

中华人民共和国国家标准

半导体变流器 基本要求的规定

GB/T 3859.1—93

代替 GB 3859—83

Semiconductor converters —Specification of basic requirements

本标准等效采用 IEC 146-1-1(1991)《半导体变流器：一般要求和电网换相变流器，第1部分，基本要求的规定》。

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准规定了半导体电力变流器的有关定义、类型、参数、基本性能和试验要求。

1.2 适用范围

本标准适用于电子阀构成的电力电子变流器和电力电子开关。就运行方式而言，主要是基于电网换相的整流器、逆变器、或兼有这两种运行的变流器。

这里所说的电子阀，主要是指由电力半导体器件(如二极管、各种类型的晶闸管和电力晶体管等)构成的电路阀。这些器件一般可用电的或光的信号进行控制，并工作在开关状态。

只要没有矛盾，本标准也可作为其它类型电力电子变流器(例如自换相变流器、直流-直流变流器、电机传动用变流器、电气铁道用变流器等)的标准。一般情况下，这些类型的变流器还应在本标准的基础上制订各自的分类产品标准。

2 引用标准

- GB/T 2900.32 电工术语 电力半导体器件
- GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术
- GB/T 3886 直流电动机调速用晶闸管电力变流器
- GB/T 3859.2 半导体变流器 应用导则
- GB/T 3589.3 半导体变流器 变压器和电抗器
- JB 4276 电力变流器包装技术条件
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB 10236 半导体变流器与电网互相干扰及其防护方法导则
- GB/T 2423 电工电子产品基本环境试验规程
- GB/T 3768 噪声源声功率级的测定 简易法
- GB 2536 变压器油
- JB 1505 半导体电力变流器 型号编制方法

3 术语、符号

3.1 术语

国家技术监督局 1993-12-27 批准

1994-09-01 实施

这里给出的仅是在本标准中使用的或主要的术语及其定义。有关电力电子技术方面的其它术语和定义,可参见 GB 2900.32、GB 2900.33 和 GB/T 3859.2。

3.1.1 一般术语

3.1.1.1 半导体器体 semiconductor device

基本特性由半导体内载流子的流动所决定的一种器件。

3.1.1.2 电力半导体二极管 power semiconductor diode

在电力变流器中使用的、具有不对称电压/电流特性的二端半导体器件。

3.1.1.3 晶闸管 thyristor

一种包括三个或更多个结,能从断态转入通态的双稳态半导体器件。

注:“晶闸管”是所有 PNP 型器件的泛称。当不致引起混淆或误解时,它可用于表示晶闸管家族的任何一种器件,特别被广泛用于表示反向阻断三极晶闸管。

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

负阳极电压下不能导通,而呈现反向阻断特性的三端晶闸管。

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

负阳极电压下不阻断,而在与正向通态电压大小相当的电压下能导通大的反向电流的三端晶闸管。

3.1.1.6 双向晶闸管 bidirectional triode thyristor

第一和第三象限的主要性能具有基本上相同开关特性的三端晶闸管。

3.1.1.7 可关断晶闸管 turn-off thyristor (GTO=Gate Turn Off)

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

3.1.1.8 电力晶体管 power transistor

用于控制电力的结型晶体管。

3.1.1.9 (阀器件)堆 (valve device)stack

由一个或多个阀器件连同其有关安装件所组成的单一结构。

3.1.1.10 (阀器件)装置 (valve device)assembly

一种由阀器件或堆在电气和机械上组合而成的总装体,包括机械结构内部的电联结和辅助件。

3.1.1.11 变流装置 convretor assembly

由阀器件或堆在电和机械上组合而成,主要起变流作用的总装体,包括机械结构内部的电联结和辅助件。

3.1.1.12 变流设备 convertor equipment

由一个或多个变流装置连同变流变压器、滤波器(如有必要)、开关装置和其它辅助设备(如有)所组成,主要用于变流运行的设备。例如用于整流、逆变、变频、斩波的设备。

注:类似术语也适用于具体类型的变流设备,例如整流设备、逆变设备。

3.1.1.13 (电力)(电子)变流器 (electronic)(power)convertor

变流设备和变流装置的泛称词。习惯上多数指变流设备。

注:当为了避免混淆,需要明确区分变流设备和变流装置时,则仍需采用变流设备一词。

3.1.1.14 单象限变流器 one quadrant convertor

连接于直流系统,只有一种可能的电压极性和电流方向的变流器。

3.1.1.15 双象限(单)变流器 tow quadrant (single) convertor

连接于直流系统,具有两种可能功率流动方向的一种变流器,其直流电量,只有电压或只有电流可能改变方向。

注:对外部换相变流器而言,指只有电压方向可能变化的单变流器。

3.1.1.16 四象限变流器(双象限双变流器) four quadrant (double) convertor

连接于直流系统,具有两种可能的功率流动方向的一种变流器,其直流电压和直流电流的方向都可

以改变。

3.1.1.17 可逆变流器 reversible convertor

功率流动方向可逆的变流器。

3.1.1.18 单变流器 single convertor

连接于直流系统的可逆变流器,其直流电流只能沿一个方向流动。

3.1.1.19 双变流器 double convertor

连接于直流系统,由两个变流器组组成的可逆变流器,每组分别通过一个方向的电流。

3.1.1.20 (双变流器的)变流组 convertor section (of double convertor)

双变流器的一部分,从直流端来看,该部分的直流电流总是沿同一方向流动。

3.1.1.21 触发器(触发设备) trigger equipment

将控制信号转换成适当的触发脉冲以控制可控阀器件的有关单元,包括移相或计时电路和脉冲发生电路,一般还包括电源电路。

3.1.1.22 系统控制装置 system control assembly

与电力电子设备相连,对其输出特性(例如电动机速度或牵引力的函数)进行自动调节的装置。

3.1.2 电路及运行方面的术语

3.1.2.1 (电路)阀 (circuit)valve

以阀的两个主端子为界,且具有不可控或双稳态可控的单向导电特性的那部分电路。

3.1.2.2 (阀)臂 (valve)arm

以任意两个主端子(交流或直流端子)为界,包括一个或几个连接在一起的同时导电的阀及其组件(如有)的那部分电路。

3.1.2.3 主臂 principal arm

在将电能由变流器或电子开关的一侧向另一侧传递中起主要作用的(阀)臂。

3.1.2.4 变流臂 convertor arm

电子变流器联结中的主臂。

3.1.2.5 可控臂 controllable arm

由可控半导体器件作为阀器件的一种臂。

3.1.2.6 不可控臂 non-controllable arm

由不可控半导体器件作为阀器件的一种臂。

3.1.2.7 辅助臂 auxiliary arm

主臂之外的任何其它臂。

3.1.2.8 旁路臂 by-pass arm

在主臂不导通以及其电源和负载间不交换电能期间,为电流提供传导通路的一种辅助臂。

3.1.2.9 续流臂 free-wheeling arm

只包含不可控阀的一种旁路臂。

3.1.2.10 关断臂 turn-off arm

直接从导通臂过渡性地接受电流的一种辅助臂。

3.1.2.11 再生臂 regenerative arm

将一部分功率由负载侧输送到电源侧的一种辅助臂。

3.1.2.12 变流联结 convertor connection

臂及其它对变流器主电路起重要作用的元件之间的电气连接方式。

3.1.2.13 基本变流联结 basic convertor connection

变流器中主臂的电气连接方式。

3.1.2.14 单拍联结 single-way connection

变流器联结的一种,其交流电路每相端子的电流是单方向的。

3.1.2.15 双拍联结 double-way connection

变流联结的一种,其交流电路每相端子的电流是双方向的。

3.1.2.16 均一联结 uniform connection

所有主臂均相同,都为可控或都为不可控的一种联结。

3.1.2.17 非均一联结 non-uniform connection

主臂兼有可控和不可控的一种联结。

3.1.2.18 串联联结 series connection

电联结的一种,由两个或更多变流联结所组成的一种电联结,它们的直流电压相互叠加。

注:由非同时换相的换相组所组成的串联联结也可称为串级联结。

3.1.2.19 (直流侧的)运行象限 quadrants of operation (on d. c. side)

