

目 次

前言	I
IEC 前言	II
1 范围和目的	1
2 引用标准	1
3 电联结和定义	1
4 载流能力	4
5 电压	6
6 I^2t 特性	9
7 分断范围	10

前 言

本标准等同采用 IEC 146-6:1992《半导体变流器 第 6 部分：使用熔断器保护半导体变流器防止过电流的应用导则》。

本标准为电力电子专业的基础标准，并为首次颁布。在我国电力电子专业以及熔断器的生产、营销领域推荐使用本标准的规定。

本标准可与国家标准 GB/T 3859.1~3859.3—1993《半导体变流器》(eqv IEC 146-1-1~146-1-3:1991)配合使用。

本标准由国家机械工业局提出。

本标准由全国电力电子学标准化技术委员会归口。

本标准由西安电力电子技术研究所负责起草。

本标准主要起草人：李吉河、赵萍、周观允。

IEC 前言

1) 国际电工委员会(IEC)有关技术问题的正式决议或协议,由所有对该问题特别关注的国家委员会都参加的技术委员会所制定,它尽可能地表达了对所涉及的问题在国际上的一致意见。

2) 这些决议或协议以推荐标准的形式供国际上使用,并在这一意义上为各国家委员会所接受。

3) 为促进国际上的统一,IEC 表示希望:各国家委员会在其国内情况许可的范围内,均应采用 IEC 推荐标准的内容作为本国的规定。IEC 推荐标准与相应国家标准之间如有不一致之处,应尽可能在国家标准中明确指出。

本标准由 IEC/TC 22“电力电子学”技术委员会制定。

本标准的内容基于下列文件:

CD	表决报告
22B(秘书处)70	22B(秘书处)71

批准本标准的全部投票情况已由上表的表决报告中指明。

中华人民共和国国家标准

半导体变流器

第6部分:使用熔断器保护半导体 变流器防止过电流的应用导则

GB/T 17950—2000
idt IEC 146-6:1992

Semiconductor converter—

Part 6: Application guide for the protection of semiconductor converters against overcurrent by fuses

1 范围和目的

本标准作为应用导则,适用于带有熔断器的半导体变流器,熔断器用来保护构成变流器主臂的半导体。本标准限于单相或双拍联结的电网换相变流器,也适用于满足 GB/T 13539.1 和 GB 13539.4 要求的熔断器。适当时,本标准的通用条款也对第2章引用标准 GB/T 3859 和 IEC 1287-1 所包括的变流器给出了指导。

本标准的目的是对特定熔断器和变流器的特性提出建议并作出说明,以保证在变流器中正确选择应用半导体熔断器。同时对用熔断器来保护变流器的安全运行作了特别介绍。

本报告最主要的内容是通过主臂用熔断器保护的三相变流器联结进行说明。而且,这也适用于由 GB/T 3859.1 和 IEC 1287-1 所包含的变流器。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2900.1—1992 电工术语 基本术语(neq IEC 50)

GB/T 2900.18—1992 电工术语 低压电器(eqv IEC 50-441;1984)

GB/T 3859—1993 半导体变流器(eqv IEC 146-1;1991)

GB 13539.1—1992 低压熔断器 基本要求(neq IEC 269-1;1968)

GB 13539.4—1992 低压熔断器 半导体器件保护用熔断体的补充要求(neq IEC 269-4;1986)

