

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

DIANLIXITONG JIDIANBAOHU
XITIJI

电力系统继电保护 习题集

张保会 潘贞存 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

DIANLIXITONG JIDIANBAOHU
XITIJI

电力系统继电保护 习题集

张保会 潘贞存 编
尹项根 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材，通过对《电力系统继电保护》每章习题的详细解答，帮助读者更好地学习电力系统继电保护课程，加深对基本理论的理解，掌握解题的方法，提高计算能力和解决实际问题的能力。

本书可作为普通高等学校电气信息类专业教学辅导用书，也可作为研究生、继电保护工作者的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统继电保护习题集/张保会, 潘贞存编. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

ISBN 978-7-5083-7769-8

I. 电… II. ①张…②潘… III. 电力系统—继电保护—高等学校—习题 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 126173 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.75 印张 156 千字

定价 10.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是配套《普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电力系统继电保护》(张保会、尹项根主编)而编写的习题集,可以配合本科专业课堂教学的课程作业使用,也可作为相关专业研究生的教学参考书,还可以作为继电保护工作者的参考书。

《电力系统继电保护》(张保会、尹项根主编)自2005年5月第一次印刷以来,2008年7月已经第12次印刷,总印量44000册。根据本教材于2006年(北京)和2007年(长沙)举办的两次应用研讨会上多数教师的要求,决定配备教学辅助材料电子教案和习题集。电子教案已经于2007年初由山东大学潘贞存教授制作完成并随教师用书发行。

本书仅采集教材后各章所列出的习题和思考题,题及题中参数完全不变,部分习题中参数不尽合理,但是在实际的电力系统中这种参数是存在的,给出的习题解只是该题目的一种解法,仅供读者参考。

本书由西安交通大学张保会教授、山东大学潘贞存教授合编。参加习题集解答和校验工作的有张保会教授指导的2002年、2006年入学硕士研究生8人和潘贞存教授指导的2006年入学博士研究生2人、硕士研究生4人,在此对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

本书由华中科技大学尹项根教授主审审定,在审阅过程中提出了很多宝贵的意见和建议,对尹教授的不吝赐教深表谢忱!

限于编者的水平和经验,书中难免有不当或疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年7月22日

目 录

前言

1 绪论习题及参考答案	1
2 电网的电流保护习题及参考答案	4
3 电网距离保护习题与思考题答案	29
4 输电线路纵联保护习题与参考答案	52
5 自动重合闸习题及参考答案	63
6 电力变压器保护习题与思考题	68
7 发电机保护习题及思考题	76
8 母线保护习题及复习思考题	84
9 数字式继电保护技术基础习题及参考答案	87

1 绪论习题及参考答案

1.1 电力系统如果没有配备完善的继电保护系统，想象一下会出现什么情景？

答：现代的电力系统离开完善的继电保护系统是不能运行的。当电力系统发生故障时，电源至故障点之间的电力设备中将流过很大的短路电流，若没有完善的继电保护系统将故障快速切除，则会引起故障元件和流过故障电流的其他电气设备的损坏；当电力系统发生故障时，发电机端电压降低造成发电机的输入机械功率和输出电磁功率的不平衡，可能引起电力系统稳定性的破坏，甚至引起电网的崩溃、造成人身伤亡。如果电力系统没有配备完善的继电保护系统，则当电力系统出现不正常工作状态时，不能及时地发出信号通知值班人员进行合理的处理。

1.2 继电保护装置在电力系统中所起的作用是什么？

答：继电保护装置就是指能反应电力系统中设备发生故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。

它的作用包括：①电力系统正常运行时不动作；②电力系统不正常运行时发报警信号，通知值班人员处理，使电力系统尽快恢复正常运行；③电力系统故障时，甄别出发生故障的电力设备，并向故障点与电源点之间、最靠近故障点的断路器发出跳闸指令，将故障部分与电网的其他部分隔离。

1.3 继电保护装置通过哪些主要环节完成预定的保护功能，各环节的作用是什么？

答：继电保护装置一般通过测量比较、逻辑判断和执行输出三个部分完成预定的保护功能。测量比较环节是测量被保护电气元件的物理参量，并与给定的值进行比较，根据比较的结果，给出“是”、“非”、“0”或“1”性质的一组逻辑信号，从而判别保护装置是否应该启动。逻辑判断环节是根据测量环节输出的逻辑信号，使保护装置按一定的逻辑关系判定故障的类型和范围，最后确定是否应该使断路器跳闸。执行输出环节是根据逻辑部分传来的指令，发出跳开断路器的跳闸脉冲及相应的动作信息、发出警报或不动作。

1.4 依据电力元件正常工作、不正常工作 and 短路状态下的电气量幅值差异，已经构成哪些原理的保护，这些保护单靠保护整定值能切除保护范围内任意点的故障吗？

答：利用流过被保护元件电流幅值的增大，构成了过电流保护；利用短路时电压幅值的降低，构成了低电压保护；利用电压幅值的异常升高，构成了过电压保护；利用测量阻抗的降低和阻抗角的变大，构成了低阻抗保护。

单靠保护整定值不能切除保护范围内任意点的故障，因为当故障发生在本线路末端与下级线路的首端出口处时，本线路首端的电气量差别不是很大。所以，为了保证本线路短路时能快速切除而下级线路短路时不动作，这种单靠整定值的保护只能够保护线路的一部分。

