

电磁轴承功放由偏置漂移引起调制失效的问题研究

周元,蒋科坚

(浙江理工大学信息学院,杭州 310018)

摘要:分析了三角波比较法三电平 PWM 开关功放由于偏置电压的漂移引起的调制失效机理。为避免调制失效,在三电平 PWM 开关功率放大器的基础上,提出一种结合三角波比较法和采样保持法的混合调制方法。该方法中功率主电路的两个桥臂由三角波比较电路和采样保持电路分别控制,根据三角波载波幅值和静态电流误差均值分别确定偏置电压值,满足了在理论偏置电压值漂移情况下的脉宽调制要求。分析了混合调制开关功放避免失效的工作原理并实现电路。仿真和实验均表明:该方法设计的功率放大器不仅可以解决由于偏置电压漂移带来的 PWM 调制失效,并且具有电流纹波小、响应速度快、受负载参数影响小等优点。

关键词:电磁轴承;开关功率放大器;三电平 PWM;混合调制

中图分类号: TH133

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2017)05-0662-07

0 引言

主动电磁轴承(active magnetic bearing, AMB, 以下简称电磁轴承)不仅可以无接触地支承转子,满足转子高速旋转的要求,还能通过电磁力对转子振动实现主动控制,是一种新兴的转子支承技术。在电磁轴承控制系统中,功率放大器是电磁轴承设计的重要环节,其作用是将控制器输出的控制信号转化为驱动电磁轴承线圈的电流、电压或者磁通,以产生电磁力来保持转子的动态悬浮。

在电磁轴承功放设计领域,通常采用三电平调制技术来降低开关功率放大器的电流纹波。三电平脉宽调制(pulse width modulation, PWM)技术是在两电平 PWM 技术的基础上,再增加一种零电平输出状态,使线圈中的电流自然续流,从而减小电流纹波,提高功率放大器性能。目前,对三电平 PWM 开关功率放大器的研究已有较多成果。张丹红等^[1]采用移相电路设计了一种较大功率的三电平开关功率放大器,并通过理论分析和实验证明,这种三电平开关功放相对于普通的两电平开关功放具有电流纹波

小、功率损耗小以及电磁干扰小等优点。由于采用移相电路增加了电路设计的复杂性,Carabelli 等^[2]提出了一种不需要移相电路的三电平 PWM 技术,通过在一路载波电路中设置偏置电压实现 PWM 调制。Zhu 等^[3]也提出了一种三角波比较法三电平 PWM 技术,对两路 PWM 信号分别施加电压偏置实现了三电平 PWM 调制,无需移相电路,充分简化了电路结构。Kim 等^[4]采用脉宽调制策略,提出了一种用于三相四桥臂主电路的“偏置电压”概念,其方法等效于三维空间矢量 PWM 策略。Liu 等^[5]针对传统低通滤波器在 PWM 开关功放设计过程中存在去除噪声干扰与系统带宽难以兼容的问题,提出了一种基于提升小波变换的功放电流实时降噪的方法,并通过滑动数据窗、对称边界拓展和阈值法降噪等方法验证其有效性。Zhang 等^[6]设计了一种电磁轴承三电平 PWM 开关功率放大器,主电路采用全桥电路,可以提供双向电流来满足电磁轴承电流控制的需要。张亮等^[7]分别对两电平和三电平开关功放的输出电流的纹波进行理论计算,通过实验验证三电平 PWM 开关功放可以降低电流纹波的结论。

收稿日期:2017-02-27 网络出版日期:2017-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(11272288);浙江省公益技术应用研究项目(2015C31063);浙江理工大学研究生创新项目(XX-CX16006)

