

自动控制系统

(四 ~ 六章)

上海财经学院

1979.6.

目 录

第四章	自动调速系统原理及静特性分析	
第一节	自动调速系统的主要技术指标	1 - 3
第二节	自动调速系统的基本概念	3 - 7
第三节	转速负反馈自动调速系统的静特性分析 ...	7 - 20
第四节	电压负反馈、电流正反馈的自动调速系统的静特性	20 - 29
第五节	电流负反馈在自动调速系统中的应用	29 - 33
第六节	主回路电流信号的测量	33 - 41
第七节	电压微分负反馈在自动调速系统中的应用 ...	41 - 46
第八节	有差自动调速系统举例分析	46 - 55
第九节	带有PID调节器的自动调速系统	55 - 67
第十节	自动调速系统设计中的几个问题	67 - 71
第五章	自动调速系统的动态分析	
§5-1	自动调速系统的品质指标	72 - 78
§5-2	可控硅调速系统的动态分析	78 - 86
§5-3	最佳控制及其动态校正	86 - 151
§5-4	多环路自动调速系统调节器类型的选择和参数计算	151 - 166
第六章	可控硅可逆调速系统	
第一节	一个简单的可控硅可逆调速系统	167 - 172
第二节	可控硅有源逆变电路和可逆调速电路	172 - 211
第三节	用逻辑控制方法实现可逆调速系统的无环流控制	212 - 240

第四章 自动调速系统原理及静特性分析

第一节 自动调速系统的主要技术指标

调速系统,也就是根据生产机械的工艺,要求调整电动机的转速,可是调整后的速度往往受负载变动、电网电压波动等因素的干扰,不能总是维持所要求的数值,为了保证一定的生产能力和加工的质量,要求调整后的速度尽可能不变或少变,要求系统有较高的抗干扰能力,要求维持一定的速度,这样,调速实际上包含着两种意义:一方面要改变速度,另一方面又要求以足够的精度维持一定的速度。“变速”与“恒速”就构成了调速系统的主要矛盾,所以,一个生产机械如果采用调速系统的话,它对这个调速系统就有两个主要技术指标。

1. 调速范围

它是系统在额定负载时最高转速与最低转速之比,可用下式表示:

$$D = \frac{n_{ed \text{ 最高}}}{n_{ed \text{ 最低}}}$$

式中 $n_{ed \text{ 最高}}$ —系统在额定负载时的最高转速,即电机铭牌上的额定转速。

$n_{ed \text{ 最低}}$ —系统在额定负载时的最低转速。

调速范围是根据生产机械工艺要求提出的,如印染厂、造纸机要求的调速范围大约为3,金属切削机床主轴拖动随着其任务的不同,

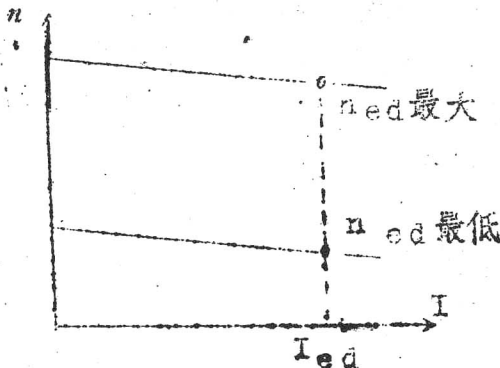


图 4—1

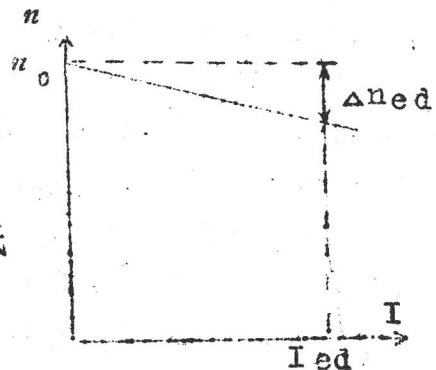


图 4—2

调速范围可为 $2 \sim 40$ 。而进给系统调速范围可为 $5 \sim 200$ 。

2. 静差率

如果某台电动机以一定速度运转，对这电动机速度干扰因素很多，其中最重要的是电动机负载的变化，这种“干扰”是经常碰到的，例如我们将一部车床的主轴调整到低速，有时发现它可以用手捏停，也就是说，低速时这生产机械吃不起负载，负载稍大，主轴就会停下来，这样，在低速进行切削加工，加大负载的情况下就不能满足生产要求了，即一增加负载就有较大的转速降落。静差率是衡量系统这种特性的一个指标，它是由空载到额定负载时的转速降与空载转速的比值

$$S = \frac{\Delta n_{ed}}{n_0}$$

式中： Δn_{ed} ——额定负载时的转速降
 n_0 ——空载转速

静差率也是根据生产机械的工艺要求提出的，如印染机和粗加工金属切削机床， S 规定为 $0.3 \sim 0.5$ ，造纸机的分部传动， S 要求小于 0.1 ，精加工金属切削加工机床 S 为 $0.05 \sim 0.1$ 。这个指标对产品质量有很大影响，如果静差率太大，随负载增加，电动机转速有很大下降，就会降低生产机械的生产能力，而且亦会影响产品质量，如造纸机分部传动，各单元机就不能很好同步，而将纸拉断，金属切削机床就会影响加工工件表面光洁度。

