ICS 29.200
K 46

中华人民共和国国家标准

GB/T 3859.1—2013
代替 GB/T 3859.1—1993

半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分:基本要求规范

**Semiconductor converters—
General requirements and line commutated converters—
Part 1-1:Specification of basic requirements**

(IEC 60146-1-1:2009,MOD)

2013-07-19 发布　　2013-12-02 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

刮涂层 查真伪

中华人民共和国
国家标准
半导体变流器
通用要求和电网换相变流器
第1-1部分：基本要求规范
GB/T 3859.1—2013
*
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室：(010)64275323　发行中心：(010)51780235
读者服务部：(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230　1/16　印张 5.5　字数 152 千字
2013年10月第一版　2013年10月第一次印刷
*
书号：155066·1-47540　定价 72.00 元

如有印装差错　由本社发行中心调换
版权专有　侵权必究
举报电话：(010)68510107

目　　次

前言 …… Ⅶ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 3
3.1　半导体器件和组件 …… 3
3.2　臂和联结 …… 6
3.3　变流臂的可控性和(直流侧的)运行象限 …… 8
3.4　换相、熄断和换相电路 …… 9
3.5　换相特性 …… 10
3.6　额定值 …… 12
3.7　特定的电压、电流和因数 …… 15
3.8　冷却 …… 17
3.9　运行条件的允差和电磁兼容性 …… 18
3.10　谐波畸变 …… 19
3.11　绝缘配合 …… 23
3.12　常用文字符号和下标 …… 25
3.12.1　常用文字符号 …… 25
3.12.2　主要下标 …… 27
4　电力变流设备的类型、标识和主要技术参数 …… 28
4.1　类型 …… 28
4.1.1　按变换的方式分类 …… 28
4.1.2　按变换的对象分类 …… 28
4.1.3　按主电路阀器件的关断方式分类 …… 29
4.1.4　按连接的直流系统分类 …… 29
1.1.5　按主电路使用的阀器件类型分类 …… 29
4.1.6　按应用领域分类 …… 29
4.2　标识 …… 29
4.2.1　电气联结的标识 …… 29
4.2.2　设备端子和导体终端的标识 …… 29
4.2.3　导体颜色 …… 30
4.2.4　冷却方式标识代号 …… 30
4.3　主要技术参数 …… 31
4.3.1　额定直流电流 …… 31

4.3.2 额定直流电压 …… 31
4.3.3 额定频率 …… 32
4.3.4 额定容量 …… 32
5 基本运行和运行条件 …… 32
5.1 基本运行 …… 32
5.1.1 换相 …… 32
5.1.2 电网换相变流器的电压 …… 34
5.1.3 电压特性和过渡电流 …… 35
5.2 骚扰和兼容性 …… 35
5.2.1 抗扰性能判据 …… 35
5.2.2 骚扰的形式 …… 36
5.2.3 兼容性 …… 36
5.3 正常运行条件 …… 37
5.3.1 环境条件 …… 37
5.3.2 电气条件 …… 38
5.3.3 负载特性 …… 41
5.4 非正常运行条件 …… 41
6 电力变流设备和组件的性能 …… 42
6.1 主电路电气联结 …… 42
6.1.1 标准设计变流器 …… 42
6.1.2 特殊设计变流器 …… 42
6.1.3 联结形式 …… 42
6.2 计算因子 …… 45
6.2.1 基本变量 …… 45
6.2.2 损耗和效率 …… 46
6.2.3 功率因数 …… 47
6.2.4 电压调整值 …… 47
6.3 电磁兼容性 …… 48
6.3.1 谐波 …… 48
6.3.2 换相缺口 …… 49
6.3.3 电压波动 …… 50
6.3.4 其他电磁兼容性问题 …… 50
6.3.5 抗扰度 …… 50
6.4 额定值 …… 51
6.4.1 概述 …… 51
6.4.2 额定输出电压 …… 51
6.4.3 电流额定值 …… 51

6.5 工作制等级 …… 52
6.5.1 原理 …… 52
6.5.2 工作制等级和额定电流值的选择 …… 53
6.5.3 关于双变流器的特殊说明 …… 54
6.6 其他性能 …… 55
6.6.1 可听噪声 …… 55
6.6.2 电压均衡度 …… 55
6.6.3 电流均衡度 …… 55
6.6.4 稳定性 …… 55
6.6.5 过电流保护 …… 55
6.6.6 过电压保护 …… 56
6.6.7 故障检测 …… 56
6.6.8 安全要求 …… 56
7 阀器件组件和电力变流设备的试验 …… 56
7.1 总则 …… 56
7.1.1 试验方法 …… 56
7.1.2 试验类型 …… 57
7.1.3 试验项目 …… 57
7.2 绝缘试验 …… 58
7.2.1 概述 …… 58
7.2.2 电力变流设备的出厂绝缘试验 …… 58
7.2.3 附加试验 …… 61
7.3 功能试验 …… 61
7.3.1 轻载试验和功能试验 …… 61
7.3.2 额定电流试验 …… 62
7.3.3 过电流能力试验 …… 62
7.3.4 固有电压调整值测量 …… 62
7.3.5 纹波电压和电流测量 …… 62
7.3.6 谐波电流测量 …… 62
7.4 损耗、温度和功率因数 …… 62
7.4.1 组件和设备功率损耗的确定 …… 62
7.4.2 温升试验 …… 63
7.4.3 功率因数测量 …… 64
7.5 辅助装置和控制设备性能检查 …… 64
7.5.1 辅助装置检查 …… 64
7.5.2 控制设备性能检查 …… 64
7.5.3 保护装置检查 …… 64

7.5.4 冷却设备检验 …… 65
7.6 电磁兼容性(EMC)试验 …… 65
7.6.1 抗扰度试验 …… 65
7.6.2 射频辐射和传导骚扰试验 …… 65
7.7 可听噪声测量和附加试验 …… 65
7.8 允差 …… 65
8 标志、包装、运输和贮存 …… 66
8.1 标志 …… 66
8.1.1 概述 …… 66
8.1.2 铭牌 …… 66
8.2 包装 …… 67
8.3 运输 …… 67
8.4 贮存 …… 67
附录 A(规范性附录) 谐波和间谐波 …… 68
附录 B(资料性附录) 电气环境 短路比 …… 71
附录 C(规范性附录) 电击和危险能量防护 …… 74

图 1 换相的类型 …… 33
图 2 换相角度的说明 …… 34
图 3 电压调整值 …… 35
图 4 交流电压波形 …… 41
图 B.1 公共连接点 PCC、场内连接点 IPC、设施的电流比和 R_{sl} …… 73
图 B.2 公共连接点 PCC、场内连接点 IPC、设施的电流比和 R_{sl} …… 73

表 1 常用文字符号 …… 26
表 2 主要下标 …… 28
表 3 导体颜色 …… 30
表 4 冷却媒质或热转移媒质的标识代号 …… 30
表 5 循环方式的标识代号 …… 31
表 6 变流器额定容量与网侧额定电压 …… 32
表 7 性能判据 …… 36
表 8 户内设备冷却媒质的温度限值 …… 37
表 9 冷却水的水质级别及其适用的变流器阀侧额定电压和电导率 …… 38
表 10 交流恒压供电联结的电压幅值和频率的抗扰度电平 …… 39
表 11 交流恒压供电联结电压不平衡的抗扰度电平 …… 39
表 12 交流恒压供电联结电压波形的抗扰度电平 …… 40
表 13 电气联结和计算因子 …… 43

表 14　标准工作制等级 …… 53
表 15　负载周期示例(供选择工作制等级参考) …… 54
表 16　试验项目 …… 57
表 17　设备直接连接至低压电网时的试验电压 …… 59
表 18　设备直接连接至高压电网时的交流或直流试验电压 …… 60
表 19　变流器各部分的温升限值 …… 64
表 20　允差 …… 65

前　言

GB/T 3859《半导体变流器》分为以下几个部分：

——第1-1部分：基本要求规范；

——第1-2部分：应用导则；

——第1-3部分：变压器和电抗器；

——第2部分：包括直接直流变流器的半导体自换相变流器。

本部分为GB/T 3859的第1-1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替GB/T 3859.1—1993《半导体变流器　基本要求的规定》。

本部分与GB/T 3859.1—1993相比，主要技术变化如下：

——修改了标准名称；

——调整了文本结构，使之尽量与IEC 60146-1-1：2009《半导体变流器　通用要求和电网换相变流器　第1-1部分：基本要求规范》一致；

——删除了“主题内容”，修改了“适用范围”（见第1章，1993年版第1章）；

——调整了“引用文件”（见第2章，1993年版第2章）；

——调整并修改了“术语、符号”（见第3章，1993年版第3章）；

——修改了变流器按“变换对象”“主电路使用的阀器件类型”和“应用领域”分类的方法（见4.1.2、4.1.5和4.1.6，1993年版的4.1.2、4.1.5和4.1.6）；

——增加了变流器的“标识”（见4.2）；

——修改了变流器的“基本参数”（见4.3，1993年版的4.2）；

——增加了变流器的“基本运行”，并将1993年版的图1～图3调整至其中（见5.1）；

——修改了“变流器抗扰性能和电磁兼容性”“正常使用环境条件”“正常使用电气条件”和“负载条件”（见5.2和5.3，1993年版的5.7.7和5.1～5.3）；

——修改了变流器的“电联结”（见6.1，1993年版的5.5.1）；

——增加了“短路计算”（见6.2.1.6）；

——修改了“损耗和效率的一般说明”和“功率因数”（见6.2.2.1和6.2.3，1993年版的5.7.1.1和5.7.2）；

——增加了“12脉波变流器”和“升压和降压联结变流器（串联联结）”的电压调整值（见6.2.4.5和6.2.4.6）；

——修改了“网侧电压和电流的谐波”和“直流侧的谐波”（见6.3.1，1993年版的5.7.4和5.7.5）；

——增加了“换相缺口”和“电压波动”（见6.3.1和6.3.3）；

——修改了“谐波干扰”（见6.3.4，1993年版的5.7.6）；

——增加了“抗扰度”（见6.3.5）；

——修改了“变流器的额定值”“噪声”“电流、电压均衡度”和“稳定性能及要求”(见 6.4～6.5、6.6.1～6.6.7,1993 年版的 5.6、5.7.9～5.7.11);

——增加了“安全要求”(见 6.6.8);

——修改了检验和试验的“总则”“检验规则”和“试验项目”(见 7.1,1993 年版的 6.1～6.3);

——修改了“绝缘试验”“轻载试验”“额定电流试验”“过载能力试验”“固有电压调整率测量”和“纹波测量”(见 7.2、7.3.1～7.3.5,1993 年版的 6.4.1～6.4.3、6.4.10、6.4.8 和 6.4.17);

——增加了“谐波电流测量”(见 7.3.6);

——修改了“温升试验”“辅助装置检验”“控制设备性能检验”“保护系统检验”“冷却系统检验”“抗扰试验”“射频干扰和传导噪声试验”“音频噪声测量”和“允差”(见 7.4.2、7.5～7.7 和 7.8,1993 年版的 6.4.6、6.4.11～6.4.16、6.4.19.4 和第 7 章);

——修改了“标志、包装、运输、储存”(见第 8 章,1993 年版第 8 章);

——删除了“型号”、技术性能中的“部件和辅助设备”和“其他特性”(1993 年版的 4.3、5.7.12 和 5.7.13);

——删除了“负载试验”“均衡度测量”“稳定装置性能检验”“元器件检验”“柜体检验”“装配检验”“环境条件试验”和“其他试验”(1993 年版的 6.4.4、6.4.9、6.4.18、6.4.19.1～6.4.19.3、6.4.20 和 6.4.21);

——增加了附录 A、附录 B 和附录 C。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60146-1-1:2009《半导体变流器　通用要求和电网换相变流器　第 1-1 部分:基本要求规范》。

本部分与 IEC 60146-1-1:2009 相比,在结构上增加了 16 条(4.1.6、4.2.1～4.2.3、4.3、5.3.1.4～5.3.1.5、6.3.1.5、6.3.2～6.3.3、6.3.5.3、6.6、7.5.4 和 8.2～8.4)和一个表(表 19),并将 4.2 调整为 3.12,4.3.1 调整为 5.1.1,4.3.2.1 调整为 5.1.2,4.3.2.2 调整为 5.1.3,4.3.3.1 调整为 5.2.1,4.3.3.2 调整为 5.2.2 和 5.2.3,5.1 调整为 4.2.4,5.2.1～5.2.3 调整为 5.3.1.1～5.3.1.3,5.2.4 调整为 5.4,5.3 调整为 5.3.3,5.4.1 调整为 5.3.2.1 和 6.3.5,5.4.2 调整为 5.3.2.2,6.2.1 调整为 6.1.3 和 6.2.1,6.3.2 调整为 6.3.4,6.6 调整为 8.1。

本部分与 IEC 60146-1-1:2009 的技术性差异及其原因如下:

——根据标准条文中的实际引用情况,增加了部分规范性引用文件(见第 2 章);

——增加了术语“模块化电源”及其定义(见 3.1.22);

——修改了变流器的分类方法(见 4.1);

——增加了“电气联结的标识”“设备端子和导体终端的标识”“导体颜色”和“主要技术参数”(见 4.2.1～4.2.3、4.3);

——修改了户外设备运行条件[见 5.3.1.3 c)];

——增加了“海拔”和“热转移媒质”(见 5.3.1.4～5.3.1.5);

——增加了“谐波抑制”“换相缺口”“电压波动”“抗扰度等级的选用”和“其他性能”(见 6.3.1.5、6.3.2～6.3.3、6.3.5.3 和 6.6);

——修改了试验的“总则”(见 7.1);

——增加了表 19 “变流器各部分的温升限值”;

——修改了“辅助装置检查”和“保护装置检查”(见 7.5.1 和 7.5.3)；

——增加了“冷却设备检验”“包装”“运输”和“贮存”(见 7.5.4 和 8.2～8.4)。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电力电子学标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本部分起草单位：西安电力电子技术研究所、荣信电力电子股份有限公司、厦门科华恒盛股份有限公司、广东志成冠军集团有限公司、青岛经济技术开发区创统科技发展有限公司、卧龙电气集团北京华泰变压器有限公司、北京景新电气技术开发有限责任公司、北京金自天正智能控制股份有限公司。

本部分主要起草人：周观允、蔚红旗、张凡勇、陈成辉、李民英、隋学礼、何宝振、陈四雄、罗本东、杨艳秋、胡颖。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB 3859—1983、GB/T 3859.1—1993。

半导体变流器　通用要求和电网换相变流器
第 1-1 部分：基本要求规范

1　范围

GBT 3859 的本部分规定了使用可控和(或)不可控电子阀器件的所有半导体电力变流器和半导体电力开关的性能。

电子阀器件主要有半导体器件，包括不可控器件(即整流二极管)和可控器件(即各种晶闸管和功率晶体管)。可控器件可反向阻断或反向导通，可借助电流、电压或光控制。假设非双稳器件在开关状态下工作。

本部分主要从总体上规定对变流器的基本要求，以及适用于把交流电变换为直流电或把直流电变换为交流电的电网换相变流器的要求。假如其他类型的电力电子变流器尚无产品标准，本部分的内容也适用。

这些特定的要求适用于进行功率变换、换相(例如：半导体自换相变流器)或特殊用途(例如：直流电动机传动用半导体变流器)的半导体电力变流器，或已知特性的组合(例如：电传动机车车辆用直接直流变流器)。

本部分适用于未被专用产品标准涵盖或特殊性能未被专用产品标准涵盖的所有电力变流器。电力变流器的专用产品标准应参考本部分。

注 1：本部分不试图定义 EMC 要求。本部分涵盖了所有现象，因而给出在其范围适用的专用标准。

注 2：有关变流变压器的规定见 GB T 3859.3 或 GB T 18494.1。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 2536—2011　电工流体　变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油(IEC 60296：2003，MOD)

GB/T 2900.33—2004　电工术语　电力电子技术(IEC 60050-551：1998，IDT)

GB/T 3859.2—2013　半导体变流器　通用要求和电网换相变流器　第 1-2 部分：应用导则(IEC/TR 60146-1-2：2011，MOD)

GB/T 3859.3—2013　半导体变流器　通用要求和电网换相变流器　第 1-3 部分：变压器和电抗器(IEC 60146-1-3：1991，MOD)

GB/T 4026—2010　人机界面标志标识的基本和安全规则　设备端子和导体终端的标识(IEC 60445：2006，IDT)

GB 4208　外壳防护等级(IP 代码)(GB 4208—2008，IEC 60529：2001，IDT)

GB 5749—2006　生活饮用水卫生标准

GB 7260.1　不间断电源设备　第 1-1 部分：操作人员触及区使用的 UPS 的一般规定和安全要求(GB 7260.1—2008，IEC 62040-1-1：2002，MOD)

GB 7260.2 不间断电源设备(UPS)　第 2 部分：电磁兼容性(EMC)要求(GB 7260.2—2009，IEC 62040-2：2005，IDT)

GB 7260.4 不间断电源设备 第1-2部分：限制触及区使用的UPS的一般规定和安全要求（GB 7260.4—2008，IEC 62040-1-2：2002，MOD）

GB/T 10236 半导体变流器与供电系统的兼容及干扰防护导则

GB 12668.3 调速电气传动系统 第3部分：产品的电磁兼容性标准及其特定的试验方法（GB 12668.3—2012，IEC 61800-3：2004，IDT）

GB/T 12668.6 调速电气传动系统 第6部分：确定负载工作制类型和相应电流额定值的导则（GB/T 12668.6—2011，IEC/TR 61800-6：2003，IDT）

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 13422 半导体电力变流器 电气试验方法

GB/T 16859 阀器件堆、装置和电力变流设备的端子标记（GB/T 16859—1997，idt IEC 61148：1992）

GB/T 16895.1 低压电气装置 第1部分：基本原则、一般特性评估和定义（GB/T 16895.1—2008，IEC 60364-1：2005，IDT）

GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验（IEC 60664-1：2007，IDT）

GB/T 17045 电击防护 装置和设备的通用部分（GB/T 17045—2008，IEC 61140：2001，IDT）

GB 17625.1 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16 A）（GB 17625.1—2012，IEC 61000-3-2：2009，IDT）

GB 17625.2 电磁兼容 限值 对每相额定电流≤16 A且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制（GB 17625.2—2007，IEC 61000-3-3：2005，IDT）

GB/Z 17625.6 电磁兼容 限值 对额定电流大于16 A的设备在低压供电系统中产生的谐波电流的限制（GB/Z 17625.6—2003，IEC/TR 61000-3-4：1998，IDT）

GB/T 17626.7 电磁兼容 试验和测量技术 供电系统及所连设备谐波、谐间波的测量和测量仪器导则（GB/T 17626.7—2008，IEC 61000-4-7：2002，IDT）

GB/T 17627.1—1998 低压电气设备的高电压试验技术 第一部分：定义和试验要求（eqv IEC 61180-1：1992）

GB/T 17799.1 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度试验（GB/T 17799.1—1999，idt IEC 61000-6-1：1997）

GB/T 17799.2 电磁兼容 通用标准 工业环境中的抗扰度试验（GB/T 17799.2—2003，IEC 61000-6-2：1999，IDT）

GB 17799.3 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的发射（GB 17799.3—2012，IEC 61000-6-3：2011，IDT）

GB 17799.4 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射（GB 17799.4—2012，IEC 61000-6-4：2011，IDT）

GB/T 21226—2007 半导体变流器 变流联结的标识代号（IEC 60971：1989，IDT）

GB/T 21560.3 低压直流电源 第3部分：电磁兼容性（EMC）（GB/T 21560.3—2008，IEC 61204-3：2000，MOD）

IEC 60050-101：1998 电工术语 数学（International Electrotechnical Vocabulary—Part 101：Mathematics）

IEC 60700-1 高压直流输电用晶闸管阀 第1部分：电气试验[Thyristor valves for high voltage direct current（HVDC）power transmission—Part 1：Electrical testing]

IEC 61000（所有部分） 电磁兼容[Electromagnetic compatibility（EMC）]

IEC 61204-7 低压直流电源 第7部分：安全要求（Low voltage power supplies，d.c. output—

Part 7: Safety requirements)

IEC 61800-5-1 调速电气传动系统 第5-1部分:安全要求 电、热和能量(Adjustable speed electrical power drive systems -Part 5-1:Safety requirements - Electrical, thermal and energy)

IEC 61800-5-2 调速电气传动系统 第5-2部分:安全要求 功能(Adjustable speed electrical power drive systems-- Part 5-1:Safety requirements - Functional)

IEC 61954 输配电系统的电力电子技术 静止式无功补偿装置用晶闸管阀试验(Power electronics for electrical transmission and distribution systems - Testing of thyristor valves for static-VAR compensators)

IEC/PAS 61975 高压直流设施 系统试验[High-voltage direct current(HVDC) installations-Systemtests]

IEC 62103 电力设施中使用的电子设备(Electronic equipment for use in power installations)

IEC 62310-1 静态切换系统 第1部分:总则和安全要求[Static transfer systems (STS) -Part 1: General and safety requirements]

IEC 62310-2 静态切换系统 第2部分:电磁兼容性(EMC)要求[Static transfer systems (STS)—Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements]

IEC 62477-1 电力电子变流系统和设备的安全要求 第1部分:总则(Safety requirements for power electronic converter systems and equipment - Part 1: General)

IEC 62589 轨道交通 地面装置 变流组机组额定值的协调与试验(Railway applications-Fixed installation--Harmonisation of the rated values for converter groups and tests on converter groups)

3 术语和定义

GB/T 2900.33和GB/T 3859.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了GB/T 2900.33中的一些术语和定义。

3.1 半导体器件和组件

3.1.1

半导体器件 semiconductor device

基本电特性归因于载流子在一种或多种半导体材料中流动的器件。

[GB/T 2900.83 -2008,定义151-13-63]

3.1.2

[电力]电子开关 electronic (power) switch

电子[功率]开关

至少由一个可控阀器件构成,用于电力电子通断的运行单元。

[GB/T 2900.33—2004,定义551-13-01]

3.1.3

半导体开关 semiconductor switch

使用半导体阀器件的电力电子开关。

[GB/T 2900.33 -2004,定义551-13-05]

注:类似术语也用于使用特定电子阀器件的电子开关或电力控制器,例如晶闸管控制器、晶体管开关。

3.1.4

不可控阀器件　non-controllable valve device

整流二极管　rectifier diode

无需施加任何控制信号，电流通路即可在其导电方向导通的一种反向阻断阀器件。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-14-04]

3.1.5

晶闸管　thyristor

由三个或更多个结构成，能从断态转换到通态，或从通态转换到断态的双稳态半导体器件。

[GB/T 2900.66—2004，定义 521-04-61]

注 1：仅有三层但其开关特性类似于四层晶闸管的器件也可称为晶闸管。

注 2："晶闸管"一词作为总称，涵盖了所有 PNPN 类型的器件。当不致误读或误解时，它可单独用于晶闸管家族中的任何成员。尤其是"晶闸管"一词广泛用于反向阻断三极晶闸管(以前称为"可控硅")。

