

一种大功率无刷直流电机控制器的研究

笪林荣 吴 俭

(中船重工集团第 723 研究所 扬州 225001)

摘要:针对某雷达天线方位驱动电机,从工程应用方面出发,分析了电磁感应传感器型无刷直流电机的运行原理,并基于高电压、大功率 PWM 技术,提出了一种大功率无刷直流电机的驱动控制器。

关键词:无刷直流电机;大功率驱动;PWM

中图分类号:TU37 文献标识码:A 文章编号:1001-0505(2003)增刊-0187-03

Design of the high power BLDC motor controller

Da Linrong Wu Jian

(Yangzhou Marine Electronic Instruments Institute, Yangzhou 225001, China)

Abstract: According to a radar antenna driving motor, the paper analyses the running principle of the BLDC (brushless DC) motor with electromagnetism interaction sensor, and deals with the evolution for high power motor controller using high-voltage, PWM technique.

Key words: brushless DC motor; high power drive; PWM

无刷直流电机用电子换相器取代了有刷电机的机械换相器,它的转子为永磁体,电枢绕组装在定子上,散热条件好,没有换向器的碳刷磨损、电火花干扰等问题。特别在大功率、高转速条件下,无刷电机的优越性就更加明显。因此某雷达天线方位驱动电机就采用无刷直流电机,它的额定转速为 1 500 r/min,额定功率为 8.5 kW,过载能力 1.5 倍。无刷电机的优越性很高,但对电机控制器有很高的要求。本文从工程应用角度出发,分析了无刷直流电机的运行原理,应用高电压(母线电压 513 V)、大功率直流 PWM 技术,提出了一种可靠的大功率无刷直流电机控制器。

1 无刷直流电机的控制原理及控制电路

无刷直流电机的机械特性方程^[1]

$$n = \frac{(u - \Delta u)}{K_e} - \frac{R}{K_e K_T} T_e$$

式中, n 为电机转速; u 为电源电压; Δu 为功率管压降; K_e 为电动势系数; K_T 为转矩系数; R 为电机的内阻; T_e 为电机产生的转矩平均值。

由上式可知,无刷直流电机的机械特性方程同一般直流他励电机一样,采用无刷直流电机能够满足伺服系统的电气性能要求。

某雷达天线方位驱动电机采用电磁感应式无刷直流电机。电磁感应式传感器与其他常用的传感器(如光电式、霍尔式)相比,虽然处理电路较为复杂,但其环境适应性强、抗干扰能力高,很适合雷达恶劣环境要求。电磁感应式位置传感器的定子上装有 a, b, c, x, y, z 6 个开口变压器,它们敏感磁极位置,在相位上 a, b, c 与 x, y, z 反相,各相差 120° 。

$$\left. \begin{aligned} U_p &= \bar{a}b\bar{f} + x\bar{y}\bar{f}, & U_n &= x\bar{y}\bar{f} + \bar{a}b\bar{f} \\ V_p &= \bar{b}c\bar{f} + y\bar{z}\bar{f}, & V_n &= y\bar{z}\bar{f} + \bar{b}c\bar{f} \\ W_p &= \bar{c}a\bar{f} + z\bar{x}\bar{f}, & W_n &= z\bar{x}\bar{f} + \bar{c}a\bar{f} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

传感器位置信号经过式(1)处理,在电机理论上即为电机的旋转坐标变换^[2].式中 f 、 \bar{f} 为对应电机的正、反转向.

从式(1)可以发现 $U_p, U_n, V_p, V_n, W_p, W_n$ 有如图 1 所示的关系,它们在电相位上各导通 120° 相差 60° ,这正是无刷直流电机三相六拍的控制逻辑.实际使用的电机的极对数为 4 对极.

大功率无刷直流电机控制器电路原理如图 2 所示.

大惯性环节是将模拟指令电压进行惯性延时,防止电机在短时间内正、反转,流过功率管的电流过大,烧毁功率管.

绝对值电路是将指令电压进行绝对值处理,符号判别电路是提取指令电压的正、负号,形成 f 、 \bar{f} .