由直流电压极性和电流方向来定义的电压电流平面的各象限。

3.1.2.20 换相 commutation

电流由一个臂向另一个臂顺序转移的过程,此时两个臂同时导电,直流电流不发生中断(见图1)。

3.1.2.21 直接换相 direct commutation

两主臂之间不经过任何辅助臂过渡的一种自换相方式。

3.1.2.22 间接换相 indirect commutation

借助一个或多个辅助臂的连续换相,实现由一个主臂到另一个主臂或反回到原臂的一系列换相过程。

3.1.2.23 外部换相 external commutation

由变流器或电子开关之外的电源提供换相电压的一种换相方式。

3.1.2.24 电网换相 line commutation

由电网提供换相电压的一种外部换相方式。

3.1.2.25 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方式。

3.1.2.26 谐振负载换相 resonant load commutation

由负载的谐振特性提供换相电压的一种负载换相方式。

3.1.2.27 自换相 self commutation

由变流器或电子开关内部元件提供换相电压的一种换相方式。

3.1.2.28 直接耦合式电容换相 directly coupled capacitor commutation

由换相电路内的电容直接提供换相电压的一种自换相方式。

3.1.2.29 电感耦合式电容换相 inductively coupled capacitor commutation

电容换相方式的一种,其电容电路与换相电路电感耦合。

3.1.2.30 器件换相 device commutation

换相电压由器件自身产生的一种自换相方式。

3.1.2.31 换相电路 commutation circuit

由两个换相臂和换相电压源所组成的电路。

3.1.2.32 重叠角 μ angle of overlap

两个主臂之间的换相持续时间,用电角度表示。在此假定只有两个臂同时导电(见图2)。

3.1.2.33 换相缺口 commutation notch

电网换相或机械换相变流器的交流网测电压由于换相过程而出现的周期性电压瞬变过程。

3.1.2.34 换相重复瞬变 commutation repetitive transient

与换相缺口有关的电压振荡。

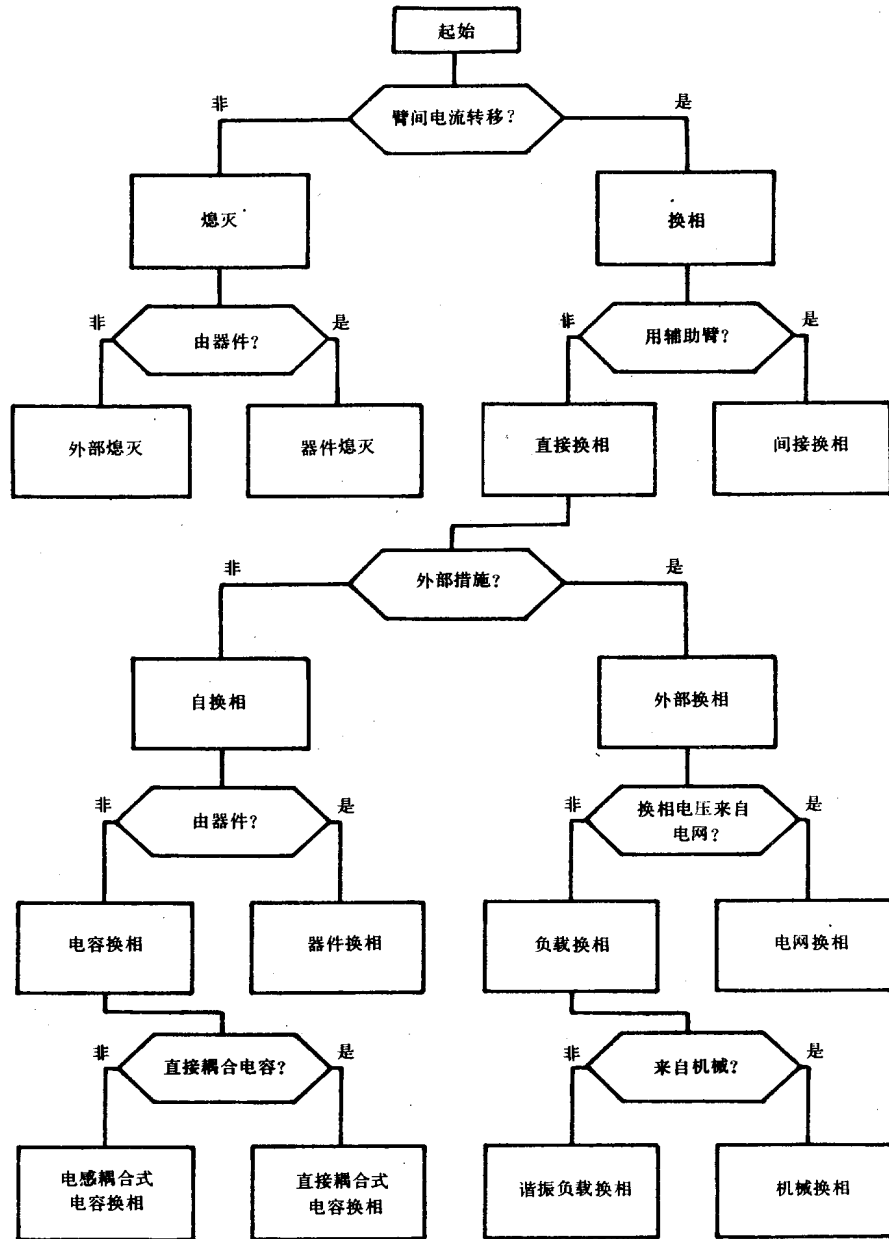


图 1 换相方式

3.1.2.35 换相组 commutation group

一组轮流换相的主臂,其电流直接在组内主臂之间转移而不需要其它主臂参与过渡换相。

3.1.2.36 换相数 q commutation number

每一个换相组中,在交流电压的一个周期内由一个主臂到另一个主臂的换相次数。

3.1.2.37 熄灭 quenching

在没有换相情况下,臂内电流终止流通的现象(见图 1)。

3.1.2.38 器件熄灭 device quenching

依靠阀器件本身的作用而实现熄灭的一种熄灭方式。

3.1.2.39 外部熄灭 external quenching

依靠阀器件之外的作用而实现熄灭的一种熄灭方式。

3.1.2.40 熄灭角 γ extinction angle

臂电流下降至零的瞬间与要求该臂开始承受断态电压瞬间之间的时间,用电角度表示(见图 2)。

3.1.2.41 脉波数 p pulse number

在一个基本周期内,不在同一时刻发生的,由一个主臂到另一个主臂对称进行的直接或间接的换相次数或熄灭次数。

3.1.2.42 触发延迟角 α trigger delay angle

触发瞬间滞后于基准点的时间间隔,以电角度表示(见图 2)。

对电网换相、机械换相和负载换相变流器而言,以换相电压的上升过零点为基准点。

3.1.2.43 触发超前角 β trigger advance angle

触发瞬间超前基准点的时间间隔,以电角度表示(见图 2)。

对电网换相、机械换相、负载换相变流器而言,以换相电压的下降过零点为基准点。

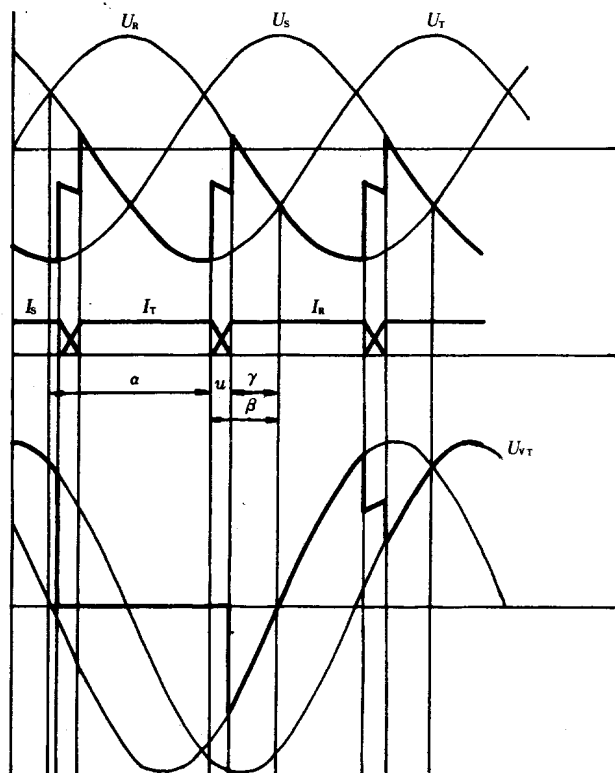
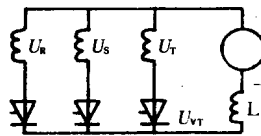


图 2 角度的说明

3.1.2.44 固有延迟角 α_0 inherent delay angle

某些电路(例如 12 脉波联结)在一定运行条件下,即使无相位控制也会出现的那种延迟角。

3.1.2.45 裕度角 γ (commutation) margin angle

在电网、机械或负载换相逆变器中,其换相终止瞬间与换相电压下降过零点之间的时间间隔,以电角度表示(见图 2)。

3.1.2.46 平衡温度 equilibrium temperature

在规定的负载及冷却条件下,变流器部件所达到的稳定温度。

注:不同部件的稳定温度一般是不同的,建立热稳定所需要的时间也不一样,且与热时间常数成正比。

3.1.2.47 冷却媒质 cooling medium

从设备或热交换器中把热量带走的液体(例如水)或气体(例如空气)。

3.1.2.48 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)。再由冷却媒质将热量从热交换器带走。