1.5 依据电力元件两端电气量在正常工作和短路状态下的差异，可以构成哪些原理的保护？

答：利用电力元件两端电流的差别，可以构成电流差动保护；利用电力元件两端电流相位的差别，可以构成电流相位差动保护；利用两侧功率方向的差别，可以构成纵联方向比较

式保护。利用两侧测量阻抗的大小和方向的差别，可以构成纵联距离保护。

1.6 如图 1-1 所示，线路上装设两组电流互感器，线路保护和母线保护应各接哪组互感器？

答：线路保护应接 TA1，母线保护应接 TA2。因为母线保护和线路保护保护区必须重叠，使得任意点的故障都处于保护区内。

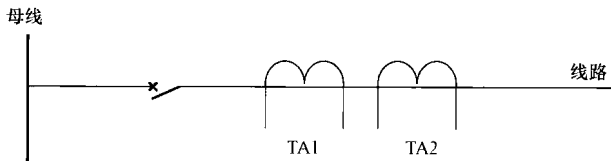


图 1-1 电流互感器选用示意图

1.7 结合电力系统分析课程知识，说明加快继电保护的動作时间，为什么可以提高电力系统的稳定性？

答：由电力系统分析知识可知，故障发生时发电机输出的电磁功率减小而机械功率基本不变，从而使发电机产生加速的不平衡功率。继电保护的動作越快，发电机加速时间越短，功角摆开幅度就越小，越有利于系统的稳定。

由分析暂态稳定性的等面积理论可知，继电保护的動作速度越快，故障持续的时间越短，发电机的加速面积就越小，减速面积就会越大，发电机失去稳定性的可能性就越小，即稳定性得到了提高。

1.8 后备保护的作用是什么？阐述远后备保护和近后备保护的优缺点。

答：后备保护的作用是在主保护因保护装置拒动、保护回路中的其他环节损坏、断路器拒动等原因不能快速切除故障的情况下，迅速启动来切除故障。

远后备保护的优点是：保护范围覆盖所有下级电力元件的主保护范围，它能解决远后备保护范围内所有故障元件由任何原因造成的不能切除问题。

远后备保护的缺点是：①当多个电源向该电力元件供电时，需要在所有电源侧的上级元件处配置远后备保护；②動作将切除所有上级电源侧的断路器，造成事故扩大；③在高压电网中往往难以满足灵敏度的要求。

近后备保护的优点是：①与主保护安装在同一断路器处，在主保护拒动时近后备保护動作；②動作时只切除主保护要跳开的断路器，不造成事故扩大；③在高压电网中能满足灵敏度的要求。

近后备保护的缺点是：变电所直流系统故障时可能与主保护同时失去作用，无法起到“后备”的作用；断路器失灵时无法切除故障，不能起到保护作用。

1.9 从对继电保护的“四性”要求及其间的矛盾，阐述继电保护工作既是理论性很强，又是工程实践性很强的工作。

答：继电保护的可靠性、选择性、速动性和灵敏性四项基本要求之间既矛盾又统一。继电保护的科学研究、设计、制造和运行的大部分工作也是围绕如何处理好这四者的辩证统一关系进行的。

电力系统继电保护既是一门理论性很强，又是工程实践性很强的学科。首先继电保护工作者要掌握电力系统、电气设备的基本工作原理、运行特性和分析方法，特别要掌握电力系

统故障时电气量变化的规律和分析方法,通过寻求电力系统不同运行状态下电气量变化的特点和差异来“甄别”故障或不正常状态的原理和方法,应用不同的原理和判据实现继电保护的基本方法,所以需要很强的理论性。

由于被保护的电力系统及其相关的电气设备千差万别,故障时电气量的变化受多种因素的影响和制约,因此任何一种继电保护原理或装置都不可能不加调整地应用于不同的电气设备或系统,而应根据实际工程中设备、系统的现状与参数,对其继电保护作出必要的调整。相同原理的保护装置在应用于电力系统不同位置的元件上时,可能有不同的配置和配合;相同的电力元件在电力系统不同位置安装时,可能配置不同的继电保护,这些均需要根据电力系统的工程实际,具体问题具体分析,所以继电保护又具有很强的工程实践性。

1.10 从继电保护的发展史,谈与其他学科技术发展的相关性。

答:继电保护装置是电力系统中最重要辅助设备。继电保护学科是随电力系统的发展和扩大,对继电保护装置要求的不断提高而发展、完善起来的。最早的电力系统电压等级低、电气元件数目少,一般采用熔断器来实现电路的短路保护。随着电力系统的发展和扩大,熔断器保护在选择性、灵敏性和切断能力等方面已经难以满足要求,导致了断路器和过电流继电器的出现。20世纪初,过电流继电器开始应用于电力系统的保护,被认为是继电保护技术发展的开端。随后不同地区的发电厂之间的并网运行,导致了方向性过电流保护的出现。随着电压等级的提高和输电距离的变远,又陆续出现了距离保护原理、纵联电流差动保护原理、纵联方向比较原理等。近年来,随着超高压、特高压电网的出现和发展,又出现了应用故障分量的继电保护原理。解决和满足电力系统发展给继电保护带来的新问题和新要求,是继电保护学科发展的动力和源泉。

材料、器件、制造、通信技术等相关学科的发展,为继电保护原理和技术的发展提供了良好的基础。从20世纪初到现在,继电保护装置经历了机电式保护装置(包括感应型、电磁型、整流型)、静态继电保护装置(包括晶体管型和集成电路型)和数字式继电保护装置三大发展阶段。自20世纪70~80年代微处理器技术应用于继电保护领域以来,继电保护的实现原理和技术发生了革命性变化,以微处理器为核心的数字式保护已经成为继电保护的主流技术。电力线载波技术的出现和发展,为纵联方向保护和纵联电流相位比较式保护原理的应用提供了可能,推动了纵联保护原理与技术的发展。微波及光纤通信技术的普及,为纵联电流保护的应用提供了更好的通信手段,光纤通信目前正在取代载波成为纵联保护的主要通信手段。

