

水利电力部西北电力设计院 主编
机械工业部第七设计研究院

工业企业继电保护



ONGYE QIYE
JIDIAN BAOHU

水利电力出版社

工业企业继电保护

水利电力部西北电力设计院 主编
机械工业部第七设计研究院

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 22.25印张 503千字

1985年11月第一版 1985年11月北京第一次印刷

印数00001—14450册 定价4.55元

书号 15143·5727

内 容 简 介

本书主要介绍6~35kV供配电系统的继电保护及自动装置。内容主要有常用继电器的构成和动作原理；电流互感器和电压互感器；6~35kV的线路、电力变压器、电炉变压器和母线的继电保护；6~10kV的电动机和电容器等的继电保护。书中对用高压熔断器保护和与继电保护关系密切的操作电源也作了介绍；还进一步对工业企业常用的交流操作继电保护和6~35kV供配电系统各级继电保护的配合作了较详细的分析，提出了保护的配合原则及计算方法。

本书主要供从事工业企业继电保护的设计、安装和运行维护的工程技术人员阅读，亦可供大专院校电力专业的师生参考。

前言

工业企业的供配电系统遍及国民经济的各个部门，范围广，影响大，而供配电系统的安全可靠运行与所配置的继电保护有很密切的关系。为了向各地从事工业企业继电保护工作的人员提供一本能密切结合工业企业供配电系统特点的继电保护参考书，我们在总结多年设计实践经验和进行调查研究的基础上编写了这本书。

本书注重理论联系实际，力求能解决工业企业供配电系统中常碰到的继电保护问题，对主要的继电保护作了较详细的分析和叙述，并列有相应的例题，便于读者参考使用；对以往继电保护书中未曾深入分析过的一些问题，例如：交流操作的继电保护，电流保护的動作配合等，在理论上进行了较深入的探讨，阐明了解决问题的基本原则，通过举例使读者易于理解，并参照应用。

由于当前在工业企业供配电系统继电保护中，大量采用的仍然是机电型继电器，故本书仍以机电型保护为主。若在工程中采用性能相似的其它型式继电器，本书所阐述的保护原理和设计计算的基本原则仍可参考。

本书在编写过程中得到有关设计院、工厂和供电局的大力支持和热情帮助，特别是机械工业部第一设计研究院、第八设计研究院等兄弟单位曾对本书的初稿提出过许多宝贵意见，在此特表示衷心的感谢！

本书以水利电力部西北电力设计院和机械工业部第七设计研究院为主编单位，曾参加本书编写的单位还有陕西省煤矿设计研究院。本书由高有权和张杰同志主编，参加本书编写的还有曾健文、赵坤明、税麟书、卓乐友、酒郁复、全金娣、田敬友等同志。本书由原第二机械工业部第二研究设计院姚家祎审稿，参加本书审校工作的有卓乐友、王德正、等同志。

由于编者水平有限、经验不足，错误和不妥之处欢迎读者批评指正。

编者

一九八四年十月

本书常用符号说明

一、设备、元件、名词符号

B	变压器	YH	电压互感器
DL	断路器	W	绕组、线圈的匝数
BG	晶体三极管	LH	电流互感器
BZ	半导体整流桥	TQ	断路器跳闸线圈
WY	稳压管	YB	小型中间变压器
D	二极管	XL	线路
DKB	电抗变压器	C	电容器
j	继电器		

二、电压、电流类符号

E	电源电势	$I_{fh \cdot max}$	最大负荷电流
U_e	额定电压(线电压)	I_{bp}	不平衡电流
U_x	相电压	$I_{e \cdot 1}$	电流互感器的额定一次电流
$I_{d \cdot max}$	最大短路电流	$I_{e \cdot 2}$	电流互感器的额定二次电流
$I_{d \cdot min}$	最小短路电流		

三、阻抗类符号

R	电阻	Z_{tg}	脱扣器的阻抗
X	电抗	Z_j	继电器的阻抗
Z_f	负载阻抗	$Z_{f \cdot j}$	电流互感器的计算二次阻抗
Z_{lx}	连线阻抗		

四、自动装置及继电器的有关参数符号

ZCH	自动重合闸装置	I_j	流入继电器中的电流
BZT	备用电源自动投入装置	$I_{dz \cdot j}$	继电器的动作电流
$I_{dz \cdot 1}$	保护装置的一次动作电流	$U_{dz \cdot j}$	继电器的动作电压
$U_{dz \cdot 1}$	保护装置的一次动作电压	U_j	加在继电器线圈的电压