3.1.6

反向阻断三极晶闸管　reverse blocking triode thyristor

在负的阳极电压下不转换，而呈现反向阻断状态的三端晶闸管。

[GB/T 2900.66—2004，定义 521-04-63]

3.1.7

反向导通三极晶闸管　reverse conducting triode thyristor

在负的阳极电压下不转换，但当其与正向通态电压的幅值可比时，导通大电流的三端晶闸管。

[GB/T 2900.66—2004，定义 521-04-65]

3.1.8

双向三极晶闸管　bidirectional triode thyristor

双向晶闸管　triac

在电流-电压特性的第一和第三象限中，实际上具有相同开关特征的三端晶闸管。

注：改写 GB/T 2900.66—2004，定义 521-04-67。

3.1.9

门极关断晶闸管　gate turn off thyristor；GTO

在门极端子施加适当极性的控制信号，能从通态转换到断态，或从断态转换到通态的晶闸管。

[GB/T 2900.66—2004，定义 521-04-68]

3.1.10

功率晶体管　power transistor

在基极或栅极端子施加适当极性的控制信号，能从通态转换到断态，或从断态转换到通态的晶体管。

注 1：器件的结构本质上是产生放大特性(见 GB/T 2900.66—2004，定义 521-04-16)。

注 2：诸如双极晶体管、IGBT 和 MOSFET 等功率晶体管，使用了不同的技术。

3.1.11

阀器件堆　valve device stack

由一个或多个电子阀器件连同其安装件和辅助件(如有)组成的单个结构。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-14-12]

3.1.12

阀器件组件　valve device assembly

由电子阀器件或堆通过电气联结和机械联结而组合成的总装体，包括其机械结构内的所有电气联结和辅助件。

注1：类似术语也用于由特定电子阀器件组成的堆或组件，例如二极管堆（仅为整流二极管）、晶闸管组件（仅为晶闸管，或与整流二极管共同组成）。

注2：改写GB/T 2900.33—2004，定义551-14-13。

3.1.13

电子阀器件　electronic valve devices

一种不可拆分的电子器件，用于电力电子变流或通断，具有不可控或双稳态可控单向导电路径。

注：改写GB/T 2900.33—2004，定义551-14-02。

3.1.14

半导体阀器件　semiconductor valve device

一种属于半导体器件的电子阀器件。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-14-09]

注1：典型的半导体阀器件有晶闸管、整流二极管、双极晶体管、IGBT和MOSFET。

注2：两个或多个半导体阀器件可集成在同一个半导体芯片上（例如一个晶闸管和一个二极管构成反向导通晶闸管，包含有反向二极管的开关型功率场效应晶体管），或封装在同一个外壳中（例如功率半导体模块）。这些组合均作为独立的半导体阀器件。

3.1.15

[电力][电子]变流　(electronic)(power) conversion

[电子][功率]变换

借助电子阀器件使电力系统的一个或多个特性变化，且基本没有可观的功率损耗。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-11-02]

注：特性包括诸如电压的幅值、相数以及频率（包括零频率）。

3.1.16

[电力][电子]变流器　(electronic)(power) converter

[电子][功率]变换器

由一个或多个阀器件和辅助装置（如有）组成，用于电力电子变流的运行单元。

注1：与网络接口连接有关的变流变压器和滤波器，就电气特性而言，不属于变流器自身，而是系统的一部分。变流器自身正确运行的任何必要的装置和辅助装置，例如用于限制阀器件du/dt的滤波器、浪涌抑制器和用于冷却的风机或冷却设备，包括在变流器内。

注2：改写GB/T 2900.33—2004，定义551-12-01。

3.1.17

触发设备　trigger equipment

门极设备　gating equipment

栅极设备　gating equipment

通过控制信号为变流器或电力开关中的可控阀器件产生合适的触发脉冲的设备，包括定时或相移电路、脉冲发生电路和通常的电源电路。

3.1.18

系统控制设备　system control equipment

与电力变流设备或系统关联的，将变流器输出特性作为被控制量（例如电动机转速、牵引力等）的函数进行自动调节的设备。

3.1.19

半导体变流器　semiconductor converter

使用半导体阀器件的电力电子变流器。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-12-42]

注：类似术语也用于通用变流器或特定类型的变流器，或用于使用其他阀器件或特定阀器件的变流器，例如晶闸管

变流器、晶体管逆变器。

3.1.20

电力变流设备　power conversion equipment;PCE

电力变换设备　power conversion equipment;PCE

功率变换设备　power conversion equipment;PCE

包括电力电子变流器和变流器自身运行必要的辅助装置，以及不能进行物理拆分(除非妨碍变流器运行)的其他专用的应用部件的设备。

3.1.21

电力变流系统　power conversion system

电力变换系统　power conversion system

功率变换系统　power conversion system

由电力变流设备和与应用关联的部件(例如开关装置、电抗器或变压器、专用滤波器等)组成的系统。

3.1.22

模块化电源[装置]　modular PSU

用于提供或改变电能、由电气和/或电子器件组成的装置。它们预期不独立运行，由专业组装/安装人员装入终端产品。

[GB/T 21560.3—2008，定义 3.5.1]

3.2　臂和联结

3.2.1

(阀)臂　(valve) arm

电力电子变流器或开关电路的一部分，以任意两个交流或直流端子为界，包括一个或多个连接在一起、同时导电的电子阀器件及其他部件(如有)。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-01]

3.2.2

主臂　principal arm

在电力由变流器或电子开关的一侧向另一侧的传送中起主要作用的阀臂。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-02]

3.2.3

辅助臂　auxiliary arm

主臂之外的任何其他阀臂。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-05]

注：有时，辅助臂临时执行的功能多于下述之一：旁路臂、续流臂、开关臂或再生臂。

3.2.4

旁路臂　by-pass arm

提供一个让电流流通的路径，而电源与负载之间并不进行电能交换的一种辅助臂。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-06]

3.2.5

续流臂　free-wheeling arm

只包含不可控阀器件的旁路臂。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-07]

3.2.6

关断臂　turn-off arm

直接从导通的阀臂临时承载电流的辅助臂，由一个或多个不能用控制信号关断的擎住阀器件组成。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-08]

3.2.7

再生臂　regenerative arm

将一部分电力由负载侧传送到电源侧的一种辅助臂。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-09]

3.2.8

变流联结　converter connection

阀臂与对变流器主电路功能必不可少的其他部件之间的电气联结。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-10]

注：习惯上也使用含义相同的术语"拓扑"。

3.2.9

基本变流联结　basic converter connection

变流器中主臂的电气联结。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-11]

3.2.10

（变流器的）**单拍联结　single-way connection（of a converter）**

一种变流联结，其通过交流电路每一相端子的电流是单方向的。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-12]

3.2.11

（变流器的）**双拍联结　double-way connection（of a converter）**

一种变流联结，其通过交流电路每一相端子的电流是双方向的。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-13]

3.2.12

桥式联结　bridge connection

臂对的一种双拍联结，以臂对的中心端子作为交流电路的相端子，同极性的外侧端子连接在一起作为直流端子。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-14]

3.2.13

均一联结　uniform connection

所有主臂都可控或都不可控的联结。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-15]

3.2.14

非均一联结　non-uniform connection

既有可控主臂，也有不可控主臂的连结。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-18]

3.2.15

串联联结　series connection

使两端网络形成单一通路的连接。

[GB/T 2900.74—2008，定义 131-12-75]

3.2.16

变流器的串联联结　series connection of converters

两个或多个变流器连接时，其电压相加的一种联结。

3.2.17

升压和降压联结　boost and buck connection

两个或多个变流联结的串联联结，其直流电压相加或相减取决于独立联结的控制。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-15-21]

3.3　变流臂的可控性和(直流侧的)运行象限

3.3.1

可控臂　controllable arm

包含有可控阀器件的变流臂。

3.3.2

不可控臂　non-controllable arm

仅包含有不可控阀器件的变流臂。

3.3.3

(直流侧的)运行象限　quadrant of operation (on the d. c. side)

由直流电压极性和电流方向定义的电压-电流平面的象限。

3.3.4

单象限变流器　one-quadrant converter

一种交流/直流变流器或直流变流器，其直流功率的流通只有一种可能的方向。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-34]

3.3.5

双象限变流器　two-quadrant converter

一种交流/直流变流器或直流变流器，与电流的一个方向和电压的两个方向(或反之)关联的直流功率的流通有两个可能的方向。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-35]

3.3.6

四象限变流器　four-quadrant converter

一种交流/直流变流器或直流变流器，与电流的两个方向和电压的两个方向关联的直流功率的流通有两个可能的方向。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-36]

3.3.7

可逆变流器　reversible converter

双向变流器　bi-directional converter

功率流通方向可逆的变流器。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-37]

注：术语"双向变流器"是习惯用语，能形象地描述变流器中的功率在两个方向流通。

3.3.8

单变流器　single converter

一种电流型可逆交流/直流变流器，其直流电流在一个方向流通。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-38]

3.3.9

双变流器 double converter

一种电流型可逆交流/直流变流器，其电流在两个方向流通。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-39]

3.3.10

双变流器的变流组 converter section of a double converter

双变流器的某个部分。从直流端来看，该部分的直流主电流总是在同一个方向流通。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-12-40]

3.3.11

相[位]控[制] phase control

改变电子阀器件或阀臂在周期内导电开始时刻的过程。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-23]

3.3.12

触发 triggering

使擎住阀器件或由其构成的臂实现开通的控制动作。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-61]

3.4 换相、熄断和换相电路

3.4.1

换相 commutation

在电力电子变流器中，电流由一个导通臂向下一个导通臂顺序转移而不中断的过程。两个臂在限定的时间间隔内同时导电。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-01]

3.4.2

熄断 quenching

在不换相的臂内，电流终止流通的现象。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-19]

3.4.3

直接换相 direct commutation

不经过任何辅助臂过渡，两个臂之间的换相。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-09]

3.4.4

间接换相 indirect commutation

经过一个或多个辅助臂逐次换相，实现由一个主臂到另一个主臂或返回到原臂的一系列换相过程。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-10]

3.4.5

外部换相 external commutation

由变流器或电子开关以外的电源提供换相电压的一种换相。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-11]

3.4.6

电网换相 line commutation

由电网提供换相电压的一种外部换相。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-12]

3.4.7

负载换相 load commutation

由负载而不是由电网提供换相电压的一种外部换相。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-13]

3.4.8

机械换相 machine commutation

由旋转电机提供换相电压的一种外部换相。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-14]

3.4.9

谐振负载换相 resonant load commutation

利用负载的谐振特性提供换相电压的一种负载换相方法。

3.4.10

自换相 self-commutation

由变流器或电子开关内的部件提供换相电压的一种换相。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-15]

3.4.11

电容换相 capacitor commutation

由换相电路内的电容器提供换相电压的一种自换相方法。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-17]

3.4.12

电感性耦合电容换相 inductively coupled capacitor commutation

电容器电路电感性耦合到换相电路的一种电容换相方法。

3.4.13

阀器件换相 valve device commutation

通过用控制信号关断导通的电子阀器件产生换相电压的一种自换相方法。

注:下一个电子阀器件同时开通。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-16]

3.4.14

阀器件熄断 valve device quenching

依靠电子阀器件自身实现熄断的一种熄断方法。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-20]

3.4.15

外部熄断 external quenching

由器件之外的原因导致熄断的一种熄断方法。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-21]

注:外部熄断发生在电网换相变流器导电不连续的运行状态。

3.5 换相特性

3.5.1

换相电路 commutation circuit

由换相臂和换相电压源组成的电路。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-03]

3.5.2

换相电压　commutation voltage

使电流换相的电压。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-02]

3.5.3

换相电感　commutation inductance

换相电路中的总电感量。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-07]

注：对于电网换相或机械换相变流器,换相电抗为换相电感在基波频率下的阻抗。

3.5.4

换相期　commutation interval

换相间隔　commutation interval

换相臂同时流通主电流的时间间隔。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-04]

3.5.5

重叠角　angle of overlap

换相角

μ

用电角度表示的换相期。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-05]

3.5.6

换相缺口　commutation notch

电网换相变流器或机械换相变流器的交流侧电压因换相出现的周期性电压瞬变。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-06]

3.5.7

重复换相瞬变　commutation repetitive transient

与换相缺口有关的电压振荡。

3.5.8

换相组　commutating group

一组主臂,电流在该组内主臂间循环转移,与其他主臂无过渡换相。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-16-08]

3.5.9

换相数　commutation number

q

在一个基本周期内,每一换相组中一个主臂到另一个主臂的换相次数。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-03]

3.5.10

脉波数　pulse number

p

在一个基本周期内,主臂间对称而不同时发生的、一个主臂到另一个主臂直接或非直接的换相次数。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-01]

3.5.11

触发延迟角　trigger delay angle

α

相位控制时，触发脉冲滞后于基准点的时间间隔。用电角度表示。

注：对于电网换相、机械换相或负载换相变流器，基准点为换相电压的过零点。对于交流控制器，基准点为电源电压的过零点。对于电感性负载的交流控制器，触发延迟角为相位移与电流延迟角之和。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-33]

3.5.12

触发超前角　trigger advance angle

β

触发脉冲超前于基准点的时间间隔。用电角度表示。

注：对于电网换相、机械换相或负载换相变流器，基准点为换相电压的过零点。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-34]

3.5.13

固有延迟角　inherent delay angle

α_p

由于多重重叠角，即使无相位控制也会出现的电流延迟角。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-35]

注：多重重叠角出现在电网换相变流器的重叠角大时。

3.5.14

熄灭角　extinction angle

关断角

γ

臂电流下降到零的瞬间与要求该臂耐受陡升的断态电压瞬间之间的时间间隔。用电角度表示。

3.5.15

维持关断期　hold-off interval

维持关断间隔　hold-off interval

擎住阀器件的通态电流下降到零的瞬间与该阀器件承受再加断态电压瞬间之间的时间间隔。

注：改写 GB/T 2900.33—2004，定义 551-16-45。

3.6　额定值

3.6.1

额定值　rated value

用于规范的目的的量值，为部件、器件、装置、设备或系统规定的运行条件而建立。

[GB/T 2900.83—2008，定义 151-16-08]

注 1：量可描述电、热、机械的或环境的性能。

注 2：对于半导体变流器，额定值通常适用于半导体阀器件、阀器件组件或变流器。

注 3：系统的标称值(例如"标称电压"，见 GB/T 2900.50—2008，定义 601-01-21)通常等于设备中对应的额定值。二者的值都在量的允差带内。

注 4：半导体器件与许多其他电气部件不同，即使超过其最大额定值时间极短，也可能不可恢复地损坏。

注 5：应规定额定值的变化范围。确信指定的值为限值。限值可是最大值或最小值。

3.6.2

额定频率(用于变流器及其变压器)　**rated frequency** (for converters and their transformers)

f_N

规定的变流器交流侧的频率。

3.6.3

网侧额定电压(用于变流器及其变压器) **rated voltage on the line side** (for converters and their transformers)

U_{LN}

规定的变流器网侧导体电压的方均根值。

如果变压器网侧绕组有分接头,网侧电压额定值应是规定的分接头(即主分接头)上的电压。

3.6.4

阀侧额定电压(用于变流器及其变压器) **rated voltage on the valve side** (for converters and their transformers)

U_{vN}

在变压器网侧额定电压下,一个换相组中,依次换相的阀侧端子间空载电压矢量的方均根值。

注:对于没有变压器即变流器直接连接的情况,其阀侧额定电压就是网侧额定电压。

3.6.5

网侧额定电流(用于变流器及其变压器) **rated current on the line side** (for converters and their transformers)

I_{LN}

在额定工况条件下,变流器网侧最大电流的方均根值。

注1:应考虑额定负载和其他所有情况在其规定范围内的最严酷组合,例如电网电压和频率偏差范围。

注2:对于多相设备,该额定值基于变流臂的电流为矩形波,由额定直流电流算起。对于单相设备,计算依据应予以规定。

注3:网侧额定电流包括提供给变流器辅助装置的电流,也考虑直流电流纹波以及环流(如有)的影响。

3.6.6

阀侧额定电流(用于变流器及其变压器) **rated current on the valve side** (for converters and their transformers)

I_{vN}

在额定工况条件下,变流器阀侧最大电流的方均根值。

注1:应考虑额定负载和其他所有情况在其规定范围内的最严酷组合,例如电网电压和频率偏差范围。

注2:对于多相设备,该额定值基于变流臂的电流为矩形波,由额定直流电流算起。

注3:对于单相设备,计算依据应予以规定。

3.6.7

网侧额定表观功率(用于变流器及其变压器) **rated apparent power on the line side** (for converters and their transformers)

S_{LN}

在网侧额定频率、额定电压和额定电流下,网侧端子上的总表观功率。

3.6.8

额定直流电压 **rated direct voltage**

U_{dN}

在额定直流电流下,制造商规定的变流组件或设备直流端子间的直流电压的平均值。

3.6.9

额定直流电流 **rated direct current**

I_{dN}

对于规定的负载条件和运行条件,制造商规定的直流电流的平均值。

注：可将该值作为基准值，标幺值为1.0(即1.0 p.u)。电流 I_d 的其他值与之进行比较。

3.6.10

额定连续直流电流(最大值) rated continuous direct current (maximum value)

I_{dMN}

在规定的运行条件下，组件或变流器能连续承载而不致损坏的直流电流的平均值。

注1：组件的额定连续直流电流基本上总是高于其对应的整个设备的额定直流电流。

注2：组件的额定连续直流电流可能受半导体器件以外的其他部件制约。

3.6.11

最大峰值直流电流 peak maximum direct current

I_{dSMN}

组件或变流器能在规定的短时间内承载而不致损坏的直流电流的平均值。起始自在额定电流下的未明确规定的持续时间，随后是短时空载期。

注：定义最大峰值直流电流涉及峰值电流(最大峰值直流电流 I_{dSMN})的值和持续时间以及再承载任何电流前的最短空载时间。

3.6.12

最大间歇峰值直流电流 intermittent peak maximum direct current

I_{dRMN}

组件或变流器能在规定的短时间内和间歇性地承载而不致损坏的直流电流的平均值。起始自等于或小于额定电流的任意电流值，且返回至等于或小于额定电流的任意电流值。

注：定义间歇峰值直流电流涉及峰值电流(最大间歇峰值直流电流 I_{dRMN})的值和持续时间以及施加的间歇高峰负载间的最短时间。

3.6.13

高峰负载工作制(短时工作制)额定电流 rated current for peak load duty (short-time duty)

在规定的运行条件下，组件或变流器能在规定的时间内承载的、与短时最大峰值直流电流有关的直流电流的平均值。

注：定义短时工作制涉及最大峰值直流电流 I_{dSMN} 的特性。

3.6.14

叠加高峰负载的连续工作制额定电流 rated current for continuous duty with superimposed peak loads

在规定的运行条件和间歇性地施加规定幅值和持续时间的最大间歇峰值直流电流情况下，组件或变流器能在无限的持续时间内承载的直流电流的平均值。

注：定义叠加高峰负载的连续工作制额定电流涉及最大间歇峰值直流电流 I_{dRMN} 的特性。

3.6.15

重复负载工作制(周期工作制)额定电流 rated current for repetitive load duty (periodic duty)

组件或变流器的额定直流电流，其值规定为一个完整负载工作制周期的负载电流的方均根值。

注：工作制等级应规定与电流值及其持续时间的序列。

3.6.16

额定直流功率　rated d. c. power

额定直流电压与额定直流电流的乘积。

注：由于电压和电流纹波的影响，测量的直流功率可能与定义的额定直流功率不同。

3.7　特定的电压、电流和因数

3.7.1

理想空载直流电压　ideal no-load direct voltage

U_{di}

假设相位控制不减弱、电子阀器件无门槛电压且轻载时电压不上升，交流/直流变流器的理论空载直流电压。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-17-15]

3.7.2

受控理想空载直流电压　controlled ideal no-load direct voltage

U_{dia}

假设电子阀器件无门槛电压且轻载时电压不上升，交流/直流变流器对应于规定的触发延迟角的理论空载直流电压。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-17-16]

3.7.3

约定空载直流电压　conventional no-load direct voltage

U_{d0}

在无相位控制(即触发延迟角为零)条件下，将直流电压/直流电流特性曲线由直流电流连续流通区延伸到零电流处得到的直流电压的平均值。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-17-17]

注：U_{di} 等于 U_{d0} 与组件的空载电压降之和。

3.7.4

受控约定空载直流电压　controlled conventional no-load direct voltage

U_{d0a}

将直流电压/直流电流特性曲线由直流电流连续流通区延伸到零电流处得到的，对应于规定的触发延迟角的直流电压的平均值。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-17-18]

注：U_{dia} 等于 U_{d0a} 与组件的空载电压降之和。

3.7.5

实际空载直流电压　real no-load direct voltage

U_{d0r}

直流电流为零时的实际平均直流电压。

[GB/T 2900.33—2004，定义 551-17-19]

3.7.6

直流电压调整值　direct voltage regulation

不包括稳定措施(如有)的校正作用,在相同的触发延迟角下,约定空载直流电压与负载下直流电压之差。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-21]

注 1:如果采用稳压措施,见 3.7.9。

注 2:直流电路的性质(例如电容器、反电势负载)可显著影响电压变化。这种情况可能需要做特殊考虑。

3.7.7

固有直流电压调整值　inherent direct voltage regulation

不包括交流系统阻抗的影响时的直流电压调整值。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-22]

3.7.8

总直流电压调整值　total direct voltage regulation

包括交流系统阻抗的影响时的直流电压调整值。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-23]

3.7.9

输出电压允差带　output voltage tolerance band

以标称值或预定值为基准,规定的稳定输出电压的稳态值的范围。

3.7.10

过渡电流　transition current

换相组的直流电流减小至出现间歇时,变流联结的平均直流电流。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-20]

3.7.11

变流因数　conversion factor

基波输出功率或直流输出功率与基波输入功率或直流输入功率之比。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-10]

注 1:基波功率(见 GB/T 2900.33—2004,定义 551-17-08)为由电压和电流的基波分量确定的有功功率。

注 2:本定义的直流功率为电压平均值与电流平均值的乘积。

3.7.12

功率效率　power efficiency

变流器的输出功率与输入功率之比。

注 1:变流因数不考虑直流侧的交流分量的功率,而功率效率则包括其在内。因此,对于交流—直流变流而言,变流因数的值比功率效率的值小。对于单相两脉波(全波)电阻性负载的变流器而言,变流因数的理论最大值为 0.81 p.u.,而理想最高功率效率为 1.0 p.u.。

注 2:变流因数仅可通过测量交流基波功率和直流电压、直流电流正确得到。功率效率既可通过测量交流功率和直流功率正确得到,也可通过计算或测量固有损耗正确得到。

注 3:应考虑交流侧的有功功率(功率的平均值)和直流侧功率的平均值。

3.7.13

功率因数　power factor

λ

在周期条件下，有功功率 P 的绝对值与表观功率 S 之比。见式(1)：

$$\lambda = |P| / S \quad \cdots\cdots (1)$$

注：在正弦波条件下，功率因数为有功因数的绝对值。

[GB/T 2900.74—2008，定义 131-11-46]

