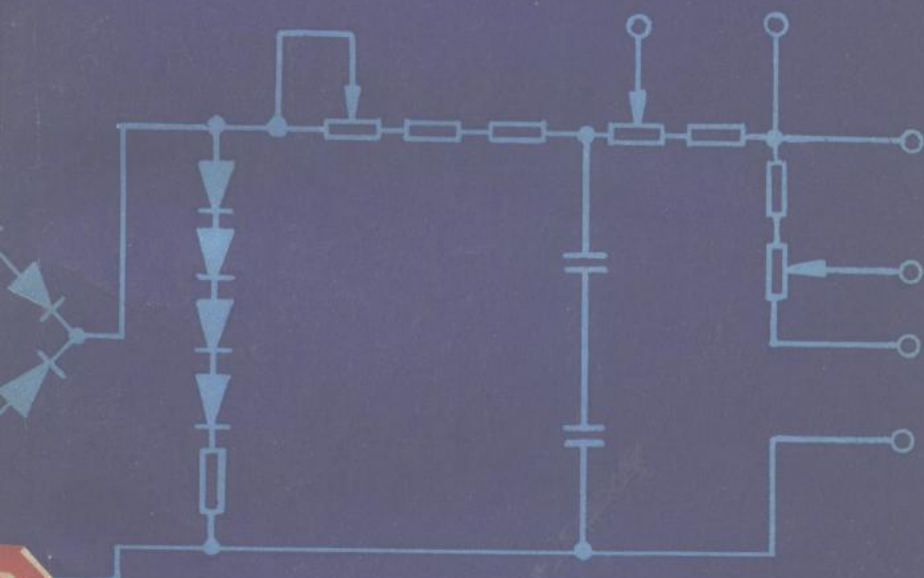


电量变送器的原理和调试



电力工业出版社

电量变送器的原理和调试

北京电力科学研究所

上海浦江电表厂编著

华东电业管理局电力试验研究所

电力工业出版社

内 容 提 要

本书主要叙述电量变送器的的工作原理及其调试维修方法,其种类包括交流电流和电压、直流电流和电压、有功和无功功率、直流毫伏、直流阻抗及频率变送器;同时也介绍了功率总加器、遥测发送装置和遥测接收装置的工作原理及其调试维修方法。

为便于读者参考,在附录 I 中介绍了变换器式仪表的工作原理,在附录 II、III 中列出了上海浦江电表厂生产的 FS 系列电量变送器的元件参数、对外端子等有关数据及图表。

本书可供电力工业和其他工业部门电测专业的工人及技术人员阅读。

电量变送器的原理和调试

北 京 电 力 科 学 研 究 所

上 海 浦 江 电 表 厂 编 著

华东电业管理局电力试验研究所

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经销

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.75印张 172千字 1插图

1980年11月第一版 1980年11月北京第一次印刷

印数 00001—10200册 定价 0.67 元

书号 15036·4145

前 言

电量变送器是一种新型的电量测量装置。近年来在工业生产部门，尤其是电力工业部门得到了日益广泛的应用。实践证明，要使该类装置能可靠地投入运行，使用者必须很好地掌握它们的工作原理及其调试维修方法。为此，我们编写了这本书。

在编写过程中，我们曾到有关生产厂及华北、华东、西南地区电力网有关单位进行了调查访问，承蒙各单位大力支持和热情帮助，提供了不少宝贵意见及工作经验，我们在此表示衷心的感谢。

本书由北京电力科学研究所、上海浦江电表厂、华东电业管理局电力试验研究所共同编写。其中绪论、第一、五章及附录I由北京电力科学研究所钱慰曾同志执笔编写；第二、六章由华东电业管理局电力试验研究所李令飞同志执笔编写；其余各部分均由上海浦江电表厂邵友康同志执笔编写。全书由钱慰曾同志统稿、定稿，并经彭时雄同志审稿。