上面两个技术指标，实际上都和生产机械在低速时允许的转速降 Δn_{ed} 有关，如一部机器要求调速系统的静差率为 0.2 ，低速调到 500 转/分，则允许的转速降 Δn_{ed} 可达 100 转/分，如果调速范围增大，低速调到 100 转/分，静差率还是 0.2 的话，则允许的转速降只能是 20 转/分。如果再将静差率提高要求，从 0.2 改为 0.1 则允许的转速降为 10 转/分。有了调速范围 D 和静差率 S ，我们就能求出生产机械低速时允许的转速降 Δn_{ed} ，如图 4—3。

$$\Delta n_{ed} = S_{低} n_{0低}$$

式中： $S_{低}$ ——低速时的静差率
 $n_{0低}$ ——低速时的空载转速。

$$\begin{aligned} n_{ed低} &= n_{0低} - \Delta n_{ed} \\ &= n_{0低} - S_{低} n_{0低} \\ &= n_{0低} (1 - S_{低}) \end{aligned}$$

$$n_{0低} = \frac{n_{ed低}}{1 - S_{低}} = \frac{n_{ed}}{D(1 - S_{低})}$$

式中: $n_{ed低}$ 额定负载时最低转速
 n_{ed} 额定负载时的最高转速, 电动机铭牌数据确定。

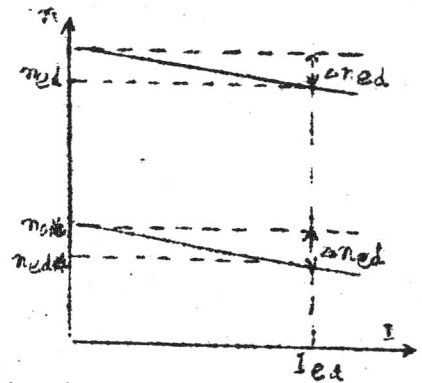


图 4-3

$$\text{则 } \Delta n_{ed} = S_{低} n_{0低} = \frac{S_{低} n_{ed}}{D(1 - S_{低})}$$

$S_{低}$ 和 D 根据生产机械的实际要求确定, n_{ed} 即电动机的额定转速, 因而从上式, 可以得到允许的转速降。显然, 我们采用的调速系统, 当负载由空载增加到额定负载时的转速降必须小于这个允许的转速降 Δn_{ed} 。

第二节 自动调速系统的基本概念

用可控硅整流电路输出的直流电压向电动机供电, 就可组成一个最简单的调速系统, 如图 4-4

所示, 改变触发器输入端的直流控制电压 U_K , 就可改变触发器输出脉冲的相位, 即可改变可控硅整流电路直流输出电压的大小, 而对电动机进行调速。对于这样一个简单的系统, 我们应分析它, 当负载增加时, 转速降是否小于生产机械允许转速降。

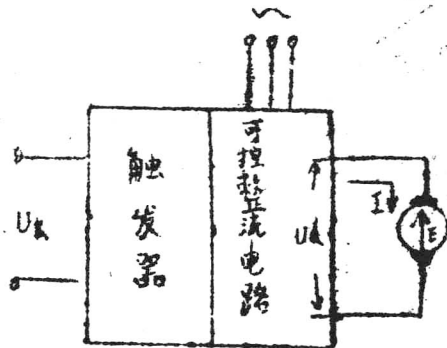


图 4-4

当负载增加时，这个系统的转速降落是怎样引起的呢？要研究这个问题，也就是要研究转速和负载转矩的关系，即研究机械特性。

在 KZSF—1 装置的实践中，我们曾经将转速负反馈除去，象图 4—4 那样，做过机械特性的试验，特性如图 4—5 所示。我们看到

1. 电动机随着负载电流的增加，转速将下降。这是因为，当可控硅整流电压 U_d 加到电动机电枢两端，产生电流 I 使电动机运转时，这电流在整流电源的等值电阻 R_i 和电动机的电枢电阻 R_D 上产生压降 $I(R_i + R_D)$ ，这压降造成电动机反电势 E 的降落。 $E = U_d - I(R_i + R_D)$ 。∴ 电动机转速也有降落，在数值上等于

