کیفیت توان الکتریکی

1- مقدمه، تاریخچه و کلیات
2- اغتشاشات مربوط به کیفیت توان، عوامل ایجاد کننده
3-اثرات پایین بودن کیفیت توان
4- استانداردهای کیفیت توان
5- روشهای اندازه‌گیری محاسبه پارامترهای کیفیت توان
6- روشهای بهبودکیفیت توان
7- نتیجه‌گیری

1- مقدمه، تاریخچه و کلیات

- کیفیت توان در گذشته (DCبهAC – تکفازبه سه فاز – شبکه های کوچک و مستقل به شبکه جهانی)
- کیفیت توان در صنعت امروز
  - حساسیت بارها
  - افزایش بازدهی
  - اثر گذاری مصارف بر یکدیگر
- تعریف کیفیت توان
  - کیفیت توان و کیفیت ولتاژ
  - توافق بین مصرف کننده و توزیع کننده برق

بار حساس

کیفیت برق

- برخی مشکلات کیفیت توان از شبکه به مصرف کنندگان
- برخی مشکلات مصرف کنندگان به شبکه تزریق
- برخی تجهیزات استاندارد کیفیت برق را رعایت می کنند و شبکه را آلوده نمی کنند.
- برخی تجهیزات فقط در شرایط برق با کیفیت صحیح کار می کنند.
- کیفیت توان، کیفیت تولید را همراه دارد

2- اغتشاشات مربوط به کیفیت توان، عوامل ایجاد کننده

2-1- افت ولتاژ (Under Voltage)

2-2- افت ولتاژ کوتاه مدت (Sag Voltage)

2-3- افت ولتاژ لحظه ای (Dip Voltage)

2-4- اضافه ولتاژ (Over Voltage)

2-5- اضافه ولتاژ کوتاه مدت (Swell Voltage)

2-6- اضافه ولتاژ لحظه ای (Surge Voltage)

2-7- گذراهای ولتاژ (Transient Voltage)

2- اغتشاشات مربوط به کیفیت توان، عوامل ایجاد کننده

2-8- قطعی ولتاژ (Power outages)

2-9- تغییر /نوسان/کاهش/افزایش فرکانس (Frequency)

2-10- نویز (Noise)

2-11- هارمونیکهای جریان (Current Harmonics)

2-12- هارمونیکهای ولتاژ (Voltage Harmonics)

2-13- عدم تعادل ولتاژ (Voltage Unbalancing)

2-14- نقطه خنثی و اتصال زمین (Null and Earth)

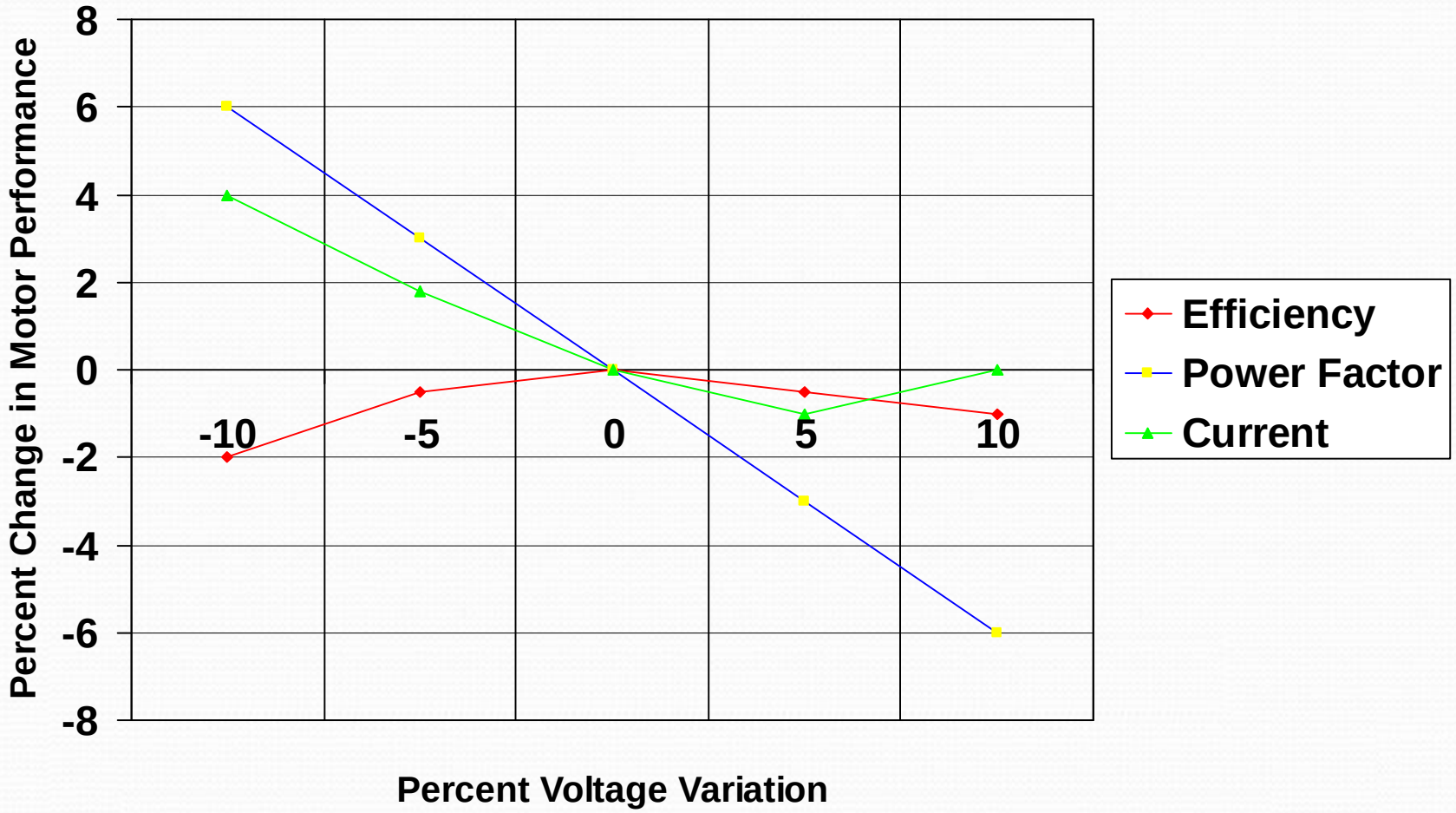
2-15- چشکم زدن (Flicker)

2-16- ....

2-1- افت ولتاژ (Under Voltage)

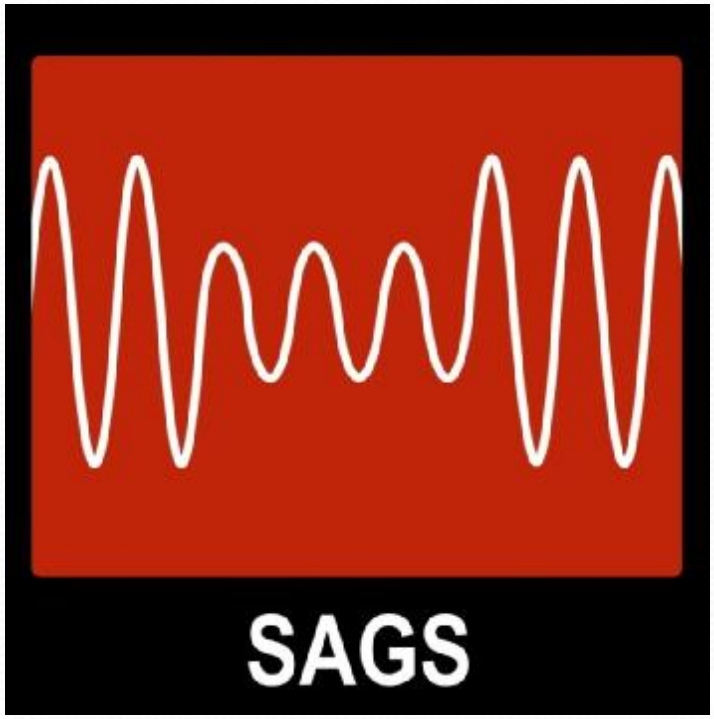
- دامنه افت ولتاژ (10% تا 90%)
- مدت زمان افت ولتاژ (چندین ثانیه تا دقیقه)
- شبکه ضعیف (X/R کوچک یا SCR کوچک)
- شبکه طولانی
- بارهای سنگین (راه اندازی، کارکرد)
- تپ ترانسفورماتور
- پایین بودن ضریب قدرت

افت ولتاژ بر کارایی موتورهای الکتریکی

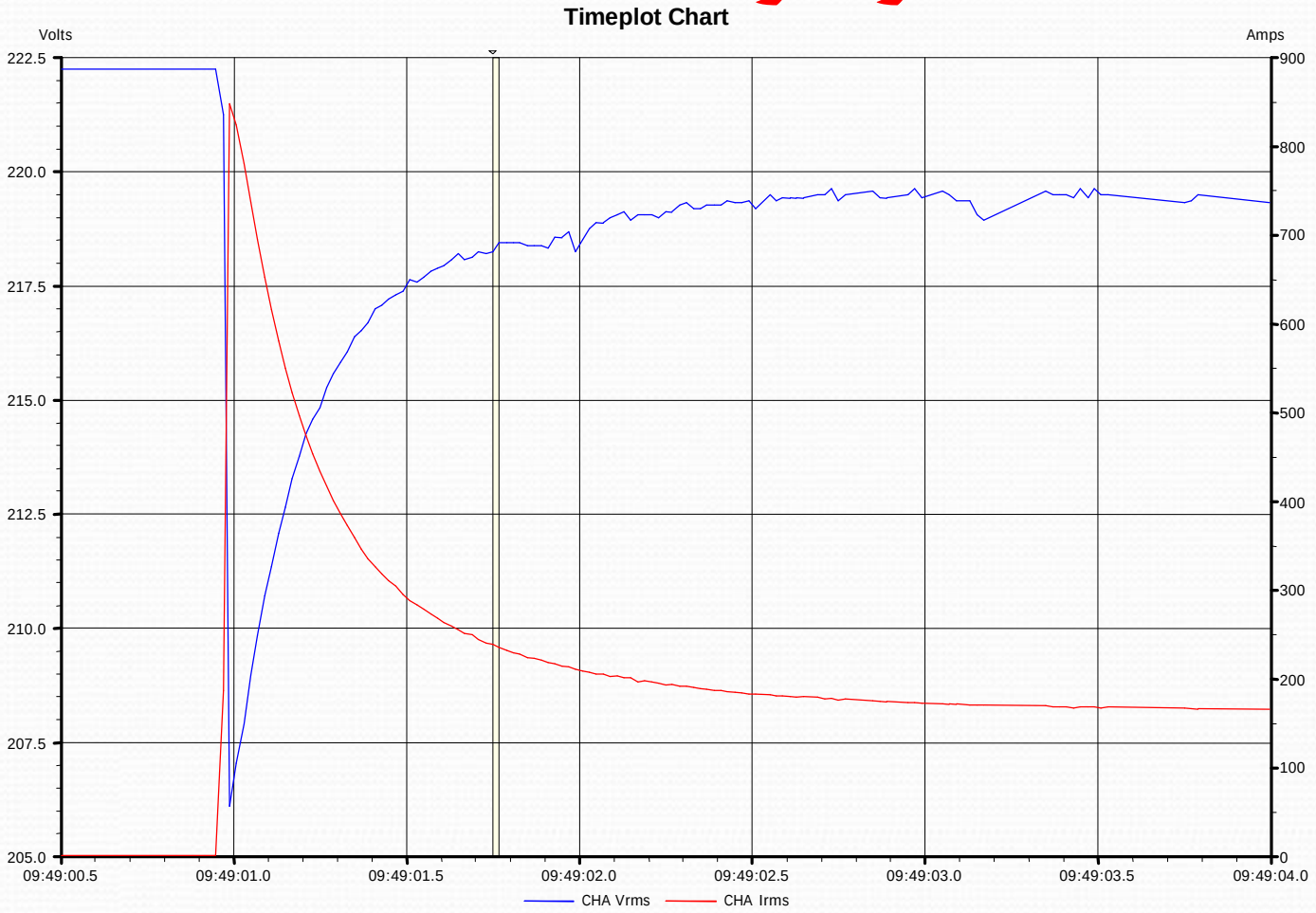


2-2- افت ولتاژ کوتاه مدت (Sag Voltage)

- دامنه اضافه ولتاژ(0.1 تا 0.9 پریونیت)
- مدت زمان اضافه ولتاژ (سیکل تا ثانیه)
- تپ ترانسفورماتور
- خطا در شبکه برق
- راه اندازی موتورهای بزرگ
- خطا در کموتاسیون پل تریستوری
- مشکلات خاص موتورهای القایی



راه اندازی موتورهای – علل دیگر ایجاد افت ولتاژ



	Min	Max	Median
CHA Vrms	206.11	222.25	219.19
CHA Irms	1.40	847.71	207.16

09/13/96 09:49:00.50 - 09/13/96 09:49:04.00

2-3- افت ولتاژ لحظه ای (Dip Voltage)

- تغییرات ولتاژ در حد سیکل و کمتر
- کلید زنی خازن
- عملکرد رله های وصل مجدد
- مشکل در کلید زنی مدارات الکترونیک قدرت
- قوس الکتریکی

