POWER FACTOR CORRECTION
CAPACITOR

ธัมรัต พรหมเพ็ญรังษี วฟก.818/ACPE 01242/TH

เลขาธิการสมาคมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไทย

อุปนายก สมาคมผู้ตรวจสอบอาคาร

กรรมการผู้จัดการ บริษัท นอร์ธพลัส จำกัด

เกษม นิลเจริญ สฟก.3734

ACUMEN CONSULTING (THAILAND)

POWER FACTOR CORRECTION

- Active power and reactive power
- Power Factor
- Power Factor Correction
- Advantages of power factor correction
- Capacitor Bank

ACTIVE POWER AND REACTIVE POWER

Electrical devices

(Inductive load)

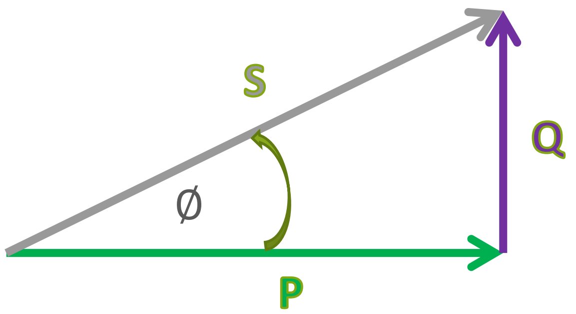
S : Apparent Power (kVA)

Resistive component

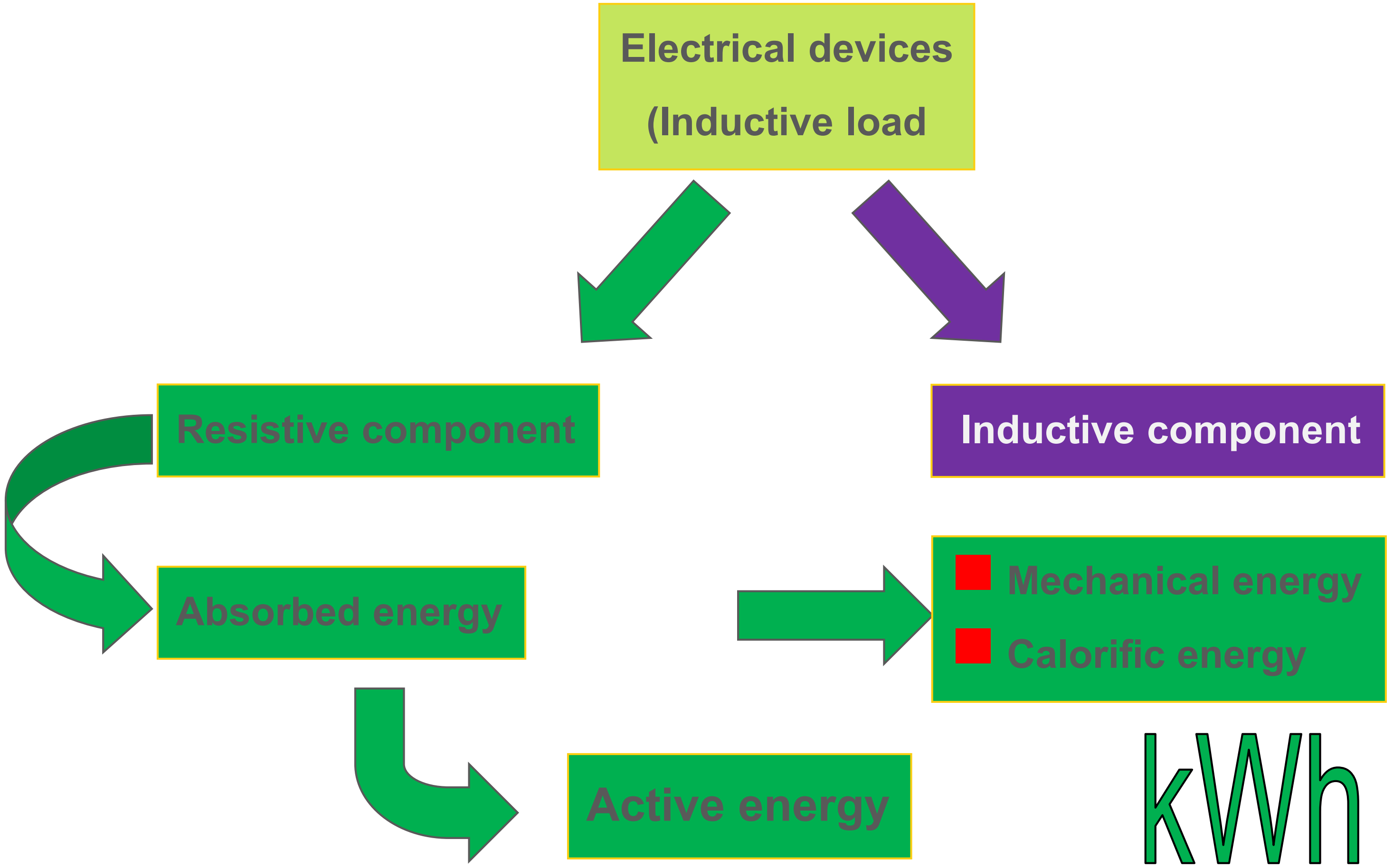
P : Active Power (kW)

Inductive component

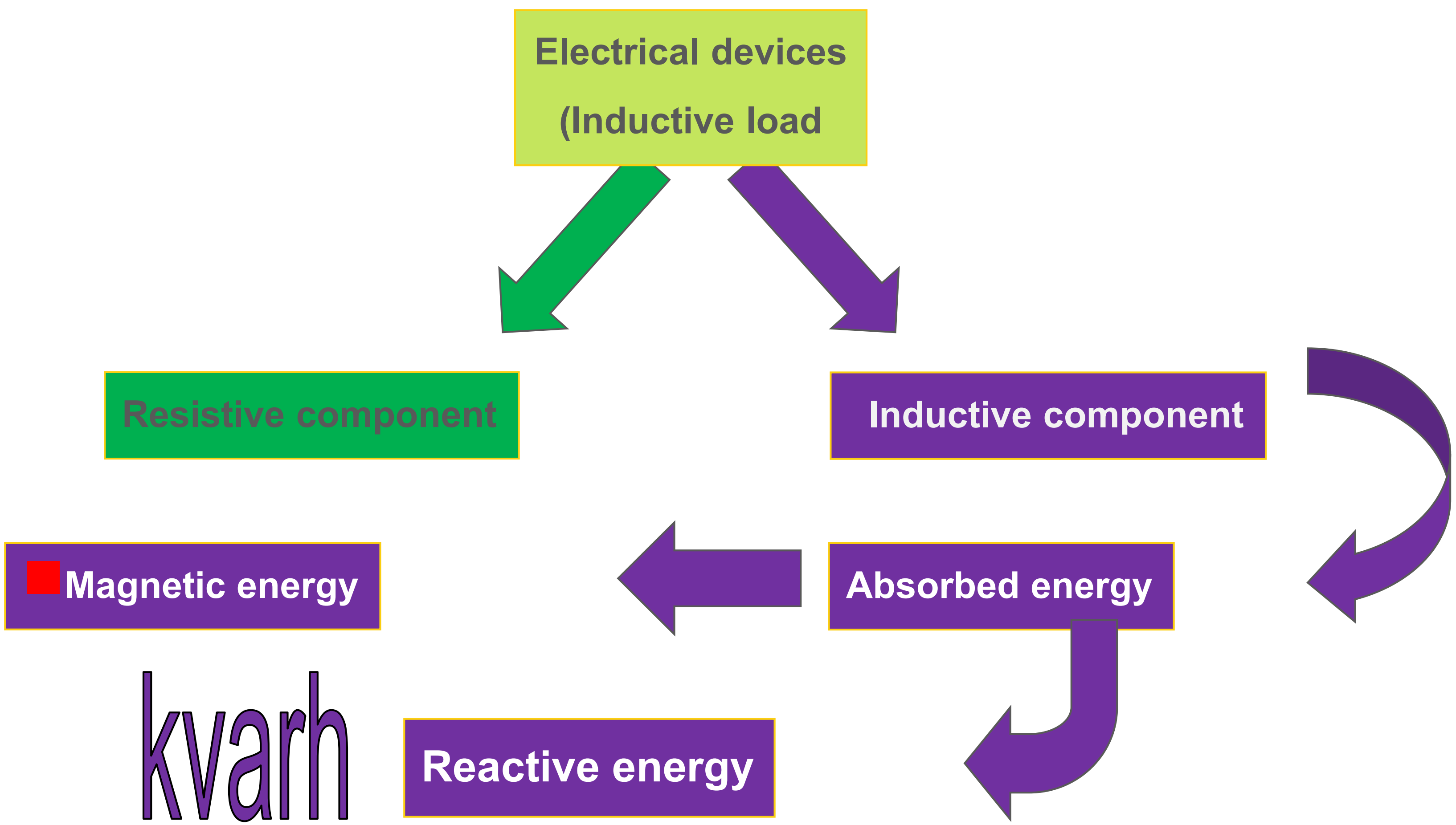
Q : Reactive Power (kvar)



ACTIVE POWER AND REACTIVE POWER



ACTIVE POWER AND REACTIVE POWER

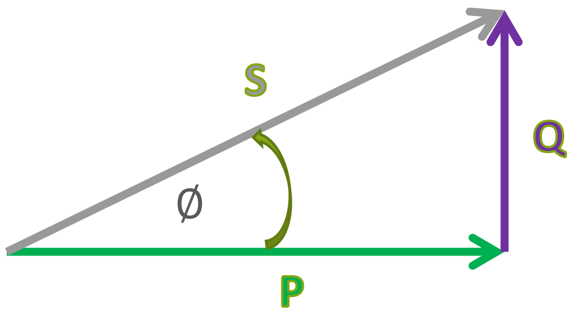


POWER FACTOR

Power Factor = ตัวประกอบกำลัง

Power Factor (PF) : Ratio between P & S

[Non-distorted systems PF = cos(φ)]



Power factor $PF = P/S$

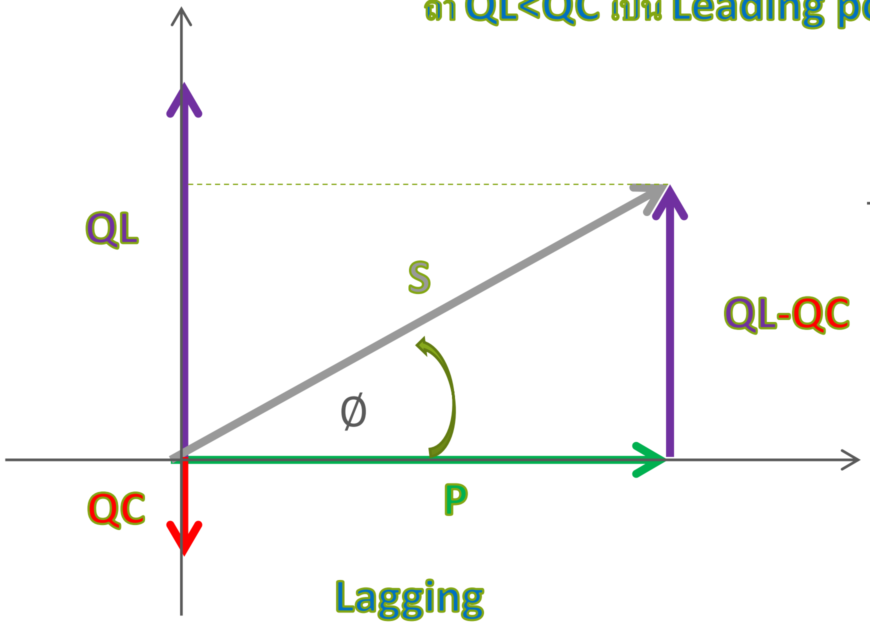
$= \cos\emptyset$

$0 \leq PF \leq 1$

POWER FACTOR

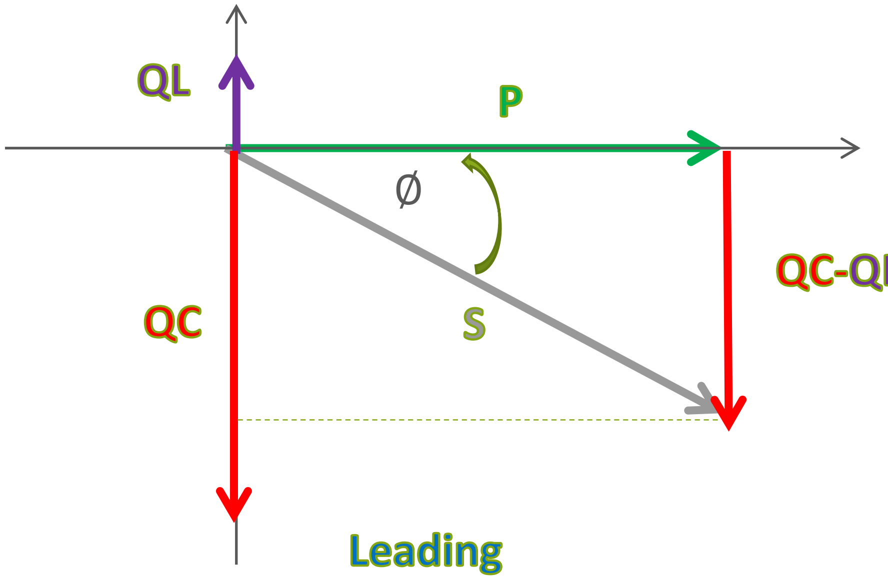
ในระบบที่มีทั้ง inductive load และ capacitive load