3.1.2.49 直接冷却 direct cooling

冷却媒质与冷却部件直接接触而不使用任何热转移媒质的一种冷却方法。

3.1.2.50 间接冷却 indirect cooling

借助热转移媒质将冷却部件的热量转移到冷却媒质的一种冷却方法。

3.1.2.51 自然循环(对流)冷却 natural circulation (convection) cooling

利用单位体积的质量(密度)随温度而变化,使冷却流体(冷却媒质或热转移媒质)产生循环的一种冷却方法。

3.1.2.52 强迫循环(强迫冷却) forced circulation (forced cooling)

利用压缩机、风机或泵使冷却媒质或热转移媒质产生循环的一种冷却方法。

3.1.2.53 混合循环(冷却) mixed circulation (cooling)

交替使用自然和强迫循环使冷却媒质或热转移媒质产生循环的一种冷却方法。

3.1.2.54 环境温度 ambient air temperature

环境温度是指在与任一相邻设备间隔距离的中间位置,但距机柜不超过 300 mm,其高度对应于设备高度的一半处所测得的温度,测量时应避免直接来自设备的热辐射。

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

在设备之外距进口 50 mm 处所测得冷却媒质的温度。

注:为了估算辐射热量的大小,环境温度按 3.1.2.54 所定义的温度。

3.1.2.56 液体冷却的冷却媒质温度 cooling medium temperature for liquid cooling

液体入口前的 100 mm 处所测得的导管内冷却媒质的温度。

3.1.2.57 热转移媒质的温度 temperature of heat transfer agent

由供货者规定的位置所测得的热转移媒质的温度。

3.1.3 额定值、特性、参数的术语

3.1.3.1 额定值 rated value

制造单位所规定的电气参数和热、机械及环境数据,借以说明电力半导体器件、堆、装置或设备可以良好工作的运行条件。

注:① 变流器的额定值一般对应于电源系统的标称值,两者的值都应在允许规定变动范围之内。

② 半导体器件与其它电器元件不同,只要超过最大额定值,即使运行时间极短,也会受损。

③ 对额定值的变化极限,包括上限和(或)下限,都应作出规定。

3.1.3.2 额定频率 f_N rated frequency

所规定的变流器交流侧频率。

3.1.3.3 额定网侧电压 U_{LN} rated voltage on the line side

与变压器额定分接(如有)对应的,变流器网侧线电压所规定的方均根值。

3.1.3.4 (变压器的)额定阀侧电压 U_{VN} rated voltage on the valve side (of the transformer)

变压器处于额定分接及额定网侧电压,下同一换相组阀侧绕组中相继换相的两端子之间的空载方均根电压。对没有变压器的变流器(直接连接式变流器),其额定阀侧电压与额定网侧电压相同。

3.1.3.5 额定网侧电流 I_{LN} rated current on the line side

变流器在额定工作状况(额定工况)下的网侧最大方均根电流。该值应考虑到额定负载电流和所有其它工作条件在规定范围(例如网侧电压与频率的偏差范围)内的最不利组合情况。

注:① 在由额定直流电流计算该额定值时,对于多相设备,假定变流电路单元的电流为矩形波;而对于单相设备,其计算依据应在相关文件中予以说明。

② 额定网侧电流应将变流器辅助电路的电流,以及直流电流的纹波和环流(如有)的影响考虑在内。

3.1.3.6 额定阀侧电流 I_{VN} rated current on the valve side

变流器在额定工况条件下的阀侧最大方均根电流。该值应考虑到额定负载电流与所有其它工作条件在规定范围(例如网侧电压与频率的偏差范围)内的最不利组合情况。

注:对多相设备,假定变流电路单元的电流波形为矩形波;对单相设备,其计算依据应在相关文件中予以说明。

3.1.3.7 额定网侧表观功率 S_{LN} rated apparent power on the line side

在额定频率、额定网侧电压和额定网侧电流时,网侧端子上的总表观功率。

3.1.3.8 额定直流电压 U_{dN} rated direct voltage

当变流器的直流电流为额定值时,直流端子间的直流电压应该达到的平均值。

3.1.3.9 额定直流电流 I_{dN} rated direct current

按规定的负载条件和使用条件,制造厂为变流器规定的平均直流电流。

注:在表示其它电流的相对值时,以该值为100%。

3.1.3.10 额定(最大)连续直流电流 I_{dN} rated continuous direct current (maximum value)

变流器在规定的使用条件下,能够连续通过而不致受损的最大直流电流平均值。

注:① 装置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。

② 装置的额定连续直流电流可能受半导体器件以外其它部件(例如冷却系统)的限制。

3.1.3.11 额定直流功率 P_{dN} rated d. c. power

在规定的额定工况和制造厂指定的极限运行条件下,额定直流电压和额定直流电流之积。

注:由于电压和电流纹波的影响,测得的直流功率可能大于所定义的额定直流功率。

3.1.3.12 变流因数 conversion factor

输出直流功率时输入交流基波功率之比(逆变运行时为其倒数)。

3.1.3.13 功率效率 power efficiency

变流器的输出功率对输入功率之比。

注:① 变流因数不考虑直流侧交流分量所产生的功率,而功率效率则将其包括在内。因此,对整流运行而言,变流因数的值较功率效率为小。例如对于单相、两脉波(全波)阻性负载的变流器,变流因数的理论最大值为0.81,而理想功率效率可达1。

② 变流因数只能直接测得;功率效率既可以直接测量,也可以通过测得的内部损耗计算而得到。

③ 当不致引起混淆时,功率效率可简称效率。

3.1.3.14 总功率因数 λ total power factor

有功功率对表观功率之比。

$$\lambda = \frac{\text{有功功率}}{\text{表观功率}}$$

3.1.3.15 位移因数(基波功率因数) $\cos\varphi$ displacement factor (power factor of the fundamental wave)

基波电压和电流的有功功率对它们的表观功率之比。

$$\cos\varphi_1 = \frac{\text{基波的有功功率}}{\text{基波的表观功率}}$$

3.1.3.16 相对基波含量 ν relative fundamental content; 基波因数(畸变因数) ν fundamental factor(deformation factor)

总功率因数(λ)对位移因数(基波功率因数) $\cos\varphi_1$ 之比。

$$\nu = \frac{\lambda}{\cos\varphi_1}$$

3.1.3.17 相对谐波含量 谐波畸变因数 relative harmonic content harmonic distortion

谐波含量的方均根值对交流量的方均根值之比。

3.1.3.18 理想空载直流电压 U_{di} ideal no-load direct voltage

在无相位控制,变流装置无任何电压降(主要是电子阀器件门槛电压),且轻载时不出现电压突升的假定下,整流器或逆变器的理论空载直流平均电压。它可以由换相的两相间电压 U_{vo} 、换相数 q 和直流侧串联换相组数 s ,用下式计算:

$$U_{di} = U_{vo} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{q \times s}{\pi}$$

3.1.3.19 相控理想空载直流电压 U_{dia} controlled ideal no-load direct voltage

在没有任何电压降及轻载时不出现电压突升的假定下,具有相位控制的变流器之理论空载直流平均电压。可以用下式计算:

a. 对均一联结:

(1) 若在整个控制范围内直流电流连续,则:

$$U_{dia} = U_{di} \times \cos\alpha$$

(2) 若变流器负载为纯阻性,

$$\text{对 } 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}: \quad U_{dia} = U_{di} \times \cos\alpha$$

$$\text{对 } \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}: \quad U_{dia} = U_{di} \times \frac{1 - \sin(\alpha - \pi/p)}{2\sin(\pi/p)}$$

b. 对非均一联结:

$$U_{dia} = 0.5 \times U_{di} \times (1 + \cos\alpha)$$

3.1.3.20 约定空载直流电压 U_{do} conventional no-load direct voltage

在无相位控制条件下,将直流的电压/电流($V-I$)特性曲线由直流电流连续区延伸到零电流处所得到的直流平均电压(见图3)。

注: U_{di} 等于 U_{do} 与变流装置的空载电压降之和。

3.1.3.21 相控约定空载直流电压 U_{doe} controlled conventional no-load direct voltage

有相位控制情况下,将对应于延迟角 α 时的直流电压/电流特性曲线延伸到零电流处所得到的约定空载直流平均电压(见图3)。

3.1.3.22 过渡电流 transition current

随着电流的减小,变流电路在换相组的直流电流刚出现间断时的平均直流电流(见图3)。

注:在过渡电流处,电压/电流特性曲线弯曲。过渡电流可能在下列情况出现:例如,在反电势负载下,因直流电路的电感不足以维持在整个周期内直流电流的连续流通,或者因直流电流减小到使平衡电抗器失去作用的临界值之下。