3.7.14

基波功率因数　power factor of the fundamental wave

位移因数　displacement factor

$\cos\varphi_1$

在周期条件下，基波分量有功功率 P_1 与基波分量表观功率 S_1 之比。见式(2)：

$$\cos\varphi_1 = P_1 / S_1 \quad \cdots\cdots (2)$$

注：GB/T 2900.74—2008 中定义的位移角(定义 131-11-48)为："在正弦波条件下，施加在线性两端单元或两端电路上的电压与单元或电路中的电流间的相位差。"并增加了注："位移角的余弦为有功因数"。

3.7.15

形变因数　deformation factor

ν

功率因数 λ 与基波功率因数 $\cos\varphi_1$ 之比。见式(3)：

$$\nu = \lambda / \cos\varphi_1 \quad \cdots\cdots (3)$$

注：在正弦波电压条件下，形变因数等于基波因数。见 3.10.14 的注 2。

3.8　冷却

3.8.1

冷却媒质　cooling medium

把热量从设备中带走的液体(例如水)或气体(例如空气)。

3.8.2

热转移媒质　heat transfer agent

在设备中把热量从热源转移到热交换器的液体(例如水)或气体(例如空气)。该热量将由冷却媒质从热交换器中带走。

3.8.3

直接冷却　direct cooling

冷却媒质与被冷却的部件直接接触(即不使用热转移媒质)的冷却方法。

3.8.4

间接冷却　indirect cooling

使用热转移媒质将热量从被冷却的部件转移到冷却媒质的冷却方法。

3.8.5

自然冷却　natural cooling

对流　convection

利用单位体积的质量(密度)随温度的变化，使冷却流体(冷却媒质或热转移媒质)循环的方法。

3.8.6

强迫冷却　forced cooling

借助于风机或泵使冷却媒质或热转移媒质循环的方法。

3.8.7

混合冷却　mixed cooling

交替使用自然循环和强迫循环，使冷却媒质或热转移媒质循环的方法。

注：混合循环可在轻载、过载期间或应急情况下使用。

3.8.8

平衡温度　equilibrium temperature

在规定的负载和冷却条件下，变流器的部件达到的稳态温度。

注：不同部件的稳态温度一般是不同的，建立稳态需要的时间也不一样，且与热时间常数成正比。

3.8.9

周围空气温度　ambient air temperature

在与任何相邻设备间隔距离的中间位置，但距机柜不超过 300 mm，高度对应于设备高度的二分之一处，测得的电力变流设备周围的空气温度。测量时应避免受设备直接热辐射的影响。

注：改写 GB/T 2900.18—2008，定义 3.13。

3.8.10

空气和气体冷却时的冷却媒质温度　cooling medium temperature for air and gas cooling

在设备外，距设备的入口 50 mm 处测得的平均温度。

注：为了估算辐射热的份额，周围温度按定义 3.8.9。

3.8.11

液体冷却时的冷却媒质温度　cooling medium temperature for liquid cooling

在液体管道的上游，距液体入口 100 mm 处的管道中测得的温度。

3.8.12

热转移媒质温度　temperature of heat transfer agent

在供应商规定的位置测得的热转移媒质温度。

3.9　运行条件的允差和电磁兼容性

3.9.1

电磁兼容性　electromagnetic compatibility；EMC

设备或系统在其电磁环境中正常运行，且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

[GB/T 4365—2003，定义 161-01-07]

3.9.2

[电磁]发射 (electromagnetic) emission

从源向外发出电磁能的现象。

[GB/T 4365—2003,定义 161-01-08]

3.9.3

变流器的发射电平 emission level of a converter

变流器在规定条件下运行时发出,并采用规定方法测得的电磁骚扰电平。

注:改写 GB/T 4365—2003,定义 161-03-11

3.9.4

电磁骚扰 electromagnetic disturbance

任何可能使装置、设备或系统性能降低,或对生物或非生物产生不良影响的电磁现象。

[GB/T 4365—2003,定义 161-01-05]

3.9.5

电磁骚扰电平 electromagnetic disturbance level

在给定场所由所有骚扰源共同作用产生的电磁骚扰的电平。

[GB/T 4365—2003,定义 161-03-29]

3.9.6

变流器骚扰的基准电平 reference level of generated disturbance of a converter

当不知道实际运行条件而使用额定运行条件计算或测量骚扰电平时,假设的由变流器产生的骚扰电平。

注:骚扰电平一般取决于供电电源的阻抗,但供电电源的阻抗可不作为变流器的特征参量考虑。

3.9.7

(对骚扰的)抗扰度 immunity to a disturbance

装置、设备或系统面临电磁骚扰不降低运行性能的能力。

[GB/T 4365—2003,定义 161-01-20]

3.9.8

(变流器的)抗扰度电平 immunity level of a converter

电磁骚扰电平的规定值。在该值以下,设计的变流器能达到要求的性能、或连续运行、或不损坏。

注:改写 GB/T 4365—2003,定义 161-03-14

3.9.9

相对短路功率 relative short-circuit power

短路比

R_{SC}

供电电源的短路容量与变流器网侧额定表观功率之比。

注 1:对于规定的运行条件和规定的网络结构,相对短路功率涉及指定的网络位置。

注 2:为与 IEC 其他技术委员会(TC 77)使用的定义保持一致,IEC 60146-1-1 从第一版起已经将基准从"变流器网侧基波表观功率"改为"变流器网侧额定表观功率"。

注 3:在国家标准《电磁兼容 限值》中,短路比定义为"电源在公共连接点处的短路容量",而不是变流器使用的"电源在场内连接点处的短路容量"。混淆的风险已在 B.2 中说明。

3.10 谐波畸变

对谐波的定义而言,文字符号 Q 用于描述一个量,这在任何应用中大多是专用的(例如,U 表示电压,I 表示电流)。本部分中,Q 表示无功功率(见表 1)。附录 A 给出了进一步解释。

3.10.1

连接点　PC;PCC;IPC

定义为：

——PC(连接点)：下述两种情况任何一种的连接点；

——PCC(公用网络上的公共连接点)：公用网络上最靠近特定负载的电气连接点，连接有或可能连接有其他负载；

——IPC(场内连接点)：系统或设施中的网络上最靠近特定负载的电气连接点，连接有或可能连接有其他负载。

注：本定义与IEC 61000-2-1中的定义一致。

3.10.2

基波频率　fundamental frequency

基波分量的频率。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-20-03]

3.10.3

(傅里叶级数的)基波分量　fundamental component (of a Fourier series)

基波　fundamental

周期量的傅里叶级数中的正弦分量，具有其自身的频率。

注：对于实用分析来说，周期的近似计算可能是必要的。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-20-01]

3.10.4

基准基波分量　reference fundamental component

周期量的傅里叶级数中的正弦分量，其频率为其他所有分量参照且其不是基波分量。

注1：如果上下文的表述明确，"基准"一词可省略，但本部分不推荐这样做。

注2：对于实用分析来说，周期的近似计算可能是必要的。

注3：在电力电子技术领域，经常选择具有交流供电系统频率或变流器输出量频率的分量作为基准基波分量。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-20-02]

3.10.5

基准基波频率　reference fundamental frequency

基准基波分量的频率。

注：如果上下文的表述明确，"基准"一词可省略，但本部分不推荐这样做。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-20-04]

3.10.6

谐波频率　harmonic frequency

基波频率或基准基波频率的一倍以上的整数倍频率。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-20-05]

注：谐波频率与基波频率或基准基波频率之比称为谐波次数(推荐使用文字符号"h")。

3.10.7

谐波分量　harmonic component

周期量中具有谐波频率的正弦分量。

[GB/T 2900.33—2004，定义551-20-07]

注1：为简便起见，这样的分量可简称为"谐波"。

注2：对于实用分析来说，周期的近似计算可能是必要的。

注3：其值通常用方均根值表示。

3.10.8

间谐波频率　interharmonic frequency

基准基波频率的非整数倍频率。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-06]

注 1：作为谐波次数的延伸,间谐波次数为间谐波频率与基准基波频率之比。该比值不是整数(推荐使用文字符号"m")。

注 2：当"$m < 1$"时,也可使用术语"次谐波频率"(见 GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-10)。

3.10.9

间谐波分量　interharmonic component

周期量中具有间谐波频率的正弦分量。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-08]

注 1：为简便起见,这样的分量可简称为"间谐波"。

注 2：对于实用分析来说,周期的近似计算可能是必要的。

注 3：其值通常用方均根值表示。

注 4：如 GB/T 17626.7 所述,时间窗口为 10 个基波周期(对于 50 Hz 系统)或 12 个基波周期(对于 60 Hz 系统),也就是说大约 200 ms。因此,两相邻的间谐波分量之间的频率的差大约是 5 Hz。对于其他基波频率的情况,时间窗口应在 6 个基波周期(6 Hz 时,约为 1 000 ms)和 18 个基波周期(180 Hz 时,约为 100 ms)之间选择。

3.10.10

谐波含量　harmonic content;HC

周期量中的谐波分量之和。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-12]

注 1：谐波含量是时间的函数。

注 2：对于实用分析来说,周期的近似计算可能是必要的。

注 3：谐波含量取决于基波分量的选择。如果上下文中没有明确选用哪一个基波分量,宜予以说明。

注 4：谐波含量的方均根值由式(4)计算：

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{H} Q_h^2} \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：

Q_h —— 电流或电压；

h —— 谐波次数；

H —— 本部分取 50。与电力电子技术相关的标准长期以来取 40,宜改为取 50,与 IEC 61000-2-2 和 IEC 61000-2-4 一致。

3.10.11

总谐波率　total harmonic ratio

总谐波畸变　total harmonic distortion;THD

谐波含量的方均根值与交流量的基波分量或基准基波分量的方均根值之比。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-13]

注 1：从命名规则来说,使用术语"总谐波率"更为合适。

注 2：谐波含量取决于基波分量的选择。如果上下文中没有明确选用哪一个基波分量,宜予以说明。

注 3：总谐波率可限定到某一谐波次数(推荐使用文字符号"H"),本部分取 50。有式(5)：

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{H} (Q_h / Q_1)^2} = \frac{HC}{Q_1} \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：

Q_1 —— 基波分量的方均根值。其他文字符号已在 3.10.10 中给出。

3.10.12

总畸变含量 total distortion content

从交流量中去掉其基波分量或基准基波分量而得到的量。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-11]

注 1：总畸变含量包括谐波分量和间谐波分量(如有)。

注 2：总畸变含量取决于基波分量的选择。如果上下文中没有明确选用哪一个基波分量,宜予以说明。

注 3：总畸变含量是时间的函数。

注 4：交变量(简写为 Q)是直流分量为零的周期量。

注 5：畸变含量的方均根值由式(6)计算：

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中：

文字符号见 3.10.10 和 3.10.11,也见 IEC 60050-101:1998,定义 101-14-54 和 GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-06。

3.10.13

总畸变率 total distortion ratio;TDR

总数畸变含量的方均根值与交流量的基波分量或基准基波分量的方均根值之比。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-11]

注：总畸变率取决于基波分量的选择。如果上下文中没有明确选用哪一个基波分量,宜予以说明。有式(7)：

$$TDR = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1} \qquad \cdots\cdots(7)$$

3.10.14

总畸变因数 total distortion factor;TDF

总畸变含量的方均根值与交流量的方均根值之比。

[GB/T 2900.33—2004,定义 551-20-16]

注 1：总畸变因数取决于基波分量的选择。如果上下文中没有明确选用哪一个基波分量,宜予以说明。总畸变因数由式(8)计算：

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q} \qquad \cdots\cdots(8)$$

注 2：TDF 与 TDR 之比等于基波分量的方均根值与总方均根值之比,即基波因数(见 GB/T 1365—2003,定义 161-02-22)由式(9)计算：

$$FF = \frac{TDF}{TDR} = \frac{Q_1}{Q} \leqslant 1 \qquad \cdots\cdots(9)$$

3.10.15

单次谐波率 individual harmonic ratio;IHR

任一谐波分量与基波之比。

注 1：在 GB/T 1365—2003 中,该术语称为"第 n 次谐波率"(定义 161-02-20)。此处,本术语随 3.10.11 确定,谐波次数使用"h"代替其他场合(例如自然整数)常常使用的"n"。

注 2：单次谐波率的值由式(10)计算：

$$IHR = Q_h / Q_1 \quad \cdots\cdots(10)$$

3.10.16

局部加权谐波率　partial weighted harmonic ratio；PWHR

一组选定的高次谐波的方均根值(经权重为谐波次数"h"的加权)与基波的方均根值之比。

注 1：为确保不需要规定单次谐波限值和有效减少高次谐波电流对结果的影响，使用"局部加权谐波率"。

注 2：在 IEC 61000-3-12 中，该术语定义为"局部加权谐波畸变(PWHD)"，并规定选定的组中的谐波的次数为 11～40，由式(11)计算：

$$PWHD = \sqrt{\sum_{h=11}^{h=40} h \times (Q_h / Q_1)^2} \quad \cdots\cdots(11)$$

在该标准第 2 版修订草案中，已改为"局部加权谐波电流(PWHC)"。

注 3：改写 IEC 61000-3-12，定义 3.2。

3.11　绝缘配合

GB/T 16935.1—2008 第 3 章的定义以及下列定义适用于本部分。

3.11.1

(设备的)电路　(electrical) circuit (of an equipment)

设备中与设备其他部分绝缘的部件或组件、导体或经电气导电联结连接在一起的端子的电流通路。

注：如果同一设备的部分仅通过保护性等电位连接系统连接，那么认为是独立电路。

3.11.2

电路部件　part of a circuit

电路中具有其自身额定绝缘电压的部分。

3.11.3

等电位　equipotentiality

几个可导电部分处于电位大体上相等的状态。

[GB/T 2900.73—2008，定义 195-01-09]

3.11.4

等电位联结　equipotential bonding

预期使导电部件之间实现等电位的电气联结。

[GB/T 2900.73—2008，定义 195-01-10]

3.11.5

等电位联结系统　equipotential bonding system；EBS

为实现等电位而实施的导电部件之间的相互连接。

[GB/T 2900.73—2008，定义 195-02-22]

3.11.6

保护性等电位联结系统　protective equipotential bonding system；PEBS

以保护性等电位为条件的等电位联结系统。

[GB/T 2900.73—2008，定义 195-02-23]

3.11.7

工作电压　working voltage

在额定供电(不考虑允差)和最严酷运行条件下,按设计在电路中或绝缘两端呈现的电压。

注:工作电压可能是直流或交流,使用方均根值和重复峰值。

3.11.8

界定电压等级　decisive voltage class

用于确定电击防护措施分类考虑的电压范围。

3.11.9

额定绝缘电压　rated insulation voltage

制造商为设备或其部件指定的电压的方均根值,表征绝缘长时间耐受规定电压的能力。

注1:额定绝缘电压高于或等于设备或涉及的设备部件的额定电压,主要与功能特性有关。

注2:额定绝缘电压涉及电路之间、带电部件之间和裸露导电部件之间以及电路内的绝缘。

注3:对于电气间隙和固体绝缘,额定绝缘电压值规定为存在于绝缘或间隙两端的峰值电压。对于爬电距离,规定为方均根值。

注4:额定绝缘电压取决于高压系统绝缘配合试验的结果,或工作电压的方均根值和预期的暂态过电压、过电压类型。总是取其中的较高值。

注5:改写GB/T 16935.1-2008,定义3.9.1。

3.11.10

额定冲击电压　rated impulse voltage

作为电路绝缘特性试验和规定的基准的冲击电压幅值。

注:额定冲击电压取决于高压系统绝缘配合试验的结果,或工作电压的峰值和预期的任何源自有关过电压类型的冲击电压。总是取其中的较高值。

3.11.11

过电压类型　over-voltage category

对直接由主电网馈电的设备进行分类的概念。

注:GB/T 16935.1考虑四种类型的设备:

——Ⅰ型:连接至有规定的防护暂态过电压水平的配电电路;

——Ⅱ型:不是永久性连接在设施内(任何场内连接点IPC处);

——Ⅲ型:永久性连接在设施内(任何场内连接点IPC处);

——Ⅳ型:永久性连接在设施的电源端(最靠近公共连接点PCC处)。

3.11.12

基本绝缘　basic insulation

用于带电部件以提供基本的电击防护的绝缘。

注:改写GB/T 2900.73—2008,定义195-06-06。

3.11.13

附加绝缘　supplementary insulation

除基本绝缘外单独增加的绝缘,在基本绝缘万一出现故障时,提供基本的电击防护。

注:改写GB/T 16935.1—2008,定义3.17.3。

3.11.14

双重绝缘 double insulation

由基本绝缘和附加绝缘构成的绝缘。

[GB/T 2900.71—2008,定义 826-12-16]

注：为提供基本的电击防护设计的基本绝缘和附加绝缘是各自独立的。

3.11.15

加强绝缘 reinforced insulation

用于带电部件的独立绝缘系统，在相关标准规定的条件下，提供与双重绝缘等效的电击防护等级。

注：改写 GB/T 16935.1—2008,定义 3.17.5。

3.11.16

保护隔离 protective separation

借助基本的和附加的保护(基本绝缘加附加绝缘或保护屏障)或等效的保护措施(例如加强绝缘)使电路之间隔离。

3.11.17

保护屏障 protective screening

借助放置与外部保护接地导体连接的导电屏障，使电路与危险带电部件隔离。

3.11.18

特低电压电路 extra low voltage circuit

ELV 电路 ELV circuit

电压不超过交流 50 V 或直流 120 V、或不超过相关产品标准规定值的电路。

注：改写 GB/T 2900.71—2008,定义 826-12-30。

3.11.19

保护性特低电压电路 protective extra low voltage circuit

PELV 电路 PELV circuit

具有以下特征的电路：

——电压不超过特低电压(ELV)；和

——与除保护性特低电压(PELV)或安全特低电压(SELV)之外的电路进行保护隔离；且

——对 PELV 电路或其中的易触及导电部件接地，或都接地。

注：改写 GB/T 2900.71—2008,定义 826-12-32。

3.11.20

安全特低电压电路 safety extra low voltage circuit

SELV 电路 SELV circuit

具有以下特征的电路：

——电压不超过特低电压(ELV)；和

——与除保护性特低电压(PELV)或安全特低电压(SELV)之外的电路进行保护隔离；且

——SELV 电路或其中的易触及导电部件不接地；以及

——SELV 电路与地和 PELV 电路间有基本绝缘隔离。

3.12 常用文字符号和下标

3.12.1 常用文字符号

常用文字符号见表 1。

表 1　常用文字符号

文字符号	含　义
d_{xN}	由变流变压器引起的，以 U_{di} 为基准的电感性直流电压调整值
e_{xN}	对应于 I_{1N} 的变流变压器短路电压的电感性分量
f_N	额定频率
g	换相组数，电流 I_{dN} 在其间平衡分配
h	谐波次数
I_d	直流电流(任意指定值)
I_{dN}	额定直流电流
I_{dMN}	额定连续直流电流(最大值)
I_{dRMN}	最大间歇峰值直流电流
I_{dSMN}	最大峰值直流电流
I_1	变流器或变压器(如包括)的网侧方均根电流
I_{1N}	I_1 的额定值
I_{1LN}	I_1 基波分量的方均根值
I_{1hN}	I_1 中第 h 次谐波的方均根值
I_{vN}	变压器阀侧电流额定值
p	脉波数(见注)
P	有功功率
P_{1N}	额定负载下的网侧有功功率
q	换相数
Q_{1LN}	额定负载下的网侧无功功率
R_{SC}	相对短路功率
s	串联换相组数
S_{com}	换相臂交流端子处计算的短路容量
S_{SC}	供电电源的短路容量
S_{SCmin}	供电电源的最小短路容量
S_{1N}	网侧额定表观功率
S_{1LN}	根据 I_{1LN} 确定的 S_{1N} 值
S_{vN}	变压器的额定表观功率
U_d	直流电压(任意指定值)
U_{di}	约定空载直流电压
$U_{d\alpha}$	触发延迟角 α 时的 U_{di} 值
U_{d0}	实际空载直流电压
U_{di0}	理想空载直流电压
U_{dio}	受控理想空载直流电压

表 1（续）

文字符号	含　义
U_{dN}	额定直流电压
U_{dxN}	额定电流时的总电感性直流电压调整值
U_{hL}	U_L 中第 h 次谐波的方均根值
U_{id}	理想空载电压，空载下，忽略内部和外部浪涌电压和阀的电压降，出现在臂的两端。在接近过渡电流处的轻载电流的斜率保持不变
U_L	变流器或变压器（如有）的网侧线间电压
U_{LN}	U_L 的额定值
U_{LRM}	U_L 的最大瞬时值，包括重复过电压，但不包括不重复过电压
U_{LSM}	包括不重复过电压的 U_L 最大瞬时值
U_{LWM}	不包括瞬态过电压的 U_L 最大瞬时值
U_M	正弦波电压波形的最大值
U_V	变流器网侧或变压器（如有）阀侧空载线间电压
U_{VN}	变压器阀侧额定电压
x_{TN}	变压器的电感性电压降，用标幺值表示
α	触发延迟角
α_p	固有延迟角
β	触发超前角
γ	熄灭角
δ	与每个初级绕组对应的同时换相的换相组数
λ	总功率因数
μ	重叠角（换相角）
ν	形变因数
φ_1	I_1 基波分量的位移角
注：脉波数 p 包括相数。	

3.12.2　主要下标

主要下标见表 2。

表 2　主要下标

下标	含　义
0(零)	空载
c	换相
d	直流电流或直流电压
f	与频率有关
h	从属于第 h 次谐波分量
i	理想的
L	对应于电网或电源
M	最大
m	从属于第 m 次间谐波分量
min	最小
N	额定值或在额定负载下
p	固有的
R	重复(过电压或峰值电流)
r	电阻性的
S	不重复(过电压或峰值电流)
SC	短路
v	阀侧
x	电感性的
α	受控阀(借助延迟角)

4　电力变流设备的类型、标识和主要技术参数

4.1　类型

4.1.1　按变换的方式分类

半导体变流器采用的变换方式可分为：

a)　交流到直流的变换：整流器；

b)　直流到交流的变换：逆变器；

c)　直流到直流的变换(直流-直流变换)：例如直接直流变换器、间接直流变流器；

d)　交流到交流的变换(交流-交流变换)：例如直接交流变流器、间接交流变流器；

e)　通断控制方式：例如周期性和(或)非周期性电力电子开关。

4.1.2　按变换的对象分类

对电能的一个或多个特性进行变换、调节或控制，例如：

a)　频率，包括零频率：例如变频器；

b)　电压：例如电压控制器；

c) 电流：例如电流控制器、温度控制器、电力电子加热设备；
d) 相数和相位角：例如相数变换器、相位角调节器；
e) 有功功率潮流；
f) 无功功率潮流：例如静止式动态 静态无功功率补偿/发生装置(SVC、SVG)、晶闸管控制电抗器(TCR)、晶闸管控制串联电容器(TCSC)等；
g) 波形：例如有源谐波滤波器、无源谐波滤波器；
h) 负载电能的品质。

4.1.3 按主电路阀器件的关断方式分类

半导体变流器主电路阀器件的关断方式可分为：
a) 外部换相关断：例如电网换相变流器、负载换相变流器等；
b) 自换相关断：例如电容自换相变流器、GTO 变流器、IGBT 变流器等；
c) 熄断。