ถ้า QL>QC เป็น Lagging power factor
ถ้า QL<QC เป็น Leading power factor



Lagging

Most of Electrical Load



Leading

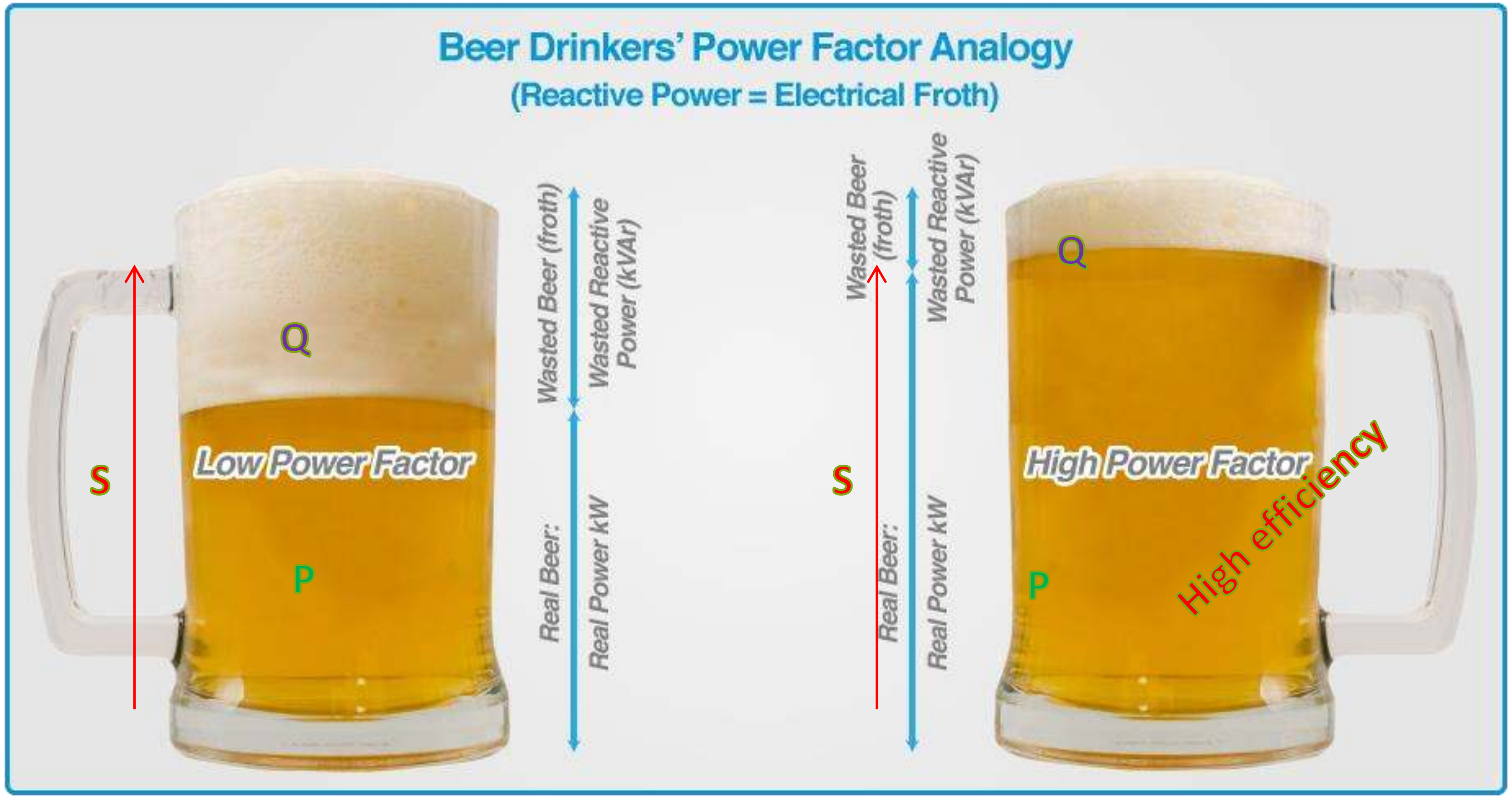
Cap,UPS, EMC Filter

ACTIVE POWER AND REACTIVE POWER

Transformers → (P, Q) → MDB → (P, Q) → Load

POWER FACTOR

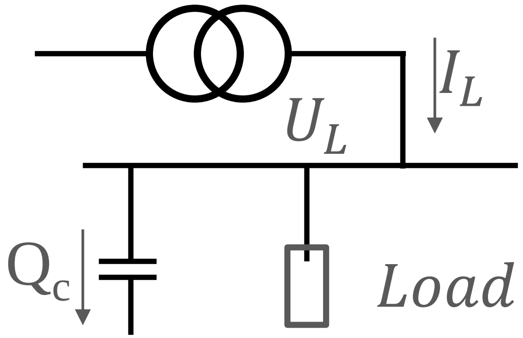
PF=P/S

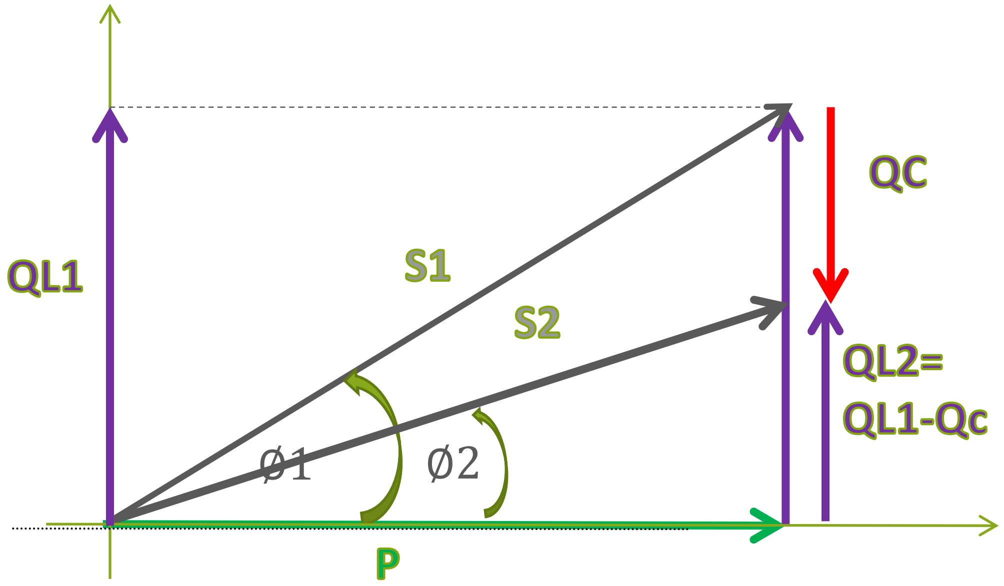


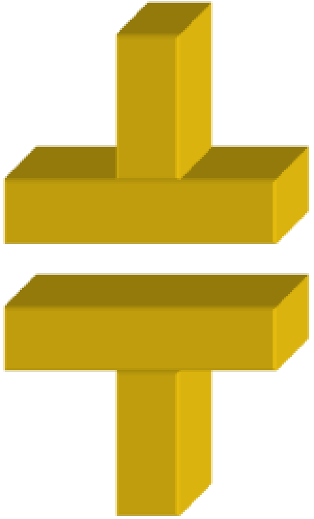
Lagging PF

Lagging PF

POWER FACTOR CORRECTION







$\varphi_2 < \varphi_1$

Improvement of PF

ADVANTAGES OF POWER FACTOR CORRECTION

Connection of Power capacitors

Decrease supply reactive energy from network

Decrease total energy from network

- Technical advantages
- Economical advantages (PF Charge)

Reduction in electricity bill

Reduction in kvar Demand

Reduction in kVA Demand

Reduction in Line Current

Reduced Loading on Transformer

Reduction in Switchgear rating

Reduction in Line losses / Cable losses

Improvement in voltage regulations

POWER FACTOR CORRECTION

PF ต้องมีค่าเท่าไรจึงจะไม่ต้องจ่ายค่า PF?

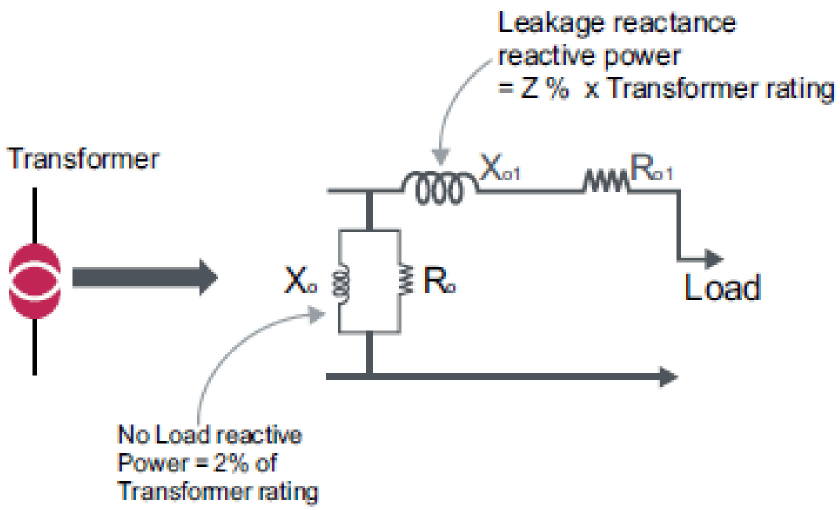
ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ซึ่งมีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลค (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดยส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ (KVAR) ละ 56.07 บาท (เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์)

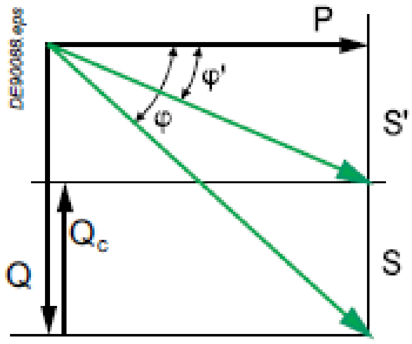
สรุป

เริ่มจ่ายเมื่อ QL มากกว่า 0.6197 ของP

จ่ายส่วนที่มากกว่า kvar ละ 56.07 บาท

POWER FACTOR CORRECTION FOR TRANSFORMER NO-LOAD





The following table can be used for direct determination.

Before compensation		Reactive power (kvar) to be installed per kW of load, in order to get the requested tanφ' or cosφ'							
tanφ	cosφ	tanφ'	0.75	0.62	0.48	0.41	0.33	0.23	0.00
		cosφ'	0.8	0.85	0.9	0.925	0.95	0.975	1.00
1.73	0.5		0.98	1.11	1.25	1.32	1.40	1.50	1.73
1.02	0.7		0.27	0.40	0.54	0.61	0.69	0.79	1.02
0.96	0.72		0.21	0.34	0.48	0.55	0.64	0.74	0.96
0.91	0.74		0.16	0.29	0.42	0.50	0.58	0.68	0.91
0.86	0.76		0.11	0.24	0.37	0.44	0.53	0.63	0.86
0.80	0.78		0.05	0.18	0.32	0.39	0.47	0.57	0.80
0.75	0.8			0.13	0.27	0.34	0.42	0.52	0.75
0.70	0.82			0.08	0.21	0.29	0.37	0.47	0.70
0.65	0.84			0.03	0.16	0.24	0.32	0.42	0.65
0.59	0.86				0.11	0.18	0.26	0.37	0.59
0.54	0.88				0.06	0.13	0.21	0.31	0.54
0.48	0.9					0.07	0.16	0.26	0.48

Indeed Academy

POWER FACTOR CORRECTION

GEN THAI

PF ต้องมีค่าเท่าไรจึงจะไม่ต้องจ่ายค่า PF?

เริ่มจ่ายเมื่อ QL มากกว่า 0.6197ของP

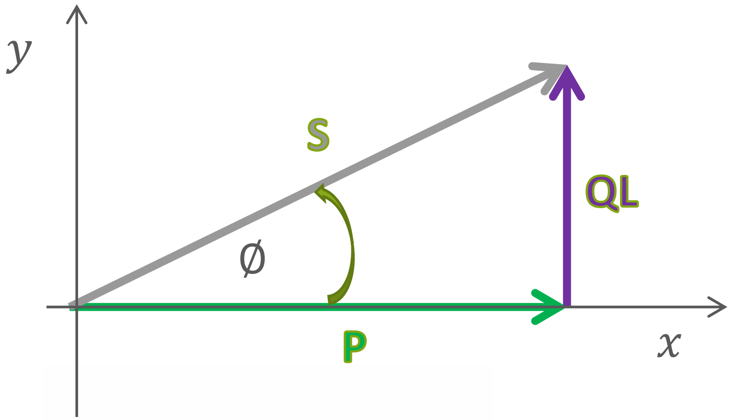
Power factor	Increased available power
0.7	0%
0.8	+14%
0.85	+21%
0.90	+28%
0.95	+36%
1	+43%

$$\emptyset = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$\emptyset = \tan^{-1}\left(\frac{QL}{P}\right)$$

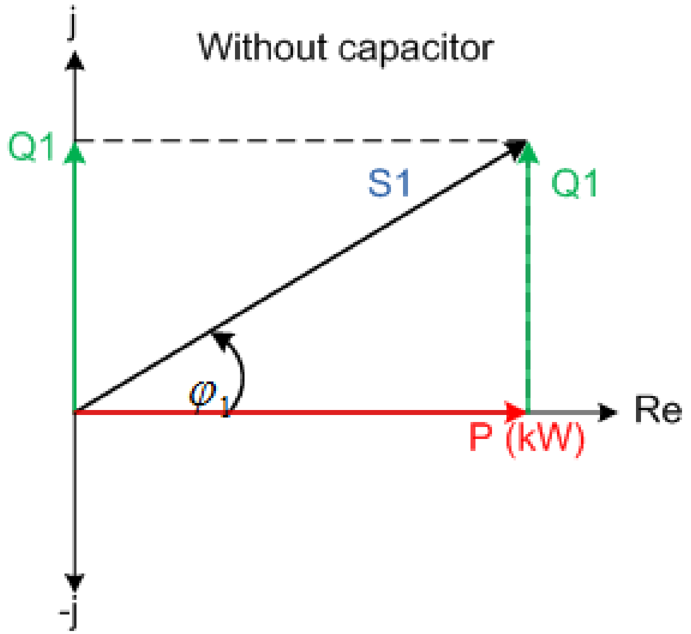
$$\emptyset = \tan^{-1}(0.6197) = 31.79°$$

