

基于DSP的逆变器分段同步调制算法的研究

谷杨心

(北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044)

摘要:在铁道车辆变频调速系统中,一般选择采用分段同步调制模式进行变频调速,在载波比切换时,SPWM电压相位可能发生突变,从而导致转矩及转速的突变,影响电机正常运行。为了解决这个问题,本文以微处理器TMS320LF2407A DSP为系统的控制核心,提出了一种抑制相位突变的基本方法——延迟切换时间,在MATLAB/SIMULINK平台上搭建变频调速系统的模型,进行分段同步调制载波比切换的仿真,在不采用任何控制方法时,电机电流冲击很大,采用延迟切换时间则能很好的抑制冲击,仿真及实验结果验证了方法的可行性。

关键词:分段同步调制;SPWM;逆变器;MATLAB/Simulink

中图分类号:TM464

文献标识码:A

文章编号:1001-1390(2010)06-0073-04

Sub-synchrony Modulation Method Study of Inverter Based on DSP

GU Yang-xin

(School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract:In the inverter of railcar, it is better to use sub-synchronization modulation in variable frequency speed control, but the SPWM voltage phase may change abruptly when frequency modulation ratio which may lead torque and rotor speed changing abruptly and have a harmful effect on motor. In order to solve the problem, this paper uses TMS320LF2407A DSP as the control center and presents basic method to restrain the change of the phase: delaying the time of switch. The model of induction motor variable-frequency speed control system is built based on MATLAB/SIMULINK. In the model of Sub-synchronization modulation carrier ratio change, the stator current of motor has great concussion without any control method, while the concussion can be restrained delaying the time of switch. The simulation and experimental result confirms that the method could inhibit the impact well.

Key words:sub-synchronization modulation, SPWM, inverter, MATLAB/Simulink

0 引言

工业上变频调速技术应用广泛,基本上都采用PWM技术控制逆变器。现在开关器件频率已经非常高,因此一般PWM调制都采用异步调制模式。在铁道车辆变频调速系统中,由于调速范围宽,而开关器件频率低,高速区域采用异步调制会引起逆变器三相输出电压波形不对称,增加谐波成分,为了使逆变器输出电压电流波形更接近于正弦,减少输出谐波,一般采用分段同步调制模式,在高速区采用同步调制算法。在电机控制中,一般采用不规则采样生成SPWM电压波形,在载波比切换时SPWM电压相位可能发生突变,导致转矩及转速的突变,影响电机正常运行。本文采用延迟切换时间的方式抑制相位突变,并在MATLAB仿真模型及实验平台上验证了算法的可行性。

1 载波比切换时电压突变原因分析

在电机控制中,一般采用不对称规则采样法生成SPWM电压波形,如图1所示。其中 T_c 为三角载波周期, t_1 和 t_2 分别是两次采样时刻, ω 为调制波频率。

生成的SPWM电压相位为:

$$\left. \begin{aligned} \omega t_1 &= \frac{\pi k}{N} \\ \omega t_2 &= \frac{\pi k}{N} \end{aligned} \right\}, (k=0,2,4,\dots,2N-2) \quad (1)$$

式中 k 为脉冲序列,每个采样周期 k 值加1。当 k 大于等于 N 时, k 置零;在 k 不为零时,载波比发生跳变,由 N_1 变为 N_2 ,而 k 值不变,相位随载波比变化而变化。

例如,当 $N_1=27, N_2=9, k=12$ 时调制波频率发生变化,载波比发生跳变,则相位角原为 $4\pi/9$,跳变后,因为 $k>N_2, k$ 被置零,相位变为零,如图2所示,在虚线处

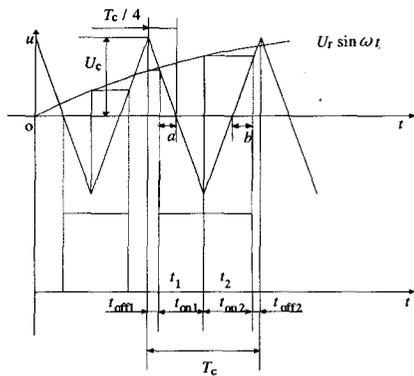


图1 不对称规则采样

Fig.1 Asymmetric regular sampling method

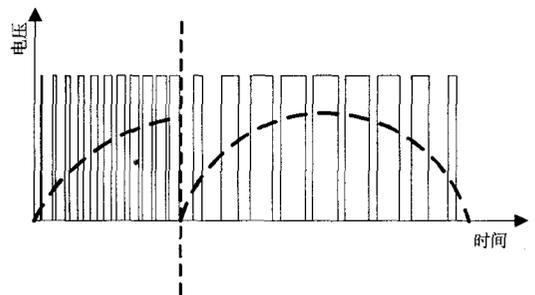


图2 电压相位波形

Fig.2 Voltage phase waveform

跳变。

如图2所示,载波比切换点 N 的改变造成波形发生器对脉冲序列判断错误,相位产生了明显跳变。

2 抑制电压相位突变的方法

由于电压相位角 $\omega t_1 = \pi k/N$ 在载波比切换时突变,使得波形不连续,若令电压相位在突变前后不变,则波形不会发生明显跃变。以下为本文提出的解决方法——延迟切换时间。

