Power Factor and Power Factor Correction (PFC) for non-linear load

Written by Aye Thwin (10 Feb 2015)

လျှပ်စစ်ဓာတ်အါးဖြန့်ဖြူးသုံးစွဲရေးတွင် power factor ဟူသောဝေါဟာရ နှင့် သူ၏သဘာဝကို သိရှိထားရန်အရေးကြီးသည်။ ထိုမှတစ်ဆင့် power factor ကြောင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြန့်ဖြူးသုံးစွဲရေးတွင် မည်သို့အကျိုးသက်ရောက်မှုရှိပုံ၊မည်သို့ power factor ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ရမည်တို့ကို သိရှိလာနိုင်ပေမည်။ Power factor ဆိုသည်မှာ Source နှင့် Load အကြား တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသော power စီးဆင်းမှုသဘာဝ နှစ်မျိုးတို့၏ အချိုးအဆ တစ်ခုအဖြစ်မှတ်ယူနိုင်သည်။ Load ၌အမှန်တကယ်သုံးစွဲသော power (real power , unit in W) နှင့် Source နှင့် load ကြား ရှိ RMS Voltage (V_{rms}) နှင့် RMS Current (I_{rms}) ကို အခြေခံ၍ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် ထင်ရသော power (apparent power , unit in VA) တို့၏ အချိုးတစ်ခု အဖြစ်သတ်မှတ်သည်။ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြရသော်

$$\text{power factor} = \frac{\text{real power}}{\text{apparent power}}$$

ဖြစ်သည်။

Power factor ၏ တန်ဖိုးမှာ (-1) မှ (+1) ကြားတွင်ရှိကြသည်။ Load ဘက်မှ power ကို generate လုပ်ပြီး source ဘက်သို့ ပြန်သွားသောဖြစ်စဉ်တွင် power factor ကို အနုတ်တန်ဖိုးဖြင့်ဖော်ပြကြသည်။ Power factor ကိုတွက်ထုတ်ရာတွင် သုံးစွဲသော Load အမျိုးအစားပေါ် မူတည်၍ ကွဲပြားသွားသည်။

Load အမျိုးအစားနှစ်မျိုးမှာ

(၁) Linear load

(၂) Non-linear load တို့ဖြစ်သည်။

Linear load

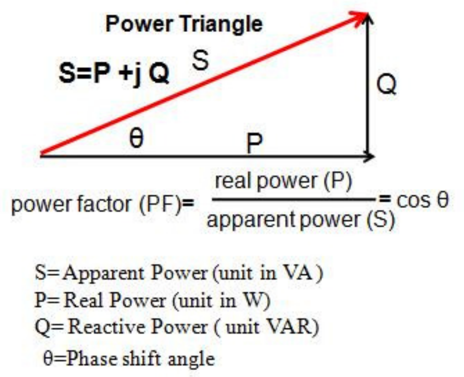
Source ဘက်ရှိ Sinusoidal wave သဘာဝရှိသော AC voltage မှ load ဘက်သို့ power ပေးရာ၌ Sinusoidal wave သဘာဝရှိသော AC current တစ်ခုစီးဆင်းစေသော Load ကိုခေါ် သည်။
ဥပမာ,

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

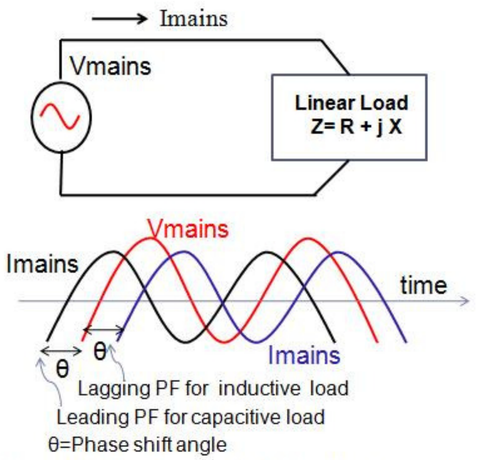
Non-linear load

Source ဘက်ရှိ Sinusoidal wave သဘာဝရှိသော AC voltage မှ 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 for linear load