3.1.3.23 直流电压调整值 direct voltage regulation

保持延迟角不变,并排除稳压设施(如有)的校正效应情况下,约定空载直流电压与额定直流电流时的直流电压之差(见图3)。

注:若直流电路的性质(如电容器组、反电势负载)对电压变化有明显影响时,应作特殊考虑。

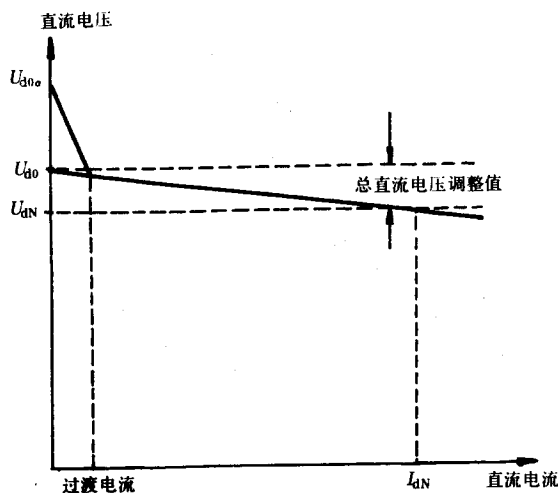


图3 电压调整值

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

不计交流系统的阻抗效应及稳压设施(如有)的校正效应时的直流电压调整值。

3.1.3.25 总直流电压调整值 total direct voltage regulation

包括交流系统阻抗效应,但不包括稳压设施(如有)的校正效应时的直流电流时的直流电压调整值。

3.1.3.26 输出电压允差范围 output voltage tolerance band

稳定输出电压的稳态值偏离其标称值或设定值的规定范围。

3.1.3.27 电扰动 electrical disturbance

电量超出规定极限的任何变化。电扰动可能引起变流器性能下降、工作中断或损坏。

3.1.3.28 系统扰动 system borne disturbances

由于诸如配电系统负荷变化、开关的过渡过程、电源网络结构改变等一系列情况而引起的电扰动,它只能用统计值来确定(详见 GB 10236和 GB/T 3859.2)。

3.1.3.29 变流器扰动 convertor generated disturbances

变流器负载的非线性变化所引起的扰动(详见 5.7.6和 GB 3859.2)。

3.1.3.30 变流器的扰动电平 level of generated disturbance of a convertor

变流器在规定条件下运行时所产生的扰动量。

3.1.3.31 变流器扰动的基准电平 reference level of generated of a convertor disturbance

当不知道实际运行条件而使用额定运行条件去计算或测量扰动电平时,所假定的变流器产生的扰动电平。

注:扰动电平一般取决于电源阻抗,而电源阻抗可不作为变流器的特征参量来考虑。

3.1.3.32 变流器的受扰类别 convertor disturbed level

扰动超过规定值后,对变流器运行所产生的影响程度,一般可分为三种情况,即 F 类(影响性能)、T 类(中断运行)、D 类(损坏)(见 5.7.7)。

3.1.3.33 变流器的抗扰等级 convertor immunity class

变流器承受电扰动的能力。只要任何扰动均不超过规定等级的极限值(见 5.2.2),变流器就能正常工作。

3.1.3.34 变流器与电网兼容 compatibility of the convertor and line

如果变流器抗扰等级的规定极限值不低于所在电网参数的允许波动极限(见 5.2.2),则称变流器与电网兼容。

3.1.3.35 短路比 R_{sc} relative short-circuit power

在规定的运行条件和规定的网络结构下,网络指定点处的电源短路容量对变流器网侧的表观功率之比。

3.1.3.36 故障方面的术语

参见 GB/T 2900.33 和 GB/T 3859.2。

3.1.3.37 系统兼容性和射频干扰方面的术语

参见 GB 10236 和相关标准。

3.2 符号及下角标

3.2.1 下角标用的字母及含意

0(零)	空载的
c	换相
C	短路
d	直流电流或电压
f	与频率有关的
h	对应于 h 次谐波分量的
i	理想
L	对应于电网或电源的
m	最大
min	最小
N	额定值或在额定负载下的
p	固有的
R	重复(过电压)
r	阻性的
S	不重复(过电压)
v	阀侧
x	感性的
α	相控值(借助于延迟角)

3.2.2 符号及其含意

d	直流电压调整率(以 U_{di} 为基准的)
d_r	阻性直流电压调整率(以 U_{di} 为基准的)
d_x	感性直流电压调整率(以 U_{di} 为基准的)
d_{x1N}	由变流变压器引起的,以 U_{di} 为基准的感性直流电压调整率
e_{xN}	对应于 I_{LN} 的变流变压器短路电压感性分量的百分值
f_N	额定频率
g	分流 I_{dN} 的换相组数
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_{d1N}	额定连续直流电流(最大值)
I_L	(变流器或变压器的)网侧方均根电流
I_{LN}	I_L 的额定值
I_{1LN}	I_{LN} 的基波分量的方均根值

I_{ALN}	I_{LN} 的 h 次谐波的方均根值
I_{vN}	变压器阀侧的额定电流
p	脉波数
P	有功功率
P_{LN}	额定负载下的网侧有功功率
$p \cdot u \cdot$	标么值、标么值的
q	换相数
Q	额定负载下的网侧无功功率
R_{SC}	短路比
s	串联换相组数
S_{com}	在换相臂的交流端子处计算的短路容量
S_C	电源的短路容量
$S_{C \min}$	S_C 的最小值
S_{LN}	网侧额定表观功率
S_{ILN}	依据 I_{ILN} 确定的 S_{LN} 值
S_{iN}	变压器的额定表观功率
u	重叠角(换相角)
U_d	直流电压(任意指定值)
U_{d0}	约定空载直流电压
$U_{d0\alpha}$	有触发延迟角 α 时的 U_{d0} 值
U_{d00}	实际空载直流电压
U_{di}	理想空载直流电压
$U_{di\alpha}$	相控理想空载直流电压
U_{dN}	额定直流电压
U_{xN}	额定直流电流下总感性直流电压调整值
U_{hN}	U_L 的 h 次谐波的方均根值
U_{iM}	理想空载峰值电压。不计内部和外部的浪涌电压和阀的电压降,以及空载状态下,出现在臂的端子间的理想空载峰值电压。在接近于过渡电流的轻载电流处,斜率保持不变。
U_L	变流器或变压器(如有)的网侧线电压
U_{LN}	U_L 的额定值
U_{LRN}	U_L 的最大瞬时值。包含重复过电压,但不包含不重复过电压
U_{LSN}	包含不重复过电压的 U_L 的最大瞬时值
U_{LWN}	包含瞬态过电压的 U_L 的最大瞬时值
U_M	最大峰值电压(见6.4.1.4)
U_{v0}	变流器的网侧或变压器(如有)的阀侧空载线电压
U_{vN}	变压器的阀侧额定电压
X_{iN}	以标么值表示的变压器的感性电压降
α	触发延迟角
α_p	固有延迟角
β	触发超前角
γ	熄灭角、裕度角

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
ν	相对基波含量 基波因数(畸变因数)
φ	I_L 的基波分量的位移角

3.2.3 冷却方式的标志符号

参见 GB/T 3859.2

4 产品型式及基本参数

4.1 电力半导体设备的类型

所有电力半导体设备可依据如下特征进行分类。

4.1.1 变换的方式

- 交流到直流的变换(整流器);
- 直流到交流的变换(逆变器);
- 直流到直流的变换(直接或间接直流变流器);
- 交流到交流的变换(直接或间接交流变流器);
- 开关(周期性和非周期性的电力电子开关)。

4.1.2 变换的对象

根据变流器改变或控制的电力系统的特征参量(一个或几个)进行分类。例如:

- 频率、包括零频率(变频器);
- 电压(电压控制器);
- 相数(变相器);
- 无功功率的潮流(半导体无功补偿器);
- 负载功率的品质。

4.1.3 主电路阀的关断(换相)方式

在此以正常运行和满载电流为基础。

- 外部换相(电网换相变流器,负载换相变流器等);
- 自换相(电容自换相变流器、器件换相变流器等)。

4.1.4 直流系统的类型(电流型逆变器、电压型逆变器等)。

4.1.5 半导体阀的类型

根据变流器中使用的半导体阀进行分类,例如:

4.1.5.1 不可控阀(二极管阀等):与之相对应的变流器称之为二极管变流器;

4.1.5.2 可控阀(例如晶闸管阀、双向晶闸管阀、电力晶体管阀等):与之相对应的变流器称之为晶闸管变流器、双向晶闸管变流器、电力晶体管逆变器。

4.1.6 应用领域

例如:

- 铁道车辆(电力牵引机车用变流器等);
- 稳定电源(交流稳定电源、直流稳定电源等);
- 电机调速(电机调速用变流器、同步电机励磁用变流器等);
- 高压直流输电(高压直流输电用变流器等);
- 一般用途大功率直流电源(蓄电池充电用整流器、电镀用整流器、电化学用整流器等);
- 其他:如不间断电源设备,各种电力电子开关,地铁车辆用斩波器,感应加热用半导体变频器

等。

4.2 基本参数

4.2.1 直流电流额定值等级

电力变流器的直流电流应在下列数值中选取。

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 000A……。

注：① 当需采用上列数值之外的等级时，额定值在1 000 A 以上者，可在 R20数系中选取；额定电流在100 A 以下者，可在 R10数系中选取。但均应由相关的分类标准规定。

② 带括号者为非优选值。

③ 本条规定不适用于电力牵引用变流器。

4.2.2 直流电压额定值等级

电力变流器的直流电压额定值应在下列数值中选取：

3,6,12,15,18,24,(30),36,48,60,72,90,(100),115/110¹⁾,125,160,200,230/220¹⁾,250,(275),315,400,460/440¹⁾,500,630,(600),800,1 000,1 250,1 600,2 000V……。

注：① 额定值在630V 以上，表列等级不能满足使用需要时，应优先在 R10数系中选取，其次为 R20数系，但应由相关的分类标准作出规定。

② 带括号者为非优选值。

③ 电力变流器内部触发、控制用电源额定电压可不受此限制。

④ 本规定不适用于电力牵引用电力变流器，也不适用于其额定电压与某一标准等级存在固有关联的电力变流器。

1) 斜线上的115、230、460V 适用于向系统供电的整流器的额定直流电压；斜线下的110、220、440V 则适用于向专一负载供电的整流器。

4.2.3 频率额定值等级

电力变流器交流侧的额定频率(不包括无级或有级调节频率)应使用下列数值的频率：

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 000Hz。

注：① 括号内的数值不推荐使用。

② 本规定同样适用于自换相变流器。

③ 60 Hz 只在出口产品或与进口设备配套等特殊情况下使用。

4.2.4 网侧电压额定值

电力变流器的网侧额定电压应符合下列电压值，一般应按表1规定，根据变流器额定容量选取合适的网侧电压值。

表 1 变流器网侧额定电压与变流器额定功率

变流器额定容量 kV·A	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	—	—	—	—	—	—	★	★	★	★

4.3 型号

电力变流器的产品型号应符合 JB 1505的规定。

5 技术要求

5.1 正常使用的环境条件

5.1.1 环境空气

户内型设备,应备有供应冷却媒质的设施。而如果冷却媒质就是室内的空气,则应备有把热量从室内传至室外的设施,以形成大环境空气循环。这样可把室内的空气作为设备和户外空气的中间热交换器。

对于装于柜内或箱内的装置,由于存在箱壁的热反射,因此应规定较高的环境温度,且其与箱壁的间隙距离,应遵守供货者的设计规范。

空气的污染程度不超过国家环境卫生的有关规定,不含有过量的尘埃,不含有酸、碱、腐蚀性及爆炸性微粒和气氛。

5.1.2 使用时的环境温度

a. 设备在运行时冷却媒质的极限温度为:

	最低	最高
空气	0℃	+40℃
水	+5℃	+35℃
油	-5℃	+30℃

b. 冷却空气的日平均温度不超过30℃,年平均温度不超过25℃。

注:①当设备的工作环境温度或冷却媒质温度高于上述规定时,应对额定电流作适当修正,见 GB/T 3859.2。

②间断运行的户外安装设备,用户应在订货时说明。

5.1.3 储存、运输时的环境温度

设备在储存和运输期间环境空气的极限温度为:最低-40℃;最高55℃。

对于液冷设备,这一规定仅适用于不带冷却液的情况。

注:①设备停止使用期间,应排净冷却液,以防冻结损坏,否则应保证5.1.2的环境条件。

②设备长时间在低温条件下储存或运输,应注意避免霜冻。

5.1.4 冷却液

5.1.4.1 用于冷却的绝缘液应符合 GB 2536的规定。

5.1.4.2 冷却水的水质要求(25℃时)为:

a. 设备额定电压在630 V 以下时电导率不大于0.5 mS/m;

b. 设备额定电压在630 V 及以上时,电导率不大于0.1 mS/m。

注:当需要采用自然水作为冷却水时,也仅限于低压(例如)50 V 以下的设备,其水质要求为:电导率不大于0.04 S/m,酸度(pH值)在6~9之间,溶解性总固体含量不超过1 000 mg/L,总硬度(以碳酸钙计)低于450 mg/L。

5.1.5 空气相对湿度

最低15%;最高不大于90%(20℃以下时)。

注:在不同温度和湿度条件下,应注意防止设备运行时凝露,见 GB/T 3859.2。

5.1.6 海拔高度

设备安装运行场所的海拔高度不超过1 000 m。

注:当设备在高于1 000 m 的海拔高度地区使用时,应设计高原形设备,使用标准型设备时应降容运行,见 GB/T 3859.2。

5.2 正常使用电气条件

5.2.1 一般说明

电气条件对电力变流器的设计和安全运行都十分重要。这些条件包括供电系统的结构和容量、供电质量(电压、频率、波形等)、负载类型、与邻近设备和通讯网络的兼容性等。这里(5.2.2.1~5.2.2.4)给出了作为设备额定值基础的电气条件,规定了设备可以安全运行的允许变动范围。应当注意,变流器的

额定电气条件并非都与公共电网的规定完全一致,且不同抗扰等级的变流器,其额定电气条件也有所不同。为使变流器有更高的经济技术性能和安全运行,供货者在产品设计之前应充分了解变流器工作场所的电气条件,用户有责任在订货时予以说明,对特殊情况,更应详细说明,供需双方应就此取得协议。

下面(5.2.2.1~5.2.2.4)给出的变流器 A、B、C 三个抗扰等级,是指变流器对电气条件的适应程度。A 级表示电气条件较严酷;C 级为良好;而 B 级则是变流器通常使用的一般工业电网。变流器能安全运行的正常电气条件应与该变流器的抗扰等级相一致,并应在铭牌或相关技术文件中说明其抗扰等级,在没有作出说明时,则意味着为 B 级。用户应根据自己的实际情况,选用合适的抗扰等级的产品。当实际使用环境的一个或几个干扰量超过规定值时,将对变流器造成下列三种后果:性能下降(F)、中断工作(T)或损坏(D),括号内的字母 F、T、D 表征变流器的受扰类别(见 5.7.7.1)。

5.2.2 交流电网

5.2.2.1 频率的变化范围

表 2 频率变化的允许范围

变化项目	变流器抗扰等级			超过规定值范围可能的后果
	A	B	C	
范围(%)	±2	±2	±1	F
变化速率(%/s)	±2	±1	±1	F

5.2.2.2 电压波动范围

表 3 电压波动的允许范围

变化项目	变流器抗扰等级			超过规定值范围可能的后果
	A	B	C	
a. 稳态 (%)	+10/-10	+10/-10	+10/-5	F
b. 短时(0.5~30周波),在 I_{dN} 和 U_{dN} 以下只作整流器运行 (%)	+15/-15	+15/-10	+15/-10	T
在 I_{dN} 及 U_{dN} 下时作逆变器运行 (%)	+15/-15	+15/-10	+15/-7.5	T

注:① 假定频率的降低与交流电压的升高不同时发生,反之亦然。

② 过载条件下的极限值应单独规定。

③ 在要规定的某一极限值内,可能产生的后果可由 F 代替 T,特别是如果用户要求增加专用的控制设施时。

5.2.2.3 电压不对称度

电压不对称度用负序分量对正序分量的百分比表示。

表 4 允许的电压不对称度

变化项目	变流器抗扰等级			超过规定值范围可能的后果
	A	B	C	
a. 稳态 (%)	5	5	2	F
b. 短时 仅作整流器运行 (%)	8	5	3	T
既作整流器又可作逆变器运行 (%)	5	5	2	T

注:不对称度短时超过规定值时,将引起增大直流侧的纹波和在交流侧产生非特征谐波等不良后果。

5.2.2.4 交流电压波形

a. 波形

交流电压的波形应为正弦波,非正弦波含量不超过表5规定。

表 5 电网电压的允许谐波含量

变化项目	变流器抗扰等级			超过规定值范围可能的后果
	A	B	C	
a. 谐波畸变(稳态) (%)	25	10	5	F
b. 个别序次的谐波畸变(稳态) 奇次(%)	12.5	5	2.5	F
偶次(%)	2	2	2	F
c. 换相缺口(稳态) 深度(U_{LWM} 的百分值%)面积(百分值 \times 电角度)	100 625	40 250	20 125	T T

