

基于 PWM 开关技术的数控恒流励磁系统设计

贾 华,朱鹤林

(内蒙古科技大学 信息学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: PWM 开关电源技术以节能、高效、可控性强的优点广泛应用于各种工业场合。基于 PWM 开关技术思想,提出了一种电磁流量计的数控励磁恒流源方案,并采用负反馈手段,使其输出电流值稳定地跟随给定值以实现恒流源。这种数控励磁恒流源与传统线性恒流源相比有着恒流源大小编程可调的优势,同时由于电路工作在开关状态,因此在功耗方面也优于线性恒流源。

关键词: 电磁流量计;PWM 开关;励磁恒流源

中图分类号: TH814

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2013)15-0031-03

Design of a new exciting circuit based on PWM switch technology

Jia Hua, Zhu Helin

(School of Information, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: PWM switch is widely applied in various industries because of its energy conservation, efficiency and controllability. This technology can be implanted in the exciting system of electromagnetic flow meter, and combining with feedback loop, the new exciting circuit can provide a programmable constant current source. Compared with traditional one, this new exciting circuit may provide convenience in programming and better performance in power consumption.

Key words: electromagnetic flow meter; PWM switch; constant current source

电磁流量计是根据法拉第电磁感应定律制作的无阻流体流量计^[1-2]。而励磁系统的设计是电磁流量计的核心技术之一,传统的电磁流量计大多采用线性模拟恒流源的 H 桥搭建方式,但是随工作环境的变化和时间的推移,励磁驱动模块参数及电磁流量计励磁线圈参数可能会发生变化,进而导致励磁电流变化,使得测量结果发生偏差。为此,传统的电磁流量计励磁系统上常增加检流环节以确保电流的稳定^[3-4]。PWM(Pulse Wave Modulation) 开关技术也叫 DC-DC 转换技术,广泛应用于各行各业中,比较成熟的应用有汽车电子、电力电子、LED 等^[5-6]。这种技术通过调整 PWM 波占空比来控制输出的电压和电流,相比于传统线性电源有着节能、高效、可控性强等优势。本文基于这种设计思想,构造了一种励磁电流大小随单片机输出 PWM 占空比变化而可调的新型励磁系统。相比于传统线性恒流源,这种新型电磁流量计励磁系统的设计具有励磁电流大小可调和低功耗等优势,在一些数字化控制要求较高的工业领域和功耗控制方面要求比较高的电池式电磁流量计等方面有

一定的应用前景和参考意义。

1 PWM 开关技术及设计方案

PWM 开关电源是利用现代电力电子技术控制开关管开通和关断的时间比率,维持电压稳定输出的一种电源,开关电源一般由脉冲宽度调制、控制 IC 和 MOSFET 构成。随着电力电子技术的发展和创新,使得开关电源技术也在不断地创新。目前,开关电源以小型、轻量和高效率的特点被广泛应用于几乎所有的电子设备中,是当今电子信息产业飞速发展不可缺少的一种电源方式。

1.1 设计方案

基本的低频矩形波励磁恒流源电路一般采用桥式开关以实现电流的双向控制,同时在某一半桥的导通期间采用线性恒流源稳定励磁线圈中的电流。在新型数控恒流源励磁系统中依然采用桥式电路构造对电流的双向导通进行控制,但与线性恒流源相比仅对桥式电路中的开关进行不同占空比的开关动作来实现励磁线圈的电流大小稳定。图 1 为励磁系统 H 桥结构与开关控制简化原理图。图 1(a)中, L 是励磁线圈, A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2

分别是电子开关,这两组开关每一组各自控制着H桥的斜半组,伴随着励磁允许信号推挽式工作;图1(b)是开关控制原理图,当励磁允许信号为高电平时,作用于H桥中的PWM开关信号起作用。

