

动态无功补偿和滤波 技术培训

基本原理和要求

深圳市友邦怡电气技术有限公司

动态无功补偿（滤波） 技术培训

一、无功补偿基础知识：

- 1、什么是功率、功率因数
- 2、提高功率因数的意义
- 3、无功补偿的基本原理和方法
- 4、无功补偿在系统中的作用
- 5、动态无功补偿装置种类

动态无功补偿（滤波） 技术培训

二、谐波治理（滤波）基础知识：

- 1、谐波的含义
- 2、谐波的产生
- 3、谐波的危害
- 4、谐波治理的必要性
- 5、谐波治理方法

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

1、功率、功率因数

在电网中，功率分为有功功率、无功功率和视在功率。交流电网中，由于有阻抗和电抗（感抗和容抗）的同时存在，所以电源输送到电器的电功率并不完全做功。因为，其中有一部分电功率（电感和电容所储的电能）仍能回输到电网，因此，凡实际为电器(电阻性质)所吸收的电功率叫有功功率。电感和电容所储的电能仍能回输到电网，这部分功率在电源与电抗之间进行交换，交换而不消耗，称为无功功率。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

当电网电压为正弦波形，并且电压和电流同相位时，电阻性电气设备从电网吸收的功率 P 等于电压 U 和电流 I 的乘积，即： $P=U \times I$

电阻性电气设备包括白炽灯、电热器等。

电动机和变压器运行时需要建立磁场，这部分能量不能转化为有功功率，因此称之为无功功率 Q 。此时电流滞后电压一个角度 φ 。

在选择变配电设备时应按视在功率 S ，即有功功率和无功功率的几何和： $S=\sqrt{P^2 + Q^2}$

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

无功功率的传输加重电网的负担，使电网损耗增加，因此需要对其进行就近和就地补偿。

并联电容器可以补偿或平衡电气设备的感性无功功率。当容性无功功率 Q_c 等于感性无功功率 Q_L 时，电网只传输有功功率 P 。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

在交流电网中，如负载是纯电阻，电压和电流是同相位，那么电压和电流的乘积就是有功功率，但在有电感或电容的电路中，电压和电流有着相位差，所以电压和电流的乘积并不是负载电路实际吸收的电功率，而是表面上的数值，叫做视在功率，用字母**S**表示。通常视在功率的单位用千伏安，用字母**kVA**表示。

有功功率与视在功率的比值就是功率因数，用**COSφ**表示，它是没有单位的。

$$\cos\varphi = P/S \quad (\%)$$

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

- 电网基本元件：
- 电阻性质的电器：电阻丝、加热、发光装置。
- 电感性质的电器：电动机、变压器等
- 电容性质的电器：电容器、电缆等

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

2、提高功率因数的意义：

在一定的有功功率下，当用户的 $\cos\varphi$ 比较小，视在功率比较大，为了满足用电的需要，供电线路和变压器的容量需要大，这样，增加了供电投资、降低设备利用率，也增加线路网损。负载的功率因数过低，供电设备的容量不能充分利用，在一定的电压下向负载输送一定的有功功率时，通过输电线路的电流增大，导线电阻的能量损耗和导线阻抗会造成电压降。所以，功率因数是电力系统中的一个重要指标。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

根据全国用电规定，在电网高峰负荷时，用户的功率因数应达到的标准：高压用电的工业用户和高压用电装有带负荷调整电压装置的电力用户，功率因数为0.9以上，其它用户，100kVA及以上电力用户和大中型电力排灌站，功率因数为0.85以上；农业用电功率因数为0.80以上。凡功率因数达不到上述规定的用户，供电部门会在其用户使用电费的基础上，按一定比例对其进行罚款。所以，需要提高用户的功率因数，必须进行无功补偿。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

3、无功补偿的原理和方法

把具有容性功率负荷的装置与感性功率负荷，并联接在同一电路；当容性负载释放能量时，感性负荷吸收能量；而当感性负荷释放能量时，容性负荷却在吸收能量；能量在两种负荷之间交换。

这样，感性负荷所吸收的无功功率，可以从容性负荷输出的无功功率中得到补偿，这就是无功功率补偿的基本。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

