

【编者按】为了增加本刊的技术含量,从第2期起有计划地刊登一些有关电源技术方面的“技术讲座”。拟从“逆变器的工作原理及应用”开始,特邀华中科技大学的杨荫福和段善旭两位教授与本刊张乃国主编合作编写此稿,还要邀请企业的研发人员撰写应用实例。欢迎诸位编委、专家及企业的电源技术人员支持这一栏目。

逆变器的工作原理及应用(二)

华中科技大学 杨荫福 段善旭
清华大学 张乃国

摘要 这里首先介绍恒频恒压逆变器,分析其电路结构和工作原理,讨论逆变器中变压器的直流不平衡及其控制方法等实用问题,还介绍几个SPWM逆变器产品的原理电路。

(上接第2期p.60)

对于系统中可能出现的各种“动态”直流不平衡现象,比较理想的对策是采用适时反馈进行直流补偿。一种简单的补偿电路如图5(c)所示。图中, S_1 和 S_2 是电子开关(1片DIPI4封装的4066芯片就含有4个电子开关),电子开关在控制信号为高电平时导通。 R_{S1} 、 R_{S2} 和 C 组成滤波电路,在 C 上积累电压的大小和方向能够反映两个电子开关在一个调制周期内导通时间的差异。 C 上电压通过跟随器输出的直流电平同静态补偿电路一样,参与调制PWM波形。如果 $+a$ 、 $-a$ 分别对应正、负输出的驱动信号,在一个周波中, $+a$ 的高电平时间比 $-a$ 的高电平时间长,输出电压会有正的直流分量,但是,图5(c)中 S_1 的导通时间就比 S_2 短, C 上电压为负,电压跟随器输出一个相应的负电平,对调制波作负偏移,从而可以自适应地抵消由控制系统等引起的直流分量。

这种方法要求图中电阻 R_{S1} 、 R_{S2} 的数值和正、负电源值 $+U_{CC}$ 、 $-U_{CC}$ 应严格对应;此外,信号的检测来自开关管的控制信号,控制信号的对称并

不能保证逆变电路输出的对称,应用下面给出的数字电路就能够解决这些问题。

——数字适时补偿电路

首先探讨直流偏磁的采样。当直流偏磁发生时,输出变压器原边电流的直流分量增大。因此,SPWM全桥逆变器的直流偏磁可表现为输出变压器原边电流的直流分量的产生和增加。如果能检测出原边电流的直流分量并加以控制,则可解决偏磁问题。在SPWM全桥逆变器中,输出变压器的原边电流为励磁电流与副边电流折算到原边的电流之和。

励磁电流中直流分量的提取有硬、软件两种方法,硬件提取先经有源滤波,再通过A/D口读入直流量实现;软件提取则通过原边电流瞬时双极性A/D采样,再用滤波算法来实现。

图6为SPWM全桥逆变器抗直流偏磁数字PI控制器的原理框图,对控制器要求原边电流直流分量以最小误差收敛到0,并满足一定的动态指标。此外,在程序中还可采用软启动技术和最小占空比限制。前者防止开机时产生瞬态饱和,后者防止驱

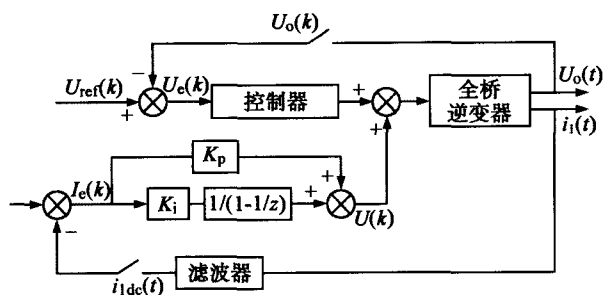


图6 抗直流偏磁数字PI控制器

动脉冲过窄而丢失造成直流偏磁。

下面简单介绍数字控制器的设计,定义原边电流直流分量的误差量 $I_e(k)=0-i_{1dc}(k)$,式中 $i_{1dc}(k)$ 为所提取的原边电流直流分量。数字PI控制器根据 $i_{1dc}(k)$ 来产生所要求的控制量,使 $I_e(k)$ 为一个很小值。

$$U(z)=K_p I_e(z)+K_i I_e(z)/(1-z^{-1})$$

采用增量式PI控制算法,其增量表达式为

$$U(k)=U(k-1)+\Delta U(k)$$

$$\Delta U(k)=K_p[I_e(k)-I_e(k-1)]+K_i I_e(k)$$

式中 $U(k)$ 为抗直流偏磁控制器输出偏磁补偿量; K_p 、 K_i 分别为数字PI控制器的比例及积分系数。

输出变压器原边电流采样后,通过数字PI控制器对驱动脉宽进行修正,以减小原边电流中的直流分量,使得变压器的直流偏磁限制在较小范围内。

除了上面的抗直流偏磁方法以外,变压器铁心设置气隙,改善磁导率的线性度,在变压器原边串联隔直电容,隔离输入到变压器的直流分量,都是比较有效的方法。但是,前者要求特制变压器,后者要求增加主电路的元件,使得装置的成本和体积增加。

(5) 输出电压波形控制

随着逆变器的广泛应用,人们对输出电压的质量要求也越来越高。不仅要求逆变器的输出电压稳定,而且要求输出电压的正弦度好,动态响应速度快。与此相适应,逆变器的波形控制技术从开环

控制发展到输出电压瞬时反馈的闭环控制。

① 开环控制

早期的逆变器对波形采用开环控制,它只有电压平均值的反馈闭环控制,没有波形瞬时值的闭环控制。逆变器直接用希望的正弦信号波和三角载波进行比较获得SPWM波。随着单片机等数字器件的发展,波形的开环控制逐渐采用了数字方法,从而出现了几种新型的SPWM技术,如载波调制SPWM、谐波注入PWM以及最优PWM等。新型的PWM方法虽然可以在一定程度上改善逆变器的输出电压质量,减少波形畸变,但开环控制仍不可避免地具有以下局限性。

