

621.398: 621.311
高等学校交流讲义

电力系统自动化及远动化

下 册

清华大学发电厂及电力系统自动化教研组编

只限学校内部使用



12

中国工业出版社

10921

52.L70

本书分上下两册，上册为自动化部分，下册为运动化部分。

下册主要介绍电力系统遙測量測、遙远控制及遙远訊号的基本理論，以及常用的遙測裝置、遙控-遙訊裝置的工作原理，并对实现运动訊号傳遞的各种通道作了簡單介紹。

参加下册編写的有下列同志：王維儉(第一、二、三、四章)、許佩芬(第五章及第六章的一部分)、李振然(第七章及第六章的一部分)、徐继遙(第八章)。最后由顧廉楚、王世鏗两同志負責校訂工作。

电力系统自动化及远动化

下 册

清华大学发电厂及电力系统自动化教研組編

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南街房)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙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 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $8\frac{1}{2}$ ·字数204,000

1961年12月北京第一版·1962年6月北京第二次印刷

印数2,251—6,310·定价(10-6)1.05元

*

統一书号：K15165·1295(水电-245)

目 录

緒 論	3
第一章 遙測量測的一般問題	7
§1-1 基本概念和定义	7
§1-2 遙測系統的分类	7
§1-3 对遙測裝置的一般技术要求	8
§1-4 遙測裝置的誤差問題	10
§1-5 被測量的相加	12
第二章 近作用式非平衡遙測系統	17
§2-1 概述	17
§2-2 整流制电压和电流遙測系統	17
§2-3 整流制功率遙測系統	19
§2-4 感应-整流制遙測系統	21
§2-5 电阻变换器制遙測系統	23
§2-6 通訊綫路参数变化的影响	25
第三章 脉冲頻率制遙測系統	27
§3-1 概述	27
§3-2 JZ-1型发送裝置	28
§3-3 JZ-2型接收裝置	34
第四章 远作用式遙測系統的綜述	37
§4-1 脉冲時間制遙測系統	37
§4-2 脉冲数目制遙測系統和脉冲电碼制遙測系統	39
§4-3 交流頻率制遙測系統	43
第五章 遙控遙訊的基本方法	51
§5-1 概述	51
§5-2 脉冲特征	51
§5-3 選擇方法	53
§5-4 成組選擇法(选組選擇法)	61
第六章 遙控遙訊裝置的基本元件和基本环节	64
§6-1 概述	64
§6-2 电话继电器	65
§6-3 分配器	70
§6-4 脉冲发生器	78
§6-5 綫路环节	84
§6-6 脉冲特征的形成和接收	85
§6-7 起動环节	90
§6-8 执行环节	91
§6-9 保护环节	93

第七章 遙控遙訊裝置	95
§7-1 GYK型遙控遙訊裝置	95
§7-2 无触点遙控遙訊裝置工作原理簡述	106
第八章 通道	110
§8-1 概述	110
§8-2 調制的基本概念和应用	113
§8-3 有綫通道	117
§8-4 脉冲在通道中的畸变	124
§8-5 电力綫載波通道	129
§8-6 电力載波通道的衰耗	133
§8-7 无綫电通道	135

緒 論

1. 动力系統的調度管理和运动化

随着电力工业的发展,把各个发电厂、变电站联結成电力系统,并进而把較小的系統联結成联合电力系统,已成为目前电力工业的发展趋向。联合电力系统無論在充分利用动力資源,减少系統总的后备容量方面,或者在提高供电可靠性和运行經濟性方面均显示出很大的优越性。

电力生产过程具有一系列的特点,例如生产过程的連續性,系統中各元件的彼此紧密联系,电气过程的迅速性,以及它和国民經济各部門有着密切关系等等。对这样一个复杂部門的运行管理必然提出較高的要求。首先必須建立起統一的調度指揮,設置調度机构和專門的調度人員,再輔以必要的調度設備,来統一領導全系統的运行。只有这样,才能充分發揮动力系統的优点,保證系統运行的可靠性、經濟性和良好的电能质量。

动力系統的調度管理机构視系統容量及規模而定,一般分单級調度和多級調度两种:

单級調度机构(图0-1)适用于容量小、結綫简单的电力系统,系統內所有发电厂、变电站的設備都由調度所直接管理。

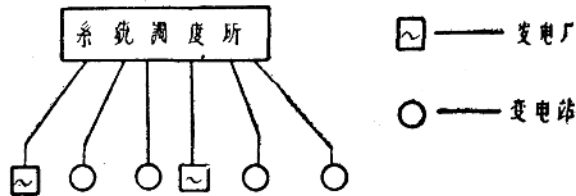


图 0-1 单級調度管理組織机构图

多級調度管理机构(图0-2)应用于系統容量大,发电厂、变电站数目多,网络結綫复杂的系統。根据系統容量的大小决定調度級数,例如分为地区調度所、中央調度所及联合調度局,有时还設置基地調度站一級来管理无人值班(或无經常值班人員)的变电站或小容量的遙控水电站。

