

# 大范围自动调压直流脉冲电源的研究

王安民<sup>1</sup>, 栗建新<sup>2</sup>, 黄崇林<sup>1</sup>

(1. 茂名学院, 广东 茂名 525000; 2. 湘潭大学, 湖南 湘潭 411105)

**摘要:** 电流变液 (ERF) 阻尼减振数控机床中需要使用大范围自动调压直流脉冲电源, 以调节加在 ERF 阻尼器上的电压值的大小, 改变加在主轴上的阻尼, 降低其振幅, 达到提高机床动态性能的目的。介绍了该电源的工作原理、电路结构, 并对其性能进行了测试。

**关键词:** 脉宽调制; 脉冲电源; 稳压电源

**中图分类号:** TM832; TN86      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000 - 100X(2004)01 - 0095 - 03

## Study of High-scope DC Pulse Power Supply with Voltage Self-adjusting

WANG An-min<sup>1</sup>, LI Jian-xin<sup>2</sup>, HUANG Chong-lin<sup>1</sup>

(1. Maoming College, Maoming 525000, China; 2. Xiangtang College, Xiangtan 525000, China)

**Abstract:** The paper introduces the working principle and circuit-structure of high-scope DC pulse power supply with voltage self-adjusting, analyzes its capacity by testing. This power supply is aimed at the ERF damper on NC machine tool. It can reduce the fluctuation amplitude of principal axis and improve the dynamic capability of the NC machine tool by adjusting the voltage of the damper and changing the damping of principal axis.

**Key words:** PWM; pulse supply; voltage-stabilized power supply

## 1 引言

高性能电流变液 (ERF) 减振数控机床<sup>[1]</sup>需采用大范围自动调压直流电源。根据 ERF 减振数控机床的设计要求, 电源通过误差信号输入端口与实时控制系统中的传感器相连, 输出的电压为直流并能在 0~20 kV 范围内连续可调, 直流电流 0~5 mA。当机床主轴径向振动变化时, 由传感器测出振幅信号, 并将其转变为电信号, 反馈给直流电源, 从而自动调节电源电压的高低, 以控制 ERF 的粘度, 进而达到控制主轴振动的目的。当主轴的振动增强时, 感应信号增强, 控制电压升高, 阻尼器中的 ERF 液体粘度增加, 主轴的阻尼相应增大, 使主轴振幅降低。ERF 液体的粘度随电压变化的灵敏度很高, 能在毫秒级的时间内实现“液”“固”转换。

## 2 仪器的组成及工作原理

图 1 示出一个机、电、液闭环控制系统的原理框图。机床在切削加工过程中, 主轴产生较大的振动, 振幅传感器输出与振幅成正比的电压信号, 经放大后作为低频调制信号发生器的控制信号, 主轴振幅越大, 控制电压越高, 低频调制信号发生器输出脉冲

宽度越大, 高频脉冲发生器和高频高压脉冲在单位时间内输出的脉冲越多, ERF 阻尼器中液体粘度越大, 其阻尼就会增大, 主轴的振幅就会减小。随着振幅减小, 振幅传感器输出的电压  $U_J$  下降, 低频调制脉宽度变窄, 单位时间内加载到 ERF 阻尼器的脉冲数减少, 阻尼器中 ERF 液体粘性下降, 其阻尼随之减小, 从而达到自动减振的目的。

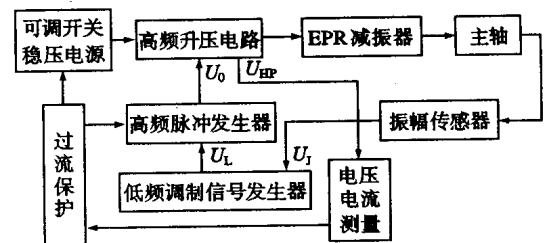


图 1 工作原理框图

下面主要介绍低频调制信号发生器、高频脉冲发生器和升压电路的工作原理。

### 2.1 低频脉宽调制器<sup>[2]</sup>

低频脉宽调制器如图 2a 所示, 它由以  $A_1$  和  $A_2$  为核心构成的三角波发生器和  $A_3$  比较器组成。电阻  $R_6$  构成  $A_1$  的正反馈回路, 其输出电压  $U_0$  为一正负相等的矩形脉冲。 $A_2$ ,  $R_4$  和  $C$  构成一个积分器。 $A_2$  的输出  $U_1$  经电阻  $R_7$  引入一个负反馈, 这样就形成一个三角波发生器, 其脉冲频率  $f_t$  为:

$$f_t = R_6 / (4 R_7) \quad (1)$$

式中  $R_7 = R_4 CR_6$

基金项目: 湖南省科技基金重点资助项目 (No. 01GKY2072)