IEC 1287-1;1996 在动车上安装的电力变流器 第一部分:特性和试验方法

注:IEC 1287-1;1996 代替 IEC 411 和 IEC 411-1。

3 电联结和定义

3.1 双拍联结

3.1.1 联结 A1:交流侧熔断器,非再生负载

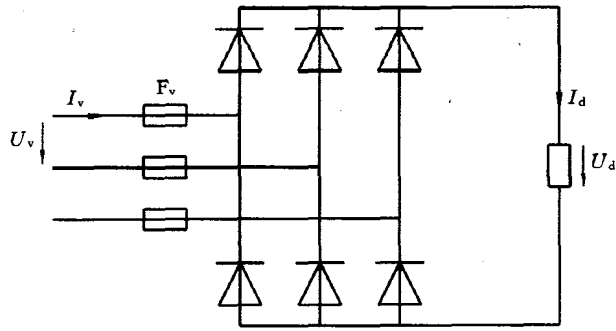
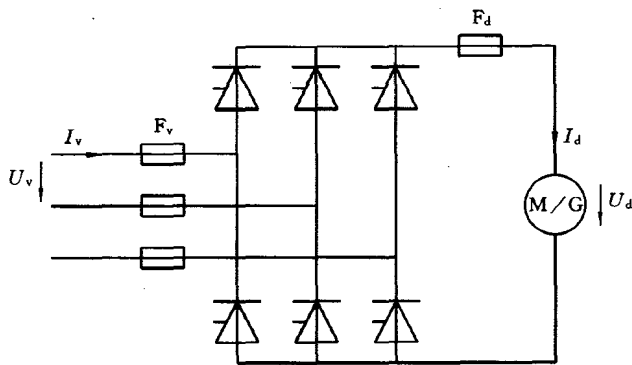


图 1 非再生负载,有交流侧熔断器 F_v 的二极管或晶闸管三相双拍联结

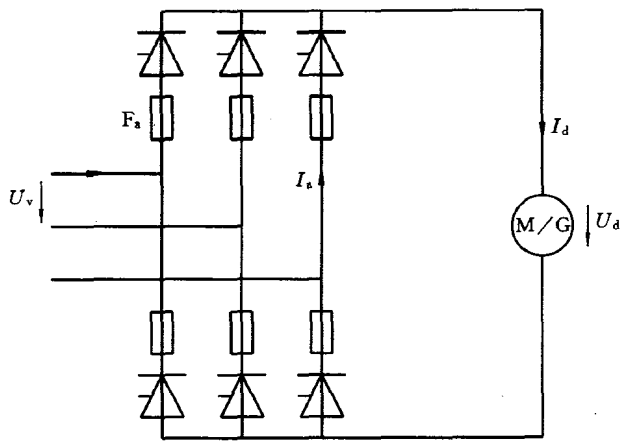
3.1.2 联结 A2: 交流侧熔断器,再生负载



注: U_d 可为正或负。

图 2 再生负载,有交流侧熔断器 F_v 和直流侧熔断器 F_d 的三相双拍联结

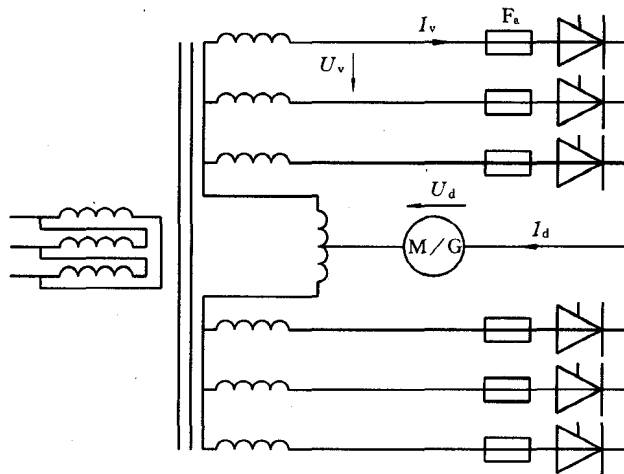
3.1.3 联结 A3: 臂熔断器,再生或非再生负载



注: U_d 可为正或负。

图 3 再生或非再生负载,有臂熔断器 F_a 的三相双拍联结

3.2 单拍联结(B),再生或非再生负载



注： U_d 可为正或负。

图 4 再生或非再生负载，有臂熔断器 F_a 和相间变压器的双三相单拍联结

注：变流器的基本联结电路图示于图 1~图 4，相关的图例和介绍见后述条款。

3.3 定义

3.3.1 熔断器 fuse

一种器件，当电流超过规定值且经过一定时间，通过熔断一个或多个专门设计的和相称的零件，分断其所接入的电路。熔断器包括构成整个器件的所有部件。[GB/T 2900.18]

