

大型发电机组继电保护 整定计算与运行技术

高春如 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

大型发电机组继电保护 整定计算与运行技术

高春如 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书总结 30 年来大型发电机变压器组继电保护整定计算和运行经验,对各种不同的微机保护以动作判据为起点,然后结合运行经验叙述保护整定计算方法及应注意的问题。全书着重叙述和讨论大型发电机、变压器、发电机变压器组微机保护和高低压厂用系统中高低压电动机、高低压厂用变压器、高低压厂用馈线常用的各种不同类型微机综合保护以及发电厂电气自动装置的整定计算方法,并介绍发电厂继电保护整定计算以外的其他运行技术问题。本书主要针对大型发电机组、高低压电动机及高低压厂用变压器的整定计算,同时亦适用于中小型发电机组继电保护及电气自动装置的整定计算和大中型工矿企业用电设备继电保护的整定计算。

本书可作为电力部门(工矿企业用电部门)设计、运行、制造、科研单位继电保护专业的工程技术人员、发电厂电气运行专业技术人员以及大专院校高年级学生和教师参考或进修培训资料,同时也适用于作为广大电气专业的工程技术人员在较短时间内了解和掌握继电保护整定计算的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大型发电机组继电保护整定计算与运行技术/高春如编著. —北京:中国电力出版社, 2005.11

ISBN 7-5083-3548-1

I. 大... II. 高... III. ①发电机-机组-继电保护-计算
②发电机-机组-继电保护-运行 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 092206 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 29.5 印张 671 千字
印数 0001—3000 册 定价 50.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序一

继电保护作为保障电网安全稳定运行的第一道防线，担负着保卫电网和设备安全的重要职责。多年来在一大批继电保护专业技术人员的不懈努力下，我国的继电保护专业技术水平取得了长足的进步和发展，同时产生了许多富有理论、实践经验的专家和技术人员，本书作者即为其中一位。正是通过他们卓有成效的工作，使我国继电保护的装备水平和运行管理水平不断提高和完善，为保障电网安全稳定运行做出了贡献。

众所周知，继电保护任何不正确的动作（拒动和误动）都将造成或扩大事故，有时甚至会加重电气主设备损坏程度或造成大面积停电和电力系统瓦解的重大事故，国内外电力系统中发生的大面积停电事故大多和继电保护的不正确动作有关。随着电力系统的快速发展和全国联网的逐步形成，大型发电机组在电力系统中的作用愈来愈重要，其继电保护装置的设置、应用水平亦不断提高，同时对大型发电机组继电保护的要求也越来越高，大型发电机组继电保护正确、合理的整定计算是提高其应用水平和保证其正确动作的关键和重要环节。

本书作者长期以来在多家发电厂从事大型发电机组继电保护整定计算和继电保护现场调试、检验等技术管理的一线工作，积累了大量宝贵的经验、教训。作者以其丰富的实践经验和充实的专业理论，全面系统地介绍了大型发电机变压器继电保护和自动装置的整定计算问题，并广泛讨论发电厂厂用系统的继电保护整定计算等技术问题及整定计算时易出错应注意的问题，列举应用实例，便于读者在使用过程中参考，实用性很强，同时总结和介绍了发电厂继电保护其他多方面的运行技术经验。

《大型发电机组继电保护整定计算与运行技术》一书反映我国发电厂继电保护运行实际，内容翔实，不失为一本既适用于提高继电保护专业人员整定计算的技术水平，同时又适用于广大电气技术人员在较短时间内了解和掌握、普及发电机组继电保护整定计算知识和其他运行技术的专业参考书。

在此谨向以高度的事业责任感和严谨的工作作风完成此书的作者致敬。希望继电保护专业人员继续发扬吃苦钻研、认真负责、爱岗敬业精神，不断完善继电保护技术管理和运行管理工作，以提高整个电网的安全稳定运行水平。

