

编者按：本文介绍一种小容量发电机自动励磁调节器，由山东电力设计院与莱阳发电厂共同设计试制，已经三年多实际运行的考验。该调节器可在很大范围内代替现在应用得比较广泛的KFD型电磁式调节器。

JZLT—1A型晶体管发电机自动励磁调节器

山东电力设计院 吴天行

JZLT—1A型晶体管发电机自动励磁调节器用于自动调整发电机励磁电流以保持发电机或母线电压稳定。当发电机电压和电流变化时，调节器改变发电机的励磁机的励磁电流，使发电机（或母线）电压保持不变。当几台发电机并列运行时，调节器可以实现有差调节，从而使发电机之间的无功功率的分配保持稳定。

本装置与目前发电厂普遍使用的KFD型电磁式调节器比较具有反应速度快，输出容量大，体积小，重量轻，造价低，结构简单，制造方便，调整容易等一系列优点。

调节器的反应速度快，时滞仅为一个周波，即0.02秒。KFD型调节器的时滞约为0.2秒。反应速度提高了10倍。由于反应速度快，因此发电机（或母线）的电压能保持十分稳定，运行经验证明，即使发电机突然甩负荷1/3，发电机电压仍维持恒定不变。

调节器的输出容量大。本设计中，调节器的输出电压有250伏和500伏两种，输出电流为10安，输出功率分别为2.5瓩和5瓩，可以适用于5万瓩以下的各种类型的发电机。对于更大容量的发电机也只要换用额定电流较大的可控硅元件，就能满足需要。KFD—3型调节器的输出功率只有0.675瓩。

调节器不反应发电机的频率变化。它的频率特性是平直的，因此发电机频率变化时，调节器的输出特性不变。而KFD—3型电磁式调节器的特性受频率影响很大。

调节器的体积为KFD—3型调节器的十分之一，重量为十五分之一，造价约为七分之一。

本装置的外形尺寸为262(宽)×185(高)×252(长)毫米。重量为8.5公斤。

装置采用插件式。分成测量，稳压器(1)，稳压器(2)，放大器，A相触发器，B、C相触发器，可控硅整流器等七个插件。由于采用了插件式结构，因而给试验和检修提供了方便的条件。