3.3.2 额定 rating

设定额定值和运行条件。

注：对低压熔断器，额定值通常情况下为：电压、电流、分断能力、实际的和允许的功率损耗、频率（如合适）。在交流时，额定电压和额定电流均指对称的方均根值。在脉动直流时，额定电压是指平均值，额定电流是指方均根值。如无特别说明，上述内容适用于任何等级的电压和电流值。[GB/T 2900.1]

3.3.3 (电路及与开关器件或熔断器相关的)预期电流 prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)

当开关器件或熔断器的各极用忽略阻抗的导体代替时，流过电路的电流。[GB/T 2900.18]

预期电流的大小一般作为熔断器分断能力和特性的参考值，例如 I^2t 特性（见 3.3.10）。

3.3.4 (开关器件或熔断器的)分断能力 breaking capacity (of a switching device or a fuse)

在规定的使用和性能条件下，开关器件或熔断器在给定的电压下能够分断的预期电流值（对交流，是交流分量的均方根值）。[GB/T 2900.18]

3.3.5 分断范围 breaking range

熔断器的分断能力得到保证的预期电流的范围。[GB/T 13539.1]

3.3.6 弧前时间，熔化时间 pre-arcing time, melting time

从电流大到足以使熔体熔化开始，到电弧出现瞬间之间的时间间隔。[GB/T 2900.18]

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

从一个极或熔断器出现电弧的瞬间，到该极或熔断器的电弧最终熄灭时的时间。[GB/T 2900.18]

3.3.8 熔断时间；总断路时间 operating time; total clearing time

弧前时间和燃弧时间之和。[GB/T 2900.18]

3.3.9 I^2t ，焦耳积分 Joule integral

电流的平方在一给定的时间内的积分。

$$I^2t = \int_0^t i^2 dt$$

注

- 1 弧前 I^2t 是熔断器弧前时间内 I^2t 的积分。
- 2 熔断 I^2t 是熔断器熔断时间内 I^2t 的积分。
- 3 在有熔断器保护的电路中, 1Ω 电阻上释放的焦耳能量等于用 $A^2 \cdot s$ 表示的熔断 I^2t 值。[GB/T 2900.18]

3.3.10 I^2t 特性 I^2t characteristic

在规定条件下, I^2t 的值为预期电流和(或)电压的函数。

注: I^2t 特性一般与弧前或熔断时间有关。[GB/T 2900.18]

3.3.11 弧电压 arc voltage

在燃弧时间内出现在熔断器端子上的电压瞬时值。

4 载流能力

4.1 额定电流

熔断器的额定电流由制造厂规定,并在 GB 13539.4 规定的正常条件下,通过温升试验和重复工作制试验来验证。

在正常条件(如环境温度、联结尺寸、自然冷却)下,熔断器可承受直流或频率接近 50 Hz 正弦交流电流直到温度达到稳定。若制造厂不另作说明,熔断器可以长期承受该电流。重复工作制试验表明,同样条件下,熔断器可以承受 100 次试验循环,每次循环包括一个 0.1 倍约定时间的额定电流通电期和同样时间的断电期。

注: 约定时间接近于熔断器达到热平衡的时间,如表 1(见 GB 13539.1—1992 表 1):

如果工作条件与 GB 13539.4 规定的正常工作条件不同,应用几个修正因数对额定电流进行修正,详见 GB 13539.1 和 GB 13539.4。

表 1 约定时间

额定电流 I_N, A	约定时间, h
$I_N \leq 63$	1
$63 < I_N \leq 160$	2
$160 < I_N \leq 400$	3
$400 < I_N$	4

4.2 连续工作制时的额定电流

当熔断器规定承载连续电流时,首先计算电流在工频(45 Hz~62 Hz)一个循环周期内的方均根值,并保持不变。除非制造厂另有说明,所选额定电流至少应等于上述电流的方均根值。如有必要,考虑 4.2.1~4.2.4 所述情况。