王玉玲

2005年7月12日

序二

作为电网安全生产体系中的重要环节，继电保护在电力安全生产中起着重要的作用，继电保护快速性、灵敏性、选择性、可靠性的体现在很大程度上取决于保护装置本身的可靠性及保护整定值设置的合理性。作为电力系统生产发电、输电、配电、供电四个环节中的重要组成部分，发电机因其结构上的复杂性和价格上的昂贵性，使得发电机相关保护的配置一直比较复杂，保护的配置方案也往往因现场的主接线方式的不同而有所差异。因此，发电机结构上的特征带来的对设备故障判定的难度，以及发电厂所涉及电气设备、接线的复杂性，一直以来使发电厂保护的整定计算呈现为一种比较困难的状况。

为有效地指导现场对发电机保护的应用，国调中心牵头组织编写了《大型发电机、变压器保护整定计算导则》，为规范发电机保护的整定计算提供了依据。但发电机保护整定值的设定除依据保护动作原理等因素外，在很大程度上需要结合设备现场安装的实际情况，才能获取比较合理的整定值设置，使发电机所配置的保护除满足发电机本身的运行要求外，还可以比较好地与电网的保护取得合适的配合，确保设备的安全性和系统的可靠性。

作者长期以来从事发电厂生产一线继电保护现场工作，积累了丰富的整定计算和现场调试检验经验，在本书的编写过程中充分结合了运行中出现的问题，阐述整定计算的要点和注意事项，采用简单的经验公式和改进计算方法避开了复杂理论的数学公式推导。该书根据各种不同类型、不同判据微机发变组继电保护的应用特点，较全面地介绍了目前常用的高低电压厂用电动机、高低电压厂用变压器、高低电压厂用馈线等多种类型综合保护的整定计算，对于大型发电机组及中、小型发电机组继电保护的整定计算与运行具有较高的实用参考价值。

发电机保护整定必须掌握内容较为复杂的继电保护工作原理，本书的编写充分注意理论联系实际，根据保护动作判据提出的整定计算方法和过程，确定动作判据中的有关参数，辅之以严格的计算过程确定保护装置的整定值，有助于更多的继电保护专业人员和电气运行技术人员在较短时间内有效地掌握发电厂继电保护整定计算相关知识。

高翔

2005年7月15日

前 言

本人从事（前期从事中小型发电厂后 30 年从事大型发电厂）发电厂继电保护整定计算和现场继电保护调试、检验工作近 50 年，本书是在众多继电保护老前辈和同仁们的教导帮助支持下编写整理而成。

本书大纲经清华大学王维俭教授、华东电网公司调度通信中心陈建民副总工程师、东南大学陆于平教授审核并提出很多宝贵意见。望亭发电厂韩秀芳、毛潮海、杨纬、沈俭、吴政华，华能石洞口第二发电厂张立人，华能石洞口第一发电厂李大伟，华能太仓发电厂周耀忠、周肖平、王玲，南瑞继保公司沈全荣，东南大学陆于平，黄岛发电厂贺秀兰，江苏电网公司调度通信中心屈蕴华、浦南楨，华东电网公司调度通信中心林敏仁，常熟供电局沈文怀，青岛电业局于立涛，新安江水力发电厂陈学珍，无锡惠联热电厂任文兴，无锡友联热电厂赵旭东，无锡双河尖热电厂顾晓明、丁峰，无锡协联热电厂刘俊良、杨健军、曹大真等同仁均对本书提出诸多宝贵意见。全书插图由华能太仓发电厂许伟铭、姚晓峰、彭慧韬、张玖利、姜有志等同志画制，无锡供电局高旭平协助画制部分插图及全书实例的复算工作，由胡琛老师进行全书文字修饰工作，全书由清华大学王维俭教授审稿并提出很多深刻的宝贵意见后帮助定稿，在成书过程中自始至终得到华能太仓发电厂童旭生总经理、廖成虎总工程师及叶志刚、许世诚，望亭发电厂孙孜平厂长、吕国强副厂长、何玉书副厂长，无锡地方电力公司毛伟坤总经理、朱凯达副总经理，无锡双河尖热电厂徐振华厂长，无锡协联热电厂朱朝煌总经理等领导的大力支持和帮助，在此一并致以衷心的感谢！