无功功率补偿的方法很多，以采用电力电容器或采用具有容性负荷的装置进行补偿比较多。这里，重点介绍电力电容器的补偿方法。

电力电容器的补偿，有两种方法：并联补偿和串联补偿。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

串联补偿：是把电容器直接串联到高压输电电路上，以改善输电线路参数，降低电压损失，提高其输送能力，降低线路损耗。这种补偿方法电容器称做串联电容器，应用于高压远距离输电电路上，应用比较少。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

并联补偿：是把电容器直接与被补偿设备并联连接到同一电路上，以提高功率因数。这种补偿方法所用的电容器称作并联电容器，用电企业都是采用这种补偿方法。

电容器的补偿形式，以无功就地平衡为原则。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

4、无功补偿在系统中的作用：

- 补偿无功功率，提高功率因数
- 增加电网的传输能力，提高设备利用率
- 降低线路损失和变压器有功损失
- 减少设备容量
- 改善电压质量

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

5、动态无功补偿装置的种类：

- 电容器分组自动投切
- TSC型自动分组投切装置
- 调压技术
- TCR型SVC动态补偿装置
- MCR型SVC动态补偿装置
(分别介绍如下)

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

- 1、分组自动投切：利用真空开关或接触器，分组自动投切并联电容器；真空开关和接触器式的投切，涌流大，开关寿命低，不能实现连续无级调节。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

2、TSC型自动分组投切装置：

利用串联晶闸管代替真空接触器，作为投切开关，对流过电容器的电流进行调节，实现无功功率的调整，其实质是自动分组投切，是传统技术的改进；属于离散式调节，容易过补和欠补、电压容易波动；晶闸管串联在高压回路，容易被击穿；晶闸管发热量大，需要辅助冷却设备，维护量大。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

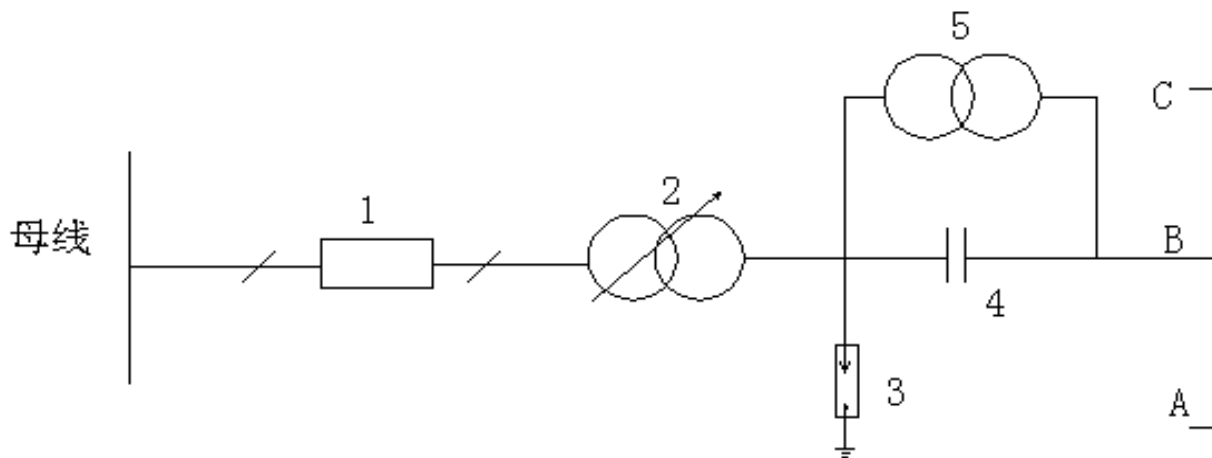
3、调压式：

利用有载调压变压器（自耦式）调节电容器两端的电压，实现容性无功功率的调节；是细化了的分组自动投切，不能实现连续无级调节；变压器受涌流冲击和谐波影响，可靠性下降。无法实现滤波，甚至可能引起谐振的危险。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

调压技术：根据 $Q=2\pi fCU^2$ 改变电容器端电压来调节无功输出，实现自动补偿。



动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

4、TSVC型动态无功补偿装置：

利用晶闸管控制电抗器(TCR)式的动态无功补偿装置(SVC)，是通过控制晶闸管的导通角和导通时间，以控制流过电抗器电流的大小和相位，实现感性无功的连续可调，从而实现容性无功的动态补偿。

