



LEYSDEN

Tuned filter compensation technique

滤波补偿技术



莱思顿·中国

LEYSDEN TECHNOLOGY LIMITED



C 目 录 Contents



LEYSDEN

International
Frontier Technology



第一部分 无功功率补偿基础

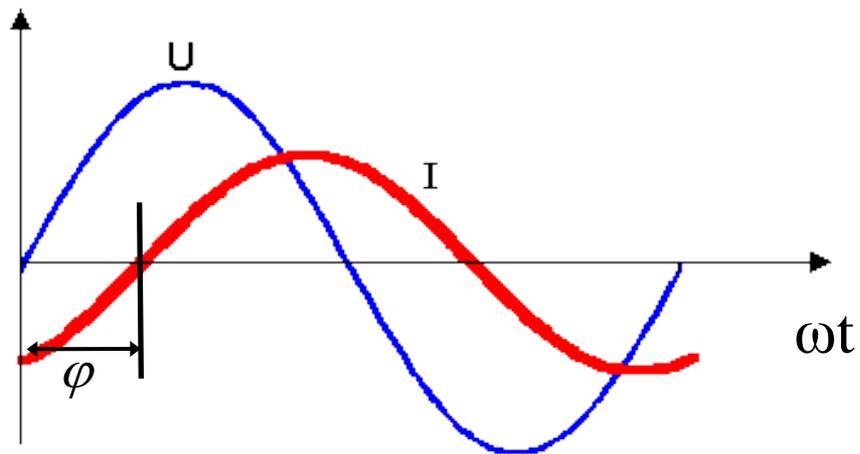
第二部分 合理的技术方案

第三部分 安装实用技术

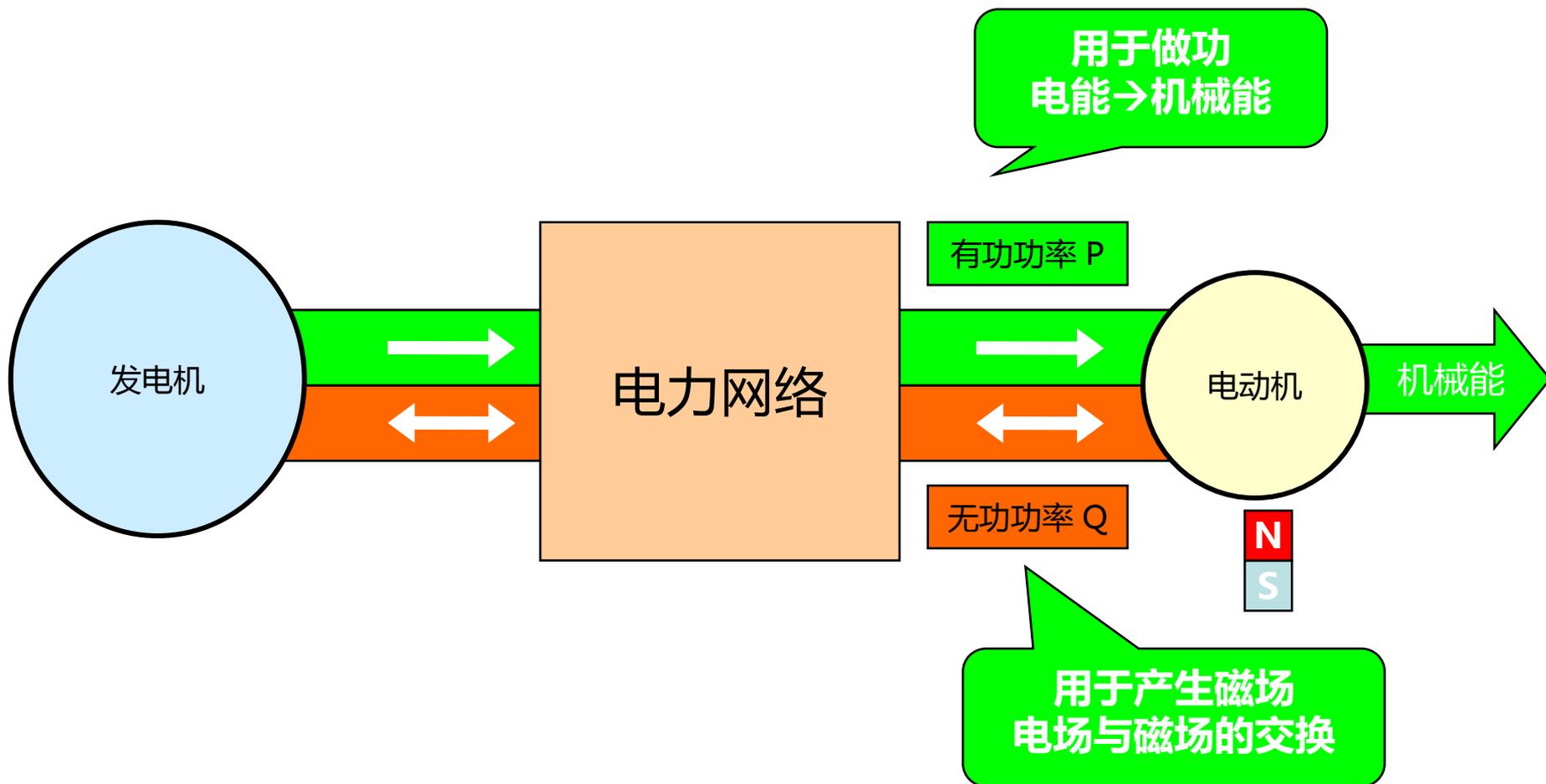
无功功率的定义

- 电压和电流之间的相移
 - 取决于负载。负载吸收超前或滞后于电压的电流。
- $\text{Cos } \varphi$
 - 我们称为相移功率因数。它表征了设备的电气效率。

$$0 \leq \text{Cos } \varphi \leq 1 \text{ (超前或滞后)}$$



有功功率和无功功率

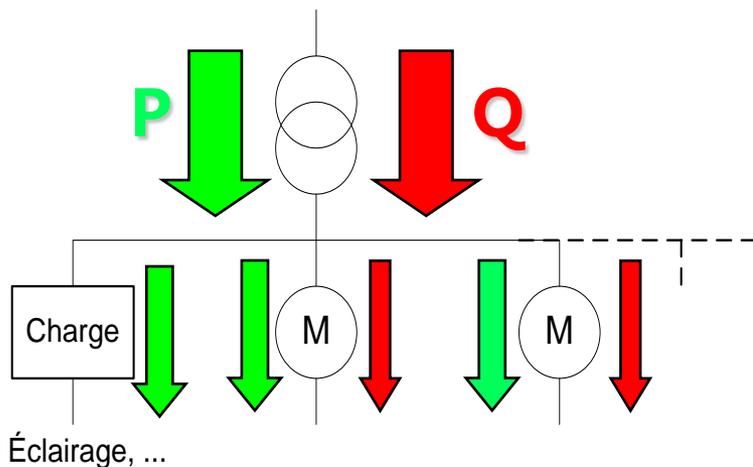


消耗无功功率的负载

- 消耗大量无功功率的电力设备
 - 电动机
 - 部分照明灯（钠灯.....）
 - 感应炉
 - 电弧炉
 - 焊接设备
 - 变压器
- 消耗少量无功功率的电力设备
 - 变频器
 - 白炽灯
 - 卤灯
 - 整流器

