

600MW 发电机组自动装置整定计算及仿真研究

摘 要

针对 600 MW发电机组自动装置,最初分析初始材料,从而确定了电气主接线,然后进行了短路点的电流计算,再对发电机组自动装置进行配置,采用了先进的DGT801、pss660、WBKQ-01B等设备,并对各个装置进行整定计算,鲜明的突出了各个保护的特点,以求在配置和整定值上满足大机组对保护选择性、灵敏度和可靠性要求。

基于厂用电快切仿真,提出了用simlink软件进行仿真的看法,建立了厂用电快速切换模型,该模型由系统模块、断路器模块,同步发电机模块、示波器模块等组成,仿真了厂用电快速切换过程中母线断电前后电压的特征,结果表明快速切换是安全、可靠的切换方式,它是主切换。

关键词 发电机组, 自动装置, 整定计算, 快切, 仿真

Abstract

In view of 600 MW generators automatic device, first analyzes the initial material. Thus has determined the electrical main wiring. Then carried on short-circuited the electric current computation, according to calculate the result of to choose the electricity equipments. Has used the advanced equipments of the name DGT801、pss660、WBKQ-01B. and carry on to the each protection whole protective settle the calculation, fresh and clear and outstanding the characteristics that each one protect, It is used to meet the requirements of big unit set for selectivity , sensitivity and reliability in configuration and setting.

Base on power high- speed switch simulation, Proposed the idea of use the software of simulation. Establishment the model of power high- speed switch. This model is composed by the Three-Phase break、Simplified Synchronous Machine block、Scope block. Analyze the voltage characteristics of the bus bar after outage are .as well as possible matters during house supply transfer. Four possible transfer modes are presented: the fast transfer, the first phase coincidence transfer, The fast transfer is the safest and most reliable mode, which is regarded as the main transfer.

Key Words generator-transformer unit , Automatic device, setting calculation , high- speed switch, simulation

目 录

摘 要	I
Abstract.....	II
目 录	III
1 绪论	1
2 发电机组一次设备设计	2
2.1 600MW 发电机组一次接线及系统运行方式说明	2
2.2 主要设备参数.....	2
2.3 系统运行方式.....	3
2.4 有关短路点及短路形式的选择.....	3
3 继电保护及自动装置配置	4
3.1 继电保护保护配置	4
3.2 发电机组安全自动装置的配置.....	6
4 继电保护及自动装置整定原则	8
4.1 比率制动式纵差保护	8
4.2 发电机横差保护.....	9
4.3 变压器纵差动保护	9
4.4 发电机反时限对称过负荷保护	11
4.5 发电机反时限不对称过负荷保护	12
4.6 复合电压过流保护	13
4.7 发电机过电压保护.....	14
4.8 发电机失磁保护（阻抗原理）	14
4.9 发电机基波零序电压式定子接地保护.....	16
4.10 发电机三次谐波电压式定子接地保护	16
4.11 发电机注入式转子一点接地保护	17
4.12 发电机转子两点接地保护.....	17

4.13 发电机频率异常保护	18
4.14 阻抗保护	19
4.15 变压器零序电流保护	19
4.16 低电压起动的过电流保护	20
5 继电保护及自动装置整定计算	22
5.1 相关参数计算	22
5.2 发电机纵差动保护	22
5.3 发电机横差动保护	24
5.4 变压器纵差动保护	24
5.5 发电机反时限对称过负荷保护	24
5.6 发电机反时限不对称过负荷保护	25
5.7 复合电压过流保护	26
5.8 发电机过电压保护	26
5.9 发电机失磁保护（阻抗原理）	26
5.10 发电机基波零序电压式定子接地保护	27
5.11 发电机三次谐波电压式定子接地保护	27
5.12 发电机注入式转子一点接地保护	28
5.13 发电机转子两点接地保护	28
5.14 发电机频率异常保护	28
5.15 阻抗保护	29
5.16 变压器零序电流保护	30
5.17 低电压起动的过电流保护	31
5.18 备用电源自动投入装置有关元件的整定计算	31
5.19 pss660 数字式自动准同期装置整定计算	32
5.20 BKQ-01B 微机型备用电源快速切换装置整定计算	34
5.21 本章结论	36
6 厂用电快速切换仿真	40
6.1 厂用电快速切换的基本原理	40
6.2 厂用电快速切换仿真模型简介	41
6.3 模型中各个元件的主要参数设置	42
6.4 仿真波形图	44
6.5 仿真结论	46
7 结论	47

谢 辞	48
参考文献	49
附录 1：短路电流计算书	50

1 绪论

近年来国内各大电网发展较快，600MW 机组已经在电厂中得到了广泛的应用。继电保护及安全自动装置是电力系统中的一个重要组成部分。它对电力系统安全稳定地运行起着极为重要的作用，特别是在现代的超高压、大容量的电力系统中，对继电保护及安全自动装置提出了更高的要求^[1,2]。另外继电保护及安全自动装置比较复杂，对其进行整定计算是一项内容多、难度大的任务，但又具有非常高的实际应用价值。

不同于传统的保护，随着计算机技术日新月异的发展，当今的保护无一例外的使用了先进的数字式微机保护。由于微机保护有性能稳定，技术指标先进，功能全，体积小、可靠性高、自检功能强、灵活可靠、硬件规范化、模块化、互换性好、软件编制可标准化、模块化、便于扩充等诸多优点，因此对于微机保护的研究成为国内外研究的热点^[5,7]。

本文的主要任务是对发电机组继电保护及自动装置的数字式微机保护进行整定计算。首先构建系统一次接线图，确定短路点和发电机、主变压器等设备的参数，算出故障点的短路电流。根据《继电保护及自动装置技术规程》为发电机组配备了 DGT801 发电机成套保护装置、pss660 数字式自动准同期装置 WBKQ-01B 微机型备用电源快速切换装置等。根据相应保护的产品说明书，再结合选择的故障点的短路电流以及发电机主变压器的基本参数，分别进行了发电机组的主保护、后备保护、异常运行保护以及备用电源和备用设备自动投入装置、准同期装置、厂用电快速切换装置的整定计算。

厂用电系统的安全可靠性对整个机组乃至整个电厂运行的安全、可靠性有着非常重要的影响,而厂用电切换则是整个厂用系统的一个重要环节^[9]。发电厂的厂用电快速切换涉及到的开关量值较多，逻辑相对复杂，对其在实际工程中进行研究比较困难，而与此同时 MATLAB 依靠其强大功能，已经在电力仿真方面得到了广泛的应用，利用它对厂用电快切进行仿真，可以使厂用电快切变得直观而容易理解^[10]。

本文就是针对利用 MATLAB 对厂用电快切进行仿真这一任务来展开工作的。首先根据厂用工作电源和备用(启动)电源典型接线建立仿真模型，再设定各个元件的相关参数，最后根据仿真过程中母线电压的波形得出快速切换是最安全可靠的切换，是主切换。

2 发电机组一次设备设计

2.1 600MW 发电机组一次接线及系统运行方式说明

某发电厂的接线如图 2.1 所示，该发电厂有两台型号为 QFSN-600-ZYH 的 600MW 发电机通过两台功率为 800MW 的 SSPL-800000/500 主变压器升压至 500KV，由三条输电线与三个系统相连。

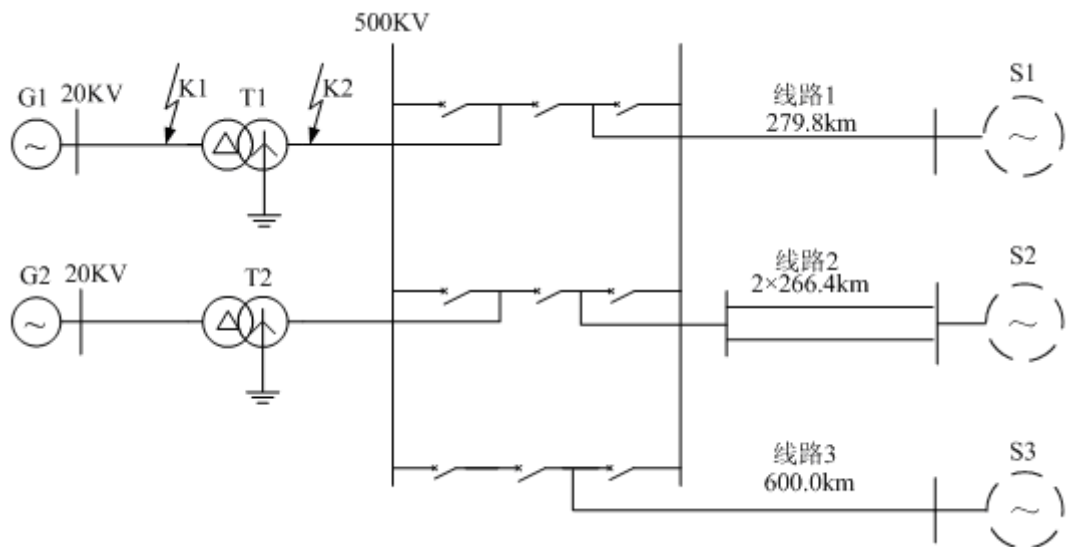


图 2.1 某 600MW 发电机组一次接线示意图

2.2 主要设备参数

1. 发电机（600MW）

型号：QFSN-600-ZYH

额定电流：19245A

额定电压：20KV

功率因数： $\cos \varphi = 0.9$

同步电抗 x_d ：209%

次暂态阻抗： $X''_d=20\%$

2. 主变压器（800MVA 双卷变）

型号: SSPL-800000/500

变比: $525 \pm 2 \times 2.5\% / 20$

短路电压百分值: 10%

连接组别: YN,d11

3. 输电导线

1) 线路 1

型号: LGJ-400/50

线路长度: 279.8KM

2) 线路 2

型号: LGJ-500/45

线路长度: 266.4 KM

3) 线路 3

型号: LGJ-630/55

线路长度: 600 KM

2.3 系统运行方式

系统 1 最大运行方式下短路功率为 5000MVA, 最小运行方式下短路功率为 4000MVA。

系统 2 最大运行方式下短路功率为 4000MVA, 最小运行方式下短路功率为 3000MVA。

系统 3 最大运行方式下短路功率为 2500MVA, 最小运行方式下短路功率为 2000MVA

2.4 有关短路点及短路形式的选择

选择变压器两侧为短路点, 分别计算三相短路、两相短路及接地短路故障时短路点的电气量及保护安装处的与继电保护整定有关电气量。

3 继电保护及自动装置配置

电力系统继电保护及自动装置是指在电网中发生故障或异常运行时起控制作用的自动装置。电力系统中装设自动装置，用于防止系统稳定破坏或事故扩大而造成大面积停电，或对重要用户的供电长时间中断^[8]。

3.1 继电保护保护配置

图 3.1 是 600MW（300MW）—500kV 发变组单元的保护配置图，高压侧为 3/2 断路器。主保护为：发电机纵差、发电机匝间（横差保护）、主变纵差保护。发电机后备和异常运行保护为：对称过负荷（反时限）保护、不对称过负荷（反时限）保护、复合电压过流保护、过电压保护、失磁保护、失步保护、100%定子接地保护、转子一点二点接地保护、低频保护保护。主变压器后备和异常运行保护为：主变阻抗保护、零序电流保护。

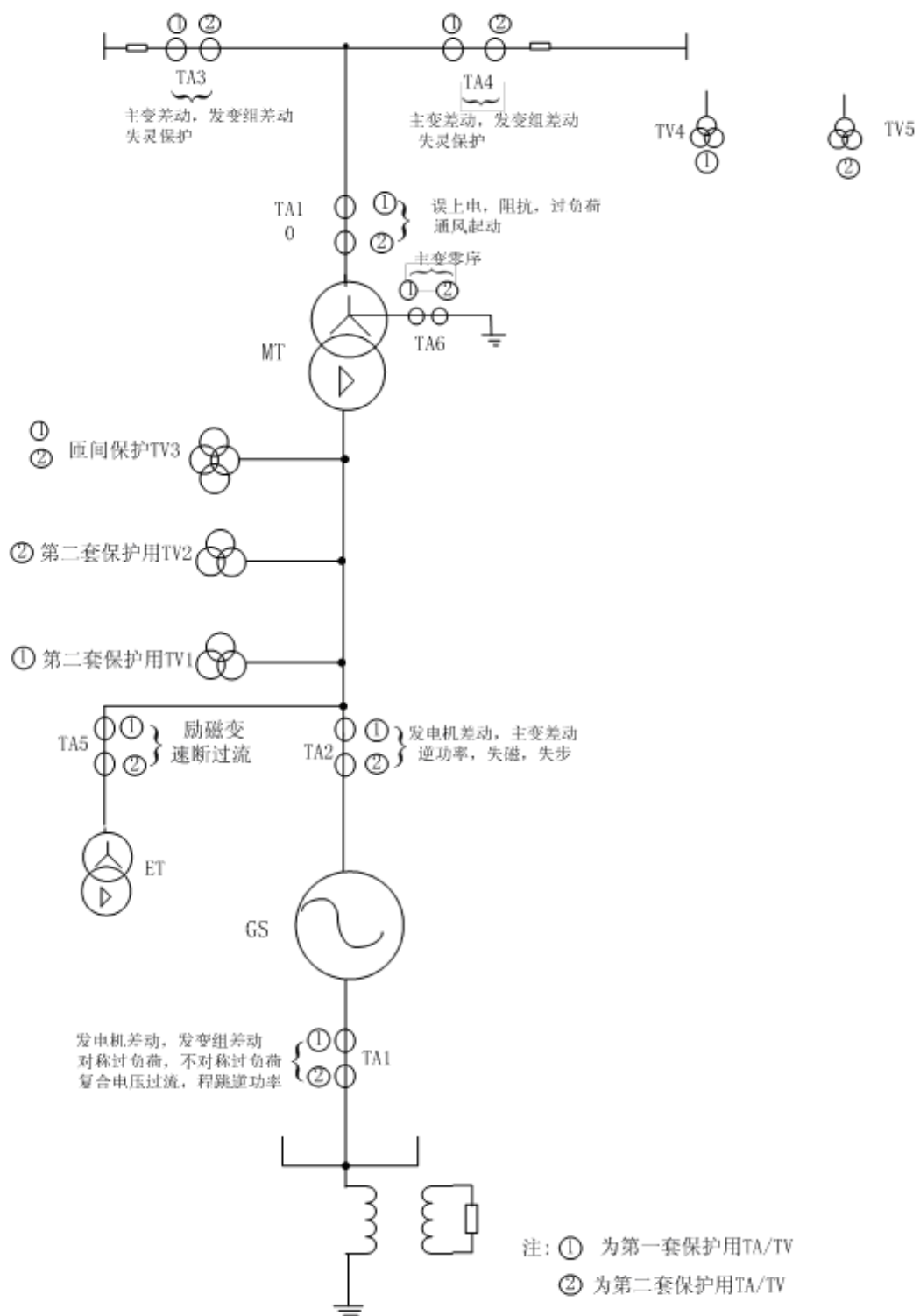


图 3.1 600MW—500kV 发电机组保护配置图

3.2 发电机组安全自动装置的配置

3.2.1 备用电源和备用设备自动投入装置

对于发电厂厂用电系统，由于其故障所引起的严重后果，必须加强厂用电的供电可靠性。但对厂用电来讲，采用环网供电，往往使厂用电系统的运行及其继电保护装置更加复杂化，反而会造成严重的事故，因而多采用所谓辐射型的供电网络。为了提高其供电可靠性，往往采用备用电源自动投入装置（BZT）。

发电机准同期并列是发电厂一项很频繁的日常操作，如果操作错误，冲击电流过大，可能使机组的大轴扭曲及引起发电机的卷线变型、撕裂、绝缘损坏，严重的非同期并列会造成机组和电网事故，所以电力部门将并网自动化列为电力系统自动化的一项重要任务。另外随着计算机技术的发展和电力系统自动化水平的不断提高，对同期设备的可靠性、可操作性等性能也提出了更高的要求。

3.2.2 pss660 数字式自动准同期装置

发电机准同期并列是发电厂一项很频繁的日常操作，如果操作错误，冲击电流过大，可能使机组的大轴扭曲及引起发电机的卷线变型、撕裂、绝缘损坏，严重的非同期并列会造成机组和电网事故，所以电力部门将并网自动化列为电力系统自动化的一项重要任务。另外随着计算机技术的发展和电力系统自动化水平的不断提高，对同期设备的可靠性、可操作性等性能也提出了更高的要求。

3.2.2.1. 产品简介

本设计采用南自生产的pss660 数字式自动准同期装置以其极高的可靠性和先进的模块化设计思想，能够满足各种同期应用场合的要求。它可用于火电厂同步发电机组的快速并网。

