

# 小型水力发电机组电子电动调速器

范元品

(南部县水电局)

本文介绍一种用电子开关电路，控制一台直流电动机作为执行元件的小型电动调速器(图1)，其特点是：

1. 电路无触点。
2. 执行电动机能根据频率偏差  $\Delta f$  的方向朝正反两个方向旋转，其转速与  $|\Delta f|$  成正比。
3. 能自动抑制“振荡”现象。
4. 制动性能可靠。
5. 在机组甩负荷工况中，该调速器能先快速关闭导水门，限制机组速率上升；当机组转速接近额定值时，再慢慢动作，减小水锤压力升高值。在高水头压力管道式电站中尤为适用。

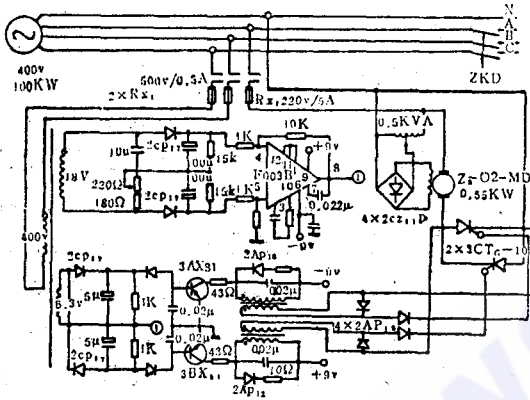


图1 八一电站电子电动调速器原理图

该装置经在南部县八一电站试验运行证明其性能基本满足设计要求。

## 一、电 原 理

### (一) 频率—电压转换环节 (测频环节)

1. 接在正弦交流电源上的RC串联电路，如果适当选择R、C参数，可使电源频率  $f=50\text{Hz}$  时，容抗  $x_c=R$  阻值，从而  $\tilde{U}_c=\tilde{U}_R$ ，并且无论电源电压  $\tilde{U}$  的值如何变化，等式  $\tilde{U}_c=\tilde{U}_R$  恒成立。如果  $f \uparrow \rightarrow x_c \downarrow \rightarrow \tilde{U}_c \downarrow$ ，则  $\tilde{U}_c < \tilde{U}_R$ ；相反，如果  $f \downarrow \rightarrow x_c \uparrow \rightarrow \tilde{U}_c \uparrow$ ，则  $\tilde{U}_c > \tilde{U}_R$ 。

### 2. 比例减法运算放大电路

图2为一集成比例减法运算放大电路，它的输入输出关系是

$$U_y = \frac{R_f}{R_{sr}} (\bar{U}_R - \bar{U}_c) \quad (1)$$

式中  $\bar{U}_c$ 、 $\bar{U}_R$  是输入两直流信号电压； $U_y$  是输出电压； $R_f$  和  $R_{sr}$  分别是反馈电阻和输

\*本试验工作的初设资料由黄正槐、杨永斌工程师主审，调试工作中曾得到四川省水经校教务处、电工教研室、实验室的支持指导。

入电阻。

式(1)的意义是：运算器的输出等于两输入信号电压的差值再放大 $\frac{R_f}{R_{sr}}$ 倍。

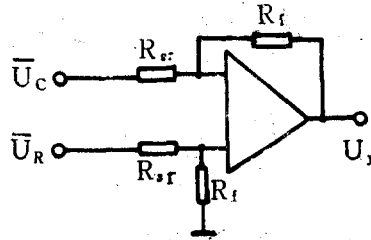


图2

3. 利用RC串联电路和集成减法运放电路组成频率—电压转换电路。

图3把前述RC串联电路压降 $\tilde{U}_R$ 、 $\tilde{U}_C$ 分别经整流滤波后加在运放电路的输入端，

根据上述的讨论和公式(1)，可以得出 $U_y$ 不但正比于频率偏差的大小、而且极性也随频率偏差的方向而改变。图2所示参数，实验测得 $\Delta f - U_y$ 的关系曲线基本上和理论计算值接近。实验时先使外施电压 $\tilde{U} = 25$ 伏， $f = f_0 = 50\text{Hz}$ 、调节电位器 $R_w$ 、使 $U_y \approx 0$ ；改变外施电压 $\tilde{U} = 18$ 伏，这时 $U_y = 0$ 。以后保持 $\tilde{U} = 18$ 伏不变，改变 $f$ 为 $f_x$ ，测出对应的 $U_{yx}$ ，在直角坐标中连接点