注：① 在一定的直流电流和 R_{sc} 下，缺口面积近似为恒定值。宽度和深度随触发延迟角 α 而变化。

② 如果同一台变流器的次级接有几台变流器，在一个周期内，所有缺口的面积之和应不超过表列一次换相缺口面积的四倍。

b. 重复和不重复瞬态参量

只要可能，应对电网系统的各瞬态特征参量作出规定(更详细的说明见 GB/T 3859.2)，例如：

变流器端子处可能出现的瞬态能量，J；

上升时间(从峰值的0.1~0.9处)， μs ；

峰值 U_{LRM}/U_{LWM} (p. u.)；

峰值 U_{LSM}/U_{LWM} (p. u.)；

峰值50%处的宽度， μs 。

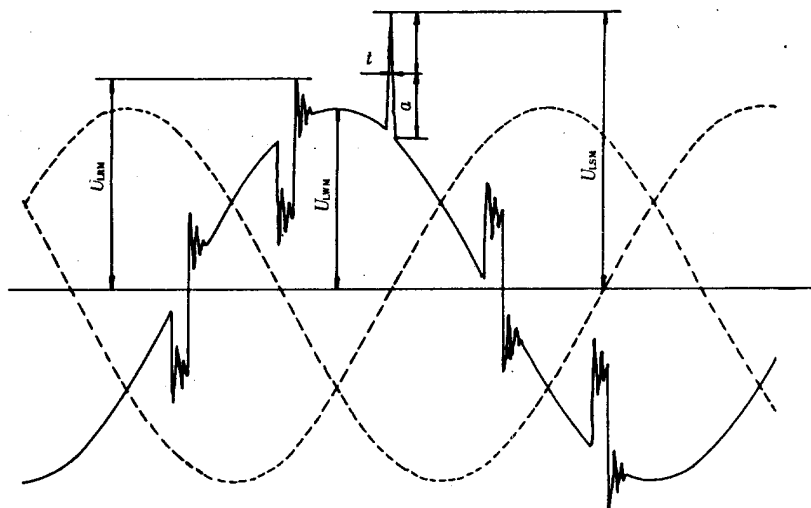


图 4 交流电压波形

5.3 负载条件

产品制造厂应在铭牌和相关技术文件中说明所设计、生产的变流器适用于何种类型的负载，以供使用者选用。负载类型分为：

a. 电阻性(W)；

b. 电感性(L)：例如直流电机磁场、电磁铁、具有高 X/R 比的电抗器等需电压反向和过电压保护的感性负载；

- c. 电动机(M);
- d. 蓄电池充电(B);
- e. 电容性(C):例如储能电池、电容器组、电化装置、逆变器(电压型的)等储能性负载;
- f. 再生性(G):例如需要处理再生能量和保护主电路故障措施的起重卷扬、电机车牵引及其它再生性负载等。

如果用户不能确定实际负载的类型时,应详细说明使用的特点,并与供货者取得协议。

5.4 非正常使用条件

非正常使用条件是指超出正常使用条件范围或规定值之外,可能存在于变流器运行场所的各种使用条件(主要是指环境条件),应由用户和供货者在合同或有关文件中取得协议。典型的非正常使用条件举例如下:

- a. 非正常的机械应力,如冲击和振动;
- b. 可能引起腐蚀或堵塞的冷却水,如海水或硬水;
- c. 周围空气中的外来微粒,如非正常灰尘或粉末;
- d. 含盐空气(例如接近海边),高湿度、滴水、腐蚀性气体;
- e. 暴露于蒸汽或油气中;
- f. 暴露于爆炸性粉末或气体混合物中;
- g. 暴露于放射性辐射中;
- h. 类似于亚热带或热带气候条件的高相对湿度和高的温度;
- i. 温度波动超过5 K/h,相对湿度变化超过5%/h;
- j. 海拔高度超过1 000 m;
- k. 环境温度低于+5℃的水冷设备;
- l. 环境温度低于-5℃的油冷设备;
- m. 上列情况之外其它非正常使用条件或超过正常使用条件所规定的极限条件。

5.5 电联结和计算因数

5.5.1 电联结

表6给出了标准设计变流器的常用电联结型式,为使表格简化,这里只考虑使用最广泛的联结型式,包括带专用变压器和不带变压器两种情况的变流器。对于两脉波和六脉波变流器,不管是否带变压器,在表6中对单相和三相电源,都只考虑均一联结。对十二脉波和双重六脉波变流器,均需有作星形和三角形(Y和△形)连接的两个次级绕组。

当需要采用其它电气联结时,可参见 GB/T 3859.2。

5.5.2 计算因数

变流器及其变压器的电压特性取决于变流器的电联结型式。表6给出了常用电联结的主电量计算因数,其它联结型式的计算因数见 GB/T 3859.2。

5.5.2.1 电压比

表6给出的电压比有两个,即:

$$\frac{U_{di}}{U_{v0}}; \frac{U_{iM}}{U_{di}}$$

5.5.2.2 网侧电流因数

表6给出的网侧电流方均根值 I_L 与直流电流 I_d 的比值以这样的假定为依据:① 直流电流平滑;② 交流电流为矩形波;③ 单相或双拍联结的电压比为:

$$\frac{\text{网侧线电压}}{\text{网侧两个正在换相绕组间的电压(线电压)}} = \frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

网侧线电流近似为:

$$I_L = I_L' \times \frac{U_{v0}}{U_L}$$

5.5.2.3 电压调整率

表6给出了如下比值：

$$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$$

式中： d_{xN} 是额定负载时由变压器换相电抗产生的直流电压调整率，用对 U_{di} 的标么值表示； e_{xN} 是按表6第17栏给出的方法短接次级绕组，且网侧电流达到全套设备额定电流值 I_{LN} 时所测得的变压器阻抗电压的感性分量，用额定交流电压 U_{LN} 的百分数表示。

只有对换相数 $q = 3$ 的联结形式，才可用三相变压器的 e_{xN} 值计算感性直流电压调整率 d_{xN} 。

对于其他带有三相变压器的联结方式， d_{xN} 和 e_{xN} 的比值取决于变压器初级电抗与次级电抗之比。有关这些联结方式如何确定 d_{xN} 的问题参见GB/T 3859.2。

注：假定重叠角 u 小于 $2\pi/p$ ，在此 p 为脉波数。

5.5.2.4 磁路

表6由三相电流供电的各种联结方式的磁路，均假定为三柱式。

5.5.2.5 功率损耗因数

表6给出了变流器运行时和短路试验时的损耗关系。短路试验按表6的第13、14、15栏短接有关端子，并在整台设备达到额定网侧电流 I_{LN} 的条件下进行。

5.6 变流器的额定值

5.6.1 一般说明

半导体器件和装置与通常的电气元件和电磁件(如变压器)不同，其热时间常数小，瞬态电压耐受能力弱，瞬时的电流和电压尖峰就可能造成永久性损坏。因而，预期的负载循环图形和负载类型，对变流器额定值的确定和安全运行都十分重要。也就是说，变流器的额定值对应于特定的负载类型和工作制等级。变流器适用的负载类型和工作制等级应在产品技术文件中说明。

5.6.2 额定直流电压

变流器的额定输出直流电压为供货单位规定的连续工作电压。

为了适应电压调节范围、电压调整率和交流电网电压波动的需要，电网换相变流器的最高输出直流电压常常高于额定输出直流电压(直流电机和同步电机励磁用的变流器，设计值要高出额定输出直流电压数倍之多)。变流器输出的直流电压和额定直流电压间需要保留的余量，应在分类标准、产品技术条件，或由供需双方在合同文件中作出规定。当有关文件或合同中没有规定时，作为本标准的最低要求，应保证变流器在网侧端子处的电压下降到规定范围的下限(见5.2.2.2)、变流变压器网侧端子处于额定分接位置、以及向负载输出的直流电流达额定值时，能够输出额定直流电压。

对可逆变流器，应能在网侧交流电压的下限值(见5.2.2.2)、直流电压不超过额定直流电压、以及在规定的直流电流下安全逆变运行而不发生直通故障。对于电压波动大的交流电网，供需双方可协商一个低于本标准5.2.2.2规定的网侧电压最低值。

5.6.3 电流额定值

对变流器来说，其额定电流值与某一特定的工作制度等级相对应。如果一台变流器可用于不同的工作制度等级，则设计时应就每一工作制度等级规定各自的额定电流值。因此，每台变流设备在给出额定电流的同时，还应标明对应的工作制等级(表7)。此外，还应给出变流装置的额定连续电流(3.1.3.10)。