定稿日期: 2003 - 05 - 06

作者简介: 王安民 (1944 - ) 男, 湖南祁阳人, 教授, 研究方向为机电一体化和电流变学。

若式中  $R_7, R_4, C$  固定不变, 改变  $R_6$  可以连续改变三角波的频率。A<sub>3</sub> 接成电压比较器, A<sub>3</sub> 的“-”端输入为三角波, “+”端接振幅传感器输出电压  $U_J$ , 若  $U_J = 0$  V, A<sub>3</sub> 输出  $U_L$  为最高电压, 随着  $U_J$  电压升高,  $U_L$  负脉冲变宽, 可实现负脉冲宽度从 0 ~ 100 % 连续可调, 各点波形如图 2b 所示。图中 VD<sub>Z1</sub> 稳压管起防止  $U_L$  过大的作用, 使  $U_L$  不超过上限允许值。

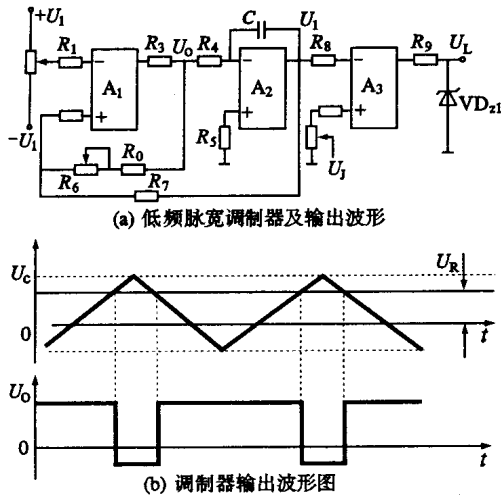


图 2 低频脉宽调制信号发生器及其输出波形

## 2.2 高频高压脉冲发生器

ERF 阻尼器中的液体在较强电场作用下, 液体粘度会增大, 其阻尼值也增大。而 ERF 的绝缘性很好, 在施加 20 kV 高压时, 产生的最大电流不超过 5 mA。因需将市电 220 V 交流电整流为直流电, 再经高频脉冲发生器和脉冲变压器将直流电转换为高频高压直流电, 为了提高传输功率, 减少变压器本身的损耗, 采用了高频脉冲变压器。

如图 3a 高频升压电路所示, SG3524 是脉宽调制器, 振荡频率  $f_{osc} = 1 / (R_{15} C_2)$ , 而输出的调制脉冲频率  $f_o = f_{osc} / 2$ 。当引脚 12, 13 短接后接 +5V; 11, 14 引脚短接后作为输出  $U_o$ ,  $U_o$  的脉冲宽度可获得 0 ~ 100 % 的调节范围。SG3524 的引脚 10 是关断信号输入脚 BK, 当 BK = 1, 使两只输出开关管截止, 停止脉冲输出。当 BK = 0, 允许两只开关管正常工作。由于 BK 脚与低频脉宽调制信号发生器的输出端  $U_L$  连接, 当  $U_L$  脉冲为 1 电平时, 高频脉冲发生器停止工作;  $U_L$  为 0 电平时, 高频脉冲发生器才能正常工作。图 3b 示出了  $U_L, U_B, U_o$  之间关系的波形图。从图中可以看出, 在  $U_L$  脉冲的零电平阶段,  $U_B, U_o$  为高频脉冲列; 在  $U_L$  为 1 电平阶段,  $U_o$  为零电平,  $U_B$  为 1 电平, 无脉冲输出。并且,  $U_B$  与  $U_o$  之间是反相的。

SG3524 的引脚 15 是芯片内基准电平输出端  $V_{REF}$ , 电阻  $R_{10}$  和电位器  $RP_1$ , 电阻  $R_{11}$  和  $R_{12}$  组成分压器, 跨接到  $V_{REF}, G_{ND}$  两端, 其中分压  $V_{IP}$  输入到 SG3524 的同相输入端 (引脚 2), 则  $V_{IN}$  输入到反相输入端 (引脚 1)。调节电位器  $RP_1$ , 就能获得 0 ~ 100 % 宽度可调的脉冲  $U_o$ 。

