

新型动态电压凹陷校正器研究

龙 云,肖先勇
(四川大学 电气信息学院,四川 成都 610065)

摘要:提出一种基于串并联的动态电压凹陷校正器(DVSC)补偿三相电力系统电压凹陷或隆起新方法,该方法较现有动态电压调节器(DVR)及配电静态补偿器(D-STATCOM)能在大幅降低成本的同时有效地提供保护。该方案基于电压升压变换电路,能够通过升压或降压快速校正电压,其主要特点是具有最小能量储存的单阶功率变换电路。介绍了新型电压控制拓扑、晶闸管旁路开关的交换逻辑。仿真和实验结果证明了该方法的有效性。

关键词:电压凹陷; 动态电压凹陷校正器; 晶闸管旁路开关

中图分类号: TM 761 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2006)06-0033-03

0 引言

随着科学技术的发展,敏感负荷的应用使得电力用户对电能质量的要求越来越高。动态电压质量问题越来越得到供电和用电方的重视^[1-2]。

目前,典型的电能质量事件一般持续时间不超过 1 s,电压凹陷深度不大于额定电压的 50 %,短时中断不超过 6~10 个周期^[3]。现有解决方案主要都基于包含直流储能和功率开关的逆变系统^[4],如:为了缓减电压凹陷问题,在配电系统中应用了 FACTS 设备,诸如动态电压调节器(DVR)和配电静态同步补偿器(D-STATCOM),都运用了电力电子技术,尤其是逆变技术^[5-10]。基于 FACTS 的技术均具有出色的动态特性,但由于储能元件和逆变系统的加入,控制复杂、造价昂贵。

本文提出一种低成本解决方案,称为动态电压凹陷校正器(DVSC),该方案基于电压升压变换电路,通过晶闸管旁路开关选择升降压或旁路模式,能对输入端的交流线电压提供 100 % 的升压,因而能校正额定电压 50 % 的电压凹陷。DVSC 没有大容量的储能元件,其补偿能源主要来源于系统电源,从而结构简单,显著降低了成本,同时引入了 PWM 控制的不含储能元件的 IGBT 开关^[11],提高了响应速度。由于不包含串联变压器和很少的能量储存,DVSC 具有成本低、控制方法简单、效率高等优点,能对 92 % 的电能质量问题,额定电压 50 %、持续时间不超过 2 s 的电压凹陷进行有效的补偿。

1 单相 DVSC 的拓扑结构

如图 1 所示,单相 DVSC 包含 1 个由反向并联晶闸管构成的旁路开关(S_{BSW}),以及由 IGBT、电容、电感、二极管等电气元件构成的桥式电路,起到升压变换的作用。其中 S_{W1} 、 S_{W2} 表示 IGBT 开关, C_1 、 C_2

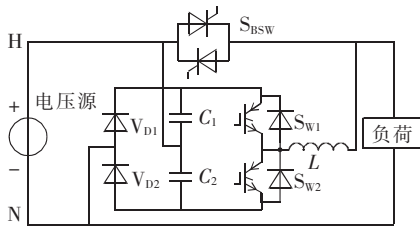


图 1 单相 DSVC 拓扑结构
Fig.1 Single-phase DSVC topology

表示电容, V_{D1} 、 V_{D2} 表示二极管, L 为电感。

IGBT 只有在发生电压凹陷时才被触发,而且调整电压的时间由 PWM 的工作周期决定。通常状况下,晶闸管构成的交流旁路开关是闭合的,直接连接电源和负荷,直到发生凹陷时才断开。利用静态旁路开关,电压补偿的效率比较高,因为在正常的运行状态,电流只经过晶闸管,是非常有效的基波通道而不会附加谐波电压成分。

发生电压凹陷情况下,旁路开关迅速关断,当输入电压为正时, V_{D2} 导通, V_{D1} 反向关断, S_{W1} 由 PWM 触发导通, S_{W2} 关断;同理,当输入电压为负时, V_{D1} 导通, V_{D2} 反向关断, S_{W2} 触发导通, S_{W1} 关断。

