

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GDXX - XXXX

中国船级社

船舶电力系统
过电流选择性保护指南

上海规范研究所

2007 年 1 月

目　录

第 1 章　　通　则 1

1.1 一般要求 1
1.2 定义 1
1.3 符号和代号 6

第 2 章　　常用保护电器及其选择 8

2.1 概述 8
2.2 断路器 8
2.3 熔断器 18
2.4 差动保护继电器 19

第 3 章　电力系统的过电流选择性保护 25

3.1 一般要求 25
3.2 主发电机之间及其与以下各级之间的短路选择性保护 30
3.3 主汇流排与应急汇流排等及其下一级之间的短路选择性保护 33
3.4 电力和照明变压器初级与照明汇流排之间的短路选择性保护 34
3.5 主(或应急)照明汇流排与其下一级之间的短路选择性保护 36
3.6 应急发电机与其以下级之间的短路选择性保护 37
3.7 接地故障电流选择性保护 38

附录A　电力系统过电流选择性保护协调分析实例 1 39

A.1 电力系统简介 39
A.2 概述 39
A.3 系统各级保护电器的设置及其整定值 42
A.4 电力系统有关各级保护电器协调动作分析及时间－电流特性曲线图 47

附录B　　电力系统过电流选择性保护协调分析实例 2 56

B.1 电力系统简介 56
B.2 概述 57
B.3 系统各级保护电器的设置及其整定值 57
B.4 电力系统有关各级保护电器协调动作分析及时间－电流特性曲线图 62

第 1 章　　通　则

1.1 一般要求

1.1.1 过电流故障是船舶电气装置中的常见故障，由此可能导致全船失电，船舶失去操纵能力，直至发生船舶碰撞和产生火灾的严重后果。为此，本社规范对电气装置中的过电流保护作出了不少具体规定。规范还对在船舶电力系统的某处发生过电流故障时，如何确保无故障重要设备电路的供电连续性，即实现电力系统过电流选择性保护提出了原则要求。

1.1.2 本指南除了对船舶电力系统各部分如何实现过电流选择性保护作出具体规定之外，还对短路保护电器的动作灵敏性提出了要求，因为这是实现过电流选择性保护的基础。其他保护，例如欠电压保护和逆功率保护等的动作特性，应与过电流选择性保护的要求相协调。

1.1.3 本指南规定适用于主电站总容量大于 250kVA 的各类船舶。对其他船舶，除本社规范有明文规定者外，可参照执行。

1.1.4 送审资料

符合 1.1.3 规定的船舶应送审满足本指南要求的“电力系统保护电器协调动作的分析资料”。其内容通常包括：

(1) 概述，内容包括电力系统各级实现过电流选择性保护的概况等；

(2) 与过电流选择性保护有关的保护电器的设置及其整定值表；

(3) 电力系统各级保护电器协调动作分析及其时间－电流特性曲线图（上、下数级保护电器的时间－电流特性曲线画在同一图上）。

1.2 定义

1.2.1 除了本社《钢质海船入级规范》第 4 篇有关定义以外，下列定义适用于本指南：

(1) 过电流　over-current

超过额定电流值的任何电流。

(2) 过载　overload

超过额定负载的负载。

(3) 短路 short-circuit

电路中在正常情况下处于不同电压下的两点或更多点之间，通过一比较低的电阻或阻抗的偶然或有意的连接。

(4) 过电流保护电器的过电流保护协调 over-current protective co-ordination of over-current protective device

两个或多个过电流保护电器串联起来，用以保证过电流选择性保护和/或后备保护的实现。

(5) 过电流选择性 over-current discrimination

两个或多个过电流保护电器之间的动作特性的配合。在给定的范围内出现过电流时，指定在此范围动作的保护电器动作，而其他保护电器不动作。

(6) 开关电器 switching device

用于接通或分断一个或几个电路中电流的电器。

注：一个开关电器可以完成一个或两个操作。

(7) 机械开关电器 mechanical switching device

借助可分开的触头的动作闭合和打开一个或多个电路的开关电器。

注：任何机械开关电器可根据触头打开或闭合所处的介质(例如：空气、SF_6、油)来命名。

(8) (机械的)断路器 circuit breaker (mechanical)

能接通、承载以及分断正常电路条件下的电流，也能在规定的非正常电路 (例如短路)下接通、承载一定时间和分断电流的一种机械开关电器。

(9) 塑料外壳式断路器 molded case circuit beaker

具有一个用模压绝缘材料制成的外壳作为断路器整体部件的断路器。

(10) 壳架等级电流 frame size

表示一组断路器特性的术语，其结构尺寸对几个电流额定值者相同。壳架等级电流以相应于该组电流额定值的最大值表示。在一壳架等级中，宽度可随极数而不同。

注：此定义不包含尺寸标准化。

(11) (机械开关电器的)脱扣器 release (of a mechanical switching device)

与机械开关电器相连的、用它来释放保持机构而使开关电器打开或闭合的部

件。

(12) 过电流继电器或脱扣器　over current relay or release

当继电器或脱扣器中的电流超过预定值时，使机械开关电器有延时或无延时地动作的继电器或脱扣器。

注：在某些情况下，预定值取决于电流的上升率。

(13) 短路脱扣器　short - circuit release

用作短路保护的过电流脱扣器。

(14) 短延时短路脱扣器　short - time short-circuit release

用于在短延时结束后动作的过电流脱扣器。

(15) 瞬时继电器或脱扣器　instantaneous relay or release

无任何人为延迟动作的继电器或脱扣器。

(16) 定时限过电流继电器或脱扣器　definite time-delay relay or release

经一定延时后动作的过电流继电器或脱扣器，其延时动作时间可以调整，但不受过电流值的影响。

(17) 反时限过电流继电器或脱扣器　inverse time-delay relay or release

经一定延时后动作的过电流继电器或脱扣器，其延时动作时间与通过的过电流成反比。

注：上述继电器或脱扣器应设计成在较高电流时接近 1 个确定的最小值。

(18) 分励脱扣器　shunt release

由电压源激励的脱扣器。

注：电压源可与主电路电压无关。

(19) (过电流继电器或脱扣器的)动作电流　operating current (of a over-current relay or release)

当电流等于或大于此值时，继电器或脱扣器能动作的电流值。

(20) (过电流或过载继电器或脱扣器的)电流整定值　current setting (of a over- current overload relay or release)

与继电器或脱扣器的动作特性有关，且用来确定继电器或脱扣器动作的主电路电流值。

注：继电器或脱扣器可有一个以上的电流整定值，整定值可用可调的刻度盘、可更换的加热器等方式确定。

(21)（过电流或过载继电器或脱扣器的）电流整定值范围 current setting range (of a **over-current overload** relay or **release**)

可调整的继电器或脱扣器电流整定值的最大值与最小值之间的范围。

(22) 熔断器 fuse

当电流超过规定值足够长的时间，通过熔断一个或几个特殊设计的和成比例的溶体分断此电流，由此断开其所接入电路的电器。熔断器由形成完整电器的所有部件组成。

(23) 熔断体 fuse-link

带有熔体的熔断器部件，在熔断器熔断后可以更换。

(24) 熔体 fuse-element

在熔断器动作时熔化的熔断器部件，熔断体可以由几个并联的熔体组成。

(25) 指示器 indicator

指示熔断器是否动作的部件。

(26) 撞击器 striker

熔断体的机械部件。当熔断器动作时释放所需的能量，以促使其他部件或指示器动作，或者提供互锁。

(27)（熔断器的）弧前时间 pre-arcing time (of a fuse)

从一个足够使熔断体熔化的电流出现至电弧产生的瞬间之间的时间间隔。

(28) (一极或熔断器的) 燃弧时间 **arcing time (of a pole or fuse)**

从开关电器一极或熔断器电弧产生的瞬间起，至该极或熔断器中电弧最终熄灭之间的时间间隔。

(29) (多极开关电器的) 燃弧时间 **arcing time (of multi pole switching device)**

从第一个电弧产生的瞬间起，到所有极电弧最终熄灭的瞬间止的时间间隔。

(30) (机械开关电器的) 断开时间 **opening time (of** mechanical switching device)

开关电器从断开操作开始瞬间到所有极的弧触头都分开瞬间为止的时间间隔。

对断路器而言：

— 直接动作的断路器，断开开始的瞬间是指电流增大到足以导致断路器动作开始的瞬间；

— 利用任何辅助电源动作的断路器，断开开始的瞬间是指辅助电源施加于断开脱扣器的开始瞬间。

注： ① 断开操作开始的瞬间，即发出断开指令(例如施加脱扣电流等)的瞬间。

② 对于断路器，“断开时间”通常被称为“脱扣时间”。严格地说脱扣时间是表示断开操作开始的瞬间到断开命令变成不可逆的瞬间之间的时间间隔。

(31) 分断时间 break time

从开关电器的断开瞬间(或熔断器的弧前时间)开始时起，到燃弧时间结束瞬间止的时间间隔。

注：①为了防止产生歧义，本指南称“全分断时间”。

②对于熔断器，另有“熔断时间 operating time”术语，其含义为“弧前时间和燃弧时间之和”。实质上与术语“分断时间”是一致的。

(32) (开关电器的) 接通能力 making capacity (of a switching device)

在规定的使用和性能条件下，开关电器在规定的电压下能接通的预期接通电流值。

注：① 规定的电压和条件见有关产品标准。

② 短路接通能力见(34)。

(33) (开关电器的或熔断器的) 分断电流 breaking current (of a switching device or a fuse)

在规定的使用和性能条件下，开关电器或熔断器在规定电压下能分断的预期分断电流值。

注：① 规定的电压和条件见有关产品标准。

② 对交流电流，用交流分量对称方均根值表示

③ 短路分断能力见(35)。

(34) 短路接通能力 short-circuit making capacity

在规定的条件下，包括开关电器出线端短路在内的接通能力。

(35) 短路分断能力 short-circuit breaking capacity

在规定的条件下，包括开关电器出线端短路在内的分断能力。

(36) 极限短路分断能力 ultimate short - circuit breaking capacity

按规定的试验程序所规定的条件，不包括断路器连续承载其额定电流能力的短路分断能力。

(37) 运行短路分断能力 service short-circuit breaking capacity

按规定的试验程序所规定的条件，包括断路器连续承载其额定电流能力的短路分断能力。

(38) 短时耐受电流　short-time withstand current

在规定的使用和性能条件下，电路或在闭合位置上的开关电器在指定的短时间内所能承载的电流。

(39) 主汇流排　main busbar

由主发电机直接供电的汇流排。

(40) 低压主汇流排　low-voltage main busbar

在采用较高电压的主发电机时，通过变压器将其变为较低电压，直接（不再经变压器变压）对船舶正常操作和满足正常居住条件所需的电力辅助设备供电的汇流排。

(41) 灵敏系数　sensitivity coefficient

表征保护电器动作灵敏性的系数。对过电流保护电器而言，可表示为：

灵敏系数 = 金属性短路的最小短路电流计算值 / 保护电器的动作整定值。

注：这里的“最小短路电流计算值”，系指在单台最小发电机供电情况下，被保护电路末端短路时的短路电流计算值。

1.3 符号和代号

1.3.1 本指南采用下列符号和代号

本指南所采用的符号和代号如表 1.3.1 所示。

符号和代号　　表 1.3.1

符号或代号	名 称 或 含 义
U_e	额定工作电压
I_n①	额定电流
I_r	脱扣器电流整定值
I_{cn}	额定短路分断能力
I_{cm}	额定短路接通能力
I_{cu}	额定极限短路分断能力
I_{cs}	额定运行短路分断能力
I_{cw}	额定短时耐受电流
i_p	峰值短路电流(峰值)
I_{ac}	对称短路电流

MCCB	塑料外壳式断路器
MCB	小型塑料外壳式断路器，例如壳架等级小于 63A 的塑料外壳式断路器
ACB	开启式断路器，是指保护功能较 MCCB 齐全的断路器。俗称“框架式断路器”
LTD 保护	长延时过载保护
STD 保护	短延时短路保护
INST 保护	瞬时短路保护
G 保护	接地故障保护
注：表中电流凡标为大写“I”者，均为有效值。	

第 2 章　　常用保护电器及其选择

2.1 概述

航行在海、河中的船舶，相当于运动着的陆上小城镇。与陆上电力系统一样，在船舶电力系统的过电流保护中，广泛使用了各种保护电器，例如仪用互感器、各种保护继电器、熔断器以及断路器等。本社规范规定：应采用具有合适特性的熔断器或断路器作短路保护和过载保护。规范还规定：高压发电机和容量为 1500kVA 及以上的低压发电机，应配备一合适的保护装置或系统，以能在发电机内部或发电机至其断路器之间的供电电缆发生短路的情况下，使发电机灭磁并使其断路器分断。

如前所述，熔断器和断路器是船舶电力系统中常用的保护电器，此外通常采用差动保护继电器作大容量发电机、电动机(例如：电力推进电动机)和大容量电力变压器的内部故障保护。本章内容是将它们的功能、组成、基本特性及其用作过电流保护的选择要求，作一概括的介绍。

熔断器和断路器都有交流、直流和低压、高压(交流大于 1000V、直流大于 1500V)之分，本章以下内容仅涉及交流低压熔断器和断路器。

低压熔断器和断路器的制造所依据的标准有：

IEC60947-2 (GB14048.2[①])《低压开关设备和控制设备 第 2 部分：低压断路器》

IEC60269-1(GB13539.1)《低压熔断器 第 1 部分：基本要求》

IEC60269-2(GB13539.2)《低压熔断器 第 2 部分：专职人员使用的熔断器的补充要求(主要用于工业的熔断器)》

IEC60269-2-1(GB13539.6)《低压熔断器 第 2 部分：专职人员使用的熔断器的补充要求(主要用于工业的熔断器)第 1 至 5 部分：标准化熔断器示例》

2.2 断路器

2.2.1 功能

[①] 此项 GB 标准等同采用 IEC60947-2 标准。下同。

断路器是一种能接通、承载以及分断正常电路条件下的电流；也能在规定的非正常电路 (例如短路)下接通、承载一定时间和分断电流的一种机械开关电器。

这里的“机械开关电器”，是指借助可分开的触头的动作闭合和打开一个或多个电路的开关电器。相对地还有另一种：利用半导体的导电可控性接通和(或) 阻断电路电流的“半导体开关电器”。船舶电力配电系统中不使用“半导体开关电器”。

隔离和过电流保护是断路器的两项基本功能，其过电流保护是自动实现的，在流过其所在电路的电流超过整定值时，即自动跳闸切断其所保护的故障电路。因此，国内过去称为“自动开关”。

2.2.2 分类

(1)按使用类别分：如表 2.2.2.1 所示，分为 A 类或 B 类。

断路器的使用类别　　表 2.2.2.1

使用类别	选择性的应用
A	在短路情况下，断路器无明确指明用作串联在负载侧的另一短路保护电器的选择性保护。即在短路情况下，选择性保护无人为短延时，因而无“额定短时耐受电流”指标
B	在短路情况下，断路器明确指明用作串联在负载侧的另一短路保护电器的选择性保护。即在短路情况下，选择性保护有人为短延时(可调节)，这类断路器具有“额定短时耐受电流”指标

(2)按分断介质分，例如：

－空气分断；

－真空分断；

－气体分断。

船用低压断路器都采用空气分断，一般称空气断路器。

(3)按设计型式分，例如：

－开启式(以前国内称“万能式”或“框架式”，本指南代号为“ACB”)；

－塑料外壳式(本指南代号为“MCCB” 或“MCB”)。

(4)按操作机构的控制方法分，有：

－有关人力操作；

－无关人力操作；

－有关动力操作；

－无关动力操作；

－储能操作。

(5)按是否适合隔离分：

－适合隔离；

－不适合隔离。

(6)按安装方式分，例如：

－固定式；

－插入式；

－抽屉式。

(7)按极数分：

－2 极；

－3 极；

－4 极。

2.2.3 结构和组成

低压断路器由下列几个主要部分组成(参见图 2.2.3)：

(1) 固定的和移动的触头；

(2) 灭弧室；

(3) 自由脱扣机构；

(4) 过电流脱扣器和其它脱扣器(例如欠电压脱扣器等)；

(5) 进、出线接线端子；

(6) 与自由脱扣机构相连的手柄；

(7) 其它电气附件，例如辅助触头、电动合闸机构(小规格除外)以及指示和测量环节(电子脱扣器的常用选件)等。

其中过电流脱扣器是断路器的神经中枢，当它感受到故障过电流时，就触动自由脱扣机构使其脱扣，切断故障电路。现有热磁脱扣器和电子脱扣器两种，前者是断路器的经典产品，现一般仅塑壳式断路器有这种产品。其脱扣器由两部分组成：一是由双金属片组成的热元件，在流过过载电流时，该热元件发生变形触动自由脱扣机构，使断路器脱扣。这一加热过程至断路器脱扣，时间较长，达几十秒钟至几分钟，故称“长延时”，英文缩写为“LTD”；其二实际上是个电磁铁，在强大的短

路电流作用下该电磁铁触动了，使断路器快速脱扣，故称“瞬时”，英文缩写

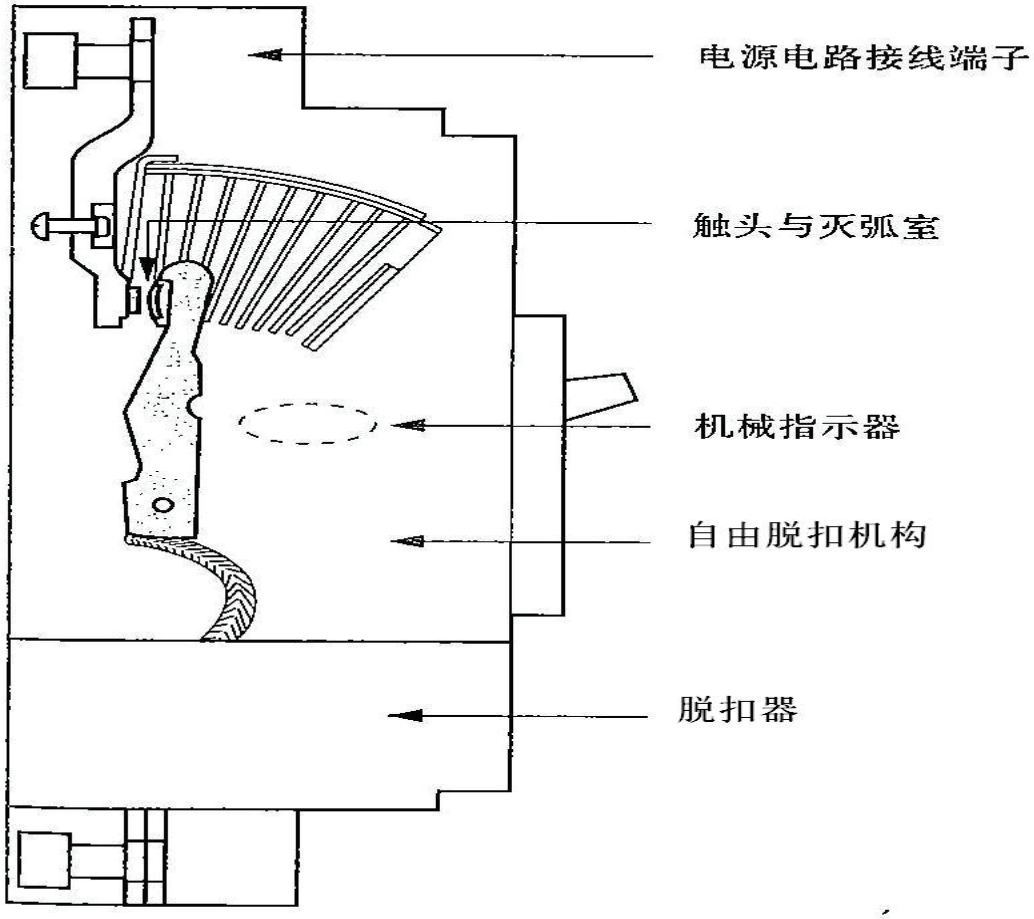


图 2.2.3　低压断路器的主要组成部分示意图

为“INST”。电子脱扣器是近几十年来的新产品，是电子和电子计算机技术发展成果的应用。与热磁脱扣器相比，具有保护功能齐全：过电流保护有LTD、STD和INST三段保护[①]，以及需要时还可很方便地增加接地故障保护；整定调试方便、受温度影响相对较小等特点。因而获得广泛的应用，装有电子脱扣器的断路器的份额也越来越大，这也为船舶电力系统过电流选择性保护的实现提供了有利条件。