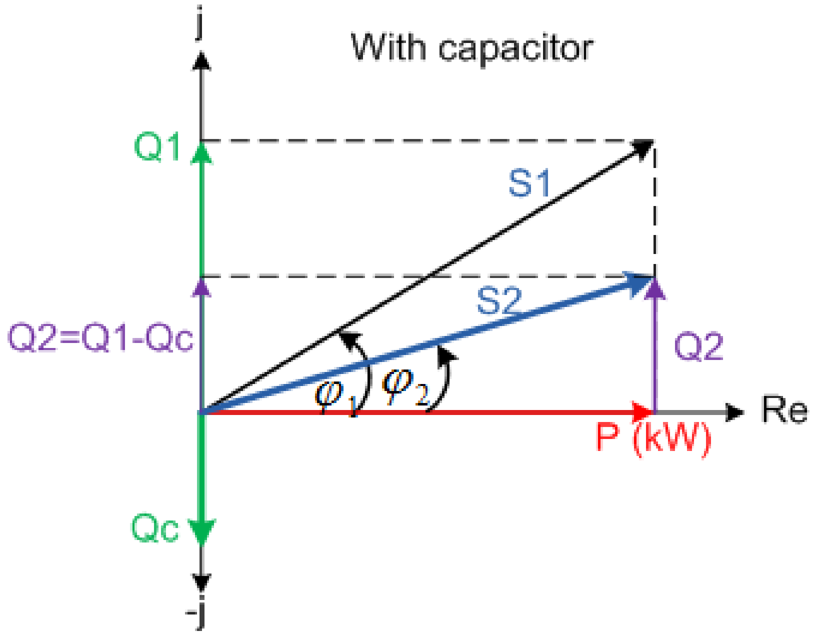
$$\cos(31.79°) = 0.85$$

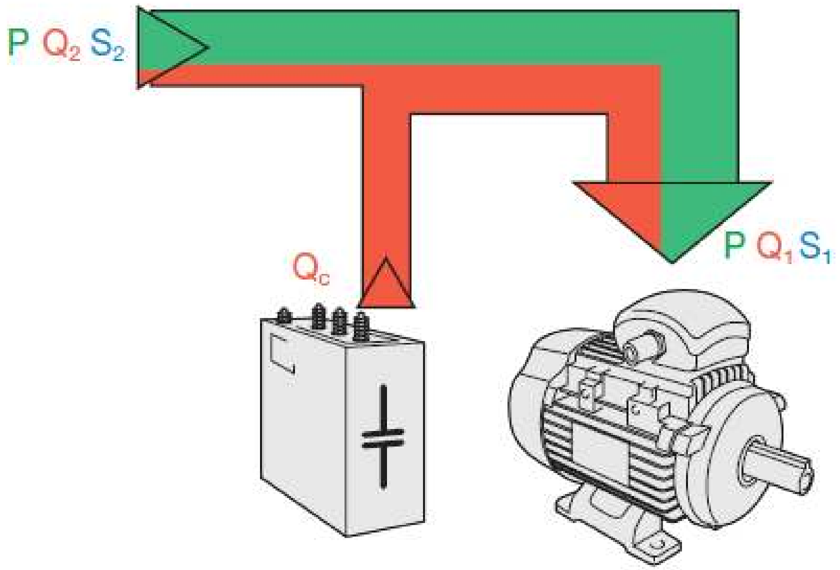


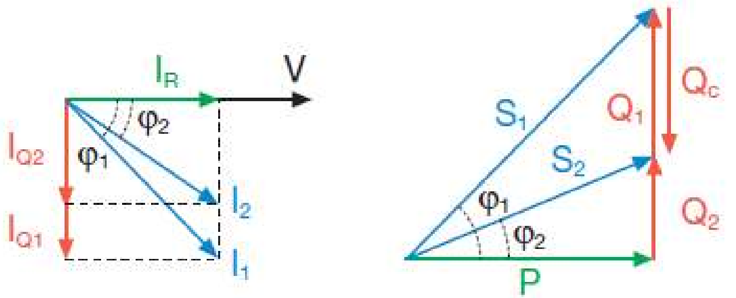
PF > 0.85 ไม่เสียค่าปรับ

POWER FACTOR CORRECTION









$$Q1 = P*\tan(\varphi 1)$$

$$Q2 = P*\tan(\varphi 2)$$

$$QC = Q1-Q2$$

$$= P*\tan(\varphi 1)- P*\tan(\varphi 2)$$

$$= P*(\tan(\varphi 1)- \tan(\varphi 2))$$

การเลือกใช้ Capacitor Banks

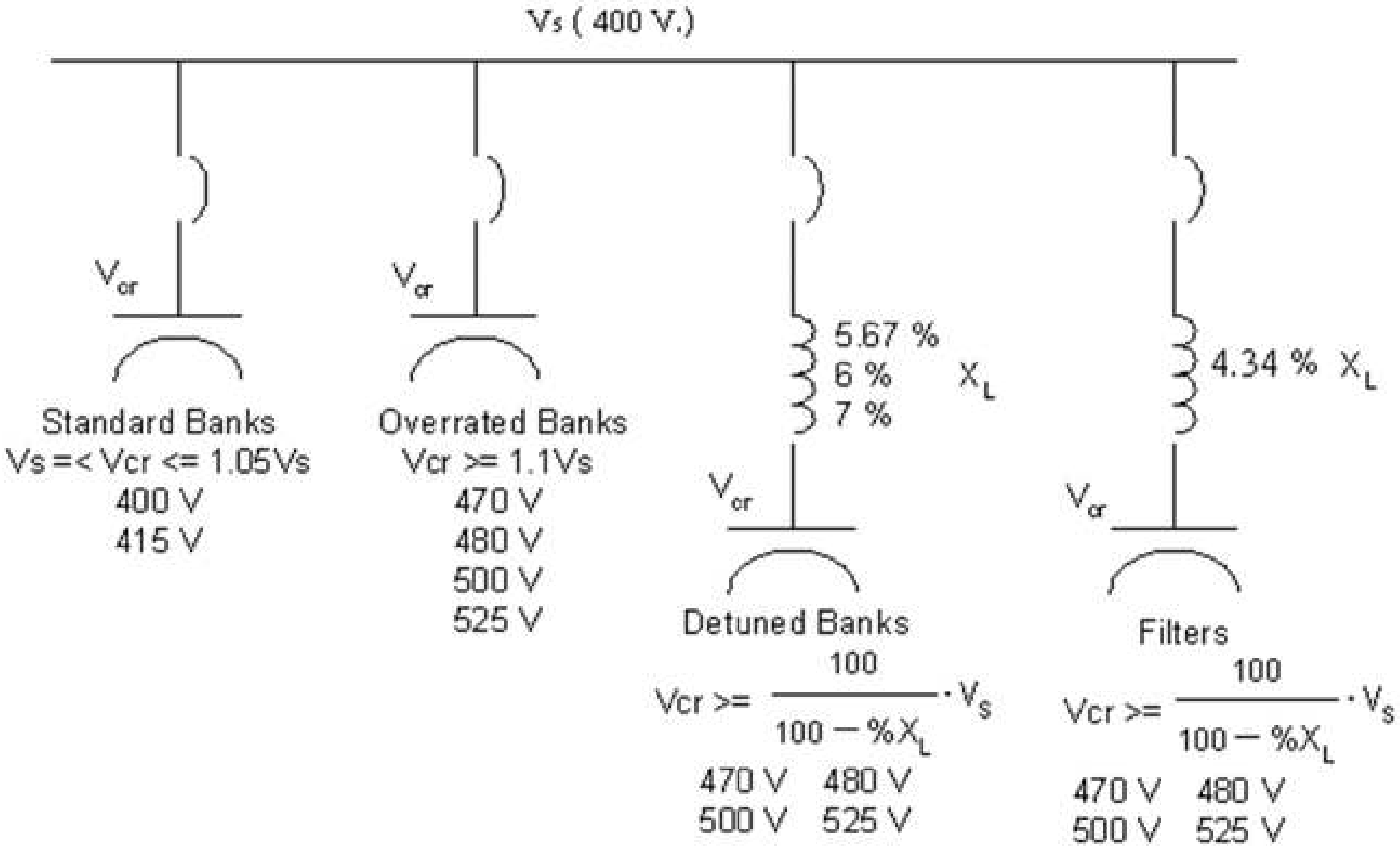
- Standard Capacitor Banks เช่น 400V
- Overrated Capacitor Banks เช่น 440, 480, 500, 525V
- Detuned Filter Banks
- Harmonic Filter Banks แบบ Passive [Tuned Filter Banks หรือชุดกรองฮาร์มอนิก]
- Active Filter (กำจัดฮาร์มอนิค)

การเลือกใช้ CAPACITOR BANKS

พิจารณาจาก non-linear load เทียบกับกำลังของหม้อแปลง เป็นเปอร์เซ็นต์ (ในกรณีที่ยังไม่เคยมีการวัดฮาร์มอนิค)

- ระหว่าง 0 - 5%เลือกใช้ capacitor bank ธรรมดา
- ระหว่าง 5 - 10%เลือกใช้ over-rated capacitor bank
- ระหว่าง 10 - 15%เลือกใช้ detuned filter bank
- ระหว่าง 15 - 30%เลือกใช้ detuned หรือ tuned filter bank
- มากกว่า 30%เลือกใช้ tuned filter bank

การเลือก COMPENSATION BANKS (การเลือกแรงดันพิกัดของคาปาซิเตอร์)



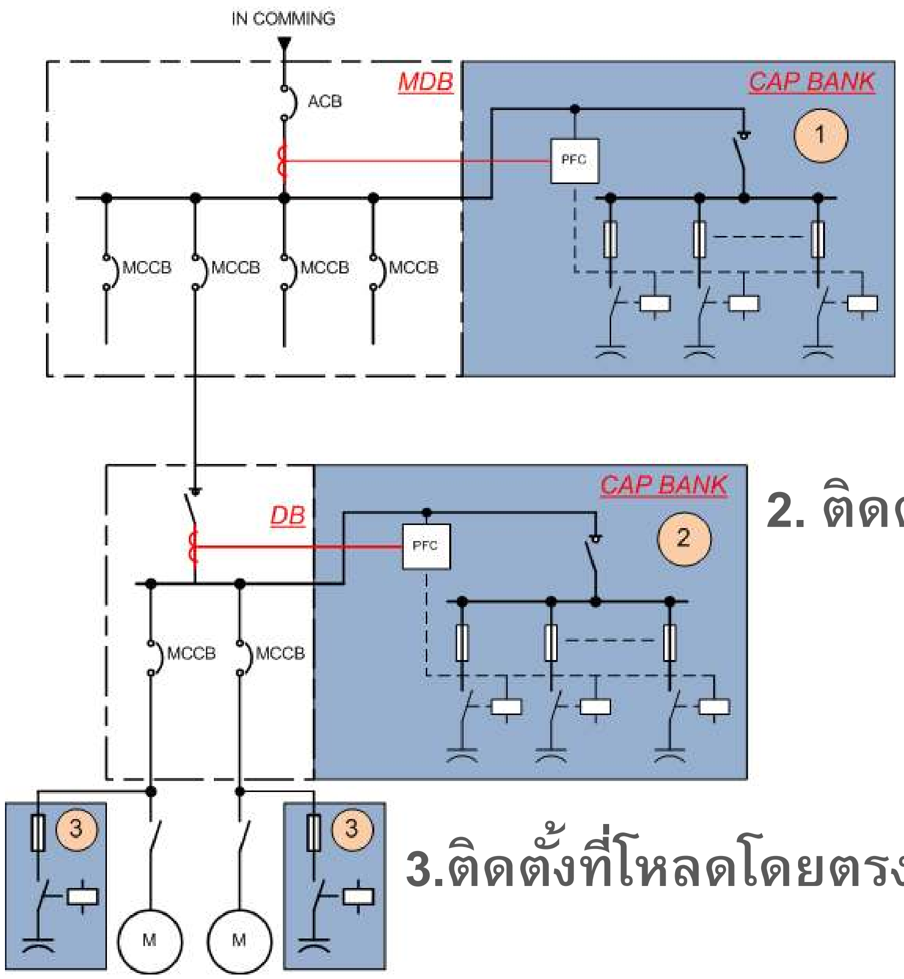
POWER FACTOR CORRECTION

<u>วิธีที่2</u> ใช้ตารางหาค่า (tan(φ1)- tan(φ2)

Actual P.F. Base P.F.		Factor de potencia deseado Desired power factor																				
tg φ0	cos φ1	cos φ2 0.80	cos φ2 0.81	cos φ2 0.82	cos φ2 0.83	cos φ2 0.84	cos φ2 0.85	cos φ2 0.86	cos φ2 0.87	cos φ2 0.88	cos φ2 0.89	cos φ2 0.90	cos φ2 0.91	cos φ2 0.92	cos φ2 0.93	cos φ2 0.94	cos φ2 0.95	cos φ2 0.96	cos φ2 0.97	cos φ2 0.98	cos φ2 0.99	cos φ2 1.0
1.73	0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
	0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
1.64	0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
	0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
1.56	0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
	0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
1.48	0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
	0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
1.41	0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
	0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
1.33	0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
1.30	0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
1.27	0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
1.23	0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
1.20	0.64	0.451	0.477	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
1.17	0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
1.14	0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
1.11	0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
1.08	0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078
1.05	0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
1.02	0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.99	0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.96	0.72	0.214	0.240	0.265	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.94	0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.91	0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.89	0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.86	0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.83	0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.80	0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.78	0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.75	0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.72	0.81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.70	0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698

POWER FACTOR CORRECTION

ตำแหน่งที่จะติดตั้ง _Capacitor



1. ติดตั้งที่ MDB

สะดวก ประหยัด ควบคุม PF รวมได้ ลดกำลังสูญเสียในระบบได้น้อย

2. ติดตั้งที่ DB หรือกลุ่มของโหลด

3.ติดตั้งที่โหลดโดยตรง

POWER FACTOR CORRECTION

ตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลดขนาด 1000kW , PF=0.8 ต้องการปรับปรุง PF ให้เป็น 0.9 ต้องใช้ Capacitor ขนาดเท่าไร

วิธีที่1 เราทราบ cos(φ1) และ cos(φ2) หา φ1 และ φ2 ได้

φ1 = 36.87 , φ2 = 25.84

tan (φ1) = 0.75, tan (φ2) 0.484

ดังนั้นใช้ Capacitor ขนาด = 1000*(0.75-0.484) = 266 kvar

ซึ่ง Capacitor 266 kvar จะมีค่ากระแส Ic = 266k/(1.732*400) = 384 A

ดังนั้น

ก่อนปรุง I1 = S1/(1.732VL) = 1250kVA/(1.732*400) = 1804 A

ก่อนปรุง I2 = S2/(1.732VL) = 1111.11kVA/(1.732*400) = 1604 A

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

การออกแบบ

1. พิกัดของ capacitor bank

หากทราบพิกัด kW และ PF ของโหลดให้ใช้ตารางในการออกแบบได้เลย โดยอาจจะเผื่อขนาด Capacitor bank ไปอีก 10-20% เพื่อให้ capacitor ไม่ทำงานหนักเกินไป

ตัวอย่าง โหลดขนาด 1000kW PF=0.8 ออกแบบให้มี PF ไม่ต่ำกว่า 0.95

เปิดตาราง ได้ค่า $(\tan(\varphi 1) - \tan(\varphi 2)) = 0.421$

QC = 0.421x1000 = 421kvar

เผื่อ 20% จะได้ขนาด capacitor bank = 1.2x421 = 505.2kvar

ดังนั้นเลือก capacitor bank = 500kvar

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

การออกแบบ

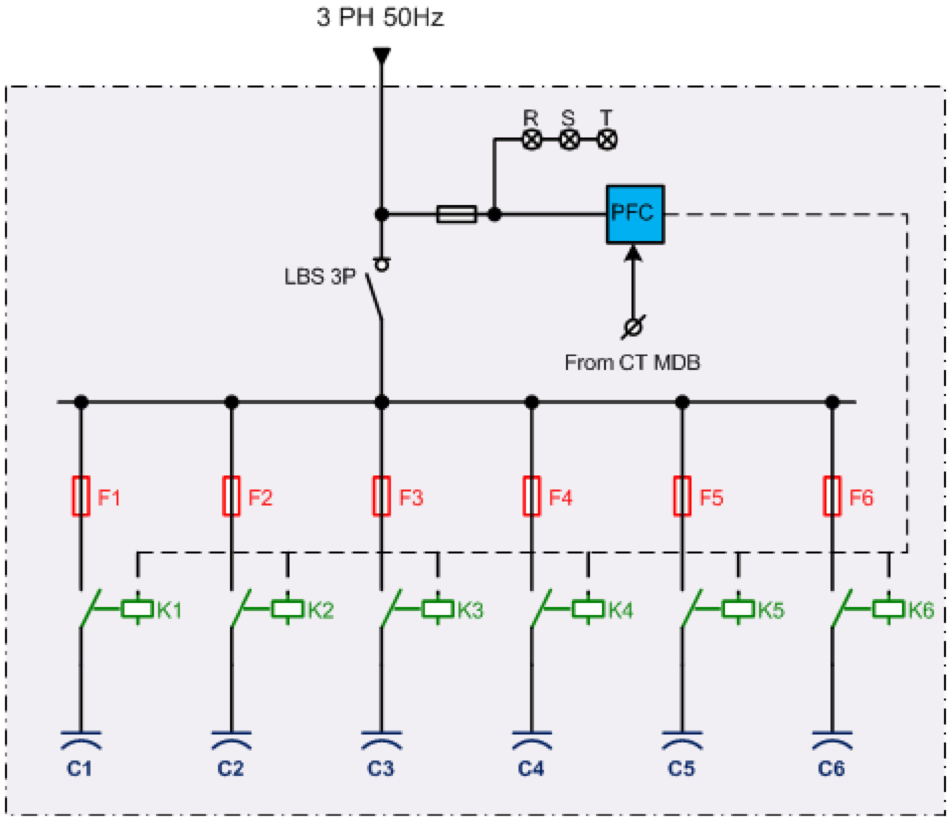
1. พิกัดของ capacitor bank

อีกวิธีที่ได้รับความนิยมคือกำหนดพิกัดขนาด capacitor bank จากขนาดหม้อแปลง โดยทั่วไปใช้ 30% ของขนาดหม้อแปลง

เช่น หม้อแปลง 1000kVA จะใช้ capacitor bank 300kvar

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

Cap Bank หมายถึง ชุดของ **Capacitor** ที่ประกอบด้วย ชุดย่อย หลายชุดหรือ หลาย **Step** โดยแต่ละชุดจะประกอบด้วย **Capacitor, Contactor, Fuse** หรือ **MCCB** โดยควบคุมการทำงานด้วย **PF Controller**



CAPACITOR BANK(CAP BANK)

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

การเลือกขนาดอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับ Capacitor

1. Fuse

   Ifuse = 1.6* Ic (ใช้ class gL-gG)

2. Breaker

   ICB = 1.5* Ic

3. Contactor

   - กรณีเป็น Contactor ชนิด capacitor duty เลือกตามพิกัดกระแสหรือ kvar ที่แรงดันใช้งาน ได้โดยตรง
   - กรณีเป็น Contactor ทั่วไปให้ดู technical data ของผู้ผลิต หรือเลือกขนาดกระแสดังนี้ Icontactor >= 1.35*Ic

4. สายไฟฟ้า

   Icond >= 1.35*Ic

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

ตัวอย่าง capacitor 50 kvar 400V

Ic = 50,000/(1.732*400) = 72.2A

Ifuse = 1.65*72.2 = 119A เลือก fuse ขนาด 125A

ICB = 1.5* 72.2 = 108 A เลือก Breaker ขนาด 125A

เลือก Contactor รุ่น TC1-D60K (60 kvar@400V)

สายไฟฟ้า Icond >= 1.35*72.2 = 97.5A เลือกสายขนาด 35 sqmm

CAPACITOR BANK(CAP BANK)

ตัวอย่าง capacitor 25 kvar 230V

I_c = 25,000/(1.732*230) = 62.75A

Ifuse = 1.65*62.75 = 103.54A เลือก fuse ขนาด 100A

ICB = 1.5* 62.75 = 94.25 A เลือก Breaker ขนาด 100A

เลือก Contactor รุ่น TC1-D40K (25 kvar@220V-240V)

สายไฟฟ้า Icond >= 1.35*62.75 = 84.71A เลือกสายขนาด 25 sqmm

3-PHASE CAPACITOR

Operating Conditions

- **ALTITUDE**

The capacitor's installation altitude must not exceed 2000 m over the sea level. In higher altitudes, the heat dissipation is reduced, and this must be considered when dimensioning the capacitor.