主要技术数据

电压测量输入电压：三相173伏

电流测量输入电流：三相5安

电压整定调整范围：±15%

调差整定调整范围：±5%

最大输出电压：直流250伏（或500伏）

最大输出电流：直流10安

重量：8.5公斤

一、调节器的原理

本装置的主要组成部分可用下面的原理方框图来表示，

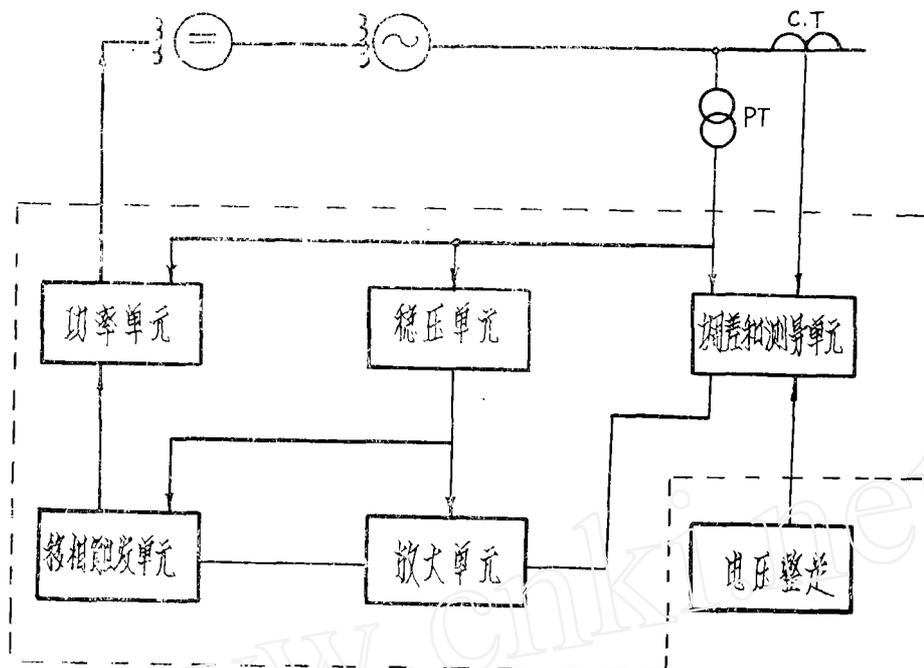


图1 原理方框图

调节器由调差和测量单元，稳压单元，放大单元，移相触发单元，功率单元和电压整定六个部分组成。电压整定电位器安装在发电机控制屏台上。其余五个部分装在一个箱内。

发电机的电压互感器的二次电压进入调节器后，经测量变压器降压，再经整流后加在测量桥上。当发电机电压上升时，测量桥输出下降；反之输出增加。发电机的电流互感器的二次电流进入调节器后，经电抗变压器转变为电压，再经整流后通过一电位器，将一部分电压作为输出信号。电流测量的输出信号的大小与发电机的负载电流的大小成正比。电压测量和电流测量的输出信号同时进入直流运算放大器，进行放大。直流运算放大器的输入和输出信号之间成正比，但极性相反，即输入信号增加时，输出信号下降；输入信号下降时，输出信号增加。放大器的输出电压作为A相移相触发器的控制电压。触发器是一个单稳态触发器，每一周波由同步脉冲起动一次。触发器起动后翻转到半稳状态，经过一暂态过程后，又翻回到原来的稳定状态。在这瞬间输出一个脉冲，使A相可控硅触发而导通。暂态过程所需时间由放大器的输出电压来控制。放大器的输出电压上升时，暂态过程所需时间增加，因此A相触发器的输出脉冲的相位向后移动，使A相可控硅的导通角向后移动，从而可控硅的导通时间缩短，而使整流器的输出电压下降。A相触发器发出触发A相可控硅的脉冲的同时，发出一个脉冲使B相触发器起动。B相触发器起动后经6.7毫秒（相角 120° ）的延时后，发出触发B相可控硅的脉冲，使B相可控硅导通，在这同时还发出一脉冲，使C相触发器起动。C相触发器起动后经6.7毫秒（ 120° ）的延时后，发出触发C相可控硅的脉冲。调节器的功率单元为可控硅整流器。它由三个可控硅元件和三个硅元件组成三相半控桥式整流器。整流器

的输出电压随可控硅的导通角改变而改变。导通角向后移动时，整流器的输出电压就下降，反之上升。

整流器的负载就是励磁机的励磁线圈。当发电机电压下降时，整流器输出电压增加，励磁机的励磁电流相应增加，使发电机电压恢复正常。反之亦然。当发电机电流增加时，整流器输出电压增加，使励磁机的励磁电流增加，以补偿发电机的电枢反应。

下面分别说明各部分的工作原理

1. 电压测量

由发电机电压互感器来的三相电压（173伏）经调差电位器后送至测量变压器降压，其次级接成 Δ 形，经三相桥式整流器整流后，再经电压整定电位器加到测量桥上。测量桥的输出电压与输入电压的关系如图2所示，图中 U_W 为稳压管的稳定电压值。当输入电压为二倍 U_W 时，测量桥的输出电压为零，当输入电压偏离该值时，测量桥即有正或负的输出电压。

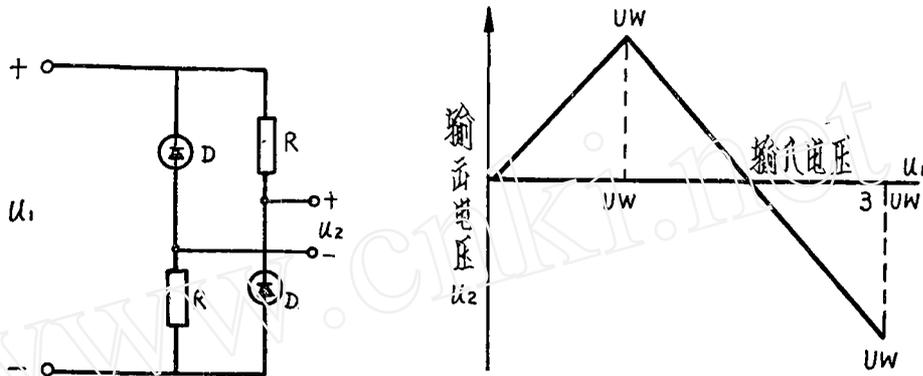


图2 电压测量桥的特性曲线

电压整定电位器是用来整定发电机电压的。增加电位器的电阻值，则电位器上的电压降增加，测量变压器的原级和次级电压也相应增加，从而使发电机电压增加。反之就使发电机电压降低。