谨以此书献给生我养我的祖国和家乡父老乡亲们！

谨以此书献给辛勤耕耘的同仁朋友们！

谨以此书献给在我最艰难贫困时支持和帮助我完成一生最关键时刻学业的恩师胡琛老师和我的叔父高振生先生！

谨以此书献给病魔缠身而始终支持我笔耕的妻子！

本书共分五章，第一章短路电流计算，重点叙述经 YNd11 变压器短路时变压器两侧电流电压的计算方法。第二章大型发电机变压器组继电保护整定计算，重点叙述发电机变压器组不同类型微机保护的判据、整定计算方法和应注意的问题。第三章厂用系统继电保护整定计算，重点叙述高低压厂用系统中高低压电动机、高低压厂用变压器、高低压厂用馈线常用的各种不同类型微机综合保护判据、整定计算方法及应注意的问题。第四章发电厂电气自动装置的整定计算，重点叙述发电机微机型自动励磁调节装置、自动准同步装置、厂用电快速切换装置的判据、整定计算方法及应注意的问题。第五章发电厂继电保护运行技术，叙述整定计算以外的运行技术问题。本书主要针对大型发电机组同

时亦适用于中小型发电机组继电保护及电气自动装置的整定计算，高低压电动机及高低压厂用变压器的整定计算同时适用于大中型工矿企业用电设备继电保护的整定计算。

本书始稿于望亭发电厂，终稿于华能太仓发电厂。

由于作者水平有限，书中错误难免，敬请各位读者及同仁不吝指正。

作 者

2005年2月华能太仓发电厂

符号说明

一、设备文字符号

名称	符号	名称	符号
自动励磁调节器	AVR	电压继电器	KV
放电间隙	FG	断路器	QF
熔断器	FU	隔离开关	QS
发电机	G	接地开关	QSE
变压器	T	母线	W
电动机	M	电流互感器	TA
励磁机	GE	辅助电流互感器	TAA
继电器	K	电压互感器	TV
电流继电器	KA	中性点接地变压器	TN

二、主要物理量文字符号

名称	符号	名称	符号
视在功率	S	阻抗	Z
有功功率	P	电阻	R
无功功率	Q	电抗	X
电压有效值	U	系数	K
电动势有效值	E	变比	n
电流有效值	I	匝数	W
电压瞬时值	u	功角	δ
电流瞬时值	i	角差	θ
频率	f	功率因数角	ϕ
时间	T, t	角速度	ω
滑差	s		

三、主要角标符号

名 称	符 号	名 称	符 号
零、正、负序	0、1、2	励磁涌流	ee
三相（高压侧）	A、B、C	断 开	off
三相（低压侧）	a、b、c	接 通	in
非周期	ap	起 动	st
同 型	cc	自启动	ast
发电机（一、二次）	G、g	残 余	rem
电动机（一、二次）	M、m	分 流	di
变压器（一、二次）	T、t	计 算	c (cal)
系统（一、二次）	S、s	联 系	con
短路（一、二次）	K、k	有 功	a
额定（一、二次）	N、n	无 功	r
动作（一、二次）	OP、op	有 效	rms
高压侧（一、二次）	H、h	误 差	er
中压侧（一、二次）	M、m	内 部	I (in)
低压侧（一、二次）	L、l	外 部	O (ou)
周 期	per	保 护	p
返 回	re	中性点	N、n
可 靠	rel	始 端	i
制 动	res	终 端	f
饱 和	sa	相	p、ph
整 定	set	信 号	s
灵 敏	sen	线 路	L
等 效	eq	直 轴	d
不平衡	unb	交 轴	q
平 衡	bal	励 磁	fd
允 许	al	励磁机励磁	fde
正 向	po	静稳极限	sl
反 向	ne	动稳极限	dl
差 动	d	上 限	up
速 断	qu	下 限	dow
导前（超前）	ah	切断、遮断	brk
闭 锁	atr	最 大	max
强行励磁	fo	最 小	min
发 热	he	基 准	bs
散 热	eh	极 限	lim
过 程	unl	总 和	Σ
分 支	bra	平 均	av
反 馈	fb	振 荡	osc
转 移	tr		