近年来，随着计算机技术的快速发展，有些断路器除了保护功能以外，还具备如测量(包括电能质量分析)、诊断、通信、控制和监视等功能。

2.2.4 基本特性

(1)基本参数

[①] 除了某些产品（例如 2.2.4(4)所述 NS 系列 800A 以下 MCCB）以外，根据实际需要，可以选用只具有 LTD、STD 两段保护的断路器。

额定工作电压 U_e

断路器在正常（不间断的）情况下工作的电压。

额定绝缘电压 U_i

这是电介质测试电压(通常大于 $2U_i$)和爬电距离所涉及的电压值。额定工作电压的最大值不得超过额定绝缘电压，即 $U_e \leqslant U_i$ 。

额定电流 I_n

这是配有专门的过电流脱扣器的断路器，在制造厂规定的环境空气温度下，所能连续承受的最大电流值，不会超过电流承受部件规定的温度限值。

壳架等级电流

配备有不同电流整定值过电流脱扣器的断路器，其最高的过电流脱扣器所能整定的电流值。

过载脱扣器脱扣电流整定值 I_r

通常过载脱扣器都是可调的，电流超过脱扣电流整定值 I_r ，断路器就会跳闸。它还代表着断路器不跳闸时所能承受的最大电流。该 I_r 值应大于最大负载电流，但小于电路所允许的最大电流。

热脱扣器通常可在 $0.7 \sim 1.0I_n$ 范围内调整，而电子脱扣器，其调整范围会更大，通常可在 $0.4 \sim 1.0I_n$ 范围内调整。

短路脱扣器(瞬时或短延时)脱扣电流整定值 I_i 或 I_{sd}

短路脱扣器(瞬时或短延时)用于短路电流出现时，使断路器快速跳闸，其电流整定值为 I_i 或 I_{sd} 。某公司典型产品短路脱扣器的脱扣电流整定值或整定范围如表 2.2.4 所列，其它产品详见其产品样本。

某公司典型产品短路脱扣器脱扣电流整定值　　表 2.2.4

脱扣器类型	短延时脱扣	瞬时脱扣
热磁	—	固定值：$I_i = 7 \sim 10I_n$
		可调范围： －低整定值：$2 \sim 5I_n$ －高整定值：$5 \sim 10I_n$
电子	$1.5I_r \leqslant I_{sd} < 10I_r$	$I_i = 12 \sim 15I_n$

(2)时间－电流特性曲线

这是描绘断路器在遇到过电流故障时，自动分断所需的时间相对于流过它的

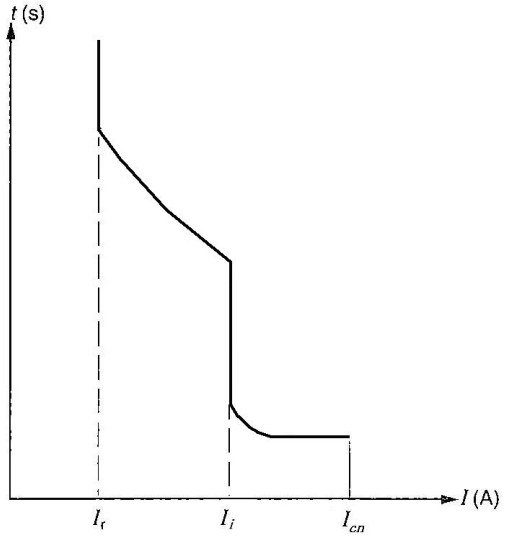


图 2.2.4a　热磁脱扣器断路器的时间－电流特性曲线示意图

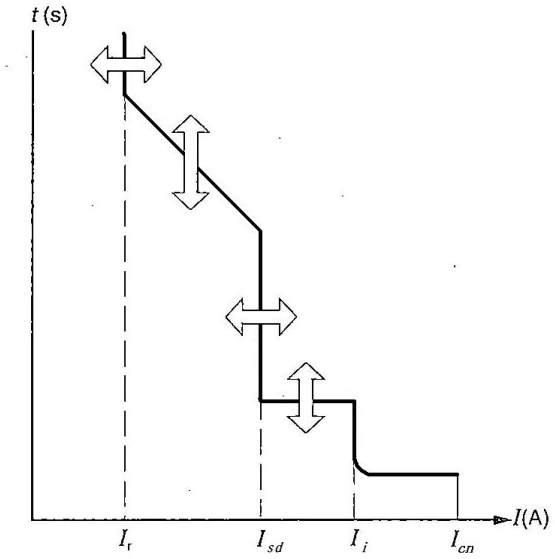


图 2.2.4b　电子脱扣器断路器的时间－电流特性曲线示意图

电流的关系曲线。这一特性曲线都是以电流 I 为横坐标，时间 t 为纵坐标，两个坐标轴均应采用对数坐标。断路器的时间－电流特性曲线示意图如图 2.2.4a 和图 2.2.4b 所示。由于工厂制造误差和环境空气温度的影响，这一时间－电流特性曲线，实际上都呈带状。

断路器产品的时间－电流特性曲线都画在双对数坐标纸上，图 2.2.4c 为日本寺崎电气公司 AT 系列 ACB 产品的时间－电流特性曲线。图 2.2.4d 为施耐德电气公司 NS 系列 MCCB 产品的时间－电流特性曲线。

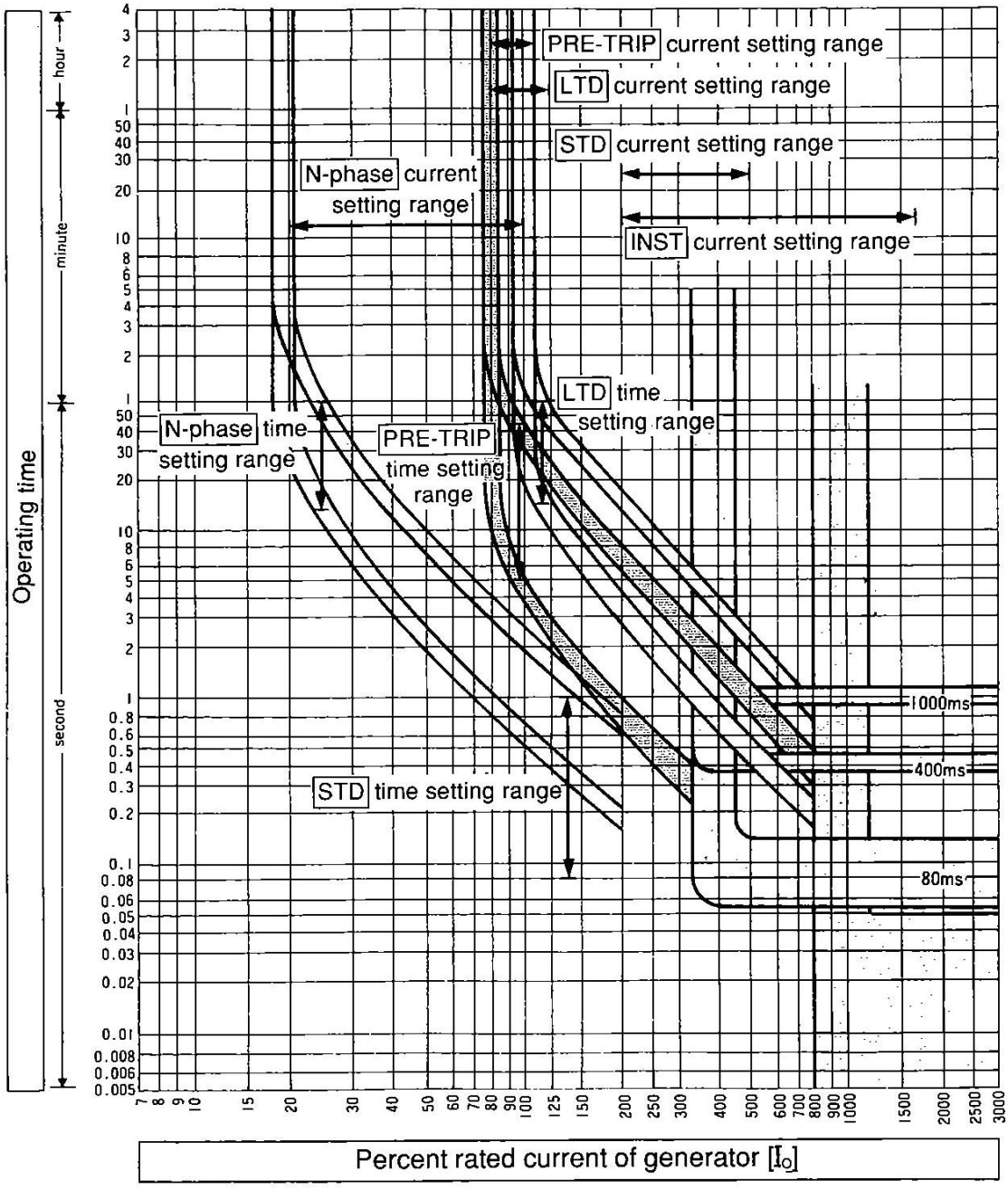


图 2.2.4c　XX 系列保护发电机 ACB 产品的时间－电流特性曲线

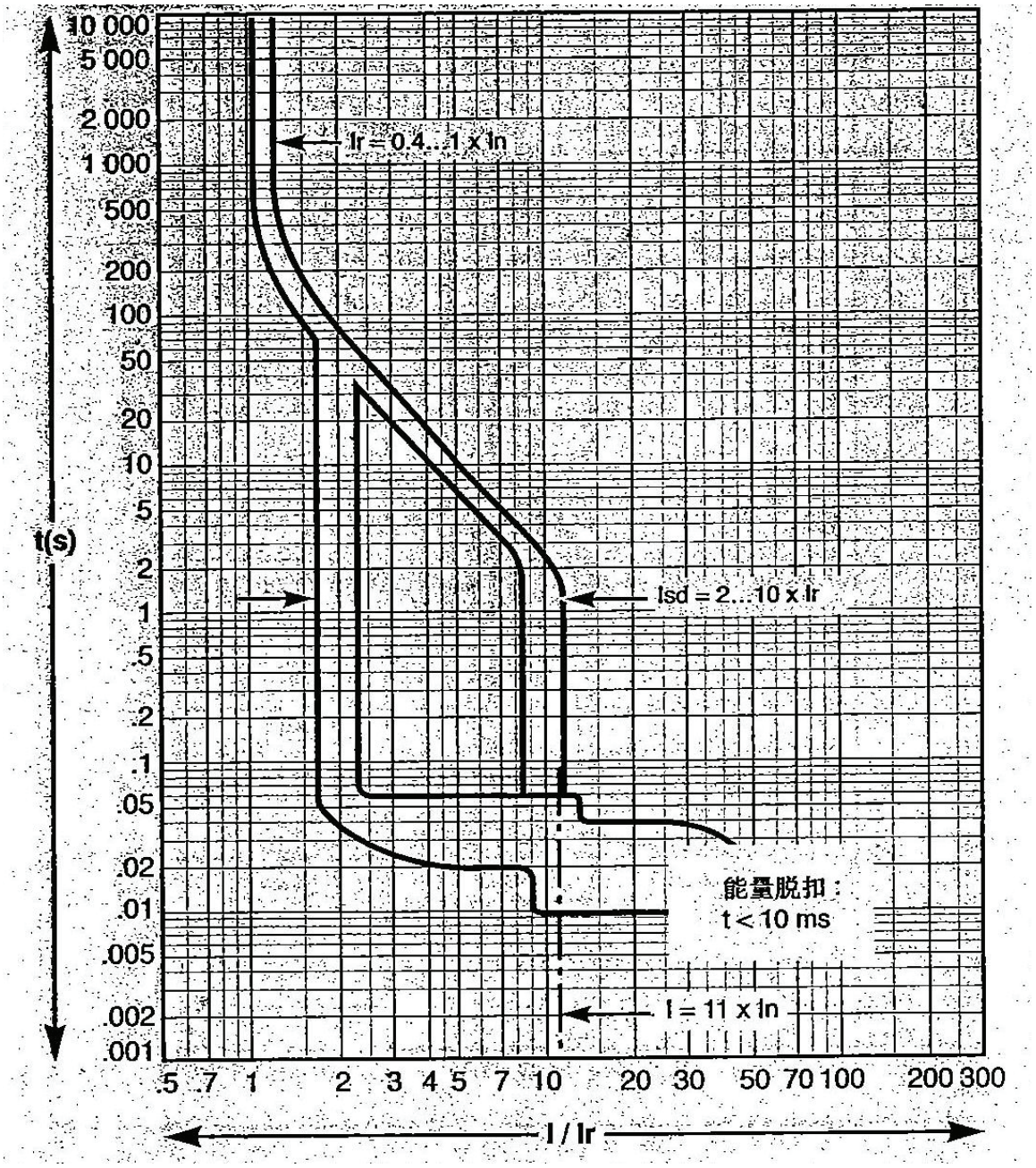


图 2.2.4d　XX 系列 MCCB 产品的时间－电流特性曲线

(3) 限流性能

经特殊设计的断路器，在通过其中短路电流所产生的电动斥力作用下，使其触头快速(例如 3~5ms)分断，以致这一短路电流尚未达到峰值时即被切断，达到了阻止预期最大短路电流的通过，只允许限定的电流通过的目的，其限流作用如图 2.2.4e 所示。

使用限流断路器具有：更好地保护设备和电缆、减小热效应、减小机械应力、减小电磁干扰效应以及减小对测量器件和电信系统的影响等优点。

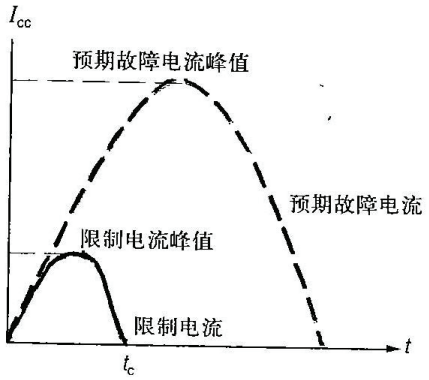


图 2.2.4e　预期电流和实际电流

(4) “能量脱扣”技术

据了解现有一种 MCCB 产品，具有独特的双旋转触头等结构和措施，因而具有优越的限流性能，并在大短路电流下能实现“能量脱扣”，从而实现短路选择性保护。详见本指南 3.1.2(4)的介绍。

2.2.5 断路器的选择

如前所述，断路器可作过载保护和短路保护。对断路器的选择本社规范有较明确的规定，详见本社《钢质海船入级规范》第 4 篇 2.5.3～2.5.5 的规定。

在这里要特别强调的是对其短路定额的要求：

(1) 额定运行短路分断能力 I_{cs}

重要设备电路若采用瞬时分断的断路器，则应以其额定运行短路分断能力 I_{cs} 考核，应不低于其安装点所应分断的最大预期短路电流。对于交流系统，则应不低于其安装点所应分断的最大预期对称短路电流 I_{ac}(有效值)。

I_{cs} 与 I_{cu} 的不同之处，首先是断路器进行短路分断能力试验程序上有区别，前者为：O — t — CO — t — CO；后者为：O — t — CO 。

注：这里的“O”表示断路器一次断开操作；“CO”表示闭合操作后，经一适当的时间间隔紧接着一次分断操作；“t”是两个相继的短路试验操作之间的间隔时间，该间隔时间应为 3min 或断路器的复位时间(选择较长者)。

再则便是试验后是否能承载额定工作电流。

显而易见，达到 I_{cs} 要求的断路器比达到 I_{cu} 要求的断路器具有更高的使用可靠性。对要求具有供电连续性的重要设备电路中的断路器，以 I_{cs} 作考核要求是理所当然的。现在已有不少 MCCB 产品能做到 I_{cs} = 100% I_{cu} 。

(2) 电力系统中实际短路功率因数低于选用断路器的试验功率因数问题

对于离发电机较近的断路器，有个其所在电路的短路功率因数低于选用断路器的试验功率因数问题。本社规范对此有“应将其分断能力相应地减小” 的要求。这可按其额定短路接通能力应不低于其安装点的预期最大峰值短路电流 i_p 为准选择断路器即可。即在此情况下，只要额定短路接通能力满足要求了，则额定短路分断能力就自然满足了要求。但在有些断路器样本中仅给出额定短路分断能力，无额定短路接通能力数据。在此情况下，可由表 2.2.6 确定“n” 值，则其额定短路接通能力即可按下式估算得出：

额定短路接通能力 = n × 额定短路分断能力 。

与短路功率因数有关的比值n [①]　　表 2.2.5

额定短路分断能力 I_{cn} kA (有效值)	短路功率因数	n(要求的最小值)
$I_{cn} \leqslant 3$	0.9	1.42
$3 < I_{cn} \leqslant 4.5$	0.8	1.47
$4.5 < I_{cn} \leqslant 6$	0.7	1.5
$6 < I_{cn} \leqslant 10$	0.5	1.7
$10 < I_{cn} \leqslant 20$	0.3	2.0
$20 < I_{cn} \leqslant 50$	0.25	2.1
$50 < I_{cn}$	0.2	2.2

(3)断路器的短时耐受电流 I_{cw}

为实现短路选择性保护，往往需要选用具有 STD 保护的断路器，则该断路器的额定短时耐受电流(I_{cw})，应不低于其安装点其触头分断瞬间最大预期短路电流。对此需注意如下几点：

①这里的“触头分断瞬间”，系指断路器 STD 保护的时间整定值。例如：保护发电机断路器的 STD 的时间整定值为 0.4s，即应以主汇流排处 0.4s 时的最大预期对称短路电流值，来校核该断路器的 I_{cw} ；

②接下来是如何确定这一时刻的短路电流值？例如上例中的 0.4s 应是短路故障发生后的 0.4s，可认为此时已进入了发电机的稳态短路阶段。如无确切的发电机

[①] 来自国际标准 IEC60947-2，2006。其中第 1，2 行所列数据来自这一国际标准的老版本。

稳态短路电流值的情况下，其稳态短路电流值可取为 3 倍发电机额定电流。

同样如断路器的安装点在主汇流排上和主汇流排至安装点线路阻抗较小(例如该线路阻抗约为发电机稳态阻抗的 25%)之处，如其 STD 的时间整定值不短于 0.15s，则均可按发电机稳态短路电流加以估算；如其 STD 的时间整定值为 0.1s 左右，则可按本社《钢质海船入级规范》第 4 篇附录 1 所提供的计算方法，计算其安装点处 0.1s 的对称短路电流值，来校核断路器的 I_{cw}；

③本指南 2.1 所述断路器产品标准，对断路器与额定短时耐受电流相应的短延时时间的优选值规定为：0.05－0.1－0.25－0.5－1.0s 。具体产品一般规定 0.5s 和 1.0s，也有规定为 0.3s 的，又无适当的修正系数；加上对船舶电力系统而言，现有 MCCB 的 I_{cw}值偏低。这就给选择适当的 MCCB 带来困难。

对此，如在电力系统中实际使用的 STD 时间整定值小于产品给定的时间值。例如：在实际使用断路器的 STD 时间整定值为 0.1s，而制造厂给出对应于断路器 I_{cw} 的时间值为 0.3s、0.5s 或 1.0s 的情况下，则可根据船舶主发电机设置情况，按满足最大需要功率可能并联运行(非并联连接)的所有发电机馈送的短路电流计算值，来校核所选用断路器的 I_{cw}是否满足要求即可。

2.3 熔断器

2.3.1 熔断器及其工作原理

如前所述，与断路器一样，熔断器也是船舶电力系统中常用的过电流保护电器之一。熔断器也是一种机械开关电器，当电流超过规定值足够长时间，通过熔断一个或几个特殊设计的和成比例的熔体分断此电流，由此断开其所在电路的电器。

其分断电流的原理是：由精心设计的易熔合金制成的熔体串联在电路中，正常电流流过时熔体温度正常，不会熔化。而在过载或短路电流的作用下熔体的温度升高，使熔体熔化。其熔化的速度(或时间)决定于故障电流大小，流过的电流越大，切断电路的时间就越短。

