

电网功率因数有源补偿器的研究*

曾阳琳 洪 澜

(中山大学物理学系, 广州 510275)

摘 要 介绍一种采用强迫换向交、直流变换器作为对电网基波无功功率进行补偿, 提高功率因数的方法. 设计了一种新型的四象限变流器, 利用闭环微机控制系统, 能够对基波无功功率进行补偿. 交流电网的电流波形得到改善.

关键词 电网, 功率因数, 补偿器

分类号 TP 273. 1

无功功率所带来的危害是不可忽略的, 在节能问题日益受到重视的今天, 电力系统的无功功率补偿要求愈来愈高, 人们在这方面也做了大量的工作, 不断探索提高功率因数的方法. 这方面, 传统的方法很多, 大多是利用有级投切电容来设置无功功率补偿电路, 这样, 很难达到连续、平滑、准确的补偿效果. 做为一种补偿手段, 本文提出了一种强迫换向无功功率补偿的方法.

文章通过对单相补偿装置主电路强迫换向的分析, 实验验证了利用强迫换向主电路补偿电网基波无功功率, 改善功率因数是可行的. 本文所设计的微机控制系统, 在具备了一定的精度和速度的前提下, 达到了对基波无功功率进行补偿的目的. 与常规的方法相比, 主电路线路简单, 工作可靠, 不失为一种提高功率因数的好方法, 所述原理和方法, 同样适用于三相系统. 为今后在这方面进行不断地发展和完善奠定了基础.

1 无功功率补偿的基本原理

通常负载都呈感性状态, 负载所产生的基波无功和高次谐波电流所产生的无功不是恒定的, 而是随时间发生变化, 为了达到连续、平滑、自动的补偿效果, 用投切电容显然尚不能满足要求, 强迫换向无功功率补偿装置是这种理想的补偿器, 它能够根据负载的变化而变化.

1.1 主电路简介 主电路线路图如图 1, 其中, L_s 为换向电抗, L_d 为直流侧平波电抗器, KZ 为主管, D 为隔离二极管, 主电路中加入隔离二极管的作用是在强迫换向时, 使电容的放电回路与负载隔离开. 当然, 这里所指负载是相对补偿器而言. 电容器上的电压使整个电路具有足够的换向能力. 从主电路的结构来看, 线路简单, 换向不需要其它辅助电路, 这是本文的一个主要优点之一. 与单相桥式全控整流电路相比, 仅仅多了换向电容和隔离二极管, 而这些当电路处在强迫换向时才起作用. 已经知道, 当触发角 T 在 $0 \sim 90^\circ$ 变化时, 电路处于整流状态, 换向属于自然换向, 因此换向电容和隔离二极管在此不起任何作用, 增

* 收稿日期: 1997-12-16 曾阳琳, 女, 35岁, 工程师

加了换向电容, 使一个电路可四象限运行, 在此, 我们最感兴趣的是当 $T = 90^\circ$ 及 $T = 270^\circ$ 时这两个极端情况, 它们分别是整流和逆变的临界点, 下面给出了理想情况下补偿器交、直流两侧的电压与电流波形. 理想情况下是假设直流侧的平波电抗器有较大的阻抗, 即认为 $x = \infty$ 且假设晶闸管给触发脉冲后即瞬间导通, 强迫换向时, 换向过程忽略不计的情况.