高频脉冲发生器输出脉冲频率的大小由 ERP 阻尼器的结构来决定, 由实验知, 其频率的大小可通过调节  $R_{15}, C_2$  值来决定, 而它的脉冲宽度则由高频脉冲变压器  $T_B$  的参数决定。

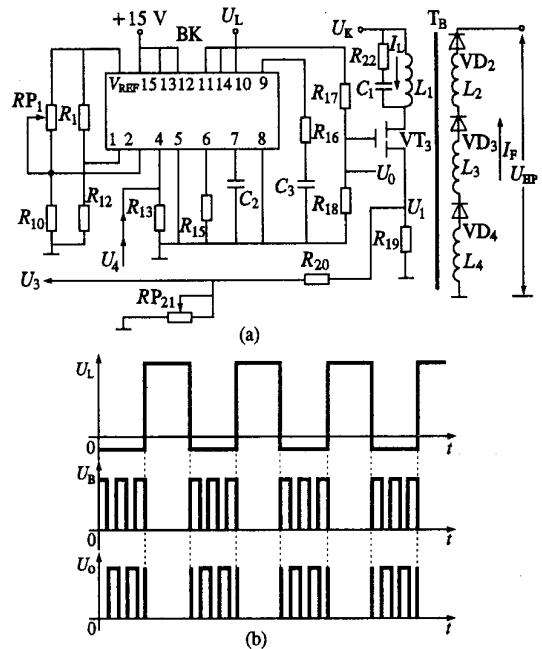


图 3 高频升压电路及输出波形

## 2.3 高频升压电路

高频升压电路由  $VT_3, T_B$ 、整流二极管  $VD_1 \sim VD_4$  等组成。  $T_B$  采用铁基非晶态高频变压器。  $C_1$  在放电过程中也能存储电能, 能使变压器反向流过电流, 将磁场能转换成电能传送给变压器次级, 这样能提高铁芯的利用率。若变压器初级绕组的供电电压  $U_K$  可从零至最大值连续调节, 则高压的输出电压  $U_{HP}$  的幅值可从 0 ~ 20 kV 之间连续调节。

## 3 开关式稳压电源

开关式稳压电源如图 4 所示。稳压电源的控制部件以 SG3524 为核心, 由  $VT_2$  完成调节。整流滤波后,  $U_1, U_2$  都是脉动直流电压, 而  $U_3$  是脉冲调宽电压。电感  $L$  和电容  $C_6$  组成 LC 滤波器, 使  $U_K$  变成较平滑的直流电压。

SG3524 的片内三角波频率  $f_{osc} = 1 / (R_{26} C_5)$ 。它的同相输入端 (引脚 2) 接片内脉冲输出脚

(引脚 3),即同相端输入的是三角波;而反相输入端(引脚 1)接输出电压  $U_K$  的取样电压  $U_s$ ,而  $U_s$  是  $U_K$  的一部分,脉宽调制信号  $U_p$  控制  $VT_2$  的通断,而  $VT_2$  又控制  $VT_1$  的工作状态。

当电源电压  $U_a$  或负载变化时,则  $U_K$  上升, $U_s$  随之上升,而  $U_s$  上升使  $U_p$  的脉宽变窄, $VT_1, VT_2$  在单位时间内总的导通时间缩短,又使  $U_K$  下降回到原来值。由于某种原因, $U_K$  下降, $U_s$  随之下落, $U_s$  又使  $U_p$  的脉宽变宽,在单位时间内  $VT_1, VT_2$  总的导通时间变长, $U_K$  又上升回到原来值。这就是开关式稳压电源的工作原理。