由此可见,继电保护学科的发展,是与电力系统以及其他相关学科的发展和进步息息相关的。

2 电网的电流保护习题及参考答案

2.1 在过量（欠量）继电器中，为什么要求其动作特性满足“继电特性”？若不满足“继电特性”，当加入继电器的电量在动作值附近时将可能出现什么情况？

答：过量继电器的继电特性类似于电子电路中的“施密特特性”，如图 2-1 所示。当加入继电器的动作电量（图中的 I_k ）大于其设定的动作值（图中的 I_{op} ）时，继电器能够突然

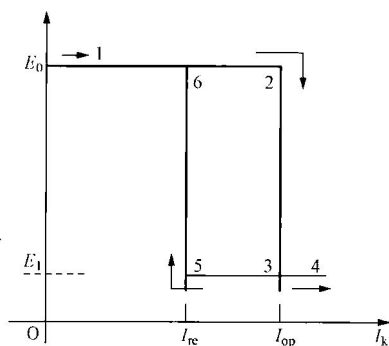


图 2-1 继电特性曲线

动作；继电器一旦动作以后，即使输入的电气量减小至稍小于其动作值，继电器也不会返回，只有当加入继电器的电量小于其设定的返回值（图中的 I_{re} ）以后，它才突然返回。无论启动还是返回，继电器的动作都是明确干脆的，它不可能停留在某一个中间位置，这种特性称为“继电特性”。

为了保证继电器可靠地工作，其动作特性必须满足“继电特性”，否则当加入继电器的电量在动作值附近波动时，继电器将不停地在动作和返回两个状态之间切换，出现“抖动”现象，后续的电路将无法正常工作。

2.2 请举例说明为实现“继电特性”，电磁型、集成电路型、数字型继电器常分别采用哪些技术？

答：在过量动作的电磁型继电器中，继电器的动作条件是电磁力矩大于弹簧的反拉力矩与摩擦力矩之和，当电磁力矩刚刚达到动作条件时，继电器的可动衔铁开始转动，磁路气隙减小，在外加电流（或电压）不变的情况下，电磁力矩随气隙的减小而按平方关系增加，弹簧的反拉力矩随气隙的减小而线性增加，在整个动作过程中总的剩余力矩为正值，衔铁加速转动，直至衔铁完全吸合，所以动作过程干脆利落。继电器返回的过程与之相反，返回的条件变为在闭合位置时弹簧的反拉力矩大于电磁力矩与摩擦力矩之和。当电磁力矩减小到启动返回时，由于这时摩擦力矩反向，返回的过程中，电磁力矩按平方关系减小，弹簧力矩按线性关系减小，产生一个返回方向的剩余力矩，因此能够加速返回，即返回的过程也是干脆利落的。所以返回值一定小于动作值，继电器有一个小于 1 的返回系数。这样就获得了“继电特性”。

在集成电路型继电器中，“继电特性”的获得是靠施密特触发器实现的，施密特触发器的特性，就是“继电特性”。

在数字型继电器中，“继电特性”的获得是靠分别设定动作值和返回值两个不同的整定值而实现的。

2.3 解释“动作电流”、“返回电流”和“返回系数”，过电流继电器的返回系数过低或过高各有何缺点？

答：在过电流继电器中，为使继电器启动并闭合其触点，就必须增大通过继电器线圈的电流 I_k ，以增大电磁转矩，能使继电器动作的最小电流称为动作电流 I_{op} 。

在继电器动作之后,为使它重新返回原位,就必须减小电流以减小电磁转矩,能使继电器返回原位的最大电流称为继电器的返回电流 I_{re} 。

返回系数是返回电流与动作电流的比值,即

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{op}}$$

过电流继电器返回系数过小时,在相同的动作电流下其返回电流较小。一旦动作以后要使继电器返回,流过继电器的电流必须小于返回电流,这样在外部故障切除后负荷电流的作用下继电器可能不会返回,最终导致误动跳闸;而返回系数过高时,动作电流和返回电流很接近,不能保证可靠动作,输入电流正好在动作值附近时,可能会出现“抖动”现象,使后续电路无法正常工作。

继电器的动作电流、返回电流和返回系数都可以根据要求进行设定。

2.4 在电流保护的整定计算中,为什么要引入可靠系数,其值考虑哪些因素后确定?

答:引入可靠系数的原因是必须考虑实际存在的各种误差的影响,例如:

- (1) 实际的短路电流值可能大于计算值;
- (2) 对瞬时动作的保护还应考虑短路电流中非周期分量使总电流增大的影响;
- (3) 电流互感器存在着误差;
- (4) 保护装置中的电流继电器的实际启动电流可能小于整定值。

考虑必要的裕度,从最不利的情况出发,即使同时存在着以上几个因素的影响,也能保证在预定的保护范围以外故障时,保护装置不误动作,因而必须乘以大于1的可靠系数。

2.5 说明电流速断、限时电流速断联合工作时,依靠什么环节保证保护动作的选择性?依靠什么环节保证保护动作的灵敏性和速动性?

答:电流速断保护的動作电流必须按照躲开本线路末端短路的最大短路电流来整定,即靠电流整定值保证选择性。这样,它将不能保护线路全长,而只能保护线路全长的一部分,灵敏性不够。限时电流速断的整定值低于电流速断保护的動作电流,按躲开下级线路电流速断保护的最大動作范围来整定,提高了保护动作的灵敏性,但是为了保证下级线路短路时不误动,增加一个时限阶段的延时,在下级线路故障时由下级的电流速断保护切除故障,保证它的选择性。

电流速断和限时电流速断相配合保护线路全长,速断范围内的故障由速断保护快速切除,速断范围外的故障则必须由限时电流速断保护切除。速断保护的速动性好,但動作值高、灵敏性差;限时电流速断保护的動作值低、灵敏度高,但需要0.3~0.6s的延时才能动作。速断和限时速断保护的配合,既保证了动作的灵敏性,也能够满足速动性的要求。

2.6 为什么定时限过电流保护的灵敏度、動作时间需要同时逐级配合,而电流速断的灵敏度不需要逐级配合?