PWM 部分的实现是基于开关电源 PWM 芯片 SG1525, PWM 脉冲的宽度受指令电压绝对值控制.过流保护、电机软起动也在芯片中实现.实际 PWM 频率为 6 kHz 软起动时间为 6 s.具体电路如图 3 所示.

位置传感变压器的信号 a, b, c, x, y, z 被激磁信号(10 kHz)调制,需经检波、整形电路处理,才能得到与磁极位置对应的数字信号.逻辑处理电路根据式(1)的关系,对位置传感数字信号、指令方向信号、PWM 信号进行逻辑运算,得到功率管的驱动信号,同时对功率管的上、下桥臂驱动信号进行逻辑互锁保护,输出至大功率驱动部分.

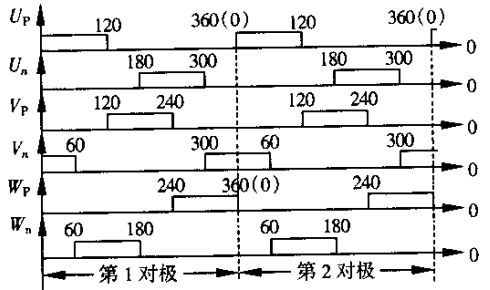


图 1 功率管驱动信号相位图

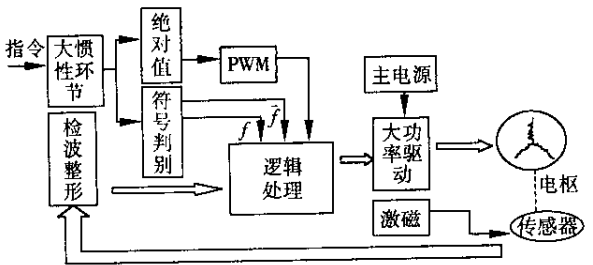


图 2 电路原理框图

2 大功率驱动设计

某雷达驱动天线方位的无刷直流电机的额定转速为 1 500 r/min,额定功率 8.5 kW,过载能力 1.5 倍,考虑到电机效率、器件的功率损耗,最终大功率驱动部分按 15 kW 设计.电源为三相 380 V/50 Hz.

设计时首先考虑采用直流 PWM 驱动方式,这样可靠性高,控制简单,控制特性更好.

末级功率驱动采用 IGBT 对管驱动模块,避免使用可控硅,这样可以做到大功率、高开关频率、低损耗、高可靠.

PWM 主电源使用三相全控桥整流电路,输入交流电压 380 V,输出直流电压 513 V,减少了笨重的变压器,而且电机电枢的电流也相对较小,电机的设计也相对简单,但增加了末级功率驱动的难度.

考虑到雷达天线方位驱动时,要求天线单方向稳速运转,没有快速制动和正反向切换运行的动态性能要求,因此驱动设计时,不考虑母线上的泵升电压.主电源电路如图 4 所示.

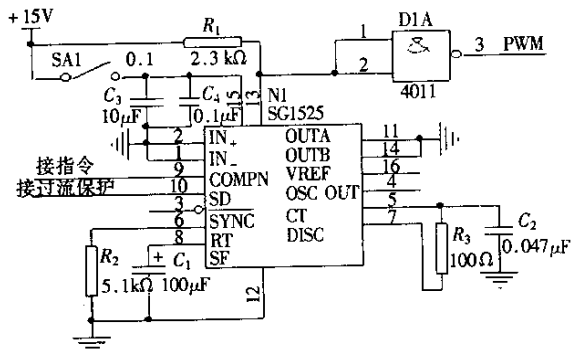


图 3 PWM 电路图

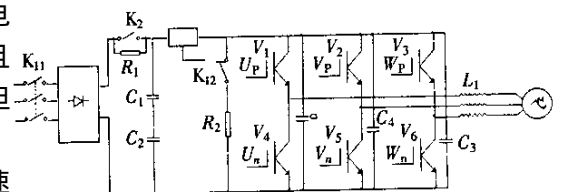


图 4 主电源电路图

图 4 为 IGBT 采用日本富士公司的 2MBI150PC-140,耐压 1 400 V,电流 150 A,整流桥模块采用 6RI100E-080,耐压 800 V,电流 100 A.接触器采用 ABB 公司瑞士原装 A40-30.其中 K_{11}, K_{12} 为开关机控制接触器, K_2 为电机串连起动接触器,由于有 PWM 软起动,根据需要可省略.考虑到 IGBT 的关断浪涌电压,采用整体 C 型缓冲电路, C_3, C_4, C_5 为无感吸收电容(1 200 V, 1.5 μ F), L_1 为 0.5 mH 的扼流圈.

