

高压设备的电压和功率自动控制

李福寿 主编



上海交通大学出版社

7M 11
L 23

195420

高压设备的电压和功率自动控制

李福寿 主编



上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书是一本关于高压设备的电压和功率自动控制的专业课教材,着重介绍高压设备自动调节的原理,方法和典型的控制电路。主要内容为:高压设备中的自动调节装置概述;微机测量控制技术基础;用变压器有载分接开关调节系统电压;电力系统无功功率的调节;单相接地电流的自动补偿;高电压试验设备的自动调节器;晶闸管开关及交流电力调整。每章中都有可供参考的应用实例。

本书可作为高电压技术专业和有关专业本科生、研究生40学时左右的选修课或必修课的教材或教学参考书,亦可供从事电力系统科研、设计和运行等方面的工程技术人员参考。

214856



高压设备的电压和功率自动控制

李福寿 主编

上海交通大学出版社·出版

(上海市华山路 1954 号 邮政编码 200030)

新华书店上海发行所·发行

上虞科技外文印刷厂·印刷

开本: 787×1092 (毫米) 1/16 印张: 13.25 字数: 328000

版次: 1996 年 7 月 第 1 版 印次: 1996 年 8 月 第 1 次

印数: 1—1200

ISBN 7-313-01674-3/TM·100

定价: 10.50 元

0 前言

随着电力系统迅速扩大,其中的变电站不断向自动化、无人化、可靠性和综合性方向发展,变电站中的高压设备也必将向高性能和自动化方面不断完善。以电力系统自动电压调整来说,现在分为分散调整和集中调整两种方式。前者是指系统中各中枢点电压由发电厂或变电所各自加以调整,使其不越出给定的电压曲线范围;后者是指由系统控制中心对有关的有功和无功潮流进行遥测,经计算机按规定准则处理发出需要调整的调整量指令,传至有关点的自动调压设施,使其自动进行调整,调整后的运行状况又及时反馈到控制中心。本书阐述的方法是先让读者对电力系统电压和无功功率调整等有全貌概况的认识,然后重点介绍各个有关高压设备如何具体实现自动调节。

全书共7章。第1章是关于高压设备自动调节的概述;因具体控制电路较多应用微机,故第2章介绍微机测量控制技术;第3,4,5章介绍电力系统中具体高压设备的自动调节方法;第6章是高压试验设备自动调节的内容;因各种设备控制常用品闸管作为执行元件,故在本书最后专设了关于晶闸管开关及交流电力调整一章。

本书是在两轮教学实践基础上整理出来的。虽然书中把本单位有关成果总结到有关章节,但较多应用了参考资料中的内容。本校电力系提兆旭先生对本书编写提出过有益意见,在此特向他表示感谢。

本书由李福寿(前言和第1,5,7章)、李锋(第2章)、傅正财(第3,4章)、江秀臣(第6章)分工编写,由李福寿统稿。

由于编者水平有限,书中一定还存在着缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者

1995年5月

目 录

0 前言	1
1 高压设备中的自动调节装置概述	1
1.1 电压和无功功率调整的目标和方法	1
1.2 消弧线圈自动调整的作用	5
1.3 自动调节器的组成	7
1.4 调节依据和调节质量判断	9
1.5 集中自动控制方式	10
2 微机测量控制技术基础	12
2.1 单片机及其系统扩展	12
2.2 单片机与数字信号的接口	38
2.3 单片机与模拟信号的接口	49
2.4 微机系统的抗干扰设计	62
3 用变压器有载分接开关调节系统电压	67
3.1 电网的电压和调压措施	67
3.2 变压器的不同调压方式和调压指标	71
3.3 有载分接开关	78
3.4 有载调压的自动控制系统	99
4 电力系统无功功率的调节	110
4.1 无功功率平衡和无功功率自动调节的必要性	110
4.2 电容器组功率的调节	114
4.3 同步调相机的功率调节	126
4.4 静止补偿器及其调节	128
5 单相接地电流的自动补偿	138
5.1 消弧线圈接地电网的运行状态	138
5.2 消弧线圈的类型	142
5.3 接地电流中容性分量的补偿	148
5.4 接地电流中有功分量和高次谐波分量的补偿	161
5.5 消弧线圈试验和系统电容电流测量	164

6 高电压试验设备的自动调节器	173
6.1 高压工频试验设备输出电压的调节方法.....	173
6.2 直流高压试验设备输出电压的调节.....	180
6.3 冲击电压发生器的自动控制.....	182
7 晶闸管开关及交流电力调整	186
7.1 晶闸管的基本特性和主要参数.....	186
7.2 晶闸管开关工作原理.....	187
7.3 交流电力控制.....	189
7.4 晶闸管触发电路.....	194
7.5 设计晶闸管开关应注意的问题.....	202
参考文献	206

1 高压设备中的自动调节装置概述

1.1 电压和无功功率调整的目标和方法

电压是衡量供电质量的重要指标之一。我国规定的用户供电电压允许变化范围,对 35 kV 及以上电压等级为额定电压的 $\pm 5\%$,而对 10 kV 以下则为 7%。进行电压调整,确保电压质量是运行调度人员的主要任务之一。

