

遥测学

〔苏联〕A. B. 福列姆克著

魯 明 譯



中国工业出版社

遙 測 学

〔苏联〕A. B. 福列姆克著

魯 明 譯

苏联高等教育部审定作为电工和动力院系的教学参考书

中国工业出版社

本书讲解遙測技术方面的各項基本問題，对遙測系統中所用各种仪表和装置作了扼要的說明，并闡述了遙測系統的一般特性和性能。

本书可作为电工及动力院系的教學参考书，也可供从事运动化工作的工程技术人员参考。

А.В.Фремке

ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1958

* * *

遙 測 学

魯 明 譯

(根据水利电力出版社新型)

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯 (北京阜外月坛南街5号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 850×1168 毫米·印張 $7 \frac{8}{16}$ ·字数192,000

1964年1月北京第一版·1964年1月北京第一次印刷

印数0001—3,680·定价(10-7)1.20元

*

統一书号: 15165·2896(水电-390)

序

本书是作为“遙測学”这门課的教学参考书而写成的，适用于相应的高等学校“自动学和远动学”及“电气测量技术”专业学习这门課的学生。

书內讲解了遙測方面的一些基本概念和定义，闡述了遙測方面所特別采用的各种变换器和仪器，并对用于动力及工业方面的遙測系統作了說明。在叙述中，主要注意的是測量装置。通信道和无綫电遙測在本书里几乎没有讲到，因为这些是很广的独立領域，应另由专书讲述。

本书內各項材料的讲解方法是这样确定的，就是要使学生们对于遙測学課程大綱內所定各章能够独立地进行研究。

为了能够掌握本书所讲的东西，应当具有基础技术課及电工技术課方面的知識，同时还应当了解应用电子学、脉冲技术、电磁机构、继电器和自动調节原理。

B.O. 阿魯丘 諾夫教授提供了一些資料，书內已經采用，作者謹在此表示感謝。B.B. 席杰耳尼可夫、Л.С. 舒卡耶夫和B.Д. 阿布洛索維奇等在評閱本书手稿时，提出了若干意見，作者在此一并致謝。

由于遙測是一个相当新穎的領域，还有一系列的理論問題尚未彻底闡明，并且遙測装置又是在不断地改进，所以在編写本书时，感到了很大的困难。作者意識到，书內不可能沒有許多缺点，如果教师、同学及其他方面的讀者能够提出意見，作者非常感謝。通信处是：列宁格勒 Ленинград, Марсово поле, 1, Л. О. Госэнергоиздата。

书內第九章第52节是E.И. 謝明諾夫編写的，第53节是B.И. 斯杰潘諾夫編写的。

作 者

目 录

緒言	4
第一章 遙測总論	9
§1. 基本概念和定义	9
§2. 遙測裝置的分类	10
§3. 对遙測裝置的一般要求和裝置的特性	11
§4. 遙測裝置的誤差	12
§5. 接收儀器的讀数建立時間	16
§6. 被測的量的总和	20
第二章 无补偿电流系統	23
§7. 概述	23
§8. 电流和电压的遙測整流系統	24
§9. 功率遙測整流系統	29
§10. 感应式整流系統	33
§11. 感应式整流系統中的过渡过程	40
§12. 采用电阻轉換器的系統	42
§13. 发电机系統	49
§14. “遙瓦”系統中的过渡过程	51
§15. 通信綫参数变化所引起的誤差	53
第三章 补偿式电流系統和电压系統	56
§16. 概述	56
§17. 通信綫电流的有差調节系統	58
§18. 通信綫电流的无差調节系統	65
§19. 振荡系統	67
§20. 电压系統	70
§21. 补偿系統中的过渡过程	74
§22. 通信綫参数变化所引起的誤差	77
第四章 电流和电压比率計系統	79
§23. 概述	79
§24. 电流比率計系統	80
§25. 交流电桥系統	85
§26. 感应式平衡系統	89
§27. 自同步机系統	91

