

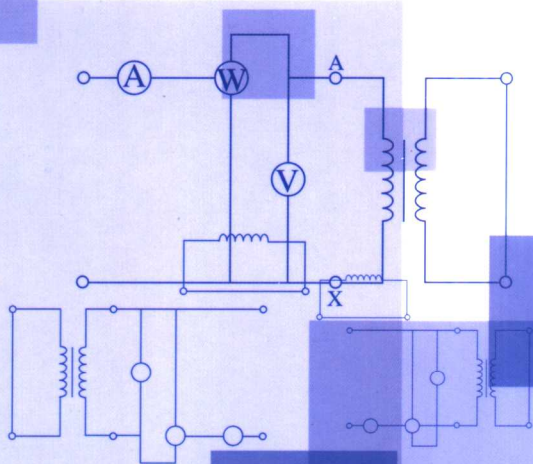
高职高专电气系列教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI XILIE JIAOCAI

# 电力系统继电保护

DianLi XiTong JiDian BaoHu

■ 主 编 马永翔  
■ 副主编 蓝 蔚 兰 琴 吴耀华



重庆大学出版社

# 电力系统继电保护

主 编 马永翔

副主编 蓝 蔚 兰 琴 吴耀华

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

本书共分9章,包括电力系统的基本概念、电网的电流保护、电网的距离保护、高频保护、自动重合闸、电力变压器保护、发电机保护、母线保护及微机保护基础等。

本书可作为高职高专院校电专业电力系统继电保护课程教材,也可供其他专业学生及电气工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/马永翔主编. —重庆:重庆大学出版社,2004.6

(高职高专电气类系列教材)

ISBN 7-5624-3071-3

I. 电... II. 马... III. 电力系统—继电保护—高等学校:技术学校—教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 013078 号

## 电力系统继电保护

主 编 马永翔

副主编 蓝 迪 兰 琴 吴耀华

责任编辑:曾令维 柯建云 版式设计:曾令维

责任校对:任卓惠 责任印制:张立全

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:399千

2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-3071-3/TM·95 定价:22.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

# 前言

电力系统的飞速发展对继电保护不断提出新的要求,电子技术、计算机技术与通信技术的飞速发展又为继电保护技术的发展不断注入新的活力。未来继电保护的发展趋势是向计算机化、网络化、智能化、保护、控制、测量和数据通信一体化发展。

## (1) 计算机化

随着计算机硬件技术的迅猛发展,微机保护硬件也在不断发展。从初期的 8 位单 CPU 结构问世,不到 5 年时间就发展到多 CPU 结构,后又发展到总线不出模块的大规模结构。除了具备保护的基本功能外,还具有大容量故障信息和数据的长期存放空间,快速的数据处理功能,强大的通信能力,与其他保护、控制装置和调度联网共享全系统数据、信息和网络资源的能力,高级语言编程等。这样就使得微机保护装置具有相当于一台 PC 机的功能。在微机保护发展初期,曾设想用一台小型计算机做成继电保护装置。由于当时小型机体积大、成本高、可靠性差,这一设想没能实现。现在,同微机保护装置大小相似的工控机的功能、速断、存储容量都大大超过当年的小型机,因此,用成套工控机做成继电保护装置的时机已经成熟,这将是微机保护的发展方向之一。

## (2) 网络化

计算机网络作为信息和数据通信工具已成为信息时代的技术支柱,使人类生产和社会生活的面貌发生了根本变化。它深刻影响着各个工业领域,也为各个工业领域提供了强有力的通信手段。到目前为止,除了差动保护和纵联差保护外,所有继电保护装置都只能反映保护安装处的电气量。继电保护的作用也只限于切除故障元件,缩小事故影响范围。这主要是由于缺乏强有力的通信手段。国外早已提出过系统保护的概念,这在当时主要指安全自动装置。因此保护的作用不只限于切除故障元件和限制事故影响范围(这是首要任务),还要保证全系统的安全稳定运行。这就要求每个保护单元都能共享全