电压调整的目标主要有以下四个方面:(1)使枢纽点的电压保持在规定水平,以提高电力系统运行的稳定性;(2)保持供电电压在正常范围内,以提高对用户的供电质量;(3)有效地利用系统的无功电源和调整措施,经济分配无功潮流,以减少网络损耗;(4)在系统发生故障时,采用快速恢复电压的措施,防止电力系统解列。

在交流电力系统中,发电机在提供有功功率的同时也产生无功功率,它是主要的无功功率电源。电能的用户在需要有功功率的同时还需要无功功率,其大小与负荷的功率因数有关。有功功率和无功功率在输电线路和变压器中传输时,会产生有功功率损耗和无功功率损耗,还会产生电压降落。由于高压架空线路和变压器的电抗值远大于电阻值,所以无功功率的损耗比有功功率的损耗大。一般情况下,发电机所产生的无功功率不足以满足负荷的无功需求和系统中无功的损耗,故需无功功率补偿即加装无功功率电源。为了减少有功损失和电压降落,不希望大量的无功功率在网络中流动,加装的无功电源应设在负荷中心,以实现无功功率的就地供应、分区平衡的原则。

在无功功率分层分区就地平衡的条件下,实现电压调整的方法有四种:(1)调整发电机和同步调相机的励磁;(2)调整调压变压器的分接头;(3)投切并联电容器和电抗器;(4)利用静止无功补偿器自动调压。

电力系统中枢点的电压调整对维持整个系统电压质量,保证系统安全稳定运行极为重要。根据电网性质不同,中枢点可采取逆调压、恒调压和顺调压等不同方式。其中逆调压是指高峰负荷时升高中枢点电压,低谷负荷时降低中枢点电压的电压调整方式;顺调压是指高峰负荷时允许中枢点电压略低,低谷负荷时允许中枢点电压略高的电压调整方式;恒调压是指在任何负荷下都保持中枢点电压上下限不变的调压方式。

自动电压调整有分散自动调压和集中自动调压两种类型。电力系统在分散调压的基础上实行集中自动调压是一个新的发展趋势。实行集中调压时,由系统中心调度所随时监视系统中各中枢点电压和无功功率的变动,通过计算机的实时计算,发布调压命令至各发电厂和变电所的调压设备,使系统各中枢点电压偏差和全系统网损都维持在给定范围内。

下面概要地分述一下各种调整电压和无功装置的功能。

1.1.1 发电机调压

在功率不变的情况下,发电机只能在 $\pm 0.05U_n$ 内变化,例如电网额定电压为 6 kV 时,发电

机额定电压为6.3 kV,其电压调整范围为6~6.6 kV,电网额定电压为10 kV时;发电机额定电压为10.5 kV,其电压调整范围为10~11 kV。

±5%的调整范围是不够的,现具体解释如下。每通过一级变压器,就造成电压损失 $\Delta U \approx 0.1$;当通过3~4级变压器时,电压损失达到0.3~0.4。若负荷最大功率为100%和最小功率为40%,则最大负荷时电压降落为 $\sum \Delta U_{\max} \% \approx (30 \sim 40) \%$,而最小负荷时为 $\sum \Delta U_{\min} \% \approx (12 \sim 16) \%$ 。由此可知,负荷处的电压变化范围为

$$\sum \Delta U_{\max} \% - \sum \Delta U_{\min} \% \approx (18 \sim 24) \%$$

这说明发电机调压范围只10%是远远不够的。发电机只作为调压辅助手段,这出于两方面考虑:(1)调压范围不够,(2)很难协调远方和近区用户对电压的要求。

1.1.2 变压器调压

利用发电厂中的升压变压器调压和上述发电机情况一样,不是基本的调压手段,因为同样不能协调近区和远方用户对电压的要求。

调压的基本设备是枢纽变电所的变压器。变压器无载分接头开关一般与变压器高压侧绕组的分接头连接,用其改变高压绕组的匝数,使高压侧与低压侧绕组的匝数比变化,从而改变变压器的变压比。变压器无载分接头开关只适用于调压要求不高的场合。变压器有载调压开关能在带负荷情况下变换分接头位置,从而改变变压比。一般35 kV及以下的线圈调压范围为额定电压的 $\pm 3 \times 2.5 \%$;220 kV的为 $\pm 8 \times 1.5 \%$ 。有载调压开关在切换过程中要同时接通两个分接头,为了限制其循环电流,需装设电抗器或电阻器。因电抗器体积较大、成本高,现大都采用电阻式的。

用切换分接头方法可实现逆调压的调压方式。用图1-1可说明逆调压原理。

从图1-1看出,在变压器变压比为 n 的情况下,低谷负荷时的用户处电压将高于允许值,如

图中上方虚线上的 $U'_{A\min}$ 和 $U'_{B\min}$ 所示,符号 $U'_{\min}$ 和 $U'_{B\min}$ 的下标min表示低谷负荷。改变变压器变压比,就使 $U_{\pm L}$ 发生变化。低谷负荷时提高变压比 n ,使 $U_{\pm L}$ 下降至接近额定电压 U_n ;高峰负荷时降低 n ,使 $U_{\pm L}$ 值上升至接近 $1.05U_n$ 。图中电压符号的下标max表示高峰负荷。

