

石油钻机直流调速系统设计与监控

文/张生

摘要

本文论述的是基于 S7-300 PLC 的直流脉宽调速系统，该系统包括控制器、驱动电路、主电路和转速检测环节。该电动钻机直流电机调速系统通过组态王人机界面，实现对整个系统的实时监控，便于方便现场人员及时了解设备使用情况。

【关键词】电动钻机 电控系统 直流调速 PLC PWM H 桥双极性电路

近年来，直流电机拖动系统得到了快速发展，直流电机起动转矩大，制动性能优越，可在较大范围内实现平滑调速，石油钻井电动绞车、电动泥浆泵、

电动转盘等均可通过直流调速系统实现长效平稳运行，因此基于直流电机的调速控制系统是一门很实用的技术。

1 基于PLC的直流调速系统设计原理

本系统通过调节直流电机电枢电压，实现在较大范围内平滑调速。电动钻机直流调速的被控对象是直流电机，系统的核心选用西门子的可编程控制器 S7-300 PLC，调节器采用比例积分 (PI) 调节；执行机构即主电路是由四个 IGBT 和与它们反向并联的四个二极管构成的；驱动电路采用的是集成驱动器 M57962L；检测转速装置采用的是光电编码器。

2 电路设计及原理

由西门子公司生产的 PLC 做为整个驱动控制中心，PLC 综合控制柜承担电机控制任务。PLC 系统与司钻操作台和驱动系统通过 PROFIBUS 总线相连，系统主控 PLC 为西门子 S7-300 系统可编程控制器，CPU 为 315-2DP，远程控制站为 ET200M。