§28. 磁同步机	95
第五章 脉冲频率系统	97
§29. 概述	97
§30. 被测量值的电流脉冲转换器	98
§31. 接收装置——脉冲频率计	105
§32. 被测的量的总和	113
第六章 交流频率系统	116
§33. 概述	116
§34. 略論通信綫頻率調节系数的选择	118
§35. 频率系统所用 RC 电路的基本原理	119
§36. 电容转换器和 RC 振荡器的特性	123
§37. 接有电容转换器的声频系统	129
§38. 接有电容转换器的低声频系统	139
§39. 接有电感转换器与互感转换器的系统	144
第七章 时间系统	151
§40. 概述	151
§41. 长周期系统	154
§42. 短周期系统	160
§43. 相位系统	169
第八章 数字系统	171
§44. 概述	171
§45. 基本方法誤差	174
§46. 积分仪器讀数的远距离傳送(远距离計数)	176
§47. 脉冲編碼系統. 电碼	179
§48. 脉冲編碼系統. 发送裝置的組成原理	182
§49. 脉冲編碼系統. 接收裝置的組成原理	188
第九章 多路遙測	192
§50. 概述	192
§51. 頻分割系統	193
§52. 时分割循环式幅度系統	203
§53. 时分割循环式頻率系統	209
§54. 时分割循环式時間系統	218
§55. 时分割循环式編碼系統	221
参考文献	226

緒 言

由于十九世紀电工技术的发展,要求将作用或信号傳送到一定距离以外的各种不同的問題也利用电工技术来解决,还作成了各式各样的电气测量仪表,于是就出現了电气测量技术的这样一个領域——遙測学。

在十九世紀的后半期,杰出的俄国工程师与发明家們作成了各种仪表和装置,使得可以在相当远的距离以外进行各項不同的測量。

例如在60年代〔参考文献1〕,B.Φ.彼得魯舍夫斯基研究出了电气測距设备——火炮測距裝置的讀数的“檢流計发送器”。在这項研究中,采用了由B.C.雅可比提出并在电报方面实现了的同步通信的想法。

1876年,Φ.Φ.弗朗格里和И.М.紀可夫〔参考文献1〕在銀谷耳河上設置了水位遙測裝置。該裝置的原理綫路如图1所示。水

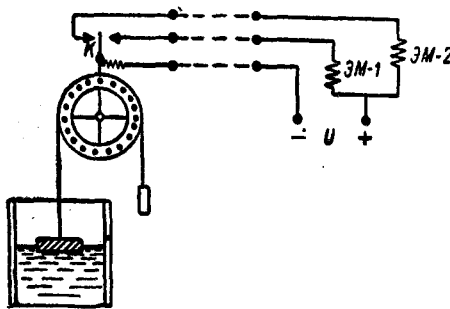


图1 測量水位脉冲数字遙測系統的原理图

位用浮子来測量,浮子升降时,帶动了具有許多銷釘的圓輪。随着圓輪轉动方向的不同,銷釘便接通着不同的接触点,因而在电磁鉄綫圈 $\Theta M-1$ 或 $\Theta M-2$ 中就有电流脉冲产生。每当一个脉冲通过时,电磁鉄

便将附有笔尖的銜鉄吸合一次,从而在移动着的紙条上記下一点。根据記下点子的数目,便可判断水位的变化情况,因为其中若干点子是对应于水位的上升,另一些点子則对应于水位的下

降。这样一来， $\Phi.\Phi.$ 弗朗格里和 $\Pi.M.$ 紀可夫就作成了脉冲数字遙測系統。

1906年，B.B. 郭立村院士〔参考文献 1〕作成了用来記錄振动和加速度的許多地震仪器。这些仪器曾安装于布耳可夫地震記錄站，并且进行过試驗。在 B.B. 郭立村的仪器內，采用了遙測系統中的新的重要元件——机械量感性变换器和磁电式記錄器（用光学方法在接收端記錄所測的量）。B.B. 郭立村的地震仪器原理图示于图 2。

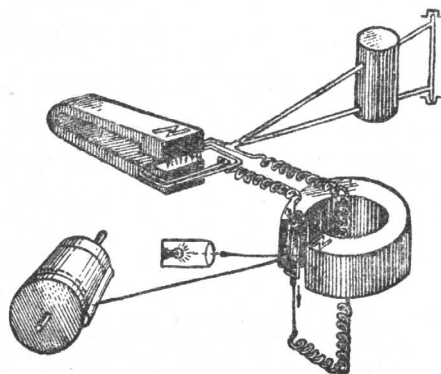


图 2 地震仪器的原理图

在十九世紀末和二十世紀初期，其他国家的許多学者和发明家作成了各种不同的遙測装置，并且获得了专利权。例如1890年 M.E. 湯姆逊获得了热电式瓦特計的专利权，这种仪器后来被用于功率遙測。1904年，T. 董康提出了用于功率遙測的“发电机轉換器”（“遙瓦計”系統）。