序一	
序二	
前言	
符号说明	

第一章 短路电流计算

1

第一节 概述	1
第二节 对称短路电流计算	2
第三节 不对称短路电流的计算	9
第四节 经变压器后的短路电流计算	32
第五节 短路电流计算实例	60

第二章 大型发电机变压器组继电保护的整定计算

88

第一节 概述	88
第二节 大型发电机变压器组继电保护整定计算	91
第三节 大型发电机变压器组继电保护整定计算实例	207

第三章 厂用电继电保护整定计算

257

第一节 概述	257
第二节 低压电动机及低压馈线继电保护整定计算	262
第三节 低压厂用变压器继电保护整定计算	279
第四节 高压电动机继电保护整定计算	297
第五节 高压厂用馈线继电保护整定计算	321
第六节 起动/备用高压厂用变压器继电保护整定计算	327
第七节 厂用系统继电保护整定计算实例	333

第四章 发电厂自动装置的整定计算

379

- 第一节 自动励磁调节装置的整定计算..... 379
- 第二节 自动准同步装置的整定计算..... 395
- 第三节 厂用电快速切换的整定计算..... 400

第五章 大型发电厂继电保护和自动装置的运行技术

409

- 第一节 概述..... 409
- 第二节 现场定期检验与检验管理工作..... 409
- 第三节 继电保护运行分析..... 416
- 第四节 运行设备反事故措施和技术改进..... 426
- 第五节 技术管理..... 433
- 第六节 其他技术问题..... 438
- 附录 A 短路电流衰减曲线和衰减表..... 441
- 附录 B 1000V 及以下低压短路电流计算..... 449
- 附录 C 10kV 及以下单相接地电容电流的计算..... 454
- 附录 D 自并励发电机短路电流计算..... 456

参考文献

459

短路电流计算

第一节 概 述

一、电力系统或电气设备的短路故障原因

(1) 自然方面的原因。如雷击、雾闪、暴风雪、动物活动、大气污染、其他外力破坏等等，造成单相接地短路和相间短路。

(2) 人为原因。如误操作、运行方式不当、运行维护不良或安装调试错误，导致电气设备过负荷、过电压、设备损坏等等造成单相接地短路和相间短路。

(3) 设备本身原因。如设备制造质量、设备本身缺陷、绝缘老化等等原因造成单相接地短路和相间短路。

二、短路种类

1. 单相接地短路

电力系统及电气设备最常见的短路是单相接地，约占全部短路的75%以上。对大电流接地系统，继电保护应尽快切断单相接地短路。对中性点经小电阻或中阻接地系统，继电保护应瞬时或延时切断单相接地短路。对中性点不接地系统，当单相接地电流超过允许值时，继电保护亦应有选择性地切断单相接地短路。对中性点经消弧线圈接地或不接地系统，单相接地电流不超过允许值时，允许短时间单相接地运行，但要求尽快消除单相接地短路点。

2. 两相接地短路

两相接地短路一般不超过全部短路的10%。大电流接地系统中，两相接地短路大部分发生于同一地点，少数在不同地点发生两相接地短路。中性点非直接接地的系统中，常见是先发生一点接地，而后其他两相对地电压升高，在绝缘薄弱处将绝缘击穿造成第二点接地，此两点多数不在同一点，但也有时在同一点，继电保护应尽快切断两相接地短路。