4.2.1 环境温度

如果环境温度超过 40℃,应用制造厂给出的修正因数来修正所用熔断器的额定电流。

4.2.2 联结及周围条件

熔断器的功率损耗有一部分通过外部电路的联结件耗散,如果熔断器的安装类似于常规试验的联结(见 GB 13539.4),亦即直接接在母线上,且铜联结件截面的电流密度大于 $1.6 A/mm^2$,应使用制造厂给出的降容因数。给出的降容因数作为截面积减少百分数的函数是很有用的。对使用熔断器底座的熔断器,如果联结件的截面积小于表 2 的规定值,应使用同样的因数。

如果联结件与热源相连,例如晶闸管或二极管,应使用额定电流值较大的熔断器。

在一些有水冷散热器或强迫风冷的良好条件下,可用额定电流值较低的熔断器。在强迫风冷的条件下,应使用制造厂给出的修正因数(与风速有关)来确定所用熔断器的额定电流。

对其他情况,可向制造厂咨询。

表 2 试验用铜导体的截面积(见 GB 13539.1—1992 表 11)

额定电流, A	截面积, mm ²	额定电流, A	截面积, mm ²
2	1	80	25
4	1	100	35
6	1	125	50
8	1.5	160	70
10	1.5	200	95
12	1.5	250	120
16	2.5	315	185
20	2.5	400	240
25	4	500	2×150 或 2×(30×5)*
32	6	630	2×185 或 2×(40×5)*
40	10	800	2×240 或 2×(50×5)*
50	10	1 000	2×(60×5)*
63	16	1 250	2×(80×5)*

* 熔断器连接至铜母线的推荐截面积。所用联结的型式和布置应在试验报告中说明。适用于涂黑色无光泽的铜排,同极性的并联铜排之间的距离约为 5 mm。

注: 表 2 规定的数值以及 GB 13539.1—1992 中表 3 所规定的温升极限是作为一般情况下的考虑,对 GB 13539.1—1992 中 8.3 规定的温升试验有效。按照符合规定安装条件所使用或试验的熔断器,可能有些联结在型式、特性以及配置方面均不同于试验条件,因此需要规定另外的温升极限。

4.2.3 并联的半导体

在计算每个半导体的电流时应考虑均流系数。

4.2.4 脉动电流或低频电流

熔体的热响应时间可能很短,所以同正弦形相差很大的电流情况,不能仅仅基于方均根电流的计算来假定其动作。特别是在较低频率,和当电流由于相当长时间微小电流的分隔而出现凸峰时,更是如此。应向制造厂咨询。

4.3 重复工作制时的额定电流

在本标准 4.1 的重复工作制试验表明(见 GB 13539.4),在正常工作条件下,熔断器能够承受额定电流 100 次“通-断”循环。

因为该试验的结论不能满足频繁出现零电流场合,所以制造厂应给出修正因数。在规定工作条件下(要求考虑应用),该因数能保证熔断器无限的长期使用(大于 10 000 次循环),以防止老化和熔断器可能因此而产生早熔。

4.4 熔断器的过载曲线

4.4.1 过载能力的验证

制造厂应给出运行点的时间和电流的坐标(图 5 的 X 和 Y),这些点的过载能力,通过下述步骤验证。

在标准试验条件下,向熔断器施加 100 次负载循环,每次循环总持续时间为 0.2 倍的约定时间,“通电”期间施加相应于要验证过载能力坐标的电流值和时间值,“断电”期间为循环的剩余时间。试验后,熔断器的特性不应有显著改变。

约定的过载曲线以 100 次工作制循环为基础。现场经验表明,多数情况下,该 100 次工作制循环为基础的过载曲线,并不能够保证熔断器长久而可靠地工作。为此,需用一个经验系数增加熔断器的标称电流。