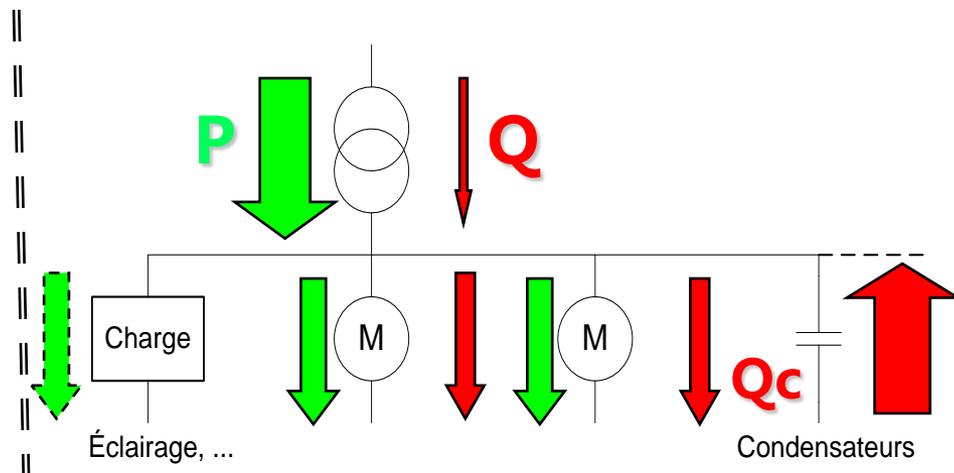
补偿无功功率对终端用户的好处

• 没有无功功率补偿



- 视在功率大于有功功率
- 无功功率全部由电网提供
- 输配电变压器过载
- 用户被罚款

• 具有无功功率补偿



- 减少了无功功率传输
- 无功功率由电容器提供
- 变压器释放出更多容量
- 减少了电网损耗
- 无罚款

客户受益

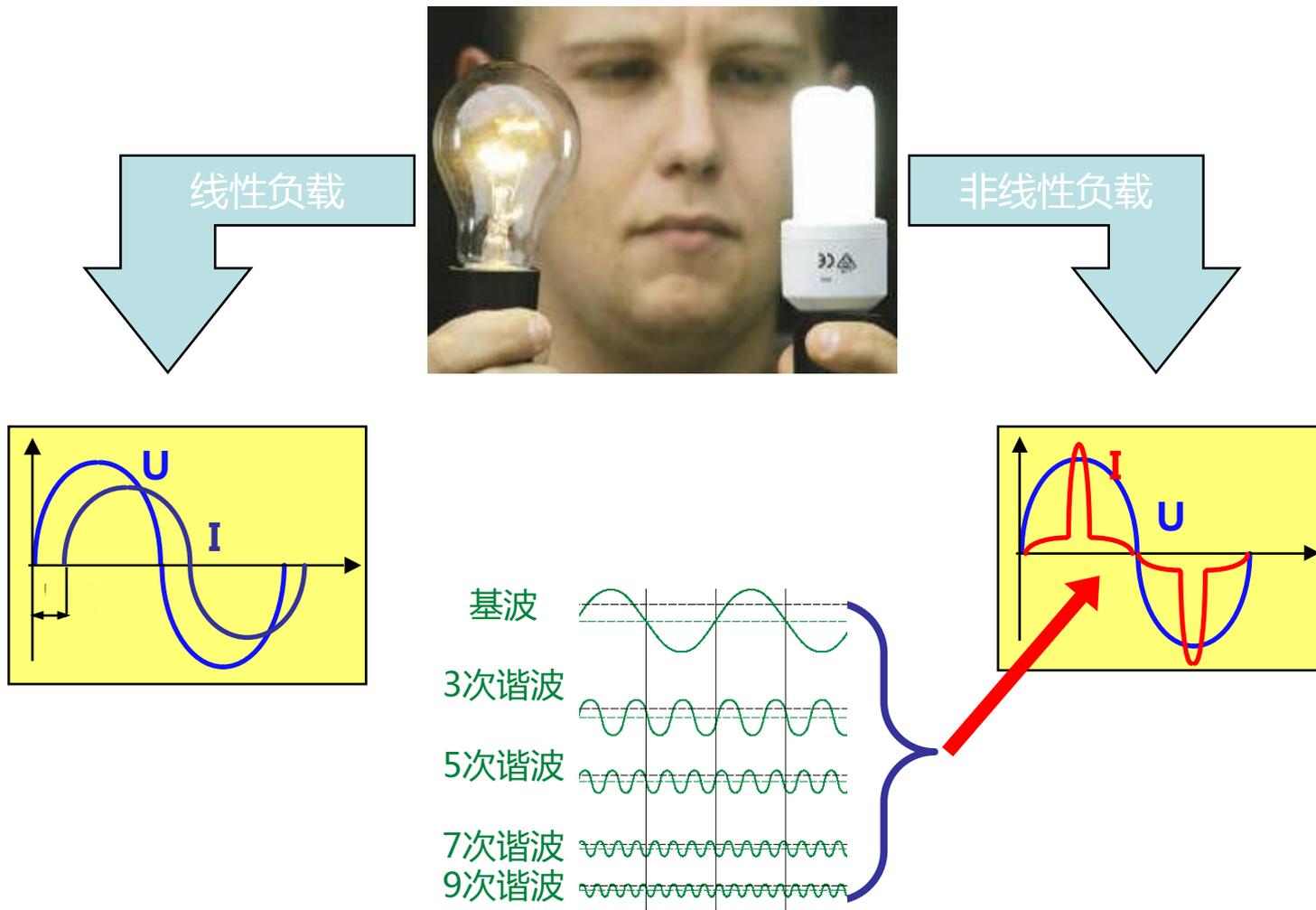


- 无功功率补偿和消谐可以节能：变压器（电力设备）能够最大效率工作，降低电网损耗

	变压器容量 (kVA)				
Cos Phi	250	400	630	1000	1600
0.5	125	200	315	500	800
0.7	175	280	441	700	1120
0.9	225	360	567	900	1440
0.95	238	380	598.5	950	1520

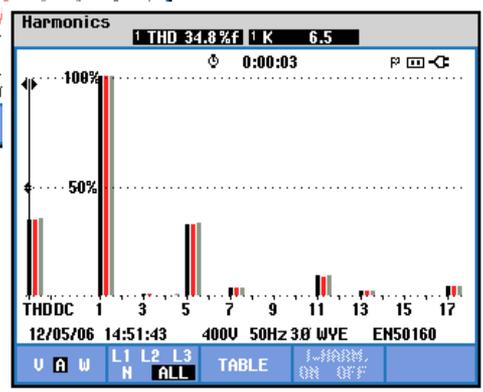
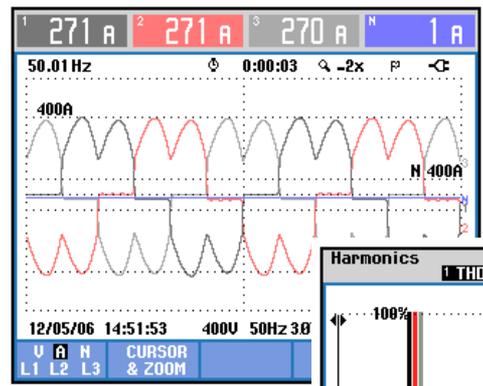
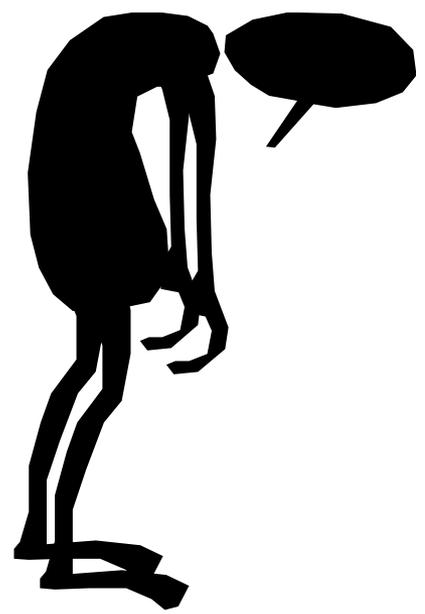
- 无功功率补偿能够减少电压损失，避免电网过载，以使用户在设备选型时不必放大设备容量
- 无功功率补偿可以降低成本：消除因无功功率损耗过高而导致的罚款