由于编写者的实践经验及理论水平所限，书中难免存在缺点和错误，热烈希望广大读者批评指正。

编 著 者

1980年5月

目 录

前 言

绪 论	1
第一章 电量变送器中的交流放大电路及稳压电源	4
第二章 交流电流、电压变送器	22
第三章 直流毫伏变送器	32
第四章 直流阻抗变送器	61
第五章 直流电流、电压变送器	73
第六章 频率变送器	86
第七章 三相有功、无功功率变送器	98
第八章 功率总加器	152
第九章 遥测发送装置	170
第十章 遥测接收装置	189
附录 I 变换器式仪表	204
附录 II FS系列电量变送器的元件明细表和绕组数据	220
附录 III FS系列电量变送器的对外端子图	242

绪 论

一、概述

电量变送器是一种将输入的被测电量转换成以直流电量输出的装置。这种直流电量的输出值一般均做成通用的（如 $0\sim 5V$ ； $0\sim 1mA$ ），以便与远动、巡回检测、电子计算机等设备配套使用。目前已生产的电量变送器有交流电流、交流电压、直流电流、直流电压、直流毫伏、交流有功功率、交流无功功率和频率等；为了满足配套要求，还生产了功率总加器、遥测发送和接收装置。这类变送器均采用电子线路，具有反应速度快、机械结构简单等特点。变送器输出端一般可直接通过电缆与表计相连接，以实现就地测量。当进行远方测量或控制时，则需要将变送器的输出信号输入到远动发送装置，经远动通道输送至终端。当变送器与电子计算机（或控制机）配套使用时，尚需经过“模拟量-数字量”转换装置，将变送器的输出信号转换成为计算机所能接收的数字量。因此，要求电量变送器的输出电压（或电流），应在很大范围内不随负载阻抗而变化，也就是说要求电量变送器的输出量具有接近于恒压（或恒流）的特性，使其输出量仅反应输入量的大小而与负载阻抗无关。为了使变送器具有一定的通用性及精确性，必须要求输入量与输出量之间保持线性关系。

二、对电量变送器的一般技术要求

电量变送器虽然具有各种不同品种，但是作为测量装置

来讲，它们的技术要求仍有一定的共同性，分别叙述如下：

(1) 基本测量误差：变送器实质上是一个电量变换装置，它总是存在着一定的变换误差。这个变换误差基本上决定了该装置的测量准确度。根据目前的实际使用情况，要求变送器的测量误差一般不大于 $\pm 0.5\%$ （这里的测量误差是以输入量满度值的百分数表示的引用误差。至于频率变送器、遥测接收装置、遥测发送装置的误差规定及计算则与此有所不同，详见以下有关章节）。

(2) 输入量与输出量之间的线性要求：在零到额定值范围内，输入量与输出量之间应符合正比例关系，其偏差不应大于输入量满度值的 $\pm 0.5\%$ 。

(3) 额定输出电压及电流值：目前生产的电量变送器，其额定输出电压、电流值统一规定为：输出直流电压5V，输出直流电流1mA。

(4) 绝缘强度：变送器的外壳与其内部电路之间应有良好的绝缘，应能满足一般低压电器设备的使用要求。一般规定在相对湿度不超过80%和在室温的条件下，其内部电路与外壳之间的绝缘，应能耐受频率为50Hz、有效值为1kV的实际正弦交流电压、历时一分钟的耐压试验。具有两个独立电路的设备，则其电路之间的耐压试验电压值一般规定为600V。

(5) 电量变送器的使用环境温度及其温度影响：变送器应能在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 环境温度下连续使用，其额定温度为 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。当环境温度自 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 改变到上述规定的工作温度范围内任一温度时，每变化 20°C ，其附加误差不应超过其基本测量误差。

(6) 防外界磁场影响的性能：变送器应有良好的防外

界磁场干扰的性能。当外界交流磁场（与被测电量同频率）或直流磁场强度为 400 A/m （5奥斯特时），且在最不利方向和相位的情况下，其输出值的允许附加误差不超过 $\pm 1\%$ 。

（7）应具有耐短时过载的能力：变送器一般用来作为长期接入运行的测量设备，很可能在其输入端出现短时超过额定值的输入电量，因此要求变送器具有耐受短时过载的能力。根据被测电量的不同类别，其允许过载的倍数也不同。一般在两倍到十几倍范围内。

