

●应用技术

基于三电平逆变器的 DSTATCOM 装置设计

高伟

(西安理工大学水利水电学院电力工程系)

摘要:提出了一种基于三电平逆变器的 DSTATCOM 无功补偿装置及其保护系统的设计方案。介绍了装置主电路结构和参数选择的规则,采用数字信号处理器 TMS320LF2407A 为控制芯片并利用文献提出的一种三电平 SVPWM 简化算法来实现装置对配电网负荷的无功补偿。实验结果表明,该装置具有快速调节无功的能力和输出电流谐波小等优越性能。

关键词:配电网静止同步补偿器;三电平逆变器;数字信号处理器

中图分类号:TM131;TM135

文献标识码:A **文章编号:**1004-6429(2008)04-0147-03

DSTATCOM 作为 DFACTS 家族中重要成员之一,在无功补偿方面具有比传统的无功补偿装置响应速度更快,运行范围更宽,装置体积更小等优势,得到了电力工业界越来越多的关注。

目前,对 DSTATCOM 的研究大多采用两电平逆变器的拓扑结构。两电平结构固然有其自身的优点,例如控制简单、成本低等。但它的输出线电压只有两个电平,在同样的开关频率及控制策略下,其输出电压和电流谐波水平明显高于三电平逆变器。而且三电平逆变器每一个主管上承受的电压仅为直流侧电压的一半,这样有利于提高装置的容量,增加无功电流的调节范围。

1 主电路结构

采用三电平逆变器为主电路的 DSTATCOM 装置主电路结构如图 1。

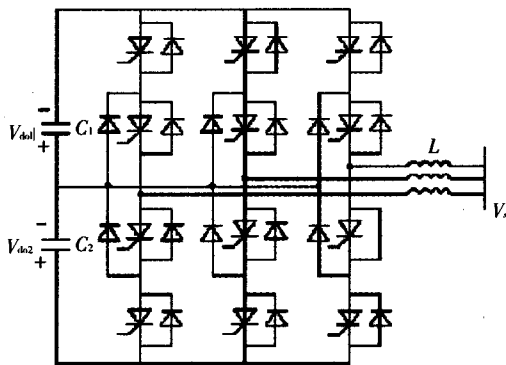


图 1 DSTATCOM 主电路结构

本装置的设计容量为 100 kVar,主电路设计的关键是选择合适的直流电容器、连接电抗器、IGBT 以及钳位二极管等元件。

1.1 连接电抗器

电感对系统主要有以下三方面的影响:①电感值越大,发

出同量无功所需逆变器的输出电压越高,系统的设计容量越大。为了降低 IGBT 和电抗器的成本,电感的取值越小越好。②从 DSTATCOM 的响应速度考虑,电感越小,装置的开环响应速度越快。③在相同的逆变器输出电压谐波幅值的条件下,电感越大,系统电流中的谐波电流越小。同理,较大的电感对 DSTATCOM 抵抗系统不对称比较有利。本装置中电抗取 15%,即 $L=0.7$ mH。

1.2 直流侧电容器

电压参考值的选择可以根据下列公式来确定:

$$U_{dc} = 2 \times \left[U_{S(\text{peak})} + \frac{Q \cdot X_1}{\sqrt{3} \cdot U_{S(\text{peak})}} \right]$$

式中: $U_{S(\text{peak})}$ ——电网电压,本设计中取为 400 V;

Q ——设备容量,按 100 kVar 计算;

X_1 ——线路电抗, $X_1 = W_0 L$, 根据设备容量, L 取值 0.7 mH;

W_0 ——交流侧电压角频率。

计算后得出 U_{dc} 为 572 V。所以电容电压的最终参考值取为 600 V。

电容容量的选择需要考虑以下几个因素:①电容器电压的波动幅值,较大的电容值有利于抑制电压波动。②系统振荡对电容的限制,不同的电容值在不同的频率会使装置产生振荡现象,必须合理选取以避免这种现象。③电容电压波动对输出电流谐波含量的影响,较大的电容有利于减少谐波含量,但也要考虑到成本与空间的制约。本文设计中采用的电容根据以下公式选择:

$$C = \frac{Q}{W_0 U_{dc}^2}$$

$$\text{则 } C = \frac{100 \times 10^3}{2\pi f \times 600^2} = 884 \times 10^{-6} (\text{F})$$

所以,选取的电容器容量为 900 μF 。

1.3 IGBT 参数的选择

因为该装置是为 220 V/380 V 系统的补偿设计,设计容量为 100 kVar,则据此计算出 IGBT 的额定电流为:

$$I_{\text{cr}} \geq \sqrt{2} \times 1.5 \times 1.4 \times I_0$$

式中:1.5——过载系数(150%时 1 min);

