

电气化铁道用单相 IGBT-SVG 系统构成及仿真研究

陈天锦¹, 文劲宇¹, 张望¹, 李颜红²

(1. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000; 2. 许昌市质量技术监督检测中心, 河南 许昌 451000)

摘要: 电力机车运行对电网造成的污染一直是影响我国电气化铁道发展的因素之一, 结合国内电气化铁道改造的需要, 提出了适合电气化铁道用单相 IGBT-SVG 的系统构成及其控制方法, 并对给出的系统应用 MATLAB 软件做了仿真研究, 仿真结果验证了该方案的可行性。

关键词: 电气化铁道; 单相; IGBT; SVG; PWM

中图分类号: TM922

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2001)04-0029-03

1 引言

我国电力市场的建立和完善对供电部门和用户都提出了更高的要求。在电能质量方面, 电力专家一直在进行研究并制定出相关的国家标准, 这些国家标准的执行将使供用电双方进入一个规范的市场环境。由于目前我国电气化铁道负荷品质和管理手段仍处于较低水平, 因此, 结合我国实际情况, 开展对无功、谐波、负序、电压波动等“电能污染”的综合治理研究及工程实践就显得十分必要。

早在 70 年代, 有人就已提出了用于补偿无功、负序、谐波、电压波动的串/并联有源滤波器 (Series/Shunt active filter) 的概念和理论, 但是, 由于电工和电子技术上的原因, 串/并联有源滤波器补偿技术的实际应用很长一段时期里一直毫无进展, 而只是停留在实验室。近十年来, 随着大功率电力电子器件的高速发展, 串/并联有源滤波器补偿技术才取得了长足的进步。从 1982 年世界上第一套应用 GTO 构成的 800kVA 并联谐波补偿装置投入使用以来, 到目前应用电力电子技术的补偿和稳定装置在世界

各国已被广泛采用。

国内对三相 SVG 的理论研究和工程实践均取得了可喜的成果, 但对适合电气化铁道用的单相 SVG 研究较少。结合国内电气化铁道改造的需要, 本文提出了适合电气化铁道用单相 IGBT-SVG 的系统构成及其控制方法, 分析了工作原理, 并对给出的控制系统应用 MATLAB 软件做了仿真研究, 仿真结果验证了该方案的可行性。

2 系统构成及其基本原理

2.1 补偿方案选择

电力机车为单相整流牵引负荷, 在运行过程中的加速、恒速、惰性、制动等各种工况以及运行中坡道、弯道、站场、道岔、自然气候、司机操作过程等因素的影响, 使牵引负荷随机波动, 功率因数低 (无功成分大), 谐波含量多, 其单相独立性又在供电系统中造成负序电流, 从而影响受电点的电压水平, 还使牵引供电变设备的容量利用率变低。由于牵引变电所的供电技术指标和经济性能均与无功和负序有关, 建立对无功、负序有综合补偿作用的补偿装置就

Studies of the intelligent graphic supporting platform for power systems

YAN Zi-kai¹, YANG Wan-hui¹, WANG Jun¹, JIA Yan-ze²

(1. Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Electric Power Survey & Design Institute, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: The graphic user interface (GUI) is necessary in the application software for power systems. To reduce the repetition in graphic systems development, a graphic supporting platform becomes much important. Based on the concept of software engineering, this paper systematically analyzes the functions and design principle of intelligent graphic supporting platform for power systems, and then proposes some design methods, such as the hierarchical model and the dissociation technique in graphic and data, which makes the graphic system reusable, opening and extensible. The difference between the requirements of offline edit and real-time operation is also discussed. A graphic system has been developed to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Keywords: graphic supporting platform; hierarchical model; dissociation of graphic and data; independency

十分重要。其综合补偿作用应主要体现在：(1) 补偿无功，提高功率因数；(2) 降低负序；(3) 降低母线电压损失，提高网压水平；(4) 降低牵引变压器功率损失和网损（降损），提高牵引变压器的容量利用率（增容），并由此提高运输供电能力等。

目前，电气化铁道牵引变电所普遍采用在 27.5kV 母线上并联固定容量的电容器补偿装置，以补偿无功功率和提高功率因数为主，兼顾 3 次谐波的滤波。但是，这种固定补偿装置由于采用分级补偿，补偿效果受牵引负荷水平变化的影响较大，“过补”或“欠补”情况较严重，无法达到月平均功率因数 0.90 的国家标准，因而造成罚款，增加运行成本。而且，这种补偿装置一般采用机械开关投切电容器，响应速度慢，无法满足对牵引负荷进行动态无功补偿的需要。

