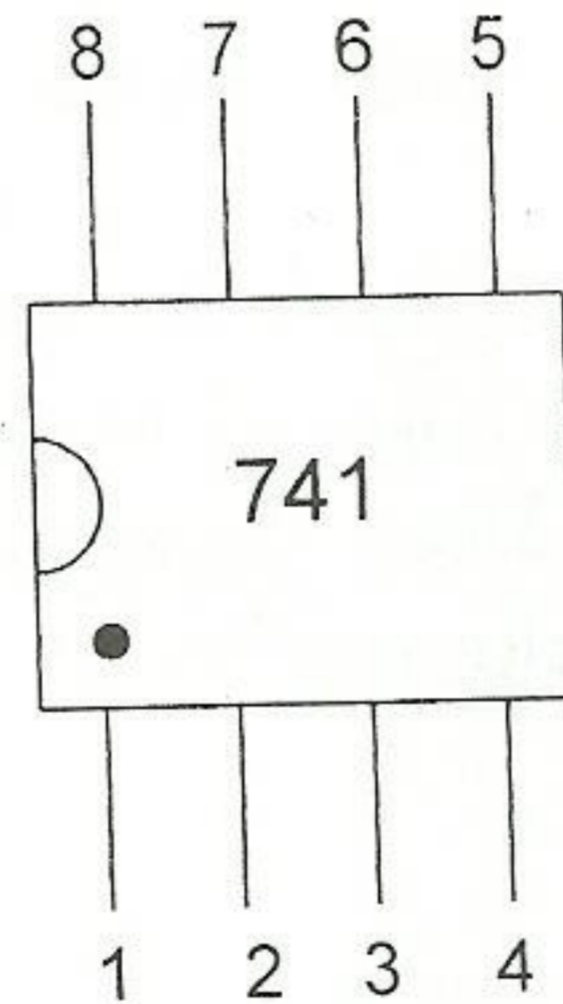


ပုံ(၁၄-၈) 741 အော့ပ်အမ်အိုင်စီ၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ

ပုံ(၁၄-၈)တွင် 741 အော့ပ်အမ်အိုင်စီ၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံကိုဖော်ပြထားပါသည်။ 741 အော့ပ်အမ်အိုင်စီတွင် ငုတ်(၈)ငုတ်ပါဝင်ပါသည်။ ငုတ်နံပါတ် 7 ကို +V<sub>cc</sub> ဖြင့်ဆက်သွယ်ရပြီး ငုတ်နံပါတ် 4 ကို -V<sub>cc</sub> ဖြင့်ဆက်သွယ်ရပါသည်။ ငုတ်နံပါတ် 2 နှင့် 3 တို့သည် အဝင်ငုတ်များဖြစ်ကြပြီး 6 သည် အထွက်ငုတ်ဖြစ်ပါသည်။ ငုတ်နံပါတ် 8 သည်မည်သည့်အဆက်အသွယ်မျှမရှိပါ။ ငုတ်နံပါတ် 1 နှင့် 5 တို့သည် offset nulling ကိစ္စအတွက်အသုံးပြုရန် ဖြစ်ပါသည်။



Circular Can Type (bottom view)



Dual-In-Line, DIL or DIP Type

ပုံ(၁၄-၉) 741 အော့ပ်အမ်အိုင်စီ၏ ငုတ်နံပါတ်များ အနေအထားပြပုံ

741 အော့ပ်အမ်အိုင်စီပုံသဏ္ဍာန်သည် သံဘူးဝိုင်းကိုယ်ထည်ပုံသဏ္ဍာန် (circular can type) နှင့် ကိုယ်ထည်ပလပ်စတစ်တွင် ဘေးနှစ်ဖက်ငုတ်များတည်နေသောပုံသဏ္ဍာန် (dual-in-line, DIL or dual-in-line package, DIP type) ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိပါသည်။ ပုံ(၁၄-၉)တွင်ကြည့်ပါ။



၁၄-၄။ အော့ပ်အမ်အိုင်စီအချို့၏လျှပ်စစ်ဆိုင်ရာဂုဏ်သတ္တိများ (Electrical Characteristics of Op Amps)

လက်တွေ့အသုံးများသော အော့ပ်အမ်အိုင်စီအချို့၏ လျှပ်စစ်ဆိုင်ရာဂုဏ်သတ္တိများကို တစ်ခုနှင့်တစ်ခု နှိုင်းယှဉ်လေ့လာနိုင်ရန် နောက်ဆက်တွဲ(၂)ဇယားများတွင် ဖော်ပြထားပါသည်။

ထိုဇယားများတွင် Bipolar အမျိုးအစားအိုင်စီ၊ FET အမျိုးအစားအိုင်စီနှင့် CMOS အမျိုးအစား အိုင်စီစသည်ဖြင့် အုပ်စုများခွဲခြား၍ဖော်ပြထားပါသည်။ ထိုဇယားများမှ မိမိအသုံးပြုလိုသည့် ဂုဏ်သတ္တိများနှင့် ကိုက်ညီမည့် အော့ပ်အမ်အိုင်စီ အမျိုးအစားကို ရွေးချယ်အသုံးပြုနိုင်မည် ဖြစ်ပေသည်။

ထို့အပြင် အော့ပ်အမ်ပတ်လမ်းတစ်ခုတည်းပါသောအိုင်စီ (Single Op Amp) ၊ ပတ်လမ်းနှစ်ခုပါ သောအိုင်စီ (Dual Op Amp) နှင့် ပတ်လမ်းလေးခုပါသောအိုင်စီ(Quad Op Amp) စသည်ဖြင့် အမျိုးအစား ခွဲခြားပြီး ဖော်ပြထားပါသည်။

အော့ပ်အမ်အိုင်စီများကို ပတ်လမ်းတွင်ဆက်သွယ်အသုံးပြုသည့်အခါ လွယ်ကူမှုရှိစေရန်အတွက် ငုတ် အနေအထားပြပုံများ (Outlines and Pinouts) ကိုလည်း ဖော်ပြထားပါသည်။

အော့ပ်အမ်အသုံးချပတ်လမ်းများအကြောင်းကို စာရေးသူရေးသားထုတ်ဝေထားပြီးဖြစ်သော လုပ်ငန်းခွင် သုံး အီလက်ထရွန်းနစ် အပိုင်း(၁)၊(၂)နှင့်(၃)တို့တွင် ဖော်ပြထားပြီးဖြစ်သောကြောင့် ယခုစာအုပ်တွင်ထပ်မံ မဖော်ပြတော့ပါ။ အသုံးချပတ်လမ်းများကို လေ့လာလိုသူများအနေနှင့် ထိုစာအုပ်များတွင် ဆက်လက်လေ့လာ နိုင်ပါသည်။



# အခန်း(၁၅) အီလက်ထရွန်းနစ် လော့ဂျစ်ဂိတ်များ (Electronic Logic Gates)

## ၁၅-၁။ နိဒါန်း

ဤအခန်းတွင် အခြေခံပညာအထက်တန်းကျောင်းသားများ ဒစ်ဂျစ်တယ်အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာကို စတင် လေ့လာသောအခါ အထောက်အကူရစေရန် ရည်ညွှန်း၍ လော့ဂျစ်ဂိတ်များ နှင့် ဂိတ်အသုံးချပတ်လမ်းများ အကြောင်းကို ရှင်းလင်းတင်ပြထားပါသည်။

## ၁၅-၂။ Electronic Logic Gates

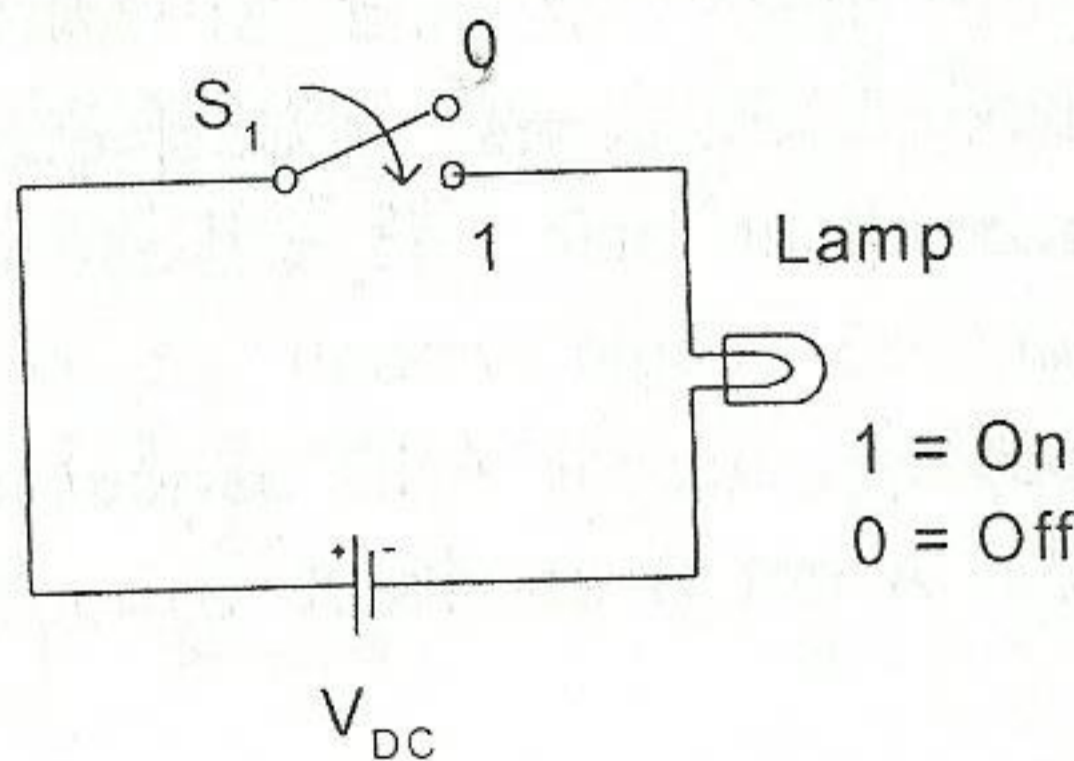
An electronic device which can be used to do making decision after receiving information and gives out the result is called a logic gate.

လော့ဂျစ်ဂိတ် (Logic Gate) ဆိုသည်မှာ ပေးထားသောအခြေအနေများပေါ်မူတည်၍ ပြဿနာတစ်ခု အတွက် လော့ဂျစ်ဆိုင်ရာအဖြေများထွက်ပေါ်လာအောင် ဆုံးဖြတ်ချက်ချမှတ်ပေးနိုင်သော လော့ဂျစ်ပတ်လမ်း (Logic Circuit) မျိုးကို လော့ဂျစ်ဂိတ်ဟုခေါ်ပါသည်။

လော့ဂျစ်ဂိတ်တစ်ခုအလုပ်လုပ်ရန်အတွက် တည်ငြိမ်ခြေ (Steady State) နှစ်မျိုး လိုအပ်ပါသည်။ ယင်းတို့မှာ - Logic level(1) နှင့် Logic level(0) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။

Logic level(1) ကို ဗို့အားမြင့်အခြေ High(H), Yes, ON, True စသည်ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိပြီး Logic level(0) ကို ဗို့အားနိမ့်အခြေ Low(L), No, OFF, False စသည်ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိပါသည်။

စင်စစ်အားဖြင့် လော့ဂျစ်ဂိတ်များကို ခလုတ် (switches) များဖြင့် စုပေါင်းတည် ဆောက်ထားခြင်း ဖြစ်ပါသည်။ အောက်ပါပုံ(၁၅-၁)တွင်အခြေခံ logic switch circuit ကို ဖော်ပြထားပါသည်။



ပုံ(၁၅-၁) logic switch circuit

Switch S<sub>1</sub> ကို OFF လုပ်ထားသောအခါ မီးလုံးမလင်းနိုင်ပါ။ ထိုအခြေအနေကို logic level (0) ဟုခေါ်ပါသည်။ အကယ်၍ switch S<sub>1</sub> ကို ON လိုက်လျှင် ပတ်လမ်းတွင် လျှပ်စီးကြောင်းစီးသဖြင့်မီးလုံး လင်းပါမည်။ ထိုအခြေအနေကို logic level(1) ဟုခေါ်ပါသည်။



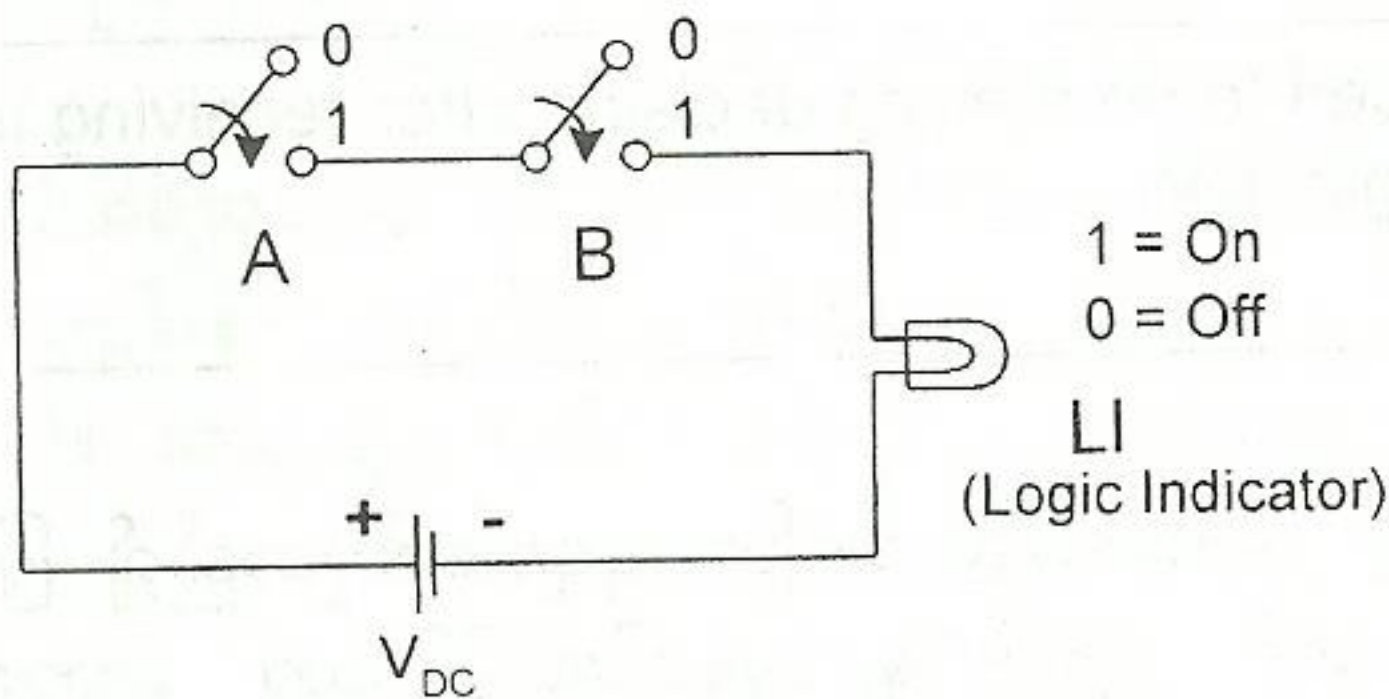
လက်တွေ့တွင်အသုံးပြုနေသော လော့ဂျစ်ဂိတ်အမျိုးအစား(၇)မျိုးရှိပါသည်။ ယင်းတို့မှာ- AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR နှင့် XNOR တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ ယင်းတို့အနက် AND, OR နှင့် NOT ဂိတ်တို့သည် အခြေခံဂိတ်များဖြစ်ကြပြီး ကျန်ဂိတ်များသည် ဆင်ပွားဂိတ်များဖြစ်ကြပါသည်။ လော့ဂျစ်ဂိတ်များ အကြောင်းကို အလွယ်တကူသဘောပေါက်စေရန် လော့ဂျစ်ပတ်လမ်းများဖြင့် လေ့လာနိုင်ပါသည်။

၁၅-၃။ AND GATE



The output is HIGH only when all inputs are HIGH.

AND gate ၏အရည်အချင်းမှာ input များအားလုံးတွင် Logic level(1) ရှိမှသာ output တွင် Logic level(1) ရှိပါမည်။



(က) AND Function Logic Circuit

INPUTS		OUTPUT
A	B	LI
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

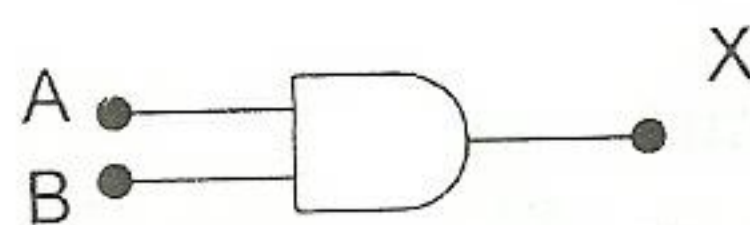
(ခ) Truth Table

ပုံ(၁၅-၂) AND Function Circuit

ပုံ(၁၅-၂)တွင် A နှင့် B တို့သည် switch များဖြစ်ကြပြီး မီးလုံး LI ကို လော့ဂျစ်အခြေကို ဖော်ပြသည့် logic indicator အဖြစ် အသုံးပြုထားပါသည်။ A နှင့် B တို့ကို အဝင် (input) များဟုခေါ်ပြီး မီးလုံး LI ကို အထွက် (output) ဟုခေါ်ပါသည်။

A နှင့် B တို့နှစ်ခုစလုံး ပိတ်နေမှသာ မီးလုံးလင်းပါမည်။ A သို့မဟုတ် B တစ်ခုခုပွင့်နေလျှင် မီးလုံးမလင်းနိုင်ချေ။ ထို့ကြောင့် ဤ ပတ်လမ်းကို (A and B) AND logic circuit ဟုခေါ်ပါသည်။ ဤပတ်လမ်းအတွက် အဝင်/အထွက် လော့ဂျစ် အခြေများ၏ ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသည့် ဆက်စပ်မှုများကို ပုံ(၁၅-၂(ခ)) တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း မှန်ကန်မှုဇယား (truth table) ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်ပါသည်။

AND gate ၏ လော့ဂျစ်သင်္ကေတပုံ (Logic symbol) နှင့် လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်း (Logic equation) တို့မှာ ပုံ(၁၅-၃)တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်းဖြစ်ပါသည်။ AND ဖန်ရှင်၏ လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းကိုဖတ်သည့်အခါ A and B equals X ဟုဖတ်ရပါသည်။ A dot B equals X ဟုဖတ်ရပါ။ တစ်ခါတစ်ရံ dot မပါဘဲ ရေးလေ့ရှိပါသည်။



Logic symbol

$A \cdot B = X$  (or)  $AB = X$

Logic equation

ပုံ(၁၅-၃) AND gate logic symbol and logic equation

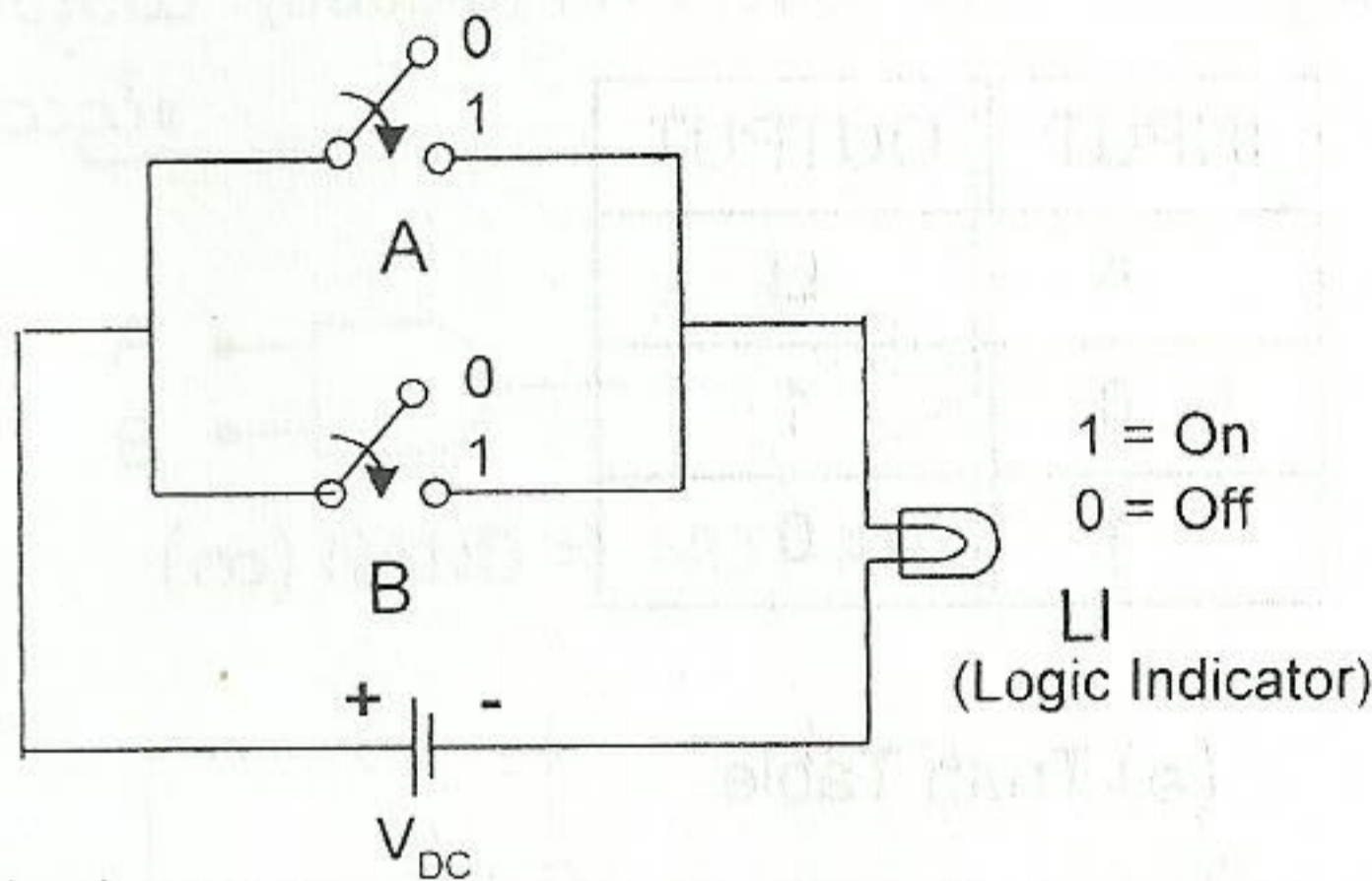


၁၅-၄။ OR GATE

*UW*

The output is HIGH when either inputs or both are HIGH.