这样,通过改变变压器变压比,可使远区用户(点B)和近区用户(点A)的电压都保持在允许范围内。在这种调压方式下,高峰负荷时电压低,故降低变压比使低压侧电压升高;低谷负荷时电压高,故提高变压比使电压下降。逆调压的名称即由此而来。

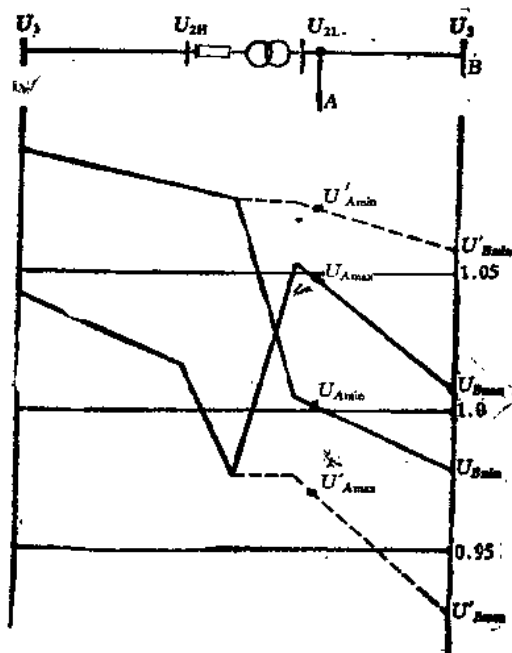


图 1-1 逆调压原理

1.1.3 无功功率补偿装置

线路首末端相电压的关系为

$$\dot{U}_{1ph} = \dot{U}_{2ph} + \dot{I}_{12} Z_{12} \quad (1-1)$$

式中 $\dot{U}_{1ph}$ 和 $\dot{U}_{2ph}$ 分别为线路首末端相电压； I_{12} 为从线路首端流向末端的电流； Z_{12} 为线路阻抗（参见图1-2）。以线电压 U_1 和 U_2 表示的电压降落

$$\dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} \quad (1-2)$$

若电流 I_{12} 由末端的功率 S_{12} 和电压 U_2 表示，即

$$I_{12} = \frac{S_{12}}{\sqrt{3} U_2}, \quad (1-3)$$

则通过有功和无功功率表示的线路上的电压降落

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 - \dot{U}_2 &= \frac{P_{12} - jQ_{12}}{U_2} (r_{12} + jx_{12}) \\ &= \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_2} + j \frac{P_{12}x_{12} - Q_{12}r_{12}}{U_2} \\ &= \Delta U_{12} + j\delta U_{12} \end{aligned} \quad (1-4)$$

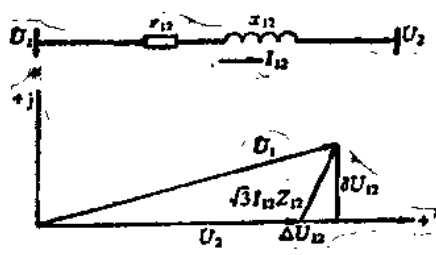


图1-2 线路上的电压降落

首端电压的模

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{12})^2 + \delta U_{12}^2} \quad (1-5)$$

当 δU_{12} 较小时

$$U_1 \approx U_2 + \Delta U_{12}$$

还可改写为

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_2} \quad (1-6)$$

若 U_2 低于允许值，则在末端母线投入同步补偿器或电容器组，其容量为 Q_C ，末端电压可升至允许值 U_{2P} ，

$$U_{2P} = U_1 - \frac{P_{12}r_{12} + (Q_{12} - Q_C)x_{12}}{U_{2P}} \quad (1-7)$$

比较以上二式，得

$$U_{2P} - U_2 = -\frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_{2P}} + \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_2} + \frac{Q_C x_{12}}{U_{2P}}, \quad (1-8)$$

故

$$Q_C = \frac{(U_{2P} - U_2)[U_{2P}U_2 - (P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12})]}{U_2 x_{12}} \quad (1-9)$$

当近似地认为式1-8中前二项基本相等时， Q_C 的近似式变为

$$Q_C = \frac{U_{2P} - U_2}{x_C} U_{2P} \quad (1-10)$$

实际工程计算中，常用式1-10计算 Q_C 。

下面对三种无功功率补偿装置在运行特性、使用范围和维护费用等方面进行比较说明。

A 并联电容器(开关分组投切)

这种装置通过开关投切,实现单向(容性)级差调节,开关投切次数和间隔均受限制。本装置属于静态无功补偿装置,主要用于稳态电压调整和功率因数校正。装置本身不产生谐波,配置成滤波器时能吸收外部谐波。本身的电容和外部的电感可形成谐振回路,设计中要校核谐振条件。本装置容量大小便于调节,设置地点灵活,可将其分散安装在各变电所内及负荷端用电设备侧。这符合无功就地平衡、分级补偿和便于调整的原则。另外,本装置属静止电器,设备简单,单位容量投资低,运行维护要求低,运行费用低。