注：半导体阀器件可换相关断或熄断(见 5.1.1)。

4.1.4 按连接的直流系统分类

与直流系统连接的变流器，可根据直流系统的滤波情况(电流或电压)分为：
a) 电流型变流器；
b) 电压型变流器。

4.1.5 按主电路使用的阀器件类型分类

半导体变流器主电路使用的阀器件可分为：
a) 具有正向导通、反向阻断特性的不可控阀器件(整流二极管)；
b) 具有可控正向导通特性的阀器件(晶闸管)；
c) 具有可控正向导通和可控正向关断特性的阀器件(IGBT、GTO、功率晶体管)；
d) 两个方向都可控的阀器件(例如双向晶闸管)。

注 1：如果借助控制信号能从阻断态转换到导通态，为可控阀器件。

注 2：功率晶体管、IGBT、GTO 能借助于改变施加在其基极、栅极或门极的信号关断。晶闸管和双向晶闸管不具有这种特性，必须借助于改变施加在其两端的电压幅值或极性关断。

注 3：根据半导体阀器件的类型，可能具有反向导通或反向阻断特性，其中一些器件的反向阻断特性可能只有数伏。

4.1.6 按应用领域分类

按应用领域的分类参见 GB/T 3859.2- 2013 中的 4.1。

4.2 标识

4.2.1 电气联结的标识

电力变流设备主电路电气联结的标识见 GB/T 21226。

4.2.2 设备端子和导体终端的标识

设备端子的标识应符合 GB/T 16859 的规定。设备内部导体终端的标识应符合 GB/T 4026 的规定。

4.2.3 导体颜色

导体颜色应符合表3的规定。

表3 导体颜色

电路种类	导体类型	颜色	位置
交流	U(或A)相	黄	上、或左、或远位
	V(或B)相	绿	中间
	W(或C)相	红	下、或右、或近位
	中性导体	淡蓝	—
	PEN导体	绿/黄双色	—
直流	正极	棕	
	负极	蓝	
	中线	淡蓝	
注1：导电方向可变的直流母线，以主要工作方式(第一故障方式)为基准。 注2：排列位置以正对产品的正视方向为基准。			

4.2.4 冷却方式标识代号

4.2.4.1 概述

冷却方式以字母代号标识。

注：大多数情况下，冷却方式的标识代号与变压器现行的标识代号相同。

4.2.4.2 冷却媒质或热转移媒质的标识代号

冷却媒质或热转移媒质的标识代号见表4。

表4 冷却媒质或热转移媒质的标识代号

冷却媒质或热转移媒质	标识代号
矿物油	O
绝缘液(非矿物油、非水)	L
气体	G
水	W
空气	A
两态冷却的液体	P

4.2.4.3 循环方式的标识代号

循环方式的标识代号见表5。

表 5　循环方式的标识代号

循环方式	标识代号
自然(对流)	N
强迫(不配置循环装置)	E
强迫(配置循环装置)	F
蒸发冷却	V

4.2.4.4　直接冷却方式的标识代号

直接冷却方式的标识代号为两个字母。第一个字母表示冷却媒质(见 3.8.1,并参见表 4),第二个字母表示循环方式(参见表 5)。

示例:AN——　空气冷却,自然对流。

4.2.4.5　间接冷却方式的标识代号

间接冷却方式的标识代号为 4 个字母。前两个字母对应于热转移媒质(见 3.8.2),后两个字母对应于冷却媒质(见 3.8.1)。

示例:OFAF——　热转移媒质为矿物油,使用泵进行强迫循环;冷却媒质为空气,使用风机进行强迫循环。

4.2.4.6　混合冷却方式的标识代号

对于直接冷却或间接冷却两种情形,如果交替采用自然循环或强迫循环两种方式,应以斜线隔开的两组字母表示采用的两种循环方式。斜线前的一组字母对应于较小的热流或较低的环境温度。也就是说,混合冷却方式的标识代号为采用的各种冷却方式的标识代号辅之以将二者隔开的斜线。直接冷却和间接冷却方式的标识代号按 4.2.4.4 和 4.2.4.5 的规定。

示例 1:直接冷却:AN/AF——　交替使用空气直接自然冷却和空气直接强迫冷却。

示例 2:间接冷却:OFAN/OFAF——　交替使用热转移媒质为矿物油强迫循环、冷却媒质为空气自然冷却的间接冷却和热转移媒质为矿物油强迫循环、冷却媒质为空气强迫循环的间接冷却。

4.3　主要技术参数

4.3.1　额定直流电流

电力变流设备的额定直流电流应在以下数值(单位为安)中选取:

1,2,5,10,(15),20,(30),(40),50,(80),100,(125),(160),200,(250),315,400,500,630,800,1 000,1 250,1 600,2 000,2 500,3 150,4 000,5 000,6 300,8 000,10 000,20 000,25 000,31 500,40 000,50 000,…。

当使用上述数值之外的额定值时,小于 100 A 的按 R10 数系选取,大于 10 000 A 的优先按 R20 数系选取,且应在专用产品标准中规定。

注:括号中的数值为非优先值。

4.3.2　额定直流电压

电力变流设备的额定直流电压应在以下数值(单位为伏)中选取:

3,6,12,15,18,24,(30),36,48,60,72,90,(100),110/115,125,160,200,220/230,250,(275),315,400,440/460,500,630,(660),800,1 000,1 250,1 600,2 000,…。

注：括号中的数值为非优先值，在特定应用领域使用。

上述给出的630 V以上的数值不满足要求时，应优先按R10数系选取，其次按R20数系选取，且应在专用产品标准中规定。

电力变流设备内部的触发、控制电源电压可不受此限制。

上述给出的数值不适用于电力牵引变流器，也不适用于其额定电压与某一标准电压具有固定关系的变流器。

上述110/115、220/230和440/460三组数值中，斜线前面的数值适用于向单个负载(一对一)供电的变流器，斜线后面的数值适用于作为系统的直流电源供电的变流器。

4.3.3 额定频率

电力变流设备网侧的额定频率(不包括有级或无级调节的频率)应使用以下数值：

50、(60)、150、400、(500)、1 000、2 500、4 000、8 000、10 000、15 000、20 000、25 000、30 000、40 000、50 000、60 000、80 000、100 000、20 000、300 000、500 000、60 000、800 000、1 000 000 Hz。

注1：括号中的数值不推荐使用。60 Hz只适用于特定产品。

注2：上述给出的数值也适用于自换相变流器。

4.3.4 额定容量

通常，应根据电力变流器额定容量按表6选取合适的网侧额定电压。

表6 变流器额定容量与网侧额定电压

变流器额定容量 kVA	网侧额定电压 kV									
	0.22	0.38	1	3	6	10	35	66	110	220
≤50	★	★	—	—	—	—	—	—	—	—
>50～250	—	★	★	★	★	—	—	—	—	—
>250～3 150	—	—	—	★	★	★	★	—	—	—
>3 150～12 500	—	—	—	—	★	★	★	★	—	—
>12 500～20 000	—	—	—	—	—	—	★	★	★	—
>20 000	—	—	—	—	—	—	★	★	★	★
注：★表示适合选取。										

5 基本运行和运行条件

5.1 基本运行

5.1.1 换相

电力电子变流器是借助于半导体阀器件的换相或熄断对电压或电流的幅值和(或)频率进行电力变换的半导体变流器。换相或熄断是半导体变流器的功能和运行的基础，一般性能由半导体阀器件的变流联结(电路拓扑)及其控制进一步定义。

3.4和3.5分别定义了换相的不同类型和换相特性。定义表明，换相是电流从一个臂到另一个臂的转移，熄断是一个臂内电流流通的终止。

图 1 给出不同类型换相的总览。

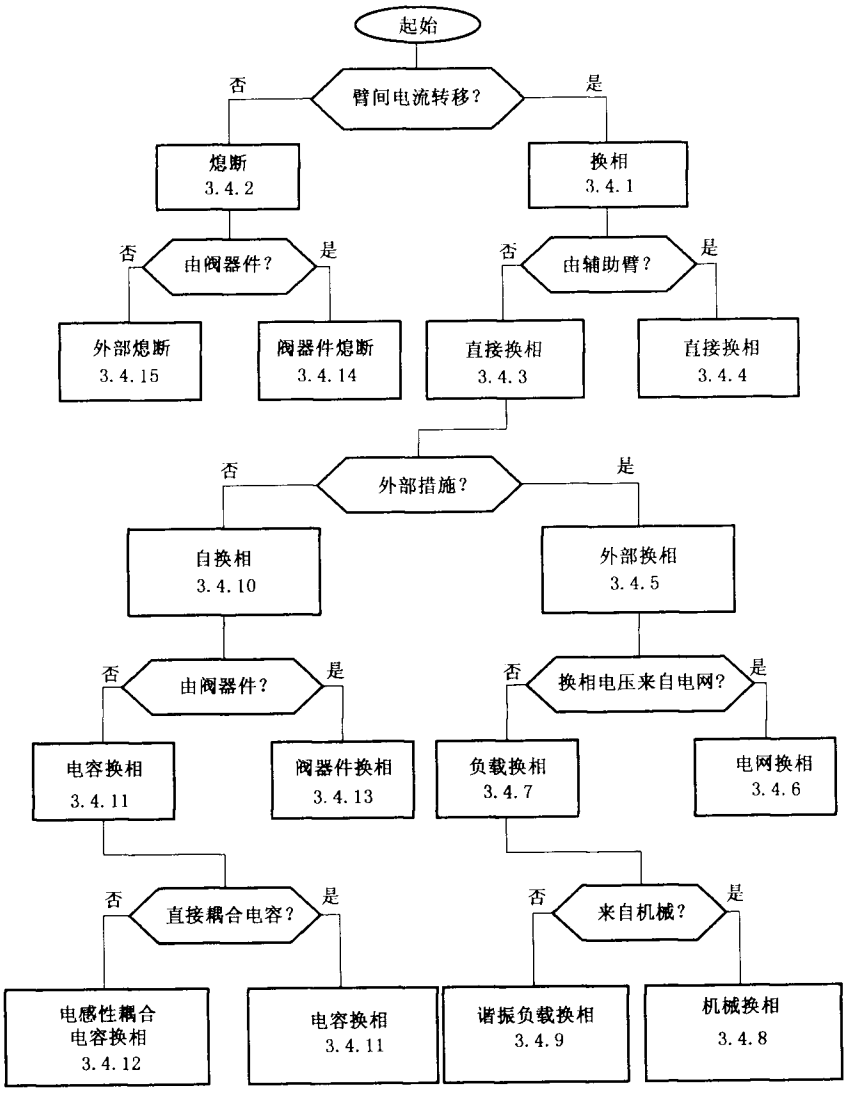
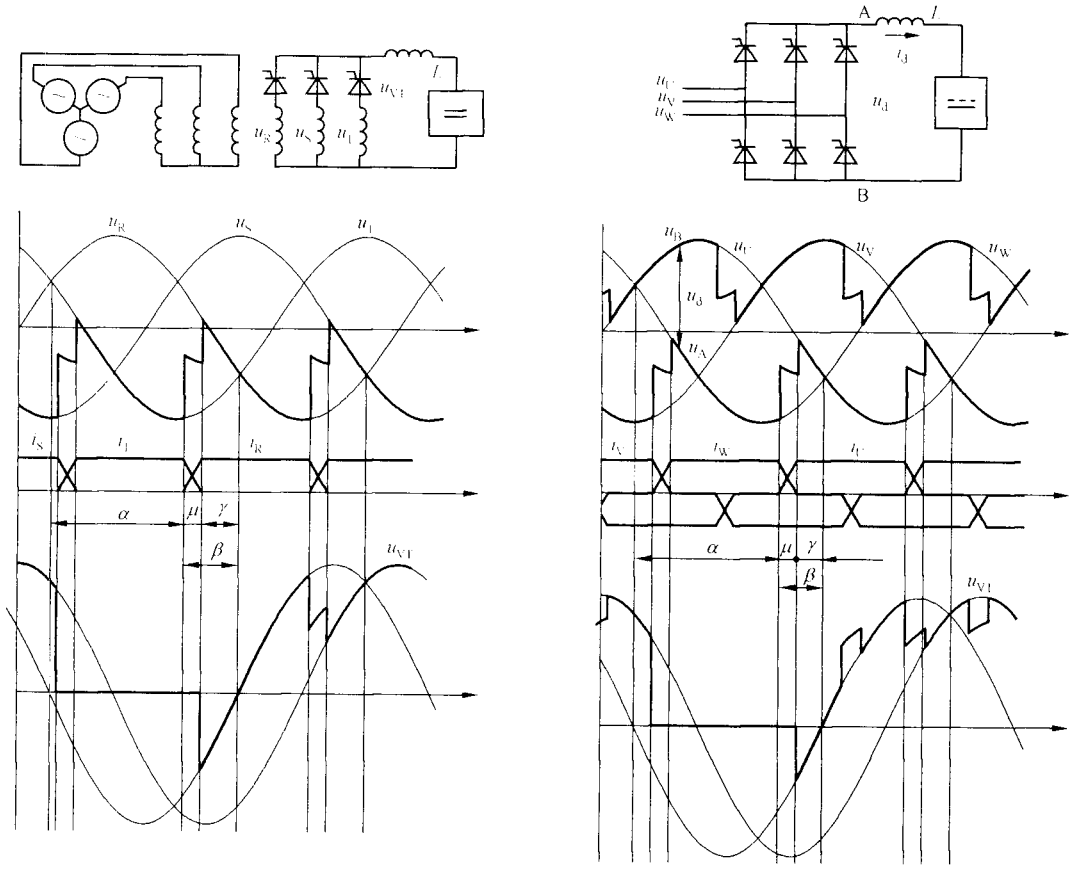


图 1 换相的类型

换相的特点在于电压和电流波形以及角度，见 3.5.4、3.5.11、3.5.12、3.5.14 和下文。图 2 为来自电网的换相电压的简单情形的角度。其中，曲线的上部轨迹为整流电压，下部轨迹为阳极-阴极电压。



a） 三相星型联结变流器　　b） 三相桥式联结变流器

图 2　换相角度的说明

5.1.2　电网换相变流器的电压

理想空载直流电压 U_{di} 根据两个换相的相之间的电压 $U_{\cdot}$ 和脉波数 p 由式(12)得到：

$$U_{di}=U_{\cdot}\times\sqrt{2}\times\frac{p}{\pi}\times\sin\frac{\pi}{p} \qquad \cdots\cdots(12)$$

受控理想空载直流电压 U_{dio} 的计算在均一联结(见 3.2.13，以晶闸管为例)和非均一联结(见 3.2.14，以一半晶闸管、一半二极管为例)情况下有所不同。

a） 均一联结(全控)

1） 如果直流电流在整个控制范围内连续，则有式(13)：

$$U_{dio}=U_{di}\times\cos\alpha \qquad \cdots\cdots(13)$$

2） 如果变流器为纯电阻性负载，则

对于 $0\leqslant\alpha\leqslant\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{p}$，有式(14)：

$$U_{dio}=U_{di}\times\cos\alpha \qquad \cdots\cdots(14)$$

对于 $\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{p}\leqslant\alpha\leqslant\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{p}$，有式(15)：

$$U_{dio}=U_{di}\times\frac{1-\sin(\alpha-\pi/p)}{2\sin(\pi/p)} \qquad \cdots\cdots(15)$$

b） 非均一联结(半控)

有式(16)：

$$U_{d\alpha}=0.5\times U_{d0}\times(1+\cos\alpha) \qquad \cdots\cdots(16)$$

5.1.3 电压特性和过渡电流

在直流电流平均值低于过渡电流时和瞬时值为零期间，直流电压不再随网侧电压变化，仅取决于直流电路的结构型式。

在过渡电流处，V/I 特性曲线弯曲(见图3)。过渡电流可能在下列情况出现：

——有反电势负载：直流电路的电感不足以维持直流电流在整个周期内连续；

——有平衡电抗器：直流电流减小到使平衡电抗器失去作用的临界值以下。

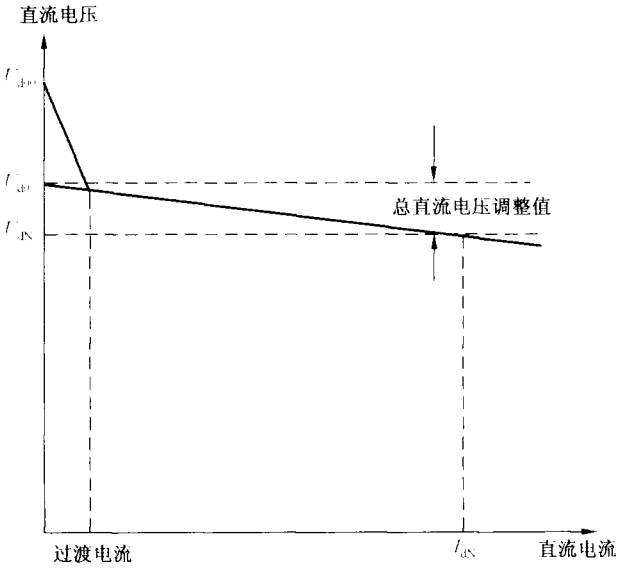


图3 电压调整值

5.2 骚扰和兼容性

5.2.1 抗扰性能判据

当来自任何源的骚扰不超过规定的抗扰度电平(见表10、表11和表12的示例)时，相应的性能应保持：不丧失性能、不跳闸或不损坏。表7定义了三种抗扰类别：

——功能级(F)：变流器能耐受各种电磁骚扰电平的所有限值的组合而不丧失性能；

——跳闸级(T)：变流器能耐受各种电磁骚扰电平的所有限值的组合而不因为保护器件动作中断运行。

跳闸级抗扰类别还可分为：

- 具有骚扰消失后自动复位功能的跳闸；
- 无自动复位功能(要求外部干预进行重新启动、手动复位断路器、更换熔断器等)的跳闸。

注：自动重新投入运行应根据应用场合考虑安全要求。

——损坏级(D)：变流器能耐受各种电磁骚扰电平的所有限值的组合而不维持永久性损坏。

表 7　性能判据

抗扰类别	文字符号	性能判据
功能级	F	性能不丧失
跳闸级	T	不因为保护器件而中断运行
损坏级	D	不发生永久性损坏(熔断器除外)

5.2.2　骚扰的形式

传导现象需要区分系统存在的低频骚扰(即变流器连接至系统之前可能存在的骚扰)和变流器产生的骚扰(即变流器自身产生的骚扰)。

a)　系统存在的骚扰

骚扰可归因于诸如配电系统负荷变化、操作暂态、电网中配置变化等多种因素,一般仅可用统计数值表述。

注 1:这些骚扰的示例有:

——过电压、操作暂态、雷击;

——电动机起动、电容器投切产生的电压变化;

——故障和故障跳闸:单相对地、相间;

——半永久性电压不平衡,用负序分量与正序分量之比表述;

——频率变化和相位移;

——纹波控制信号;

——电压和电流的谐波分量和间谐波分量。

b)　变流器产生的骚扰

变流器运行时,由于其非线性产生的骚扰。

注 2:这些骚扰的示例有:

——规定运行条件下的谐波电流。用谐波次数、幅值和相位关系表示,并考虑平均值、大概值和短时(例如 1 min)的最大值、偶然值;

——换相缺口。用宽度、深度、面积表示;

——重复换相瞬变。用能量、峰值、上升率等表示为短时冲击;

——可能由变压器冲击电流、内部或外部故障跳闸等引起的非重复瞬变;

——间谐波分量(例如变频器);

——电压暂降和隆起,表示为相邻稳态的方均根值之差。

注 3:列出的骚扰可能由被考虑的变流器产生,也可能由其他变流器产生,且实际骚扰电平可能随被考虑之处的网络阻抗变化。

注 4:更多信息参见 GB/T 3859.2。例如,许多变流器具有高脉波数和使用移相变压器,该处的谐波问题可能减轻,而主要关心的是电压变化。

5.2.3　兼容性

电磁兼容性(EMC)通常是 IEC 61000 系列标准的内容。此外,下列产品标准规定了某些半导体变

流器的专有要求：

——GB 7260.2：不间断电源设备(UPS)；

——GB 12668.3：调速电气传动系统；

——GB/T 21560.3：低压直流电源；

——IEC 62310-2：静态切换系统(STS)。

注：本部分不试图定义EMC要求。本部分涵盖了所有现象，因而给出在其范围适用的专用标准。

5.3 正常运行条件

5.3.1 环境条件

5.3.1.1 周围空气循环

对于安装在室内的户内型设备，不应因设备运行产生的热量使室内空气发生变化，或者说冷却媒质(室内空气量)应足够。否则，应考虑在设备与外界空气之间配置热交换器。

对于安装在机箱或机柜内的组件，其周围条件(机箱或机柜内的空气)应看做热转移媒质，而非冷却媒质。存在的箱壁热反射应予以考虑。因此，对于这样的组件必须规定较高的周围空气温度，且其电气间隙距离应符合供应商的规范。

5.3.1.2 温度

除非另有规定，下列限值适用：

a) 贮存和运输温度

在排出冷却液的情况下，以下限值适用：最低：−25 ℃，最高：55 ℃。

b) 户内设备的运行(包括空载期)

根据不同情况，户内设备运行(包括空载期)时的温度规定见表8。

表8 户内设备冷却媒质的温度限值

条件	冷却媒质	最低温度 ℃	最高温度 ℃
短时极端温度	空气	0	40
	水	+5	30
	油	−5	30
日平均温度	空气		30
年平均温度	空气		25

5.3.1.3 其他条件

设备预计在下列条件下运行(包括空载期)：

a) 户内设备环境空气的相对湿度

——最低：15%；

—— 最高：标准设备，按不出现凝露设计。出现凝露视为非正常运行条件（见 5.4.1）。

b） 户内设备环境空气的尘埃和固体微粒含量

标准设备按空气清洁设计（见 GB/T 16935.1，污染等级 1）。订货商提出的任何其他条件均作为非正常运行条件（见 5.4.1）。

c） 户外设备运行条件

户外设备的运行条件（包括空载期）应由供应商与订货商协商，并在合同中规定。

5.3.1.4 海拔

设备运行地的海拔不超过 1 000 m。如果在海拔超过 1 000 m 的地点运行，应降额使用设备容量。

5.3.1.5 热转移媒质

a） 冷却用绝缘液：符合 GB/T 2536 规定；

b） 冷却水的水质（温度为 25 ℃时）：

1） 电导率应符合表 9 要求：

表 9 冷却水的水质级别及其适用的变流器阀侧额定电压和电导率

水质级别	电导率 mS m	阀侧额定电压(U_{vN}) V
Ⅰ	5	$U_{vN} \leqslant 630$
Ⅱ	1	$630 < U_{vN} \leqslant 1\,250$
Ⅲ	0.2	$1\,250 < U_{vN} \leqslant 10\,000$
Ⅳ	0.05	$U_{vN} > 10\,000$