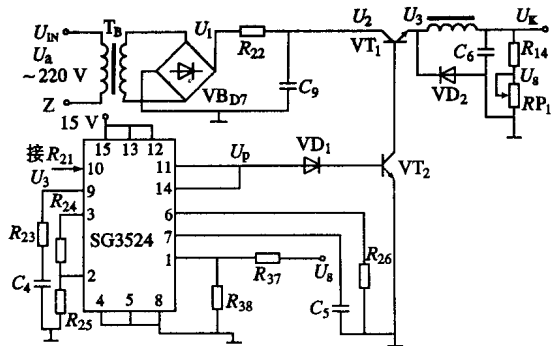


图4 可调开关稳压电源

SG3524的关断信号输入脚(引脚 10)接  $U_3$ ,  $U_3$  是  $T_B$  初级绕组电流  $I_{L1}$  的采样电压值。由于  $R_{19}$  接在流过  $I_{L1}$  的电路中, $U_3$  值与  $I_{L1}$  成正比。当流过 ERP 减振器的电流  $I_E$  上升到上限值时, $I_{L1}$  也达到上限值,此时  $U_3$  达到最大值, $U_3$  的高电平使 SG3524 停止输出信号, $U_p = 0$ ,则  $U_K$  下降,高压输出  $U_{HP}$  下降,使电流  $I_E, I_{L1}$  下降。当  $I_E, I_{L1}$  下降小于上限值后, $U_3$  接近零电压,又使开关式稳压电源恢复工作。这就是过流保护原理。

#### 4 电压、电流测量

电压、电流测量电路如图 5 所示。

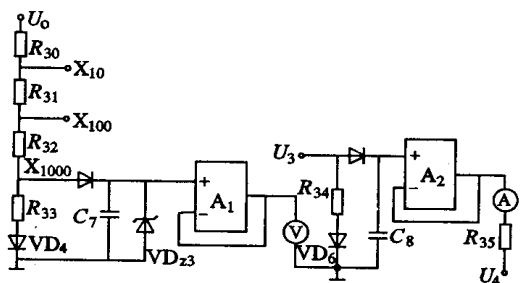


图5 电压、电流测量电路

可用直读式电压表  $V$  间接测量高频脉冲发生器输出的脉冲信号  $U_o$  的幅值。要测的电流是  $T_B$  初级绕组中的电流  $I_{L1}$ ,用间接测量法,将  $U_3$  经  $A_2$  放大后,用直读式电流表  $A$  进行测量。 $U_o$  矩形脉冲电压的有效值  $U$ 、平均值  $\bar{U}$ 、峰值  $U_m$  之间的关系为:

$$U = (t_w / T)^{1/2} U_m; \bar{U} = (t_w / T) U_m \quad (2)$$

式中  $t_w$  ——脉冲宽度

显然  $U$  和  $\bar{U}$  均为  $t_w$  的函数,只能采用测量峰值的方法。测量电路原理如图 5 所示。

电流测量原理相同。只是运放的输出接电流表再经串联电阻  $R_{35}$  和  $R_{13}$  到地,改变串联电阻阻值可改变电流表量程,采用直接读数得  $R_{34} = R_{35} + R_{13}$ 。 $R_{13}$  为 SG3524 限流保护输入端的电流采样电阻,接于 SG3524 的第 4 脚和第 5 脚之间。当 4,5 脚之间的电压大于 200 mV 时,输出开关脉宽下降到 25%  $T$ ,此时高压下降;当 4,5 脚之间电压大于 210 mV 时,SG3524 截止,无高频开关信号输出,无高压输出。低频调制信号发生器采用  $A_1$  和  $A_2$ ,所输出的高、低电平控制高频升压电路中 SG3524 的开、闭。

#### 5 性能测试与结论

已按上述方案设计制作出该电源,并经过了实际试验,表 1 示出其测量范围。

表 1 测量范围

参数	指标	参数	指标
输出脉冲电压幅值	0 ~ 20 kV	输出脉冲电流幅值	0 ~ 5 mA
频率调节范围	30 ~ 50 Hz	脉冲宽度	0 ~ 100 %
上升时间	$1 \times 10^{-5} s$	下降时间	$5 \times 10^{-5} s$

试验证明,该电源完全满足设计要求,并具有体积小、重量轻、性能稳定的特点,具有推广价值。

#### 参考文献

- [1] 王安民,谢 瑛. ERF 阻尼机床[M]. 机床与液压,2000 (5):27~52.
- [2] 梁有生. 一种脉宽调制电路[J]. 电子技术应用,1989 (1):33~35.
- [3] 李 强,周希德. 车载单相正弦脉宽调制器 IGBT 逆变器研制[J]. 电力电子技术,1997,31(1):23~25.