OR gate ၏အရည်အချင်းမှာ input တစ်ခုခုတွင်ဖြစ်စေ၊ အားလုံးတွင်ဖြစ်စေ Logic level(1) ရှိလျှင် output တွင် Logic level(1) ရှိပါမည်။



INPUTS		OUTPUT
A	B	LI
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

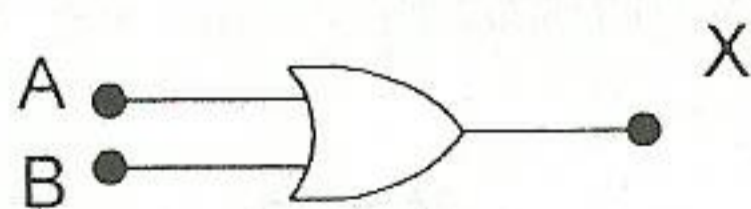
(က) OR Function Logic Circuit

(ခ) Truth Table

ပုံ(၁၅-၄) OR Function Circuit

ပုံ(၁၅-၄)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း OR gate ကို logic switch များနှစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခုထက် များသော switch များပြိုင်ဆက်ထားသည့် ပတ်လမ်းမျိုးဖြင့် ကိုယ်စားပြုဖော်ပြနိုင်ပါသည်။ ယင်းပတ်လမ်းတွင် switch တစ်ခုခုသို့မဟုတ်နှစ်ခုစလုံး (A or B or both A, B) ON မှသာ မီးလုံး LI လင်းပေမည်။ A နှင့် B နှစ်ခုစလုံး ပွင့်နေလျှင် မီးလုံးမလင်းနိုင်ချေ။ ထို့ကြောင့်ဤပတ်လမ်းကို OR logic circuit ဟုခေါ်ပါသည်။ ဤပတ်လမ်းအတွက် အဝင်/အထွက် လော့ဂျစ်အခြေများ၏ ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသည့် ဆက်စပ်မှုများကို ပုံ(၁၅-၄(ခ)) တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း မှန်ကန်မှုဇယား (truth table) ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်ပါသည်။

OR gate ၏ လော့ဂျစ်သင်္ကေတပုံ နှင့် လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းတို့မှာ အောက်ပါပုံ(၁၅-၅)အတိုင်း ဖြစ်ပါသည်။ OR gate ဖန်ရှင်၏ လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းကိုဖတ်သည့်အခါ A or B equals X ဟုဖတ်ရပါသည်။ A plus B equals X ဟုမဖတ်ရပါ။



$X = A + B$

Logic symbol

Logic equation

ပုံ(၁၅-၅) OR gate logic symbol and logic equation

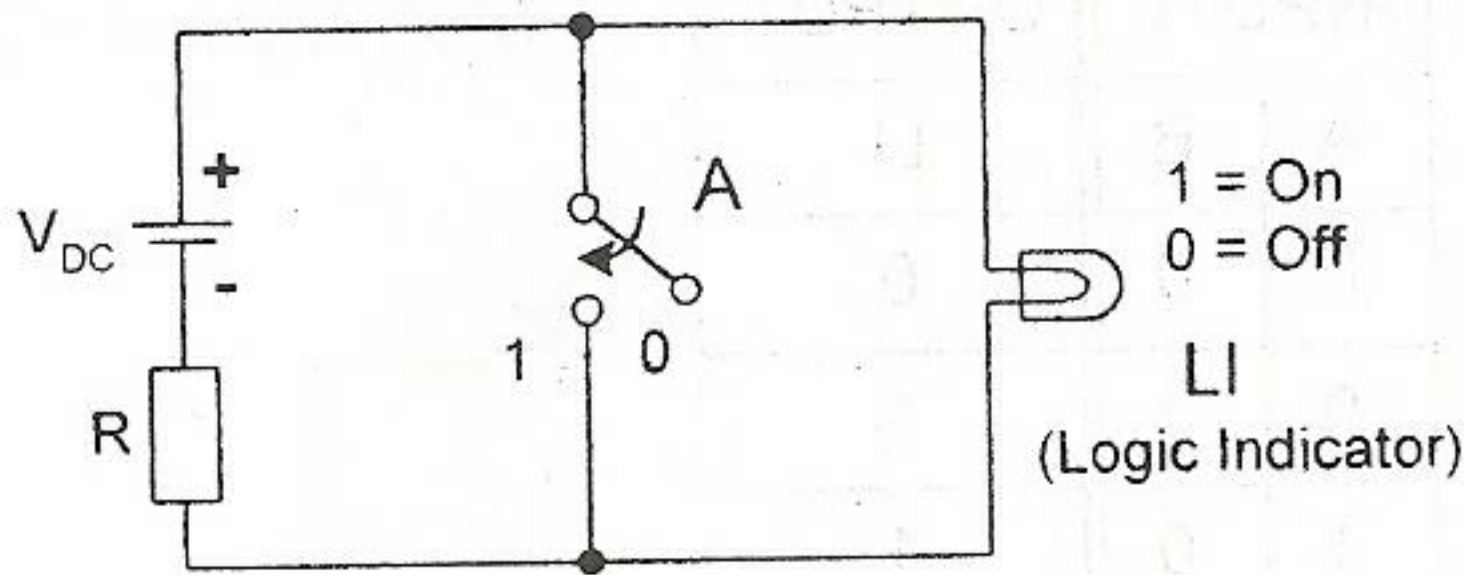


၁၅-၅။ NOT GATE

HE

The output is HIGH if the input is not High. Whatever the input, the gate inverts it.

NOT gate ၏အရည်အချင်းမှာ input တွင် logic level(1) ရှိလျှင် အထွက်တွင် Logic level(0) ရှိပြီး input တွင် logic level(0) ရှိလျှင် အထွက်တွင် Logic level(1) ရှိပါမည်။



INPUT	OUTPUT
A	LI
0	1
1	0

(က) NOT Function Logic Circuit

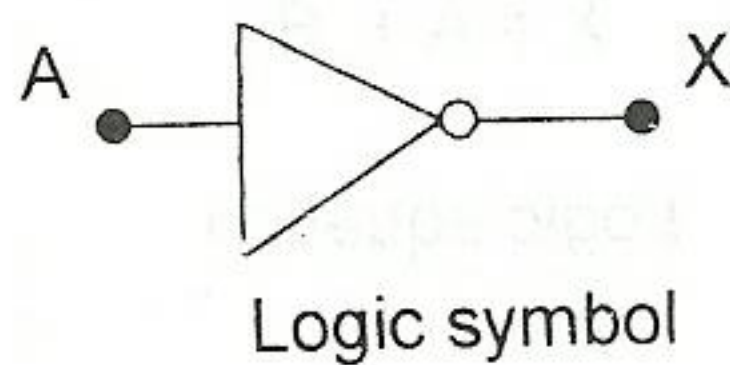
(ခ) Truth Table

ပုံ(၁၅-၆) NOT Function Circuit

တန်ညှိအားဖြင့် NOT gate ၏ အထွက်၏လော့ဂျစ်အခြေသည် အဝင်၏ လော့ဂျစ်အခြေနှင့် အစဉ်အမြဲဆန့်ကျင်ဖက်ဖြစ်နေသောကြောင့် ယင်းကို အင်ဗာတာ (Invertor) ဟုလည်းခေါ်ပါသေးသည်။

ပုံ(၁၅-၆)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း NOT gate တွင် အဝင်တစ်ခုတည်းသာရှိပါသည်။ switch ON နေလျှင် မီးလုံးဆီသို့လျှပ်စီးကြောင်းမစီးဘဲ switch ကိုသာဖြတ်၍ စီးမည်ဖြစ်သောကြောင့် မီးလုံးမလင်းပါ။ switch OFF ဖြစ်နေမှသာ မီးလုံးဆီသို့ လျှပ်စီးကြောင်းစီးသဖြင့် မီးလုံးလင်းနိုင်ပေမည်။ ပုံ(၁၅-၆(ခ))တွင် NOT gate ၏ မှန်ကန်မှုဇယား (truth table) ကိုဖော်ပြထားပါသည်။

NOT gate ၏ လော့ဂျစ်သင်္ကေတပုံ နှင့် လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းတို့မှာ အောက်ပါပုံ(၁၅-၇) အတိုင်းဖြစ်ပါသည်။ NOT gate ဖန်ရှင်၏ လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းကိုဖတ်သည့်အခါ Not A equals X ဟုဖတ်ရပါသည်။



$$X = \bar{A}$$

Logic equation

ပုံ(၁၅-၇) NOT gate logic symbol and logic equation

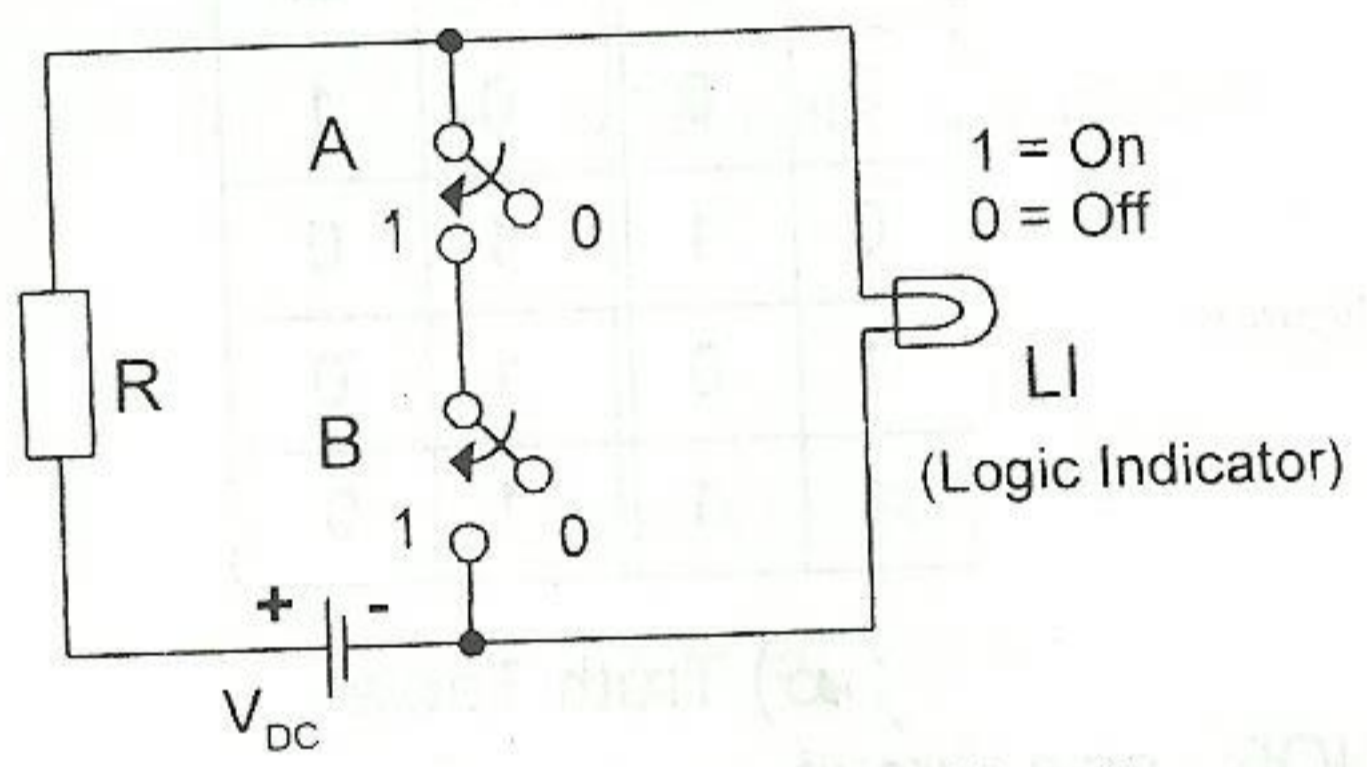
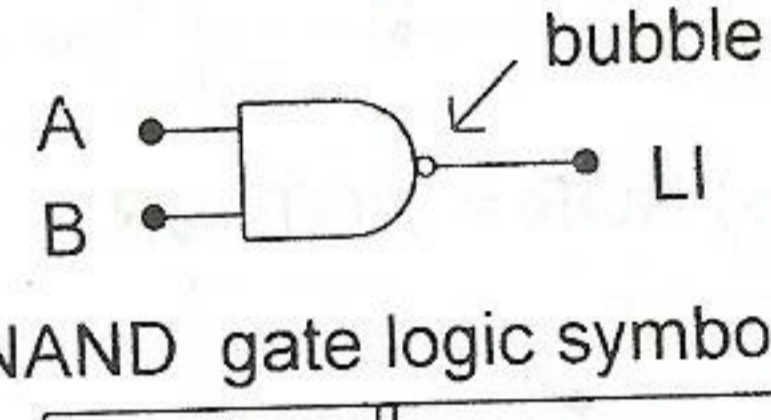
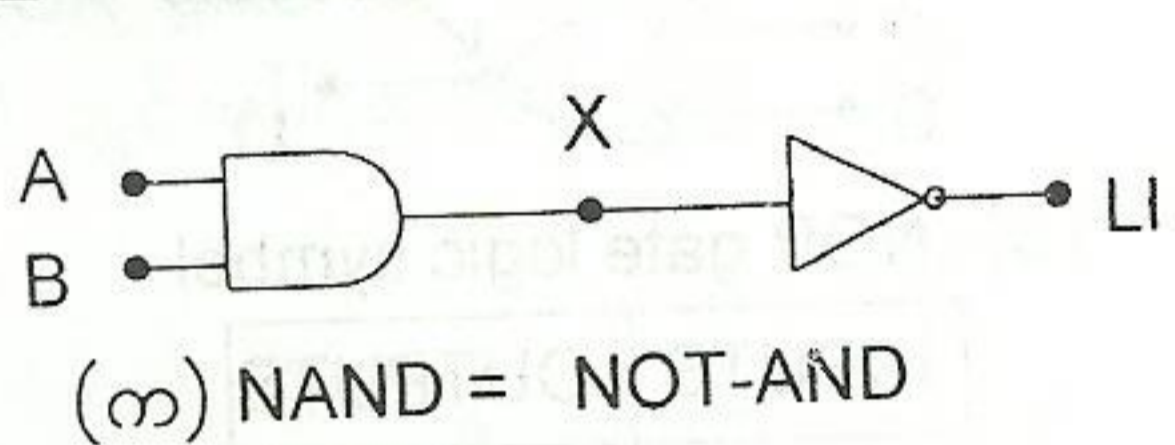


၁၅-၆။ NAND GATE

U-WE

The output is not HIGH when both inputs are HIGH.  
(The gate gets its name from the NOT AND behaviour).

NAND gate ဆိုသော စကားလုံးသည် NOT AND ကို ဆိုလိုပါသည်။ AND gate ၏အထွက်ကို ပြောင်းပြန်လှန်ထားသည်နှင့်တူပါသည်။ တန်ညှိအားဖြင့် NAND gate ၏အရည်အချင်းသည် AND gate ၏ အရည်အချင်းနှင့် ဆန့်ကျင်ဖက်ဖြစ်နေပါသည်။ အောက်ဖော်ပြပါပုံတွင် AND gate ၏ အထွက်ပုတ်တွင် စက်ဝိုင်းငယ် (bubble) လေးတစ်ခု တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် NAND gate symbol ဖြစ်သွားကြောင်း တွေ့မြင် နိုင်ပါသည်။



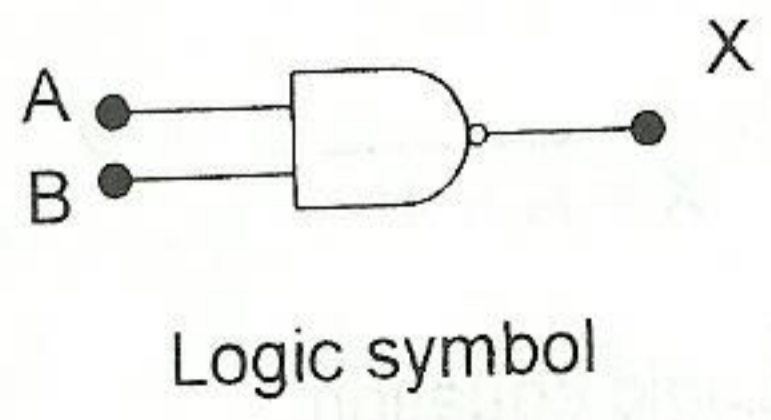
INPUTS		OUTPUTS	
A	B	X	LI
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

(ဃ) Truth Table

ပုံ(၁၅-၈) NAND logic circuit

စက်ဝိုင်းငယ်လေး၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ လော့ဂျစ်အခြေကို ပြောင်းပြန်လှန်ခြင်း (inversion) ကို ဖော်ညွှန်း ပါသည်။ truth table ကိုလေ့လာကြည့်လျှင် အဝင်အားလုံး Logic level(1) ဖြစ်မှသာ အထွက်တွင် Logic level(0) ဖြစ်ပါမည်။ ကျန်မည်သည့် အဝင်လော့ဂျစ်အခြေများတွင်မဆို အထွက်သည် Logic level(1) ဖြစ်နေ ပေမည်။ ဤအချက်သည် အဝင်ပုတ်နှစ်ခုမကသော NAND gate များအတွက်လည်း မှန်ကန်ကြောင်း တွေ့ရ ပါသည်။

NAND gate ၏ လော့ဂျစ်သင်္ကေတပုံ နှင့် လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းတို့မှာ အောက်ပါပုံ(၁၅-၉)အတိုင်း ဖြစ်ပါသည်။



$$X = \overline{A \cdot B}$$

Logic equation

ပုံ(၁၅-၉) NAND gate logic symbol and logic equation

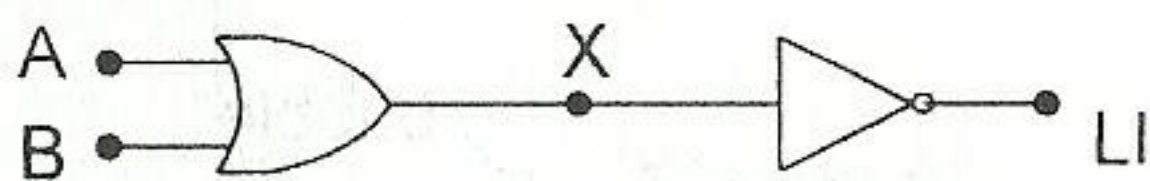


၁၅-၇။ NOR GATE

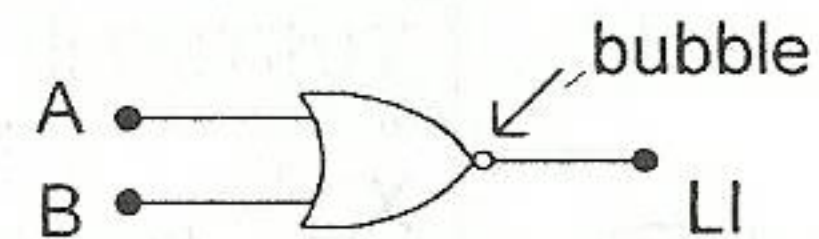
www-nf

The output is not HIGH when either inputs or both are HIGH. (The gate gets its name from the NOT OR behaviour).

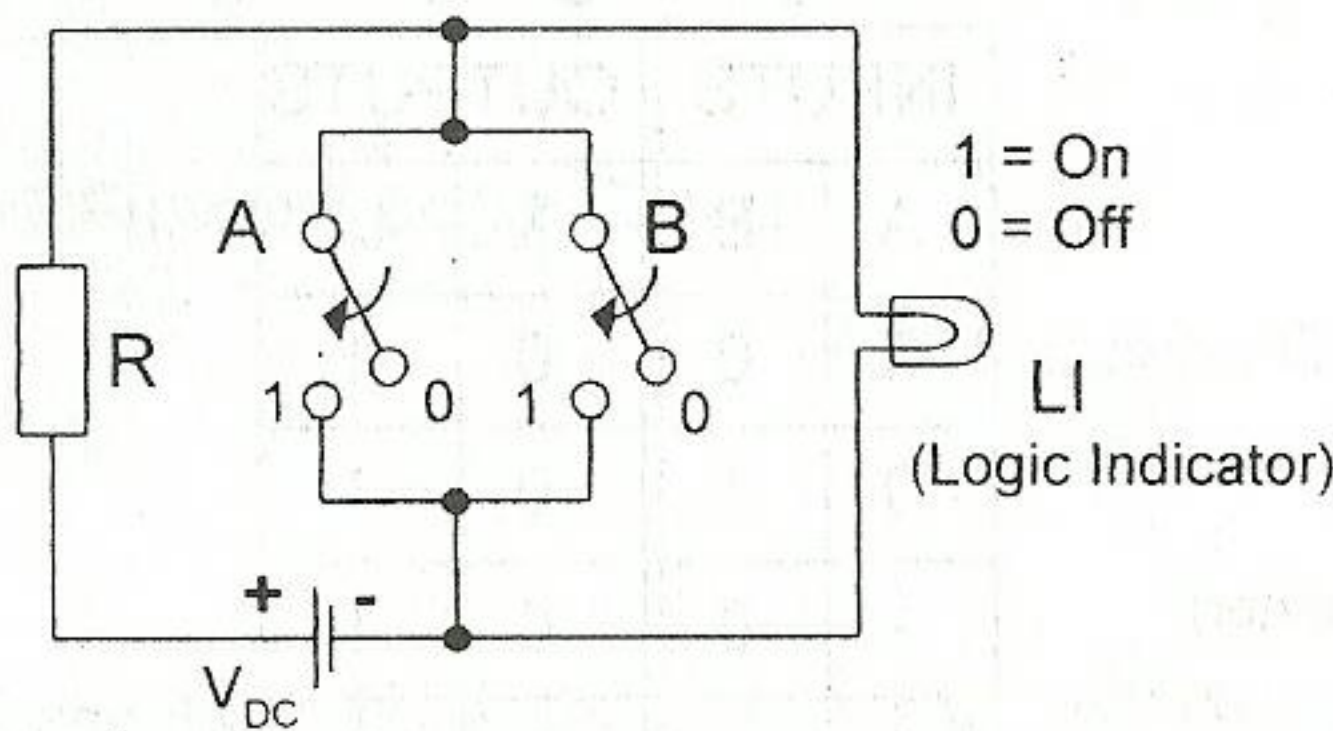
NOR gate ဆိုသော စကားလုံးသည် NOT OR ကို ဆိုလိုပါသည်။ OR gate ၏အထွက်ကို ပြောင်းပြန်လှန်ထားသည်နှင့်တူပါသည်။ တန်ညှိအားဖြင့် NOR gate ၏အရည်အချင်းသည် OR gate ၏ အရည်အချင်းနှင့် ဆန့်ကျင်ဖက်ဖြစ်နေပါသည်။



(က) NOR = NOT-OR



(ခ) NOR gate logic symbol



(ဂ) NOR Function Logic Circuit

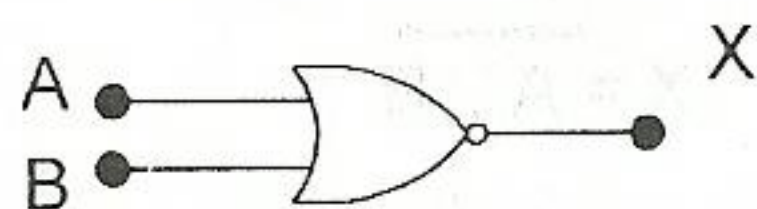
INPUTS		OUTPUTS	
A	B	X	LI
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

(ဃ) Truth Table

ပုံ(၁၅-၁၀) NOR Logic Circuit

အထက်ဖော်ပြပါပုံတွင် OR gate ၏ အထွက်ပုလင်းတွင် စက်ဝိုင်းငယ် (bubble)လေးတစ်ခု တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် NOR gate symbol ဖြစ်သွားကြောင်း တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ စက်ဝိုင်းငယ်လေး၏ အဓိပ္ပါယ်မှာ လော့ဂျစ်အခြေကို ပြောင်းပြန်လှန်ခြင်း (inversion) ကို ဖော်ညွှန်းပါသည်။ truth table ကိုလေ့လာကြည့်လျှင် အဝင်အားလုံး Logic level(0) ဖြစ်မှသာ အထွက်တွင် Logic level(1) ဖြစ်ပါမည်။ ကျန်မည်သည့် အဝင်လော့ဂျစ်အခြေများတွင်မဆို အထွက်သည် Logic level(0) ဖြစ်နေပေမည်။ ဤအချက်သည် အဝင်ပုလင်းနှစ်ခု မကသော NOR gate များအတွက် လည်း မှန်ကန်ကြောင်း တွေ့ရပါသည်။

NAND gate ၏ လော့ဂျစ်သင်္ကေတပုံ နှင့် လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းတို့မှာ အောက်ပါပုံ(၁၅-၁၁)အတိုင်း ဖြစ်ပါသည်။



$$X = \overline{A + B}$$

Logic symbol

Logic equation

ပုံ(၁၅-၁၁) NOR gate logic symbol and logic equation

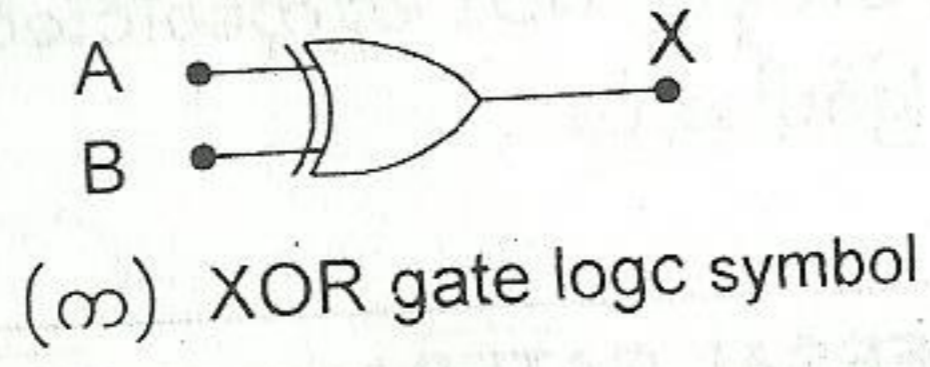


အခန်း(၁၅) အီလက်ထရွန်းနစ် လော့ဂျစ်ဂိတ်များ

၁၅-၈။ Exclusive OR (XOR GATE) *သက်သေချာစွာပေးပါ။*

The XOR gate produces a low output (logic 0) whenever two inputs are in same logic level and produces a high output (logic 1) whenever the two inputs are at opposite logic levels.