联合調度局管理联合电力系統的运行,同时还管理巨型发电厂和系統聯絡綫的工作,对具有联合系統意义的巨型变电站进行指导性管理。中央調度所管理电力系統的运行,以及各地区調度所之間的協調工作,同时还管理具有系統意义的发电厂的工作和对具有系統意义的变电站进行指导性管理。地区調度所管理地区网络的运行及領導各基地調度站进行工作。

如前所述,近代大型的动力系統具有数量很多的发电厂、变电站,結綫方式复杂,而其結構又有很大的分散性。因此,对大型动力系統采用電話通訊方式很难完成調度管理任务。因为这种方法不能保證迅速地傳送消息,而且有时不能保證傳送消息的正确

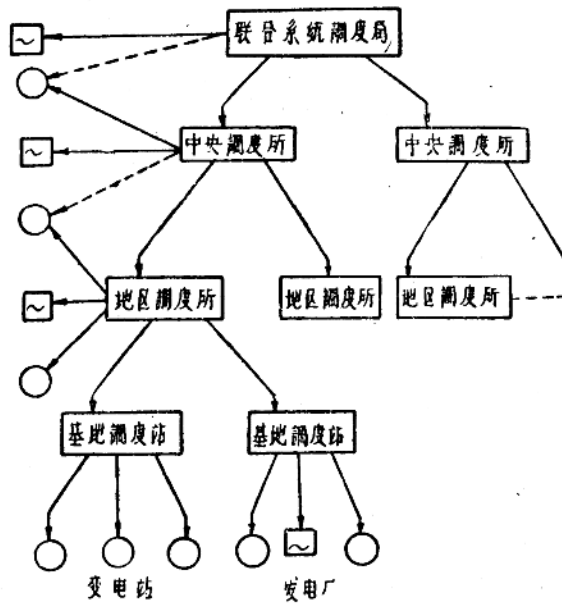


图 0-2 多級調度管理組織機構圖

性。例如在確定動力系統總負荷時，調度員用電話收集數據大約需要 20~30 分鐘時間（視系統容量、發電廠數目而定），以這樣慢的速度取得數據，又以較慢的速度採取決定，顯然就失去了調度時效，影響供電質量及經濟性。尤其在系統事故情況下，用電話不能同時把情況報導給調度員，調度員對全面情況不了解，也可能調度員領會錯誤，就可能拖延了清除事故的時間，甚至調度員可能作出錯誤的決定，降低了系統運行的可靠性。因此，動力系統的調度管理就必須採用現代科學中的自動化和遠動化技術。實現遠動化後，調度員能直接監視系統運行中的主要參數（電壓、頻率、功率、發電廠間的負荷分配），以及系統中主要機組的運行情況及重要斷路器的投入情況，這樣能提高系統的運行水平和調度的靈活性。

動力系統調度管理遠動化的基本任務是：提高調度管理的靈活性，改善系統運行的經濟性、可靠性和電能質量，在事故情況下縮短清除事故的時間，以防止事故擴大。

動力系統實現遠動化後帶來了很大的經濟效果。這不僅體現在由於調度管理效能的提高而使系統運行的可靠性和經濟性提高了，因而給國民經濟各部門帶來經濟效果，而且當水電站和變電站實現自動化和遠動化後可以無人值班，可以不必建造相應的生活區、辦公樓，可以簡化甚至取消中央控制室，簡化廠站佈置和二級接綫，因此節省了基建投資和運行費用，同時加快了基建速度，提高了勞動生產率。

2. 動力系統遠動化的基本內容

按照遠動裝置在動力系統中所完成的任務，遠動化包括如下的一些內容：

1) 遙遠量測（遙測） 將表示動力系統和發電廠、變電站、輸電綫路工作情況的某些量的數值傳送到一定距離之外的動力系統調度所，這就是遙遠量測。這些被遙測的量包括有功功率和無功功率、電壓、頻率和電流，以及火電廠的過熱蒸汽的壓力和溫度，水電

厂的水位等等。

遙測按照其工作方式的不同，又分为連續遙測和召喚遙測两种。連續遙測是指被測量經常不断地向調度所发送，需要单独占用一路通道。通常只有需要不断監視和記錄的重要参数才采用連續遙測，例如发电厂的总功率，重要輸电綫路的功率，主要电压監視点的电压以及在調度所內直接連續遙測的系統頻率等。但是对于一些不重要的被測量，調度員平时并不需要对它进行監視，只有在系統运行方式改变时或者在事故情況下才需要了解，例如不重要輸电綫路的傳輸功率，某些綫路的无功功率，系統解列以后被解列部分的頻率等等，这些量如果采用連續遙測就显得对通道的利用很不經濟，因此通常是按照調度員的需要进行遙測，也就是所謂召喚遙測方式。在調度員需要了解其数值时，发出一个命令脉冲，使被測量自动地接入通道向調度端发送。这样对一个厂站來說，召喚遙測只需要一路通道。