作者简介:周元(1993-),男,江苏宿迁人,硕士研究生,主要从事电磁轴承功率的大器及其控制方面的研究。

通信作者:蒋科坚, E-mail: jkjo2ju@163.com

张亮等^[8]建立了三电平 PWM 开关功放的数学模型和仿真模型,为深入研究三电平 PWM 功率放大器提供了理论支持。臧晓敏等^[9]在采样保持法调制技术的基础上,提出了一种改进的磁轴承用电流型三态开关功率放大器,通过仿真和实验验证了其优越性。周丹等^[10]对主动型电磁轴承电流型开关功率放大器的调制技术的特点、参数设置等方面进行了比较,并通过仿真和实验对理论分析的正确性进行了验证。李祥生等^[11]通过对多桥臂电磁轴承开关功放调制技术的研究,针对全桥主电路结构,提出了一种新型三相四桥臂三电平开关功率放大器,提高了功放的集成度以及功率密度。曾学明等^[12]对电磁轴承用功率放大器的三电平 PWM 技术进行了总结,给出了几种 PWM 技术的实现方案。费清照等^[13]提出一种五相六桥臂开关功放拓扑结构,采用新型的混合电流控制方案,公共桥臂采用最大电流误差控制,负载桥臂采用采样保持控制,提高了开关功放的集成度和母线电压的利用率。周丹等^[14]等提出了通过施加偏置电压来设计三电平 PWM 开关功放的一种失效现象,并结合不同的三角载波形式,通过理论研究以及仿真实验分析了其失效机制,并给出电压偏置 a 设置为负、应用数字电路完成 PWM 调制、用锯齿波载波替代三角波等三种避免调制失效的解决方法,但分别会造成静态误差过大、对采样电路要求过高、功放性能不稳定等缺陷。

在实现功率放大器低纹波的设计中,通过设置偏置电压来实现三电平 PWM 技术是一种常用方法。但是,该方法在三角波载波的设计环节中,由于硬件参数随外界条件的变化,使得偏置电压发生漂移,其直接结果就是占空比 $0 \sim 100\%$ 不能满幅调制,严重时会引起 PWM 输出波形大幅变形,导致脉宽调制失效。本文在文献^[14]分析这种调制失效现象的基础上,提出一种基于三角波比较法和采样保持法的混合调制方案。与三角波比较法 PWM 技术不同,本文提出的方案中,主电路中两个功率管分别由采样保持电路和三角波比较法电路控制,通过载波幅值的大小和静态电流误差的均值设置电压偏置,功率放大器输出电流信号能够不失真地跟踪控制信号,有效避免了调制失效的情况,提高了三电平 PWM 技术在实现低纹波上的稳定性。

1 偏置电压漂移导致调制失效机理分析

传统三电平 PWM 开关功率放大器的电路结构如图 1 所示。

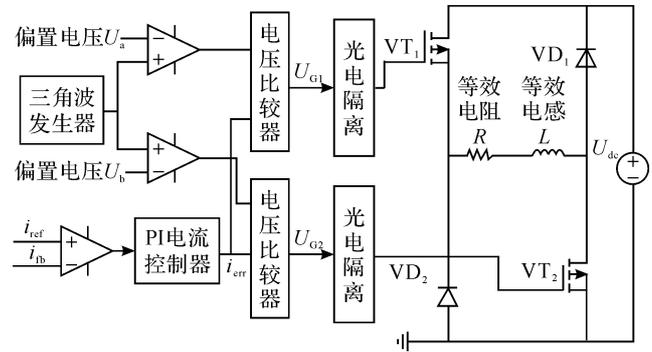


图 1 三电平 PWM 电路结构

电磁轴承线圈中的电流经过传感器得到电流反馈信号 i_b ,再与电流参考信号 i_{ref} 经误差比较器和 PI 电流控制器得到电流误差信号 i_{err} 。偏置电压 U_a 和 U_b 与两路三角载波信号 U_i 进行叠加,再和电流误差信号 i_{err} 进行电压比较后得到两路驱动信号 U_{G1} 和 U_{G2} 。通过设定偏置电压值 U_a 和 U_b ,可以调节功率管的开通和关断。当 i_{ref} 为恒定常数时,传统三电平 PWM 开关功放的理论输出电流波形如图 2 所示,其表达式为:

$$Ldi/dt + Ri + 2U_{ON} = U_{dc}, 0 < t < t_1 \quad (1)$$

$$Ldi/dt + Ri + U_{VD} + U_{ON} = 0, t_1 < t < T \quad (2)$$

其中: i 为电磁轴承线圈电流; U_{ON} 为功率管导通压降; U_{VD} 为续流二极管导通压降。

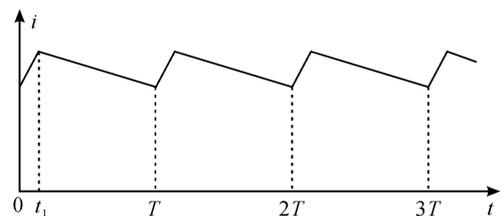


图 2 功率放大器理论输出波形

但是,在实际中发现,应用三角波比较模块所设计的三电平 PWM 开关功率放大器,其实际输出电流波形与理论上输出的电流波形相差明显,不仅电流波形失真明显,电流纹波与理论值也有较大差别。通过分析发现,上述传统偏置载波的三电平 PWM 生成方法存在失效缺陷,其原因是图 1 中偏置电压 U_a 和 U_b 很难精确地设置,在线圈工作在续流状态时,本应开通的开关管意外关断,导致线圈从续流状态进入电流下降状态。下面以不对称三角波载波为例简要分析这种失效机制。