在1912~1914年間，作成了用于巴拿馬运河水位遙測的具有接触式自同步器的同步随动系統。

1918年，德国研究出用来傳送測热器讀数的具有电阻变换器的遙測系統。

除了上面所举出的在俄国和其他国家制造初期遙測装置的例子以外，在电工技术的各个不同領域內，許多工程师和科学家还有大量的发明，給各种遙測装置的創制与应用創造了先决条件。

俄国科学家 A.C. 波波夫发现了无线电，并且制成了无线电报，这就使得遙测技术的最重要领域之一——无线电遙测有了发展的可能。

俄国的科学家们在电气测量技术方面，虽然有了许多卓越的发明，并且制成了各种新颖的遙测装置，可是在革命前的俄国，电气测量和遙测方面的仪器与装置，实际上并没有进行生产。伟大的十月社会主义革命为国民经济各部门的全面发展奠定了基础。电站的建设、大功率动力系统的形成、广大的煤气网的建立、工业和运输等的发展、集中控制与管理的实行，都给遙测提出了新的任务。另一方面，技术水平的提高及仪器制造工业的发展，又为新任务的顺利解决创造了必要的前提。

1926年，莫斯科动力系统建立了第一座调度站。莫斯科动力系统调度站以及后来的其他动力系统调度站的建立，要求必须研究出进行动力遙测的遙测设备，以便测量各发电站有功功率与无功功率的总和，动力系统内各点的电压、电流和频率，发电站锅炉的蒸汽压力和水庫内的水位。

在已经建立起来的科学研究所和专门实验室内，已经开始了用于动力系统与工业企业的遙测设备的研究工作。在30年代，在遙测设备的研究方面，起主导作用的是以列宁命名的全苏电工研究所、电气测量专门实验室、远动学研究所、高温测量研究所和一些大型动力系统（莫斯科动力系统及列宁格勒动力系统等的）实验室。

在1932~1933年间，以列宁命名的全苏电工研究所研究出了对电流和电压进行遙测的采用氧化铜整流器的整流系统。在该系统内实现了独创的温度补偿。在这几年中，全苏电工研究所和远动学研究所还装成了光补偿遙测系统。

在30年代初期，专门测量实验室作成了新颖的光脉冲系统。这种系统，曾制造了一小批，供给列宁格勒以及苏联的其他一些动力系统使用。在这段时间内，专门测量实验室还研究出用来遙测总和功率、电流及电压的具有电子管的整流系统。专门测量实验室和列宁格勒动力系统的工作人员还集体进行了将同时傳送数

个量的多路遙測应用于使用条件下的初步試驗。

远动学研究所作成了新穎的短周期脉冲時間系統和整流瓦特計。脉冲時間系統的进一步研究工作，是在远动及自动裝置試制工厂进行的。該厂进行了此种系統和整流系統的生产准备。

在30年代，很多大型动力系統都建立了遙測實驗室，在这些實驗室中进行了各种遙測設備的研究工作，并在使用条件下作了試驗〔莫斯科动力系統的中央實驗室与實驗工厂，列宁格勒动力系統的自动远动科，等等〕。

从1933年开始，在高等学校里，就給自动学和远动学及电气測量技术专业方面的学生开了一門专业課——遙測学。

若干高等学校——荣膺列宁勛章的莫斯科动力学院、以加里宁命名的列宁格勒工业学院、以烏里揚諾夫(列宁)命名的列宁格勒电工学院——已經完成了遙測方面的一些理論工作：系統由于通信綫参数变化而产生誤差的原理，被測的量的数值总和原理，接收仪器阻尼時間的計算，等等。

