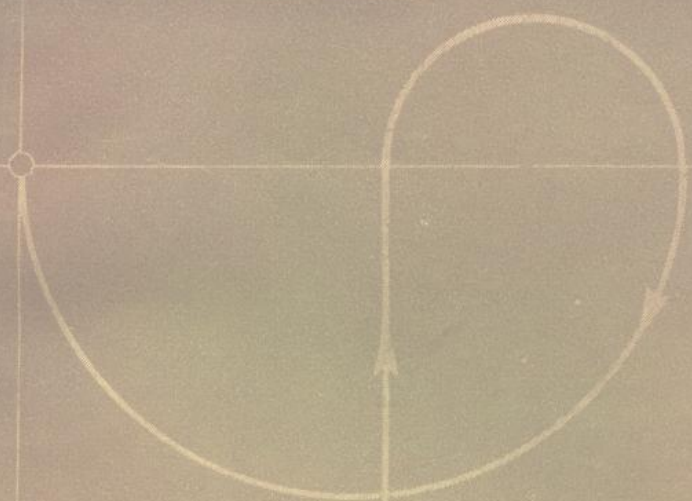


自动化丛书



远动讯息传输

〔苏联〕P.P. 华西里耶夫 Г.А. 沙斯托娃 著

張鸞立 丁明道 譯

上海科学技术出版社

远动讯息传输

〔苏联〕P. P. 华西里耶夫, T. A. 沙斯托娃 著

張鷟立 丁明道 译 吳培根 校

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是“自动化丛书”之一。丛书内容包括自动学及远动学的理論,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。

本书主要阐述在有干扰的通道中远动訊息傳輸的基本理論,并討論在远动技术中应用訊息論的方法有关的某些問題,还介紹在傳輸离散消息和連續消息时,抗干扰性的工程計算方法。

本书可供远动技术的工程技術人員以及大专师生参考。

ПЕРЕДАЧА ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Р. Р. Васильев, Г. А. Шастова

Госэнергоиздат • 1960

自动化丛书(26)

远 动 訊 息 傳 輸

張鸞立 丁明道 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证出093号

上海市印刷四厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本787×1092 1/32 印張4 16/32 排版字数98,000

1963年12月第1版 1963年12月第1次印刷 印数1—5,700

統一書号 15119·1761 定价(十二) 0.52 元

前 言

近几年来,在工业远动技术中,研究訊息在有干扰通道中的傳輸过程,显得格格外重要。这是因为在远动系統中,不仅作用距离愈来愈远,且又采用了高干扰电平通道(如电力网络的載波通道和有强工业干扰的无线电通道)。研究訊息傳輸过程的科学,称为消息傳輸理論或訊息論,其中主要是論述抗干扰性方面的問題。因为消息傳輸理論中所运用的数学工具相当复杂,所以研究这种理論实感困难。訊息論中的基本部分和抗干扰性理論,已在电报、电话和电视等电讯部門中运用;而討論消息傳輸理論在远动系統中的应用問題,在苏联文献中仅有少数几篇文章。

本书试图闡明,研究远动訊息傳輸所用的各种現代方法。书中介紹在远动技术中运用訊息論的基本原理,以及应用潛在抗干扰性理論来处理遙控、遙測的訊号傳輸的方法和基本結果。在有干扰通道中傳輸訊号时,可用抗干扰性理論来确定訊号的失真度。該失真度取决于抑制概率和构成假指令的概率(指遙控而言),或取决于誤差值(指遙測而言)。虽然誤差值或指令失真概率是远动系統中非常重要的指标;但仅仅根据这种指标,尚不能完全确定远动系統的运行质量。只有运用訊息論的概念,才能比較全面地闡明远动系統的工作情况。