为了方便解释失效机制,假设 U_a 设置上不存在偏差, U_b 设置上存在偏差 a (并且偏差为正负),不对称三角波载波的幅值为 A 。偏置电压 U_a 和 U_b 分别

与两路载波信号叠加后,两路载波的幅值输出范围分别为 $0 \sim A$ 和 $(-A+a) \sim a$,其调制失效示意如图3所示。根据 a 的大小,电压偏置的设置可以分为: $a=0$ 、 $a<0$ 、 $0<a<A$ 、 $a>A$ 四种情况。

当 $0<a<A$ 时,根据工作模式的不同,电流误差信号 i_{err} 分为5个区间:

a) 当 $i_{err} > A$ 时, U_{G1} 和 U_{G2} 的占空比均为 100% , VT_1 、 VT_2 管同时处于开通状态,功放的输出电压值为 $+U_{dc}$,线圈电流处于上升状态。

b) 当 $a < i_{err} < A$ 时, U_{G2} 的占空比始终为 100% , VT_2 管始终开通; U_{G1} 的占空比范围为 $a/A \times 100\% \sim 100\%$, VT_1 管工作在 PWM 模式,功放的输出电压值为 $+U_{dc}$ 或 0 ,线圈电流处于上升或续流状态。

c) 当 $0 < i_{err} < a$ 时, U_{G1} 的占空比范围为 $0\% \sim a/A \times 100\%$, U_{G2} 的占空比范围为 $(1-a/A) \times 100\% \sim 100\%$, VT_1 、 VT_2 管都工作在 PWM 模式。功放输出电压值为 $+U_{dc}$ 、 $-U_{dc}$ 或 0 ,线圈电流工作状态为电流上升、电流下降或续流。

d) 当 $-A+a < i_{err} < 0$ 时, U_{G2} 的占空比始终为 0% , VT_2 管始终关断。 U_{G1} 的占空比范围为 $0\% \sim (1-a/A) \times 100\%$, VT_1 工作在 PWM 模式,功放的输出电压值为 $-U_{dc}$ 或 0 ,线圈电流处于下降或续流状态。

e) 当 $i_{err} < -A+a$ 时, U_{G1} 、 U_{G2} 的占空比均为 0% , VT_1 、 VT_2 管始终处于关断状态,功放的输出电压值为 $-U_{dc}$,线圈电流处于下降状态。

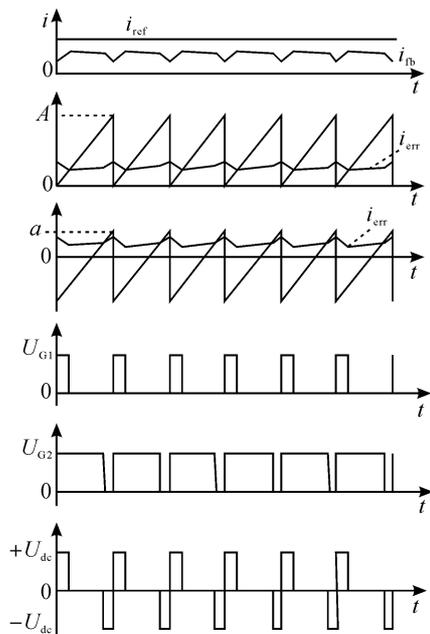


图3 调制失效示意图

当 $a=0$ 、 $a<0$ 或 $a>A$ 时,不会引起电流失真。

综上所述,当电压偏置的偏置误差为 $0 < a < A$ 时,三电平 PWM 调制失效,也是造成电流失真的主要原因。上述分析的前提是 U_a 设置上不存在偏差而 U_b 设置上存在偏差,然而实际中 U_a 和 U_b 都可能存在偏差。当 U_a 存在偏差而 U_b 不存在偏差,或者 U_a 和 U_b 都存在偏差的情况时,其分析方法类似。