3. 两相及三相短路

两相及三相短路不超过全部短路的10%。这种短路更为严重，继电保护应迅速切断两相及三相短路。

4. 断相或断相接地

线路断相一般伴随断相接地。而发电厂的断相，大都是断路器合闸或分闸时有一相拒动造成两相运行，或电机绕组一相开焊的断相，或三相熔断器熔断一相的两相运行，两相运行一般不允许长期存在，应由继电保护自动或运行人员手动断开健全相。

5. 绕组匝间短路

这种短路多发生在发电机、变压器、电动机、调相机等电机电器的绕组中，虽然占全

部短路的概率很少,但对某一电机来说却不一定。例如,变压器绕组匝间短路占变压器全部短路的比例相当大,这种短路能严重损坏设备,要求继电保护迅速切除这种短路。

6. 转换性故障和重叠性故障

发生以上五种故障之一,有时由于故障的演变和扩大,可能由一种故障转换为另一种故障,或发生两种及两种以上的故障(称之复故障),这种故障不超过全部故障的5%。

第二节 对称短路电流计算

一、阻抗归算

为方便和简化计算,通常将发电机、变压器、电抗器、线路等元件的阻抗归算至同一基准容量 S_{bs} (一般取 100MVA 或 1000MVA 基准容量) 和基准电压 U_{bs} (一般取电网的平均额定电压 U_{av}) 时的基准标么阻抗(以下不作单独说明,简称标么阻抗); 归算至额定容量的标么阻抗称相对阻抗。

(一) 标么阻抗的归算

1. 发电机等旋转电机阻抗的归算

发电机等旋转电机一般给出的是额定条件下阻抗相对值,其标么阻抗可按下式计算

$$X_G^* = X_G \frac{S_{bs}}{S_{GN}} \quad (1-1)$$

式中 X_G^* ——发电机在基准条件下电抗的标么值;

X_G ——发电机额定条件电抗的相对值;

S_{bs} ——基准容量 (MVA);

S_{GN} ——发电机的额定容量 (MVA)。

于是有

$$X_d''^* = X_d'' \frac{S_{bs}}{S_{GN}}$$

式中 X_d'' ——发电机额定条件下次暂态电抗的相对值。

当基准容量 S_{bs} 为 100MVA 时,则

$$X_G^* = X_G \frac{S_{bs}}{S_{GN}} = X_G \times \frac{100}{S_{GN}} \quad (1-2)$$

2. 变压器阻抗的归算

计算式为

$$X_T^* = \frac{u_k\%}{100} \times \frac{S_{bs}}{S_{TN}} \quad (1-3)$$

式中 X_T^* ——变压器基准条件下电抗的标么值;

$u_k\%$ ——变压器额定条件下短路电压的百分值;

S_{TN} ——变压器的额定容量 (MVA)。

3. 电抗器阻抗的归算

计算式为

$$X_L^* = \frac{X_L\%}{100} \times \frac{U_{LN} I_{bs}}{U_{bs} I_{LN}} = \frac{X_L\%}{100} \times \frac{U_{LN}}{\sqrt{3} I_{LN}} \times \frac{S_{bs}}{U_{bs}^2} \quad (1-4)$$

式中 $X_L\%$ ——电抗器在额定条件下电抗的百分值；

U_{LN} 、 I_{LN} ——分别为电抗器的额定电压 (kV)、额定电流 (kA)；

式中其他符号含义同前。

4. 线路阻抗的归算

计算式为

$$\left. \begin{aligned} Z_L^* &= Z_L \times \frac{S_{bs}}{U_{bs}^2} = Z_L \times \frac{S_{bs}}{U_{av}^2} \\ R_L^* &= R_L \times \frac{S_{bs}}{U_{bs}^2} = R_L \times \frac{S_{bs}}{U_{av}^2} \\ X_L^* &= X_L \times \frac{S_{bs}}{U_{bs}^2} = X_L \times \frac{S_{bs}}{U_{av}^2} \\ Z_L^* &= R_L^* + jX_L^* \\ Z_L &= R_L + jX_L \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 R_L 、 X_L 、 Z_L ——分别为线路的电阻分量、电抗分量和阻抗的有名值 (Ω)；