在载波比切换时,相位角 $\omega t_1 = \pi k/N$, N 突然改变,若使 k 也随之改变:

$$\frac{\pi k_1}{N_1} = \frac{\pi k_2}{N_2} \quad (2)$$

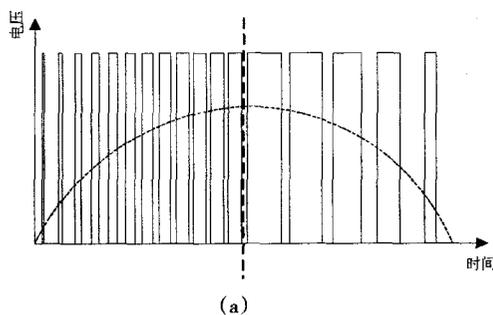
则相位角保持不变。

由上式可得:

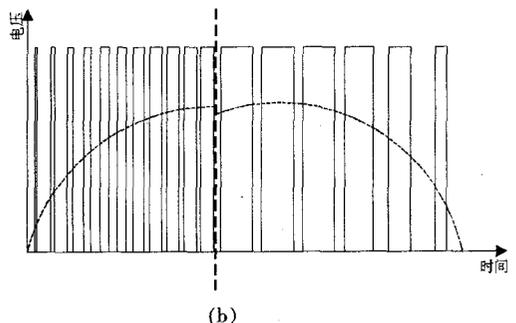
$$k_2 = \frac{N_2}{N_1} k_1 \quad (3)$$

仍以 $N_1=27, N_2=9, k_1=12$ 为例,计算可得 $k_2=4$,相位补偿后调制波电压的波形图如图3(a)所示。此时电压相位得到较好的补偿,但有时通过计算得到的 k_2 不为整数,取整后不能完全补偿 N 的变化,例如在 $k_1=11$ 时,计算得 $k_2=3.67$,此时取整,则 $k_2=3$,电压相位波形如图3(b)所示。此时相位虽然得到补偿,但是仍然有误差。

由图3(a)、(b)可知,切换时间不一样时,通过补偿得到的效果不一样。在 $k=0$ 时切换则相位不需要补偿,始终为0,从而抑制了突变。因此控制载波比在 $k=0$ 时突变消除了电压跳变,但是不能做到实时控制。



(a)



(b)

图3 相位补偿后电压波形

Fig.3 Voltage waveform after phase compensation

3 分段同步调制的仿真

为了证实分段同步调制在载波比变化时,通过选择合适的切换时间进行切换,可以有效地抑制切换时引起的电压电流冲击以及转矩冲击,本文用MATLAB仿真软件,进行转速开环的交流异步电动机调速系统的仿真^[2,3,5]。在转速闭环的调速系统该问题同样存在,因为调制波电压相位发生变化的原因是采样方法固有缺陷。仿真中,直流侧电压输入为514V。三相桥式

逆变器电路的开关器件选用IGBT,异步电机空载。控制电路通过输入的调制波频率产生相应的调制波和载波,比较生成SPWM波,控制逆变器中IGBT的通断。控制电路主要由三部分构成:产生调制波产生载波、比较调制波与载波产生SPWM脉冲。

表1为本文SPWM实验中所使用的载波比分段。

控制电路的输入为调制频率,阶跃信号作为控制电路的输入,在0.5s时由21变为22,即调制波频率在

表1 SPWM各频段载波比
Tab.1 Carrier ration of SPWM

调制频率 f_s/Hz	载波比	载波频率 f_c/Hz
0-10	异步	1000
10-22	45	450-990
22-47	21	462-987
47-111	9	423-999
111-150	5	555-750

0.5s时由21Hz变为22Hz,载波比由45变为21,由图4明显可以看出转矩、转速和定子电流在0.5s时有明显的突变,转速在0.5s时迅速下降了一半,而转矩产生反方向的冲击。在铁道车辆电传动系统中,这将严重影响列车的舒适度。