系统运行和故障的数据,各个保护单元与重合闸装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作,确保系统的安全稳定运行。显然,实现这种系统保护的基本条件是将全系统各主要设备的保护装置用计算机网络连接起来,亦即实现微机保护装置的网络化。这在当前的技术条件下是完全可能的。

### (3) 保护、控制、测量、数据通信一体化

在实现继电保护的计算机化和网络化的条件下,保护装置实际上就是一台高性能、多功能的计算机,是整个电力系统计算机网络上的一个智能终端。它可以从网络上获取电力系统运行和故障的任何信息和数据,也可将它所获得的被保护元件的任何信息和数据传送给网络控制中心或任一终端。因此,每个微机保护装置不但可完成继电保护功能,而且在无故障正常运行情况下还可完成测量、控制、数据通信功能,亦即实现保护、测量、数据通信一体化。

目前,为了测量、保护和控制的需要,室外变电站的所有设备,如变压器、线路等的二次电压、电流都必须用控制电缆引到主控室。所敷设的大量控制电缆不但需要大量投资,而且使二次回路非常复杂。若将上述的保护、控制、测量、数据通信一体化的计算机装置就地安装在室外变电站的被保护设备旁,将被保护设备的电压、电流量在此装置内转换成数字量后,通过计算机网络送到主控室,则可免除大量的控制电缆。如果用光纤作为网络的传输介质,还可免除电磁干扰。现在光电流互感器(OTA)和光电压互感器(OTV)已在研究试验阶段,今后必将在电力系统得到广泛应用。在采用OTA和OTV的情况下,保护装置应放在距OTA和OTV最近的地方,亦即放在被保护设备的附近。OTA和OTV的光电信号输入到此一体化装置中并转换成电信号后,一方面用作保护的计算判断,另一方面作为测量量,通过网络送主控室。在主控室通过网络可将对被保护设备的操作控制命令送到此一体化装置,由此一体化装置执行断路器的操作。

### (4) 智能化

近年来,人工智能技术如神经网络、遗传算法、进化规划、模糊逻辑等在电力系统各领域的应用及在继电保护领域的应用研究已经开始。神经网络是一种非线性映射的方法,很难以列出方程或难以求解的复杂的非线性问题,应用神经网络方法后则可迎刃而解。如在输电线路两侧系统电势角度摆开情况下发生过渡电阻的短路就是一非线性问题,距离保护很难正确作出故障位置的判断,从而造成误动或拒动。如果用神经网络

络方法,经过大量故障样本的训练,只要样本中充分考虑了各种情况,则在发生任何故障时都可正确判断。其他如遗传算法、进化规划算法等也都有其独特的求解复杂问题的能力。将这些人工智能方法适当结合可使求解速断更快。

建国以来,我国电力系统继电保护技术经历了4个发展阶段。随着电力系统的高速发展和计算机技术、通信技术的进步,继电保护技术面临着进一步发展的趋势。这对继电保护工作者提出了艰巨的任务,也开辟了活动的广阔天地。

本书由马永翔编写第1、7章、3.5节,吴耀华编写第2、9章,郭云玲编写第5、8章,蓝蔚编写第3章(3.1~3.4节);兰琴编写第4、6章。全书由马永翔统稿。

在本书的编写过程中,得到了电力系统有关部门的帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,编写时间仓促,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者  
2004年2月

## 本书使用符号说明

### 一、设备、元件符号

T	变压器
VT	晶体三极管
C	电容器
VD	二极管
VS	稳压管
TX	电抗互感器(电抗变压器)
TA	小型中间变流器
TM	小型中间变压器
QF	断路器
T	电力变压器
FU	熔断器
SA	控制开关(转换开关)
TA	电流互感器
TV	电压互感器
M	电动机
YT(KTC)	断路器跳闸线圈
YC(KOC)	断路器合闸线圈
XB	连接片
K	继电器
KR <sub>r</sub> (KCA)	自动重合装置
KA(KI)	电流继电器
KAC	加速继电器
KB	气体继电器
KCZ	零序电流继电器
KD	差动继电器
KG	瓦斯继电器
KL	闭锁继电器
KM	中间继电器
KMS	绝缘监测继电器
KOM(KPO、KO)	保护出口继电器
KPJL	防跳闭锁继电器
KPR	功率方向继电器
KH	热继电器

