

自动化丛书



现代遥测系统

(苏联) M. A. 庫別尔什米特等著 徐公平译

上海科学技术出版社

现代遥测系统

〔苏联〕Я. А. 库别尔什米特, В. С. 馬洛夫, А. М. 普申尼奇尼科夫 著

徐心平 譯 吳培根 校



上海科学技术出版社

4449

4449

內容提要

本书是“自动化丛书”之一。丛书内容包括自动学及运动学的理論,自动装置、元件和仪器的結構及应用等。丛书选题主要取自苏联及其他国家的有关資料,也包括国内編写的专题論著。本丛书由“自动化丛书編輯委员会”主編。

本书簡要地評述了工业遙測系統目前发展的情况,介紹了一些已生产的装置,主要偏重于叙述各种遙測装置的基本原理,最后討論了遙測技术发展的方向。

本书可供从事工业自动化和运动化方面的工程技术人员参考。



Л. А. Купершmidt, С. Малов, А. М. Пшеничников

Гос. изд-во 1963

自动化丛书(20)

現代遙測系統

徐心平 譯 吳培根 校

自动化丛书編輯委员会主編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印张 3 16/32 排版字数 76,000

1963年8月第1版 1963年8月第1次印刷 印数 1-4,500

統一书号 15119·1743 定价(十二) 0.42 元

譯 者 序

本書介紹現代工業遙測技術的一般概況，總結了實現工業生產過程的遠距離檢測的各種方法及其特點、適用的場合；舉出了許多新型的、有代表性的遙測裝置，介紹了它們的工作原理和技術指標，最後還闡述了現代遙測技術的發展趨向。由於這本小冊子偏重於對實現遙測的具體方法及實際裝置的工作原理的介紹，因此對於從事自動化、遠動化工作的工程技術人員，是一本較合適的讀物。

近作用式的（強度制）遙測系統，由於原理比較簡單、成熟，所以敘述較簡單。對於遠作用式的系統（頻率系統和時間系統）則介紹得較詳細，特別是低頻頻率制或脈沖頻率制以及長周期的脈沖時間制遙測系統在工業遙測中最为合適，因此列舉了較多的實際裝置。這些裝置都是採用最新的無觸點元件構成的，其中許多已是國外定型產品，對於讀者研究制作類似裝置，有着實際的參考價值。電碼制遙測系統和多路遙測系統在遙測技術中都占有特殊的地位，書中介紹得也比較詳細。

由於科學技術的不斷發展，最近提出了許多組成遙測系統新的想法，雖然許多還屬於探索性的研究工作，很難斷言其結果。但作者在本書的最後現代遙測技術最重要發展趨向一章中，對採用新元件，建立綜合遠動系統，採用斷續（數字）的方法等進行了闡述，着重介紹了數字方法遙測在準確度和抗擾性方面的優點，讀者從中還可以了解到抗擾電碼、自校正電碼、有效編碼以及預測編碼等最新技術的簡單概念，定會感到興趣。

徐心平

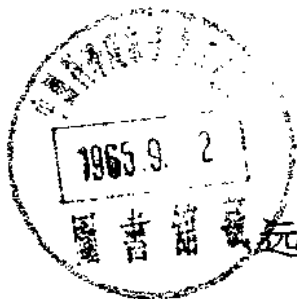
1963年2月

目 录

译者序

第1章 远距离测量的一般概念	1
第2章 强度制遥测系统	7
1. 不平衡式电流系统	8
2. 平衡式电流系统	12
第3章 脉冲时间制遥测系统	17
3. ЦНИИКА 脉冲时间制系统	19
4. ИАТ 遥测系统	22
第4章 频率遥测系统	25
5. 频率遥测系统的一般特性	25
6. 脉冲频率制系统	27
7. 频率制系统	40
第5章 脉冲电码制遥测系统	52
8. SECRE (法国) 系统	54
9. ВНИИЭ 系统	58
10. ЦНИИКА 系统	64
11. 乌克兰国家计划局自动化研究所研究的系统	69
第6章 多路遥测系统	74
12. ИАТ 系统	80
13. ЦНИИКА 系统	81
14. ЦНИИКА 脉冲幅度制装置	87
15. SECRE 脉冲电码制系统	90
第7章 现代遥测技术发展的方向	93
16. 采用新元件	94
17. 建立综合运动系统	94
18. 遥测中应用断续作用(数字)的方法	95
参考文献	105