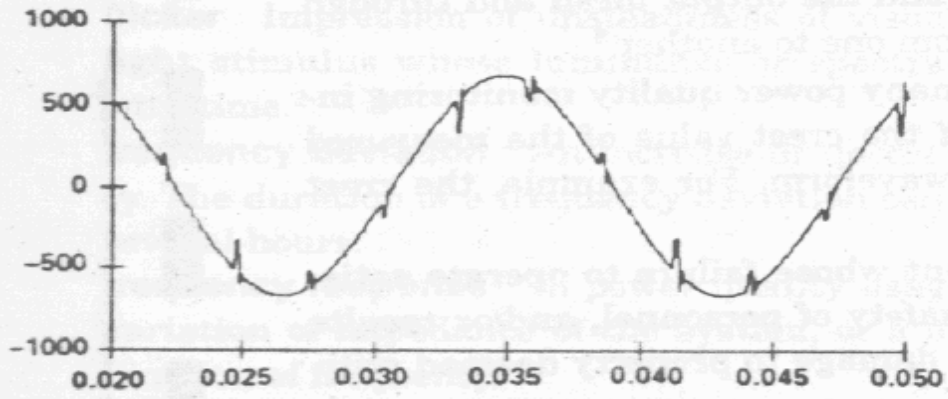
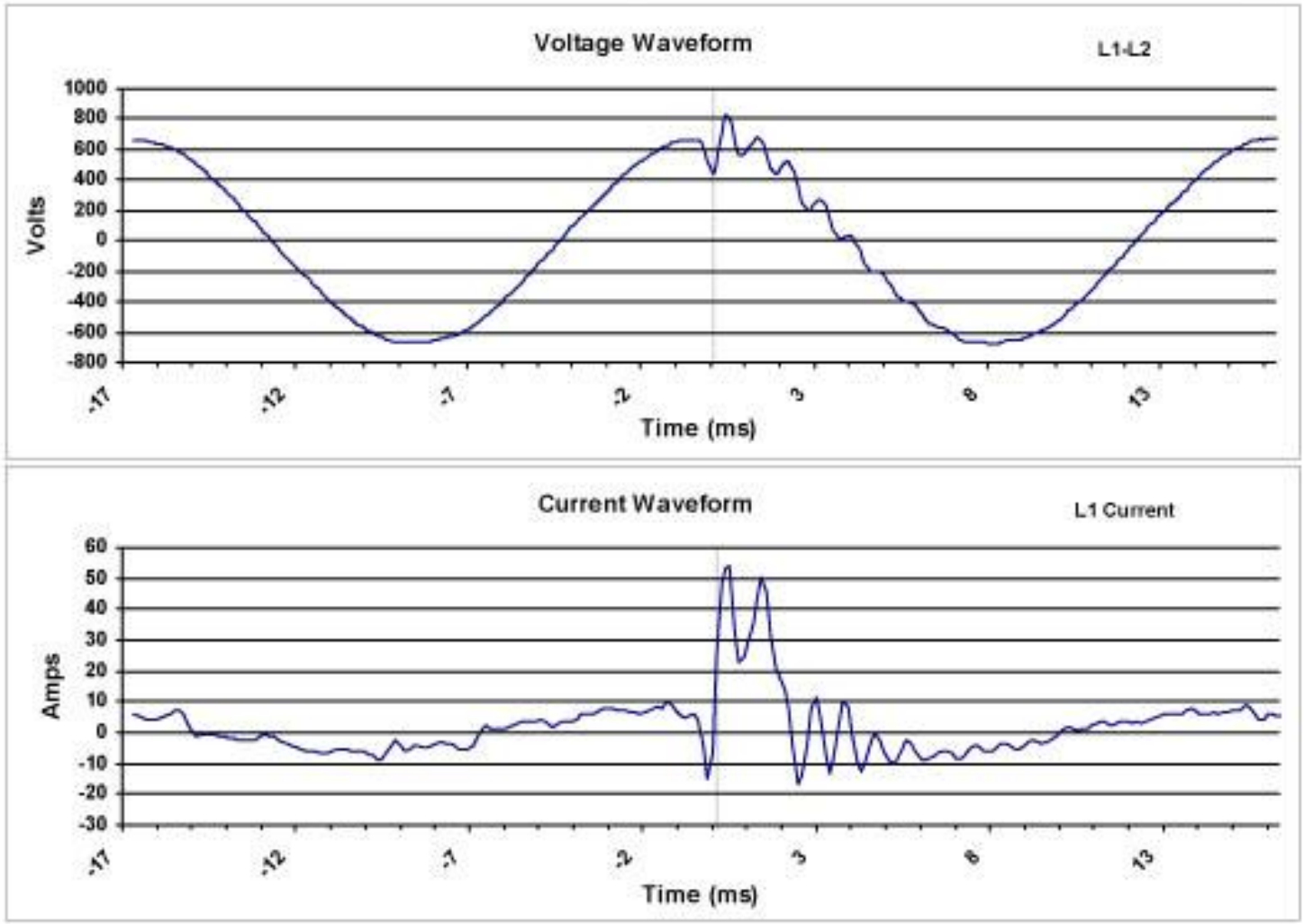


Figure 2.11 Example of voltage notching caused by a three-phase converter.

شکل موج ولتاژ به علت کلید زنی خازن

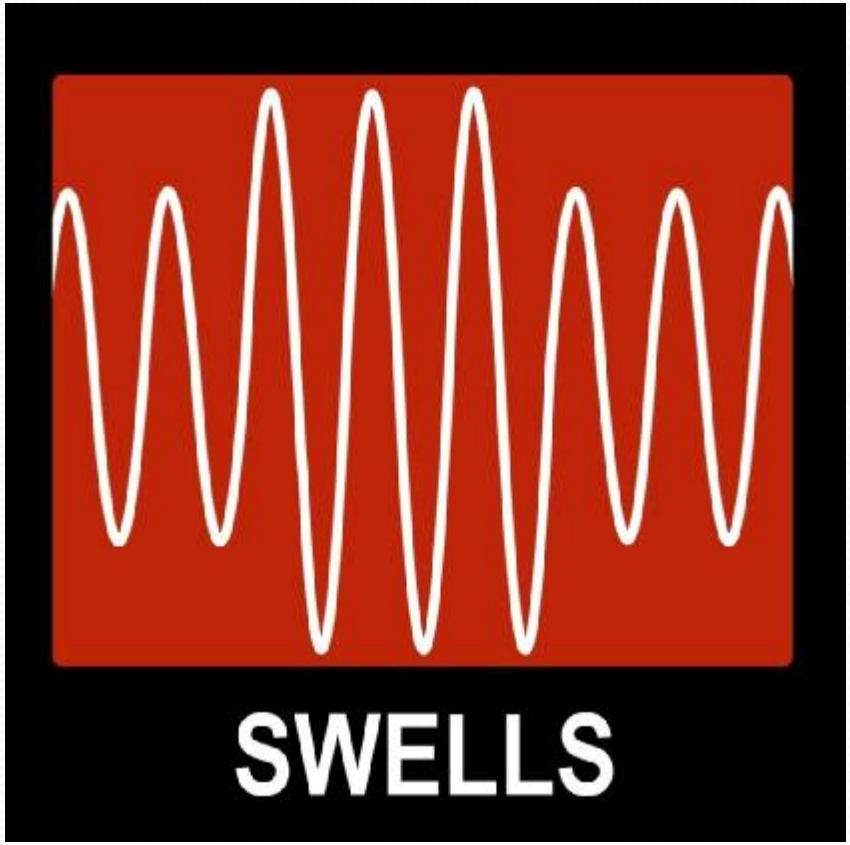


2-4- اضافه ولتاژ (Over Voltage)

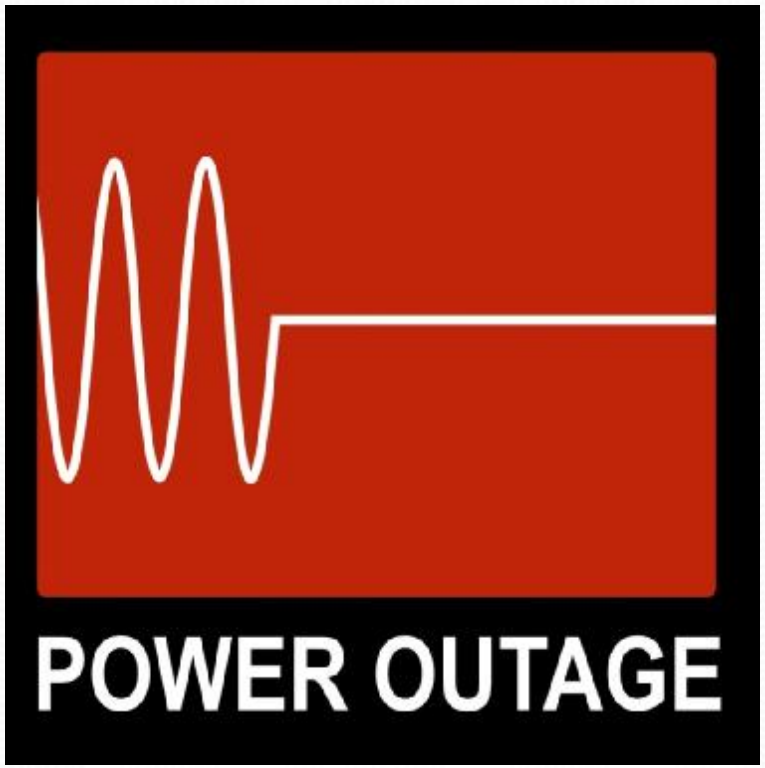
- دامنه 110% به بالا
- از 3 ثانیه بیشتر
- خروج بانکهای خازنی
- خروج بارهای بزرگ
- تپ ترانسفورماتورها

2-5- اضافه ولتاژ کوتاه مدت (Swell Voltage)

- اضافه ولتاژ بیش از 110%
- برای سیکل تا چند ثانیه



2-8- قطعی ولتاژ (Power outages)



- تعداد قطعی در سال
- مدت زمان قطعی
- میزان بار از دست رفته

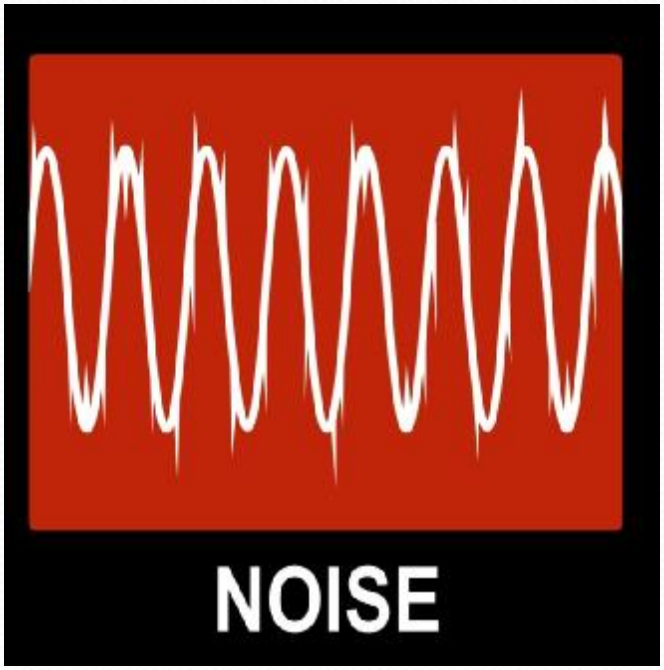
2-9- تغییر /نوسان/کاهش/افزایش فرکانس (Frequency)

2-10- نویز (Noise)

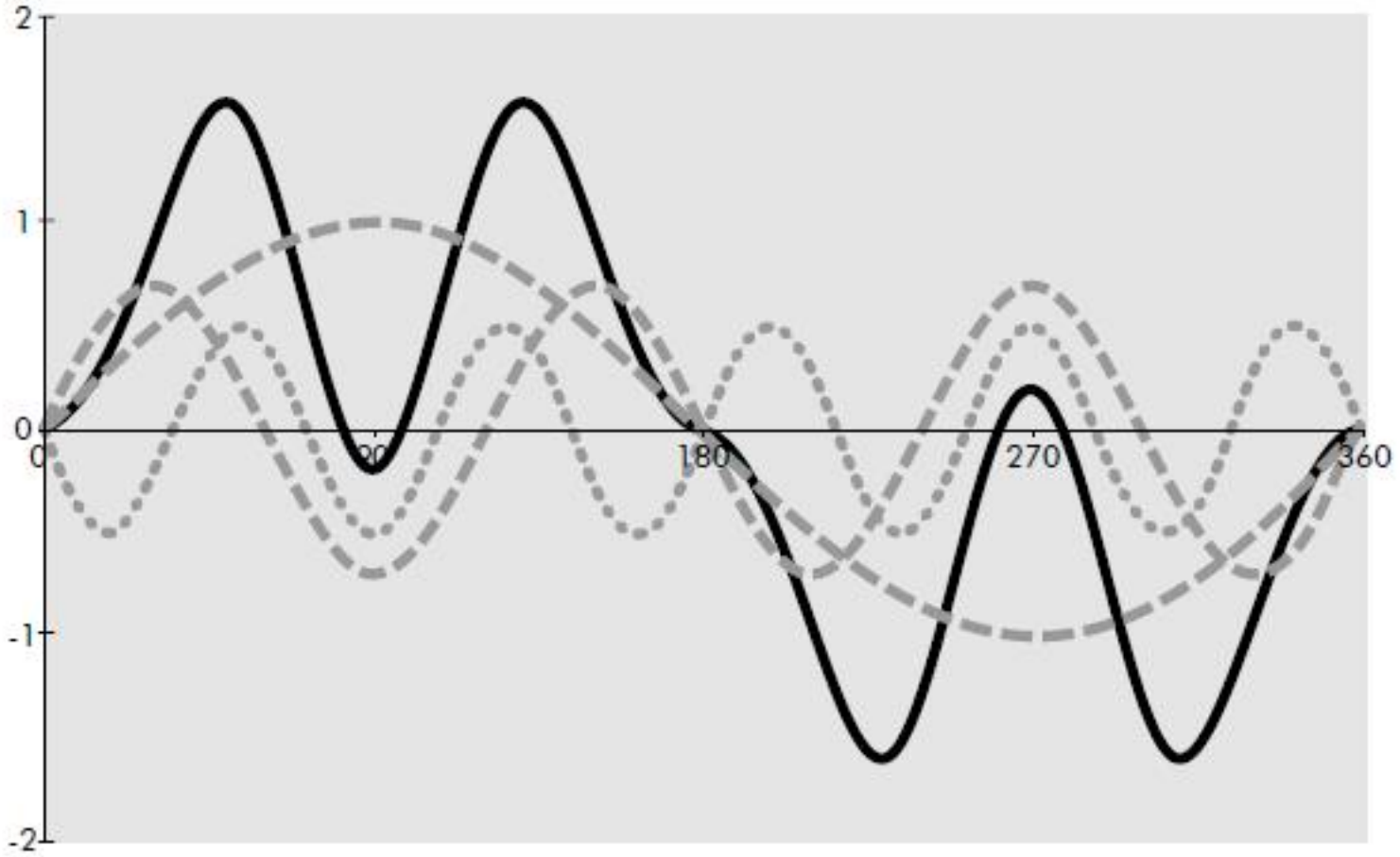
- بدون مشخصه خاص
- معمولاً با تجهیزات الکترونیک