答:定时限过电流保护的整定值按照大于本线路流过的最大负荷电流整定,不但保护本线路的全长,而且保护相邻线路的全长,可以起远后备保护的作用。当远处短路时,应当保证离故障点最近的过电流保护最先动作,这就要求保护必须在灵敏度和動作时间上逐级配合,最末端的过电流保护灵敏度最高、動作时间最短,每向上一级,動作时间增加一个时间级差,動作电流也要逐级增加。否则,就有可能出现越级跳闸、非选择性动作现象的发生。

由于电流速断只保护本线路的一部分,下一级线路故障时它根本不会动作,因而灵敏度

不需要逐级配合。

2.7 如图 2-2 所示网络，在位置 1、2 和 3 处装有电流保护，系统参数为：

$E_{\varphi} = 115/\sqrt{3}$ kV, $X_{G1} = 15\Omega$, $X_{G2} = 10\Omega$, $X_{G3} = 10\Omega$, $L_1 = L_2 = 60$ km, $L_3 = 40$ km, $L_{B-C} = 50$ km, $L_{C-D} = 30$ km, $L_{D-E} = 20$ km, 线路阻抗 $0.4\Omega/\text{km}$, $K_{rel}^I = 1.2$, $K_{rel}^{II} = K_{rel}^{III} = 1.15$, $I_{B-C.lmax} = 300$ A, $I_{C-D.lmax} = 200$ A, $I_{D-E.lmax} = 150$ A, $K_{ss} = 1.5$, $K_{re} = 0.85$ 。试求：

(1) 发电机元件最多三台运行，最少一台运行，线路最多三条运行，最少一条运行，请确定保护 3 在系统最大、最小运行方式下的等值阻抗。

(2) 整定保护 1、2、3 的电流速断定值，并计算各自的最小保护范围。

(3) 整定保护 2、3 的限时电流速断定值，并校验使其满足灵敏度要求 ($K_{sen} \geq 1.2$)。

(4) 整定保护 1、2、3 的过电流定值，假定母线 E 过电流保护动作时限为 0.5 s, 校验保护 1 作近后备，保护 2 和 3 作远后备的灵敏度。

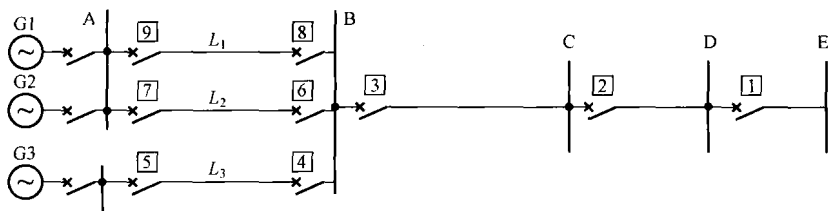


图 2-2 简单电网示意图

解：由已知可得 $X_{L1} = X_{L2} = 0.4 \times 60 = 24$ (Ω), $X_{L3} = 0.4 \times 40 = 16$ (Ω), $X_{BC} = 0.4 \times 50 = 20$ (Ω), $X_{CD} = 0.4 \times 30 = 12$ (Ω), $X_{DE} = 0.4 \times 20 = 8$ (Ω)

(1) 经分析可知，最大运行方式即阻抗最小时，则有三台发电机运行，线路 $L_1 \sim L_3$ 全部运行，由题意知 G1, G2 连接在同一母线上，则

$$X_{s.min} = (X_{G1} \parallel X_{G2} + X_{L1} \parallel X_{L2}) \parallel (X_{G3} + X_{L3}) = (6 + 12) \parallel (10 + 16) = 10.6(\Omega)$$

其中“ \parallel ”表示取并联的意思，以后不再解释。

同理，最小运行方式即阻抗值最大，分析可知在只有 G1 和 L_1 运行，相应地有

$$X_{s.max} = X_{G1} + X_{L1} = 15 + 24 = 39(\Omega)$$

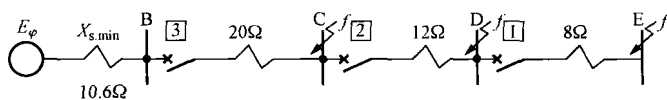


图 2-3 简单电网等值电路图

(2) 对于保护 1，其等值电路图如图 2-3 所示：

母线 E 最大运行方式下发生三相短路流过保护 1 的最大短路电流为

$$I_{k.E.max} = \frac{E}{X_{s.min} + X_{BC} + X_{CD} + X_{DE}} = \frac{115/\sqrt{3}}{10.6 + 20 + 12 + 8} = \frac{115/\sqrt{3}}{50.6} = 1.312(\text{kA})$$

相应的速断定值为

$$I_{set.1}^I = K_{rel}^I \times I_{k.E.max} = 1.2 \times 1.312 = 1.57(\text{kA})$$

最小保护范围计算式为

$$I_{set}^I = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{E}{Z_{s.max} + Z_1 L_{min}}$$

$$L_{\min} = \left[\frac{\sqrt{3}E}{2I_{\text{set}}^I} - Z_{s.\max} \right] \times \frac{1}{0.4} = \left[\frac{115/2}{1.57} - (39 + 20 + 12) \right] \times \frac{1}{0.4} = -85.9(\text{km})$$