XOR gate တွင် အဝင်များလော့ဂျစ်အခြေတူကြလျှင် အထွက်တွင် Logic level(0) ဖြစ်ပြီး၊ အဝင်များလော့ဂျစ်အခြေမတူကြလျှင် အထွက်တွင် Logic level(1) ဖြစ်ပါမည်။  
တန်ညှိအားဖြင့် XOR gate ၏အရည်အချင်းသည် OR gate ၏ အရည်အချင်းနှင့် အနည်းငယ် ကွဲလွဲမှု ရှိနေကြောင်းသတိပြုစေလိုပါသည်။  
XOR gate ၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ၊ လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်း နှင့် မှန်ကန်မှုဇယားတို့ကို အောက်ပါ ပုံ(၁၅-၁၂) တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။



(က) XOR gate logic symbol

INPUTS		OUTPUT
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(ဂ) Truth Table

$X = A \oplus B$   
(ခ) Logic equation

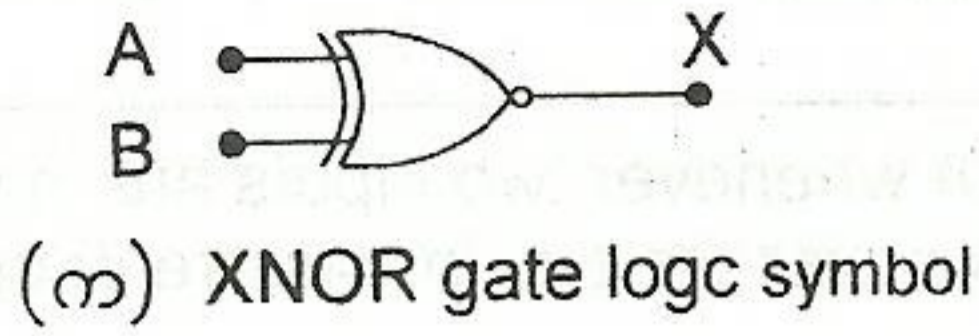
ပုံ(၁၅-၁၂) XOR gate

၁၅-၉။ Exclusive NOR (XNOR GATE) *သက်သေချာစွာပေးပါ။*

The XNOR gate produces a high output (logic 1) whenever two inputs are in same logic level and produces a low output (logic 0) whenever the two inputs are at opposite logic levels.

XNOR gate တွင် အဝင်များလော့ဂျစ်အခြေတူကြလျှင် အထွက်တွင် Logic level(1) ဖြစ်ပြီး၊ အဝင်များ လော့ဂျစ်အခြေမတူကြလျှင် အထွက်တွင် Logic level(0) ဖြစ်ပါမည်။  
တန်ညှိအားဖြင့် XNOR gate ၏အရည်အချင်းသည် XOR gate ၏ အရည်အချင်းနှင့် ပြောင်းပြန် ဖြစ်နေကြောင်းသတိပြုစေလိုပါသည်။  
XNOR gate ၏ ပတ်လမ်းသင်္ကေတပုံ၊ လော့ဂျစ်ညီမျှခြင်းနှင့် မှန်ကန်မှုဇယားတို့ကို တဖက်ပါ ပုံ(၁၅-၁၃)တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။





INPUTS		OUTPUT
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$X = A \oplus B$$

(ခ) Logic equation

(ဂ) Truth Table

ပုံ(၁၅-၁၃) XNOR gate

### ၁၅-၁၀။ Combination of Gates

အခြေခံလော့ဂျစ်ဂိတ်များဖြစ်ကြသည့် AND, OR နှင့် NOT တို့ကိုပေါင်းစပ်ခြင်းဖြင့် NAND gate နှင့် NOR gate များရယူပုံကို အထက်တွင် သိခဲ့ပြီး ဖြစ်ပါသည်။

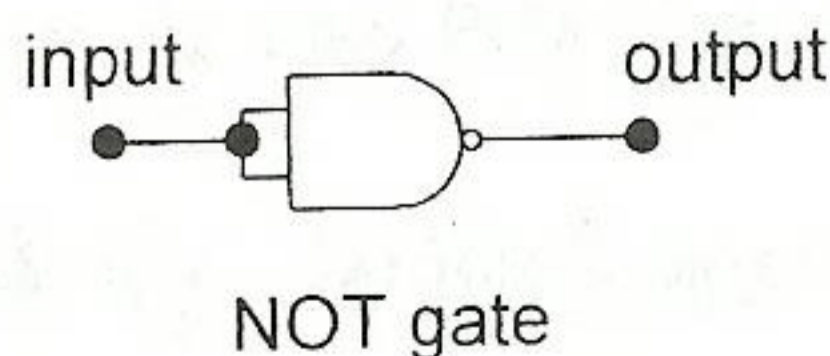
**NAND gates and NOR gates are called UNIVERSAL GATES** because they alone can be used to build up all other types of gates.

\* < NAND နှင့် NOR gate များသည် ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာတွင် အလွန်အသုံးဝင်ကြသည့်အပြင် ယင်းတို့ဖြင့် ကျန်လော့ဂျစ်ဂိတ်များ၏ လုပ်ငန်းစဉ်များကိုလည်း ဖော်ထုတ်ရယူနိုင်သောကြောင့် ယင်းတို့ကို Universal Logic Gates ဟုခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်ပါသည်။ > \*

### ၁၅-၁၁။ NAND gate များဖြင့် အခြား logic gate များရယူပုံ

#### (က) NAND gate ဖြင့် NOT gate ရယူပုံ

ပုံ(၁၅-၁၄)ပြထားသည့်အတိုင်း NAND gate တစ်ခု၏ အဝင်ပုခုံးနှစ်ခုကို ပူးထားလိုက်လျှင် ယင်းသည် NOT gate သို့မဟုတ် အင်ဗာတာ တစ်ခုဖြစ်သွားပေသည်။ NAND gate ၏ truth table တွင် ပြန်ကြည့်လျှင် အဝင်ပုခုံးနှစ်ခုတို့ လော့ဂျစ်အခြေတူညီနေသောအခါ ( 0 သို့မဟုတ် 1 ) အထွက်ပုခုံးသည် အဝင်ပုခုံးများနှင့်လော့ဂျစ်အခြေ ဆန့်ကျင်နေသည့် အထွက်ထိုသို့ အသုံးပြုနိုင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။

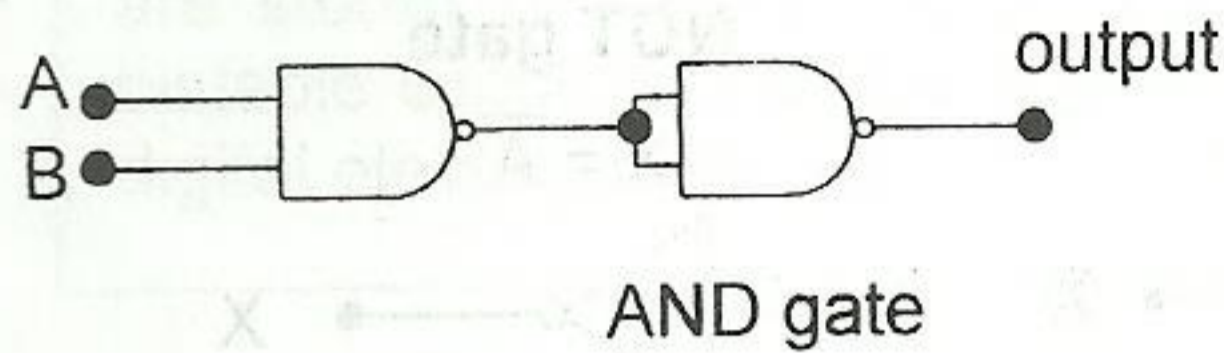


ပုံ(၁၅-၁၄) NAND gate တစ်ခုမှ NOT gate တစ်ခုရယူပုံ



**(ခ) NAND gate နှစ်ခုဖြင့် AND gate တစ်ခုရယူပုံ**

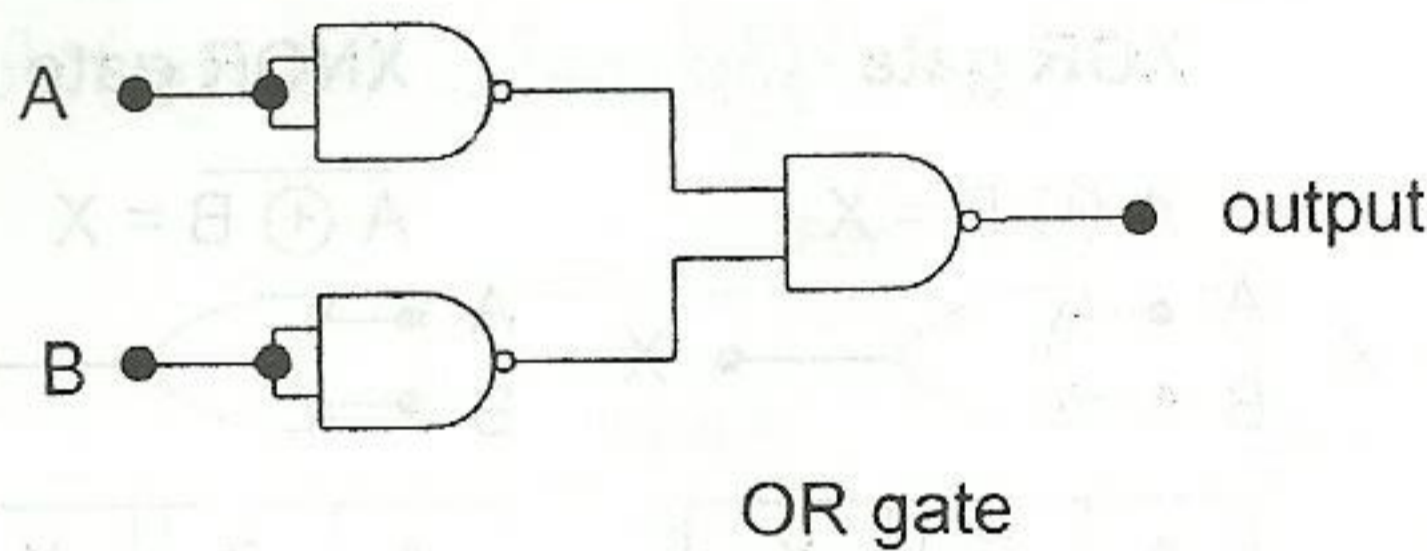
NAND gate တစ်ခု၏အထွက်တွင် အင်ဗာတာတစ်ခုအဖြစ်ဆက်တွဲထားသော NAND gate တစ်ခုထပ်မံဆက်လိုက်သောအခါ ထိုအတွဲသည် AND gate တစ်ခုအဖြစ်ပြောင်းလဲသွားပေတော့သည်။ အောက်ပါပုံ(၁၅-၁၅) တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၅-၁၅) NAND gate နှစ်ခုဖြင့် AND gate တစ်ခုရယူပုံ

**(ဂ) NAND gate သုံးခုဖြင့် OR gate တစ်ခုရယူပုံ**

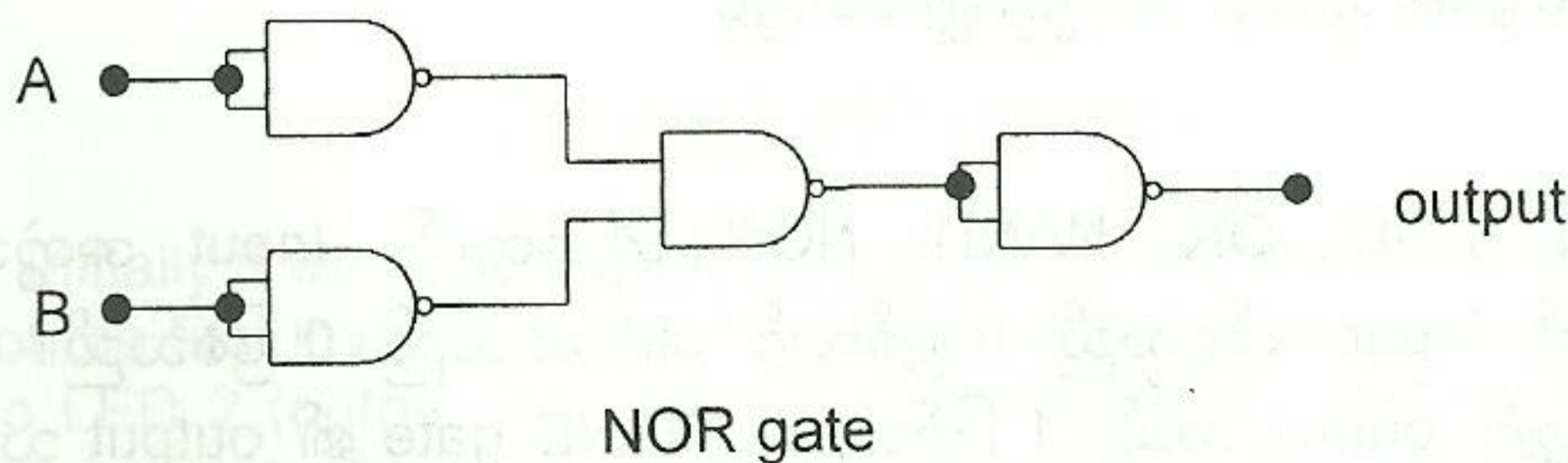
NAND gate တစ်ခု၏အဝင်ပုတ်တစ်ခုစီတွင် အင်ဗာတာတစ်ခုအဖြစ်ဆက်တွဲထားသော NAND gate တစ်ခုစီခံထားလိုက်ပါက ထိုအတွဲ၏ လော့ဂျစ်လုပ်ငန်းစဉ်သည် OR gate တစ်ခု၏ လော့ဂျစ်လုပ်ငန်းစဉ်အတိုင်းဖြစ်သွားပေသည်။ အောက်ပါပုံ(၁၅-၁၆) တွင်ကြည့်ပါ။



ပုံ(၁၅-၁၆) NAND gate သုံးခုဖြင့် OR gate တစ်ခုရယူပုံ

**(ဃ) NAND gate လေးခုဖြင့် NOR gate တစ်ခုရယူပုံ**

အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့သော OR gate အတွဲ၏နောက်တွင် အင်ဗာတာ တစ်ခုခံလိုက်ပါကရရှိလာသောအတွဲသည် NOR gate ဖြစ်သွားပေတော့သည်။



ပုံ(၁၅-၁၇) NAND gate လေးခုဖြင့် NOR gate တစ်ခုရယူပုံ

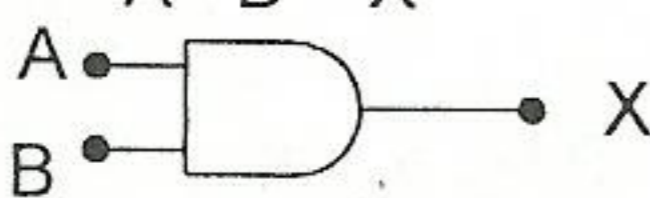
အလားတူပင် NOR gate များကိုအသုံးပြု၍ NOT, AND, OR gate များကို ဖော်ထုတ်ရယူနိုင်ပါသည်။



၁၅-၁၂။ လော့ဂျစ်ဂိတ်များ အကျဉ်းချုပ်ဖော်ပြချက်

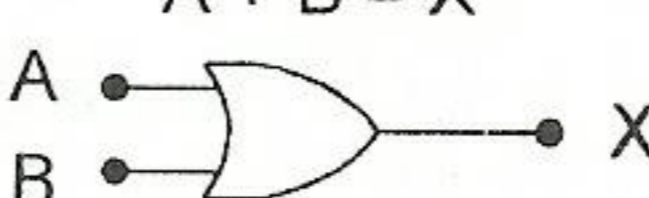
ကျက်မှတ်ရလွယ်ကူစေရန် လော့ဂျစ်ဂိတ်များ၏ circuit symbol နှင့် truth table တို့ကို အောက်ပါ ပုံ(၁၅-၁၈)တွင် စုစည်းဖော်ပြလိုက်ပါသည်။

**AND gate**  
 $A \cdot B = X$



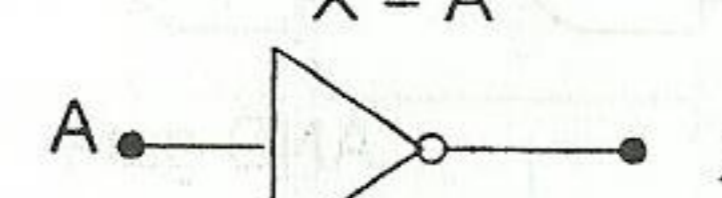
A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**OR gate**  
 $A + B = X$



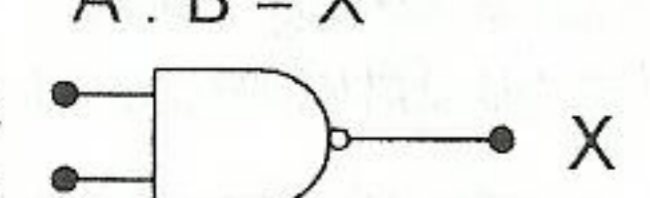
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

**NOT gate**  
 $X = \bar{A}$




A	X
0	1
1	0

**NAND gate**  
 $\overline{A \cdot B} = X$



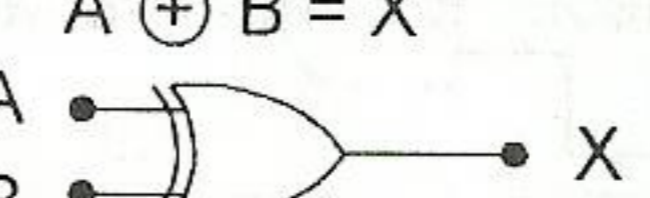
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

**NOR gate**  
 $\overline{A + B} = X$



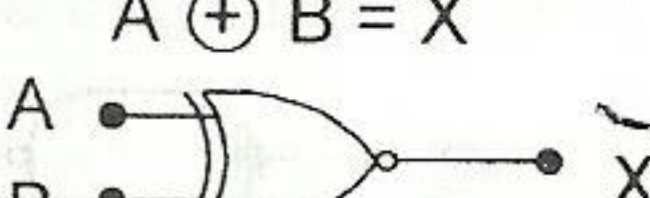
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

**XOR gate**  
 $A \oplus B = X$



A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

**XNOR gate**  
 $\overline{A \oplus B} = X$



A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ပုံ(၁၅-၁၈) Logic gate များကို အကျဉ်းချုပ်ဖော်ပြပုံ

**Truth table ကျက်မှတ်နည်း။** ။ AND, OR, NAND, NOR တို့အတွက် Input အတွဲအားလုံးကို ပုံစံအတူတူချပါ။ AND gate အတွက် input တစ်ခုသည် 0 ဖြစ်လျှင် output သည် 0 ဖြစ်သည်။ OR gate အတွက် input တစ်ခုသည် 1 ဖြစ်လျှင် output သည် 1 ဖြစ်သည်။ NAND gate ၏ output သည် AND gate နှင့်ပြောင်းပြန်။ NOR gate output သည် OR gate နှင့်ပြောင်းပြန်၊ NOT gate တွင် input နှင့် output သည် အမြဲပြောင်းပြန်ဖြစ်သည်။ XOR gate အတွက် input များတူလျှင် output သည် 0 ဖြစ်ပြီး၊ မတူလျှင် 1 ဖြစ်သည်။ XNOR gate အတွက် input များတူလျှင် output သည် 1 ဖြစ်ပြီး၊ မတူလျှင် 0 ဖြစ်သည်။



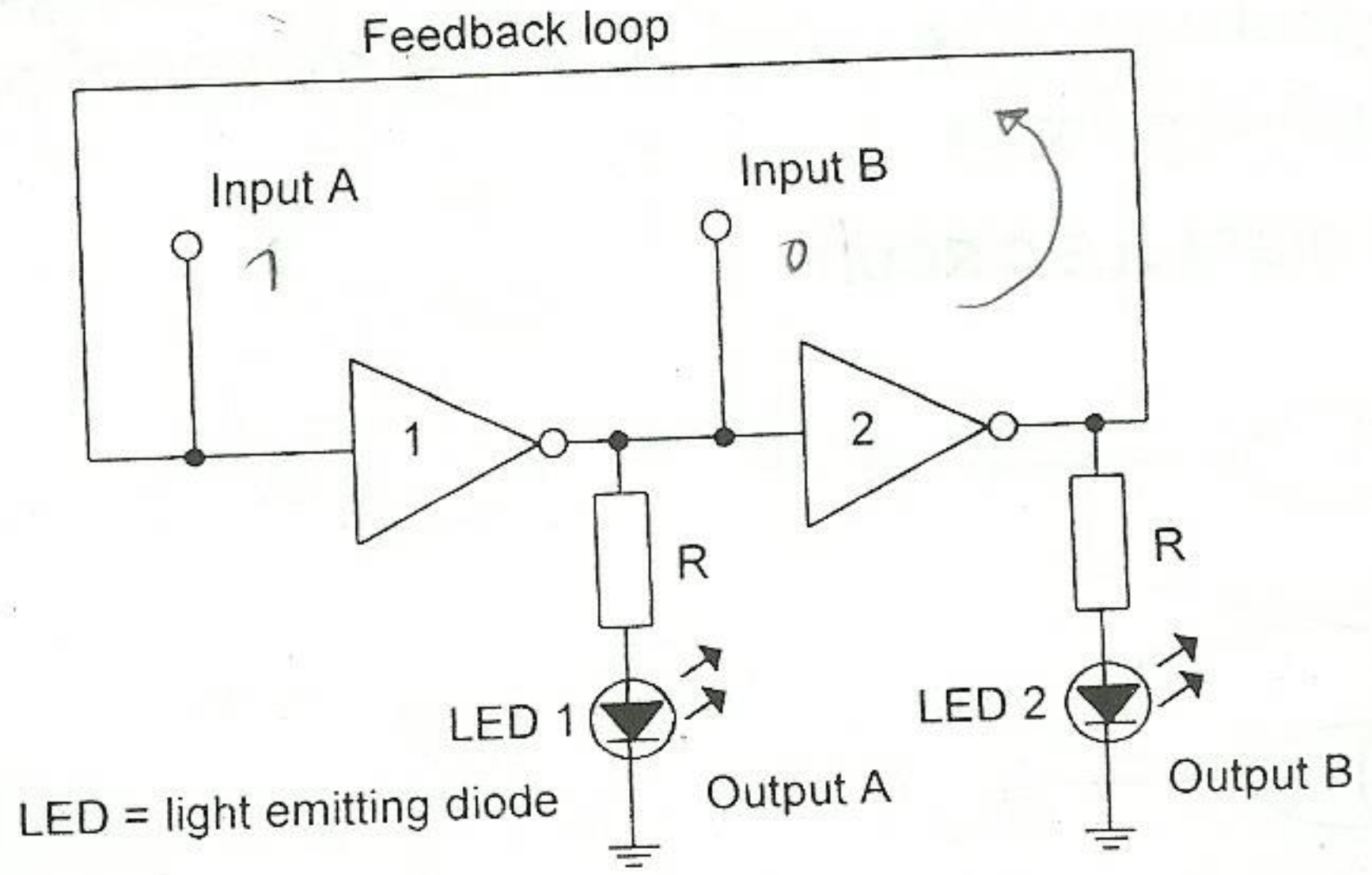
### ၁၅-၁၃။ The Bistable Circuit

A bistable circuit is a circuit that has two stable output states. That is, the output can be either a logic (1) or logic (0). These output states are stored or stable even if the inputs are removed. Therefore the bistable circuit has a memory. It can be used as memory element in digital electronic circuits.