本书目录由中译本编者重新编排



第 1 章

远距离测量的一般概念

各种自动检测装置是生产过程控制系统不可缺少的一部分，这些装置包括自动测量仪表和讯号装置。自动检测装置组成的原则，通常要在不甚远的距离范围内（几十米到1~2公里），保证能传送生产过程运行的讯息。这类装置可用于企业或车间内部，进行集中检测，以实现从一个地方（控制站）来监视各个生产装备的工作情况。

当集中检测的范围扩大时，普通的自动检测系统可能不适用，在大型企业内部（冶金联合企业、化学工厂等），每个生产工段与控制站间连接的通讯线长度甚至达到几公里，在采油场、采气场、水利灌溉系统里集中检测时，讯息需要传送的距离更远，特别是动力系统、输油管、输气管道在这方面更有代表性，这里每个被检测点（动力系统中的发电站、变电所，管道系统中的压缩机站和泵站）和控制站（调度站）间的距离达到几百公里，有时甚至超过1千公里。在类似的情况下，为了自动检测就需要专门的传送讯息的装置——远动装置，遥测系统就属于这种装置。因此遥测系统是一种特殊的自动测量系统，它具有远动装置的特点，即能在很远的距离内传送被测量。

远距离传送被测量的讯息时，技术上最大的困难在于消

除或减小由于通訊綫工作特性改变或干扰作用所引起的誤差。此外,必須最經濟地利用通訊綫,采用多路复用的方法。

遙測系統应当解决两个任务——保証远距离傳送被测量的准确度和經濟地利用有綫或无綫通道。

当需傳送活动目标如火箭、飞机上的数据时,遙測系統具有特殊的意义。显然,在这种条件下,原則上不能用普通的測量系統,要利用火箭、人造卫星和宇宙飞船研究宇宙空間得到的大量宝贵的科学資料,也只有利用遙測装置才能将其傳送到地球上來。

在这本书里仅研究用于靜止的工业对象的一些遙測系統。

遙測方法的实质在于将被測量轉換为訊号,使其在通訊綫上传送时失真最小。

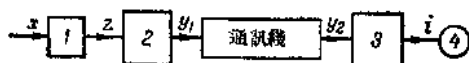


图1 遙測系統一般方框图

1—变送器(一次变换器); 2—遙測系統发送器;

3—遙測系統接收器; 4—輸出仪表

图1为遙測系統的一般方框图。被测物理量 x 通过变送器1(一次变换器)轉換为电量 z (变化的电流、电压、电阻、电容或电感), 后者經发送器2变换为訊号 y_1 , 被送入通訊綫, 在接收端, 訊号 y_2 被加到接收器3的輸入端, 接收器再接到輸出仪表4上, 后者重新复現出被測量的大小。

遙測系統中可以利用連續訊号(模拟訊号), 也可以用断續訊号^①。在前一种情況下, 在发送器中进行函数轉換或調

^① 这里和后面所使用的術語“断續訊号”是指訊号值是断續的, 用有限个訊号傳送連續的被測參量。——原注

制。作为訊号可以采用一定大小的直流或交流电流(电压),或者是按振幅、频率或时间(宽度、相位)调制的电振荡或电脉冲,这时电流(电压)的大小或调制参数的大小与被测量成单值函数关系,接收器测量此电流(电压)或解调此讯号。

