

电力系统继电保护

上册

山东工学院
山东省电力工业局《电力系统继电保护》编写组

电力工业出版社

电力系统继电保护

上册

山东工学院
山东省电力工业局《电力系统继电保护》编写组

电力工业出版社

电力系统继电保护

上册

山东工学院《电力系统继电保护》编写组
山东省电力工业局

(根据水利电力出版社纸型重印)

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六辅坑)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

京安印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 22.5印张 507千字

1979年3月北京第一版

1981年6月新一版 1981年6月北京第一次印刷

印数 00001—16100册 定价 1.95元

书号 15036·4194

内 容 提 要

本书较全面地讲述了电力系统继电保护的基本原理，并介绍了几种主要保护装置及其调试中有关问题的分析。

全书分上、下两册。第一章至第八章为上册，主要讲述电力系统故障情况的基本分析，继电保护的基础知识，电流、电压互感器和对称分量滤序器，电网的电流电压保护、方向电流保护、零序保护、距离保护的工作原理和整定计算，并结合保护原理介绍了 LH-11 型距离保护等装置。

第九章至第十六章为下册，主要讲述电网的差动保护、高频保护、自动重合闸以及变压器、发电机、母线和电动机等元件保护的工作原理及整定计算，结合保护原理介绍了 BFG-1A 型和 JGX-11A 型高频保护以及 ZZC-4 型综合重合闸等装置。

本书可作为高等工科院校和“七·二一”大学有关专业的教学参考书，也可供从事继电保护工作的专业人员参考。

前 言

在山东工学院党委和山东省电力工业局党组的直接领导和关怀下，《电力系统继电保护》编写组经过调查研究和总结省内电力系统的运行经验，于1974年编出了《电力系统继电保护》一书的初稿。根据当前生产和教学的需要，编写组对本书初稿作了修改，并由水利电力部生产司召开审稿会进行了审查。最后，按照审稿会讨论的意见修改定稿。

本书取材，从目前现场采用的继电保护装置的实际情况出发，以广泛使用的保护装置为主，同时对新型保护装置也尽可能予以反映。

本书内容包含的面较广，而且着重于继电保护基本原理的讲述，对具体保护装置只作了一般介绍。关于保护装置的调试，为配合有关规程，书中只对一些共同性的问题作了必要的探讨。当用作教学参考书时，由于内容较多，可根据具体情况加以选用。

本书采用国家规定的图形符号。角注除个别采用国际通用的英语缩写外，其余一律采用汉语拼音头一个或二个字字母。

本书由山东工学院万国珍、于九祥、黄台电厂杜振阳、石横电厂汪之平、济宁电厂李体怀、火电一处李慎名等同志参加编写，莱芜电厂王锦元与山东工学院邹森同志参加制图，由万国珍同志审订。

在编写过程中，电力系统有关厂、局和兄弟院校，特别是参加审稿会的同志和所在单位，为我们提供了许多参考资料和宝贵意见。尤其是上海交通大学张志竞、华中工学院吕继绍、浙江大学黄焕焜等同志为本书编写了部分章节，在此表示衷心的感谢！

由于我们学习马列主义、毛泽东思想不够，调查研究不够全面、深入，实践经验又不多，加上水平所限，编写时间仓促，所以缺点错误在所难免，希望读者批评指正！

《电力系统继电保护》编写组

1977年12月

重 版 说 明

1. 本书在重版前，由山东工学院梁其绍、于九祥、李仁俊对初版进行了校阅并书面征求原编写同志的意见，对其中有明显错误的技术问题进行了改正；

2. 参加本书初稿（1974年编写的《电力系统继电保护》书稿）编写工作的有山东工学院万国珍、王广延、于九祥，山东省电力工业局袁国元、何仲文、张克勤、夏克忠等。

山东省电力工业局

山东工学院

一九八〇年元月十五日

符号说明

一、设备、元件、名词符号

B	变压器	FYL	负序电压滤序器
BG	晶体三极管	J	继电器
BZ	半导体整流桥	LH	电流互感器
BH	保护装置	N	绕组
BLH	饱和变流器	SCR	可控硅
D	二极管、电动机	WY	稳压管
DKB	电抗变压器	YH	电压互感器
DL	断路器	ZCH	自动重合闸装置
F	发电机	ZL	整流器
FLL	负序电流滤序器	ZMC	自动灭磁装置