B 同步调相机

同步调相机的结构基本上与同步电动机相同,也可以说同步调相机是空载的同步电动机。它由直流励磁机供电的励磁磁场和电枢的旋转磁场相互作用而产生转矩,先以感应电动机方式起动,在接近同步转速时,接通励磁,即可进入同步运行。在未接通励磁时,同步调相机吸收无功功率,即电流滞后电压 90° ;接通励磁后,随着励磁电流增大,同步调相机将发出无功功率。定子电流 I_1 与励磁电流 I_f 的关系如图1-3所示。

励磁电流越大,发出的无功功率越大,最大功率受绕组发热限制。容量较大的同步调相机常采用氢气冷却。

综上所述可知,同步调相机是旋转电机,设备较电容器组复杂,但可通过控制励磁系统实现双向(感性或容性)平滑调节。同步调相机属于动态无功补偿,但响应速度受限制(约 $100\sim 400\text{ ms}$),调节效应好,过载能力强;本身不产生谐波,也不能吸收谐波,运行中要防止自励磁。缺点是运行中本身损耗大,运行维护工作量大,单位容量投资大,运行费用大。同步调相机一般多安装在枢纽变电所内。

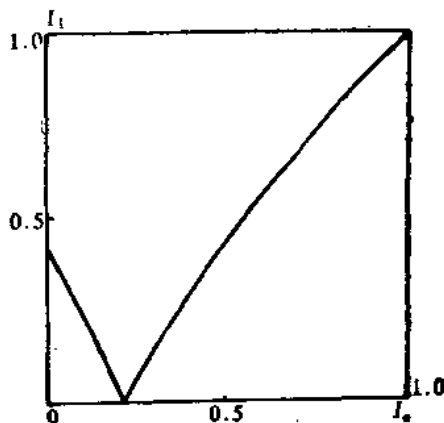


图1-3 同步调相机的V型特性

C 静止无功补偿器

静止无功补偿器由电容器和可调节的电抗器并联组成,可组成不同型式,是静止电器,但设备复杂;能实现双向平滑调节,属于快速动态无功补偿,响应速度快($1.0\sim 20\text{ ms}$);本身产生谐波,电容器支路配置成滤波器,能吸收本身和外部的谐波,设计中要校核谐振条件;运行维护工作要求较高技术水平,单位容量投资大,运行费用较同步调相机少。本补偿器多用于电力系统枢纽变电所、换流站,也用于特殊负荷(如轧机、电弧炉、电气化铁道以及升降机等冲击、快速变化和不平衡负荷)。

1.1.4 串联补偿装置

线路和用户之间串入电容器后, ΔU_{12} 就可减小,式1-6变为

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}(x_{12} - x_0)}{U_2}, \quad (1-11)$$

式中 x_c 为串联电容器容抗。这种补偿线路电压降落的方法称为串联补偿。串联电容器的容抗与线路感抗以百分数表示的比值称为补偿度 C ，即

$$C = \frac{x_c}{x_{l2}} 100\%。 \quad (1-12)$$

一般补偿度不超过50%，补偿度过大，短路电流可能出现容性，会引起某些保护装置误动作。此外，还可能使系统中出现低频的自激振荡或自励磁现象。

串联电容补偿不仅用来调节电压，主要是用来提高送电线路的输送能力。

1.1.5 电压和无功功率的综合调整

电力系统的电压变动大多因无功功率变化引起，适当地调整无功功率，就能抑制电压的变动，同时还能使网损降低。现今，电压和无功功率的调整已不是单从电压或无功功率出发采用个别的调整方法，而向电压和无功功率综合调整的方向发展，这种方法称为 $U-Q$ 调整方法。这是一种利用带有载开关的变压器(简称LRT)、静电电容器(SC)和并联电抗器(SR)等设备进行协调控制的方法。图1-4是 $U-Q$ 调整状态图。横轴为无功功率，纵轴为电压。

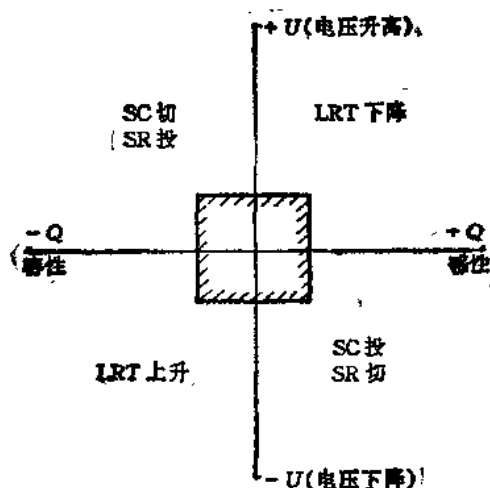


图1-4 $U-Q$ 调整状态图

图1-4中第1象限是调节变压器分接头使电压下降的范围，第2象限是切除SC和投入SR的范围，第3象限是调节变压器分接头使电压上升的范围，第4象限是投入SC和切除SR的范围。