什么是谐波？



谐波对无功补偿的影响

- 电容器可能造成谐波放大，加剧谐波污染程度
- 产生谐振
- 谐波导致电容器过载，产生发热或烧毁
- 造成电容器乏值降低，缩短电容器寿命



无功补偿基础知识要点

- 一些负载需要消耗无功功率
- 无功功率占用电源容量，增加电能损耗
- 无功功率降低功率因数，引起无功罚款

- 无功功率补偿可以提高功率因数，避免无功罚款
- 无功功率补偿可以减少设备容量，提高电源利用率
- 无功功率补偿可以减低损耗实现节能降耗
- 无功功率补偿可以稳定电压，提高电能质量

- 谐波干扰无功补偿电容器正常运行
- 无功补偿电容器加剧谐波污染
- 无功补偿必需考虑谐波污染



确定技术方案的步骤

- 计算无功功率安装容量
- 确定电容器组安装位置
- 根据电气参数（电压、谐波）和温度条件确定电容类型
- 确定电容器控制方式



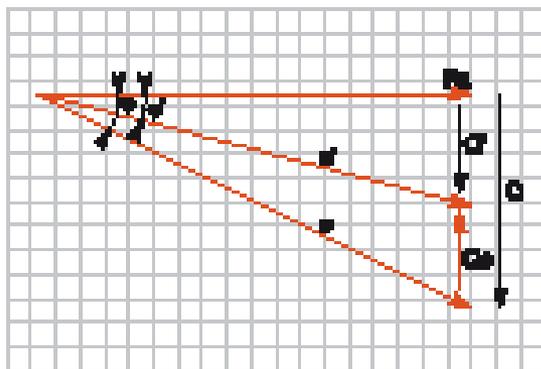
计算无功功率安装容量

- 无功功率安装容量可依据下列数据之一计算：
 - 功率估算（新建工程）
 - 电气帐单
 - 测量数据

kvar installation calculation table

Before compensation		Capacitor power in kvar to be installed per kW of load to increase the power factor (cos φ) or tan φ to a given value														
tg φ	cos φ	tg φ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.08	
		cos φ	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1	
1.33	0.60	0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334		
1.30	0.61	0.549	0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299		
1.27	0.62	0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265		
1.23	0.63	0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233		
1.20	0.64	0.450	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200		
1.17	0.65	0.419	0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169		
1.14	0.66	0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138		
1.11	0.67	0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108		
1.08	0.68	0.329	0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079		
1.05	0.69	0.299	0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049		
1.02	0.70	0.270	0.420	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020		
0.99	0.71	0.242	0.392	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992		
0.96	0.72	0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963		
0.94	0.73	0.186	0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936		
0.91	0.74	0.159	0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909		
0.88	0.75	0.132	0.282	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882		
0.86	0.76	0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855		
0.83	0.77	0.079	0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829		
0.80	0.78	0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803		
0.78	0.79	0.026	0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776		
0.75	0.80		0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750		
0.72	0.81		0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724		
0.70	0.82		0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698		
0.67	0.83		0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672		
0.65	0.84		0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645		
0.62	0.85		0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620		
0.59	0.86			0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593		
0.57	0.87			0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567		
0.54	0.88			0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538		
0.51	0.89			0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512		
0.48	0.90				0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484		

Calculation of the reactive power to be installed



Capacitor schematic diagram:
 $Q_c = P \tan \varphi$

计算无功功率安装容量 示例

- 设备消耗的有功功率为462kW , $\cos \varphi = 0.8$
- 目标功率因数 $\cos \varphi = 0.93$ 或 $\tan \varphi = 0.4$
- 查表

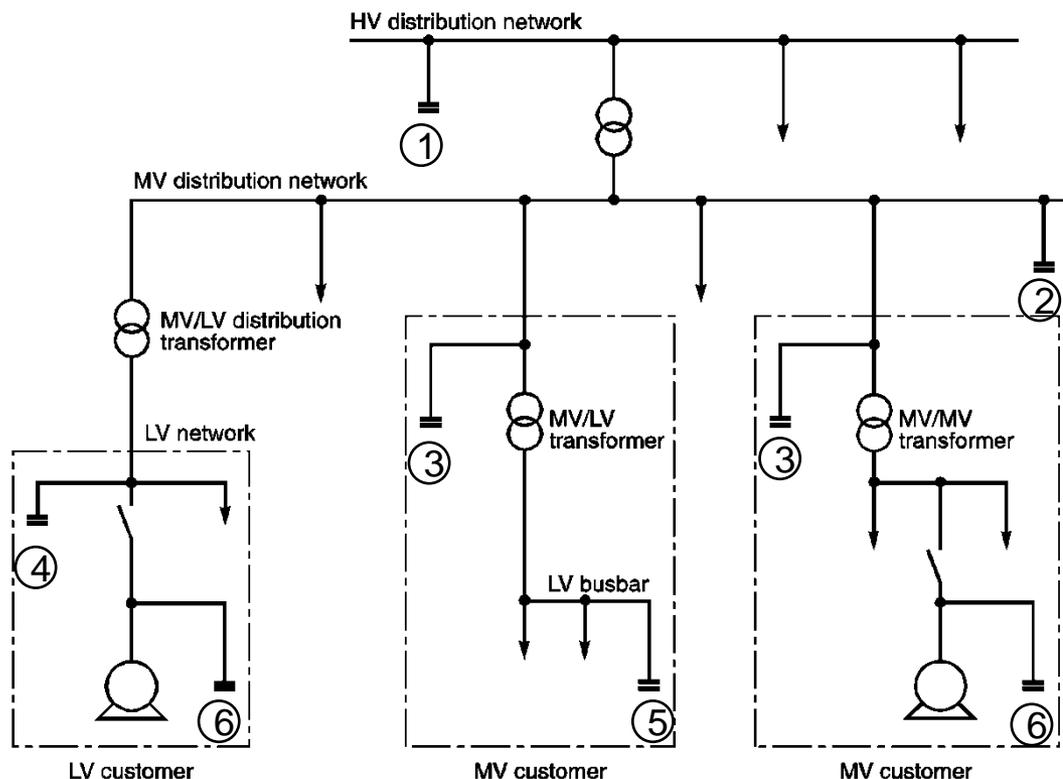
Before compensation		Capacitor power in kvar to be installed per kW of load to increase the power factor ($\cos \varphi$) or $\tan \varphi$ to a given value													
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.08
		$\cos \varphi$	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750