最简单的遥测系统中,随被测量改变的是电流或电压值,这种系统称作为强度制遥测系统,而采用交流频率调制或脉冲调制的系统,称为频率遥测系统和脉冲遥测系统。

图2为脉冲及频率遥测系统的讯号波形图,图2中1为

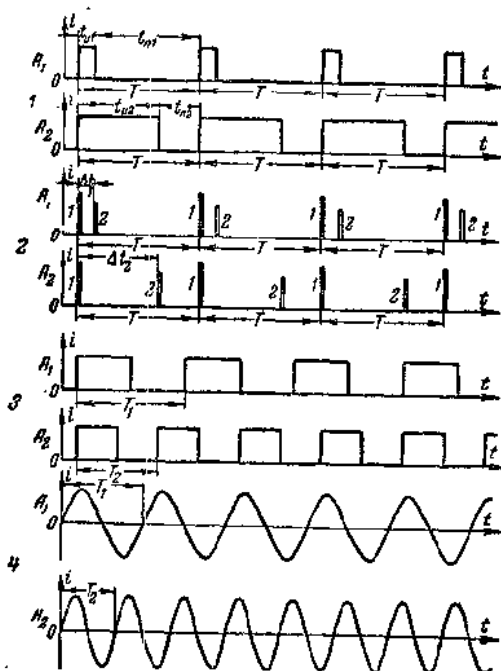


图2 频率和脉冲遥测系统的讯号波形图

- 1—脉冲宽度调制; 2—脉冲相位调制;
3—脉冲频率调制; 4—频率调制(交流频率)

按脉冲延續期調制的訊号,通常又称为脉冲宽度調制(ШИМ)訊号,这里脉冲的延續期是被测量的函数

$$t_n = \varphi(x)$$

上面的图形假设为对应于被测量为最小值。

图2中2为脉冲相位調制(ФИМ)的訊号,这时窄脉冲在時間軸上的相对位置(相位)随被测量变化。

脉冲宽度及脉冲相位調制遙測系統組成了脉冲時間制系統。

图2中3和4为两种不同的頻率制遙測系統的訊号波形,3属于脉冲頻率調制(ЧИМ)系統,这时脉冲頻率是被测量的函数

$$f = \varphi(x)$$

图2中4为交流頻率制遙測系統的訊号波形,即正弦振蕩頻率調制(ЧМ)系統。

在断續訊号系統中,发送器实现了整量化和編碼作用。整量化在于将被测量值 x 的連續数列变为有限数列,有限数列中的两相邻数值彼此之間通常相距同样的間隔 Δx (整量距)。

图3說明整量化的作用。这样,被测量变化的区間 $(x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}})$ 被分成 N 个值,而

$$N = \frac{x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}}{\Delta x}$$

在編碼过程中每个值被表示为一定的脉冲組合(电碼)。用断續訊号表示被测量值的連續数列所引起的遙測誤差,取决于整量距 Δx 的大小。电碼制的組成原理将在后面闡明(第5章)。

断續訊号遙測系統亦属于脉冲和頻率遙測系統的一类。

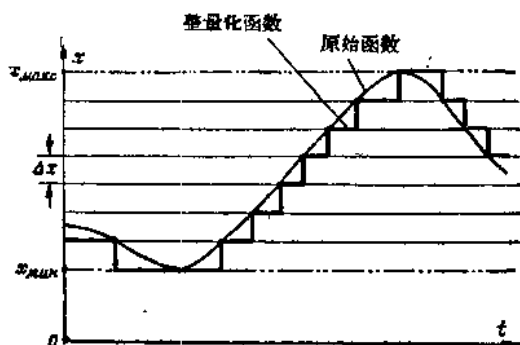


图3 整量化过程图解

有专用导线传送讯号时可采用强度制遥测系统，这时其作用距离不大（10~30 公里以内），因为随通讯线长度增加，由于通讯线参数变化（导线电阻和绝缘电导）电流（电压）值随之改变，由此所引起的误差将增加到不能允许的值。