قدرت ناسالم ایجاد می شود

- عملکرد نامناسب تجهیزات حساس
- هوم روی سیستم تلفن



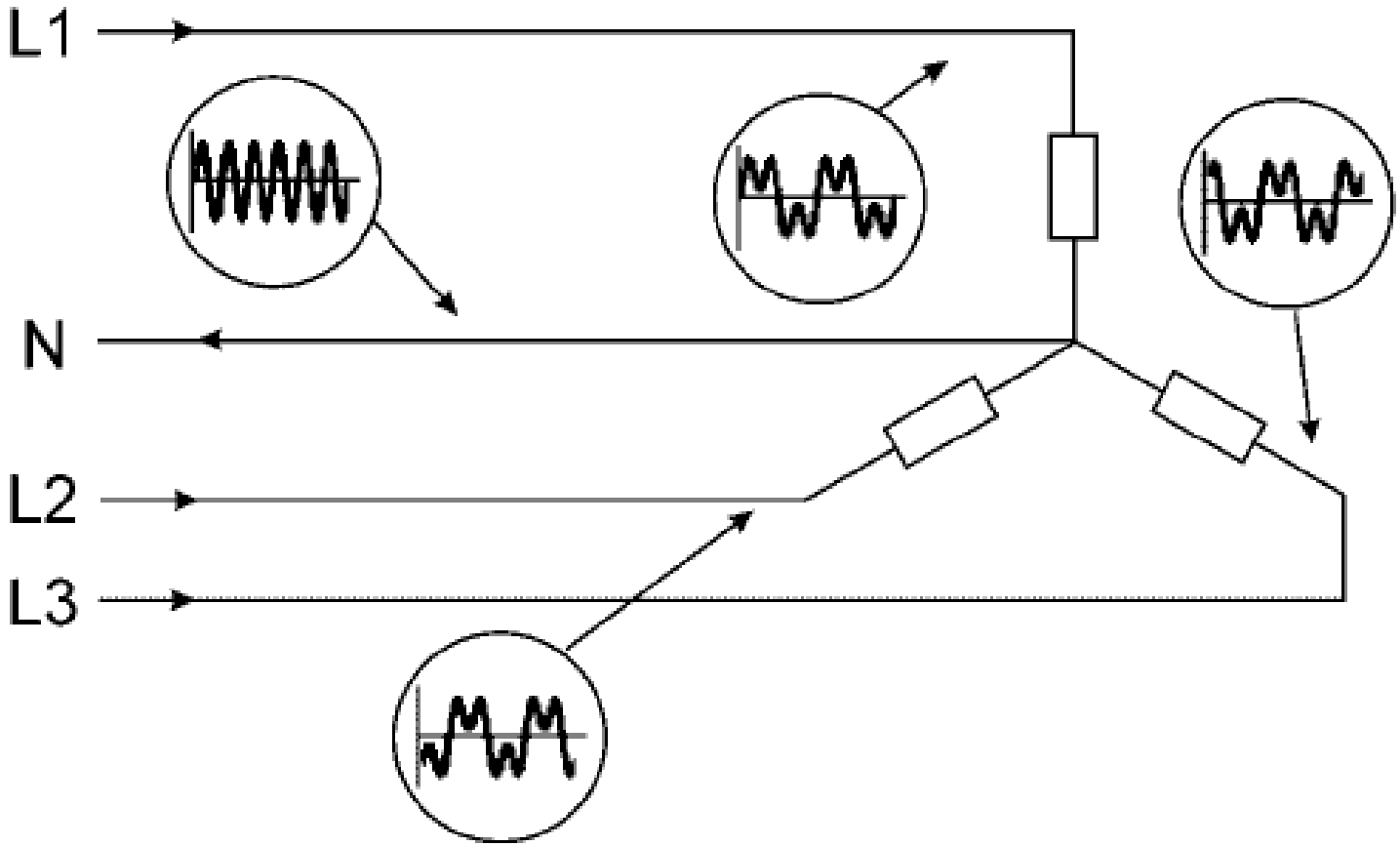
هارمونیک



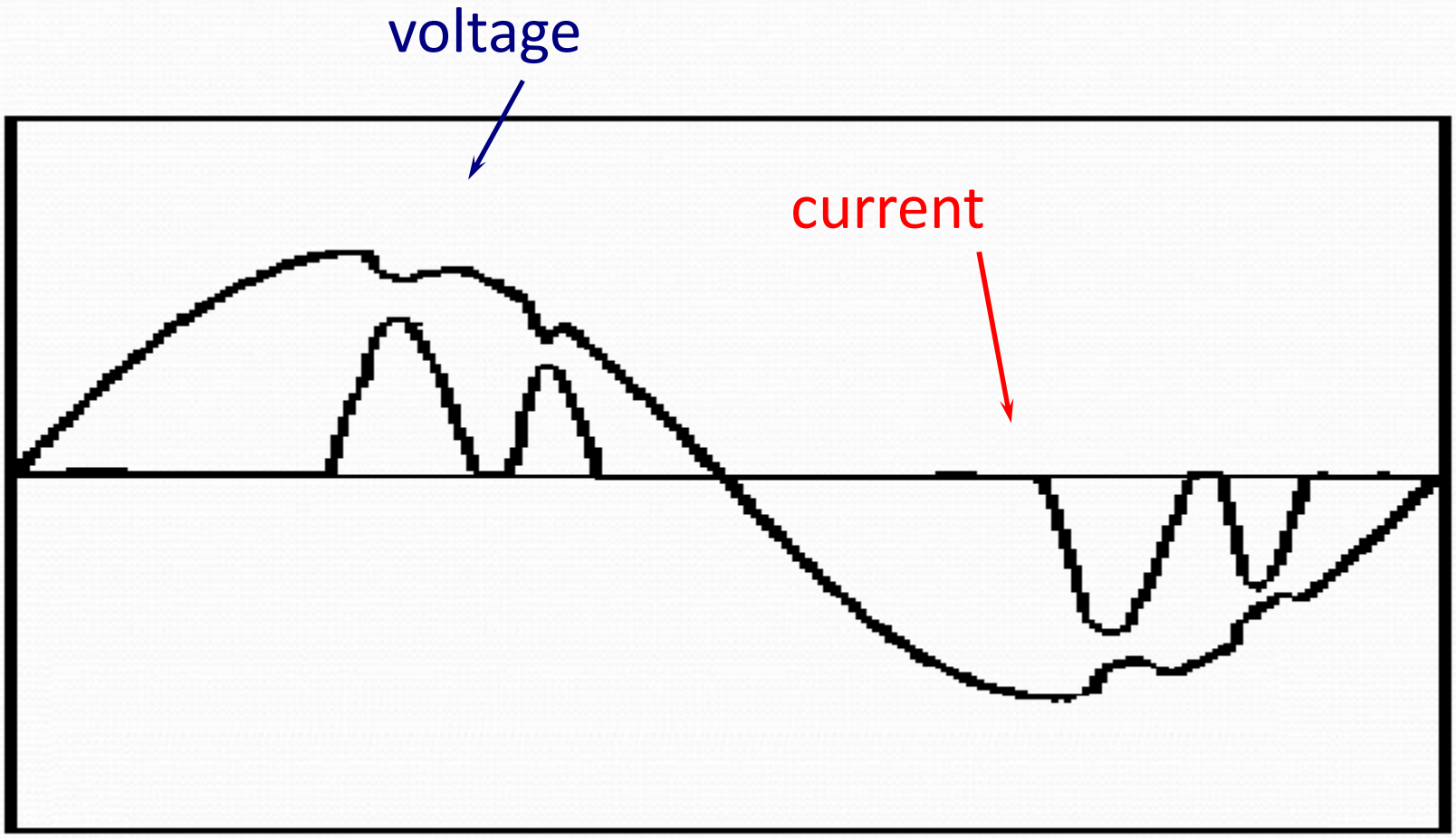
2-11- هارمونیکهای جریان (Current Harmonics)

- دور شدن از شکل موج سینوسی
- حالت دائم
- بارهای غیر خطی
- افزایش دامنه منجر به مشکلات عایقی
- افزایش مؤلفه های فرکانسی
- ایجاد هارمونیکهای ولتاژی
- طیف هارمونیکی مشخصه برای بارها و خطاهای مختلف

هارمونیک های مضرب سه در نول



اثر هارمونیک جریان بر ولتاژ یا برعکس؟



طیف هارمونیکی مشخصه برای بارها و خطاهای مختلف

- تک فاز هارمونیکهای زوج ندارد
- سه فاز هارمونیکهای زوج و مضرب سه ندارد.
- در سیم نول هارمونیکهای مضرب سه وجود دارند.
- هارمونیکهای مضرب سه از سمت مثلث ترانسفورماتور عبور نمی کنند.
- ...

13-2- هارمونیکهای ولتاژ (Voltage Harmonics)

- از شبکه یا دیگر تجهیزات
- خطرناک برای بارها و مصرف کنندگان سالم و خطی
- ترانسفورماتورها با هسته نا مناسب
- شبکه های ضعیف

2-13- عدم تعادل ولتاژ (Voltage Unbalancing)

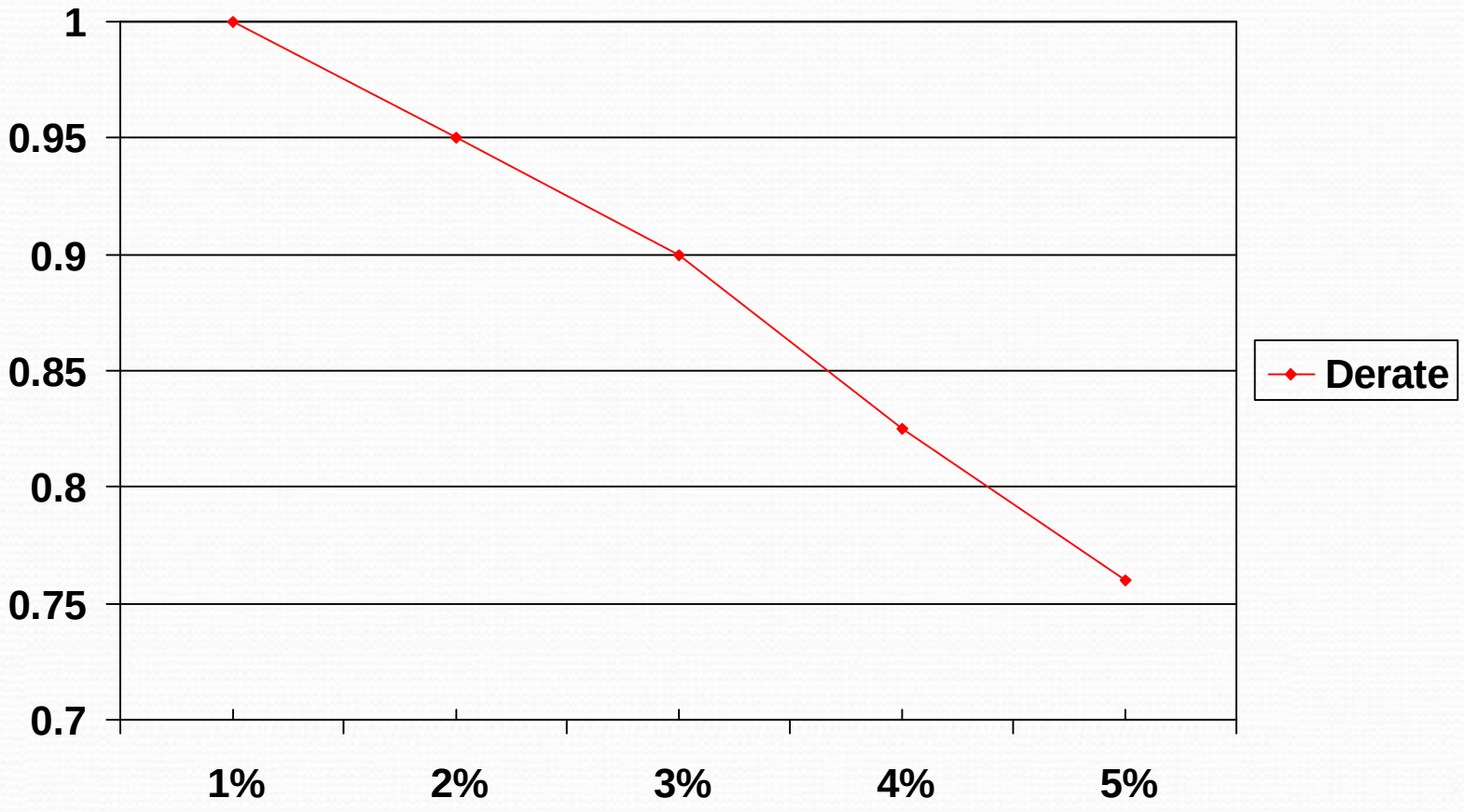
- بسیار خطرناک برای مصرف کننده ها
- از طرف شبکه / از طرف مصرف کنندگان دیگر
- سیم نول