在1941~1945年的偉大卫国战争結束以后，根据关于第四个五年計劃的規定，广泛地开展了生产过程自动化与远动化的工作。

从1949年起，“电力盘”工厂就开始生产整流遙測系統，感性整流遙測系統和頻率遙測系統。“电力盘”工厂組織了遙測設備的成批生产，这是动力系統远动化方面的一件大事。

在战后时期，在动力系統及工业企业的遙測方面，許多单位都开展了科学研究工作。这些单位是：苏联科学院自动学及远动学研究所、苏联电站部中央科学研究實驗室、組織地区国营电站及其經營合理化的托拉斯、“电力盘”工厂的批量生产設計处、莫斯科动力学院及列宁格勒电工学院的教研組、俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国公用事业研究院、乌克兰苏維埃社会主义共和国科学院电工研究所，还有其他許多研究部門。

1948年，全苏动力科学技术协会与苏联电站部中央聯絡处及技术司联合召开了一次會議；苏联科学院自动学及远动学研究所在1952和1954年先后召开了两次关于动力系統及工业企业远

动化的会议；一些有关书籍〔参考文献 2，3，4〕以及苏联和其他国家有关遙测的著作先后出版——所有这一切，在遙测学的科学研究工作协作方面，在用于生产的遙测设备选择方面，均起了极为重大的作用。

第一章 遙測總論

§1. 基本概念和定义

遙測是电气測量技術的一個部門，是指隔開一定距離進行測量。採用电量及非電量的普通電測法時，不可能把讀數儀器或記錄儀器放在離開測量地點相當遠的地方，這是因為連接綫受到溫度或其他因素的作用，絕緣和電阻要發生變化，從而會引起相當大的誤差。此外，在很多情況下，例如測量電路中的功率和能量時，需用相當多的連接綫。有時，連接綫內會產生很大的損失，因而需要大大增加與儀器連接的導綫的截面積。讀數儀器與測量地點之間實際上可能相隔的距離，通常不超過數十米，在某些場合下，也不超過數百米。

遙測具有完全明確的目的，就是要保證能夠在離開測量地點相當遠的地方，對電量和非電量進行測量。從技術上來說，這個問題是已經解決了的，就是利用測量轉換器將被測的量轉變為另一個便於按通信道傳送的量。通信道是為了將電氣信號傳送到相當距離以外所需技術手段的總稱，例如架空通信綫、電纜綫、有綫頻道、無線電頻道等等。這樣，進行遙測時，就是將被測的電量或非電量轉變為另一個量，沿通信道傳送至收信站進行測量。將被測的量進行轉變時，有一個終極目的，就是要將由於通信道參數變化而產生的附加誤差徹底消除，或減少到微不足道的程度。

遙測的這樣一個定義的本身，就着重說明了遙測與其它測量的區別。進行其它測量時，也廣泛採用着變換方法，將被測的量變換為另外的量，例如非電量的電測法就是如此。

有時，不用遙測，而是將測量地點的儀器讀數傳送出去，還會更方便一些。這個過程叫做測量儀器的讀數的遠距離傳送。儀器讀數的遠距離傳送，實質上是遙測的一個特殊情況，這就是測量機構轉動部分的轉角遙測。

从遙測的定义可以看出，遙測裝置的綜合結構圖可以是如图3所示。应当指出，測量轉換器可能有好几个；在測量轉換器与通信道之間还可能接入一些輔助裝置、放大器、继电器等。接收裝置通常就是参数轉換器，将由通信道傳来的参数轉換为直流电流，然后用仪器进行測量。在有些情况下，采用别的指示裝置或記錄裝置。至于如何选择或装配这类裝置，則視遙測裝置的作用原理、工作条件及对其所提出的要求而定（例如用示波器記錄被測的量的数值等等）。



图3 遙測裝置的綜合結構圖

接收裝置可能包括放大器、濾波器或其他輔助裝置。在某些特殊情況下，讀數儀器或記錄儀器系直接与通信綫联接在一起。

§2. 遙測裝置的分类

遙測裝置可以依据不同的特征来分类：

- 1)按参数分类——被測的量的数值就是以这种参数的形式而由通信道傳送；
- 2)按作用原理分类；
- 3)按被測的量的种类分类；
- 4)按作用距离分类等等。

由于对遙測裝置的要求不同，遙測裝置的工作条件不同，从而裝置本身也就各不相同，于是便可以同时进行几种不同的分类。

遙測裝置的主要分类是按参数进行的分类（被測的量的数值就是以这种参数的形式而由通信道傳送）。如果把这个参数作为分类的基础，則所有已知的遙測裝置均可分为下列几类或下列几种系統：