- 无功功率最小安装容量

$$Q_{cmin} = 462 * 0,355 = 164 \text{ kvar}$$



电容器的安装位置，如何安装电容器？



1. 高压电容器组安装于输电网
2. 中压电容器组安装于配电网
3. 中压电容器组安装于终端用户电网
4. 低压电网固定补偿或自动补偿电容器组
5. 低压电容器柜
6. 中压电容器组用于无功功率补偿

三

根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

- 环境条件
 - ①户内/户外安装 ②最小/最大/平均温度 ③平均相对湿度 ④辐射⑤凝露
 - ⑥...
- 活跃的化学物质
- 分辩谐波源负载

变频器、整流器、UPS等，向电网注入谐波电流



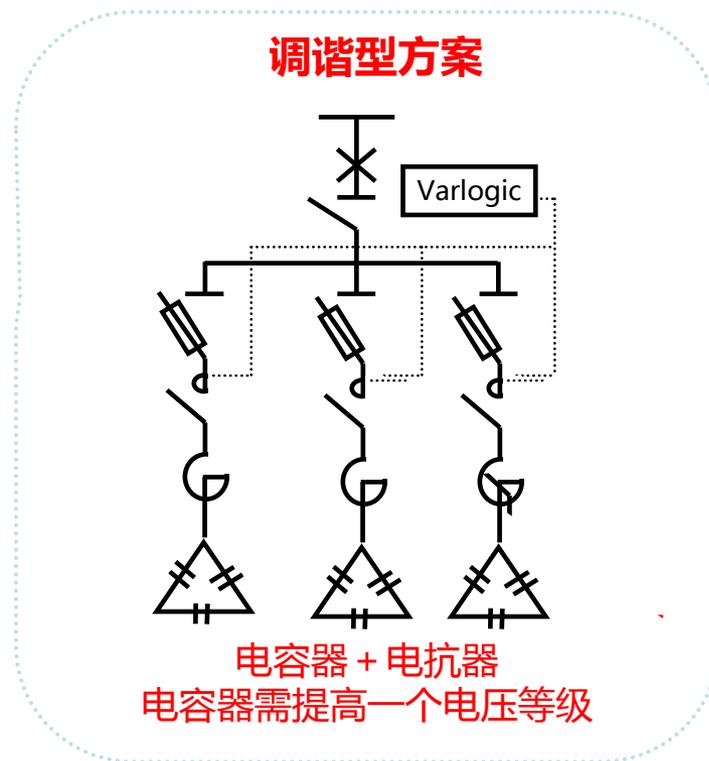
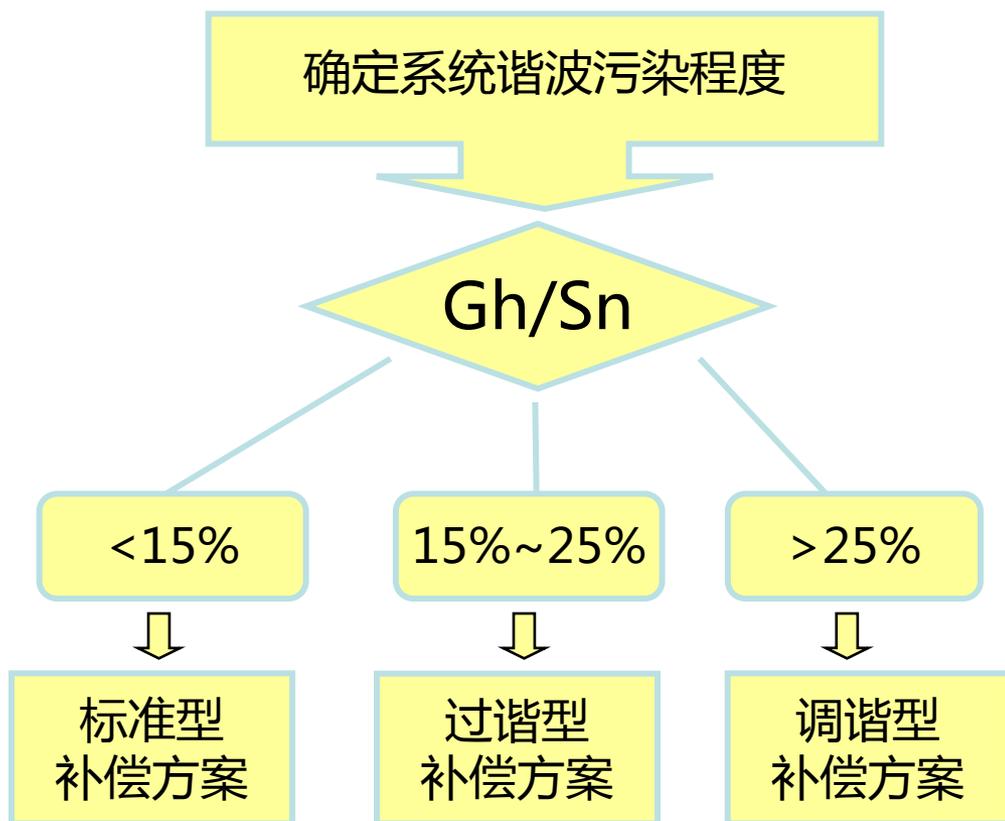
谐波电流使电容器过载
使电容器加速/过早老化



选择适当的电容器是必要的

三 根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 基本的选型原则



三

根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 基本的选型原则 示例

- 目标：确定案例中补偿设备类型
- 变压器容量为800kVA
- 负载中有变频器，功率为132kVA
- 应选择哪种补偿设备？

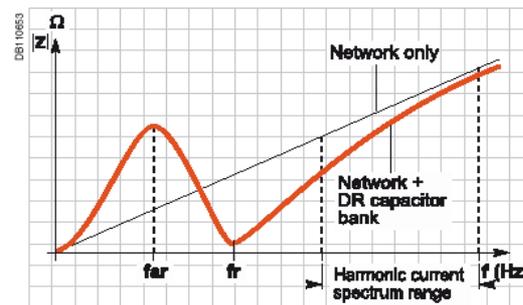
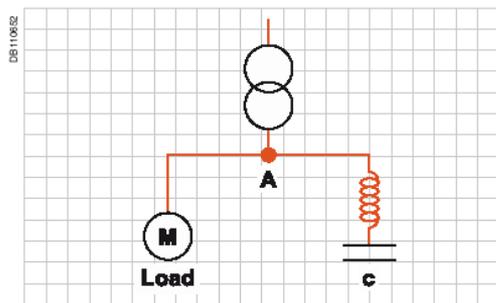
$$Gh/S_n = 132/800 = 16\%$$

过谐波型补偿

三

根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 如果选择调谐补偿方案（ $G_h/S_n > 25\%$ ）



Curve: impedance module at point A

★ 谐波的影响

● 对电容器的影响

- 大量谐波电流的危害
 - 过载
 - 温升
 - 加速老化

● 对纯电容补偿电网的影响

- 谐波放大，产生谐振现象

★ 采用调谐电抗器的意义

- 消除大量谐波电流对电容的危害
- 调谐电抗器抑制谐波电流流入系统
- 例：
 - 抑制5次、7次谐波通常使用的调谐频率为215Hz（工频为50Hz）
 - 抑制3次谐波通常使用的调谐频率为135Hz（工频为50Hz）