5.6.3.1 稳定负载类的电流额定值

为变流设备规定的，可以在长时间内向负载输出的直流电流值(见表8，I级)。

表 6 变流器电联结和计算因数

联结代号	变压器联结		网侧电势 $\frac{2U_g}{g}$	ρ	q	$\frac{2U_g}{g}$	网侧电流因数 I_L/I_d	网侧电流因数 I_v/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{d0}}$	$\frac{U_{IM}}{U_{di}}$	$\frac{d_{kN}}{e_{kN}}$	变压器运行时绕组总损耗			测量 e_{kN} 时短接的端子 e_{kN}	
	网侧	网侧										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	1			2	2	2	0.5	0.707	0.45	3.14	0.707	0-1	0-2		0.5(P_A + P_B)	1-2
单变流器均一双拍联结																
7	1			2	2	8	1	1	0.9	1.57	0.707	1-2			P_A	1-2
8		或		6	3	6	0.816	0.816	1.35	1.05	0.5	1-2-3			P_A	1-2-3
9		或		12	3	3	0.789	0.408	1.35	1.05	0.26	1-3-5	2-4-6		0.035(P_A + P_B) + 0.93 P_C	1-3-5 和 2-4-6 的平均
12		或		12	3	12	1.577	0.816	2.7	0.524	0.26	1-3-5	2-4-6		0.035(P_A + P_B) + 0.93 P_C	1-3-5 和 2-4-6 的平均
18		或		见联结形式 8												
19		或		见联结形式 8												

注：其他联结代号见 GB/T 3859.2。

5.6.3.2 尖峰负载类的电流额定值

变流器给出的是额定短时直流电流,即在规定的条件下及规定的持续时间内变流器能够供给负载的最大直流电流。此外,应给出尖峰直流电流的幅值和持续时间以及两尖峰间的最短空闲时间。

5.6.3.3 叠加尖峰负载的稳定负载类的电流额定值

这种负载类型的额定直流电流是指在规定的条件下,间断施加一种或几种规定电流值和规定持续时间的过载时,变流器能够在长时间内向负载输出的直流电流。同时还应规定施加尖峰负载的最小间隔时间。

5.6.3.4 重复负载类的电流额定值

对这种负载类型来说,其额定直流电流用一个负载循环周期内的方均根值和工作图形(或工作制)来表示(见 GB 3886)。

5.6.3.5 工作制等级(负载等级)

一般来说,在实际应用中,要得到变流器预期的精确负载循环曲线是困难的。因此,对稳定负载类和叠加尖峰负载的稳定负载类的变流器来说,都是使用在规定持续时间内恒定电流值或工作制等级来代表负载循环曲线(如本标准表7、表8)。其他的负载类型,可以按分类标准的规定(例如 GB 3886)。如果没有合适的标准工作制等级可供选择,且没有专门说明时,则可取重复负载循环中工作最重的15 min的方均根值作为额定电流。

表7 标准工作制等级

工作制等级	变流器的额定电流和装置的试验条件 (用 I_{dN} 的标么值表示)
I	1.0 p.u. 连续
II	1.0 p.u. 连续 1.5 p.u. 1 min
III	1.0 p.u. 连续 1.5 p.u. 2 min 2.0 p.u. 10 s
IV	1.0 p.u. 连续 1.5 p.u. 2 h 2.0 p.u. 10 s
V	1.0 p.u. 连续 1.5 p.u. 2 h 2.0 p.u. 1 min
VI	1.0 p.u. 连续 1.5 p.u. 2 h 3.0 p.u. 1 min

注:表7规定的各过载电流值,均在额定电流运行达到稳定温度后再分别施加。

表8 负载循环的例子(供选择工作制等级参考)

工作制等级	最典型的应用	按工作制等级设定的典型负载条件 负载电流以相对额定直流电流值的比表示
I	电化学工艺等	

续表 8

工作制等级	最典型的应用	按工作制等级设定的典型负载条件 负载电流以相对额定直流电流值的比表示															
I	电化学工艺等																
II	轻工业和轻型牵引站应用																
IV	工业应用 重型负载																
V	中型牵引站 及采矿	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>I_d(p.u.)</th> <th>t(min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0~2h</td> <td>1.3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2~10h</td> <td>0.8</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>10~12h</td> <td>1.3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>12~24h</td> <td>0.7</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	t (min)	0~2h	1.3	10	2~10h	0.8	15	10~12h	1.3	10	12~24h	0.7	30
	I_d (p.u.)	t (min)															
0~2h	1.3	10															
2~10h	0.8	15															
10~12h	1.3	10															
12~24h	0.7	30															
VI	重型牵引站	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>I_d(p.u.)</th> <th>t(min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0~2h</td> <td>1.2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2~10h</td> <td>0.8</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>10~12h</td> <td>1.2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>12~24h</td> <td>0.7</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	t (min)	0~2h	1.2	5	2~10h	0.8	6	10~12h	1.2	5	12~24h	0.7	20
	I_d (p.u.)	t (min)															
0~2h	1.2	5															
2~10h	0.8	6															
10~12h	1.2	5															
12~24h	0.7	20															

5.6.3.6 双变流器的电流额定值

在双变流器的额定值中,应注意变流设备额定值和变流器(分)组额定值之间的区别。

如果变流器的两个变流器(分)组的负载是对称的,则两个变流器组具有同样的电流额定值;如果两个变流器组的负载不对称,则应分别确定其电流额定值(额定电流及对应的工作制)。

关于直流电动机调速用的双变流器的特殊要求,见 GB 3886。

5.7 技术性能

5.7.1 损耗和效率

5.7.1.1 一般说明

变流器的效率有功率效率和变流因数之分(见本标准3.1.3.12和3.1.3.13),并且一般应用功率效率表示。效率的具体数值应在分类标准或产品技术条件中给出,但只有在合同或有关文件中作出规定时才予以保证。

效率可以用在额定负载条件下直接测量交流和直流的功率来确定;也可以用短路试验和轻载试验时测量内部损耗或计算其内部损耗的办法来确定。若合同或类似文件中没有专门说明,则确定效率的方法由制造厂选择。在确定效率或给出效率的具体数值时,应讲明所包括部件的范围。当不能确切知道变流器某部件的损耗是否应包括在内时,则应说明它们是否已包括在给出的效率之中。

5.7.1.2 应包括的损耗

确定效率时应包括下列损耗:

- a. 装置的内部损耗。如半导体器件、熔断器、均压器、均流器、阻容缓冲电路和浪涌电压吸收器的损耗；
- b. 变压器、饱和电抗器、相间变压器、变压器与晶闸管或二极管装置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的一部分提供的网侧辅助变压器和电抗器的损耗；
- c. 当变压器与变流装置组装在一起作为一个单元交货时，变压器与装置间的主联结产生的损耗；
- d. 永久接入的风机、泵及继电器等辅助部件吸收的功率，另有规定者除外；
- e. 由变流设备的供方提供的串联平波电抗器的损耗；
- f. 双变流器联结电路中环流所产生的损耗；
- g. 触发设备(如有)消耗的功率。

5.7.1.3 不应包括的损耗

确定效率时，不应包括下列损耗。但如有要求，且有关的部件是由变流设备的供货者提供时，应予以单独说明。

- a. 当变压器与装置间的主联结是作为分立单元提供时，该主联结产生的损耗；
- b. 接至短路器、隔离器、断路器及负载的主联结所产生的损耗；
- c. 短路器、隔离器、断路器和5.7.1.2中未曾提及的控制装置的损耗；
- d. 建筑物的加热、通风以及冷却装置的损耗；
- e. 不与变流设备一同供货的串联平波电抗器的损耗；
- f. 系统控制设备(3.1.1.22)的损耗；
- g. 间歇工作的辅助部件的损耗。

5.7.2 功率因数

5.7.2.1 一般说明

由于电网换相变流器的网侧电流中含有谐波分量，所以其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3.1.3.14~3.1.3.16)。在脉波数大于6时，总功率因数和位移因数的差别很小；但在脉波数较小时，两者的差别就十分明显了。一般情况下，多相变流器的功率因数总是指额定条件下的基波功率因数或位移因数，只有在合同或有关文件专门要求时才给出总功率因数。对于感性负载下工作的多相变流器，制造厂应给出位移因数 $\cos\varphi_1$ 的保证值。