2.3.2 熔断器的组成和基本参数

熔断器的基本结构由熔断器底座(又称熔断器支架)、熔断体(带有熔体)和接线端子组成。此外，熔断器还可带有撞击器和熔断指示器等附件。

熔断体的基本参数有额定电压、额定电流和熔体额定电流。熔断器底座的基本

参数有额定电压和额定电流。

2.3.3 熔断器的时间－电流特性

有两种类型的时间－电流特性：一是在规定的熔断条件下，作为预期电流函数的弧前时间或熔断时间的时间－电流特性；二是在规定的熔断条件下，最小弧前时间－电流特性和最大熔断时间－电流特性所包容范围的时间－电流带。

某类型熔断器的时间－电流带如图 2.3.3 所示。

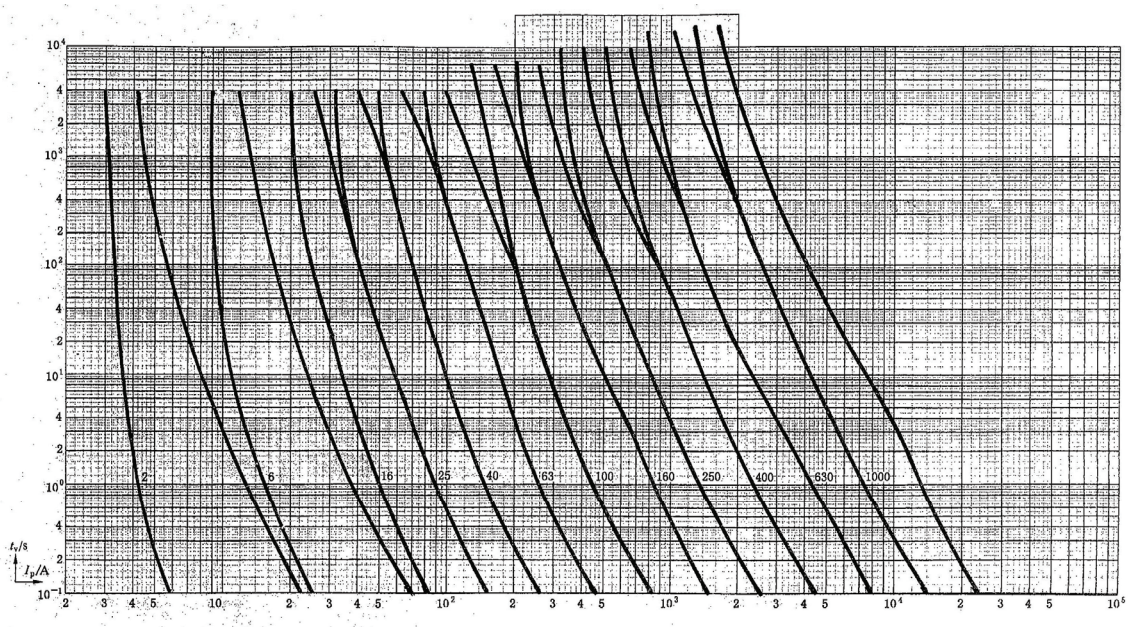


图 2.3.3 某类型熔断器的时间－电流带

2.3.4 熔断器在船舶上的应用

如前所述，规范有“应采用熔断器作短路保护，具有合适特性的熔断器作过载保护”的明文规定。由于熔断器在过电流选择性保护方面的非凡优越性，在上个世纪中后期，特别是在西欧的船舶电力系统中得到广泛应用。但由于其存在作过载保护方面的欠缺，增加管理人员的工作量等缺陷，并随着近代断路器制造技术的发展，其保护性能的完善化。特别是在国内，除在应急照明电路和特低电压电路中采用熔断器以外，只是在控制和仪表电路中有所应用。

鉴于这种情况，本指南第 3 章中，配电系统各级以采用断路器为主，仅限特殊需要时采用熔断器作保护。

2.4 差动保护继电器

2.4.1 差动保护工作原理

船舶电力系统中短路、过流、过载保护的基本工作原理，均表现为从故障电流流入端切断故障线路或设备以实现保护。由于船舶电力网络的特殊性，较难区分故障发生在线路的上下级,但从系统运行可靠性出发，要求能够明确区分系统中发生的任何现象的具体区域。对故障电流要求保护电器从故障开始到故障切除的整个过程能够快速可靠，差动保护可实现从被保护设备的所有引出端子（如发电机定子绕组相引出端子等）检测故障的现象，准确判断故障发生在被保护区域之内或被保护区域之外。当故障发生在被保护区域之内时，差动保护应瞬时动作切除故障；当故障发生在被保护区域之外时，差动保护决不动作，以确保系统保护的快速性和选择性。

差动保护利用检测比较被保护各端子电流幅值和相位的原理构成的。以图2.4.1 为例，设被保护设备有 n 个端子，并设流入各端子电流为正，则当被保护设

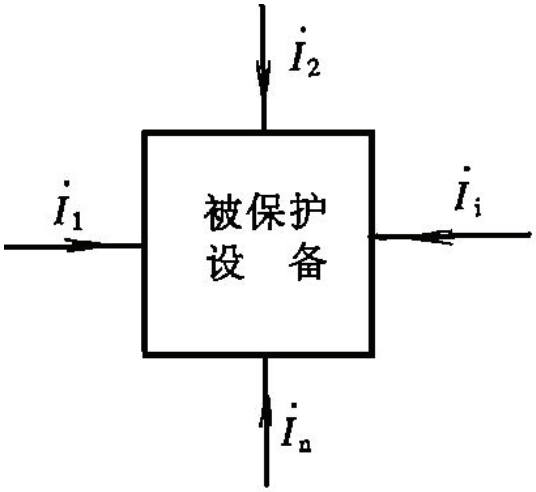


图 2.4.1　差动保护原理示意图

备本身无故障（包括正常运行和外部故障）时：

$$\sum_{i=1}^{n} \dot{I}_i = 0$$

即流入设备电流之和等于流出设备电流之和。

当被保护设备本身内部发生短路故障时，其短路点将成为一个新的端子。此时则有：

$$\sum_{i=1}^{n} \dot{I}_i = \dot{I}_d$$

式中：　$\dot{I}_d$　—　短路点的短路电流。

由于被保护设备的主电路电流必需经电流互感器才能引入差动保护继电器，设电流互感器的电流变比为 $n_{CT,}$，则被保护设备在正常运行或其有外部故障的情况下，其电流互感器二次电流之和：

$$\sum_{i=1}^{n} \dot{I}_i \Big/ n_{CT} \geq 0$$

这主要是由于作为检测元件电流互感器的存在，位于各端子的电流互感器铁芯工作状态及二次侧连接导线截面长度的差异均会导致诸端子的激磁电流不等，而出现了稳态工作时的不平衡电流及外部故障的暂态不平衡电流。

当被保护设备本身发生短路故障时，将有电流互感器二次电流之和为：

$$\sum_{i=1}^{n} \dot{I}_i \Big/ n_{CT} = \dot{I}_d \Big/ n_{CT}$$

通常 $\dot{I}_d$ 值很大，差动保护继电器将能够灵敏快速动作。

2.4.2 比率制动型差动保护继电器

如上所述，差动保护继电器在其外部短路时实际 $\sum \dot{I} \Big/ n_{CT} \neq 0$，而是存在稳态不平衡电流和暂态不平衡电流。为了防止其产生误动作，可以设定差动保护继电器的动作电流大于不平衡电流，但这种做法必然会降低内部短路时保护动作灵敏度。对发电机和变压器的保护，通常采用具有制动特性的比率差动型保护继电器。

用于保护发电机的比率制动型差动保护继电器原理图如图 2.4.2 所示，由两部分组成：动作部分和制动部分。

动作部分接于差动回路的电抗变压器 T_1，其左边绕组 W_{T1}（绕组匝数为 W_{T1}）流过差动电流 $\dot{I}_{T1}$，其安匝为 $\dot{I}_{T1} W_{T1}$，对差动保护继电器起动作用。

制动部分接于二次回路的电抗变压器 T_2，它有两个初级绕组 W_{T21} 和 W_{T22}（绕组匝数分别为 W_{T21} 和 W_{T22}）。分别流过电流 $\dot{I}'_{T2}$ 和 $\dot{I}''_{T2}$。如图 2.4.2 所示，T_2 的初级安匝为 $\dot{I}'_2 W_{T21} - \dot{I}''_2 W_{T22}$，使差动保护继电器制动。

在发生内部或外部故障的情况下：

(1)在发电机内部发生短路时

$\dot{I}_{T1}=\dot{I}_2^{'}+\dot{I}_2^{''}=\dot{I}_{in}\big/n_{CT}$ ；

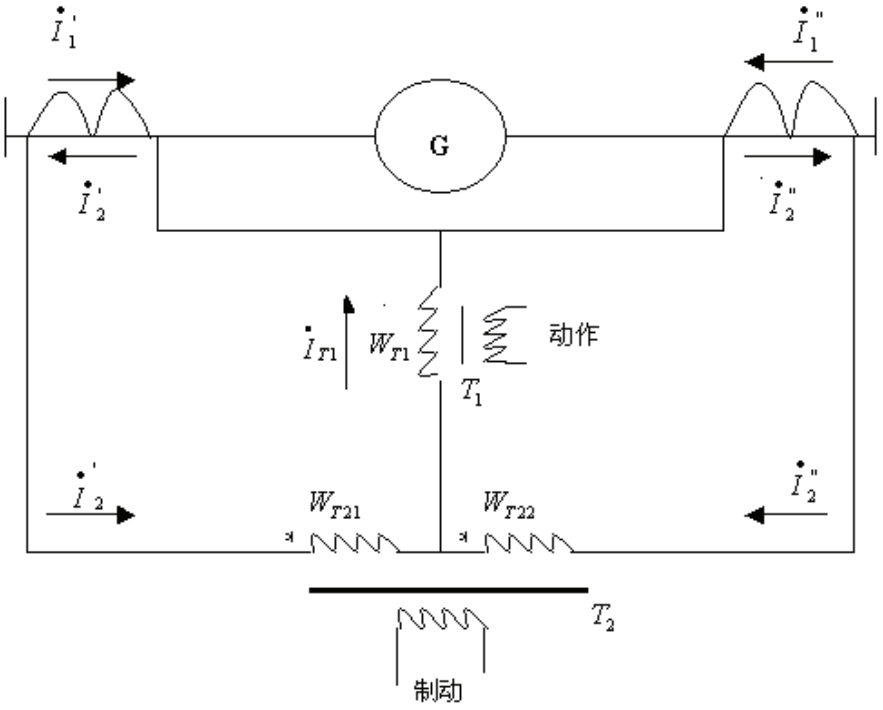


图 2.4.2 用于发电机的比率制动型差动保护继电器原理图

式中：$\dot{I}_{in}$ — 被保护设备的内部短路电流。

则动作安匝为 $W_{T1}(\dot{I}_2^{'}+\dot{I}_2^{''})=W_{T1}\dot{I}_{in}\big/n_{CT}$ ；

而制动安匝为 $\dot{I}^{'}{}_2W_{T21}-\dot{I}^{''}{}_2W_{T22}$ ，

设 $W_{T21}=W_{T22}=0.5W_{T1}$，

则制动安匝等于 $0.5W_{T1}(\dot{I}_2^{'}-\dot{I}_2^{''})$。

可见动作安匝远大于制动安匝，差动保护继电器灵敏动作，且其动作电流与被保护设备的内部短路电流成比例关系。

(2)在发电机外部发生短路时

由于$\dot{I}_1^{''}=-\dot{I}_1^{'}$，则$\dot{I}_2^{''}\approx-\dot{I}_2^{'}$，

此时动作安匝为 $W_{T1}\dot{I}_{T1}=W_{T1}(\dot{I}_2^{'}+\dot{I}_2^{''})\approx 0$ 。

而制动安匝为

$$0.5W_{T1}(\dot{I}_2^{'}-\dot{I}_2^{''})=0.5W_{T1}\times 2\dot{I}_2^{'}=W_{T1}\dot{I}_2^{'}=W_{T1}\dot{I}_{out}\Big/n_{CT}\ 。$$

式中：$\dot{I}_{out}$ — 外部短路电流。

显而易见，此时制动作用远大于动作作用,差动保护继电器不动作。且其制动电流与被保护设备的外部短路电流成比例关系，这种动作特性称为比率制动工作特性。

2.4.3 差动保护继电器用电流互感器的选择

差动保护继电器的正确工作与所用电流互感的特性有着紧密关系，互感器铁芯的非线性（饱和）是主要问题。在外部短路的整个暂态过程中，差动保护用的互感器铁芯完全工作在线性区域是不可能的，但是通过各种技术措施，使非线性引起的误差限制在工程所允许的范围内（通常不大于 10%）是可行的。

实际工程中，一般都由差动保护继电器的生产厂家来确保电流互感器的性能。

2.4.4 差动保护继电器的选择和整定

(1)发电机的差动保护

①无制动特性的差动保护

差动保护继电器的最小动作电流 $I_{G.\min}$，应大于外部短路时的最大不平衡电流 $I_{unb.\max}$，即：

$$I_{G.\min}>I_{unb.\max}$$

其中 $I_{unb.max}$ 可由下式求得：

$$I_{unb.\max}=K_{B1}K_{B2}K_{B3}K_{\Delta}I_{out.\max}\Big/n_{CT}$$

式中： $I_{out.\max}$ — 外部最大短路电流(对称短路电流)。

K_{B1} — 可靠系数。通常取 $K_{B1}\approx 1.3$。

K_{B2} — 直流分量系数。通常取 $K_{B2}\approx 1\sim 1.4$。

K_{B3} — 两侧电流互感器同型系数。$K_{B3}=0.5$。

K_{Δ} — 电流互感器二次负载阻抗误差系数：$K_{\Delta}\approx 0.1$。

②具有制动特性的差动保护

差动保护继电器的最小动作电流 $I_{G.\min}$，应大于发电机正常运行时的最大不平衡电流。工程设计中一般取为：

$$I_{G.\min}=(0.1\sim 0.3)I_{nG}/n_{CT}$$

式中： n_{CT} — 电流互感器变比。

I_{nG} — 发电机额定电流。

③差动保护灵敏系数

考虑到发电机单机运行及自同步并联运行时励磁状况分析计算复杂性，差动保护灵敏系数 K_n 可由下式确定：

$$K_n=I_{K2}/(n_{CT}I_{G.\max})$$

式中： I_{K2} — 发电机端两相短路电流。

$I_{G.\max}$ —差动保护继电器的最大动作电流。

则应满足： $K_n\geq 2$ 。

(2)变压器的差动保护

根据系统保护需要，大容量变压器可采用差动保护，并推荐采用具有比率制动特性的差动保护。

其差动保护继电器的最小动作电流 $I_{T.\min}$，可由下式确定：

$$I_{T.\min}=(0.1\sim 1)I_{nT}/n_{CT}$$

式中： I_{nT} — 变压器额定电流

灵敏度一般不需校验

第 3 章　电力系统的过电流选择性保护

3.1 一般要求

3.1.1 过载选择性保护和短路选择性保护

电力系统的过电流选择性保护有过载选择性保护和短路选择性保护之分。由于在船舶电力系统中，除了例如侧向推进器等特大负载，其容量可达 1 台或 1 台以上主发电机容量，则需有一定措施保证安全供电之外，一般情况下，上级馈电线保护电器定额均可达其下一级馈电线保护电器定额的好几倍。实践经验表明：在采用断路器保护的情况下，如其上、下级的过电流脱扣器额定电流之比大于“1.6”时；在采用熔断器保护情况下，如其上级熔断器额定电流为其下级额定电流的 2 倍以上时，即可实现过载选择性保护。如采用其他保护电器，实现过载选择性保护也是没有问题的。因此，以下仅讨论短路选择性保护问题。

3.1.2 短路选择性保护的实现

(1) 一般规定

对实现电力系统短路选择性保护，根据本社规范的相应要求，应做到：

① 除了具有自动转换功能、且由不同分配电板供电的双套重要设备情况以外，所有包含重要设备电路(自电源起至该设备止的整个电路)的短路保护应是选择性保护。其中包含主重要设备电路应获得完全选择性保护，包含次重要设备电路应至少获得部分选择性保护；

② 在满足选择性保护的前提下，应尽可能快地切断故障电路，从而减少对电力系统的影响和发生火灾的危险；

③ 各级保护电器应具有足够的动作灵敏性，这是可靠实现短路选择性保护的前提，其灵敏系数一般不应低于 1.3。为此，必要时需进行单台最小发电机供电情况下，被保护重要设备电路末端：例如尾灯、锚灯和船首部的应急照明灯等处的短路电流计算，以能对其短路保护的动作灵敏性进行校核。

(2) 船舶电力系统短路电流的特点

船舶的尺度是有限的，据了解目前在世界范围内最大船舶的长度不超过350米，而且大部分用电设备集中在机舱和起居处所。因此，与陆上15kV及以下电力系统相比，船舶电力系统有系统相对简单、范围小和线路短 (用电设备大多紧靠发电机)的特点。船舶电力系统的另一特点是其主电源都由几台 (一般为3台) 中小容量的发电机组组成，供电的发电机组台数随船舶工况的不同而有变化。

基于以上情况，决定了船舶电力系统在发生短路故障情况下所产生的短路电流，与陆上15kV及以下电力系统相比有如下三大特点：

① 短路电流值相对较大

在电源设备容量相当的情况下，除了远离发电机处的短路故障以外，所产生的短路电流相对于馈电线保护电器定额的倍数较高。例如：某船的CO_2冷藏压缩机，由低压主汇流排（400V）直接供电，其保护断路器的脱扣器定额为16A，该断路器出线端的峰值短路电流i_p(峰值)的计算值达112.4822 kA，即为该断路器脱扣器定额的近5000倍；又如离低压主汇流排较远处的转舵变频器处，在主电源经应急配电板供电情况下，其i_p(峰值)的计算值为21.5849 kA，也可达到其保护断路器脱扣器定额的61倍。

②除远离发电机的区域外，同一故障点在不同工况下的短路电流值是变化的

为了说明问题，我们选择了4种不同船型中的一些典型点，对电力系统中同一故障点在不同工况下可能出现的短路电流进行了计算。现将计算结果中的最大对称路电流值$I_{ac\ max}$（所有可并联连接发电机供电情况下产生的短路电流）与最小对称短路电流值$I_{ac\ min}$ （单台最小发电机供电情况下产生的短路电流）之比，列于表3.1.2(2)a中。

电力系统中的同一故障点短路电流的变化　　表3.1.2(2)a

短路点位置	某铁路轮渡渡船	某成品油船	某散装货船	某多用途货船
	4 X 2880kW ②	3 X 750kW	2X440kW + 1X312kW	3 X 292kW
	$I_{ac\ max}/I_{ac\ min}$	$I_{ac\ max}/I_{ac\ min}$	$I_{ac\ max}/I_{ac\ min}$	$I_{ac\ max}/I_{ac\ min}$
主汇流排(6600V)	3.67	-③	-	-
主汇流排或低压主汇流排	2.06	3.19	3.44	2.55
应急汇流排	1.71	1.65	2.51	-
其他动力设备端	10号组合起动箱 1.91	操舵动力设备 1.28	应急消防泵 1.21	主机滑油泵 1.56

主照明汇流排	1.07	1.15	1.37	1.21
应急照明汇流排	1.04	1.07	1.21	-
航行灯控制箱	1.00	-	1.02	-
首部照明分配电板	-	1.01	-	1.001
尾灯或前锚灯	1.00	1.00	1.00	1.001
首楼照明灯	-	1.002	1.002	1.001
注：① 所列数据均为在主电源供电情况下的计算结果。 ② 此为该船主发电机装机容量，下同。 ③ 表中的“-”系指该船无此项内容或未计算该点的短路电流。				

需注意的是这里所提及的“远离”，非单纯地指几何距离的“远处”(当然与此有关)。更确切地说，这应该是指短路电路中的电源内阻抗值(发电机或等效发电机内阻抗)只占其总阻抗值(即电路的连接电缆阻抗与电源内阻抗之和)的一小部分，例如 10%或更小的情况。显而易见，在此情况下电源的变化(1 台或多台发电机供电)对电力系统短路电流的影响，已是无足轻重了。