2.1 电路及驱动电路设计

本系统采用的主电路是桥式可逆 PWM 变换器，如图 2-1 所示：

2.2 工作原理

电动机 M 两端电压 U_{AB} 的极性随开关器件 IGBT 驱动电压极性而变化，

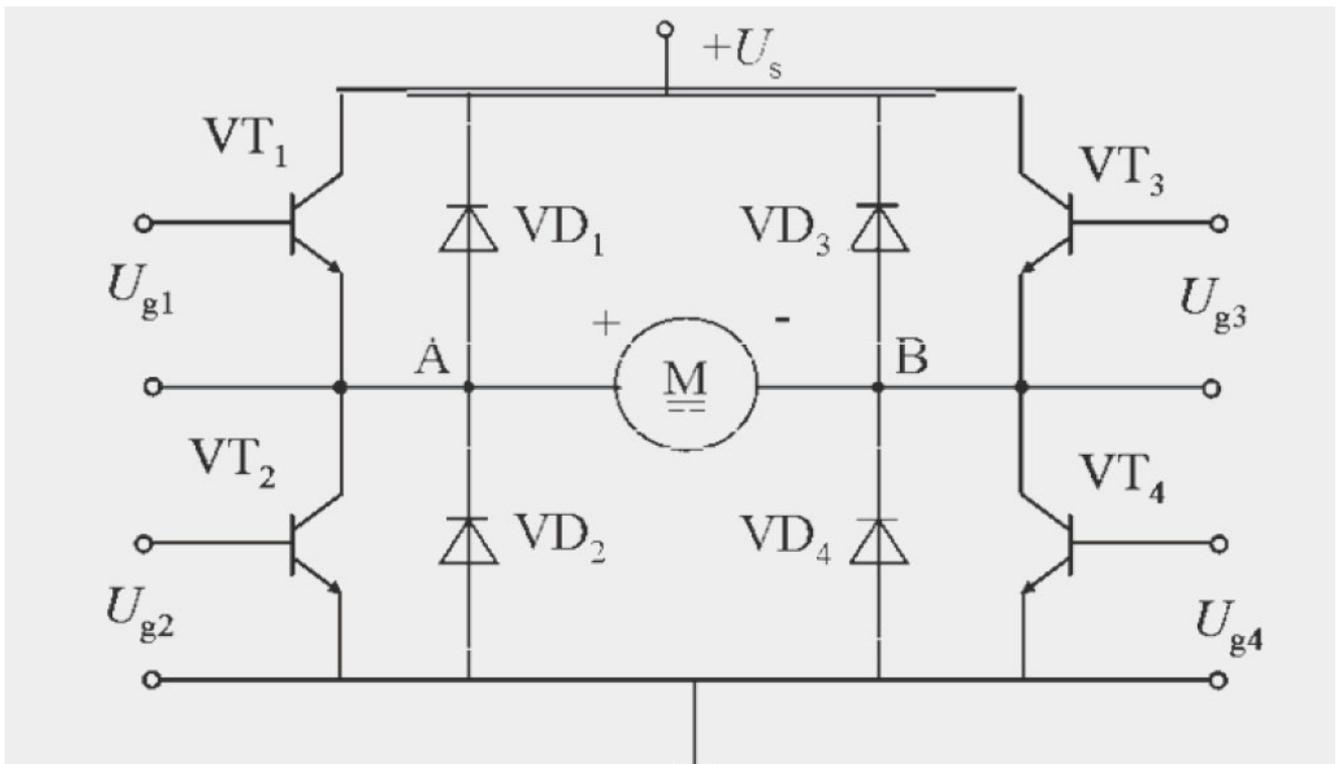


图 2-1 主电路原理图

控制方式是双极式控制。双极式控制可逆 PWM 变换器的 4 个驱动电压的关系是： $U_{g1}=U_{g4}=-U_{g2}=-U_{g3}$ 。在一个开关周期内，当 $0 < t < t_{on}$ 时， $U_{AB}=U_s$ ，电枢电流 i_d 沿回路 1 流通；当 $t_{on} \leq t < T$ 时，驱动电压反相， i_d 沿回路 2 经二极管续流， $U_{AB}=-U_s$ 。因此， U_{AB} 在一个周期内具有正负相间的脉冲波形，这是双极式名称的由来。

双极式控制可逆 PWM 变换器的输出平均电压为：

调速时，占空比 d 的调节范围是 0

$$U_d = \frac{t_{on}}{T} U_s - \frac{T-t_{on}}{T} U_s = \left(\frac{2t_{on}}{T} - 1\right) U_s$$

到 1，其中 $d=T/t_{on}$ 。当 $d > 0.5$ 时，电机正转；当 $d < 0.5$ 时，电机反转；当 $d = 0.5$ 时，电机停止。但电机停止时电枢电压并不等于零，而是正负脉宽相等的交变脉冲电压，因而电流也是交变的。这个交变电流的平均值为零，不产生平均转矩，徒然增大电机的损耗，这是双极式控制的缺点。

双极式控制桥式可逆 PWM 变换器在工作时 4 个开关器件在切换时存在上、下桥臂直通的可能性，为避免此情况的发生，加入硬件延时电路，死区时间设置电路是防止上下功率管直通的保护电路，其采用驱动信号下降沿不延时，只延时驱动信号的上升沿的方法实现保护。本方案采用电压比较器电路实现，电路参数为 $R_0=10K\Omega$ 、 $R_1=10K\Omega$ 、 $R_2=10K\Omega$ ，电容器 C_1 选 $500pF$ ，比较器选择 LM339。比较器的反向端电压为 $+2.5V$ ，正向端接脉冲信号。假设脉冲信号首次到来的是低电平，比较器反向