五、常用系数符号

K_k	可靠系数	$K_{j \cdot zh}$	继电器的阻抗换算系数
K_h	返回系数	$K_{lx \cdot zh}$	连线的阻抗换算系数
K_m	灵敏系数	K_{tx}	电流互感器的同型系数
$K_{m \cdot x}$	相对灵敏系数	K_{z0}	自启动系数
K_{jx}	接线系数	$K_{tg \cdot zh}$	脱扣器的阻抗换算系数

目 录

前言

本书常用符号说明

绪论

0-1 工业企业配电系统的构成和保护的关系	1
0-2 继电保护装置的作用和特点	2
0-3 对继电保护装置的基本要求	3

第一章 常用继电器的构成和动作原理 7

1-1 电流继电器和电压继电器	7
1-2 时间继电器	10
1-3 信号继电器	14
1-4 中间继电器	16
1-5 感应型电流继电器	19
1-6 差动继电器	22
1-7 功率继电器	33

第二章 电流互感器和电压互感器 40

2-1 电流互感器的用途和一般常识	40
2-2 电流互感器的原理与向量图	40
2-3 电流互感器的极性和误差	42
2-4 电流互感器的接线方式	45
2-5 电流互感器的准确度和二次负载	51
2-6 电流互感器10%误差曲线和电流计算倍数的确定	55
2-7 差动保护装置对电流互感器的要求	59
2-8 电压互感器的用途和一般常识	60
2-9 电压互感器的原理与向量图	61
2-10 电压互感器的极性和误差	62
2-11 电压互感器的接线方式	66
2-12 电压互感器的选择	72
2-13 熔断器在电压互感器中的应用	75
2-14 电压互感器二次回路断线对保护装置工作的影响及其断 线监视接线	77

第三章 交流操作的继电保护 79

3-1 交流操作继电保护装置的主要形式	79
3-2 交流操作继电保护的计算	84
3-3 计算示例	95

第四章 6~35kV线路保护 101

4-1 6~35kV中性点非直接接地电力网中架空线路和电缆线路的各种故障	101
--------------------------------------	-----

4-2	6~35kV线路保护的装设原则	101
4-3	带时限过电流保护	102
4-4	低电压起动的过电流保护	107
4-5	瞬时电流速断保护	109
4-6	无选择性电流速断保护	111
4-7	延时电流速断保护	114
4-8	瞬时电流闭锁电压速断保护	115
4-9	延时电流闭锁电压速断保护	119
4-10	方向过电流保护	120
4-11	单相接地保护	126
4-12	纵联差动保护	133
4-13	交流操作6~35kV单侧电源线路的保护	139
4-14	计算示例	142
第五章	6~35kV降压变压器的保护	147
5-1	变压器的故障和不正常运行方式	147
5-2	变压器保护的装设原则	154
5-3	变压器的瓦斯保护	155
5-4	变压器的瞬时电流速断保护	157
5-5	变压器的纵联差动保护	160
5-6	变压器相间故障和接地故障的后备保护	178
5-7	过负荷保护与油温信号	185
5-8	变压器交流操作的继电保护	186
5-9	变压器保护的计算示例	189
第六章	6~35kV电炉变压器的保护	197
6-1	电炉变压器的各种故障和运行特点	197
6-2	电炉变压器继电保护装置的装设原则	202
6-3	电弧炉和电阻炉变压器的瞬时过电流保护	204
6-4	电弧炉变压器的带时限过负荷保护	206
6-5	工频感应炉变压器的瞬时电流速断保护	208
6-6	带时限过电流保护	209
6-7	保护装置的计算示例	210
第七章	母线保护	215
7-1	母线保护装设的原则及分类	215
7-2	利用母线电源回路的保护来实现的母线保护	216
7-3	专用母线保护装置	218
7-4	分段及母联断路器的保护装置	230
第八章	6~10kV电动机的保护	232
8-1	6~10kV异步电动机的各种故障和不正常运行方式	232
8-2	6~10kV同步电动机的各种故障和不正常运行方式	233
8-3	6~10kV电动机保护装置的装设原则	234