N1 为霍尔电流传感器(LEM28-NP),可根据其采样电流值设计电机过流保护.实际应用时将采样电流转换为电压值,经电位器调节接 SG1525 的 SD 端.当主电源回路的电流大于电机过载电流值时,封锁 PWM 输

出,从而保护电机.经实际检测,电机的额定工作电流为 20 A,过载 1.5 倍时为 30 A.

IGBT 驱动管采用日本英达公司的专用 IGBT 驱动模块 HR065. HR065 的输出驱动功率适合驱动电容小于 18 000 pF 的 IGBT^[3],为了增加驱动能力,保证 IGBT 工作更加可靠,设计通过 D44VH10, D45VH10 实现二次驱动. D44VH10, D45VH10 为 NPN, PNP 的快速功率驱动管,开关速度 $T_f = 90 \text{ ns}$, 电流 $I_c = 15 \text{ A}$. 具体驱动电路图如图 5 所示.

A_1 为光耦 6N137. ZD_1 为 2CW106, V_1, V_2 为 ERA34-10, V_3 为 ERB44-10. 设计时根据理论和经验,栅极电阻最终选为 $18 \Omega/2 \text{ W}$,其他元件参数从略,具体使用时见文献[3].

HR065 的过流保护临界电压值为 10 V,不能调整. ERA34-10 的通态压降 $V_f = 3 \text{ V}$,恢复时间 $T_{\text{TR}} = 0.14 \mu\text{s}$, ERB44-10 的 $V_f = 1.5 \text{ V}$, $T_{\text{TR}} = 0.4 \mu\text{s}$, $10 \text{ V} - (3 \text{ V} + 3 \text{ V} + 1.5 \text{ V}) = 2.5 \text{ V}$,此时正好对应 IGBT(2MBI150PC-140) $I_c = 120 \text{ A}$ 时的饱和压降,达到过流保护目的.

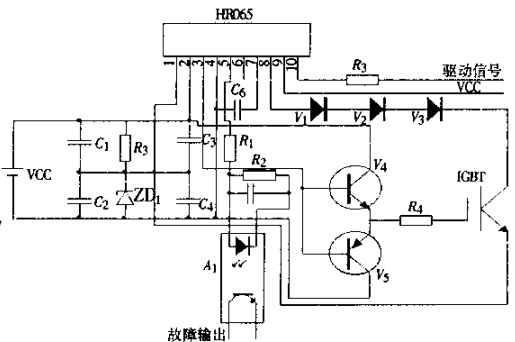


图 5 HR065 驱动电路图

3 结 语

本文提出的大功率无刷直流电机控制器已经配合无刷直流电机完成了国家鉴定试验,工作可靠.控制器同时也进行了 $-40^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 的环境试验,但由于条件限制,电机为空载状态.

某雷达天线方位驱动电机研制时,采取了普通有刷直流电机和无刷直流电机同时预研的方案.结果有刷电机(含测速机)重量 200 kg 左右,而且碳刷磨损严重.无刷电机机座号同为 200,重量仅 86 kg.可见无刷直流电机从适装性和可靠性都大大优于普通有刷直流电机.因此大功率无刷直流电机控制器的研制就显得很有意义.基于本文中设计思想的大功率无刷直流电机控制器的输出功率调整在 15 kW 左右,根据不同功率的电机还可调整得更高.

参考文献 (References)

- [1] 张 琛. 直流无刷电动机原理和应用[M]. 北京:机械工业出版社,1996.19-24.
- [2] 竺林荣. 一种舰载搜索雷达舵角驱动电机的冗余控制[A]. 见:第 8 届全国雷达学术年会[C]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2002.329-332.
- [3] 钱文明,黄小东,陈伯时. 用于 IGBT 的专用集成驱动器 HR065 的设计原理与应用研究[J]. 电气传动,1995(2):23-28.