Power Factor (Part-1)

နိဒါန်း

Power factor ဟူသောဝေါဟာရသည် လျှပ်စစ်ပညာတွင် အသုံးများလာသည်နှင့်အမျှ ဘယ်လိုအဓိပ္ပါယ်သတ်မှတ်သည် ဘာကြောင့်ဖြစ်ရသည်ကို သိရှိရန်လိုအပ်ပါသည်။မိမိကျင်လည်သော လုပ်ငန်းပတ်ဝန်းကျင်အရ power factor ဆိုသော ဝေါဟာရ၏ အဓိပ္ပါယ်ကို ပုံစံတစ်ခုတည်း နားလည်တတ်ကြသည်။

Power factor ဝေါဟာရကိုစတင်သုံးစွဲစဉ်က နားလည်ထားခဲ့သော အကြောင်းအရာများ သည် လျှပ်စစ်ပစ္စည်းများ ပုံစံအမျိုးမျိုးဖြင့် ပေါ်ပေါက်လာသည့်အခါ တစ်ခြားနားလည်ရန်လိုအပ်သော အကြောင်းအရာများလည်း ရှိလာသည်ကိုတွေ့ရသည်။

တစ်နည်းအားဖြင့်ဆိုသော် power factor ကို ပို၍ယေဘုယျကျသော နည်းလမ်းများ ကိုတွေ့ရှိလာသည်ဟုဆိုရပေမည်။

ဥပမာအားဖြင့် ပိုက်သာဂိုးရပ် သီအိုရမ် ဟုသိထားသော ထောင့်မှန်တြိဂံတစ်ခု၏ အနားများ ဆက်နွယ်မှုသဘောတရားသည် ထောင့်မှန်တြိဂံအတွက်သာမှန်ကန်ပြီး တစ်ခြားတြိဂံများအတွက် မမှန်ကန်ပေ။

တြီဂိုနိုမေတြီ တွင်ရှိသော cosine law ကိုကြည့်ပါ။ မည်သည့်တြိဂံအမျိုး အစားကိုမဆို မှန်ကန်နေသည့် ယေဘုယျဆန်သော သဘောတရားရှိသည်။

နောက်ဥပမာတစ်ခု ...

န်ျူတန်၏ ရွေ့ရှားမှုဆိုင်ရာဥပဒေသများသည် သာမန်ရွေ့ရှားမှုရှိသော အရာဝတ္ထုများအတွက်သာ မှန်ကန်မှုရှိပြီး အလင်းအလျင်နီးပါးရွေ့ရှားနေသော အရာဝတ္ထုများအတွက်မူ မှန်ကန်မှုမရှိတော့ပေ။ ဤတွင် အိုင်းစတိုင်း၏ ရွေ့ရှားမှုဆိုင်ရာ ဥပဒေသက ပို၍ယေဘူယျဆန်သွားပြီး

ပို၍အသုံးတည့်လာပါသည်။ ဆိုလိုချင်သည်မှာ လျှပ်စစ်ပစ္စည်းများ အသစ်ပေါ်လာသည်နှင့်အမျှ လျှပ်စစ်ပညာ၏ နိယာမ,ဥပဒေသများလည်း ပုံစံပြောင်းလဲသတ်မှတ်လာရသည်ကိုတွေ့ရသည်။

Power factor ကိုနားလည်ရန်အတွက်အဓိကကျသော Law တစ်ခုရှိသည်။၎င်းမှာ...အခြေခံဖြစ်သော Ohm's law သာဖြစ်သည်။လျှပ်စစ်ပစ္စည်းတစ်ခုတွင် power factorကိုပြဿနာတစ်ခုအဖြစ်ရှုမြင်ကြရသည့် အကြောင်းမှာ ထိုပစ္စည်း သည် Ohm's Law ကို အတိအကျ (အတိအကျ) မလိုက်နာလို့သာဖြစ်သည်ဟု ဆိုရပေမည်။

တစ်နည်းအားဖြင့်Ohm's Law အတိုင်း characteristic မရှိသော လျှပ်စစ်ပစ္စည်းတိုင်း အတွက် power factor သည်ပြဿနာတစ်ခုဖြစ်နေမည်သာ။

Power factor (Part-2)

Power ဆိုသည်မှာ တစ်စက္ကန့်အတွင်းကူးပြောင်းသွားသော energy ပမာဏကိုခေါ်ပါသည်။ ထိုကြောင့် energy များ၏ သဘာဝနှင့် energy သည် အသွင်တစ်ခုမှတစ်ခြားအသွင်တစ်ခုသို့ကူးပြောင်းတတ်သည်ကိုသိရှိထားဖို့လိုသည်။ electrical energy သည် Source (generator, battery) မှ ထွက်လာသော မူရင်း energy တစ်ခုဖြစ်သည်။ ထိုမူရင်း electrical energy မှသည် လျှပ်စစ်ပစ္စည်း load ထဲသို့ရောက်သောအခါ load သည်တစ်ချို့သော electrical energy များကို တိုက်ရိုက်သုံးစွဲပြီး တစ်ချို့သော energy များကို ခေတ္တ သိုလှောင်ထားသည်။ ထိုသို့ သိုလှောင်ထားပြီး ပြန်လည်သုံးစွဲသော အခါ တစ်ချို့ကိုသာ သုံးစွဲပြီး လက်ကျန် Electrical energy များ ကို တစ်နည်းနည်းဖြင့် ပြင်ပသို့ပြန်လည် ထုတ်ပစ် တတ်ကြသည်။

ထိုသို့ပြန်လည်ထုတ်ပစ်သော energy များသည်

(၁) Source ဘက်သို့ပြန်လာတတ်ခြင်း

(၂) တစ်ခြားတစ်နည်း ဖြင့်ပြင်ပသို့ ထွက်သွားတတ်ခြင်း

ရှိသည်ကို တွေ့ရသည်။ အထက်ပါ energy များ၏ ကူးပြောင်းနေသည့်ဖြစ်စဉ်ကို လေ့လာရာတွင် power များစီးဆင်းသွားသည့်သဘောပါသော power flow ဖြင့်လေ့လာကြသည်။ ထို့ကြောင့် source နှင့် load အကြားတွင် ဖြစ်တည်နေသော power flow ကိုလေ့လာကြသည်။ Source မှပေးလိုက်သော power နှင့် load မှ တကယ်သုံးစွဲသော power အကြား မတူညီမှုကိုအခြေခံ၍ ထို power နှစ်ခု၏ အချိုးကို power factor ဟူသော ဝေါဟာရဖြင့် သတ်မှတ်လာကြသည်။

ထိုကြောင့် power factor သည် load မှတကယ်သုံးစွဲသော real power ကို source မှပေးလိုက်သော apparent power ဖြင့်စားသော ကိန်းတစ်ခုဟုခေါ်နိုင်ပါသည်။ ထိုကြောင့် Load သည် Source မှပေးလိုက်သော power ကို အပြည့်အဝသုံးပါက power factor တန်ဖိုး 1 (one) unity power factor ရှိသည်ဟုခေါ်ပြီး အကုန်မသုံးပါက power factor တန်ဖိုး သည် 1(one) ထက် ငယ်မည်ဖြစ်သည်။

သတ်မှတ်ချက်များအရ power factor တန်ဖိုးသည်(+1) နှင့်(-1) ကြားတွင်ရှိသည်။ power flow သည် source ဘက်မှ generate လုပ်ခြင်းကြောင့်ဖြစ်လျင် positive power factor (0 to +1) ဖြစ်ပြီး load ဘက်မှ generate လုပ်ခြင်းကြောင့်ဖြစ်လျင် negative power factor (0 to -1) ဖြစ်သည်။ (ဤစာ၌ positive power factor ကိုသာရေးဖို့ရည်ရွယ်ပါသည်။)

သုံးစွဲသည့် load ၏ တည်ဆောက်ပုံသဘာဝ ပေါ်မူတည်၍ power factor သဘာဝ မတူပုံ ကို Figure-1 တွင် ရှင်းလင်းထားပါသည်။

Figure-1

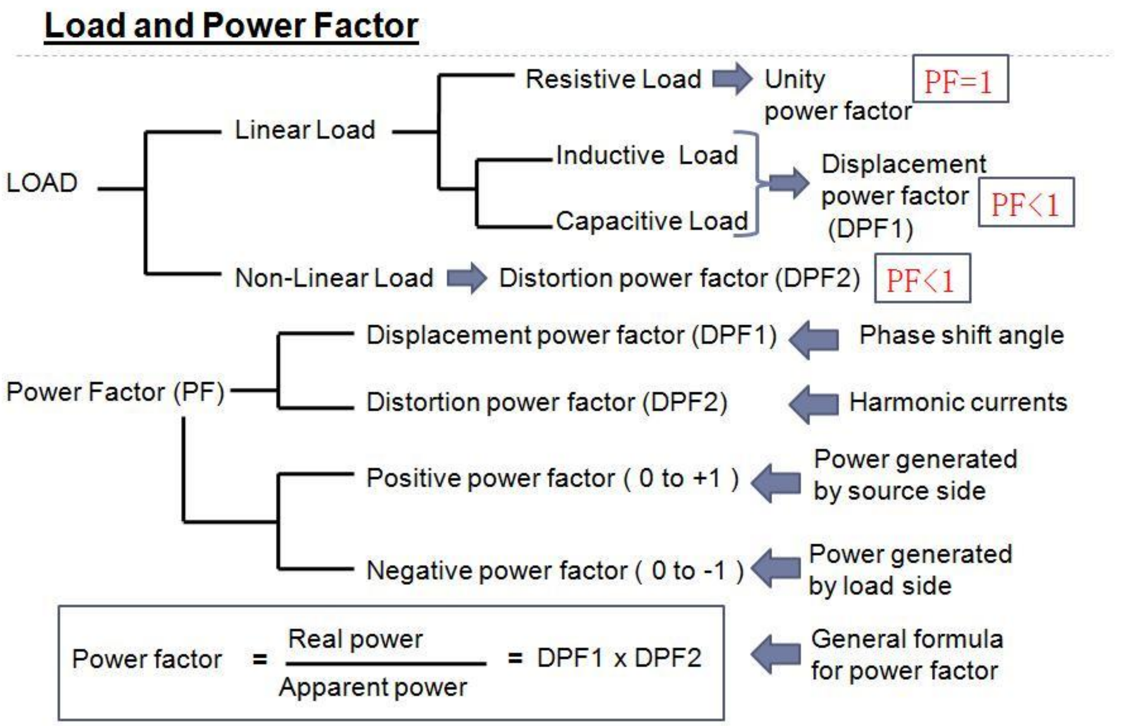


Figure-1 LOAD အမျိုးအစားများနှင့် Power factor ၂ မျိုး

Load အမျိုးအစား ၂ မျိုးရှိပါသည်။၎င်းတို့မှာ Linear load နှင့် Non-linear load တို့ဖြစ်သည်။

Linear load

Sinusoidal wave သဘာဝရှိ AC voltage Source မှ load ဘက်သို့ power ပေးရာ၌ Sinusoidal wave သဘာဝရှိသော AC current တစ်ခုစီးဆင်းစေပါက ထို Load ကို Linear load ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် voltage နှင့် current နှစ်ခုလုံးသည် တူညီသော wave shape ရှိကြပြီး in-phase သို့မဟုတ် phase shift angle တစ်ခု ကွာနေခြင်းသာ ရှိသော သဘာဝရှိကြသည်။
ဥပမာ,

Resistive load များ (resistor, heating coil,.....), Inductive load (inductor, motor , transformer,....), Capacitive load (capacitor , ...)

Non-linear load

Sinusoidal wave သဘာဝရှိသော AC voltage source ဘက်မှ load ဘက်သို့ power ပေးရာ၌ Sinusoidal wave သဘာဝ မရှိ သော AC current တစ်ခု တစ်နည်းအားဖြင့် Non-sinusoidal current စီးဆင်းစေသော Load ကိုခေါ်သည်။ ဥပမာ, Rectifiers, fluorescent lamp, electric welding machines,...