干扰的性质及其統計特性^①,在訊息傳輸过程中是非常重要的。因此,本书第1章就要論述干扰的一般性质、干扰的統計特性以及研究干扰的方法。

本书可以帮助远动技术专业的工程技术人员,正确选择

① 原文为靜态特性。——譯注

訊息傳輸方法和傳輸參數，並對所選取的方法能給以正確的評價，以及正確地造出高抗干擾性的接收裝置等等。

本書適合具備高等工業學校數學知識的人員使用。

第1章的1、2兩節和第2章為P. P. 華西里耶夫所著；第3章和第4章為Г. А. 沙斯托娃所著；干擾的種類、干擾的特性和研究干擾的方法（即第1章的3、4兩節）為作者邀請的Л. B. 文契柯夫斯基所著。

目 录

前 言

第1章 运动装置中的訊息傳輸方法和干扰	1
1. 緒論	1
2. 远动訊息及其傳輸前的处理	5
3. 干扰的种类	17
4. 干扰的統計特性和实验研究法	22
第2章 訊息論的基本內容及其在远动技术中的应用	39
5. 訊息的度量	39
6. 无噪声离散通道的傳輸容量和訊息傳輸速度	42
7. 有噪声离散通道中的訊息傳輸	46
8. 連續消息的傳輸	49
9. 訊号的几何图示法	53
10. 在有噪声通道中傳輸訊息时减少錯誤的途徑	55
11. 各种遙測系統效率的比較以及各种調制的比較	57
12. 有关遙測系統的动作速度、准确度以及通道数量三者之間的“置換”問題	62
第3章 傳輸离散消息时的抗干扰性	68
13. 評定的标准	68
14. 概論	72
15. 理想接收机	76
16. 傳輸两个离散消息时的潜在抗干扰性	80
17. 几种实用的遙控接收机的抗干扰性	84
18. 傳輸多指令时的抗干扰性	91
第4章 傳輸連續消息时的抗干扰性	110
19. 評定的标准	110
20. 在弱起伏干扰作用下的抗干扰性	115

21. 在强起伏干扰作用下的抗干扰性	118
22. 遙測系統的最佳参数	127
23. 实现最佳参数的方法	130
24. 不是最佳参数的遙測系統的抗干扰性	132
25. 輸出积分对抗干扰性的影响	135
参考文献	138

第 1 章

运动装置中的訊息傳輸方法和干扰

1. 緒 論

控制系統中的訊息傳輸

远动技术是研究远距离控制、監視和調节机器或整套設備的一門技术。

任何一个复杂的系統,不論是用人工控制的,或是用机器控制的,均可分成由控制机构和控制对象組成的一些基本系統。

控制机构和控制对象,彼此总是用所謂訊息傳輸通道或訊号通道連接起来的(图 1)。

在这类系統中的控制过程,按程式可分成下列数道程序。

第一道程序,是要取得一些参数值的訊息,这些参数值能表明控制对象

工作过程的进展情况。这道程序是依靠变送器来进行的,变

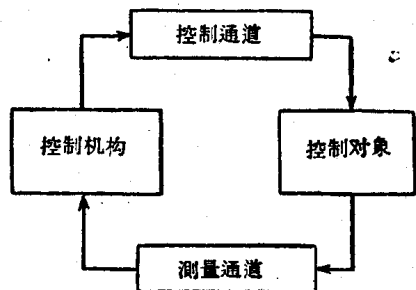


图 1 基本控制系統的方框图

送器能送出表明工作过程的一些必要的數據（如压力、温度、电压等等）。

第二道程序，是将所获得的訊息，沿測量通道或訊号通道傳輸至控制机构。

第三道程序，是在控制机构内进行的，就是将表征被控机构工作过程的参数值，与在給定条件下所期望的参数值进行比较。当这两种参数值不相等时，控制机构便发出适当的指令，然后，再将該指令傳輸給控制对象。这道程序既可用机器来完成，也可由人工来完成。

第四道程序和第二道程序相类似，是将指令訊息傳輸給控制对象。

第五道程序，是使控制对象获得的指令，作用到控制对象的調节机构上，使正在进行的工作过程改变到所期望的状态。同时，变送器照样又感受到这种变化，于是，所得到的訊息又重新傳輸給控制机构，如此等等。