二、文字下角符号

E_A, E_B, E_C	分别表示A、B、C三相的电势	I_{bp}	不平衡电流
F_{dc}	电磁力	I_{lc}	励磁电流
f_{wc}	电流互感器误差系数	$I_{lc.yl}$	变压器励磁涌流
I_A, I_B, I_C	分别表示A、B、C三相的一次相电流	I_{fzz}	非故障相电流
I_a, I_b, I_c	分别表示a、b、c三相的二次相电流	I_{dh}	电弧电流
I_1, I_2, I_0	分别表示电流的正序、负序和零序分量	K_k	可靠系数
$I_D^{(3)}, I_D^{(2)}, I_D^{(1)}$	分别表示三相短路、两相短路和单相短路电流	K_K	电抗变压器转移阻抗
I_J	通过继电器的电流	K_y	中间变压器变比系数
I_D	短路电流	K_{lm}	灵敏系数
I_e	额定电流	K_f	返回系数
$I_{t.max}$	最大工作电流	K_{jx}	接线系数
$I_{fh.max}$	最大负荷电流	K_{tx}	同型系数
I_{dz}	保护动作电流一次值	K_{ph}	配合系数
$I_{dx.J}$	继电器动作电流	K_{fzh}	分支系数
$I_{f.J}$	继电器返回电流	K_{zq}	自启动系数
I_{sq}	电动机自启动电流	K_{fzq}	非同期分量系数
		l_{sd}	速断保护的保护区范围
		M_{dc}	电磁力矩
		M_j	机械力矩
		M_m	摩擦力矩

M_s	弹簧力矩	U_e	额定电压
M_{sy}	剩余力矩	U_g	工作电压
n	变比	U_J	继电器端子上的电压
R_{gd}	过渡电阻	$U_{g.min}$	最小工作电压
R_{fj}	附加电阻	U_{cy}	短路时母线上的残余电压
R_m	磁阻	U_{dz}	保护动作电压的一次值
sr	输入	$U_{dz.J}$	继电器动作电压
sc	输出	$U_{f.J}$	继电器返回电压
t_{bh}	保护动作时间	U_p	系统的平均电压
t_{tz}	断路器跳闸时间	Z_{lc}	励磁阻抗
t_{hz}	断路器合闸时间	Z_{xl}	线路阻抗
t^I, t^II, t^III	分别表示保护装置第 I、II、III 段动作时间	Z_{fh}	负荷阻抗
Δt	保护整定的时限级差	Z_z	整定阻抗
U_A, U_B, U_C	分别表示 A、B、C 三相的相电压	$Z_{dz.J}$	继电器动作阻抗
U_1, U_2, U_0	分别表示电压的正序、负序和零序分量	$Z_{g.min}$	最小工作阻抗
U_ϕ	相电压	Z_{xt}	系统阻抗
		ψ_J	加于继电器的电压与电流间的相角差
		$\psi_{dz.J}$	继电器动作角

目 录

前 言

符号说明

绪 论	1
第一章 电网故障情况的基本分析	4
1-1 概述	4
1-2 三相短路	4
1-3 对称分量法	13
1-4 不对称短路	36
1-5 非全相运行	52
1-6 复故障	63
1-7 变压器两侧电流电压对称分量的相位关系	69
第二章 继电保护的基础知识	74
2-1 继电保护的基本原理	74
2-2 对继电保护装置的基本要求	75
2-3 继电器的分类和要求	78
2-4 电磁型继电器	80
2-5 感应型继电器	89
2-6 整流型继电器	94
2-7 晶体管型继电器	101
第三章 电流互感器及电压互感器	113
3-1 电流互感器	113
3-2 电流互感器的10%误差及其实测方法	120
3-3 电压互感器	126
3-4 YDR型电容式电压互感器	134
第四章 对称分量滤序器	137
4-1 对称分量滤序器的基本原理	137
4-2 负序电压滤序器	138
4-3 负序电流滤序器	144
4-4 复合电流滤序器	153
第五章 电网相间短路的电流电压保护	156
5-1 电网过电流保护的動作原理及组成元件	156
5-2 过电流保护装置的接线方式	158
5-3 过电流保护装置的整定计算	162
5-4 无时限电流速断保护	168