从表 3.1.2(2)所列同一故障点短路电流 $I_{ac\ max}/I_{ac\ min}$ 值可以清楚地看出：

a，在主汇流排或低压主汇流排及其附近(例如机舱内的较大动力设备)，直至离主配电板(或低压主配电板)一般有不少于 4 层甲板距离的应急配电板处，这一比值都达到了“1.5”以上，在某船的主汇流排或低压主汇流排处则可达“3”以上；

b，只是到了主照明汇流排和应急照明汇流排处，因为包含一容量较小的电力变压器(例如 150kVA 及以下)，增大了线路阻抗(计算短路电流时将变压器作为线路阻抗处理)，使之“加大了”其与发电机的距离。使这一比值猛降至不足“1.30”，且随着离主照明汇流排和应急照明汇流排的距离增大而逐步减小，直至降为“1.0”，其短路电流值也大有减少，这就与陆上 15kV 及以下电力系统情况相似了。

③上、下级保护电器所在位置上的短路故障电流值差别不大

这是由船舶电力系统范围小、线路短和大部分用电设备集中在机舱和起居处所的特点所决定的。现选择几个典型位置的短路电流计算值列于表 3.1.2(2)b 中。

几个典型位置的短路电流计算值　　表 3.1.2(2)b

船　型	某多用途货船		某成品油船		某散装货船	
位　置	主汇流排	主机滑油泵	主汇流排	$3^{\#}$电力分配板	主汇流排	应急汇流排
短路电流 Iac (kA)	4.014	3.13	10.87	9.74	6.35	5.47

（3）按时间原则实现短路选择性保护

基于以上对船舶电力系统短路电流特点的分析，并联系到在船上获得广泛应用的断路器的短路保护性能（见第 2 章 2.2），结论是肯定的：除了可采用 “能量脱扣”专利技术的某些区域、个别电路(例如主汇流排至各发电机之间电路)和远离发电机的区域之外。其短路选择性保护，需依靠延长其位于较接近电源的保护电器的分断时间(即按时间原则)来实现。这对于并不复杂的船舶电力系统而言，确实是一种十分可靠，而且设计和施工都相对简单的方案。并由此得出实現短路选择性保护的 3 个基本条件如下：

①所有作短路保护用的开关电器（以下简称短路保护电器）的额定短路分断能力，对重要设备电路用瞬时分断的断路器，应以其额定运行短路分断能力大于其安装点所应分断的最大预期短路电流考核。对于具有短延时的断路器，其额定短时耐受电流应大于其安装点其触头分断瞬间的最大预期短路电流；

②串联连接在电路中的各短路保护电器，任何上、下两级保护电器的分断(熔断)时间应有长、短差别。如在上、下两级都采用同一制造厂的同类熔断器的情况下，则其上级熔断器定额应为其下级定额的 2 倍及以上；在采用断路器的情况下，其上一级断路器一般应具有定时限 STD 保护作短路保护，并使其上一级断路器的可返回

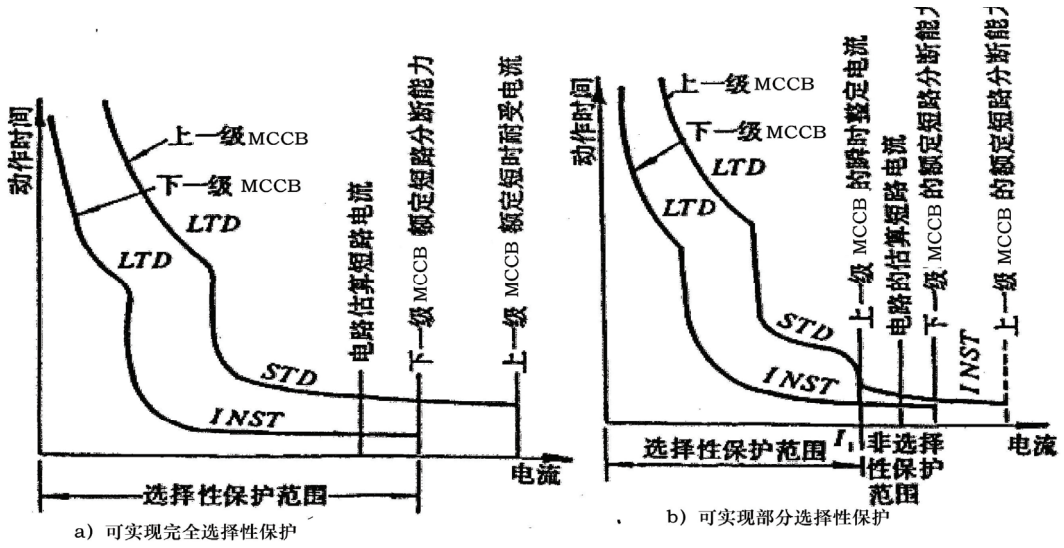


图 3.1.2(3)　实现选择性保护示意图

时间[①]大于下一级断路器的全分断时间。如将这上、下两级保护电器的时间 — 电

[①]该术语的英文为“resettable time ”，几家厂商有几种中文译法，例如：“复位时间”、“脱扣前最大过电流时间”和“无动作时间”等。本指南采用“可返回时间”。

流特性曲线画在同一张图上，它们不应贴近或相交，如图 3.1.2(3)所示。

需注意的是：在审核电力系统保护协调分析资料中，应将断路器 STD 保护的可返回时间计入在内。

③在选择性切断故障电路所需的时间内，除短路保护电器外，还有汇流排、隔离开关、接线端子和电缆等元件均应具有良好的动热稳定性。

(4) 以“能量脱扣”技术实现短路选择性保护

如本指南 2.2.4(4)所述，现有某系列 MCCB 产品，具有独特的双旋转触头(见图 3.1.2(4)a 等结构和措施，因而具有优越的限流性能。且在短路电流达到其壳架等级电流的 25 倍及以上时，在其双旋转触头斥开起限流作用的同时，更通过特殊复合材料产生了强大的气体压力作用于旋转触头，使 MCCB 快速脱扣。其脱扣时间随着短路电流的变化成反时限曲线变化，且在同一短路电流下壳架等级电流越大者脱扣时间越长，如图 3.1.2(4)b 所示。试验证明：在上一级 MCCB 的壳架等级电流为下一级 MCCB 壳架等级电流的 2.0 倍及以上，且满足上述 25 倍短路电流的情况下，

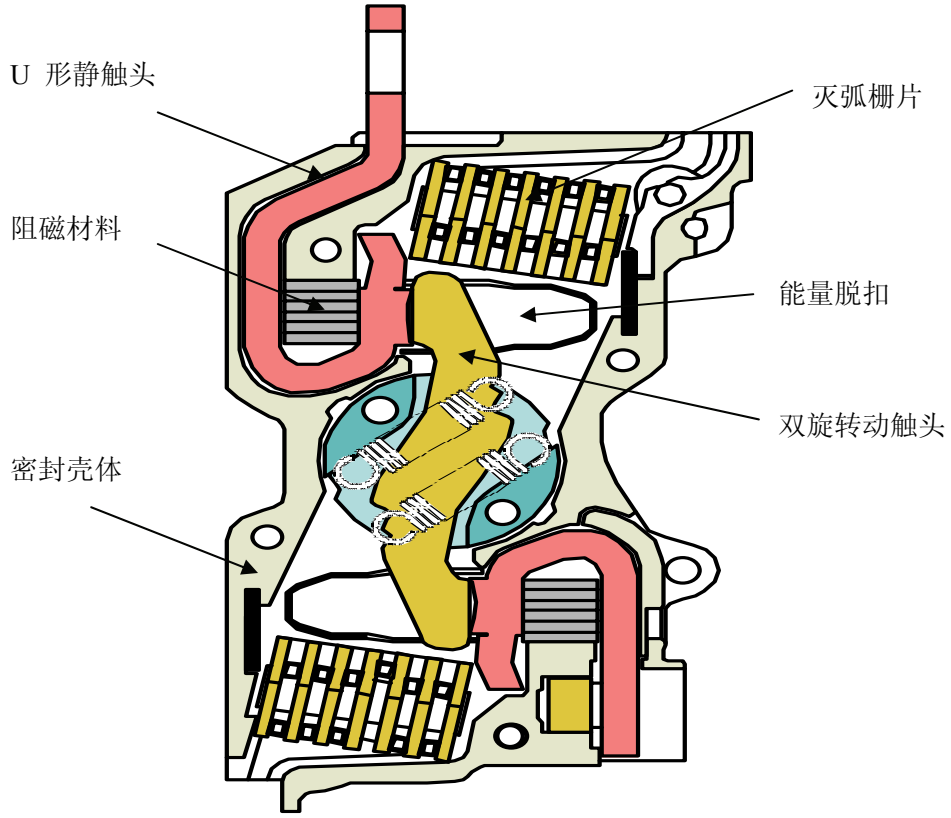


图 3.1.2(4)a　独特的双旋转触头示意图

则这两级之间可以实现完全短路选择性保护。

但该系列 MCCB 目前只有 630A 至 100A 产品能实现“能量脱扣”，因而使用就

有了局限性。

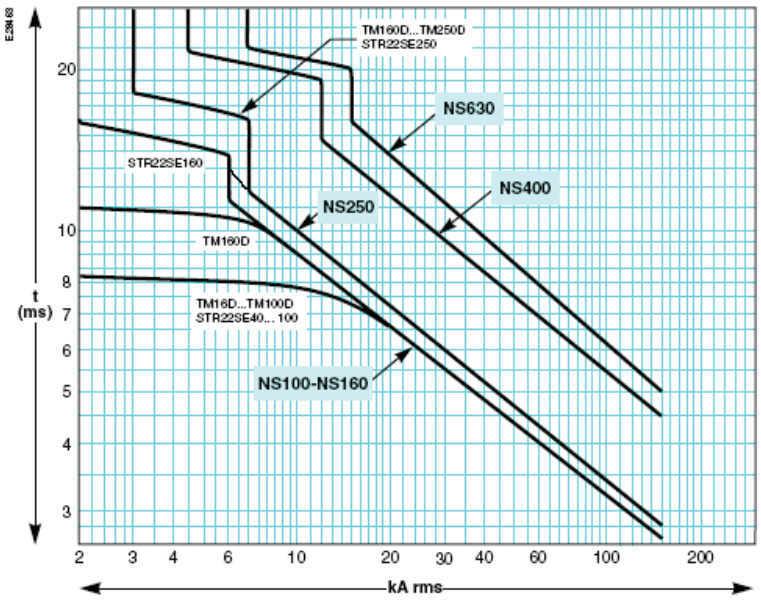


图 3.1.2(4)b 某系列断路器的能量脱扣区段的时间－电流特性曲线

以下就从发电机开始，逐级阐述各级之间应如何实现短路选择性保护。

3.2 主发电机之间及其与以下各级之间[①]的短路选择性保护

3.2.1 主发电机之间

为了说明问题方便，图 3.2.1 给出了一典型的船舶电力系统示意(单线)图。

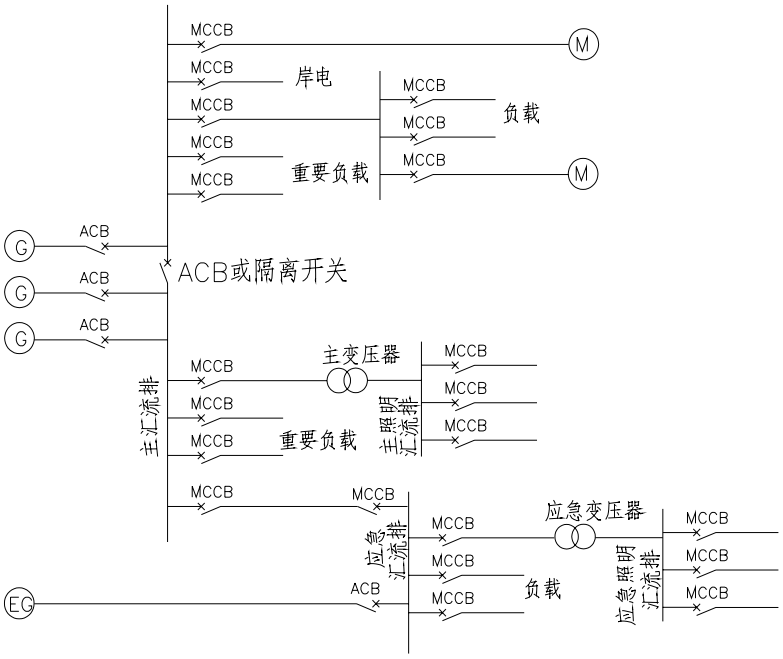
如前所述，船上都有数台主发电机并联运行供电的工况，本社规范对可能有 3 台及以上发电机并联连接的船舶，作出了应能实现发电机之间的短路选择性保护的明确规定。这可由下列两种方式之一实现：

(1)以保护发电机断路器的 INST 保护实现

在并联连接中的任何 1 台发电机（包括其内部）至其保护断路器之间发生短路故障时，在处于正常运行的发电机断路器中，仅流过其所保护发电机自身送出的短路电流。而在发生短路故障的那台发电机的断路器中，却流过了其他各台发电机所送出的短路电流，还要加上运行中各台电动机所送出的短路电流。不难看出，这种

[①] 这里的“主发电机之间及其与以下各级之间”，是“主发电机断路器之间及主发电机断路器与电力系统以下各级保护电器之间”的简称。

选择性保护的实现，只是在 3 台及以上发电机并联连接供电的情况下，才能得到保证。



图中： G — 主发电机； EG — 应急发电机； M — 电动机；
ACB — 功能较齐全的断路器； MCCB — 塑料外壳式断路器。

图 3.2.1 船舶电力系统示意图

该 INST 保护应按下列要求进行整定：

①在主汇流排或远离主汇流排处发生短路时，应不动作；

②在发电机至其保护断路器间发生短路时，保护故障发电机的断路器瞬时动作，而保护非故障发电机的断路器不动作；

③在保证上述②要求的基础上，应将互感器的磁饱和因素、动作误差和故障点阻抗考虑在内，并保证一定的动作灵敏性。

综合考虑上述要求，该 INST 保护的电流整定值 I_i 可为：

$$I_i=(1.2\sim1.3)i_{pg}\Big/\sqrt{2}$$

式中： i_{pg} —— 被保护发电机机端短路的最大峰值短路电流。

(2) 通过瞬时或很短时间（例如 50ms）延时动作的发电机差动保护继电器实现

这是为实现发电机内部故障的保护而设置的(详见本指南 2.1 的规定)，同时也起到了实现发电机之间的选择性保护的作用。即如设有差动保护继电器作为发电机内部故障的保护，就不必再设有前述断路器的 INST 保护了。

差动保护继电器工作原理等详见本指南 2.4 的介绍。

3.2.2 主发电机与以下各级之间

在一般船舶电力系统中，自主发机起依次有主汇流排分段断路器(如设有过电流脱扣器时)、主汇流排、应急汇流排（如设有时）、电力分配电板(组合起动屏)、主照明汇流排和应急照明汇流排等引出馈电线处设置的多级保护。在采用与电力推进装置共用电源的公共电站和在采用交流高压电力系统的情况下，由于增加了一由较高电压变为 400V 的变压器，还需增加 2 至 3 级保护(详见附录 A)。

相对于以下各级保护而言，主发电机保护是第 1 级，是涉及全船供电连续性的重大问题。为此，本社规范作出了明确的规定，规定除小于 50 kW (或 kVA)且不并联运行的发电机可以用熔断器作保护以外，应采用保护发电机断路器中的 STD 保护作短路保护。对其整定值规范原则上规定为：“过电流大于 50%，但小于发电机稳态短路电流，经与系统选择性保护所要求的短暂延时后断路器应分断”。

该 STD 保护的电流和延时时间整定值，涉及到下列几方面因素：

(1)发电机的稳态短路电流值：我国有关国家标准和本社规范对交流发电机的稳态短路电流，都规定为至少等于 3 倍发电机额定电流。在确定 STD 保护电流整定值时，应以可能产生的最小稳态短路电流值，即 3 倍发电机额定电流为准；

(2)顾及到大容量电动机起动过程不应引起误动作；

(3)计及 STD 保护的动作误差，一般考虑 15%；

(4)为下一级提供后备保护。

综合考虑，该 STD 保护的始动电流整定值，以取为发电机额定电流的 200%～250%为宜。其延时时间的整定值除了满足与下一级保护电器的动作协调（满足本指南 3.1.2(3)② 的要求）以外，还应给以下各级实现短路选择性保护留下足够的空间。但这一延时时间一般不应长于 0.6s（对直流发电机不应长于 0.2s）。

3.3 主汇流排与应急汇流排等及其下一级之间[①]的短路选择性保护

3.3.1 主汇流排与应急汇流排及其下一级之间

鉴于在主电源供电的情况下，应急汇流排需对消防泵、其他灭火剂泵、航行设备以及船内安全通信设备等主重要设备供电，因此其所涉及的短路保护电器之间应实现完全短路选择性保护。

如各级保护采用断路器，则在主汇流排与应急汇流排互连馈线(以下简称“主、应急互连馈线”)上，以及如主汇流排分段采用断路器并带有过电流脱扣器时，可以用断路器的 STD 保护作短路保护（但在满足完全短路选择性保护要求的前提下，可设有 INST 保护)。该 STD 保护的电流和时间整定值，由于这些断路器位置接近发电机，同样应基于本指南 3.2.2 所述的 4 个因素加以确定。

其中的主汇流排分段断路器 STD 保护的电流整定值，原则上按与其相连的单台发电机电流整定值相同。但在主电站有 4 台及以上发电机并联运行的情况下，其电流整定值应根据发电机的实际投入运行台数确定，以防止在正常工况下发生误动作或不动作情况发生；其时间整定值则应小于与所连接发电机断路器 STD 保护整定值，并与下一级断路器 STD 保护整定值相协调，即满足本指南 3.1.2(3)②的要求。

主、应急互连馈线断路器 STD 保护的电流整定值，建议取为 LTD 保护电流整定值 I_r(或脱扣器额定电流)的 4 ~6 倍，但不应大于单台发电机的稳态短路电流。其延时时间整定值，除应与其前级发电机断路器和主汇流排分段断路器(如设有过电流脱扣器时)协调以外，与其以下的应急电力和照明变压器及其下一级保护取得协调也是十分重要的。应满足本指南 3.1.2(3)②的要求。

根据本社规范关于“应能在主电源失电时在应急配电板处自动切断主、应急互连馈线”的规定，因此在该互连馈线的应急汇流排端一般均设有 MCCB，且一般不设过电流保护，仅起遥控切断作用。但如设有过电流保护，则不应破坏在主电源供电情况下，该互连馈线的主汇流排端 MCCB 与其以下各级的过电流选择性保护。

3.3.2 主汇流排与电力分配电板(或组合起动屏) 及其下一级之间

如该电力分配电板(或组合起动屏)对重要设备供电，且如这些重要设备有故障

[①]这里的“主汇流排与应急汇流排之间”，是“主汇流排引出馈电线的保护电器与应急汇流排引出馈电线上的保护电器之间”的简称。下同。

停止运转时，不能自动转换到另一套设备继续工作。则应与以上 3.3.1 所述的“主汇流排与应急汇流排及其下一级之间”的要求一样，实现其短路选择性保护。

3.4 电力和照明变压器初级与照明汇流排之间的短路选择性保护

3.4.1 主电力和照明变压器初级与主照明汇流排之间

本社规范规定电力和照明变压器的短路保护应设在其初级电路中，鉴于该变压器需对航行灯、航行设备、信号设备和照明系统等重要设备供电。因此实现其初级电路与其下一级的短路选择性保护是必不可少的。具体可按下列 4 个方案[①]之一加以实现。

(1) 变压器初级采用 MCCB，以其 LTD 保护作过载保护和 STD 保护作短路保护

此方案采用的 MCCB 只具有 LTD 和 STD 两段保护，不应带有 INST 保护。该 STD 保护的整定，应考虑到变压器在空载接通时产生的励磁冲击电流因素，从有关资料得知这一冲击励磁电流：在 0.01s 时约为额定电流的 20 ～25 倍，但随时间的衰减较快。电流整定值可取为 6~10 倍变压器额定电流。其时间整定值一般不小于 0.1s，并与前一级的 STD 保护(一般为发电机)和与下一级 MCCB 的短路保护相协调，满足本指南 3.1.2(3)② 的要求。