PSS 660 数字式自动准同期装置主要实现数目可配置的 1~16 个对象的线路同期或机组型自动准同期。PSS 660 适用于各种场合的发电机或线路并网。

3.2.3 WBKQ-01B 微机型备用电源快速切换装置

发电厂中，厂用电的安全可靠直接关系到发电机组、电厂乃至整个电力系统的安全运行。以往厂用电切换大都采用工作电源的辅助接点直接（或经低压继电

器、延时继电器) 启动备用电源投入。这种方式未经同步检定, 电动机易受冲击。合上备用电源时, 母线残压与备用电源电压之间的相角差已接近 180° , 将会对电动机造成过大的冲击。若经过延时待母线残压衰减到一定幅值后再投入备用电源, 由于断电时间过长, 母线电压和电机的转速均下降过大, 备用电源合上后, 电动机组的自启动电流很大, 母线电压将可能难以恢复, 从而对电厂的锅炉系统的稳定性带来严重的危害。

3.2.3.1 产品简介

本设计采用南自 WBKQ-01B 微机型备用电源快速切换装置。该装置是专门为解决厂用电的安全运行而研制的, 可避免备用电源电压与母线残压在相角、频率相差过大时合闸而对电机造成冲击, 如失去快速切换的机会, 则装置自动转为同期判别或判残压及长延时的慢速切换, 同时在电压跌落过程中, 可按延时甩去部分非重要负荷, 以利于重要辅机的自启动。提高厂用电切换的成功率。

WBKQ-01B 是在原有 WBKQ-01 的基础上改进、完善的新一代备用电源快速切换装置。该装置改进了测频、测相回路, 运用 32 位单片机强大的运算功能采用软件进行测量, 提高了装置在切换暂态过程中测频、测相的准确性、可靠性。该装置采用了先进的软件算法, 保证了工作电源(或备用电源)与母线电源不同频率时的采样、计算的准确性。装置采用免调整理念设计, 所有的补偿采用软件进行调整, 重要参数采用密码锁管理, 大屏幕中文图形化显示, 使得用户对厂用电电源的各种运行参数一目了然。厂用电电源故障时采用实时测量相角差速度及加速度实现同期判别功能。内置独立的通信、打印机管理单元使得多台装置可共享一台打印机, 也具有与 DCS 系统或监控系统通信功能。

4 继电保护及自动装置整定原则

4.1 比率制动式纵差保护

整定原则及取值建议

(1) 比率制动系数 K_z (曲线斜率)

K_z 应按躲过区外三相短路时产生的最大暂态不平衡差流来整定，通常，对发电机完全纵差

$$K_z = 0.3 \sim 0.5 \quad (4.1)$$

(2) 启动电流 I_q

按躲过正常工况下最大不平衡差流来整定。不平衡差流产生的原因：主要是差动保护两侧 TA 的变比误差，保护装置中通道回路的调整误差。一般

$$I_q = (0.3 \sim 0.4)I_e \quad (4.2)$$

(3) 拐点电流 I_g

I_g 的大小，决定保护开始产生制动作用的电流大小，建议按躲过外部故障切除后的暂态过程中产生的最大不平衡差流整定。一般

$$I_g = (0.5 \sim 0.8)I_e \quad (4.3)$$

(4) 负序电压 U_2

解除循环闭锁的负序电压（二次值）。可取

$$U_2 = (9 \sim 12) \text{ V}。$$

(5) 差动保护灵敏度校验

按有关技术规程，发电机纵差动保护的灵敏度必须满足机端两相金属性短路

时，差动保护的灵敏系数

$$K_{lm} \geq 2$$

灵敏系数 K_{lm} 定义为机端两相金属性短路时，短路电流与差动保护动作电流之比， K_{lm} 越大，保护动作越灵敏，可靠性越高。

4.2 发电机横差保护

发电机横差保护，是发电机定子绕组匝间短路（同分支匝间短路及同相不同分支之间的匝间短路）、线棒开焊的主保护，也能保护定子绕组相间短路。

4.2.1 整定原则及取值建议

(1) 动作电流 I_g

在发电机单元件横差保护中，有专用的滤过三次谐波的措施。因此，单元件横差保护的動作电流，应按躲过系统内不对称短路或发电机失磁失步时转子偏心产生的最大不平衡电流。建议

$$I_g = (0.3 \sim 0.4) I_e \quad (4.7)$$

式中 I_e ——发电机二次额定电流

(2) 动作延时 t_1

与转子两点接地保护动作延时相配合。一般取 0.5 ~ 1.0 秒。

4.3 变压器纵差动保护

变压器纵差动保护，是变压器内部及引出线上短路故障的主保护，它能反应变压器内部及引出线上的相间短路、变压器内部匝间短路及大电流系统侧的单相接地短路故障。另外，尚能躲过变压器空充电及外部故障切除后的励磁涌流。

4.3.1 整定原则及取值建议

(1) 比率制动系数 K_Z （曲线斜率）

比率制动系数 K_Z 整定原则，按躲过变压器出口三相短路时产生的最大暂态不平衡差流来整定（即过拐点的斜线通过出口区外故障最大差流对应点的上方）。一

般取 0.4 ~ 0.5

(2) 启动电流 I_q

整定原则：能可靠躲过变压器正常运行时的最大不平衡差流。

一般

$$I_q = (0.4 \sim 0.5) I_e \quad (4.8)$$

(3) 拐点电流 I_g

变压器各侧差动 TA 的型号及变比不可能相同。因此，各侧 TA 的暂态特性的差异较大。为躲过区外远处故障或近区故障切除瞬间产生较大不平衡差流的影响，建议拐点电流：

$$I_g = (0.5 \sim 0.7) I_e \quad (4.9)$$

(4) 二次谐波制动比 η

空投变压器时，励磁涌流的大小、二次谐波分量的多少或波形畸变程度，与变压器的容量、结构、所在系统中的位置及合闸角等因素有关。为了使差动保护能可靠地躲过变压器空投时的励磁涌流，又能确保在变压器内部故障时故障电流波形有畸变（含有二次谐波分量）时，差动保护能可靠动作，应根据被保护变压器的容量、结构及在系统中的位置，整定出适当的二次谐波制动比。

一般 取 0.13 ~ 0.2

(5) 差动速断倍数 I_s

变压器差动速断动作倍数的整定原则，应按躲过变压器空投时的励磁涌流或外部短路时最大不平衡差流来整定。而变压器励磁涌流的大小与变压器的容量、结构、所在系统中的位置等均有关，对于大容量变压器一般

$$I_s = 4 \sim 6 \text{ (倍)}$$

(6) 解除 TA 断线功能差流倍数 I_{ct}

差流大于 I_{ct} 整定值时，解除 TA 断线判别环节。一般 TA 断线引起的差流小于最大负荷电流，故

$$I_{ct} = 0.8 \sim 1.3 \text{ (倍)}$$

TA 二次回路开路是危险的，特别是大容量变压器 TA 二次开路，将会造成 TA 绝缘损坏、保护装置或二次回路着火，还将危及人身安全。因此，建议去掉 TA 断线判别功能，即

$$I_{ct} = 0.1 \sim 0.2 \text{ (倍)}$$

(7) 变压器额定电流 I_e

基准侧差动 TA 二次电流的计算，可按式进行

$$I_e = I_N = \frac{S_e}{\sqrt{3}U_{ej}n_a} \quad (4.10)$$

式中 S_e ——变压器额定容量；
 U_{ej} ——基准侧额定相间电压；
 n_a ——基准侧差动 TA 变比。

4.3.2 灵敏度校验

同 4.1 节发电机纵差保护相同，变压器差动保护的灵敏度要求

$$K_{sen} \geq 2$$

才能保证在区内发生各类型故障（有各种各样暂态过程）时保护动作的可靠性。

4.4 发电机反时限对称过负荷保护

发电机反时限对称过负荷保护，是发电机定子的过热保护，主要用于内冷式大型汽轮发电机。

4.4.1 整定原则及取值建议

(1) 定时限整定值 I_{g1}

按躲过发电机的额定电流来整定，即

$$I_{g1} = \frac{K_{rel}I_e}{0.95} \quad (4.11)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数取 1.05；

I_e ——发电机额定电流（TA 二次值）。

(2) 定时限动作延时 t_{11} ，通常取（6~9）s

(3) 反时限下限启动电流 I_s

按与过负荷保护动作电流相配合整定。

$$I_s = 1.15 I_e \quad (4.12)$$

(4) 反时限下限长延时 t_s

按照发电机允许过负荷能力曲线上 $1.15 I_e$ 对应时间的 $0.8 \sim 0.9$ 倍来整定。通取 $(300 \sim 600) S$

(5) 反时限上限电流 I_{up}

按照发电厂高压母线三相短路时发电机提供的短路电流来整定。一般为其 1.05 倍。

$$I_{up} = 1.05 I_G \quad (4.13)$$

(6) 反时限上限动作延时 t_{up}

上限动作延时应按与发电厂高压母线出线的纵联保护或距离 I 段保护动作时间相配合来整定。一般取 $(0.3 \sim 0.5) S$

(7) 散热系数 K_2

散热系数 K_2 之值一般为 $1 \sim 1.1$ 之间。

4.5 发电机反时限不对称过负荷保护

发电机反时限不对称过负荷保护，适用于大型内冷式汽轮发电机。是发电机的转子过热保护，也叫转子表层过热保护。

4.5.1 整定原则及取值建议

(1) 定时限整定值 I_{2g1}

电流整定值 I_{2g1} 按发电机长期允许的负序电流 $I_{2\infty}$ 来整定。即

$$I_{2g1} = K_{rel} \frac{I_{2\infty}}{0.95} \quad (4.14)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数取 1.2 ;

$I_{2\infty}$ ——发电机长期运行允许的负序电流。

(2) 定时限动作延时 t_{11} ，通常 取 $(6 \sim 9)S$

(3) 反时限下限启动电流 I_{2s}

反时限下限启动电流 I_{2s} ，可按定时限动作电流的 $1.05 \sim 1.1$ 倍来整定

$$I_{2s} = (1.05 \sim 1.1) I_{2g1} \quad (4.15)$$

(4) 反时限下限长延时 t_s 取 $(300 \sim 600) S$

(5) 反时限上限电流 I_{2up}

上限动作电流 I_{2up} ，应按发电厂主变高压侧母线上发生两相短路时发电机所提供的负序电流的 1.05 倍来整定。

(6) 反时限上限动作延时 t_{up}

上限动作时间 t_{up} 应按与电厂高压母线出线纵联保护或距离保护 I 段的动作延时配合来整定。通常取 $0.3 \sim 0.5S$ 。

(7) 热值系数 K_1 及散热系数 K_2

热值系数 K_1 ，应按发电机制造厂家提供的转子表层允许的负序过负荷能力确定。若无厂家提供的数据，可按发电机的容量取值。

对于容量为 200~300MW 的内冷式汽轮发电机，可取 $K_1=8 \sim 10$ (通常取 $K_1=10$)。

对于容量为 300~600MW 的汽轮发电机，可取 $K_1=6 \sim 8$ 。

容量越大， K_1 取值应越小。

散热系数 K_2 ，根据发电机的长期允许负序电流能力来确定。通常 K_2 值不大于 0.01。

4.6 复合电压过流保护

发电机复合电压过流保护主要作为发电机相间短路的后备保护。当发电机为自并励方式时，过流元件应有电流记忆功能。

4.6.1 整定原则及取值建议

(1) 过流定值 I_g

动作电流 I_g 应按躲过正常运行时发电机的额定电流来整定。即

$$I_g = \frac{K_{rel} I_e}{0.95} \quad (4.16)$$

式中： K_{rel} ——可靠系数，取 1.2；

I_e ——发电机额定电流 (TA 二次值)。

(2) 低电压定值 U_l

低电压定值 U_l ，按躲过发电机正常运行时可能出现的最低电压来整定，另外，对于发电机复合电压过流保护还应考虑强行励磁动作时的电压。通常

$$U_l = (0.7 \sim 0.75) U_e \quad (4.17)$$

式中

U_e ——发电机额定电压 (TV 二次值)。

(3) 负序电压 U_{2g}

U_{2g} 的整定原则是：躲过正常运行时发电机机端最大负序电压。

$$U_{2g} = (8\% \sim 10\%)U_e \quad (4.18)$$

(4) 动作延时 t_{11} 及 t_{12}

保护的動作延時 t_{11} 及 t_{12} ，應按與相鄰元件後備保護的動作時間相配合整定。

(5) 電流記憶時間 t_0

t_0 應略大於 t_{12} 延時。

4.7 發電機過電壓保護

保護反映發電機定子電壓。其輸入電壓為機端 TV 二次相間電壓（例如 U_{CA} ），動作後經延時切除發電機。

4.7.1 整定原則及取值建議

(1) 動作電壓 U_g

對於 200MW 及以上的汽輪發電機

$$U_g = (1.3 \sim 1.35)U_e \quad (4.19)$$

式中 U_e ——發電機額定電壓（TV 二次值）。

(2) 動作延時 t

動作延時 t 可取（0.3～0.5）S。

4.8 發電機失磁保護（阻抗原理）

正常运行時，若用阻抗復平面表示機端測量阻抗，則阻抗的軌跡在第一象限（滯相運行）或第四象限（進相運行）內。發電機失磁後，機端測量阻抗的軌跡將沿著等有功阻抗圓進入異步邊界圓內。

4.8.1 整定原則及取值建議

(1) 系統低電壓動作定值 U_{hl}

按發電機失磁後不破壞系統穩定來整定。通常

$$U_{hl} = (0.85 \sim 0.9) U_{he} \quad (4.20)$$

式中 U_{he} ——系统母线额定电压 (TV 二次值)。

(2) 机端低电压动作定值 U_{gl}

按照以下两个条件来整定：躲过强行励磁启动电压及不破坏厂用电的安全。一般

$$U_{gl} = 0.8 U_e \quad (4.21)$$

式中

U_e ——发电机额定电压 (TV 二次值)。

(3) 阻抗圆圆心 X_c

X_c 一般为负值，当阻抗圆为过坐标原点的下抛圆时，通常取

$$X_c = -0.6 X_d \quad (4.22)$$

(4) 阻抗圆半径 X_r

当阻抗圆为过坐标原点的下抛圆时，可取

$$X_r = 0.6 X_d \quad (4.23)$$

(5) 转子低电压特性曲线系数 K_{fd}

$$K_{fd} = \frac{K_{rel}}{X_{d\Sigma}} \cdot \frac{125 \times S_e}{V_{fdo} \times 866} \quad (4.24)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数，取 1.1~1.4；

S_e ——发电机二次额定视在功率；

V_{fdo} ——发电机空载转子电压；

$X_{d\Sigma} = X_d + X_s$ (标么值)。

转子低电压初始动作定值 V_{fdl}

一般取发电机空载励磁电压的 (0.6~0.8) 倍，即

$$V_{fdl} = (0.6 \sim 0.8) V_{fdo} \quad (4.25)$$

(6) 发电机反应功率 P_t (也称凸极功率)

$$P_t = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{X_{q\Sigma}} - \frac{1}{X_{d\Sigma}} \right) S_e$$

式中 $X_{d\Sigma} = X_d + X_s$ ，(标么值)；

$X_{q\Sigma} = X_q + X_s$ ，(标么值)；

X_d 、 X_q ——发电机 d 轴和 q 轴的电抗标么值。

(7) 发电机过功率定值 P_g

按发电机过载异步功率整定，一般取 (0.4~0.5) 倍的额定功率 (二次值)，

即

$$P_g = (0.4 \sim 0.5) P_e \quad (4.26)$$

式中 P_e ——发电机二次额定有功功率

(8) 动作延时 t_1, t_2

根据汽轮机和水轮机失磁异步运行能力，及失磁时对机组过流，机端电压及系统电压的影响而定。

4.9 发电机基波零序电压式定子接地保护

基波零序电压式定子接地保护，保护范围为由机端至机内 90%左右的定子绕组单相接地故障。可作小机组的定子接地保护。也可与三次谐波定子接地保护合用，组成大、中型发电机的 100%定子接地保护。

4.9.1 整定原则及取值建议

(1) 动作电压 $3U_{0g}$

在保护装置中，设置有性能良好的三次谐波滤过器，因此， $3U_{0g}$ 应按躲过正常运行时 TV 开口三角绕组或中性点单相 TV 二次可能出现的最大基波零序电压来整定。

当发电机定子引出线不是封闭式母线，而经穿墙套管引自室外时，可取 10~13V。当发电机出线为封闭母线时，可取 5~10V。

(2) 动作延时

应大于主变高压侧接地短路时后备保护最长动作时间来整定。若简化计算，一般取 6~9 秒。

4.10 发电机三次谐波电压式定子接地保护

三次谐波电压式定子接地保护范围是：反映发电机中性点向机内 20%左右定子绕组或机端附近定子绕组单相接地故障，与零序基波电压式定子接地保护联合构成 100%的定子接地保护。