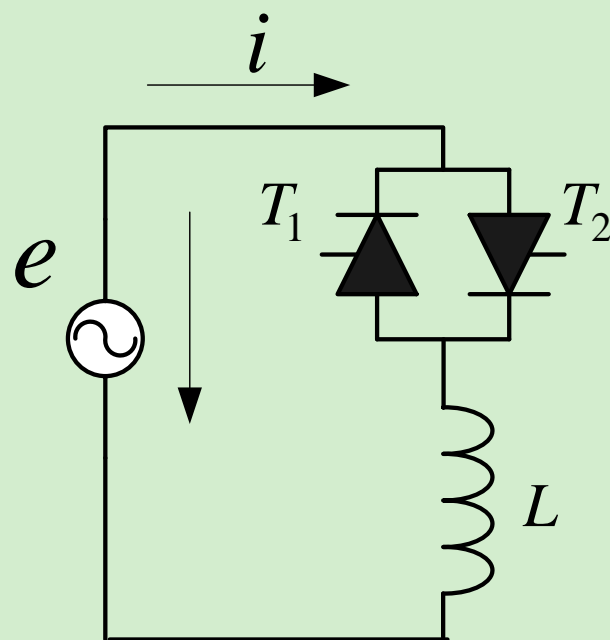
动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识:

TSVC型动态无功补偿装置原理:

通过对可控硅导通时间进行控制，电流基波分量随控制角的增大而减小，控制角可在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内变化。

- 相控式电抗器的结构原理:



动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

该装置占地面积大；晶闸管发热量大，需要辅助冷却设备；自身产生的谐波量大，需要配备专用滤波设备；成本高、价格昂贵；电子元器件寿命短，维护费用大。

动态无功补偿和滤波技术培训

无功补偿基础知识：

5、MSVC型动态无功补偿装置：

利用磁控电抗器电抗值连续可调，实现感性无功的连续可调，从而实现容性无功的动态补偿。

结构上分为磁阀式、裂芯式和磁控式。

（见MSVC介绍）

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

■ 1、谐波的含义：

供电系统谐波的定义是：对周期性**非正弦电量**进行傅立叶级数分解，除了得到与电网基波频率相同的分量，还得到一系列大于电网基波频率的分量，这部分电量称为谐波。谐波频率与基波频率的比值（ $n=f_n/f_1$ ）称为谐波次数。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 电力系统中有非线性负载时，即使电源都以工频**50HZ**供电，当工频电压或电流作用于非线性负载时，就会产生不同于工频的其它频率的正弦电压或电流，这些不同于工频频率的正弦电压或电流，用富氏级数展开，就是人们称的电力谐波。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

2、谐波的产生：

- 在理想的干净供电系统中，电流和电压都是正弦波的。在只含线性元件(电阻、电感及电容)的简单电路里，流过的电流与施加的电压成正比，流过的电流就是正弦波。
- 在实际的供电系统中，由于有非线性负荷的存在，当电流流过与所加电压不呈线性关系的负荷时，就形成非正弦电流。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 任何周期性波形均可分解为一个基频正弦波加上许多谐波频率的正弦波。谐波频率是基频的整倍数，例如基波频率为**50Hz**，二次谐波为**100Hz**，三次谐波则为**150Hz**。因此，畸变的电流波形可能有二次谐波、三次谐波.....直到第三十次谐波组成。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

■ 产生谐波的设备类型

所有的非线性负荷，都能产生谐波电流。产生谐波的设备类型有：开关模式电源(SMPS)、电子荧光灯镇流器、调速传动装置、不间断电源(UPS)、磁性铁芯设备（变压器、电机等）及家用电器（如空调）等。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

各种整流设备、交直流换流设备和电子电压调整设备，电熔炼设备、电化学设备、矿井起重设备、露天采掘设备、电气机车等，还有种类繁多的照明器具、娱乐设施和家用电器等。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 随着电力电子技术的发展，各类电力电子设备，如变频器等在企业的应用越来越广泛，大大提高了企业的生产效率，但变频器工作时会产生大量的谐波电流，谐波电流在电网阻抗上产生压降，会使电压波形也变成非正弦。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

这样，连接在同一点的其它设备上，就会被施加了含有谐波成分的非正弦电压，致使一些敏感设备无法正常工作。目前，谐波问题已经受到全世界的广泛重视，解决谐波问题已经迫在眉睫。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