$(f_x, U_{yx})$  (图4)、其线性度较好。

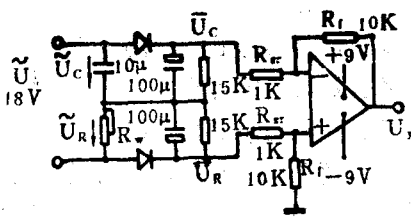


图3

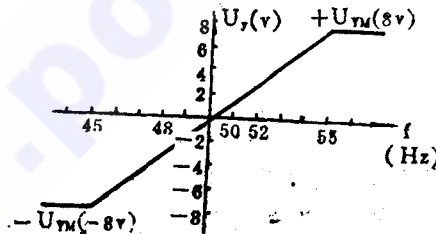


图4

(二) 主电路

图5为两只反并连接的可控硅，经过单相半波可控整流后的直流电压加在直流电动机的电枢两端。

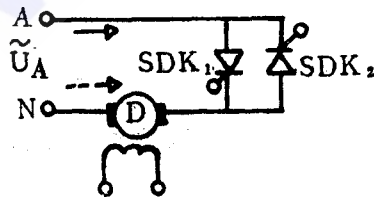


图5

在交流电压的正半周，设A为正、N为负，如果一直在正半周给可控硅 $SDK_1$ 加以触发 ( $SDK_2$ 在正半周处于反向电压下而截止)，使 $SDK_1$ 导通，交流电压的正半周加在电枢两端，电流如实线箭头所示方向，电动机朝一个方向旋转。如果改变可控硅的控制角 (即脉冲移位)，则电枢电压大小

将改变，电机的转速就得到改变。

在交流电压的负半周，N端为正，A端为负，如果一直在负半周给 $SDK_2$ 加以触发（ $SDK_1$ 在负半周处于反向电压下而截止）、 $SDK_2$ 导通，交流电压负半周加于电枢两端，电流如虚线箭头所示方向，电机将朝另一个方向旋转。同样，如果改变触发脉冲的控制角，电机转速也会得到改变。

**(三) 晶体管同步移相触发电路**

该触发电路是由移相、锯齿波产生、脉冲产生三部分组成（图6）。

1. 移相是利用三相交流电源电压 $\dot{U}_{BC}$ 与 $\dot{U}_A$ 相位差 $\frac{\pi}{2}$ 的原理，主电路接在A相相电压上，触发电路同步变压器原边接在BC线电压上，同步变压器二次侧电压 $\dot{U}_{T2}$ 和主

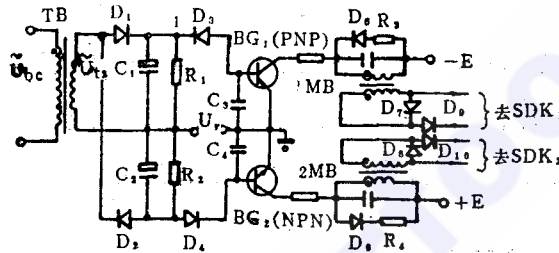


图6

电路电压 $\dot{U}_A$ 相位差 $\frac{\pi}{2}$ 。图7(a)、(b)。

2. 锯齿波产生。 $\dot{U}_{T2}$ 正半周由 $D_1$ 整流使电容器 $C_1$ 充放电，在电阻 $R_1$ 上产生正锯齿波电压降。 $\dot{U}_{T2}$ 负半周由 $D_2$ 整流使电容器 $C_2$ 充放电，在 $R_2$ 上产生负锯齿波电压降，适当选择放电回路元件参数，可使放电时间接近交流电源的半个周期。

图7(C)。

3. 脉冲产生及输出。把前述频率—电压转换电路输出电压 $U_T$ 作为控制信号电压，与锯齿波电压叠加后加在三极管的发射结，分三种情况讨论：

(1) 当 $U_T$ 为负时， $D_4$ 、 $BG_2$ 反向偏置而截止； $BG_1$ 、 $D_3$ 能否导通决定于正锯齿波电压 $U$ 与 $U_T$ 叠加后的情况，两量叠加后，图6中“1”、“0”两点之间的电压为 $U_{10} = U - U_T$ （参见图6D）。在 $\omega t = 0 \sim$