8-4	瞬时电流速断保护	235
8-5	纵联差动保护	239
8-6	6~10kV电动机的单相接地保护	241
8-7	6~10kV电动机的过负荷保护	242
8-8	6~10kV电动机的低电压保护	244
8-9	6~10kV同步电动机的失步保护	246
8-10	计算示例	247
第九章	6~10kV并联电力电容器组的保护	250
9-1	6~10kV并联电力电容器组的各种故障及其发生故障的主要原因	250
9-2	6~10kV并联电力电容器组保护装置的装设原则	252
9-3	瞬时或短延时过电流保护	254
9-4	双星形接线电容器组的中性点电流平衡保护	256
9-5	双三角形接线电容器组的相横差电流保护	259
9-6	单三角形接线电容器组的零序电流保护	261
第十章	用高压熔断器保护	263
10-1	应用范围	263
10-2	基本要求	263
10-3	用高压熔断器保护 6~35kV线路	264
10-4	用高压熔断器保护一次侧电压为 6~35kV的降压变压器	265
10-5	用高压熔断器保护 6~10kV并联电力电容器组	267
第十一章	自动装置及其与继电保护的配合	269
11-1	单侧电源线路的三相自动重合闸装置	269
11-2	三相自动重合闸装置与继电保护的配合	276
11-3	备用电源自动投入装置 (BZT)	279
11-4	备用电源自动投入装置的整定计算	282
第十二章	电流保护的動作配合	287
12-1	电流保护的動作配合概要	287
12-2	电流保护的相对灵敏系数	287
12-3	电流保护之间的电流配合	291
12-4	电流保护之间的时限配合	296
12-5	电流保护与熔断器保护的配合	301
12-6	熔断器保护与熔断器保护的配合	303
12-7	保护動作配合计算示例	304
第十三章	操作电源	311
13-1	概述	311
13-2	交流操作电源	312
13-3	整流操作电源	314
13-4	蓄电池直流系统	331
附录一	同步电动机的短路比及在失步时定子电流倍数的估算	345
主要参考文献		346

绪 论

工业企业继电保护是指工业企业供配电系统的继电保护。工业企业供配电系统是电力系统的一个组成部分，它的配电系统和变电所多数是终端线路及其降压变电所。因此，工业企业继电保护装置结构比较单一，保护范围较小，但保护的种类多，比较集中，受不同负荷特性的影响，设置场所和环境又各式各样。因而它是电力系统继电保护中的一个特殊部分。

0-1 工业企业配电系统的构成和保护的关系

工业企业内的负荷设备一般可分为动力用电动机和照明，特殊集中的负荷有电解用整流器和熔解加热用的各种类型电炉、电热器等。工企供配电系统根据负荷大小、传输距离、负荷设备所需的电压、基建投资以及配电系统的可靠性和经济性等因素确定，一般分为两个系统：

(1) 电源系统：是指从电源至工业企业总降压变电所或总配电所的供电系统，包括高压架空线路或电缆线路。

(2) 配电系统：是指从总降压变电所或总配电所至各车间变电所及高压用电设备的配电系统，包括厂区内的高压线路、车间变电所和高压用电设备等。

工业企业配电系统由至总降压变电所的高压架空线路或电缆线路，工厂总降压变电所，配电所，车间变电所，厂区内的高压线路，高压用电设备等部分组成。

负荷较大的大、中型工业企业通常多设置总降压变电所。在总降压变电所内，安装1~2台主变压器，其容量自几千到几万千伏安，供电范围在几公里之内。当地区供电电压为6~10kV时，中小型的工业企业一般仅设置总配电所或独立变配电所。如工业企业中车间变电所较多，或有3~4台以上电力变压器及高压电动机时，宜选择其中一个车间变电所扩充为变配电所，所内设有1~2台电力变压器和高压配电装置。当工业企业中只有低压用电设备且配电变压器不超过2台时，则仅设车间变电所。故配电系统通常采用放射式或树干式，有时二者兼而有之，个别企业也有环网的配电方式。

在实际的工业生产中，即使末端供配电设备发生故障，亦会使产品减产和生产设备损坏，因而要求工厂供电的可靠性日趋严格。为了保证可靠供电，在高压设备、线路的电源侧均要求设置继电保护。它的职能是在配电系统不正常或故障的情况下提供信息，使相应的线路开关设备动作，将不正常或故障部分及时地从系统中切除，以保证正常和非故障部分继续工作；或者发出警报信号，以便值班人员检查，并采取消除故障的措施。

0-2 继电保护装置的作用和特点

工厂配电系统和电气设备，在设计和运行中，由于绝缘老化、机械损伤或其他原因，能发生各种故障和不正常的工作状态。在三相交流供配电系统中，最常见、同时也是最危险的故障是各种类型的短路，包括三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路、两点接地短路以及电机和变压器一相绕组上的匝间短路等。此外，供配电线路还可能发生一相或两相断线以及上述几种故障所组合的更为复杂的故障。由于短路故障的发生，可能引起下列后果：