2 混合型脉宽调制三电平 PWM 开关功率放大器的工作原理

2.1 系统描述

根据上述三电平 PWM 开关功率放大器调制失效的情况,本文提出一种混合型脉宽调制三电平 PWM 开关功率放大器,其电路结构如图4所示。

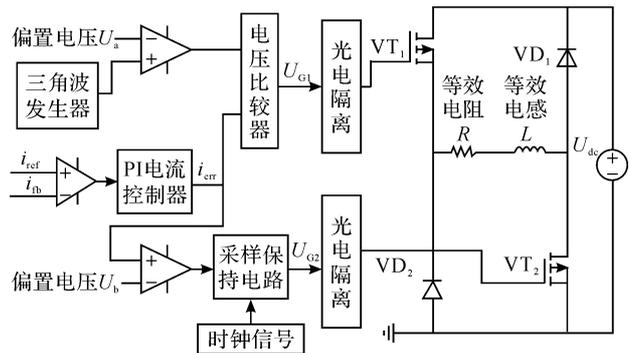


图4 混合型三电平 PWM 电路结构

混合型 PWM 发生电路中,上支路偏置电压 U_a 与三角波发生器产生的三角波信号叠加后得到三角波载波信号,三角波载波信号与 i_{err} 经过电压比较器比较后得到 U_{G1} 驱动信号。下支路电流误差信号 i_{err} 与偏置电压 U_b 进行叠加后经过采样保持电路。采样保持电路在每个时钟周期的上升沿,对叠加的信号 i'_{err} 采样,当 i'_{err} 大于零时采样保持电路输出为高电平,当 i'_{err} 小于零时采样保持电路输出为低电平。采样保持电路输出得到 U_{G2} 驱动信号。两路驱动信号 U_{G1} 和 U_{G2} 分别控制功率主电路中的两个开关管 VT_1 和 VT_2 的开通和关断,从而控制线圈中电流的大小。

在该混合型脉宽调制三电平 PWM 电路原理结构中,通过 U_b 使输入到采样保持器的值 i'_{err} 始终大于零时,采样保持电路输出始终为高电平,即开关管 VT_2 始终处于开通状态。偏置电压 U_a 使三角波比较法电路输出为 PWM 波形,功率管 VT_1 工作在 PWM 模式,功放输出电压为 $+U_{dc}$ 或 0 ,线圈电流的工作状态为电流上升或续流,从而避免了每周周期线

圈电流出现上升、下降或续流的调制失效现象。同时,在这种混合脉宽调制模式下,开关管 VT_1 和 VT_2 每周期只一个动作,开关次数和三角波比较法三电平 PWM 功放相同。

2.2 混合型脉宽调制三电平 PWM 开关功率放大器的调制原理

当线圈电流达到稳定状态时,混合型脉宽调制三电平 PWM 开关功率放大器的调制原理图如图 5、图 6 所示。

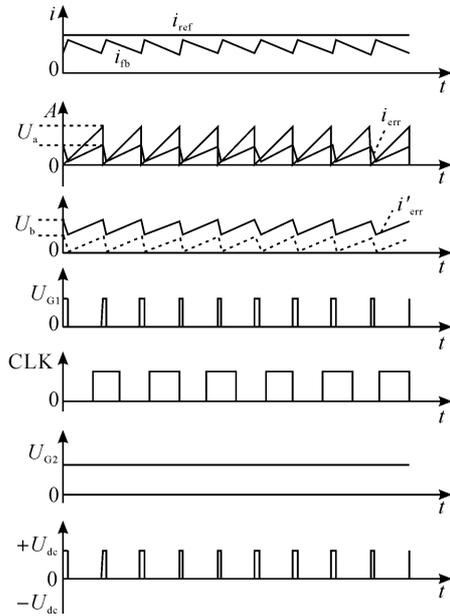


图 5 U_a 不存在偏差 a 时调制原理图

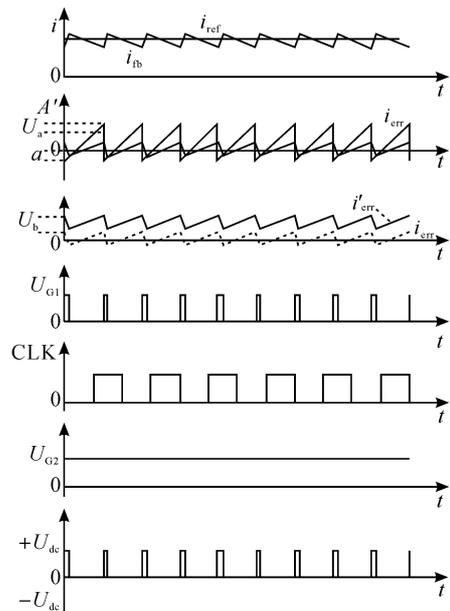


图 6 U_a 存在偏差 a 时调制原理图

电压偏置 U_a 和电流误差信号 i_{err} 叠加后,电流误差信号为 a 时,驱动信号 U_{G1} 的占空比为 0%;电流误差信号为 $A + a$ 时,驱动信号 U_{G1} 占空比为

