

文章编号: 1005-8451 (2003) 10-0012-03

## 三相功率因数校正电路技术研究进展

孙 扬

(北京邮电大学, 北京 100876)

**摘要:** 对功率因数校正电路技术发展情况进行了分析, 从实现的主要方式及其特点等方面较系统地论述了三相功率因数校正技术近期内的发展, 尤其是对于三相单管PFC的拓扑及其应用进行了详细阐述, 在此基础上, 指出了今后三相功率因数校正技术的发展趋势。

**关键词:** 三相; 功率因数校正; 电路

中图分类号: TN7

文献标识码: A

### Development of correction technology for three-phase PFC

SUN Yang

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

**Abstract:** It was analysed the current research situation of correction technology for Power Factor Correction (PFC), and summed up the progress in three-phase PFC, especially illustrated the topologies, applications of single-switch three-phase PFC, on the basis of this, pointed out the developing trends.

**Keywords:** threephase; power factor correction; circuit

## 1 引言

近20年来电力电子技术得到了广泛的应用, 但大多数电力电子装置仍采用不控二极管整流或可控器件组成可控整流电路。这些非线性电路存在着严重的缺点。近年来, 国际上制订了各种严格的谐波标准, 对电力电子装置进行了严格的谐波限制, 国家技术监督局在1994年颁布了《电能质量公用电网谐波》标准(GB/T 14549-93)。这些标准的出台, 使整流器面临着前所未有的挑战, 同时也推动了功率因数校正电路技术的发展。

根据电路的输入电压的不同, 功率因数校正电路主要分单相和三相2大类。单相功率因数校正电路目前在拓扑和控制方面已相当成熟。适合中高功率等级的三相功率因数校正电路由于应用极为广泛, 工作机理比较复杂而成为近年来的研究热点。

三相功率因数校正电路(PFC)与单相PFC相比, 主要优点: 不存在单相输入(有中线)电路具有的因中线中3次谐波电流过大而烧毁中线的危险; 主电路由三相三线制供电(无中线), 无中线电流, 无3次谐波及3的倍数次的零序谐波电流, 故不存在这些谐波电流所产生的波形畸变和干扰; 在市电周期内, 从供

系统获取恒定功率, 可减小输出滤波电容。本文重点论述三相功率因数校正电路的实现方案及其特点。

## 2 三相功率因数校正电路实现方式

### 2.1 三相无源PFC方案

目前, 常用的是具有适量滤波电感的三相桥式整流电路, 优点: 电路简单、可靠和效率高, 功率因数能达到0.92; 缺点: 不能满足国际上更高的要求。

### 2.2 采用高频开关的有源三相PFC方案

此方案分为2级和单级控制方式, 2级控制方式通过2个电力电子电路串级运行, 在DC-DC开关变换器前加一级前置功率因数校正器, 由功率因数校正器控制输入电流, 并提供一个初步变换的输出电压, 将负载调整作为第二级。2级控制方式主要有以下拓扑形式。

#### 2.2.1 三相单管PFC拓扑

三相单管PFC方案用来实现三相交流电源的功率因数校正, 其主电路简洁, 控制电路简单, 可输出稳定的直流电压, 减小后级DC-DC变换器的变压器电压余量, 提高后级的效率, 尤其适用于较小功率应用, 具有很大的市场前景。但技术尚未成熟, 是当前的研究重点。三相单管PFC按输入类型可分3种型式。