Power factor အမျိုးအစား ၂ မျိုးရှိပါသည်။ ၎င်းတို့မှာ Displacement power factor နှင့် Distortion power factor တို့ဖြစ်ပါသည်။

Displacement power factor (DPF1)

Linear load များကြောင့် voltage နှင့် current သည် phase shift angle တစ်ခုသာ ရွှေလျားသွားသည်။ ထိုအခြေအနေတွင်ရှိသော power factor မျိုးကိုခေါ်သည်။

Distortion power factor (DPF2)

Non-linear load များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော current သည် harmonic current များရောနေပြီး distortion ဖြစ်နေသည်။ ထိုအခြေအနေတွင်ရှိသော power factor မျိုးကိုခေါ်သည်။

မည်သည့် load အမျိုးအစား ကြောင့်ဖြစ်စေ power factor သည် real power နှင့် apparent power တို့၏ အချိုးတစ်ခုအဖြစ် သို့မဟုတ် DPF1 နှင့် DPF2 တို့၏မြှောက်လဒ် အဖြစ်ပါ ယေဘုယျအားဖြင့် သိရှိထားပါသည်။

Power factor (Part-3)

Power factor ဆိုတာ real power နှင့် apparent power တို့၏ အချိုးတစ်ခုဖြစ်သည်..ဆိုလျှင် power factor ကို ရှာဖို့အတွက် အဆိုပါ power များ၏ သဘောသဘာဝကိုသိရပေမည်။

(မှတ်ချက်...အဓိပ္ပါယ်ရှင်းလင်းမှုလွယ်ကူစေရန်အောက်ပါတွက်ချက်မှုများသည် AC single phase ကိုအခြေခံထားပါသည်။)

Apparent power

Apparent power ဆိုသည်မှာ voltage ၏ RMS တန်ဖိုးနှင့် current ၏ RMS တန်ဖိုး မြှောက်လဒ်ဖြစ်ပါသည်။

Apparent power = Vrms x Irms

Unit မှာ voltage ၏ unit ဖြစ်သော V (volt) နှင့် current ၏ unit ဖြစ်သော A(ampere) တို့ မြှောက်လဒ် (VA) ဖြစ်သည်။

AC ပုံစံရှိသော သို့မဟုတ် AC ပုံစံ တစ်ချို့ပါသော voltage , current များ၏ တန်ဖိုးကို RMS ဖြင့်ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ဥပမာ AC 230 V ဟုရေးပါက အဆိုပါ voltage မှာ RMS တန်ဖိုးကိုရည်ညွှန်းသည်။ RMS ဟူသောစာလုံးထည့်မထားသော်လည်း RMS ဟုသာသဘောပေါက်ရမည်။ အထက်ပါ ညီမျှခြင်းတွင် rms ဟုထည့်ထားရသည်မှာ အထူးပြုလိုသော ထင်ရှားလိုသောသဘောဖြင့် သုံးခြင်းဖြစ်ပါသည်။ Figure (2) တွင် RMS တန်ဖိုးအကြောင်းကိုရှင်းထားပါသည်။

Real power

အမှန်တကယ်သုံးသော power ဖြစ်သည်။ Active power ဟူ၍လည်းခေါ်သည်။ ပျမ်းမျှပါဂါ Average power တစ်ခုဖြစ်သည်။ အချိန်တစ်ခု တိုင်းတွင်ရှိသော voltage တန်ဖိုးနှင့် current တန်ဖိုး မြှောက်လဒ်များကို အခြေခံ၍ ပျမ်းမျှတန်ဖိုး ရှာထားခြင်းဖြစ်သည်။

Unit မှာ W(watt) ဖြစ်သည်။ Figure (3) တွင် avearage power ရှာဖွေပုံကိုဖော်ပြထားပါသည်။

အထက်ပါ power များ၏ unit များ ဖော်ပြပုံမတူခြင်းမှာ power များ၏ သဘာဝနှင့် တွက်ထုတ်ပုံမတူသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ Figure (4) တွင် Real power (Average power) ဖြစ်ပေါ်လာပုံနှင့် Apparent power ဖြစ်ပေါ်လာပုံတို့ကိုလည်း block diagram ဖြင့်နားလည်လွယ်ရန် အကျဉ်းဖော်ပြထားသည်။

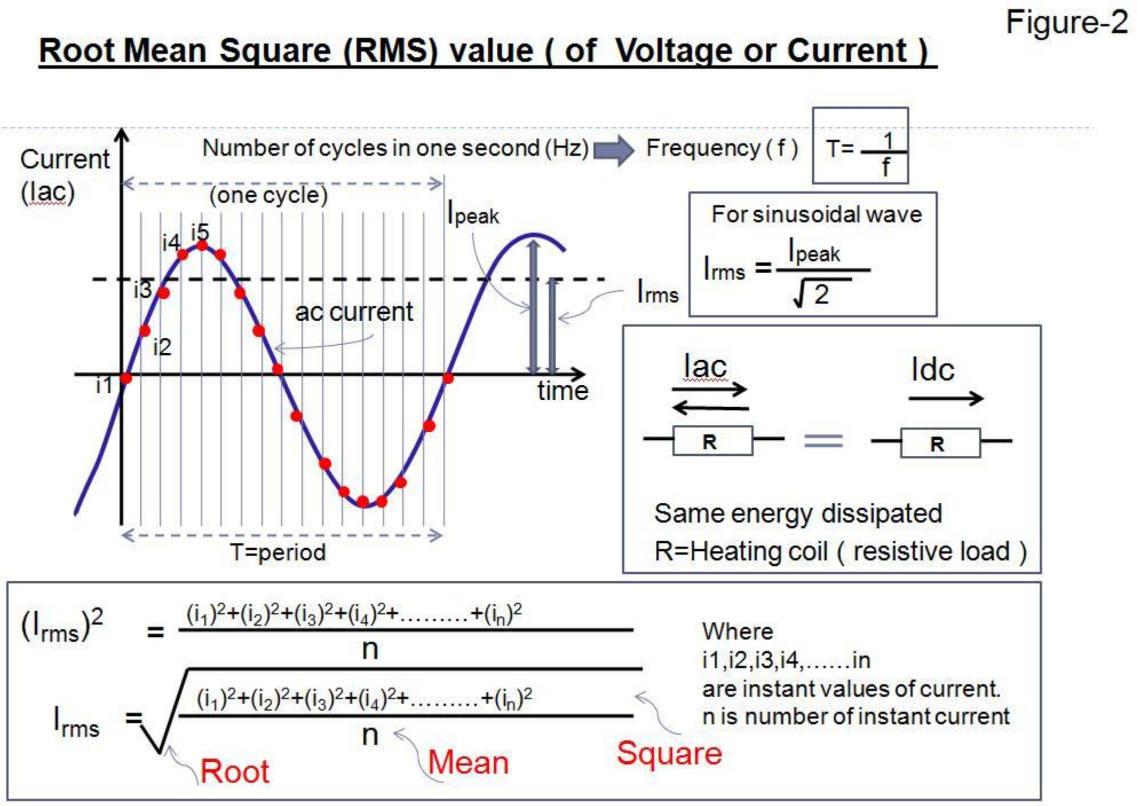


Figure (2) Root Mean Square, RMS

သင်္ချာပညာမှ ဝေါဟာရတစ်ခုဖြစ်ပြီး AC voltage, AC current တို့၏ တန်ဖိုးတစ်ခုကိုကိုယ်စားပြုရာတွင်အသုံးပြုသည်။ AC wave တို့၏သဘာဝမှာ ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း အထက်နှင့်အောက် ညီတူတန်ဖိုးများ တစ်လှည့်စီဖြစ်နေကြသည်။ ပုံတွင် Sinusoidal current (Iac) တစ်ခုကို ဥပမာအနေဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ထို AC current ၏ တန်ဖိုးကို သတ်မှတ်ရာတွင် အောက်ပါစမ်းသပ်ချက်အရ သတ်မှတ်သည်။

တူညီသော resistance ရှိ heating coil တစ်ခုစီသို့ AC current တစ်ခု နှင့် DC current တစ်ခုစီး စေသည်။ နှစ်ခုစလုံးမှ ထွက်ပေါ်လာသော အပူပမာဏစွမ်းအင် ကိုတူညီအောင် စီးဆင်းစေသောအခါ ရှိနေမည့် DC current (Idc) တန်ဖိုးအတိုင်း AC current (Iac) စီးဆင်းသည်ဟု မှတ်ယူသည်။ထို့ကြောင့် Idc ၏တန်ဖိုးသည် Iac ၏ တန်ဖိုး Irms အဖြစ်မှတ်ယူသည်။ ဥပမာ...DC current တန်ဖိုး 1A စီးသောကြောင့်ထွက်လာသော အပူပမာဏသည် AC current တန်ဖိုး 1A စီးသော အပူပမာဏအတိုင်းရှိသည်ကိုဆိုလိုသည်။

အထက်ပါ စမ်းသပ်ချက်အပြင် သင်္ချာနည်းဖြင့် RMS တန်ဖိုးရှာပုံကိုလည်းဖော်ပြထားသည်။ အချိန်တစ်ခုတိုင်းတွင်ရှိသော current ပမာဏ တစ်ခုစီကို square လုပ်ပြီးပေါင်းသည်။ ပြီးနောက် စုစုပေါင်းကို current အရည်အတွက်(n)ဖြင့်စား၍ square root ပြန်ယူလိုက်သော အခါ RMS တန်ဖိုးရလာပါသည်။ဤနည်းအားဖြင့် မည်သည့် ပုံစံရှိသော waveform ကိုမဆို ရှာနိုင်သည်။ အကယ်၍ waveform သည် sinusoidal ဖြစ်ပါက RMS တန်ဖိုးသည် အမြင့်ဆုံးတန်ဖိုး Ipeak ကိုRoot 2 ဖြင့်စားသောတန်ဖိုးအတိုင်းဖြစ်သည်။

Period(T) နှင့် frequency (f)

AC waveform သဘာဝသည် အထက်အောက်တစ်လှည့်စီရှိသော သဘာဝရှိပြီး ပုံစံတူ waveform များထပ်ခါထပ်ခါ ရှိကြသည်။ ပုံစံတူတစ်ခု၏ ကြာသောအချိန်ကို period (T) ဟုသတ်မှတ်ပြီး one cycle ဟုခေါ်သည်။ တစ်စက္ကန့်အတွင်း ထပ်ခါထပ်ခါဖြစ်နေသော cycle အရည်အတွက်ကို frequency (f) ဟုသတ်မှတ်သည်။ အဆိုပါ period နှင့် frequency တို့၏ ဆက်နွယ်မှုမှာ ပြောင်းပြန် reciprocal သဘောရှိသည်။

Period ၏ unit မှာ second ဖြစ်ပြီး frequency ၏ unit မှာ Hz သို့မဟုတ် cycle per second ဖြစ်သည်။ AC source တစ်ခုတွင် voltage နှင့် freqency တန်ဖိုးကိုဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ဥပမာ...မြန်မာပြည်၏ လျှပ်စစ်စနစ်သည် 230V, 50Hz ဖြစ်သည်။ 230V သည် AC rms voltage တန်ဖိုးဖြစ်ပြီး 50Hz မှာ frequency တန်ဖိုးဖြစ်ပါသည်။