100%。电压偏置 U_b 和电流误差信号 i_{err} 叠加后,驱动信号 U_{G2} 的占空比始终为 100%。

根据 a 的大小,电压偏置的设置可以分为 3 种情况:

当 $a = 0$, 电流误差信号 i_{err} 可以分为 3 个区间:

a) $i_{err} > A$ 时, U_{G1} 与 U_{G2} 的占空比均为 100%, 开关管 VT_1 和 VT_2 始终开通, 功放的输出电压值为 $+U_{dc}$ 。线圈电流处于上升状态。

b) $0 < i_{err} < A$ 时, U_{G1} 的占空比变化范围为 $0 \sim 100\%$, 开关管 VT_1 工作在 PWM 模式。由于 U_{G2} 的占空比为 100%, 开关管 VT_2 始终开通, 功放的输出电压值为 $+U_{dc}$ 或 0。线圈电流处于上升或续流状态。

c) $i_{err} < 0$ 时, U_{G1} 的占空比为 0%, 开关管 VT_1 始终关断。由于驱动信号 U_{G2} 的占空比为 100%, 开关管 VT_2 始终开通。功放的输出电压值为 0。线圈电流处于续流状态。

结合图 5 可知, 当偏置误差 $a = 0$ 时即为混合型三电平 PWM 调制的理想状态。

当 $a < 0$, i_{err} 同样可以分为 3 个区间:

a) $i_{err} > A + a$ 时, U_{G1} 的占空比为 100%, 通过调整偏置电压 U_b 使 U_{G2} 的占空比为 100%, 开关管 VT_1 和 VT_2 始终开通, 功放的输出电压值为 $+U_{dc}$ 。线圈电流处于上升状态。

b) $a < i_{err} < A + a$ 时, U_{G1} 的占空比的变化范围为 $0 \sim 100\%$, 开关管 VT_1 工作在 PWM 模式。由于 U_{G2} 的占空比为 100%, 开关管 VT_2 始终开通, 功放的输出电压值为 $+U_{dc}$ 或 0。线圈电流处于上升或续流状态。

c) $i_{err} < a$ 时, U_{G1} 的占空比为 0%, 开关管 VT_1 始终关断。由于 U_{G2} 的占空比为 100%, 开关管 VT_2 始终开通。功放的输出电压值为 0。线圈电流处于续流状态。

结合图 6 可知, 混合型三电平 PWM 调制不会因为偏置误差 $a < 0$ 时出现调制失效的情况。

当 $a > 0$ 时, 混合型功率放大器的调制电路工作模式与 $a < 0$ 相反, 不再赘述。

综上所述, 无论电压偏置误差 a 存在与否, 当施加合适的偏置电压 U_b , 混合型三电平 PWM 调制都不会出现调制失效的情况。从而使功放输出的电流波形不会出现严重失真的情况。

偏置电压 U_b 的值设置与静态电流误差的均值 i_{av-err} 有关。设定三角波载波幅值为 2V 时, 电流误差信号的平均值 i_{av-err} 与偏置误差 $a (a > 0)$ 及直流母线电压 U_{dc} 的关系如图 7 所示。

