Chapter-13 Motors

ACMV system ၏ equipment များတွင် တပ်ဆင်ထားသော မော်တာများမှ လျှပ်စစ်မာတ်အားဖြင့် မောင်းသော မော်တာများ(electric motors) ဖြစ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လျှပ်စစ်မော်တာများနှင့်သက်ဆိုင်သည် အခြေခံများ၊ အချက်အလက်များ၊ ပုံသေနည်းများ၊ စွမ်းအင်သုံးစွဲပုံ နှင့် စွမ်းအင်ချွေတာရေး နည်းလမ်းကောင်းများကို ရှင်းလင်း ဖော်ပြထားသည်။

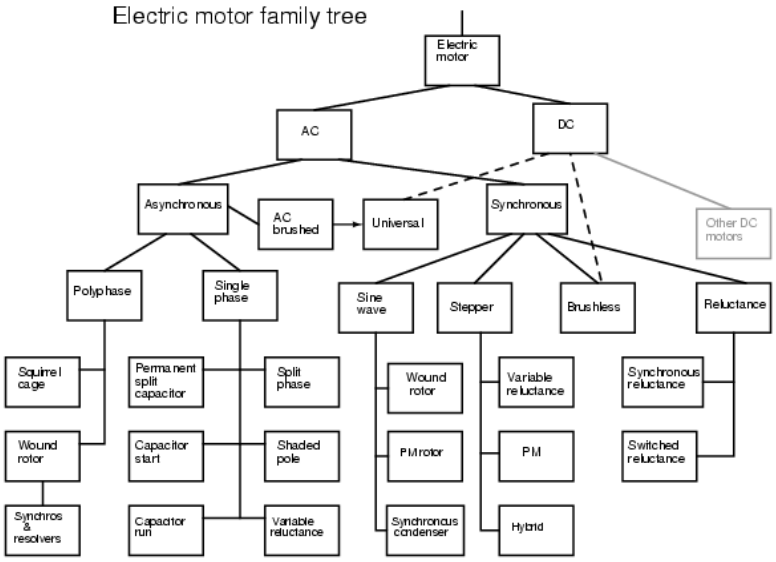
လျှပ်စစ်မော်တာများကို အကြမ်းအားဖြင့် (၃) မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) AC induction motors

(ခ) DC motors နှင့်

(ဂ) Synchronous motors တို့ ဖြစ်သည်။

ACMV တွင် အသုံးများသော လျှပ်စစ်မော်တာများမှာ AC induction motor များ ဖြစ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် ACMV အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်နေဖြင့် AC induction motor များ၏ အသုံးချပုံ(application)ကို သေးစိတ် လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။



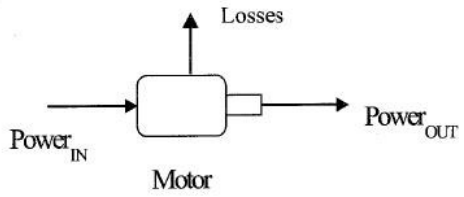
ပုံ ၁၃-၁ Electric motor family tree

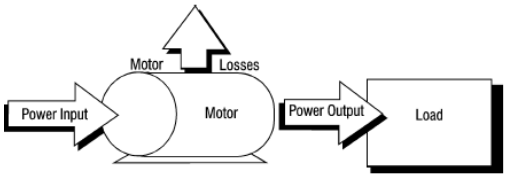
ACMV တွင် အသုံးများသော AC induction motor များကို squirrel cage AC induction မော်တာ နှင့် wound rotor AC induction မော်တာ ဟူ၍ နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။

Squirrel Cage AC Induction Motors	Wound Rotor AC Induction Motors
Wound Rotor ထက် ဈေးနှုန်း သက်သာသည်။(မော်တာအရွယ်တူခြင်း နှိုင်းယှဉ်လျှင်)	Squirrel Cage Motors ထက် ဈေးနှုန်းများသည်။ (မော်တာအရွယ်တူခြင်းနှိုင်းယှဉ်လျှင်)
ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ နည်းသည်။	ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ များသည်။
ယုံကြည်စိတ်ချရမှုမြင့်မားသည်။ (High realibility)	Excellent Speed Control - မြန်နှုန်းထိန်းချုပ်ရာတွင် အလွန်ကောင်းသည့် အားသာချက်ရှိသည်။
Torque များများနှင့် slip charactireistic ကောင်းသည့်မော်တာများကို ဝယ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။	High starting torque- မော်တာစတင်မောင်းနှင်ချိန်တွင် အားကောင်းသော torque ကို ရရှိနိုင်သည်။ Low starting current မော်တာ စတင်မောင်းနှင်ရန်အတွက် အနည်းငယ်သော current သာ လိုအပ်သည်။
	High -inertia Load ကိုမောင်းရန် အတွက် သင့်လျော်သည်။
	Able to handle frequent Stats and Stops (အချိန် အနည်းငယ် အတွင်း အကြိမ်များစွာ စမောင်းခြင်း။ ရပ်နားခြင်း ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သော လုပ်ငန်များအတွက်သင့်လျော်သည်။)
	Able to handle reduced speed (low speed) for long periods မော်တာလည်ပတ်နှုန်းကို လျော့ချပြီးအချိန်ကြာမြင့်စွာ မောင်းရန် အတွက် သင့်လျော်သည်။

AC induction မော်တာများသည် အသုံးပြုသည့်လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေါ်တွင်မူတည်၍ single phase မော်တာ နှင့် poly phase မော်တာ ဟူ၍ကွဲပြားသည်။

လျှပ်စစ်မော်တာမှ စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ(Motor Losses)

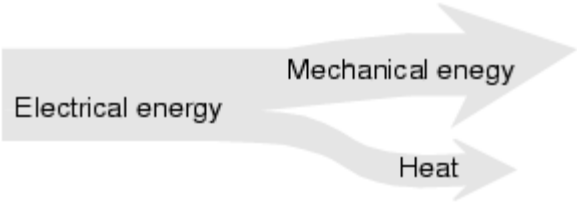




$$\text{Motor efficiency, } \eta = \frac{\text{Power}_{OUT}}{\text{Power}_{IN}}$$

ပုံ ၁၃-၂ Motor power input ၊ output and losses

လျှပ်စစ်မော်တာသည် လျှပ်စစ်စွမ်းအင် (electrical energy input)မှ စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy output) သို့ ပြောင်းပေးသည့် ကိရိယာတစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ မော်တာ၏ efficiency သည် စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy output) ကို လျှပ်စစ်စွမ်းအင် (electrical energy input) နှင့်စားထားသည့် အချိုး(ratio) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၃ မော်တာသို့ထည့်ပေးသည့် လျှစ်စစ်စွမ်းအင်မှ စက်မှုစွမ်းအင်နှင့် အပူ(heat) အဖြစ်ပြောင်းလဲပုံ

စွမ်းအင်တည်မြဲမှုနိယာမအရ

လျှပ်စစ်စွမ်းအင်(electrical energy input) = စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy output) + ဆုံးရှုံးမှုများ(losses)

ဆုံးရှုံးမှုများ(losses) အားလုံးသည် အပူစွမ်းအင်အဖြစ် မော်တာ၏ ဘော်ဒီမှတစ်ဆင့် အပူစွမ်းအင် (heat energy) အဖြစ် လေလွင့်(dissipated) သွားသည်။ ဆုံးရှုံးသွားသည်။ မော်တာ၏ ဆုံးရှုံးမှု(losses) များလေ efficiency ညံ့လေဖြစ်သည်။

၁၃.၁ လျှပ်စစ်မော်တာ လည်ပတ်နှုန်းများ - AC Motor Speed (rpm)

Synchronous Speed (rpm)သည် သီအိုရီအရ သို့မဟုတ် တွက်ချက်မှုအရ အမြင့်ဆုံးဖြစ်နိုင်သည့် လည်ပတ်နှုန်း ဖြစ်သည်။ AC လျှပ်စစ်မော်တာ၏ အမြင့်ဆုံးလည်ပတ်နှုန်း သို့မဟုတ် Synchronous speed မှာ ထိုမော်တာသို့ ပေးသည့် AC လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ Frequency(Hz) နှင့် ထိုမော်တာကို တည်ဆောက် ထားသည့် pole များ၏ အရေအတွက် အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

$$\boldsymbol{Synchronous\ Speed\ (rpm) = \frac{120\ x\ Frequency\ (Hz)}{Number\ of\ poles}}$$

120 = Constant (ကိန်းသေတန်ဖိုးတစ်ခုဖြစ်သည်။)
F = Supply frequency (in cycles/sec) (လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ ကြိမ်နှုန်း)
P = Number of motor winding poles (မော်တာတွင်ရှိသော pole အရေအတွက်)

ဥပမာ(၁) စင်ကာပူနိုင်ငံတွင်မောင်းသည့် 4 poles မော်တာတစ်လုံး၏ synchronous speed (rpm) သည် တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ(၁၅၀၀) ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် စင်ကာပူနိုင်ငံ၏ AC လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ Frequency မှာ 50 Hz ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

$$Synchronous\ Speed\ (rpm) = \frac{120\ x\ Frequency\ (Hz = 50\ Hz)}{Number\ of\ poles = 4} = 1500\ rpm$$

ဥပမာ(၂) စင်ကာပူနိုင်ငံတွင် synchronous speed (rpm) (၁၅၀၀) နှုန်းဖြင့် မောင်းနေသည့်ထို 4 poles မော်တာကို ဖိလစ်ပိုင်နိုင်ငံသို့ သယ်ဆောင်၍မောင်းလျှင် synchronous speed (rpm) သည် (၁၈၀၀)နှုန်း ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် စင်ကာပူနိုင်ငံ၏ AC လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ Frequencyမှာ 50 Hz ဖြစ်ပြီး ဖိလစ်ပိုင်နိုင်ငံ၏ AC လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ Frequencyမှာ 60 Hz ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ဥပမာ(၃) ဖိလစ်ပိုင်နိုင်ငံတွင်မောင်းသည့် 2 poles မော်တာတစ်လုံး၏ synchronous speed (rpm) မှာ တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ (၃၆၀၀) ဖြစ်သည်။ အောက်ပါ ပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$Synchronous\ Speed\ (rpm) = \frac{120\ x\ Frequency\ (Hz = 60\ Hz)}{Number\ of\ poles = 2} = 3600\ rpm$$

ဥပမာ -4 poles ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသော squirrel cage induction motor တစ်လုံးကို 60 hz လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် ချိတ်ဆက်လျှင် ထိုမော်တာ၏ synchronous speed လည်ပတ်နှုန်းကို ရှာပါ။

၁၃.၂ Slip (မော်တာအတွင်းစလစ်ဖြစ်မှုများ)

AC လျှပ်စစ်မော်တာ များသည် load (ဝန်) နှင့်မောင်းသည့်အခါ လည်ပတ်နှုန်း လျော့နည်းလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်း အားဖြင့် မော်တာအတွင်း စလစ်ဖြစ်မှုများ(slip)များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအခါ ဝန်နှင့်မောင်းနေသည့် လည်ပတ်နှုန်း (actual speed) သည် synchronous speed (rpm) ထက် လျော့နည်းသည်။ (ဝန်နှင့်မောင်းနေသည့် လည်ပတ်နှုန်း ကို actual speed ဟု ခေါ်သည်။) ထိုလျော့နည်းမှု အပတ်ရေ သို့မဟုတ် ထိုကွာဟချက်ကို slip ဟုခေါ်သည်။