2 电压校正方案的基本结构及原理

电压校正系统的基本结构如图 2 所示。

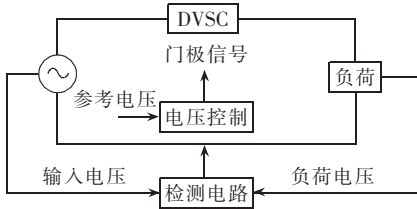


图 2 电压校正系统基本结构图
Fig.2 Basic configuration of proposed DVSC

检测电路通过比较输入电压和负荷电压,决定 PWM 的工作周期和电压补偿的开始时间,所以,精确快速的电压检测是电压凹陷补偿动态表现的重要

因素。目前,许多方法都应用了 dq 分解。如果三相参数如电压或电流是平衡的, dq 分解的结果就是连续的直流值,但是,对于三相不平衡的电压凹陷, dq 分解不能表现直流值的即时变化,分解的结果包含频率为 100 Hz 的波形成分,是源电压频率的 2 倍,这就需要 100 Hz 的陷波器或关断频率低于 100 Hz 的低通滤波器消除高频成分。这些滤波环节引起电压检测的延时,影响整个电压补偿响应时间。

为了快速地控制和检测电压凹陷,本文采用相对简单的“峰值检测法”^[7-9]。与需要三相参数的 dq 分解法不同的是峰值检测法只需要单相参数,并且配置了关断频率为 300 Hz 的低通滤波器消除检测电路的测量噪声。峰值检测法的实现如图 3 所示, U_m 表示电压峰值,峰值检测值如式(1)所示:

$$(U_m \sin \theta)^2 + (U_m \cos \theta)^2 = U_m^2 \tag{1}$$

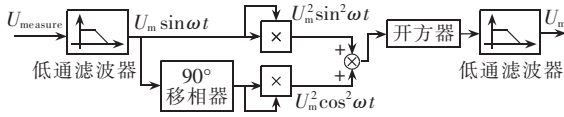


图 3 应用峰值检测法的电压测量逻辑

Fig.3 Voltage measurement logic using peak detection method

基于 PI 控制器的电压控制结构如图 4 所示,PI 控制器的输入为参考电压 U_{ref} 和负荷电压 U_{load} 之间的误差, K_p 是比例增益, K_i 是积分增益。为了获得更快的响应速度,此处利用了前反馈设计,发生电压凹陷时,即时的前反馈输出为正,增加了 IGBT 实际的工作周期。前反馈控制是在电压凹陷初期加快响应和电压恢复期间减少过压的有效手段。

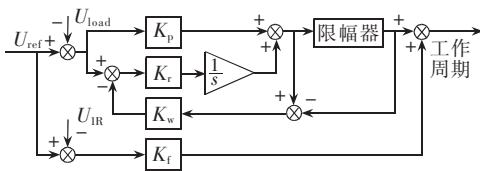


图 4 基于 PI 控制器的输出电压控制器

Fig.4 Output voltage controller based on PI controller

3 晶闸管变换设计

电压正常情况下晶闸管是接通的,如在旁路模式下直接连接输入端和负载端。为了得到比较快的动态响应,要求一旦检测到电压凹陷,静态旁路开关能迅速关断,换言之,IGBT 应能尽可能快的导通调整输出电压,避免电压凹陷进一步恶化。然而晶闸管不能靠门极信号关断,可以通过正常变换或强制变换关断,强制变化模式下,变换逻辑(电路)加一个反偏电压到晶闸管上,使其在几微秒内关断;正常变换模式下,晶闸管电流降为零时,晶闸管自然达到临界状态。由此可见,晶闸管变换由输入电压极性和晶闸管电流共同决定。基于 PI 控制器的输出电压控制器如图 4 所示。