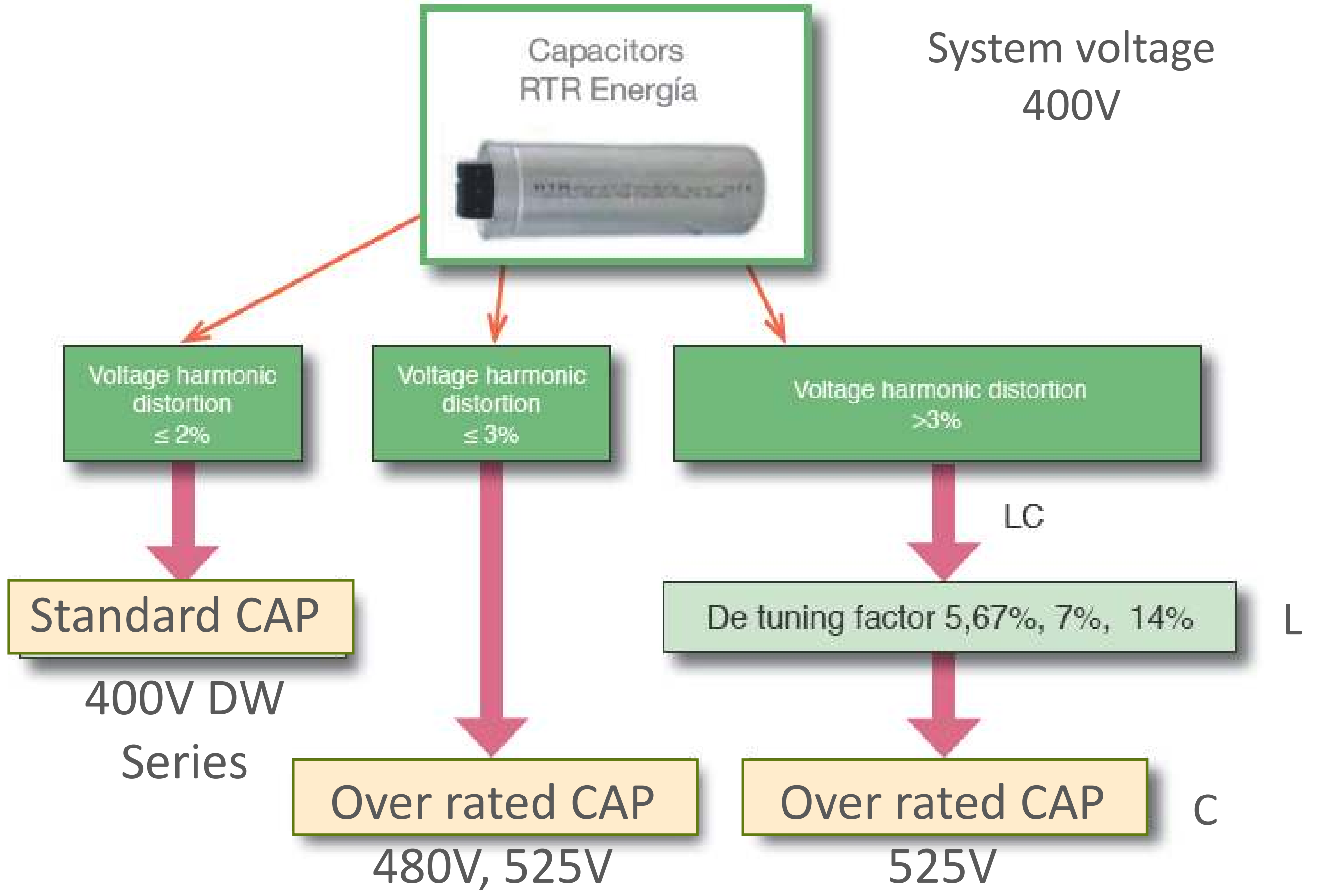
- **HARMONICS**

The harmonics presence which a capacitor can bear is determined taking on account that the voltage and current maximum limits must not be surmounted. These limits are shown below:

$THDU_{max}$	2%
$THDI_{max}$	25%

3-PHASE CAPACITOR/OPERATING CONDITIONS

- **HARMONIC**



LOW VOLTAGE HARMONIC FILTER
และการประยุกต์ใช้งาน

ธัมรัต พรหมเพ็ญรังษี วฟก.818/ACPE 01242/TH

เลขาธิการสมาคมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไทย

อุปนายก สมาคมผู้ตรวจสอบอาคาร

กรรมการผู้จัดการ บริษัท นอร์ธพลัส จำกัด

เกษม นิลเจริญ สฟก.3734

ACUMEN CONSULTING (THAILAND)

DETUNE FILTER

1. Power factor controller
2. Contactor
3. Thermal relay
4. Reactor
5. Capacitor unit

ฮาร์มอนิกส์ HARMONIC คืออะไร

ระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยใช้ความถี่ 50 Hz. ความถี่ 50 Hz. นี้เรียกว่า Fundamental Frequency (f_1) หรือความถี่หลักมูล

กระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังมีหลาย ๆ ความถี่ปะปนกัน ได้แก่ ความถี่ 50 Hz. , 100 Hz. , 150 Hz. , 200 Hz. , 250 Hz. , . . . , etc.

ฮาร์มอนิกส์ HARMONIC คืออะไร

กระแสที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่ f_1 เช่น 100 Hz. , 150 Hz. , . . . จะเรียกว่า **กระแสฮาร์มอนิก**

ลำดับของฮาร์มอนิก (Harmonic Order : h) คือจำนวนเต็มเท่าของความถี่ f_1 เช่น ความถี่ 100 Hz. จะเรียกว่าฮาร์มอนิกลำดับที่ 2 , ความถี่ 250 Hz. จะเรียกว่าฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 เป็นต้น

ขนาดของกระแสฮาร์มอนิก (I_h) จะบอกเป็นร้อยละโดยเทียบกับกระแสความถี่หลักมูล (I_1)

ฮาร์มอนิกส์ Harmonic

$$i(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$

$$I_{(rms)} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^{n} I_h^2}$$

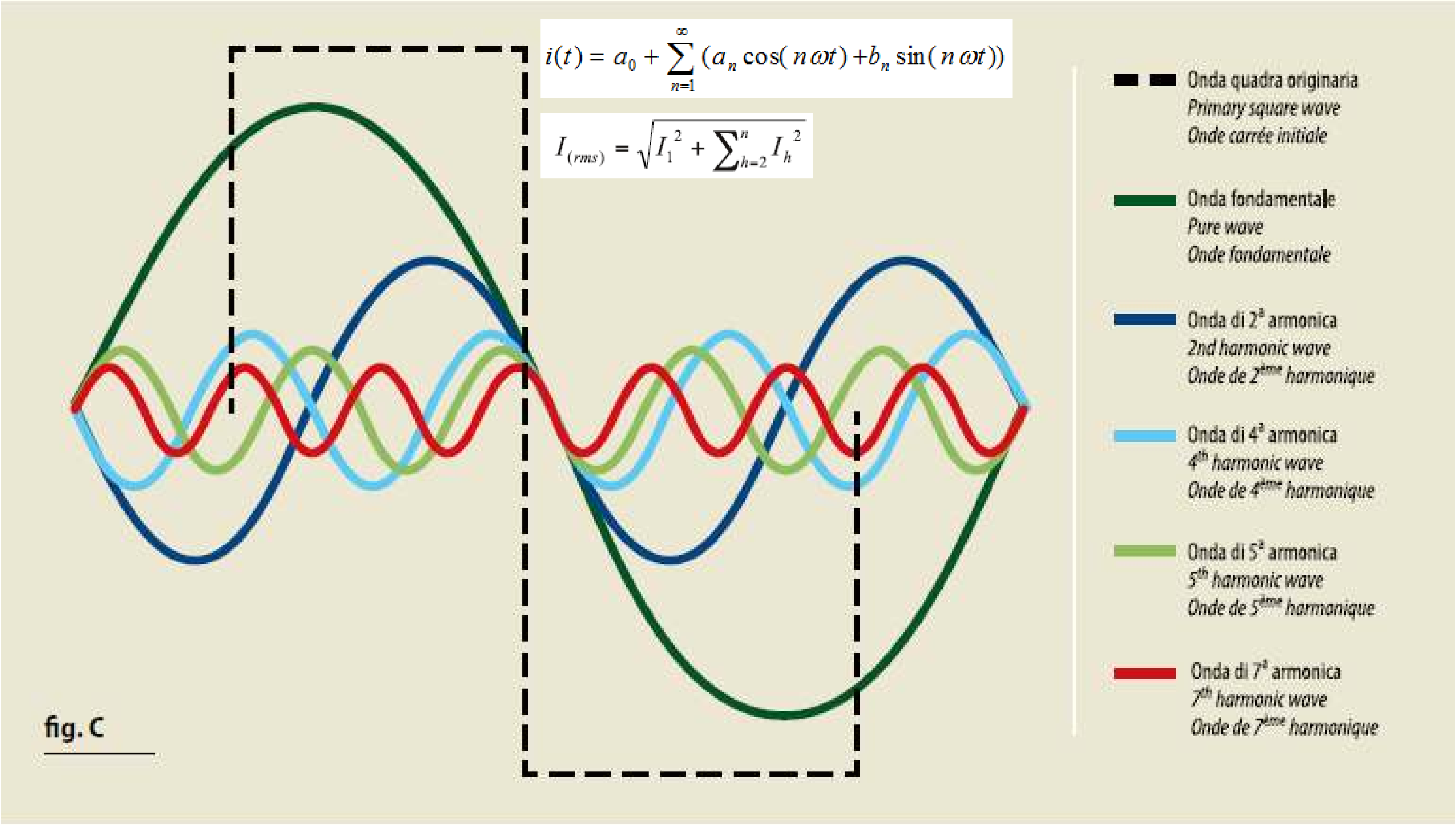
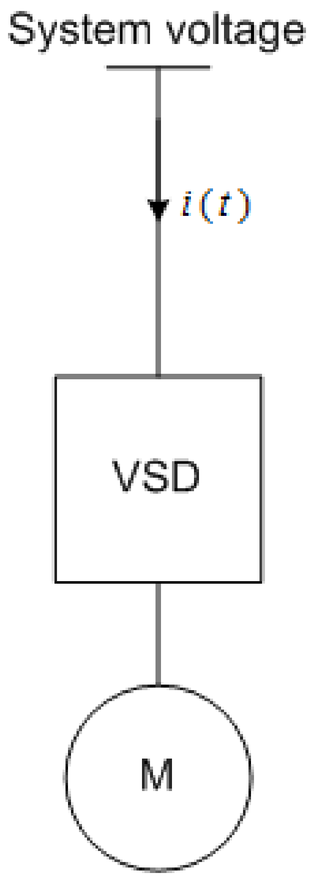