即 1 处的电流速断保护在最小运行方式下没有保护区。

对于保护 2 等值电路图如图 2-3 所示, 母线 D 最大运行方式下发生三相短路流过保护 2 的最大短路电流为

$$I_{k.D.\max} = \frac{E}{X_{s.\min} + X_{BC} + X_{CD}} = \frac{115/\sqrt{3}}{10.6 + 20 + 12} = \frac{115/\sqrt{3}}{42.6} = 1.558(\text{kA})$$

相应的速断定值为

$$I_{\text{set}.2}^I = K_{\text{rel}}^I \times I_{k.D.\max} = 1.2 \times 1.558 = 1.87(\text{kA})$$

最小保护范围为

$$L_{\min} = \left[\frac{\sqrt{3}E}{2I_{\text{set}.2}^I} - Z_{s.\max} \right] \times \frac{1}{0.4} = \left[\frac{115/2}{1.87} - (39 + 20) \right] \times \frac{1}{0.4}$$

$$= (30.75 - 59) \times \frac{1}{0.4} = -70.6(\text{km})$$

即 2 处的电流速断保护在最小运行方式下也没有保护区。

对于保护 3 等值电路图如图 2-3 所示, 母线 C 最大运行方式下发生三相短路流过保护 3 的最大短路电流为

$$I_{k.C.\max} = \frac{E}{X_{s.\min} + X_{BC}} = \frac{115/\sqrt{3}}{10.6 + 20} = \frac{115/\sqrt{3}}{30.6} = 2.17(\text{kA})$$

相应的速断定值为

$$I_{\text{set}.3}^I = K_{\text{rel}}^I \times I_{k.C.\max} = 1.2 \times 2.17 = 2.603(\text{kA})$$

最小保护范围为

$$L_{\min} = \left[\frac{\sqrt{3}E}{2I_{\text{set}.3}^I} - Z_{s.\max} \right] \times \frac{1}{0.4} = \left(\frac{115/2}{2.603} - 39 \right) \times \frac{1}{0.4} = (22.09 - 39) \times \frac{1}{0.4} = -42.3(\text{km})$$

即 3 处的电流速断保护在最小运行方式下也没有保护区。

上述计算表明, 在运行方式变化很大的情况下, 电流速断保护在较小运行方式下可能没有保护区。

(3) 整定保护 2 的限时电流速断定值为

$$I_{\text{set}}^{\text{II}} = K_{\text{rel}}^{\text{II}} I_{\text{set}.1}^I = 1.15 \times 1.57 = 1.806(\text{kA})$$

线路末端 (即 D 处) 最小运行方式下发生两相短路时的电流为

$$I_{k.D.\min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E}{X_{s.\max} + X_{BC} + X_{CD}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{115/\sqrt{3}}{39 + 20 + 12} = \frac{115}{142} = 0.8098(\text{kA})$$

所以保护 2 处的灵敏系数为

$$K_{\text{set}.2}^{\text{II}} = \frac{I_{k.D.\min}}{I_{\text{set}}^{\text{II}}} = \frac{0.8098}{1.806} = 0.4484$$

即不满足 $K_{\text{sen}} \geq 1.2$ 的要求。

同理保护 3 的限时电流速断定值为

$$I_{\text{set}.3}^{\text{II}} = K_{\text{rel}}^{\text{II}} I_{\text{set}.2}^I = 1.15 \times 1.87 = 2.151(\text{kA})$$

线路末端（即 C 处）最小运行方式下发生两相短路时的电流为

$$I_{k.C.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E}{X_{s,max} + X_{BC}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{115/\sqrt{3}}{39+20} = \frac{115}{118} = 0.9746(\text{kA})$$

所以 3 处保护的灵敏系数为

$$K_{set.3}^{\text{II}} = \frac{I_{k.C.min}}{I_{set}^{\text{II}}} = \frac{0.9746}{2.151} = 0.4531$$

也不满足 $K_{sen} \geq 1.2$ 的要求。

可见，由于运行方式变化太大，2、3 两处的限时电流速断保护的灵敏度都远不能满足要求。

(4) 过电流整定值计算公式为

$$I_{set}^{\text{III}} = \frac{I'_{re}}{K_{re}} = \frac{K_{rel}^{\text{III}} K_{ss} I_{L,max}}{K_{re}}$$

所以有

$$I_{set.1}^{\text{III}} = \frac{K_{rel}^{\text{III}} K_{ss} I_{D-E.L,max}}{K_{re}} = \frac{1.15 \times 1.5 \times 150}{0.85} = 2.03 \times 150 = 304.5(\text{A})$$

同理得

$$I_{set.2}^{\text{III}} = 2.03 \times 200 = 406(\text{A})$$

$$I_{set.3}^{\text{III}} = 2.03 \times 300 = 609(\text{A})$$

在最小运行方式下流过保护元件的最小短路电流的公式为

$$I_{k.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E}{Z_{s,max} + Z_L}$$

所以有

$$I_{E.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{115}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{39+20+12+8} \times 1000 = 727.8(\text{A})$$

$$I_{D.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{115}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{39+20+12} \times 1000 = 809.8(\text{A})$$

$$I_{C.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{115}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{39+20} \times 1000 = 974.51(\text{A})$$

所以由灵敏度公式 $K_{sen} = \frac{I_{k.min}}{I_{set}^{\text{III}}}$ 可知，保护 1 作为近后备的灵敏度为

$$K_{set.1}^{\text{III}} = \frac{I_{E.min}}{I_{set.1}^{\text{III}}} = \frac{727.8}{304.5} = 2.39 \geq 1.5$$