熔断器制造厂应规定远大于 100 次 (>10 000 次循环) 的工作制循环的过载因数, 而不论这些因数是否包含在过载曲线之内。

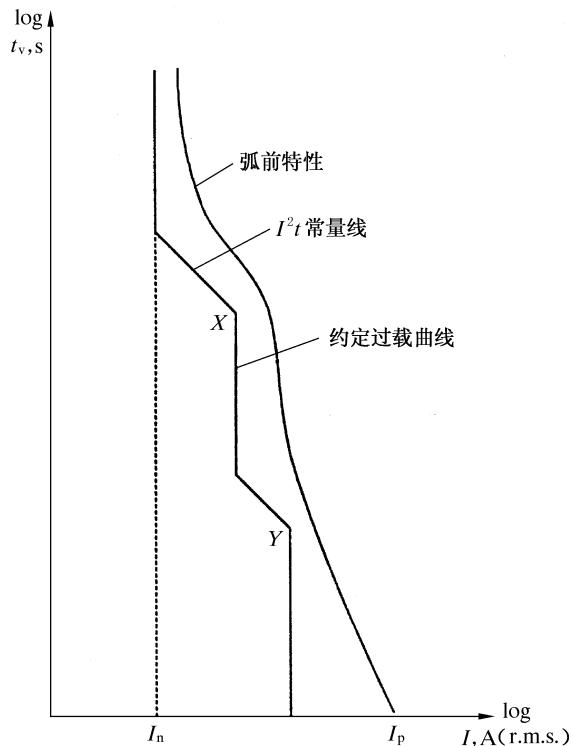


图 5 约定过载曲线(例子)(X 和 Y 为已验证过载能力的点)

4.4.2 约定过载曲线

约定过载曲线是已验证过载能力坐标点的直线段, 从每组坐标点上引出两根线:

- 一根从已验证的点出发沿着电流为常值的各点朝时间坐标较小方向所连成的直线;
- 另一根是从已验证的点出发沿着 $I^2 t$ 为常数的各点朝时间坐标较大的方向所连成的直线。

这些线段最后与表示额定电流的线重合, 构成了约定过载曲线(见图 5), 该曲线的精确度随验证的过载能力点数而提高。

4.5 过载运行使用的额定电流

熔断器的实际过载应与约定过载曲线作比较。实际过载很少呈现与约定过载一样的时间函数, 需转换为如下等效约定过载:

- 实际过载的最大值等于等效约定过载的最大值;
- 等效约定过载的持续时间应为: 它的 $I^2 t$ 变换为等于实际负载在整个 0.2 倍熔断器约定时间

(见表 1) 内积分的 $I^2 t$ 。

接近 0.2 倍约定时间的任何负载值都应按熔断器的连续负载考虑。

上面定义的约定过载将落在熔断器约定过载曲线的左侧, 然而, 由于过载能力是通过 100 次过载循环试验验证的, 则重复过载的实际情况可能需要降低, 这应征求制造厂的意见。

另外, 还要考虑一些特殊情况, 如 4.2 中曾提及的环境温度, 联结方式等。

5 电压

5.1 额定电压

熔断器的额定电压是由制造厂确定的, 在额定频率下施加的正弦电压值(有时是直流电压), 是 GB 13539.4 型式试验的实用基准。在 GB 13539.4 规定的条件和制造厂规定的极限范围(如分断能力)

内,在此额定电压下熔断器能切断电路。

5.2 故障电压

在工作中,引起故障电流时所施加的电压。随联结形式和故障形式的不同而不同,并不总等于开路电压 U_{v0} ,欲定义它须考虑下列不同情况:

- 非再生变流器中产生的故障;
- 再生变流器产生的故障。

5.2.1 非再生型

在 3.1.1 和 3.1.3 中的双拍联结 A1 和 A2,带非再生负载。施加于熔断器上的电压等于两相间的空载电压 U_{v0} ,因而通常需要使用交流额定电压至少等于 U_{v0} 的熔断器。这也适用于 3.2 中的单拍联结 B。

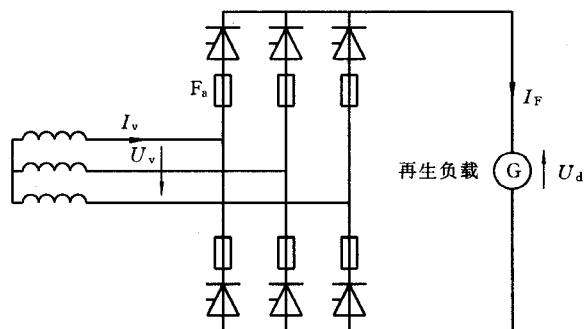
此外,若变流器带几个能产生反向故障电流(电动势)的负载,或几个电源并联供同一负载,熔断器分断能力的验证应考虑到直流分量。