这是一种简单而可靠的方案。但由于船上使用的电力和照明变压器容量偏小，额定电流一般约为 200A 或更小些。且这一 MCCB 位于主汇流排处，对它的额定短时耐受电流要求较高，对主发电机总容量达 1000kW 及以上的船舶，因受 MCCB 制造技术的限制，选型有困难。对容量达 500kVA 及以上的较大型电力变压器，这确实是个好方案(见附录 A)。

(2)变压器初级采用具有 3 段保护的 MCCB 作短路保护和过载保护

近年来某电气公司推出了一种专供保护电力和照明变压器的高瞬动值、具有 3 段保护的 MCCB。其 LTD 作过载保护，STD 和 INST 作短路保护，其中 INST 保护为一点固定高瞬动值电磁脱扣器。

显然，与以上(1)所述方案相比，不同之处就是本方案加入了 INST 保护。因此在 STD 保护按以上方案(1)要求进行整定的前提下，该 INST 保护并能满足下列所有条件：

① $I_i > i_{inrush} / \sqrt{2}$

[①]但不排斥其他切实可行方案的应用。

式中：I_i — 该 MCCB 的瞬时动作值(有效值)；

i_{inrush}— 变压器初级的冲击励磁电流(峰值)。

② $I_i > 1.2(U_{n2}/U_{n1})\cdot i_{plb}/\sqrt{2}$

式中： U_{n1} — 变压器初级额定电压；

U_{n2} — 变压器次级额定电压；

i_{plb} —（主或应急）照明汇流排处最大峰值短路电流值。

③ $I_i \leqslant I_{cw}$。

式中：I_{cw} — 该 MCCB 的额定短时耐受电流。

则可实现该 MCCB 与下一级 MCCB 的完全选择性短路保护。

需注意的是：如这一级 MCCB 采用只有 LTD 和 INST 两段保护的热磁脱扣 MCCB，虽然制造厂能接受高瞬动值产品的特殊订货，但是不能实现这两级之间的完全短路选择性保护。

(3) 变压器初级及其下一级均采用具有“能量脱扣”性能的 MCCB

如 3.1.2(4)所述，这两级均采用具有“能量脱扣”性能的 MCCB，可以实现这两级的短路选择性保护，其条件是：

①该变压器次级端短路的对称短路电流大于该级 MCCB 壳架等级电流的 25 倍；

②变压器初级 MCCB 的壳架等级电流对其下一级 MCCB 的壳架等级电流之比应大于 2 。

在确定变压器初级 MCCB 的壳架等级电流时，应考虑到：

a，在变压器空载接通时产生的冲击励磁电流下，MCCB 无误动作；

b，在主或应急照明汇流排处发生短路故障时，其 INST 保护不动作。

(4)变压器初级采用熔断器作短路保护，另设仅有 LTD 保护的 MCCB 作过载保护

这是一种经济实惠的方案，本社规范对电力和照明变压器的保护，有“应以多极断路器或熔断器作短路保护和过载保护”的明文规定。问题在于如何选择适当的熔断器，以达到作变压器短路选择性保护的目的。主要需解决下列两大问题：

①如何避开变压器空载接通时产生的冲击励磁电流

应选择装有“aM”型熔断体(适合于保护电动机电路)，或者装有能承受电动机起动电流的“gG”熔断体的熔断器。由于在这里仅作短路保护，可适当提高其熔断体的定额，据有关资料介绍，可按被保护变压器额定电流的 130% ~ 150%选取；必

要时，在满足以下②要求的前提下，也可取为被保护变压器额定电流的 180%。据国内有关厂商介绍，如采用上述装有“gG”熔断体的熔断器，则可能还要加大些。 这样，避开变压器空载接通时产生的冲击励磁电流应当是不成问题的；

②与上、下级保护电器的协调动作(熔断)问题

由于在一般情况下，其上一级保护是主发电机 ACB，其 STD 保护可留给下一级保护最长有约 0.3 s~ 0.4s 的空间。其下一级保护，如采用 MCCB，通常可使用 INST 保护；如这下一级保护采用熔断器，可以满足 3.1.2(3)②的要求。因此其与上、下级保护电器都能实现协调动作(熔断)。

此外，在使用过程中，会出现单个或多个熔断器熔断的情况，就会产生失去一部分照明和某些航行设备等重要设备不能工作的后果。因此，在万一发生这种情况时，应给操作人员发出一指示(有这种熔断器产品)或/和报警信号，以能做到及时修复，是十分必要的。

看来对较小容量(例如 40kVA 及以下)的电力和照明变压器，这应是一经济而可靠的方案。

3.4.2 应急电力和照明变压器初级电路与应急照明汇流排之间

由于在正常情况下，应急电力和照明变压器也需处于工作状态，由主电源供电，则此时“应急电力和照明变压器初级电路与应急照明汇流排之间”也应实现短路选择性保护。显而易见，这与以上“主电力和照明变压器初级电路与主照明汇流排之间”的短路选择性保护是相当的。不同之处是自主发电机算起，这里多了一级主汇流排至应急汇流排互连馈线的保护，其次就是应急电力和照明变压器的容量更小些。因此本指南 3.4.1 所述 4 种协调保护方案完全适用这一情况。如将这 4 种方案作一比较，则：

①实现上述 3.4.1(1)方案时，作变压器初级电路保护断路器的选型更困难些；

②上述 3.4.1(2)方案和 3.4.1(3)方案是较佳方案，但都需满足其各自的条件；

③如果该变压器容量较小，则 3.4.1(4)方案是可行的。

3.5 主(或应急)照明汇流排与其下一级之间的短路选择性保护

至此，整个电力系统的保护，只剩下主(或应急)照明汇流排与主(或应急)照明

分配电板或其他设备分配电板之间两级了。从本指南 3.1.3 对船舶电力系统短路电流的特点的分析已得出了结论：船舶电力系统这一部分的短路电流变化情况与陆上 15kV 及以下的电力系统相似。因此，断路器制造厂商所提供的保护协调资料应该是适用的。但需注意是各保护电器的整定值，应保证其具有足够的动作灵敏性，其灵敏系数一般不应低于 1.3。

3.6 应急发电机与其以下级之间的短路选择性保护

3.6.1 应急发电机与其以下各级之间

在应急发电机供电情况下，同样应实现短路选择性保护。首先是应急发电机与应急汇流排之间的保护，这与本指南“3.2.2 主发电机与以下各级”相当，但级数少了些，自主发机起依次有应急汇流排、应急照明汇流排、应急照明分配电板或其他设备分配电板引出馈电线处设置的保护。

因此，应急发电机的 STD 保护电流整定值，可同样按发电机断路器的要求整定；其时间整定值可视具体情况整定在 0.3s 左右，应注意与其下一级保护的协调。

不应在保护应急发电机的断路器中设有INST保护[①]。

3.6.2 应急电力和照明变压器初级电路与应急照明汇流排之间

此选择性短路保护问题实际上已在本指南 3.4.2 中得以实现，所不同的前者是由主发电机供电。而这里是由应急发电机供电。因此这里只要保证此变压器初级电路中的保护电器与应急发电机的 STD 保护之间的协调动作即可。

3.6.3 应急照明汇流排与其下一级之间

此与本指南 3.5 所列情况相当，在此情况下，按断路器制造厂商所提供的保护协调资料设计，即可实现这两级之间的短路选择性保护。与本指南 3.5 一样，需注意其保护电器的整定值，应保证具有足够的动作灵敏性。

[①]除非该断路器的 INST 保护动作值满足下式要求： $I_i > 1.2 i_{pgE} / \sqrt{2}$ ，

式中：I_i — 断路器瞬动电流值；

i_{pgE}— 应急发电机端短路的最大峰值短路电流。

即实际不起瞬动保护作用。

3.7 接地故障电流选择性保护

船上有时采用中性点接地的交流三相电力系统，特别是采用中性点经适当的阻抗接地的高压电力系统。这就会有接地故障电流出现，也就有个接地故障电流选择性保护问题。在此情况下，电力系统的有关部位一般采用带有接地故障的断路器作接地故障电流保护。其电流整定值应按电力系统的实际情况确定；其短暂延时的时间整定值应根据选用断路器的 G 故障保护的整定范围，按本指南 3.1.2(3)②的要求确定。

附录 A　电力系统过电流选择性保护协调分析实例 1

A.1 电力系统简介[①]

本实例是以国内建造的某铁路轮渡渡船的电力系统为基础，按本指南的要求对其系统保护进行了调整和修改的结果。

本船采用交流电力推进，系统电压为交流 6600V，并采用公共电站。公共电站共配备 4 台 6600V/2880kW 发电机。在不同工况下的电能配置为：

航行工况：4 台发电机组；

进出港工况：2 台发电机组；

装卸货工况：1 台发电机组。

船上还配备了 2 台 AC6600/400V,3Φ,2200kVA 电力变压器和 1 台 AC400V,400kW 应急发电机，对船上 380V 及以下电压等级的设备供电。

高压主配电板分 1 号高压配电板和 2 号高压配电板，采用具有 STD 保护的高压断路器连接。低压 400V 主汇流排采用不带脱扣器的断路器进行分段，起隔离作用。

其电力系统示意简图如图 A.1 所示。

A.2 概述

电力系统各级保护电器处可能出现的最大短路电流和最小短路电流，是进行其协调动作分析的依据。为进行协调分析方便，现将本电力系统几个相关故障点的短路电流计算值列于表 A.2 中。

相关故障点的短路电流值　　表 A.2

故障点		最大短路电流　kA		最小短路电流　kA	
代号	位　置	i_p	I_{ac}	i_p	I_{ac}
B	主汇流排(高压)	20.65	7.29	5.52	1.99
C1	低压主汇流排	112.48	50.90	58.90	24.66
C2	应急汇流排	56.74	35.84	37.96	20.94
D2	主照明汇流排	6.08 / 10.53[①]	4.05 / 7.02	5.78 / 10.02	3.80 / 6.59
D3	应急照明汇流排	4.17 / 7.22	2.84 / 4.92	4.03 / 6.98	2.72 / 4.72
F	尾灯(航行灯之一)	0.03 / 0.06	0.02 / 0.04	0.03 / 0.06	0.02 / 0.04

注：①这里列出的两组数据，“前一数据”为 400V/230V 变压器初级侧短路电流值，“后一数据”为变压器次级侧短路电流值

[①] 整套图纸送审时，不必加上这一部分。

电力系统各级保护电器的设置及其整定值，见 A.3 部分。

电力系统相关各级保护电器协调动作分析、时间－电流特性曲线图以及对某些短路保护电器的动作灵敏性校核，见 A.4 部分。

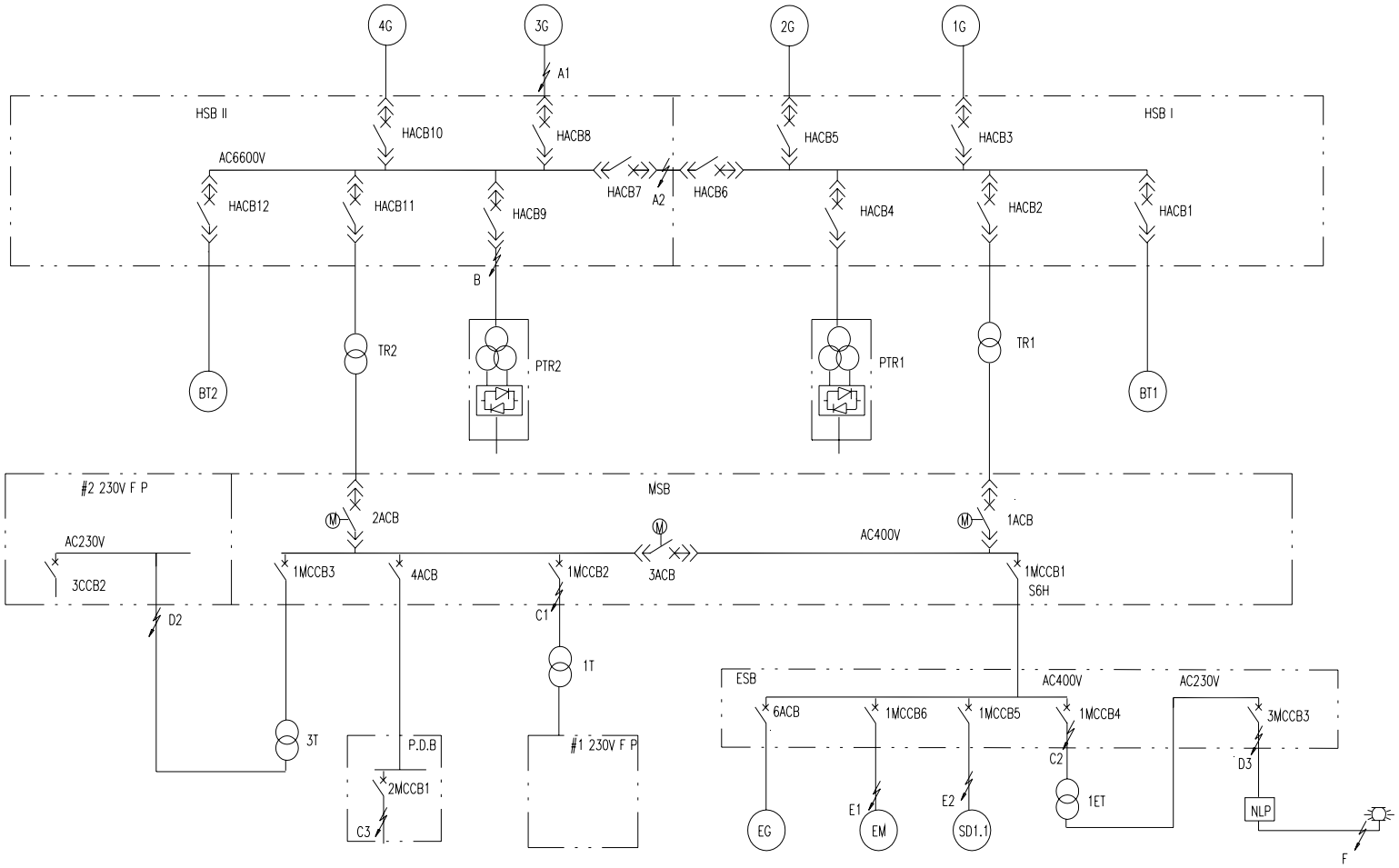

4G
3G
2G
1G
A1
HSB II
HSB I
HACB10
HACB8
HACB5
HACB3
AC6600V
HACB12
HACB11
HACB9
HACB7
A2
HACB6
HACB4
HACB2
HACB1
B
TR2
PTR2
PTR1
TR1
BT2
BT1
#2 230V F P
MSB
2ACB
1ACB
AC230V
AC400V
3CCB2
1MCCB3
4ACB
1MCCB2
3ACB
1MCCB1
S6H
D2
C1
1T
3T
P.D.B
#1 230V F P
ESB
AC400V
AC230V
6ACB
1MCCB6
1MCCB5
1MCCB4
3MCCB3
C2
D3
1ET
2MCCB1
C3
E1
E2
EG
EM
SD1.1
NLP
F

图 A.1　电力系统示意图

A.3 系统各级保护电器的设置及其整定值

详见表 A.3a ～ 表 A.3j 所列。

主发电机断路器和差动保护继电器　　表 A.3a

设备或馈电分路			保　护　电　器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号①	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
1G 2G 3G 4G	1 号发电机 2 号发电机 3 号发电机 4 号发电机	296	XXXX	1250		LTD	I_r=0.1 ～10I_n	I_r=1.50 I_n=444A	断路器本身仅设 LTD、STD 两段保护；在发电机发生内部故障时，差动保护继电器使断路器瞬时脱扣。
							t_r=0.1 ～120s	t_r=55s	
						STD	I_{sd}=0.1 ～10 I_n	I_{sd}=2.5 I_n=740A	
							t_{sd}=0.1 ～3.0s	t_{sd}=0.6s	
			XXXX	差动保护继电器		INST	I_{INST}=(0.5 ～50)% I_n	I_{INST}=15% I_n=44A	用作发电机内部故障保护

1 号、2 号高压配电板连接断路器　　表 A.3b

设备或馈电分路			断　路　器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
TB	连接断路器	695	XXXX	1250		－	－	－	断路器仅设 STD 保护； I_{sd1} 为 3 台或 4 台发电机运行时的整定值； I_{sd2} 为 1 号、2 号配电板各 1 台发电机运行时的整定值。
							－	－	
						STD	I_{sd}=0.05 ～40 I_n	I_{sd1}=2.2I_n=1529A I_{sd2}=1.1I_n=765A	
							t_{sd}=0.1 ～3.0s	t_{sd}=0.4s	

① 此处和以下各表中都没有标明所选用保护电器的厂商/型号，在实际送审中均应标明。

首侧推电动机断路器　　表 A.3c

设备或馈电分路			断 路 器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
BT1 BT2	1 号首侧推 2 号首侧推	74	XXXX	1250		LTD	I_r=0.1 ～10I_n	I_r=1.85 I_n=137A	断路器不设 INST 保护。
							t_r=0.1 ～120s	t_r=99s	
						STD	I_{sd}=0.05 ～5 I_n	I_{sd}=3.0 I_n=222A①	
							t_{sd}=0.1 ～3.0s	t_{sd}=0.2s①	
注：①在电动机起动过程中，自动转换至另一整定值：I_{sd}= 450A，t_{sd}= 3.0s 。									

推进变压器初级断路器和差动保护继电器　　表 A.3d

设备或馈电分路			保 护 电 器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
PTR1 PTR2	1 号推进变压器 2 号推进变压器	455	XXXX	1250		LTD	I_r=0.1 ～10I_n	I_r=1.45I_n=660A	断路器本身仅设 LTD、STD 两段保护；在变压器发生内部故障时，差动保护继电器使断路器瞬时脱扣。
							t_r=0.1 ～120s	t_r=95s	
						STD	I_{sd}=0.1 ～5 I_n	I_{sd}=2.2 I_n=1001A	
							t_{sd}=0.1 ～3.0s	t_{sd}=0.2s	
			XXXX	差动保护继电器		INST	I_{INST}=(0.5 ～50)% I_n	I_{INST}=20% I_n=91A	用作变压器内部故障保护。

6600V/400V 配电变压器初级断路器和差动保护继电器　　表 A.3e

设备或馈电分路			保　护　电　器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
TR1 TR2	1 号变压器 2 号变压器	192	XXXX	1250		LTD	I_r=0.1 ～10I_n	I_r =1.9I_n=365A	断路器本身仅设 LTD、STD 两段保护；在变压器发生内部故障时，差动保护继电器使断路器瞬时脱扣。
							t_r=0.1 ～120s	t_r=101s	
						STD	I_{sd}=0.1 ～5 I_n	I_{sd}=2.2 I_n=422A①	
							t_{sd}=0.1 ～3.0s	t_{sd}=0.3s①	
			XXXX	差动保护继电器		INST	I_{INST}=(0.5 ～50)% I_n	I_{INST}=20% I_n=38A	用作变压器内部故障保护。
注：①在检测到变压器空载励磁冲击电流时，自动转换至另一整定值：I_{sd}= 850A，t_{sd}= 0.75s 。									

主、应急互连馈线断路器　　表 A.3f

设备或馈电分路			断　路　器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
	主、应急互连馈线	800	XXXX	1600	800	LTD	800~1000，…，1600	I_r=800A	由于此处对 I_{cw} 要求较高，故选用壳架等级为 1600A，具有 LTD 和 STD 两段保护的 MCCB
							t_r=5, 10, 15, 20, 30s	t_r=20s (6I_r)	
						STD	I_{sd}=2,4,6,8,10I_n	I_{sd}=6.0 I_n=4800A	
							t_{sd}=0.1, 0.15, 0.2, 0.3s	t_{sd}=0.2s①	
注：①在此情况下，MCCB 的可返回时间为 180ms，最大全分断时间为 250ms。									