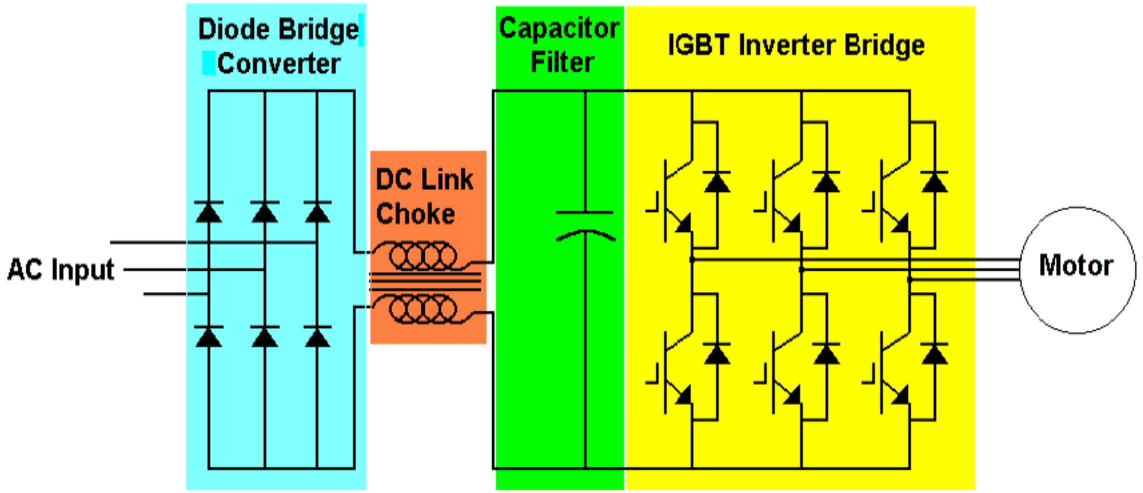
fig. C

ฮาร์มอนิกส์ Harmonic

$$i(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$

$$I_{(rms)} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^{n} I_h^2}$$

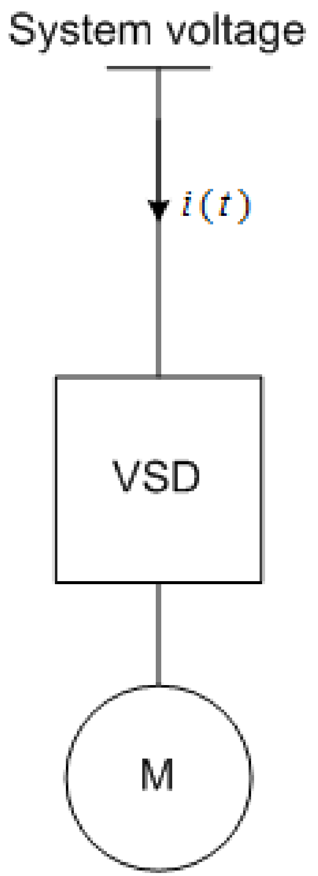


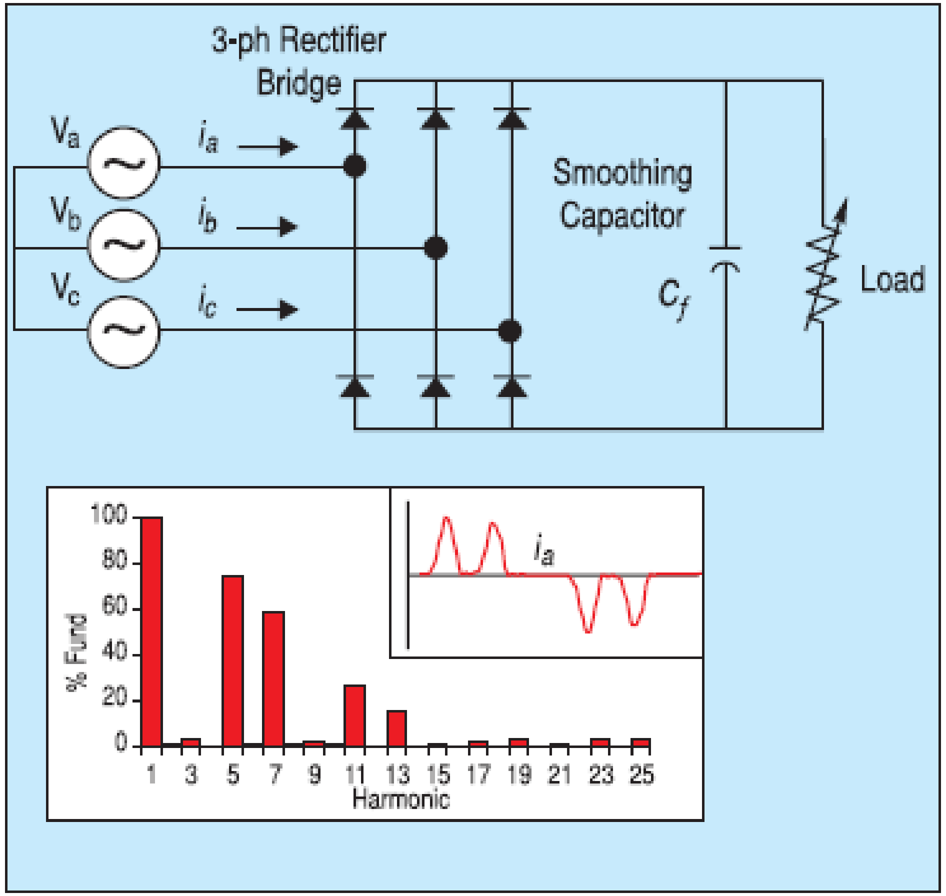


ฮาร์มอนิกส์ Harmonic

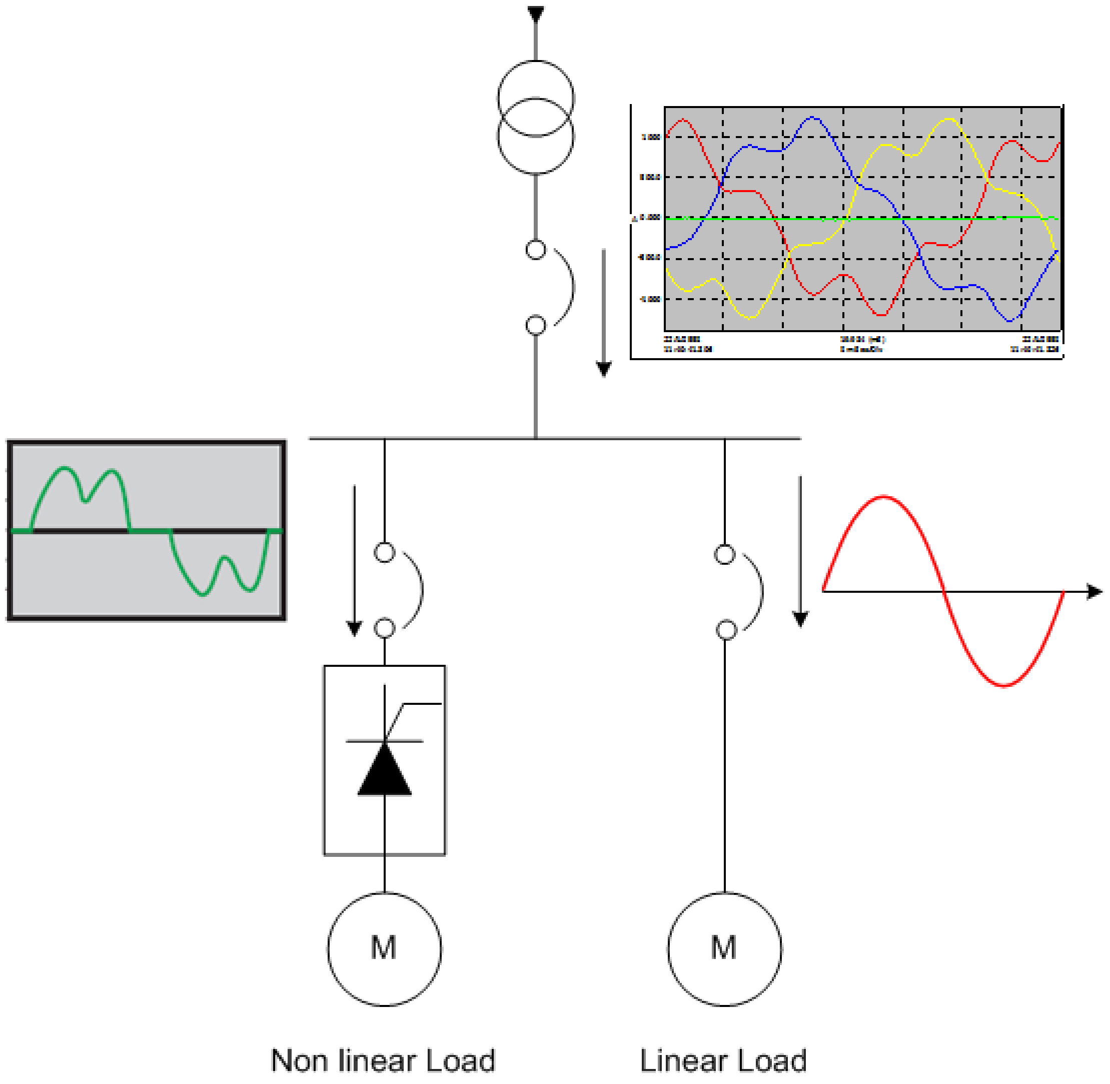
$$i(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$

$$I_{(rms)} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^{n} I_h^2}$$

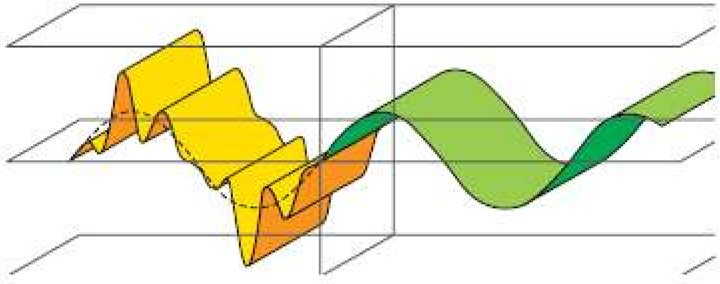




ฮาร์มอนิกส์ Harmonic



EFFECTS OF HARMONICS



Harmonics in electrical installations

Equipment	Effect of Harmonics
Motor	Over heating, production of non-uniform torque,increased vibration
Transformer	Over heating and insulation failure, noise
Switch gear and cables	Neutral link failure, increased losses due to skin effect and over heating of cables
Capacitors	Life reduces drastically due to harmonic overloading
Protective Relays	Malfunction and nuisance tripping
Power electronic equipment	Misfiring of Thyristors and failure of semiconductor devices
Control & instrumentation Electronic equipment	Erratic operation followed by nuisance tripping and breakdowns
Communication equipment / PC's	Interference
Neutral cable	Higher Neutral current with 3rd harmonic frequency, Neutral over heating and or open neutral condition
Telecommunication equipment	Telephonic interference, malfunction of sensitive electronics used, failure of telecom hardware

ฮาร์มอนิกส์ HARMONIC คืออะไร

THD (Total Harmonic Distortion) คือกระแสฮาร์มอนิกรวม ที่คิดเป็นร้อยละเทียบกับกระแสความถี่หลักมูล

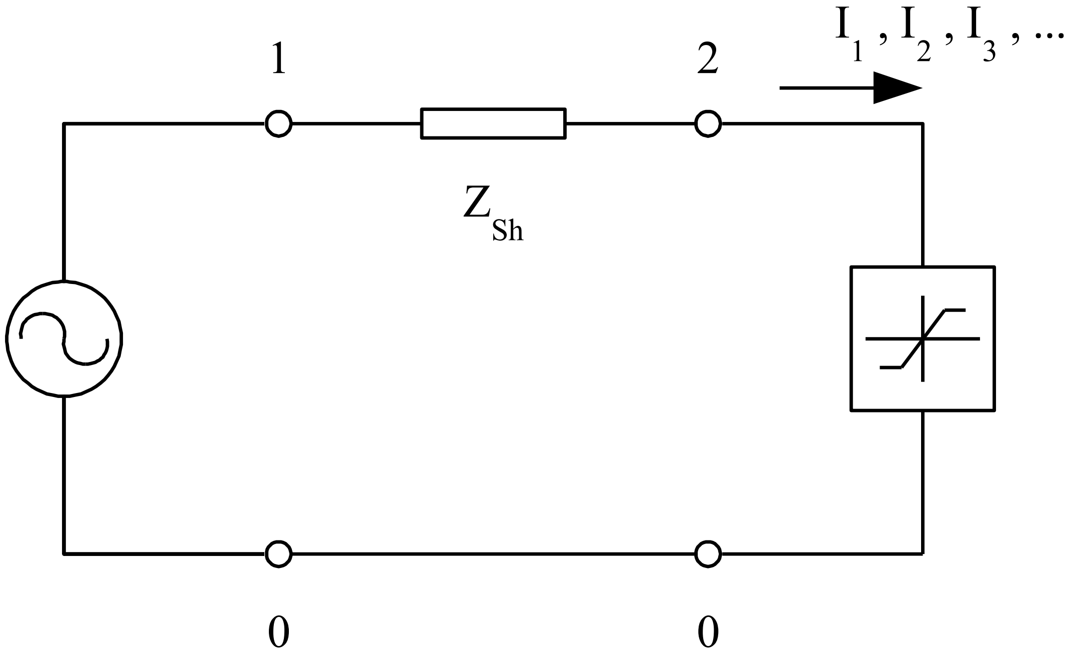
$$\mathrm{THD}\ (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{H} I_h^2}}{I_1} \times 100$$

h	=	ลำดับของฮาร์มอนิก
H	=	ลำดับสูงสุดของฮาร์มอนิกที่นำมาพิจารณา เช่น 25 , 40 หรือ 50
I_h	=	กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h (A_{rms})
I_1	=	กระแสความถี่หลักมูล (A_{rms})

ฮาร์มอนิกเกิดขึ้นได้อย่างไร

กระแสฮาร์มอนิก เกิดจากอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสแบบไม่เป็นเชิงเส้น

แรงดันฮาร์มอนิก เกิดจากกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้าแล้วเกิดแรงดันฮาร์มอนิกตามกฎของโอห์ม



$$V_{10} = V_1$$

$$V_{20} = (V_1 - I_1 Z_{S1}) - I_2 Z_{S2} - I_3 Z_{S3} - \ldots$$

ฮาร์มอนิกเกิดจากอะไรบ้าง

1. HVDC Converters
2. Inverter
3. Electronic Ballasts
4. UPS
5. Arc Furnace and Welder
6. Rectifier in Power Supply
7. Others .....

เทคนิคการแก้ปัญหาฮาร์มอนิค

1.ใช้Detuned Filter

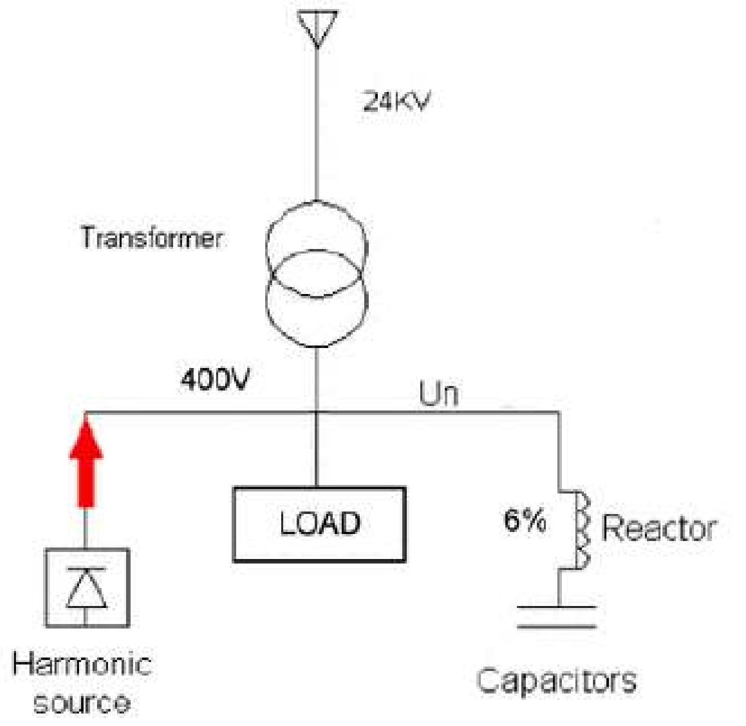
- ป้องกันการขยายตัวของฮาร์มอนิก เมื่อต่อ capacitor unit เข้าไปในระบบ (Resonance)
- ป้องกันไม่ให้กระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าสู่ capacitor มากเกินไป โดย % ของ detuned ที่สูงขึ้น จะทาให้กระแสฮาร์มอนิกไหลเข้า capacitor unit น้อยลง

2.ใช้ Harmonic Filter

- ช่วยกรองกระแสฮาร์มอนิกออกจากระบบ
- ป้องกันการขยายตัวของฮาร์มอนิก เมื่อต่อ capacitor unit เข้าไปในระบบ (Resonance)

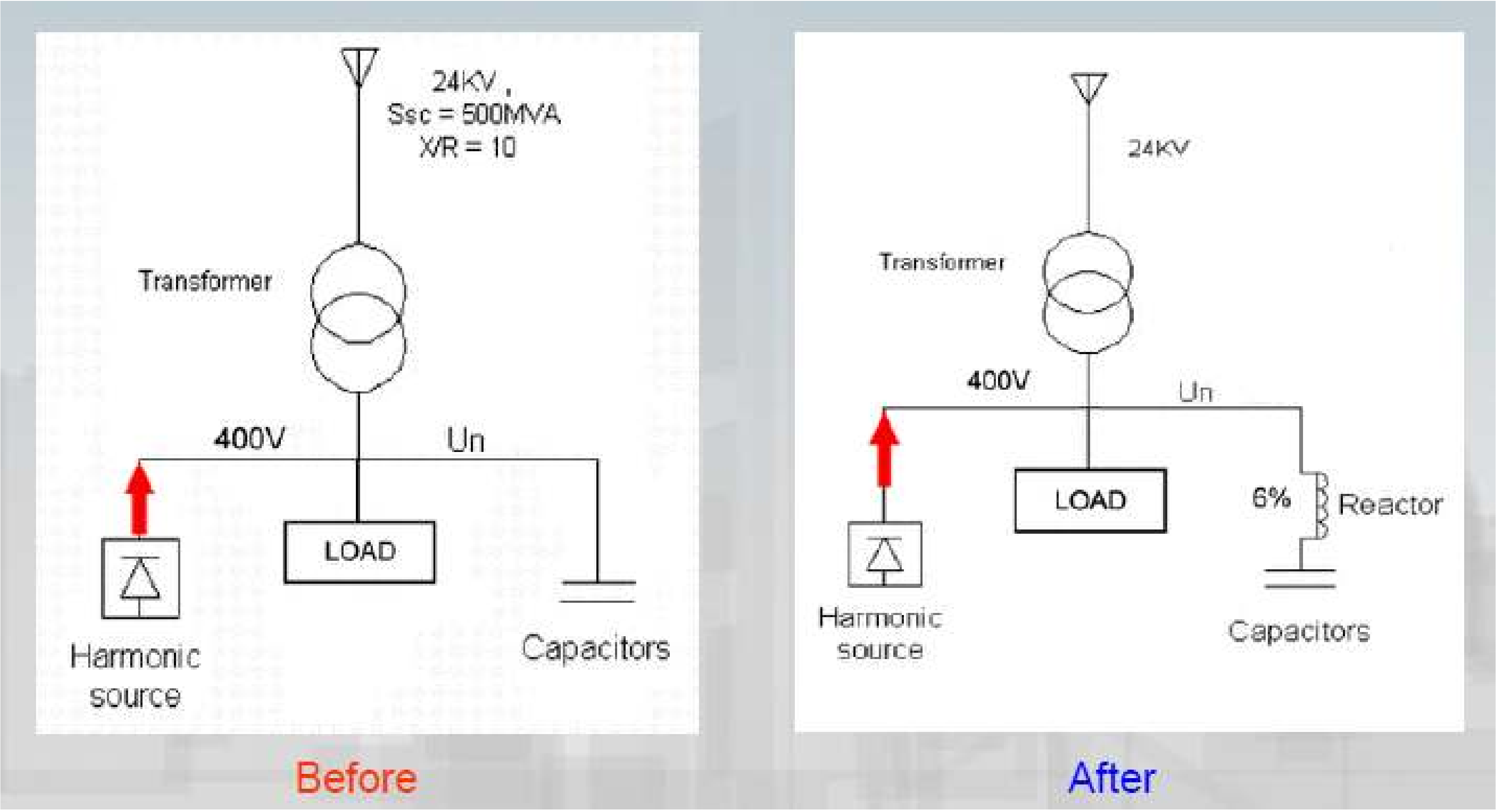
DETUNED FILTER

- **Filter**ถ้ากระแสฮาร์มอนิกส่วนใหญ่ ไหลเข้าสู่ตัว capacitor จะทาให้อายุการใช้งานของ capacitor สั้นลง เนื่องจากความร้อนและกระแสเกินพิกัด
- Detuned reactor จะช่วยลดกระแสฮาร์มอนิกที่จะไหลเข้าสู่ตัว capacitor
- Detuned reactor จะป้องกันการเกิดเรโซแนนซ์(harmonic resonance) ระหว่างtransformer กับcapacitor bank (parallel resonance)