满足近后备保护灵敏度的要求；

保护 2 作为远后备的灵敏度为

$$K_{set.2}^{\text{III}} = \frac{I_{E.min}}{I_{set.2}^{\text{III}}} = \frac{727.8}{406} = 1.79 \geq 1.2$$

满足作为远后备保护灵敏度的要求；

保护 3 作为远后备的灵敏度为

$$K_{set.3}^{\text{III}} = \frac{I_{D.min}}{I_{set.3}^{\text{III}}} = \frac{809.8}{609} = 1.33 \geq 1.2$$

满足作为远后备保护灵敏度的要求。

保护的动作为

$$t_1^{\text{II}} = 0.5 + 0.5 = 1(\text{s})$$

$$t_2^{\text{II}} = t_1^{\text{II}} + 0.5 = 1.5(\text{s})$$

$$t_3^{\text{II}} = t_2^{\text{II}} + 0.5 = 2(\text{s})$$

分析：由本题的计算可以看出，在运行方式变化很大的 110kV 的多电源系统中，最大运行方式下三相短路的短路电流与最小运行方式下两相短路的短路电流差异很大，按躲过最大运行方式下末端最大短路电流整定的电流速断保护的动值很大，最小运行方式下灵敏度不能满足要求。限时电流速断保护的定值必须与下一级线路电流速断保护的定值相配合，所以其定值也很大，灵敏度也均不能满足要求。过电流保护按躲过最大负荷电流整定，其动作值受运行方式的影响不大，作为近后备和远后备灵敏度均能够满足要求。一般采用保护范围受运行方式变化影响较小的距离保护（见第 3 章）。

2.8 当图 2-2 中保护 1 的出口处在系统最小运行方式下发生两相短路，保护按照题 2.7 配置和整定时，试问：

- (1) 共有哪些保护元件启动？
- (2) 所有保护工作正常，故障由何处的哪个保护元件动作、多长时间切除？
- (3) 若保护 1 的电流速断保护拒动，故障由哪个保护元件动作、多长时间切除？
- (4) 若保护 1 处的断路器拒动，故障由哪个保护元件动作、多长时间切除？

答：(1) 由题 2.7 的分析，保护 1 出口处（即母线 D 处）短路时的最小短路电流为 $I_{k.D.\min} = 0.8098\text{kA}$ ，在量值上小于所有电流速断保护和限时电流速断保护的整定值，所以所有这些保护都不会启动；该量值大于 1、2、3 处过电流保护的定值，所以三处过电流保护均会启动。

(2) 所有保护均正常的情况下，应由 1 处的过电流保护以 1s 的延时切除故障。

(3) 分析表明，按照本题所给定的参数，1 处速断保护肯定不会动作，2 处的限时电流速断保护也不会动作，只能靠 1 处的过电流保护动作，延时 1s 跳闸；若断路器拒动，则应由 2 处的过电流保护以 1.5s 的延时跳开 2 处的断路器。

2.9 如图 2-4 所示网络，流过保护 1、2、3 的最大负荷电流分别为 400A、500A、550A， $K_{ss} = 1.3$ ， $K_{re} = 0.85$ ， $K_{\text{III}}^{\text{II}} = 1.15$ ， $t_1^{\text{II}} = t_2^{\text{II}} = 0.5\text{s}$ ， $t_3^{\text{II}} = 1.0\text{s}$ 。试计算：

- (1) 保护 4 的过电流定值；
- (2) 保护 4 的过电流定值不变，保护 1 所在元件故障被切除，当返回系数 K_{re} 低于何值时会造成保护 4 误动？

(3) $K_{re} = 0.85$ 时，保护 4 的灵敏系数 $K_{\text{sen}} = 3.2$ ，当 $K_{re} = 0.7$ 时，保护 4 的灵敏系数降低到多少？

解：(1) 流过保护 4 的最大负荷电流为

$$I_{L.4.\max} = 400 + 500 + 550 = 1450(\text{A})$$

保护 4 的过电流定值为

$$I_{\text{set}.4}^{\text{III}} = \frac{K_{ss} K_{\text{rel}}^{\text{III}}}{K_{re}} I_{L.4.\max} = \frac{1.3 \times 1.15}{0.85} \times 1450 = 2.55(\text{kA})$$

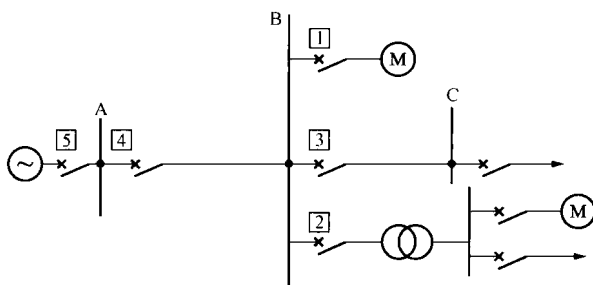


图 2-4 系统示意图

时限为

$$t_4^{\text{III}} = \max(t_1^{\text{III}}, t_2^{\text{III}}, t_3^{\text{III}}) + \Delta t = 1 + 0.5 = 1.5(\text{s})$$

(2) 保护 1 切除故障后, 流过保护 4 的最大负荷电流 $I'_{l.4.\text{max}} = 500 + 550 = 1050\text{A} = 1.05\text{kA}$, 在考虑电动机的自启动出现的最大自启动电流 $I_{\text{ss.max}} = K_{\text{ss}} I'_{l.4.\text{max}} = 1.3 \times 1.05 = 1.365\text{kA}$, 这个电流 $I_{\text{ss.max}}$ 必须小于保护 4 的返回电流 I_{re} , 否则 1.5s 以后保护 4 将误切除。相应的要求 $I_{\text{ss.max}} \leq I_{\text{re}} = K_{\text{re}} I_{\text{set.4}}^{\text{III}} = 2.55K_{\text{re}}$, 从而有 $2.55K_{\text{re}} > 1.365$, $K_{\text{re}} > \frac{1.365}{2.55} = 0.535$ 。当返回系数低于 0.535 时, 会造成保护误动。