事实上，所有这一切过程，常常是連續进行的。

如上所述，控制过程是通过控制系统中的訊息循环来实现的。

無論在哪一个部分，若訊息受到任何損失，就会破坏整个系统的正常工作。而訊息損失，最常見于通道中，因为在通道中，会出现各式各样的騷扰作用。因此，研究有干扰通道中的訊息傳輸过程，是有重大实际意义的。

有的时候，在被控制系统的諸通道中，有一种通道沒有明显的表現出来。例如，当电话用戶撥动电话机的撥号盘时，立即发出脉冲，借此来控制自动电话局的机器；这时就沒有測量通道。可是在自动电话局的选綫器动作以后，第二个用戶就会回話，而綫路联接的正确与否，也就十分清楚了。又如，在

試驗新型飞机和火箭时,或在其他一些情况下,要使用数量很多的測量通道,但可能沒有傳輸指令的通道。而当被研究的机器設備在进行最后加工时,將利用由这些通道所取得的訊息。

根据不同的具体条件,傳輸訊息的通道可以是机械的、气动的、电气的、电磁的等等。通常,一条总通道是由若干局部通道組成的。現以傳輸管道压力数据的无綫电遙測系統为例来研究一下(图2)。管道压力的訊息傳送到金属膜片上,使金属膜片产生机械位移,該机械位移沿机械通道(拉杆)傳送到电位器上。继之,取自电位器的直流电压沿电气通道(一对导綫)傳送到无綫电发送机上,并利用該电压作为調制訊号。然后,压力訊息沿无綫电通道傳送到接收装置中。最后,接收装置发出的訊号又沿电气通道傳送給輸出指示器。在該例子中,以无綫电通道最不可靠,因在这一段內,訊号可能受到干扰的强烈作用。上述各种局部通道构成了一条总通道,因为这些局部通道都是用来傳輸同一种訊息的。

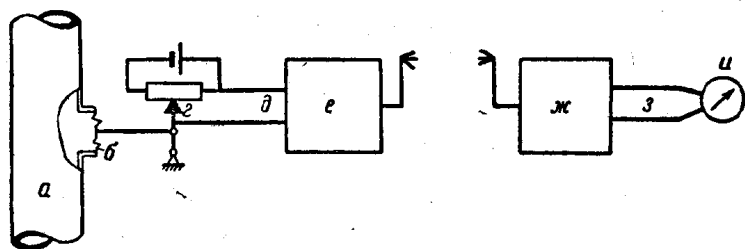


图2 傳輸管道压力数据的通道

如上所述,一条总通道可以分成若干局部通道,这是以訊息“載送者”的物理性质为依据的。•訊息本身并不能傳輸,它应通过一定的方式“載”在載送者的身上。載有訊息的載送者通称为訊号。下面將只討論有綫电通道和无綫电通道。

在无线电通道中, 訊息的載送者是电磁振蕩(无线电波); 而在有线通道中, 訊息的載送者是电流和电压。而訊号則是經過調制的高頻振蕩, 或是經過調制的脉冲序列等等。

下面所要討論的, 就是有干扰通道中的訊息傳輸系統。这种一般性的通道的方框图, 示于图 3。

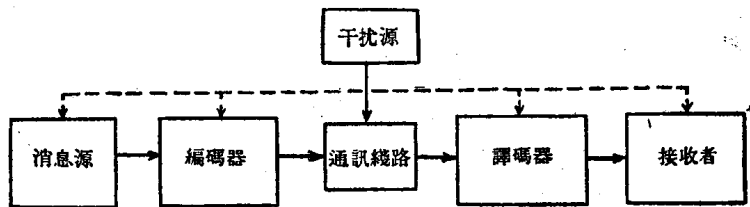


图 3 通道的方框图

訊息源是一种从可能产生的消息的集內选出一个消息(如某种指令、某种被测参量的数值等)的装置。

发送机是一种可把消息变换成沿通道傳輸的訊号的装置。

通訊綫是一种用来傳輸发送机所发出訊号的媒介(例如, 一对导綫、射頻頻帶等等)。

在傳輸过程中, 訊号可能受到噪声(干扰)的作用, 同时, 通道的非綫性, 也会使訊号失真。从原理上来讲, 訊号的非綫性失真, 可以在接收端加以补偿; 而通道中的过渡过程, 也可能在接收端加以校正。但是, 由于干扰作用引起的訊号变化, 往往是不能完全消除的。