第一章 电量变送器中的交流 放大电路及稳压电源

各种电量变送器虽然被测电量并不相同，但它们主要都是由电量变换电路、调制及解调电路、交流放大电路、稳压电源所构成。而在所有电量变送器中，其放大电路及稳压电源基本上是相同的，为了方便起见，将这两部分的电路构成及基本工作原理集中在这一章中加以叙述。

第一节 交流放大电路

在电量变送器中的交流放大电路，由电压放大级及功率放大级两部分所组成。为了获得较高的放大倍数及稳定性，电压放大级是由带有负反馈的放大电路所构成，它的输出用来推动功率放大级。功率放大级则由推挽放大电路所构成。

一、具有负反馈的放大电路

在电量变送器中，交流放大电路工作性能的好坏，直接影响到该装置的测量精度及稳定性。为了使放大电路工作稳定，并改善放大电路其他性能（如减小非线性失真、降低噪声等），在各级放大电路中均采用负反馈电路。其方框图如图1-1所示。

在电量变送器的放大电路中，针对各级电路不同的性能

要求，采用了多种负反馈电路形式，现分述如下：

1. 电压串联负反馈电路

电压串联负反馈的典型电路如图 1-2 所示。它实际上是一个共集电极电路，图中的 R_e

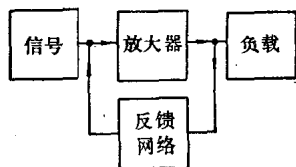


图 1-1 负反馈放大器的方框图

为发射极电阻，交流输入信号

所引起的 I_e 变化，将使 R_e 上产生一个交变的电压降，该电压降作为输出电压 u_{sc} 而引出。同时这个电压又是反馈电压 u_f ，它与输入电压 u_{sr} 反极性相连，因此实际输入到晶体管基极-发射极之间的交流电压为 $u_{be} = u_{sr} - u_f$ ，所以说这种电路是按电压串联负反馈方式进行工作的。由图 1-2 显然可见，该电路的输出电压 $u_{sc} = u_{sr} - u_{be}$ 。根据放大器电压放大倍数的定义，该电路的放大倍数 $K = \frac{u_{sc}}{u_{sr}}$ ，亦即 $K = \frac{u_{sr} - u_{be}}{u_{sr}}$ 。在一般情况下， u_{be} 较之 u_{sr} 甚小，因此该电路的电压放大倍数 K 总是小于 1 而接近 1 的。且 u_{sr} 与 u_{sc} 的相位相同，因而可得出 $u_{sc} \approx u_{sr}$ 的关系式，也就是说其输出电压的大小是紧紧跟着输入电压变化而变化的，因此该放大器亦称射极跟随器。

这种电路的主要特点有下列几个方面：

（1）电压放大倍数接近于 1，且小于 1。但作为放大器来讲，由于 I_e 为 I_b 的 $(1 + \beta)$ 倍，因此它仍有一定的电流放大及功率放大作用。

（2）具有输入电阻高、输出电阻低的特点：该特点可以通过对电路输入电阻、输出电阻的简化公式的推导来加以阐明。在忽略了 R_b 对输入电路所起的作用的条件下，同

时考虑到该电路只反映交流信号，可将图1-2简化成图1-3。

由图1-3可得输入电路中输入电压、电流的关系式：

$$u_{sr} = i_b r_{be} + i_e R_e \quad (1-1)$$

式中 r_{be} ——晶体管基极-射极间的输入电阻。

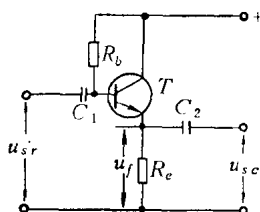


图 1-2 电压串联负反馈放大电路

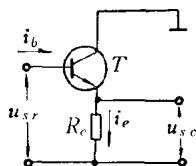


图 1-3 电压负反馈放大电路的交流等效电路

已知
$$i_e = (1 + \beta) i_b \quad (1-2)$$

$$r_{sr} = \frac{u_{sr}}{i_{sr}} \quad (1-3)$$

$$i_{sr} = i_b$$

将式 (1-1)、式 (1-2) 代入式 (1-3)，则可得：

$$r_{sr} = r_{be} + (1 + \beta) R_e \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可知，该电路的输入电阻为晶体管本身的输入电阻 r_{be} 与 $(1 + \beta)$ 倍的 R_e 之和，一般 $\beta \gg 1$ ， $R_e \gg r_{be}$ 。由此可见该电路具有甚高的输入电阻。

