

基于TMS320F2812控制的高频逆变死区时间补偿方法研究

为了防止逆变桥中同一个变流臂上下两组元件同时导通而引起直流侧电源的短路，要求导通上下桥臂的PWM互不重叠，就此提出了一种基于TMS320F2812控制的高频逆变死区时间补偿方法。通过实验表明，该补偿方法能合理地控制死区时间，避免同一个变流臂上的上下两组元件同时导通，成功地解决了逆变电路输出电压失真的问题，操作简单、实用性强，有广阔的应用前景。

万英英 李 宏/西安石油大学电子工程学院

0 引言

在逆变桥中，同一个变流臂上下两组元件绝对不能同时导通，否则会发生短路。为了避免逆变过程中同一桥臂上下开关管直通的现象，必须为其设定适当的死区时间。一般都采取先断开再导通的方法来控制逆变电路中同一桥臂上两个高速开关器件的打开和关断。不合理的死区时间设置会使得系统输出电压的幅值和相位产生一定的误差，并且随着开关频率的提高，误差电压也会不断地累积，这样不但会引发严重的电压波形畸变现象，同时基频电压也会下降，更为严重时还可能会产生高次谐波，对电网的污染较严重^[1]。因此，死区时间的合理设置对高频逆变电路的设计来说是至关重要的。与此同时如果死区时间设置不合理，会使逆变器产生过高的浪涌电压，这个电压往往能够达到额定电压的几十倍甚至近百倍，情况严重时将会直接导致器件损坏。所以很有必要对逆

变电路中同一变流臂上的上下两组电力电子器件添加合适的死区时间补偿。死区时间的补偿方法通常可分为硬件补偿和软件补偿这两种。通过查阅相关资料可知死区时间的软件补偿不需要添加硬件电路，而且更加灵活，适应性更强。国外基本都使用软件补偿的方法对死区时间进行补偿^[2]。

根据对硬件死区时间补偿和软件死区时间补偿方法知识的了解和优缺点的分析，本文提出了基于TMS320F2812控制的高频逆变死区时间补偿的软件补偿方法。由于该方法仅根据原始的驱动信号进行死区时间的补偿，因此当没有电流流过逆变电路中的电力电子器件时，系统仍然为其提供相对应的驱动信号，因而不会导致逆变电路输出电压波形的失真^[3]。

1 带有死区控制的PWM电路

数字化是现代控制系统的核心，TMS320F2812作为TI公司具有较强信号处理能力和编程较简单的处理器，其共有EVA和EVB这两个事件管理器模块所包含的功能单元是完全相同的。由于事件管理器中存在PWM电路，所以事件管理器的比较单元可以通过比较功能来产生PWM波。EVA模块中的PWM电路功能和EVB的一样，只是改变了相应的寄存器^[4]。下面以EVA模块为例对PWM电路的功能进行详细介绍，功能框图如图1所示。



万英英/硕士研究生

关键词/Keywords

高频逆变 ·
死区时间 ·
死区补偿 ·

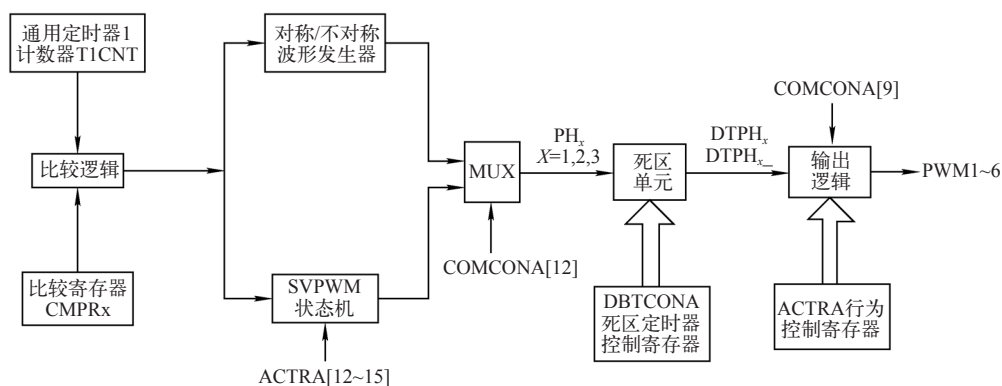


图1 EVA模块的PWM电路功能框图

EVA模块的PWM电路的功能单元由图1可知主要包括比较逻辑、非对称/对称波形发生器、可编程的死区单元、输出逻辑和SVPWM状态机。当有一个比较匹配事件生成时，波形发生器就相应地产生一对互补的PWM波形。然后通过死区单元为这对PWM波设置适当的死区时间，改变原始的PWM波形。最后，输出的PWM波形的状态再通过输出逻辑电路对其进行设置。当输出逻辑是高电平有效时，输出PWM的逻辑和波形发生器的逻辑相同，即比较匹配后输出高电平；当输出逻辑为低电平有效时，输出PWM的逻辑与波形发生器的逻辑相反。当输出逻辑始终为低电平时，则比较匹配后输出低电平；当输出逻辑恒定为高时，则输出高电平。