作者简介:高伟,男,1977年1月出生,在读硕士研究生,710048,陕西省西安市金花南路5号西安理工大学725信箱

收稿日期:2008-05-19

1.4—— I_m 温度系数(考虑结温升高因素);

I_0 ——逆变器输出电流;

$$I_0 = Q / (\sqrt{3} \times V_0)$$

式中: Q ——系统的输出功率(按 100 kVar 设计);

V_0 ——逆变器输出电压。

则 IGBT 的额定电流为:

$$I_m \geq \frac{\sqrt{2} \times 1.5 \times 1.4 \times Q}{\sqrt{3} \times V_0} = 450.1(\text{A})$$

IGBT 的额定电压则按照下式计算:

$$V_{CES} \geq (U_{dc} \times 1.20 + 150) \times \alpha$$

式中: U_{dc} ——直流母线电压($U_{dc} = 600 \text{ V}$);

1.20——过压保护系数(120%);

150——尖峰电压;

α ——安全系数(正常 $\alpha = 1.1$)。

则 IGBT 的额定电压为:

$$V_{CES} \geq (600 \times 1.20 + 150) \times 1.1 = 957(\text{V})$$

根据上述计算数据,选取额定电压和额定电流分别为 500 A/1 000 V 的 IGBT 元件。

1.4 嵌位二极管的选取

嵌位二极管选择的原则为:额定电压是直流母线电压的一半,额定电流和逆变器输出的额定电流是一样的。所以嵌位二极管的额定电压计算值为:

$$U_{ncd} = \frac{1}{2} U_{dc} = 300(\text{V})$$

而其额定电流的计算值为:

$$I_{ncd} = I_0 = S / (\sqrt{3} \times V_0) = \frac{100\ 000}{\sqrt{3} \times 380} \approx 150.2(\text{A})$$

设计过程中要按工程的需要留有一定的余量。所以选择的嵌位二极管其额定电压和额定电流为 300 V/200 A。另外,二极管要选用快恢复二极管。

2 控制系统设计

控制器是 DSTATCOM 装置的核心部件之一,它通过产生并控制驱动开关器件的脉冲来控制 DSTATCOM 的各种行为,完成 DSTATCOM 的控制任务。设计良好的控制器,选用合适的控制策略是 DSTATCOM 补偿效果好坏的决定性因素。考虑到本装置采用三电平结构,而且容量较小,选择控制策略应兼顾补偿的快速性和精确性,因此将应用瞬时无功理论和直接电流控制算法,而脉冲发生则采用简化的电压空间矢量算法。

2.1 控制器硬件部分

由于直接电流控制算法是对电流瞬时值的跟踪控制,要求主电路中电力半导体开关器件有较高的开关频率,因而对计算的实时性要求较高。同时,三电平逆变器的 SVPWM 控制规则比两电平多,运算量大。本例中将选用 TI 公司的 TMS320LF2407A DSP 作为控制芯片,它的最高运算速度可达 40MIPS,单指令周期为 25 ns,片内包含了 2 个事件管理器,每个管理器有 3 个全比较单元,共带 12 路带死区编程的 PWM 输出,特别符合本装置的控制要求。其硬件控制框图见图 2。

2.2 控制器软件部分

控制器的软件设计主要包括了主程序和中断子程序的设计,对三电平主电路来说 PWM 的软件产生方法比较关键。目前,三电平的 PWM 控制主要有:正弦波调制(SPWM),选择性谐波调制(SHE - PWM)以及电压空间矢量调制(SVPWM)。

SVPWM 以其输出电压利用率高、电容中点电压容易控制和功率管的开关次数较少而得到大量应用。本文设计中应用了文献中提到的三电平简化算法,将三电平参考电压矢量转化至两电平空间矢量区,从而可以利用已有的成熟的两电平 SVPWM 技术直接进行调制。另外,考虑到本装置的 PWM 周期较短,运算量大,还有交流信号和同步信号的采集,在设计中断子程序时只用到了 T1 下溢中断以保证程序能够稳定地按照严格的时序运行。以下为主程序和 T1 中断子程序算法流程图(见图 3、图 4)。