2) 遙訊(遙訊) 在动力系統中，遙訊是用来自动地傳送系統內主要綫路断路器的位置及其他用途的訊号，并将它們反映在調度所动力系統模拟結綫中的相应訊号标志上，使調度員任何时候能对系統中各主要元件的状态了如指掌。尤其当系統发生事故时，調度員能够及时地掌握所发生的断路器的切换情况。

在动力系統的各級調度中，通常分别采用下列主要的遙訊号：断路器的位置（合閘或跳閘），断路器事故跳閘总訊号，变压器运行状态的有关訊号（如变压器內部故障，过负荷，輕瓦斯动作等），35千伏或6~10千伏电网的接地故障訊号等。

3) 遙远控制(遙控) 在一定距离之外控制被監視設備，例如操作断路器等，使調度員能在系統发生事故时迅速进行必要的切换，以限制事故的扩展和消除它对动力系統工作的影响。此外，遙控还用来启动和停止水电站的水力机組設備，启动备用机組等。

4) 遙远調节(遙調) 系統給定的工作状态是依靠頻率及有功功率的自动調节器和电压及无功功率的自动調节器以及其他的一些自动操作机械来維持的。在某些情況下，例如系統运行方式改变时，有必要改变这些自动裝置的整定值，使系統运行在新的給定工作状态下，这就是遙远調节的任务。遙調的方式是多样的，有連續調整，也有断續調整。

在調整过程中通常是先遙測这些整定值的数值，然后利用遙調裝置按照遙測表計的指示值进行調节，把它調整到所需要的数值。

应当說明，远动化范围的正確选择对系統的运行有很大的影响。范围过小則不足以反应系統的各种运行方式，范围过大則又会造成浪費并将使調度員增加不必要的監視工作量。在确定远动化范围时必须先确定系統調度管理的組織机构。

考虑远动化范围时一般遵循下列原則：

1) 應該尽量优先采用自动裝置，少采用远动裝置。为了實現某一技术任务，如果既可用自动裝置完成也可用远动裝置完成，即使它們的技术經濟指标大致相同，应优先采用自动裝置。因为自动裝置的可靠性高，并可減輕調度員的工作。

2) 首先采用遙远監視(遙測遙訊)。目前，在动力系統的調度管理中，趋向于少用或不用遙控。因为系統中主要厂站、輸电綫路的元件切换的机会是比較少的，且系統中装有許多AIIБ、ABP和AIIП等自动裝置，各主要厂站又都有运行人員，因此遙控的机会不多，但对这些断路器位置的遙訊却十分有用。苏联的运行經驗說明，在大动力系統中首先采用遙訊和遙測是完全必要的。

对于35千伏以下系统的地区变电站，远动化的内容可包括遥控、遥测和遥讯。其内容的选择应根据变电站的具体情况来考虑，可分别采用遥控无人值班，带简单遥讯和遥测的无人值班或在家值班方式。

3)当需要控制发电厂(水电站)出力时，为了减少远动化范围，可采用成组控制和成组调节的自动装置。调度员只要遥控自动装置的整定值便能改变水电站的总功率。

4)在调度所内采用最少数量的遥讯遥测仪表，以免分散调度员的注意力和增加投资。

第一章 遙測量測的一般問題

§1-1 基本概念和定义

为了監視電力系統的運行，通常在發電廠和變電站內裝設各種普通量測儀表，它們指示着本發電廠或本變電站內有關的電量和非電量。在這種情況下，被測端和指示儀表裝置處之間的距離不大，電量的量測就可由電流互感器和電壓互感器用導線直接引到指示儀表處，而非電量的量測通常也是借電的方法進行的。

當電力系統進行集中檢查和控制時，指示儀表裝置處（調度所）和被測端（發電廠或變電站）之間的距離就可長達數百公里甚至更遠。這時，上述的方法就不能採用了，這是由于周圍溫度和其他因素的影響將使通訊線路的電阻和絕緣電導不為恆定，從而引起了量測的不可容許的誤差。此外，為了測量功率或能量等電量，必須敷設許多通訊線路；而且為了減小在這些聯線上的能量損耗，還必須增大它們的截面。因此，從被測端到監視端實際可能的距離一般總在100米以下。

遙測的任務就是要能實現當被測端和監視端相距甚遠的電量和非電量的量測。這個任務是借助于量測變換器將被測量轉換成易于沿通道傳遞的其他輔助量而得到解決的。這裡所指的通道包括：架空綫或電纜綫，在導綫中的頻率信道和無線電波道等。被測量轉換為其他輔助量的最終目的是使由于通道參數改變引起的附加誤差完全消除或使它尽可能減小。

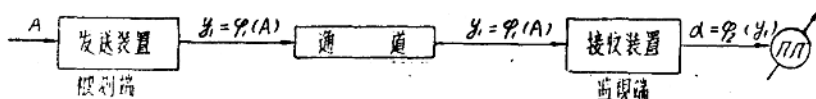


圖 1-1 遙測裝置的結構圖

圖 1-1 為遙測裝置的結構圖。發送裝置、帶有指示儀表或記錄儀表的接收裝置和通道組成遙測系統。發送裝置中除有量測變換器外，還可能有放大器、繼電器和其它輔助裝置；接收裝置中，一般也具有變換器，它是將沿通道傳送過來的輔助量轉換為直流電量而後進入接收儀表，同時也可能包括放大器、濾波器和其它輔助裝置。