حد مجاز عدم تعادل

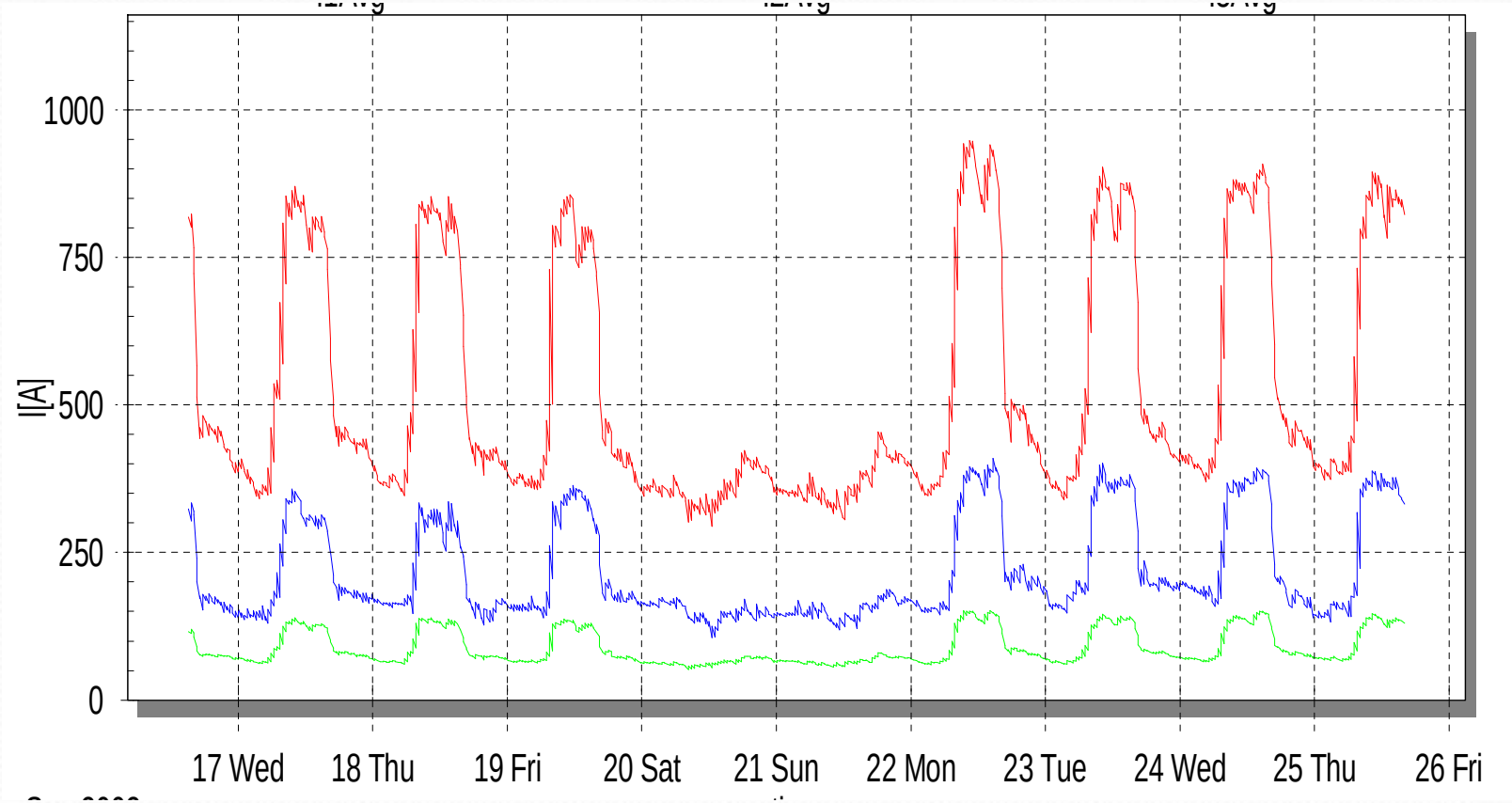
شبکه توزیع : 2%

شبکه فوق توزیع ا نتقال 1%

عدم تعادل ولتاژ و تعدیل توان نامی موتورهای الکتریکی



عدم تعادل بار (جریان)



عدم تعادل جریان

- توزیع بارهای تک فاز
- خرابی تجهیزات
- سیسم نول
- روشهای جبرانسازی نظیر جبران راکتیو

در صد عدم تعادل مجاز جریان

- در توزیع برابر 2(1-Z1)/Z0
- در فوق توزیع مشت و انتقال (1-Z1)/Z0
- که Z1 امپدانس توالی مثبت شبکه از دید مشترک است و Z0 امپدانس توالی صفر شبکه از دید مشترک است.

3-اثرات پایین بودن کیفیت توان

3-1- داغ شدن بیش از حد تجهیزات (کابل، ترانسفورماتور، موتور، خازن)

3-2- سوختن و ترکیدن تجهیزات (کابل، خازن، موتور، کنتاکتور)

3-3- عملکرد نا صحیح سیستمهای کنترلی (نویز، اغتشاش)

3-4- صدمه دیدگی تجهیزات مکانیکی

3-5- عملکرد سیستمهای حفاظتی (فیوز، رله، آلارم و اخطار)

3-6- از دست دادن سیستمهای کنترلی کیفی

3-اثرات پایین بودن کیفیت توان

3-7- ولتاژ دار شدن نقطه خنثی و اتصال زمین

3-8- کاهش راندمان (موتورهای الکتریکی)

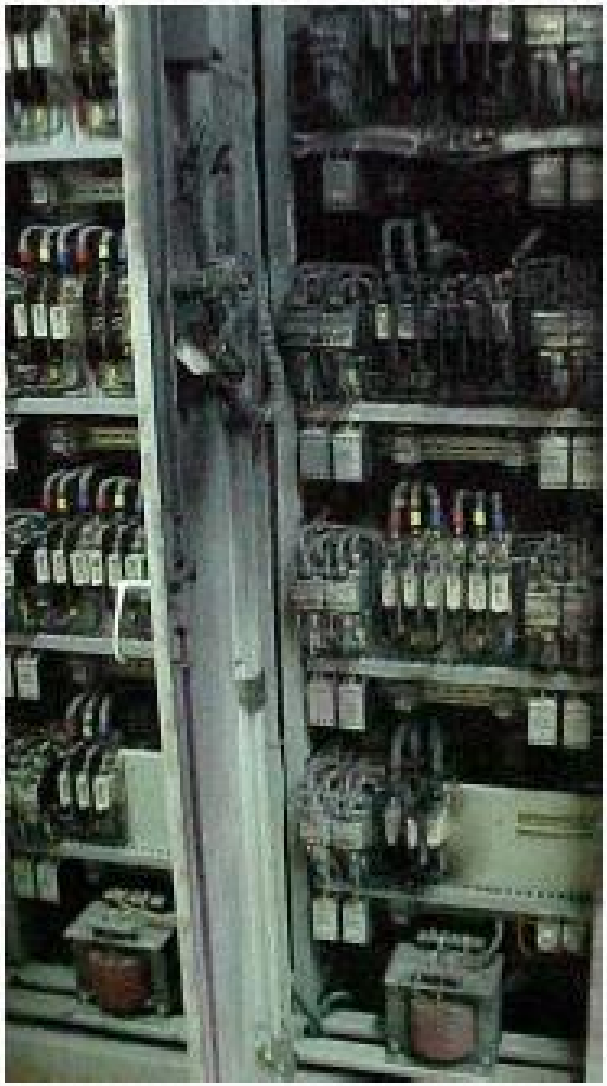
3-9- افزایش ضایعات تولید

...

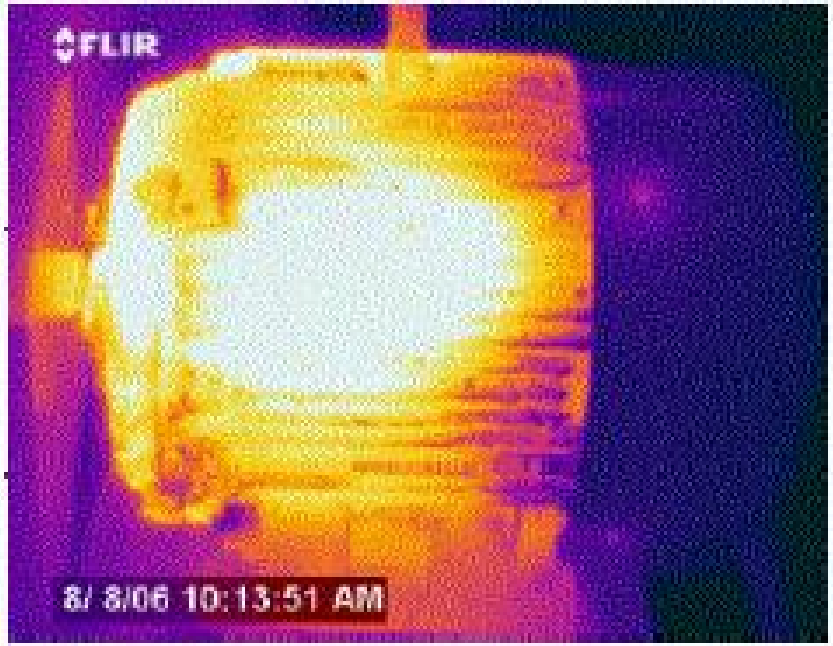
3-اثرات پایین بودن کیفیت توان

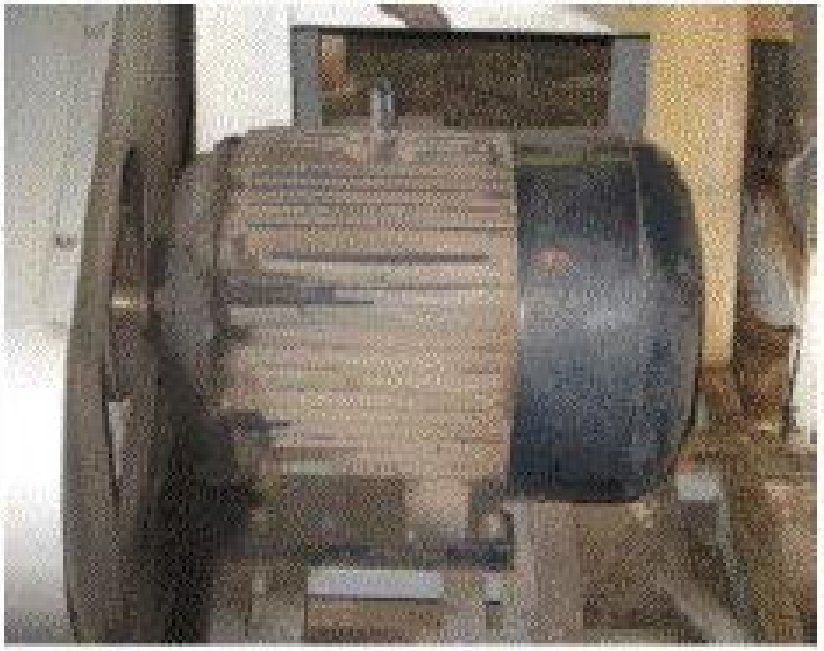
3-اثرات پایین بودن کیفیت توان

3-اثرات پایین بودن کیفیت توان



3-اثرات پایین بودن کیفیت توان





4- استانداردهای کیفیت توان

- *ANSI C62.41, IEEE Guide for Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits.*
- *ANSI C84.1: Voltage ratings for equipment & power systems.*
- *ANSI C57.110: Transformer derating for supplying non-linear loads*
- *IEC 61000-4-7, Harmonic measurements*
- *IEC 61000-4-15, Flicker measurements*
- *IEC 61000-4-30, PQ testing & measurement techniques*
- *IEEE 1433: Power Quality Definitions*
- *IEEE 1159 :Monitoring Electric Power Quality*
- *IEEE P1564: Voltage Sag Indices (Prelim)*
- *IEEE P1453: Voltage flicker (Prelim)*

4- استانداردهای کیفیت توان

- *IEEE P446: Emergency and standby power*
- *IEC SC77A: Low frequency EMC Phenomena*
- *SC 77A/WG 1: Harmonics and other low-frequency disturbances*
- *SC 77A/WG 6: Low frequency immunity tests*
- *SC 77A/WG 2: Voltage fluctuations and other low-frequency disturbances*
- *SC 77A/WG 8: Electromagnetic interference related to the network frequency*
- *SC 77A/WG 9: Power Quality measurement methods*
- *SC 77A/PT 61000-3-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-1: Limits - Overview of emission standards and guides.*

(IEEE-Standard-519)

I_{sc} / I_L Ratio	< 11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD-I Limit
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5%
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8%
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12%
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15%
1000 up	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20%

(IEEE-Standard-519)

محدوده مجاز هارمونیک های جریان

هارمونیکهای فرد که مضرب 3 نمی باشند		هارمونیکهای فرد که مضرب 3 می باشند		هارمونیکهای زوج	
مرتبه (h)	فشار ضعیف و متوسط	مرتبه	فشار ضعیف و متوسط	مرتبه (h)	فشار ضعیف و متوسط
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1/5	4	1
11	3/5	15	0/3	6	0/5
13	3	21	0/2	8	0/5
17	2	> 21	0/2	10	0/5
19	1/5			12	0/2
23	1/5			> 12	0/2
25	1/5				
> 25	$0/2+\frac{1/3\times 25}{h}$	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای سیستم های فشار ضعیف و متوسط : 8 درصد			

5- روشهای اندازه‌گیری محاسبه پارامترهای کیفیت توان

- اندازه گیری گذرا (شکل موج، کلید زنی، جریان هجومی)
- اندازه گیری حوادث (زمان و شرایط خاص، Event)
- اندازه گیری دوره ای (متوسط گیری، Min/Avg/Max)
- اندازه گیری اولیه/ثانویه
- محاسبه حجم داده های اندازه گیری / ذخیره سازی
- روش و استاندارد اندازه گیری / ذخیره سازی
- نقاط اندازه گیری و تعیین محل
- اندازه گیری همزمان چند نقطه
- تعیین جهت هارمونیکها و جهت مشکلات ولتاژی

اندازه‌گیری

6- روشهای بهبودکیفیت توان

6-1- افت ولتاژ (Under Voltage)

6-2- افت ولتاژ کوتاه مدت (Sag Voltage)

6-3- افت ولتاژ لحظه ای (Dip Voltage)

6-4- اضافه ولتاژ (Over Voltage)

6-5- اضافه ولتاژ کوتاه مدت (Swell Voltage)

6-6- اضافه ولتاژ لحظه ای (Surge Voltage)

6-7- گذراهای ولتاژ (Transient Voltage)

6- روشهای بهبودکیفیت توان

6-8- قطعی ولتاژ (Power outages)

6-9- تغییر /نوسان/کاهش/افزایش فرکانس (Frequency)

6-10- نویز (Noise)

6-11- هارمونیکهای جریان (Current Harmonics)

6-12- تداخلات الکترومغناطیسی و رادیویی (EMI/RFI)

6-13- تشدید (Resonance)

6-1- افت ولتاژ (Under Voltage)

- اتو ترانسفورماتور (تپ)
- واریابل
- استابلایزر
- منابع تغذیه بدون وقفه
- جبران توان راکتیو (استاتیک یا دینامیک)
- تقویت شبکه