晶闸管正向电流变换图如图 5 所示。

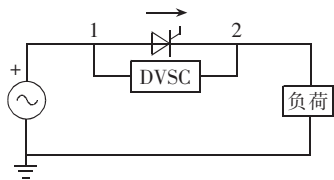


图 5 晶闸管正向电流变换图

Fig.5 Commutation scheme showing positive thyristor current

图中的箭头代表了极性为正的电流方向。先假定电压正常状态下输入电压为正,当发生电压凹陷时,电压控制器停止对晶闸管输出门极触发脉冲,当晶闸管满足强制换流条件即可关断。同时,由 PWM 触发 IGBT 开关,当 IGBT 开通时,节点 2 的电压高于节点 1(升压作用),反偏电压加到晶闸管上,使其快速关断,这意味着如果输入电压和晶闸管电流同为正,即两者极性相同时,IGBT 的导通使得晶闸管关断。

然而,电压为负、电流为正(极性相反)情况下,IGBT 导通,因为节点 2 电压低于节点 1,更多正偏电压加到晶闸管上,因此,当极性相反时,导通 IGBT 并不能关断晶闸管。一旦发生电压凹陷,晶闸管门极信号取消,直到晶闸管电流降为零之前,IGBT 的门极信号应保持关断状态。变换逻辑概括如下:

- a. 如果晶闸管电流和输入电压同极性时,IGBT 导通;
- b. 如果极性相反,并且在晶闸管电流降为零以后 PWM 开始工作,IGBT 保持关断。

4 仿真结果

为了证明本文方法的有效性,采用 Matlab / Simulink 对 DVSC 的电压输出和补偿效果进行了仿真。

实验采用 220 V、50 Hz 交流电压,负荷由电阻和电感构成,IGBT 的开关频率是 1.5 kHz,晶闸管的开关频率是 10 kHz,工作周期是 30 %。

当输入电压有 20 % 凹陷时的波形图,以及通过本方法进行校正后的波形图如图 6 所示。

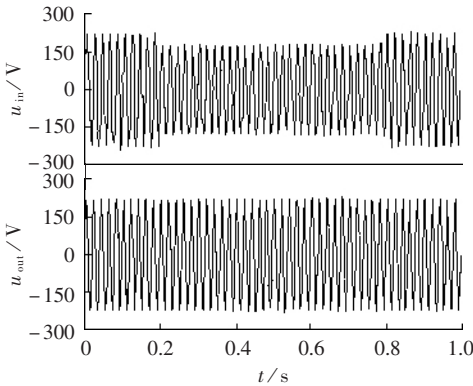


图 6 包含 20 % 电压凹陷的输入电压和校正后的输出电压

Fig.6 Input voltage with 20 % voltage sag and output voltage

当输入电压含有 50 % 的凹陷时,通过本方法也能比较好地校正波形,如图 7 所示。同时,也可以

从图中看到存在由于电压检测延时而造成的电压过冲。

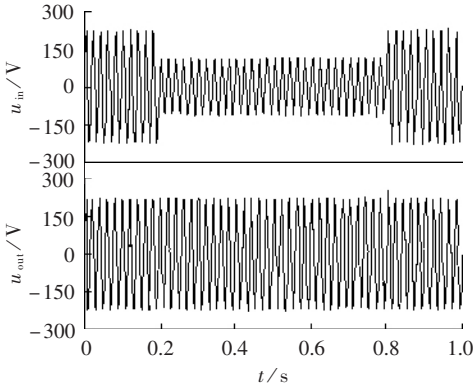


图 7 包含 50 % 电压凹陷的输入电压
和校正后的输出电压
Fig.7 Input voltage with 50 % voltage
sag and output voltage

5 结论

本文提出的基于电压升压变换电路的动态电压凹陷校正器,具有拓扑结构简单、控制方法简便、成本低和效率高等特点。经仿真实验证明,在比较好的动态响应时间范围内可以有效地校正电压凹陷。本方案的具体实现尚有很多工作需要作进一步研究,这也是作者目前正在开展的工作。

参考文献:

[1] WOODLEY N H,SUNDARAM A M L. Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1999,14(3):1181-1186.
[2] 严干贵,姜齐荣,黄民聪. 未来的用户电力技术[J]. 电力系统自动化,2002,26(1):62-69.
YAN Gan-gui,JIANG Qi-rong,HUANG Min-cong. Custom power technologies in the future[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002,26(1):62-69.
[3] MELHORN C J,MAITRA A,SUNDERMAN W,et al. Distribution system power quality assessment phase II: voltage sag and interruption analysis[C]// Petroleum and Chemical Industry Conference,2005. Industry Applications Society 52nd Annual. Knoxville,USA:[s.n.],2005:113-120.
[4] 杨潮,韩英铎,黄瀚,等. 动态电压调节器补偿电压研究[J].

电力自动化设备,2001,21(5):1-5.
YANG Chao,HAN Ying-duo,HUANG Han,et al. Study on series compensating voltage in DVR [J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(5):1-5.
[5] HAQUC M H. Compensation of distribution system voltage sag by DVR and D-STATCOM[J]. IEEE Porto Power Tech Proceedings, 2001,1(1):1-5.
[6] CHENG P T,HUANG C C,PAN C C,et al. Design and implementation of a series voltage sag compensator under practical utility conditions[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2003,39(3):844-853.
[7] CHAN K,KARA A. Voltage sags mitigation with an integrated gate commutated thyristor based dynamic voltage restorer[C]//8th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Athens,Greece:[s.n.],1998:561-565.
[8] 任丽军,童子权,那晓群. 一种重复信号峰值检测的方法[J]. 电测与仪表,2001,38(7):24-26.
REN Li-jun,TONG Zi-quan,NA Xiao-qun. A method on the measurement of a repeated signal's peak value[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2001,38(7):24-26.
[9] KARIMI-GHARTEMANI M,IRAVANI M R. Robust and frequency - adaptive measurement of peak value[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2004,19(2):481-489.
[10] 韩英铎,严干贵,姜齐荣,等. 信息电力与 FACTS 及 DFACTS 技术 [J]. 电力系统自动化,2004,28(19):1-6.
HAN Ying-duo,YAN Gan-gui,JIANG Qi-rong,et al. Electric power in information society and FACTS and DFACTS [J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(19):1-6.
[11] ZHAN C, RAMACHANDARAMURTHY V K,ARULAMPALAM A,et al. Dynamic voltage restorer based on voltage space vector PWM control[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2001,37(6):1855-1863.
[12] CHU Hui-yung,JOU H L,HUANG Ching-licn. Transient response of a peak voltage detector for sinusoidal signals[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics,1992,39(1):74-79.
[13] 肖国春,刘进军,王兆安. 电能质量及其控制技术的研究进展[J]. 电力电子技术,2000,34(6):58-60.
XIAO Guo-chun,LIU Jin-jun,WANG Zhao-an. Development of power quality and its control technique[J]. Power Electronics, 2000,34(6):58-60.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

龙 云(1977-),男,四川乐山人,硕士研究生,研究方向为电能质量与电力市场(E-mail:gggyylong13@sina.com);
肖先勇(1968-),男,四川宜宾人,副教授,从事电能质量与电力市场方面的研究与教学工作。

Research of dynamic voltage sag corrector
LONG Yun,XIAO Xian-yong

(School of Electrical and Information,Sichuan University,Chengdu 610065,China)

Abstract: A series-parallel connected DVSC(Dynamic Voltage Sag Corrector) is designed to compensate voltage sag and swell conditions in the three-phase power system. Compared with the DVR (Dynamic Voltage Regulator) and the D-STATCOM(Distribution STATic var COMPensator),it effectively provides protections at greatly reduced cost. Based on a voltage boost circuit,it is able to quickly correct the voltage by either boosting the input voltage during sags or reducing it during swells. Its key feature is the single stage power conversion circuit with the minimal stored energy. The new voltage control topology is presented,as well as the commutation logic for the thyristor bypass switch is provided. Experiments are carried out to verify its validity.
Key words: voltage sags; dynamic voltage sag corrector; thyristor bypass switch