在被測端，送入通道的輔助量 y_1 是被測量 A 的函數，即 $y_1 = f_1(A)$ 。若輔助量 y_1 毫無失真地沿通道傳送到監視端，則經接收裝置將輔助量 y_1 反變換後，由接收代表 $\pi\pi$ 指示出的轉角 α 就是輔助量 y_1 的函數，即 $\alpha = f_2(y_1)$ 。因此，接收儀表的指示 α 將是被測量 A 的函數，即 $\alpha = f_2(y_1) = f_2[f_1(A)] = f(A)$ 。

§1-2 遙測系統的分類

根據沿通道傳送的輔助量的特征，可將遙測系統分為兩大類：強度系統和頻率或脈沖系統。

1. 強度系統 這類遙測系統是將被測量變換為直流電壓或電流來進行傳送的。沿通

道傳送的能量强度(即直流电压或电流的大小)是被测量的函数。

通訊綫路参数(电阻和絕緣电导)的变化将引起直流电压或电流大小的改变。因此,这类遙測系統的接收仪表的讀数不可能与通道的状态无关。当傳送的距离很远时,将使遙測誤差达到不能容許的程度。因此,强度系統又称近作用式遙測系統。一般情况下,当采用直徑为0.5毫米的电綫通道时,强度系統遙測的应用范围不超过20~25公里;采用架空綫通道时,不超过7~10公里。

按照被測量变换为直流电压或电流的方法的不同,强度系統又可分为非平衡系統和平衡系統。

非平衡系統中,被測量直接經变换环节而轉換成輔助量;平衡系統中則附加有补偿

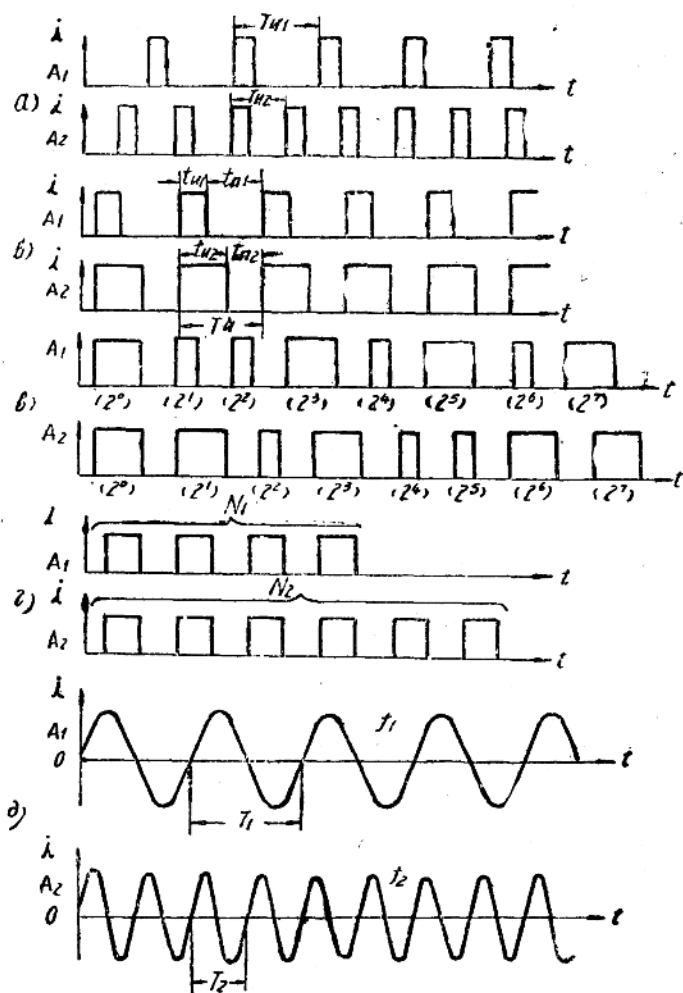


图 1-2 被測量 $A_2 > A_1$ 时, 輔助量的变化特征示意图

а—脉冲頻率制; б—脉冲時間制; в—脉冲電壓制; г—脉冲數目制; ж—交流頻率制。

环节。补偿环节的作用在于不间断地(或周期地)比较辅助量和被测量的大小,并按被测量的变化规律自动地调节辅助量,借助于它可使辅助量仅与被测量有关,而与通常影响辅助量大小的其他许多因素(如通讯线路电阻的变化、辅助电源电势的波动等)无关或关系很小(当上述诸影响因素的变化在某一范围之内时),因而平衡系统的被测量与辅助量是通过补偿环节而自动地调整到准确的给定关系的。这种遥测系统的精确度显然比非平衡系统为高。但是由于它的结构过于复杂,而非平衡系统的量测精确度一般已能满足实际需要,所以平衡系统并未得到广泛采用。