2） 其他成分至少应满足 GB 5749 中对下列参数的要求：

- 溶解性总固体；
- pH 值；
- 硬度（以 $CaCO_3$ 计）；
- 氯化物；
- 硫酸盐。

5.3.2 电气条件

5.3.2.1 稳态和短时运行条件

表 10、表 11 和表 12 分别给出了电压幅值和频率、电压不平衡以及电压波形的抗扰度电平。表中同时给出了 IEC 61000-2-4 确立的兼容性水平。

对于专用设备及其应用，应规定抗扰度电平的波动和附加的抗扰度电平。

对于恒压供电的变流器，电气运行条件参见 IEC 61000-2-4 和 IEC 61000-2-2。

表 10　交流恒压供电联结的电压幅值和频率的抗扰度电平

骚扰项目	抗扰度等级			性能判据[a]	IEC 61000-2-4 中的适用值
	A	B	C		
频率允差					
范围(%)	±2	B2=±2[b] B1=±1	±1	F	
变化率(%/s)	±2	±1	±1	F	
电压幅值允差					
a) 稳态：$\Delta U/U_N$(%)	−10/−10	−10/−10	+10/−5	F	
IEC 61000-2-4 中的兼容性水平[c]	−10/−15	±10	±8		该标准表 1
b) 在额定值及以下，短时(0.5 个～30 个周波)：					
——仅整流运行(%)：	±15	−15/−10	−15/−10	T	
——逆变运行(%)	±15	+15/−10	−15/−7.5	T	

注 1：假设频率的降低与供电电压的升高不同时发生，反之亦然。

注 2：过载条件下的其他限值另行规定。

注 3：在某些规定的限值内，可能的后果 T 可被 F 代替，尤其是订货商要求在规范中增加特定的控制措施时。

注 4：短时交流电压变化的频繁程度期望每 2 h 不超过一次。

[a] 性能判据的文字符号的含义参见表 7。

[b] 根据 IEC 61000-2-4，工业电网的 2 级兼容性水平为±1%。

[c] 电磁环境等级的 3 级、2 级、1 级。

表 11　交流恒压供电联结电压不平衡的抗扰度电平

骚扰项目	抗扰度等级			性能判据[a]	IEC 61000-2-4 中的适用值
	A	B	C		
电压不平衡 U_{neg}/U_{pos}					
a) 稳态(%)	5	5	2	F	
IEC 61000-2-4 中的兼容性水平[b] (任何 10 min 范围)	3	2	2		该标准表 1
b) 短时(0.5 个～30 个周波)：					
——仅整流运行(%)：	8	5	3	T	
——逆变运行(%)	5	5	2	T	

注 1：规定的短时值较高可能导致直流侧的纹波过大和在交流侧产生非特征谐波。

注 2：短时电压不平衡的频繁程度期望每 2 h 不超过一次。

[a] 性能判据的文字符号的含义参见表 7。

[b] 电磁环境等级的 3 级、2 级、1 级。

表 12　交流恒压供电联结电压波形的抗扰度电平

骚扰项目	抗扰度等级			性能判据[a]	IEC 61000-2-4 中的适用值
	A	B	C		
电压波形					
a) 总谐波畸变 THD(%)	25	10	5	F	
IEC 61000-2-4 中的兼容性水平[b]	10	8	5		该标准表 2
b) 单次谐波畸变					
稳态：奇数次(%)	8	6	3	F	
偶数次(%)	2	2	1	F	
IEC 61000-2-4 中的兼容性水平[b]					
——5 次(%)：	8	6	3		该标准表 2
——3 的倍数之外的其他奇数次：	见 IEC 61000-2-4	见 IEC 61000-2-4	见 IEC 61000-2-4		该标准表 3
——3 的倍数的奇数次：	见 IEC 61000-2-4	见 IEC 61000-2-4	见 IEC 61000-2-4		该标准表 4
——偶数次	见 IEC 61000-2-4	见 IEC 61000-2-4	见 IEC 61000-2-4		该标准表 5
c) 换相缺口(稳态)					
幅值(U_{LWM}的百分值)	100	40	20	T	—
面积(U_{LWM}的百分值×角度)	625	250	125	T	—

注 1：对于给定的直流电流和 R_{SC}，缺口的面积近似恒定。深度和宽度随触发延迟角 α 变化。

注 2：如果几个变流器连接至同一个变流变压器，在一个基波周期内，所有换相缺口的面积之和不期望超过上述给出的一个主换相缺口面积的 4 倍。

[a] 性能判据的文字符号的含义参见表 7。

[b] 电磁环境等级的 3 级、2 级、1 级。

5.3.2.2　重复和非重复瞬变

典型的重复和非重复瞬变波形见图 4。应尽可能对下述特性予以规定：

a) 变流器端子处存在的瞬时能量：单位为焦(J)；

b) 上升时间(从峰值的 0.1 p.u. 上升到 0.9 p.u.)：单位为微秒(μs)；

c) 重复峰值电压(U_{LRM}/U_{LWM})：标幺值(p.u.)；

d) 不重复峰值电压(U_{LSM}/U_{LWM})：标幺值(p.u.)；

e) 峰值 50%处对应于正弦波的宽度(t)：单位为微秒(μs)。

注：交流电压波形的其他信息见 GB/T 3859.2。

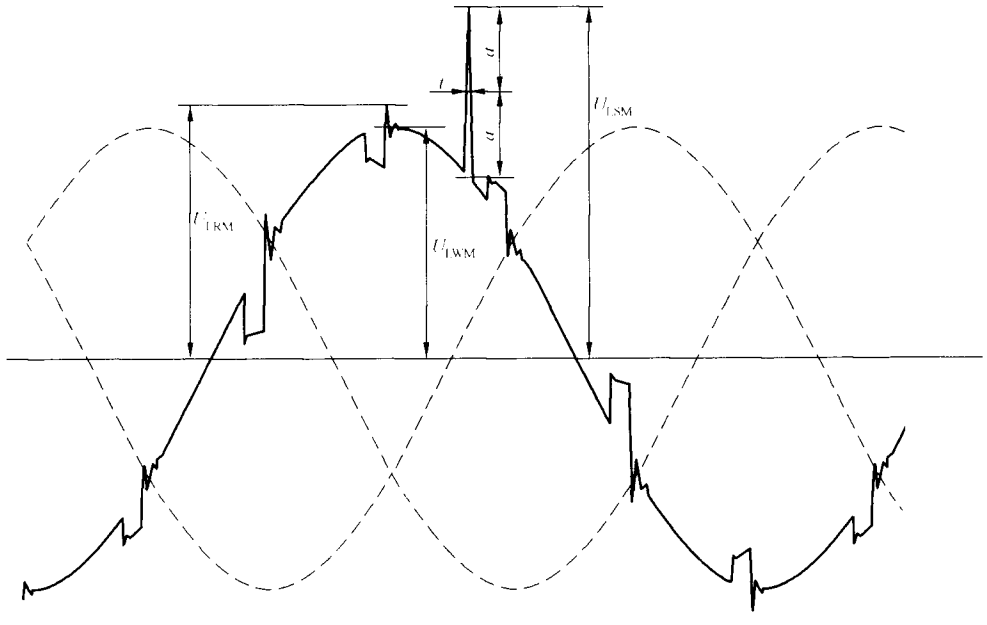


图 4　交流电压波形

5.3.3　负载特性

供应商应在产品铭牌和相关技术文件中说明变流器设计适用及其额定值有效的负载类型：

——电阻性(W)；

——高电感性(L)；

——电动机(M)；

——蓄电池充电(B)；

——电容性(C)；

——再生性(G)。

反之，订货商应在订货时规定预期应用场合的负载类型和特性。

要求具体规定的负载示例：

——要求电压反向和(或)过电压保护的电感性负载，如具有高"X/R"比值的直流电机磁场、电磁铁、电感线圈；

——贮能负载，如蓄电池组、电容器组、电化学电解槽、逆变器；

——要求处理再生能量和防止主电源故障的起重机、开卷机及其他再生性负载；

——具有高电流上升率的宽范围可变阻抗负载。

5.4　非正常运行条件

假设上述运行条件为正常运行条件，以下为非正常运行条件的示例。非正常运行条件应由供货商和订货商双方达成特定协议。

a)　非正常机械应力，例如冲击和振动；

b)　可引起腐蚀或阻塞的冷却水，例如海水或硬水；

c)　周围空气中的外来杂质微粒，例如非正常的灰尘或尘埃；

d)　含盐分的空气(例如邻近海边)、高湿度、滴水或腐蚀性气体；

e)　暴露在蒸汽或油气中；

f)　暴露在尘埃或气体的爆炸性混合物中；

g) 暴露在放射性辐射中；
h) 类似于副热带或热带气候条件的高湿和高温；
i) 温度波动超过 5 K/h 和相对湿度变化超过 0.05 p.u./h；
j) 海拔超过 1 000 m(见 GB/T 3859.2)；
k) 使用水冷却，周围温度低于+5 ℃时运行；
l) 使用油冷却，周围温度低于−5 ℃时运行；
m) 未包括在上述的或超出正常运行条件规定限值的其他条件。

6 电力变流设备和组件的性能

6.1 主电路电气联结

6.1.1 标准设计变流器

对于涵盖大多数用户要求的标准设计变流器的一般情形，本部分简化为两种基本类型：

—— 不带变压器的变流器；

——带变压器的变流器。

无论是带变压器还是不带变压器，单相供电($p=2$)和三相供电($p=6$)都采用均一联结。

对于带变压器的 12 脉波变流器和双 6 脉波变流器，要求具有分别为“Y”和“△”联结的两个次级绕组(阀侧绕组)。

6.1.2 特殊设计变流器

对于特殊应用，GB/T 3859.2 给出了其他可能的联结形式。对变流器的额定值或运行方式等有特殊要求时，需要供货商、订货商以及其他利益相关方之间达成专门协议。

6.1.3 联结形式

表 13 给出了电网换相变流器最常用一些联结及其计算因子的值。其他联结的计算因子见GB/T 3859.2。

表 13　电气联结和计算因子

联结序号	变压器联结		变流联结	p^a	q^a		网侧电流因数[b] I'_L/I_d	阀侧电流因数[c] I_v/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{vi}}$	$\frac{U_{dN}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	变压器损耗试验时短接的端子			变流器运行时的总损耗	测量 e_{xN} 时短接的端子
	网侧	阀侧										A	B	C		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
单变流器，单拍联结																
1	—	u_{x0} 1 0 2	1 0 2	2	2		0.5	0.707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0.450 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	3.14 (π)	0.707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0-1	0-2		0.5 (P_A+P_B)	1-2
单变流器，均一双拍联结																
7	—	u_{x0} 1 2	1 2 + −	2	2		1	1	0.900 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	0.707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	1-2			P_A	1-2
8	或	u_{x0} 1 3 5 或 u_{x0} 1 5 3	1 3 5 + −	6	3		0.816 $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	0.816 $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	1.35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0.500	1-2-3			P_A	1-2-3
9	或	u_{x0} 11 13 15 或 u_{x0} 21 25 23	11 13 15 21 23 25 + −	12	3		0.789 $\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}\right)$	0.408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1.35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0.259	11-13-15	21-23-25	11 13-15 21-23-25	0.036 $(P_A+P_B)+0.928P_C$	均分 11 13-15 和 21-23 25

[a] p 和 q 分别为网侧和阀侧绕组的相数。

[b] I'_L 为网侧绕组电流的有效值。

[c] I_v 为阀侧绕组电流的有效值。

表 13（续）

联结序号	变压器联结		变流联结	p^{a}	q^{a}		网侧电流因数[b] I'_1/I_d	阀侧电流因数[c] I_2/I_d	$\frac{U_{d0}}{U_{20}}$	$\frac{U_{DM}}{U_{d0}}$	$\frac{d_{uk}}{e_{uk}}$	变压器损耗试验时短接的端子			变流器运行时的总损耗	测量 e_{uk} 时短接的端子
	网侧	阀侧										A	B	C		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
单变流器，均一双拍联结																
12	或	或		12	3		1.58 $\left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}}\right)$	0.816 $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	2.70 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	0.524 $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	0.259	11-13-15	21-23-25	11 13 15 21 23 25	0.036 $(P_A+P_B)+0.928P_C$	均分 11 13-15 和 21 23 25
18	或	或		见联结序号 8												
19	或	或		见联结序号 8												

注：其他联结形式见 GB/T 3859.2。

[a] 参见表 1。

[b] 变压器初级。

[c] 变压器次级。

表 13 共有 17 栏。各栏内容为：

——第 1 栏：联结的基准序号；

——第 2 栏：变压器网侧联结的规定；

——第 3 栏：变压器阀侧绕组联结的规定；

——第 4 栏：变流联结简图；

——第 5 栏：脉波数 p；

——第 6 栏：(一个换相组中的)换相数 q；

——第 7 栏：(暂空)；

——第 8 栏：网侧电流因数；

——第 9 栏：阀侧电流因数；

——第 10 栏：电压比 U_{di}/U_{di0}；

——第 11 栏：电压比 U_{dN}/U_{di}；

——第 12 栏：电压调整值；

——第 13 栏：变压器损耗测量时短接的端子；

——第 14 栏：变压器损耗测量时短接的端子；

——第 15 栏：变压器损耗测量时短接的端子；

——第 16 栏：与第 13~15 栏短路损耗有关的变流器运行时的损耗；

——第 17 栏：对应于 I_{LN} 的变流变压器短路电压电感性分量 e_{xN} 的测量。

6.2 计算因子

6.2.1 基本变量

6.2.1.1 电压比

表 13 给出了关于理想空载直流电压和理想峰值空载直流电压的两个电压比(第 10 栏和第 11 栏)：

$$U_{di}/U_{di0} \quad 和 \quad U_{dN}/U_{di}$$

6.2.1.2 网侧电流因数

网侧电流因数为网侧电流方均根值 I'_L 与直流电流 I_d 之比。表 13 中，网侧电流因数基于以下假设：直流电流平滑，交流电流为矩形波，且单拍或双拍联结的电压比为式(17)：

$$U_L/U_{vv}=1 \qquad \cdots\cdots(17)$$

式中：

U_L——网侧相间电压；

U_{vv}——阀侧两个换相的相之间的电压。

网侧电流近似为式(18)：

$$I_L=I'_L\times U_{vv}/U_L \qquad \cdots\cdots(18)$$

6.2.1.3 固有直流电压调整值

表 13 给出的固有直流电压调整值为：

$$d_{xN}/e_{xN}$$

式中：

d_{xN}——在额定负载下，变压器换相电抗产生的直流电压调整值。用相对于 U_{di} 的标幺值表示；

e_{xN}——变压器阀侧绕组按表 13 中第 17 栏短路，在整个设备的网侧额定电流 I_{LN} 下，变压器阻抗电压的电感性分量。用额定交流电压 U_{LN} 的标幺值表示。

仅对于换相数 $q = 3$ 的联结，能由三相变压器的 e_{xN} 计算电感性直流电压调整值 d_{xN}。

对于带三相变压器的所有其他联结，d_{xN} 与 e_{xN} 的比值可能取决于变压器初级与次级的电抗之比。有关这些联结确定 d_{xN} 的方法参见 GB/T 3859.2。

注：假设重叠角 $\mu < 2\pi/p$，p 为脉波数。

6.2.1.4 磁路

假设表 13 中三相电流供电的联结的磁路为三柱式铁芯。

6.2.1.5 功率损耗因数

表 13 给出了变流器运行时的功率损耗与按第 13～15 栏短接相应的端子，在整个设备的网侧额定电流 I_{LN} 下进行短路试验时的功率损耗之间的关系。

6.2.1.6 短路计算

通常，变流器的保护要求在尽可能短的时间内清除短路电流。某些应用(例如轨道交通地面设施用变流器)可能要求变流器耐受直流短路电流长达 150 ms(输出回路断路器的分断时间)。在这种情况下，具体计算系数要考虑采用多重换相的大重叠角。这种情况由产品标准规定(见 IEC 62589)。

6.2.2 损耗和效率

6.2.2.1 概述

变流组件或设备的效率应用功率效率表示。

效率可在正常负载下测量交流和直流功率确定，或在短路试验和轻载试验时测量固有损耗确定，或计算固有损耗确定。一般由供应商选择。

确定总效率时，应明确界定包括的部件的范围。

在计算效率时，如果对于是否包括电力变流设备的某个部件的损耗可能产生疑虑，应明确说明声称的效率是否包括其损耗。确定电力变流设备中确定的部件，应按 6.2.2.2 和 6.2.2.3 考虑。

6.2.2.2 包括的损耗

确定效率时应包括的损耗如下：

a) 组件的固有损耗：例如半导体阀器件、熔断器、均压器、均流装置、阻容阻尼电路和浪涌电压抑制器的损耗；

b) 变压器、饱和电抗器、相间变压器、变压器和晶闸管或二极管组件之间的限流和均流电抗器的损耗，以及按同一合同作为设备组成部分而提供的网侧辅助变压器和电抗器的损耗；

c) 当变压器和组件组合在一起作为一个单元交货时，变压器和组件之间的主联结的损耗；

d) 除非另有规定，永久性连接的风机或泵以及继电保护装置等辅助部件消耗的功率；

e) 由电力变流设备供应商提供的串联平波电抗器的损耗；

f) 双变流器联结电路中的环流产生的损耗；

g) 触发设备(见 3.1.17)消耗的功率。

6.2.2.3 不包括的损耗

确定效率时不应包括的损耗如下(如果有要求，且相关部件由电力变流设备供应商提供时，应另行说明)：

a) 变压器和组件之间的主联结作为独立单元供货时，该主联结的损耗；

b) 连接至断路器、隔离器、开关和负载的主联结的损耗；
c) 断路器、隔离器、开关和在 6.2.2.2 中未提及的控制装置的损耗；
d) 建筑物采暖、通风和冷却设备的损耗；
e) 不与电力变流设备一起提供的串联平波电抗器的损耗；
f) 系统控制设备(见 3.1.18)的损耗；
g) 仅间歇工作的辅助部件的损耗。

6.2.3 功率因数

6.2.3.1 概述

由于电网换相变流器的网侧电流中存在谐波，在编制功率因数保证值的规范时，说明功率因数的类别十分重要。

功率因数有总功率因数 λ 和基波功率因数(即位移因数)$\cos\varphi_1$ 之分(见 3.7.13 和 3.7.14)。当脉波数大于 6 时，二者之间的差别小。但当脉波数更小时，差别很明显。

除非另有说明，对于为电感性负载供电的多相变流器，制造商应给出基波功率因数 $\cos\varphi_1$ 的保证值。

注：在这种情形下，在对称控制条件下计算基波功率因数足以得到可靠的数值。

变流器主要为蓄电池充电或电容性负载供电时，应考虑总功率因数。

当要求精确计算基波功率因数或总功率因数时，需要知道包括电网阻抗在内的许多参数。计算方法参见 GB/T 3859.2—2013 中的 4.6。

6.2.3.2 计算

当已知电网换相变流器的实际直流电流和输出直流电压时，可由式(19)～式(22)计算相应的近似值。

有功功率：

$$P = U_d \times I_d \qquad \cdots\cdots(19)$$

基波表观功率：

$$S_1 = U_{di} \times I_d \qquad \cdots\cdots(20)$$

基波功率因数：

$$\cos\varphi_1 = P/S_1 \qquad \cdots\cdots(21)$$

基波无功功率：

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \qquad \cdots\cdots(22)$$

一般来说，由这些公式计算的 $\cos\varphi_1$ 和将功率因数校正到规定值需要的电容器的电容量具有足够的准确度。如果需要，更详细的计算参见 GB/T 3859.2。

注：本条的公式适用于平滑的直流电流和矩形波交流电流。

6.2.4 电压调整值

6.2.4.1 概述

下述涉及标准设计、带变压器或网侧电抗器、三相双拍均一联结的变流器(表 13 中的序号 8)。考虑的是一些通常的情况。

注：除非另有说明，本部分的电压调整值指固有直流电压调整值。总直流电压调整值包括固有直流电压调整值和交流系统阻抗引起的直流电压调整值两部分。参见 GB/T 3859.2—2013 中的 4.7。

6.2.4.2 电阻性直流电压调整值

根据各部件的损耗 P_r，由式(23)计算电阻性直流电压调整值 U_{dr}：

$$U_{dr} = P_r / I_{dN} \quad \cdots\cdots(23)$$

这里，“部件”包括变压器绕组、串联电感器、平波电抗器、二极管、晶闸管、熔断器等。

6.2.4.3 电感性直流电压调整值

假设变流器交流端子为标称电压，电感性电压调整值由式(24)给出：

$$U_{dx} = 0.5 \times U_{di} \times \frac{S_{1LN}}{S_{com}} \times \frac{I_d}{I_{dN}} \quad \cdots\cdots(24)$$

式中，短路容量 S_{com} 计算方法如下：

a) 对于带专用变压器的变流器，有式(25)：

$$S_{com} = \frac{1}{(1/S_c) + e_{xN}/S_{tN}} \quad \cdots\cdots(25)$$

b) 对于不带专用变压器的变流器：以网侧连接电缆和网侧电抗器的电感 L 代替变压器电感，采用额定电流下的电压调整值的标幺值计算 S_{com}，有式(26)：

$$S_{com} = \frac{1}{(1/S_c) + X_L/S_{1LN}} \quad \cdots\cdots(26)$$

式中：

$X_L = 2\pi f_N \times L \times S_{1LN}/U_{1LN}^2$。

其他情况见 GB/T 3859.2。

6.2.4.4 其他变流器的影响

如果多个变流器由同一个电源变压器供电，通常会产生附加电压降。如果合同要求，可根据这些变流器的额定值、联结形式和其他特性详细计算。

对于多个相同的独立变流器的简单情况，假设其触发延迟角度 α 相同，可由所有变流器的总表观功率估算最大附加电压降。

6.2.4.5 12 脉波变流器

对于两个 6 脉波变流器串联，其一个由 Y 形联结次级绕组供电，另一个由△形联结次级绕组供电的情形，忽略不计其初级漏抗(为这种情形设计的变压器的初级漏抗远小于次级电抗)，对两个变流器分别计算，再将分别得到的电压调整值相加。

6.2.4.6 升压和降压联结变流器(串联联结)

采用与上述相同的假设，电压调整值与其工作点有关，各 6 脉波变流器应单独计算。将直流电压和电压调整值相加(如果其中一个变流器工作在逆变状态，取代数和)。

这一近似计算方法也可用于三相双拍非均一联结(例如 3 个晶闸管和 3 个二极管，或 6 个晶闸管和 6 个二极管)。

6.3 电磁兼容性

6.3.1 谐波

6.3.1.1 网侧电压和电流谐波的次数

假设供电电压、触发延迟角、Y 绕组和△绕组变比完全对称，下述适用于三相均一联结变流器。

特征谐波的次数取决于脉波数 p，有式(27)：

$$h = k \times p \pm 1 \quad \cdots\cdots(27)$$

式中：

k =整数(1,2,…,n)。

对应的谐波频率与基波频率 f_1 的关系由式(28)计算：

$$f_h = h \times f_1 \quad \cdots\cdots(28)$$

受供电网频率变化的支配。

注1：由于Y绕组和△绕组电压的微小误差(匝数取整)、供电电压不平衡、触发延迟角误差和其他制造公差，12脉波变流器通常会产生非特征谐波，其范围可为额定值相同的6脉波变流器(p = 6)的值的0.05 p.u.～0.15 p.u.。