$$\frac{I(R_i + R_D)}{C_e}$$

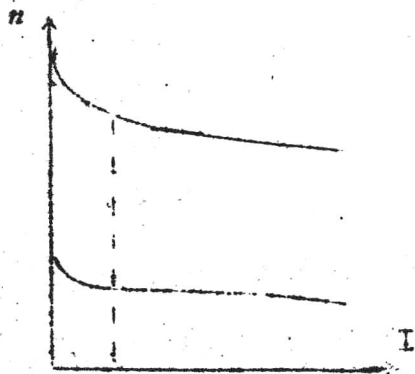


图 4—5

2. 从图 4—5 还可看出，当负载电流小时，转速降落特别大，也就是说这一段的特性很软。这是因为电动机回路的电流不连续所致，相当于整流电源等值电阻 R_i 增大了，这点在第二章已详细分析过，我们只要计算出转速降 $\frac{I(R_i + R_D)}{C_e}$ ，就能知道它是否满足生产机械的要求。

【例】如一台试验的电机数据为额定功率 $P_{ed} = 3$ 瓩，额定电压 $U_{ed} = 220$ 伏，额定电流 $I_{ed} = 17.2$ 安，额定转速 $n_{ed} = 1500$ 转/分。首先算出这台电机的电枢电阻 R_D 。

假设消耗在电枢电阻的铜损 $I_{ed}^2 R_D$ 占总消耗 $(U_{ed} I_{ed} - P_{ed})$ 的一半。

$$I_{ed}^2 R_D = \frac{1}{2}(U_{ed} I_{ed} - P_{ed})$$

则

$$R_D = \frac{1}{2}(U_{ed} I_{ed} - P_{ed}) \frac{1}{I_{ed}^2}$$

或为
$$R_D = 0.5 \left(1 - \frac{P_{ed}}{U_{ed} I_{ed}} \right) \frac{U_{ed}}{I_{ed}} = 0.5(1-\eta) \frac{U_{ed}}{I_{ed}}$$

(η 是电动机效率)

所以
$$R_D = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{3000}{220 \times 17.2} \right) \frac{220}{17.2} = 1.33 \text{ 欧}$$

假设电流连续时, 整流电源等效电阻 R_i 也 = 1.33 欧。

我们还可算出
$$C_e = \frac{U_{ed} - I_{ed} R_D}{n_{ed}} = \frac{220 - 17.2 \times 1.33}{1500} = 0.132$$

则转速降
$$\Delta n_{ed} = \frac{I_{ed}(R_i + R_D)}{C_e} = \frac{17.2(1.33 + 1.33)}{0.132}$$

= 346 转/分

如果计算出的转速降 Δn_{ed} 小于生产机械允许的转速降, 那么我们就可以采用这系统而不必采用闭环系统, 在比较时要注意, 负载电流小时, 转速降落的显著增加。如果有的生产机械的负载变化不大, 例如有很多印染机, 空车运行和带布运行时负荷差得不多, 那么以上现象不必考虑, 如果生产机械空载和满载负荷变化很大, 例如粗加工金属切削机床的主轴拖动, 在切削和不切削时, 负荷变化很大, 丝光机空车和带布运行, 负荷相差很大, 以上现象就得考虑。

如果计算出的转速降大于生产机械允许的转速降, 那么, 我们常常采用反馈控制的方法来减小转速降。

大家知道 KZSF-1 调速装置, 是采用转速负反馈的方法来减小这种转速降的, 图 4-6 是表示系统中各个环节之间关系的方框图。在主电动机的轴上装上一个测速发电机, 它的输出电压与主电动机的转速成正比, 完全反映转速的变化, 这个电压在图 4-6 上用 U_F 来表示, 把测速发电机的输出电压 U_F 与一个表示基准值的主令电压 U_{ZL} 去进行比较, 所谓比较就是两个电压相减而产生差值 $\Delta U = U_{ZL} - U_F$, 也就是将两个电压极性和反地串联起来。再用这个差值电压 ΔU 去控制电动机的转速。这个系统的工作过程是这样的, 如果由于负载增加, 电动机转速 n 比原来的数值 n_0 降低了, 那么 $\Delta U = U_{ZL} - U_F$ 就增大 (这时, 主令电压 U_{ZL} 不变), ΔU 的增大, 将使可控硅更加开