2. 频率或脉冲系统 这类遥测系统是将被测量转换为电流脉冲或可变频率的交流电流来进行传送的,脉冲的特征或交流频率的大小与被测量的大小有关。

由于这类遥测系统的接收仪表的读数与脉冲或交流电流的幅值无关,所以通道参数的变化不致引起遥测的误差,从而它可以进行很远距离(一般可达数百公里以上)的遥测,因此我们又称它为远作用式遥测系统。

根据沿通道传送的辅助量的特征,远作用式遥测系统又可分为以下五种:脉冲频率制、脉冲时间制、脉冲电码制、脉冲数目制、交流频率制。图 1-2 为大小不同的被测量在上述五种遥测系统中所反映的辅助量的变化特征示意图。

§1-3 对遥测装置的一般技术要求

根据不同的遥测对象和不同的工作条件,对遥测装置有不同的技术要求。一般来说,可以有以下几方面:

1. 准确度 这是衡量遥测装置质量的最重要的指标,影响遥测装置基本误差的因素如下:

第一,发送端和接收端变换环节的传送系数的稳定性和接收仪表的准确度,这决定遥测装置静态误差的大小。

第二,遥测装置的动态特性和外部干扰,这决定遥测装置动态误差的大小。

通常在遥测装置的动作速度不太高,通道干扰也不太大的情况下,遥测装置的准确度基本上由静态误差决定。因此,在遥测装置中必须采用稳定性很高的元件来构成变换环节,以保证它的传送系数很少变化。此外,也有另加反馈元件或补偿元件来提高变换环节的稳定性,但这些方法会使整个装置大为复杂,因此最合理的还是采用简单、稳定且无反馈或补偿元件的变换环节。

根据动力系统调度管理的需要,遥测装置基本误差一般不应超过 $\pm 2.5\%$ 。随着遥测目的和对象的不同,对误差的要求也就有差异。

2. 可靠性 就是标志遥测装置能否无故障地连续工作的指标,它和构成元件的耐久性以及元件结构间的相互关系等因素有关。为提高遥测装置的可靠性,就应该选用耐久性高的元件(例如半导体、酒石酸钨钠晶体和具有矩形磁滞回线的磁元件等),在装配过程中应注意焊接质量和元件之间的相互排列,在运行过程中不使元件过负荷。

3. 抗扰度 这是指遥测装置受到外部干扰信号作用时仍能保证装置的可靠动作和保持遥测准确度在给定水平上的能力。遥测装置的抗扰度和通道距离的远近、通道的复杂程度等有关,根据通道的特点提出对遥测装置的抗扰度要求。原则上,在干扰信号影响下,遥测装置不应发生误动作或使准确度降低到不容许的程度。

4. 动作速度 遙測装置的动作速度是指被測量从零变到最大值的一半时, 接收指示仪表到达稳定讀数所需要的时间。它与遙測装置各个环节的慣性亦即经历过渡过程的时间有关。这是遙測装置的一个重要的动态特性指标。动作速度过慢将使監視端的接收指示仪表不能准确地和及时地反映被測量的迅速变化, 然而动作速度的增大会导致抗扰度的降低, 因此不能对动作速度提出片面的过高要求, 一般來說, 接收指示仪表讀数的稳定时间希望不超过 4 秒。

§1-4 遙測装置的誤差問題

遙測装置誤差的定义和分类, 和电工量测技术中相似, 可以归納如下:

1. 绝对誤差——接收指示仪表的讀数和被測量实际值之間的差值。
2. 相对誤差——绝对誤差对被測量实际值的百分比。
3. 傳送誤差——原級指示仪表讀数和接收指示仪表讀数之間的差值。
4. 遙測誤差——傳送誤差和原級指示仪表誤差的代数和。
5. 基本誤差——这是由遙測装置各元件結構不完善所引起的誤差 (例如变换环节不够稳定, 元件可动部分的摩擦, 仪表的装配、調整和刻度不够精密等工艺上的原因)。
6. 附加誤差——这是由外部因素的变化所引起的誤差 (例如通訊綫路参数的变化、輔助电源电压或频率的波动、环境温度的改变等)。
7. 总誤差 (运行誤差)——基本誤差和所有各种附加誤差的代数和。

关于誤差計算的主要方法, 我們將以图 1-3 和图 1-4 作为例子加以說明。

在图 1-3 中, 假定遙測发送装置具有三个变换环节 Π_1 , Π_2 和 Π_3 , 被測量 X 通过这些变换环节而轉換为中間参数 x_1 、 x_2 和輸出参数 z 。当所有变换环节均有綫性变换关系时, 我們可写出下列关系式:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= k_1 x \\ x_2 &= k_2 x_1 \\ z &= k_3 x_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 k_1, k_2, k_3 为各变换环节的变换系数。

