摘要

Abstract

目录

1. 绪论
   1. **研究背景**

随着社会发展的不断进步，电力电子设备得到了广泛的应用，其产生的谐波和电磁干扰对电力系统产生了巨大的影响，成为了电力系统的主要污染源。因为电力电子产品通常是将电网交流电压先整流，再经过滤波电容，接着通过直流变换器获得直流源。传统的整流和滤波电路通常采用四个整流二极管和滤波电容，使输入电流产生畸变，引入大量的谐波，产生大量无功功率，电能利用效率低，图1.1为传统的整流滤波电路。



图1-1 整流滤波电路

传统电力电子设备的整流部分普遍采用图1-1的电路结构，该结构由四个二极管D1、D2、D3、D4组成全桥不可控电路，由电容C作为输出滤波大电容，在滤波电容C的作用下，使得输出电压Vout趋于平稳。当系统带负载时，只有当输入交流电压Vac大于滤波电容电压Vout时，二极管才会有电流流过，导致输入电流产生严重畸变，呈现尖峰状，产生一系列奇次谐波，使功率因数较低，所以输入电流畸变是造成电路功率因数低的主要原因，如图1-2所示：



图1-2 输入电压、电流波形

为了较少对电网其对电网的危害，国际上已经颁布了一系列限制输入电流谐波的相应标准，包括IEEE519、IEC555-2、IEC1000-3-2等标准。这些标准目的是将电网输入电流的谐波分量控制在允许的范围内，从而减少输入电流谐波对电网的干扰。

**1.1.1谐波**

谐波，是数学或物理学概念，是指周期函数或周期性的波形中能用常数、与原函数的最小正周期相同的正弦函数和余弦函数的线性组合表达的部分。从严格意义上讲，谐波是指电流中所含有的频率为基波的整数倍的电量，一般指对周期性的非正弦电量进行傅里叶级数分解，其余大于基波频率的电流产生的电量。

根据傅里叶变换原理，其瞬时输入电流可表示为：

(1)

式中，n是谐波次数。输入总电流的有效值可表示为：

(2)

(3)

上式中，I1为基波电流的有效值，其余I2、I3 …In分别代表2,3…n次谐波电流有效值。电流总谐波含量反应了电流波形的畸变特性，用基波电流百分比表示的电流总谐波含量叫总谐波失真THD，也叫总谐波畸变率，公式如下：

(4)

谐波电流会对电网与电气设置产生巨大的危害，主要包括以下几个方面：

1. 高次谐波会使电网电压与电流波形发生严重畸变，同频谐波电压和谐波电流会产生大量无功功率，从而降低电网电压，增加线路损耗，浪费电网容量。
2. 谐波电流使变压器的铜耗增加，引起局部过热，噪声增大，绕组附加发热等。谐波电压引起的附加损耗使变压器的磁滞及涡流损耗增加，对三角形连接的绕组，零序性谐波在绕组内形成换流，是绕组温度升高，增加系统损耗。
3. 谐波会造成异步电动机效率下降，噪声增大，使得低压设备产生误动作，对企业自动化的正常通讯造成干扰。
4. 谐波污染将会使电缆的介质损耗、输电损耗增大，泄露电流上升，温升增大及干式电缆的局部放电增加，引发单相接地故障的可能性增加。

因此，解决谐波问题对提高电网供电质量和提高系统功率因数等具有非常重要的意义。

**1.1.2功率因数定义**

功率因数(Power Factor，PF)的大小为有功功率与视在功率的比值。无功功率会引起电网中流动的功率增大，增大电网损耗，污染电网并破坏电网的稳定性。有功功率越大，功率因数PF值越高，PF值越趋近为1。因此，提高功率因素对电网的意义重大。

在交流电路中，功率因数PF是指交流输入的有功功率P与视在功率S的比值，其公式表达式为：

(5)

其中，P为有功功率，S为视在功率，为基波功率因数(相移因数)，它反映了基波电流与电压U的相位关系，是基波相位角，其中输入基波电流有效值与输入总电流有效值的百分比叫做输入电流失真系数。