为了求取输出电阻，可在该电路的输出端给上一个数值等于 u_{sc} 的电压，并在输入电路中接入一等效于输入信号源内阻的 R_i ，且使输入信号电压为零，如仍忽略 R_b 的分流作用则可将图1-3等效为图1-4(a)所示。为了计算方便起见，进一步画出等效电路如图1-4(b)所示。根据该图可得出下列关系式：

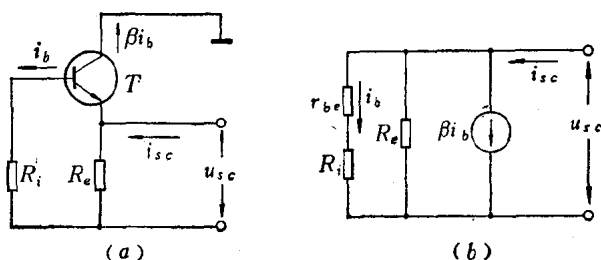


图 1-4 求取输出电阻时的等效电路

$$u_{sc} = (R_i + r_{be})i_b \quad (1-5)$$

$$i_b = \frac{R_e}{R_i + r_{be} + R_e} (i_{sc} - \beta i_b) \quad (1-6)$$

将式 (1-6) 整理后可得:

$$i_{sc} = i_b \frac{R_i + r_{be} + (1 + \beta)R_e}{R_e} \quad (1-7)$$

由式 (1-5) 和式 (1-7) 可求得输出电阻为

$$\begin{aligned} r_{sc} &= \frac{u_{sc}}{i_{sc}} = \frac{(R_i + r_{be})R_e}{R_i + r_{be} + (1 + \beta)R_e} \\ &= \frac{\frac{R_i + r_{be}}{1 + \beta} R_e}{\frac{R_i + r_{be}}{1 + \beta} + R_e} \end{aligned} \quad (1-8)$$

在实际电路中一般 $R_e \gg \frac{R_i + r_{be}}{1 + \beta}$, 因此上式可简化为

$$r_{sc} = \frac{R_i + r_{be}}{1 + \beta} \quad (1-9)$$

由此可见, 该电路的输出电阻仅为信号电源内阻 R_i 及晶体管输入电阻之和的 $\frac{1}{\beta + 1}$ 倍。

(3) 由于电路采用了深度的负反馈, 当晶体管参数变

化或负载变化时, 该电路的输出电压仍能保持稳定不变。例如当输入信号电压 u_{sr} 不变, 而由于某种原因, 输出电压 u_{sc} 升高时, 则将引起 u_{be} 下降, 使 i_e 减小, 最终使 u_{sc} (即 $i_e R_e$) 恢复到接近于原来的数值上。

综合以上所述, 虽然该电路的电压放大倍数小于 1, 但由于有上述特点, 其应用还是比较广泛。在电量变送器中, 主要利用它具有输入电阻高、输出电阻低的特点, 用来作为阻抗变换器使用, 以便实现多级放大电路之间的阻抗匹配。该电路由于其输入电阻很高, 因而可大大减少输入信号源的电能消耗, 又由于该电路的输出电阻低, 则意味着这种电路可带动较大的负载。

2. 电流串联负反馈电路

如图 1-5 所示, 它的负反馈电路由 R_e 、 R_f 及电容 C_3 所构成, 当发射极电流 I_e 通过该电路时, 产生了一个负反馈电压

u_f , 它与输入信号电压相串联, 因此称它为电流串联负反馈电路。在该电路中 T 管发射极电流 I_e 包含交流及直流两种成份。在 I_e 中的直流成份电流通过 R_e 、 R_f 时所产生的负反馈作用, 是用来稳定直流工作点的, 使放大电路得以稳定工作