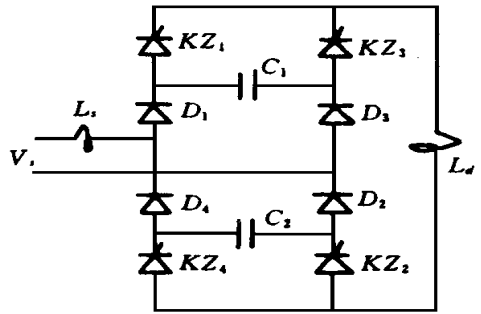


图 1 主电路图

Fig. 1 Main circuit figure

图 2a 为 $T = 90^\circ$ 时的整流状态, 若直流侧电感量很大, 近似将直流侧电流认为是不变的, 则交流侧电流呈方波状, 直流侧电压如图 2a 所示, 对于这样一个特殊角度, 输出到直流侧的平均电压为零. 即交、直流两侧没有有功功率的交流, 主电路的作用仅仅是将直流侧电流调制成滞后电压 90° 的方波电流而已, 与此相类似, 当 $T = 270^\circ (-90^\circ)$ 时, 电路换向必须采用强迫换向, 理想情况下, 直流侧平均电压为零, 同样, 交、直流两侧没有有功功率的交流. 电路只是将直流侧电流调制成超前电压 90° 的方波电流而已, 呈容性状态, 本文正是利用主电路这两个特殊的工作点, 调节控制电路, 无论负载如何变化, 均能达到跟踪补偿的目的. 当然, 前面的分析是在主电路假设理想情况下, 实际上, 强迫换向并非瞬间完成, 电容的充、放电需要一定的时间, 时间的大小, 与补偿的电流大小有关, 电流愈大, 换向时间愈短. 图 2 为实验中 $T = \pm 90^\circ$ 时交、直流两侧的电压与电流波形图照片.

对于这样一个特殊角度, 输出到直流侧的平均电压为零. 即交、直流两侧没有有功功率的交流, 主电路的作用仅仅是将直流侧电流调制成滞后电压 90° 的方波电流而已, 与此相类似, 当 $T = 270^\circ (-90^\circ)$ 时, 电路换向必须采用强迫换向, 理想情况下, 直流侧平均电压为零, 同样, 交、直流两侧没有有功功率的交流. 电路只是将直流侧电流调制成超前电压 90° 的方波电流而已, 呈容性状态, 本文正是利用主电路这两个特殊的工作点, 调节控制电路, 无论负载如何变化, 均能达到跟踪补偿的目的. 当然, 前面的分析是在主电路假设理想情况下, 实际上, 强迫换向并非瞬间完成, 电容的充、放电需要一定的时间, 时间的大小, 与补偿的电流大小有关, 电流愈大, 换向时间愈短. 图 2 为实验中 $T = \pm 90^\circ$ 时交、直流两侧的电压与电流波形图照片.

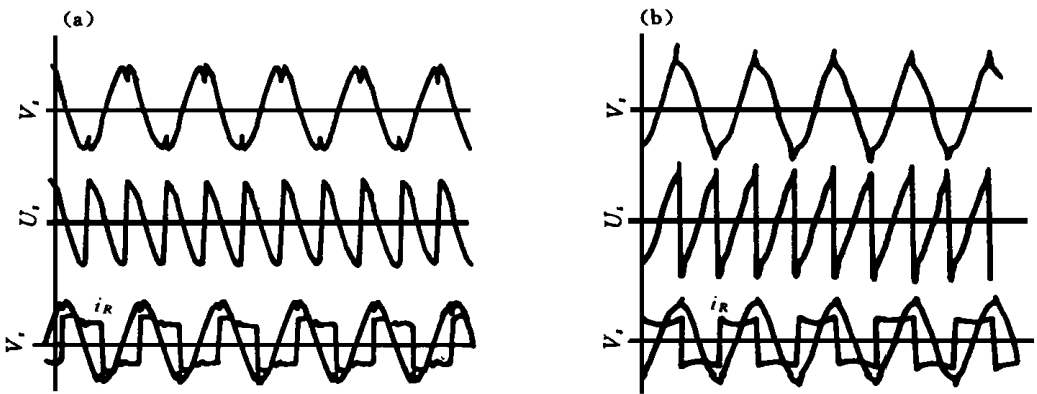


图 2 $T = \pm 90^\circ$ 交、直流两侧电压和电流关系

Fig. 2 $T = \pm 90^\circ$ the relation of voltage and current between AC and DC

2 控制电路

上面简述为主电路工作情况, 要达到跟踪负载, 补偿的目的, 关键是控制电路的设计. 已经知道, 负载基波无功功率发生变化, 则要求控制线路变化可以跟踪补偿, 对主电路而言, 就是触发角要随负载无功的变化而变化, 本文所设计的控制电路主要由以下几部分组成. ① 电流信号检测与放大电路. ② 采用单片机计算基波无功功率. ③ 触发脉冲的产生. 其中, 无功功率的计算是控制电路的关键, 本文采用单片机完成这一部分, 以确保无功