频率和脉冲系统可以在很长的而且参数不稳定的通道上工作，其中包括有线通道或高压输电线路以及无线电通道。

在许多情况下，为了经济地利用通讯线，需要沿一根线传送若干个被测量的值。为此目的，可以应用多路遥测系统，在这种系统中有两种基本的讯号划分方法：频率划分和时间划分。

频率划分时，分给每个讯号一定的频带，为了限制讯号间的相互影响，用保护间隔将工作频带分开，各个不同频率的讯号沿通讯线同时传送，而在接收端再用滤波器将其分开。

时间划分时，讯号是按时间顺序传送。为了实现时间划分，利用两个同步的换接开关，将对应的遥测发送器和接收器轮流接到通讯线上。

往往根据生产装备运行的条件，要求测量足够多的参量，

但并不需要連續測量，而仅仅在需要时測量。在类似的情况下連續傳送所有的数据就不合适了，这将造成毫无益处地占用通訊綫，因此宜采用選擇遙測或称为呼喚遙測。

这时一个公共的通道就够了，根据需要將所需的遙測仪表接到該通道上。通常发送装置和接收装置中都各有一个公共的遙測变换器（发送器或接收器），而且通常輸出仪表也是一个公共的，或分成几組，而需要接通的仅仅是独立的一次变换器（变送器）。被测参量的数目实际上可以无限多。为了从接收端選擇被测参量，可通过選擇器送出一个呼喚訊号，为此目的一般利用一个有独立通道的遙控装置。

第 2 章

强度制遙測系統

强度制遙測系統中被測量多半用直流电流或电压沿通訊綫傳送，在接收端直流电流是用磁电式仪表測量，电压是用自动电位差計測量，用它測量电压不消耗功率。最广泛应用的是傳送直流电流的强度制系統，应用交流电流时由于干扰作用（交流感应）和通訊綫电感及电容的变化将引起附加誤差。

强度制系統可以是不平衡式即无补偿式的，也可以是平衡式即补偿式的。在不平衡式系統中借电路中的有效电阻、电感、电容、互感的改变，或利用变压器将被測量轉換为电流或电压的变化。在平衡式轉換时，通訊綫中电流与被測量間的关系自动地維持不变，这靠調节装置来完成，調节装置可以是无差調节，也可以是有差調节。

在强度制遙測系統中，傳送訊息可以用电纜綫和架空綫，用电纜綫傳送距离为 20~25 公里，而架空綫为 7~10 公里，这是由于电纜綫实际上沒有漏电，而架空綫的漏电可能很大，且随气候条件而改变。

强度制系統中所用的将被測量变换为直流电流的遙測发送装置，經常也被用做为远作用式遙測系統、多点檢測系統和自动調节系統中的变送器。

1. 不平衡式电流系統

按正比或函数关系将被測参量轉換为电流可以通过变换測量仪表的轉角来达到，也可以用不带可动元件的靜止式轉換器来实现。在前一种情况下，一次測量仪表的活动部分以某种方式与滑綫电阻的滑动臂或感应式轉換器的綫框相連接；第二种类型的装置或者是对被測参量进行简单的变压(測量电流或电压)，或者进行函数轉換(測量功率)。

目前苏联“配电盘”工厂已生产了整流式和感应整流式遙測装置，前者用于測量电流和电压，后一种用于測量功率、压力和液位。这些装置在一些文献中[1, 2, 8]已有了詳細的介紹，所以这里不再討論。

不平衡式强度制遙測系統中，令人最感兴趣的是靜止式功率遙測装置，这种有功功率变送器的輸出电流应为

$$i = kUI \cos \varphi$$

式中 k ——比例系数；

U ——电网电压；

I ——电网电流；

φ ——电网电压及电流間的相角差。

在大多数靜止式功率轉換器中均采用保証輸入及輸出参量間为平方关系的元件。为了做成平方元件可以利用电子管特性曲綫中的平方段、氧化銅整流器的平方特性、飽和电抗器中或碳化硅电阻中的电压与电流間的平方关系以及加热电流与热电势之間的平方关系等。