——输出波形质量差,总谐波畸变率高。虽然在理想情况下,开环控制可以得到正弦度很好的输出电压,但它对各种非理想因素引起的输出电压畸变却无能为力,包括开关死区对输出电压的影响以及非线性整流负载引起的输出电压波形畸变。

——系统动态响应速度慢。当负载突变时,输出电压会出现很大的波动,并且需要很长的时间才能恢复稳定。

② 闭环控制

为了克服以上缺点,将波形闭环反馈控制策略引入到逆变器的控制中,产生了各种瞬时值反馈控制方法。从而保证了输出电压波形的正弦度,消除了各种非线性因素对输出电压的影响。

与开环控制相比,闭环控制也有不足之处。首先,由于引入了输出量反馈,必须相应地使用各种检测元件,增加了系统的成本;其次,如果控制系统设计不好,运行过程中由于各种因素影响,有可能造成逆变器输出电压振荡,使得系统的可靠性降低。

目前,各种小型逆变器的波形控制既有采用开环,也有采用闭环。对电能质量要求不太高的小容量逆变器多采用开环;中大容量逆变器的用户一般对输出电能的质量要求较高,而检测和控制电路的成本在整个系统中所占比例又非常小,因此,中大容量逆变器多采用波形闭环控制。

1.2 单相恒压恒频正弦波逆变器实例

本实例的主要性能指标如下：直流输入180~320V，交流输出1kW、220V、50Hz，稳压精度优于2%，频率稳定度优于0.5%，正弦交流输出畸变率小于5%。

(1) 主电路

逆变电源采用图7所示主电路。开关管 $T_1 \sim T_4$ 是IGBT，其规格为50A/600V。电感 L_1 是4个IGBT的开通缓冲电路，它能够抑制二极管反向恢复时间引起的短路电流；关断缓冲电路由电阻 R 、电容 C 和二极管 D 并联网路组成； C_2 折算到变压器 T_{M1} 的原边后与 L_2 一起构成交流输出滤波电路；变压器用作电路隔离和升压。

系统的开机、关机控制是利用开关 S_3 来实现的，开关的两

个触头用于切除或置入充电电阻 R_0 ，一个触头用于启动或关闭控制系统。J是开关 S_3 的欠电压脱扣线圈，当J的电压低于其规定值时，开关脱开；如果输入电源断电，欠电压脱扣会使开关脱开，从而保证了启动时充电电阻 R_0 的置入。

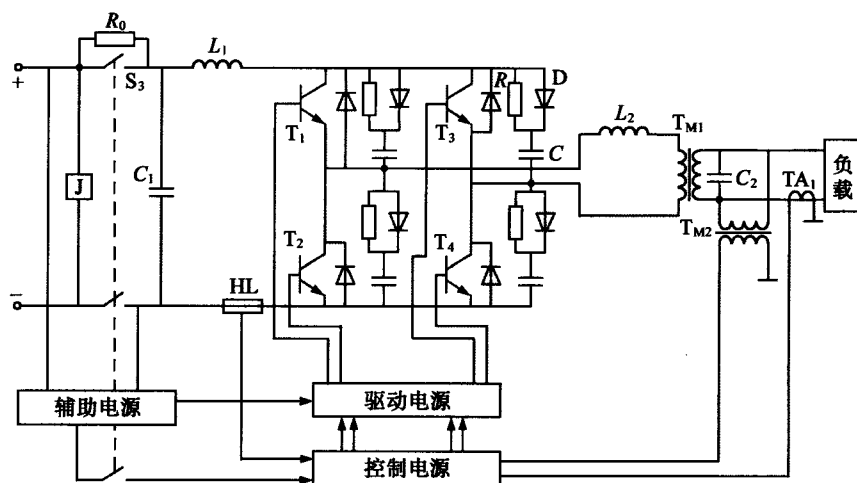


图7 单相逆变器主电路原理图

(未完待续)

(上接p. 49)

蓄电池能得到高效的利用，提高其有效容量及延长蓄电池的使用寿命，应选用具有改进型的恒流充电特性的充电器。如果使用一般的截止型恒压充电器必将导致蓄电池性能的迅速恶化。对长延时UPS而言，蓄电池组的成本往往超过UPS主机的成本，所以用户应该特别注意这一点。

(4)对于绝大多数UPS来说，当它们处于逆变器供电状态时，一般要求它的负载特性为纯电阻或电容性的。当负载为电容性时，其功率因数要求大于0.8。因此，对于那些带感性负载的用户来说，应注意调整其总的负载电抗，尽可能地满足功率因数大于0.9的条件。否则，UPS实际可承担的负载功率将有所下降。厂家建议：UPS的最大启动负载最好控制在UPS额定输出功率的80%以内。对于正

弦波输出的UPS而言，当其负载小于UPS额定输出功率的30%时，输出电压谐波含量会稍有增大。实践证明：对于绝大多数UPS而言，将其负载控制在UPS额定输出功率的60%左右是最佳工作方式。因此，那些对交流输入波形有要求的用户应该注意这一点。

6 结语

UPS装置具有良好的逆变、稳定、充电等特性，在电力自动化系统中使用UPS可以很好地解决变电站直流电源的可靠性和计算机当地监控、运动微机保护以及自动化仪表等设备的电源稳定性等问题。保证了电力系统电网的安全、稳定运行，对提高电力系统的供电质量和供电安全具有十分重要的意义。■