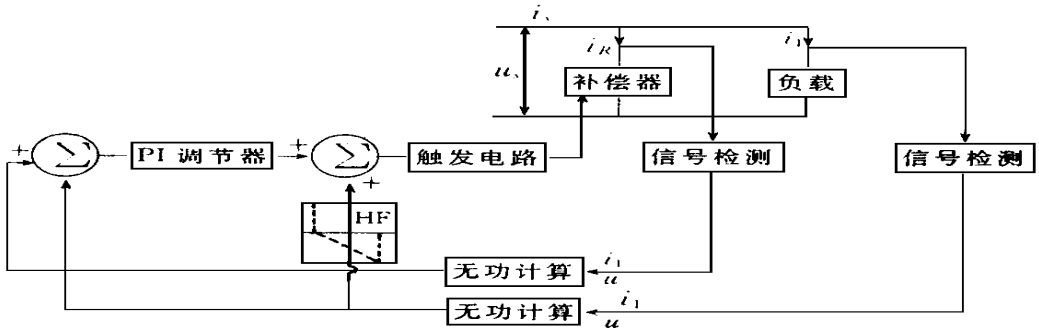


图 3 控制框图

Fig. 3 Control figure

率计算的准确性, 信号检测与放大电路以及触发脉冲产生电路均由硬件电路完成 (图 3)。其简要说明如下: 将检测到的电流信号送入单片机计算补偿器和负载的基波无功, 一方面由函数发生器产生一个近似的触发角度, 另外一方面则根据补偿器和负载无功之差, 经 PI 调节器, 使触发角有一个较精确的数值, 去控制触发电路, 调节触发角, 达到对基波无功功率补偿的目的。

本文涉及到的电流信号检测电路采用霍尔传感器, 它具有良好的线性度, 另外, 霍尔输出电压在毫伏级, 因而, 后面必须跟有信号放大电路。

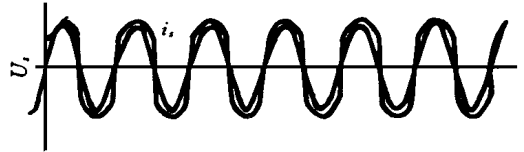
触发电路由 CMOS 器件组成, 主要完成移相和发脉冲的任务, 具有很好的稳定性和抗干扰能力。

本文涉及到 PI 调节器的设计, 采用常规的数字 PI 调节器设计方法, 程序当中, 为解决计算时间而设置了 2 个乘法表, PI 调节器的参数主要在实验当中整定。

3 实验简介

实验分两步进行, 首先进行的是强迫换向实验, 分析实验中的换向过程是否与理论分析相吻合, 另外, 验证触发电路是否能在 $90^\circ \sim 270^\circ$ 之间移相, 实验结果表明, 触发电路能够满足设计要求。对于 $\varphi = 90^\circ$ 及 $\varphi = 270^\circ$ 2 个特殊点的实验结果分别见图 2a, b 所示, 第二步, 进行负载实验, 验证系统的补偿效果及跟踪性能。

补偿后的电流明显地存在高次谐波, 这是由于补偿器的电流呈方波状, 含有 3 次、5 次等奇次谐波, 且低次谐波的幅值较大, 为改善电流波形, 本文在补偿器两端接有 3 次谐波滤波电路, 滤波后的电网电流如图 4 所示, 比没有滤波时的情况有明显改善。总之, 本文达到了对负载基波无功功率进行补偿的目的, 提高了功率因数, 并且线路简单, 易于实现, 能够连续、平滑、自动地跟踪负载的变化, 是一种提高功率因数的好方法。

图 4 闭环控制输出的电压和电流 ($\varphi = 90^\circ$)Fig. 4 The output voltage and current in closed loop control ($\varphi = 90^\circ$)

参 考 文 献

- 1 Boon T O A. Three-phase controlled-current PWM converter with leading power factor. IEEE Transactions on Industry Applications, 1987, IA-22 (1): 78~ 84
- 2 连级三. 电传动机车控制系统. 机车电传动, 1987 (3): 27~ 35
- 3 林木生. 电力半导体变流技术. 北京: 中国铁道出版社, 1987. 98~ 150
- 4 Loren H W. Force-commutated reactive power compensator. IEEE Transactions on Industry Applications, 1989, IA-22 (6): 1091~ 1104
- 5 Laszlogyugyi. Reactive power generation and control currents. IEEE Transactions on Industry Applications, 1979, IA-15 (5): 521~ 530

Research on the Compensator for Power Factor in Force Commutated Reactive-Power

Zeng Yanglin* Hong Lan

Abstract A method using force commutated reactive-power compensator to compensate for the fundamental reactive-power of source and to raise the power factor of source is introduced. A new type of four quadrant converter is designed and the analyses of current commutate during the thyristor commutate is presented. The design and the lab installation with microcomputer control system are described. It is proved through experiment that the presented method can fully compensate for the fundamental reactive-power of source and can also improve current waveform.

Keywords electric source, power factor, power compensator

* Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China