5-5	限时电流速断及三段式过电流保护	170
5-6	电流保护装置的接线全图	172
5-7	电流电压联锁速断保护	176
5-8	对电流电压保护的评价	180
第六章	电网相间短路的方向电流保护	182
6-1	方向过电流保护的工作原理	182
6-2	功率方向继电器的原理及特性	184
6-3	功率方向继电器的接线方式	195
6-4	方向过电流保护装置的整定计算	201
6-5	方向过电流保护装置的接线图	205
6-6	方向电流速断保护	206
6-7	方向过电流保护装置的评价和应用范围	207
第七章	电网的零序电流保护	208
7-1	零序电流保护的作用	208
7-2	大接地电流系统单相接地短路时的零序电流和零序电压	209
7-3	变压器中性点接地的选择	212
7-4	零序电流保护的构成原理及整定计算	213
7-5	三段零序方向电流保护	220
7-6	ZLL-2型三段零序方向电流速断保护装置	225
7-7	小接地电流系统单相接地时电流电压的变化	229
7-8	小接地电流系统的接地保护	235
7-9	零序电流保护的评价和应用范围	245
第八章	电网的距离保护	246
8-1	距离保护的作用及基本原理	246
8-2	阻抗继电器动作的一般特性	248
8-3	整流型阻抗继电器的构成原理	253
8-4	相灵敏接线的方向阻抗继电器	259
8-5	感应型阻抗继电器	265
8-6	晶体管四边形特性阻抗继电器	268
8-7	多相阻抗继电器的概念	273
8-8	阻抗继电器的精确工作电流	280
8-9	阻抗继电器的接线方式	283
8-10	影响阻抗继电器正确工作的因素及其克服方法	292
8-11	电力系统振荡及其对距离保护的影响	306
8-12	断线闭锁装置	315
8-13	距离保护的整定计算	317
8-14	LH-11型距离保护装置	320
8-15	LH-11型距离保护装置调试中的几个问题	325
8-16	LH-01型距离保护装置	341
8-17	对距离保护的评价	350

绪 论

电力工业是整个国民经济的重要组成部分，它对工农业生产的发展和人民生活有很大的影响。而电能生产的特点是它的连续性，一刻也不能中断。因此，保证电力系统安全可靠的运行和电能的质量具有很重要的意义。这就要求电力系统有较高的自动化程度和管理水平。

在电力系统中，由于事物内部的矛盾性，可能发生这样或那样的故障和不正常工作情况。发生这些情况，一般会引起电流的增大，电压和频率的降低或升高，使电气设备和电力用户的正常工作遭到破坏。

在电力系统中，最常见的同时也是最危险的故障是各种形式的短路，其中以单相接地短路为最多，而三相短路是比较少的。对于旋转电机和变压器还可能发生绕组的匝间短路。此外，输电线路有时可能发生断线故障，或几种故障同时发生的复杂故障。

发生故障可能引起的后果是：

1. 系统中部分地区的电压大幅度地降低，使广大用户的正常工作遭到破坏；
2. 短路点通过很大短路电流所引起的电弧，使故障设备烧坏；
3. 系统中故障设备和某些无故障设备，在通过很大短路电流时所产生的热和电动力，使这些设备遭到破坏或损伤，从而缩短使用寿命；
4. 破坏电力系统各发电厂之间并列运行的稳定性，产生振荡，甚至可能使整个电力系统瓦解。

电力系统中最常见的不正常工作情况是过负荷。所谓过负荷就是电气设备的负荷电流超过了额定负荷电流。长时间的过负荷，将使设备的载流部分和绝缘材料过度发热，从而使绝缘加速老化，或遭受破坏，甚至引起故障。此外，象由于发电机有功功率不足所引起的频率降低，水轮发电机突然甩负荷所引起的过电压等，也都属于不正常工作情况。

在电力系统中，由于发生故障和不正常工作情况，都可能引起系统事故。所谓事故，就是指系统的全部或部分的正常运行遭到破坏，以致造成对用户的停止送电、少送电、电能质量变坏到不能容许的程度，甚至毁坏设备等等。