4.10.1 整定原则及取值建议

(1) 幅值系数 K_1

(2) 相位系数 K_2

幅值及相位系数 K_1 及 K_2 的整定，应在发电机空载额定电压下进行自整定（自整定方法见使用说明书）。

(3) 制动系数 K_3

制动系数 K_3 的整定有两种方法。一种是在发电机小负荷工况下，设置一接地电阻，使 3ω 保护刚刚动作后，确定并写入 K_3 值。另一种方法，是在发电机空载额定电压，操作界面键盘，输入 K_3 值。

对于汽轮发电机，接地电阻一般选 $2K\Omega \sim 5K\Omega$ ， K_3 一般为 $0.4 \sim 0.8$ 。

(4) 动作延时 t_1

$$t_1 = (6 \sim 9)S$$

4.11 发电机注入式转子一点接地保护

在 DGT801 系列装置中，转子一点接地保护的注入直流电源系装置自产。因此，在发电机运行及不运行时，均可监视发电机励磁回路的对地绝缘。该保护动作灵敏、无死区。

4.11.1 整定原则及取值建议

(1) 动作电阻 R_{g1} 及 R_{g2} 的整定

R_{g1} 为高定值：当转子对地绝缘电阻大幅度降低时，发出信号。 R_{g1} 取 $(8 \sim 10) K\Omega$ 是适宜的。

R_{g2} 为低定值：动作后作用于切机。考虑转子两点接地的危害， R_{g2} 取 $(0.5 \sim 1) K\Omega$ 较为合理。

(2) 动作时间 t_1 及 t_2

t_1 及 t_2 可取 $6 \sim 9$ 秒。

4.12 发电机转子两点接地保护

4.12.1 整定原则及取值建议

二次谐波电压动作值可按下式整定

$$U_{2\omega g} = K_{rel} U_{2\omega 2He\delta} \quad (4.27)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数，取 8~10；
 $U_{2\omega_{2He\delta}}$ ——发电机额定工况下测得最大的二次谐波负序电压，一般为 0.1~0.2。
 动作延时 t ，可取 0.5~1.0 秒，以防外部故障暂态过程中保护误动。

4.13 发电机频率异常保护

汽轮机叶片有自己的自振频率。并网运行的发电机，当系统频率异常时，汽轮机叶片可能产生共振，从而使叶片发生疲劳，长久下去可能损坏汽轮机的叶片。
 发电机频率异常保护，是保护汽轮机安全的。

4.13.1 定值清单及取值建议

表 4— 1 频率异常保护定值清单

名称	低频保护/高频保护		频率积累保护		
	频率动作值	延时	频率积累 下限	频率积累 上限	频率积累时 间
符号	$F_1、F_2、F_3$	$t_1、t_2、t_3$	$F_{l1}、F_{l2}$ $F_{l3}、F_{l4}$	$F_{h1}、F_{h2}$ $F_{h3}、F_{h4}$	$\sum t_1、\sum t_2$ $\sum t_3、\sum t_4$
整定 范围	40~60	0.1~100	40~60	40~60	0.1~5000
单位	Hz	S	Hz	Hz	S

发电机频率异常保护的定值清单如表 4— 1 所示。

目前，电力系统中的装机容量越来越多，各系统之间的联系越来越紧密。长期低频或高频运行的可能性几乎等于零。因此，当频率异常保护作用于切除发电机时，其各段频率及累计时间，应与低频减载或高周切机装置相配合。

各段频率的取值及累计时间，应根据汽轮机制造厂提供的数据乘以可靠系数进行整定。

工程应用时，可根据需要选择为低频、高频、或频率积累保护。应按要求选择保护出口段数。

4.14 阻抗保护

变压器低阻抗保护，主要作为变压器相间短路的后备保护，有时还兼作相邻设备（母线、线路等）相间短路的后备保护。

4.14.1 整定原则及取值建议

(1) 向阻抗 Z_F 及反向阻抗 Z_B 的整定

对于发电机变压器组的阻抗保护，当阻抗保护的输入电压及电流取自机端时，阻抗圆应整定为具有偏移度的方向阻抗圆。此时

$$Z_F = Z_T \quad (4.28)$$

$$Z_B \approx (3 \sim 4)Z_T \quad (4.29)$$

式中 Z_T ——变压器的二次阻抗；

当阻抗保护的输入电压及电流取自主变高压侧时，阻抗圆应整定为过原点的下抛圆。此时，

$$Z_F \approx 0$$

$$Z_B = (4 \sim 5)Z_T$$

(2) 动作延时 t_1 及 t_2

阻抗保护的动作延时，应大于相邻线路保护距离 I 段的动作时间，而小于相邻线路对侧距离 II 段的动作时间。考虑到系统振荡的影响， t_1 取 1.5S、 t_2 取 2S 是合理的。

(3) 过电流动作值 I_g

按躲过发电机或变压器最大负荷电流来整定。

$$I_g = (1.1 \sim 1.15)I_e \quad (4.30)$$

式中

I_e ——发电机或变压器的额定电流

(4) 负序电流动作值 I_{2g}

按躲过正常运行时最大的不平衡负序电流来整定。

$$I_{2g} = (0.1 \sim 0.2)I_e \quad (4.31)$$

对于降压变压器或联变阻抗保护的整定应参照有关规程的规定。

4.15 变压器零序电流保护

变压器零序电流保护，反映变压器 Y0 侧零序电流的大小，是变压器接地短路的后备保护，也兼作相邻设备接地短路的后备保护。

4.15.1 构成原理

保护的接入电流可取变压器中性点 TA 二次电流，或引出端 TA 二次零序电流，或由 TA 二次三相电流进行自产。当零序电流大于整定值时，经延时作用于信号及出口。

(1) 零序 I 段的整定

动作电流 $3I_{0g1}$ 应按照相邻线路首端接地故障时变压器提供的零序电流来整定，且考虑与相邻线路接地保护的 I 段定值相配合。

动作延时 t_{11} 应与相邻线路接地 I 段保护最长动作延时相配合，即

$$t_{11} = t'_1 + \Delta t \quad (4.32)$$

式中 t'_1 ——相邻线路各接地保护中 I 段的最长动作时间；

Δt ——时间级差，取 0.3~0.5 秒。

动作延时

$$t_{12} = t_1 + \Delta t$$

另外，要求： t_{12} 不大于 2 秒。

(2) 零序 II 段的整定

零序过流 II 段的动作电流 $3I_{0g2}$ ，应按照相邻线路下一级线路接地故障时变压器提供的零序电流来整定，且与相邻线路接地保护的后备段相配合。

动作延时 t_{21} 应与相邻线路接地保护 II 段的动作延时相配合。

$$t_{21} = t'_2 + \Delta t。$$

式中 t'_2 ——相邻线路接地保护 II 段动作延时。

4.16 低电压起动的过电流保护

(1) 动作电流的整定原则：按变压器额定电流整定

$$I_{dz} = \frac{K_K}{K_f} I_e \quad (4.33)$$

式中 K_K ——可靠系数，取 1.2

I_e ——变压器额定电流（TA 二次值）

(2) 灵敏度校验：按变压器低压母线故障时的最小短路电流二次值校验
要求灵敏度大于 2

1) 动作电压整定原则：按躲过正常运行时母线的最低工作电压整定，根据经验可取 $U_{dz} = 0.7U_e$

式中 U_e ——变压器额定电压（TV 二次值）

电压灵敏度校验：按后备保护范围末端三相短路时，保护安装处的最大电压
要求大于 2

5 继电保护及自动装置整定计算

5.1 相关参数计算

1. 各短路点综合阻抗与短路电流计算

(见计算书)

2. 发电机各主要参数

额定功率: $P_{GN} = 600MW$

功率因数: $\cos\varphi = 0.9$

额定电压: $U_{GN} = 20KV$

额定电流: $I_{GN} = \frac{P_{GN}}{\sqrt{3}U_{GN}\cos\varphi} = \frac{600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 20 \times 0.9} = 19245A$

发电机二次侧额定电流: $I_e = \frac{I_{GN}}{n_{TA1}} = \frac{19245}{4000} = 4.81A$

3. 电流互感器各主要参数

电流互感器变比: $n_{TA1} = \frac{20000}{5} = 4000$

4. 变压器各主要参数

额定功率: $S_e = 800MVA$

额定电压: $U_{TN} = 20KV$

额定电流: $I_e = I_{TN} \frac{S_e}{\sqrt{3}U_{TN}} = \frac{800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 20} = 23094A$

电流互感器变比: $n_{TA2} = \frac{25000}{5} = 5000$

变压器二次侧额定电流: $I_e = \frac{I_{TN}}{n_{TA2}} = \frac{23094}{5000} = 4.62A$

5.2 发电机纵差动保护

(1) 比率制动系数 K_Z (曲线斜率), 按式 (4.1) 取 $K_Z = 0.4$

(2) 启动电流 I_q 按式 (4.2) 整定, 得

$$I_q = 0.4I_e = 0.4 \times 4.81 = 1.924A$$

(3) 拐点电流 I_g 按式 (4.3) 整定, 得

$$I_g = 0.6I_e = 0.6 \times 4.81 = 2.886A$$

(4) 负序电压 U_2 取 $U_2=10V$ 。

灵敏度校验

根据比率制动系数 K_z 和启动电流 I_q 以及拐点电流 I_g 可以得出比率制动特性的曲线方程如式 (5.1) 所示, 曲线图如图 5.1 所示。

$$I_{dz.J} = 0.4I_{zd} + 0.77 \quad (5.1)$$

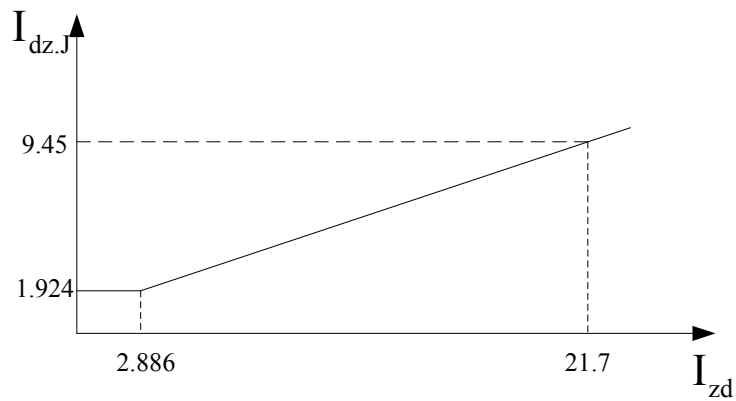


图 5.1 比率制动特性的曲线

发电机出口处的两相短路电流为:

$$I_{K1.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K1.min}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E_{G\Sigma}^*}{X_G^*} I_B n_T = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 1155 \times 525}{2 \times 0.3 \times 20} = 86.8KA$$

转换到电流互感器二次侧

$$I_{K1.min.2}^{(2)} = I_{K1.min}^{(2)} / n_{TA,G} = \frac{86800}{4000} = 21.7A$$

$$I_{dz.J} = 0.4 \times 21.7 - 0.77 = 9.45A$$

灵敏度系数为

$$K_{lm} = \frac{I_{K1.min.2}^{(2)}}{I_{dz.J}} = \frac{21.7}{9.45} = 2.3 > 2$$

灵敏度满足要求。

5.3 发电机横差动保护

发电机单元件横差保护的输入电流,为发电机两个中性点连线上的 TA 二次电流。

- (1) 动作电流 I_g 按式 (4.7), 取 $0.3I_e$ (I_e 为发电机额定电流二次值), 所以

$$I_g = 0.3I_e = 0.3 \times 4.81 = 1.443 A$$

- (2) 动作延时 t_1 取 0.8s

5.4 变压器纵差动保护

反应变压器内部及引出线上的相间短路、变压器内部匝间短路及大电流系统侧的单相接地短路故障。另外,尚能躲过变压器空充电及外部故障切除后的励磁涌流。

- (1) 比率制动系数 K_Z (曲线斜率) 取 0.4。

- (2) 启动电流 I_q 按式 (4.8) 整定, 取 $I_q = 0.4I_e$ (I_e 为变压器额定电流二次值), 所以

$$I_q = 0.4I_e = 0.4 \times 4.62 = 1.848 A$$

- (3) 拐点电流 I_g 按式 (4.9) 整定, 取 $I_g = 0.6I_e$, 所以

$$I_g = 0.6I_e = 0.6 \times 4.62 = 2.772 A$$

- (4) 二次谐波制动比 η 取 0.15。

- (5) 差动速断倍数 I_s 取 5 倍。

5.5 发电机反时限对称过负荷保护

发电机反时限对称过负荷保护,是发电机定子的过热保护,主要用于内冷式大型汽轮发电机,保护反映发电机定子电流的大小,其输入电流为发电机 TA 二次某一相电流,或者为三相电流。

- (1) 定时限整定值 I_{g1} 按式 (4.11) 整定, 所以

$$I_{g1} = \frac{K_{rel} I_e}{0.95} \frac{1.05 \times 4.81}{0.95} = 5.32 A$$

式中 K_{rel} ——可靠系数取 1.05;

I_e ——发电机额定电流 (TA 二次值)。

(2) 定时限动作延时 t_{11} , 取 8s

(3) 反时限下限启动电流 I_s 按式 (4.12) 整定, 所以

$$I_s = 1.15 I_e = 1.15 \times 4.81 = 5.53 A$$

(4) 反时限下限长延时 t_s 取 500S

(5) 反时限上限电流 I_{up}

K2 点短路时, 发电机出口处三相短路电流

$$I_{G.K2}^{(3)} = \frac{E^*}{X_{1K2\Sigma}^*} I_B n_{TA} = \frac{1}{0.0987} \times 1155 \times \frac{1}{4000} = 2.92 A$$

$$I_{up} = 1.05 I_{G.K2}^{(3)} = 1.05 \times 2.92 = 3.07 A$$

式中 $I_{G.K2}$ ——发电厂高压母线 (既 K2 处) 三相短路时发电机提供的短路电流

(6) 反时限上限动作延时 t_{up} 取 0.4s

(7) 散热系数 K_2 取 1.1

5.6 发电机反时限不对称过负荷保护

发电机反时限不对称过负荷保护, 适用于大型内冷式汽轮发电机。是发电机的转子过热保护, 也叫转子表层过热保护。保护反应发电机定子电流中的负序分量。其输入电流为发电机 TA 二次三相电流。

(1) 定时限整定值 I_{2g1} 按式 (4.14) 整定, 所以

$$I_{2g1} = K_{rel} \frac{I_{2\infty}}{0.95} = 1.2 \times \frac{0.35}{0.95} = 0.442 A$$

式中 K_{rel} ——可靠系数, 取 1.2;

$I_{2\infty}$ ——发电机长期运行允许的负序电流 (TA 二次值)。

(2) 定时限动作延时 t_{11} 取 8s

(3) 反时限下限启动电流 I_{2s} 按式 (4.15) 整定, 所以

$$I_{2s} = 1.1 I_{2g1} = 1.1 \times 0.442 = 0.486 A$$

$$(4) \text{反时限上限电流 } I_{2up} = 1.05 \times I_{2G.K2}^{(2)} = 1.05 \times \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = 1.05 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2.92 = 2.66 A$$

(5) 反时限上限动作延时 t_{up} 取 0.4s

(6) 热值系数 K_1 取 7, 散热系数 K_2 取 0.01

5.7 复合电压过流保护

发电机复合电压过流保护主要作为发电机相间短路的后备保护。当发电机为自并励方式时，过流元件应有电流记忆功能。

发电机复合电压过流保护的输入量为机端 TV 二次相间电压(U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA})及发电机 TA 二次三相电流(I_A 、 I_B 、 I_C)。

$$(1) \text{ TV 变比: } \frac{20kV}{\sqrt{3}} / \frac{100V}{\sqrt{3}} / \frac{100V}{3} (\text{机端})$$

发电机额定电压 (TA 二次值): $U_e = 100V$

(2) 过流定值 I_g 按式 (4.16) 整定, 即

$$I_g = \frac{K_{rel} I_e}{0.95} = \frac{1.2 \times 4.81}{0.95} = 6.08A$$

式中 K_{rel} ——可靠系数, 取 1.2;

I_e ——发电机额定电流 (TA 二次值)。

(3) 低电压定值 U_l 按式子 (4.17) 整定, 所以取

$$U_l = 0.7U_e = 0.7 \times 100 = 70V$$

式中 U_e ——发电机额定电压 (TA 二次值)。

(4) 负序电压 U_{2g} 按式 (4.18) 整定, 所以取

$$U_{2g} = 9\%U_e = 0.09 \times 100 = 9V$$

5.8 发电机过电压保护

保护反映发电机定子电压。其输入电压为机端 TV 二次相间电压 (例如 U_{CA}), 动作后经延时切除发电机。

(1) 动作电压 U_g 按式 (4-28) 整定, 所以取

$$U_g = 1.3U_e = 1.3 \times 100 = 130V$$

(2) 动作延时 t 取 0.4S

5.9 发电机失磁保护 (阻抗原理)