由 (1-1) 式可得:

$$z = k_1 k_2 k_3 x \quad (1-2)$$

假若由于某种原因使变换系数 k_1, k_2, k_3 分别发生 $\Delta k_1, \Delta k_2, \Delta k_3$ 的变化, 則輸出参数 z 的绝对誤差将为:

$$\Delta z \approx (k_1 k_3 \Delta k_2 + k_2 k_3 \Delta k_1 + k_1 k_2 \Delta k_3) x \quad (1-3)$$

同时, z 的相对誤差将为:

$$\frac{\Delta z}{z} \approx \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta k_3}{k_3} \quad (1-4)$$

从 (1-4) 式可以看出: 輸出参数 z 的相对誤差为各变换环节相对誤差的代数和。为减小如图 1-3 所示的遙測誤差, 就必须采用稳定度很高的变换环节。

图 1-4 和图 1-3 不同之处在于增加了一个反饋环节 Π_{oc} 。实际上, 有两种不同的反饋方式, 今分別討論它們的誤差計算方法。

1. 具有全补偿 (或无差調节特性) 的遙測装置。这时的发送装置只有在 $x = x'$ (图 1-4)

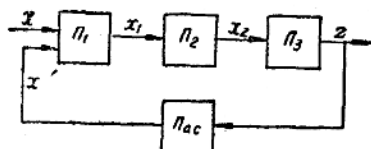


图 1-3 无反饋环节的遙测发送装置的结构图 图 1-4 具有反饋环节的遙测发送装置的结构图

时才达到稳定状态。在这种遙测装置中，一般具有积分元件，例如可逆电动机等。

設 $x' = k_{oc} \cdot z$ ，其中 k_{oc} 为反饋环节的变换系数，則由 $x = x'$ 的条件可得：

$$z = \frac{1}{k_{oc}} \cdot x \quad (1-5)$$

由(1-5)式可知：各变换环节的变换系数的不恒定将不影响輸出参数 z 的大小，也就是說，这种遙测装置的誤差与变换环节的稳定性无关，而仅与反饋环节的稳定性有关。实际上，由于受装置灵敏度的限制，所以整个装置不是在 $x = x'$ 而是在 $x \neq x' \neq \pm \Delta x$ 时达到稳定状态，此时輸出参数将为：

$$z' = \frac{1}{k_{oc}} \cdot (x \pm \Delta x) \quad (1-6)$$

由此得相对誤差为：

$$\frac{z' - z}{z} = \pm \frac{\Delta x}{x} 100\% \quad (1-7)$$

2. 具有非全补偿(或有差調节特性)的遙测装置。对于这种遙测装置将有下列各关系式：

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x - x' \\ x_1 &= k_1 \Delta x \\ x_2 &= k_2 x_1 \\ z &= k_3 x_2 \\ x' &= k_{oc} z \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

由(1-8)各式可解得：

$$z = \frac{k_1 k_2 k_3}{1 + k_1 k_2 k_3 k_{oc}} \cdot x \quad (1-9)$$

显然，任一变换环节或反饋环节的变换系数发生变化时，均将引起遙测誤差。然而，当我们选择各变换环节的变换系数乘积 $k_1 k_2 k_3 \gg 1$ ，則(1-9)式可近似地写作：

$$z \approx \frac{1}{k_{oc}} \cdot x \quad (1-10)$$

这时，和具有全补偿的遙测装置的关系式(1-5)一样了。

为了使誤差計算公式更简单和更便于我們分析装置的特性，在以下討論誤差計算时，我們將引入一个装置的調差系数 k_c 的名詞，它的定义是：

$$k_c = \frac{\Delta x}{x}$$

由(1-8)式可得：

$$\Delta x = x - x' = x - k_{oc} z$$

以 x 除上式兩方，并經移項整理得：

$$z = \frac{1}{k_{oc}} \cdot (1 - k_c) x \quad (1-11)$$

調差系數 k_c 和各環節的變換系數有關，後者的變化勢必導致 k_c 的不恆定，由此而引起遙測誤差。今設 k_c 變化了 Δk_c ，則由 (1-11) 式可得輸出參數的相對誤差為：

$$\frac{\Delta z}{z} = \pm \frac{\Delta k_c}{1 - k_c} 100\% \quad (1-12)$$

由此可見，為減小由於調差系數不恆定而引起的誤差，就應該使 $k_c < 1$ 尽可能小些。然而調差系數也不能選得太小，否則會使裝置的動態特性惡化，即有可能引起裝置動作時的持久性振蕩而破壞其正常工作。

§1-5 被測量的相加

在動力系統運行管理工作中，調度所有必要知道每一發電廠所發出的總功率，此時宜於在發電廠（遙測發送端）將各發電機所發功率先行相加成全廠總功率，然後再變換為輔助量而傳送至調度所（遙測接收端）。為了及時了解動力系統中全部發電廠所發的總功率，就有必要在調度所將由各發電廠傳送來的功率遙測訊號進行相加。由此可見，被測量的相加有在發送端進行的，亦有在接收端進行的，但是不論被測量相加在哪一端進行，它們均須遵守一些共同的原則，現在我們就先來討論這些共同的原則。