5.2.2 再生型

熔断器施加与 5.2.1 相同的电压。另外,还应考虑下列两种故障对熔断器的特定制约。

5.2.2.1 直通

在逆变状态,直通故障(见图 6)时,施加的电压等于直流负载电压 U_{d0} (作电流源运行)和交流电压 U_{v0} (A2、A3 及 B 联结)之和(见图 7)。



I_F —故障电流

图 6 直通故障回路

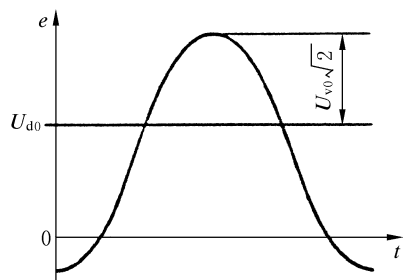
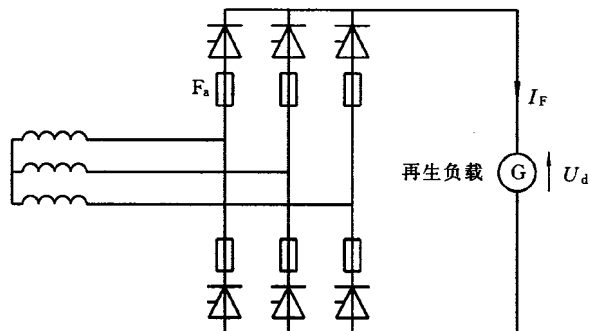


图 7 熔断器清除直通故障时施加的电压

5.2.2.2 触发故障

逆变状态,负载作发电机运行,A2 和 A3 联结中半导体的触发故障,会使桥臂直通(见图 8),可引起直流短路。



I_F —故障电流

图 8 直流短路

5.2.2.3 熔断器额定电压的选取

熔断器在上述两种条件下均应熔断,实际应用中,对 A2 和 A3 联结,通常取额定交流电压大于 $(U_{v0} + U_{d0}/\sqrt{2})$;对 B 联结,通常取额定交流电压大于 $(U_{v0}/\sqrt{3} + U_{d0}/\sqrt{2})$ 。

然而,仍应向制造厂咨询。另外,还需验证在再生负载时,熔断器可以切断 A2、A3 和 B 联结中具有故障回路时间常数的 U_{d0} 。

注

- 1 U_{v0} :空载线电压的方均根值。
- 2 U_{d0} :空载直流电压值。
- 3 如果是再生型,考虑到电机速度在弧前时间内可能会突然降低, U_{d0} 的值应认为是在熔断器的燃弧时间开始时,再生负载两端的直流空载电压。
- 4 在预期的故障电流较低,或触发故障只影响并联联结中单个器件的情况下,A2 和 A3 联结中,上述公式假定一次只有一个熔断器熔断。

5.3 最大弧电压

最大弧电压是在燃弧期间出现在熔断器两端电压的最大值,它随工作条件(施加的直流或交流电压值、时间常数或功率因数,预期短路电流)的不同而不同,由制造厂作为这些不同参量的函数给出。

最大弧电压通常高于外施电压的峰值,在选择半导体的电压性能时应予以考虑,当几个半导体串接熔断器后并联时,熔断器熔断时的弧电压显而易见的全部施加在并联的半导体上。值得特别指出的是,对于某些其他联结形式,弧电压仅是部分地施加或根本不施加在半导体的两端,随熔断器位置和电路电感而定。

为了估算弧电压对半导体臂阻断电压的影响,可绘制出等效电路以说明故障电流通过源电压、电阻、电感和 e. m. f. (电动势,若有)的通路。

应标志出需研究的臂的端子,这样,臂的阻断电压可由相关电路元件瞬时电压之和计算。

为计算瞬时电压,应记住下列瞬时关系式:

$$e = u + R_i + L \frac{di}{dt}$$

这个关系式已在熔断器燃弧期间图 9 的故障电路中验证。

式中: e ——源电压和故障电流流动时施加于回路的电动势(如有);

u ——熔断器弧电压;