Bistable circuit ဆိုသည်မှာ အထွက်တွင်တည်ငြိမ်ခြေနှစ်ခုရှိသောပတ်လမ်းမျိုးကို ခေါ်ပါသည်။ ထိုတည်ငြိမ်ခြေနှစ်ခုမှာ လော့ဂျစ်အခြေ (1) သို့မဟုတ် လော့ဂျစ်အခြေ (0) တို့ဖြစ်ကြပါသည်။ အဝင်အချက်ပြကို ဖယ်ရှားလိုက်သည့်တိုင် အထွက်တွင်လော့ဂျစ်အခြေများသည် တည်မြဲလျက်ရှိနေကြပါသည်။ ထို့ကြောင့် Bistable circuit ကို မှတ်ဉာဏ် (memory) ရှိသောပတ်လမ်းဟုခေါ်ဆိုကြပါသည်။ ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ်ပတ်လမ်းများတွင် မှတ်ဉာဏ်ပစ္စည်းအဖြစ်အသုံးပြုကြပါသည်။

### ၁၅-၁၄။ A Bistable Circuit Using NOT (Invertor) Gates

အင်ဗာတာ (invertor) နှစ်လုံးကိုအသုံးပြု၍ Bistable circuit တစ်ခုတည်ဆောက်နိုင်ပုံကို အောက်ပါပုံ(၁၅-၁၉) တွင်တွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။



ပုံ(၁၅-၁၉) NOT gate bistable circuit

Initially if we apply a high input (logic 1) to input A and a low input (logic 0) to input B, the output of the first inverter is low. So LED 1 (output A) is dark. And the output of second inverter is high. So LED 2 (output B) is light. Due to the feedback loop high output of inverter 2 return to input of inverter 1. Even if the original connection to input A is now removed the original message will still be retained and the LED 2 will continue to light.

We say, therefore that the system has a memory. We can see the same memory effect if input A is low and input B is high. When one of the outputs is high the other must be low. These two states are known as the two stable states of the system. Hence, the name bistable circuit.

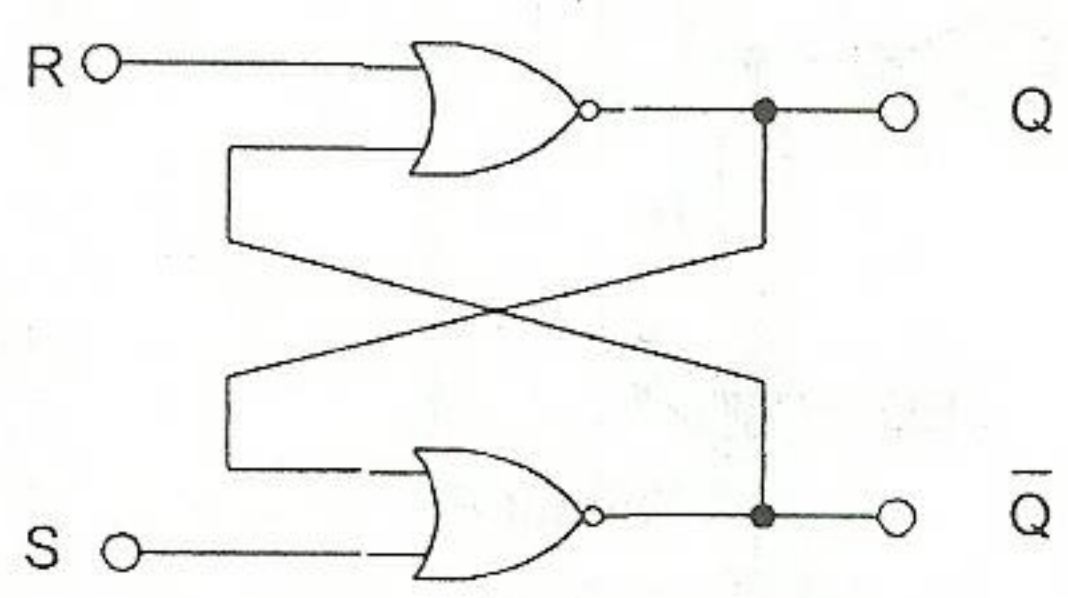


Inverter နှစ်လုံးကိုအသုံးပြုထားသော bistable circuit တွင် ရှေးဦးစွာ အဝင်ငုတ် A တွင် လော့ဂျစ် အခြေ (1) ကိုပေးပြီး အဝင်ငုတ် B တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (0) ကိုပေးထားမည်ဆိုပါစို့။ ထိုအခါ ပထမအင်ဗာတာ၏အထွက်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (0) ဖြစ်ပေါ်ပြီး ဒုတိယအင်ဗာတာ၏အထွက်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (1) ဖြစ်ပေါ်လာသောကြောင့် ပထမ LED မီးလုံးမှိတ်ပြီး ဒုတိယ LED မီးလုံးလင်းနေပေမည်။ အထွက်ပိုင်းနှင့် အဝင်ပိုင်းကိုပြန်ဆက်ထားသော ပြန်ကျွေးမှုပတ်လမ်း (feedback loop) ကြောင့် ဒုတိယအင်ဗာတာ၏အထွက်သည် ပထမအင်ဗာတာ၏အဝင်သို့ရောက်သွားသည်။ ထိုအခါမူလ အဝင်ငုတ် A တွင်ပေးထားသော အဝင်လော့ဂျစ်အခြေ (1) ကိုဖယ်ရှားပစ်လိုက်သော်လည်း ပထမ LED မီးလုံးသည်မှိတ်မြဲမှိတ်လျှက်ရှိပြီး ဒုတိယ LED မီးလုံးသည်လည်းလင်းမြဲလင်းနေပေမည်။ ဤအချက်ကြောင့် ယင်းပတ်လမ်းတွင် သတင်းအချက်အလက်များကို ထိန်းသိမ်းနိုင်မှု မှတ်ဉာဏ် (memory) ရှိသည်ဟု ဆိုနိုင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ အကယ်၍ မူလအစတွင် အဝင်ငုတ် A တွင် လော့ဂျစ် အခြေ (0) ကိုပေးပြီး အဝင်ငုတ် B တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (1) ကိုပေးထားမည်ဆိုလျှင်လည်း မှတ်ဉာဏ်သဘောတရားကို တွေ့ရှိရမည်ဖြစ်ပေသည်။ အထွက်ငုတ်နှစ်ခုတို့သည် အစဉ်အမြဲ လော့ဂျစ်အခြေများ ဆန့်ကျင်လျက်တည်ငြိမ်စွာ တည်ရှိနေကြသည်။ ထို့ကြောင့် bistable circuit ဟုခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်ပါသည်။

**၁၅-၁၅။ A Bistable Circuit Using NOR Gates**

NOR gate နှစ်ခုတွင် တစ်ခု၏အဝင်ငုတ်ကို အခြားတစ်ခု၏အထွက်ငုတ်နှင့် အပြန်အလှန် ချိတ်ဆက်လိုက်ကြမည်ဆိုလျှင် bistable circuit တစ်ခုဖြစ်ပေါ်လာနိုင်ပါသည်။ ထိုပတ်လမ်းတွင်လည်း မှတ်ဉာဏ်သဘောတရားပါရှိကြောင်း တွေ့နိုင်ပါသည်။ ပုံ(၁၅-၂၀)တွင် R နှင့် S တို့သည်အဝင်ငုတ်များဖြစ်ကြပြီး Q နှင့်  $\bar{Q}$  တို့သည် အထွက်ငုတ်များဖြစ်ကြပါသည်။

**NOR GATE BISTABLE CIRCUIT**



INPUT		OUTPUT		
R	S	Q	$\bar{Q}$	Action
0	0	Q	$\bar{Q}$	No change (Q, $\bar{Q}$ stay the same)
0	1	1	0	Set
1	0	0	1	Reset
1	1	-	-	Not allowed

ပုံ(၁၅-၂၀) NOR gate bistable circuit



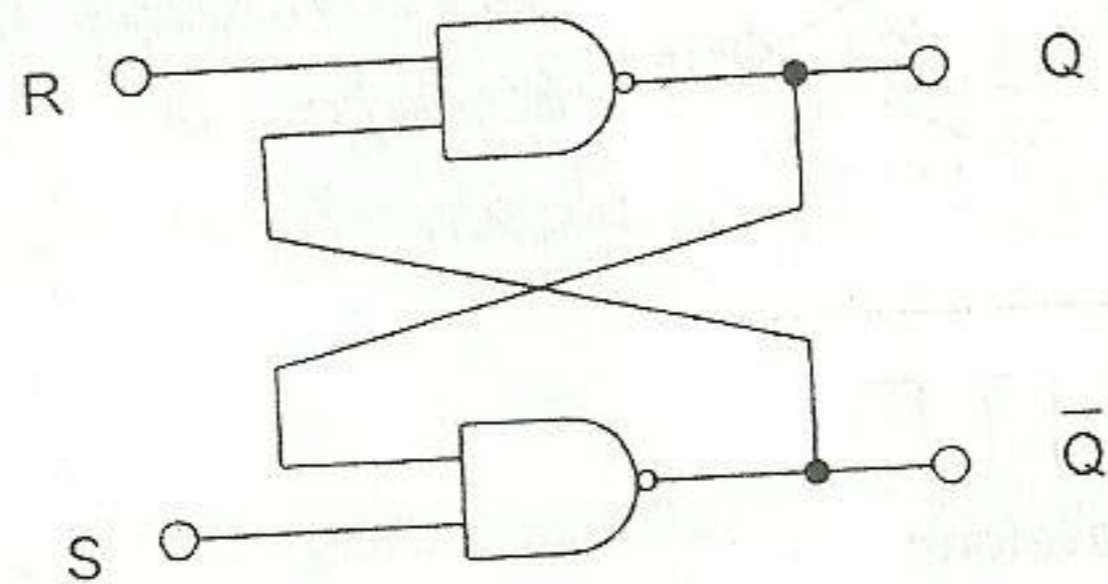
အခန်း(၁၅) အီလက်ထရွန်းနစ် လော့ဂျစ်ဂိတ်များ

- ထိုပတ်လမ်း၏လုပ်ငန်းစဉ်ကို truth table တွင်ရှင်းလင်းချက်နှင့်တကွ ဖော်ပြထားပါသည်။
- အဝင်ပုဒ်နှစ်ခုစလုံး လော့ဂျစ်အခြေ (0) တွင်ရှိကြလျှင် (R=0, S=0 ဖြစ်သောအခါ) အထွက်ပုဒ်များ သည်အခြေမပြောင်းကြဘဲ မူလရှိမဲ့အတိုင်း (No change) ဆက်လက်ရှိနေကြမည်။
- R=0, S=1 ဖြစ်သောအခါ Q=1,  $\bar{Q}$ =0 ဖြစ်မည်။ ထိုအခြေအနေကို SET ဟု ခေါ်ပါသည်။ R=0, S=1 အခြေမှ R=0, S=0 ဖြစ်သွားသော်လည်း Q=1,  $\bar{Q}$ =0 အခြေသည်မပြောင်းဘဲဆက်လက်တည်မြဲနေမည်။
- R=1, S=0 ဖြစ်သောအခါ Q=0,  $\bar{Q}$ =1 ဖြစ်မည်။ ထိုအခြေအနေကို RESET ဟု ခေါ်ပါသည်။ R=1, S=0 အခြေမှ R=0, S=0 ဖြစ်သွားသော်လည်း Q=0,  $\bar{Q}$ =1 အခြေသည် မပြောင်းဘဲဆက်လက် တည်မြဲနေမည်။
- R=1, S=1 ဖြစ်သောအခါ Q=0,  $\bar{Q}$ =0 ဖြစ်မည်။ ထိုအခြေအနေသည် လက်တွေ့တွင်မဖြစ်နိုင်ချေ။ ထို့ကြောင့် ထိုအဝင်လော့ဂျစ်အခြေကိုခွင့်မပြုချေ။ (Not allowed)

၁၅-၁၆။ A Bistable Circuit Using NAND Gates

NOR gate နှစ်ခုကဲ့သို့ပင် NAND gate နှစ်ခုကိုလည်း bistable circuit အဖြစ် ဆက်သွယ်တည်ဆောက် နိုင်ပါသည်။ ပုံ(၁၅-၂၁)တွင်ကြည့်ပါ။ ထိုပတ်လမ်း၏ လုပ်ငန်းစဉ်သဘောတရားကို truth table ဖော်ပြချက် တွင်ကြည့်၍ အထက်ပါနည်းအတိုင်း ကောက်ချက်ချနိုင်ပါသည်။

NAND GATE BISTABLE CIRCUIT



INPUT		OUTPUT		
R	S	Q	$\bar{Q}$	Action
0	0	-	-	Not allowed
0	1	1	0	Set
1	0	0	1	Reset
1	1	Q	$\bar{Q}$	No change (Q, $\bar{Q}$ stay the same)

ပုံ(၁၅-၂၁) NAND gate bistable circuit

- အဝင်ပုဒ်နှစ်ခုစလုံး လော့ဂျစ်အခြေ (1) တွင်ရှိကြလျှင် (R=1, S=1 ဖြစ်သောအခါ) အထွက်ပုဒ်များ သည်အခြေမပြောင်းကြဘဲ မူလရှိမဲ့အတိုင်း (No change) ဆက်လက်ရှိနေကြမည်။

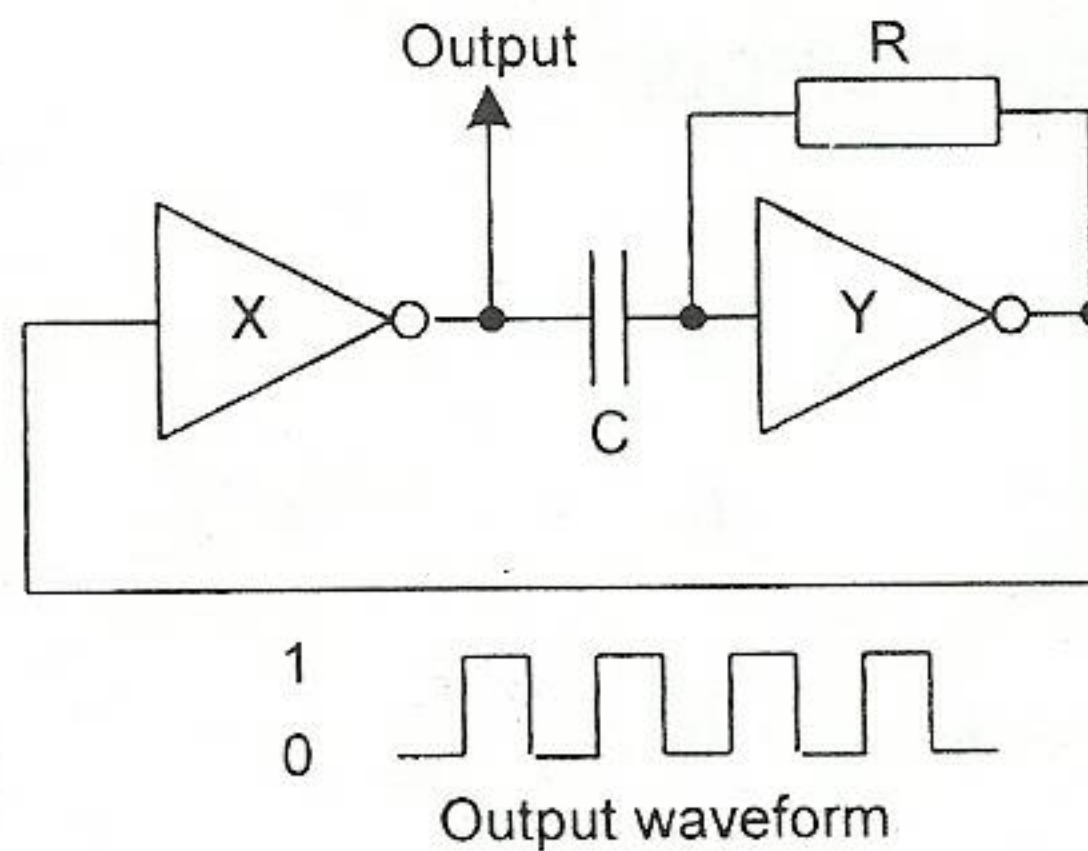


- $R=0, S=1$  ဖြစ်သောအခါ  $Q=1, \bar{Q}=0$  ဖြစ်မည်။ ထိုအခြေအနေကို SET ဟု ခေါ်ပါသည်။  $R=0, S=1$  အခြေမှ  $R=1, S=1$  ဖြစ်သွားသော်လည်း  $Q=1, \bar{Q}=0$  အခြေသည် မပြောင်းဘဲဆက်လက်တည်မြဲနေမည်။
- $R=1, S=0$  ဖြစ်သောအခါ  $Q=0, \bar{Q}=1$  ဖြစ်မည်။ ထိုအခြေအနေကို RESET ဟု ခေါ်ပါသည်။  $R=1, S=0$  အခြေမှ  $R=1, S=1$  ဖြစ်သွားသော်လည်း  $Q=0, \bar{Q}=1$  အခြေသည်မပြောင်းဘဲ ဆက်လက်တည်မြဲနေမည်။
- $R=0, S=0$  ဖြစ်သောအခါ  $Q=1, \bar{Q}=1$  ဖြစ်မည်။ ထိုအခြေအနေသည် လက်တွေ့တွင်မဖြစ်နိုင်ချေ။ ထို့ကြောင့် ထိုအဝင်လော့ဂျစ်အခြေကိုခွင့်မပြုချေ။ (Not allowed)

၁၅-၁၇။ An Astable Circuit

An astable circuit is a circuit that has no stable output state. When the power supply is ON, its output state is changing between logic (0) and logic (1) continuously until power is OFF. Therefore an astable circuit can be used as a pulse generator.

An Astable Circuit using Invertors



ပုံ(၁၅-၂၂) An astable circuit using Invertors

An astable circuit using two invertors and its output waveform are shown in above figure. First of all assume that the output voltage from the circuit to be low. This would require the input to the invertor X to be high and this in turn would require the output from the invertor Y to be high and its input to be low. There is a potential difference across the capacitor C due to the low output from X and the high output from the Y to which the capacitor is connected through R. The capacitor therefore charge up via R.

This means that the input at Y will gradually rise as the potential at C does. When it reaches a certain point the input of Y will be high and the output of Y low, the output of the circuit at X will change the state from low to high.

The capacitor will proceed to discharge through R after this until the input at Y goes low once more and the cycle repeats. This means that the output of the circuit is always changing logic states and it serves as a pulse generator. The frequency of the changing output depends on the values of the capacitor C and resistor R. The larger the resistance the slower the capacitor will charge or discharge. That is the larger the resistance, the frequency of the output pulse is lower.



အခန်း(၁၅) အီလက်ထရွန်းနစ် လော့ဂျစ်ဂိတ်များ

Astable circuit ဆိုသည်မှာ အထွက်တွင်တည်ငြိမ်ခြေမရှိသောပတ်လမ်းကို ခေါ်ပါသည်။ ပတ်လမ်းကို ပေးထားသော ပါဝါဆပ်ပလိုင်းကို ON လိုက်သောအခါ အထွက်ပုတ်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (0) နှင့် (1) တို့ တစ်လှည့်စီ အဆက်မပြတ်ထွက်ပေါ်လာပါသည်။ ပါဝါ OFF လိုက်မှသာရပ်သွားပါသည်။ ထို့ကြောင့် astable circuit ကို ခုန်လှိုင်းထုတ်ပတ်လမ်း (pulse generator) အဖြစ် ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ်တွင် အသုံးပြုလေ့ရှိပါသည်။

အင်ဗာတာနှစ်လုံးဖြင့်တည်ဆောက်ထားသော astable circuit ကို အထက်ပါပုံ(၁၅-၂၂) တွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်းတွေ့မြင်နိုင်ပါသည်။ ပတ်လမ်းအလုပ်လုပ်ပုံမှာ- ရှေးဦးစွာ ပတ်လမ်း၏အထွက်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (0) ရှိသည်ဟု ယူဆပါမည်။ ထိုသို့ဖြစ်ရန် အင်ဗာတာ X ၏အဝင်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (1) ဖြစ်ရပါမည်။ ထိုမှတဆက်တည်းပင် အင်ဗာတာ Y ၏အထွက်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (1) ဖြစ်သောကြောင့် ယင်း၏အဝင်သည် လော့ဂျစ်အခြေ (0) ဖြစ်ပေမည်။ ထိုအခါ ကပယ်စီတာ C ၏ အစွန်းနှစ်ဖက်ကြားတွင် ပိုတင်ရှယ် ခြားနားခြင်း ဖြစ်ပေါ်လာပြီး R မှတဆင့် လျှပ်စစ်ဓါတ်သွင်းယူပါမည်။

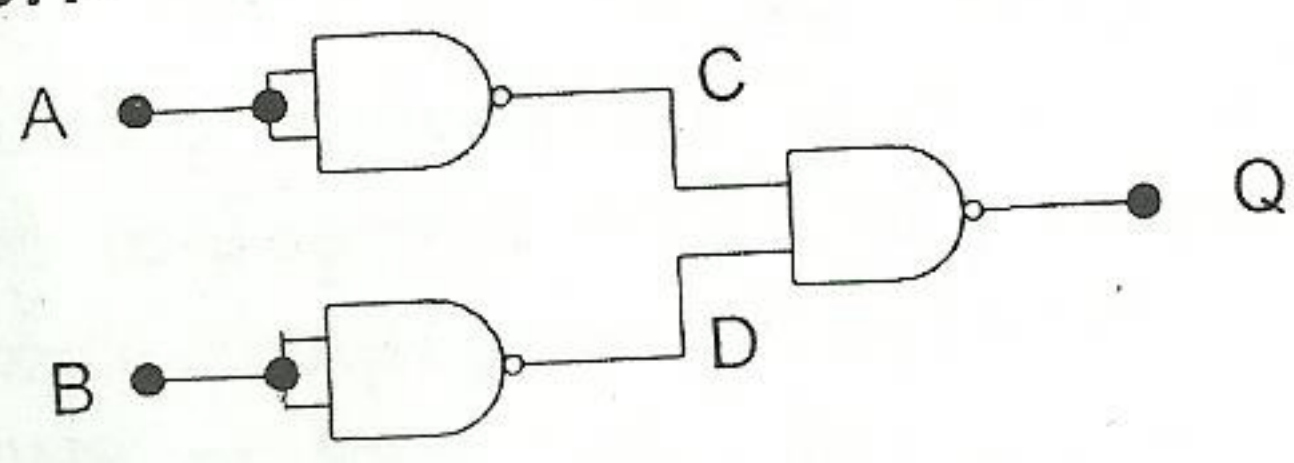
C တွင် ဗို့အားတိုးလာသည်နှင့်အမျှ Y ၏အဝင်တွင်ဗို့အားမြင့်အခြေသို့တဖြည်းဖြည်း တက်လာပေမည်။ Y ၏အဝင်တွင် ဗို့အားမြင့်အခြေတန်ဖိုးတစ်ခု လော့ဂျစ်အခြေ (1) သို့ ရောက်ရှိသွားသောအခါ Y ၏အထွက်တွင် လော့ဂျစ်အခြေ (0) ဖြစ်သွားကာ X ၏အထွက်တွင် ( 0 မှ 1 သို့) လော့ဂျစ်အခြေပြောင်းလဲမှု ဖြစ်ပေါ်လာပေတော့သည်။

ဆက်လက်၍ Y ၏အဝင်တွင်ဗို့အားနိမ့်အခြေသို့ရောက်သည့်တိုင်အောင် C သည် R မှတဆင့် လျှပ်စစ်ဓါတ်ထုတ်လွှတ်ကာ နောက်တစ်ကြိမ် လုပ်ငန်းတစ်ပတ်ပြန်လည်စတင်ပါတော့သည်။ ဆိုလိုသည်မှာ ပတ်လမ်း၏အထွက်တွင် လော့ဂျစ်အခြေသည် 0 နှင့် 1 အကြား အပြန်ပြန်အလှန်လှန် ပြောင်းလဲနေသောကြောင့်ပတ်လမ်းသည် ခုန်လှိုင်းထုတ်ပတ်လမ်းတစ်ခုကဲ့သို့ပြုမူနေပေသည်။ ထွက်ပေါ်လာသော ခုန်လှိုင်း၏ ဖရီကွင်စီသည် R နှင့် C တို့၏တန်ဖိုးပေါ်တွင်မူတည်နေပါသည်။ R ကြီးလျှင် C သည် လျှပ်စစ်အသွင်း/အထုတ်ကြာမြင့်ပါသည်။ တနည်းအားဖြင့် R ကြီးလျှင်ခုန်လှိုင်း၏ ဖရီကွင်စီနိမ့်ပါသည်။

**Question #1:**

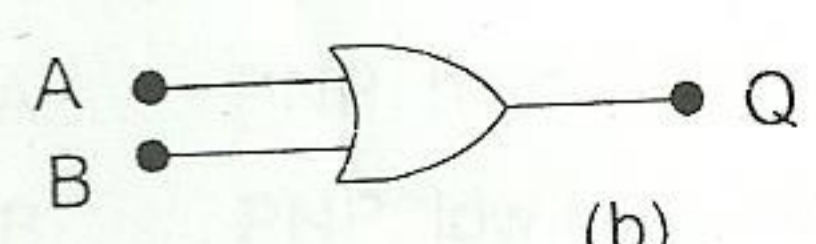
Suggest how three NAND gates can be connected to behave as an OR gate.

