用于中压配电系统的电能质量综合治理方案

孙雷波[1], 刘晓路[2]
(1. 慈溪市供电局,浙江 慈溪 315300; 2. 郑州铁路局洛阳供电段,河南 洛阳 471000)

摘要: 针对中压配电系统电能质量存在的主要问题,提出了一种有效的解决方案。采用 Thyristor - controlled Reactor(TCR) + Passive Filter(PF) + Active Power Filter(APF)方式不仅可以有效地滤除 TCR及负载产生的谐波,能够较好地抑制无源滤波器与电网阻抗之间的谐振,而且可以实现无功的动态补偿,平滑地调节母线电压。

关键词: 电能质量; 定质电力; 晶闸管控制电抗器; 有源电力滤波器

中图分类号: TM714. 3 **文献标识码**: B **文章编号**: 1003-4897(2006)05-0081-04

0 引言

随着我国现代科技的发展,各种复杂的、精密的、对电能质量敏感的用电设备不断普及,同时,以电力电子装置为代表的非线性负荷的使用、各种大型用电设备的启停等,对我国的电网造成严重的污染。虽然采用了"谁污染谁治理"的电能质量的治理政策,但是由于政策执行中的种种问题,我国中压配电系统的电能质量问题依然存在,经济发达地区的电能质量问题的影响已非常突出,对许多重要的设备的生产造成巨大的损失。在电力市场化改革的今天,这种局面必须引起足够的重视。

1 电能质量的概念及目前的解决办法

IEC(1000 - 2 - 2/4)标准对电能质量是这样定义的:电能质量是指供电装置在正常工作情况下不中断和干扰用户使用电力的物理特性。最严重的电能质量问题是电压跌落(Sags)和电压完全中断。

针对过去对各种扰动引起电能质量问题(干扰)的提法不一,IEEE第 22标准统筹委员会(IEEE Standard Coordinating Committee 22)(电能质量)和其它国际委员会把电能质量问题分为以下几种:电压跌落、电压中断、电压上升、电压瞬变、过电压、低电压、谐波、间谐波、电压缺口、电压波动和电压闪变等。

电压跌落和中断大部分是由于电力系统的故障所造成的。谐波和闪变问题一般是负荷电流的质量引起的。谐波是非线性负荷及不平衡负荷的不平衡电流造成的。在电网较弱时,负荷的快速变化常常引起电压的波动甚至闪变。

为了解决电能质量的问题,国内外正在积极研究用于中低压配电系统和用电系统的用户电力技术(Custom Power)。它是将电力电子技术、微处理机技术、自动控制技术等高新技术运用于中、低压配电系统和用电系统中,以减小谐波畸变,消除电压波动和闪变、各相电压的不对称和供电的短时中断,从而提高供电可靠性和电能质量的新型综合技术。用户电力技术概念的提出,有助于供电部门(电力公司)提供高可靠性和高质量的电力,也有助于满足各种新工艺用户对电力供应的更高要求。用户电力技术控制器包括配电系统的静止同步补偿器(D - STATCOM)、有源电力滤波器(APF)、动态电压恢复器(DVR)、固态断路器(SSCB)、统一电能质量调节器(UPQC)等。

用户电力技术的研究基本上采用基于电压源换流器(VSC)的有源逆变技术,由于在装置中采用了IGBT、IGCT等最新的可关断电力电子元器件,装置的整体性能非常突出,但是由于价格因素,这些装置难以在我国大量使用,许多专家也在积极寻求价格便宜、性能优良的解决方案。

2 一种谐波及电压波动(闪变)的电能质量综合解决方案

在 IEEE定义的电能质量问题中,由于电弧炉等非线性负荷的存在,电压波动(闪变)及谐波是一个系统正常运行中较为多见的问题。理论表明,无功功率与电压存在较强的耦合关系,等效电路和无功电流 I_q比有功电流 I_p对负载电压 V_t影响如图 1所示。从图中可以看出,无功电流 I_q的变化比有功电流 I_p的变化对负载电压 V_t影响大得多,因此常通

过动态调节系统的无功功率实现母线电压的平滑调节。许多大型的工业用户(如钢厂)常采用静止无功补偿器(SVC)来抑制电压的闪变。实际上,中压配电系统为了更好地为用户服务,提高电能的质量,同时还可以降损节能,也可以采用 SVC,即 TCR 与固定的电容器配合实现对无功的动态控制。由于 TCR 本身是一个谐波源,TCR 必须与 PF 配合使用,但 PF 本身存在一些固有的缺点。为了避免与系统发生谐振,PF 实际设计时总是与系统频率具有一定的频偏,影响了装置的滤波效果,但是即使如此仍然存在与系统间谐振的危险。