图4为莫斯科动力管理局 ИЛЭМ^①研究的所謂磁性功率变送器綫路，其中用飽和电抗器作为平方元件。电压互感器的

① 莫斯科动力管理局电机制造中心試驗室。——譯注

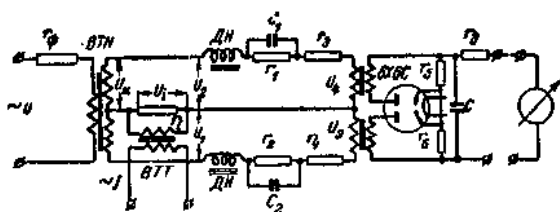


图4 单相磁性功率变送器原理图

BTH—变送器的电压互感器； BTT—变送器的电流互感器；
AH—饱和电抗器

电压和电流互感器的电流通过辅助变换器BTH和BTT被加到饱和电抗器电路中,使一个电路里加的电压为 $\dot{U}_1 = \dot{U}_U + \dot{U}_I$, 而另一个为 $\dot{U}_2 = \dot{U}_U - \dot{U}_I$ ①。

通过电阻 r_Φ 建立了电压 $\dot{U}_U$ 和 $\dot{U}_I$ 间的相角差,其大小等于测量电路的电压 $\dot{U}$ 和电流 $\dot{I}$ 间的相角差 φ 。此装置的输出电流正比于输出变压器原绕组上的电压差

$$i = k_1(U_3 - U_4)$$

由于电阻 r_3 和 r_4 的作用建立了以下的工作状态

$$U_3 = k_2 U_1^2 = k_2 (U_U^2 + U_I^2 + 2U_U U_I \cos \varphi)$$

$$U_4 = k_2 U_2^2 = k_2 (U_U^2 + U_I^2 - 2U_U U_I \cos \varphi)$$

因此,输出电流

$$i = 4k_1 k_2 U_U U_I \cos \varphi = k U I \cos \varphi$$

电容器 C_1 、 C_2 和电阻 r_1 和 r_2 用于减少线路对频率的依从关系。

遙測裝置上用的 MAM-3 型磁性功率变送器已由莫斯科动力管理局 ИДЭМ 生产,动力系统的功率和频率调节器中用的输出功率为 25 毫瓦的 MAM-4 型磁性功率变送器已由罗

① 原文为 $\dot{U}_2 = \dot{U}_U - \dot{U}_I$ 。——校注

斯托夫动力管理局 9P3^① 生产。

当通讯线电阻为 3000 欧时, MDM-3 型单相变送器的额定输出电流为 1 毫安; 基本误差为 1%; 由于电网电压波动 $\pm 10\%$, $\cos \varphi$ 从 0 变到 1, 环境温度变化 20°C , 频率从 48 赫变到 51 赫所引起的附加误差 (每个因素单独变化时) 均为 1%; 线路电阻变动 300 欧 (10%) 引起的误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。

三相磁性功率变送器可以由两个单相的组成, 输入按两瓦计法的测量线路连接, 输出并联连接。

磁性功率变送器的严重缺点在于其输出指示值与电压和电流的波形有关。

苏联“配电盘”工厂所试制和生产的将功率变换为直流电流的变换装置采用另一种原理构成。这种单相变换器的原理图如图 5 所示。

两个相同的变压器 T_1 和 T_2 上有控制绕组 w_1 、工作绕组 w_2 和输出绕组 w_3 , 铁心由具有矩形磁滞回线的玻莫合金构成。这两个变压器的工作状态可分为控制半周和工作半周, 在控制半周中铁心为工作半周做“准备”。两个铁心中磁通的变化是不同的, 因为加在一个变压器的绕组 w_1 上的是电压差 $u_1 - u_i$, 而加在另一个变压器的类似绕组上的是电压和 $u_1 + u_i$, 电压 u_i 正比于被测回路的电流 i 。

在工作半周时间里, 绕组 w_2 回路导通, 变压器铁心在饱和和以前在输出绕组 w_3 回路里进行了能量的交换, 在绕组 w_3 上感应的脉冲电压打开了半导体三极管 HT-1 和 HT-2 构成的开关。