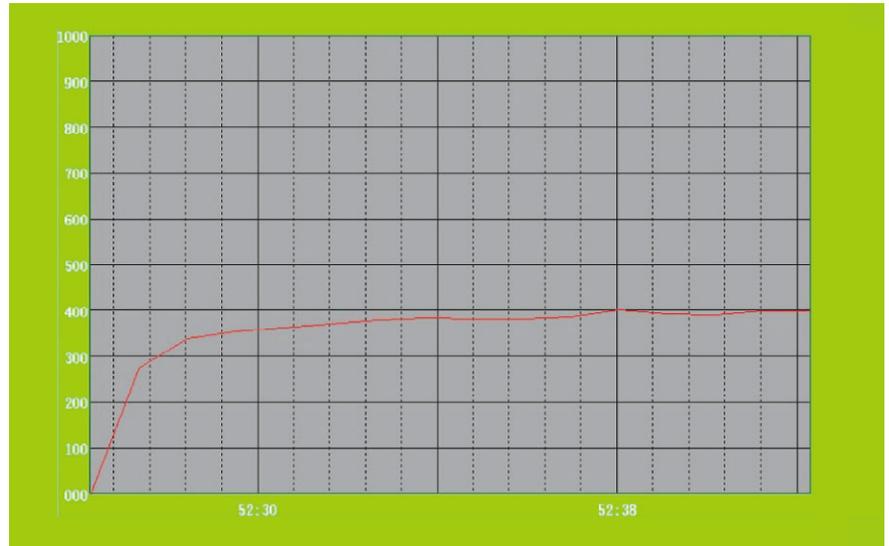


图 3-1 突加给定

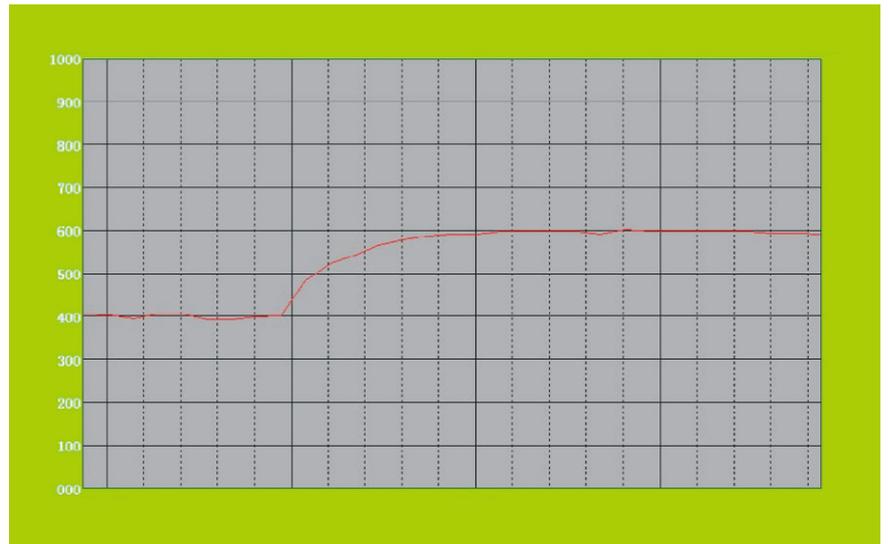


图 3-2 突加给定

端电平高于正向端电平，比较器快速输出低电平；随后脉冲信号的高电平到来，高电平通过 R_0 给电容充电，电容充电完成后，比较器正向端电平高于反向端电平，输出高电平，完成了上升沿延迟；当脉冲信号的低电平第二次到来时，电容通过二极管 D_1 迅速放电，比较器正向端迅速变为低电平，输出低电平。至此完成驱动信号上升沿延时导通，下降沿按时关断。

3 利用组态监控对系统进行分析

本电动钻机直流电机调速系统通过组态王人机界面，实现对整个系统的实时监控，便于方便现场人员及时了解设备使用情况。

本系统是直流电机转速闭环调速系统，实验结果波形图 3-1 如下所示。

图 3-1 是突加转速给定的速度响应曲线。突加转速给定 $400r/min$ ，经过 $10s$ 左右的比例积分 PI 调节，转速基本稳定



图 3-3 突减给定

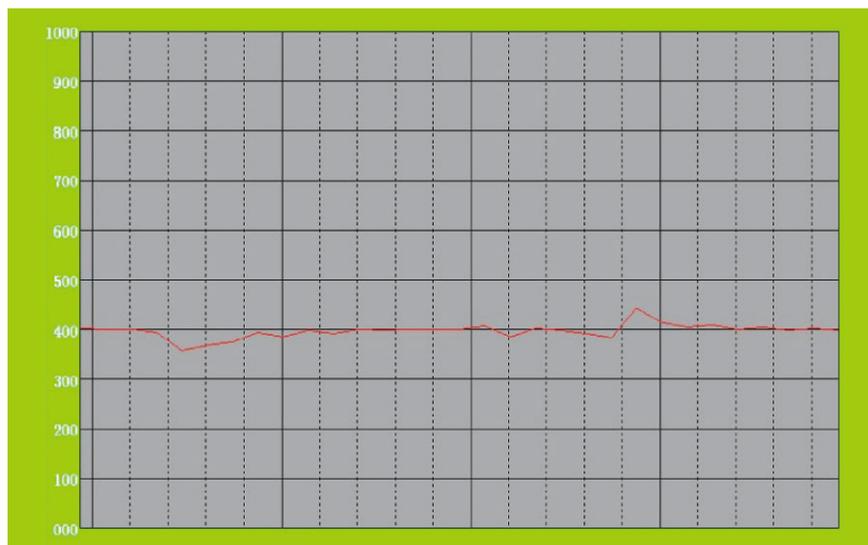


图 3-4 突加负载和突减负载

在 400r/min，实现了无静差转速调节。

图 3-2 是电机稳定运行于 400r/min 时，突加转速给定 600r/min，经过 5s 左右的比例积分 PI 调节，转速基本稳定在 600r/min，实现了转速跟随给定，并且是无静差的跟随给定。

图 3-3 是电机稳定运行于 600r/min 时，突减转速给定 400r/min，经过 5s 左右的比例积分 PI 调节后，转速基本稳定在 400r/min，实现了无静差调节，而

且转速严格跟随给定。

图 3-4 是突加负载和突减负载时的转速响应曲线，在电机稳定运行于 400r/min 时，突加负载，转速立刻下降，经过一段时间的比例积分 PI 调节，转速又稳定在了 400r/min，实现了抗扰动能力。后一段波形是突减负载时的情况，在突减负载时，电机转速突然升高，经过一段时间的比例积分 PI 调节后，转速又稳定在 400r/min，由此可见本系统

有一定的抗干扰能力。

4 总结

本系统采用 H 桥—直流电动机调速系统与 PLC 控制系统相结合，实现了对直流电机的闭环调速控制。

(1) 主电路采用由四个 IGBT 和四个与其反向并联的二极管构成的桥式可逆变频器可实现直流电动机的正、反转调速控制。

(2) 采用集成驱动器 M57962L，通过其驱动外围电路并制作电路板，实现了对 IGBT 的导通和关断控制。

(3) 设计并制作硬件延时电路，以防止上、下桥臂直通事故的发生。

(4) 阻容吸收电路，以实现保护 IGBT 的保护。

(5) 通过 PLC 控制程序，实现了对直流电动机的闭环调速控制。

(6) 通过组态王人机界面，实现对整个系统的实时监控。

参考文献

- [1] 谢卓辉. 直流调速系统的全数字控制 [D]. 湖南: 湖南大学, 2001: 3-10.
- [2] 胡学林. 可编程控制器教程. 基础篇 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 58-162.

作者单位

山东东营胜利石油管理局渤海钻井二公司
257000