U_{av} ——线路的平均额定电压 (kV)。

式中其他符号含义同前。

5. 三绕组变压器等效阻抗的归算

三绕组变压器电路如图 1-1 所示。

图中

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{2}(X_{1-2} + X_{1-3} - X_{2-3}) \\ X_2 &= \frac{1}{2}(X_{1-2} + X_{2-3} - X_{1-3}) \\ X_3 &= \frac{1}{2}(X_{1-3} + X_{2-3} - X_{1-2}) \end{aligned} \right\}$$

(1-6)

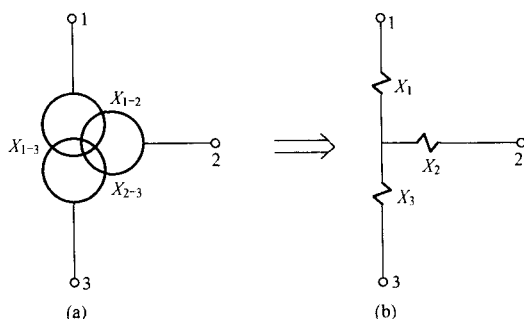


图 1-1 三绕组变压器电路图

(a) 三绕组变压器原理电路图；

(b) 三绕组变压器的等效电路图

式中 X_1 、 X_2 、 X_3 ——三绕组变压器三侧 (高、中、低) 归算后的等效电抗；

X_{1-2} 、 X_{1-3} 、 X_{2-3} ——三绕组变压器三侧 1-2、1-3、2-3 之间的阻抗。

6. 分裂绕组变压器等效阻抗的归算

低压侧有两个分裂绕组变压器电路如图 1-2 所示。

图 1-2 中

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= X_{1-2} \left(1 - \frac{K_f}{4} \right) = X_{1-2} - \frac{1}{4} X_{2-2'} \\ X_{2'} &= X_{2''} = \frac{1}{2} K_f X_{1-2} = \frac{1}{2} X_{2-2'} \\ X_{1-2} &= \frac{X_{1-2'}}{1 + K_f/4} \\ K_f &= X_{2-2'}/X_{1-2} \end{aligned} \right\} (1-7)$$