Figure(1) Power triangle for linear load



Figure(2) Waveforms for linear load

Linear load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော current သည် voltage နှင့် sinusoidal wave သဘာဝတူပြီး phase shift angle , θ , သာကွာခြားသည်။ ဖြစ်ပေါ်လာသော power သုံးမျိုးသည် Figure (1) တွင်ပြထားသော power triangle အတိုင်းတည်ရှိသည်။ ထို power သုံးမျိုးကို complex form ဖြင့် **S=P+j**Q ဖြင့်ဖော်ပြနိုင်ပြီး real power (P) နှင့် apparent power (S) တို့၏အချိုး cos θ ကို power factor အနေဖြင့်ဖော်ပြနိုင်သည်။ Voltage နှင့် Current များ သည်တူညီသော သဘာဝရှိ waveform များဖြစ်ပြီး Phase shift angle တစ်ခုရှိသဖြင့် Displacement power factor ဟုလည်းခေါ်သည်။

For Single Phase,

Apparent power= $V_{rms} x I_{rms}$

Real power = $V_{rms} x I_{rms} x \text{ Cos } \theta$

Power factor for non-linear load

Non-linear load များသည် non-sinusoidal current များဖြစ်ပေါ်စေသော Load များဖြစ်သည်။ Non-linear load များကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော power factor မှာ သဘာဝနှစ်မျိုးရှိသည်။

ထိုနှစ်မျိုးမှာ (၁) Phase shift angle တစ်ခုရှိသော Displacement power factor နှင့် (၂) Harmonic current များကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော Distortion power factor ဖြစ်ကြသည်။ ထို power factor နှစ်မျိုး မြှောက်လဒ်သည် Non-linear load ၏ power factor အဖြစ်တည်ရှိသည်။

Harmonic current

Non-linear load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော non-sinusoidal current များကို သင်္ချာနည်းဖြင့် မူရင်း fundamental frequency (f) အပါအဝင် 2f, 3f, 4f, 5f,6f,7f,... စသည့် harmonic frequency များရှိသော harmonic sinusoidal wave များအဖြစ် ခွဲခြားရှုမြင်နိုင်ပါသည်။

အဆိုပါ non-sinusoidal wave ရှိသော current ၏ Total I_{rms} ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းအရ တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

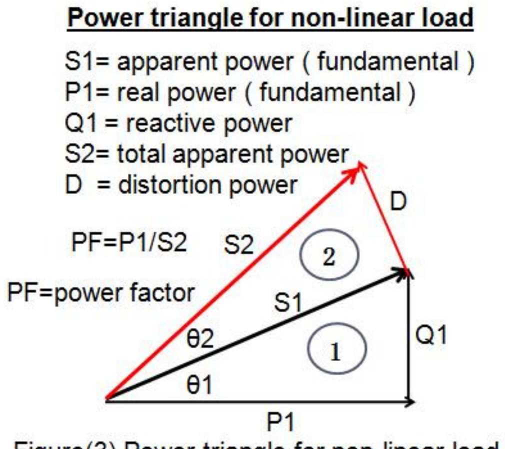
$$\text{Total } I^2_{rms} = I^2_o + I^2_{1rms} + I^2_{2rms} + I^2_{3rms} + I^2_{4rms} + I^2_{5rms} + \ldots\ldots +$$

$$\text{Total } I_{rms} = \sqrt{I^2_o + I^2_{1rms} + I^2_{2rms} + I^2_{3rms} + I^2_{4rms} + I^2_{5rms} + \ldots\ldots +}$$

I_o = dc component of the current

ပုံသေနည်းမှာ ယေဘုယျသဘော ရေးထားသည်။ Sinusoidal wave တစ်ခုတွင် dc အပိုင်း မပါသဖြင့် Io ကို သုည ဟုမှတ်ယူနိုင်ပါသည်။

I_{1rms} မှာ fundamental frequency ရှိသော sinusoidal wave ၏ rms တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ I_{2rms} မှာ fundamental frequency ၏ နှစ်ဆရှိသော sinusoidal wave ၏ rms တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ ဤသို့ဖြင့်ရှိသမျှသော harmonic frequency ရှိ sinusoidal wave များ၏ rms တန်ဖိုးများကို squared လုပ်၍စုစုပေါင်းပြီး square root ပြန်လုပ်သော တန်ဖိုးကို Total I_{rms} အဖြစ် တည်ရှိသည်။



Figure(3) Power triangle for non-linear load

Figure (3) တွင် non-linear load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော power triangle ကိုဖော်ပြထားသည်။ No.1 triangle မှာ Displacement power factor အတွက်ဖြစ်ပြီး No.2 triangle မှာ harmonic current များကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော Distortion power factor အတွက်ဖြစ်သည်။

No.1 triangle မှာ fundamental frequency ကိုအခြေခံထားပြီး

Real power (fundamental) ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

Apparent power (fundamental) ,S1= $V_{rms} x I_{1rms}$

Real power (fundamental) , P1=$V_{rms} x I_{1rms} x \cos\theta_1$

No.2 triangle မှ Total apparent power ,S2 ကို Total I_{rms} မှတစ်ဆင့် တွက်ထုတ်ပါက