**Answer:-**



A	B	C	D	Q
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1

(a)



A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)

Two NAND gates are connected as Inverters and then they are connected at the inputs of the third NAND gate as shown in Fig.(a). By checking with the truth table of OR gate of Fig.(b), this combination behaves as an OR gate.



**Question #2:**

Distinguish between an astable circuit and a bistable circuit.

**Answer:-**

Astable Circuit	Bistable Circuit
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> needs no input signal and its output is automatically changing logic states as soon as the power is ON.</li> <li><input type="checkbox"/> can be used as pulse generator.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> needs input signals and logic states of its two outputs depend upon the status of logic states of inputs.</li> <li><input type="checkbox"/> can be used as memory element in digital electronic circuits.</li> </ul>

အထက်ဖော်ပြပါ လော့ဂျစ်ဂိတ်များအကြောင်းနှင့် ယင်းတို့ကိုအသုံးပြုထားသော အက်စတေဘယ်လ် ပတ်လမ်း၊ ဘိုင်စတေဘယ်လ်ပတ်လမ်း စသည်တို့အလုပ်လုပ်ပုံ အကြောင်းတို့သည် အခြေခံအထက်တန်း ကျောင်းသားများအတွက် ဒစ်ဂျစ်တယ် အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်ကို စတင်လေ့လာရာတွင် တစ်ခုသော အတိုင်းအတာအထိ အထောက်အကူ ရကြလိမ့်မည်ဟု မျှော်လင့်မိပါသည်။

ဒစ်ဂျစ်တယ်အီလက်ထရွန်းနစ်ပညာရပ်ကို စိတ်ဝင်စားပြီး ပိုမိုအသေးစိတ်တတ်သိလိုလျှင် စာရေးသူ ရေးသား ထုတ်ဝေထားသော ဒစ်ဂျစ်တယ်အီလက်ထရွန်းနစ်စာအုပ်တွင် ဆက်လက်လေ့လာဖတ်ရှုကြပါရန် တိုက်တွန်းအပ်ပါသည်။



ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ အမျိုးအစား နံပါတ်များ (Semiconductor Type Numbers)

အီးအိုင်အေ စံသတ်မှတ်ချက် (EIA Standard)

အီလက်ထရွန်းနစ်စက်မှုလုပ်ငန်းများအသင်း (Electronic Industries Association, EIA)မှ စံအဖြစ် ထုတ်လုပ်ထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာပစ္စည်းများကို နံပါတ်သတ်မှတ်သောအခါ အင်္ဂလိပ်စာလုံး N သည် ယင်း ပစ္စည်းတွင်ပါဝင်သော ဂျန်းရှင်းအရေအတွက်ကို ကိုယ်စားပြုဖော်ပြပါသည်။

ဥပမာ- ဒိုင်အုတ်များကို 1N ဟူ၍လည်းကောင်း၊ ထရန်စစ္စတာများကို 2N ဟူ၍လည်းကောင်း၊ ဂိတ်နှစ်ခု ပါသော FET များကို 3N ဟူ၍လည်းကောင်း စတင်သတ်မှတ်ပြီး ထိုစာလုံးများနောက်မှလိုက်လာသော ဂဏန်းများသည် သက်ဆိုင်ရာပစ္စည်းအမျိုးအစား၏ နံပါတ်ဖြစ်ပါသည်။

ပုံစံအားဖြင့် - < 1N4001 တွင် 1N သည် ဒိုင်အုတ်ကို ကိုယ်စားပြုပြီး၊ 4001 သည် ဒိုင်အုတ်၏ ကိုယ်ပိုင် နံပါတ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ 2N2222 တွင် 2N သည် ထရန်စစ္စတာကို ကိုယ်စားပြုပြီး၊ 2222 သည် ထရန်စစ္စတာ၏ ကိုယ်ပိုင်နံပါတ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ >

ထရန်စစ္စတာများအတွက် အီးအိုင်အေ စံသတ်မှတ်ချက်တွင် အသုံးပြုထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာသည် စီလီကွန်(Si) သို့မဟုတ် ဂျာမေးနီယမ် (Ge) ဖြစ်ကြောင်း ဖော်ပြခြင်းမရှိပါ။ PNP or NPN အမျိုးအစား ကိုလည်း ခွဲခြားဖော်ပြထားခြင်းမရှိချေ။ ထို့အပြင် မည်သည့်နယ်ပယ်တွင် အသုံးပြုနိုင်ကြောင်းကိုလည်း ဖော်ပြ ထားခြင်းမရှိပေ။

ဂျပန်စက်မှုလုပ်ငန်းများ စံသတ်မှတ်ချက် (Japanese Industries Standard)

ဤစံသတ်မှတ်ချက်တွင် အင်္ဂလိပ်စာလုံး S သည် ဆီမီးကွန်ဒတ်တာပစ္စည်းဖြစ်ကြောင်း ကိုယ်စားပြု ဖော်ပြပါသည်။ 1S သည် ဒိုင်အုတ်ကို ကိုယ်စားပြုပြီး၊ 2S သည် ထရန်စစ္စတာကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။

ပုံစံအားဖြင့် - 1S312 တွင် 1S သည် ဒိုင်အုတ်ကို ကိုယ်စားပြုပြီး၊ 312 သည် သက်ဆိုင်ရာ ဒိုင်အုတ်၏ ကိုယ်ပိုင်နံပါတ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ 2SC828 တွင် 2S သည် ထရန်စစ္စတာကို ကိုယ်စားပြုပြီး၊ C သည် သက်ဆိုင်ရာ ထရန်စစ္စတာ၏ PNP or NPN အမျိုးအစား နှင့် အသုံးချနယ်ပယ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။ 828 သည် သက်ဆိုင်ရာထရန်စစ္စတာ၏ ကိုယ်ပိုင်နံပါတ်ကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။

PNP or NPN အမျိုးအစား နှင့် အသုံးချနယ်ပယ်ကို အောက်ပါအတိုင်း ခွဲခြားသတ်မှတ်ထား ပါသည်။

- A..... PNP, high frequency
- B..... PNP, low frequency
- C..... NPN, high frequency
- D..... NPN, low frequency
- E..... P-gate thyristor (SCR)
- G..... N-gate thyristor (SCR)
- H..... N-base UJT
- J..... P-channel FET
- K..... N-channel FET
- M..... triac



**နောက်ဆက်တွဲ(၁) Semiconductor Type Numbers**

ပုံစံအားဖြင့် -

2SA564	Si, PNP transistor, low power, RF applications
2SA683	Si, PNP transistor, low power, RF applications
2SA671	Si, PNP transistor, medium power, RF applications
2SB56	Ge, PNP transistor, low power, AF applications
2SB324	Ge, PNP transistor, medium power, AF application
2SB474	Ge, PNP transistor, hi power, AF application
2SC458	Si, NPN transistor, low power, RF applications
2SC1383	Si, NPN transistor, low power, RF applications
2SC1061	Si, NPN transistor, medium power, RF applications
2SD467	Si, NPN transistor, low power, AF applications
2SD468	Si, NPN transistor, medium power, AF applications
2SD882	Si, NPN transistor, medium power, Switching

ယေဘုယျအားဖြင့် -

- 2SA ... နှင့် 2SB... တို့သည် PNP အမျိုးအစားများဖြစ်ကြသည်။
- 2SC... နှင့် 2SD... တို့သည် NPN အမျိုးအစားများဖြစ်ကြသည်။
- 2SJ... နှင့် 2SK... တို့သည် FET အမျိုးအစားများဖြစ်ကြသည်။
- 3SK ... သည် dual gate FET အမျိုးအစားများဖြစ်ကြသည်။

**ဥရောပနိုင်ငံများ စံသတ်မှတ်ချက် (European Standard)**

ဤစံသတ်မှတ်ချက်တွင် အင်္ဂလိပ်စာလုံးများနှင့် ကိန်းဂဏန်းများကို တွဲဖက်ပြီးဖော်ပြသော စနစ် ဖြစ်ပါသည်။ ပထမ အင်္ဂလိပ်စာလုံးနှစ်လုံးသည် အသုံးပြုထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာ ပစ္စည်းအမျိုးအစားနှင့် တည်ဆောက်ပုံကိုဖော်ပြပြီး ထိုစာလုံးနှစ်လုံး၏နောက်တွင် တွဲဖက်ထားသော ကိန်းဂဏန်းများသည် ကိုယ်ပိုင် နံပါတ်ကို ဖော်ပြသည်။ ကိုယ်ပိုင်နံပါတ်ကိုဖော်ပြရာ အသုံးချမှုနယ်ပယ်ပေါ် မူတည်ပြီး ဂဏန်းသုံးလုံးဖြင့် သော်လည်းကောင်း အင်္ဂလိပ်စာလုံးတစ်လုံးနှင့် ဂဏန်းနှစ်လုံးတွဲလျက်သော်လည်းကောင်း ဖြစ်နိုင်ပါသည်။

ပထမ အင်္ဂလိပ်စာလုံးသည် အသုံးပြုထားသော ဆီမီးကွန်ဒတ်တာအမျိုးအစားကိုဖော်ပြပါသည်။

A.....junction device using germanium(Ge)

ပုံစံအားဖြင့် - ACY17- Ge transistor

B.....junction device using silicon(Si)



ပုံစံအားဖြင့် - BC107- Si transistor

C.....junction device using compound materials such as gallium arsenide

D.....junction device using compound materials such as indium antimonide

R.....non-junction device such as photoconductive cell

ပုံစံအားဖြင့် - RPY37- Photo cell

ဒုတိယ အင်္ဂလိပ်စာလုံးသည် တည်ဆောက်ထားသော ပစ္စည်းအမျိုးအစားကိုဖော်ပြပါသည်။

A.....detector diode, high speed diode, mixer diode,

ပုံစံအားဖြင့် - AA117- Ge, detector diode

B.....variable capacitance diode,

ပုံစံအားဖြင့် - BB100- Si, variable capacitance diode

C.....transistor for AF applications (not power types),

ပုံစံအားဖြင့် - BC109- Si, AF transistor

D.....power transistor for AF applications,

ပုံစံအားဖြင့် - AD149- Ge, AF power transistor:

BD139-Si, AF power transistor

E.....tunnel diode

F..... transistor for RF applications (not power types),

ပုံစံအားဖြင့် - BF177- silicon, RF transistor

L..... power transistor for RF applications

S.....transistor for switching applications (not power types)

T.....controlling and switching power device ( e.g., thyristor)

U.....power transistor for switch applications,

ပုံစံအားဖြင့် - BU111, Si, HV-Hi current Switching and TV Horiz. output

Y..... rectifier diode

ပုံစံအားဖြင့် - BY127, Si, rectifier diode, Hi current, fast switching

Z.....voltage regulator diode

ပုံစံအားဖြင့် - BZY88 C5V6- Si, voltage regulator diode, 5.6V



**နောက်ဆက်တွဲ(၁) Semiconductor Type Numbers**

ရာစုသစ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်

အထက်ပါစာလုံးနှစ်လုံးနောက်မှ လိုက်လာသောကိုယ်ပိုင်နံပါတ်ကို အောက်ပါအတိုင်း အုပ်စုနှစ်စုခွဲခြားထားပြန်ပါသည်။

(က) ဂဏန်းသုံးလုံးပါဝင်ခြင်း

(ခ) (Z, Y, X, W) စသည့် စာလုံးတစ်လုံးနှင့် ဂဏန်းနှစ်လုံးတွဲလျက်ပါဝင်ခြင်း

ပထမအမျိုးအစားသည် ရေဒီယို၊ တီဗွီ၊ အမ်ပလီဖါယာ နှင့် အိမ်အသုံးအဆောင်ပစ္စည်း ကိရိယာများတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသောအမျိုးအစားများဖြစ်ပြီး၊ ဒုတိယအမျိုးအစားသည် စက်မှုလုပ်ငန်း၊ စီးပွားဖြစ်လုပ်ငန်းများနှင့် အသံလွှင့်လုပ်ငန်းများဆိုင်ရာ ကိရိယာများတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသော အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။

ပုံစံအားဖြင့် -

- BF173..... Si, transistor, RF applications
- ACY17..... Ge, AF transistor, industrial applications
- BTX64..... Si, thyristor, industrial applications
- BDY20..... Si, power transistor (AF), industrial applications



## Operational Amplifier Selection Tables

Numbers in brackets refer to the numbered Notes panel below. Data are typical but may vary between manufacturers and other case styles may exit.

### Single Operational Amplifiers

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/μs)	Output voltage (V) (1)	Number of devices per pack	Case style	Notes
702	bipolar	+12/-6	68				1		Obsolete (7)
709	bipolar	±5 to ±18	94	300n	0.25	±13	1	SE13	General purpose
741	bipolar	±5 to ±18	106	80n	0.5	±13	1	SE5	General purpose (7)
741S	bipolar	±5 to ±18	100	200n	20	±13	1	SE5	High speed 741 replacement
748	bipolar	±7 to ±18	106	80n	0.8	±13	1	SE20	Non-compensated 741
759	bipolar	±3.5 to ±18	106	50n	0.5	±12.5	1		Power Op. Amp
AD548	bipolar	±4.5 to ±18	100	0.01n	1.8	±13	1		Low power
AD711	FET	±4.5 to ±18	100	25p	20	±13	1		High speed
CA3008	bipolar	±6	60		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3010	bipolar	±6	60		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3015	bipolar	±6	60		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3016	bipolar	±6	60		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3029	bipolar	±6	60		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3030	bipolar	±6	70		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3031	bipolar	±6	70		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3032	bipolar	±6	70		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3033	bipolar	±6	90		1.7	±5.5	1		Obsolete
CA3037	bipolar	±12	60		1.7	±11	1		Obsolete
CA3038	bipolar	±12	70		1.7	±11	1		Obsolete
CA3047	bipolar	±12	90		1.7	±11	1		Obsolete
CA3080	bipolar	±12 to ±15		400n	50		1	SE21	Transconductance amplifier
CA3130	CMOS	±3 to ±8	110	5p	10	13	1	SE14	General purpose
CA3140	CMOS	±2 to ±18	100	5p	9	13	1	SE14	General purpose
CA3160	CMOS	5 to 16	110	5p	10	13.3	1		General purpose
CA5130	CMOS	±2.5 to ±8	110	5p	10	13.3	1	SE14	Logic compatible
CA5160	CMOS	±2 to ±8	102	2p	10	13.3	1		Logic compatible
EL2001	bipolar	±5 to ±15			70	±11	1	SE11	Video amplifier
EL2002	bipolar	±5 to ±15			180	±11	1	SE11	Video amplifier
EL2020	bipolar	±5 to ±15			8	±13	1	SE11	Video buffer
ICL7611	CMOS	±9	98	1p	1.6	±4.5	1	SE18	Low power
ICL7650	CMOS	±4 to ±16	150	1.5p	2.5	±4.85	1		Chopper stabilised
ICL7652	CMOS	±2 to ±8	150	15p	0.5	±4.85	1		Chopper stabilised
LF351	FET	±5 to ±18	110	50p	13	±13.5	1	SE4	General purpose
LF355	FET	±4 to ±18	106	30p	5	±13	1	SE8	General purpose
LF441	FET	±5 to ±18	100	10p	1	±13	1	SE4	FET input 741 replacement
LF13741	FET	±5 to ±18	100	50p	0.5	±13	1	SE4	FET input 741 replacement
LM101	bipolar	±5 to ±18	88	75n	0.4	±13	1	SE20	Obsolete
LM201	bipolar	±5 to ±18	88	75n	0.4	±13	1	SE20	Obsolete
LM301	bipolar	±5 to ±18	88	250n	0.4	±13	1	SE20	Obsolete
LM308	bipolar	±5 to ±18	102	1.5n	0.2	±13	1	SE6	Low drift
LT1028	bipolar	±5 to ±20	150	±30n	15		1	SE17	High gain audio preamplifier
MAX438	FET	±3 to ±5	75	±2n	10	±3.6	1	SE5	Low power
MC1431	bipolar	±5	70				1	SE4	Obsolete
MC33171	FET	±1 to ±22	114	20n	2.1	±14.2	1	SE5	High performance



နောက်ဆက်တွဲ(၂) Operational Amplifier Data

ရာစုသစ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်

Single Operational Amplifiers

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/ $\mu$ s)	Output voltage (V)	Number of devices per pack	Case style	Notes
MC5501	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		100n	18	$\pm 13$	1	SE4	General purpose equivalent to OP-01
MC5505	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	132	$\pm 3$ n	0.17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op. Amp equivalent to OP-05
MC5507	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	132	$\pm 2.2$ n	0.17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op. Amp equivalent to OP-07
NE530	bipolar	$\pm 15$ to $\pm 18$	88	80n	35	$\pm 15$	1	SE5	High slew rate
NE531	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 22$	96	400n	35	$\pm 15$	1	SE5	High slew rate
NE538	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 22$	96	80n	60	$\pm 15$	1	SE5	High slew rate
NE5205	bipolar	$\pm 1.8$ to $\pm 15$	20	n.a.	650		1	SE1	Video amplifier
NE5230	bipolar	$\pm 1.8$ to $\pm 15$				$\pm 14.9$	1	SE3	Low voltage supply
NE5533	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 20$	100	500n	13	$\pm 13.5$	1		Low noise
NE5534	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 20$	100	500n	15	$\pm 13.5$	1	SE9	Low noise
NE5539	bipolar	$\pm 8$ to $\pm 12$	52	5m	600	+2.7	1		Wide band
OP-01	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		100n	18	$\pm 13$	1	SE4	General purpose
OP-05	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	132	$\pm 3$ n	0.17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-07	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	132	$\pm 2.2$ n	0.17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-12	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		2n	0.12	$\pm 13$	1	SE2	Precision Op. Amp
OP-27	bipolar	$\pm 4$ to $\pm 18$	123	$\pm 15$ n	2.8	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-37	bipolar	$\pm 4$ to $\pm 18$	123	$\pm 15$ n	17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-42	FET	$\pm 20$	106	130p	50	$\pm 12.5$	1	SE22	Very high input impedance
OP-47	bipolar	$\pm 4$ to $\pm 18$	123	$\pm 15$ n	50	$\pm 13$	1	SE8	Decompensated OP-27
OP-77	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	135	1.2n	0.3	$\pm 13$	1	SE8	Improved OP-27
OP-177	bipolar	$\pm 22$	82	2n	0.3	$\pm 20$	1	SE8	Ultraprecision
RC3078	bipolar	$\pm 1$ to $\pm 15$					1	SE12	Very low power
RC5534	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 20$	100		13		1	SE16	Low noise
SL703	bipolar	$\pm 6$	70		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
SL704	bipolar	$\pm 6$	70		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
TLO61	FET	$\pm 3.5$ to $\pm 18$	76	30p	3.5	$\pm 13.5$	1	SE5	Low power
TLO71	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$	106	30p	13	$\pm 13.5$	1	SE5	Low noise
TLO81	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$	106	30p	13	$\pm 13.5$	1	SE5	General purpose
TLC251	FET	1 to 6	n.a.	1p	(10)		1	SE15	Programmable voltage gain
TLE2027	bipolar	$\pm 4$ to $\pm 22$	153	15n	2.8	$\pm 13$	1	SE8	High gain, low noise
TLE2037	bipolar	$\pm 4$ to $\pm 22$	153	15n		$\pm 13$	1	SE8	Decompensated TLE2027



နောက်ဆက်တွဲ(၂) Operational Amplifier Data

Dual Operational Amplifiers

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/ $\mu$ s)	Output voltage (V) (1)	Number of devices per pack	Case style	Notes
747	bipolar	$\pm 7$ to $\pm 18$	106	80n	0.5	$\pm 13$	2	TF2	Dual 741(7)
1458	bipolar	$\pm 2.5$ to $\pm 18$	104	200n	0.5	$\pm 13$	2	TE1	Dual 741
AD648	bipolar	$\pm 4.5$ to $\pm 18$	100	0.01n	1.8	$\pm 13$	2		Low power
AD712	FET	$\pm 4.5$ to $\pm 18$	100	25p	20	$\pm 13$	2	TE1	High speed
CA3240	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 18$	100	5p	9	13	2	TE1	Dual CA3140
CA3260	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 8$	110	5p	10	13.3	2	TE1	Dual CA3160
CA5260	CMOS	$\pm 2.25$ to $\pm 8$	80	2p	8	4.7	2		Logic compatible
EL2232	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$			10	$\pm 13$	2	TE1	Video amplifier
LF353	FET	$\pm 5$ to $\pm 18$	110	50p	13	$\pm 13.5$	2	TE1	General purpose
LF442	FET	$\pm 5$ to $\pm 18$	100	10p	1	$\pm 13$	2	TE1	FET input 1458 replacement
LM358	bipolar	3 to 32	100	40n	0.6	28	2	TE1	Low noise
LM833	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$	110	500n	7	$\pm 13.5$	2	TE1	Audio preamplifier
LM13700	bipolar	$\pm 2$ to $\pm 18$	n.a.	400n	50		2		Transconductance amp
MAX492		2.4 to 6	108	$\pm 25$ n	0.2	$V_s - 0.15$	2	TE1	Rail-to-rail
MC33078	FET	$\pm 5$ to $\pm 18$	110	300n	7	$\pm 13$	2	TE1	High performance
MC33172	FET	$\pm 1$ to $\pm 22$	114	20n	2.1	$\pm 14.2$	2	TE1	High performance
MP5510	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		$\pm 7$ n	0.17	$\pm 13$	2	TF1	Precision Op. Amp equivalent to OP-10
NE532	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 32$	100	150n			2	TE1	Low power
NE5512	bipolar	$\pm 1.5$ to $\pm 16$	106	8n	1		2	TE1	General purpose
NE5517	bipolar	$\pm 18$		500n	50		2		Transconductance amplifier
NE5532	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 20$	100	200n	9	$\pm 13$	2	TE1	Low noise
NE5535	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 20$	100	500n	13	$\pm 13.5$	2	TE1	High slew rate
OP-10	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		$\pm 7$ n	0.17	$\pm 13$	2	TF1	Precision Op. Amp
OP-207	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		7n	0.2	$\pm 13$	2	TF1	General purpose
OP-227	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		$\pm 8$ n	2.8	$\pm 13$	2	TF1	General purpose
RC2041	bipolar				3	$\pm 10$	2	TE1	
RC2043	bipolar				6	$\pm 10$	2	TE1	
RC4227	bipolar	$\pm 4$ to $\pm 18$	118	$\pm 7.5$ n	2.8	$\pm 13$	2	TE1	Dual OP-27
RC4556	bipolar					$\pm 10.5$	2		High output current
RC4558	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 15$	85	150n	1.7	$\pm 13$	2	TE1	High gain
RC4559	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	110	40n	2	$\pm 13$	2	TE1	General purpose
RC4560	bipolar				4	$\pm 10$	2	TE1	Wideband amplifier
RC4562	bipolar				4	$\pm 10$	2		Wideband amplifier
RC4739	bipolar						2		Replace $\mu$ A739 and MC1303
RC5532	bipolar		94		8		2	TE1	Low noise
RM4558	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 22$	85	150n	1.7	$\pm 13$	2	TE1	High gain
RM4559	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 22$			2	$\pm 13$	2	TE1	
TLO8	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$	106	30p	13	$\pm 13.5$	2		General purpose
TLO22	FET	$\pm 2$ to $\pm 18$			0.5	$\pm 13.5$	2	TE1	Low power
TLO62	FET	$\pm 3.5$ to $\pm 18$	76	30p	3.5	$\pm 13.5$	2	TE1	Low power
TLO72	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$	106	30p	13	$\pm 13.5$	2	TE1	Low noise
TLO82	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$	106	30p	13	$\pm 13.5$	2	TE1	General purpose
TLO92	FET	$\pm 2$ to $\pm 18$		30p	0.6	$\pm 13.5$	2	TE1	Single supply
TL287	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$		30p	13	$\pm 13.5$	2	TE1	Low offset
TL288	FET	$\pm 3$ to $\pm 18$		30p	13	$\pm 13.5$	2	TE1	General purpose