注2：顺序门极控制或非均一联结的双6脉波变流器产生的谐波可达同等6脉波变流器的理论值的1.0 p.u.，取决于其触发延迟角和变压器次级相位移(如有)。

更多信息参见附录A和GB/T 3859.2。

6.3.1.2 网侧谐波电流的放大

电力电容器可用于交流电动机和电网换相变流器的功率因数补偿。源阻抗与电容器(包括电缆的电容，尤其是在中压系统中)之间的谐振可放大谐波电流和电压。配置与电容器串联的电抗器可降低谐振频率(低于5次谐波)。

更多信息参见附录A和GB/T 3859.2。

6.3.1.3 直流电压的谐波含量

在完全平衡的供电电压、触发延迟角等条件下，直流电流和直流电压谐波含量的频率由式(29)计算：

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_1 \quad \cdots\cdots(29)$$

式中：

k =整数(1,2,…,n)。

负序电压产生频率为两倍于基波频率 f_1 的附加谐波分量。该谐波分量不容易借助变流器设计消除，除非配置很大的平波电抗器或直流输出滤波器。

更多信息参见附录A和GB/T 3859.2。

6.3.1.4 直流输出电流的交流分量

作为直流侧电压谐波分量的结果，直流电流也含有纹波。对于向电容器组供电或蓄电池充电的变流器，反电势可等于直流电压平均值，在这种情况下，直流电流是不连续的，需要配置合适的触发设备。

6.3.1.5 谐波抑制

谐波抑制的目的是降低电压和(或)电流谐波对电网和(或)邻近系统和设备的影响。谐波电压不仅与谐波电流有关，还与电网的谐波阻抗有关。抑制谐波的基本措施有：

——提高短路比 R_{sc}(参见附录B)；

——增加变流器的脉波数；

——使用滤波装置(例如：有源滤波器、无源滤波器等)。

6.3.2 换相缺口

6.3.2.1 换相缺口的产生

电网换相变流器换相期间，参与换相的两相交流端子被瞬间短路，使变流器阀侧线间电压暂降到接

近零。由于网侧电抗，该电压突变将使电网的不同连接点出现电压缺口。电压缺口的宽度等于换相重叠角，缺口深度取决于各连接点的短路阻抗比。

换相缺口可能诱发高频振荡，干扰邻近通信网络和电子设备正常工作。对变流器自身而言，如果缺口宽度大于触发脉冲宽度，会造成触发故障，导致逆变器颠覆，使整流器运行不稳定。换相缺口在低压配电系统中尤为明显。

6.3.2.2 换相缺口抑制

为减少换相缺口的影响，设计时可采取如下措施：

——设置变流变压器或电抗器，在变流器与系统母线之间引入隔离阻抗，从而减小公共连接点的换相缺口深度。隔离变压器应尽可能靠近变流器；

——变流器的控制线与电力线隔离；

——在设计触发电路时，预先考虑接入的电网可能出现的电压缺口。

更多信息参见 GB/T 3859.2 和 GB/T 10236。

6.3.3 电压波动

变流器从电网吸收有功和无功电流，在电网的阻抗上引起电压降。当变流器向电机和电弧炉等大型电感性冲击性负载供电时，有功功率和无功功率变化幅度大、速度快，可能会引起电网电压频繁波动。

减少电压频繁波动通常配置动态无功补偿装置。更多信息参见 GB/T 3859.2 和 GB/T 10236。

6.3.4 其他电磁兼容性问题

除了表征半导体变流器主要 EMC 问题的谐波之外，还应注意干扰工厂内弱电控制和通信线路、或电话和无线电通信网络的风险。下述仅给出一般建议，且如 5.2.2 和 5.2.3 所述，某些半导体变流器的所有 EMC 问题在专用标准中规定。

a) 对工厂内弱电控制和通信线路的干扰

由订货商施工的电缆走线路径、滤波、反馈电缆和弱电电缆等应符合供应商提供的说明书、IEC/TC 77 的标准和地方主管部门的要求；

b) 对电话和无线电通信网络的干扰

标准设计的工业变流器或为特定工业应用设计的变流器通常不满足家用和类似应用的要求，尤其是关于居住、商业和轻工业应用的通用 EMC 标准 GB/T 17799.1 和 GB 17799.3 的规定。关于工业应用的通用 EMC 标准(见 GB/T 17799.2 和 GB 17799.4)和产品标准中给出的参考资料见 5.2.2 和 5.2.3。

订货商应详细说明所有特殊要求以及安装场所、供电系统类型、变流器预期的运行和可能影响实现 EMC 要求的所有特殊情况。

6.3.5 抗扰度

6.3.5.1 概述

除非另有规定，变流器设计应遵守下述传导骚扰抗扰度要求。

对应于抗扰度电平的骚扰电平包括变流器骚扰的影响。如果变流器的骚扰值得以降低，骚扰电平不应包括对应的变流器骚扰的影响。

对于不同的交流或直流联结，可规定不同的抗扰度等级或特定的抗扰度电平。如果未规定抗扰度等级，应认为 B 级适用。

对于电网换相变流器产生的骚扰的影响的导则，也见 GB/T 3859.2。

本条定义的抗扰度等级A、B、C三级对应于本部分先前版本的实践，早于确立兼容性水平的IEC 61000-2出版物。

注1：IEC 60146确立的抗扰度等级A、B、C的抗扰性能从高向低递减，而IEC 61000-2-4确立的兼容性水平等级(1级、2级和3级)是兼容性水平的值从小向大递增

注2：对于低频现象，在抗扰度等级与兼容性水平之间留有余量十分重要。制造商应根据设计的允差和制造流程确定余量。因此，无意对余量做出标准要求。

6.3.5.2 抗扰度等级

抗扰度等级A、B、C三级的要求如下：

——抗扰度等级A：除暂降和短时中断(大多数变流器不允许)外，适用于IEC 61000-2-4中的兼容性水平3，并增加表10、表11和表12中的抗扰度电平规定；

——抗扰度等级B：除暂降和短时中断(大多数变流器不允许)外，适用于IEC 61000-2-4中的兼容性水平2，并增加表10、表11和表12中的抗扰度电平规定；

——抗扰度等级C：除短时中断(大多数变流器不允许)外，适用于IEC 61000-2-4中的兼容性水平1，并增加表10、表11和表12中的抗扰度电平规定。

6.3.5.3 抗扰度等级的选用

见GB/T 3859.2。

6.4 额定值

6.4.1 概述

额定值应以如下两种方式之一给出：

——通用变流器的标准设计值；

——尽可能根据预期运行的负载条件。

如果负载变更为非预期运行的负载，变流器的额定值随之失效。

负载特性也应在变流器的规范中规定。

IEC出版物给出了轧机、造纸机、矿山卷扬机等应用场合对调速电动机电气传动的要求。

6.4.2 额定输出电压

额定输出电压应为供应商标定的连续工作电压。

最高输出电压应符合预期运行的动态要求，或对不同用户分别规定。

注：电网换相变流器设计的最高直流电压常常高于额定直流电压(例如：直流电机或同步电机激励的设计数倍于额定直流电压)，以便为控制、电压调整、补偿交流电网电压波动留出余量。这可能导致变流变压器的额定表观功率在某些情况下大大超过变流器的额定输出。

如果没有说明，在变流器网侧端子电压的规定限值(见5.3.2)内，以及电流为额定直流电流及以下的所有电流值下，额定直流电压都应保持。

在任何运行方式(整流或逆变)和全部运行条件允差内，电网换相变流器应在额定值运行而不发生中断。对于易发生严重波动的交流系统，可协商较低的电压，建议设定逆变器运行的安全电压低于预期的最低网侧交流电压(见5.3.2)。

6.4.3 电流额定值

6.4.3.1 应规定的电流值

每个电力变流设备应有标定的额定电流值以及指定的工作制等级，除非额定电流适用于连续工作

制(见 GB/T 2900.74—2008,定义 151-16-02:"工作周期")。而且,组件应有标定的额定连续电流值,即额定连续直流电流值 I_{dNN}(最大值,见 3.6.10)。

变流器及其组件应能耐受如下电流,而与工作制等级无关:

——在包括最大负载的所有运行条件下,变流器供应商建议的保护设备(例如:熔断器)允许限度内的故障电流;

——负载自动调节设备或过电流保护设备(例如:电子式过电流保护)动作要求幅值和持续时间的过电流。

6.4.3.2 短时工作制额定电流

可采用两种等效的方法规定短时工作制的额定电流:按上述连续和恒定条件,或按一个恒定电流关联一个单个短时峰值电流构成简单负载工作制。两种方法都应符合 6.4.3.1 的要求。

通常,短时工作制的额定电流有以下三种情况:

a) 高峰负载工作制

额定电流适合于在高峰负载之后有一个空载期的高峰负载工作制。空载期的持续时间为,施加峰值电流之后,电力变流设备所有部分的温度都降低到对应额定直流电流运行的温度需要的时间。

高峰负载工作制的额定电流为,电力变流设备在规定运行条件下和规定持续时间内,能向负载提供的包括短时峰值直流电流的直流电流值。峰值电流(最大峰值直流电流 I_{dSMN})的幅值和持续时间以及再次施加任何电流之前的最短空载时间应予以规定。见 3.6.11 和 3.6.13。

b) 叠加高峰负载的连续工作制

额定电流适合于间歇高峰负载工作制。施加间歇高峰负载的最短时间为,电力变流设备所有部分的温度都降低到对应额定直流电流运行的温度需要的时间。

叠加高峰负载的连续工作制的额定直流电流为,在规定运行条件和具有规定幅值和持续时间的间歇施加的高峰负载情况下,电力变流设备能向负载提供的持续时间无限制的直流电流值(I_{dRMN})。施加间歇高峰负载的最短时间也应予以规定。见 3.6.12 和 3.6.14。

c) 重复负载工作制(周期工作制)

额定电流应规定为按整个负载工作周期计算的负载电流方均根值。工作制等级首选规定为电流值及其持续时间的序列。见 3.6.15。

6.5 工作制等级

6.5.1 原理

如果实际应用中得知确切的变流器预期负载图困难,可规定表示规定持续时间内恒定电流值的示意图如下。

应规定额定电流值,且仅对指定的工作制等级有效。如果设计的变流器在不同的工作制下运行,应就每一工作制等级规定其额定电流值。

如果表 14 中没有适合的标准工作制等级,也没有另行说明,应以重复负载工作制中最繁重 15 min 时段的方均根值作为额定电流。

表 14 中包括标准工作制等级,其规定的电流容量用电流值和持续时间表征。

表 14 规定的电流值一对一适用于温度达到平衡后,在额定电流下连续运行。

负载周期示例见表 15。

表 14　标准工作制等级

工作制等级	变流器的额定电流和组件的试验条件 （相应的值用 I_N 的标幺值表示）
Ⅰ	1.00 p.u.，连续
Ⅱ	1.00 p.u.，连续 1.50 p.u.，1 min
Ⅲ	1.00 p.u.，连续 1.50 p.u.，2 min 2.00 p.u.，10 s
Ⅳ	1.00 p.u.，连续 1.25 p.u.，2 h 2.00 p.u.，10 s
Ⅴ	1.00 p.u.，连续 1.50 p.u.，2 h 2.00 p.u.，1 min
Ⅵ	1.00 p.u.，连续 1.50 p.u.，2 h 3.00 p.u.，1 min

6.5.2　工作制等级和额定电流值的选择

表 15 给出以相对于标准工作制等级假设的各种典型负载条件的负载电流示意图，以及各等级的应用。

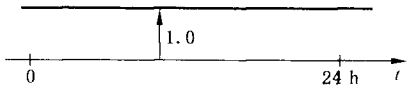
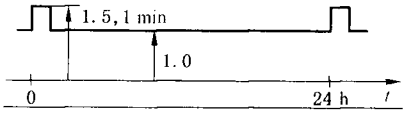
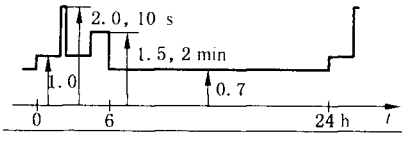
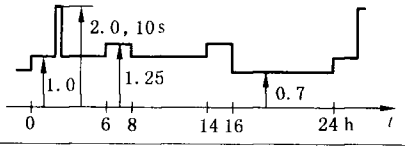
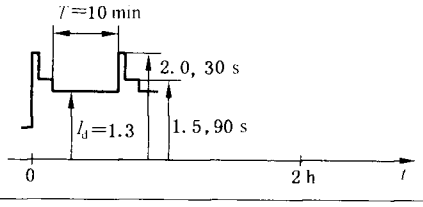
作为确定电力变流设备额定电流的导则，应分析预期的负载图，且通常不应超出表 15 标示的条件。

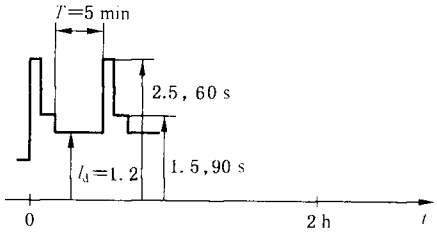
表 15 规定的负载条件的繁重程度低于表 14 规定的额定电流值。这是考虑到有时间时存在高峰负载的事实，并保证在几乎所有实际情况下，每当允许按规定较长时间承受较低的额定峰值负载电流，就能短时（5 min 及以下）安全施加额定高峰负载，唯一的限制是两个相邻峰值电流之间的时间间隔至少为 20 min。该限制是由于变流组件的实际热时间常数通常为 2 min～20 min，具体值取决于冷却设备的性能。

这意味着，对于工作制等级Ⅳ和Ⅴ，时间周期 T_1、T_2 等可能与相应的电流值 I_1、I_2 明显不对应，并不影响变压器设计。

如负载图所示，工作制等级Ⅴ和Ⅵ的典型负载条件包括重复的二级峰值电流，并有电流幅值为 I_d（标幺值，p.u.）介于其间。表中规定了电流幅值 I_d（标幺值，p.u.）和持续时间 t（min）及其在 1 d 中的变化。

表 15　负载周期示例(供选择工作制等级参考)

<table>
<tr><th>工作制等级</th><th>最典型的应用</th><th>按工作制等级假设的典型负载条件和
负载电流与额定电流的关系</th></tr>
<tr><td>Ⅰ</td><td>电化学工艺等</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Ⅱ</td><td>电化学工艺等</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Ⅲ</td><td>轻工业和轻型牵引站应用</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Ⅳ</td><td>工业应用，重载工作制</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Ⅴ</td><td>中型牵引站和采矿
I_d = 1.5 p.u.(2 h)</td><td>

<table>
<tr><th></th><th>I_d(p.u.)</th><th>T (min)</th><th>$I_{d,rms}$(p.u.)[a]</th></tr>
<tr><td>0 h~2 h</td><td>1.3</td><td>10</td><td>1.36</td></tr>
<tr><td>2 h~10 h</td><td>0.8</td><td>15</td><td>0.94</td></tr>
<tr><td>10 h~12 h</td><td>1.3</td><td>10</td><td>1.36</td></tr>
<tr><td>12 h~24 h</td><td>0.7</td><td>30</td><td>0.79</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Ⅵ</td><td>重型牵引站
I_d = 1.5 p.u.(2 h)</td><td>

<table>
<tr><th></th><th>I_d(p.u.)</th><th>T (min)</th><th>$I_{d,rms}$(p.u.)[a]</th></tr>
<tr><td>0 h~2 h</td><td>1.2</td><td>5</td><td>1.30</td></tr>
<tr><td>2 h~10 h</td><td>0.8</td><td>6</td><td>1.26</td></tr>
<tr><td>10 h~12 h</td><td>1.2</td><td>5</td><td>1.30</td></tr>
<tr><td>12 h~24 h</td><td>0.7</td><td>20</td><td>0.93</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="3">[a] $I_{d,rms}$为整个负载周期的方均根值。</td></tr>
</table>

6.5.3　关于双变流器的特殊说明

双换流器可具有对称负载，即两个变流器组的负载在电流流通的两个方向对称，也可是不对称负载，即两个变流器组的负载不同。

6.4.3 中的要求也适用于双变流器。对于具有不对称负载的双变流器，应分别给出各组的工作制周期。

对预期用于可调速电动机传动的双变流器的特殊要求见 GB/T 12668.6。

6.6 其他性能

6.6.1 可听噪声

专用产品标准应规定可听噪声要求。

6.6.2 电压均衡度

半导体阀器件串联连接时，由于各器件反向特性或断态特性的差异、导通时刻的差异以及恢复电荷的差异，可能引起其承受的电压分配不均衡。

串联阀器件的电压均衡度定义为：各串联阀器件承受的反向或断态重复峰值电压之和的平均值与所有串联阀器件中承担电压份额最大的器件承受的反向或断态重复峰值电压之比。可由式(30)表示：

$$K_u = \sum_{j=1}^{n_s} U_j \ (n_s \times U_k) \qquad \cdots\cdots(30)$$

式中：

K_u ——串联阀器件的电压均衡度；

n_s ——串联阀器件的数量；

$\sum_{j=1}^{n_s} U_j$ ——各串联阀器件承受的反向或断态重复峰值电压之和；

U_k ——所有串联阀器件中，承担电压份额最大的第 k 个器件承受的反向或断态重复峰值电压。

如需要，专用产品标准应规定电压均衡度要求。必要时，应采取措施提高电压均衡度。

6.6.3 电流均衡度

半导体阀器件并联连接时，由于各器件正向电压或通态电压的差异、开通时间的差异和触发延迟角的差异，可能引起其承载的电流分配不均衡。各并联支路阻抗的差异也有相当大的影响。

并联阀器件的电流均衡度定义为：各并联阀器件承载的平均电流之和的平均值与所有并联阀器件中承担电流份额最大的器件承载的平均电流之比。可由式(31)表示：

$$K_i = \sum_{j=1}^{n_p} I_j \ (n_p \times I_k) \qquad \cdots\cdots(31)$$

式中：

K_i ——并联阀器件的电流均衡度；

n_p ——并联阀器件的数量；

$\sum_{j=1}^{n_p} I_j$ ——各并联阀器件承载的平均电流之和；

I_k ——所有并联阀器件中，承担电流份额最大的第 k 个器件承载的平均电流。

如需要，专用产品标准应规定电流均衡度要求。必要时，应采取措施提高电流均衡度。

6.6.4 稳定性

参见 GB/T 3859.2—2013 中 8.1～8.3。

如需要，专用产品标准应规定稳定性要求。

6.6.5 过电流保护

参见 GB/T 3859.2—2013 中 9.3。

如需要，专用产品标准应规定过电流保护要求。

6.6.6 过电压保护

过电压的产生原因一般有：

a) 变流器自身电路中的电力半导体器件的通、断或换相；

b) 变流器输入、输出侧的通、断操作(例如分合闸、快速开关动作、熔断器熔断等)，尤其是直流侧分断大电流、大电感和反电势负载时；

c) 供电系统或邻近设备的操作和故障；

d) 雷电。

过电压保护的根本目的是，使变流器在正常情况下安全运行，在故障情况下不受损伤。保护的主要对象是电力半导体器件。

应采取措施尽可能防止产生过电压，或将其限制在可接受的限值内(参见 GB/T 3859.2)。

如需要，专用产品标准应规定过电压保护要求。

6.6.7 故障检测

见 GB/T 3859.2—2013 中 9.1～9.2。

6.6.8 安全要求

电力变流设备的安全性能应符合相关标准(例如 GB 7260.1、GB 7260.4、IEC 61800-5-1、IEC 61800-5-2、IEC 61204-7、IEC 62103、IEC 62310-1、IEC 62477-1)的要求。

7 阀器件组件和电力变流设备的试验

7.1 总则

7.1.1 试验方法

半导体变流器常常成套在电气设备中。电气设备包括变流器自身运行需要的辅助装置以及其他部件。可能出现半导体变流器无法分离出来的情况，甚至在试验时也是如此。在这种情况下，将组件称为电力变流设备。

出于经济方面的原因限制试验项目是必要的。因此，本部分对大型设备在制造厂内的试验限制为，对拆分为单件发货的独立组件进行试验。

如另有规定，也应包括大型设备、成套设备的其他试验或现场试验。

对于大型设备、成套设备的综合性试验，尤其是负载试验，不推荐在制造厂内进行，可在现场安装完成后，在实际负载条件下进行。

作为整体交货的小型设备应在发货前按上述规定试验。

试验应在与实际运行条件等效的电气条件下进行。如果这不切合实际，对应的组件和设备应在证实满足规定性能的条件下进行。

试验时，如果更方便，设备中的组件和其他部件可分别试验。在这种情况下，堆或组件应由与合同规定的联结等效的变压器供电。

除非签订合同时另有协议，交流供电电压和试验电压应为额定频率，但绝缘试验电压可是直流或任何方便的频率的交流电压(由供应商在 15 Hz～100 Hz 选择)。

当用户或其代理人希望参加工厂试验时，应在订货时说明。如果订货时达成协议，合同可规定供应商提供产品的试验报告。

对于相同产品或类似产品以前实施过的型式试验，而试验条件不低于合同或本部分要求，可提供证

明材料。

电力变流设备内配套的电力半导体器件和电子元器件，以及诸如变压器、电抗器、开关、仪器仪表、冷却设备等，应在组装前通过符合性试验。如果这些元器件和装置已有按其标准通过出厂试验的合格证明，只进行与电力变流设备有关的功能试验和操作试验。

7.1.2 试验类型

7.1.2.1 型式试验

为验证产品设计符合本部分要求的性能，应进行型式试验。

为验证产品品质得以保持，可在规定的时间间隔、对规定数量的样品重复进行某些或全部型式试验。

有下列情况之一时，一般应进行全部或部分型式试验：

a) 新产品或老产品转厂的试验定型鉴定；

b) 正式生产后，结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；

c) 产品长期停产后，恢复生产时；

d) 出厂试验结果与上次型式试验有较大差异时；

e) 用户提出特殊要求，经制造商同意时。

试验时，如果每个产品只有一项不合格，允许返工复试一次。如复试仍不合格，则判定该批产品为不合格品，应在消除不合格并重新通过型式试验后方能继续生产。

7.1.2.2 出厂试验

为验证产品符合本部分要求，发货前，每个电力变流设备或每个单件发货的组件应进行出厂试验。

出厂试验合格后，应出具出厂试验合格证明。

出厂试验时，只有一项不合格，允许返工复试。复试合格后方可出具出厂试验合格证明。

7.1.3 试验项目

表 16 为变流器或组件的试验项目一览表。除非另有协议，试验应包括表中全部标示"★"的项目。标示"(★)"的项目只在合同要求时进行。

表 16 试验项目

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	可选试验	章条号
1	外观检验	★	★		
2	绝缘试验	★	★		7.2
3	轻载和功能试验	★	★		7.3.1
4	额定电流试验	★			7.3.2
5	过电流能力试验			(★)	7.3.3
6	固有电压调整值测量			(★)	7.3.4
7	纹波电压和电流测量			(★)	7.3.5
8	谐波电流测量			(★)	7.3.6
9	组件和设备功率损耗的确定	★			7.4.1
10	温升试验	★			7.4.2