မော်တာအတွင်းတွင် rotor နှင့် stator ဟူ၍ရှိသည်။ AC လျှပ်စစ်ဓာတ်အားသည် stator အတွင်း၌သာ ဖြစ်သန်းစီးဆင်းသည်။ Rotor အတွင်း၌ လုံးဝဖြတ်သန်းစီးဆင်းခြင်း မရှိပေ။ Magnetic Field များမှ ဖြစ်ပေါ် လာသော electromagnetic force များကြောင့် မော်တာ၏ rotor သည် လည်ပတ်သည်။ Magnetic field ဖြစ်ပေါ်ရန် AC induction မော်တာတိုင်းတွင် slip ဖြစ်ပေါ်သည်။ လည်ပတ်နှုန်းနှစ်ခု ကွာဟချက်ကြောင့်သာ electromagnetic force ဖြစ်ပေါ် လာနိုင်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် AC induction မော်တာတိုင်းတွင် slip ၅% ဖြစ်ပေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် actual speed (at Full load) သည့် synchronous speed (rpm) ထက် ၅%လျော့နည်းသည်။ သို့သော် high starting torque လိုအပ်သည့် မော်တာများတွင် slip သည် ၂၀% အထိ slip ဖြစ်နိုင်သည်။

$$Slip\ (rpm) = Synchronous\ Speed\ (rpm) - Actual\ Speed(rpm)$$

$$Slip\ (\%) = \frac{Synchronous\ Speed\ (rpm) - Actual\ Speed(rpm)}{Synchronous\ Speed\ (rpm)}$$

ဥပမာ(၄) 2 poles မော်တာ တစ်လုံးသည် 50 Hz လျှပ်စစ် ပါဝါ နှင့်မောင်းသည့်အခါ လည်ပတ်ရေ (၂၉၀၀) ရရှိလျှင် slip မည်မျှဖြစ်ပေါ်သနည်း။

50 Hz လျှပ်စစ် ပါဝါ နှင့်မောင်းသည့်2 poles မော်တာ တစ်လုံး၏ synchronous speed (rpm) မှာ (၃၀၀၀) ဖြစ်သည်။

Slip = Synchronous Speed (rpm)မှာ ၃၀၀၀ - Actual Speed(rpm) မှာ ၂၉၀၀ = ၁၀၀ rpm ဖြစ်သည်။

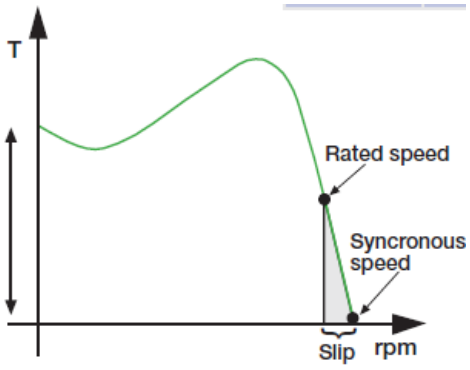
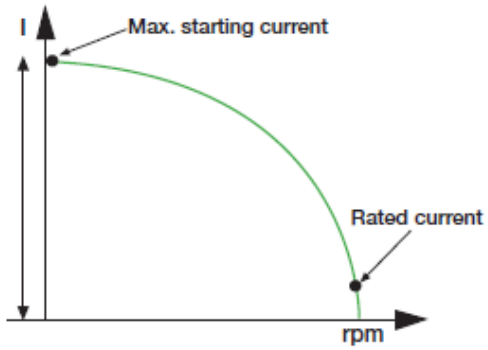
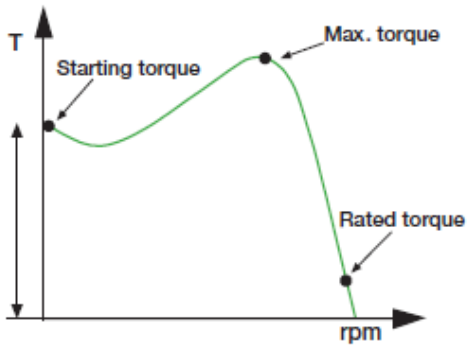


Diagram showing syncronous speed vs.rated speed

ပုံ ၁၃-၄



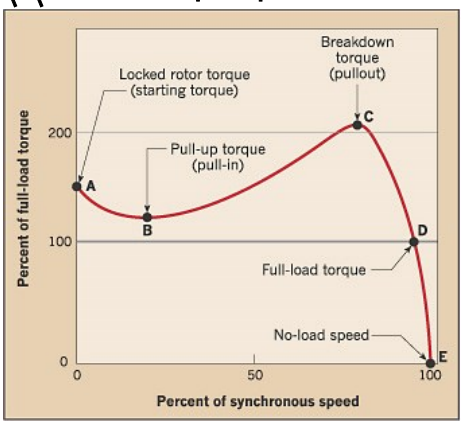
Current diagram for typical sqirrel cage motor



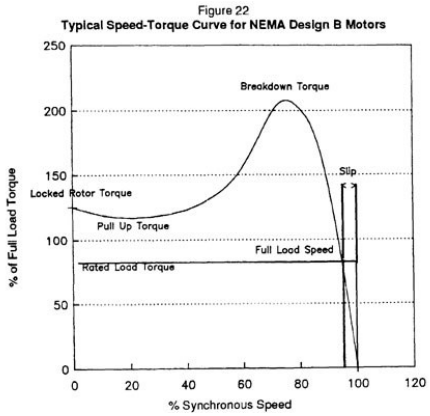
Torque diagram for a typical squirrel cage motor

ပုံ ၁၃-၅ Current diagram for typical squirrel cage motor

၁၃.၃ Motor Torque Speed Curves



ပုံ ၁၃-၆ Motor torque speed curve



ပုံ ၁၃-၇ Motor torque speed curve

ပုံတွင်ပြထားသည့် motor torque speed curves မှ Point A ၊ B ၊ C ၊ D နှင့် E တို့ကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည်ရန် သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်ပါသည်။

X ဝင်ရိုး (axis) သည် synchronous speed ကို % ဖြင့် ဖော်ပြထားပြီး Y ဝင်ရိုး (axis) သည် full load torque (rated torque) ကို % ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ 50 Hz လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည့် 4 pole မော်တာ ၏ ၁၀၀% synchronous speed မှာ တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ (၁၅၀၀) ဖြစ်သည်။ ထိုမော်တာ၏ ၁၀၀% full load torque (rated torque) မှာ မော်တာ၏ မြင်းကောင်ရေအား ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

> မော်တာများ၏ pole အရေအတွက်မတူညီကြခြင်းနှင့် နိုင်ငံများ၏လျှပ်စစ်ဓာတ်အား Frequecy (Hz) မတူညီကြခြင်း တို့ကြောင့် motor torque speed curves တွင် synchronous speed ကို % ဖြင့်လည်းကောင်း၊ full load torque (rated torque) ကို % ဖြင့်လည်းကောင်း ဖော်ပြရခြင်းဖြစ်သည်။

Point "A" Locked rotor torque သို့ Starting Torque (Startup Torque)

Locked rotor torque ကို starting torque ဟုလည်းခေါ်သည်။ ရပ်နေသည့်အချိန်မှ စမောင်းသည့်အခါ [Speed =0] ရရှိနိုင်သော torque ဟုလည်း မှတ်ယူနိုင်သည်။ မော်တာဒီဇိုင်းကွာလျှင် locked rotor torque သို့မဟုတ် starting torque လည်းကွာသည်။ Conveyor များတွင်သုံးပြုမည့် မော်တာသည် အလွန်နှေးမြင့်မားသော starting torque ရှိရန်လိုအပ်သည်။ ပန်ကာများနှင့် ရေပန့်များတွင်အသုံးပြုသည့် မော်တာများသည် အလွန်

မြင့်မားသော starting torque ရှိရန်မလိုအပ်ပါ။ Locked rotor torque သည် full load torque ထက် ၂၀% မှ ၃၀% အထိများလေ့ရှိသည်။

Point "B" Pull-up Torque သို့မဟုတ် Pull-in Torque

Pull-up torque သည် မော်တာတစ်လုံး၏ လိုအပ်သည့် အပတ်ရေသို့ရောက်အောင် အရှိန်ယူနေချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော အနိမ့်ဆုံး torque (minimum torque) ဖြစ်သည်။ မော်တာတစ်လုံးသည် စတင် လည်ပတ်ပြီး အရှိန်ယူနေချိန်တွင် အနည်းဆုံးသော minimum torque ကို ပေးသည်။ Pull-up torque သည် synchronous speed၏ 20% မှ 40% အတွင်း ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။

Point "C" Breakdown Torque သို့မဟုတ် Pull out Torque

Breakdown torque သည့် မော်တာတစ်လုံး၏ အမြင့်ဆုံး(maximum) torque ဖြစ်သည်။ Breakdown torque သည် full load torque ထက် (၂)ဆခန့် ပိုများသည်။

Point "D" Full load Torque

Full load torque သည် မော်တာတစ်လုံး၏ actual speed တွင် ရရှိနိုင်သော torque ဖြစ်သည်။ Actual speed သည် မောင်းနေသော ထိုမော်တာ၏ ဝန်(load)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Load များလျှင် slip ဖြစ်ပေါ်မှုလည်း များသည်။ ထို့ကြောင့် actual speed နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် actual speed သည် synchronous speed မှ slip ကို နှုတ်ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Point "E" Synchronous Speed သို့မဟုတ် No Load Speed သို့မဟုတ် Zeor Torque Speed

Synchronous speed သို့မဟုတ် no load speed သည့် load မရှိသည့်ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော torque ဖြစ်သည်။ မည်သည့် load နှင့်မျှ ချိတ်ထားခြင်းမရှိသည့်အချိန်(မော်တာကို free မောင်းနေသည့်အချိန်) တွင်ဖြစ်ပေါ်သည်။ Speed(rpm) ကို "**no load speed**" ဟုလည်းခေါ်သည်။

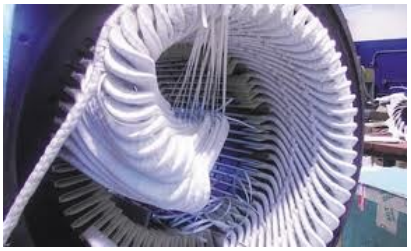
Torque and Horse Power

$$Power\ (W) = Torque\ (Nm) x\ Angular\ Speed\ (Radians\ per\ Second)$$

$$Power\ (W) = Torque\ (Nm)\ x\ 2\ x\ 3.14\ x\ \frac{rpm}{60}$$

၁၃.၄ Motor Insulation

မော်တာများ၏ ကွိုင်ထုပ် (motor winding) အတွင်း၌ copper wire များကို insulate လုပ်ထားသည်။ Insulation လုပ်ထားသည့်ပုံစံနှင့် အမျိုးအစားကိုလိုက်၍ မော်တာများသည် အပူဒဏ်ကိုခံနိုင်ကြသည်။ Insulation class ကောင်းလေ အပူဒဏ်ကို (အပူချိန်မြင့်မြင့်ကို)ခံနိုင်လေဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၈ Motor insulation

ပုံ ၁၃-၉ Motor insulation

မော်တာများသည် insulation အမျိုးအစားပေါ်တွင်မူတည်၍ ခံနိုင်သည့်အပူချိန် (winding temperature) ကွဲပြားခြားနားသည်။ Class A မော်တာ၏ အများဆုံးခံနိုင်သော အပူချိန်မှာ 105 °C ဖြစ်သည်။

NEMA motor insulation class according to Max Operating Temperature.
Table 13-1

Insulation Class	Max Operating Temp (°C)	Allowable Temp Raise at Full load for Service Factor 1.0 motor (°C)	Hot Spot allowance (°C)
A	105	60	5
B	130	80	10
F	155	105	10
H	180	125	15

