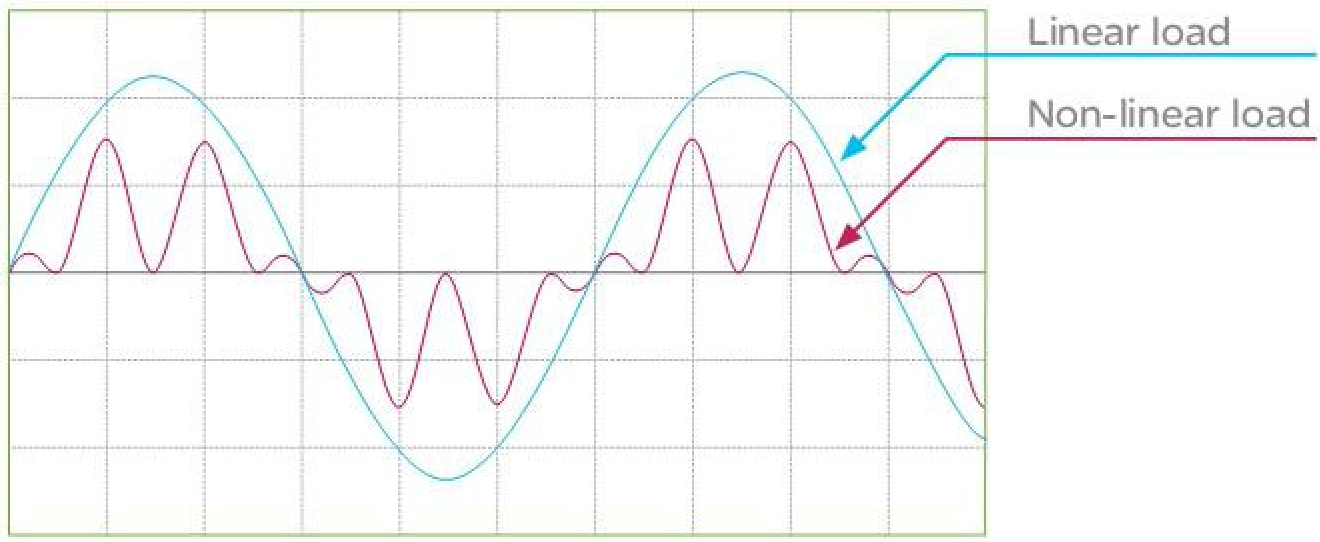
Harmonics အကြောင်း အပိုင်းအစလေး

(Written by Saya Dr Tun Naing) https://www.facebook.com/tun.naing.5245?fref=ts

Harmonics အကြောင်း ရေးပေးပါလို့ ခနခန စာရေးလာကြသူတွေ ရှိပါတယ်။ အမှန်အတိုင်းပြောရရင် ကျွန်တော့်အတွက်လဲ ခပ်ခွာခွာလေးရှိနေတဲ့ ကိစ္စလို ဖြစ်နေပါတယ်။ ကျွန်တော့်ထက်ပိုသိတဲ့သူက ရေးခဲ့ရင် ပိုကောင်းနိုင်မှာပါ။ အခု ကြိုးစားရေးပေးလိုက်တာဖြစ်လို့ လိုအပ်ချက်တွေ ရှိနေနိုင်ပါတယ်။

Harmonics ဆိုသည်မှာ distribution side အတွင်း non-linear load တွေ အသုံးပြုမှုကြောင့် Fundamental frequency (50 Hz in Myanmar) ရဲ့ ကိန်းပြည့် မဂဏန်း အဆကိန်းများ (၃၊ ၅၊ ၇၊ ၉ ...) အတိုင်းရှိတဲ့ frequency များ (ဥပမာ- 150, 300, 350 Hz) ရှိတဲ့ current နဲ့ voltage တွေ ဖြစ်ပေါ်မှုကို ခေါ်ပါတယ်။



Non-linear load တွေ ဆိုတာက Electronic ballast, Computers, Telephone systems, printers, copiers, UPS, Adjustable-speed drive, arc furnace, ac/dc converter, welder စတာတွေ ဖြစ်ပါတယ်။