Quad Operational Amplifiers

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/μs)	Output voltage (V) (1)	Number of devices per pack	Case style	Notes
ICL7641	CMOS	±9	98	1p	1.6	±4.5	4	VF1	Low power
ICL7642	CMOS	±9	98	1p	1.6	±4.5	4	VF1	Low power
LF347	FET	±5 to ±18	110	50p	13	±13.5	4	VF1	General purpose
LF444	FET	±5 to ±18	100	10p	1	±13	4	VF1	FET input 3403 replacement
LM124	bipolar	3 to 32	100	45n		28	4	VF1	General purpose
LM224	bipolar	3 to 32	100	45n		28	4	VF1	General purpose
LM324	bipolar	3 to 32	100	45n		28	4	VF1	General purpose
LM348	bipolar	±10 to ±18	96	30n	0.6	28	4	VF1	General purpose
LM837	bipolar	±5 to ±15	110	500n	10	±13.5	4	VF1	General purpose
LM2900	bipolar		n.a.		2.5		4	VF3	Audio preamplifier
LM2902	bipolar				1		4	VF1	Transconductance amplifier
LM3900	bipolar	±2 to ±16	n.a.		2.5		4	VF3	General purpose Transconductance amplifier
MC33079	FET	±5 to ±15	110	300n	7	±13	4	VF1	High performance
MC33174	FET	±1 to ±22	114	20n	2.1	±14.2	4	VF1	High performance
MC3403	bipolar	±3 to ±36			0.6	±13.5	4	VF1	General purpose
MP5509	bipolar	±3 to ±18		500n	1.0	±13	4	VF2	Precision Op Amp equivalent to OP-09
MP5511	bipolar	±3 to ±18		500n	1.0	±13	4	VF1	Precision Op Amp equivalent to OP-11
NE5514	bipolar	±6	90	8n	1		4	VF1	General purpose
OP-09	bipolar	±3 to ±18		500n	1.0	±13	4	VF2	Precision Op Amp
OP-11	bipolar	±3 to ±18		500n	1.0	±13	4	VF1	Precision Op Amp
OP-470	bipolar	±5 to ±18	120	25n	2	±13	4	VF1	Quad OP-27
RC3403	bipolar	±1.5 to ±18			1.2	±13	4	VF1	Ground sensing
RC4136	bipolar	±5 to ±18	106	80n	0.5	±13	4	VF2	Quad 741 equiv.
RC4156	bipolar	±5 to ±18			1.6	±13	4	VF1	Quad 741 replacement
RC4157	bipolar			50n	8		4	VF1	High speed Quad 741 replacement
RM4157	bipolar			30n	8		4	VF1	High speed Quad 741 replacement
TLO44	FET	±3.5 to ±18			0.5	±13.5	4	VF1	Low power
TLO64	FET	±3.5 to ±18	76	30p	3.5	±13.5	4	VF1	Low power
TLO74	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	4	VF1	Low noise
TLO84	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	4	VF1	General purpose



Bipolar Operational Amplifiers

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/ $\mu$ s)	Output voltage (V) (1)	Number of devices per pack	Case style	Notes
702	bipolar	+12/-6	68				1		Obsolete (7)
709	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	94	300n	0.25	$\pm 13$	1	SE13	General purpose
741	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	106	80n	0.5	$\pm 13$	1	SE5	General purpose (7)
741S	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	100	200n	20	$\pm 13$	1	SE5	High speed 741 replacement
747	bipolar	$\pm 7$ to $\pm 18$	106	80n	0.8	$\pm 13$	2	TF2	Dual 741 (7)
748	bipolar	$\pm 7$ to $\pm 18$	106	80n	0.8	$\pm 13$	1	SE20	Non-compensated 741
759	bipolar	$\pm 3.5$ to $\pm 18$	106	50n	0.5	$\pm 12.5$	1		Power Op. Amp
1458	bipolar	$\pm 2.5$ to $\pm 18$	104	200n	0.5	$\pm 13$	2	TE1	Dual 741
AD548	bipolar	$\pm 4.5$ to $\pm 18$	100	0.01n	1.8	$\pm 13$	1		Low power
AD648	bipolar	$\pm 4.5$ to $\pm 18$	100	0.01n	1.8	$\pm 13$	1		Low power
CA3008	bipolar	$\pm 6$	60		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3010	bipolar	$\pm 6$	60		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3015	bipolar	$\pm 6$	60		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3016	bipolar	$\pm 6$	60		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3029	bipolar	$\pm 6$	60		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3030	bipolar	$\pm 6$	70		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3031	bipolar	$\pm 6$	70		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3032	bipolar	$\pm 6$	70		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3033	bipolar	$\pm 6$	90		1.7	$\pm 5.5$	1		Obsolete
CA3037	bipolar	$\pm 12$	60		1.7	$\pm 11$	1		Obsolete
CA3038	bipolar	$\pm 12$	70		1.7	$\pm 11$	1		Obsolete
CA3047	bipolar	$\pm 12$	90		1.7	$\pm 11$	1		Obsolete
CA3080	bipolar	$\pm 12$ to $\pm 15$		400n	50		1	SE21	Transconductance amp
EL2001	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$			70 (9)	$\pm 11$	1	SE11	Video amplifier
EL2002	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$			180(9)	$\pm 11$	1	SE11	Video amplifier
EL2020	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$			8 (9)	$\pm 13$	1	SE11	Video buffer
EL2232	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$			10 (9)	$\pm 13$	2	TE1	Video amplifier
LM101	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	88	75n	0.4	$\pm 13$	1	SE20	Obsolete
LM124	bipolar	3 to 32	100	45n		28	4	VF1	General purpose
LM201	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	88	75n	0.4	$\pm 13$	1	SE20	Obsolete
LM224	bipolar	3 to 32	100	45n		28	4	VF1	General purpose
LM301	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	88	250n	0.4	$\pm 13$	1	SE20	Obsolete
LM308	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 18$	102	1.5n	0.2	$\pm 13$	1	SE6	Low drift
LM324	bipolar	3 to 32	100	45n		28	4	VF1	General purpose
LM348	bipolar	$\pm 10$ to $\pm 18$	96	30n	0.6	28 (3)	4	VF1	General purpose
LM358	bipolar	3 to 30	100	40n	0.6	28 (3)	2	TE1	Low noise
LM833	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$	110	500n	7	$\pm 13.5$	2	TE1	Audio amplifier
LM837	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 15$	110	500n	10	$\pm 13.5$	4	VF1	Audio amplifier
LM2900	bipolar		n.a.		2.5 (9)		4	VF3	Transconductance amp
LM2902	bipolar				1 (9)		4	VF1	General purpose
LM3900	bipolar	$\pm 2$ to $\pm 16$	n.a.		2.5 (9)		4	VF3	Transconductance amp
LM13700	bipolar	$\pm 2$ to $\pm 18$	n.a.	400n	50		2		Transconductance amp
LT1028	bipolar	$\pm 5$ to $\pm 20$	150	$\pm 30$ n	15		1	SE17	High gain audio amp
MC1431	bipolar	$\pm 5$	70				1	SE4	Obsolete
MC3403	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 36$			0.6	$\pm 13.5$	4	VF1	General purpose
MP5501	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$		100n	18	$\pm 13$	1	SE4	General purpose equivalent to OP-01
MP5505	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	132	$\pm 3$ n	0.17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op Amp equivalent to OP-05
MP5507	bipolar	$\pm 3$ to $\pm 18$	132	$\pm 2.2$ n	0.17	$\pm 13$	1	SE8	Precision Op Amp equivalent to OP-07



**Bipolar Operational Amplifiers**

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/μs)	Output voltage (V)	Number of devices per pack	Case style	Notes
MP5509	bipolar	±3 to 18		500n	1.0	±13	4	VF2	Precision Op Amp equivalent to OP-09
MP5510	bipolar	±3 to 18		±7n	0.17	±13	2	TF1	Precision Op Amp equivalent to OP-10
MP5511	bipolar	±3 to 18		500n	1.0	±13	4	VF1	Precision Op Amp equivalent to OP-11
NE530	bipolar	±15 to ±18	88	80n	35	±15	1	SE5	High slew rate
NE531	bipolar	±5 to ±22	96	400n	35	±15	1	SE5	High slew rate
NE532	bipolar	±3 to ±32	100	150n			2	TE1	Low power
NE538	bipolar	±5 to ±22	96	80n	60	±15	1	SE5	High slew rate
NE5205	bipolar	±1.8 to ±15	20	n.a.	650		1	SE1	Video amplifier
NE5230	bipolar	±1.8 to ±15				±14.9	1	SE3	Low voltage supply
NE5512	bipolar	±1.5 to ±16	106	8n	1		2	TE1	General purpose
NE5514	bipolar	±16	90	8n	1		4	VF1	General purpose
NE5517	bipolar	±18		500n	50		2		Transconductance amp.
NE5532	bipolar	±3 to ±20	100	200n	9	±13	2	TE1	Low noise
NE5533	bipolar	±3 to ±20	100	500n	13	±13.5	1		Low noise
NE5534	bipolar	±3 to ±20	100	500n	15	±13.5	1	SE9	Low noise
NE5535	bipolar	±3 to ±20	100	500n	13	±13.5	2	TE1	High slew rate
NE5539	bipolar	±8 to ±12	52	5m	600	+2.7	1		Wideband amplifier
OP-01	bipolar	±3 to ±18		100n	18	±13	1	SE4	General purpose
OP-05	bipolar	±3 to ±18	132	±3n	0.17	±13	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-07	bipolar	±3 to ±18	132	±2.2n	0.17	±13	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-09	bipolar	±3 to ±18		500n	1.0	±13	4	VF2	Precision Op Amp
OP-10	bipolar	±3 to ±18		±7n	0.17	±13	2	TF1	Precision Op. Amp
OP-11	bipolar	±3 to ±18		500n	1.0	±13	4	VF1	Precision Op Amp
OP-12	bipolar	±3 to ±18		2n	0.12	±13	1	SE2	Precision Op. Amp
OP-27	bipolar	±4 to ±18	123	±15n	2.8	±13	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-37	bipolar	±4 to ±18	123	±15n	17	±13	1	SE8	Precision Op. Amp
OP-47	bipolar	±4 to ±18	123	±15n	50	±13	1	SE8	Decompensated OP-27
OP-77	bipolar	±3 to ±18	135	1.2n	0.3	±13	1	SE8	Improved OP-27
OP-177	bipolar	±22	82	2n	0.3	±20	1	SE8	Ultraprecision
OP-207	bipolar	±3 to ±18		7n	0.2	±13	2	TF1	General purpose
OP-227	bipolar	±3 to ±18		±8n	2.8	±13	2	TF1	General purpose
OP-470	bipolar	±5 to ±18	120	25n	2	±13	4	VF1	Quad OP-27
RC2041	bipolar				3	±10	2	TE1	
RC2043	bipolar				6	±10	2	TE1	
RC3078	bipolar	±1 to ±15					1	SE12	Very low power
RC3403	bipolar	±1.5 to ±18			1.2	±13	4	VF1	Ground sensing
RC4136	bipolar	±5 to ±18	106	80n	0.5	±13	4	VF2	Quad 741 equiv.
RC4156	bipolar	±5 to ±18			1.6	±13	4	VF1	Quad 741 replacement
RC4157	bipolar			50n	8		4	VF1	High speed Quad 741 replacement
RC4227	bipolar	±4 to ±18	118	±7.5n	2.8	±13	2	TE1	Dual OP-27
RC4556	bipolar					±10.5	2		High output current
RC4558	bipolar	±3 to ±15	85	150n	1.7	±13	2	TE1	High gain
RC4559	bipolar	±3 to ±18	110	40n	2	±13	2	TE1	General purpose
RC4560	bipolar				4	±10	2	TE1	Wideband amplifier
RC4562	bipolar				4	±10	2		Wideband amplifier
RC4739	bipolar						2		Replace μA739 and MC1303
RC5532	bipolar		94		8		2	TE1	Low noise
RC5534	bipolar	±3 to ±20	100		13		1	SE16	Low noise



နောက်ဆက်တွဲ(၂) Operational Amplifier Data

ရာစုသစ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်

RM4157	bipolar			30n	8		4	VF1	High speed Quad 741 replacement
RM4558	bipolar	±3 to ±22	85	150n	1.7	±13	2	TE1	High gain
RM4559	bipolar	±3 to ±22			2	±13	2	TE1	
SL703	bipolar	±6	70		1.7	±5.5	1		Obsolete
SL704	bipolar	±6	70		1.7	±5.5	1		Obsolete
TLE2027	bipolar	±4 to ±22	153	15n	2.8	±13	1	SE8	High gain, low noise
TLE2037	bipolar	±4 to ±22	153	15n		±13	1	SE8	Decompensated TLE2027

FET Operational Amplifiers

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/μs)	Output voltage (V) (1)	Number of devices per pack	Case style	Notes
AD711	FET	±4.5 to ±18	100	25p	20	±13	1		High speed
AD712	FET	±4.5 to ±18	100	25p	20	±13	2		High speed
LF347	FET	±5 to ±18	110	50p	13	±13.5	4	VF1	General purpose
LF351	FET	±5 to ±18	110	50p	13	±13.5	1	SE4	General purpose
LF353	FET	±5 to ±18	110	50p	13	±13.5	2	TE1	General purpose
LF355	FET	±4 to ±18	106	30p	5	±13	1	SE8	General purpose
LF441	FET	±5 to ±18	100	10p	1	±13	1	SE4	FET input 741 replacement
LF442	FET	±5 to ±18	100	10p	1	±13	2	TE1	FET input 1458 replacement
LF444	FET	±5 to ±18	100	10p	1	±13	4	VF1	FET input 3403 replacement
LF13741	FET	±5 to ±18	100	50p	0.5	±13	1	SE4	FET input 741 replacement
MAX438	FET	±3 to ±5	75	±2n	10	±3.6	1	SE5	Low power
MC33078	FET	±5 to ±18	110	300n	7	±13	2	TE1	High performance
MC33079	FET	±5 to ±15	110	300n	7	±13	4	VF1	High performance
MC33171	FET	±1 to ±22	114	20n	2.1	±14.2	1	SE5	High performance
MC33172	FET	±1 to ±22	114	20n	2.1	±14.2	2	TE1	High performance
MC33174	FET	±1 to ±22	114	20n	2.1	±14.2	4	VF1	High performance
OP-42	FET	±20	106	130p	50	±12.5	1	SE22	Very high input impedance
TLO8	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	2		General purpose
TLO22	FET	±2 to ±18			0.5	±13.5	2	TE1	Low power
TLO44	FET	±3.5 to ±18			0.5	±13.5	4	VF1	Low power
TLO61	FET	±3.5 to ±18	76	30p	3.5	±13.5	1	SE5	Low power
TLO62	FET	±3.5 to ±18	76	30p	3.5	±13.5	2	TE1	Low power
TLO64	FET	±3.5 to ±18	76	30p	3.5	±13.5	4	VF1	Low power
TLO71	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	1	SE5	Low noise
TLO72	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	2	TE1	Low noise
TLO74	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	4	VF1	Low noise
TLO81	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	1	SE5	General purpose
TLO82	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	2	TE1	General purpose
TLO84	FET	±3 to ±18	106	30p	13	±13.5	4	VF1	General purpose
TLO92	FET	±2 to ±18		30p	0.6	±13.5	2	TE1	Single supply
TL287	FET	±3 to ±18		30p	13	±13.5	2	TE1	Low offset
TL288	FET	±3 to ±18		30p	13	±13.5	2	TE1	General purpose
TLC251	FET	1 to 6	n.a.	1p	(10)		1	SE15	Programmable voltage gain



**CMOS Operational Amplifiers**

Device	Type	Supply voltage range (V)	Open loop voltage gain (dB)	Input bias current (A)	Slew rate (V/ $\mu$ s)	Output voltage (V)	Number of devices per pack	Case style	Notes
CA3130	CMOS	$\pm 3$ to $\pm 8$	110	5p	10	13	1	SE14	General purpose
CA3140	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 18$	100	5p	9	13	1	SE14	General purpose
CA3160	CMOS	5 to 16	110	5p	10	13.3	1		General purpose
CA3240	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 18$	100	5p	9	13	2	TE1	Dual CA3140
CA3260	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 8$	110	5p	10	13.3	2	TE1	Dual CA3160
CA5130	CMOS	$\pm 2.5$ to $\pm 8$	110	5p	10	13.3	1	SE14	Logic compatible
CA5160	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 8$	102	2p	10	13.3	1		Logic compatible
CA5260	CMOS	$\pm 2.25$ to $\pm 8$	80	2p	8	4.7	2		Logic compatible
ICL7611	CMOS	$\pm 9$	98	1p	1.6	$\pm 4.5$	1	SE18	Low power
ICL7641	CMOS	$\pm 9$	98	1p	1.6	$\pm 4.5$	4	VF1	Low power
ICL7642	CMOS	$\pm 9$	98	1p	1.6	$\pm 4.5$	4	VF1	Low power
ICL7650	CMOS	$\pm 4$ to $\pm 16$	150	1.5p	2.5	$\pm 4.85$	1		Chopper stabilised
ICL7652	CMOS	$\pm 2$ to $\pm 8$	150	15p	0.5	$\pm 4.85$	1		Chopper stabilised

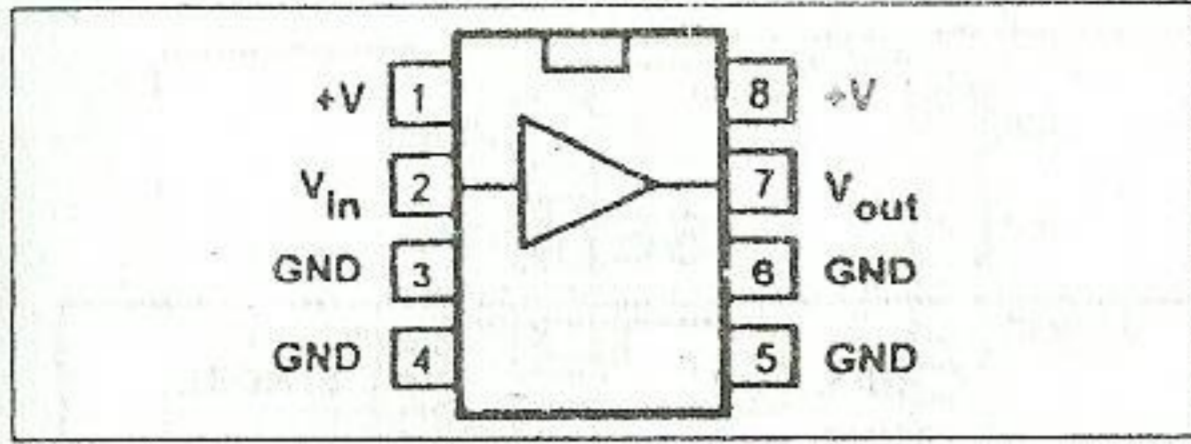
**Notes**

1. Measured with supplies of 15V (or  $\pm 15V$ )
2. Measured with supplies of 5V (or  $\pm 5V$ )
3. Measured with supplies of 30V
4. Measured with supplies of  $\pm 8V$
5. The first one or two letters of the device code are the manufacturer's prefix. Common examples are:
  - AD = Analog Devices
  - CA = RCA, Harris
  - EL = Elantec
  - HA = Harris
  - LM = National Semiconductor, Texas Instrument
  - LT = Linear Technology
  - MC = Motorola, SGS Thomson
  - MP = Micropower Systems
  - NE = Signetics
  - OP = Analog Devices, Raytheon, Burr Brown
  - RC = Raytheon
  - SE = Philips
  - SL = GEC Plessey
  - TL = Texas Instruments
6. A variant suffix (normally the first of two or more letters following the device code) is sometimes used to specify devices selected for different characteristics, e.g., offset voltage, bias current, etc.
7. A package suffix (normally the last letter of the device code) is usually added to indicate the type of package. The following letters are commonly used:
  - DE = dual-in-line (DIL)
  - N = 14-pin dual-in-line (DIL)
  - NB = dual-in-line (DIL)
  - P = 8-pin plastic dual-in-line (MINIDIP)
  - J = TO99
  - T = TO99
  - Y = 14-pin ceramic dual-in-line (CERDIP)
  - Z = 8-pin ceramic dual-in-line (CERDIP)
8. A number of manufacturers have produced the 700-series operational amplifiers. The following device, for example, are all similar and interchangeable.  
SN72709 (Texas), MIC709 (STC), RC709 (Raytheon),  $\mu$ a709 (Texas)
9. -3dB bandwidth (MHz)
10. Unity gain bandwidth (MHz)
11. Depends on gain setting