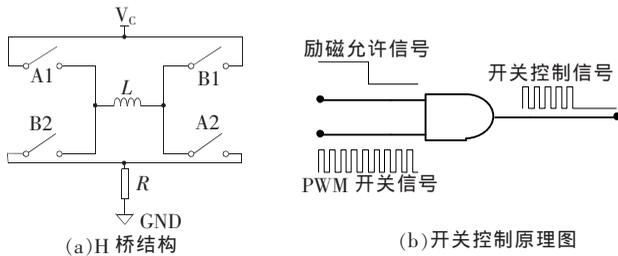


图1 励磁电路的H桥与开关控制简化原理图

新型数控恒流源励磁系统的给定量是一个占空比可调的方波,以下简称给定占空比。给定占空比由MCU的I/O口或者PWM口输出,经过RC整流环节转换成幅值随占空比线性变化的电压信号。这一过程可称为电压整流。转换后的电压与输出电流的采样反馈值(也是一个电压信号)进行加法运算,其运算后电压和锯齿波进行调制以生成PWM波。生成的PWM波再对桥式励磁电路进行开关控制。这时断续导通的励磁电源经过电磁流量计的线圈和电阻、电容进行整流,被平稳地整流后的电流大小就与PWM开关控制的占空比成线性关系,这一环节可称为电流整流。这样就达到了通过单片机给定占空比来调节励磁恒流源大小的目的。图2为数控励磁系统的工作流程图。



图2 数字PWM恒流源励磁系统的流程图

1.2 电路原理图

数字PWM恒流源励磁系统的电路如图3所示。由于H桥具有对称性,为简化电路图,图3所显示为励磁系统半桥开关控制电路图。左端为单片机或DSP的PWM输出口,用以输出占空比为 n_1 的方波。PWM占空

比可定最低为20%,最高为90%。电路仿真结果显示,PWM波的频率越高越有利于直流转换,但是会受到单片机输出频率的限制。一般来说,在编程效率好的前提下,12 MHz晶振足以应付100 kHz方波的输出。本文列举50 kHz的可变占空比方波 f_1 ,这样在性能相对一般的单片机上也能实现,有利于节省成本。

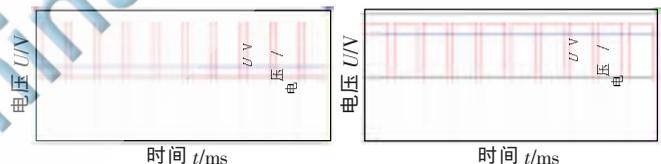
为了能进行负反馈控制,需要对给定量和反馈量进行加法运算。这需要对给定占空比方波进行电压整流。通过图3所示电路左侧部分的RC电路可实现电压整流,采用运放A1的作用是隔离前后级,抗干扰,提高单片机接口的驱动能力。A3在这里为一个比较器,以调制出更高质量的PWM波。比较器是运放的一种,是从运放发展过来的,一般工作在线性区,开环增益比运放高很多,输入失调电压更小,共模输入电压范围更大,适合作信号的比较处理。锯齿波的频率 f_2 与调制后的方波占空比 n_2 无关,它所调制出的PWM方波控制电子开关 $Q_1, f_2 \approx f_1$ 。

图3中的 L_1 为励磁电感,A4和A5作为电压跟随器利用同相输入端的高阻抗隔离前后级。这样,整个电路各部分前后级都有了很明确的区分。

2 电路仿真与分析

为了观察和了解电路工作的特性,在这里用Multisim仿真对电路的关键点进行了波形观测分析,并且对电路中的每个重要部分前后级关系进行计算。

首先对一次整流稳态进行波形观察,图4(a)、图4(b)分别为占空比 n_1 为20%和80%时的电压整流波形。



(a) 占空比 n_1 为20%

(b) 占空比 n_1 为80%

图4 不同占空比 n_1 下的电压整流波形

一次整流后的电压大小跟随占空比而变化,如果把整流后的电压设为 V_1 :