Odd-multiples of 3rd harmonics များ (ဥပမာ- 3rd, 9th, 15th, 21st, စသည်တို့) ကို Triplen Harmonics လို့ခေါ်ပါတယ်။ ၎င်းတို့ဟာ Zero sequence harmonics များ ဖြစ်ပါတယ်။

Harmonic တခုချင်းအလိုက်ရဲ့ Sequence များကို အောက်ပါ ဇယားမှာ ပို၍ မြင်သာ လေ့လာနိုင်ပါတယ်-

Classification of harmonics

Each harmonic has a name, frequency and sequence. The sequence refers to phasor rotation with respect to the fundamental (F), i.e., in an induction motor, a positive sequence harmonic would generate a magnetic field that rotated in the same direction as the fundamental. A negative sequence harmonic would rotate in the reverse direction. The first nine harmonics along with their effects are listed below:

Name	F	2nd*	3rd	4th*	5th	6th*	7th	8th*	9th
Frequency	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Sequence	+	–	0	+	–	0	+	–	0

*Even harmonics disappear when waves are symmetrical (typical for electrical circuits)

Sequence	**Rotation**	**Effects (from skin effect, eddy currents, etc.)**
Positive	Forward	Heating of conductors, circuit breakers, etc.
Negative	Reverse	Heating as above plus motor problems
Zero**	None	Heating, plus add in neutral of 3-phase, 4-wire system

**Zero sequence harmonics (odd multiples of the 3rd) are called "Triplens" (3rd, 9th, 15th, 21st, etc.)

3 Phase အတွင်း စီးနေမယ့် ထို harmonics current များရဲ့ magnitude တွေပေါင်းလို့ရတဲ့ ပမာဏအတိုင်း neutral မှာ စီးနေမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ ဖြစ်ပေါ်လာတဲ့ စုစုပေါင်း ပမာဏဟာ များနေနိုင်တာကြောင့် neutral ကြိုး အရွယ်အစားသာ သေးနေမယ်ဆိုရင် အပူဖြစ်ပေါ်မှု များလာပြီး မီးလောင်မှု ဖြစ်လာနိုင်ပါတယ်။

ထရန်စဖော်မာအတွင်းမှာ ထို harmonics current များကြောင့် အပူချိန်မြင့်တက်မှု ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်ပါတယ်။ မြင့်မားတဲ့ Hum အသံတွေ ထွက်ပေါ်နိုင်ပါတယ်။

Electronic ballast, Computers တွေဟာ Triplen Harmonics အများဆုံး ဖြစ်စေနိုင်တဲ့ ပစ္စည်းများ ဖြစ်ပါတယ်။

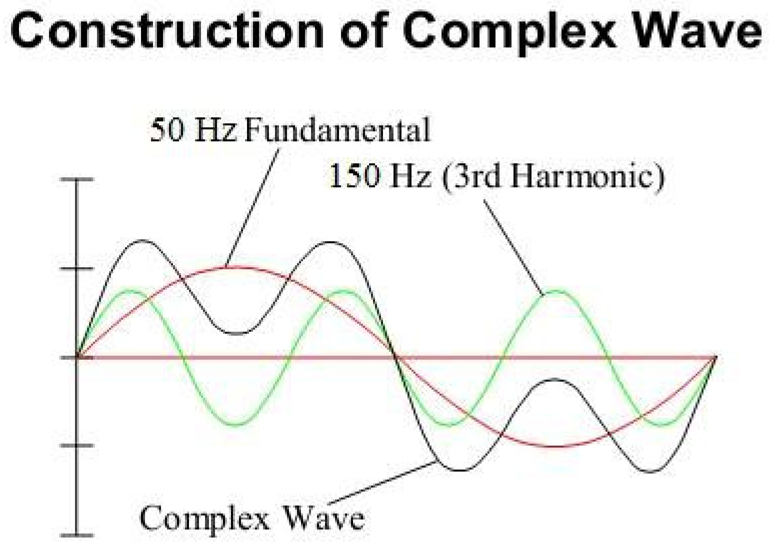
5th နဲ့ 11th Harmonics တွေက negative sequence တွေ ဖြစ်ပါတယ်။ စက်မှုလုပ်ငန်းတွေအတွက် ပြဿနာဖြစ်စေပါတယ်။ Three phase motor တွေမှာ negative torque ဖြစ်ပေါ်ပြီး၊ Reverse ပြန်ရုန်း စေနိုင်ပါတယ်။ ဒီအခါ motor က (negative torque ကို ချေဖျက်တဲ့အပြင်) ပုံမှန် direction အတိုင်း လည်နိုင်အောင် Positive sequence current ပိုစီးစေလာရပါတယ်။ motor ပိုပူပြီး Over-current သို့မဟုတ် Overheating နဲ့ Trip ခနခန ဖြစ်တာ ကြုံရပါမယ်။