အများဆုံးအပူချိန်မြင့်တက်နိုင်မှု (allowable temperature raise) သည် ပြင်ပလေထုအပူချိန် 40°C ကို အခြေခံထားသည်။

Class A သည် အဆင့်အနိမ့်ဆုံးသော(lowest grade) မော်တာ insulation အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ အိမ်များတွင် အသုံးပြုရန်သာသင့်လျော်သည်။ စက်ရုံများ၊ အလုပ်ရုံများတွင် Class A အမျိုးအစား မော်တာကို အသုံးမပြုသင့်ပါ။

Class B သည် စက်ရုံများ၊ အလုပ်ရုံများတွင် အထွေထွေလုပ်ငန်း ကိစ္စများ(general purpose) အတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် heavy duty များတွက် Class F သို့မဟုတ် Class H ကို အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။

Class H သည် heavy-duty insulation အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ အပူချိန်မြင့်မားသည့်နေရာများတွင် တပ်ဆင်အသုံးပြုရန်အတွက် သင့်လျော်သည်။ မော်တာအတွင်းတွင် အပူချိန်မြင့်မားသည့်အခါမျိုးများ တွက်လည်း အလွန်သင့်လျော်သည်။ ACMV တွင်အသုံးပြုသော motor အများ၏ insulation class မှာ F ဖြစ်သည်။

Table 13-2

NEMA motor insulation class according to maximum operating temperature

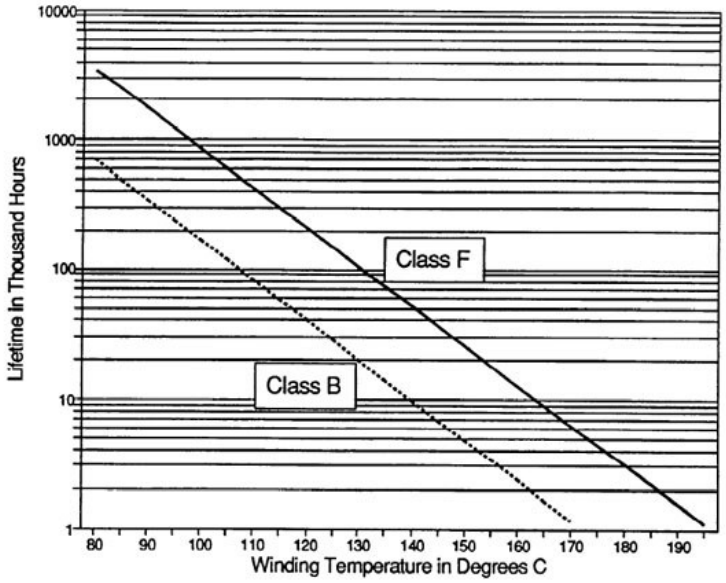
Insulation class	Max. operating temperature (°C)	Allowable temperature rise at full load for service factor 1.0 motors (°C)
A	105	60
B	130	80
F	155	105
H	180	125

Allowable temperature rise is based on reference ambient temperature of 40°C
Class F is the most common for 50 Hz motors

Motor insulation ၏ standard များမှာ မတူညီကြပေ။ အထက်ပါဇယားသည် NEMA Standard အရ သတ်မှတ်ထားသော motor insulation class များ ဖြစ်ကြသည်။

ACMV equipment များအတွက် အသုံးသော မော်တာများ၏ motor insulation class F ဖြစ်သည်။

Figure 21
Life Versus Operating Temperature for Insulation Systems



ပုံ ၁၃-၁၀

အထက်ပါ ဂရပ်သည် မော်တာ Insulation အမျိုးအစားနှင့် winding temp (C) နှင့် မော်တာ၏ သက်တမ်းတို့ကို ဖော်ပြသည် ဂရပ်ဖြစ်သည်။

Insulation F အမျိုးအစားမော်တာသည် insulation B အမျိုးအစား မော်တာထက် ပို၍မြင့်သည့် အပူချိန်ကို ခံနိုင်သလို ပို၍လည်းကြာကြာခံနိုင်သည်။ မော်တာတစ်လုံး၏ winding temperature အပူချိန်တက်လာ လာလေ ကြာကြာမခံလေဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သက်တမ်းတိုလေ ဖြစ်သည်။

မော်တာများ ပျက်စီးရခြင်း၏ အဓိကအကြောင်းမှာ operating temperature မြင့်တက်လာမှုကြောင့် ဖြစ်သည်။ မော်တာများသည် high current ကြောင့်သော်လည်းကောင်း၊ contamination ကြောင့်သော်လည်းကောင်း Operating temperature မြင့်တက်လာတတ်သည်။ Insulation class သည် အသုံးပြုသည့် ပစ္စည်းအမျိုးအစားနှင့် တည်ဆောက် ထားပုံပေါ်တွင် မူတည်၍ကွဲပြားသည်။ မြင့်မားသည့် operating temperature တွင် မောင်းသည့် မော်တာများ၏ သက်တမ်းမှာ သတ်မှတ်ထားသည့် ထက်တိုလေ့ရှိသည်။

၁၃.၅ Motor Nameplates များကို ဖတ်ရှုနားလည်ခြင်း

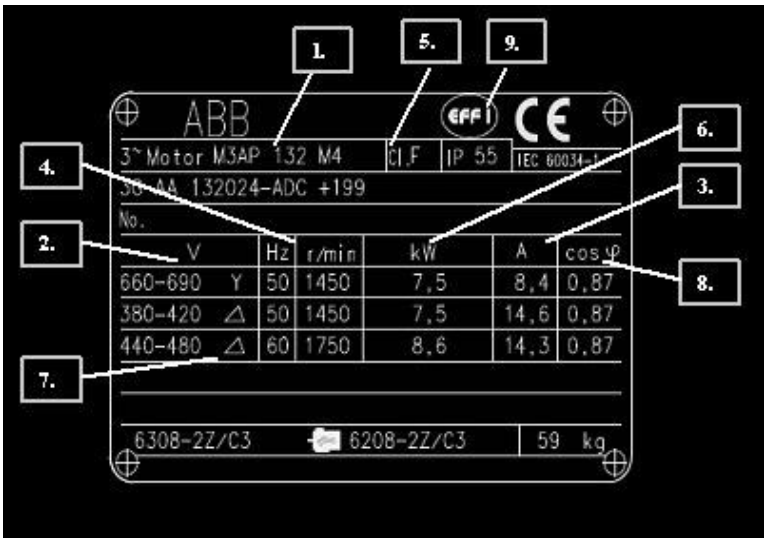
IEC standards အရ မော်တာများ၏ မြင်းကောင်ရေအား(HP) သို့မဟုတ် ကီလိုဝပ်(kW)ကို ဖော်ပြထားသော name plate ကို မော်တာ၏ ဘော်ဒီ၌ ကပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ မော်တာ name plate တစ်ခုမှ အချက်အလက်များကို အောက်ပါအတိုင်း ဖတ်ရှု နားလည်နိုင်သည်။

(၁) Manufacturer Name and Manufacturer-Specific Ordering Code

Code မှ frame size နှင့် mounting arrangement ကို သိရှိနိုင်သည်။ ပျက်သွားသည့် မော်တာတစ်လုံးကို အသစ်တစ်လုံးနှင့်လဲရန် အတွက် kW (HP) သာမက frame size နှင့် mounting arrangement တို့လည်းတူညီရန် လိုအပ်သည်။

(၂) Rated Volts

မော်တာ၏ အကောင်းဆုံးစွမ်းဆောင်ရည် (optimum performance) ရရှိရန်အတွက် လိုအပ်သော လျှပ်စစ်ဗို့ ပမာဏဖြစ်သည်။ ထိုမော်တာကို မောင်းရန်သင့်လျှော်သည့် လျှပ်စစ်ဗို့ ပမာဏဖြစ်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် လျှပ်စစ်ဗို့ ပမာဏ လည်းဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၁၁ Motor name plate

(၃) **Full Load Amps**

Full load amps – ဆိုသည် မှာ မော်တာသည် ဝန်အပြည့်မောင်းနှင်သည့်အခါ ကေဘယ်ကြိုး (cable) တွင်စီးဆင်းသွားမည့် အမ်ပီယာ(Ampere) ဖြစ်သည်။ Full load amps သည် ကေဘယ်ရွေးချယ်ခြင်း (cable sizing) ၊ စတတ်တာ ရွေးချယ်ခြင်း (starter selection) နှင့် motor protection အတွက် over load setting ချိန်ရန်အတွက် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည်။

(၄) Rated frequency

Rated frequency in Hertz, and rated full load speed in revs/minute at that frequency.မော်တာကို ပေးသည့် AC လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ Frequency ဖြစ်သည်။ (၅၀) သို့မဟုတ် (၆၀) Hertz ဖြစ်သည်။ ထို Hz ကို လိုက်၍မော်တာ synchroous speed (rpm) မှာပြောင်းလဲနေသည်။

(၅) **Rated temperature rise or insulation class** –

Industry standard specification of the thermal tolerance of the motor insulation. အင်ဆူလေးရှင်းအမျိုးအစားဖြစ်သည်။

(၆) **Rated Power (kW)**

Rated power (kW) သည် မော်တာမှထုတ်ပေးနိုင်သော output စက်မှုစွမ်းအား (mechanical power) ပမာဏ ဖြစ်သည်။ 7.5 kW သည် output mechanical power ဖြစ်သည်။ Output mechanical power 7.5 kW ရရန် အတွက် input electrical power မှာ 7.5 kW ထက်ပိုများရမည်။ ၈၅% efficiency ရှိသော မော်တာအတွက် input electrical power မှာ 8.82 kWe ဖြစ်သည်။

(၇) **Electrical connection and associated operating parameters** –

Electrical connection and associated operating parameters – i.e. three phase motors can be connected in a 'star' (Y) or 'delta' (Δ) configuration. In a star configuration the current flowing from the supply is reduced as is the torque.

၅၀ Hz နှင့် ဗို့အား ၆၆၀ မှ ၆၉၀ ရှိသော ပါဝါ နှင့် 'star' (Y) ပုံစံဖြင့်ချိတ်ဆက်လျှင် output mechanical power 7.5 kW နှင့် 1450 rpm ကို ရရှိနိုင်သည်။ Power factor မှာ 0.87 ဖြစ်သည်။

၅၀ Hz နင် ဗို့အား ၃၈၀ မှ ၄၂၀ ရှိသော ပါဝါ နှင့် 'delta' (Δ) ပုံစံဖြင့်ချိတ်ဆက်လျှင် output mechanical power 7.5 kW နှင့် 1450 rpm ကို ရရှိနိုင်သည်။ Power factor မှာ 0.87 ဖြစ်သည်။

၆၀ Hz နှင် ဗို့အား ၄၄၀ မှ ၄၈၀ ရှိသော ပါဝါ နှင့် 'delta' (Δ) ပုံစံဖြင့်ချိတ်ဆက်လျှင် output mechanical power 8.6 kW နှင့် 1750 rpm ကို ရရှိနိုင်သည်။ Power factor မှာ 0.87 ဖြစ်သည်။

(၈) Power Factor

Power factor for the motor. ထိုမော်တာနှင့်သက်ဆိုင်သည့် power factor ဖြစ်သည်။ Power factor သည် မော်တာအား ပေးနေသည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားနှင့် ချိတ်ဆက်သည့် connection configuration ပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

Efficiency class

Efficiency class - IEC nameplates quote EFF ratings at full load. It is a measure of how well the motor converts electrical energy to mechanical power.

The information displayed on a motor nameplate may vary depending on manufacturer and motor size.