##### (1) 电感输入型三相PFC

收稿日期: 2003-06-28

作者简介: 孙 扬, 在读硕士研究生。

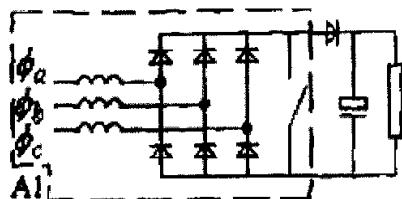


图1 电感输入型三相PFC

特点是：输入电流平均值强烈依赖于升压比  $M$ ，只有当  $M$  较大时，输入电流才接近正弦，即电流畸变率 THD 较小，功率因数接近于 1。优点：电路结构简单，控制可采用恒频恒宽方式，成本较低。缺点：输入电流工作在 DCM 方式下，开关电流应力大，EMI 大；为得到较高的功率因数，抑制输入电流的畸变，需增大  $M$ ， $M$  过高，使得输出电压太高，又增加了开关器件的电压应力，增加了整机的成本，降低了整机工作可靠性。

对于三相单管 PFC 的控制方式可有 3 种：a. 采用恒频，恒脉宽方式；b. 工作在 DCM 和 CCM 之间的临界方式；c. 也采用恒频方式，但其反馈环的截止频率高，通过调制脉宽能够弥补 6 次的输出纹波，使输出功率恒定。3 个方法中以第一种方法实现起来最为简单，但此方法在升压比较小时，存在输入相电流畸变率 THD 较大的问题，特别是 5 次谐波电流。现已有方案在采用此方法的同时通过高次谐波注入的方法成功地抑制 5 次谐波电流。

#### (2) 电容输入型三相 PFC

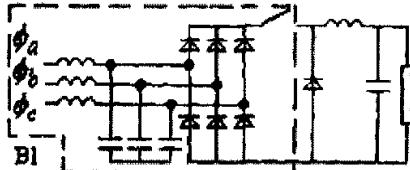


图2 电容输入型三相PFC

其工作原理可认为是电感输入型 PFC 的对偶电路，它可以减小输出电压，从而减小开关电压应力。适用于输出电压低于输入电压的场合。与电感输入型三相 PFC 不同之处在于，输入功率因数和 THD 依赖于输出电流。输出电流越大，THD 越小，功率因数越高。但是，电容输入型 PFC 中开关工作在高电压、大电流方式，工作条件差。缺点：输入电流位移取决于负载。负载电流越大，功率因数越高，THD 越小；对无极性电容  $C$  要求较高，体积、价格代价太大。

#### (3) Buck-Boost 输入型三相 PFC

这种电路可以认为是反激式单相 PFC 在三相中的延伸。当开关开通前，电感电流线性上升，峰值和平均值正比于相电压；开关关断，电感电能通过变压器副边向负载释放，优点：输入平均电流为纯正弦，功率因数为 1，储能电容电压低于 boost 型 PFC，适合应用在小功率范围。

#### 2.2.2 单相 PFC 电路组合方式

(1) 输出端直接并联：三单相 PFC 直接并联输出，PFC 采用 CCM 的控制方式，并使用了软开关技术。优点：输出电容由 3 个单相变换器共享，在平衡状态，其上的低频纹波很小，因此可以采用快速的电压调节方式，而不会引起输入电流的畸变，动态性能较好。但三相之间存在耦合问题，致使各相模块的输入输出电流不相同。

(2) 输出经变压器隔离后并联：变压器隔离的并联方式，则不存在这种耦合问题。近期有关于输出经变压器隔离连接的研究认为：试验功率等级不大；如果向较大功率级发展，则变压器的投资比较昂贵；具体的发展还拭目以待。

整体说来，目前采用单相 PFC 电路组合这种方法实现三相 PFC 的比较少，主要是向负载供电时的耦合问题难以解决，如果能解决好各相间的耦合干扰问题，则在工业应用中有比较大的吸引力。

#### 2.2.3 多开关三相 PFC 拓扑

包括三开关管和六开关管 2 种。六开关管输入级采用三相桥式 PFC 方案，在 6 个桥臂上都有大功率高频开关器件（如 MOSFET）。优点：控制灵活，交流输入侧功率因数高，满载可达 0.99。缺点：高频开关器件多，控制电路复杂，驱动信号间绝缘电压高，MOSFET 易受电网侧过电压冲击，可靠性易受影响。