استابلایزر (Stabilizer)

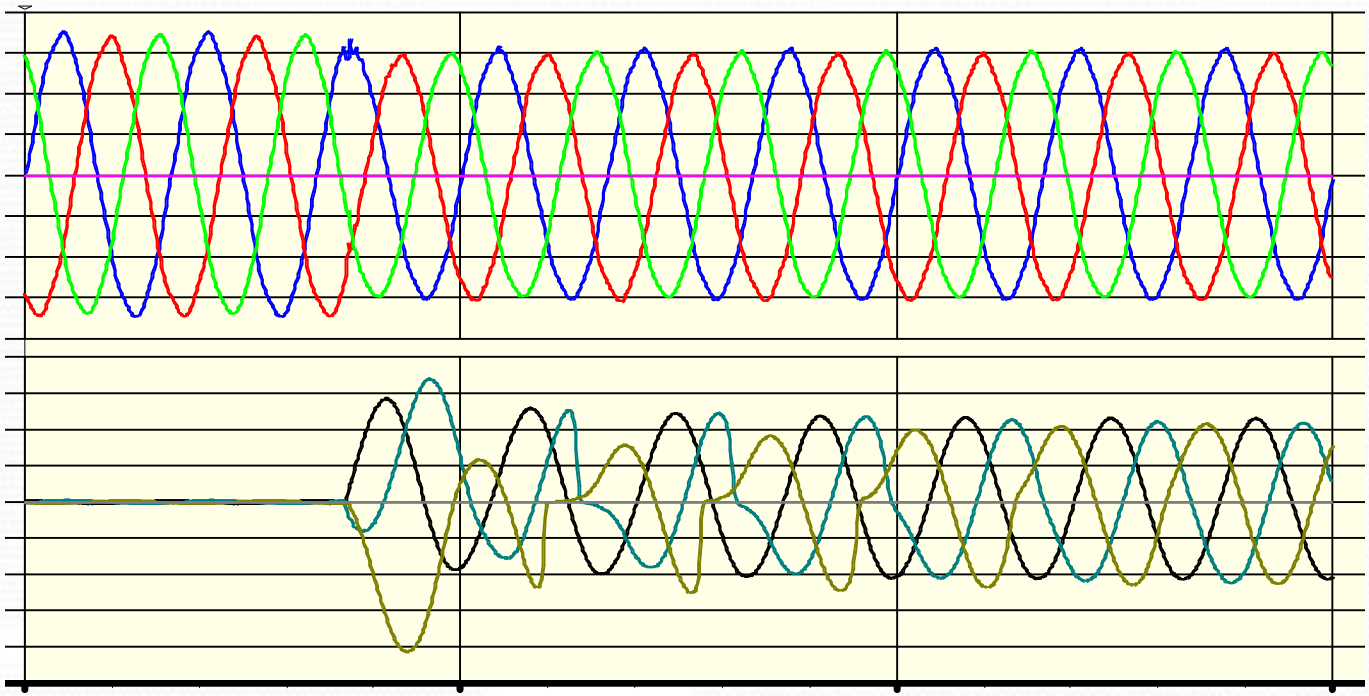
- نوع افت ولتاژ
- میزان افت ولتاژ
- فواصل افت ولتاژ
- مصرف کننده

- دستی
- رله ای
- تریستوری
- مبدل الکترونیک قدرت

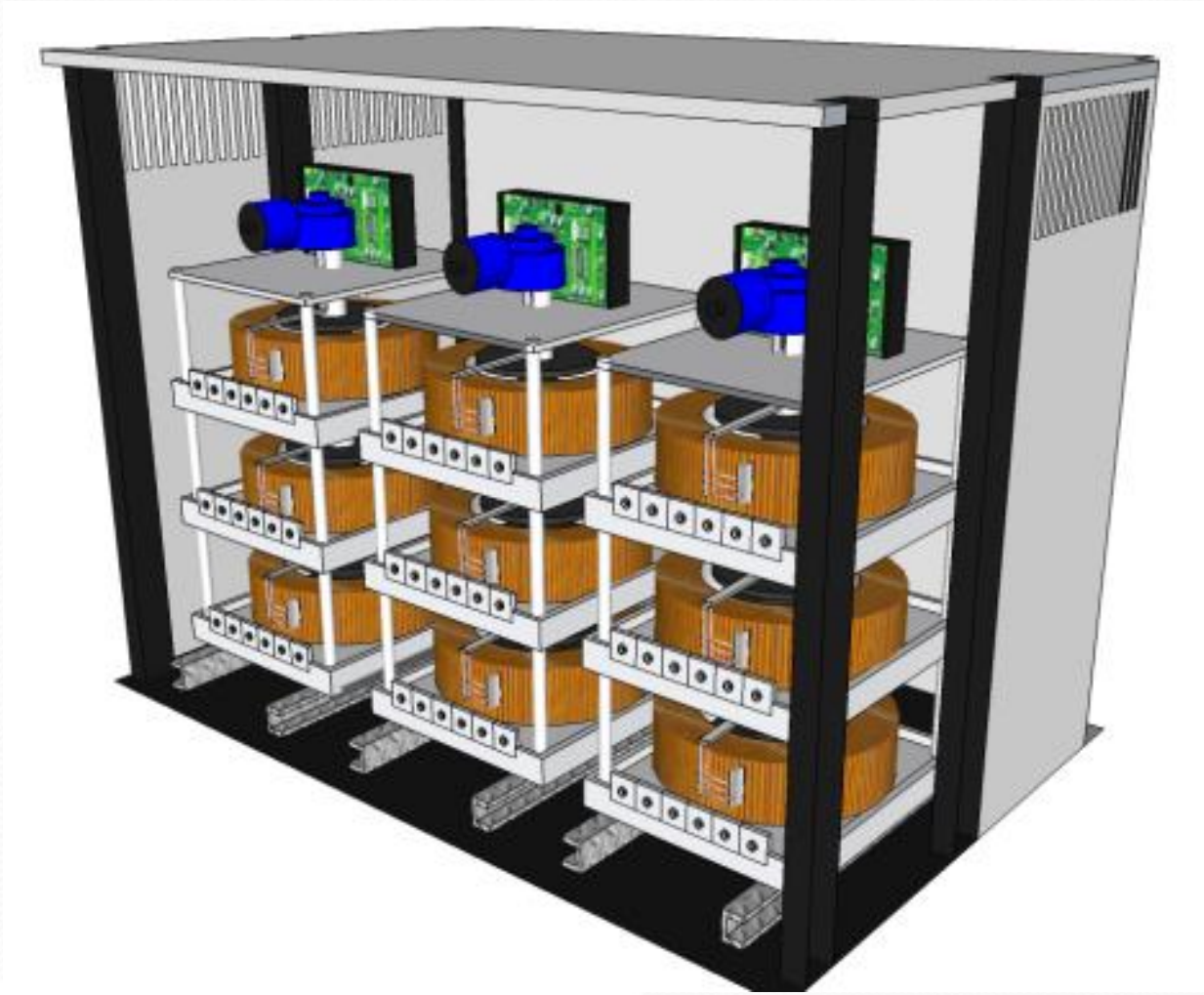
نکته تشخیصی در افت ولتاژ

اگر منبع ایجاد کننده شکم ولتاژ باشد، جریان در این موقع کم می شود و یا به صفر می رسد

اگر بار ایجاد کننده شکم ولتاژ باشد، جریان معمولاً در این حالت زیاد می شود



Variacs



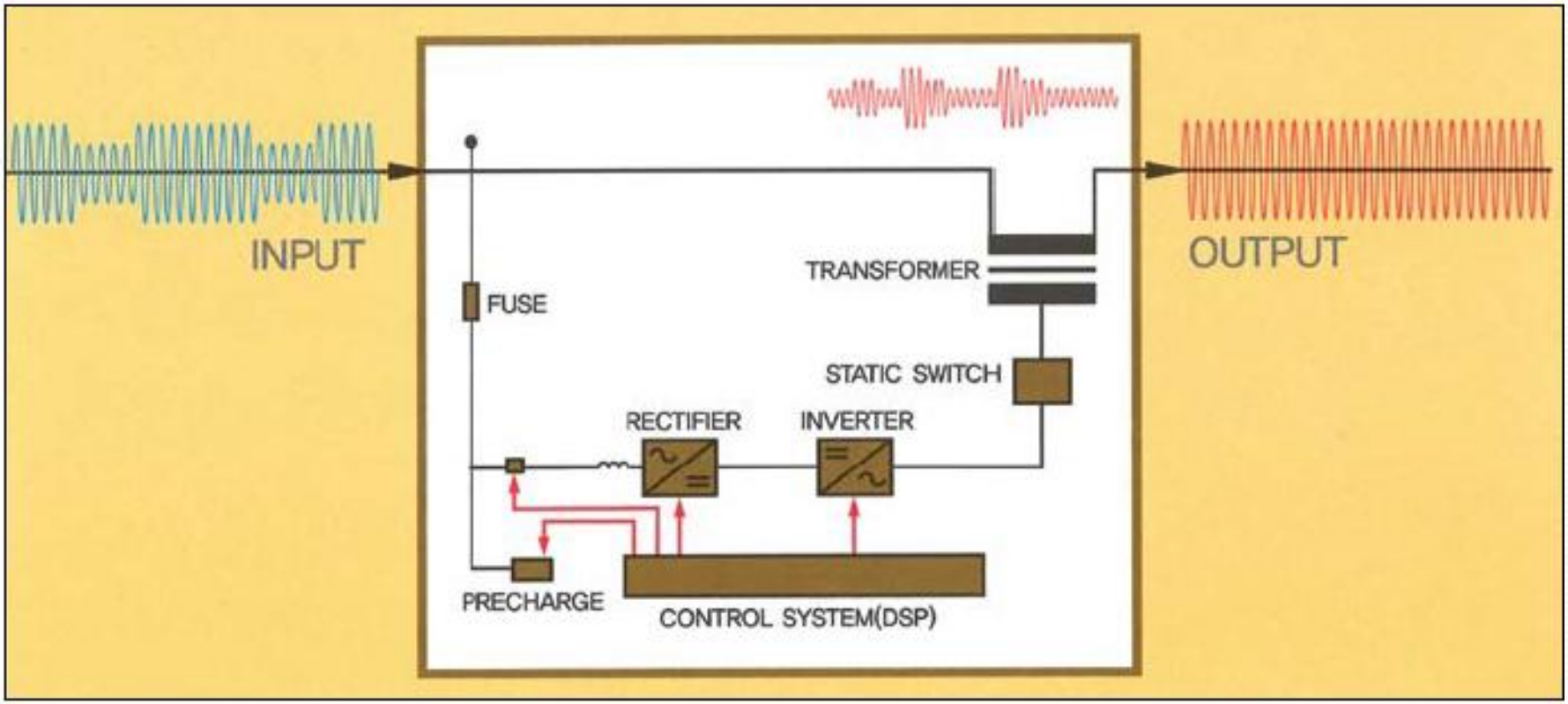
6-2- افت ولتاژ کوتاه مدت (Sag Voltage)

Dynamic voltage restorer (DVR)

Integrated power factor control (PFC)

Voltage Conditionner

Dynamic Voltage Restorer



6-3- افت ولتاژ لحظه ای (Dip Voltage)

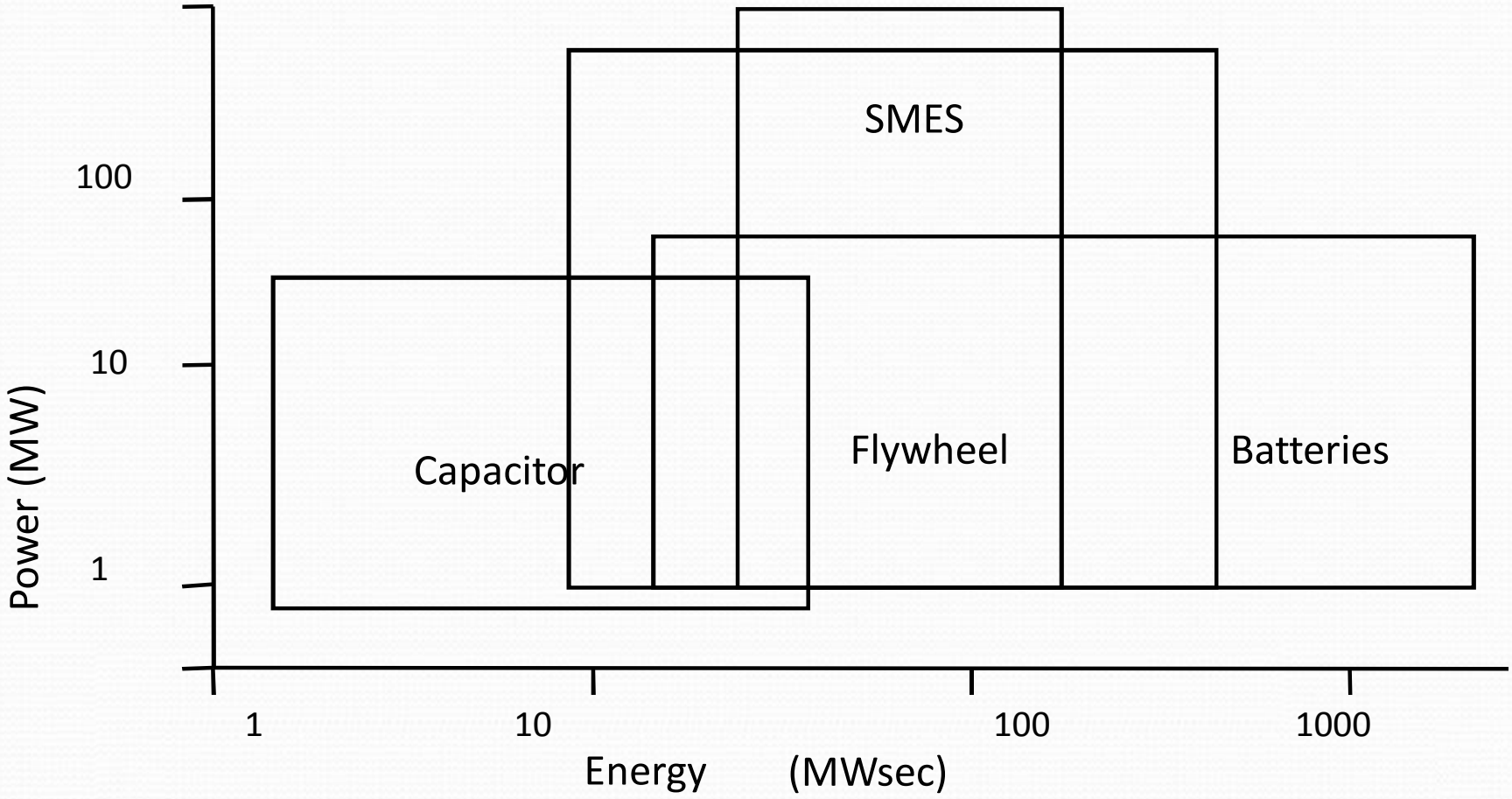
Flywheel

UPS

Battery

Capacitor

سیستمهای ذخیره انرژی



6-6- اضافه ولتاژ لحظه ای (Surge Voltage)