三

根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 如果选择调谐补偿方案（ $G_h/S_n > 25\%$ ）

★ 调谐电抗器如何选型？

电抗率 K 与调谐频率 f_r 及调谐次数 n 的关系

$$f_r = \frac{50}{\sqrt{K}} \quad n = \frac{f_r}{50} \quad (50 \text{ 为工频频率})$$

- ◆ 调谐电抗器可以抑制谐波放大，保护电容器
- ◆ 电容器组中电抗器的调谐频率应低于电网中设备产生的最低次谐波的频率

◆ 在以单相负荷为主的建筑行业：应在电容器前端串接电抗系数为14%（ $f_{res}=134\text{Hz}$ ）的电抗器，以抑制3次及以上谐波发生谐振和谐波放大，实现安全补偿

◆ 在以三相负荷为主的工业行业：应在电容器前端串接电抗系数为7%（ $f_{res}=89\text{Hz}$ ）的电抗器，以抑制5次及以上谐波发生谐振和谐波放大，实现安全补偿

针对三次谐波

调谐频率 f_r	调谐次数 n	电抗率 K
135 H_z	2.7	13.70%
190 H_z	3.8	6.92%
215 H_z	4.3	5.40%

针对五次谐波

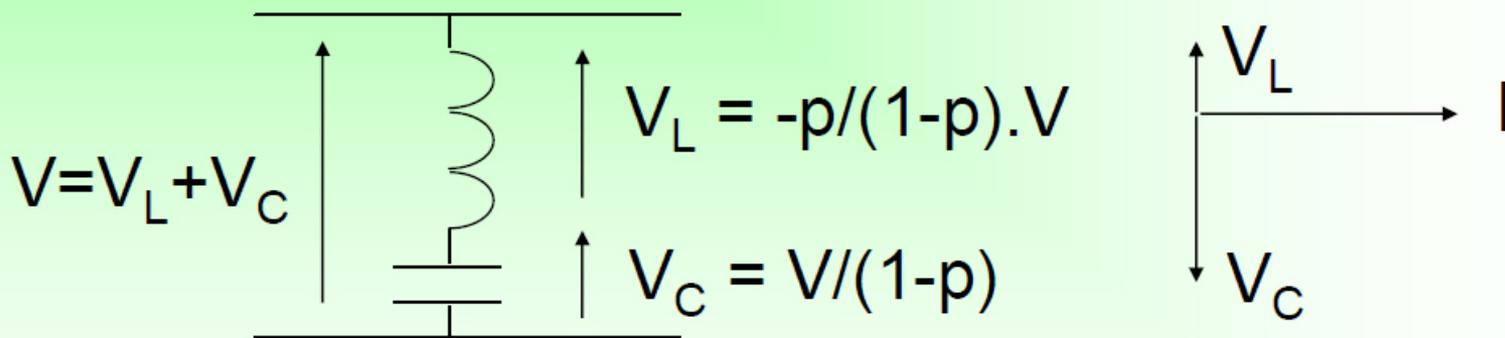


根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 如果选择调谐补偿方案（ $G_h/S_n > 25\%$ ）

★ 如何选择电容器电压？

电抗器保护电容器--电容器增压

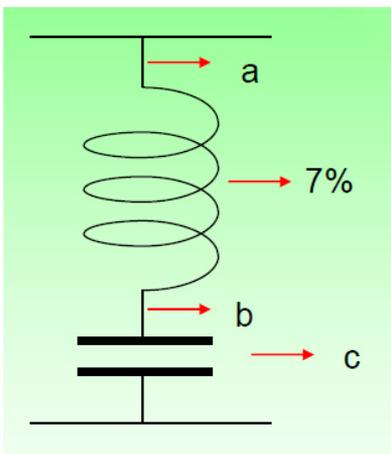


三

根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 如果选择调谐补偿方案（ $G_h/S_n > 25\%$ ）

★ 如何选择电容器电压？【例：400V, 50KVar, P7或P14】



电抗系数为P7时, $V_a = 400V, Q_a = 50KVar,$

$$V_b = 400V / (1 - 0.07) = 430.1V$$

考虑到电网电压波动，及一部分谐波流入电容器组造成的电容器工作电压提升，电容器组耐压（ V_c ）可以选定为 $V_b * 1.1$

$$V_b * 1.1 = 430.1V * 1.1 = 473.11V$$

电抗系数为P14时, $V_a = 400V, Q_a = 50KVar,$

$$V_b = 400V / (1 - 0.14) = 465.12V$$

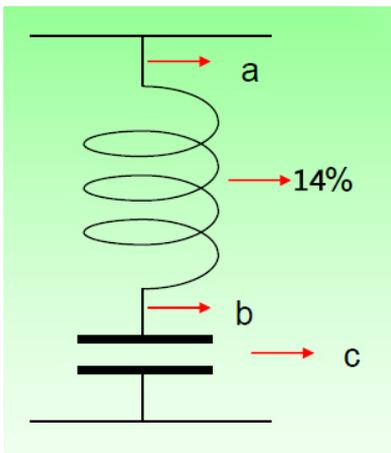
考虑到电网电压波动，及一部分谐波流入电容器组造成的电容器工作电压提升，电容器组耐压（ V_c ）可以选定为 $V_b * 1.1$

$$V_b * 1.1 = 465.12V * 1.1 = 511.63V$$

★ 总之，电容器的额定电压必须高于系统电压

★ 因而，400/440V标准电容器不能与电抗器串联使用

★ 不遵循规则而安装电容器的任何尝试都是很危险的

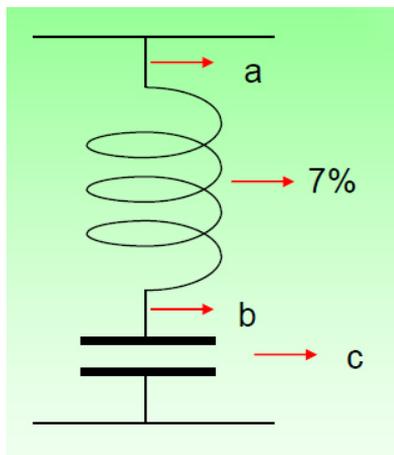




根据电气参数（电压，谐波）和温度条件确定电容器类型

● 如果选择调谐补偿方案（ $G_h/S_n > 25\%$ ）

★ 如何选择电容器电压？【例：400V, 50KVar, P7或P14】



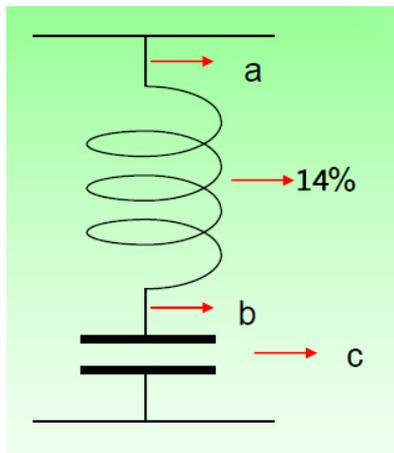
依据上述分析

电抗系数为P7时，我们选定 $V_c = 480V$

$$Q_c = (V_c/V_a)^2 * Q_a * (1 - 0.07) = (480/400)^2 * 50KVar * 0.93 = 66.96KVar$$