$$V_1 = E_1(1 - n_1) \quad (1)$$

其中, E_1 为PWM波形的高电平,单片机一般为5 V,DSP为3.3 V。 R_1, R_2, C_1, C_2 的值根据滤波需要确定,电阻

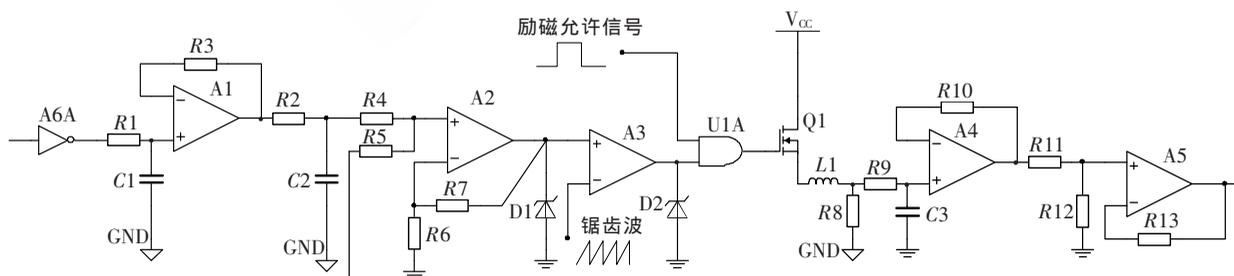


图3 数字恒流源励磁系统半桥控制电路图

R_3 的值按照平衡原理取即可。

图 5 是显示一次整流的波形,从图中可以看出,一次整流是需要上升时间的,时间常数 $\tau_1=RC$ 值越高滤波效果越好,但是会增大上升时间。同样,低 RC 值会提高上升速度,但是会以波形损失为代价,所以 τ_1 的取值按照具体情况折中而取。

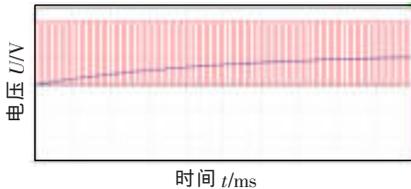


图 5 电压整流上升波形

运放 A3 组成模拟加法器,设输出电压为 V_3 ,则:

$$V_3=K_1(V_1+V_2) \quad (2)$$

其中, K_1 为同相求和电路的输出对输入的比值, $K_1=1+R_7/R_6$; V_2 为输出电流的采样经过变送反馈的电压值:

$$V_2=K_3V_4 \quad (3)$$

其中, K_3 为电阻分压的变送器的系数, $K_3=\frac{R_{12}}{R_{11}+R_{12}}$; V_4

为采样电压。图 3 中, $R_4=R_5$, 其值按照平衡原理取即可。在一定频率下,励磁线圈 L_1 会呈现一定的阻抗 Z_L 。重庆川仪自动化股份有限公司生产的口径为 40 mm 接触式电磁流量计一次仪表励磁线圈电感值约为 250 mH, 仿真模拟实验按照此参数进行。在 $R_9 \gg R_8$ 的情况下,落在采样电阻 R_8 上的压降就是采样电压。因此,在一定的频率下,采样系数 $K_2=\frac{R_8}{Z_L+R_8}$ 。

锯齿波用以调制 PWM 波,其频率 f_2 对开关控制电流的品质有影响。图 6 显示了 f_2 各为 50 kHz 和 10 kHz 时整流电流波形品质的差距,从图中可看出,图 6(a) 的整流后波形比图 6(b) 平坦, f_2 越高得到的整流波形越平稳。 V_3 经过锯齿波调制后的 PWM 波占空比为:

$$n_2=\frac{E_2-V_3}{E_2} \quad (4)$$

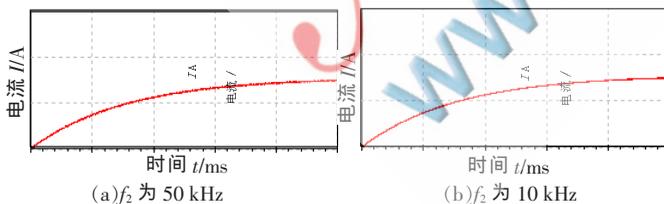


图 6 不同锯齿波频率下的电流整流波形

此外,2 次整流后的电流波形还受电感 L 对采样电阻 R_8 的比值 τ_2 的大小影响。图 7(a)、图 7(b) 是励磁电流在同频同占空比情况下 τ_2 值分别为 0.01 和 0.002 5 时的整流电流波形。从图 7 中可以看出,图 7(a) 的整流波形比图 7(b) 的粗糙,故值越小越有利于整流。