2 死区的产生原理

比较单元的PWM电路之所以会输出带有死区的PWM波形，是因为其内部可编程的死区单元的存在。死区单元的输入是 PH_x ，它来自比较单元的非对称/对称波形发生器。正常情况下，对于每一个输入信号 PH_x ，都会产生 $DTPH_x$ 和 $DTPH_{x-}$ 这两个输出信号，在未使能比较单元和它相关输出的死区时，这两个输出信号是完全一致的。当比较单元的死区被启用并且为输入信号设置适当的死区时间后，输出信号如图2所示。 PH_x 的上升沿延时 t_{BD} ，下降沿不变，就形成了 $DTPH_x$ ； PH_{x-} 的上升沿延时 t_{BD} ，下降沿不变，就形成了 $DTPH_{x-}$ 。当比较单元的死区禁止时，即死区时间为0，这时 PH_x 和 $DTPH_x$ 是相同的， PH_{x-} 和 $DTPH_{x-}$ 也是相同的。

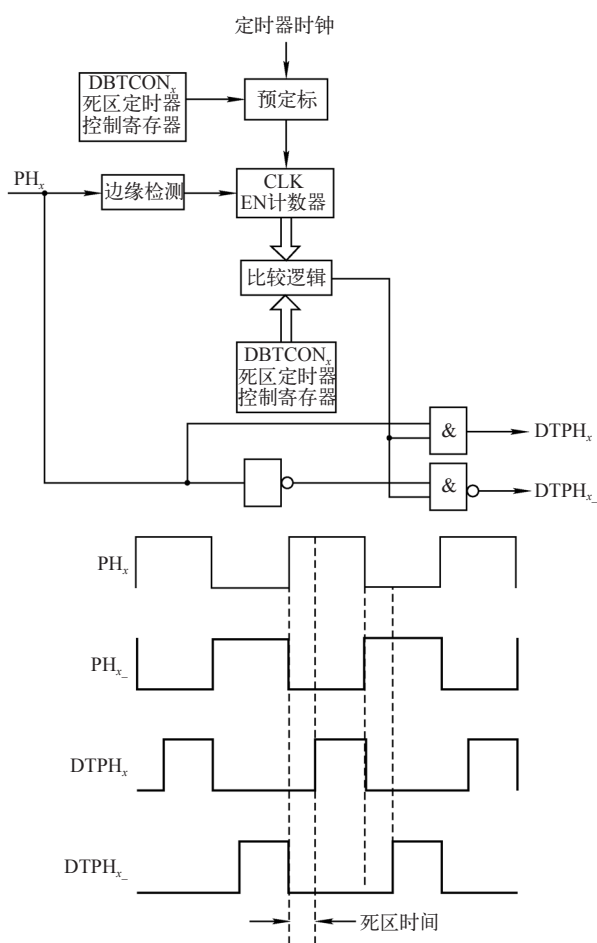


图2 死区单元模块图

当使能比较单元后，每一个输入信号 PH_x 就会输出具有死区时间的 $DTPH_x$ 和 $DTPH_{x-}$ 这两路互补的PWM信号，并且死区时间为 t_{BD} 。设置死区的目的是防止逆变桥中同一个变流臂上下两组元件在任何操作下同时导通，而导致直流侧电源的短路^[5]。在设置死区时间之前，必须对死区控制器 $DBTCON_x[8\sim11]$ 位的死区定时器周期和

DBTCON_x[2~4]位的死区定时器预定标因子进行合理设置。

死区时间的计算方法如下：若将死区定时器周期设置为 T ，死区定时器预定标因子设置为 x/p ，高速时钟HSPCLK的时钟周期设置为 t ，则死区时间 t_{BD} 为： $t_{BD}=T_{pt}$ 。

3 死区时间的软件实现

本论文中选用的TMS320F2812芯片具有16位定点，40MIPS的执行速度和25 ns缩短指令周期，由于执行速度达到了一定的高度，操作数寻址允许支持并行的程序。该芯片中的33个捕获单元能够捕获到引脚上的电压跳变，并可以获得相应信号的频率。所以，此芯片使用在逆变桥中同一个变流臂上下两组元件驱动波形的死区时间补偿控制上显得游刃有余。死区时间设置的软件流程如图3所示。在死区时间设置的软件流程中，采用中断程序中的查表方法，用其结果参数与比较器中的值进行比较，然后更新SPWM表中函数的值并产生调制比，即载波和调制波的比发生变化。这样不断重复循环，就会得到带有死区时间的PWM波形。