3、谐波的危害：

主要表现在以下几个方面：

- 谐波使企业电网中的设备产生附加谐波损耗，降低电网、输电及用电设备的使用效率，增加电网线损。在三相四线制系统中，零线会由于流过大量的3次及其倍数次谐波电流，造成零线过热。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 谐波会产生额外的热效应从而引起用电设备发热，使绝缘老化，降低设备的使用寿命。
- 如果电网中装有补偿电容器，谐波容易使电网与补偿电容器之间发生并联谐振或是串联谐振，使谐波电流放大几倍甚至数十倍，造成过电流，引起电容器和与之相连的电抗器、电阻器的损坏。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 谐波会引起企业中一些敏感的自动化设备误动作，同时也会导致电气测量仪表计量不准确。
- 谐波会对附近系统的信号传输产生干扰，轻者引入噪声，重者导致信号丢失，使系统无法正常工作。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 谐波电流对电气设备的危害
- 1) 谐波对供电变压器的影响
- 谐波对供电变压器的影响主要是产生附加损耗，温升增加，出力下降，影响绝缘寿命。
- 2) 谐波对旋转电机的影响
- 谐波对旋转电机的主要影响是产生附加损耗，其次产生机械振动，噪声和谐波过电压。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 3) 谐波对电缆及并联电容器的影响，当产生谐波放大时，并联电容器，将因过电流及过电压而损坏，严重时将危及整个供电系统的安全运行。
- 4) 谐波对变流装置的影响
- 交流电压畸变可能引起不可逆变流设备控制角的时间间隔不等，并通过正反馈而放大系统的电压畸变，使变流器工作不稳定，而对逆变器则可能发生换流失败而无法工作，甚至损坏变流设备。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 5) 谐波对通信产生干扰，使电度计量产生误差。
- 6) 谐波对继电保护自动装置和计算机等也将产生不良影响。
- 由以上分析可以看出，变流设备产生的大量谐波电流和无功冲击会对用户本身及电网用电设备造成较严重的电压波动和谐波污染。这不仅带来运行隐患，威胁电网的安全稳定运行，还会给其他电气设备的运行带来不利影响。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

4、谐波治理的必要性：

以上危害，在有些企业中表现的比较突出，而在一些企业中表现的不是很明显，然而谐波危害的隐患依然存在。特别是在一些自动化程度较高的行业，如果谐波含量超标，会对系统运行的稳定性造成极大的威胁，一旦表现出来，必然造成巨大的损失。因此，进行谐波治理，非常重要。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