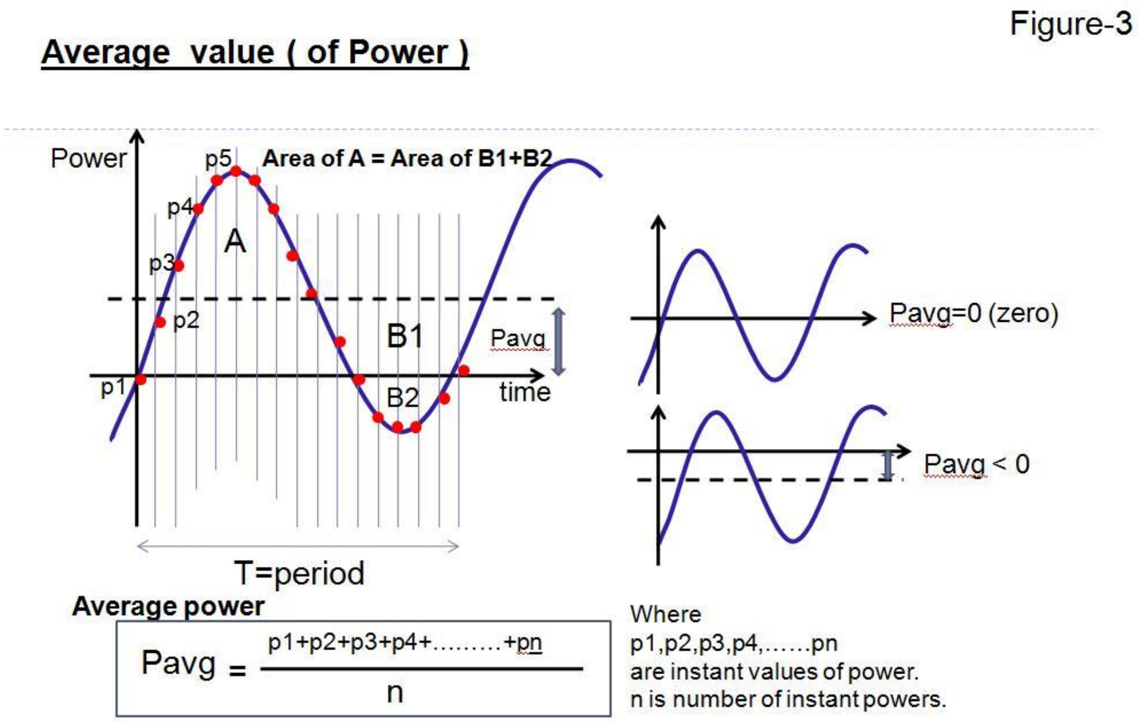


Figure (3) Average power

Voltage နှင့် current တို့၏ rms တန်ဖိုးများကိုမရှာပဲ အချိန်တစ်ခုစီရှိ voltage, current တို့ကို မြှောက်သည်။ ရရှိလာသော waveform သည် အချိန်တိုင်းပြောင်းလဲနေသော power waveform တစ်ခုအဖြစ်တည်ရှိသည်။ ထို power waveform ၏ အချိန် တစ်ခုစီတိုင်းတွင်ရှိသော တန်ဖိုးများ (p1,p2,p3,......) ကို ပေါင်းပြီး စုစုပေါင်း power အရည်အတွက်(n) ဖြင့်စားခြင်းဖြင့် Average power တန်ဖိုးကိုရရှိပါသည်။ (RMS တန်ဖိုးရှာပုံနှင့် ခပ်ဆင်ဆင်ရှိပါသည်။)

Waveform တစ်ခု၏ average တန်ဖိုးကို Area အခြေခံသောနည်းဖြင့်နားလည်ထားရန်လည်းလိုအပ်ပါသည်။ Waveform တွင် အလျားလိုက် မျဉ်းတစ်ခုကို အထက်အောက် area များတူစေရန်ဆွဲ ပါ။ ဤ Figure ၏ ဘယ်ဘက်ပုံကိုကြည့်ပါ။ အပေါ်ဘက်area (A)နှင့် အောက်ဘက် area (B1+B2) တူနေစေသော မျဉ်းတစ်ခု (dash lines) ရှိသည်။ ထို dash line သည် average power တန်ဖိုး တစ်ခုကို ကိုယ်စားပြုပါသည်။

ဤ Figure ၏ ညာဘက်ပုံများကိုကြည့်ပါ။ အပေါ်ပုံမှာ average power =0 , (power factor=0 ??) , အောက်ပုံမှာ average power < 0 (Negative power factor ??) များကိုဖော်ပြနေပါသည်။

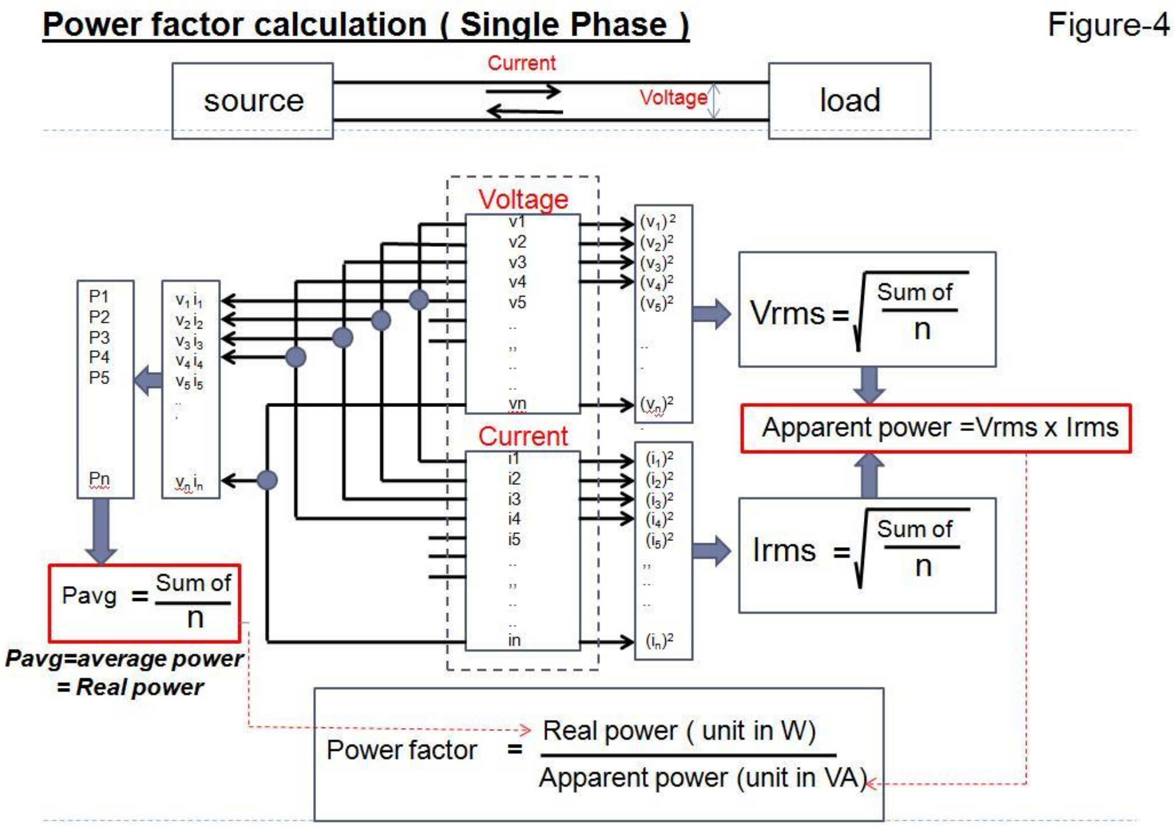


Figure (4) Power factor calculation

Figure (2) နှင့် Figure (3) တွင်ဖော်ပြထားသော Apparent power နှင့် real power (average power) တို့၏သဘောသဘာဝကိုပြန်လည်၍ ပုံစံတစ်မျိုးဖြင့် ခြုံငုံကြည့်တတ်စေရန် block diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားပါသည်။ load ၌ဖြစ်တည်နေသော voltage နှင့် load ထဲသို့စီးဝင်သွားသော current များကြောင့် real power (average power) နှင့် apparent power ပုံစံ ၂မျိုးကိုရရှိပြီး power factor ဟူသော အချိုးတစ်ခုပေါ်လာပါတော့သည်။

Power factor (Part-4)

Power factor for linear load

ဤအပိုင်း (၄) ၌ linear load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော power factor အကြောင်းကိုဖော်ပြထားပါသည်။

Linear load များတွင်ဖြစ်ပေါ် တည်ရှိနေသော

(၁) voltage, current, power တို့၏ ဆက်နွယ်မှု၊
(၂) ပစ္စည်း တို့၏ energy transfer သဘာဝ၊
(၃) apparent power, real power နှင့် reactive power တို့၏ power flow

အကြောင်းများကို သရုပ်ဖော် ပုံများနှင့်တကွရှင်းလင်းထားပါသည်။

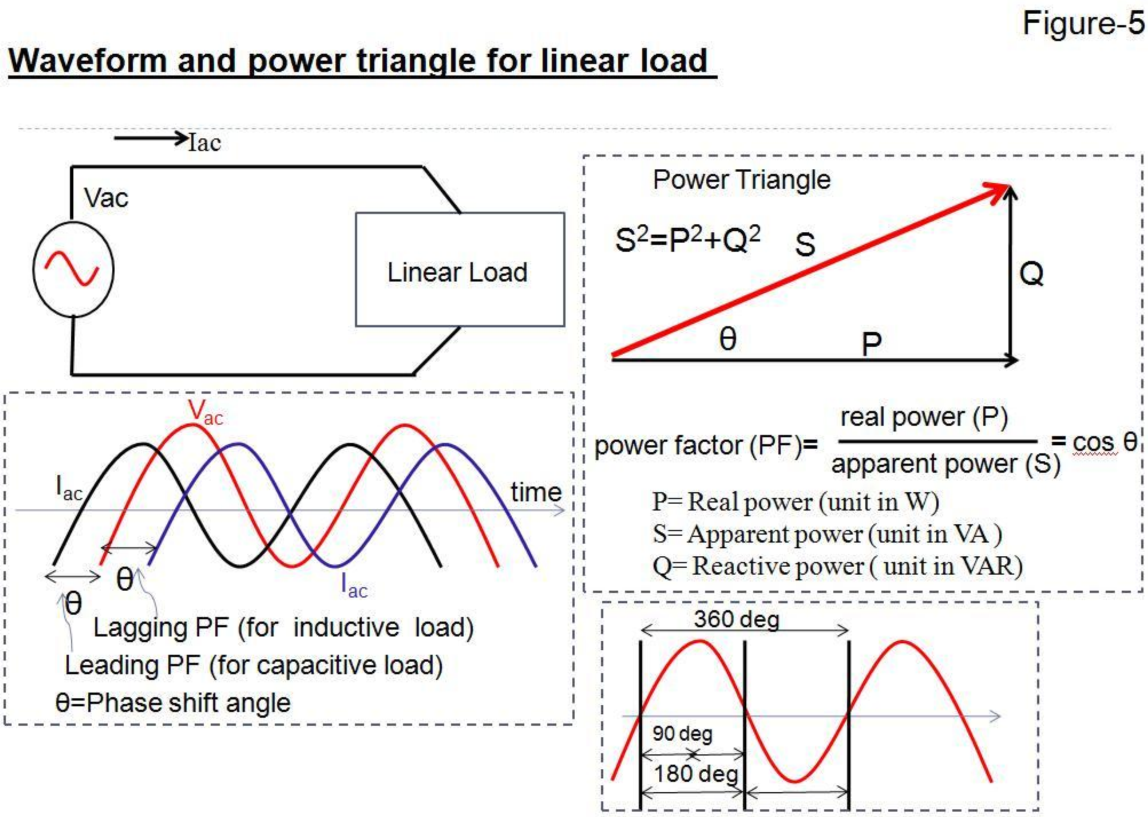


Figure (5) Waveform and power triangle for linear load

Linear load တွင်စီးဆင်းနေသော current သည် voltage ၏ waveform နှင့်ပုံစံတူ၊ frequency သို့မဟုတ် period တူနေပြီး phase shift angle (θ)တစ်ခုသာကွာ နေသည့်သဘာဝရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် current waveform သည် voltage waveform မှ angle တစ်ခုသာ ရွေ့နေသောသဘောရှိသဖြင့် အဆိုပါ power factor ကို displacement power factor အမျိုးအစားဟုသတ်မှတ်ကြသည်။

Voltage နှင့် current သည် ပုံစံတူ၊ frequency or period တူနေသောကြောင့် ပုံပျက်ခြင်း distortion သဘာဝမရှိပေ။

Phase shift angle

ပုံစံတူ၊ frequency or period တူသော waveform ၂ ခု၏ ကွာနေသော အနေအထားတစ်ခုကို angle တစ်ခုဖြင့်ဖော်ပြနိုင်သည်။ period or one cycle တစ်ခုကို time အစား 360 degree ဖြင့် ကိုယ်စားပြုဖော်ပြပြနိုင်သည်။ ထိုကြောင့် waveform အပြည့်သည် 360 deg ပြီး waveform ၏ တစ်ဝက်သည် 180 degree ဖြစ်သည်။ ထိုအချက်ကို အခြေခံ၍ phase shift angle တစ်ခုကို သတ်မှတ်နိုင်ပါသည်။

Power triangle

Linear load များတွင်ဖြစ်ပေါ်တည်ရှိနေသော power သုံးမျိုးတို့၏ ဆက်နွယ်မှုသည် ထောင့်မှန်တြိဂံ တစ်ခု၏အနားများ၏ ဆက်နွယ်မှုအတိုင်းရှိသည်။ apparent power ၏ square တန်ဖိုးသည် real power ၏ square နှင့် reactive power ၏ square တို့၏ ပေါင်းလဒ်နှင့်ညီမျှပါသည်။