上式表明，在非正弦的电路中，功率因素PF不仅与基波电流与电压的相位角有关，还与输入的电流失真系数有关。输入电流的失真系数就是基波电流相对电压滞后的情况，将(2)、(4)代入(5)中得到功率因数PF与总谐波失真THD的关系如下公式：

(6)

上式说明，在相移因数不变时，降低总谐波失真THD，可提高功率因数PF。反之，PF越高则THD越小。

**1.1.3 PFC技术的发展现状**

功率因素校正(Power Factor Correction，PFC)是指为了提高用电设备功率因数所采用的技术。目前，根据是否用有源器件将功率因数校正分为无源功率因数校正(Passive Power Factor Correction，PPFC)和有源功率因数校正(Active Power Factor Correction，APFC)两大类。

所谓的PPFC技术，通常采用无源元件电容和电感组成低通、带通滤波器，工作在输入市电工作频率(50~60Hz)，将输入电流波形进行移相和整形，如图1-3所示。PPFC的主要优点有：电路简单、安全可靠、成本较低。主要缺点有：通常滤波电感和滤波电容的值较大，导致尺寸大、重量重、工作性能与频率和输入电压有关，而且通常较难的到高的功率因数值，满载时PF值一般能达到0.9左右，但是轻载时PF值仍然较低，因此对谐波电流的抑制作用不是太好。所以PPFC一般适用于功率较小、对尺寸和重量要求不高、对价格敏感的场景。



图1-3 传统PPFC电路图

而APFC技术主要采用的是电力电子变换器，使输入电流波形呈正弦，并且与输入电压相位相同，从而实现PFC。在APFC电路中，APFC电感位于交流输入市电供电整流电路和APFC滤波电容之间，而APFC输出负载端有一个大电容量的APFC滤波电容。有源功率因数校正能对变化的谐波进行迅速的动态跟踪补偿，而且补偿特性不受电网阻抗和负载阻抗的影响，所以和PPFC相比，具有补偿特性好、功率因数高等优点。

APFC按照拓扑结构可以分为Buck、Boost、Buck-Boost、Cuk、Flyback等变换器。其中前三种拓扑结构较为简单，如图1-4所示。



图1-4(a) Buck变换器



图1-4(b) Boost变换器



图1-4(c) Buck-Boost变换器

Buck PFC变换器拓扑如图1-4(a)所示，其主要的优点是电路控制简单，输出电压较低，可以用作降压功率因数校正。Buck变换器只有在输出电压低于输入电压时才能正常工作，因此Buck PFC在输入电压过零附近，输入电流为零，功率因数较低。所以Buck变化应用范围较窄。

Buck-Boost PFC变换器拓扑如图1-4(b)所示，其主要优点是电路简单，输入功率因数高，电压变比可由零到无穷大，即可升压又可降压。但是缺点也比较明显，该电路输入和输出电流都有脉动，使得对输入电源有电磁干扰且输出纹波较大，所以实际应用通常应加上输入输出滤波器。

Boost PFC变换器拓扑如图1-4(c)所示，其主要优点是电路结构简单，成本低。可靠性高。在全输入电压范围内可以获得较高的PF值。Boost变换器具有三种不同的工作方式，即电感电流连续模式、电感电流临界连续模式和电感电流断续模式，储能电感也可用作滤波电感来抑制RFI和EMI噪声，电流波形畸变小，输出功率大及APFC功率开关共源极工作和驱动电路简单。正是由于这些特性，使得Boost PFC变换器应用得最为广泛。

**1.1.4 Boost PFC的三种工作模式**

按有源功率因数校正电路输入电流检测和控制方式，升压型Boost型功率因数校正电路可分为三大类：

(1)电感电流连续模式(Continuous current mode，CCM)

(2)电感电流临界导通模式(Critical conduction mode，CRM)

(3)电感电流断续模式(Discontinuous current mode，DCM)

CCM Boost PFC技术通常采用固定频率平均电流模式控制，主要利用乘法器方法实现功率因数校正。它的主要优点有通过功率开关器件的电流峰值应力小，使得功率开关器件和有关元器件上的电应力小、输入纹波电流小。其缺点是开关管始终工作在硬开关状态，二极管存在反向恢复问题，开关损耗较大，控制电路较为复杂，成本较高。