整流电压增加，从而使电动机转速回升。如果由于负载减小，电动

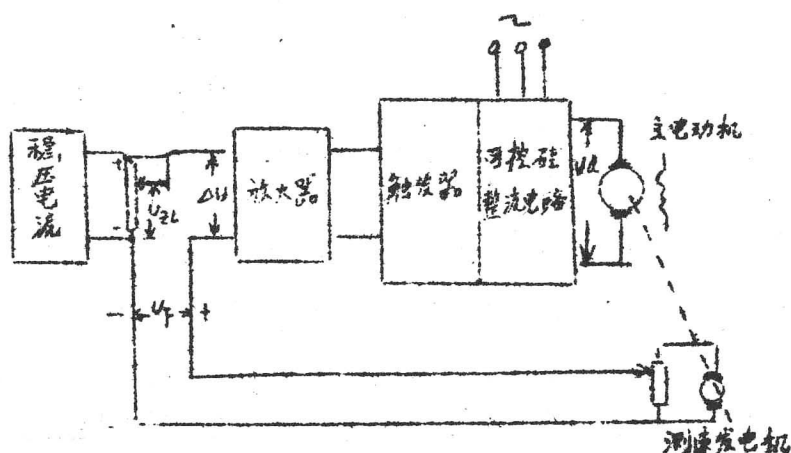


图 4 - 6

机转速增加了，那么， $\Delta U = U_{ZL} - U_F$ 变小，整流电压降低，使电动机转速回降。由此可见，利用反馈控制可以使系统有自动维持电动机转速在某一数值的能力。这里，电动机转速是被调量，测速发电机是测量变换元件，测速发电机反馈回去的电压 U_F 称为反馈电压或反馈信号。

如果图 4 - 6 上的放大器就是一个单纯的直流放大器的话（也就是其输出和其输入成正比），采用转速负反馈控制系统能否完全补偿由于负载增加所引起的转速降落呢？我们说不能。假设电动机转速已完全回升到了原来的转速 n_0 ，那么测速发电机的电压 U_F 也要回升到原来的数值，因为电压差值 $\Delta U = U_{ZL} - U_F$ ，电压差值便又下降到原来的数值，即 ΔU 没有增加。 ΔU 不增加整流电压也不能相应地增加来补偿电枢主回路压降。可见，引入转速负反馈只能减少转速降，使转速尽可能维持恒定，而不能完全回复到原来的数值（即有偏差）这是维持被调量近于恒值不变，但是又有一些偏差的调节系统，通常称为恒值自动调节系统。它是一个有差（偏差）系统，基本特点之一是必须具有被调量的负反馈，用主令与反馈量之差（偏差）来进行控制，力图阻止被调量发生变化，使之近于维持不变。

为了提高恒值自动调节系统的精度，即尽可能减少转速降，维持转速近于不变，即 n 接近于 n_0 ，这时主令电压 U_{ZL} 与 U_F 也接近于相

等。差值 ΔU 很小。为要使 ΔU 较小, 而可控硅整流电压还能产生一个较大的增量来补偿主回路负载电流产生的压降所引起的转速降, 也就是要放大器的输入增量很小很小, 而要求放大器输出的增量很大, 即放大倍数要大。

使系统产生转速变化的原因, 我们通常把它称为扰动作用, 如负载的变化, 电网电压的波动, 电动机激磁的改变, 只要引起被调量——电动机转速变化, 就会被作为测量元件的测速发电机测出, 转速负反馈调速系统自动地投入工作, 产生作用来克服它。但是以下两点是没办法克服的: 一是测量元件的误差, 如测速机激磁变化, U_F 就要变, 通过系统的作用, 反而使电动机转速离开了原来所保持的数值。故测速机激磁应使其工作在磁路饱和状态或者用稳压电源供电或选用永磁式的测速发电机。还有一个是主令电压, 它是相比较的基准电压, 如果因为电网电压或温度而变化, 就会使电动机转速也变化, 这样就达不到恒速的目的, 所以主令电压必须用稳压电源。

在反馈控制系统中, 反映被调量的反馈信号, 送回到放大器的输入与主令电压相比较, 再来控制被调量, 因而这系统习惯上也称为闭环系统, 相反, 没有反馈信号, 则称为开环系统。

在闭环调速系统中, 测速发电机电压可作为反馈信号, 电动机端电压、电动机主回路电流也可作为反馈信号, 下面我们将分别讨论。

第三节 转速负反馈自动调速系统的静特性分析

对系统速度扰动的主要来源是负载的变化, 在“电机原理及其应用”中已经讲过, 表示电动机转速与负载转矩的关系叫做机械特性 $n = f(M)$, 在自动调节系统中, 当负载变化时引起的调节作用, 得到了一根新的特性, 为与机械特性区别起见, 这条 $n = f(M)$ 叫做调速系统的静特性(图4-7)它表示系统的调节质量。硬度愈高, 即静差率愈小, 维持恒速的质量愈好。

本节通过分析转速负反馈自动调速系统的静特性, 说明自动调速系统静特性的分析方法, 并明确转速负反馈自动调速系统内各环节的数量关系, 从而可以在满足生产机械的静差率, 调速范围和允许转速