发生事故的原因是多种多样的。根据事故统计资料，除由于雷击或鸟兽跨越电气设备等外界原因造成的事故外，绝大多数事故都是由于设备构造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高、以及运行维护不当所造成的。因此，只要充分发挥人的主观能动性，运用唯物辩证法，正确认识和掌握自然界的客观规律，改进设计制造，加强维护检修，提高运行水平和工作质量，那么电力系统事故不仅可以大大减少，而且在许多情况下是可以避免的。

除了采取上述措施尽可能消除发生故障的可能性以外，在一旦发生故障时，采取措施尽快地将故障设备切除，保证无故障部分正常运行，缩小事故范围，也是现代与事故斗争

的一种有效方法。

电力系统中，各设备之间都有电或磁的联系。当某一设备发生故障时，在很短的瞬间就会影响到整个系统的其他部分。因此，为了防止电力系统事故的扩大，保证无故障部分连续供电，以及维持系统运行的稳定性，切除故障设备的时间必须是很短的，有时甚至要求短到百分之几秒（即几个周波）。很显然，在这样短的时间内，要求运行值班人员及时发现故障，并将故障设备切除是不可能的。完成这种任务，只有靠装在每个电气设备上具有保护作用的自动装置，即继电保护装置。

所谓继电保护装置，就是用来保护电力系统主要设备（如发电机、变压器、输电线、母线和电动机等），反应电力系统电气设备发生的故障或不正常工作情况，而作用于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。它的主要任务是：

1. 发生故障时，自动地、迅速地、有选择地借助断路器将故障设备从电力系统中切除，以保证系统无故障部分继续正常运行，并使故障设备免于继续遭受破坏。

但对某些故障，如小接地电流系统的单相接地，由于它不会直接破坏电力系统的运行，因此，在大多数情况下，继电保护装置只作用于信号，而不立即使断路器跳闸。

2. 反应电气设备的不正常工作情况。根据不正常工作情况的种类和设备运行维护的条件（例如有无经常值班人员），发出信号，由值班人员进行处理，或自动地进行调整，并将那些继续运行会引起事故的电气设备切除。反应不正常工作情况的继电保护，一般都不需要立即动作，而可以带一定的延时。

因此，继电保护在电力系统中的主要作用是通过预防事故或缩小事故范围来提高系统运行的可靠性，最大限度地保证向用户安全连续供电。在现代化的电力系统中，如果没有专门的继电保护装置，要想维持系统的正常工作是不可能的。因此，随着电力系统的发展，进一步加强继电保护的工作，具有十分重要的意义。

电力系统继电保护技术，是在近几十年来随着电力系统的发展而迅速发展起来的一门比较年轻的科学。

在生产斗争的实践中，人们发现在电力系统中发生短路时，会产生很大的电流，因此首先出现了反应电流的保护装置。最初的电流保护就是用熔断器（保险丝），而且把它作为重要电气设备的保护。随着电力系统的发展，设备和系统容量都越来越大，系统接线也越来越复杂，因此，在许多情况下，单靠熔断器就不能很好地满足快速、灵敏、有选择地断开故障的要求，于是就开始采用继电器作用于断路器跳闸的继电保护装置。

在十九世纪九十年代初期，出现了一种安装在油断路器上的、以一次电流直接动作的电磁式继电器，并利用它构成电流保护。二十世纪初，继电保护技术开始有了发展。1901年出现了利用感应型电流继电器构成的电流保护。1908年提出了以比较被保护范围各端电流为基础的电流差动保护。从1910年起，开始采用方向电流保护。1920年初制成了距离保护。1927~1928年，开始利用沿被保护线路传送高频载波电流的高频保护。以后又采用了反应相序分量（零序和负序）的保护装置，并在继电保护技术中成功地采用了非线性元件。

过去广泛采用的由机电型继电器构成的保护装置，基本上满足了220~330千伏以下电压等级电力系统对保护的要求。由于机电型继电器存在一些缺点，如体积和消耗功率较

大，动作慢，接点怕受震动等。所以近年来，普遍重视新型继电器和保护装置的研究。

半导体元件在继电保护技术中的应用，近几年来有较大的发展，已利用它构成了新的继电器和保护装置。这种保护装置具有体积小、重量轻、消耗功率小、灵敏度高、不怕震动、可能实现无接点等一系列优点，因此受到广大继电保护工作者的重视，并认为是继电保护发展的一个方向。