首先，它可以提高企业设备的供电质量，提高设备运行的可靠性，减少因设备误动作而造成的经济损失；

其次，可以减少谐波电流在输配电线路上产生的损耗，同时降低用电设备发热，减少绝缘老化，从而提高设备的使用寿命，减少设备的维护费用；

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

第三，谐波治理能够减少电网中补偿电容器的谐振机率，同时，减少谐波对系统信号传输的影响，增加系统的可靠性；

第四，可以减少谐波对公共电网的污染。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

5、谐波治理方法：

（1）无源滤波器滤波：

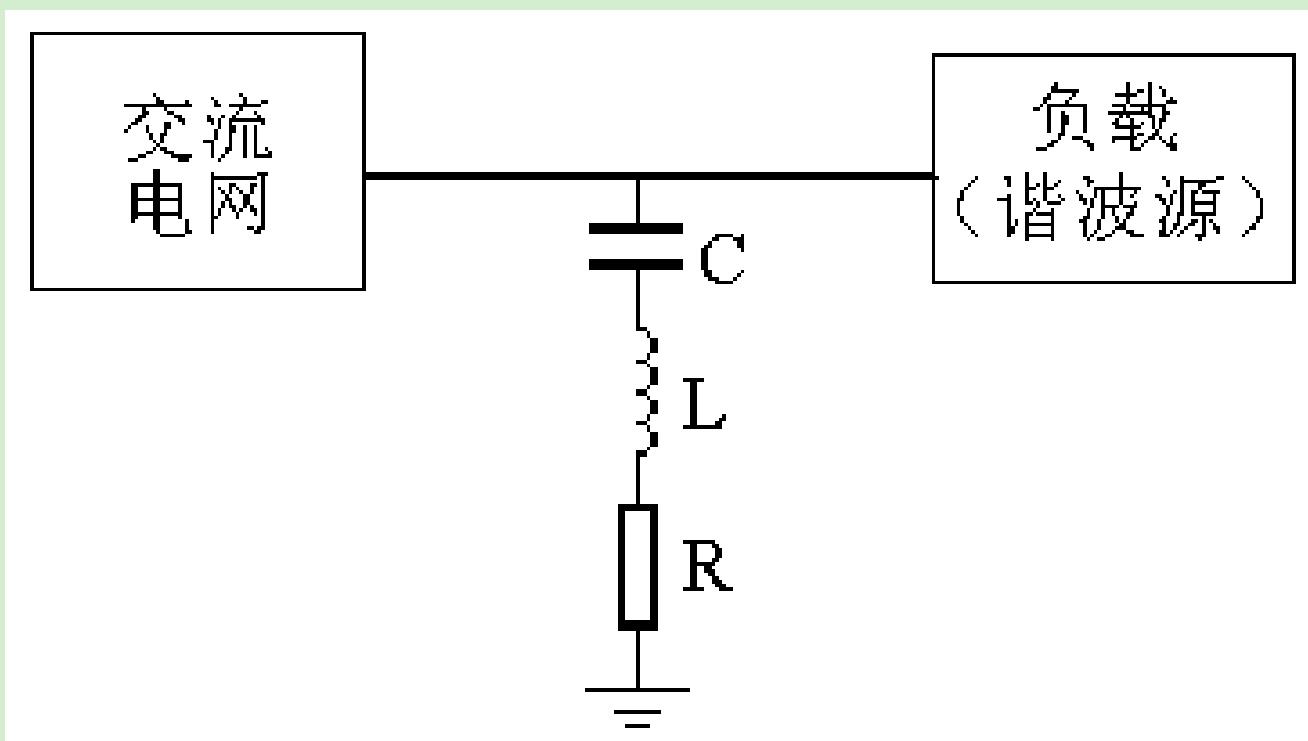
采用电力滤波装置，就近吸收谐波源所产生的谐波电流，是抑制谐波污染的有效措施。

由电力电容器、电抗器和电阻器，适当组合而组成的无源滤波装置，进行滤波，这种方法称为无源滤波。

工作原理如下图所示：

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：



动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

无源滤波器对某一频率的谐波呈低阻抗，与电网阻抗形成分流的关系，使大部分该频率的谐波流入滤波器。

由于无源滤波器具有投资少、效率高、结构简单、运行可靠及维护方便等优点，因此无源滤波器是目前广泛采用的抑制谐波及无功补偿的主要手段。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

由于无源滤波器是通过在系统中，为谐波提供一条并联低阻抗的通道，以起到滤波作用，其滤波特性，是由系统和滤波器的阻抗比所决定的，因而存在以下缺点：

- 滤波特性受系统参数的影响较大；

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 只能消除特定的几次谐波，而对某些次谐波会产生放大作用；
- 滤波的要求和同时需要的无功补偿、调压要求，有时难以协调；
- 谐波电流增大时，滤波器负担随之加重，可能造成滤波器过载；
- 有效材料消耗多，体积大。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

（2）有源滤波器滤波：

由于无源滤波器具有以上缺点，随着电力电子技术的不断发展，人们将滤波研究方向逐步转向有源滤波器。与无源滤波器相比，有源电力滤波器具有高度可控性和快速响应性，不仅能补偿各次谐波，还可抑制闪变、补偿无功，有一机多功能的特点，其具体特点如下：