Leading power factor (capacitive load)

Capacitive load ကြောင့်စီးဆင်းနေသောcurrent waveform သည် AC voltage source waveform ၏ ရှေ့၌ phase shift angle တစ်ခု စော (leading) ရောက်နေသည်။ power triangle နှင့် power factor formula အရ ထို angle ၏ cosine တန်ဖိုး (cos θ) သည် power factor တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

Lagging power factor (inductive load)

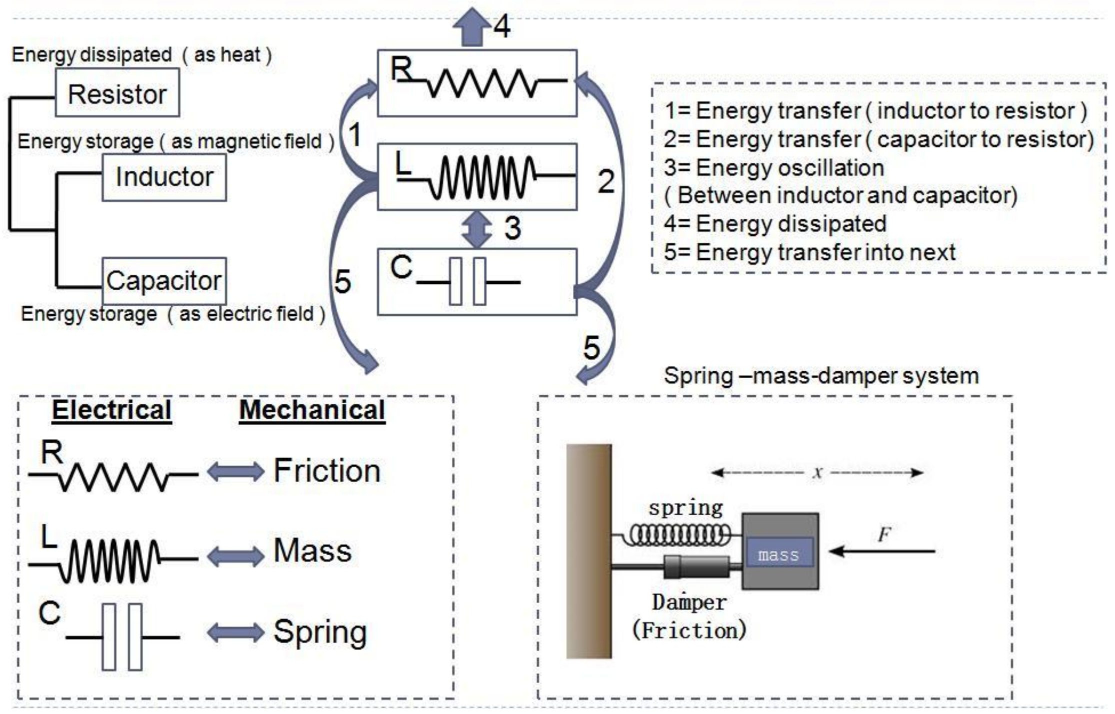
Inductive load ကြောင့်စီးဆင်းနေသောcurrent waveform သည် AC voltage source waveform ၏ နောက်၌ phase shift angle တစ်ခု နောက်ကျ (lagging) နေသည်။ power triangle နှင့် power factor formula အရ ထို angle ၏ cosine တန်ဖိုး (cos θ) သည် power factor တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

Linear load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော power factor သည် leading သို့မဟုတ် lagging ဖြစ်နိုင်ပါသည်။

(မှတ်ချက်... ယခင်က အဆိုပါ leading, lagging power factor များကို အပေါင်း အနုတ် ကိုယ်စားပြု၍ခေါ်ဝေါ်သုံးစွဲကြဘူးသည်။ နောက်ပိုင်းတွင် power flow များကိုလေ့လာသော အခါ negative power flow များ၏ သဘာဝ ကိုအခြေခံ၍ negative power factor များ တွေ့ရှိလာပြီး အခေါ်အဝေါ်များ ရှုပ်ထွေးခဲ့ပါသည်။)

Energy Transfer

Figure-6



Figure(6) Energy transfer

Linear load များတွင် အဓိကကျသော ပစ္စည်း ၃ မျိုးရှိပါသည်။၎င်းတို့မှာ...resistor,inductor,capacitor တို့ဖြစ်သည်။ linear load တစ်ခု၏ power factor သည် အဆိုပါ ပစ္စည်း ၃ မျိုး တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော energy transfer ကို အဓိက အခြေခံသည်။

Resistor

Electrical energy များကို အပူအဖြစ်အသွင်ပြောင်း၍ ပြင်ပသို့ထုတ်ပစ်သည်။ Energy dissipated ဖြစ်သည်ဟုခေါ်သည်။

Inductor

Electrical energy များကို magnetic field အဖြစ်အသွင်ပြောင်း၍ သိုလှောင်သည်။ Energy stored လုပ်သည်ဟုခေါ်သည်။ပြီးနောက် သိုလှောင်ထားသည်များကို ပြန်လည်ထုတ်ပေးသည်။ Energy retrieved လုပ်သည်ဟုခေါ်သည်။

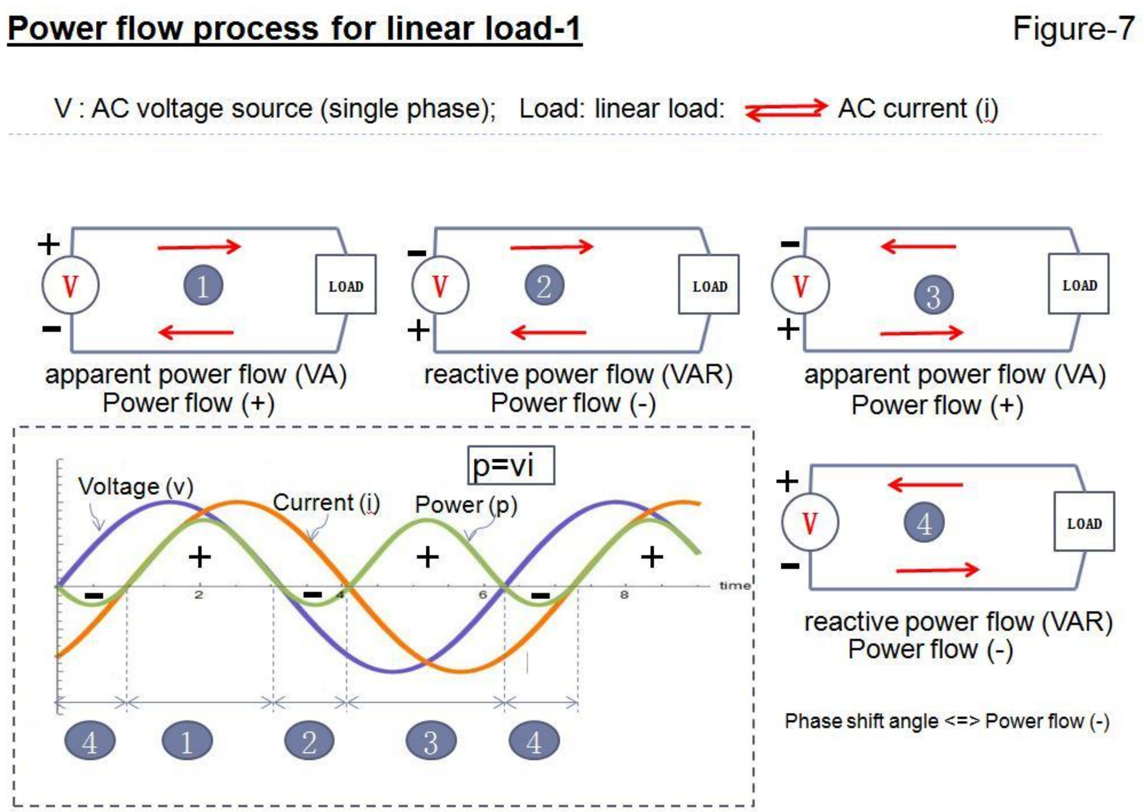
Capacitor

Electrical energy များကို electric field အဖြစ်အသွင်ပြောင်း၍ သိုလှောင်သည်။ပြီးနောက် သိုလှောင်ထားသည်များကို ပြန်လည်ထုတ်ပေးသည်။

အထက်ပါ energy storage device များဖြစ်သော inductor နှင့် capacitor များသည် energy ကိုသိုလှောင်ခြင်း ပြန်ထုတ်ခြင်းပြုလုပ်ရာတွင် တစ်ခုထုတ်လိုက်သော energy ကို တစ်ခုက ပြန်လည်သိုလှောင်သည့်သဘောရှိသည်။ ထိုသို့ပြုလုပ်ခြင်းကို energy oscillated ဖြစ်သည်ဟုခေါ်သည်။

အထက်ဖော်ပြပါ energy transfer များ ဆင့်ကဲဆင့်ကဲ ဖြစ်ပေါ်ခြင်းတွင် တစ်ချို့သော energy များသည် load ထဲတွင် အမှန်တကယ်သုံးစွဲခဲ့ပြီး တစ်ချို့သော energy များသည် source ဘက်သိုပြန်လည်ရောက်ရှိလာတတ်သည်။ Energy transfer ဖြစ်စဉ်ကို power စီးဆင်းမှု ဖြင့်အနေဖြင့် ရှုမြင်၍ power flow များကို လေ့လာနိုင်သည်။

အလျင်းသင့်၍ အဆိုပါ electrical ပစ္စည်း ၃ မျိုး၏ သဘာဝသည် mechanical ပစ္စည်း ၃ မျိုး၏ သဘာဝနှင့်လည်း တူညီမှုရှိကြောင်းဖော်ပြထားသည်။ (မှတ်ချက်…လျှပ်စစ်ပစ္စည်းများ၏ သဘာဝနှင့် စက်မှုပစ္စည်းများ၏သဘာဝ တူညီမှုကို အခြေခံ၍လေ့လာသော ပညာရပ်ကို modelling ဟုခေါ်သည်။ control ပညာရပ် တွင် ထိုသဘာဝကိုအခြေခံ၍ တည်ဆောက်ရပါသည်။)



Figure(7) Power flow process for linear load-1

Linear load တွင်ဖြစ်ပေါ်သော AC voltage နှင့် AC current များ ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော power သည် အသွင်ပုံစံ (၃) မျိုး နှင့် power flow လမ်းကြောင်း (၂) မျိုးရှိသည်ကိုတွေ့ရှိရသည်။

Power အသွင်ပုံစံ (၃) မျိုးမှာ ဖော်ပြပြီးခဲ့သော apparent power, real power နှင့် reactive power တို့ဖြစ်သည်။ Power flow ၂ ခုမှာ power flow (+) နှင့် Power flow (-) ဖြစ်သည်။ ပုံတွင် lagging power factor ဖြစ်နေသော inductive load တစ်ခု၏ voltage waveform, current waveform တို့ကိုဖော်ပြထားသည်။ voltage နှင့် current မြှောက်လဒ်မှ ရရှိလာသော power waveform ကိုလည်းဖော်ပြထားသည်။ Power waveform ၏ အပေါ်ခြမ်းသည် Power flow (+) ဖြစ်ပြီး source ဘက်မှ load ဘက်သို့စီးနေသော apparent power ကို ကိုယ်စားပြုသည်။

ထို့အတူ Power waveform ၏ အောက်ဘက်ခြမ်းသည် Power flow (-) ဖြစ်ပြီး load ဘက်မှ source ဘက်သို့စီးနေသော reactive power ကို ကိုယ်စားပြုသည်။

Power flow (+) သည် voltage နှင့် current တို့၏ polarity များ တူနေသောအချိန်တွင်ဖြစ်ပေါ်ပြီး Power flow (-) သည် ဆန့်ကျင်ဘက် polarity များဖြစ်နေသော အချိန်တွင်ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပုံတွင် one cycle အတွင်း power flow (+) နှင့် power flow (-) တစ်လှည့်စီ ၄ ဆင့်ဖြစ်နေသည်ကိုတွေ့နိုင်သည်။

Power flow (-) ဖြစ်နေသော အချိန်တွင်Voltage နှင့် current ကြား၌ကွာခြားနေသော phase shift angle တစ်ခုရှိနေသည်ကိုတွေ့နိုင်ပါသည်။ထို angle ၏ cosine တန်ဖိုးသည် power factor ပင်ဖြစ်လေတော့သည်။