Distribution system အတွင်းမှာ Harmonics တွေဖြစ်ပေါ်နေမှုကြောင့် ဖြစ်လာတဲ့ နောက်ဆက်တွဲ ဆိုးကျိုးတွေက

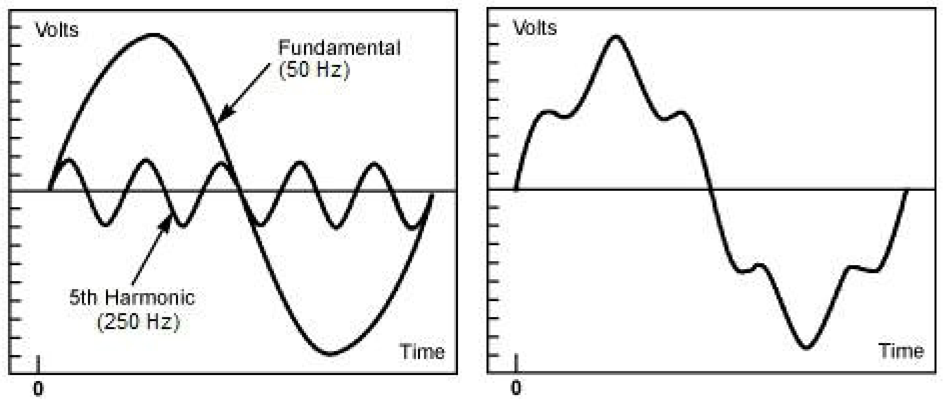
- overheating of transformers
- transformer humming
- overheating of motors and generators
- increases hysteresis losses decreased kVA rating
- neutral overloading
- unacceptable neutral-to-ground voltages
- distorted voltage and current waveforms
- failed capacitor banks
- breakers and fuse tripping
- interference on phone and communication systems
- unreliable operation of electronic equipment that utilize the voltage waveform for synchronization or timing
- weaken insulation in cables, windings
- erroneous register of electric meters
- wasted electric bills
- Poor power factor
- Failure or malfunction of computers, motor drives, and other sensitive loads

Fundamental frequency နဲ့ ပုံမှန်ရှိနေရမယ့် Sine wave form မှာ Harmonics တွေ ပါဝင်လာရင် ပေါင်းစပ်လိုက်တဲ့အခါ wave form က ပုံစံယိုယွင်းလာပြီး Distorted wave form အဖြစ် ပြောင်းလဲဖြစ်ပေါ်လာမှာကို အောက်ပါပုံများနဲ့ လေ့လာနိုင်ပါတယ်-