动态无功补偿和滤波技术培训

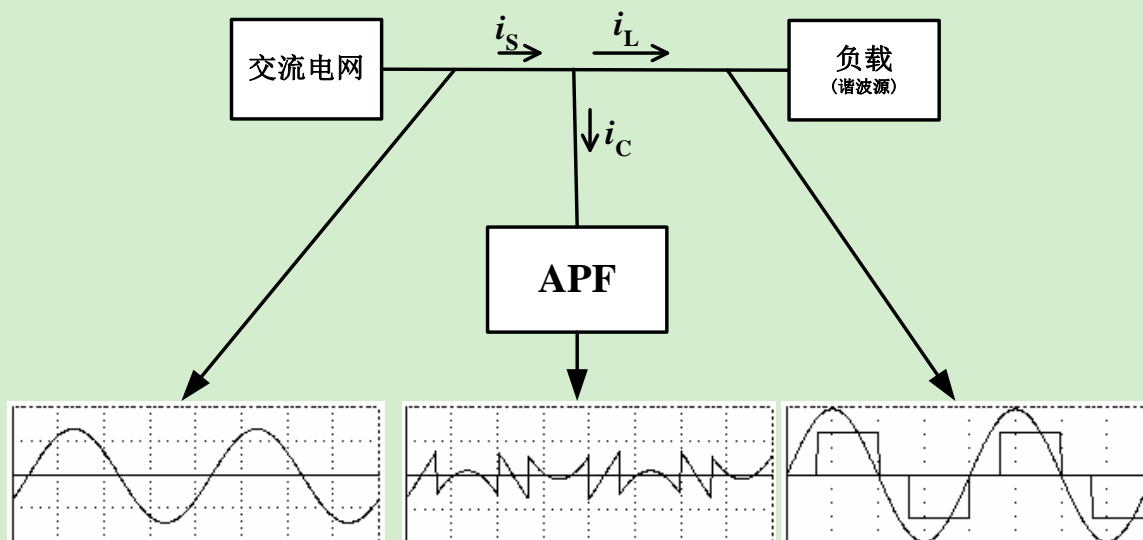
谐波治理（滤波）基础知识：

- 滤波特性不受系统阻抗的影响，可消除与系统阻抗发生谐振的危险；
- 具有自适应功能，可自动跟踪补偿变化着的谐波。
- 尽管有源电力滤波器有着无源滤波器所不具备的巨大技术优势，但目前要想在电力系统中完全取代无源滤波器还不太现实。这是因为与无源滤波器相比较，有源电力滤波器的成本较高、可靠性比较低，这一点是限制其推广使用的关键。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

- 有源电力滤波器工作原理如下图所示：



动态无功补偿和滤波技术培训

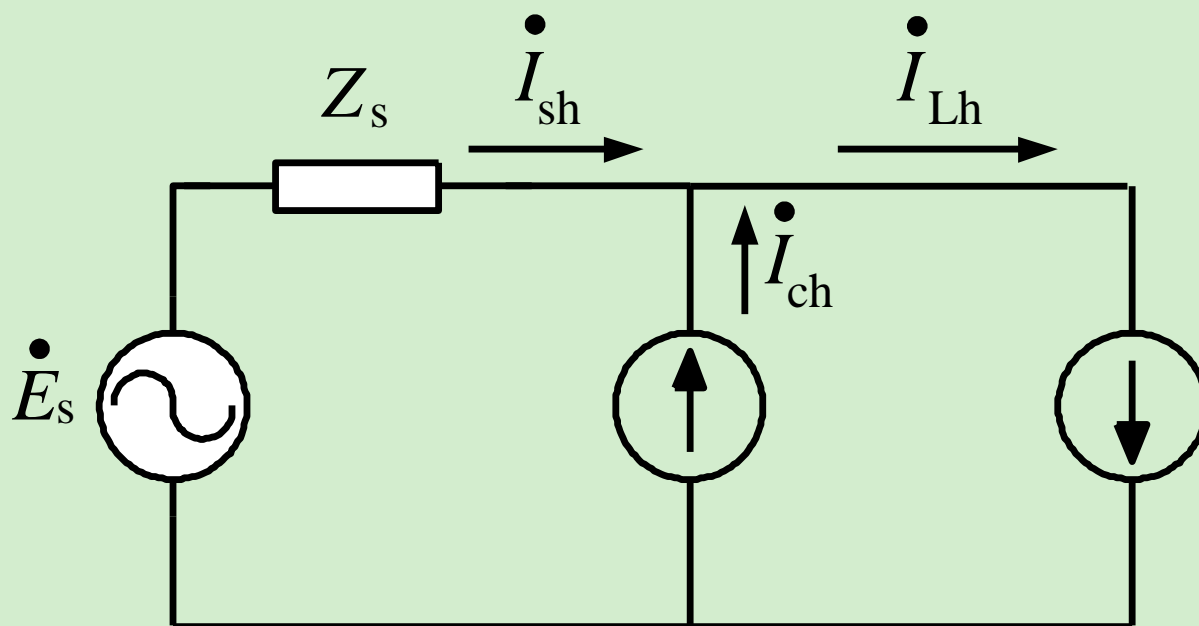
谐波治理（滤波）基础知识：

通过检测被补偿对象的电流瞬时值，经指令电流运算电路得出谐波补偿电流的指令信号，控制变流器产生所需要的补偿电流。补偿电流与负载电流中要补偿的谐波成份及无功电流相抵消，最终获得期望的电源电流。