၁၃.၆ Torque တွက်နည်း

မော်တာမြင်းကောင်ရေကို အသုံးပြု၍ full-load motor torque ကို တွက်ခြင်း

$$T = \frac{5252\ x\ HP}{rpm}$$

T = Full-load motor torque (in lb-ft)
5252 = Constant (33,000 divided by 3.14 x 2 = 5252)
HP = Motor horsepower
rpm = Speed of motor shaft

ဥပမာ - မြင်းကောင်ရေ (၆၀)အားရှိသော မော်တာကို 1725 rpm ရှိသော ဝန်(load) မောင်းလျှင် torque မည်မျှ ရနိုင်သနည်း။

$$T = \frac{5252\ x\ HP\ (60)}{rpm\ (1725)} = 182.7\ lb - ft$$

၁၃.၇ Energy Saving from Motor Efficiency

Chilled water pump အတွက် အသုံးပြုသော မြင်းကောင်ရေ (၂၅)ကောင်အား (18.7kW) လျှပ်စစ်မော်တာတစ်လုံးသည် 88% efficiency (standard efficiency) ရှိပြီး တစ်နေ့လျှင် (၁၂) နာရီမောင်းနှင်သည်။ တစ်နှစ်လျှင် (၃၆၅) ရက်လုံးမောင်းလျှင် ထိုလျှပ်စစ်မော်တာအား 93% efficiency (premium efficiency)ရှိသော မော်တာ အသစ်ဖြင့် ပြောင်းလဲတပ်ဆင်လိုက်လျှင် တစ်နှစ်လျှင် ငွေမည်မျှ သက်သာမည်နည်း။ Chilled water pump ၏ မော်တာများသည် full load ဖြင့် အချိန်တိုင်းတွင် မောင်းနှင်နေဟုယူဆပါ။ မော်တာ အသစ်၏ တန်ဖိုးမှာ $3000 ဖြစ်ပြီး လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခမှာ $0.15/kWh ဖြစ်လျှင် လပေါင်း မည်မျှကြာလျှင် မော်တာ အတွက် ကုန်ကျငွေ ပြန်လည်ရှိနိုင်မည်နည်း။ Simple pay back period နည်းဖြင့် တွက်ချက်ပါ။

Existing motor

88% efficiency ရှိသော မော်တာအဟောင်း ၏ input electrical power မှာ 21.25kWe ဖြစ်သည်။ Input electrical power for 18.7kW with 88% efficiency = 18.7 / 0.88 = 21.25kWe (input Electrical power)

New motor

93% efficiency ရှိသော မော်တာအဟောင်း ၏ input electrical power မှာ 20.1kWe ဖြစ်သည်။

Input electrical power for 18.7kW with 93% efficiency = 18.7 / 0.93 = 20.1kW (input Electrical power)
မော်တာအသစ်ကြောင့် သက်သာသော သို့မဟုတ် ချွေတာနိုင်သော kW မှာ 1.14 kW ဖြစ်သည်။
Saving kW per hour = 21.25kW - 20.1kW = 1.14 kWh

တစ်နှစ်အတွက် 4,993.2kWh သက်သာသည်။ ချွေတာနိုင်သည်။
For one year kWh saving = 1.14 kWh x 12 hr per day x 365 days = 4,993.2kWh

တစ်နှစ်အတွက် $749 သက်သာသည်။
For one year $ saving = 4993.2kW x $0.15/kWh = $749
Simple Payback period = $3000 / $749 = 4 years (48 months)
လေးနှစ်ကြာလျှင် မော်တာအသစ်၏ ကုန်ကျစရိတ် 3000$ ပြန်လည်ရရှိနိုင်သည်။

၁၃.၇.၁ မော်တာတစ်လုံး၏ Efficiency ကို သိနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ

(က) Motor name plate မှ ရယူနိုင်သည်။
(ခ) Motor manufacturer မှ ရယူနိုင်သည်။
(ဂ) Published data (NEMA) မှ ရယူနိုင်သည်။
(ဃ) တိုင်းတာခြင်း(measurement)ဖြင့် ရယူနိုင်သည်။

Input electrical power တိုင်းယူနိုင်သည်။ Output mechnical power ကို torque နှင့် speed ကို တိုက်ရိုက်တိုင်းယူခြင်း သို့မဟုတ် indirect by subtracting losses မှ လည်း ရရှိနိုင်သည်။

၁၃.၇.၂ မော်တာတစ်လုံး၏ Input Electrical Power ကို တွက်ချက်ခြင်း

ဥပမာ -မော်တာတစ်လုံးသည် မြင်းကောင်ရေ(၄၀)အားဖြစ်ပြီး လည်ပတ်နှုန်းမှာ တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ (၁၈၀၀) ဖြစ်သည်။ [60Hz] Electrician တစ်ယောက်သည် အောက်ပါအချက်အလက်များကို တိုင်းယူခဲ့လျှင် ထိုမော်တာ၌ လျှပ်စစ်input power ကို ရှာပါ။

Volt (A to B) = 467 volt	Ia phase =36 amps	Power Factor for a Phase = 0.75
Volt (B to C) = 473 volt	Ib phase =38 amps	Power Factor for b Phase = 0.78
Volt (C to A) = 469 volt	Ic phase =37 amps	Power Factor for c Phase = 0.76

V = (467+ 473+469)/3=469.7Volt
I = (36+38+37) / 3 = 37 Amp
Power Factor = (0.75+0.78+.76)/3=0.763

$$\boldsymbol{Power\ Input\ (electrical)\ =\ 1.732\ x\ 469.7 Volt\ x\ 37\ Amp\ x\ 0.763\ =\ 22.97 kW}$$

၁၃.၇.၃ Estimation of Motor Loading

AC မော်တာတစ်လုံး၏ part load efficiency သည် ထိုမော်တာ၏ loading (%) ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ ထိုကြောင့် AC မော်တာတစ်လုံး၏ part load efficiency ကိုတွက်ရန် အတွက် ထိုမော်တာ၏ loading (%)ကိုသိရန်လိုအပ်သည်။ Loading (%)ကိုသိမှသာ efficiency ကို အမှန်ကန်ဆုံး တွက်ချက်နိုင်သည်။

မော်တာ၏ loading (%) ကို နည်း (၂) နည်း ဖြင့် တွက်ချက်နိုင်သည်။

(က) Input method (မော်တာ၏ input electrical power နှင့် output mechanical power ကို ရယူပြီး မော်တာ၏ loading (%) ခန့်မှန်းနည်း)

(ခ) Slip method (မော်တာ၏ rated slip နှင့် actual slip ကို ရယူပြီး မော်တာ၏ loading (%) ခန့်မှန်းနည်း)

Input Method ဥပမာ

22kW (name plate power) မော်တာတစ်လုံးသည် မောင်းနှင်နေသည်အခါ အောက်ပါ လျှပ်စစ် အချက်အလက်များကို တိုင်းတာရယူခဲ့သည်။ ထိုမော်တာ၏ 100% load သို့မဟုတ် full load efficiency သည် 88% ဖြစ်လျှင် ထိုမော်တာ၏ loading (%) ကို ရှာပါ။

Volt (R to Y) = 410 volt , I red phase = 25 amps , Power Factor for Red Phase = 0.86
Volt (Y to B) = 415 volt , I red phase = 27 amps , Power Factor for Yellow Phase = 0.88
Volt (B to R) = 412 volt , I red phase = 26 amps , Power Factor for Blue Phase = 0.87

22kW (name plate power သည် output mechanical power ပင်ဖြစ်သည်။ Rated power ဟုလည်းခေါ်သည်။) မော်တာတစ်လုံး၏ input electrical power မှာ 25 kWe ဖြစ်သည်။မော်တာ၏ 100% load သို့မဟုတ် full load efficiency သည် 88% ဖြစ်လျှင်..

Input electrical power of motor =(output mechanical power or name plate power = 22) x 0.88
= 25kWe

မော်တာ၏ actual electrical power မှာ

Actual electrical power = 1.73 x Average Volt x Average I x Average Power Factor
1.73x 413.33 Volt x 26 Amp x 0.87 = 16.17 kWe

$$Motor\ Loading = \frac{\text{Actual Electrical Power} = 16.17\ \text{kWe}}{\text{Rated Electrical Power} = 25\text{kWe}} = 64.68\ \%$$

၁၃.၇.၄ Service Factor (SF)

မော်တာများကို လေထုအပူချိန် (ambient temp) ထက်ပိုသည့် ခွင့်ပြုထားသော အပူချိန် အတွက် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားကြသည်။ Service factor ဆိုသည်မှာ သတ်မှတ်ထားသည့် အခြေနေများ(အပူချိန်၊စိုထိုင်းဆ..) အတွင်းတွင် rated power သို့မဟုတ် Name Plater Power ထက်ပိုၗ် အဆက်မပြတ် မောင်းနိုင်သည့် စွမ်းရည်ကို ဆိုလိုသည်။ မော်တာအများစု ၏ Service Factor မှာ 1.0 သို့မဟုတ် 1.15 ဖြစ်သည်။

ဥပမာ- (၁၀)ကောင်အားမော်တာတစ်လုံး၏ Service Factor မှာ 1.15 ဖြစ်သည်။ ထိုဆိုလိုချက်မှာ ယင်းမော်တာသည် (၁၁.၅)ကောင်စွမ်းအားဖြင့် အဆက်မပြတ် မောင်းနိုင်သည့် စွမ်းရည်ကို ဆိုလိုသည်။ သို့သော် NEMA standard အရသတ်မှတ်ထားသော motor insulation class ၏ allowable temperature raise 105° C (for Class F) ကို တော့ မကျော်လွန်ရပေ။

Motor insulation class F အမျိုးအစား (၁၀)ကောင်အားမော်တာတစ်လုံး allowable temperature raise 105° C ဖြစ်သည်။

Service factor 1.0 သာရှိသည့် (၁၀)ကောင်အားမော်တာတစ်လုံးကို (၁၁.၅)ကောင်ဝန် (load) ဖြင့်မောင်းလျှင် ထိုမော်တာသည့် ကြာမြင့်စွာ မခံနိုင်ပေ။ သို့သော် ထို (၁၀)ကောင်အားမော်တာ၏ Service factor မှာ ၁.၁၅ ဖြစ်လျှင် ၁၁ ကောင်ခွဲ ဝန်ဖြင့် မောင်းပါက မော်တာသက်တမ်းလျှော့နည်းလိမ့်မည်မဟုတ်ပေ။ Service factor မြင့်သောကြောင့် rated power အနည်းငယ်ပိုများသော ဝန်ကို ဆောင်နိုင်သည်။ Service factor မြင့်သည့်မော်တာများမှာ စျေးကြီးလေ့ရှိသည်။

၁၃.၈ Motor Enclosures နှင့် Ingress Protection

Motor Enclosures

Many types of motor enclosures are available, including:[16]

Open. An enclosure with ventilating openings that permit passage of external cooling air over and around the motor windings. This design is now seldom used.

Open Drip-Proof (ODP). An open motor in which ventilation openings prevent liquid or solids from entering the machine at any angle less than 15 degrees from the vertical.

Guarded. An open motor in which all ventilating openings are limited to specified size and shape. This protects fingers or rods from accidental contact with rotating or electrical parts.

Splash-Proof. An open motor in which ventilation openings prevent liquid or solids from entering the machine at any angle less than 100 degrees from the vertical.

Totally-Enclosed. A motor enclosed to prevent the free exchange of air between the inside and outside of the case, but not airtight.

Totally-Enclosed Nonventilated (TENV). A totally-enclosed motor that is not equipped for cooling by means external to the enclosed parts.

Totally-Enclosed Fan-Cooled (TEFC). A totally-enclosed motor with a fan to blow cooling air across the external frame. They are commonly used in dusty, dirty, and corrosive atmospheres.