Power flow အဆင့် ၄ ဆင့် ကို Single phase diagram များဖြင့်ဖော်ပြထားပါသည်။ voltage နှင့် current တို့၏ polarity အဆင့်ဆင့်ပြောင်းပုံ နှင့် power flow တို့၏ ဦးတည်ဘက်များကို ထင်ရှားစွာတွေ့နိုင်ပါသည်။

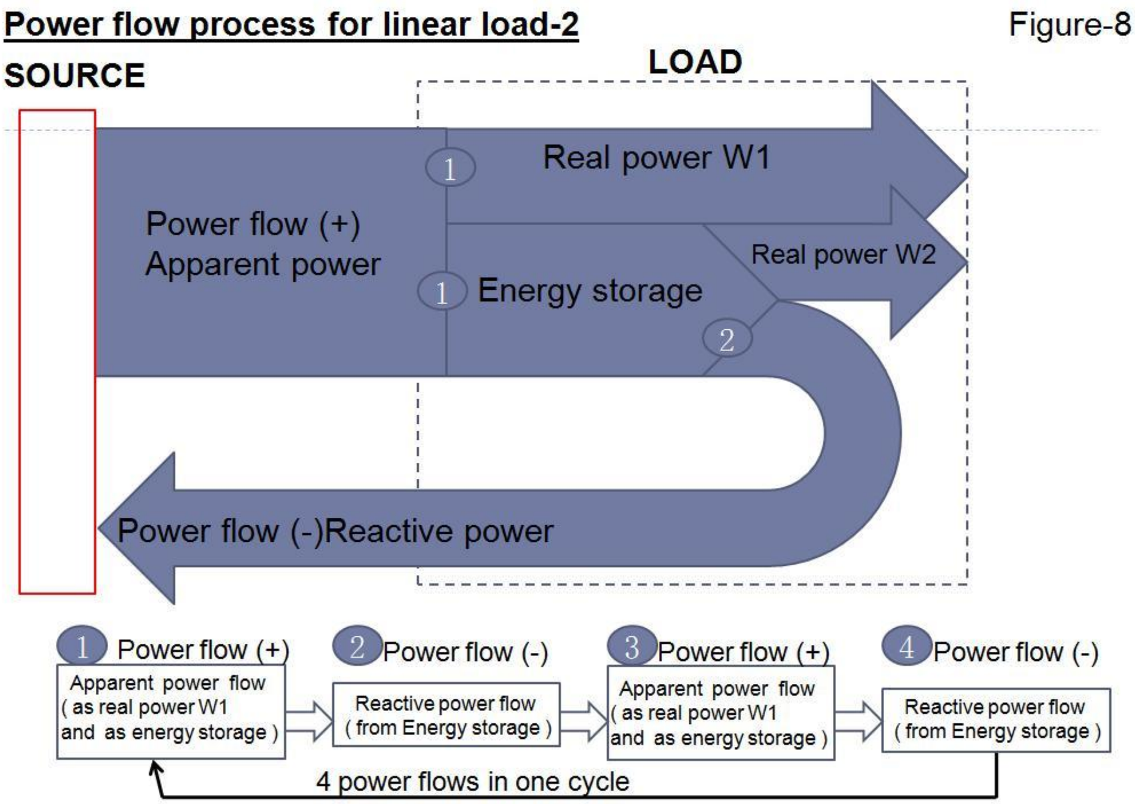


Figure (8) Power flow process for linear load-2

Figure (7) တွင် ဖော်ပြထားသော အကြောင်းများကို block diagram ဖြင့်ပြန်လည်ဖော်ပြထားခြင်းဖြစ်သည်။

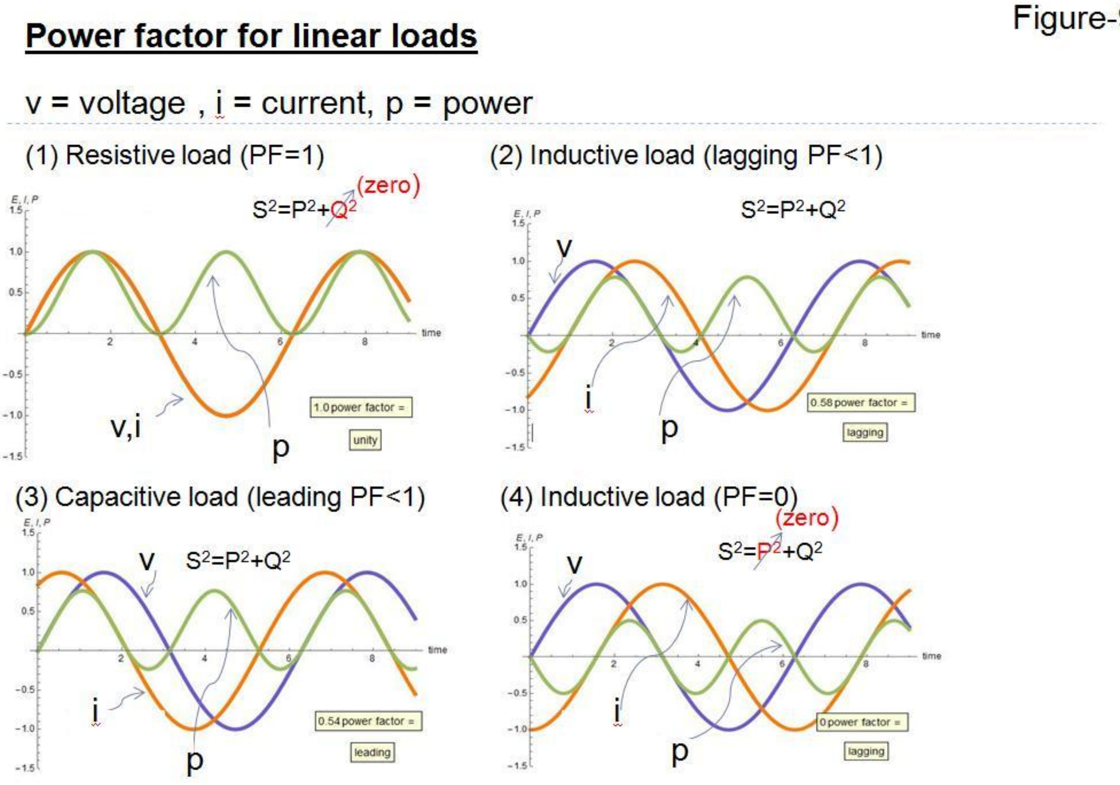
အဆင့်(၁) တွင် Apparent power များသည် source ဘက်မှ load ဆီသို့စီးဆင်းပြီး တစ်ချို့သော power များသည် real power W1 အဖြစ်လည်းကောင်း၊တစ်ချို့သော power များကို Energy storage ပစ္စည်းများက ခေတ္တ store သိမ်းထားကြသည်။

အဆင့်(၂) တွင် သိမ်းထားသော energy များမှ တစ်ချို့သည် real power W2 အဖြစ်လည်းကောင်း၊ တစ်ချို့သည် source ရှိရာဘက်သို့ reactive power အဖြစ်ပြန်လည်ရောက်ရှိသွားကြသည်။ ထိုဖြစ်စဉ် ၂

ခုသည် အဆင့်(၃),(၄) အဖြစ်တစ်ဖန်ပြန်လည် ၍ဖြစ်ပေါ်သည်။ဤသို့ဖြင့် one cycle အတွင်း ၄ ကြိမ်ဖြစ်ပေါ်သည်။

Energy များ Reactive power များအဖြစ် source ဘက်သို့ပြန်ရောက်လာခြင်းသည် energe storage ပစ္စည်းများဖြစ်ကြသော Inductor, capacitor များ အကြားဖြစ်ပေါ်နေသော energy oscillation မညီမျှမှုကြောင့်ဖြစ်လာရသည်ဟု မှတ်ယူနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် linear load များ၏ power factor ကောင်းလာစေရန် သို့မဟုတ် အဆိုပါ ပြင်ပသို့ထွက်လာ reactive power များ ကိုနည်းစေရန် energy storage ပစ္စည်းများကို တစ်နည်းနည်းဖြင့်ပြုပြင်ပေးရမည်ဖြစ်သည်။ ဤသို့ပြုလုပ်ခြင်းကို power factor correction လုပ်သည်ဟုခေါ်ပါသည်။

Figure-9



Figure(9) Power factor for linear load

ပုံတွင် linear load အမျိုးအစား များဖြစ်သော resistive load, inductive load , capacitive load များတွင်ရှိသော voltage, current, power waveform များကို ဖော်ပြထားသည်။ ပုံများတွင် voltage waveform ကို အပြာရောင်, current waveform ကို လိမ္မော်ရောင် , power waveform ကို အစိမ်းရောင်ဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Resistive load

(ပုံတွင် voltage waveform အပြာရောင်သည် current waveform လိမ္မော်ရောင် နှင့် in-phase ဖြစ်နေသည်ဟုသာမှတ်ယူပါ။ ထို waveform ၂ခု တန်ဖိုးများတူနေသည်ကိုလျစ်လျူရှုပါ)

ပုံတွင် phase shift angle သည် zero ဖြစ်နေခြင်း မှ cosine တန်ဖိုး one သို့မဟုတ် power factor တန်ဖိုး one ဖြစ်ခြင်းကိုသိနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် power waveform တွင် power flow (-) မရှိခြင်းသည်

reactive power မရှိခြင်းကိုသိနိုင်ပြီး source မှ ပေးသော apparent power အားလုံးသည် load ထဲတွင် real power အဖြစ်သို့ပြောင်းသွားသည့်သဘော ကိုတွေ့နိုင်ပါသည်။

(၂) Induction load and (၃) Capacitive load

Lagging , leading ဖြစ်နေသော phase shift angle တစ်ခုနေပြီး one ထက်ငယ်နေသော power factor တစ်ခုဖြစ်ပေါ်နေခြင်းကိုဖော်ပြသည်။ Power flow(-) ရှိနေခြင်းသည် reactive power ရှိနေသည်ကို သိနိုင်သည်။

(၄) Induction load with power factor zero

ပုံတွင် power factor တန်ဖိုး zero ဖြစ်နေသည်ကို inductive load ဥပမာဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။ capacitive load ကြောင့်လည်း power factor တန်ဖိုး zero ဖြစ်နိုင်သည်ကိုလည်းသိထားရပေမည်။ ပုံတွင် power flow (+) ရှိ apparent power နှင့် power flow(-) ရှိ reactive power များ တူညီနေသည်ကိုတွေ့နိုင်ပါသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် source မှပေးလိုက်သော Apparent power များကို load ကအသုံးမပြုပဲ reactive power အဖြစ်အကုန် source ဘက်သို့ပြန်လာခြင်းဟုနားလည်နိုင်ပါသည်။

(မှတ်ချက်...အထက်ပါရှင်းလင်းထားချက်များကို အခြေခံ၍ power waveform ၏ အနုတ်တန်ဖိုး များနေသော အခြေအနေ သို့မဟုတ် power flow(-) အချိန်များနေသော အခြေအနေ တစ်ခုရှိနိုင်ဖြစ်နိုင်ပါသည်။ ထိုအခြေအနေမှာ part-2 တွင်ဖော်ပြခဲ့သော Negative power ဟုခေါ်ပြီး negative power factor (0 to -1) ကိုဖြစ်စေပါသည်။ ထိုအခြေအနေသည် load ဘက်မှ တစ်နည်းနည်းဖြင့် power ကို generate လုပ်ခြင်းကြောင့်ဖြစ်သည်။ ဥပမာ အားဖြင့် solar energy သုံးသောဒေသများတွင် load ဘက်မှ solar power များသည် source ဘက်သို့ပြန်ပေးနေသည့် ဖြစ်စဉ်ရှိတတ်သည်။ ထိုအခြေအနေမျိုးတွင် power factor သည် negative ပြနေတတ်ပြီး လျှပ်စစ်မီတာများလည်း ပြောင်းပြန်လည် တတ်ကြောင်းမှတ်သားဘူးပါသည်။)

Xxxxxx

Power Factor (အပိုင်း-၅)

Prepared by Aye Thwin (15 March 2015)

ဤ အပိုင်း(၅) တွင် non-linear load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော power များ ကို အဆင့်လိုက်ဖော်ပြထားရှင်းလင်းထားပါသည်။