结合对当前 ASVG 主电路结构的比较分析和电气化铁道无功补偿的特殊要求，本文提出了采用 PWM 控制的并联型单相 IGBT-SVG 的主电路方案，如图 1 所示。图中只给出了一组变换器的结构图，由于电铁无功补偿容量较大（一般为几个兆乏），为提高补偿装置的容量，需要将如图 1 所示的几组单相 IGBT-SVG 并联运行。由于采用 PWM 控制方式和 IGBT 作为功率开关器件，有效地提高了主电路的工作频率，减小了输入端电抗器的容量和体积，同时也减小了滤波器的体积，只需在输入端安装高通滤波器滤除载波频率附近的高次谐波，输入电流接近正弦。

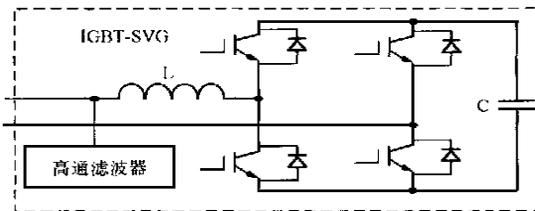


图 1 单相 IGBT-SVG 结构图

由于 IGBT 的耐压和容量有限，必需在变换器的进线侧安装降压变压器；为提高单组 SVG 的容量，图 1 中的开关管采用多只 IGBT 并联。变换器直流侧由于和电网存在无功功率的交换，直流电压会有较大的波动。电容 C 在电路中主要起电压平滑作用，若要将直流电压的波动限制在允许的范围内，所需的直流电容应按变换器能处理的最大无功功率设计，因为直流电压的纹波正比于所补偿的无功功率的幅值。整套无功补偿装置与变电所其它供电设施简化的等效电路图如图 2 所示。

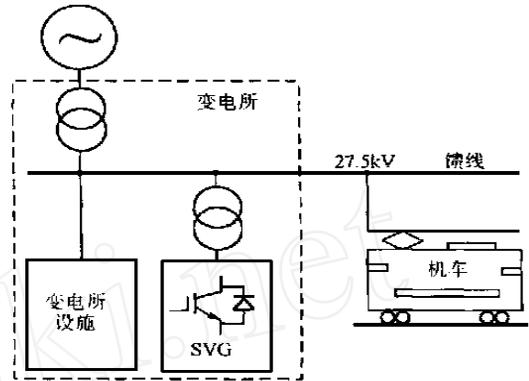


图 2 变电所简化的等效电路图

2.2 工作原理介绍

图 3 给出了单相 SVG 的等效电路图，图中等效电抗 X 包括进线侧降压变压器等效漏抗和变换器输入侧附加电抗。 X 在电路中主要起电流平滑作用，并且和直流侧电容 C 一同起储能作用。电抗 X 越大，变换器输出电流的纹波越小，电抗 X 上的压降亦增加。从减小电流纹波的角度考虑，希望 X 越大越好，但一般不希望 X 上的压降过大，本套装置按额定无功功率输出时电抗 X 上的压降为进线侧交流电压的 6% 来设计。为方便分析，图中未考虑电抗 X 的损耗和变换器自身的开关损耗，因此变换器在稳态时可看作不从电网吸收有功功率，电抗 X 中只流过无功电流。

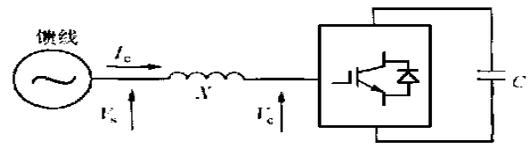


图 3 SVG 等效电路图

设连接变换器的降压变压器低压侧电压和变换器输出端的交流电压分别用 V_S 和 V_C 表示，则电抗 X 上的压降 V_L 即为 V_S 和 V_C 的相量差。由 (1) 式可知，电压 V_S 和 V_C 相位相同，幅值不同，若假设电网电压稳定，则流过 X 的电流 I_C 是可以改变变换器的输出电压 V_C 来控制的。

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{V}_S - \dot{V}_C}{jX} \quad (1)$$

就能量的传输和分配来分析，当输入和输出电压之间存在幅值或相位差时，会产生能量的传递：有功功率从相位超前端向相位滞后端传递，无功功率从幅值大的一端向幅值小的一端传递。因此控制变换器输出电压 V_C 的幅值就可以控制无功功率的大小和流动方向。当 $V_C < V_S$ 时， I_S 滞后 V_S ，变换器