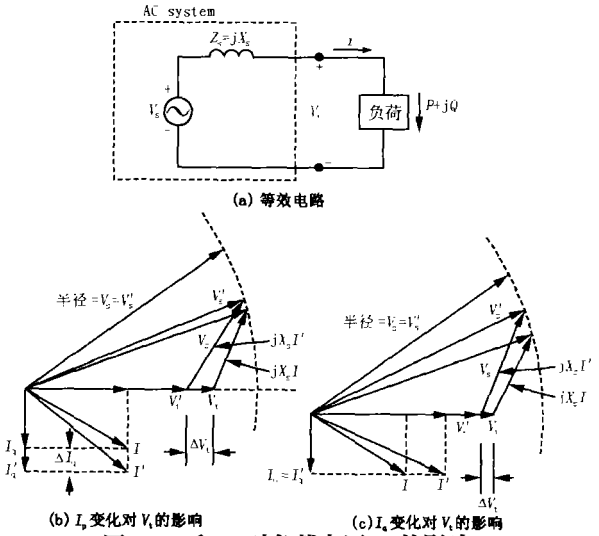

图 1 I_p 和 I_q 对负载电压 V_t 的影响

Fig 1 Effect on the V_t due to the variation of I_p and I_q

在非线性负载中应用较多的是谐波电流源,因此并联型有源电力滤波器(APF)受到用户及研究人员的广泛关注。其基本原理是从补偿对象中检测出谐波电流,然后由补偿装置产生一个与谐波电流大小相等、极性相反的补偿电流,使电网的电流只含基波,APF 的等效电路及补偿特性如图 2所示。图中 i_L 为非线性负载的电流,i_C 为 APF 的补偿电流,i_S 为补偿后的系统输出电流。APF 能够对变化的谐波进行快速地动态地补偿,性能不受电网阻抗的影响,但 APF 基于新型的电力半导体器件,采用高频 PWM 逆变方式,单独使用并联式 APF 能够补偿系统的谐波和无功电流,但中压配电系统的功率要求一般使纯并联式 APF 的初期投资很大、运行效率较低,而 APF 与 PF 的混合系统能发挥 APF 与 PF 的优势,消除各自的弊端,是将来的发展趋势,适合中压配电系统的需要。

为了达到 APF 与 PF 的优势结合,并联混合式

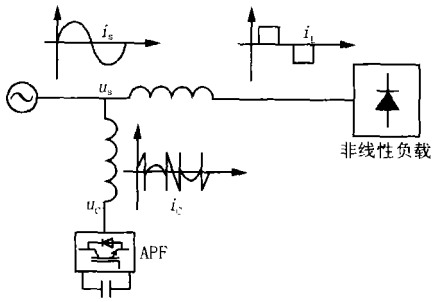

图 2 并联 APF 等效电路及补偿特性

Fig 2 Equivalent circuit and compensation characteristic of shunt APF

APF 装置(如图 3所示)采用 APF 与 PF 串联,通过 APF 在耦合变压器的原边产生相应的谐波电压成分,强迫负载产生的谐波电流流过滤波支路。该拓扑不仅大大改善了滤波效果,而且 APF 的容量通常占负载容量的 2%～5%,在中压配电系统中能够实现滤波性能与成本的结合,是近年来颇受关注的谐波和无功功率补偿的新型装置。

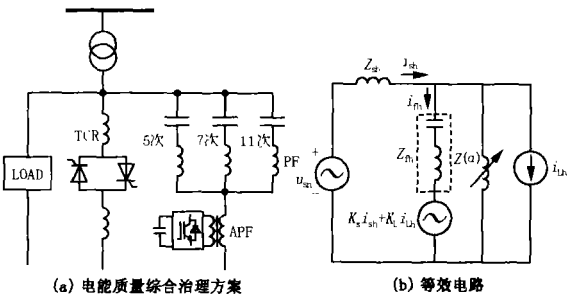

图 3 电能质量综合治理方案及其等效电路

Fig 3 Comprehensive scheme of improving power quality and its equivalent circuit

根据文献[2],本方案中 APF 可以作为一个电流控制的电压源,其方程为:

$$i_{sh} = \frac{1}{Z_s + Z_f + K_s} u_{sh} + \frac{Z_f - K_L}{Z_s + Z_f + K_s} i_{Lh} \qquad (1)$$

如果 $K_s >> |Z_f|$ 或 $K_L = Z_f$,谐波电流将全部流过 APF,而谐振将由于 K_s 的存在,即使 $|Z_s + Z_f| \approx 0$,也不会与系统间发生谐振。