R ——故障电流流动时回路中的电阻;

L ——故障电流流动时回路中的电感。

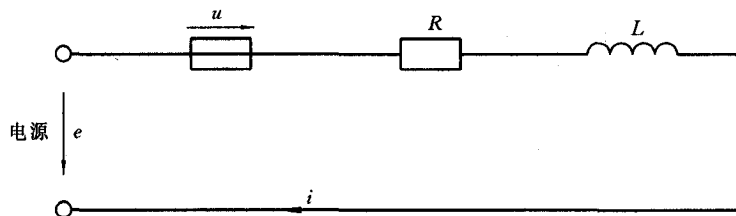


图9 弧电压

6 I^2t 特性

6.1 弧前 I^2t 特性

用熔断器的弧前时间 t_p 内预期短路电流的函数给出：

$$\int_{t_p} i^2 dt$$

6.2 熔断 I^2t 特性

用熔断器的总熔断时间 t_t 内预期短路电流的函数给出：

$$\int_{t_t} i^2 dt$$

以外施电压为参数表示，且对应于一给定的功率因数或时间常数。

6.3 并联联结

在带有 n 个并联半导体的大功率变流器中，当产生的故障似乎涉及所有导通的并联单元时，为了避免烧断过多的熔断器，应当有选择地设置熔断器和断路器。

熔断器和断路器之间的差别：

$$(I^2t)_b < (nk_1)^2 k_2 (I^2t)_f$$

式中： $(I^2t)_b$ —— 断路器的动作 I^2t ；

$(I^2t)_f$ —— 一个熔断器的弧前 I^2t ；

n —— 并联熔断器的个数；

k_1 —— 断路时并联熔断器的均流系数， $k_1 < 1$ ；

k_2 —— 为避免熔断器老化而由制造厂给出的安全因数， $k_2 < 1$ 。

对同一变流器，仅有一个半导体发生触发故障或击穿时，熔断器便熔断。这里一是应验证在外施电压下熔断器的熔断 I^2t 低于半导体允许的最大 I^2t 。另一点是验证外施电压在熔断器之间的均匀分配。即：

$$(I^2t)_t < (nk_1)^2 k_2 (I^2t)_f$$

式中： $(I^2t)_t$ —— 一个熔断器的熔断 I^2t 。

6.4 其他

不论何种故障，人们希望借助串接的熔断器来保护半导体器件，那么应验证在外施电压下熔断器熔断的 I^2t 低于半导体允许的最大 I^2t 。

半导体的 I^2t 通常定义为半个周期浪涌电流的容量，并且随半个周期的持续时间变化很大。应通过熔断器的熔断时间对 I^2t 进行比较，在故障电流高于熔断器的额定电流时，这一点尤为重要。当预期的故障电流增加时，某些熔断器的总 I^2t 增加，而另一些则下降，但下降率要比半导体允许 I^2t 的下降要慢。所以，在某些短路电平下半导体和熔断器间存在的协调关系，在较高故障电平时就有可能丧失。

在无半导体并联的变流器中，至少有两个串联熔断器在切断故障电流，所以，和只用一个熔断器消除故障时相比，总 I^2t 有所减小。

7 分断范围

其定义是：熔断器能够切断的短路电流的范围，从熔断器最小熔断电流到额定分断能力（在额定电压下，熔断器可切断的最大预期电流）。这意味着，熔断器不能切断低于最小熔断电流的电流。如果设备有可能产生这样的故障电流，则应与熔断器一起接入其他保护器件，如断路器。

7.1 当频率等于或高于额定值时

只要额定频率时额定预期电流相对应电流的最大上升率不被超过，则频率高于额定值时，熔断器的分断能力一般不发生变化。

7.2 当频率低于额定值时

当频率低于额定值时，一般需要降低分断能力，可向制造厂咨询。当需要用交流熔断器切断外施直流电压时，同样如此。