設有被測量 $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$ ，它們分別被轉換為相應的輔助量 $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n$ 。在被測量和輔助量之間設有下列函數關係：

$$\begin{aligned} B_1 &= \varphi_1(A_1) \\ B_2 &= \varphi_2(A_2) \\ &\dots\dots\dots \\ B_i &= \varphi_i(A_i) \\ &\dots\dots\dots \\ B_n &= \varphi_n(A_n) \end{aligned}$$

相加之，則有：

$$\sum_{i=1}^n B_i = \sum_{i=1}^n \varphi_i(A_i) \quad (1-13)$$

$$\text{或寫作} \quad \sum_{i=1}^n B_i = \Phi(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n) \quad (1-14)$$

很明显，若要實現正確相加，則“輔助量之和”必須是“被測量之和”的函數，即應有

$$\sum_{i=1}^n B_i = \Phi\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) \quad (1-15)$$

欲使 (1-15) 式成立，必要的條件是：

(1) $B_i = \varphi_i(A_i)$ 必須是綫性函數，即

$$B_i = B_{oi} + k_i A_i$$

(2) 比例系數 k_i 必須全等，即

$$k_1 = k_2 = \dots = k_i, \dots = k_n = k$$

將上兩條件代入 (1-15) 中，可得：

$$\sum_{i=1}^n B_i = B_o + k \sum_{i=1}^n A_i \quad (1-16)$$

式中 $B_0 = \sum_{i=1}^n B_{0i}$ ——各被测量起始值之和；

k ——相加常数。

由(1-16)式可以看出：“辅助量之和”确与“被测量之和”成正比变化，这就说明前述为满足(1-15)式的两个条件是正确的。

由以上分析，可以得出被测量相加所必须共同遵守的一般原则为：

(1) 各相加辅助量的特征必须相同。

(2) 辅助量必须是被测量的线性函数，而且各比例系数 k_i 必须全等。

由于变换环节存在一定的非线性，使辅助量和被测量之间不能是完全的线性关系，同时由于制造和调整等工艺上精密程度不够，这些都将使上述被测量相加的一般原则不能完全满足，从而引起了相加时的附加误差。

下面，我们将根据辅助量的不同，分别讨论被测量相加的几种方法：

1. 电压相加法。此法是将各被测量变换为交流或直流电压后进行相加。当用交流电压相加时，必须要使所有交流电压的相位完全一致。

今以图 1-5 来说明这种相加方法。图中 $HP_1, HP_2, \dots, HP_n$ 表示具有相同变换系数 $k_{n.n}$ 的 n 个变换器，即：

$$\frac{E_1}{P_1} = \frac{E_2}{P_2} = \dots = \frac{E_n}{P_n} = k_{n.n}. \quad (1-17)$$

式中 $E_1, E_2, \dots, E_n$ ——变换器输出端的交流或直流电压；

$P_1, P_2, \dots, P_n$ ——被测量。

令

$$\left. \begin{aligned} \frac{E'_1}{E_1} &= k_1 \\ \frac{E'_2}{E_2} &= k_2 \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{E'_n}{E_n} &= k_n \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

则在：

$$\left. \begin{aligned} E'_1 &= k_1 E_1 = k_1 \cdot k_{n.n} P_1 \\ E'_2 &= k_2 E_2 = k_2 \cdot k_{n.n} P_2 \\ &\dots\dots\dots \\ E'_n &= k_n E_n = k_n \cdot k_{n.n} P_n \end{aligned} \right\} \quad (1-19)$$

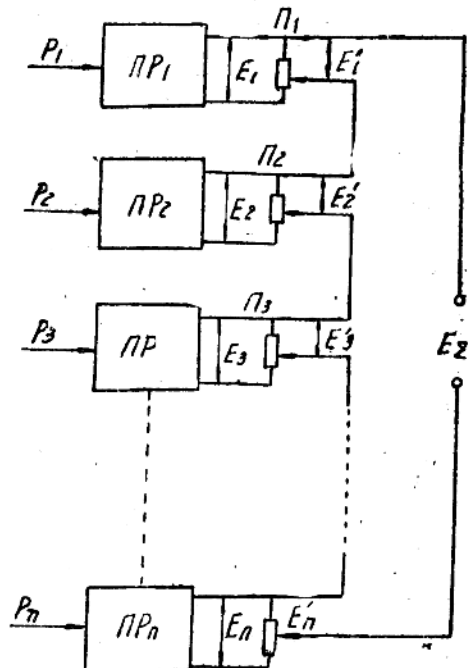


图 1-5 电压相加法的原理图

相加之，可得：

$$\sum_{i=1}^n B'_i = k_{n.n.} \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i \quad (1-20)$$

欲使“輔助量之和”与“被測量之和”成正比变化，即：

$$\sum_{i=1}^n B'_i = k_{n.n.} \cdot k \cdot \sum_{i=1}^n P_i \quad (1-21)$$

則必須具有下述关系：

$$k_1 = k_2 = \dots = k_i = \dots = k_n = k \quad (1-22)$$

(1-22)关系式可借助于調节电位計 $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ 的相应滑动触头来实现。