1. 电流和电压系統。其特点是通信綫中的电流值（电流系統）

或加于通信綫的电压值(电压系統)是随着被測的量的大小而变化。在电流系統中,收信站的电流用磁电式仪器測量;在电压系統中,收信站的电压用实际上沒有功率消耗的仪器来測量,例如用自动电位計(补偿器)測量。

2. 电流和电压比率計系統。其特点是在收信站測得的通信綫內的电流比例或电压比例随着被測的量的大小而变化。

3. 頻率系統。在这种系統中,通信道的电流脉冲頻率(脉冲頻率系統)或者交流电流的頻率(交流頻率系統)随着被測的量的大小而变化。

4. 時間系統。其特点是通信道內脉冲的寬度或脉冲間隔的寬度(脉冲時間系統),或者脉冲寬度与信号周期的比值(脉冲時間比率計系統),或者两个电流或电压之間的相位角(相位系統)是随着被測的量的大小而变化。

5. 数字系統。在这类系統中,通信道內的电流脉冲数目(脉冲数字系統)或者不同性质的脉冲的組合(脉冲編碼系統)是随着被測的量的大小而变化。

如将遙測裝置按作用距离分类,則最好分成两类:近程系統——用于有綫通信道的工作(架空通信綫及电綫綫);远程系統——一般是采用“远程通信”道,例如頻率通道。

近程系統在运用电綫通信綫时,作用距离实际上不超过20~25公里,虽在个别情况下,作用距离可以大大增加(采用截面积极相当大的电綫通信綫或第三章所述的补偿系統)。采用架空通信綫时,由于受到近程系統漏电流的强烈影响,作用距离不大于7~10公里。

利用电流或电压以傳送被測的量的数值的系統(前述分类法中的前两类)属于近程系統,其余的属于远程系統。

按照被測的量的性质,可以将遙測裝置分为遙測安培計、遙測伏特計、遙測压力計等等。

§3. 对遙測裝置的一般要求和裝置的特性

实践对于遙測裝置提出了一系列的要求。基本要求是被測的

量必須用規定的單位來讀數，並且儀器的讀數應當有足夠的精確度，不能隨外界因素——儀器安裝地點及通信綫的溫度、輔助電源的電壓及頻率的变化等等——而变化。遙測裝置的精確度（與其他任何測量裝置及儀表的精確度一樣）和外界因素影響的程度，由相應的誤差數值來表示。

在遙測裝置中，由於一些單個環節具有慣性，所以在被測量的數值發生變化以後，整個系統的過渡過程的時間可能是相當長的。遙測裝置的過渡過程的時間最好能盡量地小，因為只有在過渡過程結束以後，才可能對被測的量進行讀數。最後還應指出，在一般要求中，還有這樣一些要求：常常要求能將被測的量的數值記錄下來，能對各個量的總和數值進行遙測，能夠多次地使用通信綫路，設備的維護簡單，比較易於損壞的部分（例如電子管）可以更換而無須將儀器進行重新刻度。

由於對遙測裝置有着各種各樣不同的要求以及裝置的工作條件也彼此各異，便制成了大量的結構不同的裝置。

目前在遙測裝置方面，還沒有與電氣測量儀表相彷彿的國家標準。不過在按照精確度、誤差確定法、阻尼時間及其他特性等而將遙測裝置進行分類的問題上，很可以參照電氣測量儀表的國家標準中所載的標準和定義。

§4. 遙測裝置的誤差

遙測裝置的誤差是裝置的一項主要特性，確定着收信站的儀器讀數與被測的量的真實數值接近的程度。

電氣測量技術中所採用的誤差的定義與分類，也可以應用於遙測。

遙測的絕對誤差指的是收信站儀器的讀數與被測的量的真實值之間的差值。遙測的相對誤差，是絕對誤差與被測的量的真實值之比，此比值通常用百分數表示。遙測儀器則通常是用折算誤差來說明。折算誤差是絕對誤差與被測的量在指示儀器度盤上的極限值之比，通常也是用百分數表示。

將測量儀器的讀數作遠距離傳送時，採用“遙送誤差”這樣一

个特性是比较方便的。此项误差也可以分为绝对的、相对的和折算的。确定遙送误差时，是将接收仪器的讀数与发送仪器（其指针位置为傳送的对象）的讀数进行比较——这时并不考虑初始测量仪器給遙测引入的误差。从上述定义可以看出，遙测误差等于遙送误差与初始测量仪器（傳送的即是此仪器的讀数）的误差的代数和。