3 仿真及其分析

根据对电能质量综合治理方案的理论分析,为了检验本方案的滤波效果,结合安徽某电网公司 6 kV 侧系统负载的实际情况,建立了基于 Matlab/Simulink 的仿真模型(如图 4所示),系统的具体参数为:

系统短路电流:8.3 kA; PF 有效补偿容量:3.6

MVar; PF电容器安装容量: 4.8 MVar; 5次支路电容器安装容量: 2.1 MVar; 7次支路电容器安装容量: 0.9 MVar; 11次支路电容器安装容量: 1.8 MVar; TCR容量: 3 MVar

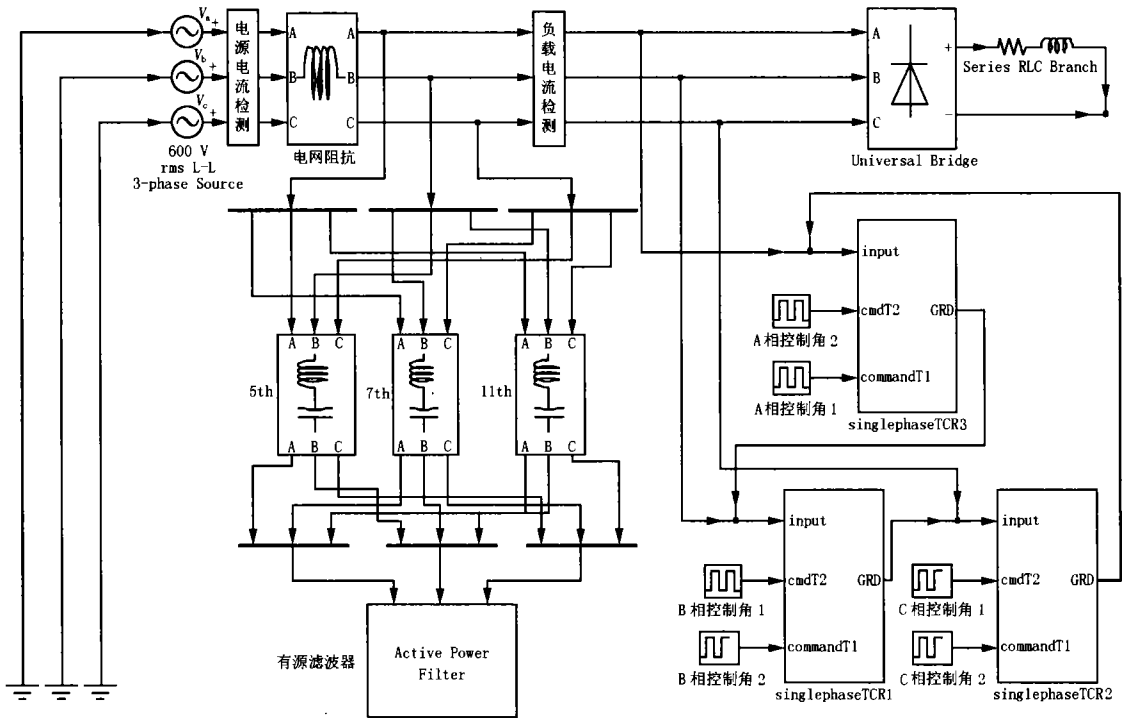

图 4　仿真模型

Fig 4　Simulation model

滤波效果的仿真结果如图 5所示。

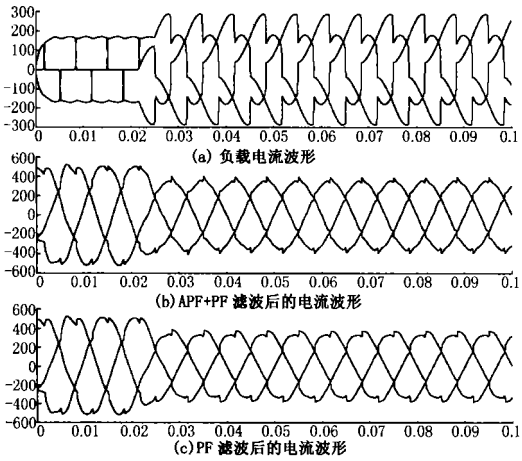

图 5　APF + PF及 PF滤波方式的滤波效果比较

Fig 5　Effect comparison between APF + PF and PF

从仿真结果可以看出, APF + PF的滤波效果优于纯 PF方式的滤波效果, APF投入前后的谐波补偿效果如图 5所示。

4　总结及展望

TCR + PF + APF的方案能够对配电系统的谐波进行有效的补偿,混合式的 APF拓扑只需要很小的容量就可以达到完美的谐波补偿效果,其成本远低于 D - STATCOM、并联式 APF等用户电力技术相关的装置,具有较高的推广价值。