电抗系数为P14时，我们选定 $V_c = 525V$

$$Q_c = (V_c/V_a)^2 * Q_a * (1 - 0.14) = (525/400)^2 * 50KVar * 0.863 = 74KVar$$



LEYSDEN产品方面

电抗系数为P7时，选择LDCR33.4/480F3电容器2只，及LDTRS67/480-7电抗器1只（即滤波补偿组件LSDFC67/480-7）

电抗系数为P14时，选择LDCR37/525F3电容器2只，及LDTRS74/525-14电抗器1只（即滤波补偿组件LSDFC74/525-14）

四 确定电容器控制方式

- 电容补偿容量 $\leq 15\% S_n$ (变压器容量)

可以采用固定补偿：无需调节

- 电容补偿容量 $> 15\% S_n$ (变压器容量)

电容器组自动补偿

- 示例：确定案例中电容器组补偿方式
- 进线变压器容量为800kVA。
计算的用户电容器组补偿容量为210kvar
- 电容器组应采用哪种补偿方式？

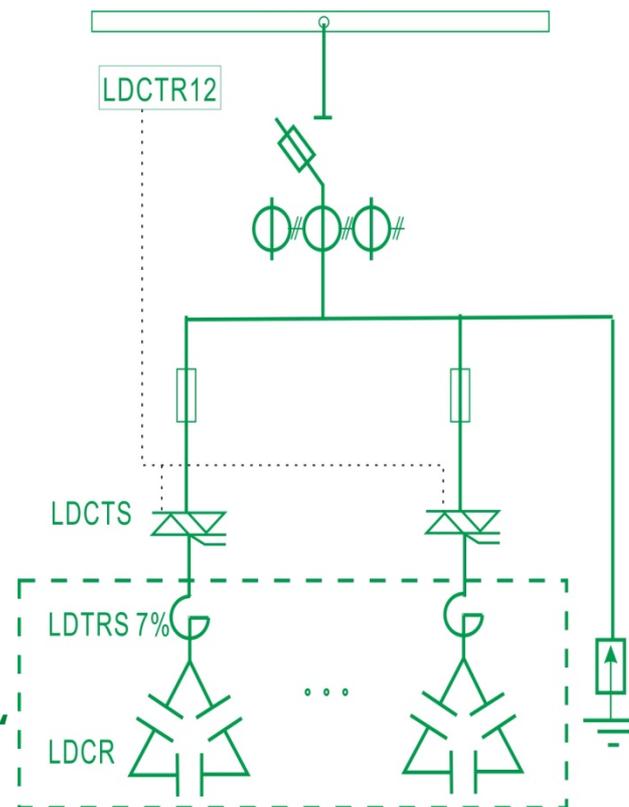
$$210/800=26\%$$

自动补偿

四 确定电容器控制方式

★分路投切物理和电气步骤的设计

- 说明
 - 物理步组是电容器组的物理分组（功能板，模块）
 - 电气步组可能是多个物理步组的组合
- 功率因数控制器控制电容器步组以达到目标功率因数。
- 功率因数控制器投切更合适的步容量
- 控制程序是物理步组的组合
 - 例如
 - 1.1.1.1: 所有的步组容量相同
 - 1.2.3.3: “1” 表示容量最小的步组，“2” 表示容量是“1”的两倍，“3”表示容量是“1”的3倍



四 确定电容器控制方式

★分路投切物理和电气步骤示例

• 例：150KVAR电容器组400V/50Hz

– 第一种方案：10个物理步组，每组15kvar

$15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15$ kvar

1.1.1.1序列

→ 10组接触器

对于这个步组序列，可以有如下电气组合

→ 电气步 15kvar：15, 30, 45, 60, 75 ...直到150kvar.

– 第二种方案：4个物理步组

$15 + 30 + 45 + 60$ kvar

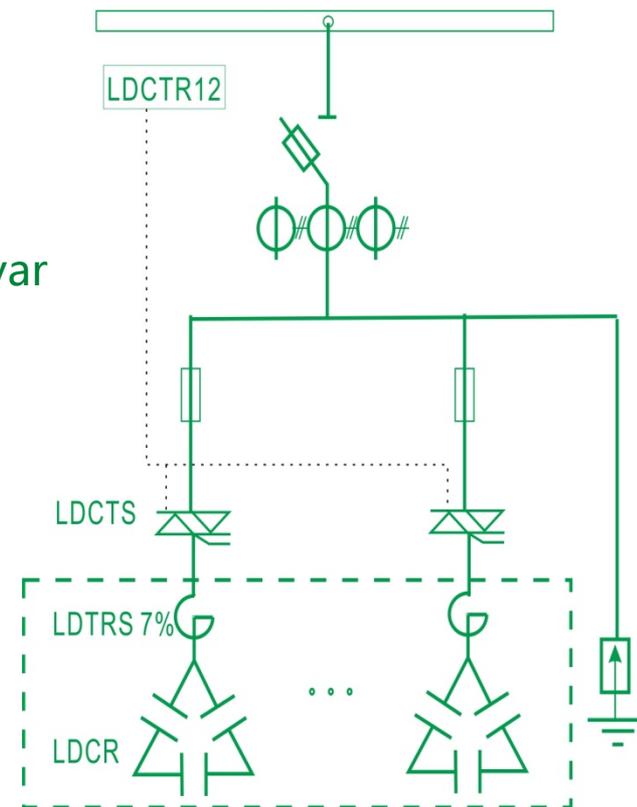
1.2.3.4 序列

→ 4组接触器

对于这个步组序列，可以有同样的电气组合

→ 电气步 15kvar：15, 30, 45, 60, 75...直到 150kvar.

→ 优化方案：同样的补偿容量只需4组接触器

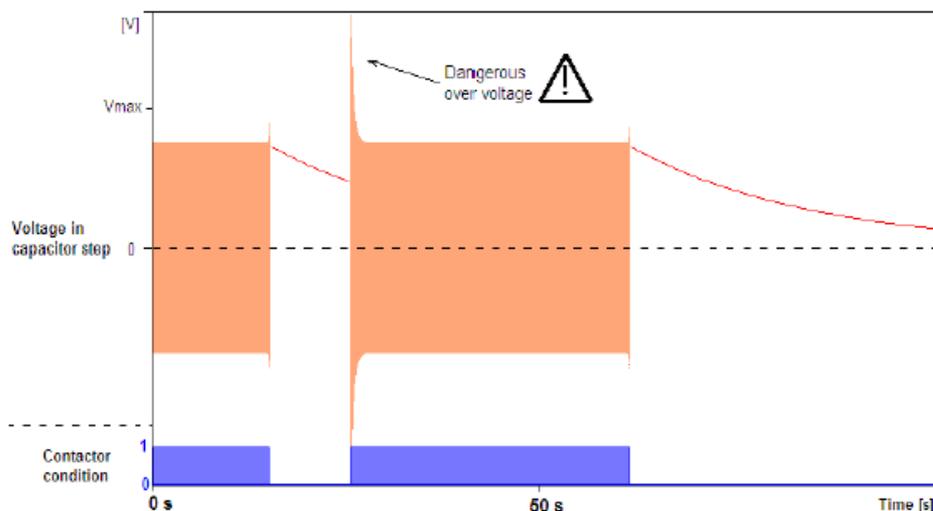


四 确定电容器控制方式

★功率因数控制器设置

安全延时时间：

- 安全延时可以使电容器充分放电（电压降至10%以下）
 - IEC标准规定放电电阻需使电容器两端电压1分钟内降至50V以下
 - 因此，安全延时时间最小为50秒
- 如果电容器在50秒内再次投入，将在电容器两端产生过压，导致电容器加速损坏。
- 在手动操作时,必须确保在小于1分钟的时间内,电容器不能接连接多于一次。



