

一种步进电动机恒流驱动电路

潘 金 火*

(应用物理系)

摘 要

本文提出一种步进电动机恒流驱动电路,叙述了一种机床用的步进电动机驱动装置。

一、步进电动机工作电流的特点

步进电动机总的电气参数决定于相绕组通过的电流幅值和电流密度,从而保证电机气隙中有足够的磁通和绕组里有足够的工作电流。工作电流的特点是脉冲电流,周期性地通断;增大起动电流即工作电流,可以提高电机的工作能力,其电流按 $i = I_H (1 - e^{-Rt/L})$ 上升;工作电流幅度选取在最大静转矩-电流曲线饱和点附近,过小静转矩小,过大则最大静转矩增加不明显,电机温升,效果较差。为了提高电机工作能力,要让绕组接上电源后电流尽快上升到工作电流值,并在整个控制脉冲持续期内恒值不变。

步进电动机驱动线路构成的原则,取决于加快电流上升的方法。电阻加速方法即在电机相组串接一恒值电阻来限制电流,加快上升时间 (L/R),但功耗大,效率低,尤其是高频工作的电机更为严重。脉冲加速方法,即在一拍范围内由较高的电压切换到电机绕组的短路电压(低压)值,它克服了电阻加速方法中功耗大、效率低的缺点,改善了电机矩频特性,但需双直流电源,且在高压冲击下,使低频输入能量过大,造成电机低频振荡加重。同时,高低压切换时,电流波呈凹形,这使电动机输出转矩下降。斩波法是通过让步进电动机相在换接拍内多次接到高压电源上来保持(调节)相工作电流恒值大小,并有电流平均值自动检测。它克服了高低压供电的脉冲加快方法的缺点,具有效率高、输出力矩大的优点。本文提出一种恒流驱动电路就是斩波型的驱动电路。

二、斩波型恒流驱动电路原理

图1给出一相的电路框图, ϕ 为绕组。其工作原理:由输出接口送出进给脉冲把驱动电路上下开关晶体管 BG_1 、 BG_2 开通,绕组 ϕ 接上电源,通过的电流上升到额定工作电流值之

本文1987年4月10日收到。

*参加设计的还有吴金灿、朱光轩;参加安装和调试的有魏献裕、戴金龙、庄金川。

前, 绕组贮能. 当到达额定值时, 取样电阻 R_2 上检测到某一阈值的信号电平, 经整形后给门电路一关门电平, 门关闭, 上开关预放大级无输出信号, 上开关管 BG_1 截止. 紧接着绕组 ϕ 通过 $D_1-\phi-BG_2-R_2$ 回路释能. 绕组中电流下降, 取样电阻 R_2 上的压降相应减少, 整形电路输出高电平, 使门开启, 上开关预放大级输出高电平, 又使 BG_1 导通, 高压再次对电机供电, 绕组电流又一次上升. 这样反复进行, 让电机绕组在进给脉冲持续期内多次接到高压电源上, 一直到进给脉冲持续期满, 便在绕组中形成一在工作电流值上下波动的呈锯齿波形的电流波, 近于恒流. 为了减少电机绕组反电势, 在进给脉冲过后, 有 $D_1-\phi-D_2-E_c$ 放电回路.

取样电阻 R_2 的数值很小 (一般为 0.2Ω), BG_1 、 BG_2 工作在开关状态, 整个电路功耗少, 效率高; 由于锯齿波波顶可以调整, 流过绕组电流的幅值可以增加到额定工作电流数值, 使电机输出力矩增大. 这些正是本电路的优点.

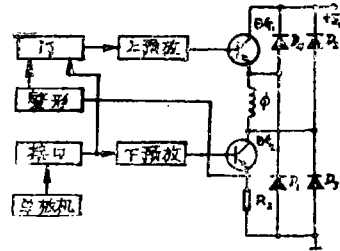


图1 斩波驱动电路框图

三、电路特点

本文设计的驱动电路原理图 (只绘一相) 如图2所示. 电路使用元器件较少, 结构简

单. 纵向看, 它由上下驱动开关组成. 横向看, 它由进给脉冲输出单元 (如单板机经接口 P10 输出), 电气隔离级 (BG_0 光电耦合器), 预放大推动级 (BG_3, BG_4), 斩波电路 (包括取样电路 R_2 , 整形电路 IC_3 及门 IC_2), 输出级 (BG_1, BG_2) 和电机 (绕组 ϕ) 组成. 本电路具有以下特点.