(1) 故障点通过很大的短路电流和所燃起的电弧，将故障设备烧坏甚至烧毁；

(2) 短路电流通过故障设备和非故障设备时，产生热和电动力的作用，致使其绝缘遭到损坏或使设备的使用寿命缩短；

(3) 供配电系统内的部分网络供电电压极大地降低，使正常生产遭到破坏，甚至使产品报废；

(4) 若事故扩大将造成较大范围的停电，使相邻的工业企业的生产瘫痪，造成更大的停电损失。

当工厂供配电系统中正常工作状态被破坏，但并未发生故障时，则叫不正常工作状态。不正常工作状态会使电能质量变坏，个别情况下使电气设备遭到损坏。最常见的不正常工作状态是过负荷和供配电系统的功率不足所导致的频率下降、电压降低等。

继电保护装置的功能就是反应电气设备的故障或不正常工作状态，而作用于断路器跳闸或发出信号的自动装置。它由各种类型的继电器组成。其主要作用是通过预防故障或缩小故障范围来提高配电系统运行的可靠性，最大限度地保证安全可靠供电。它也是配电系统自动化的重要组成部分，是保证系统可靠运行的主要措施之一。此外，为了提高供电的可靠性和供电质量，在工业企业供配电系统中还装设了各种自动装置，例如：线路或变压器在事故切除后进行自动重合的“自动重合闸装置”(ZCH)；为保证重要负荷的可靠供电，在供电电源跳闸后，自动投入备用电源的“备用电源自动投入装置”(BZT)等。

工业企业继电保护装置的特点通常可归纳为以下几个方面：

(1) 继电保护装置是保证安全送电和电能质量的重要手段。设计继电保护装置时，应根据供配电系统的接线和运行需要，适当考虑系统发展的要求，以及合理的运行方式和故障类型(不考虑可能性很小的故障情况)，切合实际地制定方案和选择保护设备。

(2) 当发生各种类型的短路故障时，保护装置应尽快地切除故障，缩小故障范围，保证配电系统非故障部分的正常运行。

(3) 继电保护装置本身结构应力求简单可靠、元件和触点少、维护方便，并尽可能适应配电系统运行的灵活性。配电电压为6~10kV的中小企业一般多采用反时限特性的电流继电器。

(4) 配电系统中的配电设备和线路应有主保护和后备保护。主保护应能快速并有选

择地切除被保护区内的故障,后备保护应在主保护或断路器拒绝动作时切除故障。后备保护可分为远后备和近后备。 $3\sim 10\text{kV}$ 配电系统中的后备保护,一般采用远后备保护方式,即当主保护或断路器拒绝动作时,由相邻设备或线路的保护实现后备。

(5) 保护装置用电流互感器的误差不应大于10%。若技术上难以满足要求,只有在不致使保护装置不正确动作时,才允许有较大的误差。

在配电系统正常运行情况下,电压互感器的二次回路断线或其他故障能使保护装置误动作时,应装设自动闭锁装置,将保护解除动作并发出信号,当保护装置不致误动作时,一般装设电压回路断线信号装置。

(6) 当采用交流整流电流作为保护操作电源时,整流后的直流电压应根据保护装置和设备的技术要求而定,正常时接于设备的电压平均值一般不高于额定电压的110%,不低于额定电压的80%。此外,还应满足以下要求:

1) 当采用电容储能装置时,应在失去交流电源的情况下,能保证保护装置以不同的时限切除故障元件的所有断路器。对集中储能的电容,应有便于值班人员进行定期检查电容器的监视装置。

2) 当重合闸装置重合于故障时,仍应能可靠地切除故障。

0-3 对继电保护装置的基本要求

继电保护装置应满足四项基本要求,即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。对于反应不正常工作状态,作用于信号的继电保护,则不要求对这四项基本要求都同时满足。

一、选择性

当供配电系统发生故障时,使距离故障点最近的继电保护装置动作,切除故障设备或线路,保证无故障部分继续运行。保护装置的这种动作称为有选择性的动作。在单端供电系统中,继电保护动作的选择性,可采取选择不同延时或不同动作电流的办法得到。故有时限阶段特性和反时限特性的保护,前后两级之间灵敏性和动作时限均应相互配合。另外,根据配电系统运行的要求,需加速切除短路时,可使保护装置无选择地动作,但应采用自动重合闸或备用电源自动投入装置来补救。图0-1是具有二路工作电源和一路备用电源的配电系统示意图。