确定技术方案的要点总结

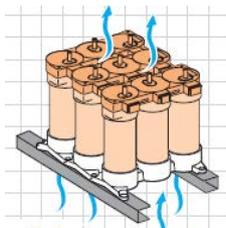
- **如何计算无功功率**
 - 电气帐单，查表，算盘....
 - 如果没有上述信息 => $Q_c = 30\% S_n$
(变压器负载率70% , $\cos \phi = 0.8$)
- **确定电容器组补偿方式**
 - 固定补偿 $Q_c/S_n \leq 15\%$
 - 自动补偿 $Q_c/S_n > 15\%$
- **根据电气参数 (电压、谐波) 和温度条件确定电容补偿方案**
 - 标准型 $G_h/S_n < 15\%$
 - 过谐波型 $15\% < G_h/S_n < 25\%$ -> 过谐波型电容器
 - 调谐波型 $25\% < G_h/S_n < 50\%$ -> 过谐波型电容器和调谐波型电抗器
- **在功率因数控制器上设置适当的延时时间**
 - 最小50秒

安装使用时的注意事项

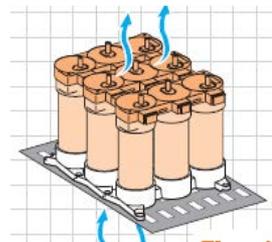
- 电容器安装
- 电抗器安装
- 通风要求
- 电缆及其他元件的选择



电容器安装注意事项



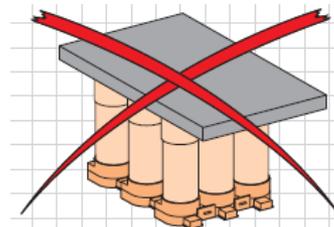
如果是垂直安装，为了获取有效的通风环境，电容器必须安装在U型架上



在垂直安装的情况下，为了利于空气流动，可在一块冲孔板上固定电容器，这方式是可行的



在垂直安装的情况下，禁止将电容器安装在无孔的金属板上：通风不好，电容器会发生危险。

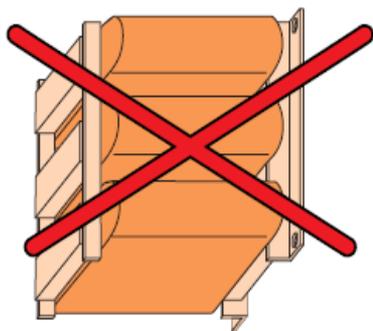
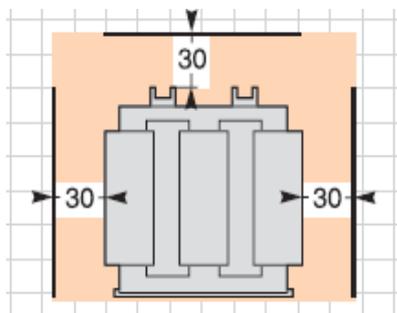


禁止将电容器垂直反向安装：危险

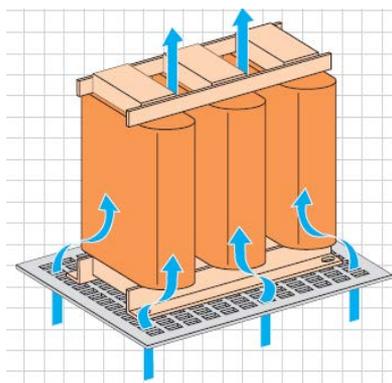
- 电容器组之间最小的距离：25mm
- 距离柜体或其它元件的最小距离：25mm
- 电容器不要安装在电抗器的上方

调谐电抗器安装注意事项

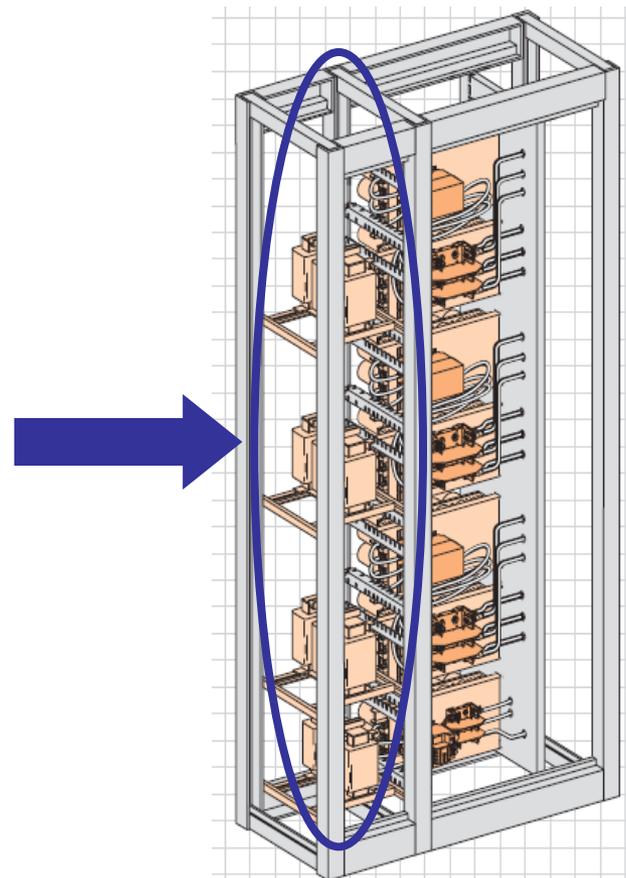
- 和其他元器件的最小的距离：30mm
- 调谐电抗器不能安装在电容器的下方



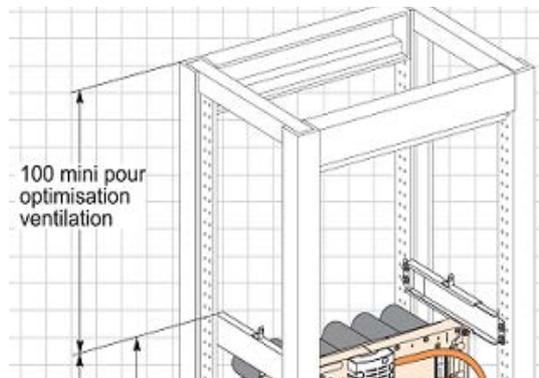
禁止



允许

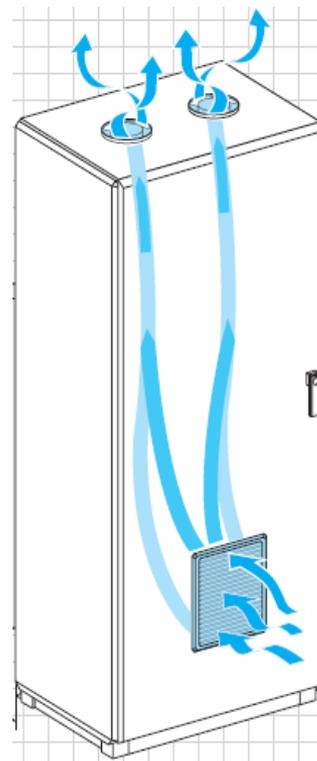


通风系统 通用原则



- 应符合IEC 60439-1规范
 - 配电室内最高温度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$
 - 配电室内24小时平均温度: $\leq 35^{\circ}\text{C}$
 - 配电室内年平均温度: $\leq 25^{\circ}\text{C}$
 - 最低温度: 5°C
- 通风原则适用于以下补偿柜
 - 高度 $H = 2000 \text{ mm}$ 最小
 - 宽度 $W = 600 \text{ mm}$ 最小
 - 深度 $D = 400 \text{ mm}$ 最小