表 16（续）

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	可选试验	章条号
11	功率因数测量			(★)	7.4.3
12	辅助装置检查	★	★		7.5.1
13	控制设备性能检查	★	★		7.5.2
14	保护装置检查	★	★		7.5.3
15	抗扰度试验			(★)	7.6.1
16	射频辐射和传导骚扰试验			(★)	7.6.2
17	可听噪声测量			(★)	7.7
18	其他试验			(★)	7.7

7.2 绝缘试验

7.2.1 概述

为证明产品的绝缘系统有足够的介电强度，进行型式试验以及出厂试验。通过对关键安全部件和固体绝缘进行耐压、冲击和局部放电三种方式的试验验证绝缘系统。

三种不同的试验方式实际上针对不同的物理现象：

— 交流或直流电压试验：针对来自供电电源的长期过电压影响；

— 冲击电压试验：针对供电电源发生的瞬时冲击过电压的影响；

— 固体绝缘的局部放电试验：针对可能施加于绝缘的冲击过电压、暂态过电压以及重复峰值电压的影响。

注：瞬时冲击过电压、暂态过电压以及重复峰值电压可能引起绝缘材料内部局部放电而导致绝缘材料老化。

通常，冲击电压试验和局部放电试验是分别规定的，见 7.2.3.2。

型式试验及其对应的试验电压水平应基于相关标准（见附录 C 中的 C.5）的要求。

除非在相关标准（见 C.5）中规定了更严酷的试验条件，选择出厂试验及其对应的试验电压水平应基于 7.2.2 的要求。

7.2.2 电力变流设备的出厂绝缘试验

7.2.2.1 概述

交流或直流电压试验在总装配后进行，以保证制造过程没有影响绝缘配合。试验电压水平按表 17 或表 18 的规定合理选择。

表 17 或表 18 中的试验电压只是对于基本绝缘的型式试验。对于出厂试验，这些电压覆盖基本绝缘、附加绝缘、双重绝缘和加强绝缘（见 3.11.12～3.11.15 的定义）的验证。

值得注意的是，双重绝缘或加强绝缘的耐压是基本绝缘耐压的两倍。然而，为避免固体绝缘受到局部放电的破坏，出厂试验对基本绝缘、附加绝缘、双重绝缘和加强绝缘只施加一个水平的试验电压，假设对不同绝缘的有效性已经在型式试验时验证。

双重绝缘和加强绝缘的型式试验根据额定绝缘电压施加较高的试验电压。

除非订货商按 7.2.3.2 作出说明，一般不进行功能绝缘试验。

7.2.2.2 试验前的准备

试验前应进行如下准备：

a) 如果必要，应短接端子、开关的常开触点和半导体阀器件等，以便构成闭合回路。试验前，可将电路中的半导体器件及其他易损坏部件断开和(或)端子短接，以避免在试验期间损坏；

b) 只要切实可行，对于形成受试绝缘部分的独立部件(例如：高频滤波器的电容器)，不宜在试验前断开或短接。在这种情况下，推荐使用表 17 或表 18 中规定的直流试验电压；

c) 如果受试设备的易触及表面全部或部分被不导电材料覆盖，应使用导电箔包裹施加试验电压的表面。如果使用金属箔完全覆盖设备外壳不便，应部分覆盖那些认为与保护有关的位置。在这种情况下，电路和不导电易触及表面间的绝缘试验可作为抽样试验，代替出厂试验；

d) 在交流或直流电压试验时，使用多极连接器的印制电路板和模块可抽出或断开，或使用标准试验样件代替。然而，这些做法不适用于万一绝缘击穿，电压可能达到的未连接外壳的易触及部分，或从较高电压侧达到较低电压侧。诸如辅助变压器、测量设备、脉冲变压器和仪表传感器等的绝缘应力应与主电路相等；

e) 主电路的开关装置和控制装置应闭合或旁路。与主电路不存在导电连接的辅助装置(例如：系统控制设备、风机的电动机)，在交流或直流电压试验时应与外壳连接。试验时，外壳以绝缘材料构成的单元应使用金属箔覆盖，金属箔视为外壳。

7.2.2.3 试验电压

根据设备连接电源的不同情况，规定试验电压如下：

a) 直接连接至低压电网的设备

表 17 给出直接连接至低压电网的设备的交流或直流试验电压(见 7.2.2.1、7.2.2.2 和注 1)。对于有保护隔离的电路的型式试验，以及电路与易触及表面(不导电或导电但未连接至保护接地的)之间的型式试验，表中的试验电压应乘以 2。

注 1：上述规则是标准化工作的最新结果，且与类似应用的最新标准(见 IEC 61800-5-1)一致。

额定绝缘电压为 U 时，交流试验电压为 $(U + 1\,200)$V。

表 17 设备直接连接至低压电网时的试验电压

额定绝缘电压(见 3.11.9) V	试验电压 V	
	交流(方均根值)	直流
≤50	1 250	1 770
100	1 300	1 840
150	1 350	1 910
300	1 500	2 120
600	1 800	2 550
1 000	2 200	3 110
注：允许内插。		

b) 直接连接至高压电网的设备

表 18 给出交流 1 000 V 以上且直接连接至高压电网的设备的交流或直流试验电压(见 7.2.2.1、

7.2.2.2 和注 2)。

表 18 设备直接连接至高压电网时的交流或直流试验电压

额定绝缘电压(见 3.11.9) V	试验电压 V	
	交流(方均根值)	直流
>1 000	3 000	4 250
3 600	10 000	14 150
7 200	20 000	28 300
12 000	28 000	38 600
17 500	38 000	53 700
24 000	50 000	70 700
36 000	70 000	99 000
注：允许内插。		

对于有保护隔离的电路的型式试验，以及电路与易触及表面(不导电或导电但未连接至保护接地的)之间的型式试验，表中的试验电压应乘以 1.6。

注 2：上述规则是标准化工作的最新结果，且与类似应用的最新标准(见 IEC 61800-5-1)一致。

额定绝缘电压为 U 时，交流试验电压约为：

——U 为 1 000 V～7 200 V：$(2.7U + 300)$V；

——U 为 7 200 V～36 000 V：$(1.8U + 7\ 200)$V。

c) 不直接连接至电网的设备

不直接连接至电网的设备，其试验电压一般可由产品标准(例如关于电气传动系统的标准 IEC 61800-5-1)规定。

除非另有规定，试验电压应由供应商与订货商协商一致。原则上，交流试验电压方均根值至少为电路中最易受过电压影响的半导体阀器件阻断能力总电压设计值的 1.15 倍。如果采用直流电压，至少为 1.63 倍。

注 3："总电压"指半导体阀器件串联连接时，各半导体阀器件的电压之和，不包括不同器件之间电压分配的允差。

对于有保护隔离的电路的型式试验，以及电路与易触及表面(不导电或导电但未连接至保护接地的)之间的型式试验，如工作电压为 1 000 V 及以下，试验电压应乘以 2；如工作电压高于 1 000 V，试验电压应乘以 1.6。

7.2.2.4 试验电压的施加

试验时，应按如下方法施加试验电压：

——依次在易触及导电部件(已接地)与各电路之间(PELV 电路或 SELV 电路除外)；

——依次在易触及表面(不导电或导电但未接地的)与各电路之间(PELV 电路或 SELV 电路除外)；

——依次在考虑的各电路与其他连接在一起的邻近电路之间；

——依次在 PELV 电路或 SELV 电路与各邻近电路之间。

试验时，可将邻近电路接地，或将 PELV 电路或 SELV 电路接地。试验 PELV 电路和 SELV 电路

间的基本绝缘是必要的，但试验邻近的 PELV 电路或邻近的 SELV 电路间的功能绝缘则不必要。

PELV 电路或 SELV 电路和其他较高压的电路借助基本绝缘与机架(地)隔离。在完成装配且基本绝缘应力未超过的设备中，一般不可能专门试验隔离高、低压电路的双重绝缘或加强绝缘。因此，双重绝缘或加强绝缘也采用基本绝缘的试验电压。

7.2.2.5 施加电压的持续时间及合格判据

电压试验应采用 50 Hz 或 60 Hz 正弦波电压。如果受试电路中包含有电容器，试验可采用等于规定的交流电压峰值的直流电压。

试验持续时间对于型式试验为 1 min，对于出厂试验至少为 1 s。试验电压可采用上升(或下降)斜坡电压，但应在其全值下保持规定的持续时间。

根据 GB/T 17627.1—1998 的规定，试验使用的电压源的短路电流应至少为 0.1 A。

如果在试验期间没有发生电击穿或闪络，试验通过。

7.2.3 附加试验

7.2.3.1 绝缘电阻测量

在交流或直流电压试验后 1 min，应施加至少 500 V 直流电压测量绝缘电阻。对于电压 $U_M/\sqrt{2}$ 不超过 1 000 V 的，绝缘电阻不得小于 1 MΩ；电压 $U_M/\sqrt{2}$ 超过 1 000 V 时，绝缘电阻应大于 1 000 Ω/V。绝缘电阻测量对于出厂试验不是必要的。

绝缘试验时，应断开接地电阻器(如有)。

如果使用水作为热转移媒质，可在无水和有水两种情况下测量绝缘电阻。无水时的绝缘等级应满足上述规定值要求，有水时的绝缘等级应另行规定。

7.2.3.2 其他试验

本部分规定以外的其他绝缘试验仅在订货前商定时才进行。

对于 3.6 kV～36 kV 的高压变流器，不经变流变压器而直接连接至交流电网时，如果另有规定，除交流或直流电压试验外，可能需要进行冲击电压试验。

7.3 功能试验

7.3.1 轻载试验和功能试验

轻载试验和功能试验分别规定如下：

a) 轻载试验

轻载试验的目的是验证设备电气线路的所有部分以及设备的冷却能否与主电路一起正常运行。小电流设备($I_{dN} \leqslant 5$ A)不必进行轻载试验。

对于出厂试验，在额定输入电压下验证。对于型式试验，还在输入电压的最大值和最小值下验证受试设备的功能。

如果变流器的臂由串联连接的半导体器件构成，应检查电压的均衡分配情况。对于高压变流器，这可在低于额定电压下检查。

b) 功能试验

试验使用的负载应具有要求的性能。试验时，应验证控制设备、辅助装置、保护设备能否与主电路一起正常运行。根据不同的设备类型，可采用不同的方法达到试验目的。

7.3.2 额定电流试验

试验的目的是验证受试设备在额定电流下运行良好。

将直流端子直接短路或经电抗器短路，将变流器交流端子连接到至少足以产生额定连续直流电流的交流电压。试验时，控制设备(如有)和辅助装置单独以额定电压供电。

通过适当协调控制(如有)和施加的交流电压，使额定连续电流流过直流端子，检查运行情况。如果变流臂中使用并联的半导体器件，应检查电流的均衡分配情况。

如果更方便，可采用额定交流电压下的全负载试验代替电流试验。

7.3.3 过电流能力试验

过电流能力试验是负载试验。实际负载的短时过电流规定值或起动顺序应适合规定的时间间隔。应记录电压和电流规定值。如果作为制造厂的型式试验，应按 6.1.3 和 6.5 进行。如果作为过电流能力试验，按 7.3.2 中的第 2 段进行。

7.3.4 固有电压调整值测量

变流器应施加额定交流电压。饱和电抗器的控制电流、延迟角等应设定为规定值。改变直流电流，在其不同值下测量直流电压值和直流电流值。

7.3.5 纹波电压和电流测量

如有必要，在直流侧叠加的交流电压、交流电流以及噪声电压或噪声电流的测量应另行规定。

注：应考虑设备输入或输出的直流纹波和交流不平衡。

7.3.6 谐波电流测量

如有必要，交流侧谐波电流的确定应另行规定。

谐波发射可由下述任一方法确定：

——直接测量；

——通过经确认的仿真计算。

对于包括在额定输入电流大于 16 A 但≤75 A 的低压设备中的变流器，IEC 61000-3-12 给出了要确认的仿真要求。

当谐波电流测量规定为特定试验时，测量方法和条件应符合 GB 17625.1 或 IEC 61000-3-12 的规定(根据不同的交流额定电流)，或当额定电流较大时专门协商。对于额定电流较大的情况，可在规定条件(例如直流侧短路)下，在制造商的试验场地测量，或在用户现场安装后测量。A.1 给出了基本要求。

测量谐波电流时，应：

——使用符合 GB/T 17626.7 要求的仪器设备和方法；

——忽略小于基准基波电流的 1%的单次谐波电流；

——记录测量使用的电压源的特性(电压水平及其允差、频率及其允差、R_{sc} 和阻抗、多相系统的电压不平衡、空载工况下的谐波电压)。

对测量结果的说明应考虑电压源的特性。

谐波电压测量与整体设施和网络自身的情况有关，这超出了本部分的范围。

7.4 损耗、温度和功率因数

7.4.1 组件和设备功率损耗的确定

7.4.1.1 概述

组件和设备的损耗可直接测量，或基于测量进行计算。间接冷却的变流器的功率损耗可通过测量

热转移媒质转移的热量(采用测热法)和估算通过变流器机壳的热流量评定。

当在实际运行条件(额定负载)下不便测量损耗时,可采用以下方法:

变流器的功率损耗应在轻载试验(可能的最小负载)和短路试验时测量。变流器总损耗为试验中测得的轻载损耗和短路损耗之和。

这种确定损耗的方法基于以下条件和假设:

a) 半导体阀器件运行时的开关损耗、断态和反向电流损耗通常忽视不计;

b) 半导体阀器件的正向电压降可采用一个恒定分量加上一个与电流成正比的电阻性分量表示;

c) 运行时,正向电流产生的损耗与多相联结情况下,变流器臂中具有相同直流值的矩形波电流产生的损耗相等;

d) 安装在组件内,承载阀侧相电流或变流电路电流的饱和电抗器或不饱和电抗器可包括在测量电路内。饱和电抗器的偏置电流应调节为对应于正常运行的值,以便在额定直流电流和网侧额定电压下提供额定直流电压;

e) 对于规定了效率的负载条件,可通过测量输入和输出功率,或通过分解的损耗试验确定效率;

f) 对于规定了变流因数的负载条件,可通过测量交流功率和直流输出确定损耗;

g) 不考虑由于电网畸变或负载增加而增加的功率损耗。

7.4.1.2 测量方法

这里规定的损耗测量基于7.4.1.1中的假设。可在供应商的试验场地经常出现的正常环境温度下试验。半导体器件正向损耗应在变流组件所有部分的温度达到承载额定直流电流时的稳定温度后测量。

当功率损耗测量包括变流变压器时,而变压器温度在测量期间低于基准温度,负载损耗应修正到基准温度(对于A级和B级绝缘,基准温度为规定的温升限值加20 K)。修正时,按每开尔文增加0.001 2 p.u.增加损耗的值。因此,油浸式变压器的温度应取平均油温,风冷变压器的温度应取绕组平均温度(也见GB/T 3859.2)。

7.4.1.3 试验电路

见GB/T 3859.2和GB/T 13422。

在所有情况下,均压电阻器、阻尼电路和浪涌抑制器(如有)在设备运行时的损耗都应计算在总损耗中。

7.4.2 温升试验

变流器温升应在冷却设备工作,进行电流试验的条件下确定。这是最严酷的情况。如果在低于规定的最高温度的较低温度下试验,应进行修正。温升试验不限于主电路。

温升试验应尽可能在额定负载下进行。

其他情况下,温升试验应按额定电流试验(7.3.2)进行,并将开关损耗引起的温升计算在内。

温升应在规定点测量,测量结果应用于验证冷却设备的设计。

如果变流器的额定值不是基于连续负载工作制,应测量主电路部件和冷却设备的瞬态热阻抗。试验时,应测量若干部件,包括它们在最高温度下的运行。

应记录半导体阀器件规定点的温升,并依此计算有效结温升,以说明在考虑并联阀器件的实际均流情况后,组件能承受规定的负载工作制而不超过器件的规定最高有效结温。

推荐的温升限值见表19和GB/T 3859.3--2013中表2。

表19 变流器各部分的温升限值

部件或部位	温升限值 K
主电路半导体器件的有效结温和外壳温升	由专用产品标准规定
主电路半导体器件与导体的连接处	
裸铜	45
锡镀层	55
银镀层	70
母线(非连接处)	
铜	35
铝	25

7.4.3 功率因数测量

通常不必测量功率因数。如果要求测量,应按6.2.3的要求测量基波功率因数$\cos\varphi_1$(见3.7.14)。

7.5 辅助装置和控制设备性能检查

7.5.1 辅助装置检查

应检查诸如接触器、泵、程序化设备、风机等辅助装置的功能。如果方便,检查可结合轻载试验进行。

如果辅助装置已单独通过的绝缘试验电压低于其在电力变流设备中可能承受的电压,应按7.2进一步检验其绝缘性能。

7.5.2 控制设备性能检查

验证控制设备在实际运行时经常发生的所有负载条件下的控制特性并不可行。然而,建议尽可能在实际负载条件下检查触发设备。如果不能在制造商的场地检查,可与用户协商,在设备安装后检查。

当切实可行时,控制设备的检查可只限于在7.3.1 a)和7.3.2规定的两种负载条件下进行。

控制设备的静态和动态性能均应检查,包括设备在设计允许的供电电压变化范围内的所有值下是否运行良好。

7.5.3 保护装置检查

保护装置检查主要包括:

——检查过电流保护装置的整定值;

——检查快速熔断器和快速开关的正确动作;

——检查过电压保护装置的性能;

——检查冷却设备流速、流量、压力、超温等保护器件动作的可靠性;

——检查安全接地装置和开关的正确设置及各种保护间的协调动作。

保护装置的检查应尽可能在设备中的部件不超过其额定值的应力下进行。

保护装置及其组合的种类繁多，不可能对这些装置的检查规定通用规则。然而，如果系统保护装置用于变流器电流过载保护，应检查其这方面的能力。

如果认为有必要在型式试验时检查熔断器保护的有效性，应另行规定其试验条件。

出厂试验时应检查保护装置的动作。然而，这不意味着应检查诸如熔断器等那种动作基于执行零部件的破坏的装置的动作。

7.5.4 冷却设备检验

冷却设备应按相应的专用产品标准检验。

7.6 电磁兼容性(EMC)试验

7.6.1 抗扰度试验

如果合同要求，变流器抗扰度电平检查应作为选择性试验项目。试验应尽可能在与规定的电气运行条件一致的情况下进行。

注 1：抗扰度试验的情况可能会涉及法律、法规。合同中要求的任何选择性型式试验项目都不得违反试验实施地点的法律。

注 2：除电网外的其他进线的抗扰度也可包括在本试验之内。

7.6.2 射频辐射和传导骚扰试验

对射频辐射和传导骚扰的要求可另行规定，且规定应针对实际负载。

注 1：整个设备的骚扰可能与单个功能单元不同。

注 2：要求可以国家规范的形式规定。

7.7 可听噪声测量和附加试验

可听噪声测量的程序和限值应另行规定。

注：整个设备的可听噪声可能与单个功能单元显著不同。试验室条件(谐振和反射)产生与计算值或测量值的差异。

附加试验(例如：振动、冲击、环境和漂移，如必要)的规范和程序应另行规定。

7.8 允差

如果给出保证值，应总是以额定值和额定条件为基础。这不意味着保证值必须按下述全部或任何项目给出。但是，当给出保证值时，可按规定带允差或不带允差，都符合本部分。

如果给出的保证值带有允差，表 20 中的值应适用。如果给出的保证值不带有允差，该保证值为最大值或最小值视具体情况而定。

表 20 允差

章条号	项　目	允　差
7.4.1	组件损耗	保证值的+0.1 p.u.
7.4.1.2	变压器和电抗器损耗	总保证值的+0.1 p.u.