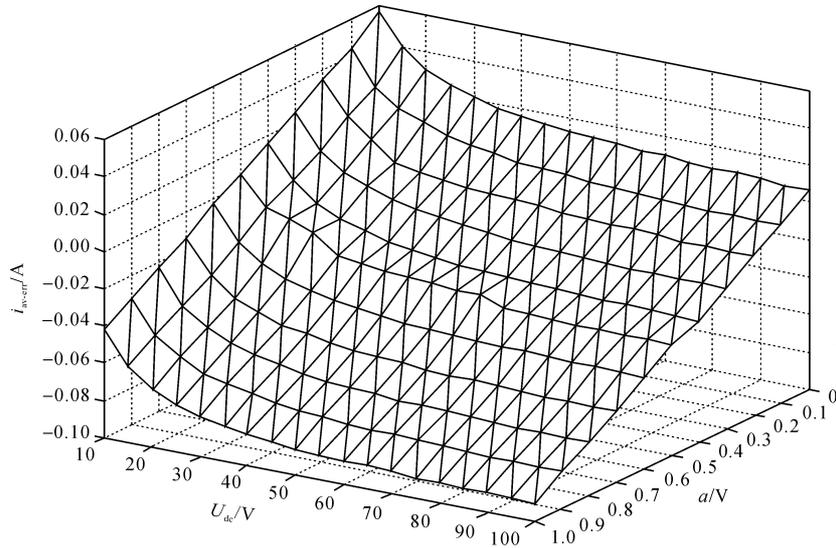


图7 电流误差信号均值 i_{av-err} 与偏置误差 a 及直流母线电压 U_{dc} 关系

由图7可知,当 U_{dc} 一定时,电压偏置误差 a 与电流误差信号均值 i_{av-err} 成正比,并且随着 U_{dc} 的增大, i_{av-err} 随之减小;当电压偏置误差 a 一定时,直流母线电压 U_{dc} 增大时, i_{av-err} 减小,并且随着 a 的增大, i_{av-err} 随之增大。并且由图7可知,当直流母线电压不变时,由于偏差 a 值变化, i_{av-err} 存在正负不同的取值,电流误差信号 i_{err} 同样存在正负不同的取值,分别作如下讨论:

a) $i_{err} > 0$ 时, i_{err} 与三角波比较产生驱动信号 U_{G1} , 功率管 VT_1 工作在 PWM 模式。即使存在微小偏差 a , 由于误差信号 i_{err} 恒为正, 采样保持电路即使不加偏置电压 U_b , 也能使其输出的驱动信号 U_{G2} 始终为高电平。线圈电流处于上升和自然续流状态。

b) $i_{err} < 0$ 时, i_{err} 与三角波比较产生驱动信号 U_{G1} , 功率管 VT_1 依旧工作在 PWM 模式。由于偏差 a 值的增大, 使 i_{err} 值存在负值, 如果用传统的采样保持电路, 驱动信号 U_{G2} 将会出现低电平, 线圈电流将会在一个周期内同时出现上升、下降和自然续流的失真状态。为了避免线圈电流出现电流下降的状态, 需要在 i_{err} 的基础上加上偏置电压 U_b 。根据图7可知, 为了完全避免失效的情况, 偏置电压 U_b 设置的值与三角波载波幅值相同时, 由此采样保持电路输出的驱动信号 U_{G2} 始终为高电平, 这样线圈电流的工作状态就只有电流上升状态和自然续流。

当 $a < 0$ 时, 随着 $|a|$ 的增大, $i_{ref} - i_{fb} > 0$ 且增大, 此时即使 $U_b = 0$, U_{G2} 也始终为高电平, U_{G1} 为 PWM 波形, 功率放大器输出电压值为 $+U_{dc}$ 、0 两种电平, 调制同样不会失效。

3 实验与分析

3.1 仿真分析

根据混合型脉宽调制三电平 PWM 开关功率放

大器的工作原理和电路结构, 功率放大器的系统参数设置如表1所示。

表1 功率放大器系统参数

系统参数	参数值
电磁轴承线圈等效电阻 R/Ω	1
电磁轴承线圈等效电感 L/mH	20
开关频率 f/kHz	50
锯齿波载波信号幅值 A/V	2
电流控制器增益 K_p	10

设定直流母线电压 $U_{dc} = 20$ V, 当给定电流参考信号 $i_{ref} = 2$ A 时, 三角载波以锯齿波为例。图8、图9分别为偏置误差分别为 $a = 0\%$ 、 $a = 50\%$ 以及 $a = 100\%$ 时, 传统功率放大器与混合型功率放大器的输出电流仿真波形。由图8、图9可知, 随着偏置误差 a 的增大, 传统型三电平 PWM 开关功放输出电流失真现象越来越明显, 而混合型三电平 PWM 开关功放并不会出现输出电流失真的现象。