保护输入量有: 机端三相电压、发电机三相电流、主变高压侧三相电压 (或某一相间电压)、转子直流电压

(1) 主变压器高压侧 TV 变比: $n_{TV2} = \frac{500KV}{\sqrt{3}} / \frac{100V}{\sqrt{3}}$

(2) 系统低电压动作定值 U_{hl} 按式 (4.20) 整定, 所以取

$$U_{hl} = 0.9 U_{he} = 0.9 \times 500 \times \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 0.09KV = 90V$$

式中

U_{he} ——系统母线额定电压 (TV 二次值)。

(3) 机端低电压动作定值 U_{gl} 按式 (4.21) 整定, 所以取

$$U_{gl} = 0.8 U_e = 0.8 \times 100 = 80V$$

(4) 阻抗圆圆心 X_c 按式 (4.22) 整定, 所以

$$X_c = -0.6 X_d = -0.6 \times 2.09 = -1.25$$

式中 x_d ——发电机同步电抗;

(5) 阻抗圆半径 X_r 按式 (4.23) 整定, 所以

$$X_r = 0.6 X_d = 0.6 \times 2.09 = 1.25$$

(6) 发电机过功率定值 P_g 按式 (4-26) 整定, 所以取

$$P_g = 0.5 P_e = 0.5 \times 432.9 = 216.5W$$

(7) 转子低电压特性曲线系数 K_{fd} 取 0.45

(8) 转子低电压初始动作定值 V_{fdl} 取 45V

(9) 动作时间 t_1 取 1s, t_2 取 0.3s。

5.10 发电机基波零序电压式定子接地保护

基波零序电压式定子接地保护, 保护范围为由机端至机内 90%左右的定子绕组单相接地故障, 可与三次谐波定子接地保护合用, 组成大、中型发电机的 100% 定子接地保护。

保护接入 $3U_0$ 电压, 取自发电机机端 TV 开口三角绕组两端, 或取自发电机中性点单相 TV (或配电变压器或消弧线圈) 的二次。

(1) 动作电压 $3U_{0g}$ 取 10V

(2) 动作延时取 8 秒

5.11 发电机三次谐波电压式定子接地保护

(1) 幅值系数 K_1 、相位系数 K_2

幅值及相位系数 K_1 及 K_2 的整定，应在发电机空载额定电压下进行自整定（自整定方法见使用说明书）。

(2) 制动系数 K_3

对于汽轮发电机，接地电阻一般选 $2\text{K}\Omega \sim 5\text{K}\Omega$ ， K_3 一般为 $0.4 \sim 0.8$ 。

(3) 动作延时 t_1 取 8S

5.12 发电机注入式转子一点接地保护

(1) 动作电阻 R_{g1} 及 R_{g2} 的整定

R_{g1} 为高定值：当转子对地绝缘电阻大幅度降低时，发出信号。 R_{g1} 取 $9\text{K}\Omega$

R_{g2} 为低定值：动作后作用于切机。考虑转子两点接地的危害， R_{g2} 取 $0.6\text{K}\Omega$

(2) 动作时间 t_1 及 t_2

t_1 及 t_2 可取 $6 \sim 9$ 秒。

5.13 发电机转子两点接地保护

当发电机转子绕组两点接地时，其气隙磁场将发生畸变，在定子绕组中将产生二次谐波负序分量电势。转子两点接地保护即反映定子电压中二次谐波“负序”分量。

(1) 二次谐波电压动作值 $U_{2\omega g}$ 可按式（4-27）整定，所以

$$U_{2\omega g} = K_{rel} U_{2\omega 2He\delta} = 9 \times 0.2 = 1.8V$$

式中 K_{rel} ——可靠系数，取 $8 \sim 10$ ；

$U_{2\omega 2He\delta}$ ——发电机额定工况下测得最大的二次谐波负序电压，一般为 $0.1 \sim 0.2$ 。

(2) 动作延时 t ，可取 0.8 秒，以防外部故障暂态过程中保护误动。

5.14 发电机频率异常保护

表 5.1 频率异常保护定值清单

名称	低频保护/高频保护		频率积累保护		
	频率动作值	延时	频率积累 下限	频率积累 上限	频率积累时 间

符号	$F_1、F_2、F_3$	$t_1、t_2、t_3$	$F_{l1}、F_{l2}$ $F_{l3}、F_{l4}$	$F_{h1}、F_{h2}$ $F_{h3}、F_{h4}$	$\sum t_1、\sum t_2$ $\sum t_3、\sum t_4$
整定范围	40~60	0.1~100	40~60	40~60	0.1~5000
单位	Hz	S	Hz	Hz	S

发电机频率异常保护的定值清单如表 5.1 所示。

目前，电力系统中的装机容量越来越多，各系统之间的联系越来越紧密。长期低频或高频运行的可能性几乎等于零。因此，当频率异常保护作用于切除发电机时，其各段频率及累计时间，应与低频减载或高周切机装置相配合。各段频率的取值及累计时间，应根据汽轮机制造厂提供的数据乘以可靠系数进行整定。

5.15 阻抗保护

变压器低阻抗保护，主要作为变压器相间短路的后备保护，有时还兼作相邻设备（母线、线路等）相间短路的后备保护。

该保护主要由三个相间阻抗元件构成。阻抗元件的接入电压和接入电流，可以取自机端 TV 及 TA 的二次，也可以取自主变高压侧或中压侧 TV 及 TA 二次。

(1) 正向阻抗 Z_F 及反向阻抗 Z_B 的整定

1) 对于发电机变压器组的阻抗保护，当阻抗保护的输入电压及电流取自机端时，阻抗圆应整定为具有偏移度的方向阻抗圆。此时

正向阻抗 Z_F 应按式（4-28）整定，得

$$Z_F = Z_T = 12.5 \Omega$$

反向阻抗 Z_B 应按式（4-29）整定，得

$$Z_B \approx 3.5 Z_T = 3.5 \times 12.5 = 43.75 \Omega$$

式中 Z_T ——变压器的二次阻抗；

2) 当阻抗保护的输入电压及电流取自主变高压侧时，阻抗圆应整定为过原点的下抛圆。此时，

$$Z_F \approx 0$$

$$Z_B = 4.5 Z_T = 56.25 \Omega$$

(2) 动作延时 t_1 及 t_2

阻抗保护的動作延时，应大于相邻线路保护距离 I 段的動作时间，而小于相邻

线路对侧距离 II 段的动作时间。考虑到系统振荡的影响， t_1 取 1.5S、 t_2 取 2S。

1. 过电流动作值 I_g 按式 (4-30) 来整定得

$$I_g = 1.1I_e = 1.1 \times 4.81 = 5.29A$$

式中 I_e ——发电机的额定电流 (TA 二次值)

(3) 负序电流动作值 I_{2g} 按式 (4-31) 整定得

$$I_{2g} = 0.15I_e = 0.15 \times 4.81 = 0.72A$$

5.16 变压器零序电流保护

变压器零序电流保护，反映变压器 Y0 侧零序电流的大小，是变压器接地短路后备保护，也兼作相邻设备接地短路的后备保护。

保护的接入电流可取变压器中性点 TA 二次电流，或引出端 TA 二次零序电流，或由 TA 二次三相电流进行自产。当零序电流大于整定值时，经延时作用于信号及出口。

(1) 零序 I 段的整定

动作电流 $3I_{0g1}$ 应按照相邻线路首端接地故障时变压器提供的零序电流来整定，且考虑与相邻线路接地保护的 I 段定值相配合。

动作延时 t_{11} 应与相邻线路接地 I 段保护最长动作延时相配合，即

$$t_{11} = t'_1 + \Delta t = 1 + 0.3 = 1.3S$$

式中 t'_1 ——相邻线路各接地保护中 I 段的最长动作时间；

Δt ——时间级差，取 0.3~0.5 秒。

动作延时

$$t_{12} = t_1 + \Delta t$$

另外，要求： t_{12} 不大于 2 秒。

(2) 零序 II 段的整定

零序过流 II 段的动作电流 $3I_{0g2}$ ，应按照相邻线路下一级线路接地故障时变压器提供的零序电流来整定，且与相邻线路接地保护的后备段相配合。

动作延时 t_{21} 应与相邻线路接地保护 II 段的动作延时相配合。

$$t_{21} = t'_2 + \Delta t。$$

式中 t'_2 ——相邻线路接地保护 II 段动作延时。

5.17 低电压起动的过电流保护

(1) 动作电流的整定原则：按变压器额定电流整定

$$I_{dz} = \frac{K_K}{K_f} I_e = \frac{1.2}{1} \times 4.62 = 5.54 \text{ A}$$

灵敏度校验：按变压器低压母线故障时的最小短路电流二次值校验

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K1}^{(3)} / \frac{n_{TA}}{n_T} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E^*}{X_{1.K1.\Sigma.\max}^*} I_B / \frac{n_{TA}}{n_T} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{1}{0.141} \times 1155 / \frac{5000}{500/20} = 35.5 \text{ A}$$

$$K_{lm} = \frac{I_{K2}^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{35.5}{5.54} = 6.4 > 2$$

满足要求

(2) 动作电压整定原则：按躲过正常运行时母线的最低工作电压整定，根据经验可取 $U_{dz} = 0.7U_e = 0.7 \times 100 = 70 \text{ V}$

电压灵敏度校验：按后备保护范围末端三相短路时，保护安装处的最大线电压。

$$U_{d\max} = \frac{I_{K1.\max}^{(3)}}{n_{TA}} n_T Z_B = \frac{E^*}{n_{TA} X_{1.K1.\min.\Sigma}^*} n_T \frac{U_B}{\sqrt{3} I_B} = \frac{1}{0.137 \times 5000} \times \frac{500}{20} \times \frac{500000}{1155\sqrt{3}} = 9.12 \text{ V}$$

$$K_{lm} = \frac{U_{dz}}{U_{d\max}} = \frac{70}{9.12} = 7.7$$

满足要求

5.18 备用电源自动投入装置有关元件的整定计算

(1) 低电压继电器

为了避免系统发生短路并在短时间内使工作母线电压降低时误将备用电源投入，必须正确选择低电压元件的电压整定值和自动投入装置的动作时间。为了不使备用电源和自投装置的动作时间过长（因时间过长将使自动投入装置效果降低），应尽可能将电压元件的动作时间整定的低一些，以使其反应短路的范围缩小。同时，还应避免因负荷自起动引起的电压降低而使 BZT 装置误动。其整定值可计算为

$$U_{dz} = \frac{U_e}{K_K} = \frac{100}{4} = 25 \text{ V}$$

式中 U_e ——母线的额定电压

K_K ——可靠系数，可取 3~4。

(2) 过电压继电器

过电压继电器用以判断备用母线（备用电源）是否有电压，即确定备用母线正常情况下是否有电压的元件，要求备用母线的电压能处于正常的范围之内。当母线电压低于允许的电压范围时，则不允许自动投入装置动作。其整定值可计算为

$$U_{dz} = \frac{0.9U_e}{K_K K_f} = \frac{0.9 \times 100}{1.1 \times 1.2} = 68V$$

式中 U_e ——母线的额定电压

K_K ——可靠系数，可取 1.1。

K_f ——返回系数，可取 1.2。

(3) 时间继电器

按系统界限方式不同，有时需要装设时间继电器。其时间整定原则，可按大于在低电压继电器所反应的范围内，系统中其他设备的继电保护切除短路的时间计算，即

$$t_{dz} = t'_{dz} + \Delta t = 1.5 + 0.6 = 2.1S$$

式中 t_{dz} ——备用电源自动投入装置时间元件的动作时间

t'_{dz} ——系统中其他设备继电保护切除短路的最长时间

Δt ——时间级差，取 0.5~0.6。

若要求备用电源自动投入装置与有关的线路自动重合闸配合使用，即由重合闸重合一次，重合失败，再进行备用电源自动投入，以充分发挥两者的作用。此时 BZT 装置的动作时间应满足上述条件外，还应大于重合周期的时间。

(4) 延时返回中间继电器

延时返回继电器的延时返回时间，应保证备用断路器能可靠合闸，并留有裕度。

5.19 pss660 数字式自动准同期装置整定计算

PSS 660 数字式自动准同期装置由于最多支持 16 个同期对象，所以系统共有 16 组定值，分别对应于每个同期对象，但系统定值只有一组。如果相应的对象选择成功，则系统会自动的把该组对象的定值调入到内存中。另外，虽然每组同期对象都有默认的定值，但是为了安全起见，各个对象的定值只有固化以后，才能够进行同期操作，否则系统会拒绝同期合闸的。

该模件定值如表 5.2 所示。

表 5.2 PSS 660 数字式自动准同期装置定值

序号	定值名称	输入方式	定值范围	默认值	简要说明
1	控制字	十六进制	0x0000～ 0xFFFF	0x0007	
2	合闸脉冲导前 时间	十进制	0.000～ 2.000s	0.100s	只需考虑装置以外环节（主要是 断路器动作时间）的延时。装置 内部延时已由装置补偿。
3	同期复归时间	十进制	0.00～999.9s	300s	超过此时间同期不上，报超时， 并退出同期捕捉过程。
4	合闸输出脉宽	十进制	0.000～ 9.999s	0.120s	同期合闸输出接点闭合时间
5	同频调频脉宽	十进制	0.000～ 9.999s	0.120s	同频不同相时增速脉冲宽度
6	固有相角差	十进制	-180.0°～ +180.0°	0°	固有转角，系统电压超前待并侧 电压整定为正，滞后为负
7	允许环并合闸 角	十进制	0～40.0°	15.0°	仅在自动识别为环网并列时使用。
8	允许压差高限	十进制	-15.0V～ +15.0V	5.0V	这是折算到100V电压的值。相当 于额定电压的百分数。 允许压差 (U _g -U _s) 范围： $\Delta U_l \leq U_g - U_s \leq \Delta U_h$
9	允许压差低限	十进制	-15.0V～ +15.0V	-5.0V	
10	允许频差高限	十进制	-0.50～ +0.50Hz	0.25Hz	允许频差 (f _g -f _s) 范围； $\Delta f_l \leq f_g - f_s \leq \Delta f_h$ 。
11	允许频差低限	十进制	-0.50～ +0.50Hz	-0.25Hz	
12	调速周期	十进制	0.1～20.0s	5.0s	推荐值 5s
13	调速比例因子	十进制	1～200	40	推荐值 40～50
14	调速积分因子	十进制	1～200	0	推荐值 0
15	调速微分因子	十进制	1～200	0	推荐值 0
16	调频脉冲最大 宽度	十进制	0.000～ 5.000s	0	推荐值0。为0 时，调压脉冲宽度 由装置自动计算，脉冲宽度范围

17	调频脉冲最小 宽度	十进制	0.000~ 5.000s	0	限定为0.1~2s
18	调压周期	十进制	0.1~20.0s	2.0s	推荐值 2s
19	调压比例因子	十进制	1~200	20	推荐值 20~30
20	调压脉冲最大 宽度	十进制	0.000~ 2.000s	0	推荐值0。为0 时，调压脉冲宽度 由装置自动计算
21	调压脉冲最小 宽度	十进制	0.000~ 2.000s	0	

5.20 BKQ-01B 微机型备用电源快速切换装置整定计算

表 5.3 WBKQ-01B 微机型备用电源快速切换装置的定值

定值组	定值名称	范围	级差	推荐值
1. 手动并联切换 定值	母线与目标电源电压差	0.1%~10%	0.10%	5%
	母线与目标电源频率差	0.02Hz~0.5Hz	0.01Hz	0.2Hz
	母线与目标电源相角差	0.5° ~20°	0.1	15°
	并联切换时采用	<input type="checkbox"/> 自动 <input type="checkbox"/> 半自动		
	手动并联切换模块投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
2. 手动串联切换 定值	快速切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
	同期判别切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
	残压切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
	长延时切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
	手动串联切换模块投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
3. 事故切换方式 选择	切换方式	<input type="checkbox"/> 同时 <input type="checkbox"/> 串联		串联
	快速切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	同期判别切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	残压切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	长延时切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	事故切换模块投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
4. 母线低电压起 动切换方式选	母线低电压起动定值	20%~80%	0.10%	70%
	母线低电压起动延时	0.5s~2s	0.01s	1s
	切换方式	<input type="checkbox"/> 同时 <input type="checkbox"/> 串联		串联