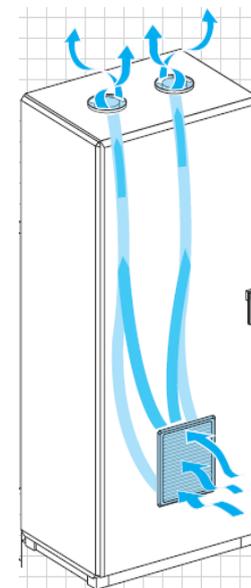
- 各种方案的通用原则
 - 补偿柜内气流从**下向上**流动
 - 气流必须经过所有的元件,并且严禁受阻
 - 排气扇到元件的最小间距为**100mm**
 - 风扇通风量的选择:实际计算发热量的**1.67倍**



通风系统 不带电抗器的纯电容器补偿

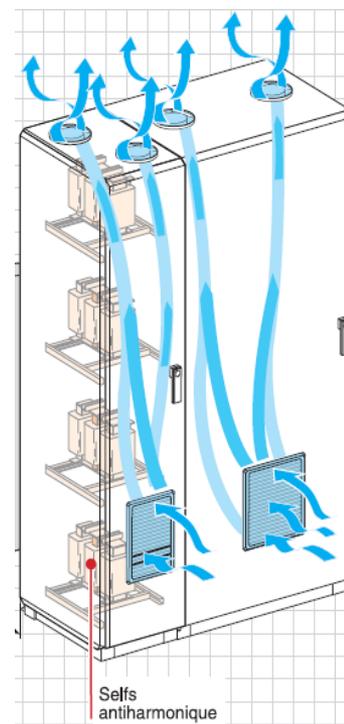
- **通风原则(无调谐电抗器)**
 - **元件热损耗:2,4 W/kvar**
 - **自然冷却：**
 - **顶部通风口至少为底部的1.1倍**
 - **强迫冷却**
 - **根据无功功率安装通风设施**

补偿容量 (400V 50Hz)	通风方式	进风孔面积	最小排风量 (立方米/小时)
IP ≤ IP3X			
容量 ≤ 100Kvar	自然风冷	200 cm ²	
容量在100Kvar至200Kvar	自然风冷	400 cm ²	
容量 > 200Kvar	强制风冷		> =0.75倍的Kvar容量
IP > =IP3X			
所有容量	强制风冷		> =0.75倍的Kvar容量



通风系统 电容器+电抗器的调谐滤波补偿

- 通风原则(带调谐电抗器)
 - 必须采用强制通风
 - 为调谐电抗器设置单独柜体
 - 电抗器单独柜体的通风量
 - 最小通风量 $F = 0,3 \times P_s$
 - (P_s :调谐电抗器的热损耗功率)

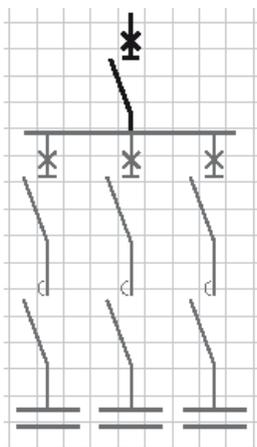


电缆及其它元件的选择

★电缆尺寸规范

- 功率电缆
 - 环境温度不超过40 °C：连接电缆必须可以在50 °C的温度下承受至少1.5倍额定电流
 - 环境温度不超过50 °C：连接电缆必须可以在60 °C的温度下承受至少1.5倍额定电流
- 二次回路
 - 除非特殊规定，二次电缆可按以下的推荐选择：
 - 二次电压回路用1.5方
 - 二次电流回路用2.5方

★电容器组断路器主回路保护

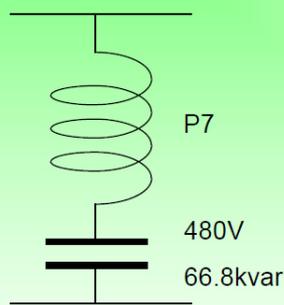


$$I_n = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \times U_n}$$

- 整定值按以下标准设定
 - 热保护额定值的设定
 - 1,36xIn 标准型无功功率补偿
 - 1,5xIn 过谐波型无功功率补偿
 - 1,12xIn 调谐次数2.7的调谐型补偿
 - 1,19xIn 调谐次数3.8的调谐型补偿
 - 1,31xIn 调谐次数4.3的调谐型补偿
- 短路保护整定
 - 10In

电缆及其它元件的选择

★电容器回路的熔断器或断路器保护

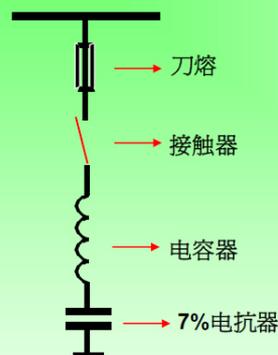


$$I(50\text{Hz}) = Q / (V \sqrt{3})$$

$$= 50 \times 1000 / (400\text{V} \times \sqrt{3})$$

$$= 72.17 \text{ Amp}$$

考虑电网压升, 及流入的谐波影响
 I_{rms}
 $I(50 \text{ Hz}) * 1.1 = 79.4 \text{ Amp}$



熔丝额定电流:

$$I(\text{fuse}) = 1.4 \sim 1.8 \times I_n$$

$$\text{先取 } I(\text{fuse}) = 1.5 \times 1.1 \times 72.17$$

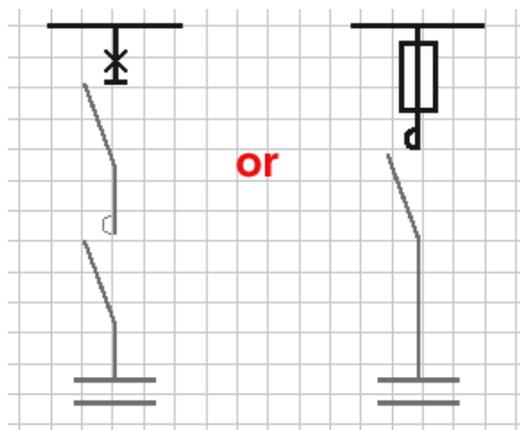
$$= 119.1 \text{ Amp}$$

选择熔丝额定电流 125 Amp
 熔丝为快速线路保护型

接触器额定电流选择:

$$I(\text{contactor}) = (1.3 * 1.1) I_n$$

可参考接触器厂家选型表



估算

- 断路器或熔断器 (Gg HBC型) 的额定值选择
 - 标准型和过谐型: 1.6 In
 - 调谐型: 1.5 In.
- 注意: 一组熔断器或断路器保护两步电容器时
 - 1.4 In 标准型和调谐型
 - 1.6 In 过谐型