AC voltage source တစ်ခုသည် Sinusoidal wave ခေါ် Sine wave ပုံစံရှိသည်ကို သိခဲ့ပြီးဖြစ်ပါသည်။

အဆိုပါ AC voltage မှထွက်လာသော current သည် ပုံစံတူ၊ frequency တူ၊ in-phase ရှိမည် မရှိမည် ဆိုသည်မှာ သုံးစွဲသည့် load ၏ characteristic ပေါ်မူတည်ပါသည်။

AC voltage ၏ ပုံစံကိုမပြုပြင်ပဲ

သုံးစွဲသော အခြေအနေများ၌ voltage နှင့် current ဆက်နွယ်မှုသည် ရိုးရှင်းသောပုံစံရှိကြသည်။ သို့သော် semiconductor ပစ္စည်းများဖြစ်သော Diode, transistor, SCR,...စသည့်ပစ္စည်းများ ၏ စွမ်းဆောင်ရည်ကြောင့် AC source မှပေးသော voltage ကိုလိုအပ်သလိုပြန်လည်ပြုပြင်၍သုံးစွဲလာကြသည်။ Voltage ကိုပြုပြင်လိုက်သဖြင့် ထွက်လာသော current မှာလည်း ပုံစံပြောင်းပြီးထွက်လာကြသည်။ ထိုအခါမူလ AC source voltage သည် Sinusoidal waveform ရှိသော်ငြားလည်း ထွက်လာသော current မှာ ပုံစံပျက်ယွင်း (distortion) နေသောအခြေအနေတစ်ခုရှိလာရတော့သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် voltage နှင့် current တို့၏ ဆက်နွယ်မှုသည် ရိုးရှင်းသော ပုံစံမရှိတော့ပေ။ ထိုအခြေအနေမျိုးကိုပေးသော load များကို non-linear load များဟုခေါ်သည်။

Linear load များတွင် current သည် voltage နှင့် ပုံစံတူ၊ frequency တူ ရှိနေပြီး in-phase မဖြစ်ရှိသာရှိသည်။

Non-linear load များတွင်မူ current သည် voltage နှင့် ပုံစံ၊ frequency တူခြင်းမတူခြင်း၊in-phase ဖြစ်ခြင်းမဖြစ်ခြင်း တိုကို ခွဲခြားရန်မလွယ်ကူပေ။ ထိုကြောင့်မည်သည့် waveform တစ်ခုကိုမဆို fundamental freq, harmonic frequency များဖြင့်တည်ဆောက်ထားသော Sinusoidal wave များအဖြစ်ပြောင်းလဲ၍လေ့လာသော သချာ် ပညာ တစ်ခုကို အသုံးပြုရလေသည်။ ပုံစံပျက်ယွင်း (distortion) နေသော current waveform ကို fundamental freq နှင့်harmonic frequency ရှိသော current များ အဖြစ်အဆင့်ဆင့်ခွဲထုတ် real power ကိုဖြစ်စေသော current ကို ရှာနိုင်သည်။ ထိုမှတစ်ဆင့်power factor ကို တွက်ထုတ်နိုင်ပါသည်။ အဆိုပါ အဆင့်ဆင့်တွက်ထုတ်ပုံများကို Figure-10, Figure-11 တို့တွင်သရုပ်ဖော်ပုံများနှင့်တကွရှင်း ပြထားပါသည်။

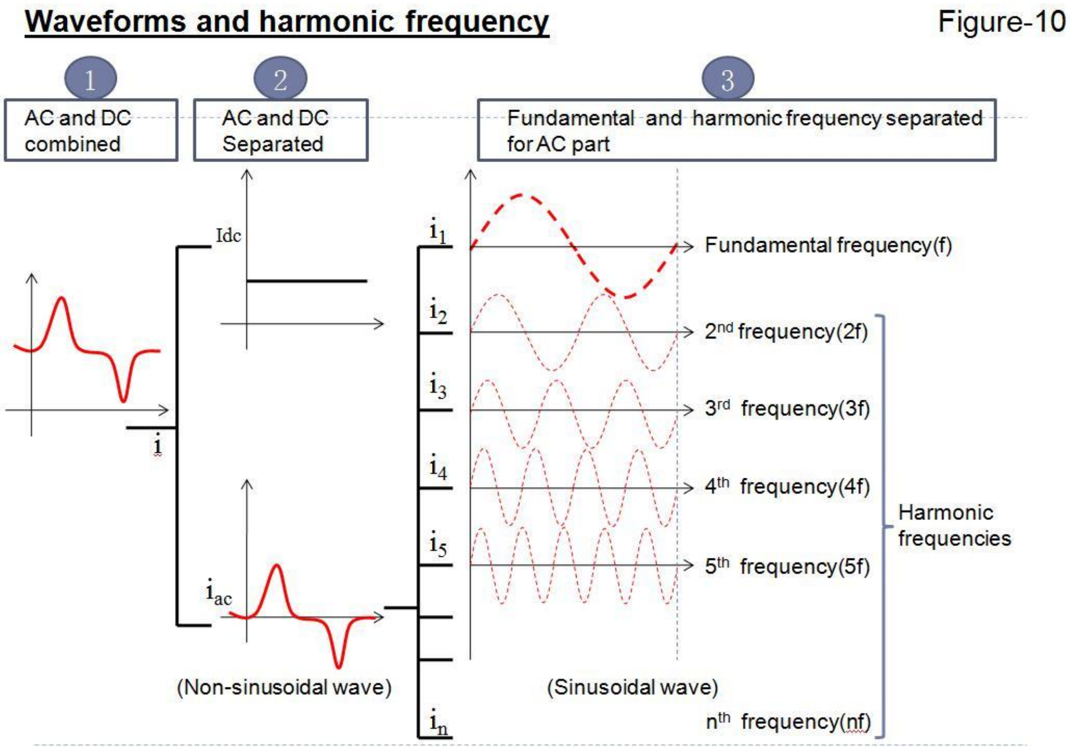


Figure-10 Waveforms and harmonic frequency

Voltage သို့မဟုတ် current waveformတစ်ခုသည် ယေဘုယျအားဖြင့် AC ပိုင်း နှင့် DC ပိုင်းရောနှောပါလေ့ရှိသည်။ AC ပိုင်းဆိုသည်မှာ အပေါင်းတန်ဖိုးဖြစ်သော အပေါ်ပိုင်းနှင့် အနုတ်တန်ဖိုးဖြစ်သော အောက်ပိုင်းတို့ တစ်လှည့်စီဖြစ်နေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ DC ပိုင်းဆိုသည်မှာ အပေါင်းတန်ဖိုး သို့မဟုတ် အနုတ်တန်ဖိုး ကိန်းသေ တစ်ခုအမြဲရှိနေသော အပိုင်းဖြစ်သည်။ ပုံတွင် No.1 အဆင့်၌ distortion , AC နှင့် DC ပိုင်းရောပါနေသော မူလ current waveform တစ်ခုကိုဖော်ပြထားသည်။ No.2 အဆင့်တွင် AC ပိုင်းနှင့် DC ပိုင်းကို ခွဲခြားပြထားသည်။No.3 အဆင့်တွင် distortion ဖြစ်နေသော AC ပိုင်းကိုထပ်မံ၍ ခွဲပြထားသည်။ဤ အဆင့်၌ မူလ waveform ကို frequency အမျိုးမျိုးရှိသော sinusoidal waveform များစွာဖြင့် ခွဲထုတ်ထားသည်။ ထို waveform များတွင် မူလ waveform ၏ frequency (fundamental frequency) အတိုင်းရှိသော waveform (i1), နှင့်အတူ frequency ၂ ဆ, ၃ ဆ, ၄ ဆ, စသဖြင့်harmonic frequency များရှိကြသော i2, i3, i4,i5,.....in. များကိုလည်းထပ်မံခွဲထုတ်ထားသည်။

တစ်နည်းအားဖြင့်ဆိုရသော်..Non-sinusoidal waveform များကို သင်္ချာနည်းအရ fundamental freq , harmonic freq များရှိသော sinusoidal waveform များအဖြစ်ပြောင်းလဲ၍မြင်နိုင်ပါသည်။

......

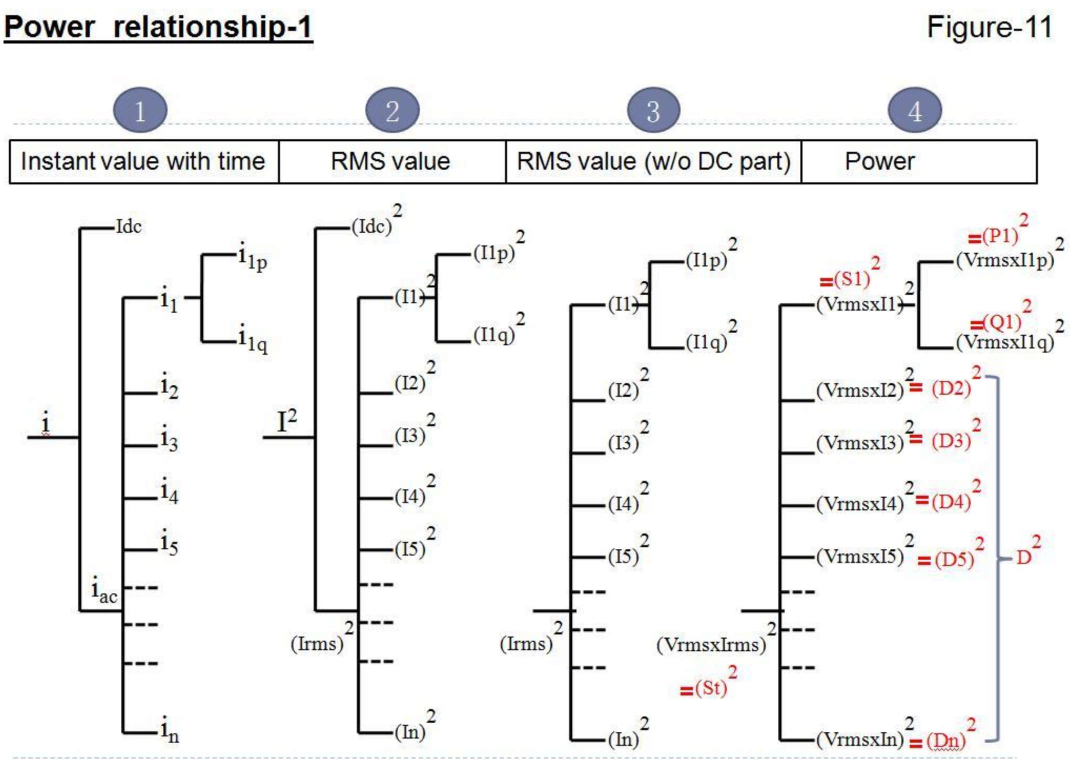


Figure-11 Power relationship--1

Non-linear load ထဲသို့စီးသွားသော Non-sinusoidal current များမှတစ်ဆင့် Apparent power , real power များကို ရှာဖွေနိုင်ပါသည်။

(မှတ်ချက်...အဓိပ္ပါယ်ရှင်းလင်းမှုလွယ်ကူစေရန်အောက်ပါတွက်ချက်မှုများသည် AC single phase ကိုအခြေခံထားပါသည်။)

အဆင့် No.1.....အချိန်လိုက် ပြောင်းလဲနေသော current တစ်ခုကို DC ပိုင်း (Idc) နှင့် AC ပိုင်း (Iac) ကိုစတင်ခွဲခြားပြထားသည်။ထိုမှတစ်ဆင့် AC ပိုင်းကို fundamental (i1) ပိုင်းနှင့် harmonic freq (i2,i3,.....in) အဖြစ်သို့ထပ်မံခွဲပြထားသည်။ဤအဆင့်တွင် fundamental freq သည် AC voltage source ၏ freq အတိုင်းရှိပြီး ၂ ပိုင်း ထပ်မံခွဲပြထားသည်။AC voltage source waveform နှင့် in-phase ဖြစ်နေသော အပိုင်း (i1p) နှင့်phase shift 90 deg ကွာနေသော အပိုင်း (i1q) ဖြစ်ကြသည်။

အဆင့် No.2....