1.2 消弧线圈自动调整的作用

消弧线圈也是一个在运行中需要调节的高压设备。

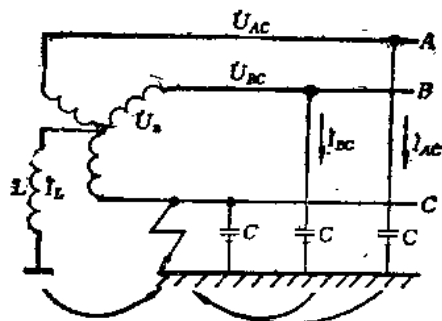
当6~35 kV 电网单相接地电容电流超过规定值时，我国规定需在电网中性点接消弧线圈，见图1-5a。单相接地时，在消弧线圈的作用下可使电弧易于自行熄灭，避免弧光过电压的产生。消弧线有两个功能：

(1) 接地点电流中增加了感性电流，接地电流中的容性电流将被补偿，接地点电流大大

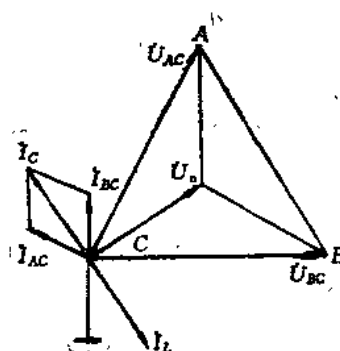
减小；

(2) 电弧熄灭后，故障点对地电位上升速度缓慢。

如图1-5b相量图所示，C相单相接地时，中性点电压上升至 $\dot{U}_n$ 。它和C相电压大小相等，相位相反。A相和B相电压变为线电压 $\dot{U}_{AC}$ 和 $\dot{U}_{BC}$ ，流入接地点的容性电流为 $\dot{I}_{AC}$ 和 $\dot{I}_{BC}$ 。这两个电流分别超前 $\dot{U}_{AC}$ 和 $\dot{U}_{BC}$ 90°，其和超前中性点电压 $\dot{U}_n$ 90°。与此相反，消弧线圈中电流 $\dot{I}_L$ 滞后 $\dot{U}_n$ 90°，其相位与 $\dot{I}_C$ 相反，若两者幅值相等，则接地点中电流全部被抵消。由相量图可知：



(a)



(b)

图1-5 消弧线圈的作用

(a) 电路等值图；(b) 相量图。

$$\begin{cases} I_C = \sqrt{3} \omega C U_{AC} = 3\omega C U_n, \\ I_L = \frac{U_n}{\omega L}. \end{cases} \quad (1-13)$$

为使 $I_C = I_L$ ，则应满足 $\omega L = \frac{1}{3\omega C}$ 的条件。

实际中接地点中还流有高次谐波电流和有功分量电流，称为残流。

电弧熄灭后，故障相电压要恢复到相电压，因消弧线圈电感和线路对地电容之间要进行能量交换，这一过程很缓慢，所以故障相电压从接地时的零电位恢复到正常值所需的时间很长。

传统的消弧线圈具有很多分接头，可适应系统运行方式变更时系统电容电流的增减。普通的消弧线圈只能在无电情况下调换分接头，带电自动调节时须用带有载开关的消弧线圈或可调气隙式以及直流偏磁式消弧线圈。

表1-1是根据某个电业局的统计资料得出的消弧线圈对减少设备损坏的效果。

表 1-1 不同接地方式系统的设备损坏情况

中性点接地方式	引起设备损坏的单相接地与总单相接地次数比	单相接地平均持续时间(h)
不接地	0.26~0.89	0.8~6.1
普通消弧线圈	0.07~0.25	0.14~2.7
自动调接的消弧线圈	0.01~0.16	0.01~1.4

1.3 自动调节器的组成

1.3.1 自动调节系统结构框图

能使被调设备在运行过程中的输出量和给定量维持一致的自动控制方式称为自动调节。一般采用负反馈的方式来实现,如图1-6a所示。该图中 Z 为引起被调设备2的干扰(例如负荷变动), Z 的作用使输出量 y 发生改变。将被调设备输出量与调节器给定的设置量 x 进行比较,若不符合要求,则在测量元件(比较器) M 的输出端出现信号,将其送给调节器执行元件1,使被调设备的输出得到补偿。这种方法的优点是不需要直接测量干扰量,缺点是干扰的补偿需经过一个作用过程,当系统惯性很大时会引起自动调节不稳定。

图1-6b中的3为测量和函数变换元件。干扰量在测得后变换为控制量送给执行元件,其结果是 z 的影响在很大程度上得到补偿,在这种情况下不需测量被调设备的输出量 y 。这种方法优点是速度快,但准确度不高,因干扰中的某些成分可能未被测量出。