	快速切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	同期判别切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	残压切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	长延时切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	母线低电压起动切换模块投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
5. 工作电源开关 偷跳起动切换方 式选择	切换方式	<input type="checkbox"/> 同时 <input type="checkbox"/> 串联		串联
	快速切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	同期判别切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	残压切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	长延时切换功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
	工作电源开关偷跳起动切换模 块投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
6. 快速切换定值	母线与目标电源频率差	0.5Hz~5Hz	0.01Hz	3Hz
	母线与目标电源相角差	0.5°~60°	0.1	30°
	同时切换合备用延时	0.02s~0.05s	0.01s	
7. 同期判别切换 定值	母线与目标电源频率差	5Hz~15Hz	0.01Hz	10Hz
8. 残压切换定值	残压定值	20%~50%	0.10%	30%
9. 长延时切换定 值	长延时定值	2s~10s	0.01s	3s
10. 开关固有时间	工作低压侧开关固有合闸时间	0s~0.200s	0.01s	
	备用低压侧开关固有合闸时间	0s~0.200s	0.01s	
	备用高压侧开关固有合闸时间	0s~0.200s	0.01s	
	备用电源高压侧开关状态	<input type="checkbox"/> 热态 <input type="checkbox"/> 冷态		
11. 低电压减载定 值	低压减载 I 段电压定值	70%~80%	0.10%	
	低压减载 I 段延时定值	1s~10s	0.01s	
	低压减载 I 段功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
	低压减载 II 段电压定值	40%~70%	0.10%	
	低压减载 II 段延时定值	5s~20s	0.01s	
	低压减载 II 段功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
12. 去耦合定值	去耦合延时	0.2s~0.5s	0.01s	0.4s

	去耦合投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		采用同时切换时投入
13. 备用分支保护定值	备用分支速断定值	0.2A~100A	0.01A	
	备用分支速断延时定值	0s~1s	0.01s	
	备用分支过流定值	0.2A~100A	0.01A	
	备用分支过流延时定值	0s~60s	0.01s	
	备用分支速断有效时间定值	0s~10s	0.01s	
	备用分支速断投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
	备用分支过流投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
14. 目标电源低压定值	目标电源低压定值	70%~90%		80%
	目标电源低压延时	0.02s~0.5s	0.01s	0.2s
	目标电源低压投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		
15. 相位校准定值	工作电源电压超前母线Uab相角	0° ~360°	0.1°	
	备用电源电压超前母线Uab相角	0° ~360°	0.1°	
16. 工作分支CT及备用分支CT设定	工作分支 CT 有流定值	0.2A~10A	0.01A	15%负荷电流
	备用分支 CT 有流定值	0.2A~10A	0.01A	15%负荷电流
	有无工作分支 CT	<input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/> 有		
	有无备用分支 CT	<input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/> 有		
17. 母线 PT 断线判别	母线 PT 断线判别投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		投入
18. 打印机参数设定	打印起动前周波数	0 周~50 周	1	10 周
	打印起动后周波数	0 周~200 周	1	50 周
	自动打印功能投退	<input type="checkbox"/> 退出 <input type="checkbox"/> 投入		退出
19. 通信参数	装置通信地址	1~254	1	
	装置通信波特率	9600bps/19200bps		

5.21 本章结论

所有整定计算结果汇总表如表 5.4 至 表 5.15 所示

表 5.4 发电机纵差动保护整定值

名称	制动系数	启动电流	拐点电流	负序电压	速断倍数 (*I _e)	额定电流
代号	K _Z	$I_{op.0}$	$I_{res.o}$	$U_{2.0P}$	I _s	I_e
整定值	0.286	0.962	4.33	6V	6	4.81
单位		安	安	伏	倍数	安

表 5.5 发电机单元件横差动保护整定结果表

名称	动作电流	动作时间
代号	I _g	t ₁
整定范围	1.443	0.8
单位	A	秒

表 5.6 变压器二次谐波制动式差动保护定值清单

名称	制动系数	谐波制动比	启动电流	拐点电流	速断倍数 (*I _e)	额定电流
代号	K _Z	η	I _q	I _g	I _s	I _e
整定范围	0.4	0.15	1.848	2.772	5	4.62
单位			安	安	倍数	安

表 5.7 反时限对称过负荷保护定值清单

名称	定时限定值		反时限定值						额定电流
	动作电流	延时	下限电流	下限长延时	上限电流	上限时间	热值系数	散热系数	
符号	I_{2gl}	t_{11}	I_{2S}	t_s	I_{2up}	t_{up}	K ₁	K ₂	I _e (I _N)
整定范围	5.32	8	5.53	500	2.92	0.4	1.1	1	4.81
单位	A	S	A	S	A	S			A

表 5.8 反时限不对称过负荷保护定值清单

名称	定时限定值	反时限定值	额定
----	-------	-------	----

	动作 电流	延时	下限 电流	下限 长延时	上限 电流	上限 时间	热值 系数	散热 系数	电流
符号	I_{g1}	t_{11}	I_s	t_s	I_{up}	t_{up}	K_1	K_2	Ie
整定 范围	0.442	8	0.486	450	2.66	0.4	7	0.01	4.81
单位	A	S	A	S	A	S			A

表 5.9 复合电压闭锁过流保护定值清单

名称	过电流	低电压	负序电压
符号	I_g	U_l	U_{2g}
整定范围	6.08	70	9
单位	A	V	V

表 5.10 发电机过电压保护定值清单

名称	动作电压	动作时间
符号	U_g	t
整定范围	130	0.4
单位	V	S

表 5.11 阻抗型失磁保护定值清单

名称	系统 低电压	机端 低电压	阻抗园 园心 (负值)	阻抗园 半径	转子低 电压特 性曲线 系数	转子 低电 压初 始动 作值	过功率	动作延时
符号	U_{hl}	U_{gl}	-X _C	X _r	K _{fd}	V_{fdl}	P_g	t ₁ , t ₂ , t ₃ , t ₄ , t ₅
整 定 范	90	80	-1.25	1.25	0.45	45	216.5	2

围								
单位	V	V	Ω	Ω		V	W	S

表 5.12 3U₀ 定子接地保护定值清单

名 称	动作电压	动作时间
符 号	3U _{0g}	t
整定范围	10	8
单 位	V	S

表 5.13 转子一点接地保护定值清单

名称及代号	动作电阻 R _{g1}	动作电阻 R _{g2}	动作时间 t ₁	动作时间 t ₂
整定范围	9	0.6	6	8
单位	K Ω	K Ω	S	S

表 5.14 转子两点接地保护的定值清单

名称及符号	二次谐波电压定值 $U_{2\omega g}$	动作延时 t
整定范围	1.8	8
单位	V	S

表 5.15 阻抗保护定值清单

名称	正向 阻抗	反向 阻抗	过电流	负序 电流	I 段 延时	II 段 延时
符号	Z_F	Z_B	I_g	I_{2g}	t_1	t_2
整定 范围	12.5	43.75	5.29	0.72	1.5	2
单位	Ω	Ω	A	A	S	S

6 厂用电快速切换仿真

厂用电系统的安全可靠性对整个机组乃至整个电厂运行的安全、可靠性有着非常重要的影响,而厂用电切换则是整个厂用系统的一个重要环节。发电厂的厂用电快速切换涉及到的开关量值较多,逻辑相对复杂,对其在实际工程中进行研究比较困难。利用 MATLAB 带有的 Simulink 环境中功能强大的电力系统模块(PSB)建立厂用电快速切换仿真模型,然后对快速切换进行仿真^[7],通过对切换的全过程、切换前和切换后母线的电压的特征的仿真研究,验证快速切换是最安全、可靠的切换方式,它是主切换。

6.1 厂用电快速切换的基本原理

厂用工作电源和备用(启动)电源,其典型接线如图 6.1 所示。目前,绝大多数大型火力发电机组都采用单元接线,正常运行时机组厂用电由单元机组供电,停机状态由备用电源供电,机组在启动和停机过程都必须带负荷进行厂用电切换。另外,当电源侧电气故障或汽机锅炉发生故障时,为了保证厂用电不中断,必须尽快把厂用电电源从工作电源切换到备用电源。因此,切换一般有 2 类启动信号,一类是手动启动信号,即机组启、停机过程由主控室人为发出启动信号;另一类是保护启动信号,它包括热工或汽机来的保护启动信号和电气故障启动信号。在某些特殊条件下,厂用电系统的切换也可由失压信号启动。

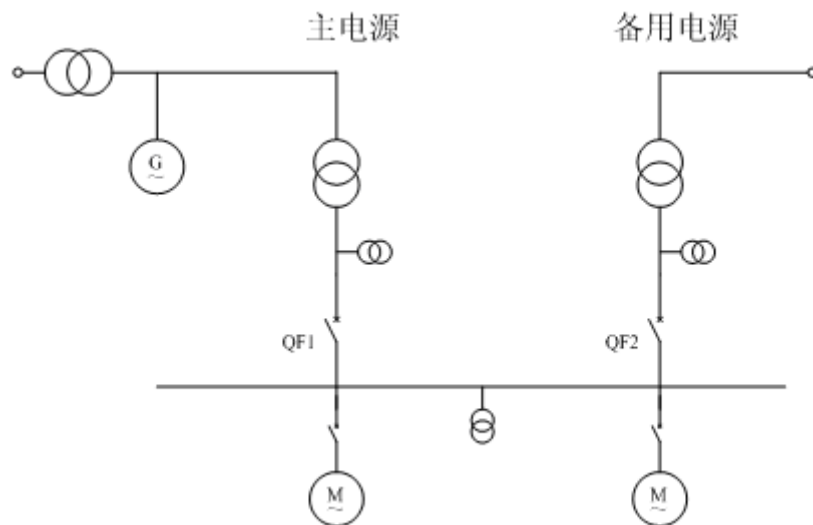


图 6.1 厂用工作电源和备用电源典型接线图

6.2 厂用电快速切换仿真模型简介

本次仿真模型如图 6.2 所示，直接利用断路器的跳合闸时间来模拟厂用电快切。设 QF1 在 0.15 跳闸，QF2 在 0.25 合闸。利用两个断路器跳合闸的时间差，模拟发生三相短路时，在厂用电快切成功实现的情况下，系统的电压和电流波形。从波形上分析，快切方式把电压波动降到了较小的范围内，可以保证系统在切换过程中所受的影响在允许范围内。快切可使厂用电切换简化、可靠、快速，是最佳的切换方案。

采样频率：50Hz

仿真时间：0.25 秒

仿真波形图见 6.4 节

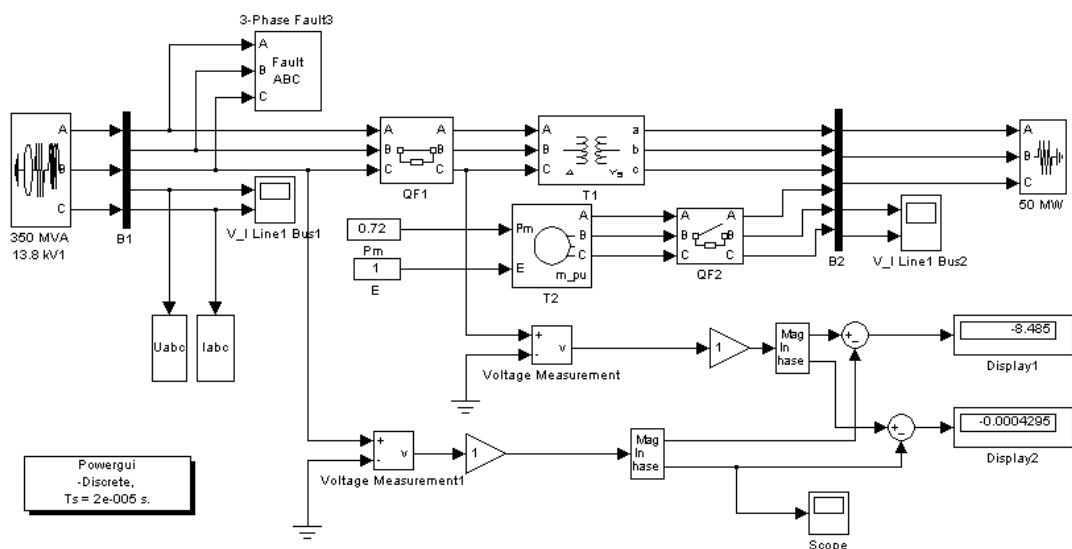


图 6.2 厂用电快速切换模型

6.3 模型中各个元件的主要参数设置

(1) 三相电源模块（Three-Phase Source block）

该模块位于 Simpowersystems 模块库的元件库（Elements）中。三相电源模块的图标如下图 6.3 所示：

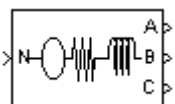
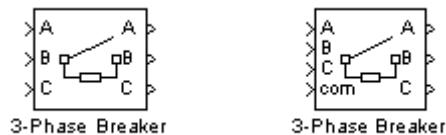


图 6.3 三相电源模块

设置参数为：额定功率 350MW、额定电压 12kv 频率 50Hz。

(2) 三相断路器模块(Three-Phase break)

该模块位于 Simpowersystems 模块库的元件库（Elements）中。其图标如图 6.4 所示：



(a)

(b)

图 6.4 三相断路器模块

设置断路器开关转换时间为 QF1: 0.15~0.26 秒; QF2: 0.22~0.29 秒。

(3) 三相变压器（双绕组）模块(Three-Phase Transformer (Two Windings) block)

双绕组变压器的图标如图 6.5 所示。

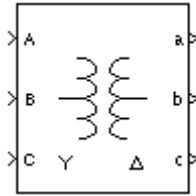


图 6.5 三相变压器（双绕组）模块

设置变比为: 12/220kV。

(4) 简单同步发电机模块 (Simplified Synchronous Machine block)

该模块位于 Simpowersystems 模块库的电机库 (Machines) 中。简单同步发电机模块的图标如图 6.6 所示:

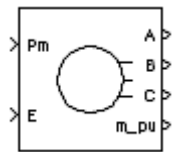


图 6.6 简单同步发电机模块

主要参数设置: 额定功率为 50MW, 额定电压为 220kV、频率 50Hz。

(5) 三相串联 RLC 负载模块 (Three-Phase Series RLC Load block)

该模块位于 Simpowersystems 模块库的元件库 (Elements) 中。其图标如图 6.7 所示。



图 6.7 三相串联 RLC 负载模块

主要参数设置为: 额定 220kV、频率 50Hz, 有功功率为 50MW

(6) 分路器模块 (Demux block)

该模块位于 Simulink 模块库的信号通道库 (Signal Routing) 中。模块图标如图 6.8 所示:



图 6.8 分路器模块

该模块将输入向量信号分解为若干输出连线，输出连线可以传输标量或者向量信号。Simulink 通过输出个数（Number of outputs）参数确定输出信号的数目和各个输出信号的宽度。

该模块既可以工作在向量模式下也可以工作在总线模式下，这通过 Bus selection mode 参数进行设置。向量模式仅接受标量、向量或行或列向量，而总线模式只接受 Mux 或另一个 Demux 模块的输出信号。参数 Number of outputs 可以决定不同工作模式下的输出数目和维数。

注：该模块将信号按其合成的方式分开，在设计中此模块用于将测得的三相电压或电流分为 A、B、C 三相分别输出。

6.4 仿真波形图

母线 1（B1）发生三相短路时的电压波形如图 6.9 所示；电流波形如图 6.10 所示。由图可见，在 0.13 秒时刻发生三相短路时，B1 的电流在故障发生时刻降为 0，QF1 跳闸；而电压无明显波动。