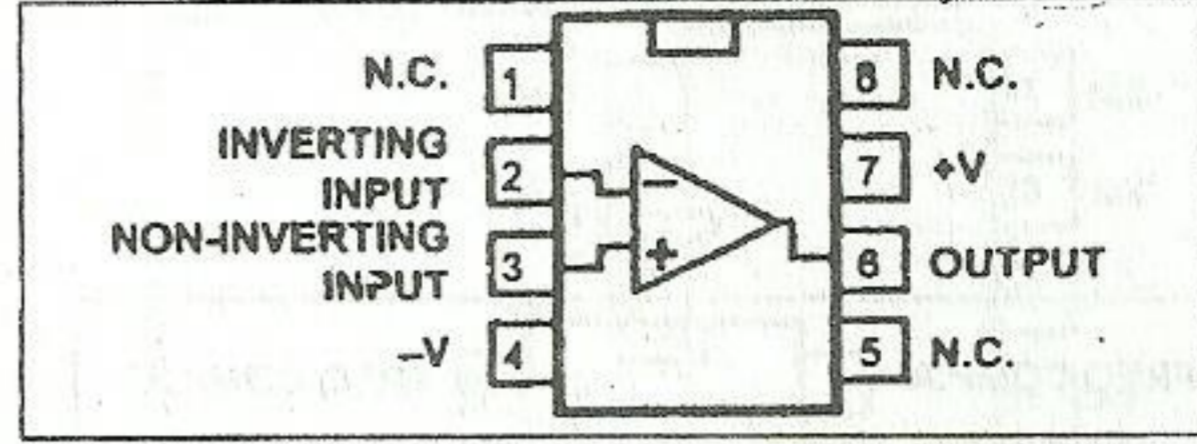


# Operational Amplifier Outlines and Pinouts

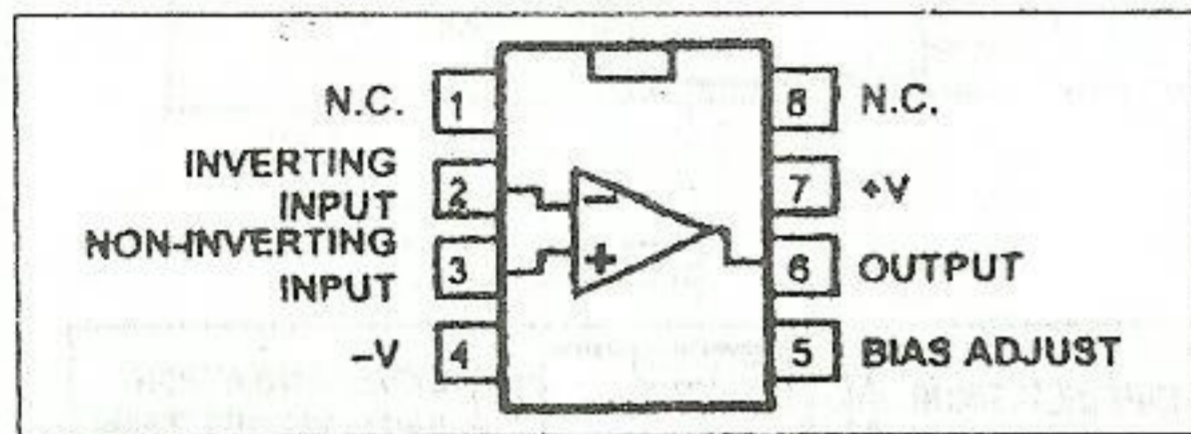
SE1



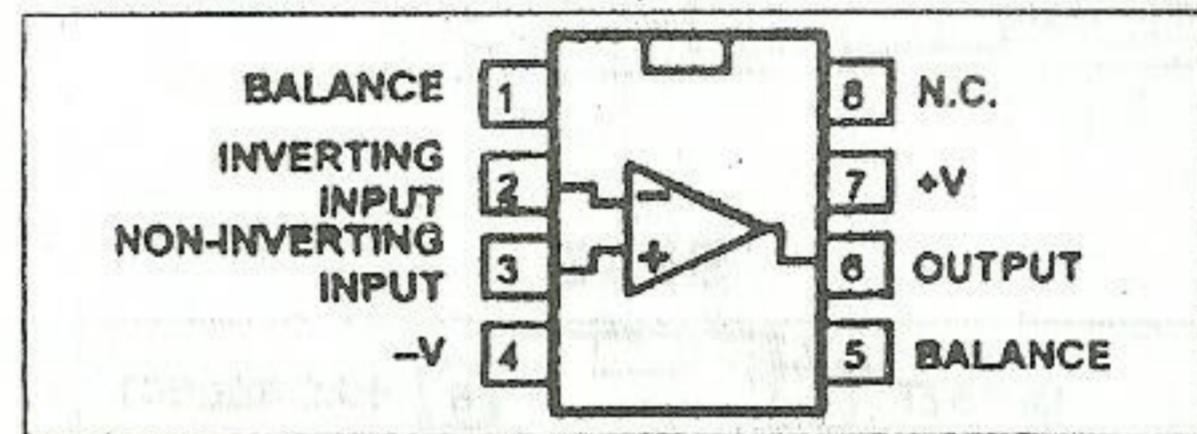
SE2



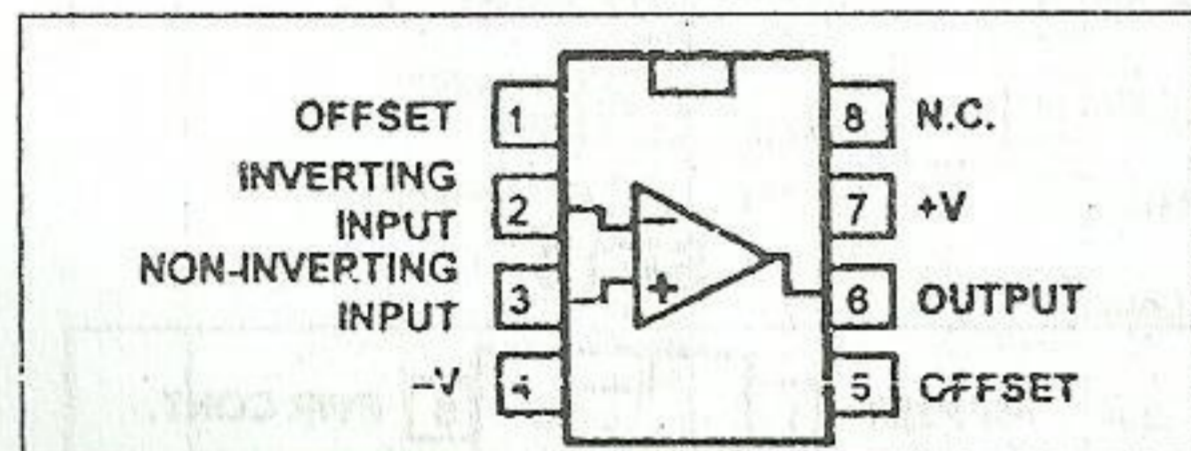
SE3



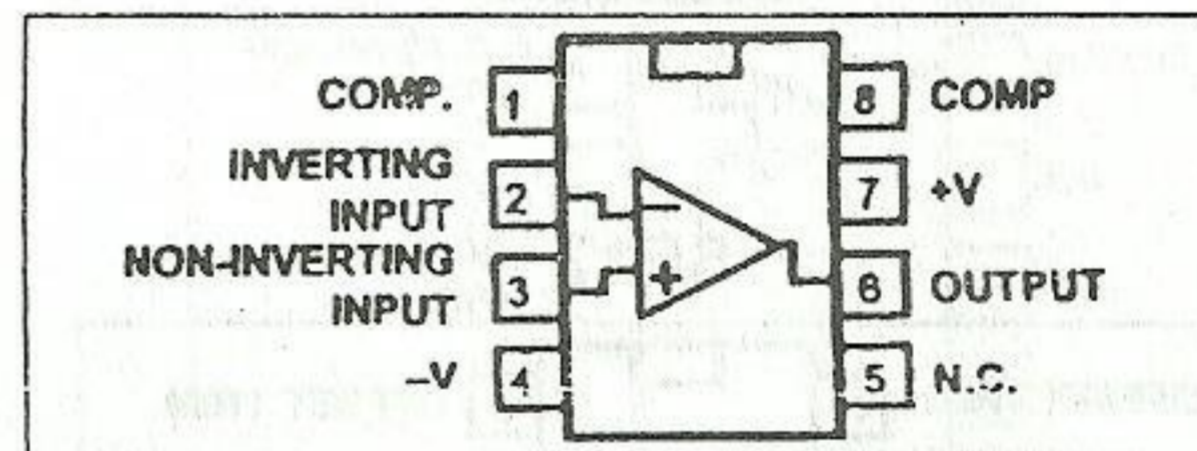
SE4



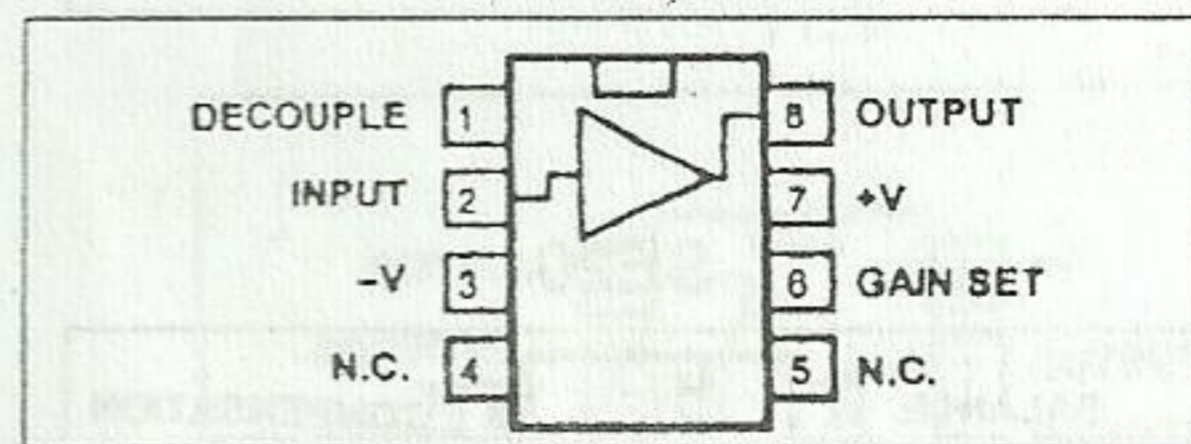
SE5



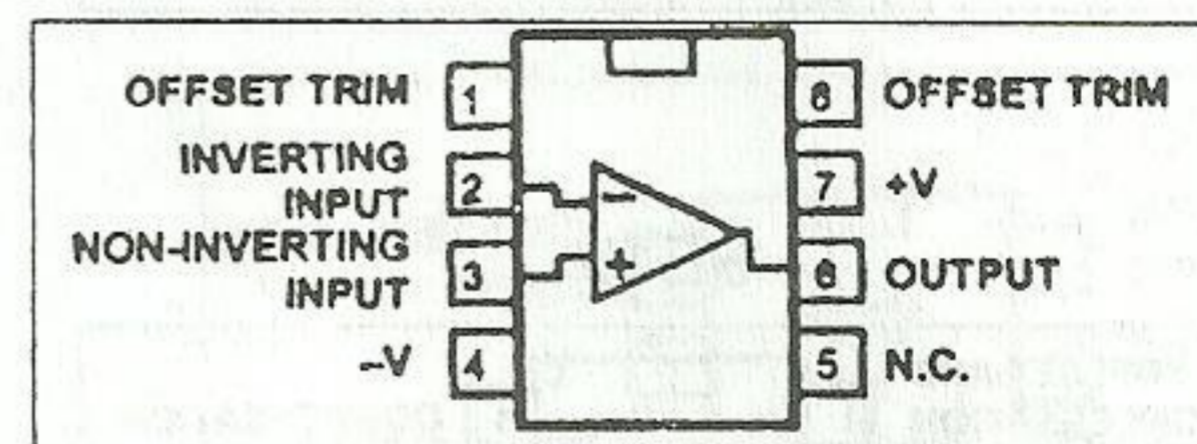
SE6



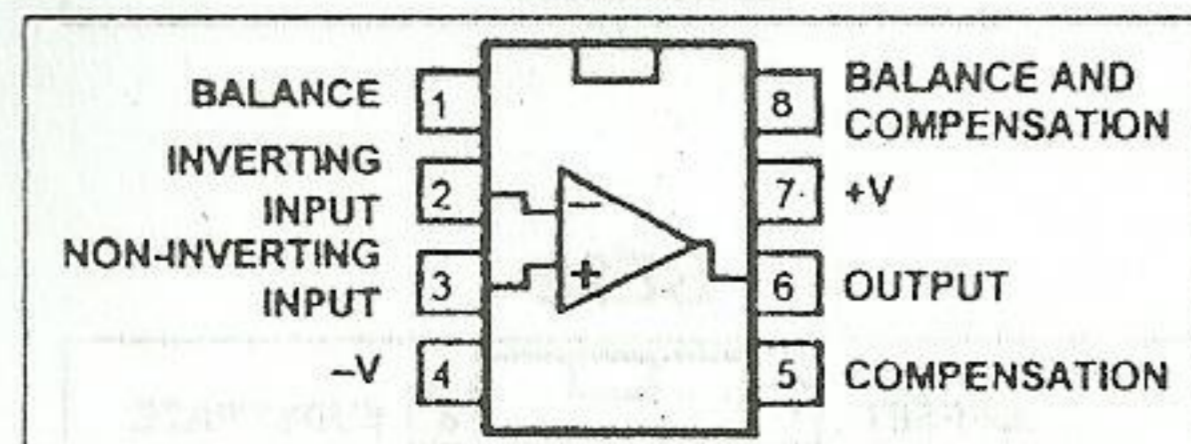
SE7



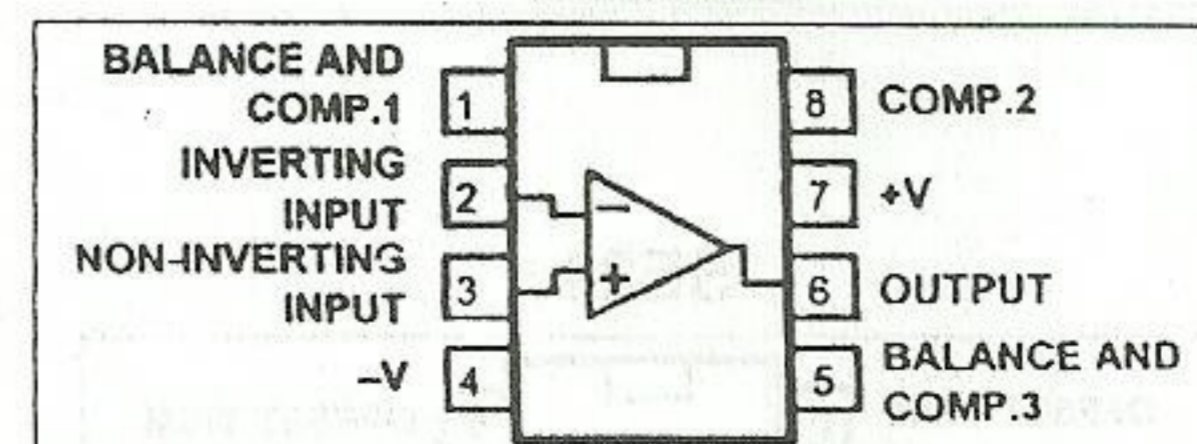
SE8



SE9



SE10

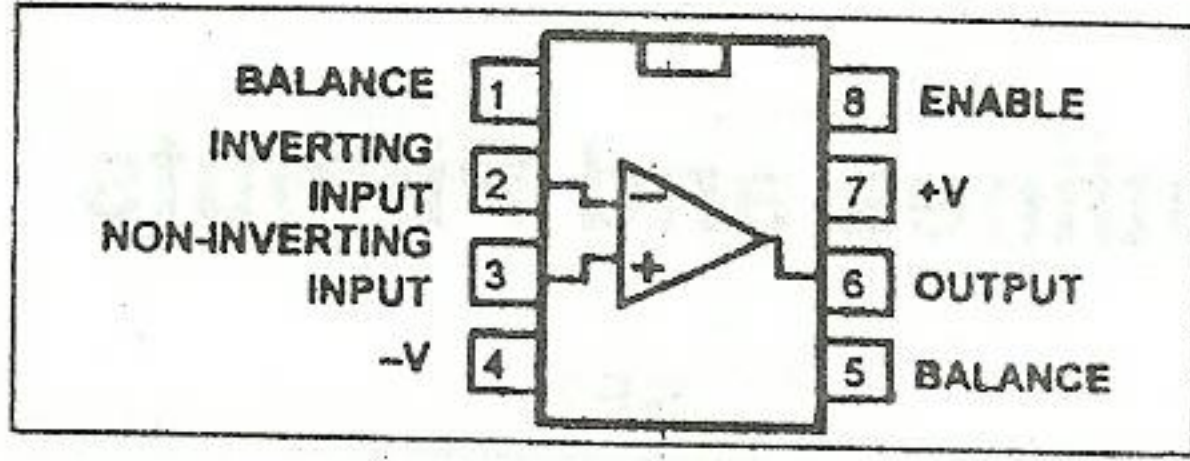




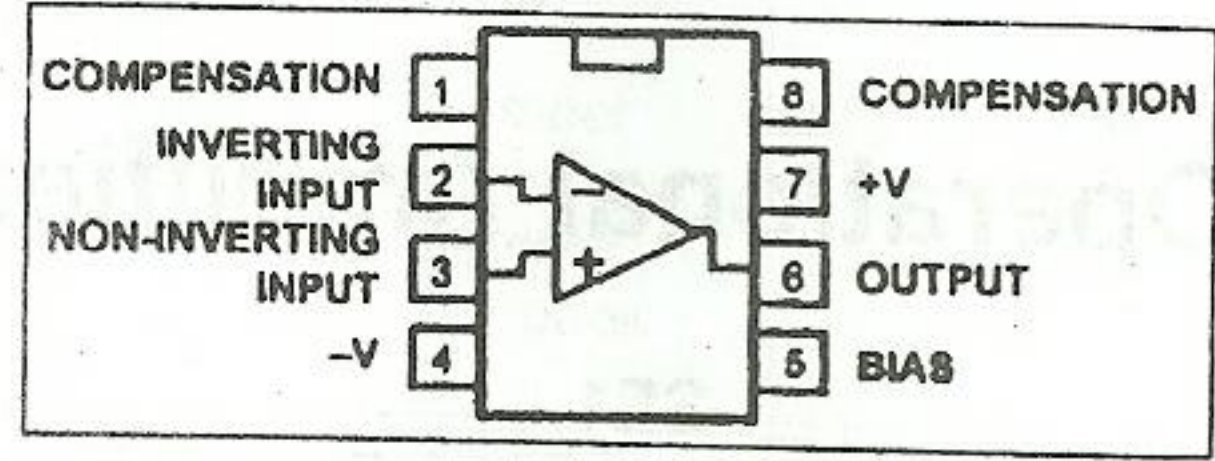
အောက်ဆက်တွဲ(၂) Operational Amplifier Data