主照明变压器初级断路器　　表 A.3g

设备或馈电分路			断 路 器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
3T	主照明变压器断路器	180	XXXX	400	200	LTD	200，…，350，400A	I_r=200A	该 MCCB 为一点固定的高瞬动 MCCB，很适合作变压器选择性保护用； 由于此处对 I_{cs} 要求较高，故采用壳架等级为 400A MCCB。
							t_r=5,10,15,20,30s	t_r=20s (6I_r)	
						STD	I_{sd}=2,4,6,8,10I_n	I_{sd}=6.0I_n=1200A	
							t_{sd}=0.1,0.15,…，0.3s	t_{sd}=0.1s①	
						INST	I_{INST} = 6.3kA	I_{INST} = 6.3kA	
注：①在此情况下，MCCB 的可返回时间为 80ms，最大全分断时间为 150ms。									

应急照明变压器初级断路器　　表 A.3h

设备或馈电分路			断 路 器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
1ET	应急照明变压器断路器	144	XXXX	225	150	LTD	125，150，…,225	I_r=150A	该 MCCB 为一点固定的高瞬动 MCCB，很适合作变压器选择性保护用。
							t_r=5,10,15,20,30s	t_r=20s (6I_r)	
						STD	I_{sd}=2,4,6,8,10I_n	I_{sd}=6.0I_n=900A	
							t_{sd}=0.1,0.15,…,0.3s	t_{sd}=0.1s①	
						INST	I_{INST} = 4.0kA	I_{INST} = 4.0kA	
注：①在此情况下，MCCB 的可返回时间为 80ms，最大全分断时间为 150ms。									

应急汇流排和主、应急照明汇流排引出端断路器　　表 A.3i

设备或馈电分路			断 路 器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
MLB ELB	主照明汇流排 应急照明汇流排	40	XXXX	100	40①	LTD	-	I_r= 40A	此为热磁脱扣 MCCB。
							-	-	
						INST	固定	I_{INST} =600A±200A	
注：①这一级使用的 MCCB 有好几档脱扣器，此处以 40A 为例。									

应急发电机断路器　　表 A.3j

设备或馈电分路			断 路 器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器)额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
EG	应急发电机	722	XXXX	800	722	LTD	I_r=(0.8-1.0-1.05)I_n	I_r=1.0 I_n= 722A	此为具有 LTD 和 STD 两段保护的 ACB。
							t_r=15, 20, 25, 30, 60s	t_r=25s (1.2I_r)	
						STD	I_{sd}=2,4,6,8,10I_n	I_{sd}=2.0I_n=1450A	
							t_{sd}=0.1, …, 0.8s,	t_{sd}=0.3s①	
注：①在此情况下，MCCB 的可返回时间为 275ms，最大全分断时间为 370ms。									

A.4 电力系统有关各级保护电器协调动作分析及时间－电流特性曲线图

A.4.1 高压 6600V 部分

A.4.1.1 协调分析

从图 A.1 可见，公共电站配电系统含高压和低压两大部分。其高压部分涉及对低压部分供电的过电流保护：自 6600V 主发电机断路器起至两高压配电板连接断路器和 6600V/400V 配电变压器初级断路器之间共 3 级。其过电流保护的设置，除对主发电机和配电变压器采用瞬时动作的差动保护继电器作内部故障保护以外，均采用具有 LTD 和 STD 保护的 ACB 进行保护。它们的动作电流和时间的整定值列于表 A.3a、表 A.3b 和表 A.3e 中。显而易见，其相关断路器的 STD 保护时间整定值自主发电机起依次递减，并达到了本指南 3.1.2(3)②的要求，实现了该部分的完全选择性保护。详见图 A.4.1.2a 相关断路器协调动作的时间－电流特性曲线图。

此外，自主发电机断路器起至两高压配电板连接断路器和首侧推断路器之间；自主发电机断路器起至两高压配电板连接断路器和推进变压器初级断路器之间：它们的过电流保护设置及其动作电流和时间的整定值列于表 A.3c 和表 A.3d 中，也同样可以达到了本指南 3.1.2(3)②的要求，并实现了该部分的完全选择性保护。详见图 A.4.1.2b 和图 A.4.1.2c 相关断路器协调动作的时间－电流特性曲线图。

主发电机的欠电压保护、过电压保护、逆功率保护、相序保护和低频率保护等保护继电器或脱扣器均至少经 1s 的延时后动作。配电变压器断路器的欠电压脱扣器等均经短路选择性保护相协调的短暂延时后动作。

此外，用作主发电机内部故障保护用瞬时动作的差动保护，能同时起到主发电机之间短路选择性保护作用。

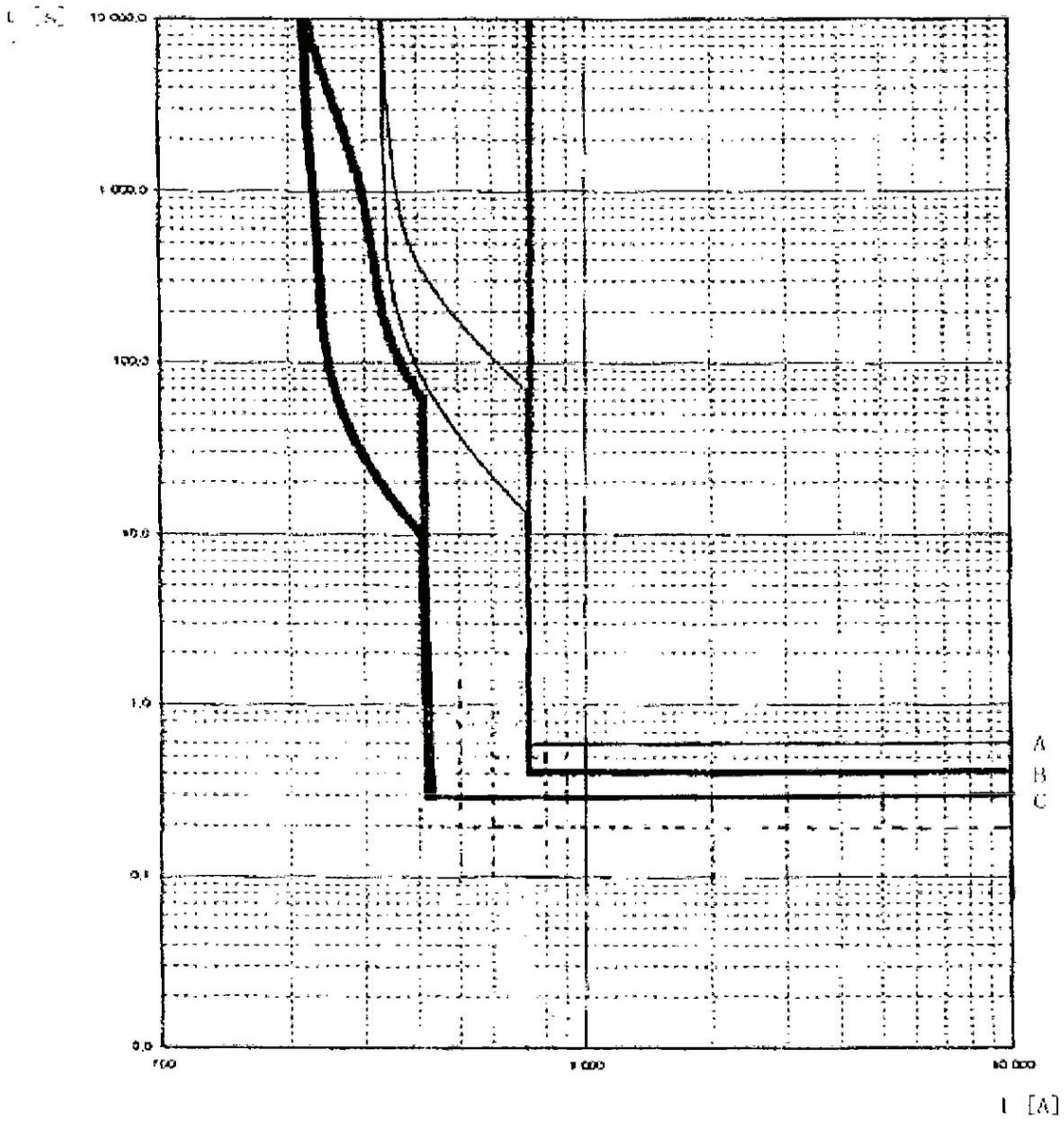
A.4.1.2 表明各级保护电器协调动作的时间－电流特性曲线图

详见下列时间－电流特性曲线图：

图 A.4.1.2a 主发电机断路器、两高压配电板连接断路器和配电变压器初级断路器协调动作的时间-电流特性图；

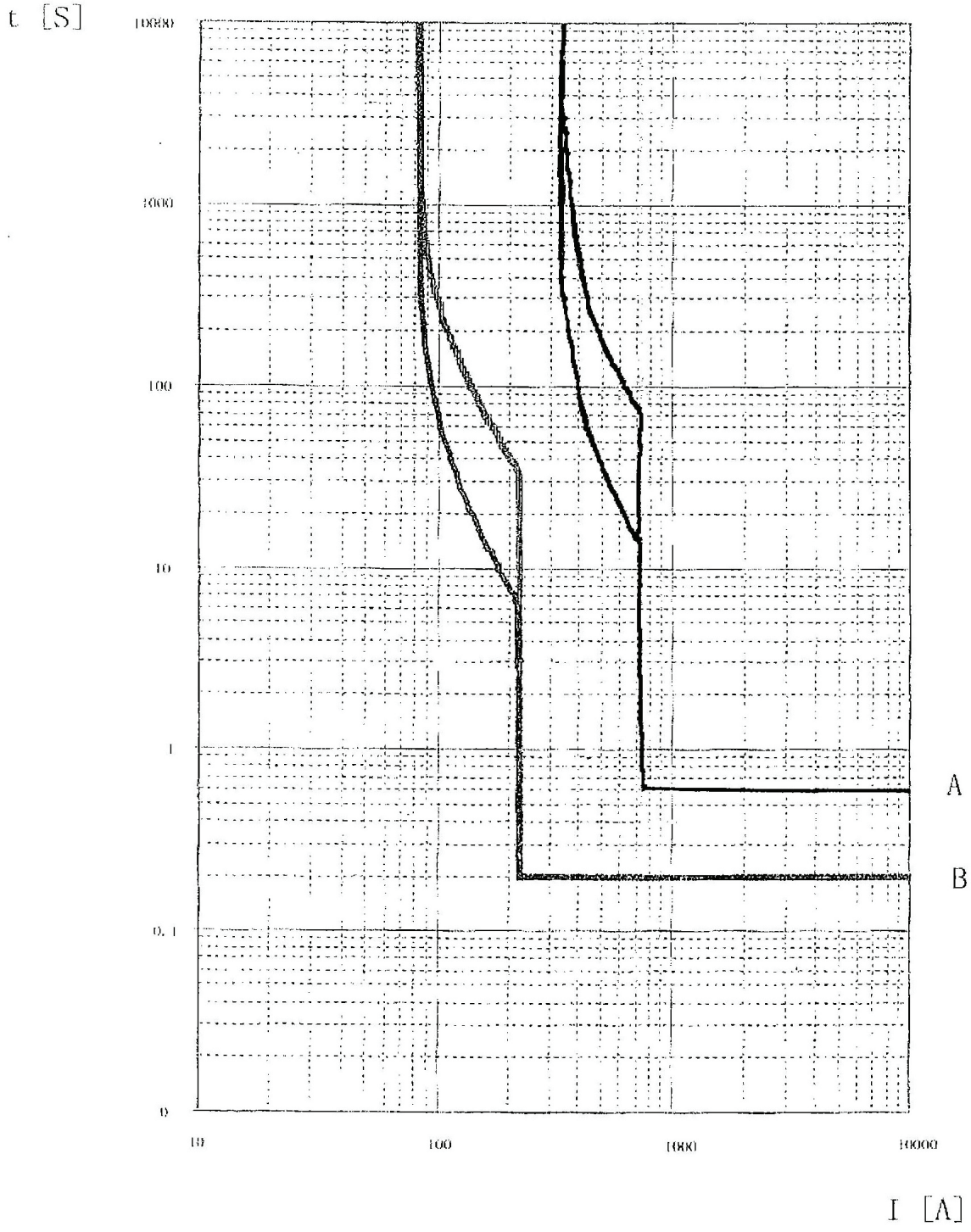
图 A.4.1.2b 首侧推断路器与主发电机断路器协调动作的时间-电流特性图；

图 A.4.1.2c 主发电机断路器、两高压配电板连接断路器和推进变压器初级断路器协调动作的时间-电流特性图。



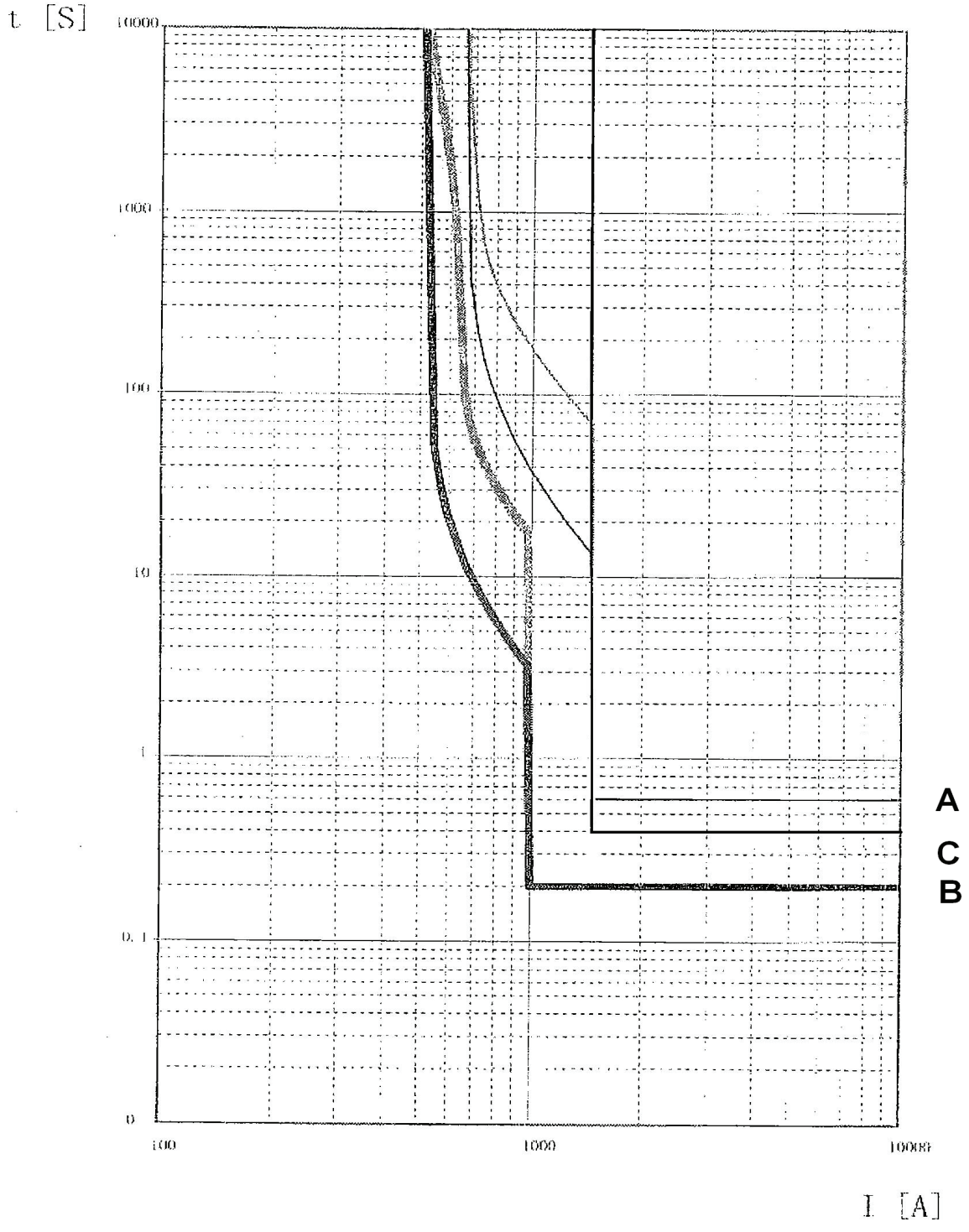
图中：A 为主发电机断路器时间-电流特性图
B 为 1、2 号高压配电板连接断路器时间-电流特性图
C 为 6600V/400V 配电变压器初级断路器时间-电流特性图

图 A.4.1.2a　主发电机断路器、两高压配电板连接断路器和配电变压器初级断路器协调动作的时间-电流特性图



图中：A 为主发电机断路器时间-电流特性图
B 为首侧推断路器时间-电流特性图

图 A.4.1.2b 首侧推断路器与主发电机断路器位协调动作的时间-电流特性图



图中： A 为主发电机断路器时间-电流特性图
B 为推进变压器初级断路器时间-电流特性图
C 为 1、2 号高压配电板连接断路器时间-电流特性图

图 A.4.1.2c 主发电机断路器、两高压配电板连接断路器和
推进变压器初级断路器协调动作的时间-电流特性图

A.4.2 低压 400V/230V 部分

A.4.2.1 协调分析

(1)按时间原则实现过电流选择性保护

根据本社规范和本指南有关规定，本电力系统低压 400V/230V 部分的下列几级之间，系按时间原则实现过电流选择性保护：

①配电变压器初级 ACB 与主、应急互连馈线 MCCB 之间

如表 A.3e 和 A.3f 所示，该两断路器均采用 STD 作短路保护，它们的时间整定值：前者为 0.3s，后者为 0.2s 。后者的最大全分断时间为 250ms，前者的可返回时间为 270ms，故可实现完全选择性保护。

②配电变压器初级 ACB 与主照明变压器初级 MCCB 和下一级 MCCB 之间

与以上①相同，而这里的主照明变压器初级 MCCB 的 STD 保护时间整定值为 0.1s，与其前级 0.3s 相差更大。且在流过其中的峰值短路电流 i_p的$1/\sqrt{2}$ 倍值达到其瞬动值 6.3kA 时，该 MCCB 瞬时动作。因此，这两级之间可以实现完全选择性保护。

再看主照明变压器初级 MCCB 与其下一级 MCCB 之间，从表 A.2 可知，流过下一级 MCCB 的最大峰值短路电流 i_p的$1/\sqrt{2}$ 倍值等于 7.45kA。折算至变压器初级，则此时流过变压器初级 MCCB 相应的短路电流值为 4.20kA，故该变压器初级 MCCB 不会瞬动(其瞬动值为 6.3kA)，而是通过其 STD 保护经 0.1s 延时分断。显而易见，这两级 MCCB 之间按时间原则实现了完全选择性保护。

③主、应急互连馈线 MCCB 与应急照明变压器初级 MCCB 和下一级 MCCB 之间

其主、应急互连馈线 MCCB 与应急照明变压器初级 MCCB 两级之间与以上②相当，不同的是将上述的“配电变压器初级 ACB”换成了“主、应急互连馈线 MCCB”，该 MCCB 中 STD 保护的延时时间换成了 0.2s，但也完全满足本指南 3.1.2(3)②的要求。

其应急照明变压器初级 MCCB 和下一级 MCCB 之间，同样从表 A.2 可知，流过下一级 MCCB 的最大峰值短路电流 i_p的$1/\sqrt{2}$ 倍值等于 5.11kA。折算至变压器初级，此时流过变压器初级 MCCB 相应的短路电流值为 2.95kA，故该变压器初级 MCCB 不会瞬动(其瞬动值为 4.0kA)，而是通过其 STD 保护经 0.1s 延时分断。同样，这两级 MCCB 之间按时间原则实现了完全选择性保护。

④ 应急发电机 ACB 与应急电力和照明变压器初级 MCCB 和下一级 MCCB 之间

此与以上③相同，不同的是将上述的“主、应急互连馈线 MCCB”换成了“应急发电机 ACB”，并将该 ACB 中 STD 保护的延时时间换成了“0.3s”，完全满足本指南 3.1.2(3)②的要求。其应急照明变压器初级 MCCB 和下一级 MCCB 之间，与以上③不同的是流过下一级 MCCB 的最大峰值短路电流减小了约 21%，同样，这两级 MCCB 之间按时间原则实现了完全选择性保护。

(2)按制造厂商提供的保护协调资料实现过电流选择性保护

如本指南 3.1.2(2)②b 所述，主、应急照明汇流排引出分路 MCCB 与其下一级的 MCCB 或 MCB 之间，可按制造厂商提供的保护协调资料的规定选定，从而实现了过电流选择性保护。