表 20（续）

章条号	项　　目	允　　差
7.4.1.2	电力变流设备的效率	效率允差对应于损耗的+0.2 p.u.时，对效率的最大影响限制为−0.002 p.u.[a]（即效率至少为[X−0.2]%）
7.4.3	计算的基波功率因数	$-0.2\times(1-\cos\varphi_1)$
7.3.4	由变压器引起的电感性直流电压降 U_{dx}	保证值的±0.1 p.u.
7.3.4	固有电压调整值	保证调整值的±0.15 p.u.
	测得的直流电压（10 V以上）[b]	$\pm(1+0.02U_{dN})$
	测得的直流电压（等于或小于10 V）[b]	$\pm0.1U_{dN}$
[a] 关于测量值： 对于输出功率 P 和损耗 P_L：$\eta=P/(P+P_L)$； 对应于允差 ΔP_L，效率的允差为：$\Delta\eta=[(P_L+\Delta P_L)/(P+P_L+\Delta P_L)]-P_L/(P+P_L)\approx\Delta P/P$。 因此，对应于 P_L 的允差的另一种表示法为：$\Delta P_L<0.002P$。 [b] 设备的输出量具有自动控制时，应规定被控制量的允差。		

8　标志、包装、运输和贮存

8.1　标志

8.1.1　概述

整体交货的每个电力变流设备和单独交货的每个组件均应有如下标志：

——制造商或供应商；

注1：可在铭牌中标示。

——设备类型（按3.2和3.3）；

注2：可在铭牌中标示。对于电力变流设备，宜包括预期的运行方式，例如"可调整流设备"或"逆变设备"。

——主电路输入和输出端子：

标示对应的相序（如果要遵守）或极性。

8.1.2　铭牌

8.1.2.1　设备和组件的铭牌

应与产品一起提供以下信息。对于不由其专用标准涵盖的产品，铭牌应有如下内容：

a）　标识依据、制造商的型号和序号；

b）　输入相数（包括中性线，如有必要连接）或表示直流的标识；

c）　额定输入电压（对于逆变器，为额定直流电压）；

d）　额定输入电流（对于逆变器，为额定直流电流）；

e）　额定输入频率（如有）；

f）　输出相数（包括中性线，如有必要连接）或表示直流的标识；

g）　额定输出电压（对于整流器，为额定直流电压）；

h）　额定输出电流（对于整流器，为额定直流电流）；

i）　额定输出频率（如有）；

j) 输出电压范围(如:输出电压可调);
k) 输出频率范围(如:输出频率可调);
l) 负载特性(例如:反电势、电感性等),如有限制;
m) 工作制类型或工作制等级;
n) 联结形式,包括对应的"均一"或"非均一"(仅对于组件);
o) 允许的预期供电电源最大平衡短路电流的方均根值;
p) 执行标准。

注:对于小型设备(300 kW 及以下和额定电流不超过 5 000 A)的铭牌,可省略 d)和 j)~m)。如第 1 章所述,专用产品标准或产品安全标准中规定的铭牌要求优先于本部分的规定。

8.1.2.2 可附加的内容

如适用,铭牌可增加一些项目,尤其是下列内容:

a) 冷却方式;
b) 冷却要求(热转移媒质的温度、流速);
c) 总质量、冷却液(如有)质量;
d) 防护等级;
e) 额定条件下的基波功率因数;
f) 输出特性曲线的符号。

8.2 包装

产品包装应符合 GB/T 13384 的规定。

随同产品包装一起提供的技术文件包括但不限于:

a) 装箱清单;
b) 产品合格证明;
c) 产品安装使用说明;
d) 产品成套及备件一览表。

8.3 运输

运输过程中不应有剧烈振动、冲击,产品不应倾斜或倒置。

8.4 贮存

在贮存保管期间,产品应放置在空气流通、无腐蚀性气体的仓库中,贮存温度符合 5.3.1.2 规定,不应淋雨、暴晒,避免出现凝露和霜冻。如果附带有水冷却设备,应排出试验时残留的冷却水。

附 录 A
（规范性附录）
谐波和间谐波

A.1 非正弦波电压和电流

供电电压的畸变等效于在其预期的正弦波形上叠加了一个或多个干扰频率的正弦波电压（下面的讨论对电压和电流都适合，因而使用“量”一词）。

傅里叶级数分析（见 IEC 60050-101:1998，定义 101-13-08）能将任何周期性的非正弦量分解为一系列频率的真实正弦分量和一个直流分量。其中，最低频率称为基波频率 f_1（见 IEC 60050-101:1998，定义 101-14-50），基波频率的整数倍的其他频率称为谐波频率。周期量中，对应的分量分别称为基波分量和谐波分量。

傅里叶变换（见 IEC 60050-101:1998，定义 101-13-09）可适用于周期性或非周期性的任何函数。对于非周期时间函数连续，且没有基波分量的情况，变换的结果是频域内的一个频谱。应用到周期函数的特殊情况，表现为频域内的谱线系列，这些谱线对应于傅里叶级数的基波和谐波。

离散傅里叶变换（DFT）是傅里叶变换的实际应用。实际上是在一个限定时段（具有持续时间 T_w 的“窗口”）内，对实际信号的有限数量（M）的样值进行信号分析。离散傅里叶变换的结果取决于参数 T_w 和 M 的选择，T_w 的倒数为离散傅里叶变换的基波频率 f_h。

离散傅里叶变换适用于“窗口”内的实际信号。信号不在“窗口”外处理，而是假设为“窗口”内的信号的等同重复，从而借助虚拟信号得到实际信号的近似。虚拟信号真正是周期性的，且其周期即为时间“窗口”。

快速傅里叶变换（FFT）是一种特殊计算方法，能缩短计算时间。它要求样值的数量（M）为 2 的整数幂（$M=2^i$），也就是说，要求取样频率锁定为基波频率的 2 的整数幂。然而，现代数字信号处理系统有计算特别复杂离散傅里叶变换（正弦函数表和余弦函数表）的能力，比频率锁定的各种快速傅里叶变换更经济、更灵活。

为使离散傅里叶变换应用于考虑的周期性函数（见 A.3）的结果与傅里叶级数分析结果相同，基波频率 f_1 取基本频率的整数倍[这要求取样频率严格取基本频率的整数倍（$f_s=M\times f_h$）]。同步采样是最重要的。失步能改变频谱结果，产生额外的谱线，并改变真实谱线的幅值。

A.2 定义

确定一组与谐波有关的定义一直存在两种不同的方法。

第一种方法考虑以频率作为定义的基本源头，从任意指定基准的定义着手，给予其基波频率的名称（IEC 61000-2-2 中 3.2.1 和 IEC 61000-2-4 中 3.2.1）：

基波频率：

从时间函数的傅里叶变换得到的频谱中的频率，频谱中其他所有频率以其为基准。

对于本部分来说，基波频率与公用电网为变流器供电的频率，或由变流器供电的频率（视具体情况）相同。

注 1：改写 IEC 60050-101:1998，定义 101-14-50。

注 2：就周期性函数而言，基波频率通常等于函数自身的频率。

注 3：在任何尚有不定性的风险情况下，供电电源频率都与向系统供电的同步发电机的极性和转速有关。

注 4：本定义可适用于任何工业电网，而与电网的负载（单一负载或组合负载、旋转电机或其他负载）无关，即使向电网供电的“发电机”是半导体变流器。

第二种方法定义谐波分量为傅里叶分析的结果，因而频率为结论（见 GB T 2900.33—2004，定义 551-20-01 和 551-20-02）。然而，这个方法遇到 A.4 中说明的实际困难。还有，在傅里叶分析中不出现电力电子技术实践中的间谐波。因此，有必要像第一种方法那样引入任意指定的基准频率。

本部分沿用 IEC 60050 的方法。应说明的是，这两种方法不矛盾，各有其优点。

A.3 计算基础

时间函数 $f(t)$ 的傅里叶变换 S_F 由式（A.1）定义：

$$S_F(\omega)=\int f(t)\times e^{-j\omega t}\times dt \qquad \cdots\cdots(A.1)$$

其逆变换为式（A.2）：

$$f(t)=\frac{1}{2\pi}\int S_F(\omega)\times e^{j\omega t}\times d\omega \qquad \cdots\cdots(A.2)$$

选为基波频率的任意指定的频率为 F_R，由式（A.3）计算：

$$F_R=1/T \qquad \cdots\cdots(A.3)$$

且有式（A.4）：

$$\omega=2\pi F \qquad \cdots\cdots(A.4)$$

式中：

F——频域中的变量。

h 为频域中的变量（标幺值），由式（A.5）计算：

$$h=F/F_R \qquad \cdots\cdots(A.5)$$

则有式（A.6）和（A.7）：

$$\omega=2\pi h\times F_R \qquad \cdots\cdots(A.6)$$

$$\omega T=2\pi h \qquad \cdots\cdots(A.7)$$

应用到周期函数 $f(t)$ 的计算，可分两步进行。第一步使用式（A.8）对该函数的一个周期 $f_0(t)$（时间段 T）进行傅里叶变换：

$$S_{F0}(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} f_0(t)\times e^{-j\omega t}\times dt \qquad \cdots\cdots(A.8)$$

可在此采用标幺值 $h=\omega/(2\pi F_R)$。

第二步再使用式（A.9）将周期函数（周期 $T=1/F_R$）的基本特性考虑进去：

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{-j\cdot 2\pi\cdot h\cdot n}=F_R\times\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\delta\times(h-n) \qquad \cdots\cdots(A.9)$$

周期函数的傅里叶变换等于其一个周期的变换乘以该周期的逆变换，并乘以集中于相关整数数列的狄拉克分布级数进行离散处理。有式（A.10）：

$$S_F(h)=\left\{\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\delta\times(h-n)\right\}\times F_R\times S_{F0}(h) \qquad \cdots\cdots(A.10)$$

注意，$F_R\times S_{F0}(h)$ 的值高于采用复数项计算傅里叶级数得到的结果。实数项傅里叶级数的包络线

为式(A.11)：

$$A_h = 2F_R \times S_{F,i}(h) \quad \cdots\cdots(A.11)$$

A.4 测量

GB/T 17626.7—2008 规定的测量技术和 3.10.2 定义的基波频率应用于所有电工技术和电力电子技术领域都是一致的。其他情况需进一步考虑。

作为示例，可考虑 175 Hz 正弦波纹波控制信号叠加在 50 Hz 正弦波供电电压上面。这导致具有 40 ms 周期、频率为 25 Hz 的周期性电压。对这种电压进行传统的傅里叶级数分析，将得到一个幅值为零的 25 Hz 基波分量和两个幅值不为零的谐波分量。两个谐波分量之一为幅值等于供电电压的 2 次谐波(50 Hz)，另一个为幅值等于纹波控制信号的 7 次谐波(175 Hz)。3.10 中的定义避免了隐含的混淆，并得到与离散傅里叶变换的普通应用(如 GB/T 17626.7 所述)一致的结果，给出 50 Hz 的基波和 3.5 次的间谐波。

注 1：在分析供电系统的电压时，基频分量是幅值最大的分量。当对时间函数进行离散傅里叶变换时，基频分量不一定是频谱中的首项。

注 2：在分析电流时，基频分量不一定是幅值最大的分量。

典型电气系统的电压和电流受线性和非线性负载不断变化的影响。可对于分析来说，认为它们在测量"窗口"(约为 200 ms，为供电电压周期的整数倍)内不变。谐波分析仪设计为在技术上可达到的最好的折中方案(见 GB/T 17626.7)。

附 录 B
（资料性附录）
电气环境 短路比

B.1 电气环境

IEC/TC 77 及其分会的出版物中提出的是网络条件的一般情况。如 5.2.3 所述，所有 EMC 考虑在专用标准中提出。这些用于半导体变流器的电磁兼容性标准在低频和高频范围规定了对抗扰度和发射两方面的要求，并考虑了传导以及辐射现象。

关于供电系统、骚扰负载和敏感装置（大多数小电流控制设备、其他电力变流器、电力电容器以及易受干扰的通信和控制线路）之间预期情况的资料，是设施设计初期的基础。

值得注意的是，谐波发射应相关考虑短路容量与存在电容器或其他变流器情况下的表观功率之比。GB/T 3859.2 中有关于计算方法的导则。

注：这样的资料可能不是很方便得到，可按如下方法进行：

a) 当知道工厂的确切位置时，向合适的地方和国家管理部门（包括电力、电网和无线电通信管理部门以及那些对骚扰限值有决定权的部门）咨询系统信息；

b) 当有必要将订货商的要求作为协议时，上述信息宜作为讨论的基础，并在达成一致时用于计算。

低频传导发射的定义对应于 IEC SC 77A 制定的标准。

涉及谐波发射的四项标准或技术报告如下：

——GB 17625.1：谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16 A）；

——GB Z 17625.6：对额定电流大于 16 A 的设备在低压供电系统中产生的谐波电流的限制；

——IEC 61000-3-12：每相输入电流大于 16 A 但≤75 A 的设备接入公用低压系统产生的谐波电流限值；

——IEC 61000-3-6：中压、高压和特高压电力系统中畸变负荷发射限值的评估。

涉及电压变化、电压波动和闪烁的四项标准或技术报告如下：

——GB 17625.2：对每相额定电流≤16 A 且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制；

——IEC 61000-3-5：对额定电流大于 75 A 的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁的限制；

——IEC 61000-3-11：对额定电流≤75 A 和有条件接入系统的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制；

——IEC 61000-3-7：中压、高压和特高压电力系统中波动负荷发射限值的评估。

此外，专用产品 EMC 标准（见 5.2.3）也提供了针对不同应用的导则。

当既不知道最终安装地点也不知道是什么用户时，对于标准变流器，供应商应根据经验选择“抗扰度等级”，并在设备的规范中说明。

5.3.2 论述了一般电气运行条件的允差。

B.2 变流器的连接点

B.2.1 系统和设施

通常，变流器是大系统的一个部分。为避免混淆，在本部分中，“设施”一词专门用于表示在公用电

网中的一个公共连接点(PCC)上连接的整个设施。

在设施中,变流器连接在规定的连接点(PC)上,变流器运行的谐波特性取决于该连接点处的电网特性。

对于一个给定设施,由约定功率 S_{ST} 定义等效的基准电流 I_{TN}(总方均根值),由式(B.1)计算:

$$S_{ST}=\sqrt{3}\times U_N\times I_{TN} \qquad \cdots\cdots(B.1)$$

式中:

U_N——公共连接点处的线间标称(或声明的)电压;

I_{TN}——基准电流。注意,I_{TN} 接近于设施的主断路器的跳闸电流值;

S_{ST}——公用电网在任何时间能向设施提供的表观功率。可假设对于每个约定的固有功率,都在公共连接点处有一个适当的短路容量(故障水平)S_{SC},这由配电管理部门负责。

注:"约定功率"由用户(设施的业主)与公用事业管理部门达成协议。

当约定功率用于定义谐波电流与之比较的基准电流,以便表示为标幺值(p.u.)时,按惯例,基准电流 I_{TN1} 等于 I_{TN}。

对于在规定的场内连接点"α"处馈电的设施,约定的固有功率 S_{ITA} 定义对应于该设施的 A 部分的等效基准电流 I_{TNA}(总方均根值)由式(B.2)计算:

$$S_{ITA}=\sqrt{3}\times U_N\times I_{TNA} \qquad \cdots\cdots(B.2)$$

式中:

U_N——场内连接点"α"处的线间额定电压。

注意,I_{TNA} 为设施的 A 部分馈电单元的额定电流,接近于该部分断路器保护动作的额定值。

可假设对于每个约定的固有功率,都在场内连接点"α"处有一个适当的短路容量(故障水平)$S_{SC\alpha}$,这由固有功率的配电管理部门负责。

B.2.2 设施中电源的短路电流比

短路电流比 R_{SI} 为连接点处电源的短路容量与在该连接点馈电的设施或其一部分的额定表观功率之比(见图 B.1),由式(B.3)计算:

$$R_{SIA}=S_{SC\alpha}/S_{ITA}=I_{SC\alpha}/I_{TNA} \qquad \cdots\cdots(B.3)$$

式中:

下标"A"标示设施中被考虑的部分;

下标"α"标示该部分连接的连接点(PC)。

注 1:3.9.9 和 IEC 62103 中的 3.69 定义的相对短路功率 R_{SC} 概念相同。然而,R_{SI} 指的是连接点下游的总负载的额定表观功率,而不是连接点下游的规定负载(变流器)的额定表观功率。

注 2:本定义适用于全部设施。在这种情况下,连接点(PC)就是公共连接点(PCC),I_{TNA} 对应于约定功率。

注 3:本定义也适用于具有额定电流 I_{TNA} 的设施的一部分。设施中电源的短路电流比 R_{SIA} 表示为设施的一部分在固有连接点(IPCα)处的短路电流与其额定电流之比。

注 4:进而,本定义还适用于具有额定电流 I_{TN1} 的设备的一部分。R_{SI} 表示为固有的考虑点处现有的短路电流(由电源提供的)与设备提供的该部分的额定电流之比。这种扩展严格限于考虑设备的固有约束。

注 5:图 B.1 中,设施的 A 部分包括 B 部分、C 部分等,B 部分依次包括 B1 部分、B2 部分等。A 部分的电源短路电流比为 R_{SIA},B 部分的电源短路电流比为 R_{SIB}。这种分布便于分析和评定可能的不同连接点处不同的电源短路电流比。

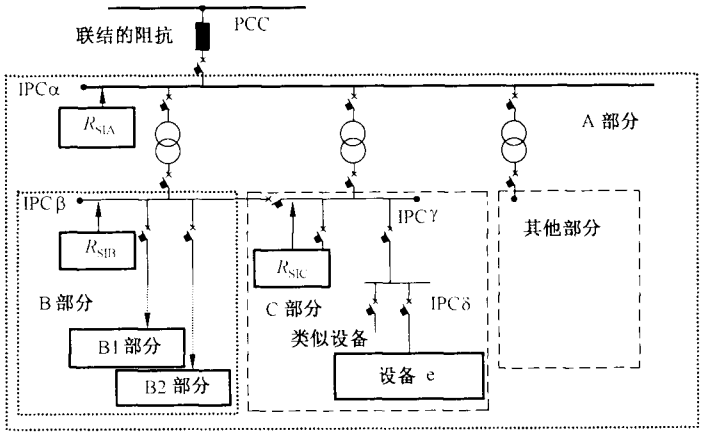


图 B.1　公共连接点 PCC、场内连接点 IPC、设施的电流比和 R_{SI}

B.2.3　短路比

R_{SC}为公共连接点处的电源短路容量与设备额定表观功率之比(见 GB/Z 17625.6 或 IEC 61000-3-12),由式(B.4)计算:

$$R_{SC} = S_{SC}/S_{Ne} = I_{SC}/I_{LNe} \quad \cdots\cdots (B.4)$$

注 1:以图 B.2 为例,这可表示为与 R_{SI}相关的函数。设备 e 由场内连接点 IPCδ 处的母线馈电,且吸收额定电流 I_{LNe},公共连接点(PCC)处的短路电流为 I_{SC}。由上述定义,有式(B.5):

$$R_{SIe} = S_{SC}/S_{IEe} = I_{SC}/I_{LNe} = (I_{SC}/I_{SIe}) \times (I_{SIe}/I_{LNe}) = (S_{SCδ}/S_{SIe}) \times R_{SCe} \quad \cdots\cdots (B.5)$$

或式(B.6):

$$R_{SIe} = (S_{SC}/S_{SCδ}) \times R_{SIe} \quad \cdots\cdots (B.6)$$

使用 GB/Z 17625.6 或 IEC 61000-3-12 时,该定义适合于规定连接至低压公用电网的设备的联结情况。

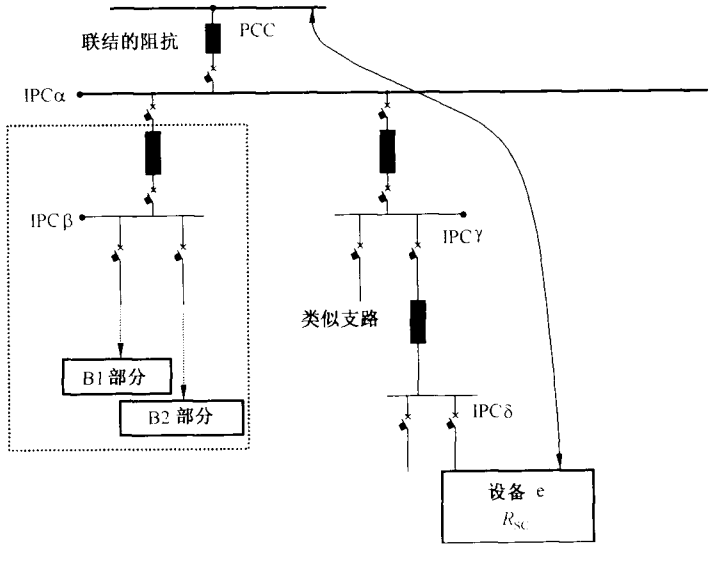


图 B.2　公共连接点 PCC、场内连接点 IPC、设施的电流比和 R_{SC}

注 2:对于涉及直流电流的整流器,IEC 61000-2-6 中的 A.2 给出了 R_{SC}的另一种定义。

附 录 C
（规范性附录）
电击和危险能量防护

C.1 概述

对于半导体变流器和更通用的电力变流设备（PCE）在预期寿命期内安装、正常运行和维修的安全考虑，应在设计和制造期间就提出要求。同时应考虑把可预见的误用的危险减少到最小。

在单一故障以及正常情况下应有电击防护和热危险防护。

必要的评估包括（但不限于）绝缘配合、试验的确定和实施、故障电路分析和提供给用户的信息。为清楚起见，在研究报告或试验报告中应使用 3.11 给出的术语。

C.2 绝缘配合

绝缘配合是提供电击防护的基础，包括电气间隙和爬电距离、固体绝缘、外壳或屏蔽、保护电路，并涉及印制电路板（或印制线路板 PWB）、分组件和部件。

C.2.1 电气间隙和爬电距离

对印制线路板、分组件和部件的电气间隙和爬电距离的评估保证其功能绝缘、基本绝缘、附加绝缘、双重绝缘和加强绝缘是合理的。

电气间隙和爬电距离根据过电压类型、暂态过电压和被评估电路工作电压引起的电压应力对被评估电路的影响确定。

注：GB/T 16935.1 规定了适用于电压在交流 1 000 V 以下和直流 1 500 V 以下的低压设备的原则。

C.2.2 固体绝缘

对用于分组件和部件的固体绝缘的评估应基于电压类型、暂态过电压和涉及的电路的工作电压引起的电压应力。

评估还应考虑机械应力和环境应力。

C.2.3 外壳

对提供直接接触危险带电部件防护的外壳的评估应确认符合 GB 4208 中的合适的 IP 代码的要求，并规定合适的 IP 代码。

C.2.4 直接接触

对提供直接接触防护的电路、分组件和部件的评估应证明保护隔离、电压限值和（或）保护阻抗具有合适的防护等级。

C.2.5 间接接触

对提供间接接触防护的外壳和电路的评估应证明根据 GB/T 17045 规定的Ⅰ、Ⅱ或Ⅲ级设备要求采取的防护措施合适。

C.3 系统电压

根据设备或设备的一部分能耐受的电压应力，由制造商指定其额定绝缘电压（见 3.11.9）。

耐受的电压应力与向设备供电的系统有关，包括过电压类型、暂态过电压和涉及的电路的工作电压。

系统电压按 GB/T 16895.1 所述的接地系统定义。

注 1：所述的接地系统有三种基本类型：

a) TN 系统：有一个直接接地点，设施的裸露导电部分通过保护导体连接至该接地点。根据中性导体和保护导体的布局，TN 系统有 TN-C、TN-S 和 TN-C-S 三种形式；

b) TT 系统：有一个直接接地点，设施的裸露导电部分连接至电气上与电力系统地电极独立的地电极；

c) IT 系统：所有带电部分与地隔离或与通过阻抗接地的一个接地点隔离，设施的裸露导电部分单独或共同连接至接地系统。

在 TN 系统和 TT 系统中，系统电压为相与地之间额定电压的方均根值。

注 2：角接地系统是一种一相接地的 TN 系统，其系统电压为未接地的相与地之间（亦即相间）额定电压的方均根值。

在三相 IT 系统中，为了确定冲击电压，系统电压为相与模拟中性点（与各相阻抗相等的虚构结点）之间的额定电压的方均根值。

注 3：对于大多数系统来说，这等效于相间电压除以$\sqrt{3}$。

在三相 IT 系统中，为了确定暂态过电压，系统电压为相间额定电压的方均根值。

在单相 IT 系统中，系统电压为相间额定电压的方均根值。

对于直接连接至高压电网的设备，系统电压为相间额定电压的方均根值。

注 4：在所有场合，当供电电压由交流整流时，并考虑供电接地系统，系统电压为整流前的电源交流电压的方均根值。

注 5：变流器内，用于与供电电源隔离的隔离变压器次级产生的电压也认为是确定冲击电压时要考虑的系统电压。

注 6：对于使用串联的二极管桥（12 脉波、18 脉波等）的变流器，系统电压为二极管桥的交流电压之和。

C.4 对试验、分析和信息的要求

所有特性验证：对变流器的分组件和部件进行环境条件、系统电压、过电压类型等，以及为验证环境影响（温度、尘埃、水等）通电试验不得导致热或电击的危险。

通过电路分析和试验，验证和评估由于开路或短路发生故障会导致热或电击危险的部件（包括绝缘系统）。

应通过标记和用户手册向订货商提供信息，包括在设备上的提示和警告，以保证设备安全地安装、维护和运行。

C.5 相关参考资料

本部分不对电力变流设备的安全评估给出更多要求，因为这被其他安全标准涵盖。相关的安全要求由特定的产品标准或产品标准族规定。

下述产品标准或产品标准族规定了对不同应用的要求：

——IEC 60700-1：高压直流（HVDC）输电换流阀；

——IEC 61204-7：低压电源；

——IEC 61800-5-1：电气传动系统（PDS）；

IEC 61954：静止式无功补偿(SVC)；
IEC PAS 61975：高压直流设施的系统试验；
IEC 62040-1-1：不间断电源设备(UPS)；
IEC 62103：电力设施中使用的电子设备；
IEC 62310-1：静态切换系统(STS)；
IEC 62477-1：电力电子变流系统和设备。

GB/T 3859.1-2013

版权专有　侵权必究

*
书号：155066・1-47540
定价：　72.00 元