Encapsulated. An open motor in which the windings are covered with a heavy coating of material to provide protection from moisture, dirt, and abrasion.

> မော်တာများ၏ enclosure များကို တပ်ဆင်သည့်နေရာကိုလိုက်၍ သင့်လျော်အောင် ရွေးချယ်ကြရသည်။ သာမာန်အားဖြင့် indoor တပ်ဆင်အသုံးပြုခြင်းနှင့် outdoor တပ်ဆင်အသုံးပြုခြင်းဟု နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။ မော်တာ protection များကို IP နည်းဖြင့်လည်းကောင်း၊ NEMA ဖြင့်လည်းကောင်း အဆင့်အတန်း ခွဲခြား သတ်မှတ်ကြသည်။

> European market တွင် ရောင်းချသော မော်တာများ၏ protection များကို IP classification နည်းဖြင့် သတ်မှတ်ဖော်ပြကြသည်။ အမေရိကတွင်ရောင်းချသော မော်တာများ၏ protection များကို NEMA classification နည်းဖြင့် သတ်မှတ်ဖော်ပြကြသည်။

Ingress protection သည် IEC 60529 ကို အခြေခံထားပြီး ဂဏန်းနှစ်လုံးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ဥပမာ- IP 20 ၊ IP55 ၊ IP45 ဖြစ်သည်။ ပထမ ဂဏန်း(first digit) အမှုန်များ၊အမှိုက်များ(dust) အတွက်ဖြစ်ပြီး အဆင့်(၁) မှ (၆) အထိ ရှိသည်။ ဒုတိယမြောက် ဂဏန်း(second digit)သည် ရေ(water)အတွက်ဖြစ်ပြီး အဆင့်(၁) မှ (၈) အထိ ရှိသည်။

North American ingress protection နည်းမှာ NEMA standard 250 အခြေခံထားသည်။ Non hazardous enclosure အမျိုးအစား 1, 2, 3, 3R, 3S, 4, 4X, 5, 6, 6P, 12, 12K and 13 တို့ဖြစ်ကြသည်။

IP (Ingress Protection) classification သည် electrical equipment များအတွက် (တပ်ဆင်ထားသည့် environment နှင့်သက်ဆိုင်သည့်) degrees of protection ဖြစ်သည်။ အောက်ပါဇယားအတိုင်း အတိုချုပ် မှတ်သားနိုင်သည်။ ပို၍ အသေးစိတ်သိလိုပါက IEC 60529 ကို ဖတ်ရှုရန် လိုအပ်သည်။

Table 13-

1st Digit	Definition	2nd Digit	Definition
0	Non- protected	0	Non- protected
1	Against penetration of solid objects of 50mm diameter and more	1	Against vertical dripping water
2	Against penetration of solid objects of 12.5mm diameter and more	2	Against vertical dripping water at an angle of up to 15°
3	Against penetration of solid objects of 2.5mm diameter and more	3	Against vertical dripping water at a angle of up to 60°
4	Against penetration of solid objects of 1mm diameter and more	4	Against splashing water in all directions.
5	Dust protected 5 Against water jets in all directions	5	Against water jets in all directions
6	Dust tight	6	Against powerful jets of water and waves
		7	Against the affects of temporary immersion
		8	8 Against the affects of longed Immersion under specified conditions

NEMA standard ကို မြောက်အမေရိက နိုင်ငံများတွင် electrical equipment များအတွက် (တပ်ဆင်ထားသည့် environment နှင့်သက်ဆိုင်သည့်)degrees of protection ဖြစ်သည်။ Corrosion ၊ rust ၊ icing ၊ oil နှင့် coolants စသည့် environment condition များအတွက် ရည်ရွယ်၍ပြုလုပ်ထားသော standard ဖြစ်သည်။ အောက်ပါဇယားအတိုင်း အတိုချုပ် မှတ်သားနိုင်သည်။ ပို၍ အသေးစိတ်သိလိုပါက NEMA Standard 250 ကို ဖတ်ရှုရန် လိုအပ်သည်။

Table 13-

Environment Type	General Definition
1,2,4,4X, 5,6,6P, 12,12K, 13	Indoor non hazardous locations
3,3R, 4,4X, 6,6P	Outdoor non hazardous locations
7,10	Environment is designed to contain an internal explosion without causing an external hazard
8	Environment is designed to prevent combustion through the use of oilimmersed equipment
9	Environment is designed to prevent the ignition of combustible dust

၁၃.၉ လျှပ်စစ်မော်တာမှ စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ (Motor Losses)

၁၃.၉.၁ Copper Loss

Copper loss ဆိုသည်မှာ မော်တာ၏ rotor နှင့် stator များ၌ရှိသော ကြေးနီ(copper) ဝိုင်ယာများ အတွင်းတွင် လျှပ်စစ်စီးဆင်းမှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ဆုံးရှုံးမှုများ (losses) ဖြစ်သည်။ ကြေးနီ(copper) ဝိုင်ယာများ သည် မော်တာ၏ rotor နှင့် stator နှစ်ခုစလုံးတွင်ရှိသောကြောင့် rotor ရော stator တွင်ပါ copper losses ဖြစ်ပေါ်သည်။

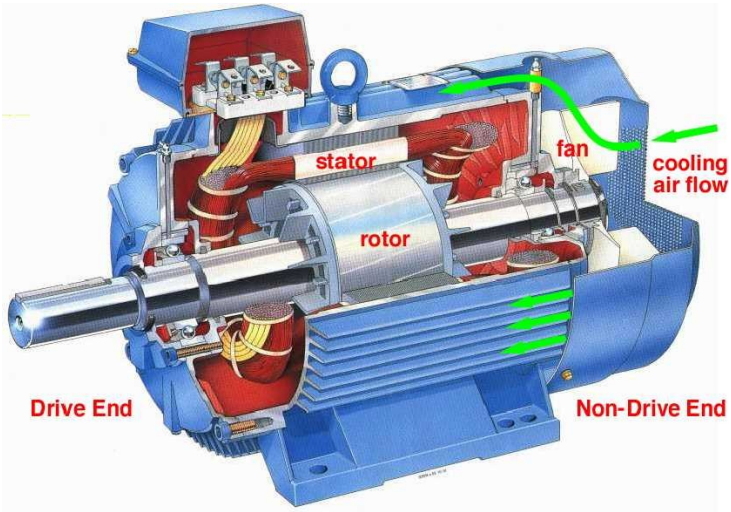
Stator winding နှင့် rotor winding တို့ ၏ resistance ကြောင့်ဖြစ်သည်။ Stator နှင့် rotor winding အတွင်းတွင် current ဖြတ်စီးခြင်းကြောင့် stator copper losses ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ထို losses ဖြစ်သည့်ပမာဏမှာ ဖြတ်စီး သည့် current နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် resistance တို့မြှောက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Losses = Current(I) x\ Current(I) x\ Resistance = I^2R}$$

ထို လျှပ်စစ်စွမ်းအင်များသည် မလိုလားအပ်သည့် အပူ(heat)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားပြီး စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးမှုဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့်မော်တာသည် လိုအပ်သည်ထက် ပိုပူလေ စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ လေဖြစ်သည်။

Copper loss ကြောင့်ဖြစ်သော စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုလျော့နည်းစေရန် stator slot ကို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Stator winding အတွင်း၌ရှိသော ဝိုင်ယာ၏ ထုထည်(volume) များလာစေရန် insulation thickness ကို လျော့ချနိုင်သည်။

Rotor ၏ copper losses နည်းစေရန် conductive bar နှင့် end ring ၏ အရွယ်အစားကို ကြီးမားအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ ကြီးမားအောင်ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် ခုခံမှု(resistance) ကို လျော့နည်းစေ နိုင်သည်။ Copper losses သည် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုစုစုပေါင်း (total losses) ၏ ၅၈%ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃- ၁၂ Motor

၁၃.၉.၂ Core Losses

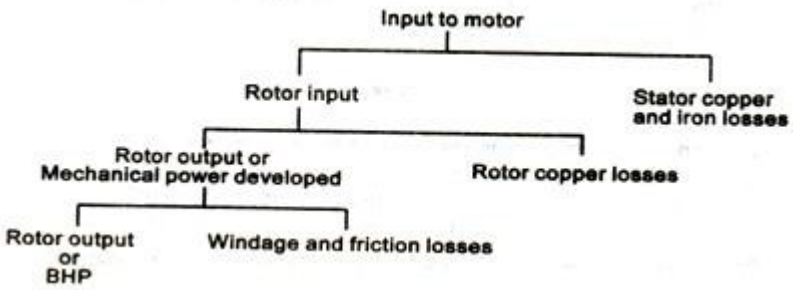
Core losses သည် eddy current losses နှင့် hysteresis တို့ဖြစ်သည်။

Core material(hysteresis)အား သံလိုက်စက်ကွင်း ဖြစ်အောင်ပြုလုပ် (magnetized) ရန်အတွက် လိုအပ်သောစွမ်းအင် ဖြစ်သည်။ Core material ၌ eddy current ဖြစ်ပေါ်ရန်အတွက် စွမ်းအင်တချို့ ဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။

Improved permeability electromagnetic (Silicon) steel ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် core losses ဖြစ်ပေါ်မှု နည်းအောင်ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Core ကို ပိုမိုရှည်လျားအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် magnetic flux densities လျော့နည်းလာကာ core losses ဖြစ်ပေါ်မှုလည်း နည်းလာသည်။ Thinner steel laminations ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် eddy current losses ကို နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

> Core losses နှင့် windage losses တို့သည့် မော်တာ၏ ဝန်(load)နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ Loading % များသည် ဖြစ်စေ၊ နည်းသည်ဖြစ်စေ core losses နှင့် windage losses တို့မှာ မပြောင်းလဲပေ။

Core losses သည် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုစုစုပေါင်း (total losses) ၏ ၁၂%ဖြစ်သည်။



၁၃.၉.၃ Windage and Friction Losses

Windage သည် မော်တာအားအေးအောင် (အပူချိန်မတက်အောင်) တပ်ဆင်ထားသော ပန်ကာကြောင့်ဖြစ်သော စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးမှုဖြစ်သည်။ ပန်ကာဒီဇိုင်းကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့်လည်း windage losses ကို လျော့နည်း စေနိုင်သည်။

Windage နှင့် friction losses သည် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုစုစုပေါင်း(total losses)၏ ၁၄% ဖြစ်သည်။ Friction losses သည် မော်တာတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် ဘယ်ရင်(bearing) မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

၁၃.၉.၄ Stray Losses

Load current က induce လုပ်သောကြောင့် leakage fluxes များဖြစ်ပေါ်လာကာ စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Surface losses နှင့် harmonics တို့သည် stray losses ထဲတွင်ပါဝင်သည်။ Stray losses ကို အတိအကျသိနိုင်ရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ တခြားသော မပြောပလောက်သည့် loss များသည် stray losses တွင် အကျုံးဝင်သည်။

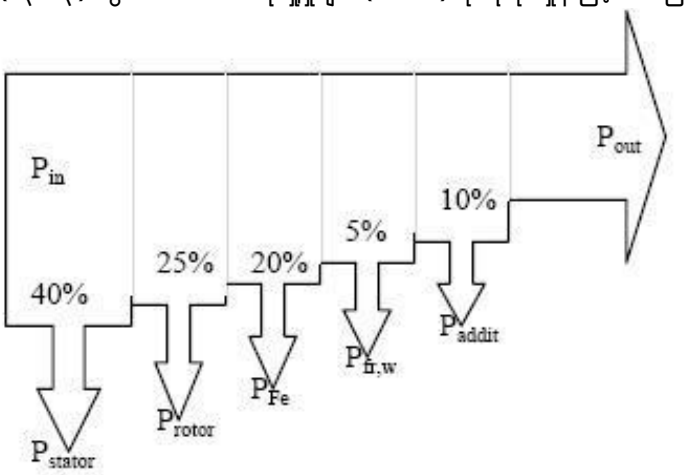
> Stator losses ، rotor losses နှင့် stray losses တို့သည် ကို "on load losses" ဟုခေါ်သည်။ "On load losses" သည် မော်တာ ၏ loading % ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Loading % များလေ "on load losses" များလေ ဖြစ်သည်။