仿真实验证明,电流整流和电压整流一样,其电流大小稳定跟随占空比 n_2 。设励磁电流有效值为 I_s ,则:

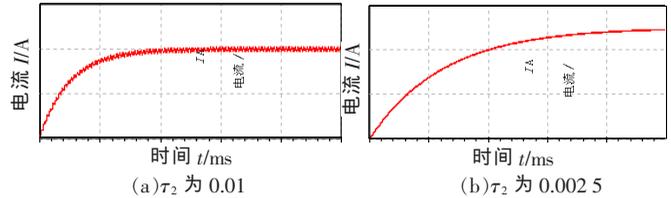


图 7 不同 τ_2 时的电流整流波形

$$I_s=n_2I_m \quad (5)$$

其中, I_m 是有效励磁电流的最大值,即控制电流整流的 PWM 波占空比为 100% 情况下的励磁电流值。而取样后的电压:

$$V_4=K_2I_s \quad (6)$$

V_4 通过变送器的传递系数 K_3 进入反馈点。

联立式(1)~式(6)可得:

$$I_s=\frac{E_2-K_1[E_1(1-n_1)+K_2K_3I_s]}{E_2}I_m \quad (7)$$

进一步求解得:

$$I_s=\frac{E_2-K_1E_1(1-n_1)}{E_2+K_1K_2K_3I_m}I_m \quad (8)$$

这是励磁电流有效值 I_s 的表达式,可以看到式(8)中除了给定占空比 n_1 以外其他都为常量,输出电流有效值和给定占空比 n_1 成单值函数,输出电流有效值可通过调节单片机或者 DSP 输出端的 PWM 波占空比调节。图 2 中在单片机输出端加一个反相器,使输出占空比倒相,这是因为根据式(8)给定量 n_1 项的符号能够负负得正,输出值 I_s 将正比于给定量 n_1 。

本系统具有负反馈调节能力,通过电阻分压获得励磁电流的采样值,与第一次整流后的电压值进行叠加。需要注意的是,虽然是两电压值的叠加,但是叠加后的值和锯齿波进行调制时,电压值越大,调制后的 PWM 波占空比越小,反之亦然。例如存在某种干扰使得励磁电流增大,那么采样后的反馈值叠加在第一次整流后的值上,反馈值增大,调制后的 PWM 波占空比减小,使得励磁电流减小。因此,输出电流始终如一地跟随给定值。

随着仪表仪器工业的智能化发展,电磁流量计励磁恒流源大小编程可控的需求越来越大。基于 PWM 开关技术的应用使得电磁流量计只需要通过简单地编写代码改变单片机输出 PWM 的占空比来改变输出电流,这样就大大简化了励磁电流大小的调整。该方法实现了电磁流量计励磁电流的可编程性,同时在功耗和稳定性方面也比传统模拟恒流源有了改进,在低频矩形波励磁电磁流量计和电池供电式电磁流量计的设计中有着一定的应用前景和参考意义。

参考文献

- [1] 蔡武昌,马中元,瞿国芳,等.电磁流量计[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [2] 宋海龙.智能电磁流量计设计[D].西安:西安电子科技大学,2010.

《微型机与应用》2013 年第 32 卷第 15 期

- [3] 杨双龙,徐科军,梁利平,等.基于 DSP 的浆液型电磁流量计的研制[J].仪器仪表学报,2011,32(9):2101-2107.
- [4] 杨双龙,王刚,徐科军,等.基于线性电源的单/双频电磁流量计励磁控制系统[J].电子测量与仪器学报,2010,24(2):147-152.
- [5] 康伟,张丽霞,刘春艳.电流型 PWM 整流器输出滤波器设计方法[J].电工技术学报,2012(6):83-89.
- [6] 林维明,郭晓军,黄超.改进单周期控制策略的双向大变比 DC-DC 开关变换器[J].中国电机工程学报,2012,

32(21):31-37.

(收稿日期:2013-03-12)

作者简介:

贾华,男,1961年生,硕士,副教授,主要研究方向:运动控制。

朱鹤林,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:仪器仪表。