图1-6c是上述两种方法的综合。

电力系统高压设备例如变压器变压比调节和无功功率调整都采用综合的更完善的方法,中压电力系统消弧线圈自动调整仍只采用图1-6a所示的简单的自动调节方法。

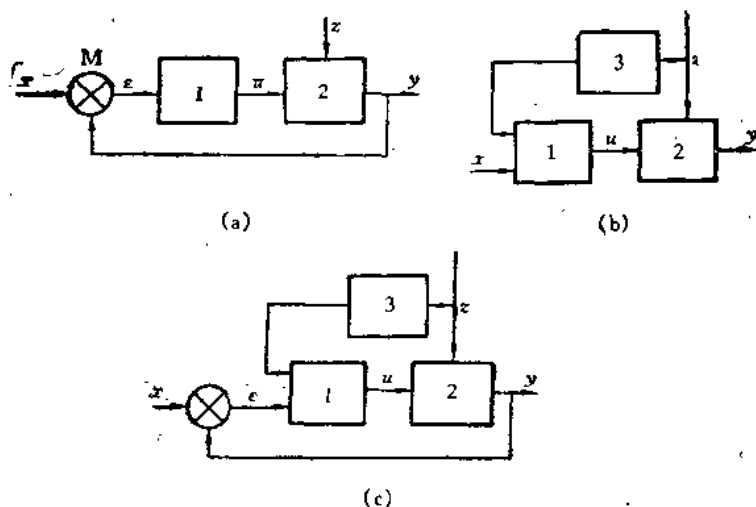


图1-6 自动调节系统结构框图

(a) 根据输出量偏差进行调节; (b) 根据干扰量进行调节; (c) 综合方法。

1.3.2 主要元件

调节器的功能可以用模拟电子电路也可以用微机来实现。无论何种方法,传感器(被调设备输出的电压和电流的测量手段)是一样的。高压设备的电压高,电流大,故测量时需采用电压互感器和电流互感器。试验室中的高压常用分压器测量。

测得的信号往往需变换处理,常用的变换如表1-2所示。

表 1-2 常用的信号变换

项 目	内 容
电压变换 电流变换 阻抗变换	电压放大, 电流放大 分压, 分流, 电压比较 电压-电流变换, 阻抗增减
交直流变换 频率变换 采样	整流, 起振, 频率增减 分频, 倍频, 采样
模拟-数字变换	AD变换, DA变换
其他	延迟, 累积

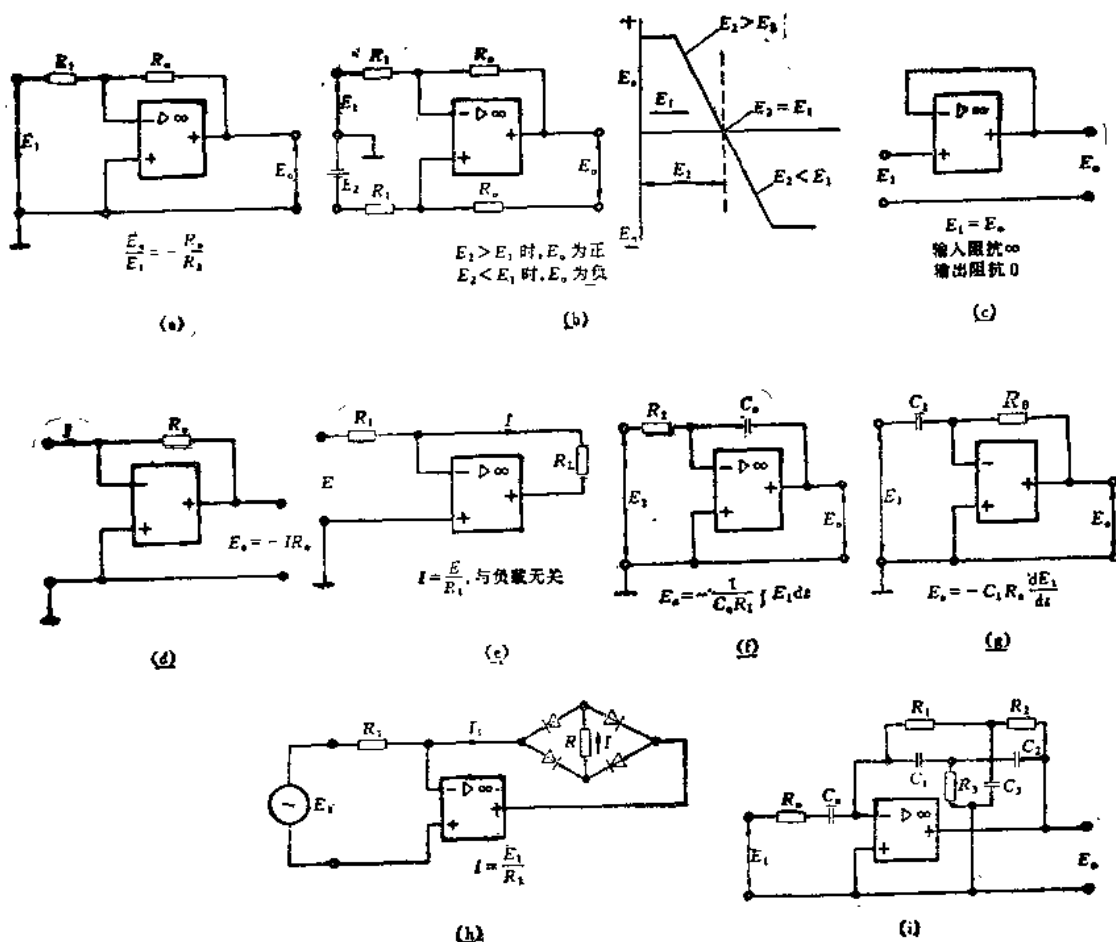


图 1-7 常用的模拟电子电路

(a) 反相放大器; (b) 比较器; (c) 跟随器; (d) 电流-电压变换; (e) 电压-电流变换;
(f) 积分器; (g) 微分器; (h) 整流器; (i) 带通滤波器。