我国继电保护技术，建国二十八年来有了飞速的发展。现在，全国各主要电力系统都有较完善的保护。一些新的保护技术，如新的整流型距离保护、晶体管高频保护、以及其他新原理新结构的保护等，已得到广泛采用。保护装置的正确动作率逐年提高，有些地区正确动作率已达到98.6%以上。由于继电保护正确动作率的提高和新型保护装置及自动装置的采用，对保证系统安全可靠的运行起了重要作用，因而使电力系统因故障而影响其正常运行的情况大为减少，送电质量大大提高，推动了工农业生产的发展。可以相信，在我国优越的社会主义制度下，继电保护技术今后必将得到新的更高速度的发展。

第一章 电网故障情况的基本分析

1-1 概 述

实践经验指出，电力系统在运行过程中，有可能发生各种故障和不正常运行情况。

最常见的故障是各种类型的短路，其中包括三相短路、两相短路、两相接地短路、不同地点的两点接地短路、单相接地短路、以及电机和变压器绕组的匝间短路。此外，输电线路的断线也属于故障。表1-1列举了各种短路的示意图、符号和一般情况下的概率。

表 1-1 各种短路的示意图、符号和一般情况下的概率

短 路 类 型	示 意 图	符 号	概 率
三 相 短 路		$D^{(3)}$	5%
两 相 短 路		$D^{(2)}$	10%
两 相 接 地 短 路		$D^{(1,1)}$	20%
不 同 地 点 两 点 接 地 短 路			
单 相 接 地 短 路		$D^{(1)}$	65%

发生故障后，系统各部分的参数(电压、电流以及它们之间的相位等)都将发生变化。因此，在选择保护方式、研究保护装置的原理、分析保护的動作性能以及整定计算时，都需要对故障和不正常运行情况进行具体分析和计算。本章主要对电网上所发生的各种类型的短路、非全相运行和复故障进行分析计算。至于小接地电流系统的单相接地，电力系统振荡，以及变压器、发电机和电动机的故障和不正常运行情况等，将分别在以后的有关章节中讨论。

1-2 三 相 短 路

一、三相短路过程的电流变化规律

1. 由无限大电源供电的电路发生短路

在图 1-1 (a)所示的简单电力系统中，如果系统电源的容量很大，负荷变化时，母线

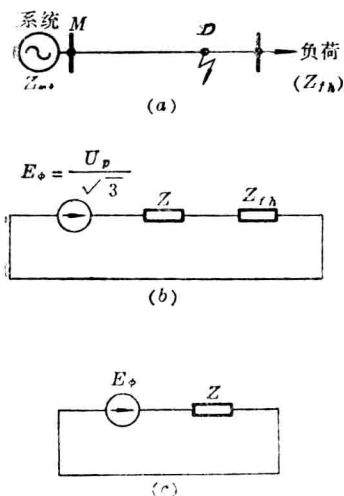


图 1-1 无限大电源的电力系统示意图及等值电路
 (a) 电力系统接线图; (b) 正常工作时的等值电路; (c) 三相短路时的等值电路

M 上的电压值基本不变, D 点发生短路时, 母线 M 上的电压值变化也很小, 在这种情况下, 系统电源称为无限大电源。在实际的电力系统中, 如果系统阻抗值 (Z_{xt}) 不超过短路时总阻抗值 ($Z_{\Sigma} = Z_{xt} + Z$) 的 5~10%, 可以将电源作为无限大电源处理。图 1-1 (b) 和 (c) 分别表示正常工作和三相短路时的系统等值电路。其中无限大电源的相电势 E_{ϕ} 和系统阻抗 Z_{xt} 分别为:

$$\left. \begin{aligned} E_{\phi} &= \frac{U_p}{\sqrt{3}} \\ Z_{xt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 U_p ——电力系统的平均电压。

根据实验和理论分析结果, 得到图 1-2 所示的由无限大电源供电的电路发生短路时的短路电流变化曲线。

电力系统正常工作时, 电源相电势为 e , 负荷电流为 i_{fh} , 它滞后于 e 的相位角 φ 为负荷的阻抗角, 发生短路前瞬间的负荷电流为 $i_{fh|0}$ 。