应当把遙测装置的基本误差与附加误差区别开来。基本误差指的是一切外界因素为恆定值（額定值）时（仪器的定度即是在这种情况下进行的），遙测装置的误差。产生遙测的基本误差的原因，是装置中各单个部件的结构不够完善，例如活动部分的支承处有摩擦，同时还有仪器的装配、調整及定度不够精細，也就是工艺上的原因。附加误差则是由于某些外界因素的变化而引起的误差。遙测仪器的具有特征性的附加误差，是由于通信道参数变化所产生的误差、輔助电源的电压和頻率发生变化而引起的误差、温度误差等等。

遙测的合成误差（或称使用误差，就是在遙测装置的使用过程中所观察到的误差），是遙测装置的基本误差与全部附加误差的代数和。使用误差中所包含的各项误差的大小和符号可能是各不相同的，同时在相当大的程度上具有偶然的性质，因为发送部分和接收部分是安装在不同的地点，有时彼此相隔很远，而且装置中各个部分的工作条件也可能很不相同。

有如遙测的定义以及綜合結構图所指出的那样，遙测装置是由一系列的单个环节所組成的，其中有轉換器，有放大器和其它元件。具有重要意义的，是結構复杂的测量装置的误差計算方法以及由各单个环节給这种测量装置引入的误差的减小或全部消除的方法。

举个例子，假定遙测装置的发送部分的结构有如图4所示的情况。图中 Π_1 ， Π_2 ， Π_3 ——轉換器， x ——

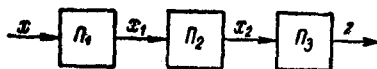


图4 无反饋的发送装置結構图

被测的量， x_1 、 x_2 ——中間参数， z ——輸出参数。

假定轉換特性是直綫性的，則得：

$$x_1 = k_1 x; \quad x_2 = k_2 x_1; \quad z = k_3 x_2. \quad (1)$$

式中 k_1, k_2, k_3 ——轉換系数。

从式(1)可得：

$$z = k_1 k_2 k_3 x. \quad (2)$$

倘若受到某些因素的影响，轉換系数 k_1 、 k_2 和 k_3 发生了变化，其变化量分别为 $\pm \Delta k_1$ 、 $\pm \Delta k_2$ 及 $\pm \Delta k_3$ ，并将二阶及三阶小量略去不計，則参数 z 的相对誤差可由下式表示：

$$\frac{\Delta z}{z} = \pm \frac{\Delta k_1}{k_1} \pm \frac{\Delta k_2}{k_2} \pm \frac{\Delta k_3}{k_3}. \quad (3)$$

从式(3)可以看出，参数 z 的相对誤差等于各单个环节的誤差的代数和。

减少遙測装置的使用誤差，可能有两个途径：减少各单个环节的誤差和加入負反饋。具有負反饋的遙測发送装置的结构图如图5所示。图中的 $\Pi_{\text{о.с.}}$ 是反饋網路轉換器，其轉換系数为 $k_{\text{о.с.}}$ 。这类装置有两种原理上的不同情况，应当区别开来。其中之一是，当輸入量 x 与反饋網路轉換器的輸出量 x' (其量綱与 x 同) 相等时，遙測装置达到静态平衡。这样的測量装置叫做带全补偿的补偿装置，或者叫做具有負反饋与无差特性的装置。欲作成这种装置，应在装置中接入积分环节，例如接入可控的可逆的并与某个轉換器連接在一起的电动机等等。

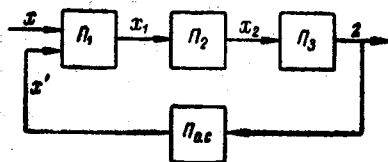


图5 具有反饋的发送装置結構图

另一种情况是，当两个量 x 与 x' 之間有一定的差值时，測量装置达到静态平衡，此差值是为了保持静态平衡所必須的。这样的測量

装置叫做非全补偿的补偿装置，或者叫做具有負反饋与有差特性的装置。

現在我們来研究一下补偿系統中轉換系数不稳定对于系統的誤差大小的影响以及补偿系統的特征性誤差。对于具有无差特性