对该方案的仿真仅仅对实施前后的滤波效果进行了比较。实际上,通过有效的控制,该方案还可以抑制母线的电压波动 (闪变),防止无源滤波器与系统间的谐振,通过动态地调节装置的无功输出,还可以使系统始终保持在合理的功率因数,加上滤波效果改善后的谐波损耗,因此能够更好地降损节能。

由于本方案能够动态调节系统的无功功率,通过对配电系统二次电压控制,输变电系统电压稳定控制将会具有更好的效果,进而能够有效地防止系统的电压崩溃。

参考文献:

[1] Sannino A, et al. Review Power-electronic Solutions to Power Quality Problems[J]. Electric Power Systems Research, 2003: 71-82.

[2] YANG Jun, et al. A Three-phase Comprehensive Reactive Power and Harmonics Compensator Based on a Comparatively Small Rating APF[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, (4).

[3] Akagi H. Active and Hybrid Filters for Power Conditioning[A].

Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 2000. 4-8.

[4] 肖国春,等. 电能质量及其控制技术的研究进展[J]. 电力电子技术, 2000, (6): 60-62.
XIAO Guo-chun, et al. The Development of Power Quality and Its Control Technique[J]. Power Electronic Technique, 2000, (6): 60-62.

[5] Mathus R M. Static Compensators for Reactive Power Control[Z]. Winnipeg: Cantext Publications, Canadian Electrical Association, Committee on Static Compensation Engineering and Operating Division. 1984.

收稿日期: 2005-04-08; **修回日期**: 2005-09-26

作者简介:

孙雷波 (1970 -),男,大学本科,研究方向为电力自动化; E-mail: ranw@xjgc.com

刘晓路 (1965 -),男,工程师,研究方向为铁道供电。

Comprehensive ways for power quality control in mid-voltage distribution system

SUN Lei-bo[1], LIU Xiao-lu[2]

(1. Cixi Power Supply Bureau, Cixi 315000, China; 2. Luoyang Power Supply Branch, Zhengzhou Railway Bureau, Luoyang 471000, China)

Abstract: This paper proposes an effective scheme to improve the main power quality problems in the distribution system. TCR + FC + APF can effectively filter the hamonics produced by TCR and the load, dramatically suppress the parallel resonance and series resonance between the network impedance and the passive filter, and also can dynamically compensate the reactive power and adjust the bus voltage smoothly.

Key words: power quality; customer power; thyristor-controlled reactor; active power filter

关于征集“中国电力系统保护和控制学术研讨会”会议论文的通知

中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会、清华大学电机工程与应用电子技术系、华中科技大学电气与电子工程学院和《继电器》杂志社定于2006年下半年召开“中国电力系统保护和控制学术研讨会”,特向全国征集学术论文,现将征文有关事项通知如下。

1、征文内容:

(1) 超(特)高压交直流输电技术研究与应用;
(2) 电力系统继电保护和控制的新理论、新技术;
(3) 电力系统安全稳定分析与控制;
(4) 电力系统规划与可靠性技术;
(5) 能量管理系统;
(6) 配电网自动化系统;
(7) 厂、站自动化系统;
(8) 调度自动化系统;
(9) 电力系统通信技术;
(10) 电气化铁道保护与控制技术;
(11) 电网广域保护与自愈控制;
(12) 数字化变电站技术研究;
(13) 电力设备检测与故障诊断技术;
(14) 电力电子技术在电力系统的应用;
(15) 保护与控制设备运行经验与事故分析;
(16) 保护与控制设备制造技术及电磁兼容;
(17) 电力系统标准制定与应用;
(18) 其他。

2、征文办法:

论文必须未在全国性学术会议或公开发行的刊物上发表过;论文格式参照《继电器》论文格式,图表清晰、规范;论文篇幅在6000字以内(含空格,图表);来稿请务必写明:作者简介、地址、单位、邮编、联系电话、电子邮件;请用电子邮件投稿并使用回执确认收到投稿;征文截止日期为2006年6月30日,经专家评审后,由《继电器》杂志社及会议组委会发论文录用通知,并出版论文集,优秀论文将在《继电器》发表;开会具体时间及地点另行通知。

3、会议组委会联系方法:

投稿邮箱: relay2006@powerkingdom.com

地址: 河南省许昌市许继大道32号,邮编: 461000;

联系人: 张志强 **电话**: 0374 - 3212254 **手机**: 13733671540
张爱琴 **电话**: 0374 - 3212234 **手机**: 13839036701