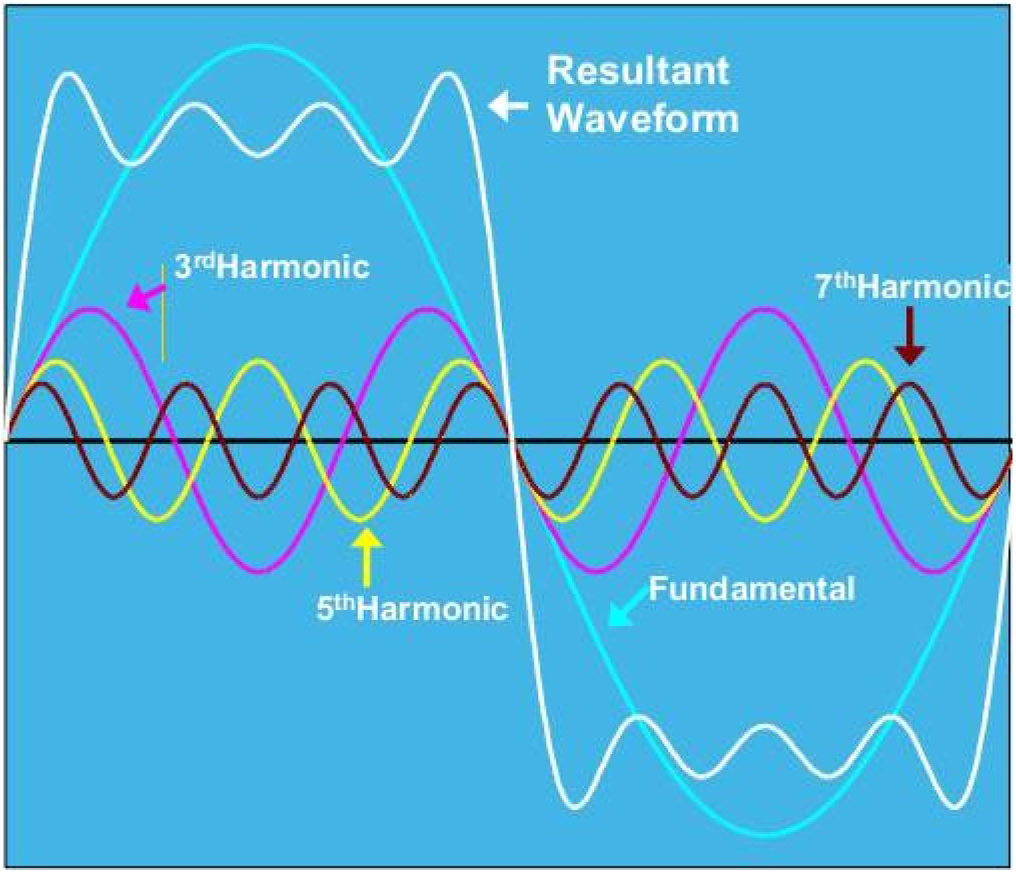
Fundamental Sine wave မှာ 3rd Harmonic wave ပါဝင်လာတဲ့အတွက် Distorted Wave (Complex wave) အဖြစ် ပြောင်းလဲသွားတဲ့ပုံ ဖြစ်ပါတယ်။



Fundamental Sine wave မှာ 5th Harmonic wave ပါဝင်လာတဲ့အတွက် Distorted Wave (Complex wave) အဖြစ် ပြောင်းလဲသွားတဲ့ပုံ ဖြစ်ပါတယ်။



Fundamental Sine wave မှာ 3rd, 5th, 7th Harmonic waves တွေ အစုံ ပါဝင်လာတဲ့အတွက် Distorted Wave (Complex wave) အဖြစ် ပြောင်းလဲသွားတဲ့ ပုံ ဖြစ်ပါတယ်။



wave form အတွင်း ပါဝင်နေတဲ့ Harmonic % ကို Total Harmonic Distortion (THD) လို့ ခေါ်ပါတယ်။ Voltage wave form နဲ့ ပတ်သက်ရင် Total Harmonic Voltage Distortion (THVD) လို့ခေါ်ပြီး၊ Current wave form နဲ့ ပတ်သက်ရင် Total Harmonic Current Distortion (THID) လို့ခေါ်ပါတယ်။ နမူနာတွက်ပုံက အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်ပါတယ်။

$$THID = \frac{I_{harmonic}}{I_{fundamental}} \times 100$$

Distribution Network အတွင်း အသုံးပြုနေတဲ့ လျှပ်စစ်ပစ္စည်းအချို့ကြောင့် Harmonic Current တွေစီးလာပြီး၊ Harmonic Voltage ဖြစ်ပေါ်ကာ တူညီတဲ့ ထရန်စဖော်မာတလုံးထဲက ဓာတ်အားသုံးနေသူအားလုံး ဒီဆိုးကျိုးကို ခံစားရမှာ ဖြစ်ပါတယ်။