Stray losses သည် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုစုစုပေါင်း (total losses) ၏ ၁၅%ဖြစ်သည်။

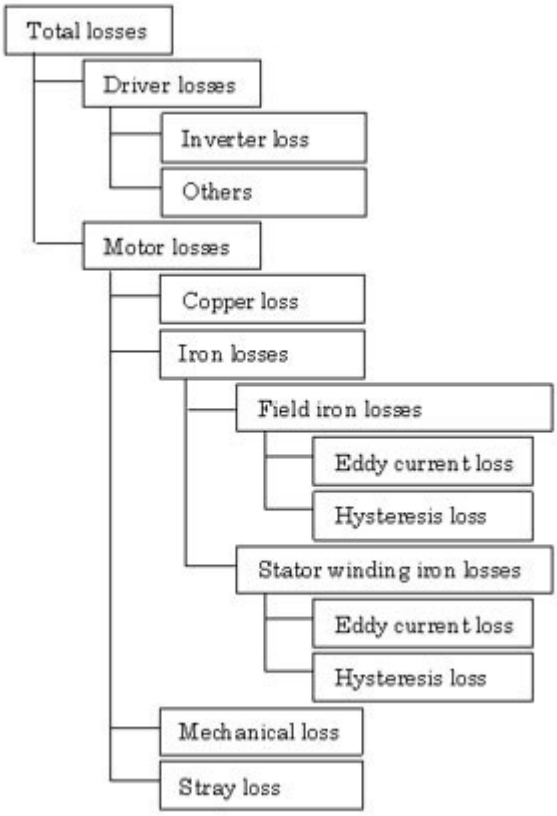
Copper loss (58%)	Stator loss
	Rotor loss
Core (Iron) loss(12%)	Eddy current loss

	Hysteresis loss
Windage and Friction loss (14%)	External fan windage
	Internal fan windage
	Bearing , Grease
Stray loss (15%)	Surface loss
	Harmonics
	Leakage flux

မော်တာတစ်လုံး၏ input electrical power မှ output mechanical power ကိုနှုတ်လျှင် မော်တာတစ်ခုလုံး၏ ဆုံးရှုံးမှုများ(losses)ကို ရမည်။ မော်တာ၏အရွယ်အစားနှင့် အမျိုးအစားတို့ကိုမူတည်၍ ဆုံးရှုံးမှုများ(losses) မတူညီကြပေ။ အောက်ပုံ (၁၃-၁၃) တွင်မော်တာ၏ ဆုံးရှုံးမှုများ (losses)ကို ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၁၃



ပုံ ၁၃-၁၄

၁၃.၁၀ Motor Efficiency

High-efficiency motor များကို စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှု(energy loss) နည်းအောင် တည်ဆောက်ထားကြသည်။ ဝိုင်ယာ၏အချင်း (diameter) ကို ကြီးအောင်ပြုလုပ်လိုက်ခြင်းကြောင့် ကြေးထုထည်(copper volume) 34% မှ 40% အထိ ပိုများလာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ခုခံအား(resistance) လျော့နည်းကာ copper lossess လျော့နည်းသည်။

ကြီးမားသည့် ဝါယာကြိုးကို အသုံးပြုလျှင် wire slot များကိုလည်း ကျယ်အောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ ကြောင့် steel lamination ၌ရှိနေသည့် active steel ပမာဏ လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ Steel losses လျော့နည်း စေရန်အတွက် rotor နှင့် stator core ကို ရှည်လျားအောင် ပြုလုပ်ပေးသင့်သည်။ ပိုရှည်လျားသည့် rotor နှင့် stator core ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် lamination ပိုများအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

(၁) High-grade silicon steel laminations သည် 0.018 in ခန့် ထူသည့် electrical loss of 1.5 W/lb ခန့် ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Chemical makeup နှင့် thinner gage of the laminations လျော့နည်းစေသည်။ (plus a coating of inorganic insulation on each piece) တို့ကြောင့် eddy current losses လျော့နည်းစေသည်။ Special annealing and plating of rotor and stator components and use of high-purity cast aluminum rotor bars reduce hysteresis losses.

(၂) Higher-grade bearing ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် friction loss လျော့နည်းနိုင်သည်။

(၃) Smaller, more efficient ဒီဇိုင်းဖြစ်အောင်ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် windage losses(fan-cooled motors တွင်) လျော့နည်းနိုင်သည်။

(၄) Tighter tolerances နှင့် more stringent manufacturing-process control တို့ကြောင့် losses from

unplanned conducting paths and stray load phenomena တို့ကို လျော့နည်း စေနိုင်သည်။

၁၃.၁၁ Power Factor Improvement (Power Factor ကောင်းစေမည့်နည်းကောင်းများ)

(က) ဖြစ်နိုင်လျှင်အပတ်ရေ(rpm) များသည့်မော်တာကို ရွေးချယ်အသုံးပြုပါ။

2 pole မော်တာ (60 Hz အတွက် 3600rpm) သည် Power Factor(PF) အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။ Pole အရေအတွက် များလာသည်နှင့်အမျှ မော်တာ rpm နည်းလာပြီး Power Factor လည်းကျဆင်းလာသည်။ Pole အရေအတွက်များ လေ၊ အပတ်ရေ (rpm) နည်းလေဖြစ်ပြီး၊ Power Factor ညံ့သည်။ Pole အရေအတွက် နည်းလေ၊ အပတ်ရေ (rpm) များလေဖြစ်ပြီး၊ Power Factor ကောင်းသည်။

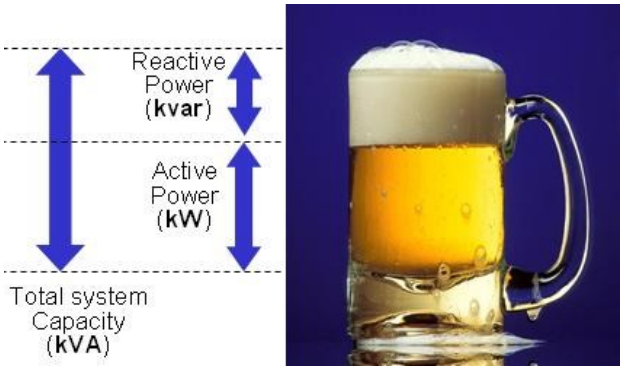
(ခ) Load နှင့် အနီးစပ်ဆုံး မော်တာ အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ပါ။ မောင်းမည့် ဝန်(load) ထက် ပိုကြီးမားသည့် မော်တာ အရွယ်အစားကို မရွေးချယ်သင့်ပါ။

မော်တာ၏ loading နည်းလျှင် (light load ဖြစ်လျှင်) မော်တာ၏ real power နည်းသည်။ Loading များလျှင် (heavy load ဖြစ်လျှင်) မော်တာ၏ real power များသည်။ သို့သော် reactive power သည် ပြောင်းလဲမှု မရှိလောက်နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် induction မော်တာတွင် real power နှင့် reactive power အချိုးသည် load ပေါ်တွင်မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ မော်တာ၏ loading သည် အနည်းဆုံး ၁၀%မှ အများဆုံး ၈၅% အထိဖြစ်နိုင်သည်။ Oversized မော်တာ (အလွန်ကြီးသည့်မော်တာကို ရွေးထားလျှင်) ၏ reactive current သည် သေးသော မော်တာ ၏ reactive current ထက် ပိုများသည်။

၁၃.၁၁.၁ Power Factor (PF)

AC indcution မော်တာများတွင် input electrical power ဘက်၌ power factor ရှိသည်။ Power factor ဆိုသည်မှာ active power (True Power ဟုလည်းခေါ်သည်။) ကို Apparent Power နှင့်စားထားသည့် အချိုးဖြစ်သည်။ Power factor ၏ တန်ဖိုးမှာ ၀ မှ ၁.၀ အတွင်းဖြစ်နိုင်သည်။ Resistive load လုံးဝဖြစ်နေသည့်အခါတွင် reactive power လုံးဝမရှိသောကြောင့် အမြင့်ဆုံး power factor (1.0) ရရှိနိုင်သည်။ သို့သော် အဆောက်အဦများနှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ အတွင်းတွင် resistive load မရှိ၍ မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် reactive power သည် အလွန်များသည်။ ထို့ကြောင့် power factor သည် ၁.၀ ထက်နည်းလေ့ရှိသည်။

Reactive power သည် စည်ဘီယာခွက်ထဲတွင်ရှိသည့် အမြှုတ်နှင့်တူသည်။ သောက်၍ရသည့် ဘီယာ အရည်သည် active power နှင့်တူသည်။ Active power တစ်ခုတည်းကိုသာ ဝယ်ယူ၍မရနိုင်။ Reactive power နှင့်တွဲ၍ ဝယ်ယူရသည်။ ထို့အတူ စည်ဘီယာကိုလည်း အမြှုတ်နှင့် အရည် အတွဲ၍ဝယ်ယူရသည်။ သောက်သူအတွက် အကျိုးမရှိသော်လည်း ရောင်းသူက အရည်ကော၊ အမြှုတ်ကိုပါ ထည့်၍ပေးရသည်။



ပုံ ၁၃-၁၅

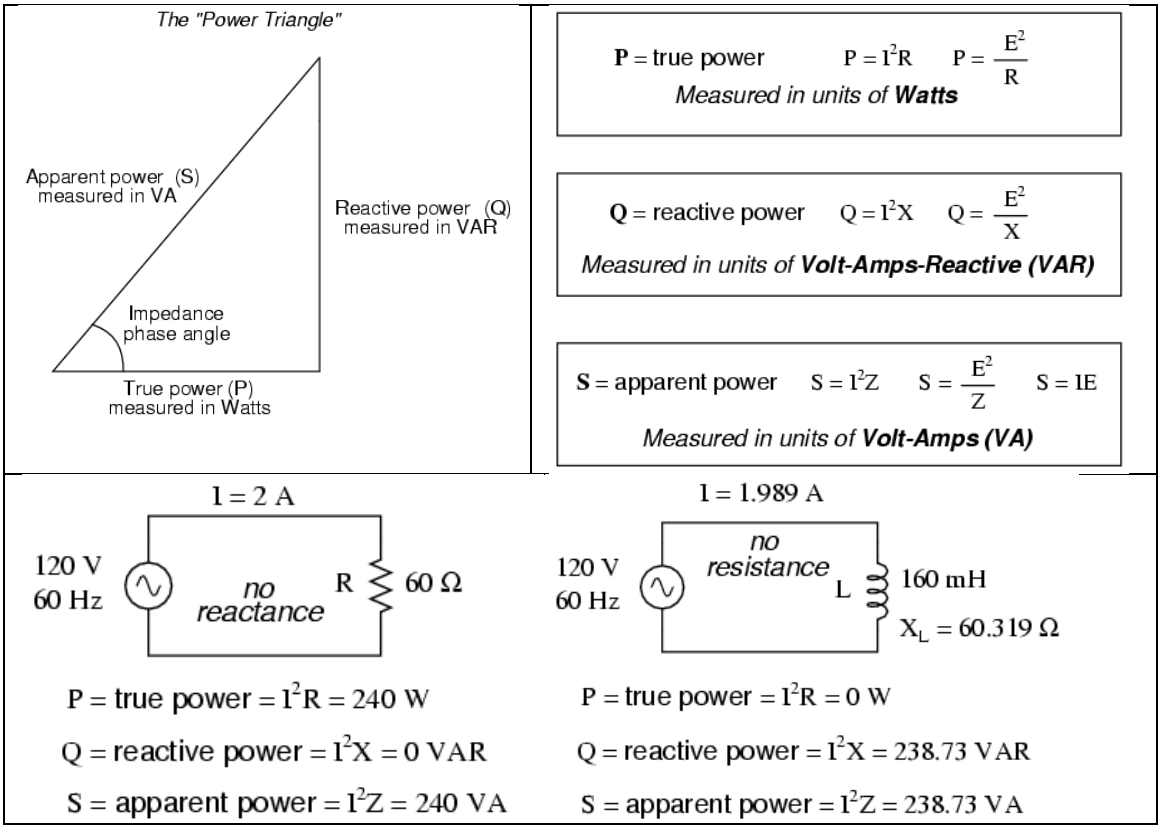
ထို့အတူပင် active power ကိုသာ မော်တာအသုံးပြုသူများက လိုအပ်သော်လည်း လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ထုတ်လုပ်သူ(utility company) များက active power နှင့် reactive power နှစ်ခုပေါင်းဖြစ်သည့် Total power ကို