降的要求下选择系统内环节的有关参数。

分析静特性通常用两个方法，一个叫“分析法”，一个叫“结构图”法。

一、分析法：

在自动调节系统中，通常可以分成三个基本部份：如图4—8所示。

一是“主令、反馈回路”，这里就是主令、反馈和放大器的输入回路。

二是“控制部份”，这里就是放大器、触发器和可控硅整流电路。

三是“控制对象”，这里就是直流电动机以及由电动机拖动的生产机械。

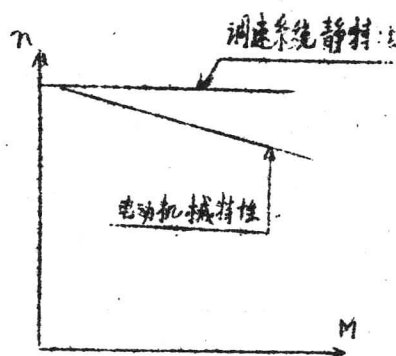


图 4—7

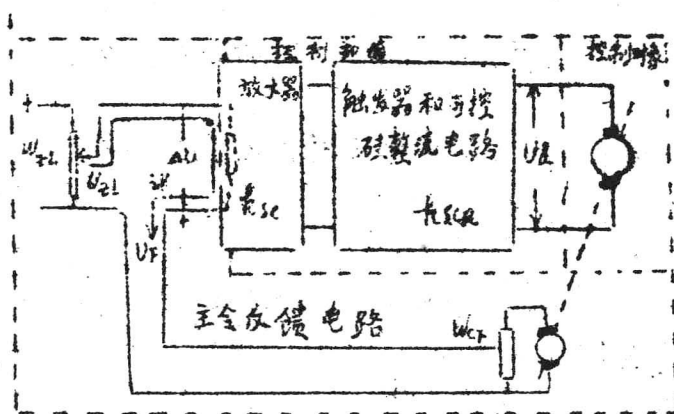


图 4—8

现在就来研究一下这三个部份的作用及数量上的关系。

1. 主令、反馈电路

在主令、反馈电路中,主令电压 U_{ZL} 与反馈电压 U_F 相减,其差值在放大器的输入回路内产生电流 i_k (图 4-8),这电流在放大器的输入电阻上的电压为 ΔU , 它的等值电路如图 4-9 (b) 所示, R_{ZL} 是主令电位器 W_{ZL} 的等值电阻, $R_{ZL} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, 是用“等效电源

原理”的方法求出的。 $R_F = \frac{(R_3 + r_{CF}) R_4}{r_{CF} + R_3 + R_4}$ 是反馈电位器 W_{CF} 和测速发电机电阻 r_{CF} 的等值电阻,也是用“等效电源原理”的方法求出的, R_λ 是放大器的输入电阻,因此:

$$i_k = \frac{U_{ZL} - U_F}{R_{ZL} + R_F + R_\lambda}$$

$$\Delta U = i_k R_\lambda = \frac{U_{ZL} - U_F}{R_{ZL} + R_F + R_\lambda} R_\lambda$$

$$= \frac{R_\lambda}{R_{ZL} + R_F + R_\lambda} (U_{ZL} - U_F)$$

$$= k_\lambda (U_{ZL} - U_F)$$

$$\text{令 } k_\lambda = \frac{R_\lambda}{R_{ZL} + R_F + R_\lambda}$$

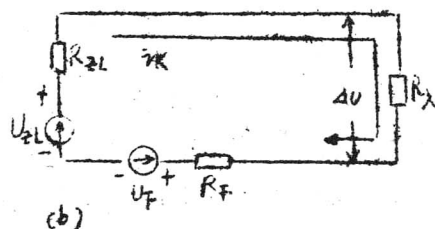
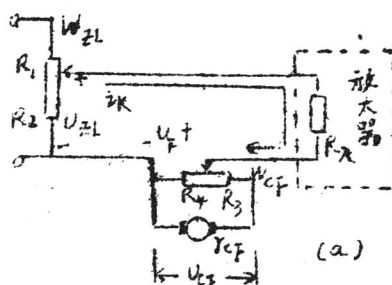


图 4-9

在这里 U_F 是测速发电机发出的电压 U_{CF} 的分压而产生的。 U_{CF} 和电动机的转速 n 成正比, $U_{CF} = a_n n$ 。 a_n 是测速发电机的电压和电

动机转速的变换系数。 U_{CF} 经过分压,就是反馈电压 U_F ,分压比是

$r = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$. 因此 $U_F = r U_{CF} = r a_n n$, 如 $r a_n$ 用 α 表示, 于是得到反馈电压: $U_F = \alpha n$

α 叫做反馈系数

2. 控制部份:

ΔU 经过放大器的放大, 其放大倍数设为 k_{sc} , 产生输出电压 U_{sc} . U_{sc} 加至触发器, 触发器和可控硅整流电路, 可看为一个整体, 作功率放大器, 其放大倍数设为 k_{scr} ; 产生输出电压 U_d (整流器空载时的输出电压), 控制电动机的运转。所以

放大器: $U_{sc} = k_{sc} \Delta U$

触发器—整流器 $U_d = k_{scr} U_{sc}$

从整个控制部份看 $U_d = k_{sc} k_{scr} \Delta U$

3. 控制对象:

由控制部份产生的控制作用是用来控制直流电动机的。它们的关系是整流电压 U_d (注意这是空载电压) 减去主回路电阻压降等于电动机反电势 E , 前面已讲过, 压降由两部份组成, 一部份是电动机的电枢电阻压降 $I R_D$, 另一部份是整流电源的等效内阻压降 $I R_i$, 这样就得到:

$$E = U_d - I (R_i + R_D)$$

由于 $n = \frac{E}{C_e}$ 所以得到被调整量 n

$$n = \frac{E}{C_e} = \frac{1}{C_e} [U_d - I (R_i + R_D)]$$

系统中这三部份是相互作用的, 我们的目的就是要计算主令电压及负载电流 I 对被调量转速 n 的关系。电动机由 U_d 供电, 而 U_d 是由 U_{ZL} 和 U_F 相减并放大后产生的, 所以

$$\begin{aligned} n &= \frac{1}{C_e} [U_d - I (R_i + R_D)] \\ &= \frac{1}{C_e} [k_{sc} k_{scr} \Delta U - I (R_i + R_D)] \end{aligned}$$

$$\text{将 } \Delta U = k_{\lambda}(U_{ZL} - U_F) \text{ 代入 } = \frac{1}{C_e} [k_{sc} k_{sr} k_{\lambda} (U_{ZL} - U_F) - I(R_i + R_D)]$$

$$\text{令 } k_0 = k_{sc} k_{sr} k_{\lambda} = \frac{1}{C_e} [k_0 (U_{ZL} - U_F) - I(R_i + R_D)]$$

$$\text{将 } U_F = an \text{ 代入 } = \frac{1}{C_e} k_0 U_{ZL} - \frac{1}{C_e} k_0 an - \frac{1}{C_e} I(R_i + R_D)$$

把 $\frac{1}{C_e} k_0 an$ 移到等式左边 得到:

$$n + \frac{1}{C_e} k_0 an = \frac{1}{C_e} k_0 U_{ZL} - \frac{1}{C_e} I(R_i + R_D)$$

$$(1 + \frac{k_0 a}{C_e}) n = \frac{k_0}{C_e} U_{ZL} - \frac{I(R_i + R_D)}{C_e}$$

再用 $(1 + \frac{k_0 a}{C_e})$ 除各项, 最后得到 n 与 U_{ZL} 及 I 的关系式

$$n = \frac{k_0 U_{ZL}}{C_e (1 + \frac{k_0 a}{C_e})} - \frac{1}{1 + \frac{k_0 a}{C_e}} \frac{I(R_i + R_D)}{C_e}$$

$$\text{令 } K = \frac{k_0 a}{C_e} \quad \text{则得}$$

$$n = \frac{k_0 U_{ZL}}{C_e (1 + K)} - \frac{I(R_i + R_D)}{(1 + K) C_e} \quad (4-1)$$

在这个关系中, U_{ZL} 是主令电压, I 是负载电流, 也就是负载扰动, n 是调速量, 其他都是系统中各元件或环节的参数, 例如 k_0 是主令、反馈回路、放大器、触发器、可控硅的放大倍数, a 是反馈系数, C_e 是电动机的电动势系数, $K = \frac{k_0 a}{C_e}$ 实际上是表示系统总放大倍数, $(R_i + R_D)$ 是电阻。从这个关系式可以计算 U_{ZL} 及 I 对被调量 n 的关系。下面就从这个关系式分析一下系统的特性。

(1) 公式 (4-1) 中的 $\frac{I(R_i + R_D)}{C_e}$ 的物理意义是开环系统中由

压降 $I(R_i + R_D)$ 所引起的转速降, 而在自动调速系统中, 由电压降

引起的速降 $\Delta n = \frac{1}{1+K} \frac{I(R_s + R_D)}{C_e}$ (公式(4-1)的第二项)。

可见, 它比开环系统的速降小了 $(1+K)$ 倍, 例如在 KZSF-1 装置试验中, 开环速降是 346 转/分, 如果系统 $K=100$, 那么反馈控制

系统的速降 Δn 只有 $\frac{1}{1+100} \times 346 = 3.43$ 转/分。转速降大大减小。

这就是所谓的自动调节系统有抗扰动的能力, 因为负载变化可认为是主要扰动量, 因此引

起的转速降可减少为

$\frac{1}{1+K}$ 倍, 其他扰动如

电网电压的波动, 电

机电阻发热后变化,

电动机激磁电流变化,

电动机电刷电压波动

等, 只要扰动量被负

反馈包围, 如图 4-1

10, 均可使其扰动

量的影响减小。

(2) 公式(4-1)