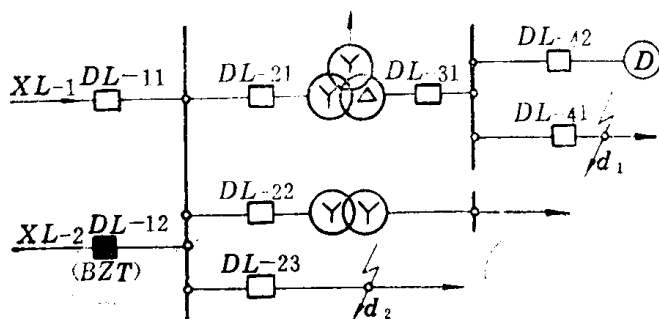


图 0-1 配电系统示意图
XL1——工作线路, XL-2—备用线路

图中线路及变压器的油断路器都装有继电保护装置。当 d_1 点发生短路故障时,断路器 $DL-41$ 、 $DL-31$ 、 $DL-21$ 及 $DL-11$ 均有短路电流流过,在这种情况下,根据选择性的要求,应该只有断路器 $DL-41$ 的保护装置动作于跳闸,将故障线路从系统中切除,系统的其余部分仍能正常运行。

d_1 点发生故障时,如果断路器 $DL-41$ 由于某些原因拒绝动作,则应由上一级保护装置①动作使断路器 $DL-31$ 跳闸。这样在切除故障线路时虽然切除了一部分非故障线路,但却限制了故障的扩展,使停电范围尽可能缩小。动作于断路器 $DL-31$ 的保护装置起着对下一段线路②的后备保护作用。在这种情况下,断路器 $DL-41$ 拒绝动作,断路器 $DL-31$ 跳闸切除故障仍然认为是有选择性的。同理,如果断路器 $DL-31$ 拒动,则由更上一级保护装置③动作使断路器 $DL-21$ 跳闸。

当 d_2 点发生故障时,如果断路器 $DL-23$ 拒绝动作,则应由电源处的保护装置动作使断路器 $DL-11$ 跳闸。当工作电源已经断开,且备用电源有足够高的电压时才允许BZT动作接通备用电源。BZT的动作时间应尽量缩短,以利电动机的自启动。根据国家标准要求,备用电源自动投入装置的接线应保证自动投入装置只动作一次,如自动投入装置投入到稳定性故障上,必要时,应使动作于断路器跳闸的保护加速动作。

保护装置动作的选择性是为了提高供电的可靠性。无选择性地切除故障,将扩大事故停电的范围,给国民经济带来不应有的损失。

二、速动性

快速切除短路故障可以减轻短路电流对电气设备的破坏程度,缩小故障影响的范围,加速恢复供配电系统正常运行的过程,最大限度地减小对用户的影响。因此,在条件许可的情况下,继电保护装置应力求快速动作。

速动对供配电系统的可靠性及稳定性关系很大。当网络发生短路故障,引起电源端母线电压降低时,非故障线路上电动机工作的恢复与否与故障切除的时间关系密切。如工业企业内起动困难的大型空气压缩机,当电压全部消失后,只能支持 $0.2''$ 工作;如故障切除,电压恢复的时间不超过 $0.2''$,则安装在用户处的这类设备不需从电网中切除,否则将影响其用电的可靠性。由于故障切除的时间是继电保护动作的时间和断路器跳闸时间之和,因此,为了保证速动,既要选用快速动作的继电保护装置,又需选用快速动作的断路器。

但在某些情况下,快速性和选择性会有矛盾,这时应在保证选择性的前提下,力求保护装置动作的快速性。

三、灵敏性

保护范围内发生故障和不正常工作状态时,继电保护装置的反应能力称为灵敏性。保护装置灵敏与否,一般都用灵敏性来衡量。灵敏性是衡量继电保护装置在供配电系统发生故障和不正常工作状态时,能否动作的一个重要指标。设计继电保护装置时,都必须进行灵敏性的校验。灵敏性的高低通常用灵敏系数 K_m 表示,它根据最不利的运行方式和故障类

① 上一级保护装置系指变压器低压侧装设的保护。

② 下一段线路系指油断路器 $DL-41$ 后分接出的线路。

③ 更上一级保护装置系指变压器电源侧设置的保护。

型进行计算，但不考虑可能性很小的情况，必要时，还应计及短路电流衰减的影响。其表示方法可分以下两类：

(1) 对于在故障情况下反应参数数值上升的保护装置，如过电流保护装置，其灵敏系数表示为：

$$\text{灵敏系数 } K_m = \frac{\text{被保护区内末端发生金属性短路时的最小短路电流}}{\text{保护装置的一次侧动作电流}} \\ = \frac{I_{d.min}}{I_{dz}}$$

对于多相短路保护， $I_{d.min}$ 取两相短路电流最小值 $I_{d.min}^{(2)}$ ；对6~10kV中性点不接地系统的单相短路保护取单相接地电容电流最小值 $I_{d0.min}$ ；对380/220V中性点接地系统的单相短路保护取单相接地电流最小值 $I_{d.min}^{(1)}$ 。

