

三相电流型逆变器的PWM控制方法研究

Study on PWM Control Method of Three-phase Current Source Inverter

中国石油大学 电气工程系 袁兆凯 张加胜 刘希臣

Yuan Zhaokai Zhang Jiasheng Liu Xichen

【摘要】 电流型逆变器通常采用正弦调制波和低频锯齿波载波比较的方式产生 PWM 脉冲。对于这种方法来说,如果逆变器直流输入电流中含有脉动成分,则交流输出电流中的谐波分量就会增加。为了抑制这些谐波分量,人们采用了有源滤波和无源滤波;但都还存在着这样那样的问题,要么电路复杂化,要么成本提高了,要么抑制效果不太理想。本文提出了一种有效的三相电流型逆变器的 PWM 控制方法,给出了利用 80C196MC 单片机实现的思路,通过实验证明了这种方法的正确性。

【关键词】 电流型逆变器 脉宽调制 梯形 PWM

Abstract: Current source inverter commonly used the comparison of the sinusoidal modulation wave and the high-frequency sawtooth to produce PWM pulse. For this method, if the DC input current of the inverter contains pulsating component, the harmonic component of the AC output current will increase. In order to inhibit these harmonic component, people used the active filter and passive filter. But there are still all kinds of problems: complicating circuit, or raising the cost, or the inhibitory effect is not ideal. This paper raises a new effective PWM control method of three-phase current source inverter, and shows the working principle by the 80C196MC singlechip. This paper also proves the correctness of the method by experiment.

Key words: Current source inverter Pulse-width modulation Trapezoidal PWM

[中图分类号] TM921

[文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2008)01-0045-03

1 引言

目前,有关逆变器及控制方法的研究工作主要是针对电压型逆变器(Voltage Source Inverter,简称VSI),对电流型逆变器(Current Source Inverter,简称CSI)研究还较少。这不仅是因为通常的电力能源例如发电机、电网和蓄电池等均属于电压源,而且VSI中的储能元件电容器与CSI中的储能元件电感器相比,储能效率和储能元件的体积、价格都具有明显的优势。但是,随着超导技术的发展,电流型变流器中电感的储能效率问题

得到了很好的解决。电流型逆变器的直流电源经大电感滤波,直流电源可近似看作恒流源。和VSI相比,CSI也具有自己的特点和独特的优势,它便于实现四象限运行,而且工作更加稳定,输出电流更容易控制等;抑制过电流能力强,特别适合用于频繁加、减速的启动型负载;在驱动交流电机负载时,CSI输出电流为矩形波,输出电压近似为正弦波;在变频调速系统中,由于CSI直流侧电压可以迅速改变, ψ_m 变化快,从而使调速系统动态响应比较快,而且便于实现回馈制动。

因此,在电力传动、有源滤波(APF)、无功补偿(SVG)以及电力系统中,CSI应用将会越来越广泛。

通常,电流型逆变器的三相PWM控制信号产生方法比电压型要复杂得多,目前有关研究和应用较少,现有的带有PWM信号产生功能的各种专用集成电路、单片机、DSP等,在国内外几乎毫无例外地都是为电压型PWM控制而设计的,无法直接应用于电流型三相PWM控制。根据这一现状,本文研究利用80C196MC单片机的内置PWM波形发

生器硬件资源,提出一种基于80C196MC单片机实现的电流型逆变器三相PWM控制方法——“梯形半折分段调制法”,通过新颖的编程技巧和资源配置,将本来仅适用于电压型PWM控制的单片机及波形发生器,用以实现三相电流型PWM控制。对有关的波形配置理论和编程设计方法进行分析。通过样机实验结果证实了该方法的可行性及优良的波形效果。

2 电流型PWM控制信号产生原理

三相电流型逆变器对其三相PWM控制信号的要求,与电压型逆变器有很大差异,最为突出的一点是3个半桥的上桥臂开关管之间,任何时刻只能且必须仅有一只管导通,以保证直流侧电流的连续性和正常的输出电流波形。这也是电流型三相PWM控制比电压型复杂的重要原因。因此,通常需要采用图1所示的梯形调制原理来产生电流型PWM控制信号。在一个逆变周期中既是1/4周期对称,同时也是1/2周期对称,并且