2. 电流测量

由发电机电流互感器来的三相电流经电抗变压器转变为电压值，经整流后接到一电位器上。从电位器取出一部分电压作为电流测量部件的输出。电位器可用来调整电流补偿的大小。

3. 调差

由发电机电流互感器来的电流进入电抗变压器后，变压器第一次级的输出接在一组电位器上。电位器与发电机电压互感器次级串接。极性如原理图所示，得到的调差率为负调差率。如要获得正调差率，可将极性反接。调差部分向量图见图3。发电机电流 \dot{I}_A 与发电机相电压 \dot{U}_A 的相位角差为 ϕ 。 $\Delta\dot{U}_A$ 为电位器上压降，相位超前 $\dot{I}_A 90^\circ$ 。因此得

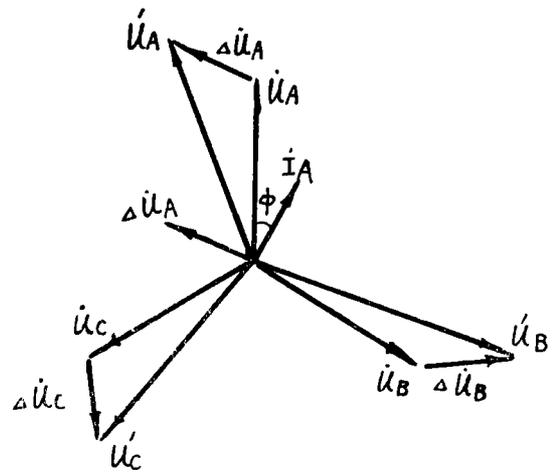


图3 调差部分向量图

合成电压

$$\dot{U}_A' = \dot{U}_A + \Delta \dot{U}_A$$

向量 \dot{U}_A' 的绝对值为

$$U_A' = U_A + U_{\Delta} \sin\phi = U_A + KI_{\Delta} \sin\phi$$

式中K为电抗变压器的变比。由上式可知，电压测量变压器感受到的电压随无功电流增加而增加。因而获得了负的调差率。

转动电位器，即可改变调差系数的大小。

4. 放大单元

放大单元为一个直流运算放大器，用来放大电压和电流测量信号。它具有加法器的作用。对电压信号的放大倍数为10。对电流信号的放大倍数为5。它的输出和输入之间的关系可用下式表示

$$U_o = -K_1 \Delta U_1 - K_2 \Delta U_2$$

式中： U_o - 放大器的输出电压

ΔU_1 - 电压测量桥输出信号电压

ΔU_2 - 电流测量输出信号电压

K_1 - 对电压信号放大倍数（10）

K_2 - 对电流信号放大倍数（5）

直流运算放大器采用三级放大（见原理图）。第一级为具有恒流发生器的差值放大级。第二级和第三级为共发射极放大级。这种类型的放大器，具有很高的温度稳定性。

5. 移相触发单元将放大器输出的控制信号电压转变为能改变相位角度的触发脉冲输出，用来控制可控硅整流器的导通角。

A相触发器的电路如图4所示。触发器为一个单稳态触发器。接在发电机A相电压互感器的电源变压器的一个次级线圈供给同步信号电压 U_T 。 U_T 为正弦波形，经二极管 D_1 和 D_2 削波后成为矩形波。再经电容器 C_4 微分后形成脉冲。正脉冲加在二极管 D_3 上。负脉冲通过