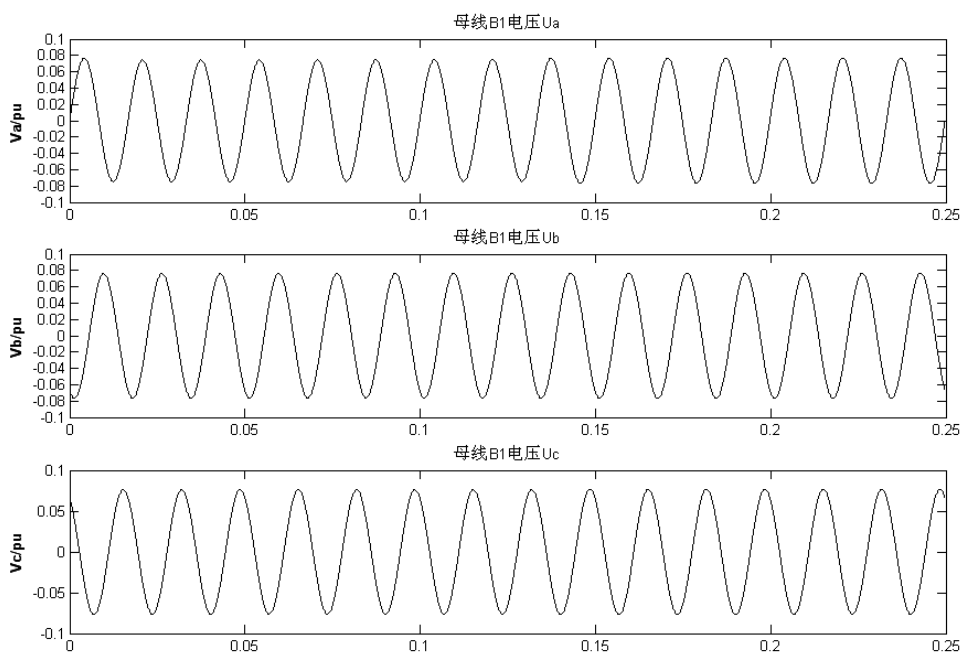


图 6.9 母线 1 三相短路时电压波形图

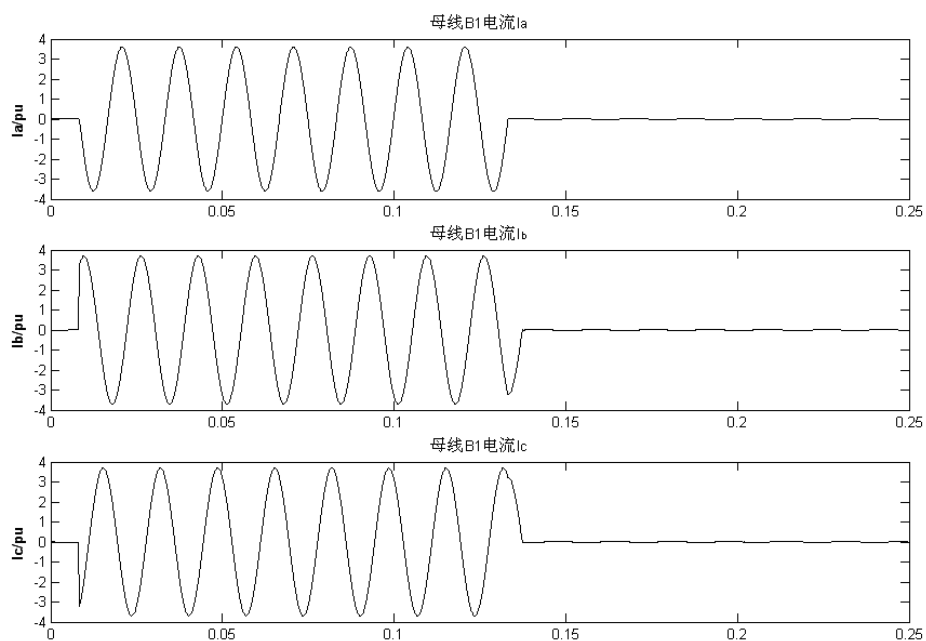


图 6.10 母线 1 三相短路时电流波形图

母线 2 (B2) 发生三相短路时的电压波形如图 6.11 所示；电流波形如图 6.12 所示。由图可见，在发生三相短路时，B2 的电压在切换的过程中发生了短暂的波动，但波动范围并不大；而电流在切换的 QF2 尚未合上时，即切换还未成功的时间段内其值为 0，当 0.22 秒时刻 QF2 合上，即切换成功后，电流回复为正常值。

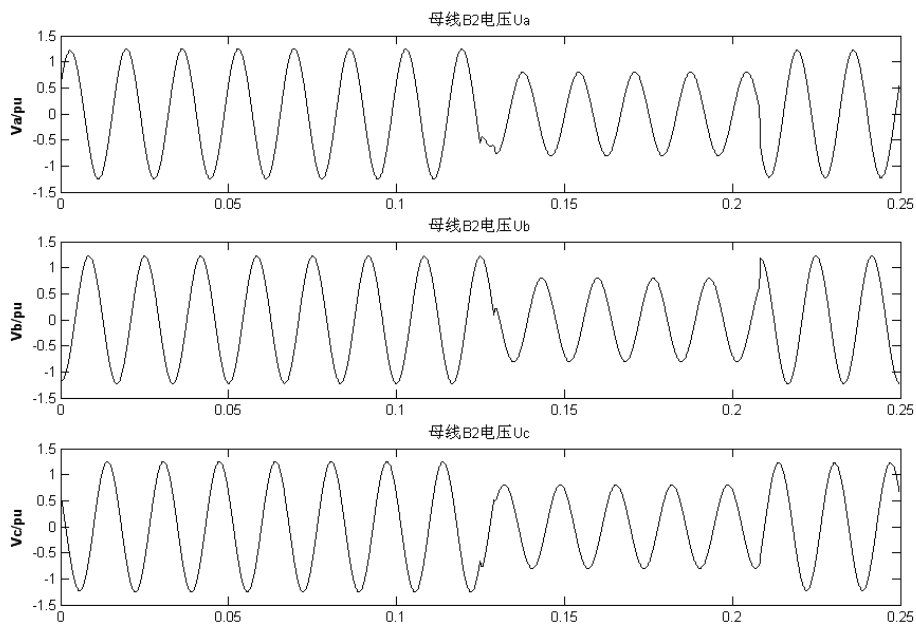


图 6.11 母线 2 三相短路时电压波形图

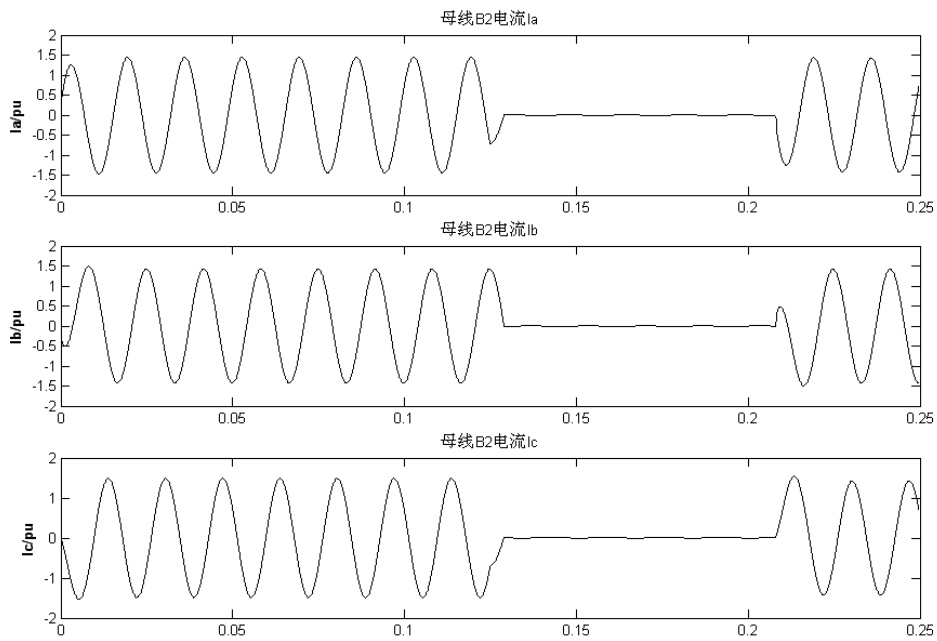


图 6.12 母线 2 三相短路时电流波形图

6.5 仿真结论

通过图 6.9 与图 6.11 的比较，可以发现进行厂用电的过程中电压的波动是比较小的。通过图 6.10 与图 6.12 的比较，可以发现母线电流可以迅速的进行切换。所以，厂用电快切厂用电安全切换最佳方案是快速切换，可以保证在切换过程中对系统的冲击在最小范围，对保证厂用电的安全、可靠是十分有利的。

7 结论

安全自动装置与继电保护装置属二次系统,但是它是电力系统中的一个重要组成部分,它对电力系统安全稳定地运行起着极为重要的作用,特别是在现代的超高压、大容量的电力系统中,对继电保护及安全自动装置提出了更高的要求。本文对实际应用的保护装置,通过整定计算,确定其运行参数(给出定值),以求在配置和整定值上满足大机组对保护选择性、灵敏性和可靠可靠性要求,使继电保护装置正确地发挥作用,保障电气设备的安全,才能有效地维持电力系统的稳定运行。

本次设计作者利用大学四年所学的继电保护原理、故障分析等知识,同时参阅了大量有关自动装置方面的书籍。对发电机组配置以合适的主保护、后备保护、备用电源和备用设备自动投入装置、自动准同期装置、备用电源快速切换装置等。为发电机变压器组配备了 DGT-801A 微机保护装置可最大程度上确保了故障发生时系统和负荷的安全。在安全自动装置方面,配备了 pss660 数字式自动准

同期装置和 WBKQ-01B 微型备用电源快速切换装置等。PSS 660 数字式自动准同期装置极高的可靠性和先进的模块化设计思想, 能够满足各种同期应用场合的要求。南自 WBKQ-01B 微型备用电源快速切换装置则是专门为解决厂用电的安全运行而研制的, 具有很高的厂用电切换成功率。本文对这些数字式保护都做了详细的整定计算, 给出了准确的定值清单。

通过定值清单表, 可以很直观的得出, 发电机反时限对称过负荷、发电机反时限不对称过负荷、变压器零序电流保护、低压起动的过电流保护与短路电流有关, 其他的保护与发电机或者变压器的额定电流或额定电压有关。

厂用电系统的安全可靠性对整个机组乃至整个电厂运行的安全、可靠性有着非常重要的影响, 而厂用电切换则是整个厂用系统的一个重要环节。发电厂的厂用电快速切换涉及到的开关量值较多, 逻辑相对复杂, 对其在实际工程中进行研究比较困难, 而利用 MATLAB 软件就可使仿真变的简单而又直观。

利用 MATLAB 带有的 Simulink 环境中功能强大的电力系统模块 (PSB) 建立厂用电快速切换仿真模型, 然后对快速切换进行仿真, 通过对切换的全过程、切换前和切换后母线的电压的特征的仿真研究, 验证快速切换是最安全、可靠的切换方式, 它是主切换。

谢 辞

本文是在韩笑老师的悉心指导和帮助下完成的。作为本科生, 在知识的掌握及分析问题、处理问题的能力等方面尚有许多欠缺之处, 韩笑老师在许多方面给予我们大量的指导。在此, 谨表示衷心的感谢。

感谢南京工程学院电力工程系的各位老师们的培养、关心和支持。

感谢电力工程学院为我毕业设计提供了良好的环境。

感谢在学习和生活上给予帮助和关怀的各位同学。

二〇〇七年六月五日于南京工程学院

参考文献

- [1] 崔家佩. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京:中国电力出版社, 1993: (1-2)
- [2] 王维俭, 侯炳蕴. 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[M] (Guide of calculating settings of Relay protection for large generator and transformer). 北京:中国电力出版社, 2000: (2-4)
- [3] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用[M]. 北京:中国电力出版社, 1998: (3)
- [4] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社, 1980
- [5] 汪文全 杨立峰 阳城电厂发变组保护配置及分析 (Configuration and Analysis of Yangcheng International Power Generation Company Limited Generator Transformer Protection) [J]. 山西电力 (SHANXI ELECTRIC POWER), 2002, 105: (56-58)
- [6] Calculation of generator neutral grounding transformer and secondary resistor. Hitachi, Ltd. 2001. 2. 17
- [7] 贺继红, 许平, 刘建松, 王敦波. 500 kV 江茂线安全自动装置的配置 (Configuration of security control equipment in 500 kV jiangmao system) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26 (17) 71
- [8] 许正亚 电力系统安全自动装置[M]. 北京:水利水电出版社, 2006 : (1)
- [9] 李经升, 王舜, 韩学义. 厂用电快速切换装置的应用研究 (Application research on the auxiliary power high-speed transfer device) [J]. 继电器 (RELAY), 2002, 7 (30) : 37
- [10] 刘军, 刘学军 MATLAB在电力系统分析中的应用 (THE APPLICATIONS OF MATLAB IN POWER SYSTEM ANALYSIS) [J] 电力系统及其自动化学报 (proceedings of the EPSA) 2000, 12 (2) : (23, 24)

附录 1：短路电流计算书

A2.1 600MW 发电机组一次接线及系统运行方式说明

A2.1.1 600MW 发电机组一次接线

某发电厂的接线如图 A2.1 所示，该发电厂有两台型号为 QFSN-600-ZYH 的 600MW 发电机通过两台功率为 800MW 的 SSPL-800000/500 主变压器升压至 500KV，由三条型号分别为 LGJ-400/50、LGJ-500/45、LGJ-630/55 的输电线与三个系统相连。

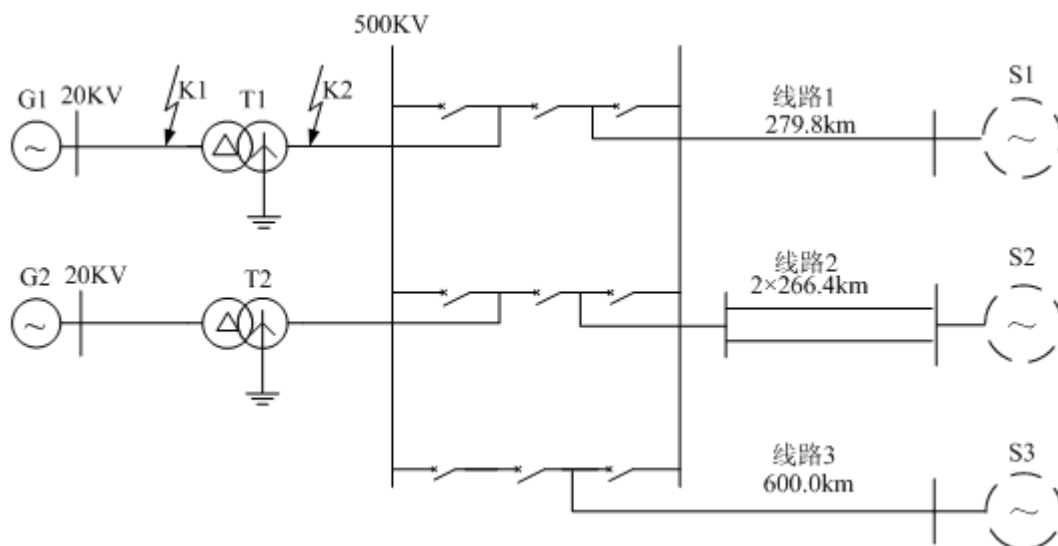


图 A2.1 某 600MW 发电机组一次接线示意图

各元件主要参数如下：

表 A2.1 600 MW 发电机主要参数

X''_d	功率/MW	功率因数	额定定子电压/kV
20%	600	0.9	20

表 A2.2 主变压器主要参数

短路电压百分值	容量/MVA	变比	连接组别
10%	800	$525 \pm 2 \times 2.5\% / 20$	YN, d11

表 A2.3 输电线路主要参数

	导线型号	线路长度	线路形式	$x_1 / \Omega / km$	X_1 / Ω
线路 1	LGJ-400/50	279.8	单回线	0.276	77.2
线路 2	LGJ-500/45	266.4	双回线	0.275	36.6
线路 3	LGJ-630/55	600	单回线	0.273	163.8

3.1.2 系统运行方式

系统 1 最大运行方式下短路功率为 5000MVA，最小运行方式下短路功率为 4000MVA。

系统 2 最大运行方式下短路功率为 4000MVA，最小运行方式下短路功率为 3000MVA。

系统 3 最大运行方式下短路功率为 2500MVA，最小运行方式下短路功率为 2000MVA。

A2.2 短路电流和短路阻抗的计算

A2.2.1 有关短路点及短路形式的选择

所示选择变压器两侧，线路 1、线路 2、线路 3 的末端为短路点，分别计算三相短路、两相短路及接地短路故障时短路点的电气量及保护安装处的与继电保护整定有关电气量。

A2.2.2 各元件参数标么值的计算

一、正序阻抗

$$S_B = 1000 \text{MVA}, U_B = U_{av} = 500 \text{KV}, I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 500} = 1155 \text{A}$$

1. 发电机

$$P_{GN} = 600 \text{MW} \quad S_{GN} = \frac{P_{GN}}{\cos \varphi} = \frac{600}{0.9} = 667 \text{ MW}$$

$$X_{IG1}^* = X_{IG2}^* = X_d'' \frac{S_B}{S_{GN}} = 0.2 \times \frac{1000}{667} = 0.300$$

2. 变压器

$$X_{IT1}^* = X_{IT2}^* = \frac{U_K \% S_B}{100 S_{TN}} = \frac{10 \times 1000}{100 \times 800} = 0.125$$

3. 线路

$$X_{1L1}^* = X_{L1} \frac{S_B}{U_B^2} = 77.2 \times \frac{1000}{500^2} = 0.309$$

$$X_{1L2}^* = X_{L2} \frac{S_B}{U_B^2} = 36.6 \times \frac{1000}{500^2} = 0.146$$

$$X_{1L3}^* = X_{L3} \frac{S_B}{U_B^2} = 163.8 \times \frac{1000}{500^2} = 0.655$$