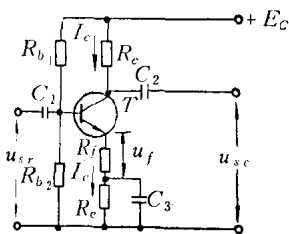


图 1-5 电流串联负反馈电路

在线性放大区域内。当有交流信号输入时, 在 I_e 中产生一个交流成份电流, 该电流被电容器 C_3 所旁路, 当 C_3 的电容量足够大时, 则对交流信号而言, 由 R_e 、 C_3 所构成的并联电路并不起负反馈作用。对交流信号起到负反馈作用的只是交流成份电流在 R_f 上所形成的压降。这种电路所以要这样安

排，是为了既要使电路的静态工作电流具有足够的稳定性，同时使得该电路的交流电压放大倍数在满足一定的稳定性能条件下，又不致因交流负反馈用得太多而过分减少其放大倍数。

这种电路具有较高的输入阻抗及比较稳定的电压放大倍数两个主要特点，为了进一步阐明构成上述特点的原因。有必要对该电路的输入电阻及电压放大倍数的简化计算公式加以推导和分析。

(1) 输入电阻 r_{sr} 的表达式：

在交流信号下，图 1-5 可简化为图 1-6 所示的等效电路（图中忽略了 R_{b1} 、 R_{b2} 对输入电路的分流影响）。此时输入电路的电压方程式为

$$u_{sr} = i_b r_{be} + i_e R_f \quad (1-10)$$

因为 $i_{sr} = i_b$

$$\text{所以 } r_{sr} = \frac{u_{sr}}{i_{sr}} = \frac{i_b r_{be} + i_e R_f}{i_b}$$

又因 $i_e = (1 + \beta) i_b$

$$\text{则 } r_{sr} = \frac{i_b r_{be} + (1 + \beta) i_b R_f}{i_b}$$

$$= r_{be} + (1 + \beta) R_f \quad (1-11)$$

由上式可见该电路的输入电阻为 r_{be} 及 $(1 + \beta) R_f$ 之和。因 $\beta \gg 1$ ， $(1 + \beta) R_f \gg r_{be}$ ，所以 r_{sr} 远大于晶体管的输入电阻 r_{be} 。此时的输入电阻 r_{sr} 可近似地写为

$$r_{sr} \approx \beta R_f \quad (1-12)$$

(2) 电压放大倍数的表达式：

根据放大器的电压放大倍数定义可知：

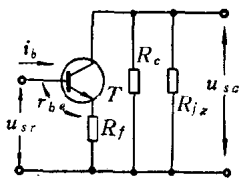


图 1-6 交流信号下的电流串联负反馈等效电路

$$K = -\frac{u_{sc}}{u_{sr}}$$

式中的负号表示输入、输出电压的相位相反。

因为

$$u_{sc} = i_c R'_{fz}$$

式中 R'_{fz} 为 R_c 、 R_{fz} 并联后的等值电阻，其值为

$$R'_{fz} = \frac{R_c R_{fz}}{R_c + R_{fz}}$$

由此可得

$$K = -\frac{i_c R'_{fz}}{i_b r_{sr}} = -\frac{i_c R'_{fz}}{i_b \beta R_f}$$

又由于

$$i_c = \beta i_b$$

因此

$$K = \frac{-R'_{fz}}{R_f} \quad (1-13)$$

由上式可知该电路的电压放大倍数 K 只取决于 R'_{fz} 与 R_f 的比值，该电路中其他参数变化时，几乎不影响其电压放大倍数。因此得到比较稳定的电压放大倍数。

3. 电压并联负反馈电路

典型电路如图1-7所示，其输出电压通过 R_f 产生一反馈电流反馈至输入端。因为这个正比于输出电压的反馈电流与输入信号电流并联接入到晶体管的输入电路，所以称这种电路为电压并联负反馈电路。由于反馈电流直接反映输出电压的大小，因此这种电路对输出电压的变动是很灵敏的，其目的主要是用来稳定输出电压。例如，在晶体管参数发生变化时，如果使输出电压 u_{sc} 瞬间升高，则流过 R_f 的反馈电流 i_f