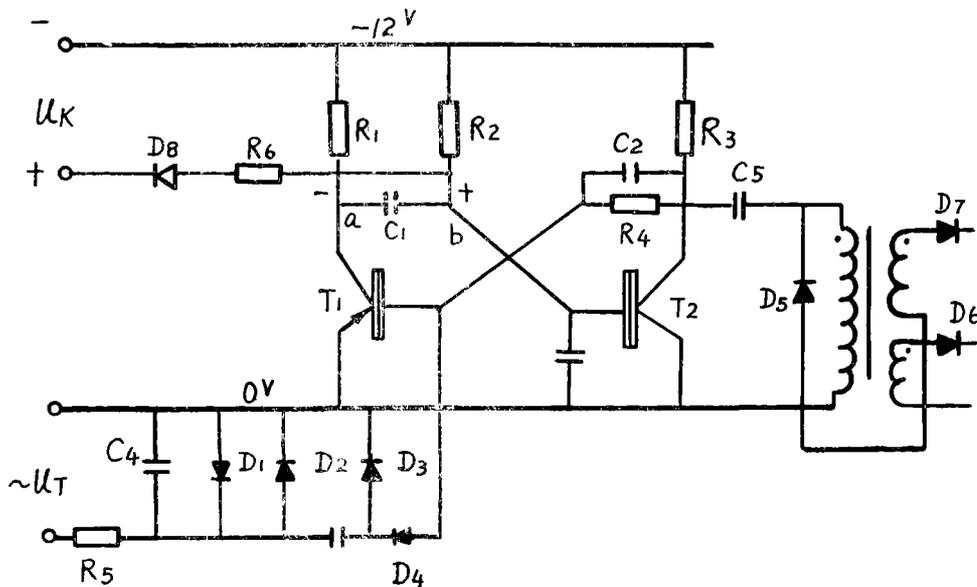


图4 A相触发器电路图

三极管 T_1 的射—基结和二极管 D_4 。它使 T_1 管导通，触发器翻转， T_2 管截止。在触发器翻转以前电容器 C_1 的正极 b 点接零电位，负极 a 点为 -12 伏电位。翻转后，a 点接零电位，b 点电位上升至 +12 伏。这时电容器 C_1 开始通过 R_2 和 R_6 两条回路放电。通过 R_6 的放电回路中接有放大器的控制电压 U_K 。当电容器 C_1 放电使 b 点电位下降至零伏时，三极管 T_2 开始导通， T_1 管截止，触发器翻转。这时电容器 C_1 通过脉冲变压器初级线圈放电，并在次级线圈感应出一个脉冲电压使 A 相可控硅导通。

电容器 C_1 从开始放电到 b 点电位为零伏所需时间

$$t = CR1_n \left(\frac{24 - \frac{R}{R_6} U_K}{12 - \frac{R}{R_6} U_K} \right) \text{ 秒}$$

式中：C—电容器 C_1 的电容量（法）

$$R = \frac{R_2 R_6}{R_2 + R_6} \text{ (欧)}$$

由上式可见，时间 t 随控制电压 U_K 而变。

A 相触发器发出触发 A 相可控硅的脉冲的同时，发出一个脉冲使 B 相触发器起动。B 相触发器起动后经 6.7 毫秒（相角 120° ）固定的延时后，发出触发 B 相可控硅的脉冲，使 B 相可控硅导通，同时还发出一个脉冲，使 C 相触发器起动。C 相触发器起动后经 6.7 毫秒（ 120° ）的延时后，发出触发 C 相可控硅的脉冲，使 C 相可控硅导通。

6. 功率单元

三相半控桥式整流器的输出平均直流电压可由下式表示：

$$U_d = 1.35U \times \frac{1 + \cos\alpha}{2}$$

式中：U—电源线电压

α —可控硅的导通角

当电源电压 U 为电压互感器二次额定电压 182 伏，导通角 α 为 0° 时，整流器的输出最大

7. 稳压单元

二个 12 伏的稳压器供给放大器和触发器的直流工作电源。稳压器为典型的串联调节式。输入电压为交流 25 伏，输出电压为直流 12 伏。稳压器的电路见图 5。

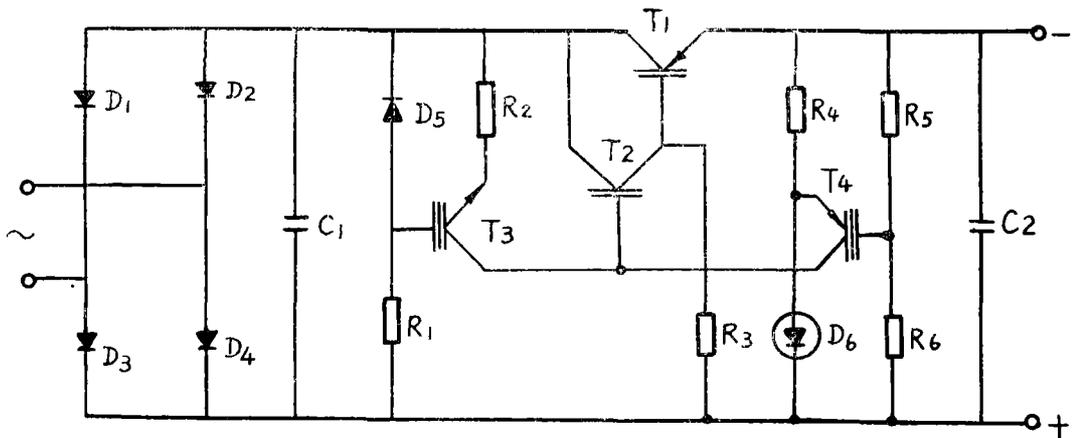


图 5 稳压器电路图

二极管 D_1 至 D_4 构成桥式整流器，把交流变成直流。经电容 C_1 后降低了纹波因数。由达林顿复合连接的三极管 T_1 和 T_2 构成调节元件。三极管 T_3 ，二极管 D_5 和电阻 R_1 ， R_2 构成一个恒流发生器。三极管 T_4 ，稳压管 D_6 和电阻 R_4 ， R_5 ， R_6 构成测量元件。