4. 系统

$$S_{1\max} = 5000\text{MVA} \quad S_{1\min} = 4000\text{MVA}$$

$$S_{2\max} = 4000\text{MVA} \quad S_{2\min} = 3000\text{MVA}$$

$$S_{3\max} = 2500\text{MVA} \quad S_{3\min} = 2000\text{MVA}$$

$$\text{则 } X_{1S1\max}^* = \frac{S_B}{S_{1\max}} = \frac{1000}{5000} = 0.2 \quad X_{1S1\min}^* = \frac{S_B}{S_{1\min}} = \frac{1000}{4000} = 0.25$$

$$X_{1S2\max}^* = \frac{S_B}{S_{2\max}} = \frac{1000}{4000} = 0.25 \quad X_{1S2\min}^* = \frac{S_B}{S_{2\min}} = \frac{1000}{3000} = 0.33$$

$$X_{1S3\max}^* = \frac{S_B}{S_{3\max}} = \frac{1000}{2500} = 0.4 \quad X_{1S3\min}^* = \frac{S_B}{S_{3\min}} = \frac{1000}{2000} = 0.5$$

表 A2.3 正序电抗值计算结果表

名称	符号	电抗编号	基础参数	标么值
发电机 1	G1	X_{1G1}	$P_{GN} = 600\text{MW}$ $\cos\varphi = 0.9, X_d'' = 0.2$	$X_{1G1}^* = 0.300$
发电机 2	G2	X_{1G2}	$P_{GN} = 600\text{MW}$ $\cos\varphi = 0.9, X_d'' = 0.2$	$X_{1G2}^* = 0.300$
变压器 1	T1	X_{1T1}	$S_{TN} = 800\text{MW}$ $U_K = 10\%$	$X_{1T1}^* = 0.125$
变压器 2	T2	X_{1T2}	$S_{TN} = 800\text{MW}$ $U_K = 10\%$	$X_{1T2}^* = 0.125$
线路 1	L1	X_{1L1}	279.8km, 0.276 欧/	$X_{1L1}^* = 0.309$

			公里，单回线。	
线路 2	L2	X_{1L2}	266.4km, 0.275 欧/公里，双回线。	$X_{1L2}^* = 0.146$
线路 3	L3	X_{1L3}	600km, 0.273 欧/公里，单回线	$X_{1L3}^* = 0.655$
系统 1	S1	X_{1S1}	$S_{1\max} = 5000MVA$ $S_{1\min} = 4000MVA$	$X_{1S1\min}^* = 0.2$ $X_{1S1\max}^* = 0.25$
系统 2	S2	X_{1S2}	$S_{2\max} = 4000MVA$ $S_{2\min} = 3000MVA$	$X_{1S2\min}^* = 0.25$ $X_{1S2\max}^* = 0.33$
系统 3	S3	X_{1S3}	$S_{3\max} = 2500MVA$ $S_{3\min} = 2000MVA$	$X_{1S3\min}^* = 0.4$ $X_{1S3\max}^* = 0.5$

二、零序阻抗

发电机、变压器的正序阻抗和零序阻抗一样，线路的零序阻抗是正序阻抗的 3 倍。系统的零序阻抗是正序阻抗的 2.5 倍。

$$X_{0L1}^* = 3X_{1L1}^* = 3 \times 0.309 = 0.927$$

$$X_{0L2}^* = 3X_{1L2}^* = 3 \times 0.146 = 0.438$$

$$X_{0L3}^* = 3X_{1L3}^* = 3 \times 0.655 = 1.965$$

$$X_{0S1\max}^* = 2.5X_{1S1\max}^* = 2.5 \times 0.2 = 0.5$$

$$X_{0S1\min}^* = 2.5X_{1S1\min}^* = 2.5 \times 0.25 = 0.625$$

$$X_{0S2\max}^* = 2.5X_{1S2\max}^* = 2.5 \times 0.25 = 0.625$$

$$X_{0S2\min}^* = 2.5X_{1S2\min}^* = 2.5 \times 0.33 = 0.825$$

$$X_{0S3\max}^* = 2.5X_{1S3\max}^* = 2.5 \times 0.4 = 1.0$$

$$X_{0S3\min}^* = 2.5X_{1S3\min}^* = 2.5 \times 0.5 = 1.25$$

表 A2.4 零序电抗值计算结果表

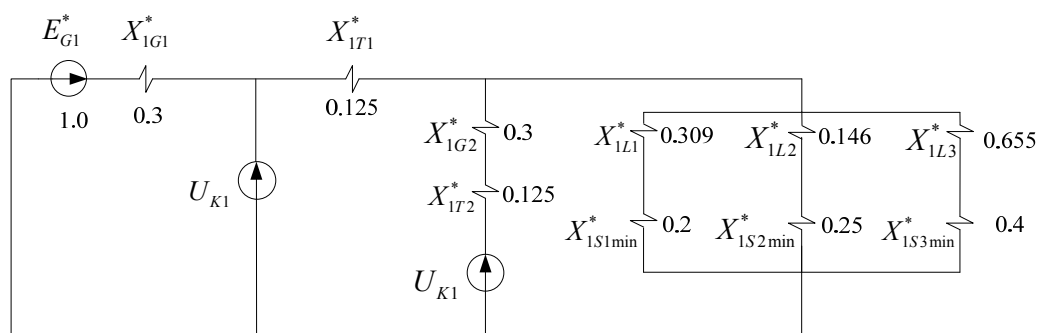
名称	符号	电抗编号	基础参数	标么值
发电机 1	G1	X_{0G1}	$P_{GN} = 600MW$ $\cos\varphi = 0.9, X_d'' = 0.2$	$X_{0G1}^* = 0.300$
发电机 2	G2	X_{0G2}	$P_{GN} = 600MW$ $\cos\varphi = 0.9, X_d'' = 0.2$	$X_{0G2}^* = 0.300$
变压器 1	T1	X_{0T1}	$S_{TN} = 800MW$	$X_{0T1}^* = 0.125$

			$U_K = 10\%$	
变压器 2	T2	X_{0T2}	$S_{TN} = 800MW$ $U_K = 10\%$	$X_{0T2}^* = 0.125$
线路 1	L1	X_{0L1}	279.8km, 0.828 欧/公里, 单回线。	$X_{0L1}^* = 0.927$
线路 2	L2	X_{0L2}	266.4km, 0.825 欧/公里, 双回线。	$X_{0L2}^* = 0.438$
线路 3	L3	X_{0L3}	400km, 0.819 欧/公里, 单回线	$X_{0L3}^* = 1.965$
系统 1	S1	X_{0S1}	$S_{1max} = 5000MVA$ $S_{1min} = 4000MVA$	$X_{0S1.min}^* = 0.5$ $X_{0S1.max}^* = 0.625$
系统 2	S2	X_{0S2}	$S_{2max} = 4000MVA$ $S_{2min} = 3000MVA$	$X_{0S2.min}^* = 0.625$ $X_{0S2.max}^* = 0.825$
系统 3	S3	X_{0S3}	$S_{3max} = 2500MVA$ $S_{3min} = 2000MVA$	$X_{0S3.min}^* = 1.0$ $X_{0S3.max}^* = 1.25$

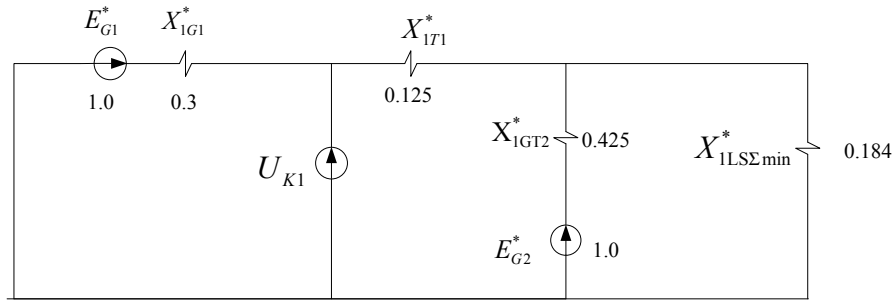
A2.2.3 k1 点故障时各序阻抗的简化

1. 正序

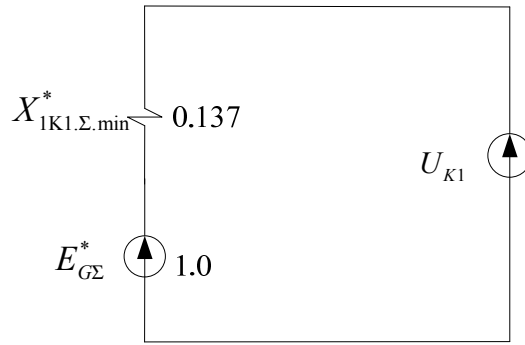
(1) 系统最大运行方式下



(a)



(b)



(c)

图 A2.2 (a) K1 点短路正序阻抗电路

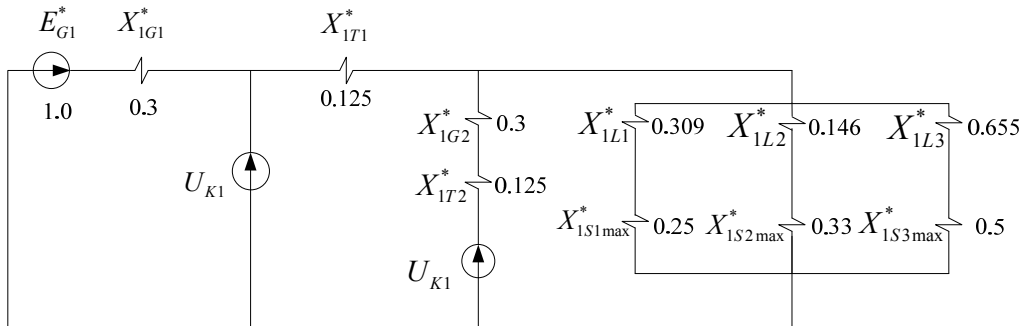
(b) K1 点短路正序阻抗等效电路, (c) K1 点短路正序阻抗等效电路

$$X_{IL\Sigma min}^* = (X_{IL1}^* + X_{IS1min}^*) // (X_{IL2}^* + X_{IS2min}^*) // (X_{IL3}^* + X_{IS3min}^*) \\ = (0.309 + 0.2) // (0.146 + 0.25) // (0.655 + 0.4) = 0.184$$

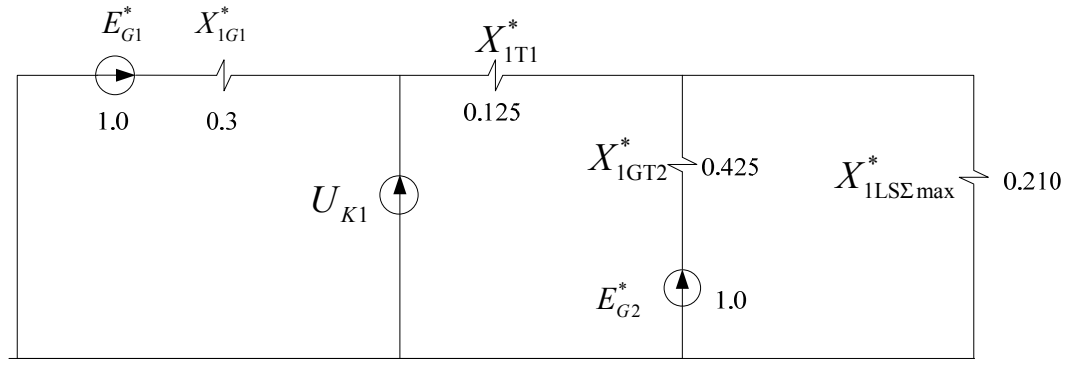
$$X_{IGT2}^* = X_{IG2}^* + X_{IT2}^* = 0.3 + 0.125 = 0.425$$

$$X_{1K1.\Sigma.min}^* = (X_{IL\Sigma min}^* // X_{IGT2}^* + X_{IT1}^*) // X_{IG1}^* \\ = (0.184 // 0.425 + 0.125) // 0.3 = 0.137$$

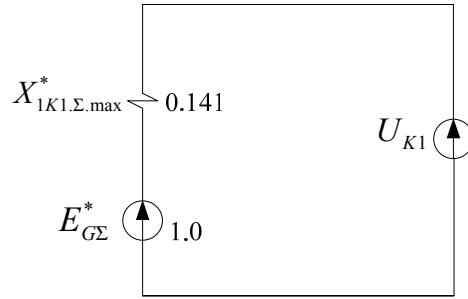
(2) 系统最小运行方式下



(a)



(b)



(c)

图 A2.3 (a) K1 点短路正序阻抗

(b) K1 点短路正序等效阻抗, (c) K1 点短路正序等效阻抗

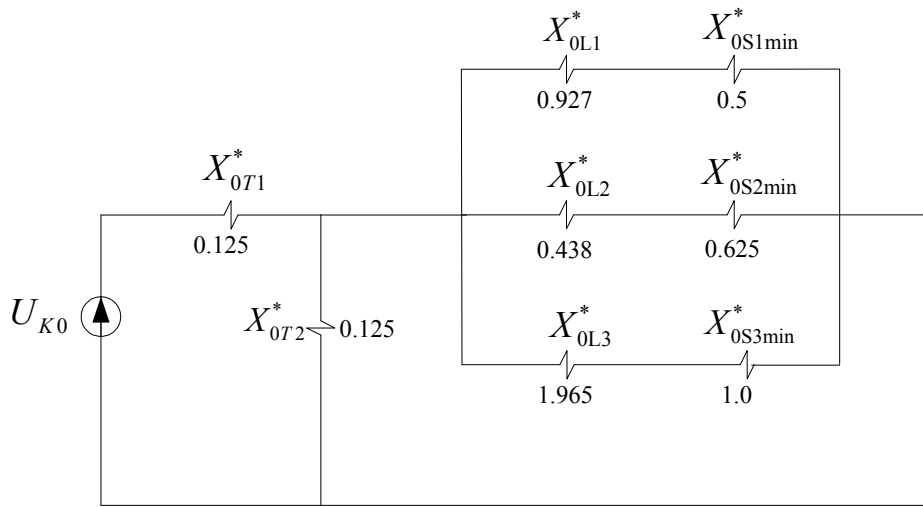
$$X_{1LS\Sigma\max}^* = (X_{1L1}^* + X_{1S1\max}^*) // (X_{1L2}^* + X_{1S2\max}^*) // (X_{1L3}^* + X_{1S3\max}^*) \\ = (0.309 + 0.25) // (0.146 + 0.33) // (0.655 + 0.5) = 0.210$$

$$X_{1GT2}^* = X_{1G2}^* + X_{1T2}^* = 0.3 + 0.125 = 0.425$$

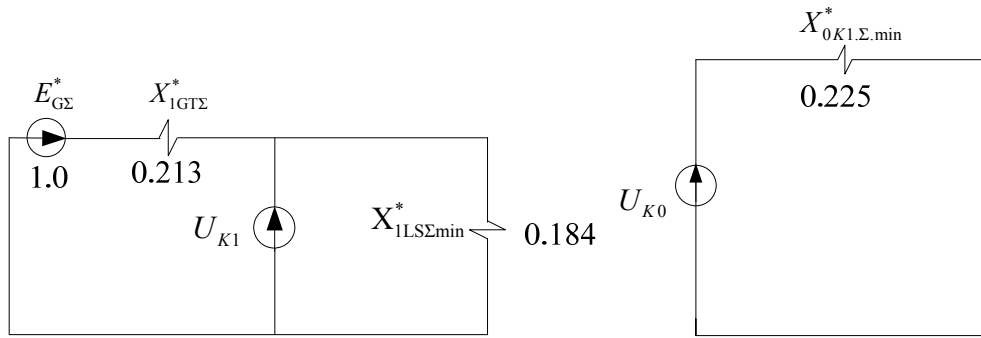
$$X_{1K1.\Sigma.\max}^* = (X_{1LS\Sigma.\max}^* // X_{1GT2}^* + X_{1T1}^*) // X_{1G1}^* \\ = (0.210 // 0.425 + 0.125) // 0.3 = 0.141$$

2. 零序

(1) 系统最大运行方式下



(a)



(b)

(c)