Total apparent power , S2= $V_{rms} x$ Total I_{rms}

ထို့ကြောင့်

$$\text{power factor} = \frac{\text{real power (fundamental), P1}}{\text{Total apparent power ,S2}}$$

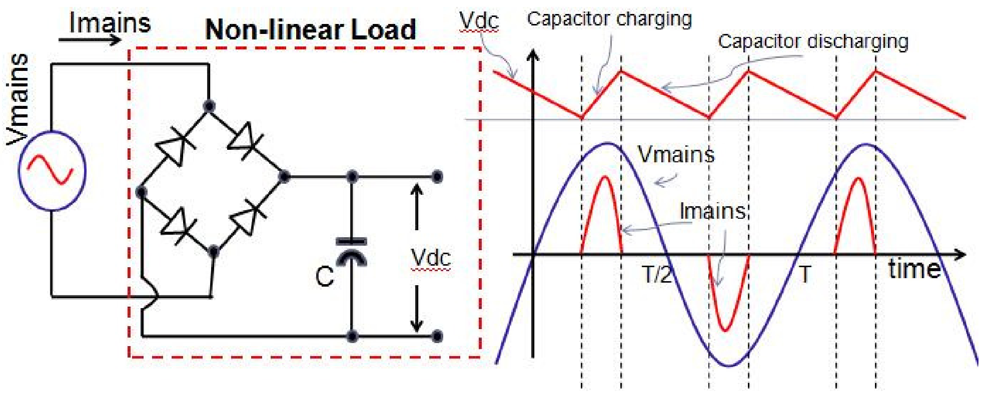
$$\text{power factor} = \frac{V_{rms} x I_{1rms} x \cos\theta_1}{V_{rms} x \text{ Total } I_{rms}}$$

$$\text{power factor} = \frac{V_{rms} x I_{1rms}}{V_{rms} x \text{ Total } I_{rms}} x \cos\theta_1$$

$$\text{power factor} = \cos\theta_2 \quad x \cos\theta_1$$

Cos θ_2 = Distortion power factor , Cos θ_1= Displacement power factor

<u>Example for non-linear load</u>



Figure(4) Waveforms for non-linear load

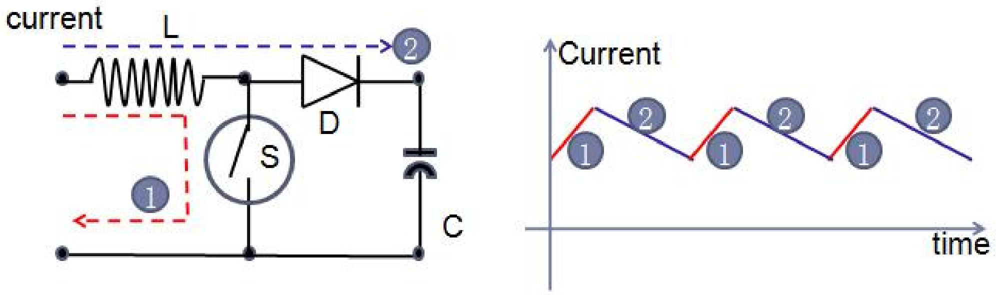
Figure (4) တွင် အဝင် AC voltage ကို အထွက် DC voltage (Vdc) ဖြစ်အောင် ပြောင်းပေးသော rectifier circuit တစ်ခုကိုဖော်ပြထားသည်။ Vdc ၏ waveform ကိုလေ့လာကြည့်ပါက capacitor က charging လုပ်နေသော အခြေအနေနှင့် discharging လုပ်နေသော အခြေအနေ ကိုတွေ့ရမည်။ AC input (Vmains) မှလာသော current (Imains) သည် အချိန်တိုင်း စီးနေခြင်းမဟုတ်ပဲ capacitor က charging လုပ်နေသော အချိန်ပိုင်းတွင်သာ စီးနေသည်ကိုတွေ့နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် Imains ၏ wave သည် Vmains ကဲ့သို့ sinusoidal wave ပုံစံမရှိပဲ distortion ဖြစ်နေသော non-sinusoidal wave အဖြစ် တည်ရှိသည်။

Power factor correction

Power factor correction ဆိုသည်မှာ Powe factor တန်ဖိုး ကို one (1) နီးပါရရှိအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။