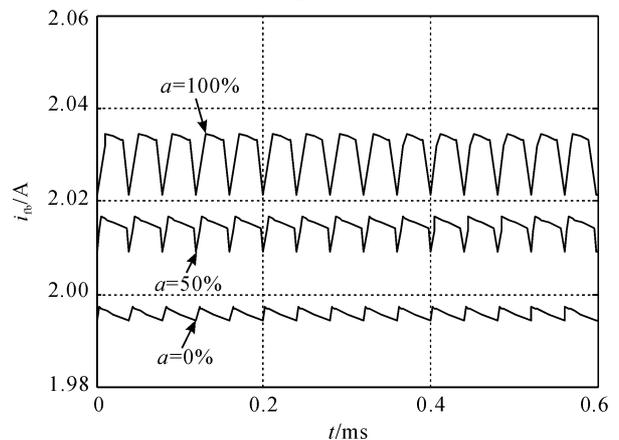


图8 a 对传统型功放输出电流波形的影响

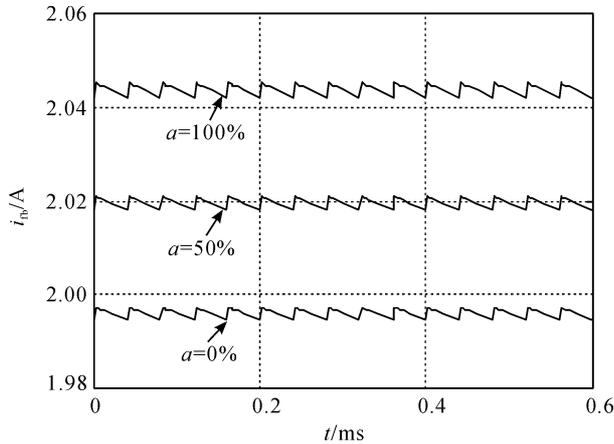


图 9 α 对混合型功放输出电流波形的影响

3.2 实验分析

为了验证上述混合型三电平 PWM 开关功率放大器在避免调制失效方面的性能,以研华 PCI 总线多功能卡 PCI-1711U 为输入输出接口,利用 MATLAB/SIMULINK 中的 RTW(real-time workshop) 平台搭建混合型脉宽调制三电平开关功率放大器实验系统,其系统模型如图 10 所示,PWM 调制信号以及偏置电压由实时仿真程序给出。功放的主电路、功率开关管、续流二极管分别采用半桥结构、MOSFET IRF540、MBR30100CT。电流反馈模块采用南京中旭电子科技有限公司制造的 HNC025A 电流传感器。直流母线电压设定为 50 V,开关频率 $f=50$ kHz,电流控制器增益 $K_p=10$ 。

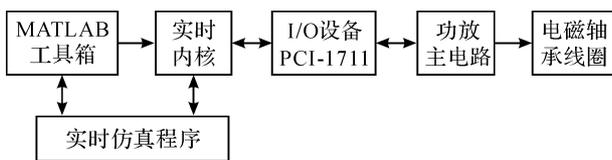


图 10 RTW 实时实验系统模型

图 11 为参考电流为恒定直流信号时混合型开关功率放大器输出电流波形及其两路驱动信号,实验波形和仿真波形吻合较好。图 12 为参考电流信号为正弦波信号 $i_{ref}=1.0 \times \sin(2\pi \times 800t) + 2$ 时混合型开关功率放大器的输出电流波形。由于设置 U_b 使电流参考信号与线圈电流信号存在静态电流误差,通过积分环节和适当地微调偏置电压以及电流控制器增益 K_p ,可减小静态电流误差。线圈电流近似锯齿波,电流纹波近似为 0.0481 V,没有出现电流失真的情况,且电流纹波值几乎没有变化。