ဤအဆင့်တွင် အချိန်လိုက်ပြောင်းလဲနေသော current များ၏ ဆက်နွယ်မှုအစား Current တစ်ခုစီ၏ RMS တန်ဖိုးဖြင့် ပြောင်းလဲဖော်ပြထားသည်။

ဤတွင် သင်္ချာပညာတွင်သုံးသော Fourier seris အရ...current များ၏ ဆက်နွယ်မှုကို RMS တန်ဖိုးဖြင့်ပြပါက squared ပြုလုပ်ပြီးမှသာ ဖော်ပြရသည်။

အဆင့် No.3....ဤအဆင့်တွင် DC ပိုင်းဖြစ်သော Idcကို တန်ဖိုး သုည အဖြစ်ယူဆ၍ ပယ်ထားသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် AC voltage source သည် DC ပိုင်းမပါသော sinusoidal waveform အဖြစ်သတ်မှတ်ထားသောကြောင့် current သည်လည်း DC ပိုင်းပါဝင်မည်မဟုတ်ပေ။

အဆင့် No.4....ဤအဆင့်တွင် RMS တန်ဖိုးဖြင့် ဆက်နွယ်နေသော current များကို Vrms squared ဖြင့်တစ်ခုစီ မြှောက်ထားသည်။ Vrms မှာ AC voltage soure ၏ RMS တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

ထိုသို့ မြှောက်ပြီးသောအခါ current များ၏ ဆက်နွယ်မှုမှသည် power များ၏ ဆက်နွယ်မှုအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်ကိုတွေ့နိုင်သည်။ဤတွင် ဖြစ်ပေါ်လာသော power များကို အုပ်စု ၂ခု အဖြစ်မြင်နိုင်ပါသည်။

ပထမအုပ်စု....

Fundamental freq ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော power အုပ်စုဖြစ်သည်။၎င်းတို့မှာ...

S1= apparent power,

P1= real power,

Q1= reactive power, တို့ဖြစ်ကြသည်။

ဤအုပ်စုသည် linear load များတွင်ဖြစ်ပေါ်သော Displacement power factor အမျိုးအစား အတိုင်းရှိသည်။

ဒုတိယအုပ်စု....

Harmonic freq ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော power အုပ်စုဖြစ်သည်။၎င်းတို့ကို..D2,D3,.....Dn တို့ဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။Distortion ကိုဖြစ်စေသော power ဖြစ်သောကြောင့် Distortion power (D) များအဖြစ်သတ်မှတ်ထားသည်။

ထို distortion power ကြောင့် Distortion power factor ကိုဖြစ်စေပါသည်။ Linear load များတွင်ရှိသော power များသည် ပထမအုပ်စု အတိုင်းသာတည်ရှိနေသော်လည်း non-linear load များတွင်မူ ဒုတိယအုပ်စု power များပိုလာသဖြင့် apparent power အသစ်တစ်ခုလည်း ထပ်မံပေါ်ပေါက်လာပါသည်။

ထို power ကို apparent power (total) (St) အဖြစ် ဖော်ပြထားပါသည်။

....

Power factor (အပိုင်း-၆)

Prepared by Aye Thwin (16 March 2015)

ဤ အပိုင်း(၆) တွင် Non-linear load များကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော power များမှတစ်ဆင့် power factor တွက်ထုတ်မှုကိုဖော်ပြထားသည်။

Non-linear load များကြောင့် power အုပ်စု ၂ခုရှိကြောင်း အပိုင်း (၅) တွင်ဖော်ပြခဲ့ပြီးဖြစ်သည်။ ထိုအုပ်စု ၂ခုမှ Displacement နှင့် distortion power factor ၂ မျိုးတွက်ထုတ်ပုံ နှင့် နောက်ဆုံး power factor ရရှိပုံတို့ကို Figure-12 , 13 တို့တွင် သရုပ်ဖော်ပုံများဖြင့်ရှင်းလင်းထားပါသည်။

......

Power relationship-2 Figure-12

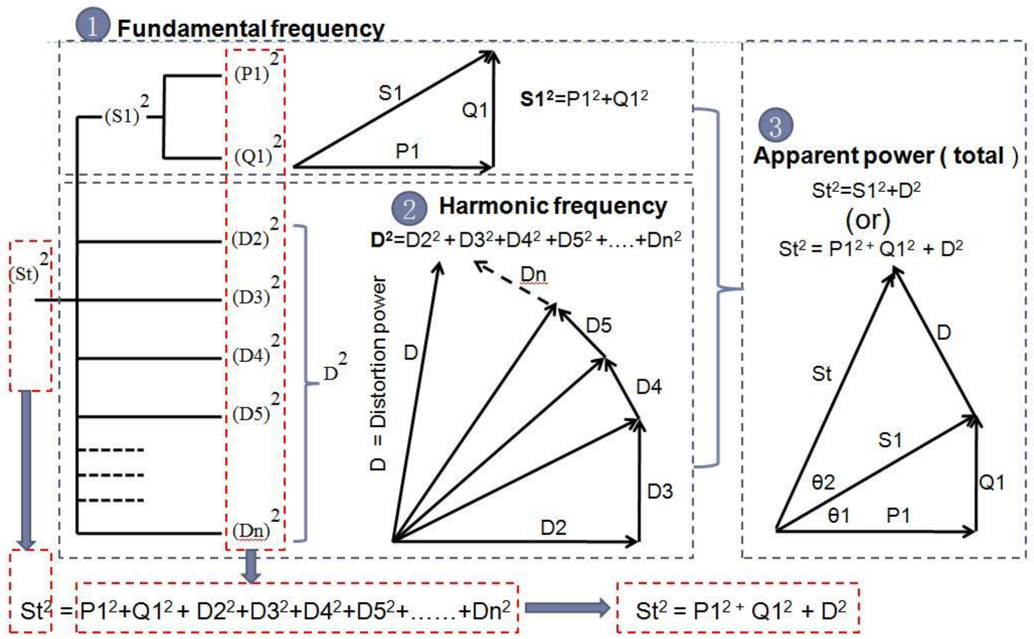


Figure-12 Power relationship-2

ဤပုံတွင် block ၃ ခုဖြင့်ခွဲခြားဖော်ပြထားသည်။

No.1 block.....

Fundamental freq ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော apparent power (S1) , real power (P1) နှင့် reactive power (Q1) တို့၏ ဆက်နွယ်မှုကို power triangle တစ်ခုဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။ power တစ်ခုစီ၏ squared တန်ဖိုးများသည် ထောင့်မှန်တြိဂံတစ်ခု၏ အနားများဆက်နွယ်မှု အတိုင်းတည်ရှိကြသည်။

No.2 block....

Harmonic freq ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော Distortion power တစ်ခုချင်း၏ ဆက်နွယ်မှုကို power triangle များဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။ Distortion power (D2,D3,D4,....,Dn) တစ်ခုစီ၏ squared တန်ဖိုးများသည် ထောင့်မှန်တြိဂံတစ်ခု၏ အနားများဆက်နွယ်မှု အတိုင်းတည်ရှိကြပြီး နောက်ဆုံးစုစုပေါင်း Distortion power (D) ရရှိသည်ကို ဖော်ပြထားသည်။

No.3 block....

No.1 block တွင်ရှိသော power triangle နှင့် No.2 block တွင်ရှိသော နောက်ဆုံးစုစုပေါင်း Distortion power (D)တို့၏ပေါင်းစပ် မှုကိုဖော်ပြထားသည်။ထို့ကြောင့် နောက်ဆုံးရရှိလာမည့်

Apparent power (total) St သည် fundamental freq ကြောင့်ဖြစ်သော real power (P1) , reactive power (Q1) များနှင့်harmonic freq ကြောင့်ဖြစ်သော distortion power (D) တို့၏ရလဒ်အဖြစ်တည်ရှိနေသည်ကိုတွေ့ရပေမည်။

တစ်နည်းအားဖြင့်...non-linear load များသည် linear load များထက် distortion power များပိုနေသည်တွေ့ရမည်ဖြစ်သည်။

......

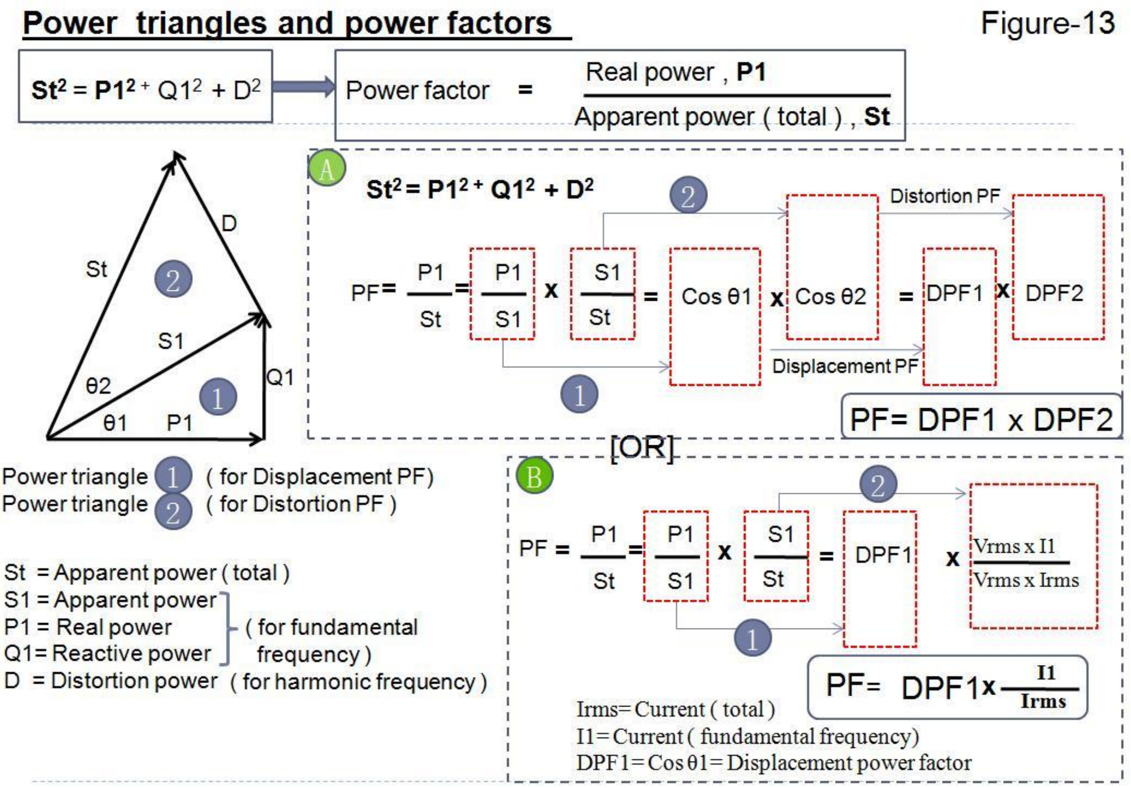


Figure-13 Power triangles and power factors

Power triangle ၂ ခုကို ဖော်ပြပြထားသည်။

Power triangle No.1.....

Fundamental freq ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော power များ၏ ဆက်နွယ်မှုကိုကိုယ်စားပြုသော ထောင့်မှန်တြိဂံတစ်ခုဖြစ်သည်။ linear load တွင်ဖြစ်ပေါ်သော power များအတိုင်းတည်ရှိသည်။ Displacement power factor (DPF1) ကိုတွက်ယူနိုင်ပါသည်။

DPF1=P1/S1 = cos θ1

Power triangle No.2....

Harmonic freq များကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော distortion power (D) ကို ထပ်မံပေါင်းထည့်ထားသော ထောင့်မှန်တြိဂံတစ်ခုဖြစ်သည်။ Distortion power factor (DPF2) ကိုတွက်ယူနိုင်ပါသည်။

DPF2=S1/St= cos θ2....

Power factor သည် real power နှင့် apparent power တို့၏ အချိုးဟု မူလသတ်မှတ်ထားသည်။

Non-linear load များတွင် distortion power ပိုလာသဖြင့် ထပ်မံ ဖြစ်ပါလာသော apparent power ကို apparent power (total) St အဖြစ်သတ်မှတ်သည်။ ထိုကြောင့် non-linear load များအတွက် နောက်ဆုံးရလာသော power factor မှာ real power (P1) နှင့်

apparent power (total) St တို့၏ အချိုးဟုပြောင်းလဲမှတ်ယူနိုင်ပါသည်။

Non-linear load များအတွက် power factor ကိုတွက်ထုတ်ရာတွင် နည်းလမ်း၂မျိုး ဖြင့်သုံးကြပြီး block-A နှင့် block-B တွင်တိုတွင်ဖော်ပြထားသည်။

Block-A....