capacitor + detuned reactor = detuned filter

COMPARISON BETWEEN BEFORE AND AFTER REACTOR INSTALLATION



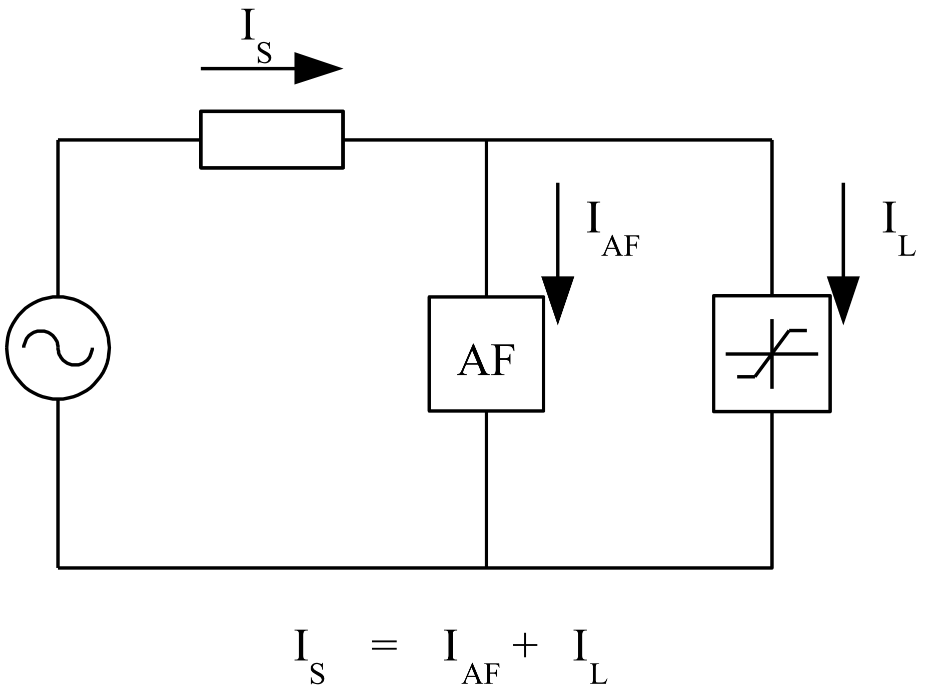
DETUNED FILTER DESIGN

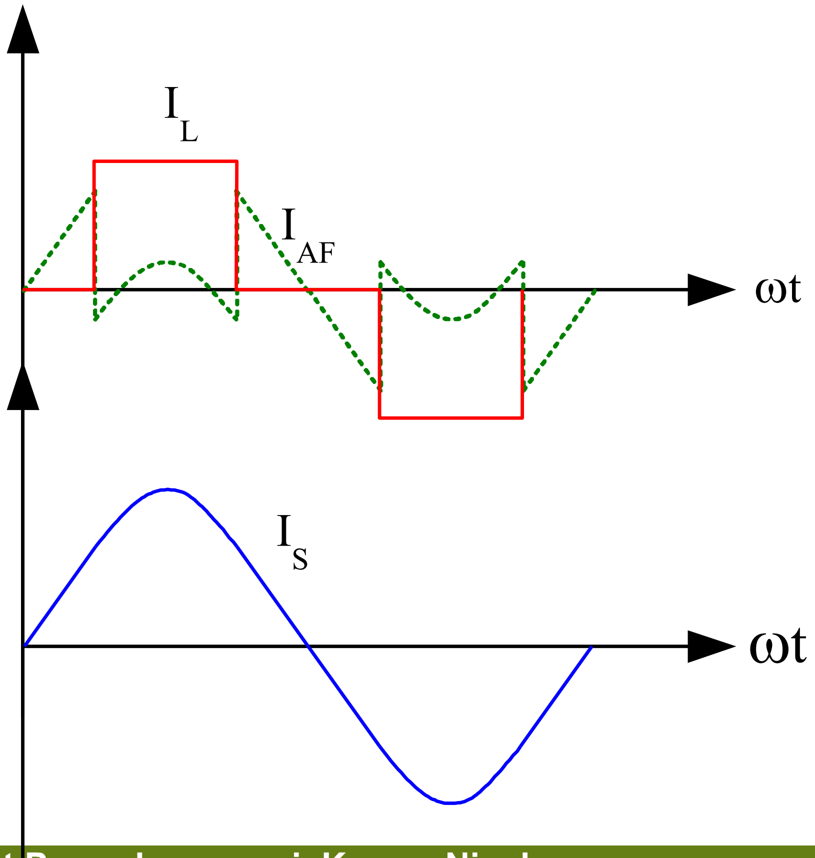
- พิจารณาความสามารถในการรับกระแสของคาปาซิเตอร์ในแต่ละขนาด

1. ขนาด 53.2kVAR 426V สามารถรับกระแสได้ 72.1A
2. ขนาด 60 kVAR 440V สามารถรับกระแสได้ 78.7 A
3. ขนาด 70 kVAR 480V สามารถรับกระแสได้ 84.2 A
4. ขนาด 75 kVAR 500V สามารถรับกระแสได้ 86.6 A
5. ขนาด 80 kVAR 525V สามารถรับกระแสได้ 87.9 A

เทคนิคการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกส์

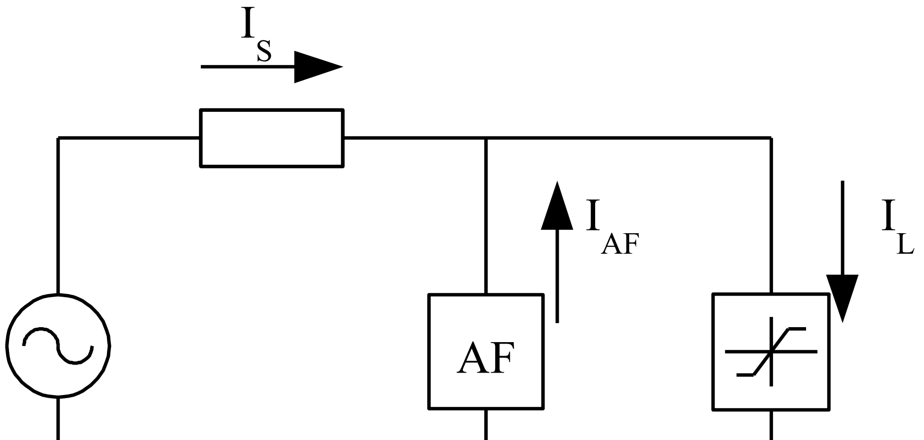
5. การชดเชยกระแสฮาร์มอนิก (Active Filter)



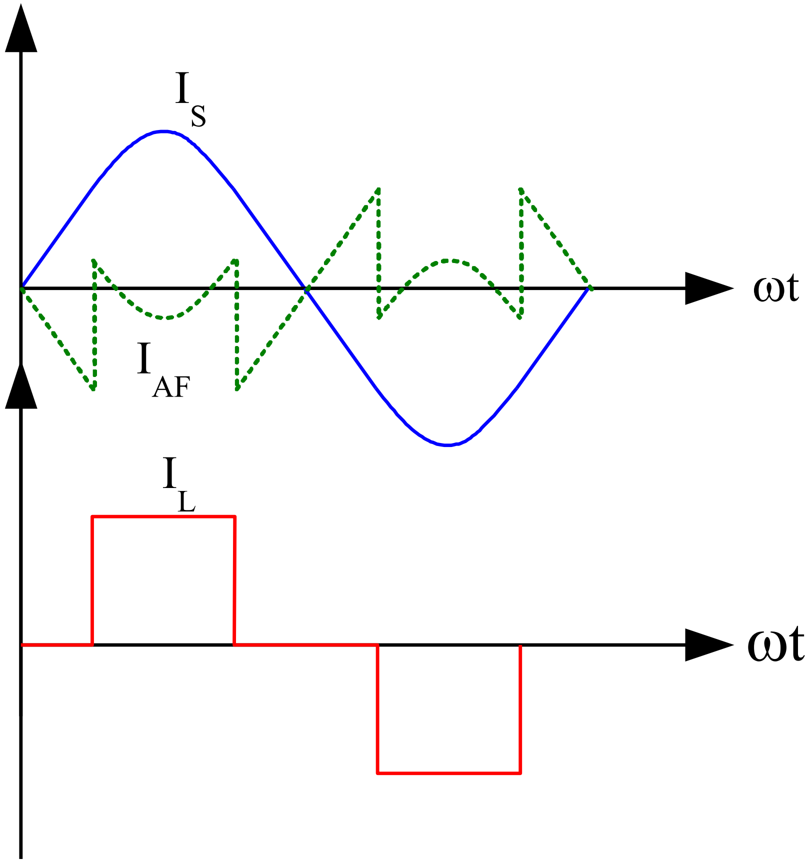


เทคนิคการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกส์

5. การชดเชยกระแสฮาร์มอนิก (Active Filter)



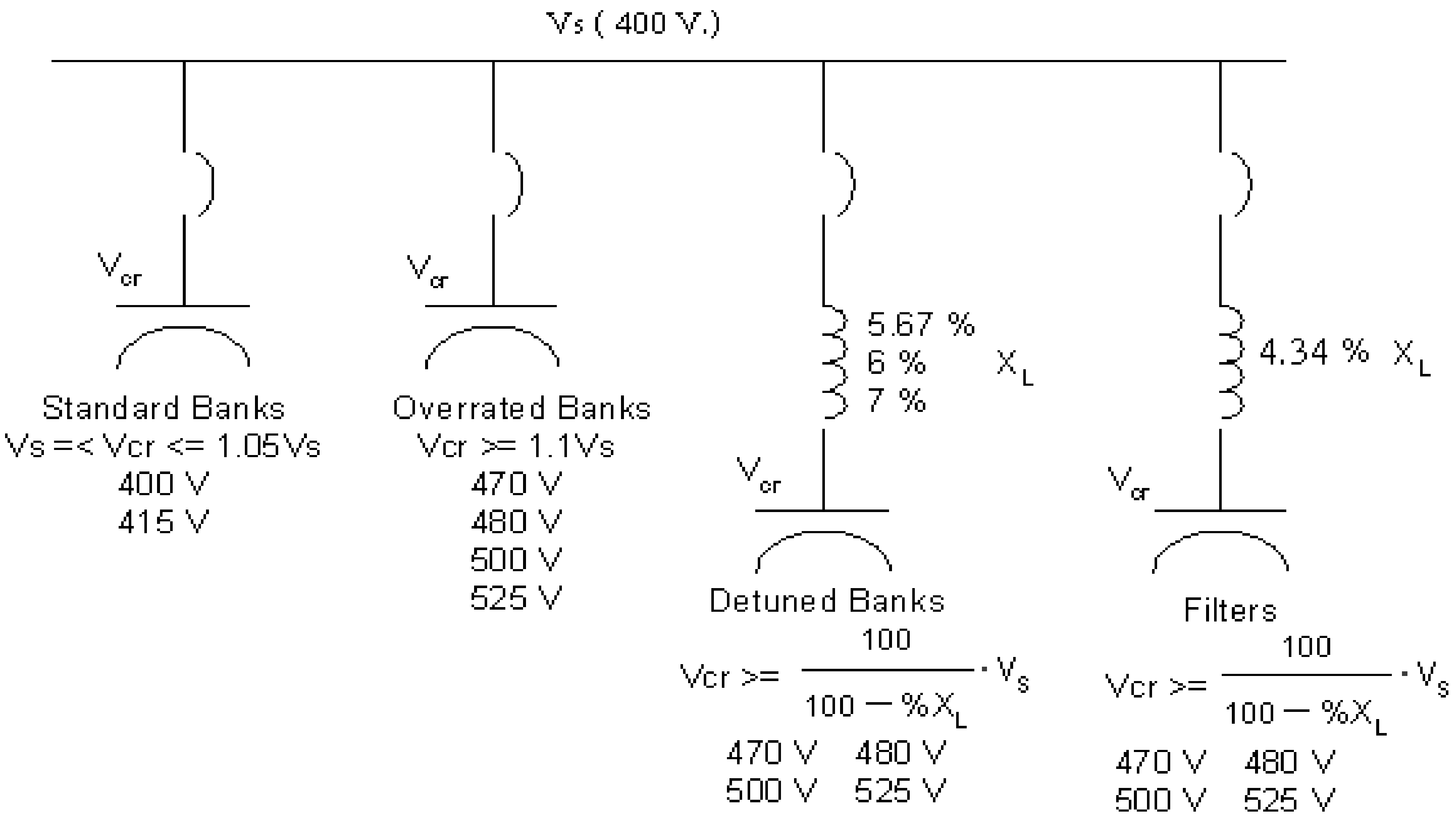
$$I_L = I_{AF} + I_S$$



การเลือก COMPENSATION BANKS

- Standard Capacitor Banks
- Overrated Capacitor Banks
- Detuned Capacitor Banks
  [Detuned Filters]
- Harmonic Filters

การเลือก COMPENSATION BANKS
(การเลือกแรงดันพิกัดของคาปาซิเตอร์)



Selection Diagram for Cap Bank and Harmonic Filter

Single Tuned Filter Definition [IEC 61642]

1. **Detuned Filter** : A filter with a tuning frequency more than 10% below the lowest harmonic frequency with considerable current / voltage amplitude.

2. **Tuned Filter** : A filter with a tuning frequency with differs by not more than 10% from the frequency with is to be filtered.

Detuned Filter Design

1. **Detuned Filter Unit**

   เช่นหน่วยละ 25 kVAr , 50 kVAr , 75 kVAr หรือ 100 kVAr เป็นต้น

2. **Detuned Filter Bank**

   เป็นชุดที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วย เช่น

   300 kVAr (6 x 50 kVAr)

   400 kVAr (8 x 50 kVAr) เป็นต้น

DETUNED FILTER BANK

1. Power factor controller
2. Contactor
3. Thermal relay
4. Reactor
5. Capacitor unit

พิจารณา ความสามารถในการรับกระแสใน capacitor แต่ละรุ่นและขนาด

1. ขนาด 53.2kVAR 426V สามารถรับกระแสได้ 72.1 A
2. ขนาด 60kVAR 440V สามารถรับกระแสได้ 78.7 A
3. ขนาด 70kVAR 480V สามารถรับกระแสได้ 84.2 A
4. ขนาด 75kVAR 500V สามารถรับกระแสได้ 86.6 A
5. ขนาด 80kVAR 525V สามารถรับกระแสได้ 87.98 A

ดังนั้น ถ้า reactor สามารถรับกระแสได้ 87.1A capacitor ควรจะรับกระแสได้ใกล้เคียงกัน ในที่นี้คือ ขนาด 80kVAR 525V ซึ่งสามารถรับกระแสได้ 87.98A

ถึงแม้ว่า capacitor unit จะสามารถทนกระแสเกินได้ 30% แต่ทางปฏิบัติแล้ว เมื่ออายุการใช้งานของ capacitor มากขึ้น การเสื่อมสภาพลงจะลดทอน ความสามารถในการทนกระแสเกินให้น้อยลงด้วย