接收机是将所接收的訊号进行轉換、并使原始消息得到还原的一种装置。所以, 接收机的功用恰恰和发送机相反。但在有干扰的情况下, 接收机送出来的消息, 常常和发送机发出的消息不相符合。

接收者是接受訊息的装置(或人)。

下面即將談到：可按一定方式從數量上來度量遠動系統中傳輸的訊息（參閱第5節）。顯然，在設計通道時，要保證通道能在規定的時間內，傳輸所需數量的訊息。換句話說，通道的傳輸容量，不應小於通道輸入端上為產生需要傳輸訊息所用的速度。如果總通道是由許多局部通道組成的，則顯然每一個局部通道，均應滿足上述要求。

2. 遠動訊息及其傳輸前的處理

一般概念

遠動系統通常是完整的成套設備，其中包括遙控系統、遙測系統和遙訊系統。

由此可知，遠動訊息的消息和訊號，可能具有極不相同的性質。因此，若沿所用的通道，特別是在有干擾的情況下，傳輸遠動訊息的各種消息，就必須將這些消息預先加以處理、變換、編碼和調制。

在遠動系統中所傳輸的一切消息，可以分為兩類：离散消息和連續消息。屬於离散消息的，首先是在控制系統中傳輸的指令、遙訊數據和离散的遙測數據。從數學上看來，傳輸离散消息，就相當於傳輸一個有窮符號組。离散消息是由所謂离散通道來傳輸的，也就是說，是在一種能傳輸由一個有窮單元符號組構成的序列的系統中進行傳輸的。上面所說的這種符號，可能是幅值和持續時間固定不變、而極性不同的一些脈沖；也可能是幅值或持續時間固定不變的不同脈沖等等。

在遙測系統中，如被檢測參量的數值可取規定變化範圍內的任何值（不僅是取离散值），則報導這些被檢測參量的數值屬於連續消息。在某些遙控系統中，需要傳輸“平滑”變

化的数据(如管道閥門的轉角); 这些訊号亦属于連續消息。要傳輸这种形式的訊息, 就需要一种可以傳輸在規定数值範圍內的任何一个数值的通道(即連續傳輸通道)。然而, 在實踐中, 常常采用人为的方法, 把連續傳輸形式改变成离散傳輸形式。絕對准确地傳輸一个被测参量, 不仅沒有必要, 而且在理論上也是不可能的; 因为要絕對准确地傳輸一个被测参量, 通道的傳輸容量就必须无限大。因而以有限准确度来傳輸被测参量是容許的。于是, 可将被测参量的真实数值, 变换成与其最接近的离散值, 然后再进行傳輸(图4)。这种变换过程称为整量化, 而經過整量化的訊号, 就称为整量化訊号。在整量化过程中, 会使被测参量产生一定的誤差; 这种誤差, 就相当于在原始訊号上附加了某种額外的訊号(“噪声”)。在整量化过程中所产生的誤差称为“断續誤差”或“断續噪声”。