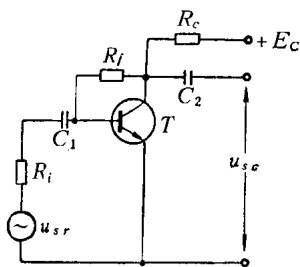


图 1-7 电压并联负反馈电路

随着 u_{ce} 的增大而增大，从而使得输入到晶体管的瞬间基极电流 i_b 增大，引起 i_c 的增大，由于 i_c 在 R_c 上的瞬间压降增加，导致该瞬间的 u_{ce} 减少，亦即 u_{sc} 减少，因此最终能达到稳定输出电压的目的。

在这种电路中，由于输入信号源内阻 R_i 对反馈电流 i_f 有分流作用，因此它适用于信号源内阻有较高值的场合。

由于电压并联负反馈电路直接反应输出电压，因此它有较好的负载特性（即其输出电阻较小），也就是说，当输入信号电压不变时，由于负载电阻变动所引起的输出电压变化甚小。

另外需要指出的是，由于在输入端并联了一个负反馈电路，所以这种电路的输入电阻比不加负反馈时为低。

4. 多级放大电路的构成

在变送器中，实际的交流电压放大电路如图1-8所示。

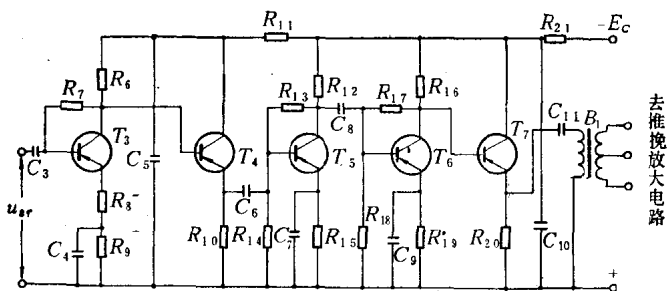


图 1-8 变送器实际的交流电压放大电路

它由五个单级电路所组成，来自调制器的交流信号 u_{sr} 通过耦合电容器 C_3 输入至第一级的输入电路。经过逐级放大后，由 T_7 组成的射极跟随器输出至功率放大电路的输入端。

由 T_3 构成的第一级放大电路中，采用了电压并联负反

馈及电流串联负反馈相结合的负反馈方式，其主要目的是为了提高该输入级的输入电阻及减少其输出电阻，用来减轻前级的负载，并起到稳定输出电压的作用。电阻 R_7 除了作为交流电压并联负反馈电阻外，同时为 T_3 管提供基极偏流，它与负反馈电阻 R_9 、 R_8 相配合，共同起到稳定该放大级直流工作点的作用。

第三、第四级电路具有相同的型式（由 T_5 和 T_6 构成），通过电容 C_5 进行耦合，使该两级放大电路具有各自独立的直流工作点。它们与第一级电路的不同处，在于这种电路不带有交流电流串联负反馈，且比第一级电路有较高的放大倍数，但其输入电阻则较低。

第二、第五级为射极跟随器电路，用来实现级间的阻抗匹配。图1-8中的 R_{11} 、 C_6 构成退耦电路，以防止该放大器末级的输出信号通过电源耦合至前级而引起的自激振荡。

二、推挽放大电路

推挽放大电路一般用来作为多级交流放大器的最后一级，以供给负载所需要的功率。这种电路比之一般单管放大电路，具有输出功率大、效率高等优点。典型的电路如图1-9所示。 B_1 为输入变压器，其基本作用是：①使前级的输出电阻与本电路的输入电阻相匹配，以达到最佳的功率传输；②使前级和本级的直流电路相互隔离，而不致相互影响；③将输入信号变换成一对幅值相同、极性相反的信号电压，分别加到 T_1 、 T_2 的射极-基极间。当交流输入信号电压

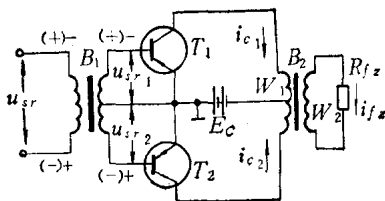


图 1-9 推挽放大电路