中的第一项

图 4-10

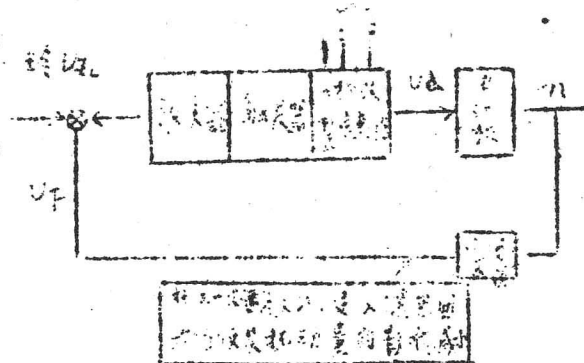
$$n_0 = \frac{k_0 U_{ZL}}{C_e (1+K)}$$

空载时的转速。表示被调量 n 总是随着主令信号 U_{ZL} 的升降而升降的, 也就是被调量受主令信号的控制。加了反馈后, 使空载转速也降低了

$\frac{1}{1+K}$ 倍, 这没有什么关系, 为要达到原来的空载转速, 只要加大主

令电压就可以了, 其物理意义是主令电压总是与反馈电压大致平衡的, 因而有了反馈电压必须相应地提高 U_{ZL} 。

由于提高了 U_{ZL} , 电动机的起动过程加快了, 因为刚起动时, 电动机由于惯性尚未转动, $n=0$, 其反馈电压 $U_F = \alpha n$ 也等于零, 因



此起动时, 加在放大器输入的信号 $\Delta U = K_{\lambda}(U_{ZL} - U_F) = K_{\lambda} U_{ZL}$, 只有 $K_{\lambda} U_{ZL}$ 很大, 因而放大器的输出信号达到最大值, 相应使 U_d 也达到最大值, 电流 I 很大, 强迫电动机加速起动, 这对需要快速起动的控制系统来讲是有利的。

但是起动电流太大对电机及可控硅都不利, 以后我们将介绍克服的方法。

为了使直流电压在起动时不超出电动机的额定电压, 就有必要对放大器的输出电压进行限幅, 限幅值对应于电动机的额定电压(认为触发器、整流器是无惯性的)。

如图 4-11 所示。

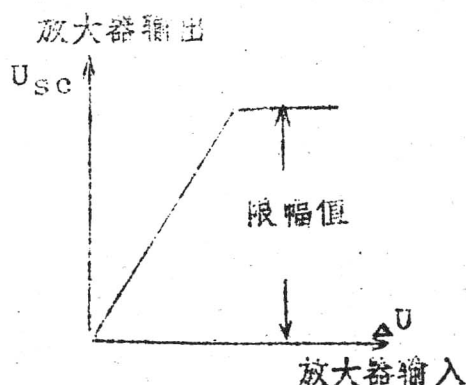


图 4-11

(3) 加大系统放大倍数 K ($K = \frac{1}{C_e} k_{\lambda} k_{sc} k_{sc} R_{\alpha}$) 可以减小转速降, 常用的方法有下列几种:

1. 加大 α 。

α 是反馈系数, $\therefore \alpha = r \alpha_n$

α_n 是测速发电机的变换系数, 为了加大 α , 我们应该选择 α_n 大的测速发电机即额定电压较高的测速发电机。

r 是反馈电位器 W_{CF} 的分压比, (图 4-9 (a)), 为了加大 α , 我们需将分压比 r 取得大些, 但又要能够调节, r 一般取为 $\frac{2}{3}$ 左右。

r 加大了, 从测速机反馈回去的电压就增加了, 这就相应的要求提高主令电源电压, 因为正常工作时主令电压 U_{ZL} 是与测速反馈电压 U_F 相近的, 主令电源电压约为几伏到十几伏左右, 因此过大的增大反馈电压也并不一定合理。

2. 加大 k_{λ} 。

$$\therefore k_{\lambda} = \frac{R_{\lambda}}{R_{ZL} + R_F + R_{\lambda}}$$

$R_{ZL} + R_F + R_{\lambda}$ 是放大器输入回路的总电阻, 为了加大 k_{λ} 要求 R_{ZL} 和 R_F 尽可能的小些, 也就是希望主令电压电位器 W_{ZL} , 反馈电位器