使用运算放大器完成上述一些变换的模拟电子电路可参看图 1-7a~i。对大部分分图不需说明,只对最后两个分图说明如下。图h中整流电流与整流前的交流电压呈线性关系, $I = E_1/R_1$, I 与整流管的电阻有关。假若不用运算放大器,而直接用桥式整流器整流时,整流电流 I 受整流管电阻影响,整流电流与整流前交流电压呈非线性关系。当外加电压很小时,整流器只通过微小电流,整流管的电阻很大;外加电压高时,通过整流器的电流升得较快,此时整流管电阻也较小。图i是使用运算放大器的滤波器,称带通滤波器。它只对特定频率的信号放大,频率由 C , R 值确定。

常用的电子电路还有触发器和计数器等,不一一列举。

高压设备调节器的执行元件一般是电动机、接触器、断路器、有载开关以及晶闸管。

1.4 调节依据和调节质量判断

在大部分消弧线圈自动调节中都应用相位角法,即根据电网中性点电压对于参考电压的相角差找出当前关于电网脱谐度 ν 的信息,从而得到相应的调节量,其形式为

$$\begin{cases} \varphi_b - \varphi_n = \Delta\varphi, \\ U_{\Delta\varphi} = f_1(\Delta\varphi). \end{cases} \quad (1-14)$$

式中 φ_b 为基准相角; φ_n 为电网中性点电压相角; $\Delta\varphi$ 为相角差,它带有电网脱谐度 ν 的信息; $U_{\Delta\varphi}$ 为表征电网脱谐度的电压信号; f_1 为反应 $\Delta\varphi$ 和 $U_{\Delta\varphi}$ 之间关系的函数。

根据式1-14工作的调节器的调节质量可用式1-15评价。

$$J_0 = \int_0^{t_0} (\Delta\varphi)^2 dt, \quad (1-15)$$

积分区间 t_0 不大于 2h, 因为根据运行规程, 非有效接地电网单相接地持续时间不应超过该值。很显然, 积分量 J_0 越小, 则调节质量越高。

枢纽变电所常利用逆调压原则进行调压, 其实质是: 负荷最小时, 变电站维持额定电压 U_n ; 负荷最大时, 为抵消电网在线路和其他元件上的电压降落而使该电压上升至 $1.05U_n$ 。当用有载分接开关改变变压器变压比实现变档调压时, 此调节原则可用式1-16表示。

$$u(t) = K_1((U(t) - U_{set}) - K_2(I(t) - I_{min})), \quad (1-16)$$

式中 $u(t)$ 为调节器确定的调节量; U_{set} 为变电所母线额定电压设定值; $U(t)$ 为上述电压的当前值; I_{min} 为最小负荷时从母线流出的电流; K_1 为表征调节器灵敏度的传递系数; $I(t)$ 为从母线流出的电流的当前值。

根据调节量 $u(t)$ 的大小改变变压器变压比。为了避免电压短时波动而引起有载分接开关动作过于频繁, 执行时可加入延时, 此外还可加入避免“过调”的措施, 这就要判断被调节电压 $U(t)$ 包络线 U_e 的导数的正负号。若 $\frac{dU_e}{dt} < 0$, 则调变压器变比使低压侧电压抬高; 反之, 若

$\frac{dU_e}{dt} > 0$, 则改变变压比使低压侧电压降低。

调节质量用式1-17所示的积分量评价。

$$J_1 = \int_0^{t_0} (U_e(t) - U_n)^2 dt, \quad (1-17)$$

式中 $U_i(t)$ 为用户母线电压当前值。积分量 J_1 越小, 则调节质量越高。

再看用同步调相机实现无功功率补偿的情况。由于无功功率由安装调相机处电压的模和相位角单调地确定, 故由同步调相机发出的无功功率 Q 的调节应按该处电压的函数进行, 即

$$\begin{cases} u(t) = K_1((U(t) - U_{set}) - K_2(I(t) - I_{set})), \\ i_e = K_e u(t), \\ Q(t) = K_Q(i_e - i_{set}). \end{cases} \quad (1-18)$$

式中 i_e 为同步调相机的励磁电流; i_{set} 为当负荷电流等于设定电流 I_{set} 时, 电网该处电压为给定值所对应的励磁电流设定值; K_e, K_Q 都是转换系数。

当无功功率源为分组调节的并联电容器组时, 调节原则如式1-19所示。

$$\begin{cases} u(t) = K_1((U(t) - U_{set}) - K_2(I(t) - I_{set})), \\ Q = \begin{cases} Q_0 + Q_{st}, & \text{若 } u(t) < u_l, \\ Q_n, & \text{若 } u_l \leq u(t) \leq u_h, \\ Q_0 - Q_{st}, & \text{若 } u(t) > u_h. \end{cases} \end{cases} \quad (1-19)$$

式中 Q_0 为额定电网电压时并联电容器的无功功率; Q_{st} 为电网电压低于(或高于)允许值时调节一组电容器所对应的无功功率量; u_l 为调节器不感受区的下限, 高于此下限时, 调节器不动作; u_h 为调节器不感受区的上限, 低于此上限时, 调节器不动作。