1. 单高压电流反馈式驱动电路

本电路采用单高压电源供电, 由绕组充放电回路、开关管及其保护元件、斩波电路构成, 具有单高压电流反馈电路, 保

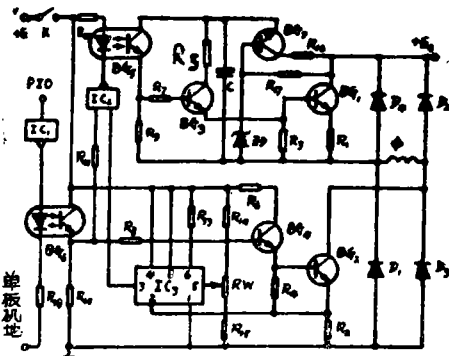


图2 斩波驱动电路原理图

证了电路工作稳定、可靠, 维持了相电流恒定不变. 换相的作用和电压调节作用互相分开, 前者靠 BG_2 导通来实现, 后者由 BG_1 来完成. 在进给脉冲持续期间, 当相绕组电流小于额定工作电流 (图3), BG_1 和 BG_2 均导通, 步进电动机绕组 ϕ 接上了高压 E_c , 随着电流上升到达额定值, 开关 BG_1 便关闭, 相绕组两端的电压变为零. 在进给脉冲持续期内, 开关 BG_2 一直是导通的, BG_1 则周期性地转换, 使绕组两端所加的电压从高压 E_c 值下降为绕组短路电压 U_s 值.

$$\bar{U}_s = E_c \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

式中, t_1 为 BG_1 接通时间; t_2 为 BG_1 关闭时间。通过调整取样电阻 R_2 值和整形电路参数, 可以改变 t_1 、 t_2 的大小, 从而改变了锯齿波的周期 $T = t_1 + t_2$, 也即实现绕组短路电压 \bar{U}_s 的调节。这种在进给脉冲持续期间内, BG_1 以一定不变的占空比进行工作状态的转换, 等效于相绕组上施加一个较低短路电压 \bar{U}_s , 其效果相当于脉冲加快法。但是, 这里工作电流却是恒定的, 等效短路电压 \bar{U}_s 容易调节, 因而通过绕组的电流值可以调整, 这是脉冲加快方法不能办到的。在步进电动机绕组绝缘允许的情况下, 可以适当地加大 E_c 值, 以改善电流波形前沿, 加快电流上升率 (图 4)。绕组电流前沿陡, 波顶恒定, 因此电机的驱动力也大。

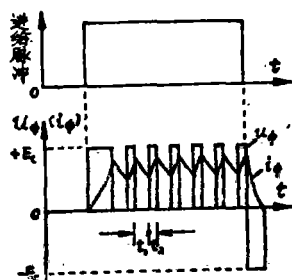


图 3 脉冲调节时相电压 U_ϕ 、相电流 i_ϕ 和时间 t 的关系
 E_c —高压电源电压
 I_1 —绕组工作电流

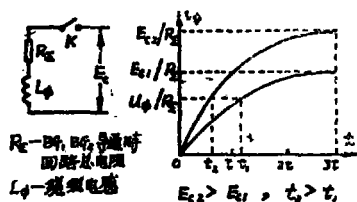


图 4 相同时间常数、不同电源电压回路电流上升率不同

2. 采用光电耦合器作耦合隔离级

光电耦合器作耦合隔离器件具有抗干扰能力强、传输效率高、饱和压降小、隔离性能好、体积小等优点。虽然光电耦合器输出温漂较大, 但因电路器件均工作在开关状态, 只要设计时注意留有余量, 其影响尽可消除。

本设计电路每相回路中使用两只光电耦合器 (图 2)。 BG_6 是为防止处于大电流感性负载下工作的驱动电路影响进给脉冲输出电路的正常工作, 起到电隔离作用。 BG_5 是上开关管预放大级信号耦合和电平隔离器件, 光电耦合器取代了脉冲变压器, 克服了变压器体积大、造价高、频响差、效率低、失真大等缺点。上开关管预放大级的电源供应, 直接由高压电源 E_c 经降压稳压后提供, 只有当下开关管导通期间, 这一直流电源才有通道。