假如直流输出电压有微小的增加，则测量管 T_4 的射-基电压就要相应增加， T_4 管的集流增加。因为 T_3 管的集流是恒定的，因此 T_2 管的基流和 T_1 管的基流都要降低。从而使 T_1 管和 T_2 管上的压降增加，使直流输出电压恢复正常。

二、调节器的输出特性

1. 试验条件：负载电阻 $R_L = 70\Omega$ ，电流输入等于零。

2. 试验结果：

电压整定电阻 $R = 220$ 欧

输入电压 U_1 (伏)	165	170	175	180	182	184	186	188	190	192	194	196	198	200	202	204	206	208	210
输出电压 U_2 (伏)	208	210	214	214	207	192	184	180	174	168	163	160	156	154	144	110	80	52	0

电压整定电阻 $R = 110$ 欧

输入电压 U_1 (伏)	145	150	155	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	180	182		
输出电压 U_2 (伏)	178	188	188	192	178	166	164	158	154	150	148	136	108	56	44	36	0		

电压整定电阻 $R = 0$ 欧

输入电压 U_1 (伏)	125	130	134	135	136	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160		
输出电压 U_2 (伏)	152	160	161	160	156	142	136	131	126	123	120	104	48	38	30	8	0		

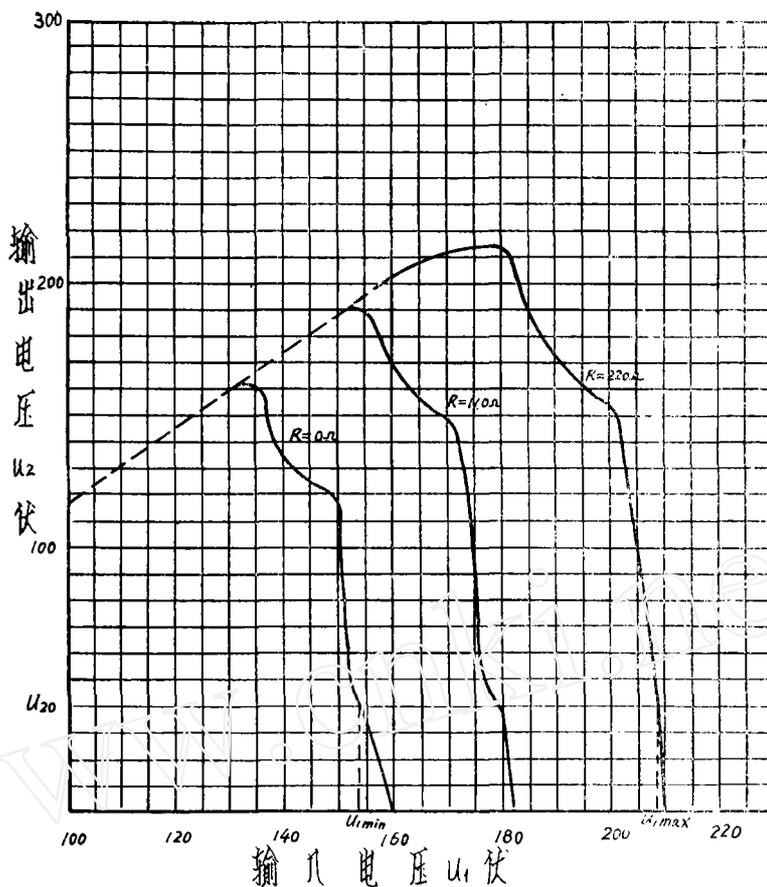


图6 调节器输出特性曲线

- 图中 R: 电压整定电位器的电阻值
 U_{20} : 发电机空载时励磁机的励磁线圈电压
 U_{1min} : 空载时发电机电压最小整定值
 U_{1max} : 空载时发电机电压最大整定值