KS	信号继电器
KSY(KVV)	同步检定继电器
KT	时间继电器
KTP	跳闸位置继电器
KU(KV)	电压继电器
KZ	阻抗继电器
HL	信号灯
HG	绿色信号灯
HR	红色信号灯

## 二、电压类符号

$E_A, E_B, E_C$	系统等效电源
$U_A, U_B, U_C$	系统中任一母线或保护安装处的三相电压
$U_{dA}, U_{dB}, U_{dC}$	故障点处的三相电压
$U_{d1}, U_{d2}, U_{d0}$	故障点的正、负、零序电压
$U_{A1}, U_{A2}, U_{A0}$	保护安装处各相的正、负、零序电压
$U_{B1}, U_{B2}, U_{B0}$	
$U_{C1}, U_{C2}, U_{C0}$	
$U_e$	额定电压
$U_{bp}$	不平衡电压

## 三、电流类符号

$I_A, I_B, I_C$	三相电流
$I_d$	短路电流
$I_1, I_2, I_3$	正、负、零序电流
$I_{dA}, I_{dB}, I_{dC}$	故障点处的三相电流
$I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$	三相的正、负、零序电流
$I_{A2}, I_{B2}, I_{C2}$	
$I_{A0}, I_{B0}, I_{C0}$	
$I_{d1}, I_{d2}, I_{d0}$	故障点的正、负、零序电流
$I_{d \cdot \max}$	最大短路电流
$I_{d \cdot \min}$	最小短路电流
$I_f$	负荷电流
$I_{f \cdot \max}$	最大负荷电流
$I_e$	额定电流
$I_{e \cdot T}$	变压器的额定电流
$I_{bp}$	不平衡电流
$I_{jg}$	精确工作电流
$I_{0d}$	零序短路电流



#### 四、阻抗符号

$R$	电阻
$R_{gd}$	过渡电阻
$X$	电抗
$Z = R + jX$	阻抗
$Z_1$	线路阻抗
$Z_T$	变压器阻抗
$Z_{f \cdot \min}$	最小负荷阻抗
$Z_s$	系统阻抗
$Z_l$	导线—地阻抗
$Z_M$	互感阻抗
$Z_\Sigma$	总阻抗
$Z_{1\Sigma}、Z_{2\Sigma}、Z_{0\Sigma}$	正、负、零序阻抗

#### 五、保护装置及继电器的有关参数

$I_{dz}$	保护装置的起动电流
$I_h$	保护装置的返回电流
$U_{dz}$	保护装置的起动电压
$U_h$	保护装置的返回电压
$Z_{dz}$	保护装置的起动阻抗
$Z_h$	保护装置的返回阻抗
$I_{dz \cdot J}$	继电器起动电流
$I_{h \cdot J}$	继电器返回电流
$U_{dz \cdot J}$	继电器起动电压
$U_{h \cdot J}$	继电器返回电压
$Z_{dz \cdot J}$	继电器起动阻抗
$Z_{h \cdot J}$	继电器返回阻抗
$Z_{zd}$	继电器整定阻抗
$I_J$	加入继电器中的电流
$U_J$	加入继电器中的电压
$I_{cl}$	继电器的测量电流
$U_{cl}$	继电器的测量电压
$Z_{cl}$	继电器的测量阻抗
$\varphi_{lm}$	阻抗继电器的最大灵敏角
$\varphi_{cl}$	测量阻抗角
$\varphi_{zd}$	整定阻抗角

## 六、常用系数

$K_k$	可靠系数
$K_{lm}$	灵敏系数
$K_h$	返回系数
$K_{jx}$	接线系数
$K_{fz}$	分支系数
$K_{fzq}$	非周期分量系数
$K_{tx}$	同型系数
$K_{ph}$	配合系数
$K_{zq}$	电动机的自启动系数
$K_1、K_2、K_3$	比例系数
$K_{TA}$	电流互感器变比
$f_i$	电流互感器比误差
$k_{jg}$	精确工作电流系数