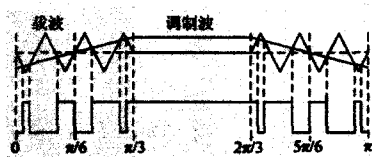


图1 梯形PWM控制波形调制原理

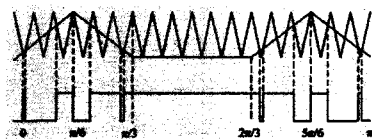


图2 易于单片机实现的调制波形的产生原理

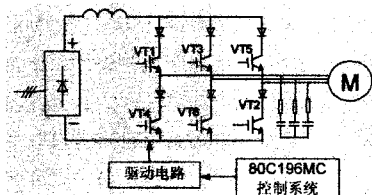


图3 结构框图

半个周期的中间 60° 不进行调制。本文提出的梯形半折分段调制法在整个半周期中PWM调制波形关于 $n/2$ 中心对称。为了便于分析,需要把 $0\sim\pi$ 这半个周期均分成三段来看。中间部分($\pi/3\sim2\pi/3$)不进行脉宽调制,功率开关保持导通; $0\sim\pi/3$ 和 $2\pi/3\sim\pi$ 进行脉宽调制,并且调制波形是对称的。 $0\sim\pi/3$ 这段时间内也是关于 $\pi/6$ 这个点中心互补对称。本文基于80C196MC中波形发生器WFG(Wave Form Generator)的工作原理,为便于该单片机实现,将图1中所示梯形波从半腰中点往下翻折,从而调制波幅度减半,并使该调制波幅度与载频三角波等高,如图2所示,即称作“梯形半折分段调制法”。利用80C196MC中WFG实现时,需要设置在 $0\sim\pi/6$ 和 $5\pi/6\sim\pi$ 期间内高电平有效,调制波只和不翻折的载波部分比较;中间 $\pi/6\sim5\pi/6$ 低电平有效,翻折的调制波只和翻折的载波部分比较。图2所示为梯形半折分段调制法的7脉冲PWM波的具体实现方案,其中载频比是36。将调制波在 $0\sim\pi$ 平均分成6段,那么每段调制波包含 n 个完整的载波周期,那么半周期产生的PWM脉冲数为 $M=2n+1$ 。在梯形半折分段调制法中 n 为奇数,所以当 $n=3$ 时,半周期PWM的脉冲数 $M=7$;当 $n=7$ 时, $M=15$ 。

3 单片机控制方法

80C196MC内置的波形发生器WFG具有3个同步的PWM模块,能产生三对同载波、同操作方式、等死区时间,但脉宽相互独立的PWM波形。能以载波频率重载脉宽等数据,并向CPU定时提出中断申请。WFG具有四种操作方式,常用的是中心对准方式0。WFG的功能配置及脉宽调制是通过设置其专用寄存器来完成的:控制寄存器WG_CON定义WFG的操作

方式,并设置死区时间;输出配置寄存器WG_OUT定义WFG各引脚的有效状态;WG_RELOAD设置三角载波频率;相比较缓冲寄存器WG_COMPx($x=1,2,3$)设置各相脉冲宽度;保护寄存器WG_PROTECT配置WFG的保护功能。逆变脉冲变频的实现就是在WFG的专用寄存器中设置WG_RELOAD以产生合适的载波频率。本方案选用80C196MC单片机的中心对准的工作方式0($M1=0, M2=0$)。

电流型PWM逆变器主电路及控制框图如图3所示。逆变部分通过PWM控制各桥臂开关器件的通断,根据不同的通断组合及通断周期来实现输出频率的变化及输出波形的改善。本文介绍的梯形半折分段调制法,利用80C196MC单片机实现的关键部分是找到离散化后的调制波在数据表中的存储单元,利用这些存储单元作为设置单片机中WFG输出波形高低有效的切换点。正如图2所示,WFG在 $0\sim\pi/6$ 和 $5\pi/6\sim\pi$ 期间内高电平有效,中间 $\pi/6\sim5\pi/6$ 低电平有效。在一个周期中,WFG在 $0\sim\pi/6, 5\pi/6\sim7\pi/6$ 和 $11\pi/6\sim2\pi$ 期间内高电平有效,在 $\pi/6\sim5\pi/6$ 和 $7\pi/6\sim11\pi/6$ 期间内低电平有效。所以在每个周期中需要对WFG在 $\pi/6, 5\pi/6, 7\pi/6, 11\pi/6$ 各点进行高低电平有效的设置。也就是说利用80C196MC实现时,关键是找到图2中调制波对应 $\pi/6, 5\pi/6, 7\pi/6, 11\pi/6$ 在存储单元中的位置。下面是利用切换点进行波形高低有效设置的部分子程序:

```

CMP SIN_PTR1,#12
JLT GAOXIAO2
CMP SIN_PTR1,#60
JLT DIXIAO2
CMP SIN_PTR1,#84
JLT GAOXIAO2