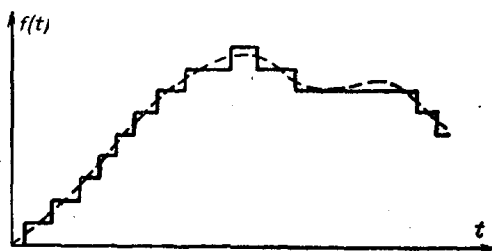


图4 連續函数的整量化

一切被测过程, 都是以有限的速度在变化。表征这些变化的訊息(这种訊息的載送者是电流)是有限頻带的訊号。这种頻带也受通过上述訊号的滤波器所限制。

下面一条定理, 对以后的分析相当重要。这条定理是 B. A. 柯捷里尼科夫在 1933 年提出的, 其內容是: “如果函数 $f(t)$ 不包括大于 F_m 赫的頻率, 則該函数就完全由每相隔 $\frac{1}{2F_m}$

秒的函数本身的瞬时值所确定”。

这条定理在数学上的证明，读者可参阅文献[1, 4]。

根据这条定理，频谱为有限的任一连续信号，均可用下列级数来表示，即

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F_m(t-k\Delta t)}{2\pi F_m(t-k\Delta t)} \quad (1)$$

式中 $f(k\Delta t)$ —— 在函数 $f(t)$ 中，每隔 $\Delta t = \frac{1}{2F_m}$ 秒的瞬时值。

上列级数中的每一项，都是截止频率为 F_m 的理想低通滤波器对窄脉冲的响应，窄脉冲的面积，等于函数 $f(t)$ 在相应瞬间的瞬时值（图5）。级数(1)在 $n\Delta t$ 瞬间的数值，仅取决于级数中的第 n 项（其余各项均等于零）。

这样一来，要想规定在 T 这一区间内，频谱为有限的任何一个函数 $f(t)$ ，就需要给出 $2F_m T$ 个数值。这些数值是函数每相隔 $\Delta t = \frac{1}{2F_m}$ 秒的瞬时值。

如果函数的频谱被限制在频率 F_1 和 F_2 之间，而不是从零频开始，对这种函数来说，仍然能够得出类似的结果。例如，单边带调制就属于这种情况。要想表示该函数在时间 T 内的状况，就必须发送 $2(F_2 - F_1)T$ 个数值。

为了表示函数，并不一定每经 $\Delta t = \frac{1}{2F_m}$ 秒取一个数值，亦可每经 $\Delta t_1 = \frac{1}{F_m}$ 秒取一个函数值以及该点上的一阶导数等等。

应当着重指出：因为函数 $f(t)$ 的瞬时值，可取任何数值（不只取离散的数值），所以上述代换并不意味着要改用离散传输法。

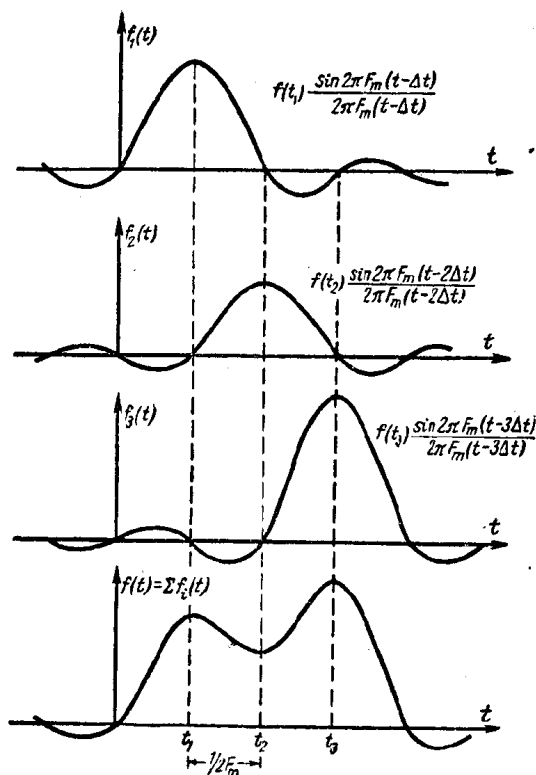


图5 頻譜有限的函数表示法

倘若在进行这种代換的同时,并将函数整量化;則可将連續函数傳輸变换为离散数列傳輸。

編 碼

用通道傳輸离散消息,就必須让每一个消息都和一个确定的訊号相对应;以便在接收时,可以单值地将被傳輸的消息还原。这些过程称为編碼和譯碼,而完成这两种操作的装置,則分別称为編碼器和譯碼器。