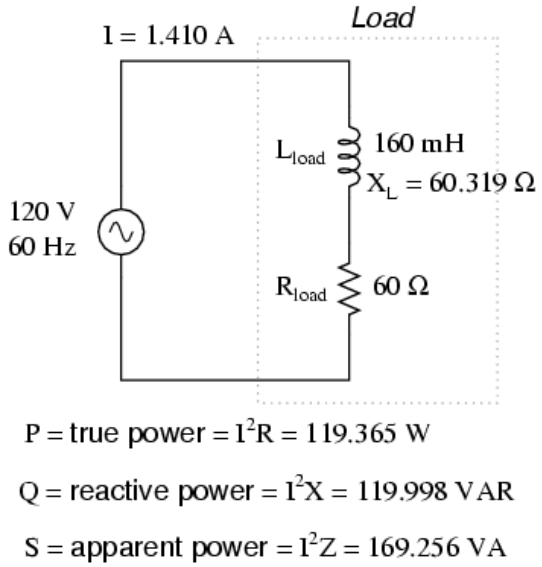
ရောက်အောင် ပို့ဆောင်ပေးရသည်။ Reactive power သည် power transmission နှင့် distribution system များ အတွက် extra load ကို ဖြစ်စေသည်။ ကေဘယ်ကြိုးများနှင့် ထရန်စဖော်မာ များကိုလည်း total power လိုအပ်ချက် အတိုင်း ပြုလုပ်ထားပေးရသည်။ Power factor နည်းသည့် သို့မဟုတ်ညံ့သည့် မော်တာများအတွက် utility company က total power လိုအပ်သည်ထက် ပိုပေးရသည်။ (ရသည့် active power မှာ အတူတူပင် ဖြစ်သော်လည်း)။ ထို့ကြောင့် (၇.၈)ထက် နည်းသည့် power factor ရှိသော consumer များကို utility company က ဒဏ်ကြေး ပေးဆောင်စေသည်။

> မော်တာတွင်ရှိသည့် poles အရေအတွက်နည်းလေ၊ မော်တာ ၏ power factor များလေ သို့မဟုတ် ကောင်းလေဖြစ်သည်။ number of poles နည်းလေ၊ အပတ်ရေနှုန်း (Speed) များလေဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် Synchronous Speed (rpm) များသည့်မော်တာ၏ power factor သည် synchronous speed (rpm) နည်းသည့် မော်တာ၏ power factor ထက် ပိုကောင်းသည်။ Speed နှင့် power factor သည် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။

> မော်တာ ၏ loading % များလေ power factor များလေ သို့မဟုတ် ကောင်းလေဖြစ်သည်။ မော်တာ၍ အပတ်ရေနှုန်း(Speed) များလေ Power Factor ကောင်းလေဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် speed များသည့် မော်တာ အတွက် power factor ကောင်းရန်လိုအပ်သော capacitor အရွယ်အစားမှာ သေးငယ်လေ့ရှိသည်။

ထို့ကြောင့် over sized မော်တာများတွင် power factor ညံ့သည်ကိုတွေ့ ရလေ့ရှိသည်။ မော်တာကို မည်သည့် ဝန်နှင့်မျှ ချိတ်ထားခြင်းမရှိသည့် အချိန်(no load)တွင် မော်တာသုံးစွဲသည့် current မှာ အလွန် များသည် အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် active load လုံးဝမရှိဘဲ reactive load သာရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။





မော်တာသည် Active Power (True Power)ကို သာ အသုံးပြုသော်လည်း လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ထုတ်လုပ်သည့် company သည် Apparent Power (VoltAmp)ကို လုံလောက်အောင် ပြုလုပ် ပေးထား ရသည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် Reactive Power (VAr) နှင့် Active Power (True Power-watt) တို့နှစ်ခုပေါင်း အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးပို့ရသည်။ လျှပ်စစ် ဓာတ်အား ထုတ်လုပ်သည့် company သည် Apparent Power (VoltAmp) အတွက်ပါ generation၊ transmission နှင့် distribution sysmtem များအတွက် အကုန်အကျ ခံထား ရသောကြောင့် Power Factor နိမ့်သော အသုံးပြုသူ များကို ဓာတ်အားခ ပိုမို ကောက်ခံလေ့ရှိသည်။

Pole များ သည့် AC indcution မော်တာများသည် pole နည်းသည့် မော်တာများထက် power factor နိမ့်သည်။ Poles များလေလေ power factor နည်းလေလေဖြစ်သည်။

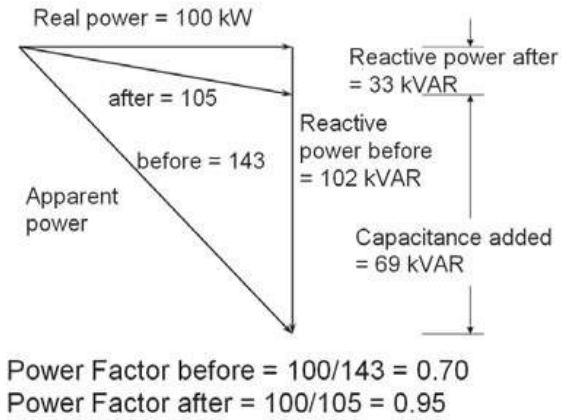
> မည်သည့် မော်တာတွင်မဆို မော်တာ loading များလေ power factor များ လေဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည် ထက် ပိုကြီးအောင်(oversized)လုပ်ထားသည့် မော်တာများတွင် power factor နည်းသည်ကို ထင်ရှားစွာ တွေ့မြင်နိုင်သည်။

၁၃.၁၁.၂ Power Factor နည်းခြင်း၏ အပြစ်များ

သုံးစွဲသူများ၏ power factor နည်းခြင်းကြောင့် လိုသည်ထက်ပို၍ကြီးမားသော power plant လိုအပ်သည်။Overloading ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသည်။Power factor နည်းခြင်းကြောင့် current များများစီးရန်လိုအပ်သည်။ Current များများစီးခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှု (energy losses) ပိုများသည်။

၁၃.၁၁.၃ Power Factor ကောင်းမည့်နည်းလမ်းများ

Capacitor ကို မော်တာနှင့် parallel တပ်ဆင်ခြင်းကြောင့် reactive power ကို လျော့ချနိုင်သည်။ Reactive power ကို လျော့နည်းခြင်းကြောင့် power factor ပို ကောင်းလာလိမ့်မည်။



ပုံ ၁၃-၁၆

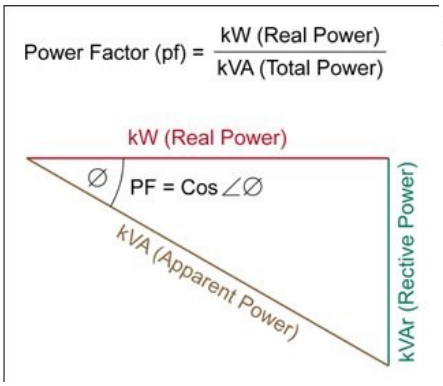
Capacitor တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် capacitorအတွင်း၌ရှိသော capacitive current သည် power supply ဘက်မှရှိသော lagging inductive current ကို ခြေဖျက်နိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် capacitive current သည် leading current ဖြစ်သောကြောင့် lagging inductive current ကို ခြေဖျက်နိုင်သည်။

၁၃.၁၁.၄ Power Factor Correction

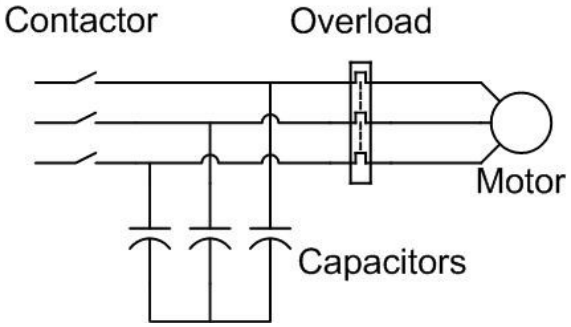
Power correction ပြုလုပ်ရာတွင် static correctioin နှင့် bulk correction ဟု၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။

(က) Static Power Factor Correction

မော်တာများ၏ starter တိုင်းနှင့် capacitor ကို ချိတ်ဆက်ထားခြင်းကို static power factor correction ဟုခေါ်သည်။ များသောအားဖြင့် အလွန်ကြီးမားသောမော်တာများတွင်အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Line losses ကို လျော့ချရန် အတွက်လည်း အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ သတ်မှတ်ထားသော သီးသန့် load သို့မဟုတ် မော်တာတစ်ခုကို တပ်ဆင်ရန် ဖြစ်သောကြောင့် capacitor size ကို အလွယ်ကူစွာ ရွေးချယ်နိုင်သည်



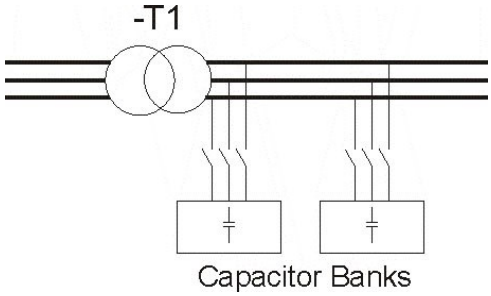
ပုံ ၁၃-၁၇



ပုံ ၁၃-၁၈

(ခ) Bulk Power Factor Correction

Capacitor များကို distribution board များ၌တပ်ဆင်ပြီး starter များတစ်ခုစီမှ သီးခြား controll လုပ်ခြင်းမျိုးကို bulk power factor correction ဟုခေါ်သည်။ စုပေါင်းတပ်ဆင်ခြင်းကြောင့် ကုန်ကျစရိတ်သက်သာသည်။ Lower cost per kVAR installation.မော်တာအမြောက်အများအတွက် autoatic switching ပြုလုပ်၍လည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၁၉

ဥပမာ -Active Power 1000kW ရှိသည့် ဆားကစ်တစ်ခုတွင် line current သည် 2000A ဖြစ်ပြီး line voltage သည် 400V ဖြစ်သည်။ Power Factor ကို 0.9 အထိ တက်ရန်အတွက် ထည့်ရမည့် အသင့်လျော်ဆုံးသော capacitor ၏ kVAr rating ကို တွက်ပါ။