3. 电路器件能耗少

当驱动电路无进给脉冲信号时, 电路所有器件都处于截止状态, 因而大大减少能耗, 降低对器件散热条件的要求。但由于使用高压供电, 在开关管的选用上, 单是考虑反压高 (即 BV_{CBO} 大) 的管子有时还会有严重击穿情况产生, 这主要是二次击穿造成的, 所以还应选用二次击穿电压较高的管子。

四、试验结果

我们设计并安装了常州电机电器总厂生产的反应式 110BF003 型步进电动机的驱动电路, 由 TP-801 单板机 P10 输出接口送出进给脉冲, 电机通过齿轮同普通车床 C620 床动力丝杆连接, 实行与原车床兼容, 可以实现单边吃刀量 6 mm 对 45# 钢材进行车削, 组成了微机控制普通车床装置。实拍斩波型恒流供电绕组电流波形图如图 5 所示。

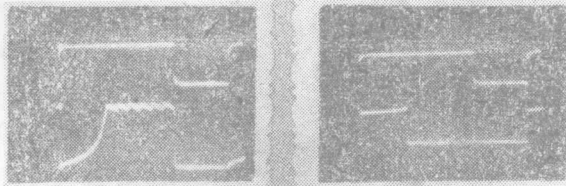


图 5 实拍斩波型恒流供电波形

(a) 上为进给脉冲, 下为取样信号, 前沿 1.6ms;

(b) 上为进给脉冲, 下为斩波电路输出信号, 占空比 1:8

实验室采用吊砝码方法, 对 110BF003 型机用本设计电路进行驱动, 测量电动机最大静转矩为 98 kg·cm。(出厂指标为 80 kg·cm)。其起动矩频特性测量值如表 1。测量了整个装置(主要是驱动电路)耗电情况如表 2。

表 1 用吊砝码方法测量 110BF003 型电动机起动矩频特性

f (Hz)*	70	140	250	360	450	550	650	750	880	980
M (kg·cm)*	58	54	48	50	51	51	47	48	46	45
f (Hz)**	100	200	300	400	550	900	1100	1300	1500	
M (kg·cm)**	38	35	35	35	35	35	25	16	10	

*本驱动电路驱动电动机实测数据;

**常州电机电器总厂产品说明书的数据。

表 2 装置功率损耗的测量*

状 态	AC 220V 时的交流电流 (A)	驱动电源直流高压 (V)
空载运行的损耗	0.2	98
两台电机同时锁定	1.9	78
两台电机同时运行	1.7—1.9	78
一台锁定一台运行 70Hz	1.7	80
一台锁定一台运行 360Hz	1.5	82
一台锁定一台运行 1500Hz	0.8	85

*装置功耗包括冷却风机的损耗; 电机运行频率变化时, 损耗也会变化。

如果采用单电源电阻加速方法进行驱动, 每台电动机驱动电路功耗在 1 kVA 左右, 厂家提供的电动机起动矩频特性附在表 1, 可见其高频明显降落。

用斩波型恒流驱动电路构成的微机控制普通车床装置,其驱动部分有下列主要指标:
(1) 步进电动机:型号 110 BF 003 型 2 台,最大静转矩 $80 \text{ kg} \cdot \text{cm}$,步矩角 0.75° ;(2) 耗电 AC 50Hz 350VA 左右;(3) 体积 $180 \times 350 \times 450\text{mm}^3$;(4) 重量为装置 15 kg ,电机 $7 \text{ kg} \times 2$ 。

装置经近年来试用正常。试验表明,本文设计的斩波型恒流驱动电路,具有抗干扰性能强、频率响应好、驱动力矩大、耗能少、性能稳定、结构简单的优点。

本电路的调试工作、联机试用,南平机床维修中心厂给予大力支持和协助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- (1) 中国科学院技术情报研究所重庆分所编译,步进电动机电力拖动,科学技术文献出版社重庆分社,(1980),54-63.
- (2) 徐强、童海清编著,脉宽调速系统,上海科学技术文献出版社,(1984),59-64.
- (3) 陈理壁编著,步进电动机及其应用,上海科学技术出版社,(1985),92-98.
- (4) 曲维木、刘铁塘编,光电耦合器的原理及其在电子线路中的应用,国防工业出版社,(1981),132-105.

A Circuit for Driving the Stepmotor with Constant Current

Pan Jinhua

Abstract

This paper puts forward a circuit for driving the stepmotor with constant current.

It puts forward also a stepmotor driver applicable to machine tool.