A.4.2.2 某些短路保护电器的动作灵敏性校核

根据本指南对保护电器动作灵敏性的要求，考虑到本船船长达 200m，其驾驶室在首部，主、应急配电板都在尾部。现选择其航行灯之一的尾灯，为校核其供电 MCCB 的短路保护动作灵敏性，经计算该处的最小二相短路的对称短路电流为：

$$I_{ac(2)} = 40A \times 0.866 = 35A \text{ 。}$$

现确定保护其馈电线的 MCCB 的瞬时动作值为：$I_{INST} = 20A$，则其灵敏系数等于 1.75，满足本指南 3.1.2(1)③的要求。

A.4.2.3 表明各级断路器协调动作的时间－电流特性曲线图

详见下列时间－电流特性曲线图：

图 A.4.2.3a　6600V/400V 配电变压器初级 ACB、主照明变压器初级 MCCB 和主照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图；

图 A.4.2.3b　6600V/400V 配电变压器初级 ACB，主、应急汇流排互连馈线 MCCB，应急照明变压器 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图；

图 A.4.2.3c 应急发电机 ACB、应急照明变压器初级 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图。

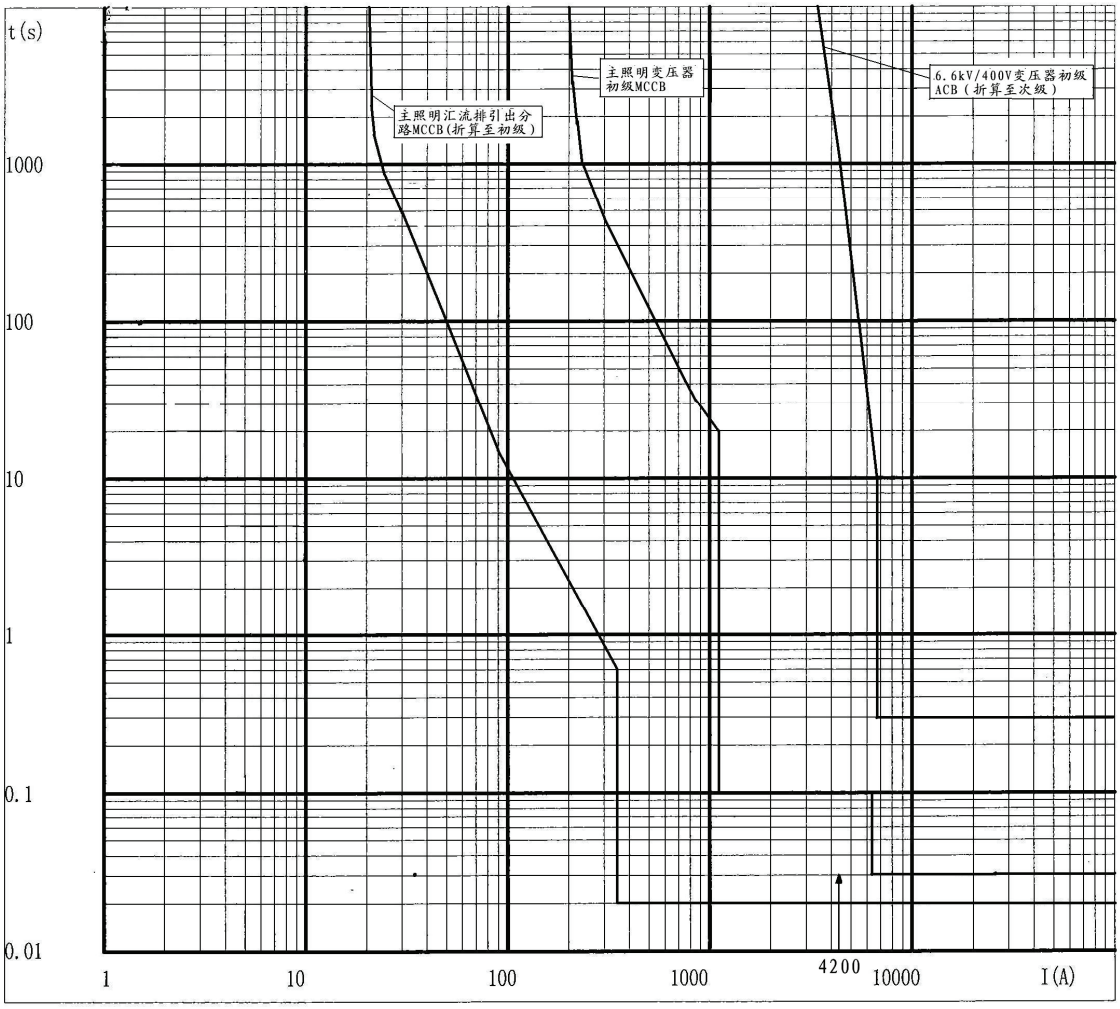


图 A.4.2.3a　6600V/400V 配电变压器初级 ACB、主照明变压器初级 MCCB 和主照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图

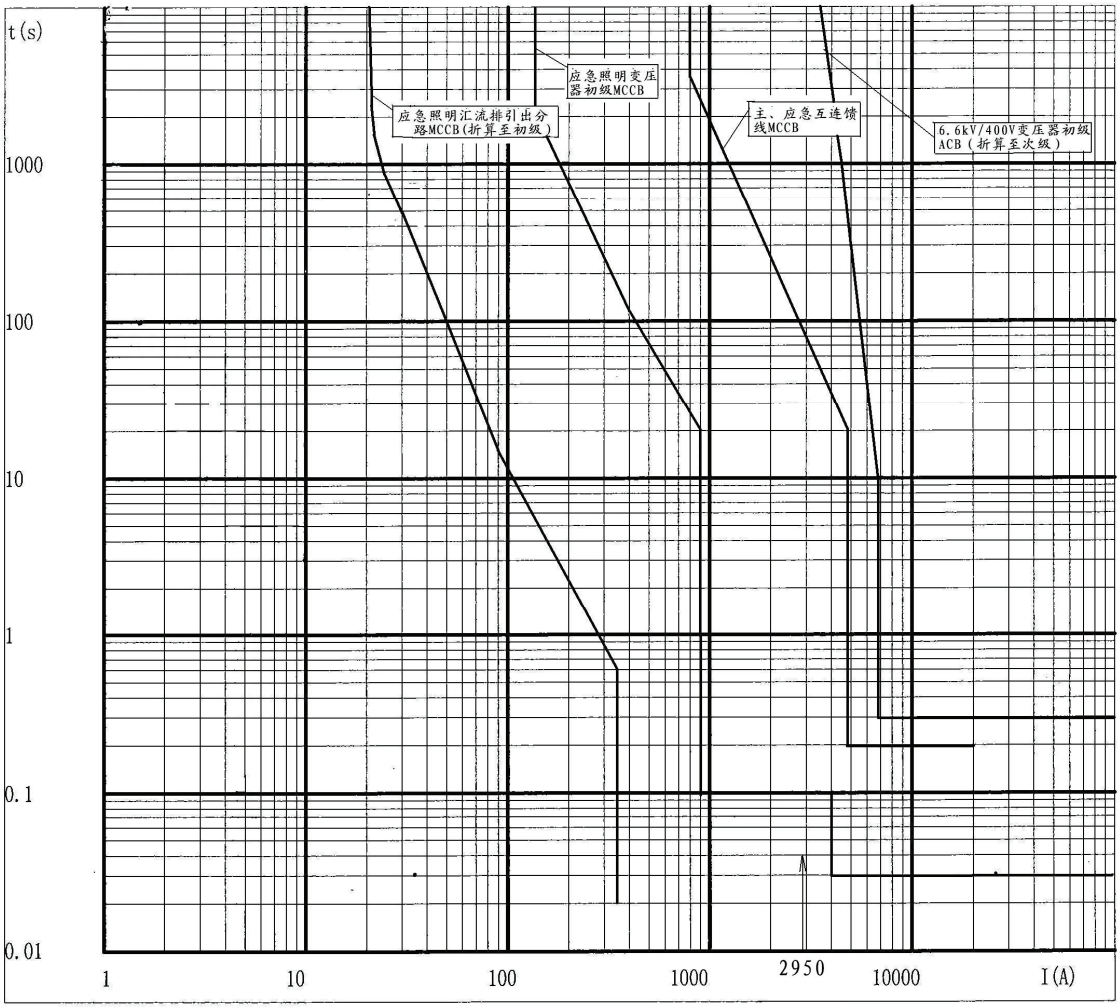


图 A.4.2.3b　6600V/400V 配电变压器初级 ACB，主、应急汇流排互连馈线 MCCB，应急照明变压器 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图；

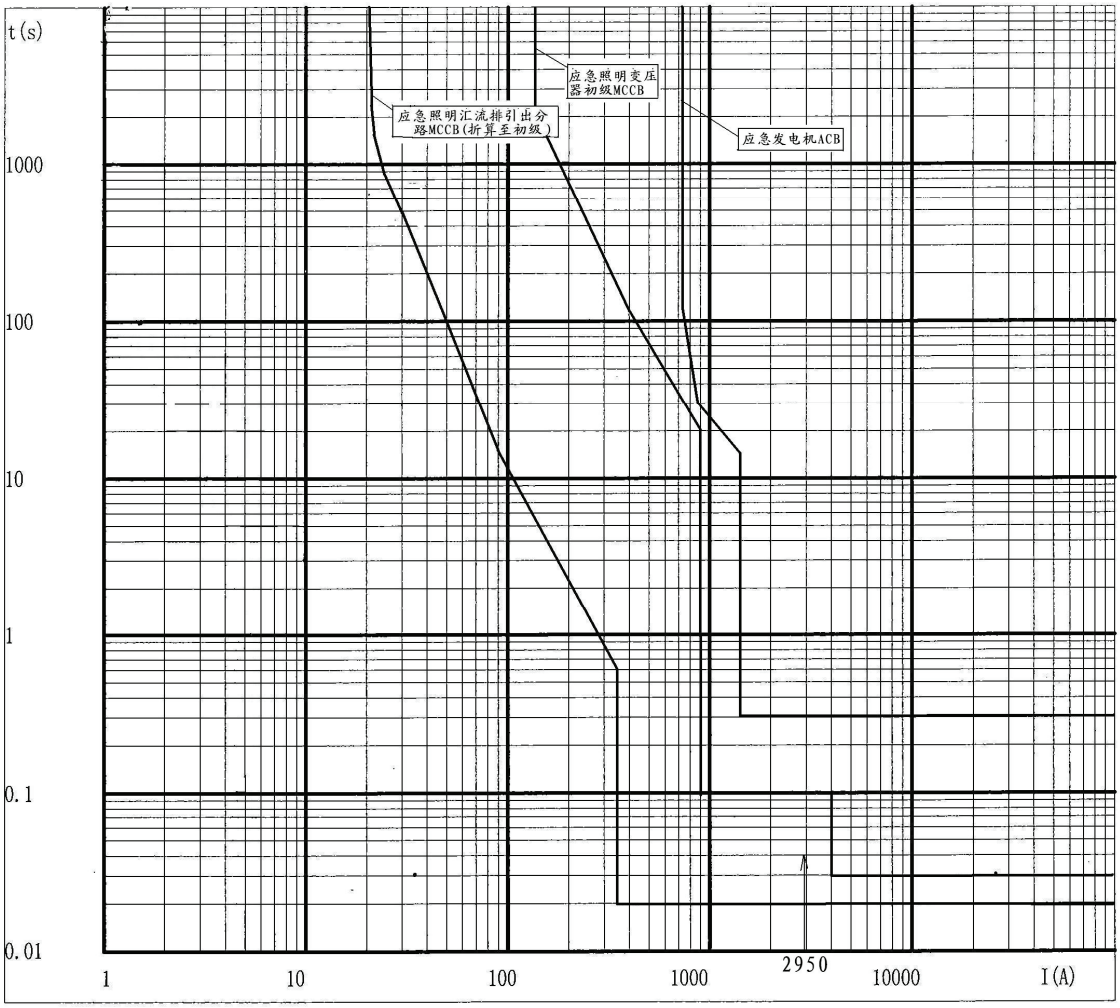


图 A.4.2.3c 应急发电机 ACB、应急照明变压器初级 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图

附录 B　电力系统过电流选择性保护协调分析实例 2

B.1 电力系统简介[①]

本实例是以国内建造的某散装货船的电力系统为基础，按本指南的要求对其系统保护进行了调整和修改的结果。

本船采用 400V 交流电力系统，主电源配备 2 台 440kW 发电机组和 1 台 312kW 发电机组。在不同工况下的电能配置为：

航行工况：1 台 440kW 发电机组；

进出港工况：1 台 440kW 发电机组和 1 台 312kW 发电机组；

装卸货工况：2 台 440kW 发电机组；

停泊工况：　1 台 312kW 发电机组。

此外，还设有 1 台 88kW 发电机组作为应急电源。

主汇流排采用不带保护的断路器进行分段。

其电力系统示意图 B.1 所示

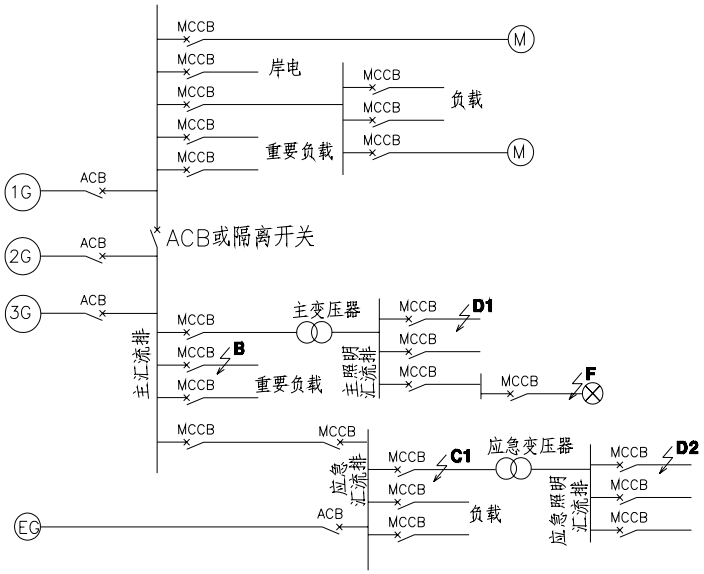


图 B.1　电力系统示意图

[①] 整套图纸送审时，不必加上这一部分。

B.2 概述

电力系统各级保护电器处可能出现的最大短路电流和最小短路电流，是进行其协调动作分析的依据。为进行协调分析方便，现将本电力系统几个相关故障点的短路电流计算值列于表 B.2 中。

相关故障点的短路电流值　　表 B.2

故障点		最大短路电流 kA		1 台 440kW 发电机供电 kA		应急发电机供电 kA	
代号	位　置	i_p	I_{ac}	i_p	I_{ac}	i_p	I_{ac}
1G、3G①	发电机端	7.71②	2.91②	12.04	4.56		
B	主汇流排	38.10	14.92	15.95	6.35	-	-
C1	应急汇流排	14.55	9.94	8.99	5.47	4.08	1.59
D1	主照明 汇流排	3.98③ 6.89	2.53 4.38	3.41 5.91	2.10 3.64	-	-
D2	应急照明 汇流排	2.26 3.93	1.46 2.53	2.07 3.59	1.31 2.27	1.52 2.64	0.86 1.49
F	首楼 照明灯	0.069 0.119	0.049 0.084	0.069 0.119	0.049 0.084	0.058 0.101	0.041 0.071

注：①此为主汇流排处短路，单台发电机送出的短路电流；
②此为主汇流排处短路，312kW 发电机送出的短路电流；
③这里列出的两组数据，“上一数据”为 400V/230V 变压器初级侧短路电流值，“下一数据”为变压器次级侧短路电流值。

电力系统各级保护电器的设置及其整定值，见 B.3 部分。

电力系统相关各级保护电器协调动作分析、时间－电流特性曲线图以及对某些断路器的动作灵敏性校核，见 B.4 部分。

B.3 系统各级保护电器的设置及其整定值

见表 B.3a ～ 表 B.3g 所列。

主发电机断路器　　表 B.3a

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号①	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
1G 2G	1 号发电机 2 号发电机	790A	XXXX	800	800	LTD	I_r= 0.4～1.0I_n	I_r= 0.99 I_n= 790A	其中 STD 保护采用定时限延时方式(I^2t OFF)。
							t_r= 0.5～24s(6I_r)	t_r= 1.0s(6I_r)	
						STD	I_{sd}= 1.5 ～10 I_r	I_{sd}= 2.5 I_r= 1975A	
							t_{sd}=0.1,0.2,0.3,0.4s	t_{sd}=0.4s	
						INST	I_i= 2~15I_n	I_i= 13I_n =10.40kA	

主发电机断路器　　表 B.3b

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
3G	3 号发电机	530A	XXXX	630	630	LTD	I_r= 0.4～1.0I_n	I_r= 0.84 I_n= 530A	其中 STD 保护采用定时限延时方式(I^2t OFF)。
							t_r= 0.5～24s(6I_r)	t_r= 1.0s(6I_r)	
						STD	I_{sd}= 1.5 ～10 I_r	I_{sd}= 2.5 I_r= 1330A	
							t_{sd}=0.1,0.2,0.3,0.4s	t_{sd}=0.4s	
						INST	I_i= 2~15I_n	I_i= 11I_n =6.93kA	

①此处和以下各表中都没有标明所选用保护电器的厂商/型号，在实际送审中均应标明。

主、应急互连馈线断路器　　表 B.3c

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
	主、应急互连馈线	250A	XXXX	630	630	LTD	I_r= 0.4～1.0I_n	I_r= 0.4 I_n= 250A	该断路器具有“能量脱扣”性能；采用电子脱扣器。
							t_r=6 ～8s(6I_r)	t_r= 6s(6I_r)	
						STD	I_{sd}= 2 ～10 I_r	I_{sd}=4.0I_r= 1000A	
							t_{sd}≤0.23s	t_{sd}=0.2s①	
						INST	I_i= 1.5～11I_n	I_i= 11I_n= 4400A	
注：①在此情况下，该 MCCB 的最大全分断时间为 230ms，最大可返回时间为 140ms。									

主照明变压器断路器　　表 B.3d

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
MT	主照明变压器	130	XXXX	250	250	LTD	I_r= 0.4～1.0I_n	I_r= 0.52 I_n= 134A	该断路器具有“能量脱扣”性能；采用电子脱扣器。
							t_r=5 ～7.5s(6I_r)	t_r= 6s(6I_r)	
						STD	I_{sd}= 2 ～10 I_r	I_{sd}= 8.0I_r= 1072 一A②	
							t_{sd}=0.05s	t_{sd}=0.05①s	
						INST	I_i= 11I_n(固定)	I_i= 11I_n= 2750A②	
注：①在此情况下，该 MCCB 的最大全分断时间为 60ms，最大可返回时间为 40ms； ②为了避免变压器的冲击励磁电流的干扰，该两项整定值应取高些。									

应急照明变压器断路器　　表 B.3e

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
ET	应急照明变压器	65	XXXX	250	160	LTD	I_r= 0.4～1.0I_n	I_r= 0.41 I_n= 64A	该 MCCB 具有“能量脱扣”性能；采用电子脱扣器。
							t_r=5 ～7.5s(6I_r)	t_r= 6s(6I_r)	
						STD	I_{sd}= 2 ～10 I_r	I_{sd}= 10.0I_r= 640A②	
							t_{sd}≤0.06 s	t_{sd}=0.06 s	
						INST	I_i= 11I_n (固定)	I_i= 11I_n= 1760A②	
注：①在此情况下，该 MCCB 的最大全分断时间为 60ms，最大可返回时间为 40ms； 为了避免变压器的冲击励磁电流的干扰，该两项整定值应取高些。									

应急汇流排和主、应急照明汇流排引出端断路器　　表 B.3f

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
	应急汇流排、主照明和应急照明汇流排引出分路	45	XXXX	100	50	LTD	I_r= 0.8～1.0I_n	I_r= 0.9 I_n= 45A	该 MCCB 具有“能量脱扣”性能；采用热磁脱扣器。
						INST	I_i= 500A (固定)		
注：①这一级使用的 MCCB 有好几档脱扣器，此处以 50A 为例。									