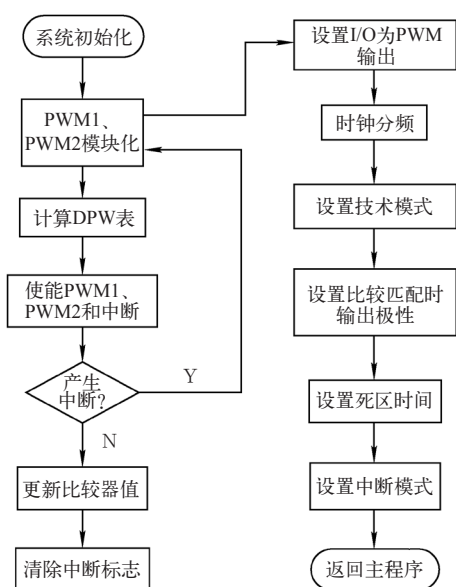


图3 死区时间的软件设计流程

4 实验结果与分析

开关电源的直流电源方案在国内刚刚起步，

主要用于小功率场合，该方案中高频逆变电路是必不可少的。在本实验中，以开关电源为基础，应用4个IGBT作为高频逆变电路中的电力电子器件，并且选用4个具有自保护功能的HL402驱动器对IGBT进行驱动，并采用软件死区补偿方法对逆变桥中同一个变流臂上下两组元件的驱动波形进行死区补偿，进一步验证本论文提出的软件死区时间补偿方法的可操作性。具体电路如图4所示。

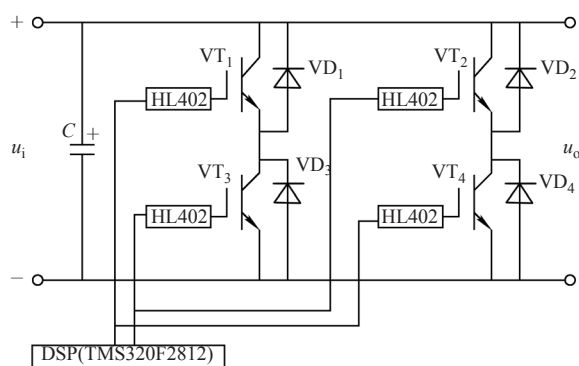


图4 高频逆变电路

当全桥逆变电路对角线上的IGBT未添加死区时间的补偿方法时，其驱动波形如图5所示。根据波形显示，在没有设置合理的死区时间的情况下，对角线上的IGBT是同时开通和关断的。然而，由于IGBT的开通和关断具有一定的延迟时间，所以非常容易发生同一桥臂上的IGBT直通的现象，更严重时则会发生正负电源短路故障，进而不可避免地会影响到整个开关电源正常运行。再有现在国内无法生产IGBT，使用的IGBT全部依赖进口，所以维护技术及备件有所限制，在使用时应尽量保护其不受损坏。而加入死区时间补偿，可大大减小逆变电路中主功率器件IGBT损坏的风险，更好地保障整个系统正常运行。

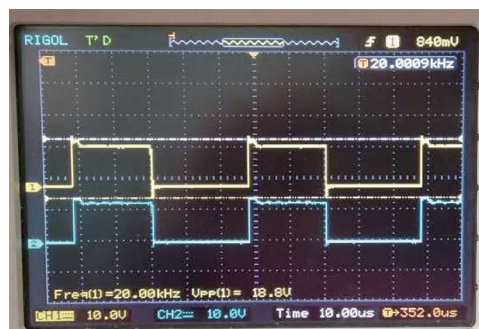


图5 未添加死区时间补偿时对角线上的IGBT的驱动波形

由于IGBT的工作频率为20 kHz, 一个开关周期为50 μs , 参考IGBT参数可以得出, IGBT最大开通时间和关断时间不超过1 μs , 即死区时间 t_d 必须大于2 μs 。在本实验中, IGBT的死区时间设置为5 μs , 死区时间采取对称方式插入, 即IGBT导通时延迟 $t_d/2$, 关断时提前 $t_d/2$, 来实现整个死区时间为 t_d 。添加死区时间补偿之后, 同一桥臂的上下IGBT的驱动波形如图6所示。图7为开关电源的输出电压波形。由图7可看出, 输出电压波形相当理想。



图6 添加死区时间补偿方法后同一桥臂上下IGBT的驱动波形



图7 开关电源的输出电压波形

5 结束语

实验中, 通过改变TMS320F2812芯片中相关参数的值, 可以得到带有死区时间的驱动波形。即本实验在开关电源基础上设计的逆变电路, 其同一桥臂上的开关器件IGBT的驱动波形成功地通过软件死区时间补偿方法为其设置了合适的死区时间补偿。本实验证实了所提出的基于TMS320F2812软件死区时间补偿方法的实用性和可操作性都比较强, 可以准确地开通和关断逆变电路中的电力电子开关管IGBT, 使得电路输出理想的电压波形, 保证了整个电源系统能够稳定运行。

参考文献

- [1] 刘庆雪, 姜文化, 杜兆. 基于DSP的高频电源死区时间的选择系统[J]. 电测与仪表, 2008(10): 56-61.
- [2] 杨脱颖, 李宏. 一种DSP控制的高频逆变器死区时间补偿方法[J]. 工业控制计算机, 2017(3): 128-129.
- [3] 顾卫刚. 手把手教你学DSP: 基于TMS320X2812x[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [4] 万山明. TMS320F2812x DSP原理及应用实例[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

(收稿日期: 2018-11-03) **EA**