(3) 保护 4 的灵敏系数 $K_{\text{sen.4}} = \frac{I_{k.B.\text{min}}}{I_{\text{set.4}}^{\text{III}}} = \frac{I_{k.B.\text{min}} K_{\text{re}}}{K_{\text{rel}} K_{\text{ss}} I'_{l.4.\text{max}}}$, $K_{\text{sen.4}}$ 与 K_{re} 成正比, 当 K_{re} 下降时灵敏度下降, $K_{\text{sen}} = \frac{0.7}{0.85} \times 3.2 = 2.635$ 。

2.10 在中性点非直接接地系统中, 当两条上、下级线路安装相间短路的电流保护时, 上级线路装在 A、C 相上, 而下级线路装在 A、B 相上, 有何优缺点? 当两条线路并列时, 这种安装方式有何优缺点? 以上串、并两种线路, 若保护采用三相星形接线, 有何不足?

答: 在中性点非直接接地系统中, 允许单相接地时继续短时运行, 在不同线路不同相别的两点接地形成两相短路时, 可以只切除一条故障线路, 另一条线路继续带接地点运行。不考虑同相的故障, 两线路故障组合共有以下六种形式, 即 (1A、2B)、(1A、2C)、(1B、2A)、(1B、2C)、(1C、2A) 和 (1C、2B)。

当两条上、下级线路安装相间短路的电流保护时, 上级线路 (线路 1) 装在 A、C 相上, 而下级线路 (线路 2) 装在 A、B 相上时, 将在 (1A、2B)、(1B、2A)、(1C、2A) 和 (1C、2B) 四种故障情况下由下级线路保护切除故障, 即由下级线路切除故障的几率为 2/3; 当故障为 (1A、2C) 时, 将会由上一级线路保护切除故障; 而当故障为 (1B、2C) 时, 两级线路都不会切除故障, 即出现保护拒动的严重情况。

两条线路并列时, 若两线路保护动作的延时一样长, 则在 (1A、2B)、(1C、2A) 和 (1C、2B) 三种故障情况下, 两条线路被同时切除; 而在 (1A、2C) 故障情况下, 只切除线路 1; 在 (1B、2A) 故障情况下, 只切除线路 2; 在 (1B、2C) 故障的情况下, 两条线路均不会切除, 即保护拒动。

可见, 由于这种方式存在着可能使保护拒动的情况, 因此不宜采用。现场采用两条线路的保护均装设在两个同名相上, 均不会出现保护拒动的情况。

若保护采用三相星形接线时, 需要三个电流互感器和四根二次电缆, 相对来讲是复杂不经济的。两条线路并列时, 若发生不同相别的接地短路时, 两套保护均启动, 不必要地切除两条线路的机会就比较多。

2.11 在双侧电源供电的网络中, 方向性电流保护利用了短路时电气量什么特征解决了仅利用电流幅值特征不能解决的什么问题?

答: 在双侧电源供电的网络中, 利用电流幅值特征不能保证保护动作的选择性。方向性电流保护利用短路时功率方向的特征, 当短路功率由母线流向线路时表明故障点在线路方向上, 是保护应该动作的方向, 允许保护动作。反之, 不允许保护动作。用短路时功率方向的特征解决了仅用电流幅值特征不能区分故障位置的问题, 并且线路两侧的保护只需按照单电

源的配合方式整定配合即可满足选择性。

2.12 功率方向判别元件实质上是在判别什么？为什么会存在“死区”？什么时候要求它动作最灵敏？

答：功率方向判别元件实质是判别加入继电器的电压和电流之间的相位 φ_r ，并且根据一定关系 $[\cos(\varphi_r + \alpha)$ 是否大于 0] 判别出短路功率的方向。为了进行相位比较，需要加入继电器的电压、电流信号有一定的幅值（在数字式保护中进行相量计算、在模拟式保护中形成方波），且有最小的动作电压和电流要求。当短路点越靠近母线时电压越小，在电压小于最小动作电压时，就出现了电压死区。

在保护正方向发生最常见故障时，功率方向判别元件应该动作最灵敏。

2.13 当教材中图 2.29 的功率方向判别元件用集成电路实现，分别画出 $u_r = U_r \sin(100\pi t)$ ， $i_r = I_r \sin(100\pi t + 30^\circ)$ 和 $u_r = U_r \sin(100\pi t)$ ， $i_r = I_r \sin(100\pi t - 60^\circ)$ 时，各点输出电压随时间变化的波形；如果用数字式（微机）实现，写出你的算法方案，并校验上述两种情况下方向元件的动作情况。