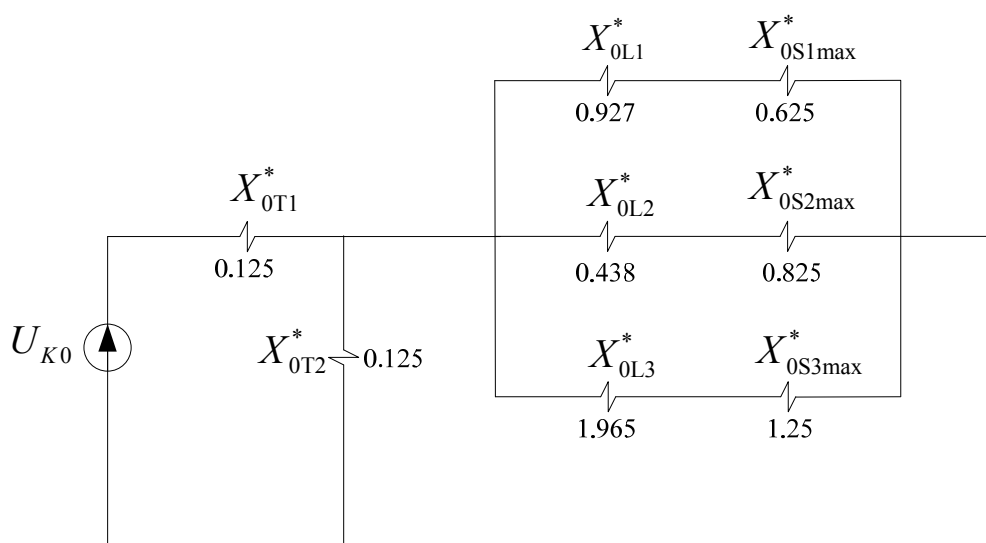
图 A2.4 (a) K1 点短路零序阻抗

(b) K1 点短路零序等效阻抗, (c) K1 点短路零序等效阻抗

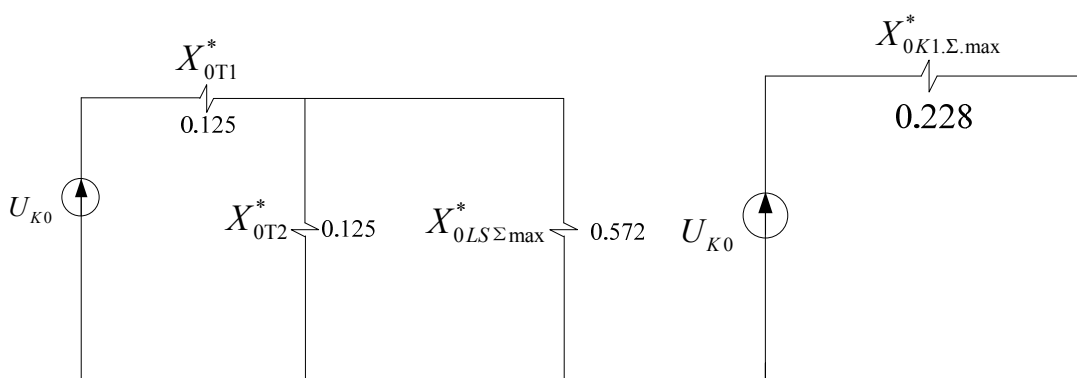
$$X_{0LS\Sigma min}^* = (X_{0L1}^* + X_{0S1min}^*) // (X_{0L2}^* + X_{0S2min}^*) // (X_{0L3}^* + X_{0S3min}^*) \\ = (0.309 + 0.5) // (0.146 + 0.625) // (0.655 + 1.0) = 0.505$$

$$X_{0K1.\Sigma.min}^* = X_{0LS\Sigma min}^* // X_{0T2}^* + X_{0T1}^* \\ = 0.505 // 0.125 + 0.125 = 0.225$$

(2) 系统最小运行方式下



(a)



(b)

(c)

图 A2.5 (a) K1 点短路零序阻抗

(b) K1 点短路零序等效阻抗, (c) K1 点短路零序等效阻抗

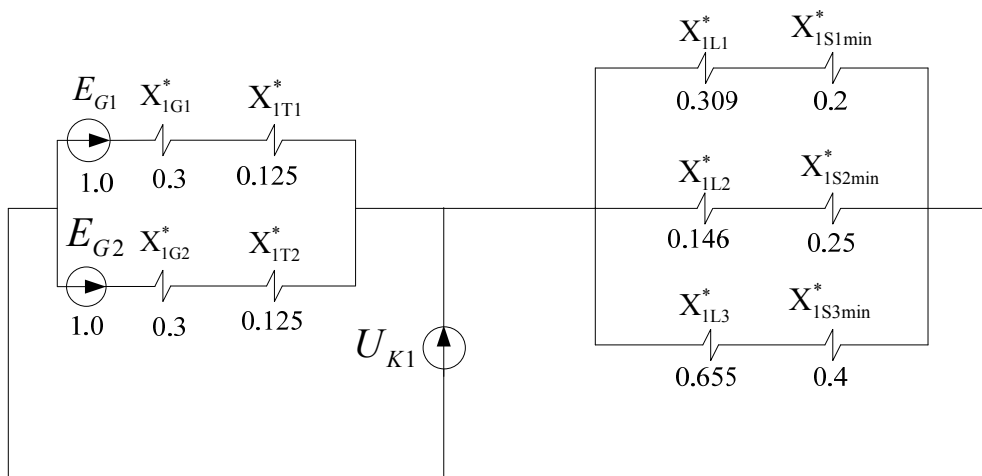
$$X_{0LS\Sigma max}^* = (X_{0L1}^* + X_{0S1max}^*) // (X_{0L2}^* + X_{0S2max}^*) // (X_{0L3}^* + X_{0S3max}^*) \\ = (0.309 + 0.625) // (0.146 + 0.825) // (0.655 + 1.25) = 0.572$$

$$X_{0K1.\Sigma.max}^* = X_{0LS\Sigma max}^* // X_{0T2}^* + X_{0T1}^* \\ = 0.572 // 0.125 + 0.125 = 0.228$$

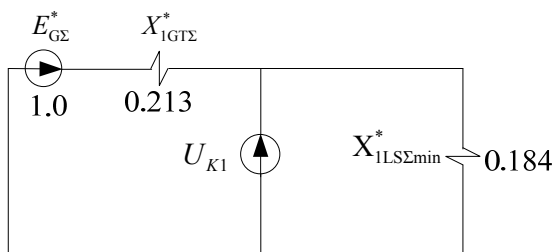
A2.2.4 K2 点故障时各序阻抗的简化

1. 正序

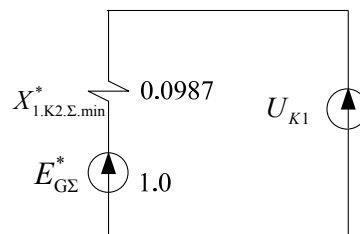
(1) 系统最大运行方式下



(a)



(b)



(c)

图 A2.6 (a) K2 点短路正序阻抗电路

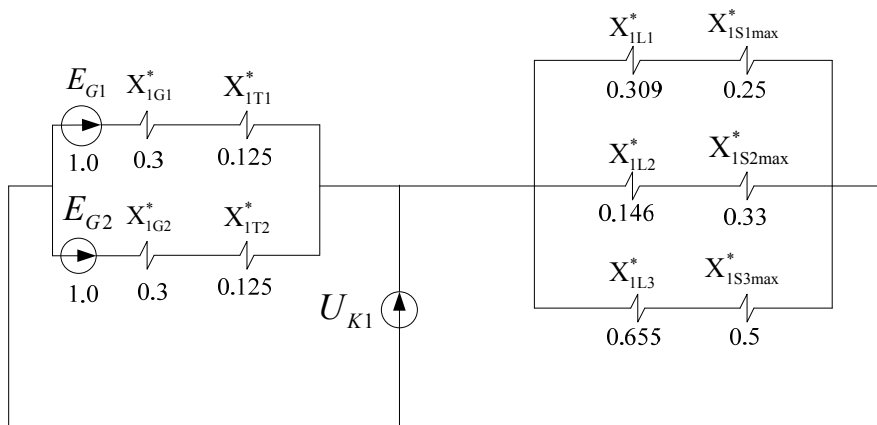
(b) K2 点短路正序阻抗等效电路, (c) K2 点短路正序阻抗等效电路

$$X_{1GT\Sigma}^* = (X_{1G1}^* + X_{1T1}^*) // (X_{1G2}^* + X_{1T2}^*) = (0.3 + 0.125) // (0.3 + 0.125) = 0.213$$

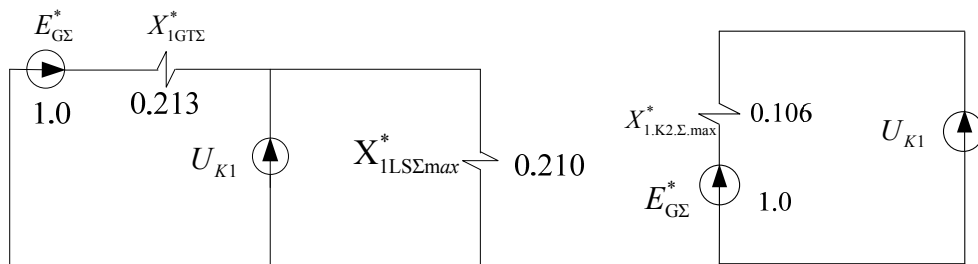
$$X_{1LS\Sigma min}^* = (X_{1L1}^* + X_{1S1min}^*) // (X_{1L2}^* + X_{1S2min}^*) // (X_{1L3}^* + X_{1S3min}^*) \\ = (0.309 + 0.2) // (0.146 + 0.25) // (0.655 + 0.4) = 0.184$$

$$X_{1.K2\Sigma.min}^* = X_{1GT\Sigma}^* // X_{1LS\Sigma min}^* = 0.213 // 0.184 = 0.0987$$

(2) 系统最小运行方式下



(a)



(b)

(c)

图 A2.7 (a) K2 点短路正序阻抗电路

(b) K2 点短路正序阻抗等效电路, (c) K2 点短路正序阻抗等效电路

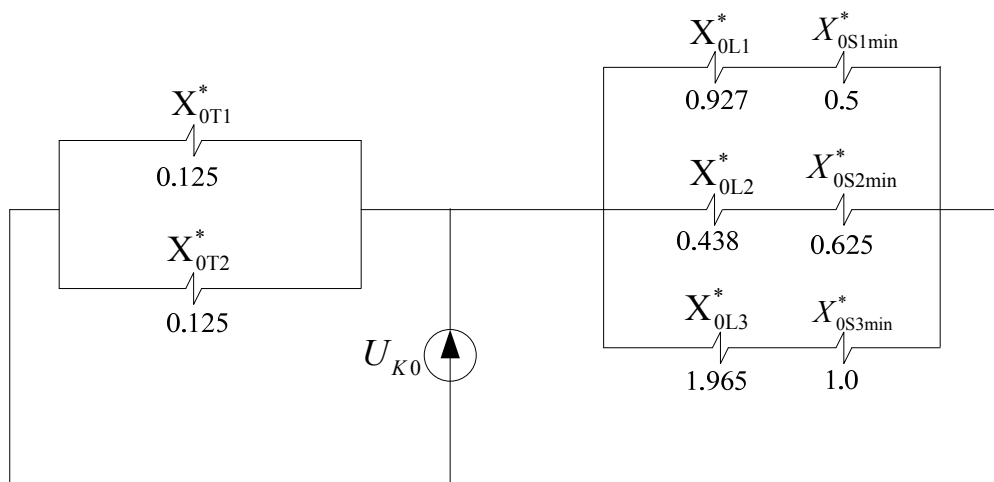
$$X_{1GT\Sigma}^* = (X_{1G1}^* + X_{1T1}^*) // (X_{1G2}^* + X_{1T2}^*) = (0.3 + 0.125) // (0.3 + 0.125) = 0.213$$

$$X_{1LS\Sigma,max}^* = (X_{1L1}^* + X_{1S1,max}^*) // (X_{1L2}^* + X_{1S2,max}^*) // (X_{1L3}^* + X_{1S3,max}^*) \\ = (0.309 + 0.25) // (0.146 + 0.33) // (0.655 + 0.5) = 0.210$$

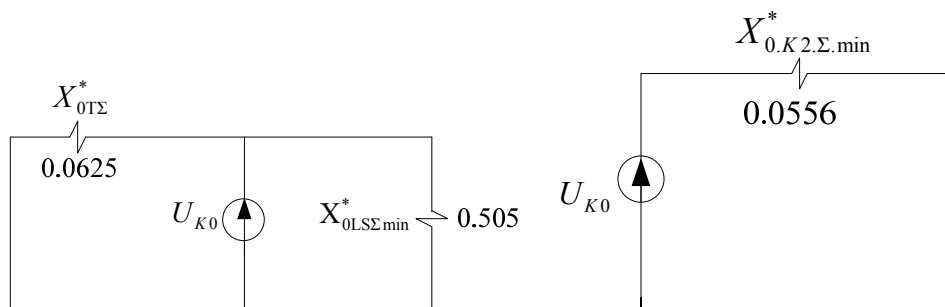
$$X_{1,K2\Sigma,max}^* = X_{1GT\Sigma}^* // X_{1LS\Sigma,max}^* = 0.213 // 0.210 = 0.106$$

2. 零序

(1) 系统最大运行方式下



(a)



(b)

(c)

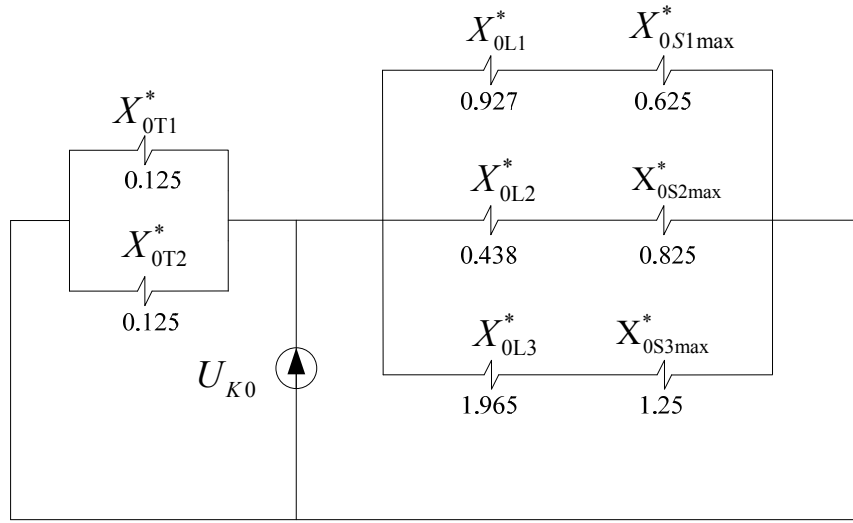
图 A2.8 (a) K2 点短路零序阻抗电路

(b) K2 点短路零序阻抗等效电路, (c) K2 点短路零序阻抗等效电路

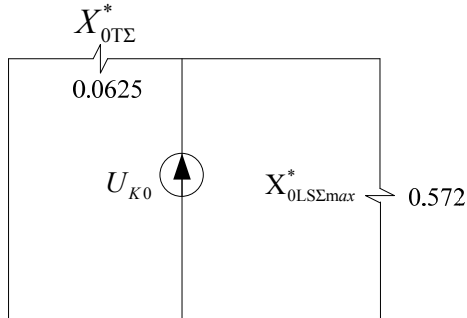
$$X_{0LS\Sigma\min}^* = (X_{0L1}^* + X_{0S1\min}^*) // (X_{0L2}^* + X_{0S2\min}^*) // (X_{0L3}^* + X_{0S3\min}^*) \\ = (0.309 + 0.5) // (0.146 + 0.625) // (0.655 + 1.0) = 0.505$$

$$X_{0K2,\Sigma,\min}^* = X_{0LS\Sigma\min}^* // X_{0T\Sigma}^* = 0.505 // 0.0625 = 0.0556$$

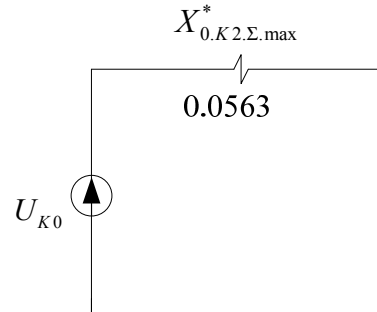
(2) 系统最小运行方式下



(a)



(b)



(c)

图 A2.9 (a) K2 点短路零序阻抗电路

(b) K2 点短路零序阻抗等效电路, (c) K2 点短路零序阻抗等效电路

$$X_{0LS\Sigma\max}^* = (X_{0L1}^* + X_{0S1\max}^*) // (X_{0L2}^* + X_{0S2\max}^*) // (X_{0L3}^* + X_{0S3\max}^*) \\ = (0.309 + 0.625) // (0.146 + 0.825) // (0.655 + 1.25) = 0.572$$

$$X_{0T\Sigma}^* = X_{0T1}^* // X_{0T2}^* = 0.125 // 0.125 = 0.0625$$

$$X_{0K2,\Sigma,\max}^* = X_{0LS\Sigma\max}^* // X_{0T\Sigma}^* = 0.572 // 0.0625 = 0.0563$$