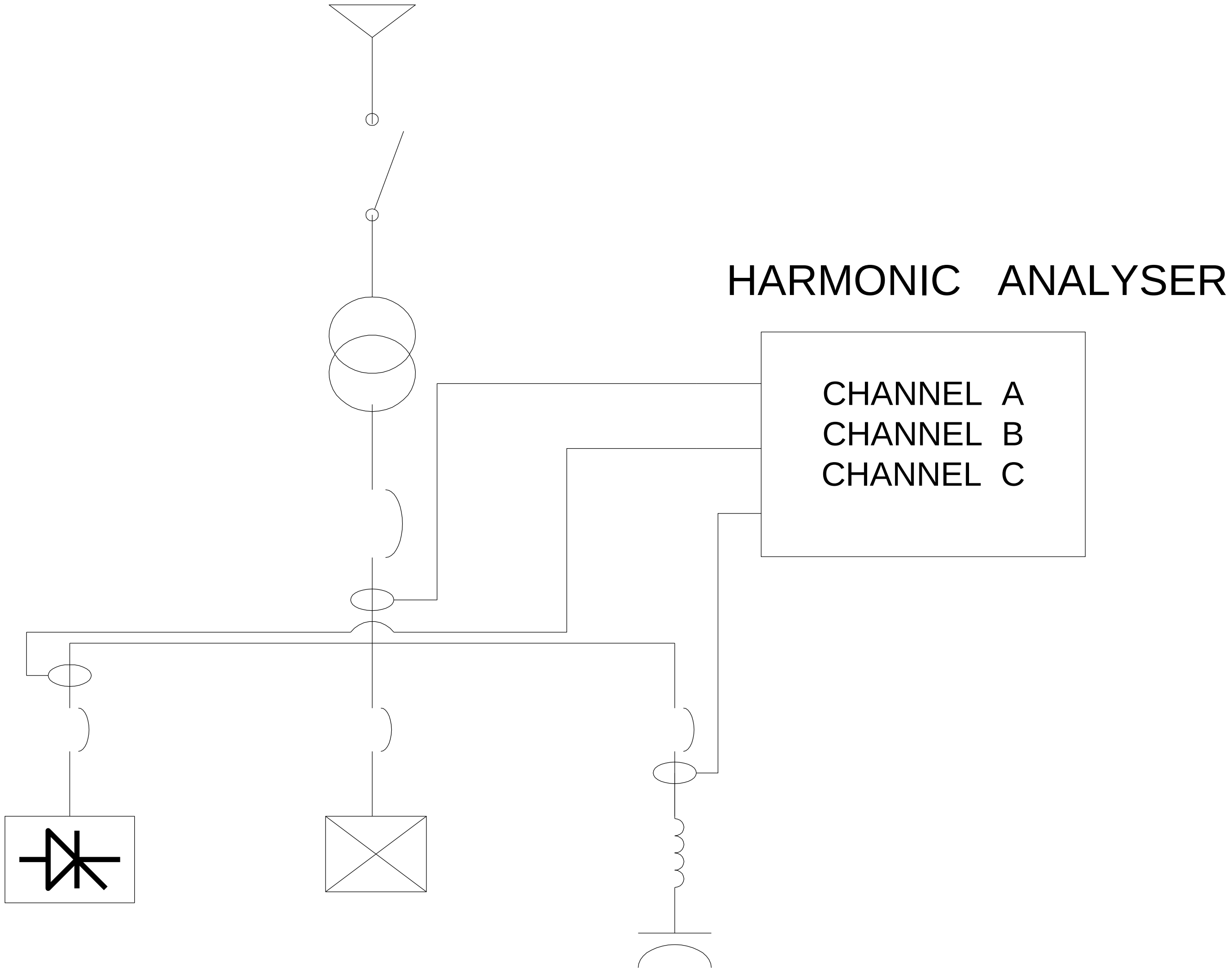
การใช้งานและการบำรุงรักษาชุดตัวกรองแบบดีจูน

- ห้ามใช้ในระบบที่มีแรงดันฮาร์มอนิกสูงเกินกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ
- ห้ามใช้ปนกับชุดคาปาซิเตอร์ธรรมดา
- ไม่ควรใช้ตัวกรองแบบดีจูนที่มีค่า $\%X_L$ ไม่เท่ากันผสมกัน

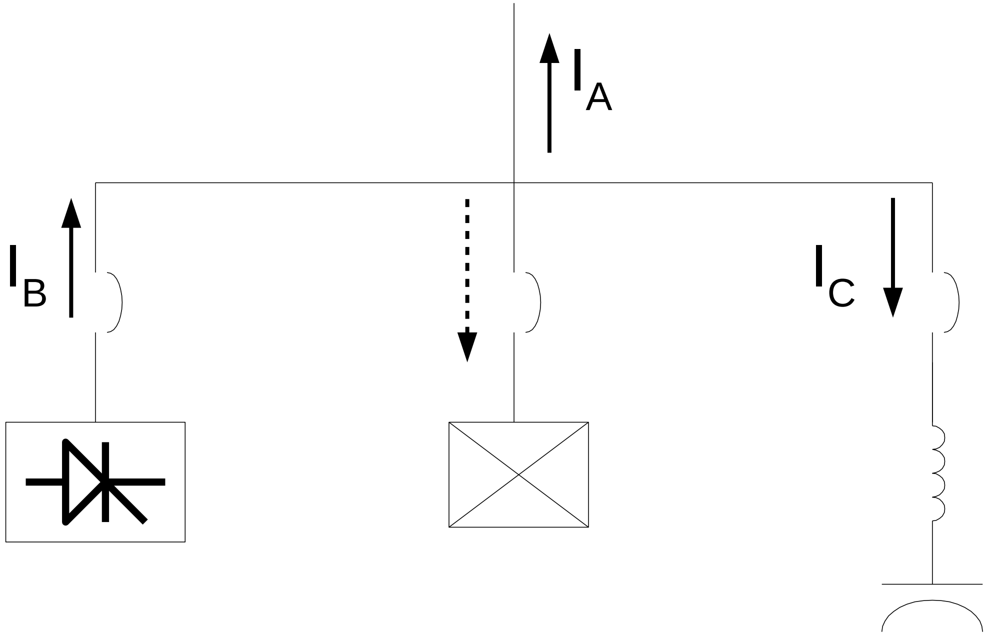
การใช้ชุดคาปาซิเตอร์ธรรมดาในระบบไฟฟ้าจะเกิดเรโซแนนซ์แบบขนานเสมอ จึงมีการขยายกระแสฮาร์มอนิกที่มีความถี่ใกล้เคียงความถี่เรโซแนนซ์ทำให้

- ชุดคาปาซิเตอร์ธรรมดารับกระแสเกินพิกัด
- ชุดตัวกรองแบบดีจูนอาจรับกระแสเกินพิกัด

การตรวจวัดสมรรถนะของตัวกรองแบบดีจูน



การตรวจวัดการใช้งานของตัวกรองแบบดีจูน



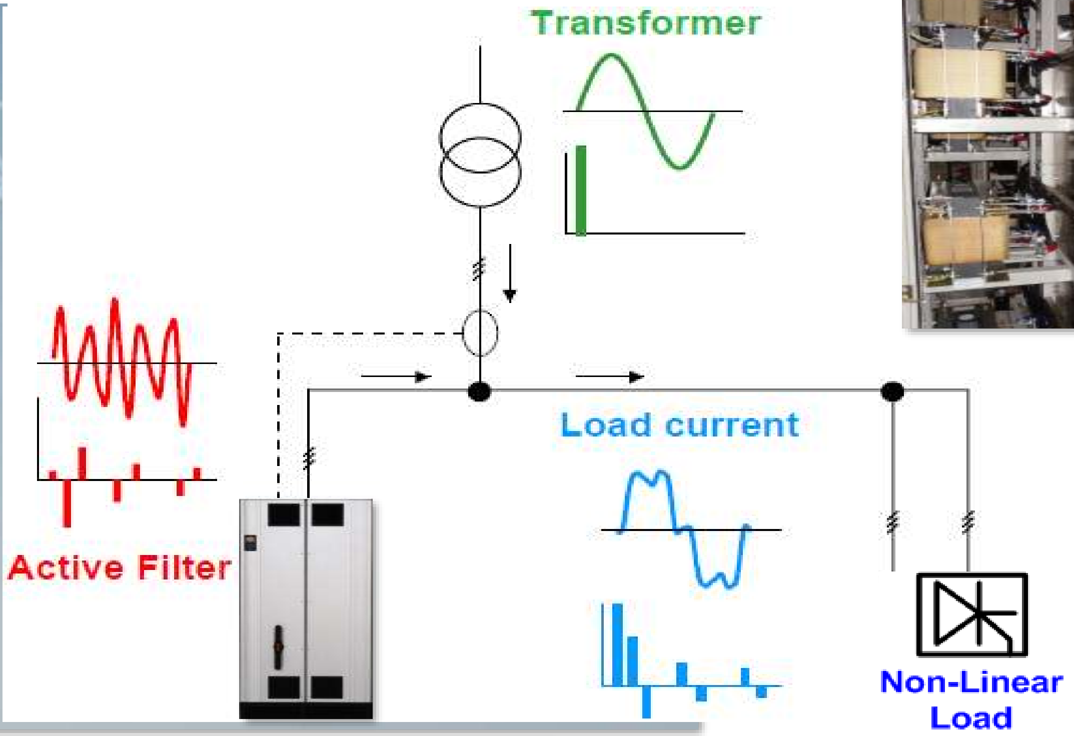
$$I_C \cong I_B - I_A$$

มีกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าสู่ระบบ

ไฟฟ้าบางส่วน [ทำงานปกติ]

Harmonic Filter

เพื่อคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดมีคุณภาพสูงสุด



ผลกระทบจากฮาร์มอนิกส์ที่มีผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ?

ปัญหาฮาร์มอนิกที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 กรณีคือ

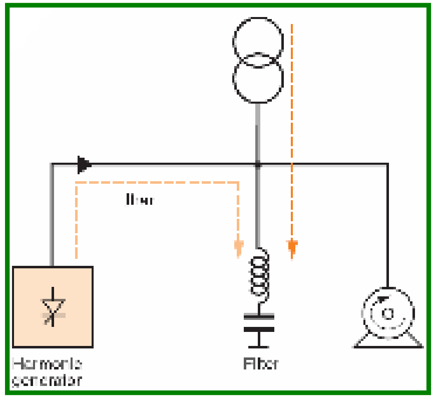
1. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก
2. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่า rms ของแรงดันหรือกระแส สูงขึ้น

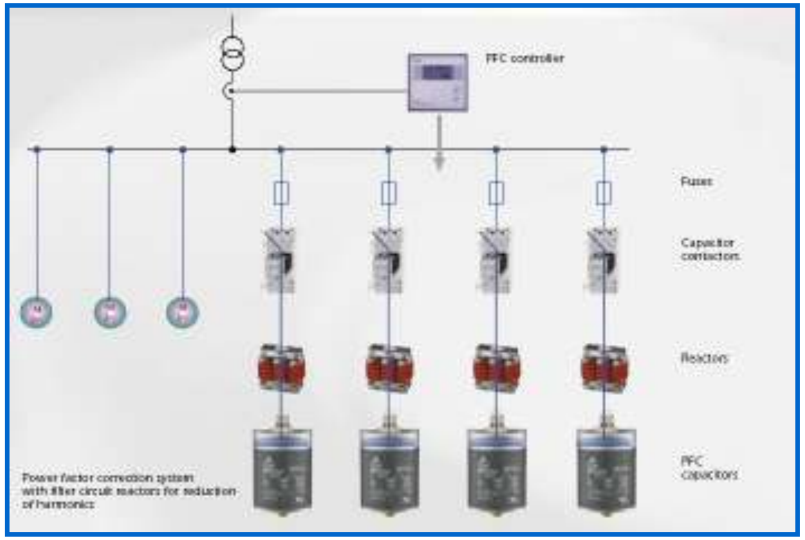
นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

- ระบบสายส่ง
- บัสบาร์และขั้วต่อ
- เครื่องจักรกลไฟฟ้า
- โหลดของผู้ใช้ไฟฟ้า
- ฟิวส์
- หม้อแปลงไฟฟ้า
- มาตรวัดไฟฟ้า
- เซอร์กิตเบรกเกอร์
- สายนิวตรอน
- แบงค์คาปาซิเตอร์
- แผงควบคุมและสวิตซ์เกียร์
- ระบบสื่อสาร

การลดฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า (Harmonics Mitigation)

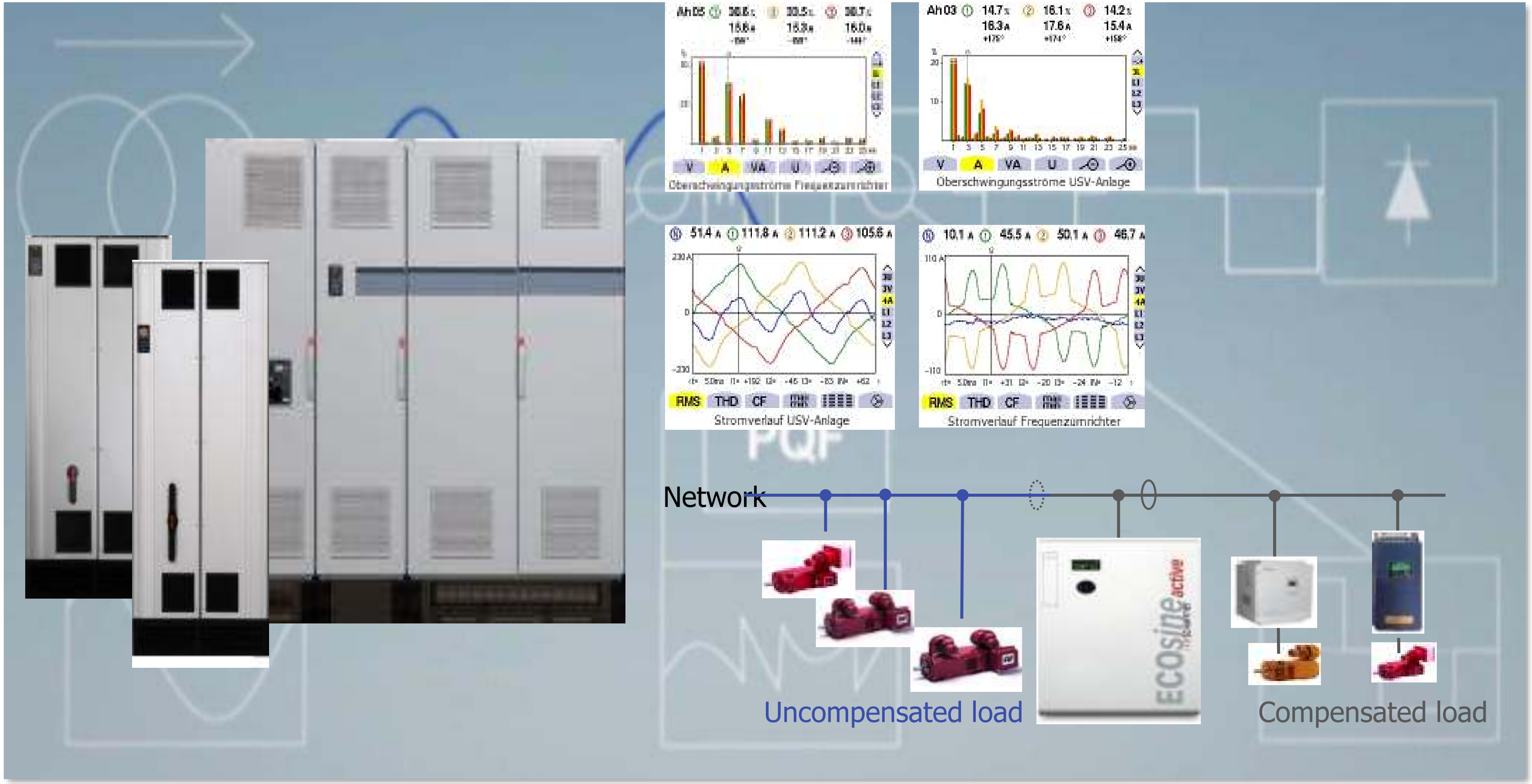
ดีจูนฟิลเตอร์ (Detuned Filter)





Active Harmonic Filter

เพื่อคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดมีคุณภาพสูงสุด



TUNED FILTER OR PASSIVE FILTER

ธัมรัต พรหมเพ็ญรังษี วฟก.818/ACPE 01242/TH

เลขาธิการสมาคมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไทย

อุปนายก สมาคมผู้ตรวจสอบอาคาร

กรรมการผู้จัดการ บริษัท นอร์ธพลัส จำกัด

เกษม นิลเจริญ สฟก.3734

ACUMEN CONSULTING (THAILAND)

การใช้ TUNED FILTER หรือ PASSIVE HARMONIC FILTER

- ประกอบไปด้วยตัวคาปาซิเตอร์ และชุดของรีแอกเตอร์
- มีหน้าที่กรองกระแสฮาร์มอนิกในอันดับที่ต้องการกรองออกจากระบบ
- จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟเข้าสู่ระบบ (เหมือนชุดคาปาซิเตอร์)