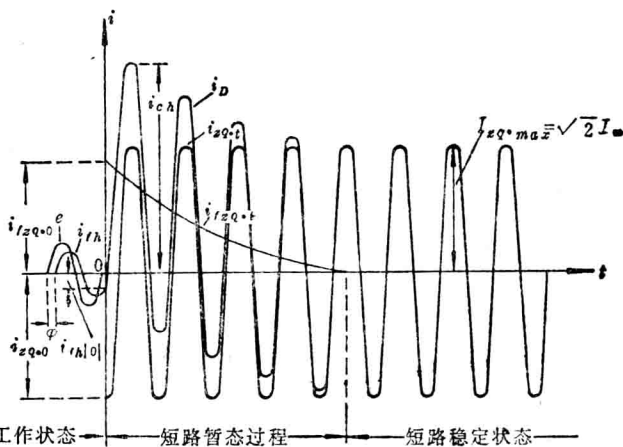


图 1-2 由无限大电源供电的电路发生短路时短路电流的变化曲线

由于电力系统内既有电阻又有电感, 所以发生短路后相当于 $R-L$ 电路的暂态过程。短路电流 i_D 中包含了周期分量 $i_{zq,t}$ 和非周期分量 $i_{zq,0}$ 。

短路电流周期分量的有效值 I_{zq} 等于稳态短路电流有效值 I_{∞} , 即

$$I_{zq} = I_{\infty} = \frac{E_{\phi}}{Z} = \frac{U_p}{\sqrt{3} Z} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \sqrt{R^2 + X^2}} \quad (1-2)$$

在一般情况下, $R \leq \frac{1}{3} X$, 可以不计 R , 因此上式可改为:

$$I_{zq} = I_{\infty} = \frac{U_p}{\sqrt{3} X} \quad (1-3)$$

它的相位滞后于电源相电势为 90° 。

当短路发生在 $e=0$ 时(即图 1-2 所示的情况), 短路起始时($t=0$)周期分量的瞬时值等于周期分量负的最大值, 即

$$\dot{i}_{zq.0} = -I_{zq.max} = -\sqrt{2} I_{zq}$$

短路发生后第一个周期内短路电流周期分量的有效值称为起始次暂态短路电流 I'' , 在由无限大电源供电的电路发生短路时, 其值为:

$$I'' = I_{zq} = I_\infty = \frac{U_p}{\sqrt{3} X} \quad (1-4)$$

短路电流非周期分量的起始值

$$\dot{i}_{fzq.0} = \dot{i}_{fn. | 0 |} - \dot{i}_{zq.0} \quad (1-5)$$

短路电流非周期分量是按指数函数衰减的, 即

$$\dot{i}_{fzq.t} = \dot{i}_{fzq.0} e^{-\frac{t}{T_{fzq}}} \quad (1-6)$$

式中 T_{fzq} ——非周期分量衰减的时间常数, 它与电力系统参数的关系为:

$$T_{fzq} = \frac{L}{R} = \frac{\omega L}{\omega R} = \frac{X}{\omega R} = \frac{X}{2\pi f R} \quad (1-7)$$

式中 f ——电源电压的频率。

当短路发生在 $\dot{i}_{fn. | 0 |} = 0$, 同时 e 为最大时(这时 $\dot{i}_{zq.0} = 0$), 由式(1-5)可见, $\dot{i}_{fzq.0} = 0$, 即短路电流中没有非周期分量。

当短路发生在 $\dot{i}_{fn. | 0 |} = 0$, 同时 $e=0$ 时(这时 $\dot{i}_{zq.0} = -\sqrt{2} I''$), 由式(1-5)可得:

$$\dot{i}_{fzq.0} = \sqrt{2} I'' \quad (1-8)$$

从图1-2所示的短路电流变化曲线可见, 短路发生后经过半个周期($t=0.01$ 秒), 短路电流的瞬时值达到最大, 通常叫做短路冲击电流 \dot{i}_{ch} , 其值为:

$$\dot{i}_{ch} = \dot{i}_{zq.0} + \dot{i}_{fzq.0} e^{-\frac{0.01}{T_{fzq}}} = \sqrt{2} I'' + \sqrt{2} I'' e^{-\frac{0.01}{T_{fzq}}} = \sqrt{2} K_{ch} I'' \quad (1-9)$$

式中 K_{ch} ——短路电流冲击系数, $K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_{fzq}}}$ 。