式中 X_1 ——双绕组变压器高压侧等效电抗；

X_{1-2} ——高压绕组与总低压绕组间的穿越电抗；

$X_{2'}$ 、 $X_{2''}$ ——双绕组变压器低压侧分裂绕组等效电抗；

$X_{2-2'}$ ——分裂绕组间的分裂电抗；

$X_{1-2'}$ ——高压绕组与一个低压绕组间的半穿越电抗；

K_f ——分裂系数（分裂绕组间的分裂电抗与穿越电抗之比）。

(二) 阻抗有名值的计算

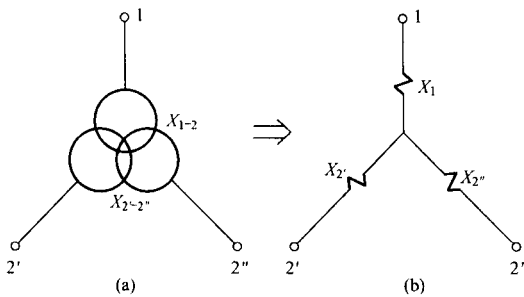


图 1-2 低压侧有两个分裂绕组变压器电路图

(a) 低压侧有两个分裂绕组变压器的原理电路图；

(b) 低压侧有两个分裂绕组变压器的等效电路图

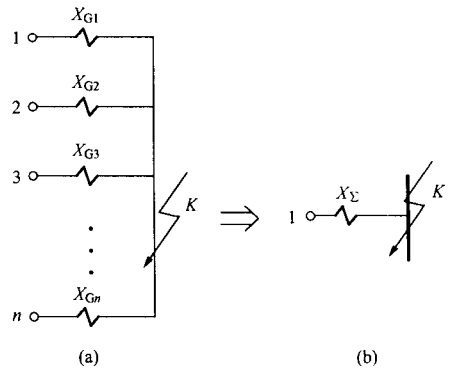


图 1-3 多电源并联支路网络图

(a) 多电源并联阻抗网络图；

(b) 多电源并联阻抗等效电路图

各电气元件的阻抗有名值可由对应的标么值和百分值求得

$$\left. \begin{aligned} \text{由标么值求阻抗有名值 } Z_{(\Omega)} &= Z^* \times Z_{bs} = Z^* \times \frac{U_{bs}^2}{S_{bs}} \\ \text{由百分值求阻抗有名值 } Z_{(\Omega)} &= \frac{Z\%}{100} \times Z_N = \frac{Z\%}{100} \times \frac{U_N}{\sqrt{3}I_N} = \frac{Z\%}{100} \times \frac{U_N^2}{S_N} \end{aligned} \right\} (1-8)$$

式中 $Z_{(\Omega)}$ ——阻抗有名值 (Ω)；

Z^* ——阻抗标么值；

$Z\%$ ——阻抗百分值。

式中其他符号含义同前。

二、常用网络变换

发电厂一次系统接线远比电力网的一次系统接线简单，阻抗网络图也相对简单得多，而出现最多的是多电源的并联支路网络图，如图 1-3 所示。

(一) 多电源并联支路等效电抗的计算

1. 等效电抗的计算

图 1-3 中等效电抗 X_{Σ} 为

$$X_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{X_{G1}} + \frac{1}{X_{G2}} + \dots + \frac{1}{X_{Gn}}} \quad (1-9)$$

式中 X_{Σ} ——多电源的综合电抗；

X_{G1} ——支路 1 的总电抗；

X_{G2} ——支路 2 的总电抗；

X_{Gn} ——支路 n 的总电抗。

2. 电源各支路的分支系数计算

计算式为

$$\left. \begin{aligned} \text{支路 1 的分支系数} \quad K_{\text{bra.G1}} &= \frac{X_{\Sigma}}{X_{G1}} \\ \text{支路 2 的分支系数} \quad K_{\text{bra.G2}} &= \frac{X_{\Sigma}}{X_{G2}} \\ &\vdots \\ \text{支路 } n \text{ 的分支系数} \quad K_{\text{bra.Gn}} &= \frac{X_{\Sigma}}{X_{Gn}} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式中 $K_{\text{bra.G1}}$ 、 $K_{\text{bra.G2}}$ 、 $K_{\text{bra.Gn}}$ ——分别为支路 1、2、 n 的分支系数。

式中其他符号含义同前。

(二) 多支路星形网络化简计算

多支路星形网络如图 1-4 所示。

1. 等效综合电抗计算

图 1-4 中等效综合电抗为

$$\begin{aligned} X_{\Sigma} &= \frac{1}{\frac{1}{X_{G1}} + \frac{1}{X_{G2}} + \dots + \frac{1}{X_{Gn}}} + X_{x1} \\ &= \frac{1}{\Sigma Y} + X_{x1} \end{aligned} \quad (1-11)$$

式中 X_{Σ} ——多支路星形网络的等效综合电抗；

X_{G1} ——支路 1 的总电抗；

X_{G2} ——支路 2 的总电抗；

X_{Gn} ——支路 n 的总电抗；

X_{x1} ——公共电抗；

ΣY ——综合分支导纳。

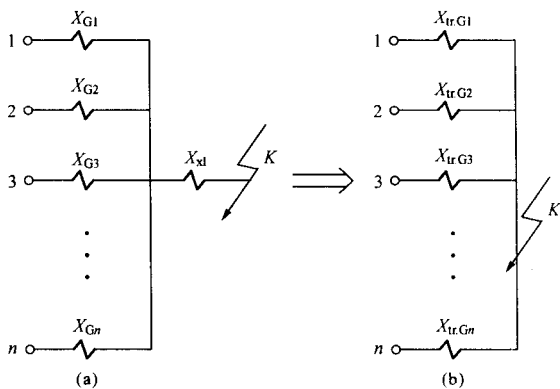


图 1-4 多支路星形网络图

(a) 多支路星形网络阻抗图；

(b) 多支路星形网络等效综合阻抗图

2. 综合分支导纳计算

计算式为

$$\Sigma Y = \frac{1}{X_{G1}} + \frac{1}{X_{G2}} + \cdots + \frac{1}{X_{Gn}} \quad (1-12)$$