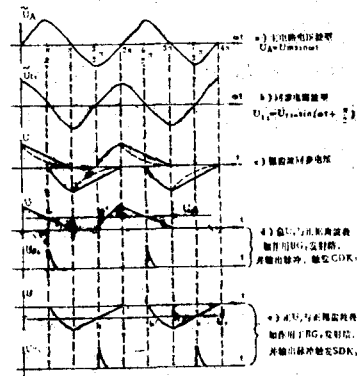


图7

$\frac{\pi}{2}$ 段，锯齿波电压 $U$ 大于 $U_T$ ， $U_{10}$ 为正， $D_3$ 阴极电位高于阳极电位而截止， $BG_1$ 亦截止；从 $\omega t = \frac{\pi}{2}$ 开始至 $\omega t = \frac{3\pi}{2}$ 段， $U_T$ 大于锯齿波电压 $U$ ， $U_{10}$ 为负， $D_3$ 、 $BG_1$ 正向偏置而导通，在相交点a对应时刻脉冲变压器1MB副边感应一个脉冲电势 $U_g$ 去触发可控硅 $SDK_1$ ，在相交点a'对应时刻1MB副边感应一个负脉冲电势，但负脉冲被二极管 $D_9$ 封锁， $D_7$ 短接。总之，每一个锯齿波的下降段与 $U_T$ 相交时，在相交点对应时刻，触发电路便送出一个脉冲去触发可控硅 $SDK_1$ 。当 $U_T$ 的极性不变，而大小改变时，交

点的位置将前后移动, 触发脉冲也将前后移动, 改变了可控硅的导通角, 因此主电路中直流电动机电枢电压也将改变, 其转速也随之改变。

(2). 当 $U_y$ 为正时, 同理,  $D_3$ 、 $BG_1$ 始终截止, 正 $U_y$ 与负锯齿波电压 $U$ 叠加后控制着 $D_4$ 、 $BG_2$ 的导通与截止, 在负锯齿波上升段与 $U_y$ 的交点 $b$ 对应时刻,  $2MB$ 输出脉冲去触发 $SDK_2$  (图7e)。

(3). 当 $U_y=0$ 时,  $D_3$ 、 $BG_1$ 、 $D_4$ 、 $BG_2$ 均截止, 触发电路不产生脉冲,  $SDK_1$ 、 $SDK_2$ 均截止, 执行电动机停止旋转。

总结上述各部分电路原理, 得出下列关系:

$$f_x > f_c \text{ 时 } \begin{cases} \Delta f \uparrow \rightarrow +U_y \uparrow \rightarrow U_{g2} \text{ 前移} \rightarrow SDK_2 \text{ 导通角} \uparrow \rightarrow \text{电机正转加速;} \\ \Delta f \downarrow \rightarrow +U_y \downarrow \rightarrow U_{g2} \text{ 后移} \rightarrow SDK_2 \text{ 导通角} \downarrow \rightarrow \text{电机正转减速;} \end{cases}$$

$$f_x < f_c \text{ 时 } \begin{cases} \Delta f \uparrow \rightarrow -U_y \uparrow \rightarrow U_{g1} \text{ 前移} \rightarrow SDK_1 \text{ 导通角} \uparrow \rightarrow \text{电机反转加速;} \\ \Delta f \downarrow \rightarrow -U_y \downarrow \rightarrow U_{g1} \text{ 后移} \rightarrow SDK_1 \text{ 导通角} \downarrow \rightarrow \text{电机反转减速;} \end{cases}$$

$f_x = f_c$ 时,  $\Delta f = 0$ ,  $BG_1$ 、 $BG_2$ 截止,  $SDK_1$ 、 $SDK_2$ 截止, 电机停转。

#### (四) 制动原理

实际上, 当 $\Delta f = \pm 1 \text{ Hz}$ 时,  $U_y = \pm 1.5$ 伏, 虽然这时 $U_y \neq 0$ , 但很小, 它大部分降落在运算器的输出电阻和二极管的电阻上, 因此三极管基极电流甚微, 而处于截止状态。这样 $\Delta f = \pm 1 \text{ Hz}$ 的范围是一个“自然死区”。又由于 $|\Delta f| \rightarrow 0$ 时, 电机减速旋转, 转子储存的惯性能量不大, 在自然死区内这个惯性能量耗尽, 电机被迫停转。