```

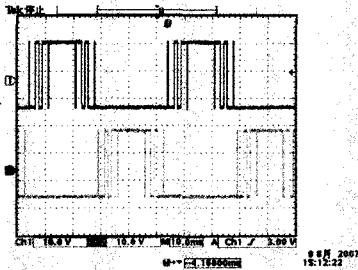


图4 VT1, VT4的控制信号

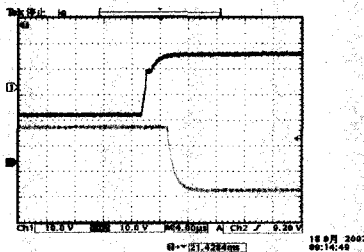


图5 VT1, VT4开通次序

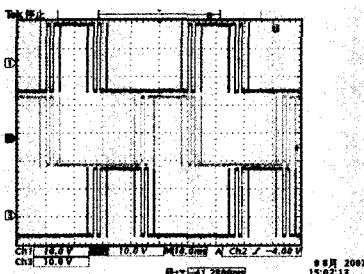


图6 VT1, VT3, VT5的控制信号

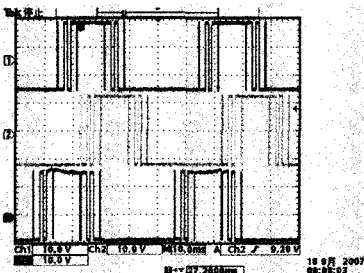


图7 VT1, VT6, VT2的控制信号

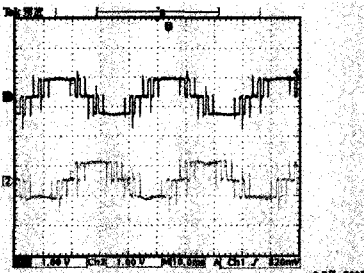


图8 电机两相的输出电流波形

```
CMP SIN_PTR1,#132
JLT DIXIAO2
CMP SIN_PTR1,#144
JLT GAOXIAO2
```

对文本提到的7脉冲PWM,调制波在一个周期中取72个点。按上面的编程思路, B、C两相(已得到的是A相的控制波形)调制波的点分别从第48个点和第24个点开始取。对于多脉冲的PWM,如果一个周期中取A相调制波点的个数为 m ,通过数学计算可以得到B、C两相调制波分别从第 $\frac{2}{3}m$ 个点和第 $\frac{1}{3}m$ 个点开始取。这样就可以得到相位相差 120° 的三路连续的PWM控制信号。为了得到同一相上下两个开关的控制信号,利用单片机的P5.4, P6.6, P6.7产生三路方波。以P5.4为例,生成方波的部分子程序如下:

```
CMP SIN_PTR,#2
JGE L1
SJMP FU1
L1: CMP SIN_PTR,#74
JLT ZHENG1
SJMP FU1
ZHENG1:LDB AL,P5_REG[0]
ORB AL,#10H
SJMP U_PHASE_END
FU1: LDB AL,P5_REG[0]
ANDB AL,#0EFH
```

相对应的由WFG产生的三路PWM每一路和三路方波的每一路经过GAL16V8组合,再通过实验用到的驱动电路延时后,每一路PWM生成两路控制信号,分别控制同一相上下两桥臂开关器件的通断,如图4所示。

4 实验结果

对同一相上下两桥臂开关器件(以VT1, VT4为例),三相上桥臂三个开

关(VT1, VT3, VT5)器件以及VT1, VT4, VT6三个开关器件的通断做如下分析。由图4可以看出在VT1调制导通期间, VT4始终保持关断;在VT4调制导通期间, VT1始终保持关断。再经过延时,使得VT1先导通VT4后关断,或者是VT4先导通VT1后关断,如图5所示。这样就可以做到开关动作期间的先通后断。由图6可以看出VT1, VT3, VT5按相位依次滞后 120° 导通,任何时刻只有一个器件导通。如图7所示, VT1导通期间, VT6、VT2分别轮流导通,时刻保证给电流提供一个通路。为了有效地抑制由于电机电流跃变引起的漏感电势尖峰,实验中还采用了RC吸收电路如图3所示,得到较好的作用效果。

5 结束语

基于梯形波和三角波比较产生PWM的方式,经过有效的波形翻折变形,得到易于单片机实现的“梯形半折分段调制法”。利用80C196MC单片机的片内波形发生器WFG产生控制三相电流型逆变器的PWM控制信号,再通过其他的外围电路,最后产生6个PWM控制信号来分别控制逆变器的6个功率开关。这样得到的电机两相输出电流的波形如图8所示。当逆变器的输出频率较低时,电机的转矩脉动较大,此时适当增加PWM脉冲数可以达到减小电机转矩脉动的目的。实验结果表明本文提出的梯形半折分段调制法切实可行。

作者简介

袁兆凯(1982-)女 硕士在读 研究方向为自动化装置与智能控制系统。

参考文献(略)

有任何意见或评论,请登陆: <http://www.plc-fa.hk>