ဓာတ်အားသုံးစွဲသူများရဲ့ သုံးစွဲမှုပုံစံကြောင့် Harmonic ဖြစ်ပေါ်လာမှုကို ထိန်းသိမ်းနိုင်ဖို့ ဓာတ်အားဆက်သွယ်တဲ့နေရာမှာ အများဆုံးလက်ခံနိုင်မယ့် Harmonic Level ကို ဓာတ်အားပေးသူများက စံသတ်မှတ်လာကြပါတယ်။ သတ်မှတ်ရာမှာ THVD % နဲ့ဖြစ်ပါတယ်။ IEEE STD 519(1992) ဟာ Harmonic Limit Standard အဖြစ် ကျယ်ကျယ်ပြန့်ပြန့် အသုံးပြုလျှက်ရှိပါတယ်။

LOW VOLTAGE SYSTEM CLASSIFICATION AND DISTORTION LIMITS
IEEE 519-1992 STANDARTS

	Special Applications	General System	Dedicated System
Notch Depth	10%	20%	50%
THD (Voltage)	3%	5%	10%
Notch Area (A_N)*	16,400	22,800	36,500

Source: IEEE Standard 519-1992.
Note: The value A_N for another than 480Volt systems should be multiplied by V/480 .
The notch depth, the total voltage distortion factor (THD) and the notch area limits are specified for line to line voltage.
In the above table, special applications include hospitals and airports. A dedicated system is exclusively dedicated to converter load.
*In volt-microseconds at rated voltage and current.

LIMITS OF THD%
IEEE 519-1992 STANDARDS

SYSTEM Nominal Voltage	Special Application	General Systems	Dedicated Systems
120-600V	3.0	5.0	8.0
69KV and below	-	5.0	-

IEEE STD 519-1992

Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120 V Through 69 000 V)

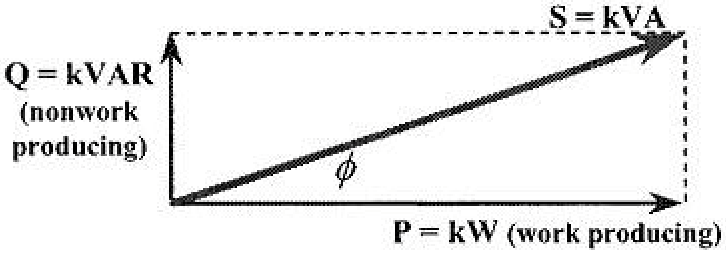
Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{SC}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0 1	5.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above						
Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed						
*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual ISC / IL						
where ISC = maximum short-circuit current at PCC IL = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.						

Distribution Network အတွင်းမှာ Harmonic current တွေ ရှိနေမယ်ဆိုရင် Pead Demand ဟာ ရှိသင့်တာထက် ပိုရှိနေမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ ဒီအခါမှာ ဓာတ်အား လောက်သင့်ရဲ့နဲ့ ဓာတ်အားမလောက်တာ၊ ဓာတ်အားတွေဖြတ်တောက်နေရတာ၊ ဓာတ်အားလုံလောက်ချင်ရင် ဓာတ်အားပေးစက်ရုံတွေ ပိုပို တည်ဆောက်ရတာ၊ လောင်စာတွေပိုသုံးပြီး ဓာတ်အားတွေ ထုတ်ပေးနေရတာတွေ ဖြစ်လာပါတယ်။

Distribution Network အတွင်းက ဖြစ်လာတဲ့ ဆိုးကျိုးတွေ အားလုံးကို Distribution Side မှာ မဖြေရှင်းပဲ လစ်လျူရှုထားခဲ့ရင် နောက်ဆုံးမှာ ဓာတ်အားစနစ် တခုလုံးကို ထိခိုက်လာပြီး၊ ဆိုးကျိုးတွေပေးလာတာ ဖြစ်ပါတယ်။

Linear Load တွေ အသုံးပြုနေတဲ့ ဓာတ်အားပေးစနစ်မှာ Power Factor တွက်ပုံက အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်ပါတယ်-

Power Factor Components in System with Linear Load



Where the power factor, $\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{kW}{kVA}$