#### 2.2.4 软开关三相 PFC

软开关技术近年来发展迅速，它可减少开关损耗，提高开关频率，可减少输入输出滤波器的大小，增加功率密度和减小 EMI。其原理在器件二端并联 LC 回路，在器件开通前使器件电压谐振至 0，在器件关断前，使其电流谐振至 0，可大幅度减少开关损耗。目前，软开关在三相单开关、多开关 PFC 中有广泛应用。

有源三相 PFC 方案的 2 级控制方式至少需要 2 个主开关管和 2 套控制驱动电路，总体效率低、成本高。有源三相 PFC 方案的单级控制方式是将 2 级电路合用一个开关管，它将输入电流控制、负载电压调整以及可能需要的输入输出隔离合为一个功率级。在完成

文章编号: 1005-8451 (2003) 10-0014-04

## 铁路机械冷藏车远程信息监控系统

宋习, 刘啸峰

(郑州铁路局 机械保温车辆段, 郑州 450061)

**摘要:** 介绍了机冷车远程信息监控系统的方案、关键技术及预期效果。

**关键词:** 监控系统; 冷藏运输; 卫星定位系统

**中图分类号:** U272.4+TP391      **文献标识码:** B

### Remote Information Monitor System of Railway Mechanical Refrigerated Cars

宋习, 刘啸峰

(Mechanical Refrigerated Car Depot of Zhengzhou Railway Administration, Zhengzhou 450061)

**Abstract:** It was introduced the project of Remote Information Monitor System, the key technology, and the intended effect.

**Keywords:** monitor system; refrigerate transport; GPS

### 1 引言

铁路机械冷藏车(简称机冷车)是由铁道部统一调度, 流动性大, 活动范围覆盖全国各地, 每次在外营运周期长, 每半年才能回段检修一次。日常的维护和检查全由车上乘务员承担, 而机冷车属技术密集型车辆, 涉及电气、制冷、内燃和车辆4大专业范围, 因此对乘务员的技术水平要求较高。但乘务员长期

在外, 学习机会有限, 加之自身素质参差不齐, 机冷车一旦出现问题影响货物的运输质量, 造成不良影响和不必要的经济损失。另外, 由于机冷车乘务员与段调度指挥中心通讯不便, 段调度指挥中心对于在外运营车辆的设备运用状况和人员状况不能及时掌握, 对机冷车及乘务员管理难度较大。如何改变这种被动的局面, 使机冷车纳入有序可控的管理已成为急于解决的问题。

收稿日期: 2003-04-11

作者简介: 宋习, 工程师; 刘啸峰, 工程师。

输出电压调节的同时, 自动完成输入功率因数的校正。此电路的优点是开关少, 电路简单、动态性能好。

### 3 结束语

以上对近年来几种典型三相功率因数校正电路作了较系统地归纳总结和分析比较。目前, 对三相PFC的研究主要集中在以下几个方面:

- (1) 新颖的三相PFC电路拓扑结构的研究;
- (2) 三电平、交错并联等技术以减小输入谐波和EMI滤波器的研究;
- (3) 软开关技术在三相PFC电路中的应用;
- (4) 单管方式中各种新的电路拓扑以及软开关技术的研究。

由于三相PFC技术仍处于不成熟阶段, 许多国家

### 2 总体方案说明

投入了大量的物力和人力, 力图从电路结构和控制技术上取得新突破, 以便找到一种成本低廉、结构简单、控制方便、具有软开关性能、响应速度快、输出电压动态范围宽的新型三相功率因数校正电路。

#### 【参考文献】

- [1] 黄济青. 通信电源[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 1996.
- [2] Marek Gotfryd. Output voltage and power limits in boost power factor correction operating in discontinuous inductor current mode [J], IEEE Trans.Power Electron, 2000, 15(1).
- [3] Michihiko Nagao. A novel one-stage forward-type power factor correction circuit[J], IEEE Trans.Power Electron, 2000, 15(1).