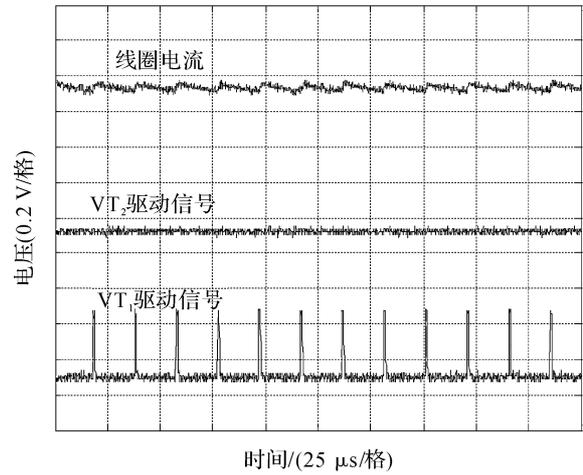


图 11 参考电流为恒定直流信号时输出电流波形

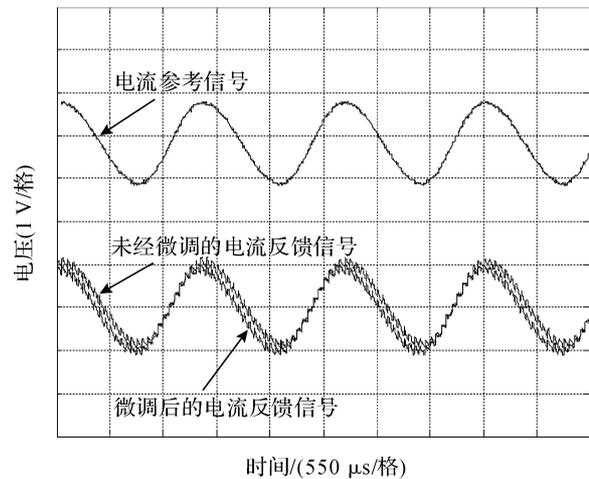


图 12 参考电流为正弦信号时输出电流波形

4 结 论

本文提出了一种混合型脉宽调制策略,可以有效避免传统三角波比较法三电平 PWM 开关功率放大器由于偏置电压的漂移引起的调制失效,并对其进行了理论分析和实验研究。与传统脉宽调制方法相比,采用混合型脉宽调制方案,通过调节电压偏置 U_b ,即使存在偏置误差 a ,也可以避免功率放大器的输出电流波形失真,且电流纹波值稳定,优化了调制性能。数据分析及实验结果表明,本文提出的混合型脉宽调制方法对避免调制失效具有显著的效果。其设计方法可以为研究全桥主电路结构的功率放大器以及多自由度电磁轴承控制系统的脉宽调制设计提供参考。

参考文献:

[1] 张丹红,董瑞.一种应用于主动磁轴承控制的移相式功率放大器的设计[J].制造技术与机床,2006(4):89-92.

- [2] CARABELLI S, CRIVELLI A, IANNANTUONI A, et al. A switching power amplifier for active magnetic suspensions [C] //Proceedings of 7th European Conference on Power Electronics and Applications, Trondheim, Norway. 1997:131-137.
- [3] ZHU C, YANG C, DAN Z, et al. A current-control mode three-level PWM switching power amplifier for active magnetic bearings[C]// International Conference on Electrical Machines and Systems. IEEE, 2008:2217-2220.
- [4] KIM J H, SUL S K. A carrier-based PWM method for three-phase four-leg voltage source converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(1):66-75.
- [5] LIU H, FANG J C, ZHANG H. Online current signal de-noising of magnetic bearing switching power amplifier based on lifting wavelet transform [J]. Iet Electric Power Applications, 2016, 10(8):799-806.
- [6] ZHANG G, HUANG L. Design of PWM switching power amplifier for active magnet bearing [C]// International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science. 2015:1942-1946.
- [7] 张亮,房建成. 电磁轴承脉宽调制型开关功率放大器的实现及电流纹波分析[J]. 电工技术学报, 2007, 22(3): 13-20.
- [8] 张亮,房建成. 电磁轴承开关功放的谐波模型仿真与实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(21):95-100.
- [9] 臧晓敏,王晓琳,仇志坚,等. 一种改进的基于采样-保持策略磁轴承用电流三态调制开关功率放大器[J]. 电工技术学报, 2004, 19(10):85-90.
- [10] 周丹,祝长生. 主动电磁轴承电流型开关功率放大器的调制技术[J]. 机械工程学报, 2010, 46(20):1-8.
- [11] 李祥生,邓智泉,陈志达,等. 一种电流型四桥臂开关功放控制方法的研究[J]. 电工技术学报, 2011, 26(2): 156-164.
- [12] 曾学明,徐龙祥,刘正隰,等. 电磁轴承三电平 PWM 功率放大器研究[J]. 电力电子技术, 2002, 36(3):13-15.
- [13] 费清照,邓智泉,王晓琳,等. 适用于磁悬浮轴承的新型五相六桥臂开关功放控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(9):124-131.
- [14] 周丹,祝长生. 一种电磁轴承用三电平 PWM 开关功率放大器失效机制[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(36):103-110.

Research on Modulation Failure Due to Bias Voltage Drift of PWM in Switching Amplifier of Active Magnetic Bearing System

ZHOU Yuan, JIANG Kejian

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Modulation failure mechanism caused by bias voltage drift in three-level PWM of the switching power amplifier in AMB system was analyzed in this paper. Based on the three-level PWM switching power amplifier, a novel hybrid modulation method was proposed, which consists of the triangular wave modulation and the sample-and-hold(S/H) circuit with a D flip-flop. The two bridge arms of the main circuit were respectively controlled by the triangular wave comparison circuit and the S/H circuit, and the bias voltage value was respectively determined by the triangular wave amplitude value and the mean value of the static current error. This meets the pulse modulation requirements under the situation of theoretical bias voltage drift. The principle of the proposed hybrid modulation was illuminated in detail and its circuit implementation was given. The simulation and experimental results show that the proposed modulation method can not only get rid of the failure due to the bias voltage drift in PWM, but also has the advantages of low current ripple, fast response speed and little influence of load parameters.

Key words: active magnetic bearing (AMB); switching power amplifier; three-level PWM; hybrid modulation

(责任编辑:康 锋)