1. Power factor controller
2. Contactor
3. Thermal relay
4. Reactor
5. Capacitor unit

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบชุด PASSIVE FILTER

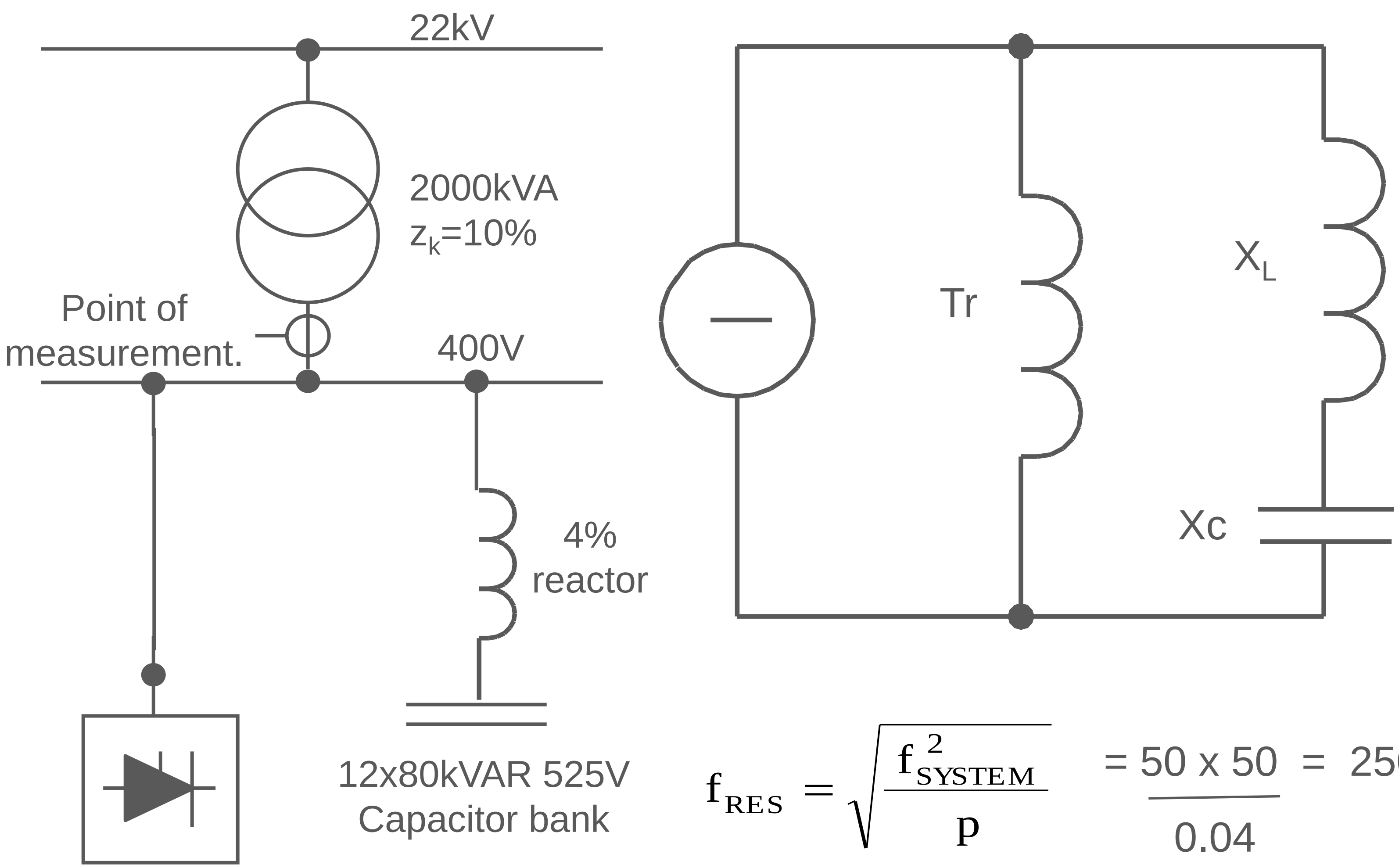
- ข้อมูลและเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ออกแบบ
  - ระดับแรงดันของระบบ เช่น 400V
  - ความต้องการ reactive power ของระบบ เช่น 300kVAR
  - กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง (kVA) และ %z
  - อันดับของฮาร์มอนิคที่ต้องการกรอง เช่น 5^{th}, 7^{th}, 11^{th},…
  - ข้อมูลของ capacitor bank เดิม
- ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิค (จำเป็น)

P (%) เป็นค่าความต้านทานของ reactor (X_R) เทียบกับค่าความต้านทานของ capacitor (X_C) โดย reactor จะนำมาต่ออนุกรมกับ capacitor

$$n_{rs} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = \sqrt{\frac{100}{\%X_L}}$$

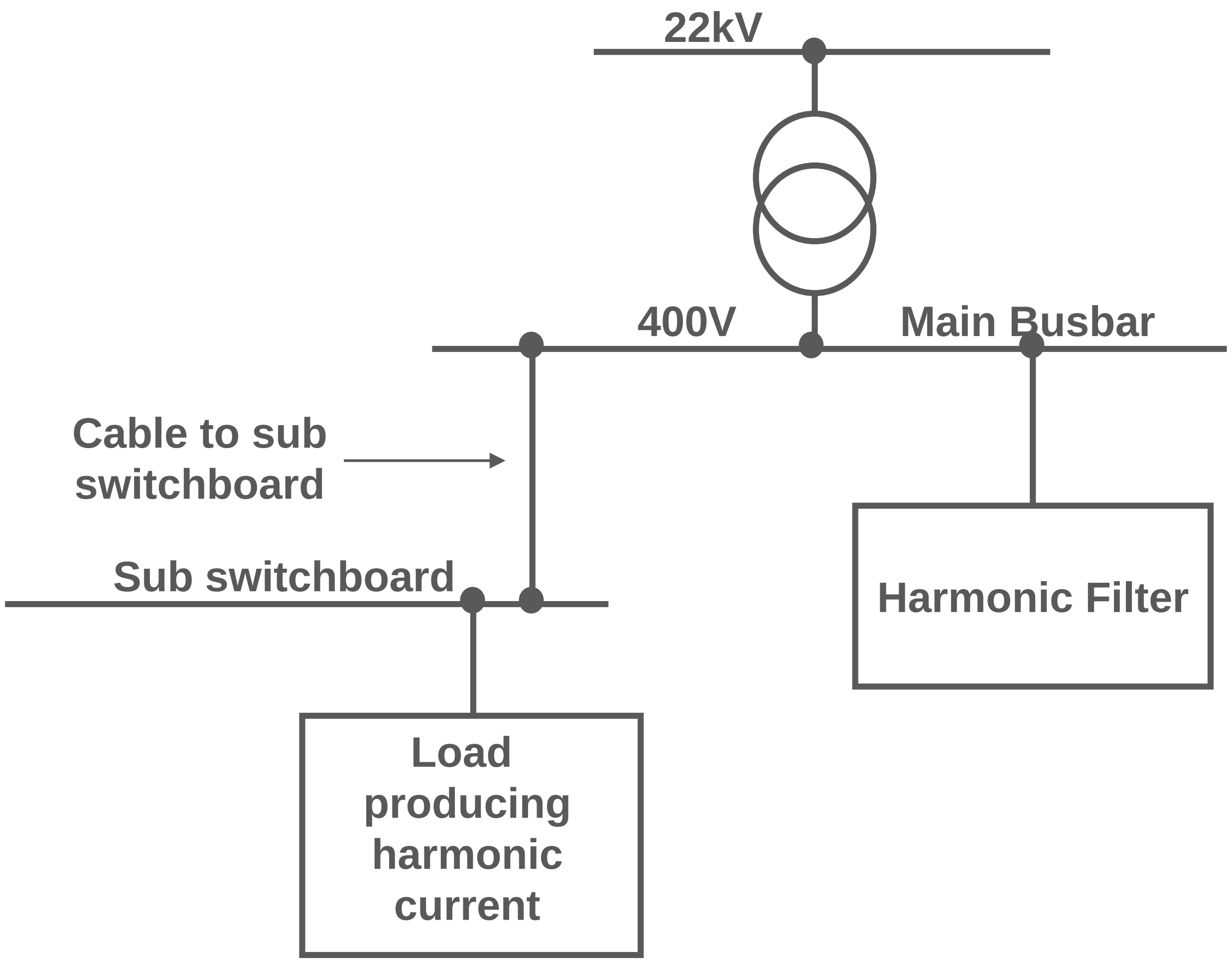
$\%X_L$	n_{rs}	f_{rs} (Hz)
11	3.0	150
4	5.0	250
2	7.0	350

SERIES RESONANCE FREQUENCY

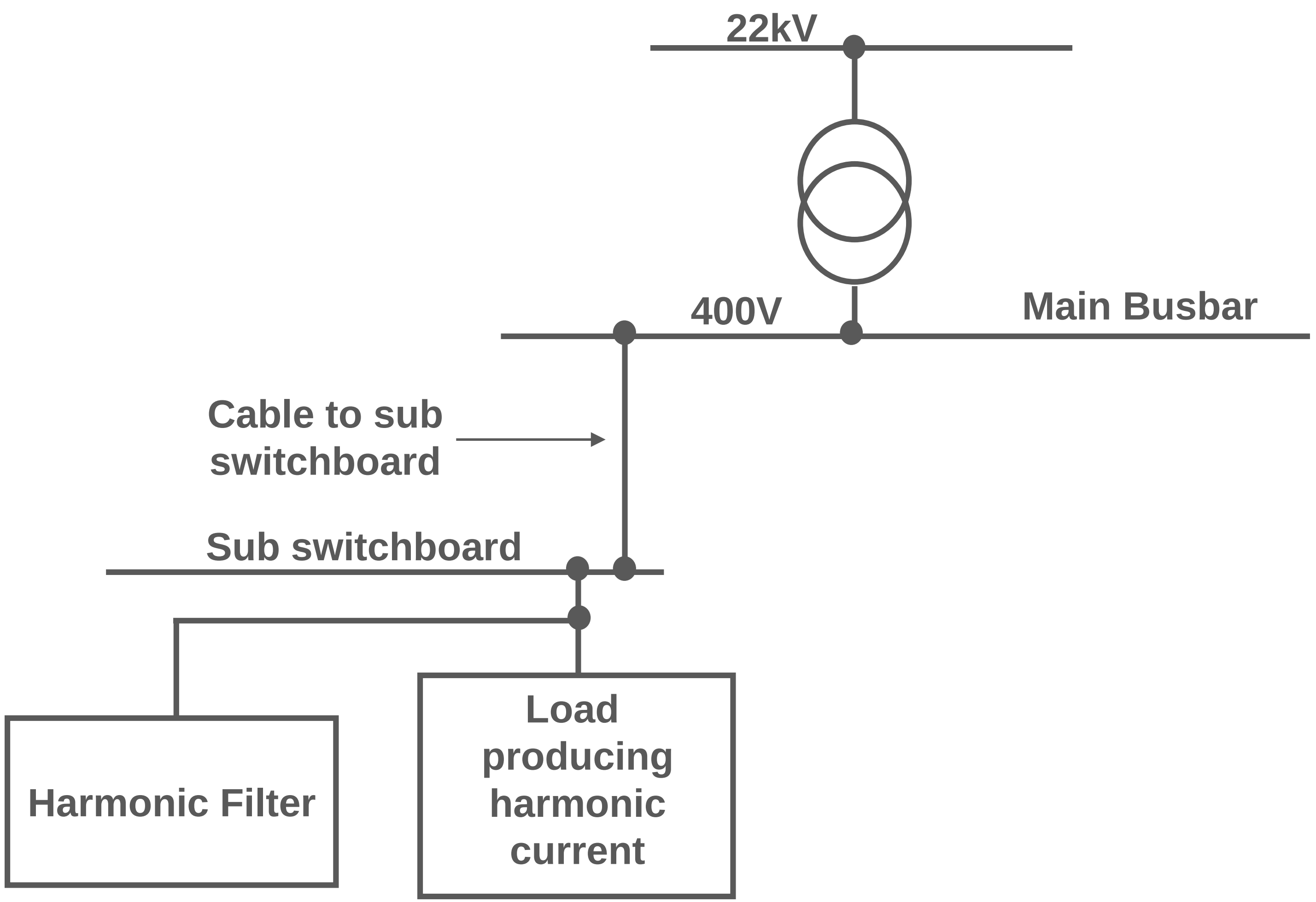


$$f_{RES} = \sqrt{\frac{f_{SYSTEM}^{2}}{p}} = \frac{50 \times 50}{0.04} = 250\ \text{Hz}$$

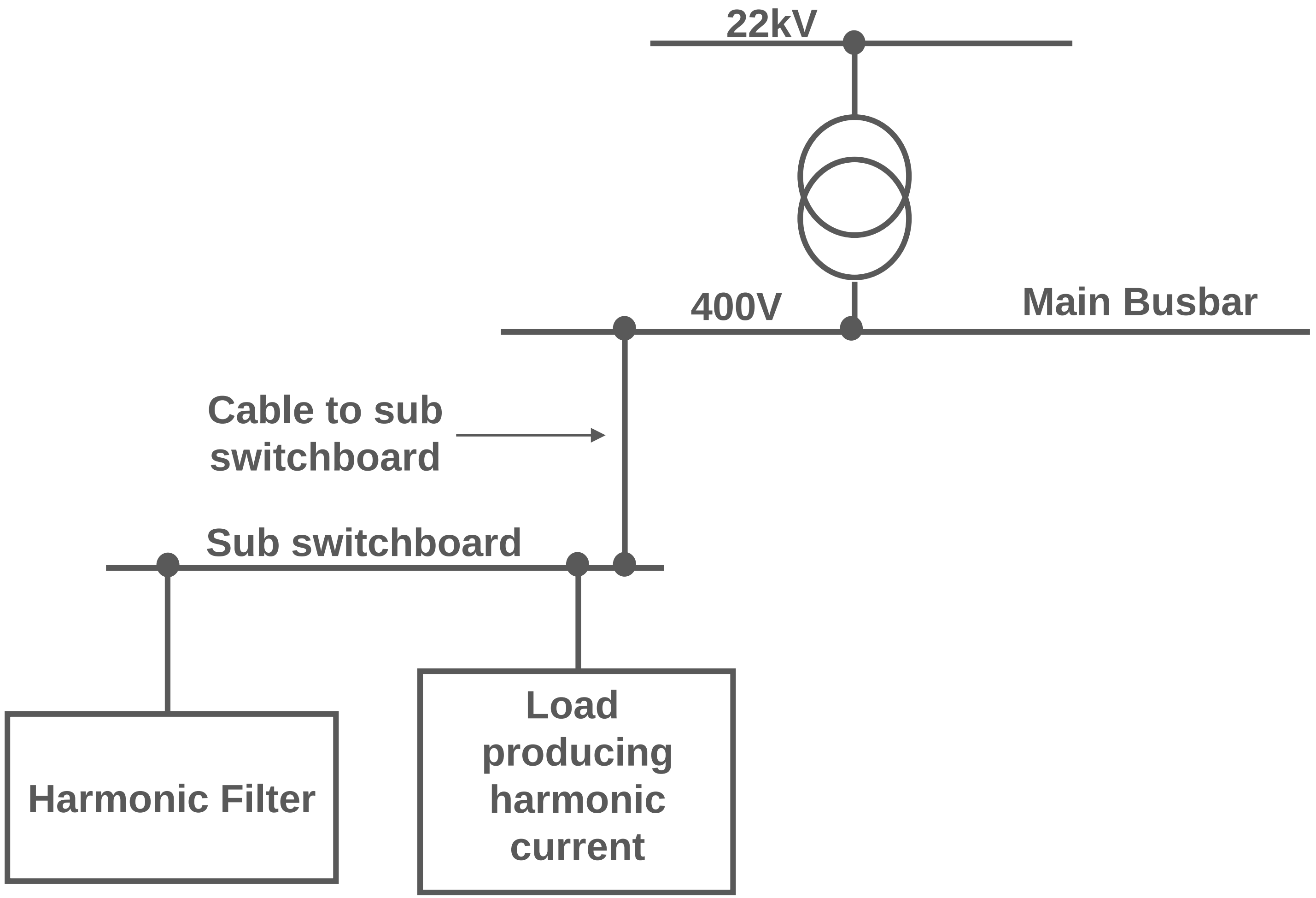
Harmonic filter in Main Busbar



Harmonic filter in Sub Switchboard



Harmonic filter paralleled with Load



ข้อจำกัดของการใช้ TUNE OR PASSIVE FILTER

- มีขีดจำกัดในการกรองกระแสฮาร์มอนิก ไม่เหมาะที่จะใช้กับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลง หรือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็ต้องไม่เกิน 10%
- ไม่สามารถติดตั้งบนบัสบาร์เดียวกันกับชุดคาปาซิเตอร์เดิมได้
- สามารถติดตั้งที่ตู้โหลดย่อยได้
- ยิ่งมี Step ในการต่อชุดฮาร์มอนิกเท่าไหร่ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น
- ไม่เหมาะสมกับโหลดที่มีฮาร์มอนิกหลายอันดับเกิดขึ้น

1. Power factor controller
2. Contactor
3. Thermal relay
4. Reactor
5. Capacitor unit

Special Thanks

IDEA fIELD
IDEA FIELD COMPANY LIMITED

NOKIAN CAPACITORS

END