在自然死区内, 电机虽然停转, 但由于水轮机导水机构的惯性作用将继续维持“开”或“关”的动作, 企图“过调”(这种情况只有在甩负荷工况才会出现), 但当过调范围越出“自然死区”时, 电机将以“反调”动作将频率维持在“自然死区”内。反调时电机电枢电压很小, 因而“反调”时不存在惯性带来的上述问题。试验运行表明, 如果 $|\Delta f|$ 不大, 都不会出现过调现象。即使在甩负荷工况中也只是一次反调动作就能稳定下来, 基本上不发生“过调振荡”现象。

## 二、主要元件的参数选择

### (一) 频率—电压转换环节

1. 交流侧电位器、电容器要选用精密度较高的元件;
2. 滤波电容器和滤波负载电阻应满足 $RC \geq (5 \sim 8) T_c$  ( $T_c$ 为额定周期);
3. 运算器的比例放大倍数 $\frac{R_f}{R_{vr}}$ 要与触发电路参数配合, 当 $|\Delta f| = 1 \text{ Hz}$ 时, 满足

$$\frac{R_f}{R_{vr}} \cdot (\bar{U}_R - \bar{U}_c) = 1.5 \text{ 伏。} \quad (2)$$

### (二) 触发电路

1. 同步电压的幅值 $U_{T2m}$ 稍大于 $U_{ym}$ , 不然,  $U_{ym}$ 便与锯齿波无交点;
2.  $RC$ 放电时间常数应满足公式

$$U_{TzMe}^{-\frac{0.01}{Kc}} = 1.5 \text{伏} \quad (3)$$

同时满足(2)、(3)两式才能使自然死区大致在  $\Delta f = \pm 1 \text{ Hz}$  范围内。

### (三) 直流电动机选用

1. 按所需调速功选用功率, 按关闭时间选用转速, 同时注意与机械传动装置配合。当转速不能满足调速要求时, 可调整电动机励磁电流使之满足。

2. 直流伺服电机、力矩电机性能最适合要求, 但价格较贵, 我们在试验中采用 Zz 系列普通型。

频率—电压转换环节的交流电源宜用线电压, 排除三次谐波的影响。为了排除电压变化的影响, 最好再加一节交流稳压。另外, 在对应极限开度位置加装一只行程开关, 其接点用来接通信号元件。

应当指出, 本装置在没有备用电源或直流电源时, 只能维持频率为额定值, 不能关机。当执行电机功率较大时, 此电路不太适宜。

## 《BASIC 算法语言及其在 PC—1500 计算机上的应用》

### 征 订 通 知

为了普及与推广电子计算技术, 迎接技术革新高潮, 根据四川省水力发电工程学会要求, 本刊特约请刘宗林同志将原“PC—1500 计算机学习班”讲议进行了重新修订, 增加了部份算例与应用方, 作为本刊“普及与推广电子计算技术专号”出版, 以满足广大科技工作者和单位的急需。

#### 一、主要内容:

- 1、PC—1500 计算机性能、操作与维修;
- 2、PC—1500 机配置的 BASIC 算法语言(包括: 基本 BASIC、扩展 BASIC)及其在 PC—1500 机上的应用; 各种键盘、指令, 各种扩展功能)绘图、打印、外存录音机等)的使用; 另附有例题、习题、指令表及错误信息表等。

#### 二、收 费:

每册收工本费 2 元整。平刷免收包装及邮费, 但邮件遗失本组不负责查询及赔偿; 若需寄挂号, 则按订费总金额 10% 加收包装与挂刷邮费。

#### 三、订购手续:

单位集体和个人, 均可订购。正楷详细填写订单(加盖公章)。汇款地点:

1. 银行信汇, 开户银行: 市人行青羊官分理处。帐号: 892051
2. 邮汇地点: 成都市青羊官水电部成勘院《四川水力发电》编辑部。

由于印数有限, 我组将按收款先后顺序供应, 直至售完为止。

《四川水力发电》编辑部

一九八四年五月