# 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 电力系统继电保护的作用 .....	1
1.2 继电保护的基本原理 .....	2
1.3 继电保护的组成及分类 .....	3
1.4 对继电保护装置的基本要求 .....	4
1.4.1 选择性 .....	4
1.4.2 速动性 .....	5
1.4.3 灵敏性 .....	6
1.4.4 可靠性 .....	6
1.5 继电保护的发展概况 .....	7
第2章 电网的电流保护和方向性电流保护 .....	9
2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护 .....	9
2.1.1 反应单一电气量的继电器 .....	9
2.1.2 无时限电流速断保护 .....	13
2.1.3 限时电流速断保护 .....	16
2.1.4 定时限过电流保护 .....	18
2.1.5 阶段式电流保护的应用及评价 .....	20
2.1.6 电流保护的接线方式 .....	21
2.2 电网相间短路的方向性电流保护 .....	25
2.2.1 方向性电流保护的工作原理 .....	25
2.2.2 功率方向继电器 .....	26
2.2.3 功率方向继电器的 $90^\circ$ 接线方式 .....	28
2.2.4 方向性电流保护的整定举例 .....	29
2.2.5 对方向性电流保护的评价 .....	31
2.3 大电流接地系统的零序电流保护 .....	32
2.3.1 接地故障时零序电流、零序电压及零序 功率的特点 .....	32
2.3.2 零序分量滤序器 .....	32
2.3.3 零序电流速断保护 .....	34
2.3.4 限时零序电流速断保护 .....	35

2.3.5	零序过电流保护 .....	35
2.3.6	方向性零序电流保护 .....	36
2.3.7	零序电流保护整定计算举例 .....	38
2.3.8	对零序电流保护的评价 .....	44
2.4	小电流接地系统的接地保护 .....	44
2.4.1	中性点不接地系统单相接地的特点 .....	45
2.4.2	中性点不接地系统的接地保护 .....	47
2.4.3	中性点经消弧线圈接地系统中单相接地的特点 .....	48
2.4.4	中性点经消弧线圈接地系统的接地保护 .....	49
	习题 2 .....	51
<b>第 3 章</b>	<b>电网的距离保护 .....</b>	<b>53</b>
3.1	距离保护的作用原理 .....	53
3.1.1	距离保护的基本原理 .....	53
3.1.2	距离保护的时限特性 .....	54
3.1.3	距离保护的主要组成元件 .....	54
3.2	阻抗继电器 .....	55
3.2.1	用复数阻抗平面分析阻抗继电器的特性 .....	55
3.2.2	比幅原理和比相原理 .....	56
3.2.3	全阻抗继电器 .....	59
3.2.4	方向阻抗继电器 .....	63
3.2.5	偏移特性阻抗继电器 .....	65
3.3	单相阻抗继电器的接线方式 .....	68
3.3.1	阻抗继电器接线方式的要求及分类 .....	68
3.3.2	相间短路的 $0^\circ$ 接线方式 .....	68
3.3.3	中性点直接接地系统中两相接地短路 .....	69
3.3.4	阻抗继电器的主要技术指标和参数 .....	70
3.4	影响距离保护正确工作的因素 .....	71
3.4.1	概述 .....	71
3.4.2	过渡电阻对距离保护的影响 .....	72
3.4.3	分支电路对距离保护的影响 .....	77
3.4.4	电力系统振荡对距离保护的影响及振荡闭锁 .....	79
3.5	距离保护的整定原则和计算方法 .....	86
3.5.1	距离保护的整定原则 .....	86
3.5.2	距离保护的整定计算 .....	87
3.5.3	阻抗继电器的精确工作电流校验 .....	94
3.5.4	距离保护整定计算举例 .....	94
	习题 3 .....	103