ရာဇသတ် အခြေခံအီလက်ထရွန်းနစ်

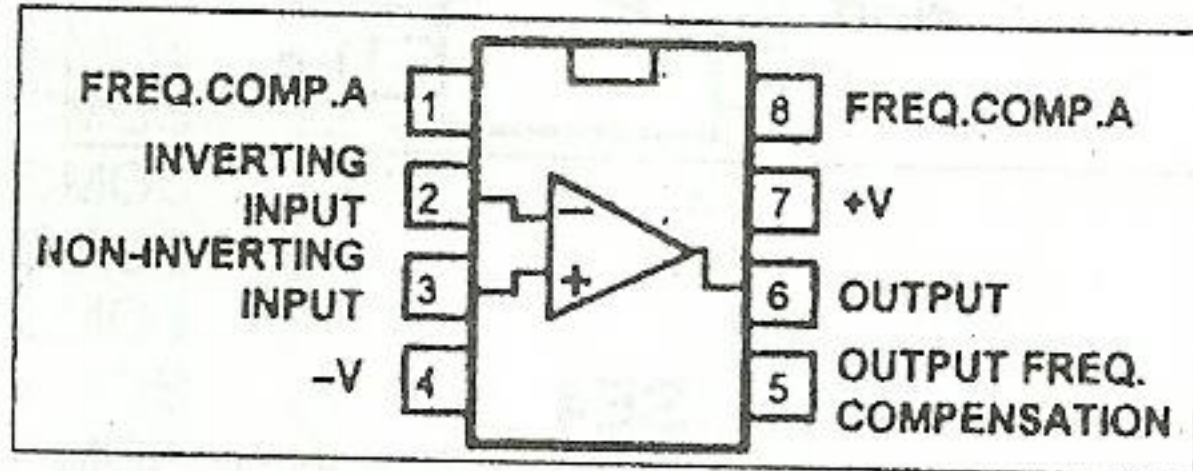
SE11



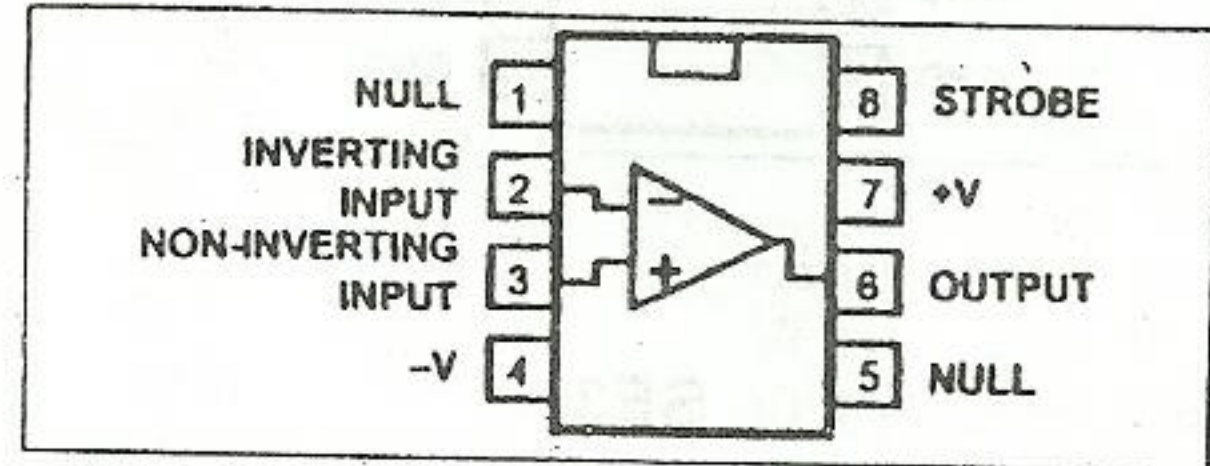
SE12



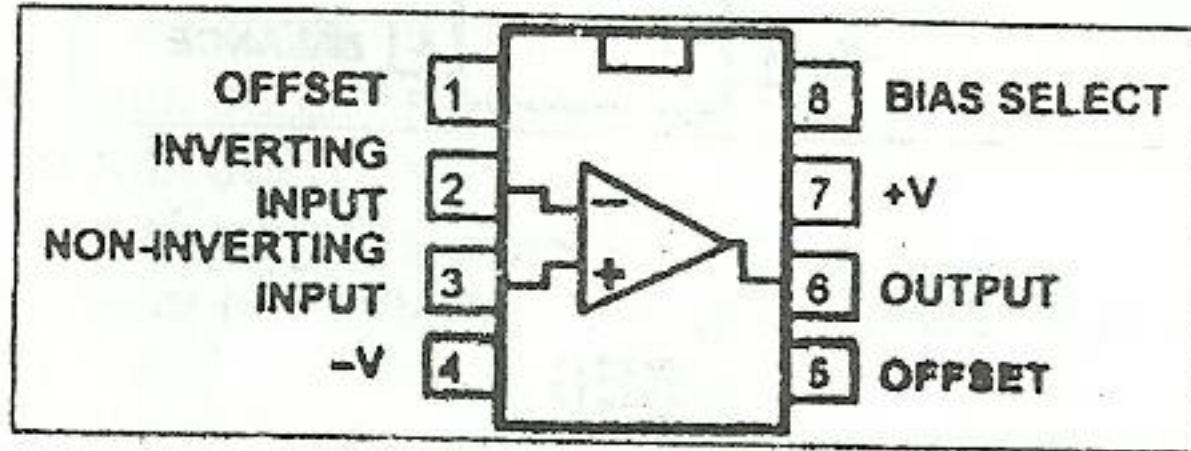
SE13



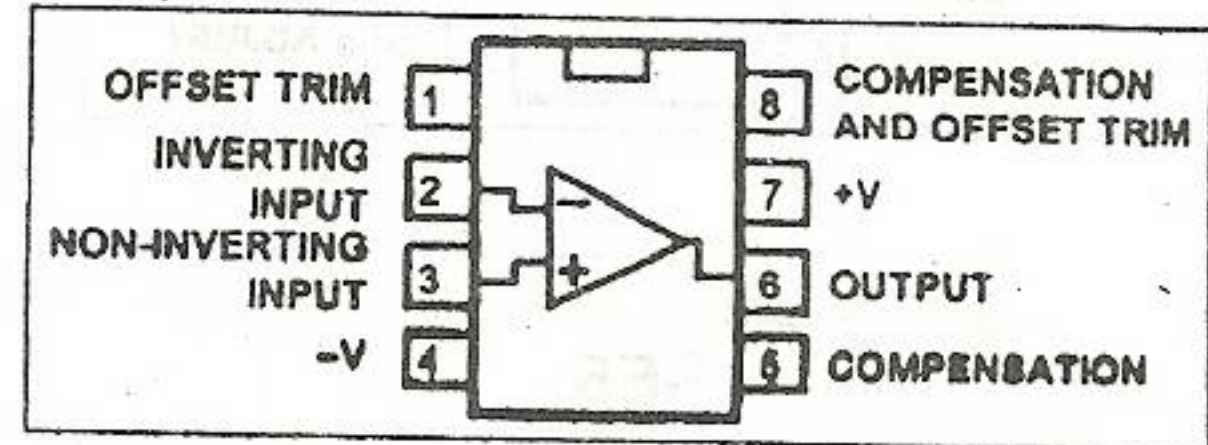
SE14



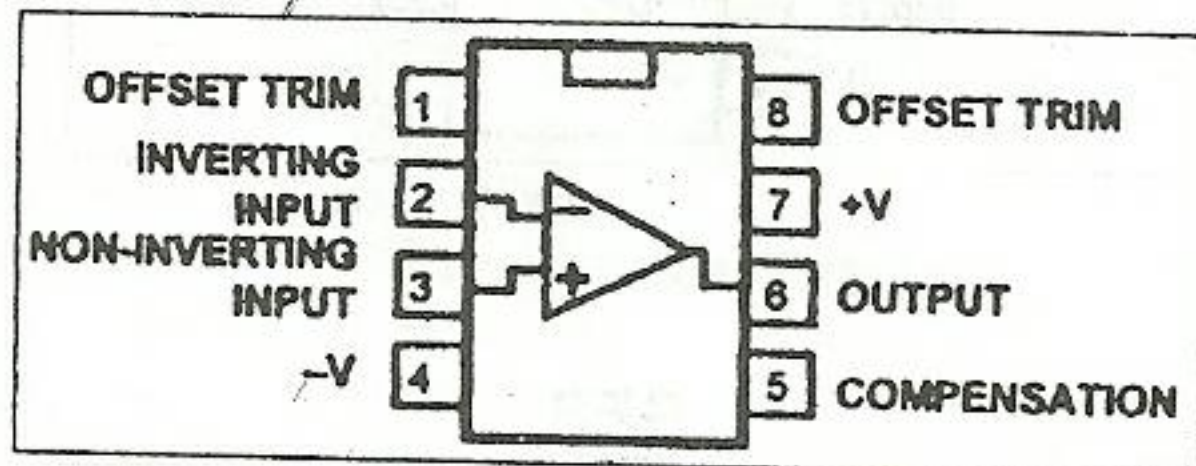
SE15



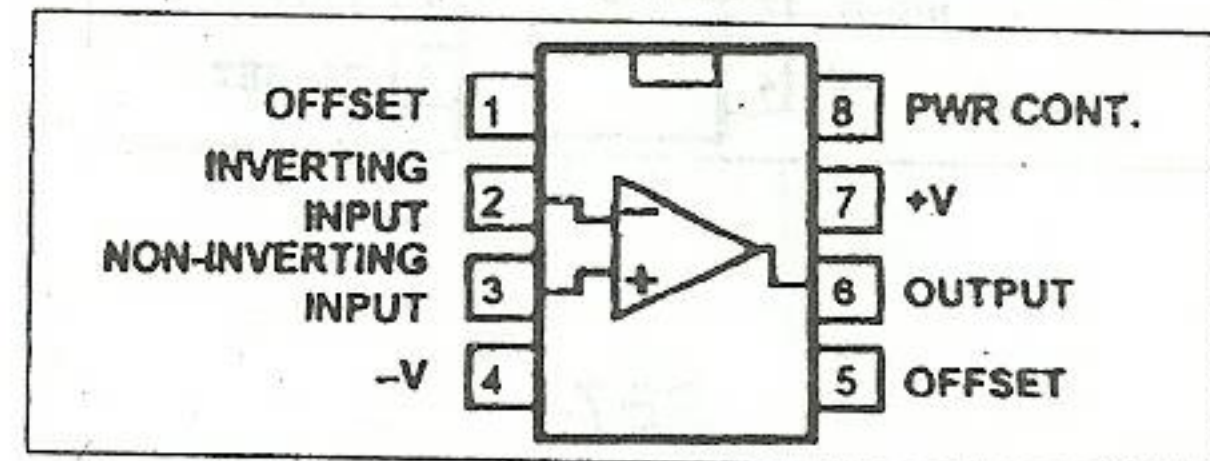
SE16



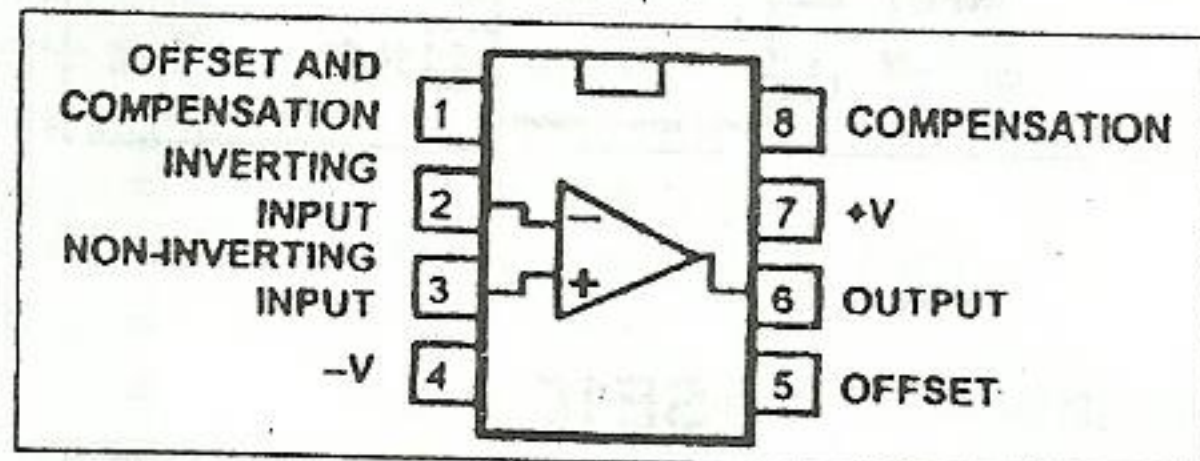
SE17



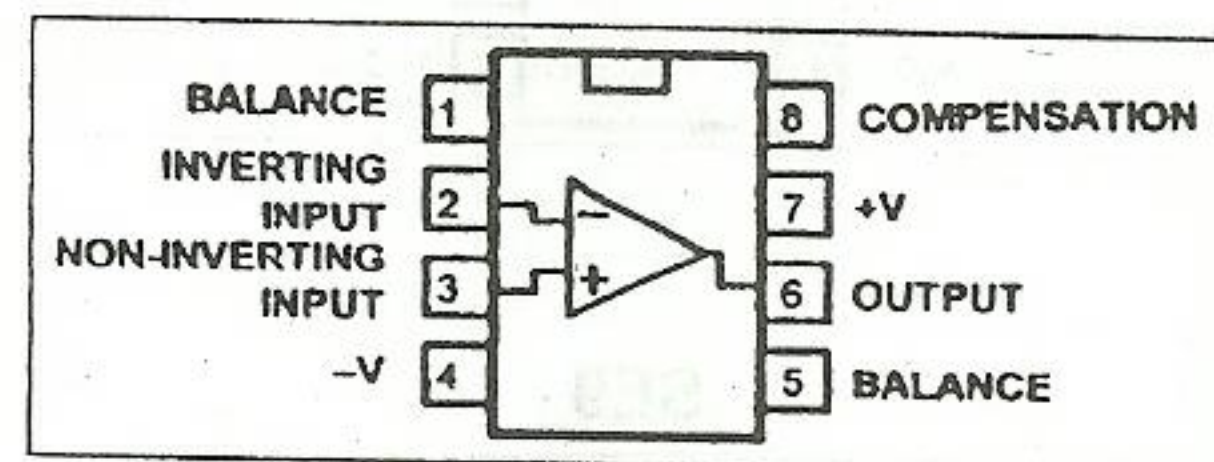
SE18



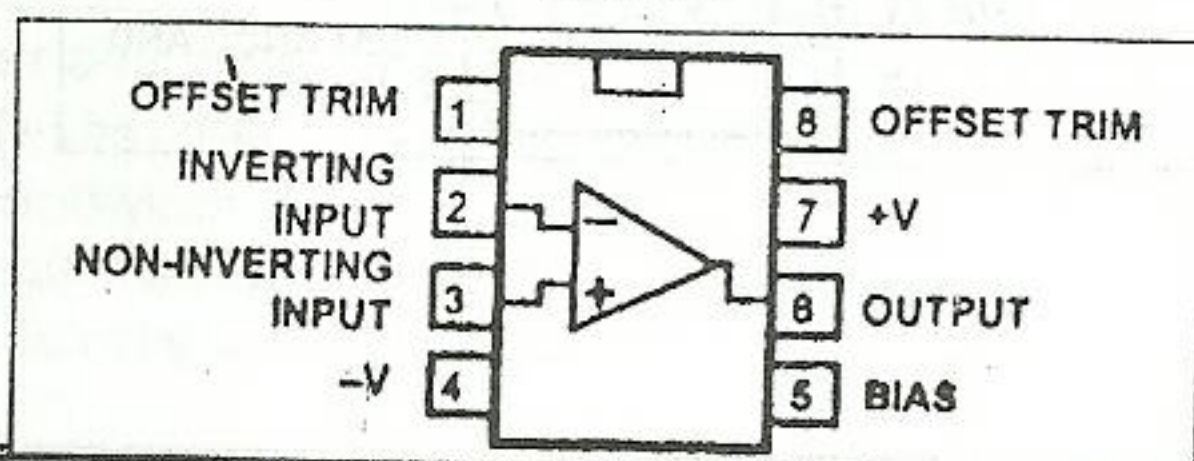
SE19



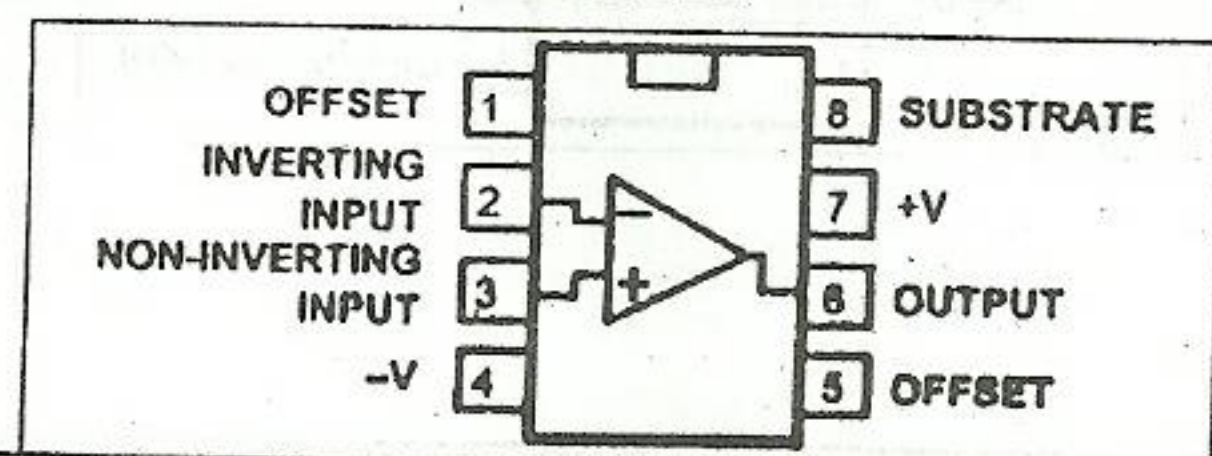
SE20



SE21

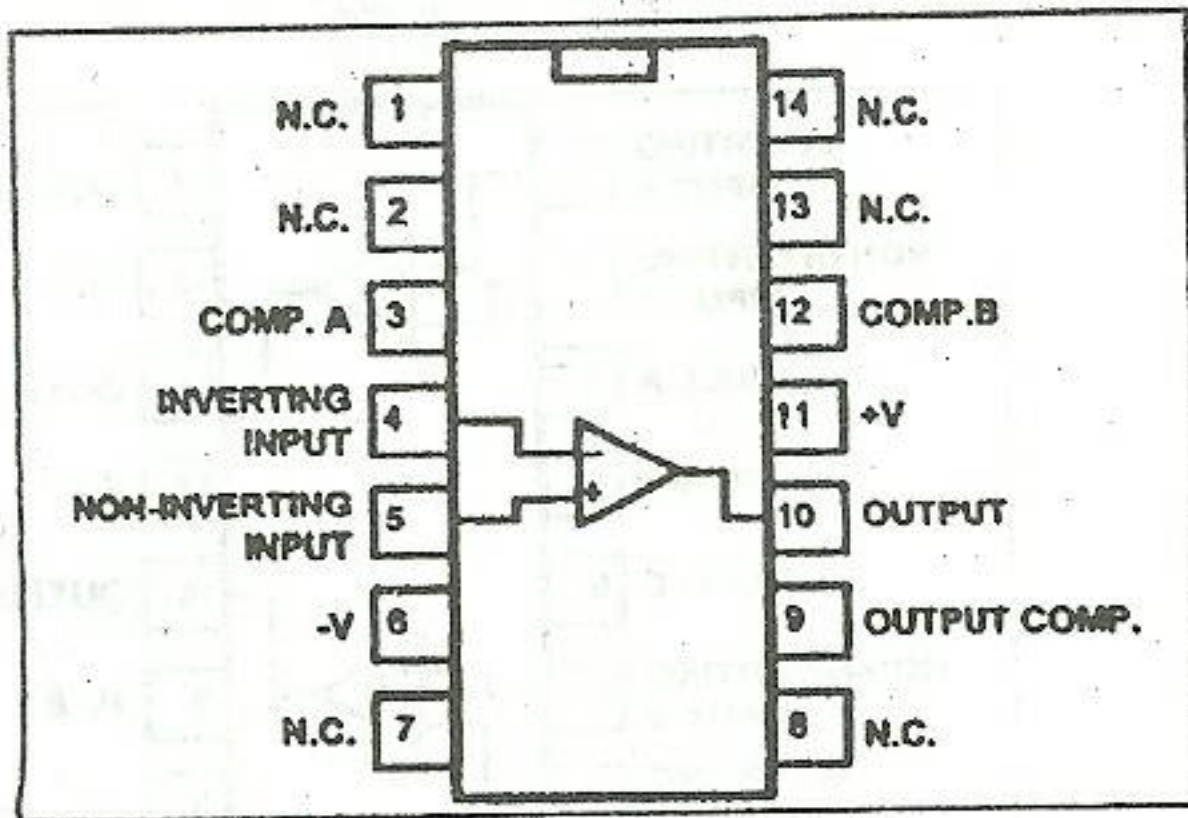


SE22

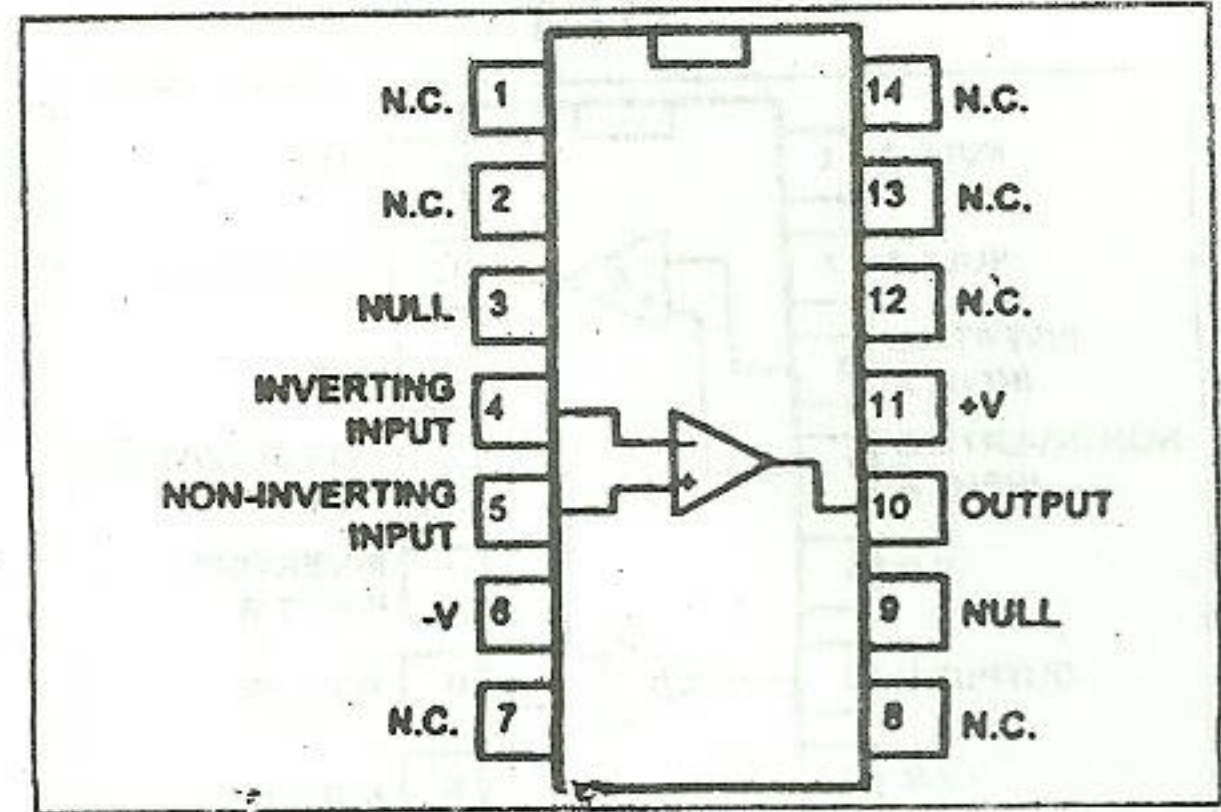




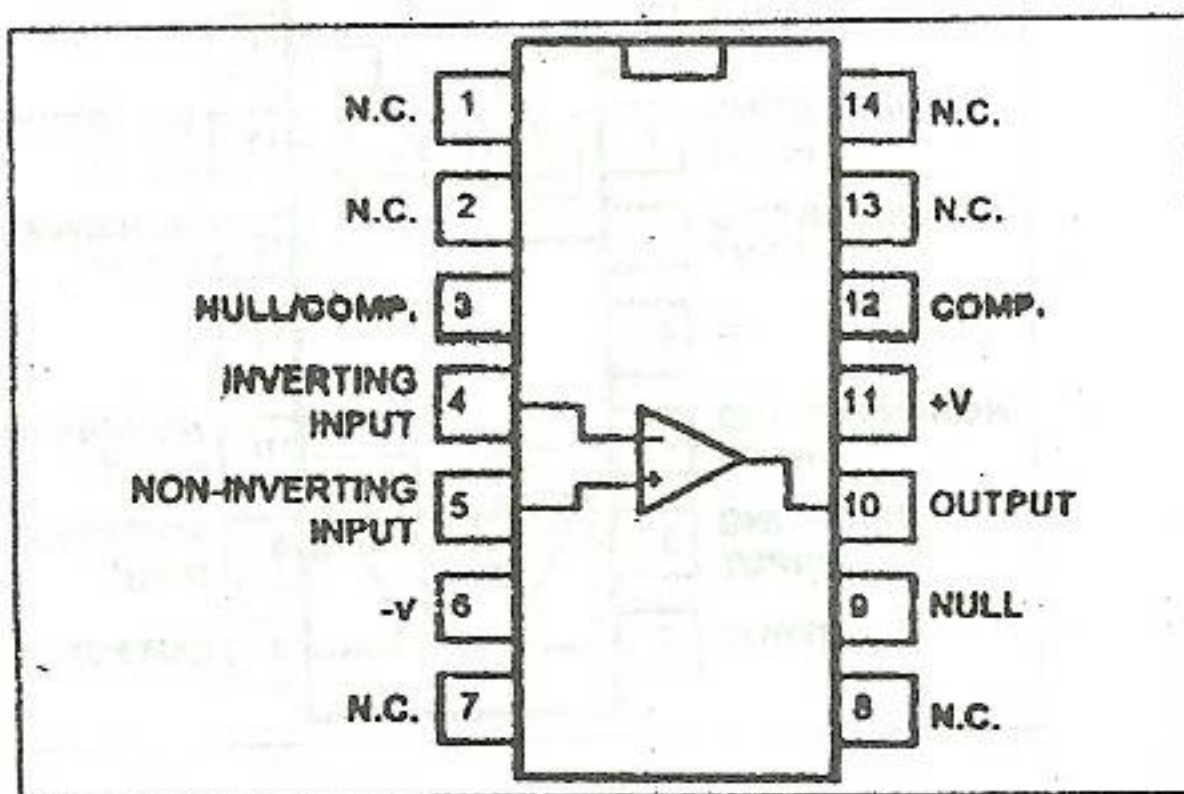
SF1



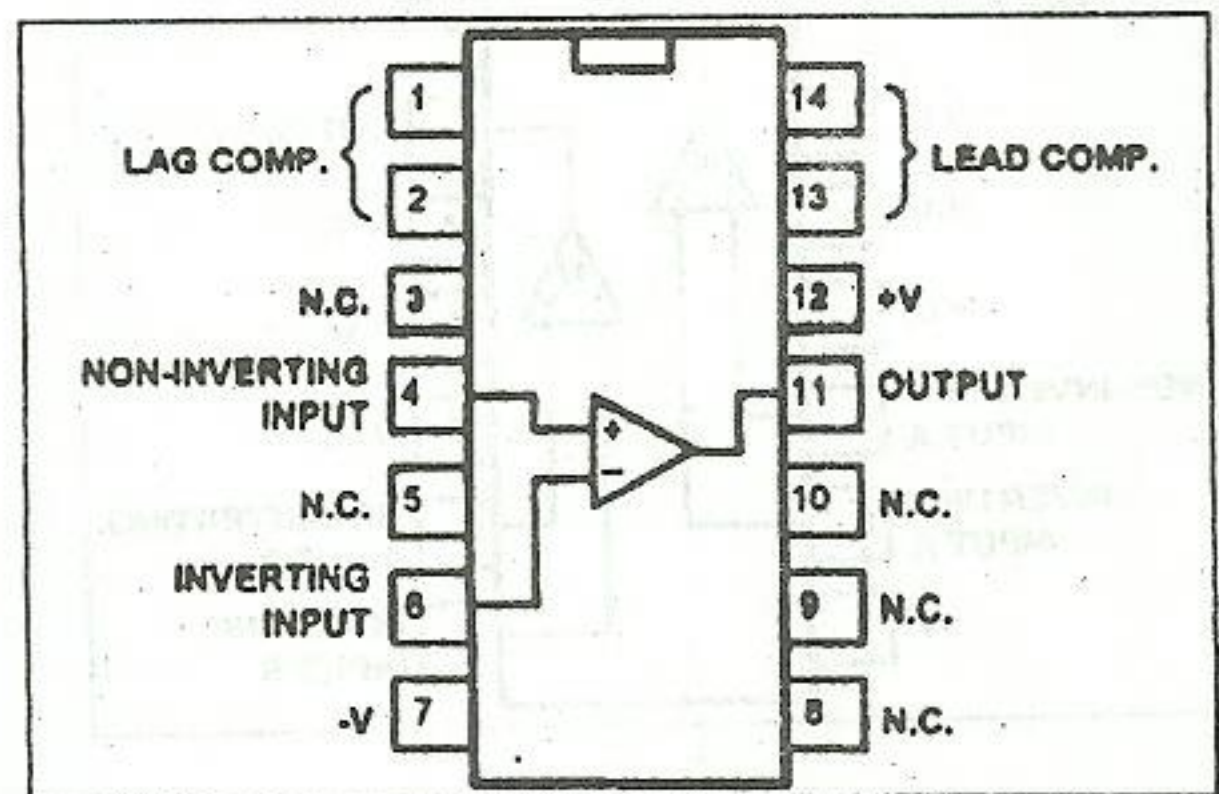
SF2



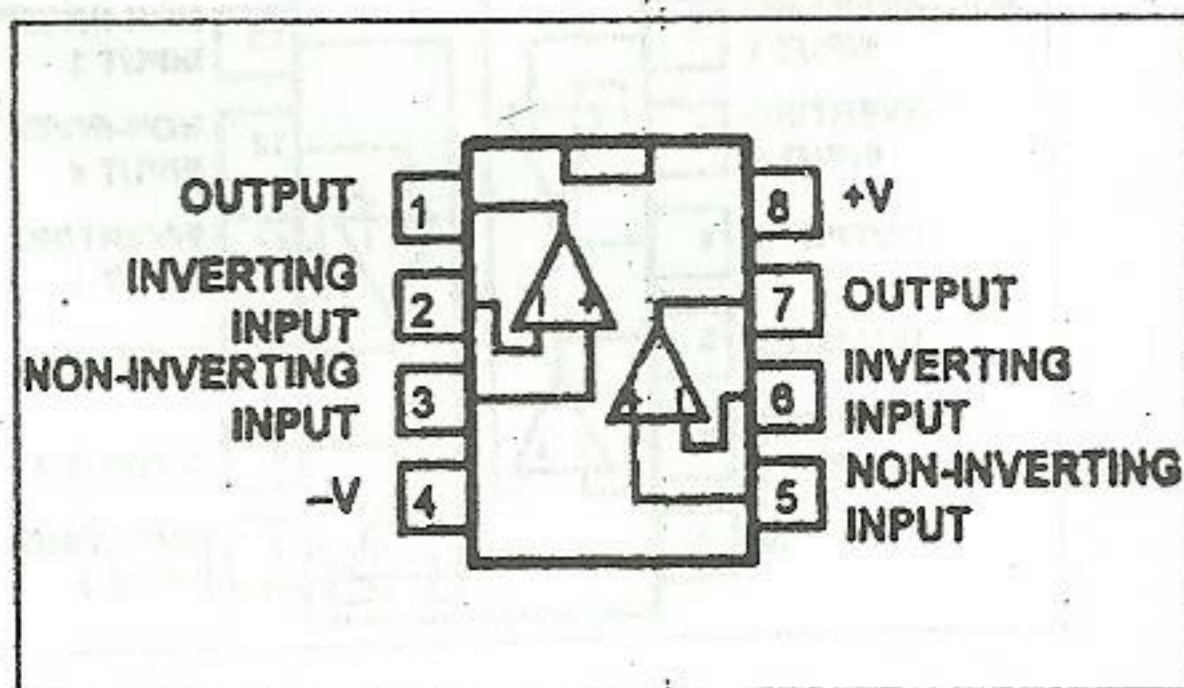
SF3



SF4



TE1



TE2