(2) 对于在故障情况下反应参数数值下降的保护装置，如低电压保护，其灵敏系数表示为：

$$\text{灵敏系数 } K_m = \frac{\text{保护装置的动作电压}}{\text{被保护区内发生金属性短路时连接该保护装置的母线上的实际电压}} \\ = \frac{U_{dz}}{U_d}$$

灵敏系数标志着在故障发生之初，继电保护反应故障的能力。高灵敏度的保护装置反应故障灵敏，从而减小了故障对系统的影响和波及范围，但有可能使工作的可靠性降低，使保护装置本身接线复杂而投资昂贵。如果为了满足相邻保护区末端短路时的灵敏性要求，将使保护过分复杂或在技术上难以实现时，可按下列原则处理：

- (1) 在变压器低压侧短路的情况下，可缩短后备保护作用的范围；
- (2) 后备保护灵敏系数可仅按常见的运行方式和故障类型进行计算；
- (3) 后备保护可无选择地动作，但应尽量采用自动重合闸或备用电源自动投入装置来补救。

根据国家标准《工业与民用电力装置的继电保护和自动装置设计规范》GBJ62-83的规定，保护装置最低的常用灵敏系数如表0-1所示。

表 0-1 保护装置的最低灵敏系数

保护分类	保护类型	组成元件	最低灵敏系数	备 注
主 保 护	电流速断保护	电 流 元 件	2.0	按保护安装处短路计算
	过电流保护	电 流 元 件	1.5	个别情况下可为1.25
		零 序 元 件	2.0	
	线路、电动机的纵联差动保护	差电流元件	2.0	
	中性点不接地系统中的单相接地保护	电 流 元 件	1.5	架空线路
			1.25	电缆线路
后 备 保 护	远后备保护	电 流 元 件	1.2	按相邻保护区末端短路计算

四、可靠性

继电保护装置经常处于准备动作状态，当属于该保护范围内的故障和不正常工作状态发生时，应能可靠动作，即不应拒绝动作。当不属于该保护范围内的故障和不正常工作状态发生时，应能可靠地不动作，即不应误动作。继电保护装置的可靠性高低可用拒动率和误动率表示。拒动率和误动率愈小，可靠性就愈高。

要求保护装置有高度的可靠性，这一点非常重要。因为保护装置拒绝动作或误动作，都将使配电系统事故扩大，给配电系统和企业带来严重损失。为使继电保护装置可靠地工作，要注意以下几点：

- (1) 采用高质量的继电器和元件；
- (2) 保护装置接线应力求简单，用尽可能少的继电器及其触点数目；
- (3) 精心设计计算，正确调试，保证安装质量，并要很好地维护和管理。

继电保护装置除满足上面的基本要求外，还要求投资省、便于调试和运行维护，并尽可能满足用电设备运行的条件。

我们在考虑继电保护装置的方案时，要正确处理四个基本要求之间相互联系又相互矛盾的关系，使继电保护方案技术上安全可靠，经济上合理。

第一章 常用继电器的构成和动作原理

1-1 电流继电器和电压继电器

一 电磁型电流继电器和电压继电器

电磁型电流继电器和电压继电器的动作原理较为简单，且已为一般电气技术人员所熟悉，所以在此仅简要介绍其结构和动作原理。

1. DL-10与DJ-100系列继电器

DL-10与DJ-100系列继电器均系瞬时动作电磁式继电器，其结构如图1-1所示。

当继电器线圈回路中有电流通过时，产生电磁力矩 M_{DC} ，它克服弹簧的反作用力矩 M_T ，使舌片向磁极趋近。舌片所受的电磁力与电流平方成正比。当继电器线圈中的电流所产生的电磁力矩，大于弹簧及可动系统重力和摩擦力产生的阻力矩时，继电器动作。当继电器线圈中的电流中断或减小到一定数值时，因弹簧反作用力矩的作用，继电器返回。

这类继电器，不希望用于刻度盘的开始部分，因为这时机械力矩的数值很小，即使继电器的机械状态变更不大，一旦侵入灰尘、触点弹片变形等，均将使继电器的动作性能发生

显著变化，以致可能引起继电器拒绝动作。故这类继电器最好应用在不小于全刻度盘的1/3处。在继电器热容量允许时，应使用规格较小的继电器，以使其整定位置在刻度盘的右方。继电器有两个线圈，可以串联或并联使用，以使刻度盘的调整范围增大一倍。如果再加上改变调整把手的位置，那么动作值的调整范围可变更四倍。对电流继电器，当线圈串联时，动作值较并联时小一倍。对电压继电器，当线圈串联时，动作值较并联时大一倍。