变压器铁心饱和所需的时间正比于控制半周绕组 w_1 上所加的电压值, 反比于工作半周中作用的电压 U_2 , U_2 值应大

^① 罗斯托夫动力管理局电气修理工厂。——译注

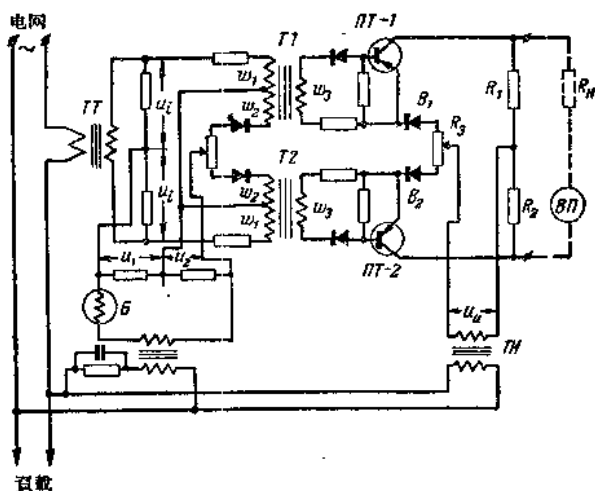


图5 利用有矩形磁滞回线的磁元件构成的功率转换器

TT —电流互感器； TH —电压互感器； $T1$ 、 $T2$ —变压器；

B —整流管； BH —输出仪表

于控制半周中加在绕组 w_1 上的最大电压值。

为了使电压 U_1 和 U_2 稳定，线路中用了整流管 B 。在铁心饱和以后半导体三极管 $HT-1$ 和 $HT-2$ 关闭。

指示仪表 BH 接在电桥的对角线上，此电桥由电阻 R_1 和 R_2 、半导体三极管 $HT-1$ 和 $HT-2$ 、二极管 B_1 和 B_2 及电阻 R_3 构成，桥的另一个对角线上接入此变送器的电压互感器 TH 的次级绕组。

线路输出的平均电压

$$U_{cp} = \frac{k_1}{T} \int_0^T \left[\int_0^{t_1} u_a dt - \int_0^{t_2} u_a dt \right] dt$$

式中 T ——周期；

k_1 ——比例系数。

根据上面所述,可以写出

$$t_1 = k_2(U_1 + u_k)$$

和

$$t_2 = k_2(U_1 - u_k)$$

将 t_1 和 t_2 值代入 U_{cp} 的表示式中,經变换后可得

$$U_{cp} = \frac{k_1}{T} \int_0^T 2k_2 u_k u_i dt = kUI \cos \varphi$$

因此,該綫路的輸出电压正比于被测功率。

CBIIA-1 型三相有功功率变换器包括两个单相单元,將它們按三綫制两瓦計法測量有功功率的綫路接入被测回路。它与单相不同之处在于,三极管开关的輸出电路工作于一个公共的負載上。

变送器相应于額定被测功率时的輸出电流为 1 毫安,輸出电路允許最大有效电阻为 1500 欧。

在正常条件下,輸出电流与被测回路功率間的非綫性偏差不得超过 1.5%;环境温度在 $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ 的範圍內,每变化 10°C 引起的附加誤差不超过 1.5%。

当被测回路功率沒有改变而电压偏离額定值 $\pm 15\%$ 时,引起变换器輸出电流的变化不超过 1.5%。

2. 平衡式电流系統

在平衡系統中,由被測量和流过通訊綫的电流所建立的两个参数(机械的或电的)連續地進行比較。根据被比較的参数不同,平衡系統可以分为两大类:补偿一次測量仪表轉矩的系統;补偿由被测值所决定的輔助电量的系統。正如前面指出的,平衡式装置可以分为有差和无差調节的系統,通常有差系統比无差系統简单,它实质上是一个帶电流負反饋的放大器。

电流补偿系統中,通訊綫上的电流在很寬的範圍內与綫