W_{CF} 的电阻和测速发电机的电枢电阻尽量小些。其物理意义是：如果这些电阻太大，就会使 $(U_{ZL} - U_F)$ 所产生时放大器输入电流 i_i 减小，从而影响了放大效果，或者说，如果电阻太大，它与放大器输入电阻形成一个分压关系，就会使真正加在放大器输入的电压 ΔU 减弱。

但，它们的阻值也不能太小，这是因为电阻太小，就会增加主令电源的消耗和增加测速发电机的功率。所以一般选 $(R_{ZL} + R_F)$ 为几 $K\Omega$ 到十几 $K\Omega$ 。

3. 加大 k_{sc}

k_{sc} 是放大器的电压放大倍数，即要选择增益较高的放大器。但增益较高又容易引起放大器另点漂移。

根据以上所述，我们在选择转速负反馈自动调速系统各环节的参数时，要根据具体情况，比较各种方案的得失，进行选择。

首先，我们根据生产机械所要求的调速范围和静差率求出允许的转速降 Δn 允许，然后计算一下开环系统的实际转速降 Δn 开环

$$= \frac{I(R_L + R_D)}{C} \quad \text{当不能满足要求时，则选用闭环系统，从 } 1 + K$$

$$= \frac{\Delta n_{\text{开环}}}{\Delta n_{\text{允许}}}, \text{ 中求到系统的总放大倍数 } K = \frac{\Delta n_{\text{开环}}}{\Delta n_{\text{允许}}} - 1. \text{ 如果我们已}$$

经选定可控硅主电路和触发器，那么 K_{SCR} 就已经确定了。($K_{SCR} = \frac{U_d}{U_K}$)

然后，我们要考虑一下究竟是通过增加 $\alpha \cdot k_{sc}$ 还是通过增大 k_{sc} 来满足放大倍数的要求呢？这就要看具体情况了，如果要求系统放大倍数 K 不很高，那可以通过选择 α_n 较大的测速机，和增加反馈系数或者选择功率较大的电位器来实现（这时主令电压当然也要取高些）而无需再添置一个放大器，如果放大倍数要求很高，把测速机，电位器的功率过分增大就不上算了。这时，可选用一个放大器，如果将放大器的放大倍数提高，就可以使测速器、电位器的功率要求大大降低。

二、用“结构图”法分析系统的静特性

前面用“分析法”分析系统的静特性时，首先写入输入、输出量的关系及各回路电压（或电流）的平衡方程式，然后再推出系统的静特性方程式，这是研究静特性的最基本方法。

系统各环节的关系还可以用符号及图来表示,这是另一种分析和计算自动调节系统的方法,叫做“结构图”法。它不仅能直观地表示系统及其各组成部份的内在联系,并且在分析和综合时都很方便,结构图有静态的和动态的两种,其基本原则和运算方法都是一样的,这里是求静特性,只讲静态结构图。

首先介绍几个符号。我们将两个电压量相减用图(4-12(a))的

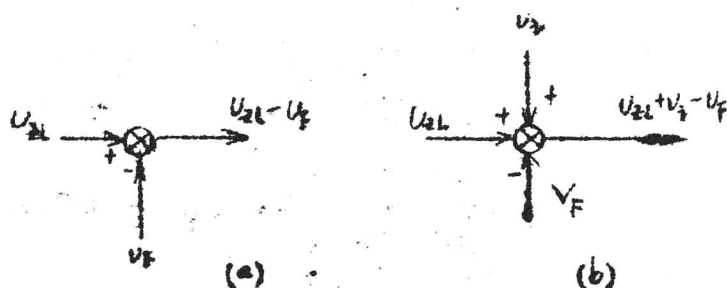


图 4-12

符号来表示,箭头向里表示输入量,箭头向外表示输出量,输出量等于输入量的合成。例如输出量($U_{ZL} - U_F$)是两个输入量的合成。输入量必须是“+”或是“-”,它表示 U_{ZL} 减去 U_F ,这个符号也适用于更多的输入量,例如图4-12(b)。

其次用方块及箭头表示各环节输入量及输出量的关系如图4-13所示,箭头方向表示控制作用的方向。箭头向里表示输入量,箭头向外表示输出量,输入量乘以方块中的系数就等于输出量,例如输入量($U_{ZL} - U_F$)乘以放大器输入回路的系数 k_n 就等于输出量 ΔU , ΔU 乘以放大器的放大倍数 k_{sc} 就等于放大器的输出量 U_{sc} , U_{sc} 乘以 k_{scr} 就是可控硅的输出电压 U_d 。又例如对电动机而言,输入量反电动势乘以 $\frac{1}{C_e}$ 就等于输出量 n ,对测速发电机而言,输入量转速 n 乘以反馈系数 α 就等于反馈环节的输出量 U_F 。