对经常接入电压的低电压继电器，为了减小因继电器的振动而造成的磨损，其整定值应不小于全刻度的1/3。如果整定值小于40伏时，应采用有附加电阻的DJ-131/60CN型电压继电器（CN表示内附电阻）。

DJ-131/60C型电压继电器，当采用FZ-2型外附电阻时，其接线如图1-2所示。此时，继电器的串、并联应在附加电阻的端子上进行。

DL-10系列电流继电器和DJ-100系列过电压继电器的返回系数不小于0.85。对DJ-100系列低电压继电器，返回系数不大于1.2。

2. DL-20C、DL-30系列电磁型电流继电器和DY-20C、DY-30系列电压继电器简介

（1）目前采用的电磁型电流继电器除DL-10系列外，还有DL-20C、DL-30系列，

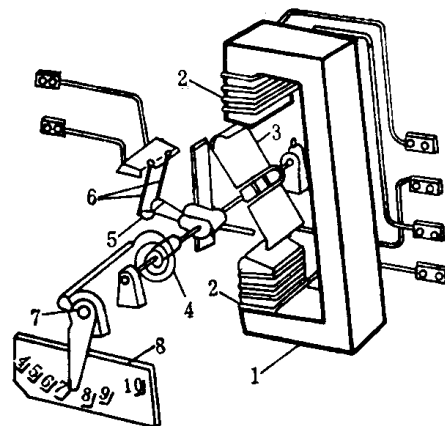


图 1-1 DL-10、DJ-100系列继电器结构图

1—电磁铁，2—线圈，3—Z型舌片，
4—弹簧，5—动触点桥，6—静触点，
7—整定值调整把手，8—刻度盘

其结构如图1-3所示。DL-20C、DL-30系列的电流继电器为组合式继电器，是改进后的新产品。其工作原理与DL-10系列相同，只是对电磁铁和触点系统作了某些改进，使体积较DL-10系列小了。DL-20C和DL-30系列继电器的返回系数不低于0.85。

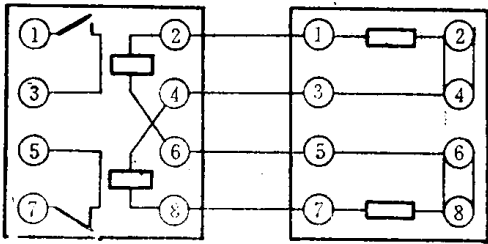


图 1-2 DJ-131/60C
型继电器与附加电阻连接图

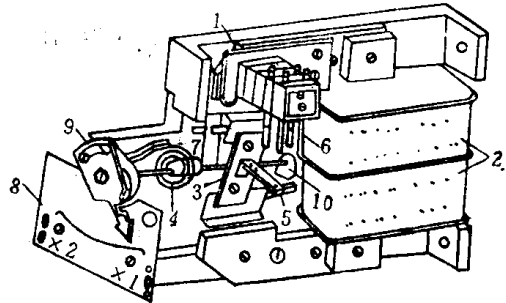


图 1-3 DL-20C、DL-30系列
电流继电器结构图
1—电磁铁；2—线圈；3—Z形舌片；4—弹
簧；5—动触点；6—静触点；7—限制螺
杆；8—刻度盘；9—定值调整把手；10—轴承

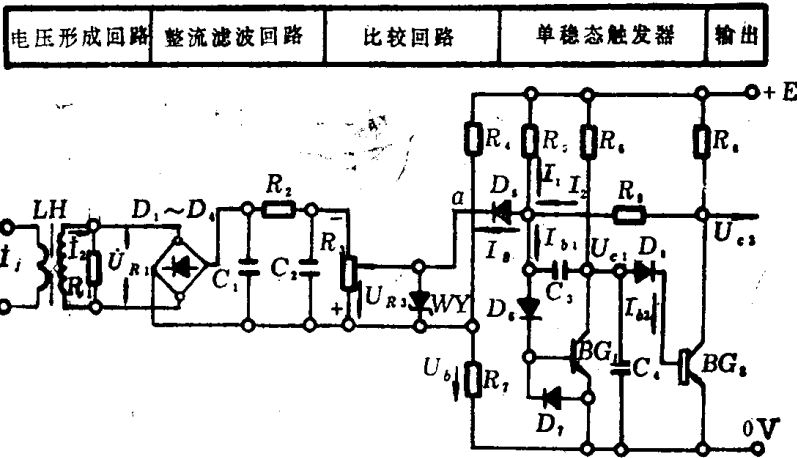
(2) 目前DY-20C、DY-30系列电压继电器已广泛采用。其工作原理和DJ-100系列电压继电器相同，构造与DL-20C、DL-30系列电流继电器相同。这两种系列的过电压继电器的返回系数不低于0.85；低电压继电器的返回系数不大于1.2。