吸收感性无功;当 $V_c > V_s$ 时, I_s 超前 V_s , 变换器送出感性无功。电流超前、滞后时波形和矢量图如图4所示。

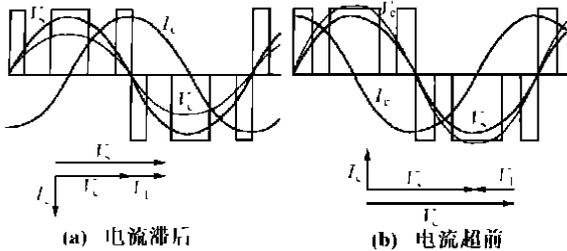


图4 变换器电流超前、滞后时波形和矢量图

根据单相逆变器 PWM 控制的有关理论可知,在正弦线性调制范围内,变换器端口电压 V_c 的幅值等于直流侧电压 V_d 。因此,要实现无功功率的双向流动,直流侧电压 V_d 必须大于 V_s 的峰值电压,这也是保证这种电压型升压式结构变换器正常工作的必要条件。

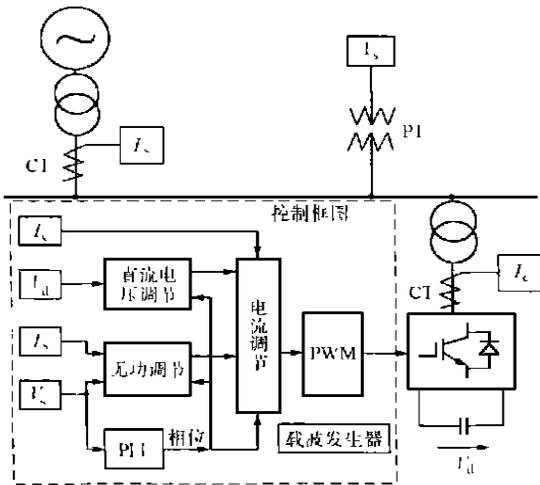


图5 控制系统框图

3 控制系统构成及其仿真结果

3.1 控制系统构成及原理介绍

控制系统框图如图5所示,该控制方式的主要目的在于平衡补偿点的无功功率,使牵引机车所需的无功功率由 SVG 提供,而不从电网索取无功功率,从而稳定补偿点的电压,因此控制系统中加入了无功功率控制环节。另外,为了将直流侧电压控制在允许的范围内,引入了直流电压控制环节。我们知道,直流电压平均值的变化反映了变换器吸收的有功功率的变化,由于变换器除了自身的损耗外,不需要额外的有功功率,系统稳定时直流侧电压平均值恒定。图中检测电网的电压 V_s 和电流 I_s ,经过无功调节器得到变换器输出电流中的无功电流分

量,直流侧的反馈电压 V_d 经直流电压调节器得到变换器输出电流中的有功电流分量,再经电流调节器得到控制变换器端口电压的调制信号,该调制波和三角载波相比较得到 PWM 信号控制 IGBT 的开通和关断。

3.2 系统仿真及其结果

应用控制系统计算机辅助设计软件 MATLAB 对图5中的单相 SVG 控制系统进行了仿真研究。以下给出了补偿装置连接电容性负载时电路的部分仿真波形。主电路参数如下:电网电压 $V_s = 500 \cos t$, 模拟电容性负载 $Q_C = 10 \text{ kvar}$, 入端电抗器 $X = 10 \text{ mH}$, 直流侧电容 $C = 10000 \mu\text{F}$, 直流侧电压 V_d 给定值设为 723 V 。