答：以内角 $\alpha = 30^\circ$ 为例，画出各点输出电压输出波形如图 2-5 所示。

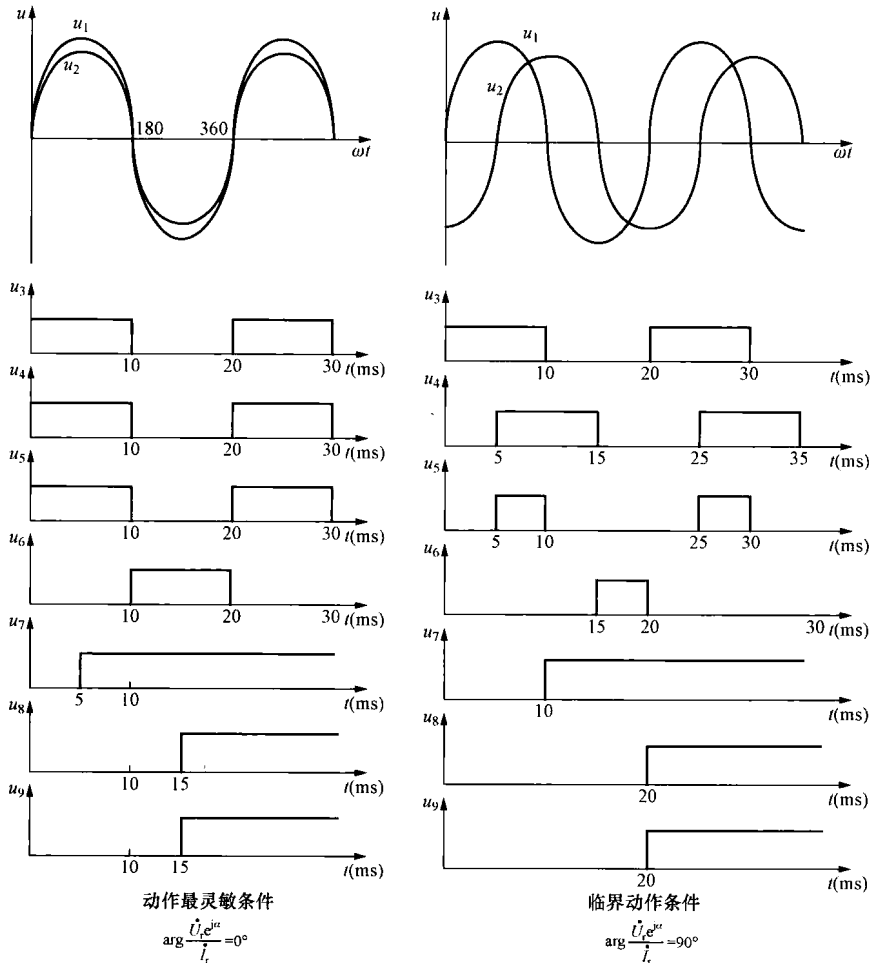


图 2-5 各点电压输出波形图

可以看出, 在内角 $\alpha=30^\circ$ 时第一种情况元件动作最灵敏, 第二种情况元件处于临界动作状态。

数字式实现时, 动作的判据可以表示为

$$-90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_r e^{j\alpha}}{\dot{I}_r} \leq 90^\circ$$

将第一种情况和第二种情况下的电压、电流代入该判据, 同样可以得到情况 1 为动作最灵敏, 而情况 2 处于临界动作状态的结论。

2.14 为了保证在正方向发生各种短路时功率判别元件都能动作, 需要确定接线方式及内角, 请给出 90° 接线方式正方向短路时内角的范围。

答: 原因在教材中有详细的分析, 现再总结如下。

(1) 正方向发生三相短路时, 有 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ 。

(2) 正方向发生两相短路, 当短路点位于保护安装处附近, 短路阻抗 $Z_d \ll Z_s$ 时, $0^\circ < \alpha < 90^\circ$; 当短路点远离保护安装处, 且系统容量很大 $Z_d \gg Z_s$ 时, $-30^\circ < \alpha < 60^\circ$ 。

综合三相和各种两相短路的分析得出, 当 $0^\circ < \varphi_d < 90^\circ$ 时, 使方向继电器在一切故障情况下都能动作的条件应为 $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ 。

2.15 对于 90° 接线方式、内角为 30° 的功率方向判别元件, 在电力系统正常负荷电流 (功率因数 0.85) 下, 分析功率方向判别元件的动作情况。假定 A 相的功率方向元件出口与 B 相过电流元件出口串接, 而不是“按相连接”, 当反方向发生 B、C 两相短路时, 会出现什么情况?

答: 内角为 30° 的功率方向判别元件, 最大灵敏角 $\varphi_{sen} = -30^\circ$, 则动作范围为 $-120^\circ \leq \varphi_d \leq 60^\circ$ 。由正常负荷电流的功率因数 0.85 可以得到 $\varphi_d = \arctan 0.85 = 31.79^\circ$, 在动作范围内, 根据功率方向判别元件的动作。假定 A 相的功率方向元件出口与 B 相过电流元件出口串接, 当反方向发生 B、C 两相短路时, B 相过电流元件动作, 由于该元件出口和 A 相功率方向元件串接, 这样就会启动时间继电器, 出现延时跳闸。因而电流元件和功率方向元件必须“按相连接”。

2.16 系统和参数见题 2.7, 试完成:

(1) 整定线路 L3 上保护 4、5 的电流速断定值, 并尽可能在一端加装方向元件。

(2) 确定保护 4、5、6、7、8、9 处过电流段的时间定值, 并说明何处需要安装方向元件。

(3) 确定保护 5、7、9 限时电流速断段的电流定值, 并校验灵敏度。

答: (1) 整定保护 5 的电流速断。保护 4 处母线发生三相短路时, 流过保护 5 的短路电流为

$$I_{k4} = \frac{E}{X_{G3} + X_{L3}} = \frac{115/\sqrt{3}}{10+16} = 2.554(\text{kA})$$

按此电流来整定, 动作定值为

$$I_{\text{set},5}^I = K_{\text{rel}}^I I_{k4} = 1.2 \times 2.554 = 3.064(\text{kA})$$

再来看发电机 1、2 处于最大运行方式下保护 5 处母线三相短路时, 有

$$X_{s,\text{min}} = (X_{G1} \parallel X_{G2}) + (X_{L1} \parallel X_{L2}) = 6 + 12 = 18(\Omega)$$

流过保护 5 的电流为