由式(1-9)和(1-7)可见, 短路电流冲击系数 K_{ch} 与非周期分量衰减的时间常数 T_{fzq} 有关, 而 T_{fzq} 与电源到短路点的总电抗 X 、总电阻 R 的比值有关。因此, 短路点不同, X/R 值也有所不同, K_{ch} 也不同。

在电力工程设计中规定:

(1) 当短路发生在单机容量为12000千瓦及以上的发电机电压母线上时, K_{ch} 取为1.9, 代入式(1-9)得到:

$$\dot{i}_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' = \sqrt{2} \times 1.9 I'' = 2.7 I'' \quad (1-10)$$

(2) 当短路发生在其他各处时, K_{ch} 取为1.8, 代入式(1-9)得到:

$$\dot{i}_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' = \sqrt{2} \times 1.8 I'' = 2.55 I'' \quad (1-11)$$

必须指出, 在三相短路的瞬间($t=0$ 秒), 电源各相的电势不相等, 因此各相短路电流的周期分量和非周期分量的起始瞬时值各相都不相等。前面所计算的短路冲击电流是指最大的一相。但是, 周期分量有效值、次暂态短路电流有效值各相都是相等的; 稳态

时，非周期分量衰减完了，各相短路电流也都相等。

三相短路时，起始短路容量 S'' （或者称为起始短路功率）的数值为：

$$S'' = \sqrt{3} U_p I'' \quad (1-12)$$

2. 由发电机供电的电路发生短路

根据实验和理论分析结果，得到图 1-3 所示的发电机供电的电路发生短路时的电流变化曲线。

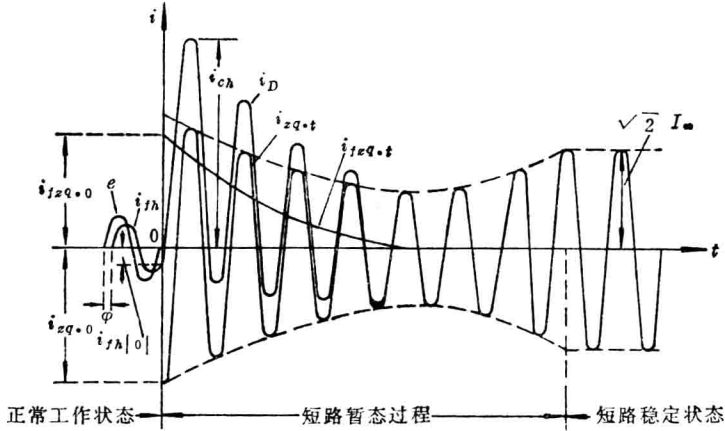


图 1-3 由装有自动调节励磁装置的发电机供电的电路发生短路时短路电流的变化曲线

从上述短路电流变化曲线可见，短路电流 i_D 中包含周期分量 $i_{zq.t}$ 和非周期分量 $i_{zq.0}$ 。

在短路暂态过程中，周期分量的幅值是在变化的。发生短路后，由于发电机端电压下降，自动调节励磁装置调节发电机的励磁电流，使发电机端电压上升。于是短路电流的周期分量也随着增大。由于自动调节励磁装置和励磁回路都有时滞，所以周期分量的幅值在短路暂态过程中，开始是逐渐衰减，经过若干周期后又逐渐上升到稳定值。

在计算起始次暂态短路电流 I'' 时，为了简化起见，假设在短路发生后第一个周期内，周期分量为幅值 I''_{max} 不变的正弦交流，它的有效值为：

$$I'' = \frac{I''_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1-13)$$

在分析计算中，可以用下式求起始次暂态短路电流：

$$I'' = \frac{E''}{X_s} = \frac{E''}{X_d'' + X} = \frac{E''}{\sqrt{3} (X_d'' + X)} \quad (1-14)$$

式中 E'' ——发电机的次暂态电势；

X_d'' ——发电机的次暂态电抗；

X ——发电机出口至短路点的电抗值（称为外部电抗）。

短路电流非周期分量的变化规律与由无限大电源供电的电路发生短路时的情况相同。短路冲击电流 i_{ch} 的计算公式（1-9）、（1-10）、（1-11）都适用。需要注意的是，由无限大电源供电的电路发生短路时，

$$I'' = I_\infty = \frac{U_p}{\sqrt{3} X}$$