- قطعات ضربه گیرهای الکترونیکی نظیر وریستور، زنر
- تجهیزات ضربه گیرهای الکترونیکی (Surge Protection Devices) و (Surge Arresters)

Low voltage
up to 1kV
LOVOS

6-11- هارمونیکهای جریان (Current Harmonics)

- مبدلهای چند پالسه
- مبدلهای چند سطحی
- فیلترهای پسیو LC
- راکتور سری در خط
- ترانسفورماتورهای با فاکتور Kبالا

فیلتر پسیو

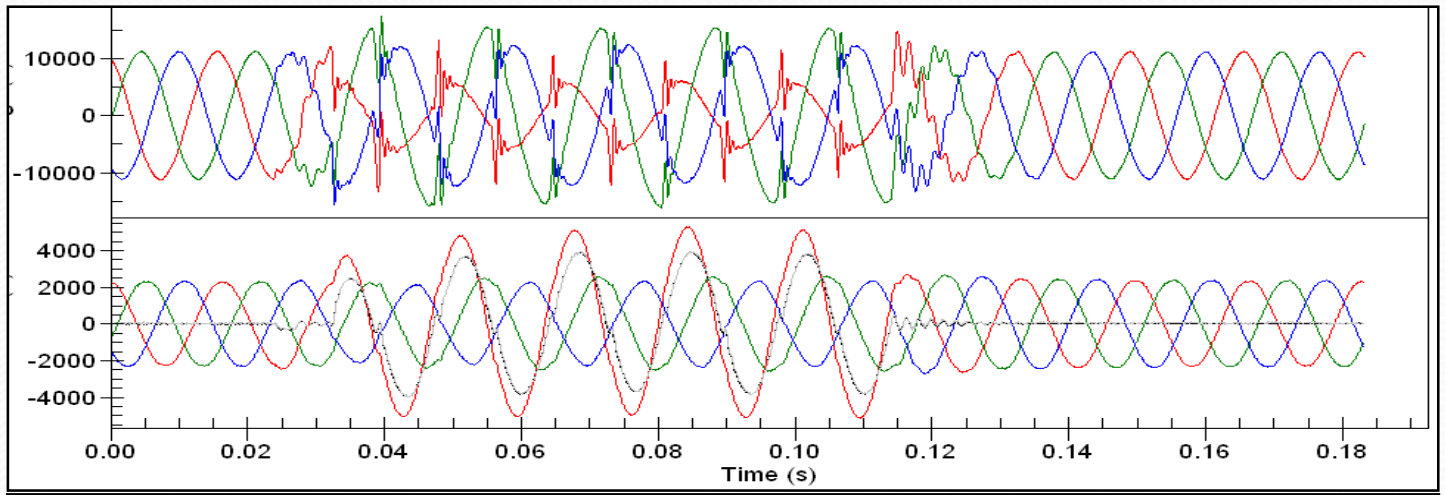
- تنظیم روی فرکانسهای خاص (189 یا 218 هرتز)
- کیفیت خازن و سلف بسیار بالا
- تشخیص تشدید
- افزایش تلفات
- بالاگذر، میانگذر، پایین گذر

راکتور خط (Line Reactors)

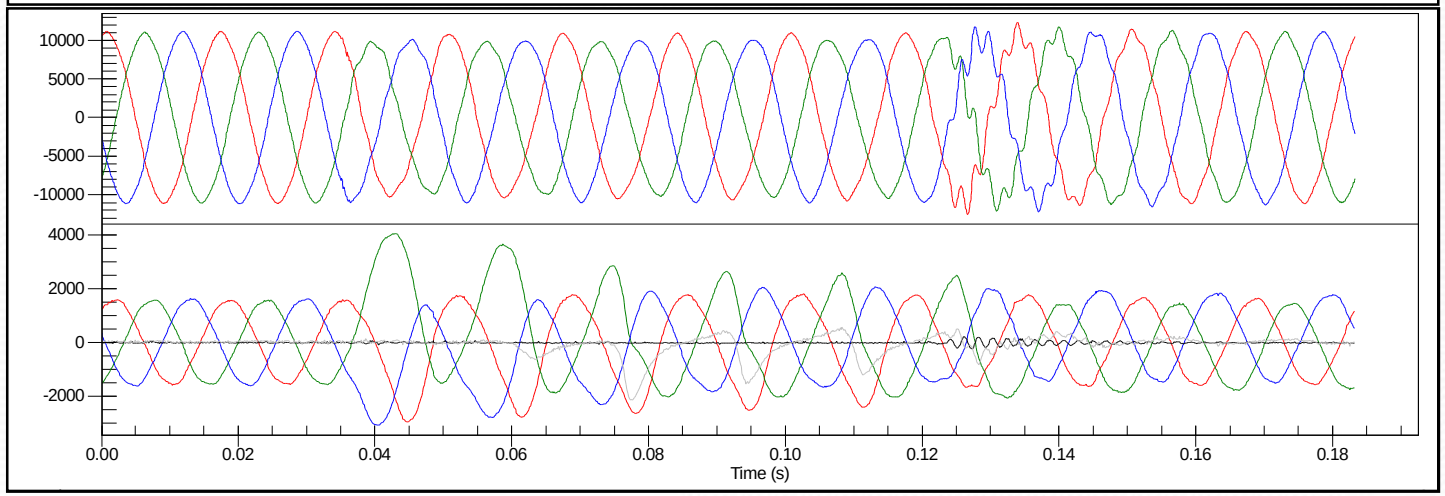
% Z	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	% thid	I_{trms}
3%	39%	17.5%	7.5%	5%	44%	1.09
5%	32%	12.4%	6%	4%	35%	1.06

تفاوت جریان خطا و جریان هجومی ترانسفورماتور

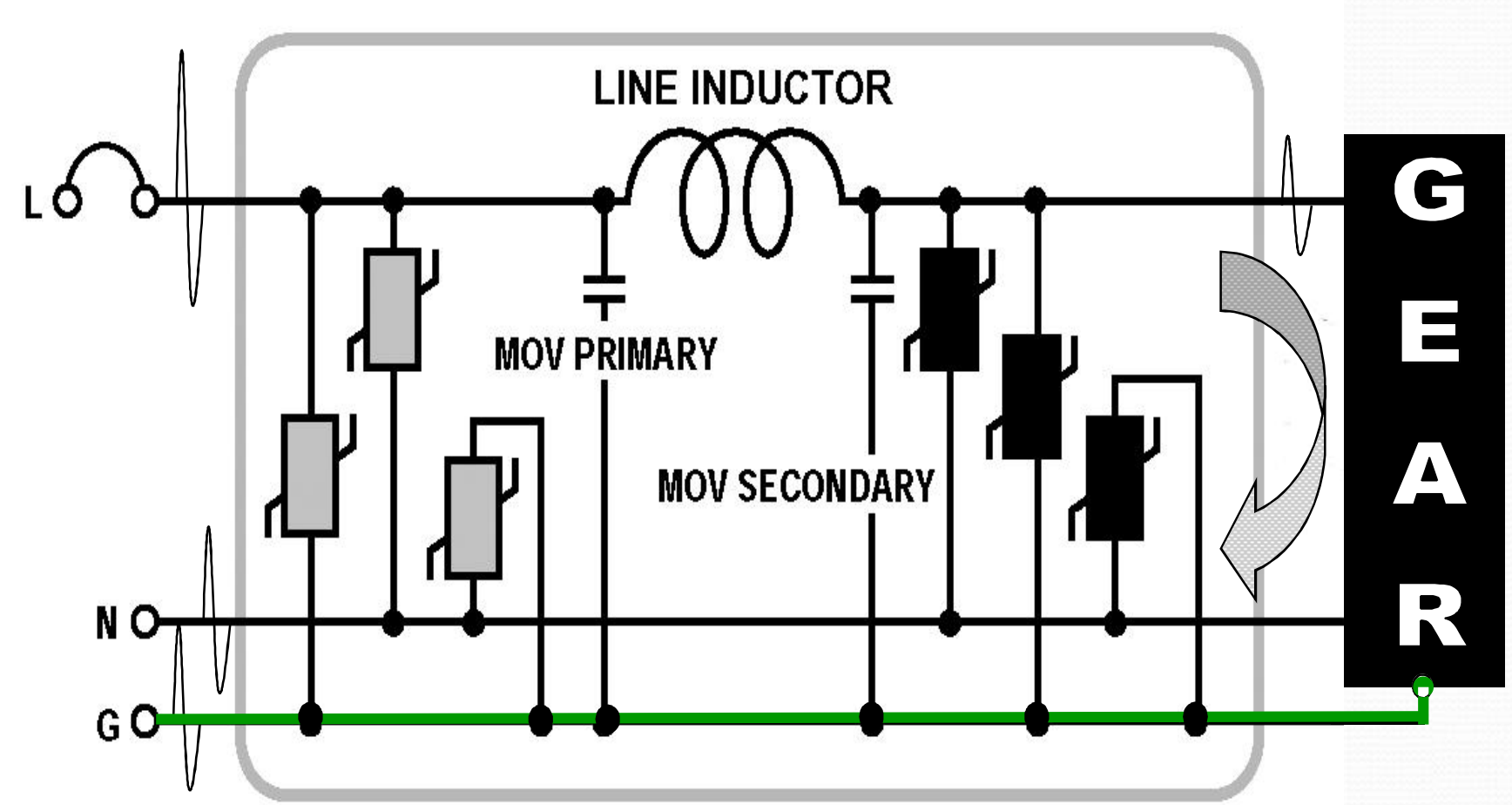
Real Fault



Inrush Event



Example of surge diverter/noise filter function. Diverters and filters convert normal mode to common mode.



Dynamic Sag Corrector

Dynamic Sag Corrector (DySC)

Features and Benefits

- Corrects for voltage sags at the system, department or facility level
- DySC is optimized for fast sag detection and response time (voltage detect time of 1 ms; sags are corrected with a peak voltage response time of 1.5 ms)
- A green power solution at > 99% energy efficiency, the DySC has no batteries and over time can offer lower cost of maintenance
- Smaller footprint and lighter weight than comparable (kVA) UPS systems
- Service Contracts offered by GE Healthcare