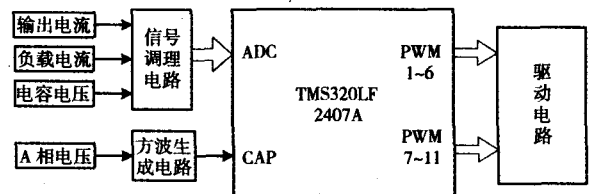


图 2 DSTATCOM 控制器硬件框图

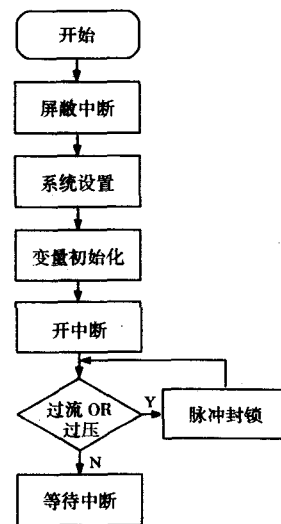


图 3 主程序流程图

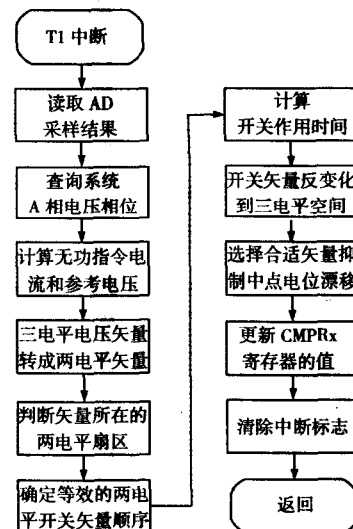


图 4 中断子程序流程图

3 装置的保护系统设计

DSTATCOM 装置的安全运行主要受开关器件安全的限制,在实际应用中影响开关器件安全工作的因素主要是过电流。以本文设计装置为例,当负荷过大或直流侧短路引起电流峰值大于 IGBT 额定电流 500 A 就会导致 IGBT 损坏。另一方面,直流侧电容电压也不能过高,否则不但容易损坏电容,而且造成开关器件关断状态下承受的电压偏高,因此 DSTATCOM 装置设计了过电流保护和过电压保护,并且设置了软件与硬件两级保护以保证脉冲在故障状态下封锁。软件保护已经在前面主程序流程图中得到体现,这里不再重复说明。硬件保护方面将利用 DSP 芯片的功率驱动保护引脚。当该引脚由高电平变低电平时,使 PWM 输出置高阻态,从而达到保护的目。

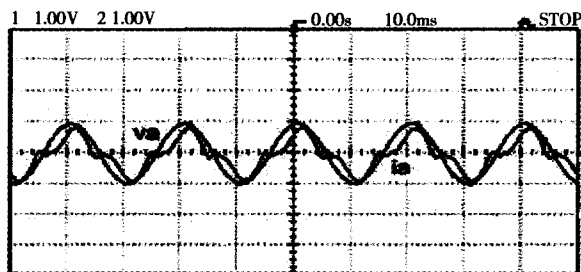


图 5 补偿前负载电流与系统侧电压波形

实验。其中,图 5 为补偿前系统侧电压与电流的波形图,图 6 为补偿后的波形图。

可以看出,补偿后的系统电压与电流基本达到同相位。实验结果证明,装置非常适用于提高配电网功率因数,改善配电网电压稳定度,同时也验证了本文提出的设计方案的正确性。

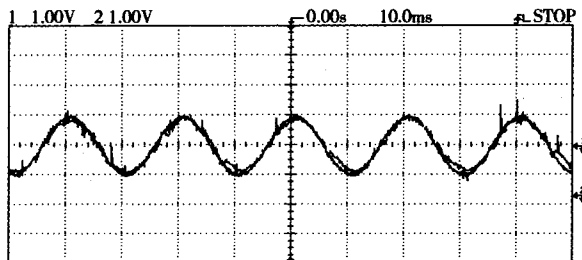


图 6 补偿后的电流和电压波形

参考文献

- [1] 张毅.空间矢量 PWM 算法在 D-STATCOM 中的应用研究[D].西安:西安理工大学,2005.
- [2] 刘文华,刘炳,等.基于 IGBT 三电平逆变器的 100kvarD-STATCOM[J].电力系统自动化,2002(10).
- [4] 江思敏.TMS320LF240XDSP 硬件开发教程[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [5] 李辉.基于 DSP 的无功补偿装置的研究与设计[D].杭州:浙江大学,2004.

4 实验结果分析

根据以上 DSTATCOM 装置的设计效果,我们做了负荷补偿

Design of Three - level Inverter - based DSTATCOM Device

Gao Wei

ABSTRACT: This paper presents a design of DSTATCOM based on three - level inverter and its protective system. The main circuit configuration and the criteria for parameter selection are proposed. The controller is implemented on the TMS320LF2407A platform by adopting a simplified three - level SVPWM method from cited document. The experimental result shows that the device has the ability to compensate reactive power dynamically and the output current has lower harmonics.

KEY WORDS: DSTATCOM; three - level inverter; DSP

欢迎广大科技工作者踊跃投稿

E - mail sxzls189@163.com