二、晶体管型电流、电压继电器基本原理

目前各制造厂生产的晶体管型电流、电压继电器，虽各有自己独特之处，但都是以反映电流、电压的增减为动作判据的。下面将最基本的常用原理接线予以介绍。

1. 晶体管型电流继电器

晶体管型电流继电器的原理接线如图1-4所示。现对各组成部分分析说明如下：



所需要的信号电压。当整流滤波回路以后的负载电阻远大于 R_1 时, $\dot{U}_{R1} \approx \dot{I}_1 R_1$ 。

(2) 整流滤波回路是由二极管 $D_1 \sim D_4$ 和II型滤波器(C_1 、 C_2 、 R_2)组成, 它将交流输出电压 $\dot{U}_{R1}$ 变成一个平滑的直流电压加于电位器 R_3 上。从 R_3 活动触头取出的电压 U_{R3} , 与加入继电器的电流 I_1 成正比, 可以用它来调节继电器的起动电流。

(3) 比较回路是由 R_4 和 R_7 组成, 在 R_7 两端分压得到一个电压 U_b (一般2~4伏), 我们称之为比较电压或门槛电压。继电器是否动作, 主要取决于 U_{R3} 和 U_b 的比较结果, $U_{R3} \geq U_b$ 则继电器动作。因此, 调节 U_{R3} 就可以调整继电器的起动电流。

(4) 执行回路是一个由三极管 BG_1 和 BG_2 组成的两级直流放大单稳态触发器, BG_2 集电极输出电压 U_{c2} 的变化, 即表示继电器的不同工作状态(起动与返回)。采用单稳态触发器的目的, 是为了使该晶体管继电器能具有电磁型电流继电器类似的“继电器特性”。下面将分析这种触发器的工作原理。

1) 正常工作情况时 $I_1 < I_{dz}$, $U_{R3} < U_b$, 因此, D_5 承受反向电压, $I_5 = 0$, 输入信号回路对触发器的工作不产生影响。在这种情况下, BG_1 的基极电流 I_{b1} 由两部分组成, 即

$$I_{b1} = I_1 + I_2 \quad (1-1)$$

式中 I_1 ——经偏流电阻 R_5 的电流, 其值略小于 $\frac{E}{R_5}$;

I_2 ——经反馈电阻 R_9 的电流, 其值略小于 $\frac{E}{R_5 + R_9}$ 。

正常工作情况下, 在 I_{b1} 的作用下, BG_1 处于饱和导通状态, 其集电极电压 $U_{c1} = 0.1 \sim 0.2$ 伏, 此电压不足以使 BG_2 导通, 因此 BG_2 处于截止状态。由 BG_2 集电极输出的电压 $U_{c2} \approx E$, 对应于继电器不动作的状态。

2) 当 I_1 增大到 I_{dz} 时, U_{R3} 开始大于门槛电压 U_b , a 点电压由正变为负, D_5 导通, 因此 BG_1 的 I_{b1} 被输入信号回路所分流开始减小, 随着 I_{b1} 的减少, BG_1 开始由饱和导通状态经放大区而向截止状态过渡, 由于正反馈电阻 R_9 的存在, 使这一过程进行得十分迅速, 因而具有触发器的特性。对应此时加入继电器的电流值, 就是继电器的起动电流。

3) 在继电器动作之后, 由于 $I_2 \approx 0$, 当 I_1 减小时, 只有 U_{R3} 减小的比原来继电器起动时的值更小时, BG_2 才可能重新导通, 对应此时加入继电器的电流, 就是继电器的返回电流。继电器的返回系数小于1, 继电器的这个技术特性, 是反馈电阻 R_9 作用的结果, 调节 R_9 的数值可以得到我们需要的返回系数。一般返回系数已由制造厂调好。

4) 回路中其他元件的作用。二极管 D_5 的作用是当 a 点呈现正电位时, 二极管 D_5 承受反向电压, 其阻抗值近似等于无穷大, 消除了执行回路对整流滤波回路负载的影响; D_6 主要起温度补偿作用; D_7 保护三极管 BG_1 , 以免 $b-e$ 极间在较大的反向电压作用下被击穿; C_3 、 C_4 为抗干扰电容, 用以防止来自输入端的负干扰脉冲引起继电器的误动作; 稳压管 WY 用来限制加入到逻辑回路的输入信号电压, 对逻辑回路的元件起到保护作用。

2. 晶体管型电压继电器

(1) 晶体管型过电压继电器的动作原理和继电器的构成与电流继电器基本相同。其