<b>第4章 高频保护</b>	105
4.1 高频保护的工作原理和分类	105
4.1.1 高频保护的作用原理及分类	105
4.1.2 高频通道的构成	107
4.1.3 高频通道的工作方式和高频信号的作用	109
4.2 方向高频保护	111
4.2.1 高频闭锁方向保护	111
4.2.2 高频闭锁负序方向保护	114
4.2.3 高频闭锁距离保护	114
4.2.4 高频闭锁零序保护	115
4.3 相差动高频保护	115
4.3.1 相差动高频保护的工作原理	115
4.3.2 相差动高频保护的构成	116
4.4 高频保护的反事故措施及运行维护中的注意 事项	119
4.4.1 相差动高频保护	119
4.4.2 高频闭锁距离保护	120
4.5 光纤保护简介	120
习题4	122
<b>第5章 输电线路的自动重合闸</b>	123
5.1 自动重合闸的作用及其基本要求	123
5.1.1 自动重合闸在电力系统中的作用	123
5.1.2 自动重合闸装置的基本要求	124
5.2 单侧电源线路的三相一次自动重合闸	125
5.2.1 电磁型三相一次自动重合闸装置	125
5.2.2 工作原理	126
5.3 双侧电源线路的三相一次自动重合闸	128
5.3.1 双侧电源线路重合闸的特点	128
5.3.2 双侧电源线路重合闸的主要方式	128
5.4 自动重合闸与继电保护的配合	132
5.4.1 自动重合闸前加速	132
5.4.2 自动重合闸后加速	133
5.5 单相自动重合闸与综合自动重合闸	136
5.5.1 单相重合闸的特点	136
5.5.2 综合重合闸	138
习题5	139

<b>第6章 电力变压器保护</b> .....	141
6.1 电力变压器的故障、异常工作状态及其保护 方式 .....	141
6.2 变压器的励磁涌流 .....	143
6.3 变压器的差动保护 .....	144
6.3.1 变压器差动保护的基本原理 .....	144
6.3.2 不平衡电流产生的原因 .....	145
6.3.3 减小不平衡电流的措施 .....	146
6.4 变压器的瓦斯保护 .....	156
6.5 变压器相间短路的后备保护及过负荷保护 .....	158
6.5.1 过电流保护 .....	158
6.5.2 低电压起动的过电流保护 .....	159
6.5.3 复合电压起动的过电流保护 .....	160
6.5.4 负序过电流保护 .....	161
6.5.5 过负荷保护 .....	162
6.6 变压器零序电流、电压保护 .....	163
6.6.1 中性点直接接地变压器的零序电流保护 .....	163
6.6.2 中性点可能接地或不接地运行时变压器的零序 电流、电压保护 .....	164
6.7 整定计算实例 .....	166
习题 6 .....	172
<b>第7章 发电机保护</b> .....	173
7.1 发电机的故障类型、不正常运行状态及其保护 方式 .....	173
7.1.1 发电机的故障和异常运行状态 .....	173
7.1.2 大型发电机组的特点及对继电保护的要求 .....	174
7.1.3 发电机保护装设的原则 .....	174
7.2 发电机的纵差动保护 .....	175
7.2.1 发电机纵差动保护的基本原理 .....	175
7.2.2 采用 BCH-2 型差动继电器的纵差动保护 .....	176
7.3 发电机定子匝间短路保护 .....	178
7.3.1 匝间短路的特点 .....	178
7.3.2 横差动保护的构成及工作原理 .....	179
7.3.3 保护装置的整定计算及其他有关问题 .....	179
7.3.4 定子绕组零序电压原理的匝间短路保护 .....	180
7.4 发电机定子绕组单相接地保护 .....	181
7.4.1 发电机定子绕组单相接地的特点 .....	181
7.4.2 定子绕组单相接地的零序电流保护 .....	183
7.5 发电机励磁回路接地保护 .....	184