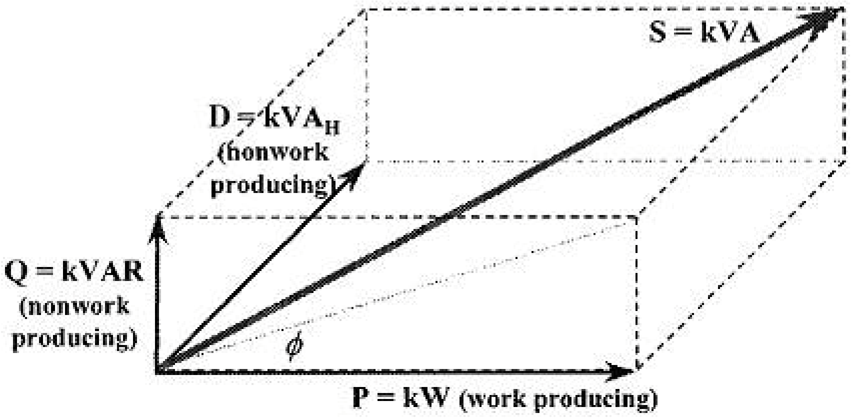
The apparent power, $S(kVA) = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{kW^2 + kVAr^2}$

where

P	=	active power (i.e., it produces useful work), in kW
S	=	apparent power (kVA)
Q	=	reactive power, which produces no useful work, ($kVAr$)

Harmonic components တွေ ပါရှိနေမယ့် ဓာတ်အားပေးစနစ်မှာ Power Factor ပြောင်းလဲ ဖြစ်ပေါ်လာတဲ့ပုံစံကို အောက်ပါပုံမှာ မြင်တွေ့နိုင်ပါတယ်-

Power Factor Components in System with Harmonics



Total (or true) power factor ကို အောက်ပါ အတိုင်း တွက်ချက်ပါတယ်-

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THDI^2}} \cdot \cos\varphi$$

where:

PF = power factor

THDI = total harmonic distortion current

$$\cos\varphi = \frac{\text{Real Power}}{\text{Apparent Power}}$$

အထက်ပါ တွက်ချက်မှုပုံစံအရ Harmonic Current ပါရှိမှု THDI ကို လျှော့ချနိုင်ရင် Total Power Factor ပိုကောင်းလာမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ Harmonic Filtering equipment တွေကို တပ်သုံးခြင်းအားဖြင့် လျှပ်စစ်ပစ္စည်းများ ချို့ယွင်းမှုမှ ကာကွယ်နိုင်သလို Power Factor ကောင်းလာစေပါတယ်။

Harmonic distortion လျှော့နည်းစေဖို့ သမရိုးကျအသုံးပြုခဲ့တဲ့ နည်းလမ်းများက-

- Over-sizing or de-rating of the installation
- Specially connected transformers
- Series reactors
- Tuned passive filter

စတဲ့ နည်းလမ်းများ ဖြစ်ပါတယ်။ သို့ပေမယ့် ထိုနည်းလမ်းများမှာလည်း အားနည်းချက်တွေ ရှိတာကြောင့် ယနေ့အချိန်မှာ အသုံးများတဲ့ နည်းလမ်းများက -

- Passive Harmonic Filtering
- Active Harmonic Filtering
- Hybrid Harmonic Filtering

တို့ဖြစ်ပါတယ်။

လေ့လာလိုက်စားတယ်ဆိုရင် တော်တော်လေးကျယ်ပြန့်တဲ့ ဘာသာရပ်ဖြစ်ပါတယ်။ စိတ်ပါဝင်စားသူများ ဆက်လက်လေ့လာနိုင်ကြပါစေ။

စိတ်ရော ကိုယ်ပါ ကျန်းမာပျော်ရွှင်နိုင်ကြပါစေ။

Reference List:

1. Harmonic Filtering, Industrial Switchgear & Automation Specialists, NHP

2. Control of Harmonics in Electrical Power System, American Bureau of Shipping

3. Eliminating Harmonics from the Facility Power System, Kevin J. Tory, Rich Pope, Cutler-Hammer, Eaton Corp

4. How can power factor correction and harmonic filtering be part of your energy efficiency program?, Schneider Electric

5. Power Quality and Harmonic Mitigation, Schneider Electric

6. Troubleshooting Power Harmonics, Fluke

…………………………………………………………..END…………………………………………………………………