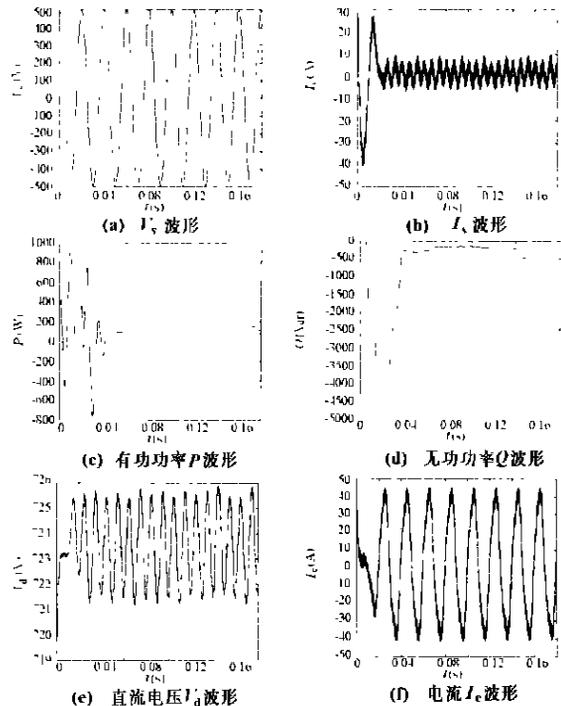


图6 系统仿真波形

由图6(c)、(d)所示波形可知,系统进入稳定工作后,负载所需容性无功功率全部由 SVG 提供,电网只提供装置所需的有功功率。从(a)和(f)所示的波形可知,此时变换器输出电流滞后电网电压,幅值和相位关系如图4中(a)所示。由于采用 PWM 控制方式,变换器输出电流接近正弦,谐波含量小,对电网不会造成谐波污染。由(e)所示波形可知,直流电压以2倍电网频率波动,其平均值保持恒定。

(下转第35页)

WindowsNT之间进行通信实验,效果良好。可见该程序有较高的使用价值。

参考文献:

- [1] 刘贯宇. 电力系统运动技术. 北京:水利电力出版社, 1986.
- [2] Andrew S. Tanenbaum. 计算机网络. 北京:清华大学出版社, 1998.
- [3] 赵庆林,等. 用 VC++ 设计多线程串行通信程序. 计算机应用, 2000, (1).

- [4] 刘树坤,等. 用 Windows API 实现串行通信. 计算机应用, 2000, (2).
- [5] 赵琦,等. Windows 95 环境下串行通信在测控地面站系统中的应用. 遥测遥控, 1999, (5).

收稿日期: 2000-09-28

作者简介: 李予州(1972-),男,硕士研究生,从事电力系统运动、电力系统安全经济运行方面研究; 杨宛辉(1943-),女,教授,从事电力系统监视与控制方面研究; 许珉(1956-),男,副教授,从事电力系统分析方面研究; 王军(1970-),男,讲师,从事电力系统方面研究。

VC++ program for CDT protocol

LI Yurzhou, YANG Wan-hui, XU Min, WANG Jun

(Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A new practicable method providing real-time data from SCADA to power system advanced application software through serial port under Windows NT, is illustrated in this paper. Combining MFC and WIN32 API, this method could easily transmit data under the protocol of CDT. Techniques of multithreading, data share and user defined message are employed for serial communication; Collection Class and MDI are used for data saving and data showing; By means of encapsulation, the software becomes opening and reusable. According to this method, a program has been developed to get real time data in a substation. The application shows the reliability and effectiveness of the proposed method.

Key words: Windows NT; CDT protocol; thread; synchronization; reusable

(上接第 31 页)

4 结论

由以上的分析和仿真波形可知,文中提出的系统构成和控制方案能有效平衡补偿点的无功功率,从而提高补偿点的功率因数,仿真结果很好地验证的该方案的可行性。

参考文献:

- [1] 王兆安,等. 谐波抑制和无功功率补偿. 北京:机械工业出版社, 1998, 9.

- [2] 李群湛. 电气化铁道并联综合补偿及其应用. 北京:中国铁道出版社, 1993.
- [3] 米勒 TJ E. 电力系统无功功率控制. 北京:水利电力出版社, 1990.

收稿日期: 2000-09-27; 改回日期: 2000-10-19

作者简介: 陈天锦(1973-),男,工学硕士,现从事电压无功综合补偿装置的设计研究工作; 文劲宇(1970-),男,工学博士,现在许继博士后工作站从事电压无功综合补偿装置的研究设计工作; 张望(1950-),男,高级工程师,现从事高压直流输电的研究设计工作。

The system structure and simulation study of single-phase IGBT-SVG for railways

CHEN Tian-jin, WEN Jin-yu, ZHANG Wang

(Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: The pollution to power system caused by locomotives' motion is one of the cause that restricts the development of railways in our country. Having combined the require of rebuilding railways, this paper presents the system structure and control method of single-phase IGBT-SVG for railways, and the simulation study about it by MATLAB simulation software is provided. The conclusions validate the feasibility of the scheme.

Key words: railways; single-phase; isolated gate bipolar transistor; static var generator; pulse width modulation