7.5.1	励磁回路接地故障的危害及保护装设原则	184
7.5.2	励磁回路一点接地保护	185
7.5.3	励磁回路两点接地保护	186
7.6	发电机失磁保护	186
7.6.1	发电机失磁的物理过程及特点	186
7.6.2	发电机失磁时的机端测量阻抗	188
7.6.3	发电机失磁保护的构成方式	190
7.7	整定计算举例	191
	习题 7	195
<b>第 8 章</b>	<b>母线保护</b>	197
8.1	母线的故障及装设母线保护的原则	197
8.2	母线的完全电流差动保护	198
8.2.1	完全电流差动保护原理	198
8.2.2	保护的整定计算	198
8.3	电流相位比较式母线保护	199
8.3.1	电流相位比较式母线保护的基本原则	199
8.3.2	保护的构成	200
8.4	双母线保护	200
8.4.1	双母线同时运行时,元件固定连接的电流 差动保护	201
8.4.2	双母线同时运行时,元件非固定连接的母联 电流相位比较式母线保护	202
8.5	整定计算举例	203
	习题 8	205
<b>第 9 章</b>	<b>微机保护</b>	206
9.1	概 述	206
9.1.1	微机保护的基本构成	206
9.1.2	微机保护的特点	206
9.2	微机保护的硬件组成原理	207
9.2.1	微机保护系统的硬件组成	207
9.2.2	电压形成回路	208
9.2.3	采样保持电路与模拟低通滤波器	208
9.2.4	多路转换开关(MUX)	210
9.2.5	模数转换器(A/D)	210
9.2.6	高度集成的数据采集系统 DAS	210
9.2.7	CPU 主系统	213
9.2.8	开关量输入、输出系统	213
9.2.9	与综合自动化系统的接口部分	214
9.3	微机保护的软件基础	214
9.3.1	数字滤波	214

9.3.2 微机保护的算法 .....	216
9.4 微机保护举例 .....	223
9.4.1 概述 .....	223
9.4.2 微机差动保护的判据和算法 .....	224
9.4.3 微机变压器差动保护的软件流程 .....	225
9.5 提高微机保护可靠性的措施 .....	226
9.5.1 抗电磁干扰的措施 .....	227
9.5.2 模拟量的自纠错 .....	227
9.5.3 故障自诊断 .....	228
习题9 .....	230
附录 .....	232
参考文献 .....	237



# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 电力系统继电保护的作用

电力系统在运行中可能发生各种故障和不正常运行状态,最常见同时也是最危险的故障是各种类型的短路。发生短路时可能产生以下后果:

- 1) 通过故障点的短路电流和所燃起的电弧使故障设备或线路损坏。
- 2) 短路电流通过非故障设备时,由于发热和电动力的作用,引起电气设备损伤或损坏,导致使用寿命大大缩减。
- 3) 电力系统中部分地区的电压大大降低,破坏用户工作的稳定性或影响产品的质量。
- 4) 破坏电力系统并列运行的稳定性,引起系统振荡,甚至导致整个系统瓦解。

电力系统中最常见的不正常运行情况是过负荷。长时间过负荷使电气设备的载流部分和绝缘材料过度发热,从而使绝缘加速老化,甚至破坏,引起故障。此外,系统中出现功率缺额而引起的频率降低,发电机突然甩负荷而产生的过电压等,都属于不正常运行状态。

电力系统中发生故障和出现不正常运行情况时,可能引起系统全部或部分正常运行遭到破坏,电能质量变到不能容许的程度,以致造成对用户的停止供电或少供电,甚至造成人身伤亡和设备的损坏,这种情况就称为发生了“事故”。为了避免或减少事故的发生,提高电力系统运行的可靠性,必须改进设备的设计制造,保证设计安装和检修的质量,提高运行管理的水平,采取预防事故的措施,尽可能消除发生事故的可能性。在电气设备或输电线路一旦发生故障时,就必须采取措施,尽快地将故障设备或线路从系统中切除,保证非故障部分继续安全运行,避免事故的发生,或缩小事故的范围和影响。

由于电力系统是一个整体,电能的生产、传输、分配和使用是同时实现,各设备之间又都有电或磁的联系,所以,当某一设备或线路发生短路故障时,在很短的时间内就影响到整个电力系统的其他部分。为此要求切除故障设备或输电线路的时间必须很短,通常切除故障的时间小到十分之几秒到百分之几秒。显然要在这样短的时间内由运行人员及时发现并手动将故障切除是绝对不可能的,只有借助于装设在每个电气设备或线路上的自动装置,即继电保护装置才能实现。这种装置到目前为止,有一部分仍然由单个继电器或继电器与其附属设备的组合