应急发电机断路器　　表 B.3g

设备或馈电分路			断路器						备　注
代号	名称	额定值 A	厂商/型号	壳架等级电流 A	脱扣器(或互感器）额定电流 A	保护种类	整定范围	整定值	
EG	应急发电机	158	XXXX	630	400	LTD	I_r= 0.4～1.0I_n	I_r= 0.4 I_n= 160A	其中 STD 保护采用定时限延时方式(I^2t OFF)。
							t_r= 0.5～24s(6I_r)	t_r= 1.0s(6I_r)	
						STD	I_{sd}= 1.5 ～10 I_r	I_{sd}= 2.5 I_r= 400A	
							t_{sd}=0.1,0.2,0.3,0.4s	t_{sd}=0.3s	
						INST		OFF	

B.4 电力系统有关各级保护电器协调动作分析及时间－电流特性曲线图

B.4.1 协调分析

B.4.1.1 主发电机之间及其与下一级之间的短路选择性保护

(1)主发电机之间的短路选择性保护

采用保护发电机断路器的 INST 保护实现。其整定值：1G、2G 为 10.40kA；3G 为 6.93kA，均大于各自发电机短路电流($i_{pg}/\sqrt{2}$)的 1.2 倍，满足本指南 3.2.1(1) 的要求。可实现这部分的短路选择性保护。

(2)按时间原则实现主发电机与其下一级之间的短路选择性保护

①主发电机 ACB 与主、应急互连馈线 MCCB 之间

如表 B.3a、B.3b 和 B.3c 所示，该两断路器均采用 STD 作短路保护，它们的时间整定值：前者为 0.4s，后者为 0.2s 。后者的最大全分断时间为 230ms，前者的可返回时间至少可达到 250ms，故这两级可实现完全短路选择性保护。

②主发电机 ACB 与主照明变压器初级 MCCB 之间

与以上①相同，而这里的主照明变压器初级 MCCB，从表 B.3d 中可知，STD 保护动作时的最大全分断时间为 60ms，故这两级可实现完全短路选择性保护。

(3)主发电机的欠电压保护和逆功率保护与短路选择性保护的协调

主发电机的欠电压脱扣器和逆功率保护继电器的动作，均应在发生故障后至少经 1s 的延时后动作，以能与上述相关的短路选择性保护相协调。

B.4.1.2 照明变压器初级 MCCB 与下一级 MCCB 之间

(1)主照明变压器初级 MCCB 与下一级 MCCB 之间

由表 B.3d 可知，主照明变压器初级 MCCB 具有“能量脱扣”性能，其壳架等级电流为 250A，其与下一级壳架等级电流之比大于 2。且在流过其下一级 MCCB 的短路电流达到 2.5kA 及以上时，即实现了“能量脱扣”。由图 B.4.3d 可知该 MCCB 约在 8ms 时间内快速脱扣，分断故障电路，实现了完全短路选择性保护。

在流过其下一级 MCCB 的短路电流不足 2.5kA 的情况下，则流过变压器初级 MCCB 的短路电流不到 1.44kA，则该初级 MCCB 不会瞬动。但只要流过变压器次级 MCCB 的短路电流大于 500A 时，则该次级 MCCB 即瞬时动作，约在 8ms 时间内即完全分断，流过其中的短路电流越大，由于其限流作用，分断时间更短些(详见图 B.4.3d)。如

这下一级保护有故障，则由其初级 MCCB 的 STD 保护动作，经 60ms 后切断故障电路，起到其下一级保护的后备保护作用。

(2)应急照明变压器初级 MCCB 与下一级 MCCB 之间

情况与上述(1)主照明变压器一样，在大短路电流下实现“能量脱扣”，而在较小短路电流下，以时间原则实现完全短路选择性保护。

B.4.1.3 主、应急互连馈线 MCCB 与以下级 MCCB 之间

(1)主、应急互连馈线 MCCB 与应急汇流排引出分路 MCCB 之间

如表 B.3c 和表 B.3f 所示，这两级 MCCB 都具有“能量脱扣”性能。且其上一级 MCCB 壳架等级电流为 630A 为其下一级 MCCB 壳架等级电流 100A 的 6.3 倍，以及应急汇流排处的短路电流都在 5kA 以上。因此，此两级之间能以“能量脱扣”方式实现完全短路选择性保护。

(2)主、应急互连馈线 MCCB 与应急变压器初级 MCCB 之间

如表 B.3c 和表 B.3e 所示，这两级 MCCB 都具有“能量脱扣”性能。其上一级 MCCB 壳架等级电流为 630A 与其下一级 MCCB 壳架等级电流 250A 之比，虽然大于 2。但由于从表 B.2 中的 D2 点可以看出，流过其中的短路电流不足 250A 的 25 倍，故不能实现“能量脱扣”。而是按“时间原则”实现了此两级之间的短路选择性保护：其上一级 MCCB 的 STD 保护的最大可返回时间为 140ms 大于其下一级 MCCB 的全分断时间 60ms。

B.4.1.4 应急发电机 ACB 与应急照明变压器初级 MCCB 及其下一级 MCCB 之间

此与以上 B.4.1.3(2)相似，不同的是将上述的“主、应急互连馈线 MCCB”换成了“应急发电机 ACB”，并将该 ACB 中 STD 保护的延时时间换成了“0.3s”，完全满足本指南 3.1.2(3)②的要求。

在应急发电机供电情况下，其应急照明变压器初级 MCCB 和下一级 MCCB 之间，与以上 B.4.1.2(2)不同的是流过下一级 MCCB 的短路电流减小了些。这两级 MCCB 之间系按时间原则实现了完全短路选择性保护。

B.4.1.5 主、应急照明汇流排引出分路 MCCB 与其下一级的 MCCB(或 MCB)之间

如本指南 3.1.2(2)②b 所述，主、应急照明汇流排引出分路 MCCB 与其下一级的 MCCB(或 MCB)之间，如按制造厂商提供的保护协调资料的规定选定 MCCB(或 MCB)，则可实现这部分的过电流选择性保护。

B.4.2 某些短路保护电器的动作灵敏性校核

根据本指南对保护电器动作灵敏性的要求，现选择首楼甲板照明灯，为校核其供电 MCCB 的短路保护动作灵敏性，经计算该处的最小二相短路的对称短路电流为：

$I_{ac(2)}$ = 84A×0.866 = 72.74A 。

现确定保护其馈电线的 MCCB 的瞬时动作值为：I_{INST} = 50A，则其灵敏系数等于 1.45，满足本指南 3.1.2(1)③的要求。

B.4.3 表明各级断路器协调动作的时间－电流特性曲线图

详见下列时间－电流特性曲线图：

图 B.4.3a 主发电机 ACB、主照明变压器初级 MCCB 和主照明汇流排引出分路 MCCB 的协调动作时间－电流特性曲线图；

图 B.4.3b 主发电机 ACB，主、应急汇流排互连馈线 MCCB，应急照明变压器初级 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图；

图 B.4.3c 应急发电机 ACB、应急照明变压器初级 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图；

图 B.4.3d XX 系列 MCCB 的能量脱扣区段协调动作的时间－电流特性曲线图。

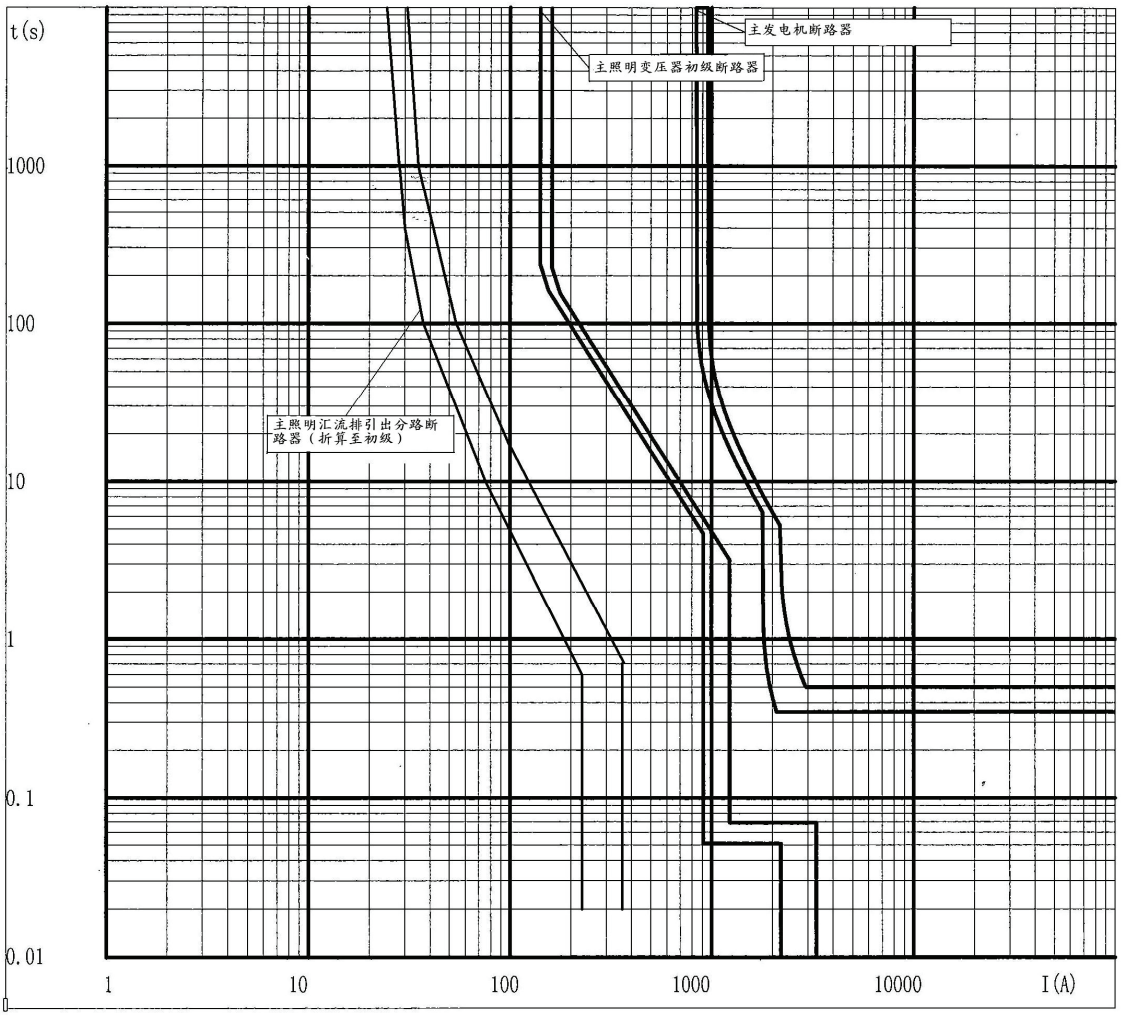


图 B. 4. 3a 主发电机 ACB、主照明变压器初级 MCCB 和主照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图

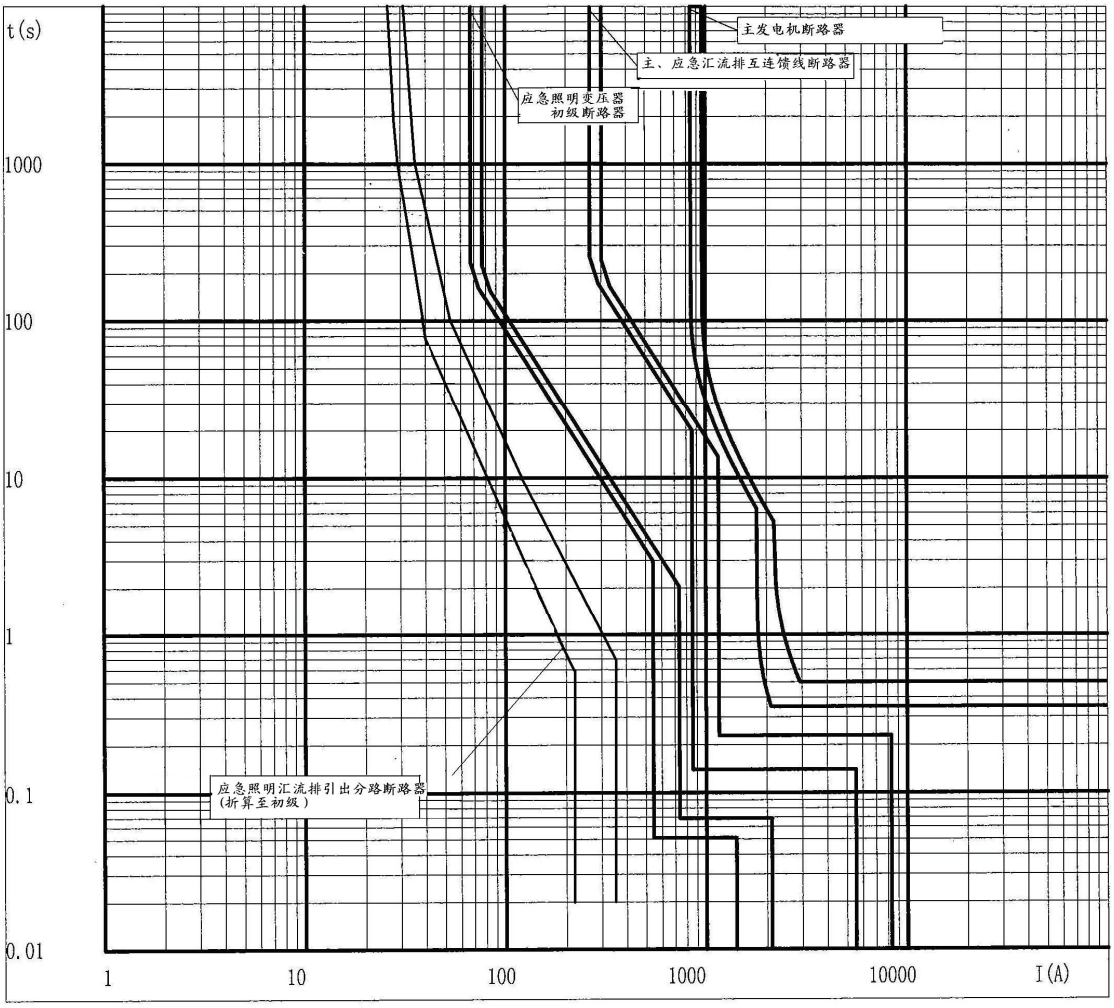


图 B.4.3b 主发电机 ACB，主、应急汇流排互连馈线 MCCB，应急照明变压器初级 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图

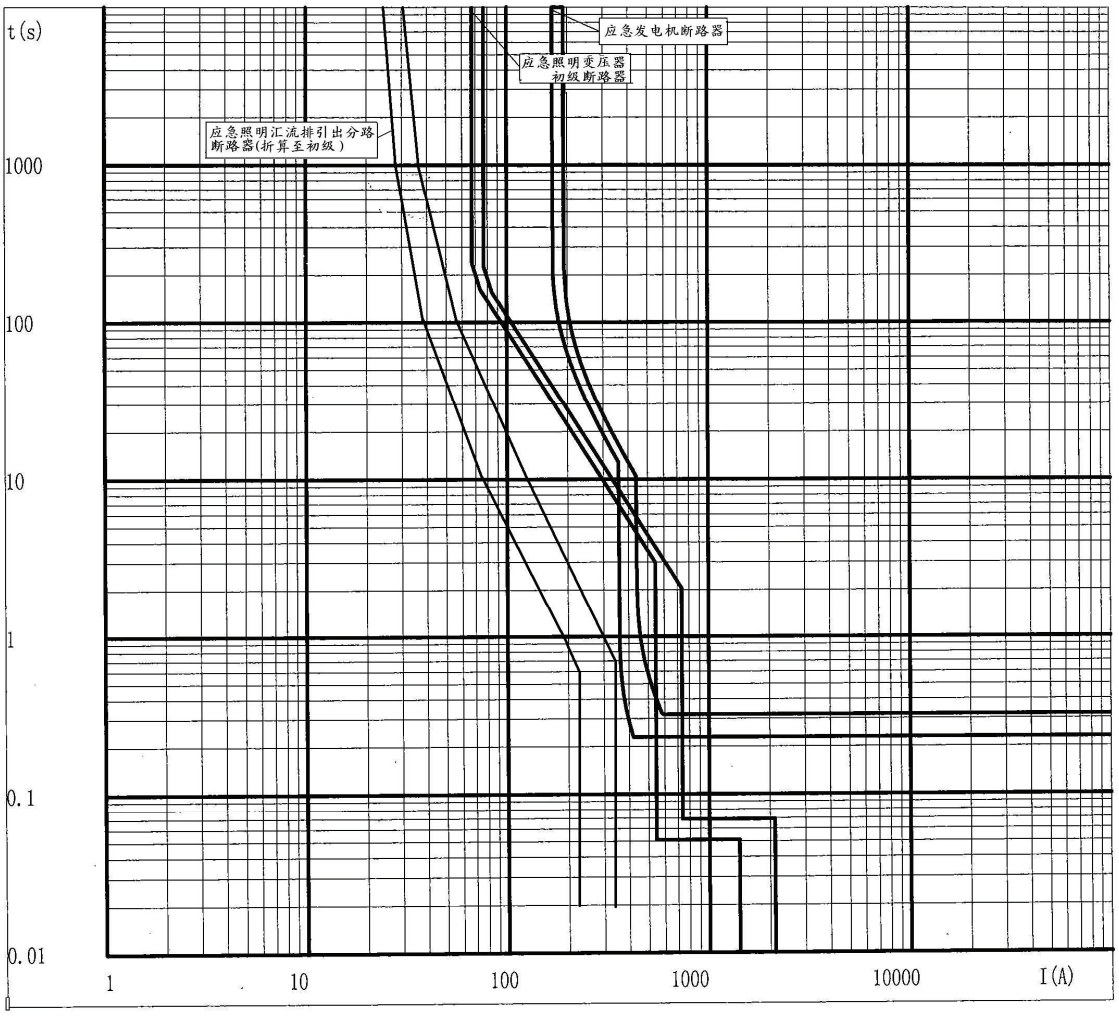


图 B.4.3c　应急发电机 ACB、应急照明变压器初级 MCCB 和应急照明汇流排引出分路 MCCB 协调动作的时间－电流特性曲线图

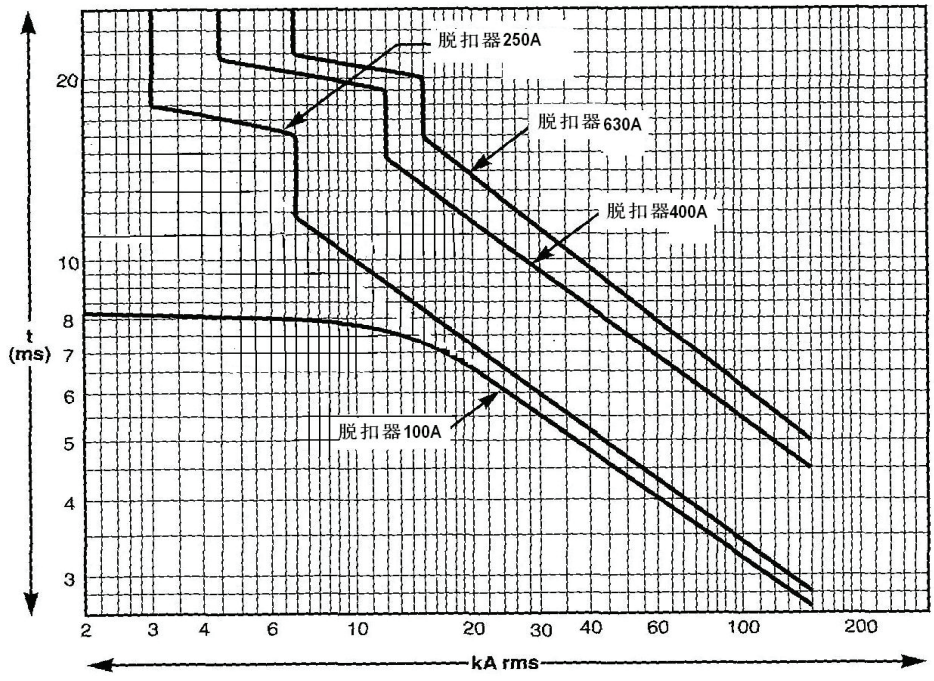


图 B.4.3d XX 系列 MCCB 的能量脱扣区段协调动作的时间－电流特性曲线图