2. 电流相加法。此法是将各被測量变换为直流电流后进行相加。图 1-6 中各变换器具有綫性变换关系如下：

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= k_1 P_1 \\ i_2 &= k_2 P_2 \\ &\dots\dots\dots \\ i_n &= k_n P_n \end{aligned} \right\} \quad (1-23)$$

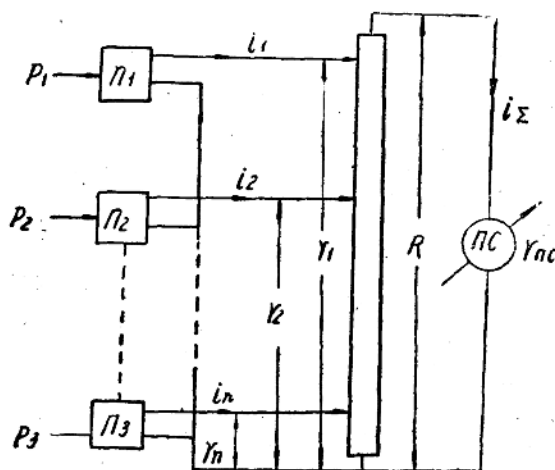


图 1-6 电流相加法的原理图

流入相加仪表 ΠC 的电流 i'_Σ 为下列 n 个电流之和：

$$\left. \begin{aligned} i'_1 &= i_1 \frac{r_1}{R + r_{n.c}} \\ i'_2 &= i_2 \frac{r_2}{R + r_{n.c}} \\ &\dots\dots\dots \\ i'_n &= i_n \frac{r_n}{R + r_{n.c}} \end{aligned} \right\} \quad (1-24)$$

从而有：

$$i'_\Sigma = i'_1 + i'_2 + \dots + i'_n = \frac{1}{R + r_{n.c}} \sum_{i=1}^n r_i i_i \quad (1-25)$$

为了实现正确相加，必须具备下列条件：

$$\frac{\tau_1 i_1}{P_1} = \frac{\tau_2 i_2}{P_2} = \dots = \frac{\tau_n i_n}{P_n} = k' \quad (1-26)$$

因为当以(1-26)式代入(1-25)式时将有：

$$i_2' = \frac{1}{R + r_{n.c.}} \cdot k' \sum_{i=1}^n P_i = k \sum_{i=1}^n P_i \quad (1-27)$$

可见“辅助量之和”确与“被测量之和”成正比变化。

(1-26)式的条件是通过调节诸电阻 $r_1, r_2, \dots, r_n$ 的大小来实现的。

3. 电路参数相加法。此法之实质是将被测量的相加反映为遙测装置电路中参数（电容、电感、互感或电阻）的相加，利用此等参数的变化来改变辅助量的大小。今以交流频率制遙测装置中发送端的电容相加方式为例，说明它的基本原理。

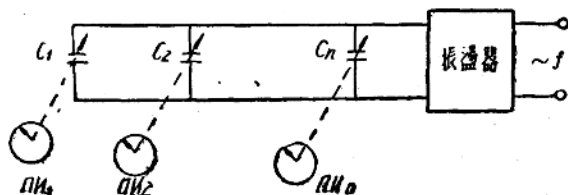


图 1-7 电容相加方式的原理图

图1-7中可变电容 $C_1, C_2, \dots, C_n$ 各与原级仪表 $\text{ПИ}_1, \text{ПИ}_2, \dots, \text{ПИ}_n$ 的转轴机械地相联，电容量 C 和原级仪表转角 α 有以下的线性关系：

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= C_{1 \text{ макс}} - k_1 \alpha_1 \\ C_2 &= C_{2 \text{ макс}} - k_2 \alpha_2 \\ &\dots \dots \dots \\ C_n &= C_{n \text{ макс}} - k_n \alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (1-28)$$

各电容并联之和的总电容为：

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_{i \text{ макс}} - \sum_{i=1}^n k_i \alpha_i \quad (1-29)$$

设原级仪表的转角 α 与被测量 P 成线性关系，即：

$$k_1 \alpha_1 = P_1 \cdot k$$

$$k_2 \alpha_2 = P_2 \cdot k$$

$$\dots \dots \dots$$

$$k_n \alpha_n = P_n \cdot k$$

则有：

$$C_{\Sigma} = C_{\Sigma \text{ макс}} - k \cdot \sum_{i=1}^n P_i \quad (1-30)$$

式中 $C_{\Sigma \text{ макс}} = \sum_{i=1}^n C_{i \text{ макс}}$ ——常数。

由(1-30)式可见总电容是与“被测量之和”成正比变化的；作为辅助量的交流频率是总电容的函数，因此辅助量就反映了“被测量之和”的大小。

4. 转矩相加法。这种相加法可以利用将来瓦特表或瓦时表的读数进行相加。其实