各个单个的訊号,可以根据幅值、持續時間、頻率等来区分。当消息的数量很多时,可以利用由一定数目的单元訊号所組成的各种訊号。例如,在遙控系統中,单元訊号常常按時間順序傳輸,即单元訊号是按時間划分的。这些訊号可以根据不同的特征(如幅值、极性、持續時間等)彼此区分。依据特征的类型,象具有极性特征的电碼,就可称为具有极性特征時間划分单元訊号的电碼。如果在一个电碼組中,采用 n 个单元訊号,而每一个单元訊号又可能有 k 个特征,那么,电碼的最大組合数就是 k^n 。仅有两个特征的电碼,在数学上用函数 2^n 表示,通常又称为二进制电碼。例如,有或沒有单个单元訊号的电碼,就是二进制电碼。又如,有两种頻率特征的电碼,或脉冲宽度为两种不同数值的电碼,也都是二进制电碼。目前在电碼方面还没有通用的术语和分类法。按照作者的看法,上面提到的那些术语和分类法,对从事有线和无綫远动技术工作的专家而言,都是最容易理解的。

上述电碼的特点,是单元訊号按時間依次发送的。然而也可以用不同的頻率来同时发送单元訊号。后一种称为頻率划分单元訊号的电碼。在頻率划分制中,可以采用訊号的有无、持續時間和振蕩相位等等作为特征。如果采用两种特征,則这种电碼就是頻率划分单元訊号的二进制电碼。例如,从 n 种可能有的頻率中,选出 m 种頻率同时发送出去,借此傳輸各种指令;这时所用的电碼,就是上述那种二进制电碼。若在可能有的 n 种頻率中,只选出一种頻率来傳輸指令,且在傳輸該指令时,其余的頻率都不发送出去,这时所用的电碼,就是上述那种二进制电碼的一种变例。这种电碼,也可看作是具有頻率特征的单脉冲电碼。

在上述例子里,以不同頻率单独傳輸各种訊号是絕對不

可能的。如果不同頻率的傳輸过程彼此毫无关联,这种系統就可看成是多通道系統(參閱后文)。

如沿有干扰通道进行傳輸,則单个的单元訊号会失真,还可能造成錯誤接收。如用单元訊号所有可能的各种組合,來傳輸不同的指令,則任何失真都会使发出的指令变成另一种指令。为了减少产生这类錯誤的可能性,就应使各个电碼組合彼此間具有显著的差別。当沿一种通道傳輸时,应当考虑到,在該通道中由于干扰作用会引起失真;因此,就需要建立下列这种組合,如:即使一个、两个、甚至許多个单元訊号失真,而这种組合也不会变成另一个組合。如果考虑到由于編碼器和譯碼器的工作不正常,也可能使訊号失真,則在这种情况下,也存在着与上述类似的問題。

当采用二进制电碼时,若在电碼組合中有一个单元訊号已經失真的情况下,还要不出現假訊号,則須使各个不同电碼組合相差两个或两个以上单元訊号。这时,若有个別单元訊号失真,則电碼組合就只能变成一个不适用的組合,遂使远动系統产生所謂保护性拒絕。这种电碼构成法,实际上已广泛运用。例如,采用单特征脉冲的数目为一定的方法来保护的二进制电碼,以及具有偶数或奇数脉冲的电碼,就是上述这种电碼。当采用这种傳輸方式时,如有一个单元訊号失真,就导致丢失一个指令。另外有一类电碼,如在其中出現一个錯誤时,不仅能檢查出該錯誤,还能校正該錯誤,也就是說,能使被傳輸的消息还原。还有一些电碼能檢查和校正好几个錯誤。在第2章內,将对可能构成这种电碼的原理进行探討。

調 制

如前所述,要沿通道傳輸訊息,就应当使訊息載在載送者