تابلو خازنی با راکتور محدود کننده

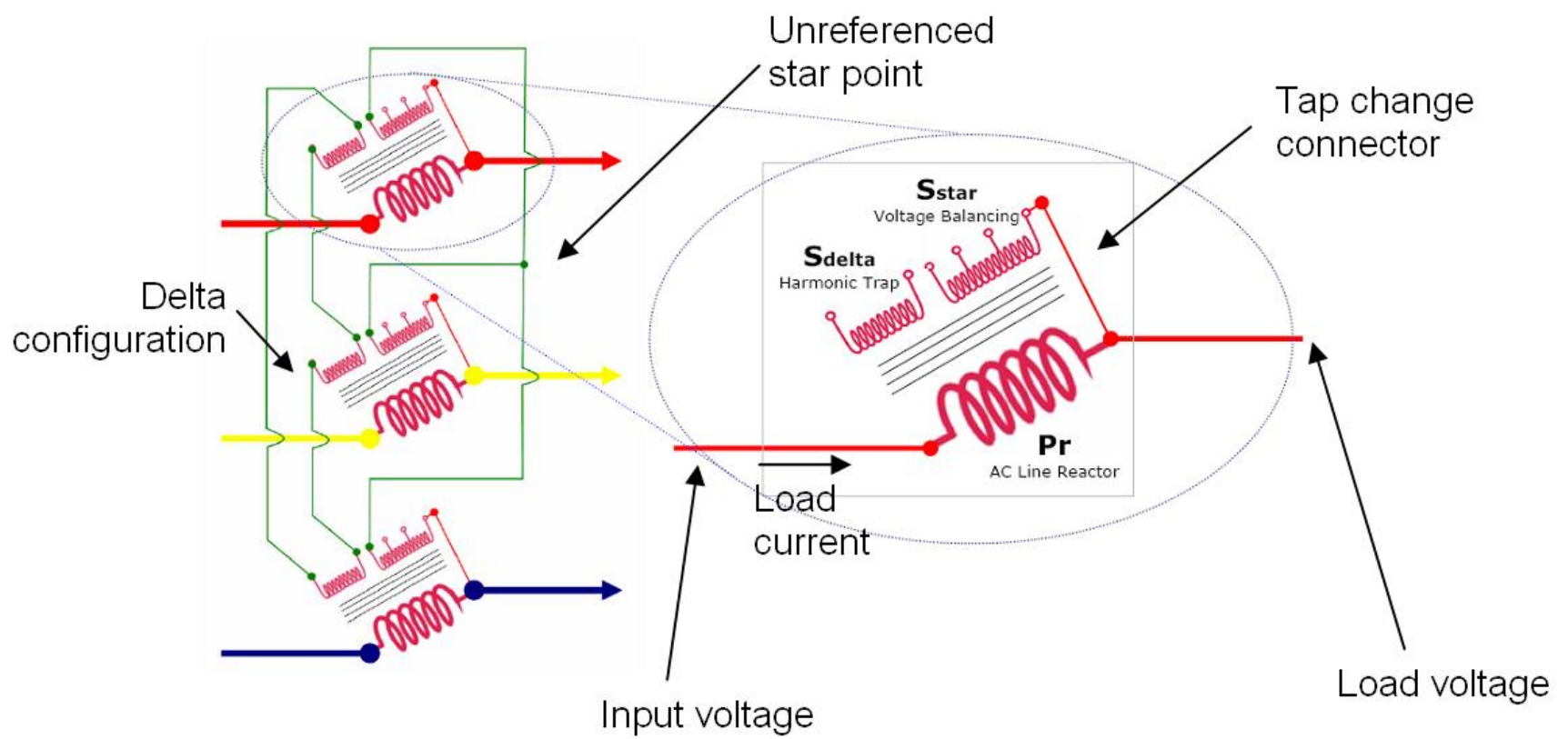
MS30040.189

Series Resonance Frequency

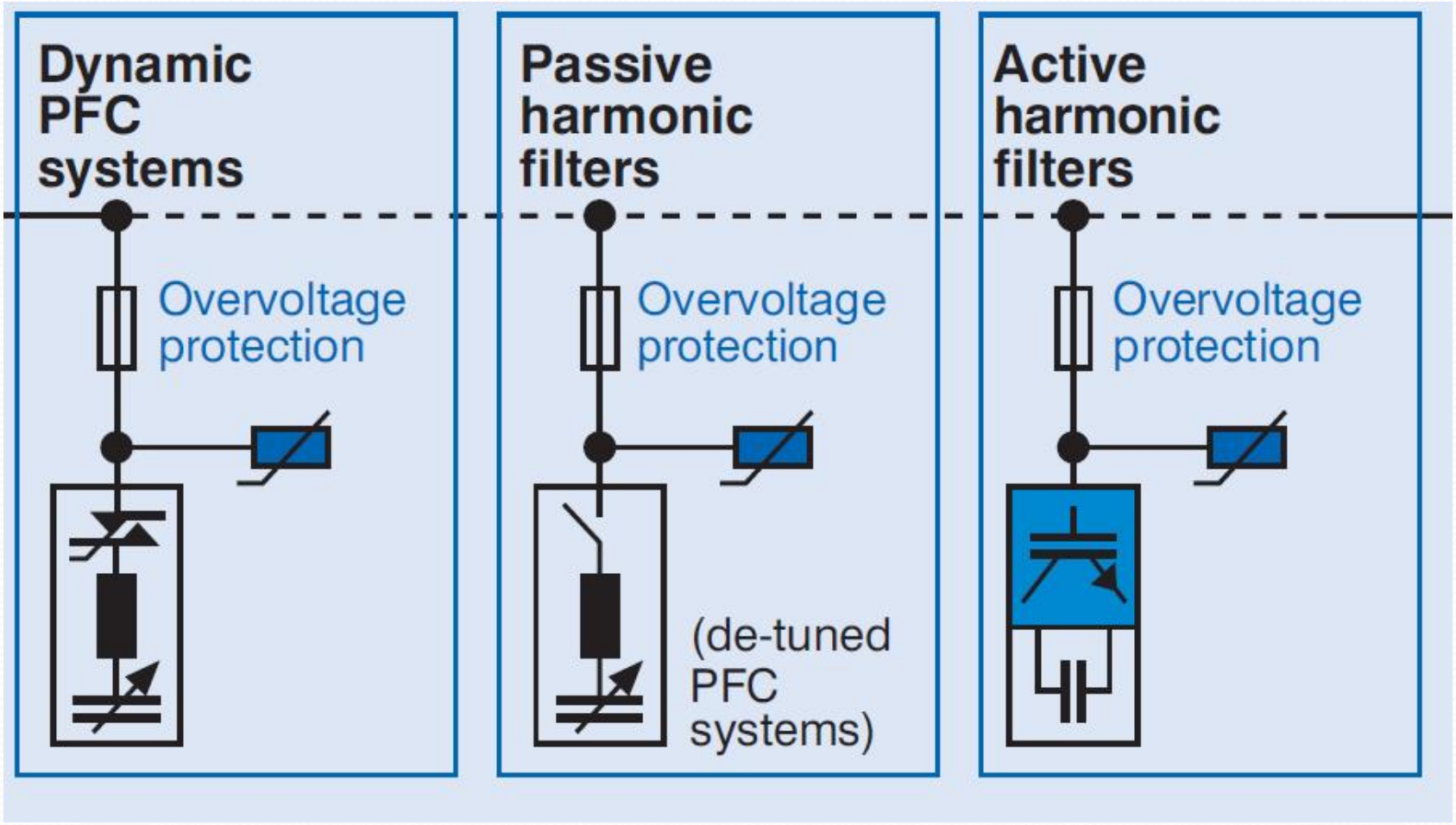
Version	Series resonance frequency	Detuning factor	For networks with utility company AF remote control [1]
P1	134 Hz	p = 14%	≥ 166 Hz
P8	177 Hz	p = 8%	≥ 217 Hz
P7	189 Hz	p = 7%	≥ 228 Hz
P5	210 Hz	p = 5,67%	≥ 270 Hz

1) Utility company specifications inconsistent with the above must be taken into account

ترانسفورماتور با آرایشهای خاص



تجهیزات فیلتر هارمونیک



Harmonic Filters

- Low Pass Harmonic Filters (attenuate all harmonic frequencies)
- Tuned Harmonic Filters (attenuate specific harmonic frequencies)
- Dynamic Zero Cross Switching Harmonic Filters
- Active Harmonic Filters (IGBT Technology)
- 12 & 18 Pulse Converter Upgrade Kits - change 6-pulse to 12-p or 18-p
- 1-phase Harmonic Filters (3rd Harmonic or Low Pass Filter)
- Line / Load Reactors (Standard & Heavy Duty)

تجهیزات دیگر

- Sine Wave dv/dt Filters
- Zero Cross Switching Capacitor Systems
- …….

کلیدزنی الکترونیکی

- جبران خازنی بارهای سریع
- قطع و وصل در صفر جریان

تشدید هارمونیکی

Harmonic Resonance:
(four accepted industry methods)

$$h_r = \sqrt{\frac{MVAsc}{MVAr_{(cap)}}}$$

$$h_r = \sqrt{\frac{Xc}{Xsc}} \qquad h_r = \sqrt{\frac{kVA_{xfmr} * 100\%}{kVAR_{(cap)} * \%Z_{xfmr}}} \qquad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

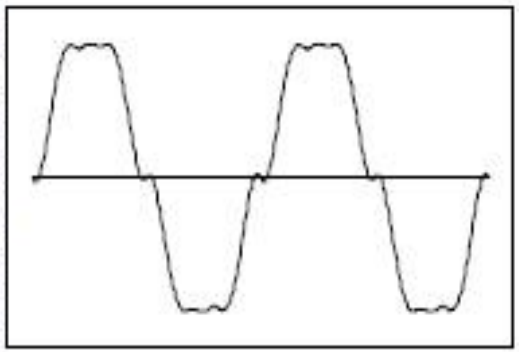
اثر خازن بر هارمونیک ها

No PFCC

Meter: 0001 K-factor: 1.533 Amps : 1716 Frequency:60.01 Hz

T.H.D.: 13.6% max: 18.1% min: 2.1%

H#	%	ϕ	H#	%	ϕ
1	100.0	0	2	0.5	100
3	0.4	29	4	0.1	119
5	12.3	53	6	0.4	66
7	5.5	356	8	0.1	91
9	0.7	299	10	0.2	29
11	1.3	7	12	0.1	29
13	0.1	210	14	0.0	29
15	0.3	29	16	0.0	119
17	0.3	285	18	0.0	29
19	0.0	210	20	0.1	90
21	0.1	90	22	0.0	29
23	0.0	210	24	0.0	119
25	0.1	29	26	0.1	29
27	0.0	29	28	0.1	119
29	0.1	29	30	0.1	119
31	0.0	29	32	0.0	209

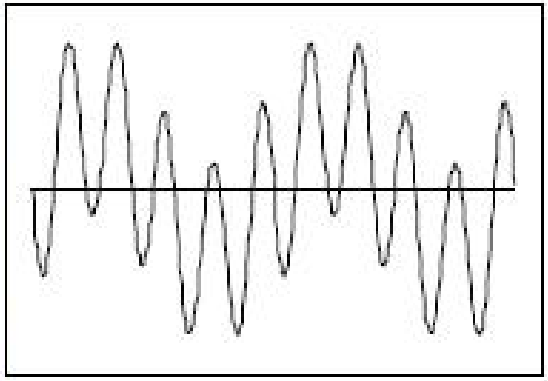


With PFCC

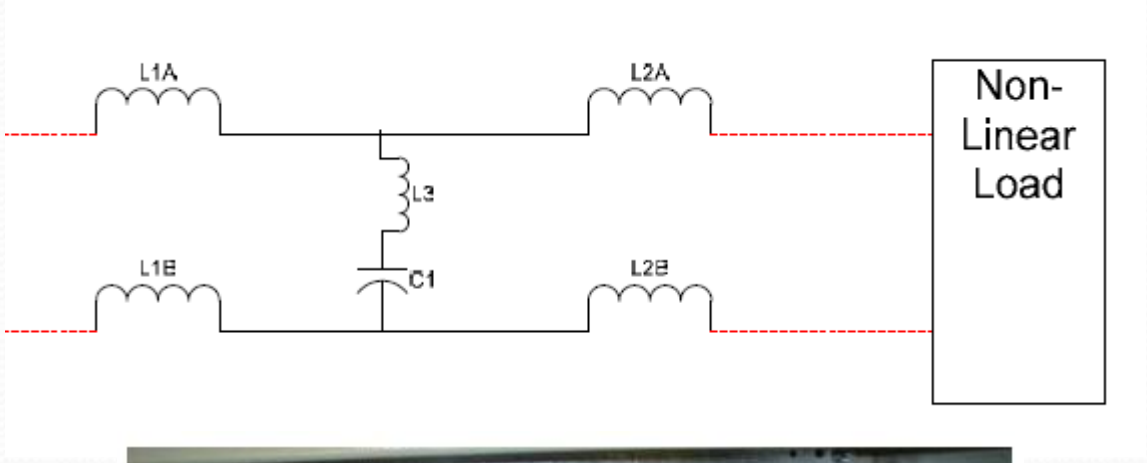
Meter: 0001 K-factor: 32.38 Amps: 2033 Frequency: 59.97 Hz

T.H.D.: 89.5% max: 152.3% min: 3.6%

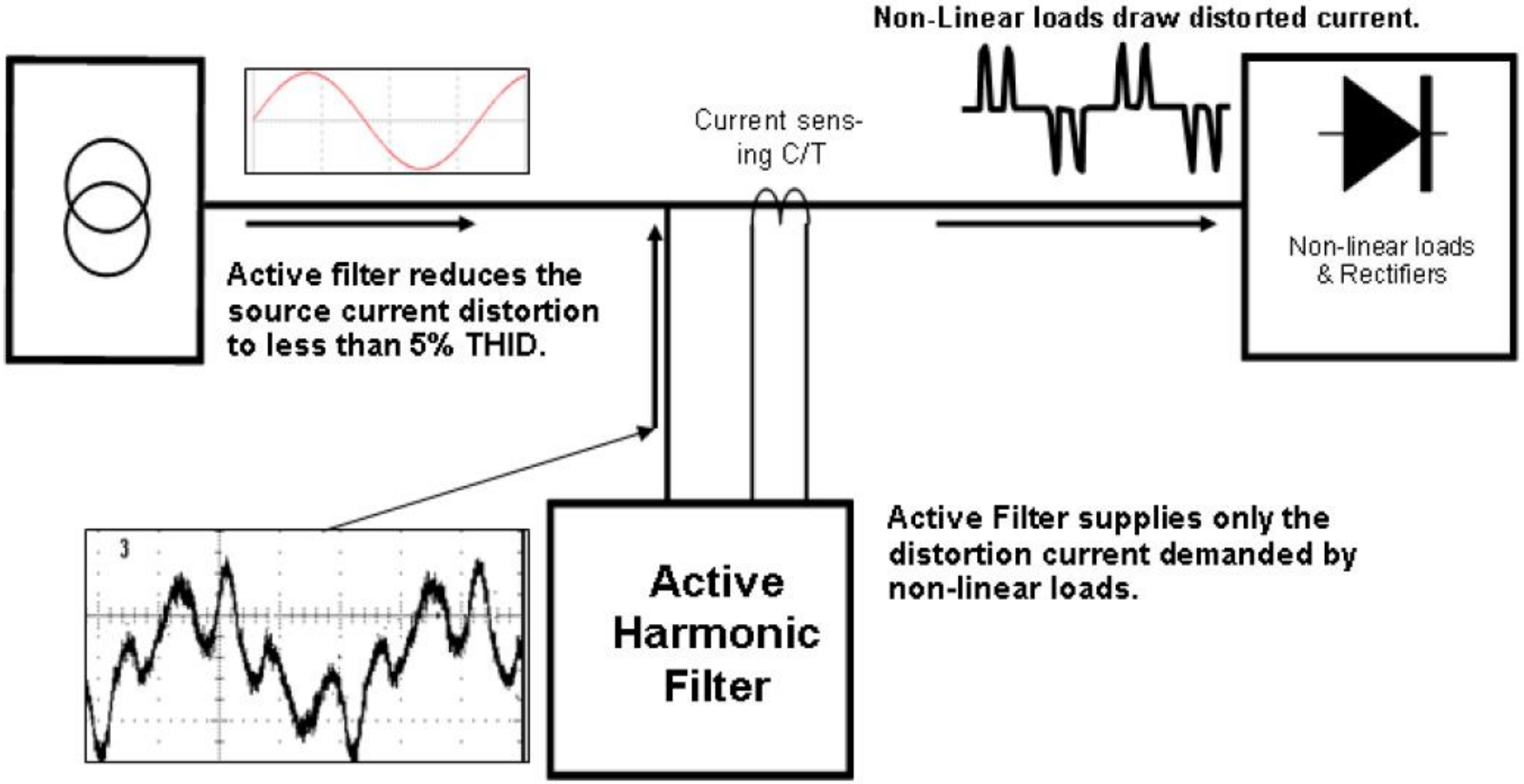
H#	%	ϕ	H#	%	ϕ
1	100.0	0	2	2.3	9
3	1.0	169	4	2.9	79
5	150.0	263	6	3.8	259
7	8.7	141	8	1.2	300
9	1.5	280	10	1.5	259
11	1.6	259	12	0.8	310
13	1.7	279	14	0.5	259
15	1.2	79	16	1.1	294
17	0.5	260	18	0.3	8
19	1.0	331	20	0.5	259
21	1.5	259	22	0.5	312
23	1.2	339	24	0.1	259
25	0.5	180	26	0.6	349
27	0.9	182	28	0.3	307
29	0.7	349	30	0.2	19
31	0.6	292	32	0.0	259