其补偿谐波的等效电路图如下图所示：

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：



动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

从图中可以得到，电网侧的谐波电流可以写为：

$$\dot{I}_{sh} = \dot{I}_{Lh} - \dot{I}_{ch}$$

只要控制有源电力滤波器的输出电流，使其满足 $\dot{I}_{ch} = \dot{I}_{Lh}$ ，即可使电网侧的谐波电流 $i_{sh} = 0$ 。

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：

（3）混合有源滤波器滤波：

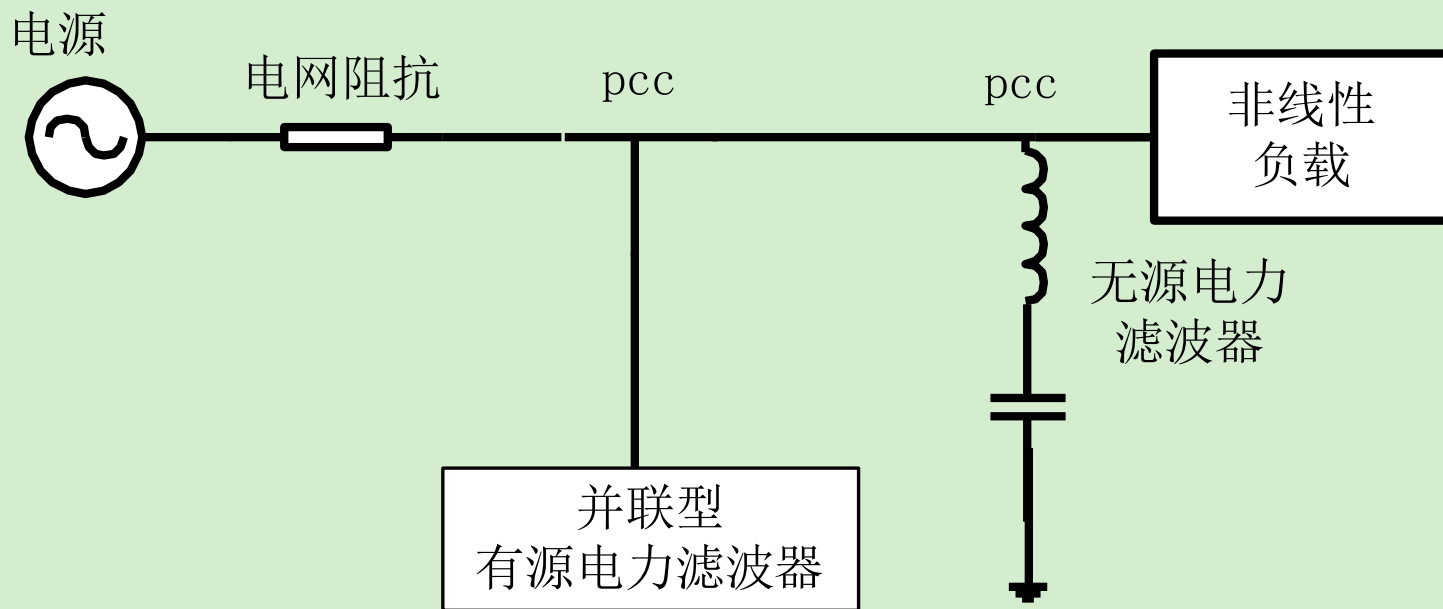
将有源滤波和无源滤波装置组合在一起，形成混合有源滤波器滤波。

或者，对谐波源，一部分采用无源滤波装置滤波，一部分采用有源滤波装置滤波。

混合有源滤波器工作原理如下图所示：

动态无功补偿和滤波技术培训

谐波治理（滤波）基础知识：



动态无功补偿和滤波技术培训 服务模式：

- 现场测试（功率因数、谐波含量）
- 提供技术方案（无功补偿与滤波结合）
- 交流讨论、方案改进
- 双方认可
- 签订技术协议、供货合同
- 生产准备
- 现场指导安装、调试
- 质量保证