အဖြေ 476 kVAr

ဥပမာ-ဝန်ဖြင့်မောင်းနေသော မော်တာတစ်လုံး၏ power factor ကို သိရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်များကို တိုင်းတာရရှိထားပါသည်။ ထိုမော်တာ၏ full load power factor ကို ရှာပါ။

Motor rated power	=	30kW (from catalogue)
Full load current	=	58 A (measured by current clamp meter or tong meter)
Supply voltage	=	400V (measured by multi-meter)

အဖြေ : Full load power factor သည် 0.85 ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - 1000kW load အတွက် lagging power factor သည် 0.8 ဖြစ်သည်။ Apparent power နှင့် reactive power တို့ကိုရှာပါ။ Power factor ကို 0.9 အထိ ကောင်းရန် တပ်ဆင်မည့် capacitor bank ၏ kVAr တန်ဖိုးကိုရှာပါ။

အဖြေ = 266

၁၃.၁၁.၅ Supply Voltage to Motor နှင့် ဗို့အားမညီမျှခြင်း (Unbalanced Voltage)

AC မော်တာများကို supply voltage အတက်အကျဒဏ်ခံနိုင်ရန်အတွက် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ပြီးရောင်းချကြသည်။ NEMA standard အရ သတ်မှတ်ထားသော voltage မှ အနိမ့် ၊ အမြင့် ၁၀% ကို လက်ခံနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 400 volt အတွက် ထုတ်လုပ်ထားသော မော်တာ တစ်လုံးသည် 420 volt နှင့် 380 volt အတွင်းတွင် ကောင်းစွာမောင်းနိုင်သည်။ 400 volt ၏ +10%မှာ 420Volt ဖြစ်ပြီး -10% မှာ 380 volt ဖြစ်သည်။

Supply voltage အလွန်မြင့်တက်ခြင်း သို့မဟုတ် အလွန်ကျဆင်းခြင်းသည် မော်တာကို အပူလွန်ကဲခြင်း (over heating) ဖြစ်စေသည်။ Supply voltage အလွန်မြင့်တက်ခြင်း high voltage ပေးသကဲ့သို့ဖြစ်သောကြောင့် မော်တာကို အလွန်ပူစေသည်။ Supply voltage အလွန်ကျဆင်းခြင်းကြောင့် high current ကို စီးဆင်းစေသည်။ ထို့ကြောင့် မော်တာကို အလွန်ပူစေသည်။

3 phases ရှိသည့် အနက် phases တစ်ခု မှ voltage နှင့် တခြား phases တစ်ခုမှ voltage တို့ကွာခြားခြင်းကို ဗို့အားမညီမျှခြင်း (unbalance voltage) ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ Unbalanced voltage between phases ကြောင့် မော်တာ၏ efficiency သည်အလွန် ကျဆင်းနိုင်သည်။ Unbalanced Voltage ၅% ဖြစ်လျှင် မော်တာ losses ၃၀% ပိုများလာသည်။

မော်တာကို ပေးသည့် ဗို့အား သည် unbalanced voltage ၅% ဖြစ်လျှင် မော်တာ၏ စွမ်းအားသည် ၂၅% ကျဆင်းသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် de-rated ၂၅% ဖြစ်နိုင်သည်။

NEMA ၏ သတ်မှတ်ချက်အရ voltage unbalance ဆိုသည်မှာ

$$\boldsymbol{Unbalance}\ (\%) = \frac{(\boldsymbol{Max.voltage}) - (\boldsymbol{Average\ Voltage\ of\ 3\ Phases})}{\boldsymbol{average\ voltage\ of\ the\ 3\ phases}}\ \boldsymbol{x\ 100}$$

ဥပမာ - Line to Line Voltage သည် 442 ၊ 445 ၊ 440 တို့အသီးသီးဖြစ်လျှင် voltage unbalance ကို တွက်၍ ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြပါ။

Average of voltage of 3 phase = (442+445+440)/3 = 442.33

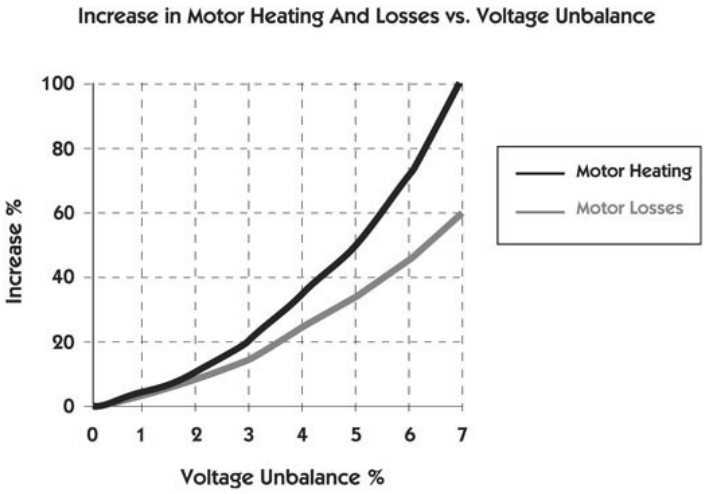
Unbalance % = (445-442.33)/442.33=0.6% **အဖြေ 0.6%**

Unbalance voltage ကို သိနိုင်ရန် ground fault indicator ကို တပ်ဆင်ထားသင့်သည်။ မော်တာများကို နှစ်စဉ် thermo graphic inspection ပြုလုပ်သင့်သည်။ 120 Hz vibration ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် ထိုမော်တာသည် ဗို့အားမညီမျှခြင်း(unbalanced voltage) ဖြစ်နေကြောင်း သိနိုင်သည်။

Characteristic	Performance		
Average voltage	230	230	230
Percent unbalanced voltage	0.3	2.3	5.4
Percent unbalanced current	2.4	17.7	40
Increased temperature rise (∞C)	<1	11	60

Figure 1: Effects of voltage unbalance on a 5 hp motor.

ပုံ ၁၃-၂၀ Effects of voltage unbalance on ၅ hp motor



ပုံ ၁၃-၂၁ Increase in motor heating and losses vs voltage unbalance.

ဗို့အားမညီမျှခြင်းပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန် နည်းကောင်းများ (eliminate voltage unbalance) ကို ရှာဖွေနိုင်ရန်အတွက် unbalanced voltages ဖြစ်စေသောအကြောင်းများကို နည်းလည်သဘောပေါက်သင့်သည်။

(၁) လျှပ်စစ်မောတာအားပို့လွှတ်သည့်နေရာမှ unbalance ဖြစ်ခြင်း (Unbalanced incoming utility supply)

(၂) Transformer tap setting များ မတူညီကြခြင်း (Unequal transformer tap settings)

(၃) လျှပ်စစ် distribution system တွင် phase တစ်ခု၏ distribution transformer သည် အလွန်ကြီးခြင်း (A large single-phase distribution transformer on the system)

(၄) Distribution transformer အဝင်ဘက်တွင် open ဖြစ်နေခြင်း (An open phase on the primary of a three-phase distribution transformer)

(၅) Transformer တွင် fault ဖြစ်နေခြင်း သို့မဟုတ် ground ကျနေခြင်း (Faults or grounds in the power transformer)

(၆) ထရန်စဖော်မာတွင် ဒယ်တာ connection capacitors ၌ open ဖြစ်နေခြင်း (Open delta-connected transformer banks)

(၇) Capacitors bank တွင် ဖျူးစ် ပျက်နေခြင်း (A blown fuse on a bank of three-phase power factor

improvement capacitors.)

(၈) လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးပို့သည့် ဘက်တွင် impedance မညီမျှခြင်း (Unequal impedance in conductors of power supply wiring)

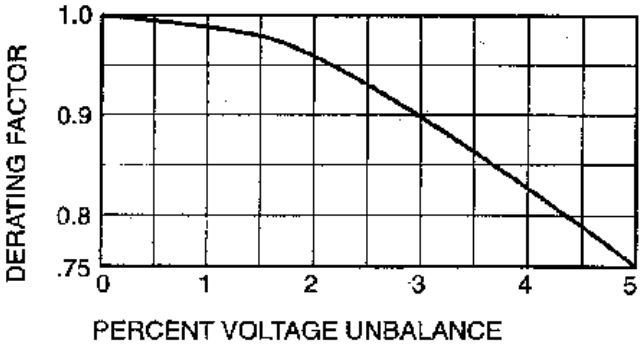
(၉) Phase တစ်ခုတည်းတွင် load များစွာ ချိတ်ထားခြင်း (Unbalanced distribution of single-phase loads such as lighting)

(၁၀) Single-phase ဂဟေဆော်စက်ကို အသုံးပြုနေခြင်း (Heavy reactive single-phase loads such as welders)

(၁၁) အဖွင့်အပိတ်များသော အကြီးစား heater များကို အသုံးပြုခြင်း (Large heater controls that cycle rapidly)

(၁၂) Power factor correction equipment များ ပျက်စီးနေခြင်း သို့မဟုတ် ကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်ခြင်း

ပုံ ၁၃-၂၂



ပုံ ၁၃-၂၃

Motor Starting

The method of motor starting shall be selected according to the characteristics of the pump and shall comply with the Electricity Supply Co.'s limitations on starting current. The type of starter shall be as follows, unless otherwise specified: -

Condition 1 : For supply arrangement from company's overhead line
Up to 3.8 kW Direct-on-line
3.8 kW to 22 kW Star/delta
Above 22 kW Automatic-transformer 60% tapping or star/delta

Condition 2: For supply arrangement from company's non-overhead line system
Up to 11 kW Direct-on-line
11 kW to 25 kW Star/delta
Above 25 kW Automatic-transformer 65% tapping or star/delta

End

Contents

၁၃.၁ လျှပ်စစ်မော်တာ လည်ပတ်နှုန်းများ - AC Motor Speed (rpm) 3

၁၃.၂ Slip (မော်တာအတွင်းစလစ်ဖြစ်မှုများ) 4
၁၃.၃ Motor Torque Speed Curves 5
၁၃.၄ Motor Insulation 6
၁၃.၅ Motor Nameplates များကို ဖတ်ရှုနားလည်ခြင်း 8
၁၃.၆ Torque တွက်နည်း 10
၁၃.၇ Energy Saving from Motor Efficiency 10
၁၃.၇.၁ မော်တာတစ်လုံး၏ Efficiency ကို သိနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ .....
၁၃.၇.၂ မော်တာတစ်လုံး၏ Input Electrical Power ကို တွက်ချက်ခြင်း .....
၁၃.၇.၃ Estimation of Motor Loading .....
၁၃.၇.၄ Service Factor (SF) .....
၁၃.၈ Motor Enclosures နှင့် Ingress Protection 13
၁၃.၉ လျှပ်စစ်မော်တာမှ စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ (Motor Losses) 15
၁၃.၉.၁ Copper Loss .....
၁၃.၉.၂ Core Losses .....
၁၃.၉.၃ Windage and Friction Losses .....
၁၃.၉.၄ Stray Losses .....
၁၃.၁၀ Motor Efficiency 18
၁၃.၁၁ Power Factor Improvement (Power Factor ကောင်းစေမည့်နည်းကောင်းများ) 19
၁၃.၁၁.၁ Power Factor (PF) .....
၁၃.၁၁.၂ Power Factor နည်းခြင်း၏ အပြစ်များ .....
၁၃.၁၁.၃ Power Factor ကောင်းမည့်နည်းလမ်းများ .....
၁၃.၁၁.၄ Power Factor Correction .....
(၁) Bulk Power Factor Correction .....
၁၃.၁၁.၅ Supply Voltage to Motor နှင့် ဗို့အားမညီမျှခြင်း (Unbalanced Voltage) .....