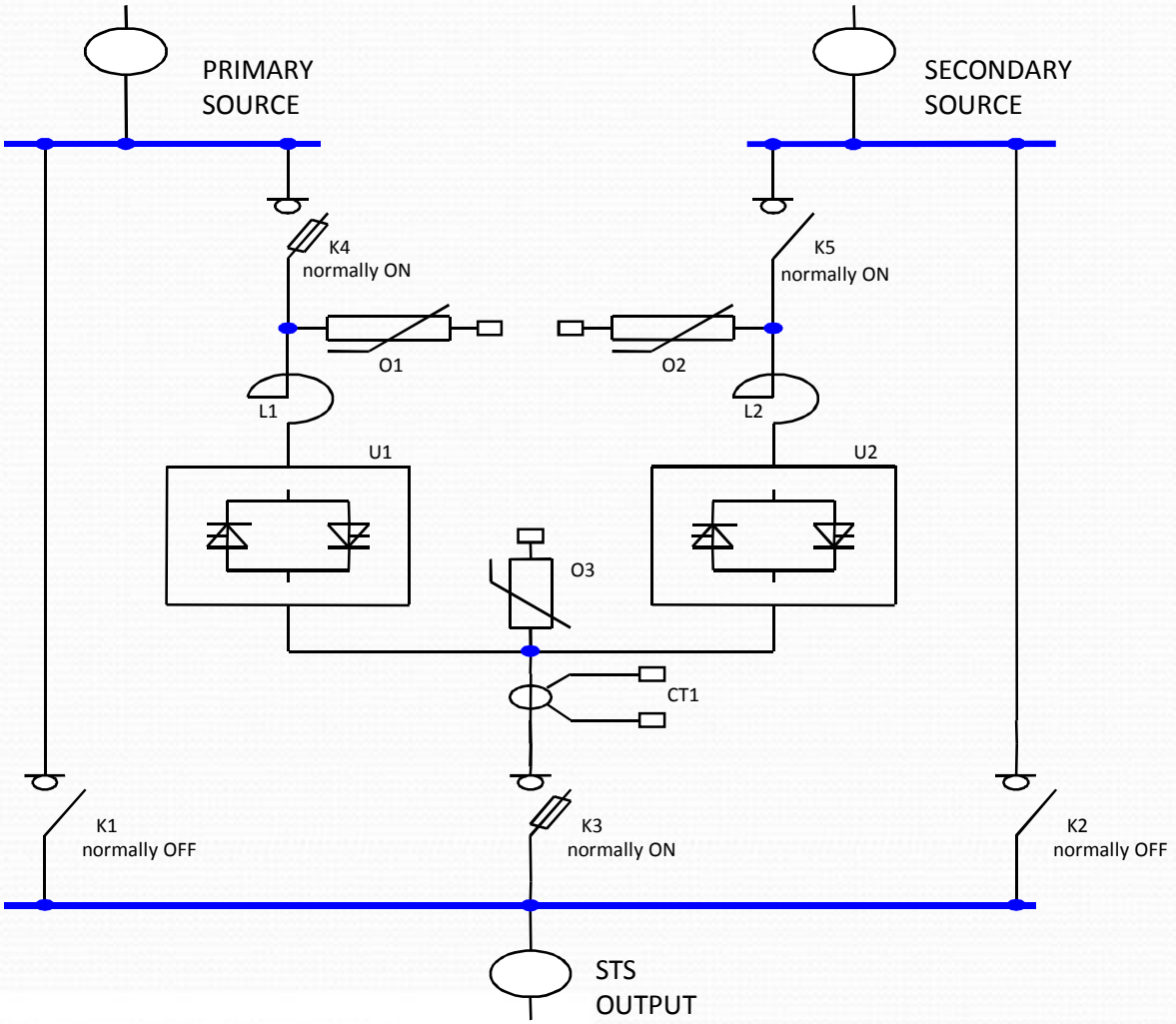
Low Pass Harmonic Filters



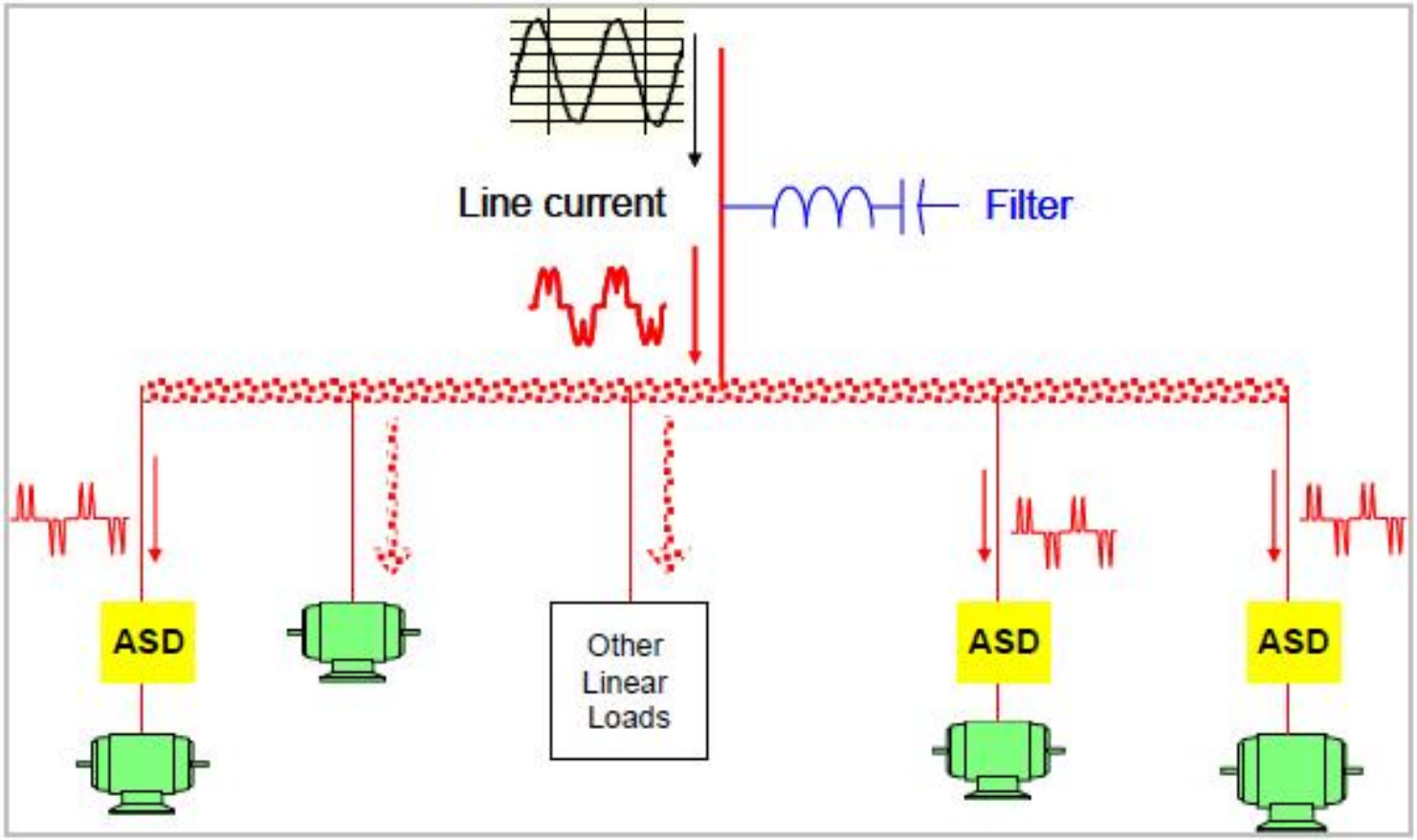
Active Harmonic Filter



کلید انتقالی استاتیکی
Static Transfer Switch (STS)



The flow of harmonic currents



مقایسه قابلیتهای ادوات FACTS

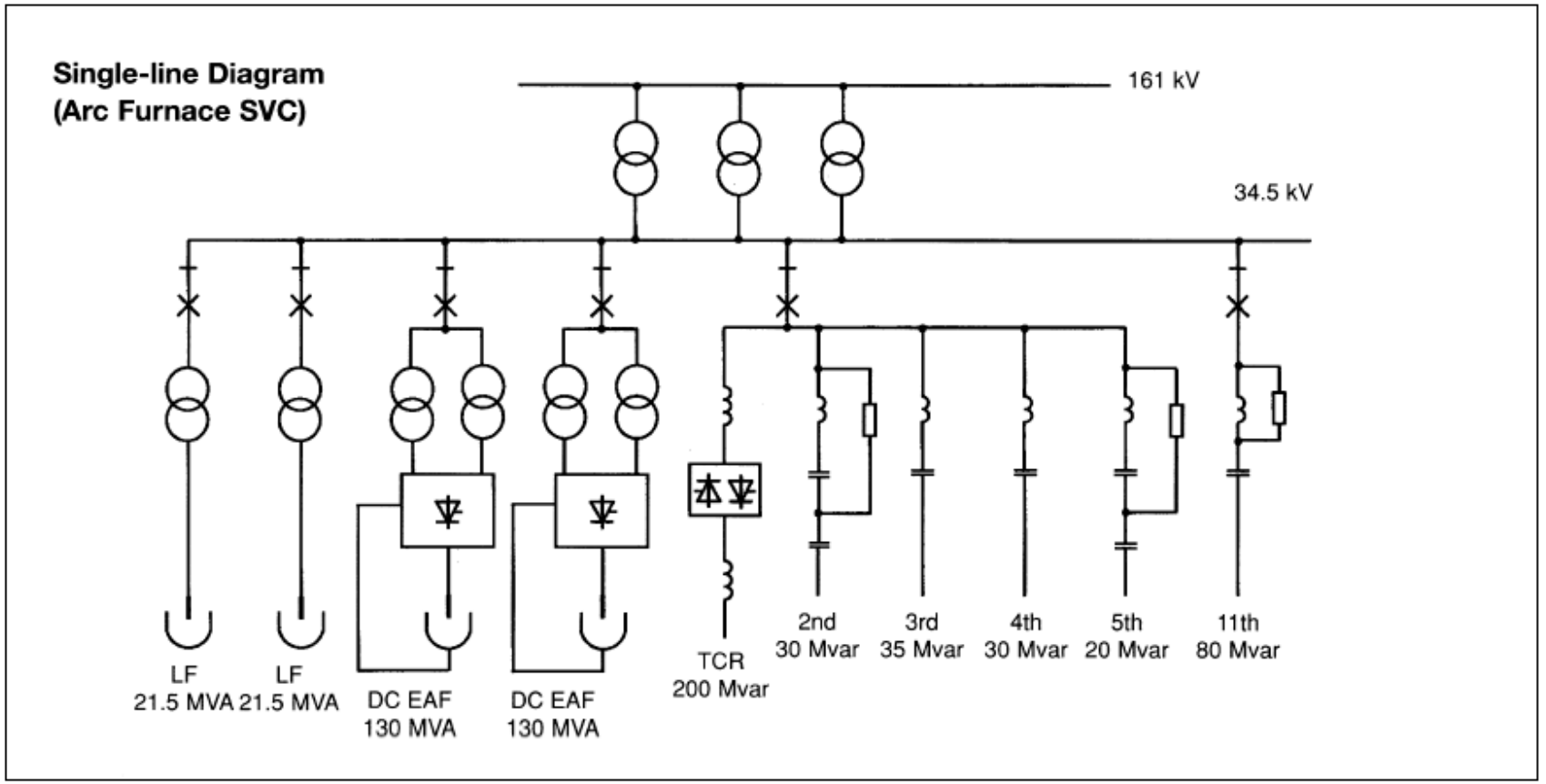
	SVC	CSC	SPS	IPC	STATCOM	SSSC	UPFC
کنترل ولتاژ	•••	•			•••	•	•••
کنترل پخش بار		••	•••	•••		••	•••
پایداری گذرا	••	•••	••	••	••	•••	•••
میرایی نوسانات محلی	••	•••	••	•	••	•••	•••
میرایی نوسانات بین ناحیه ای	•	••	••	•	•	••	•••
کاهش جریان خطا		•	•	•••		•	•

اثر زیاد •••

اثر متوسط ••

اثرکم •

نصب جبران کننده ها



سوال

- شل و لق بودن اتصالات چه نوع مشکلی ایجاد می کند و در کدام عنوان از موارد تعریف شده قرار می گیرد؟

نکته کلیدی یک

پیشگیری بهتر از درمان است

لذا

- **در هنگام طراحی، خرید و سفارش و نصب از مشاوره استفاده کنید.**
- **هزینه های پیشگیری خیلی کمتر از هزینه درمان است.**

نکته کلیدی دو

کیفیت توان مربوط به سیستم الکتریکی است

لذا

- **نمی توان نسخه کلی برای یک مصرف کننده یا یک مشل خاص پیچید.**
- **در هنگام اندازه گیری، تحلیل و ارائه راه حل کل سیستم الکتریکی را باید ملاحظه نمود.**

نکته کلیدی سه

بهبود و کیفیت توام مسئله فنی – اقتصادی است.

لذا

- **باید بر حل مشکلات کیفیت توان و در حد همین اندازه تمرکز کرد.**

- **بهبود کامل ویا حذف کامل هارمونیکها هزینه بسیار دارد و در برخی موارد راه حل فنی ندارد.**

- دوره عمومی کفیت توان (16 ساعت)
- کارگاه تخصصی تحلیل و بهبود کیفیت توان (16 ساعت)
- اندازه گیری، تحلیل و بهبود کیفیت توان
- مشاوره در طراحی و تأمین تجهیزات و شبکه برق صنایع در راستای حفظ کیفیت توان
- تأمین تجهیزات بهبود کیفیت توان

تشکر و سپاس

پرسش و پاسخ