Power factor မူလအချိုးဖြစ်သော

P1/St ကို P1/S1 နှင့် S1/St အဖြစ် အချိုး ၂ ခု ခွဲထုတ်သည်။ ပထမအချိုး သည် power triangle No.1 အရ cos θ1 ကိုကိုယ်စားပြုပြီး displacement power factor (DPF1) ဖြစ်သည်။ ဒုတိယအချိုးသည် power triangle No.2 အရ cos θ2 ကို ကိုယ်စားပြုပြီး distortion power factor (DPF2) ဖြစ်သည်။ ထိုကြောင့် power factor သည် DFF1 နှင့် DPF2 တို့၏မြှောက်လဒ်နှင့်ညီပါသည်။

...

Block-B....

ဤနည်းတွင် ဒုတိယအချိုး၏ S1 နှင့် St တို့၏မူလတန်ဖိုးများကို အစားသွင်းထားသည်။ Figure-11 တွင်ပြထားသော S1= Vrms x I1 နှင့် St= Vrms x Irms တို့ကို အစားသွင်းပြီး Vrms ကို ချေလိုက်သည်။ထို့ကြောင့် power factor သည် DPF1 နှင့် (I1/ Irms) တို့၏မြှောက်လဒ်နှင့်ညီပါသည်။I1သည် fundanental freq ရှိသော current ကို ဆိုလိုပြီး Irms မှာ freq အားလုံးပါဝင်သော current (total) ကိုဆိုလိုပါသည်။

ထို့ကြောင့် non-linear load တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော power factor သည်Linear load များတွင်ရှိသော power factor အမျိုးအစား အပြင် harmonic freq ရှိသော current များကြောင့် နောက်ထပ် power factor အမျိုးအစားလည်း အပိုရှိနေသည့်သဘောကို ဆောင်ပါသည်။

....

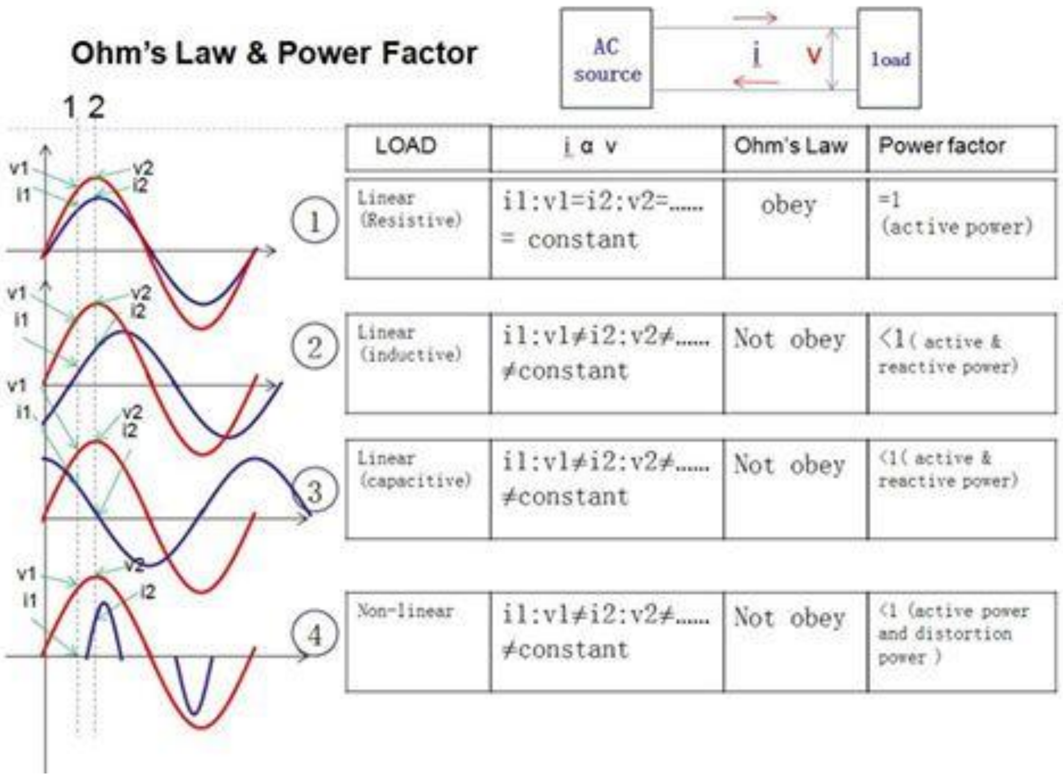
Power factor (Part-7, final part)

နိဂုံး

အပိုင်း(၁) တွင်ဖော်ပြခဲ့သော Ohm´s law ကိုမလိုက်နာသော လျှပ်စစ်ပစ္စည်းတိုင်း power factor ပြဿနာရှိနေမည့်အကြောင်းကို အောက်ပါ ဆောင်းပါးဖြင့်ရှင်းလင်းထားပါသည်။
....
Ohm's Law and Power Factor
by Aye Thwin (24 Jan 2016)

ဤ post ရဲ့ရည်ရွယ်ချက်က လျှပ်စစ်ပညာမှာ အမြဲတမ်းပြောနေကြတဲ့ ohm´s law ဆိုတဲ့အခြေခံကျတဲ့ law နဲ့ power factor ဆိုသောဂါဟာရ...သူတို့ဘယ်လိုဆက်နွယ်နေသလဲကို highlight လုပ်ပြရုံပါ။ သင်ကြားခဲ့တဲ့စာ၊ ဖတ်ခဲ့ဘူးတဲ့အကြောင်းအရာ၊လက်တွေ့မှရတဲ့ အတွေ့အကြုံတွေကိုအခြေခံပြီး မိမိဘာသာထပ်ဆင့်နားလည်ခဲ့သော အရာများကိုရေးခြင်းဖြစ်ပါတယ်။

Ohm´s law ကဘာဆိုထားလဲ...
Conductor တစ်ခု၏ အမှတ် နှစ်ခုကြား စီးသွားသော current (i) သည်
ထိုအမှတ်နှစ်ခုကြားရှိ potential difference (v) နဲ့တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။
သူကိုသင်္ချာစကားနဲ့ပြောလျှင်
i နဲ့ v ၏ အချိုး၏တန်ဖိုးသည် ကိန်းသေ (constant) ဖြစ်တယ်လို့
ဆိုပါတယ်။ i/v = contsant.
ဒါကမူရင်းဆိုလိုချက်ပါ။
သူကိုပြန်ပြင်ရေးတော့ v/i = R=
Constant ဆိုပြီး equation ဖြစ်လာပြီး အသုံးပြုကြပါတယ်။
မှတ်ချက်၊
လက်တွေ့မှာဖြစ်တတ်တဲ့ current စီးခြင်းကြောင့်ဖြစ်လာတဲ့အပူ ၊ ထိုအပူမှ resistance ပြောင်းလဲခြင်းကိုလျစ်လျူရှုထားတယ်
သုံးထားသော i,v များသည် load stable ဖြစ်နေသော operating condition တစ်ခု၏ instant time တွင်ဖြစ်သော current, voltage များကိုရည်ညွှန်းပြီး rms တန်ဖိုးများကိုမဆိုလိုချေ။



LOAD	i α v	Ohm's Law	Power factor
① Linear (Resistive)	i1:v1=i2:v2=...... = constant	obey	=1 (active power)
② Linear (inductive)	i1:v1≠i2:v2≠...... ≠constant	Not obey	<1(active & reactive power)
③ Linear (capacitive)	i1:v1≠i2:v2≠...... ≠constant	Not obey	<1(active & reactive power)
④ Non-linear	i1:v1≠i2:v2≠...... ≠constant	Not obey	<1 (active power and distortion power)

ပုံမှာ load သဘာဝ ၄ မျိုးမှာဖြစ်ပေါ်နေတဲ့ ac voltage နဲ့ current waveform တွေကိုယှဉ်ပြထားပါတယ်။ ပုံမှန်အားဖြင့်
AC source တွေဟာ sinusoidal wave ပုံစံ voltage တွေပဲရှိကြပါတယ်။
(Red color).ဒါပေမယ့် current waveform (blue color) ကတော့ load သဘာဝပေါ်မူတည်ပြီး အမျိုးမျိုးရှိနိုင်ပါတယ်။

load များ၏ terminal ၂ခုကြား တွင် load အစား conductor တစ်ခုအဖြစ်မြင်ကြည့်ပြီး ohm´s law ဖြင့်လေ့လာကြည့်ပါ။

No.1 load ကတော့ resistive load အမျိုးအစားဖြစ်ပါတယ်။သူ့ထဲကို current စီးလျှင် energy dissipated ဖြစ်စေတဲ့ Resistance တွေပဲရှိတယ်။ သူ့ထဲကိုစီးဆင်းနေစဉ် အချိန်တိုင်းမှာရှိတဲ့ i နဲ့ v တို့ရဲ့အချိုးသည် အမြဲတမ်း constant တစ်ခုနဲ့ညီနေတယ်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ohm´s law ကိုလိုက်နာတယ်။ power factor တန်ဖိုးတွက်ကြည့်လျှင် pf=1 ရှိကြတယ်။ စီးဆင်းတဲ့ power ကတော့ active power အမျိုးအစားတွေပဲ။

Load no.2 and 3 ကတော့ energy storage တွေဖြစ်တဲ့ inductor , capacitor တွေပါနေတဲ့ load အမျိုးအစားတစ်ခုပဲ။ ထို storge ၂ မျိုးရဲ့အနည်းအများပေါ်မူတည်ပြီး inductive, capacitive စသဖြင့်ကွဲပြားသွားတယ်။
သူ့ထဲကိုစီးဆင်းနေစဉ်အချိန်တိုင်းမှာရှိတဲ့ i နဲ့ v တို့ရဲ့အချိုးသည် အမြဲတမ်း constant မဖြစ်ဘူး။ ohm´s law ကိုမလိုက်နာဘူး။ power factor တန်ဖိုးက pf<1
ဖြစ်လေ့ရှိတယ်။ စီးဆင်းတဲ့ power တွေက active နဲ့ reactive power အမျိုးအစားတွေပဲ။

အထက်ပါ no.1,2,3 load တွေကို
Linear load တွေလို့ခေါ်တယ်။ဘာလို့လဲဆိုတော့ current waveform နဲ့ voltage waveform တွေသည် sinusoidal wave တွေဖြစ်နေလို့ပဲ။

No.4 load ကတော့ အထက်ပါ၃ ခုနဲ့ current တွေသည်ပုံစံမတူဘူး။
Non-sinusoidal wave ပုံစံရှိသော distortion ဖြစ်နေသော current တွေကိုထုတ်ပေးတဲ့ load အစားတစ်ခုပါ။
သူ့ထဲကိုစီးဆင်းနေစဉ်
အချိန်တိုင်းမှာရှိတဲ့ i နဲ့ v တို့ရဲ့အချိုးသည် အမြဲတမ်း constant မဖြစ်ဘူး။ ohm´s law ကိုမလိုက်နာဘူး။power factor တန်ဖိုးက pf<1
ဖြစ်လေ့ရှိတယ်။ သူကတော့ reactive power သိပ်မရှိ...သို့မဟုတ် လုံးဝမရှိပဲ harmonic current ကြောင့်ဖြစ်တဲ့ distortion power တွေရှိတယ်။
....
Conclusion
အထက်ပါတွေရှိချက်များကိုအခြေခံ၍ ကောက်ချက်ချရသော်....
(၁)Power system တစ်ခု၏power စီးဆင်းမှုတွင် active power ချည်းဆိုပါက တစ်နည်း ohm´s law အတိုင်းလိုက်နာခြင်းသဘာဝရှိပါက pf=1 ရရှိမည်ဖြစ်သည်။
(၂) Active power နှင့်အတူ reactive power , သို့မဟုတ် distortion power ရောပါလာက Ohm´s law ကိုလည်းလိုက်နာခြင်းသဘာဝမရှိသည်ကိုတွေ့ရပြီး
Pf< 1 ရှိနေမည်ဖြစ်သည်။
(၃) ထို့ကြောင့် pf=1 ဖြစ်စေရန်ပြုလုပ်သော power factor correction ခေါ် PFC အစီအမံများသည် ohm´s law ကိုလိုက်နာစေရန်ပြုလုပ်သော
Design များသာဖြစ်ကြောင်းသဘောပေါက်နားလည်မိပါသည်။
....

Aye Thwin