通过计算,在1s时调制波频率变化不会引起相位变化,由图5所示,在切换点附近,转速和电流都平稳上升,而转矩仅仅是脉动加大。转矩脉动增大是由于载波比切换后,载波频率比较低,使SPWM波的谐波含量增大。仿真结果说明,通过计算,使调制波相位在载波比变化过程中不变,可以抑制由此产生的冲击。而调制波的相位突变正是引起电流、电压、转矩、转速产生冲击的原因。

4 实验结果

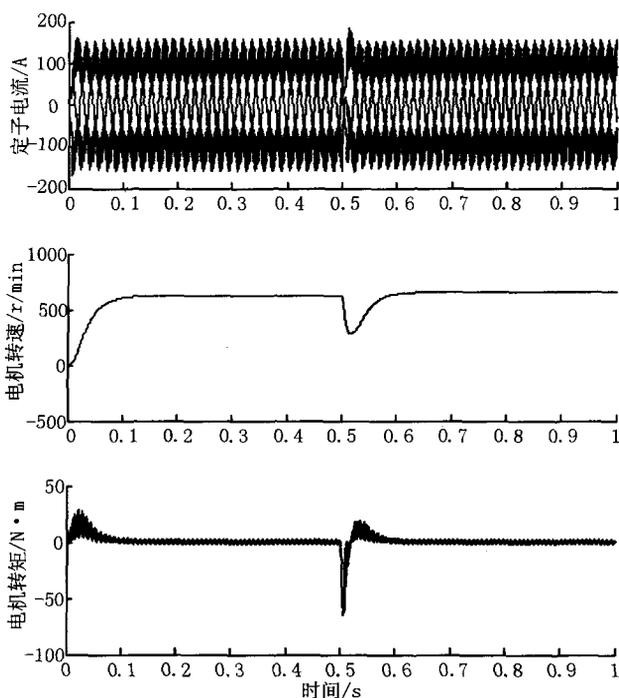


图4 冲击波形(电流、转速、转矩)
Fig.4 Waveform under concussion

以TMS320LF2407型DSP为控制器,对延迟切换时间的控制方法的有效性进行验证^[4]。

实验采用Y100L1-4型三相鼠笼式感应电机,电机空载运行,额定线电压380V,额定功率2.2kW,额定电流5A,额定频率50Hz,额定转速1420r/min,变频器额定容量3.7kW,交流输入电压380V,中间直流变压530V,最大开关频率16kHz。

输入频率用一个开关控制,在动作前,调制频率输入为21,开关动作后,调制频率变为22,载波比由45变为21。图6为载波比变化时电机电流的波形,电流发生明显突变。采用延迟切换时间的实验波形如图7所示,在载波比变化时,电流变化不明显。

通过实验波形可知,延迟切换时间可以使电压电流相位在载波比切换时基本无变化,能完全抑制由载波比切换引起的冲击,但需要等到一个调制波周期结束后才能改变载波比。

5 结论

本文以SPWM不对称规则采样为例,分析分段同步调制中载波比变化时引起的电流电压冲击的原因,并采用延迟切换时间的方法抑制冲击,建立仿真模型,仿真结果表明在载波比发生变化时,极有可能产生冲击,采用延迟切换时间的方法,可以达到抑制冲击的作用。在交流传动系统平台上进行实验,实验结果验证了方法的可行性。