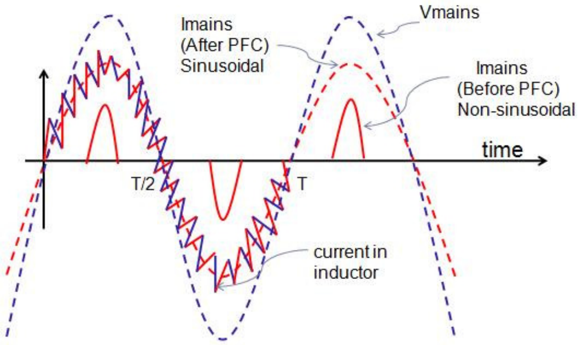
Linear load တွင်ဖြစ်သော lagging power factor နှင့် leading power factor များကို correction လုပ်ရာတွင် inductive load ဆိုပါက capacitor bank ဖြင့်လည်းကောင်း capacitive load ဖြစ်နေပါက reactor ဖြင့်လည်းကောင်း တပ်ဆင် နိုင်ပါသည်။

Non-linear load ဖြစ်ပါကမူ PFC circuit တပ်၍ဖြေရှင်းနိုင်ပါသည်။ Figure (4) တွင် Distortion ဖြစ်နေသော Current waveform ကို Boost converter ဖြင့် correction လုပ်ယူ၍ power factor ကောင်းအောင်ပြုပြင်နိုင်သည်။ Boost converter အလုပ်လုပ်ပုံကို Figure (5) တွင်ပြထားသည်။

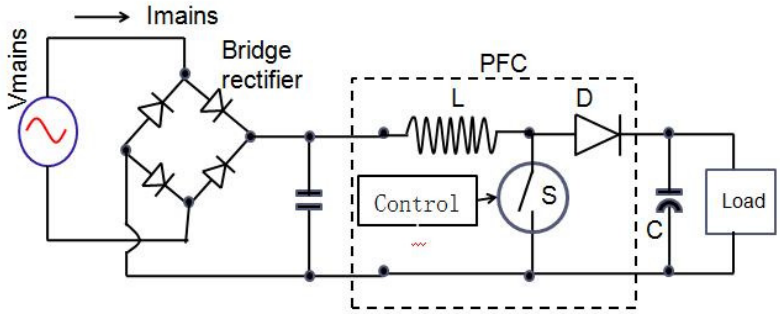


Figure(5)_Power factor correction (PFC) for non-linear load

ပုံတွင် S သည် Transistor တစ်ခုကိုကိုယ်စားပြုပြီး အဖွင့်အပိတ် kHz frequency ဖြင့် current လမ်းကြောင်းကို ပြုပြင်ပေးသည်။ ပိတ်နေစဉ်တွင် inductor L ရှိ current သည် S ထဲသို့ (လမ်းကြောင်းno.1) စီးစေပြီး ပွင့်နေလျှင် Diode D ထဲသို့ (လမ်းကြောင်း no.2) စီးစေသည်။ ဤသို့ mains frequency ထက်မြန်သော kHz ဖြင့် S ကို control ciruit တစ်ခုဖြင့် အလုပ်လုပ်စေ ၍ inductor L ထဲသို့ sawtooth ပုံစံ currrent များကို အဆက်မပြတ်စီးဆင်းစေသည်။



Figure(6) Imains waveforms before PFC using and after PFC using



Figure(7) PFC implementation on non-linear load

အဆိုပါ boost converter အား Figure (7) တွင် bridge rectifier နှင့် capacitor C အကြား၌ ထည့်လိုက်ပါက Figure (6) တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း sawtooth ပုံစံ current များသည် Vmains ၏ sinusoidal waveform အတိုင်းလိုက်၍ တည်ရှိစေသည်။ ထို sawtooth ပုံစံ current များသည် kHz frequency ရှိကြပြီး average current အနေဖြင့် မြင်ပါက sinusoidal waveform ပုံစံ Vmains နှင့် in- phase ဖြစ်နေသည်ကိုတွေ့မြင်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် power factor တန်ဖိုး သည် one (1) ဆီသို့ ချည်းကပ်သွားသည့်သဘောဖြစ်ပါသည်။အချုပ်ဆိုရသော် power factor တန်ဖိုး one (1) အောက်ရှိနေခြင်းသည် source မှ RMS current (I_{rms}) များပိုမိုထွက်နေခြင်းဖြစ်ပြီး ထိုမှတစ်ဆင့် transmission line များ တစ်လျှောက် တွင်ရှိသော ပစ္စည်းများ ကြီးမားစွာတည်ဆောက်ရခြင်း power loss များရှိခြင်းစသည့်ဆိုးကျိုးများ ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။

....END...