上式的意思是若调节量 $u(t)$ 小于下限 u_l , 则表示母线电压低, 应加大容性无功功率, 即投入一组电容器; 反之, 若 $u(t)$ 高于上限 u_h , 则表示母线电压高, 应减少容性无功功率, 需切除一组电容器。

调节质量仍用式1-17评价。

1.5 集中自动控制方式

电网中高压电气设备是个多联系的自动调节对象。中枢变电所电压、有功和无功潮流状况是不断变化的。负荷的有功和无功功率可看作是扰动因素, 控制量则是无功功率源供向电网的无功功率和发送给变压器有载分接开关调节档位的指令信号。

由电源向用户供给电能时应力求损耗最小, 传统的逆调压方法及式1-17所示的质量评价并不保证这一要求, 从第 i 个变电所来看, 满足本地损耗最小的判断应为

$$J_i = \int_{t_0}^{t_1} (U_i(t) - U_{i,opt}(t))^2 dt. \quad (1-20)$$

式中 $U_i(t)$ 为第 i 个变电所电压当前值; $U_{i,opt}$ 为从第 i 个变电所来看满足本地损耗最小随时间而变的最佳电压值。

根据负荷不同的组合, 为保证中枢变电所整体损耗最小, 要对总信息处理后对 $U_{i,opt}(t)$ ($i = 1 \sim I$) 进行修正。这就是说, 调压是个多联系的调节对象, 要解一个最佳控制问题。

下面以图1-8为例概括地加以说明。

图1-8中1为电网, 2为测量元件, 其中包括提高测量准确性的滤波器。根据电网数学模型可计算出一些非测量参数。测量的和计算出的参数整体进入块4, 块4是按最小损耗优化的最佳处理机构, 块5决定控制量, 由此发出改变当前无功功率源和变压器变压比设置量的命令, 此

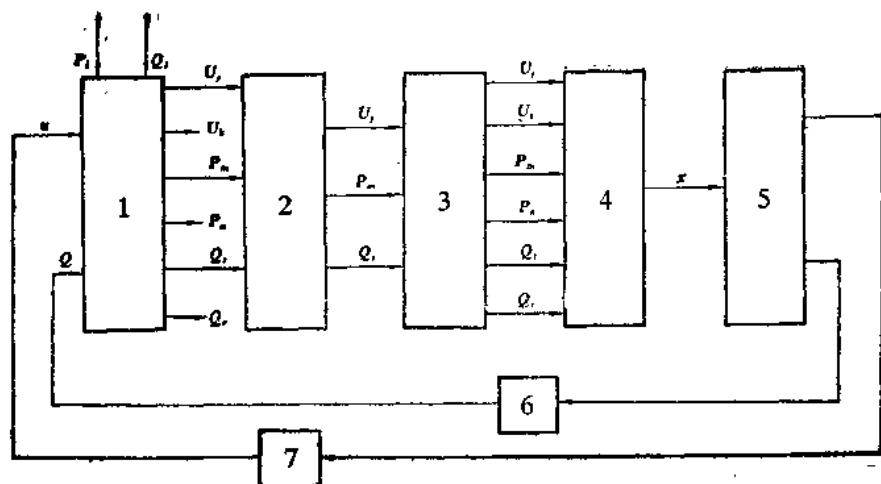


图 1-8 电压集中自动控制系统结构框图

图中 U_i 为测出的电压向量; U_k 为非测电压向量; P_m, Q_k 为测出的线路中有功和无功功率潮流向量; P_l, Q_l 为非测有功和无功功率潮流向量; P_L, Q_L 为有功和无功负载; U 为调节各变压器变比的信号向量; Q 为无功功率源送入电网的无功功率向量。

命令进入块6和块7, 这里按电网各处电压分布和各线路上潮流最佳分布确定出各调节器的设置量。最后, 各调节器应使各无功功率源和各变压器变压比都运行在最佳状态。

为了实现集中自动控制,除了应确定完善的电网数学模型外,还须掌握以下关键技术,即传感技术、光信号传输系统、人机联系和专家系统。

传感技术 指各种量的准确测量,对快速变化的量要选用时间响应快的传感器,还要消除各种干扰的影响。

光信息传送 光纤通信的特点是不受电磁干扰；光纤材料是绝缘体，故不受过电压的影响；具有极大的通信容量。

人机联系 运行人员可向计算机输入各种数据和命令并进行操作控制,还能方便及时地将计算机处理和控制的情况显示出来。人机联系的输入设备一般有光笔显示终端、绘图板、操纵杆、跟踪球、键盘打字机和卡片机等。输出设备有屏幕显示、绘图仪和打印机等。有的还配有会话型语言和有关操作命令等软件。屏幕显示装置已成为人机联系有效的设备。在电力系统实时监控中,人机联系是加快运行人员决策过程和加强决策能力的重要手段,并可减轻运行人员监视和记录的例行工作。

专家系统 变电所运行业务中靠熟练的运行人员的经验去处理的情况不少。有时熟练运行人员因退休或已老龄化,加上随着设备性能的改善而使事故发生次数减少,故技术的总结和继承有了困难。专家系统是解决这一问题的有力办法。专家系统有两方面内容:一是基本推论流程,二是推论结果的画面显示。