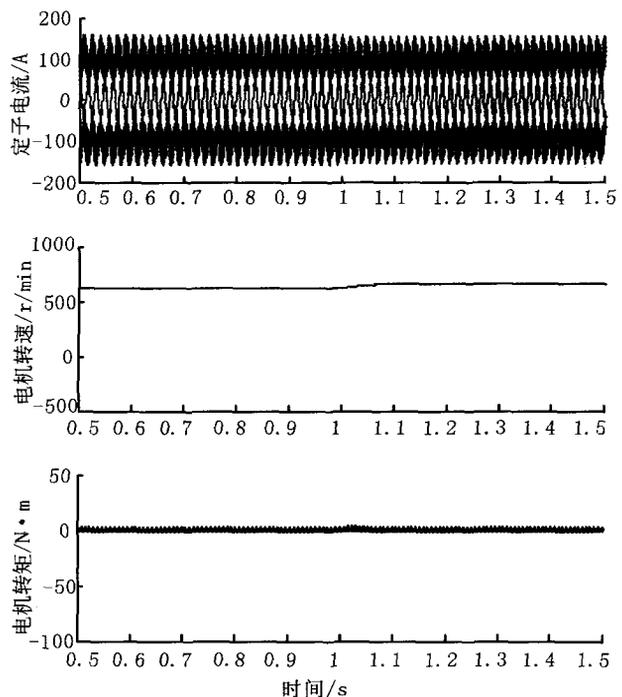


图5 抑制冲击波形(电流、转速、转矩)
Fig.5 Waveform of restrain concussion

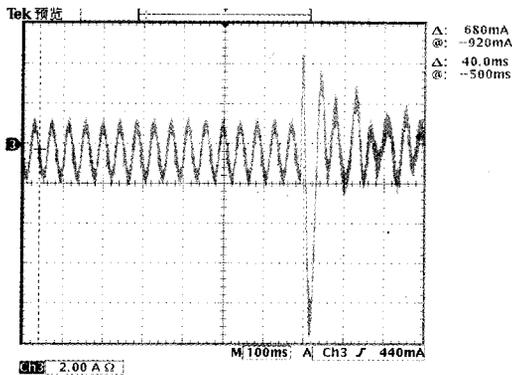


图 6 电机电流波形
Fig.6 Current waveform

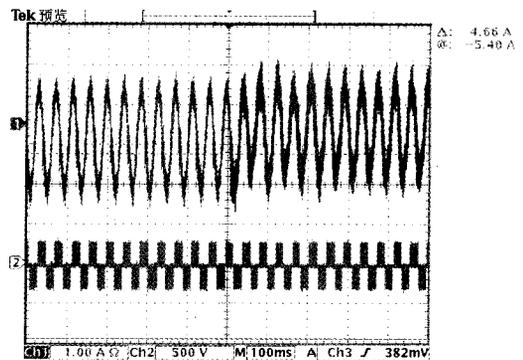


图 7 延迟切换时间后电机电流波形
Fig.7 Current waveform after delay change time

参考文献

[1] 王晓明,王玲. 电动机的DSP控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
[2] 王喜莲,张奕黄. 变频调速载波比切换优化仿真模型[J]. 防爆电机, 2007,42(2).
Wang Xilian, Zhang Yihuang. Simulation Model of Optimization Carrier Ratio Varying of The Variable-Frequency Adjustable-Speed System [J]. EXPLOSION-PROOF ELECTRIC MACHINE,2007,42(2).
[3] 翟红存,薛重德,魏昌洲.基于DSP的SPWM变频调速系统的实现[J]. 机械与电子,2005.
ZHAI Hongcun, XUE Zhongde, WEI Changzhou. Implementation of SPWM Variable-frequency Speed Regulating System Based on DSP [J]. MACHINERY & ELECTRONICS, 2005.
[4] 舒中宾,陈宇拓.基于DSP的变频调速SPWM控制实现[J].湖南冶金职

业技术学院学报,2006.
SHU Zhongbin, CHEN Yutuo. Realization of Variable-Frequency Speed Variation SPWM Controlling Basing on DSP [J]. Journal of Hunan Metallurgical Professional Technology College, 2006.
[5] N.A.Azli, M.S.Sakar. 'A DSP-based Regular Sampled Pulse width Modulation (PWM) Technique for a Multilevel Inverter' [C]. Power System Technology, 2004.
作者简介:
谷杨心(1985-),女,汉,硕士研究生,主要研究方向为电力电子与电力传动。Email: gyxdq0402@163.com

收稿日期:2010-04-16
(田春雨 编发)

(上接第 47 页)

电压闪变测量[J]. 中国电机工程学报,2008,28(1): 111-114.
Shu Hong, Wang Yi. Voltage Flicker Detection Method Based on Mathematical Morphology Filter and Hilbert Transform[J]. Proceedings of the CSEE, 2008,28(1): 111-114.
[7]IEC. 61000-4-15: Flickermeter-Functional and design specifications[R]. IEC, 1997.
[8]Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the complex spectrum: The S-transform [J]. IEEE Trans. Signal Process, 1996, 44(4): 998-1001.
[9]Chilukuri M V, Dash P K. Multiresolution S-transform-based fuzzy recognition system for power quality events [J]. IEEE Trans. on Power Delivery,2004, 19(1): 323-331.
[10]赵刚,施围,林海雪. 闪变值计算方法的研究[J]. 电网技术,2001, 25(11): 15-18.

Hao Gang, Shi Wei, Lin Haixue. A Study On Calculation Of Short Term Flicker Severity[J]. Power System Technology. 2001, 25(11): 15-18.
[11]赵凤展,杨仁刚. 基于短时傅里叶变换的电压暂降扰动检测[J]. 中国电机工程学报,2007, 27(10):28-35.
Zhao Fengzhan, Yang Rengang. Voltage Sag Disturbance Detection Based on Short Time Fourier Transform [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(10): 28-35.
作者简介:
何江(1977-),湖南长沙人,工程师,长沙市产商品质量监督检验所电学室副主任、工程师,从事检测技术与标准化工作。
Email: hejiangcs1977@126.com

收稿日期:2010-03-19
(杨长江 编发)