3. 各电源支路分支系数计算

计算式为

$$\left. \begin{aligned} \text{支路 1 的分支系数} \quad K_{\text{bra.G1}} &= \frac{1}{\Sigma Y} \times \frac{1}{X_{G1}} \\ \text{支路 2 的分支系数} \quad K_{\text{bra.G2}} &= \frac{1}{\Sigma Y} \times \frac{1}{X_{G2}} \\ &\vdots \\ \text{支路 } n \text{ 的分支系数} \quad K_{\text{bra.Gn}} &= \frac{1}{\Sigma Y} \times \frac{1}{X_{Gn}} \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

4. 各电源的转移阻抗计算

计算式为

$$\left. \begin{aligned} \text{支路 1 的转移电抗} \quad X_{\text{tr.G1}} &= \frac{X_{\Sigma}}{K_{\text{bra.G1}}} = \frac{\frac{1}{\Sigma Y} + X_{\text{xl}}}{\frac{1}{X_{G1} \Sigma Y}} = X_{G1} + \frac{X_{\text{xl}}}{K_{\text{bra.G1}}} \\ \text{支路 2 的转移电抗} \quad X_{\text{tr.G2}} &= \frac{X_{\Sigma}}{K_{\text{bra.G2}}} = \frac{\frac{1}{\Sigma Y} + X_{\text{xl}}}{\frac{1}{X_{G2} \Sigma Y}} = X_{G2} + \frac{X_{\text{xl}}}{K_{\text{bra.G2}}} \\ &\vdots \\ \text{支路 } n \text{ 的转移电抗} \quad X_{\text{tr.Gn}} &= \frac{X_{\Sigma}}{K_{\text{bra.Gn}}} = \frac{\frac{1}{\Sigma Y} + X_{\text{xl}}}{\frac{1}{X_{Gn} \Sigma Y}} = X_{Gn} + \frac{X_{\text{xl}}}{K_{\text{bra.Gn}}} \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

式中 $X_{\text{tr.G1}}$ 、 $X_{\text{tr.G2}}$ 、 $X_{\text{tr.Gn}}$ ——分别为支路 1、2、 n 的转移阻抗。

式中其他符号含义同前。

5. 各电源支路短路电流计算

计算式为

$$\left. \begin{aligned} \text{支路 1 三相短路电流} \quad \dot{i}_{K.G1}^{(3)} &= K_{\text{bra.G1}} \times \frac{I_{\text{bs}}}{jX_{\Sigma}} = \frac{I_{\text{bs}}}{jX_{\text{tr.G1}}} \\ \text{支路 2 三相短路电流} \quad \dot{i}_{K.G2}^{(3)} &= K_{\text{bra.G2}} \times \frac{I_{\text{bs}}}{jX_{\Sigma}} = \frac{I_{\text{bs}}}{jX_{\text{tr.G2}}} \\ &\vdots \\ \text{支路 } n \text{ 三相短路电流} \quad \dot{i}_{K.Gn}^{(3)} &= K_{\text{bra.Gn}} \times \frac{I_{\text{bs}}}{jX_{\Sigma}} = \frac{I_{\text{bs}}}{jX_{\text{tr.Gn}}} \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式中 $I_{K.G1}^{(3)}$ 、 $I_{K.G2}^{(3)}$ 、 $I_{K.Gn}^{(3)}$ ——分别为各电源支路供给的三相短路电流 (A)。