有关功率因数和位移因数更详细的资料和计算，见GB/T 3859.2。

5.7.2.2 功率、无功功率、表观功率和位移因数计算

在变流器实际的直流电流和输出的直流电压已知时，可用下式计算相关参量。

$$\text{功率: } P = U_d \times I_d$$

$$\text{表观功率: } S_1 = U_{d1} \times I_d$$

$$\text{位移因数: } \cos\varphi_1 = P/S_1$$

$$\text{无功功率: } Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

此处假定直流电流平滑，交流电流波形为矩形。

5.7.3 电压调整率和电压调整值

本条内容基于这样的假定：变流器为电网换相、带变压器或网侧电抗器、电联结为三相均一双拍联结(表6中联结型式8)。

其他情况(例如串联联结)下电压调值的确定，应在分类标准和产品技术文件中说明。有关确定电压调整值的资料，见GB/T 3859.2。

5.7.3.1 固有直流电压调整率

固有直流电压调整率是下列阻性直流电压调整率和感性直流电压调整率之和：

- a. 阻性直流电压调整率

$$U_{dr} = \frac{\text{变流器各元件的损耗}}{I_{dN}}$$

$$d_r = \frac{U_{dr}}{U_{di}}$$

式中的“元件”包括变压器绕组、串联电抗器、直流电抗器、二极管、晶闸管、熔断器等。

b. 感性直流电压调整率

假定变流器交流端子的电压为标称值。

$$U_{dx} = 0.5 \times U_{di} \times \frac{S_{1LN}}{S_{com}} \times \frac{I_d}{I_{dN}}$$

$$d_x = \frac{U_{dx}}{U_{di}}$$

式中短路容量 S_{com} 计算如下：

a. 变流器带专用变压器时

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{e_{xN}}{S_{tN}}}$$

b. 变流器不带专用变压器时

以电缆及网侧电抗器的电感 L 代替变压器电感,用额定电流下电压调整率计算 S_{com} :

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{X_L}{S_{1LN}}}$$

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

以上计算式中, S_{1LN} 、 S_c 、 S_{com} 、 S_{tN} 应使用相同的单位(MV·A、kV·A 或 V·A)。

5.7.3.2 总直流电压调整率

总直流电压调整率包括固有直流电压调整率和交流系统阻抗引起的直流电压调整率两部分($d = d_p + d_L$),只有在合同或类似文件提出要求并给出交流系统的短路容量及阻抗比时才予给出。

5.7.3.3 其他变流器对直流电压调整率的影响

当几台变流器由一台变压器供电时,有可能会产生附加的电压调整率,可依据这些变流器的额定值、联结形式及其他特性进行详细计算。

若几台变流器相互独立,且完全相同,可假定它们的触发延迟角 α 也相同,则利用其总的表观功率估算最大附加电压调整值。

5.7.4 网侧电压和电流的谐波

对网侧电压和电流中谐波的要求,只有在合同或有关文件中做出规定时才予以考虑。

5.7.4.1 谐波次数

变流器网侧电压和电流中的特征谐波的次数取决于变流器的脉波数 p :

$$h = Kp \pm 1 \quad K = \text{整数}(1 \cdots n)$$

相应的谐波频率与基波频率的关系为: $f_h = h \times f_1$

这里假定变流器采用三相匀一联结,并假定电源电压、触发延迟角各相对称,而且变压器的星形和三角形绕组由于要求整匝数而产生的电压差异也略去不计。在其他情况下产生的特征谐波和非特征谐波见 GB/T 3859.2。

5.7.4.2 谐波电流的放大

由于变流器及其供电系统常常配置滤波器和功率因数补偿电容,若电容与电源阻抗及分布参量发生谐振,电压和电流中的谐波分量有可能被放大,需认真考虑。详细资料见 GB 10236和 GB/T 3859.2。

5.7.5 直流侧的谐波

5.7.5.1 谐波频率

在电源电压、触发延迟角等完全对称的条件下,直流电流和电压中谐波的频率为:

$$f_{\text{hdc}} = K \cdot p \cdot f_1 \quad K = \text{整数}(1 \cdots n)$$

负序电压会产生 $2f_1$ 电源基波频率的附加谐波,除非采用很大的平波电抗器,这种谐波不易消除。

对直流电压的谐波的要求只有在有关技术文件或合同等作出规定时才予以考虑。详细资料见 GB/T 3859.2。

5.7.5.2 直流输出电流中的交流分量

变流器直流输出一般都含有周期性的交流分量,因而是脉动的。对用于电容器或蓄电池充电的变流器来说,直流电流可能在反电势作用下间断。此时需采用合适的触发系统,当要求保持直流电流连续时,可增设滤波设施。

5.7.6 谐波干扰

5.7.6.1 变流器对电网的干扰

变流器运行时,在从电网吸收有功和无功功率的同时,也向电网注入谐波电流,使电网电压产生畸变。有关变流器对电网干扰的详细规定和说明,见 GB 10236和 GB/T 3859.2。

5.7.6.2 对弱电系统的干扰

弱电系统受干扰的条件主要有三:

- 交流或直流电力系统有可观的干扰电流或电压;
- 干扰的电力系统与受干扰的弱电系统之间有足够的耦合;
- 受干扰的弱电系统有足够的敏感度。

当变流器的预定安装地点附近会同时出现上述因素中的两种时,就有可能造成对弱电系统的干扰。此时应在订货时提出,通过供需双方协商,应在合同或其它有关文件中明确说明。

当发现已经运行的变流器对弱电系统发生显著干扰时,应就地分析并进行电气测量,以便对强电系统或弱电系统,或者对两者同时采取措施。

5.7.6.3 对电话和通讯网络的干扰

变流器的设计通常适用于工业领域,因而用户在安装和配置电缆线路时,应注意符合供货者提供的说明,以避免对邻近的电话和通讯网络产生干扰。设计者、用户对此有特殊要求时,应在订货时提出。

5.7.7 变流器的抗扰性能和电磁兼容性

5.7.7.1 变流器的受扰类别

变流器受扰类别分为三级,即性能级(F级)、跳闸级(T级)、损坏级(D级)。各级的电干扰规定值不同,超过后产生不同的后果,如表9所示。

表9 变流器受扰类别

受扰类别	符号	超过的可能后果
性能级	F	性能下降
跳闸级	T	保护器件动作,导致工作中断
损坏级	D	永久性损坏(熔断器除外)

a. 性能级(F)是指该变流器能承受而不降低性能的所有各种电扰动极限值的组合;

b. 跳闸级(T)是指该变流器能承受而不因保护器件动作而中断运行的所有各种电扰动极限值的组合;

可将跳闸级进一步分为两种情况:

——干扰过去后能自动重合闸;

——不能自动重合闸(需要由外力再起动、手动重新操作断路器,更换熔断器等;也可以不借助外力使其恢复工作);

c. 损坏级(D)是指该变流器能承受而不造成永久损坏的所有各种电扰动极限值的组合。

详细资料见 GB 10236。

5.7.7.2 变流器的抗扰等级

变流器的抗扰等级是指所设计变流器适应各种不同环境条件的能力。本标准规定变流器的抗扰等级(5.2)为 A、B、C 三级。变流器应在其铭牌和有关技术文件中说明属于何种等级的变流器,当没有专门说明时,则认为是 B 级。

有关变流器抗扰等级的选择,见 GB/T 3859.2。

5.7.7.3 变流器的电磁兼容性

有关变流器的电磁兼容性参见 GB 10236 和 GB/T 3859.2。

5.7.7.4 变流器触发装置的抗扰性能

当需要时,可对变流器触发装置的抗扰性能作出规定,详细资料见 GB/T 3859.2。

5.7.8 故障及保护

5.7.8.1 故障

有关变流器的故障及检测见 GB/T 3859.2。

5.7.8.2 过电流保护

由于变流器自身的特点,设计时除需一般过电流(持续过电流)保护之外,还需考虑专门的故障电流保护。

故障电流保护包括下列三种类型或它们的合理组合,即:

- 降低电力半导体器件的使用容量;
- 采用限时器件或装置(包括电子式的);
- 采用限流器件或装置(包括电子式的)。

变流器的故障短路有内部短路和外部直接短路两种。前者乃由换相故障、直通、失通和击穿等变流器本身的故障所引起。其短路电流一般由交流电源供馈。但是,在某些情况下,例如当双变流器在反电势下作逆变运行时,其内部电流由交流电网和直流电路同时供馈。此时,其保护措施应作相应考虑。对外部直流短路采取保护措施时应区别下列不同情况:

- 短路阻抗与逆变器内部阻抗相比可以忽略不计的短路情况,即完全直流短路;
- 短路阻抗大到足以限制故障电流时的情况,即有限直流短路;
- 直流负载的支路中发生短路的情况(该支路额定直流电流比馈电变压器容量小的多,且具有单独保护器件),称直流支路短路。

设计变流器时,应针对在运行过程中可能发生的过电流形式以及要求变流器恢复正常运行所采用的方法(如有),保护装置的造价等,选取适当的保护措施。供方应在合同或有关文件中按上述概念详细说明所采用的措施是针对那一种过电流的。对过电流保护措施的具体要求,应在分类标准和产品技术条件中规定。

5.7.8.3 过电压保护

由于半导体器件的介质应力很高,而电时间常数又很小,很短时间的瞬时过电压就可能造成其永久性损坏,因而必须考虑专门的过电压保护措施。

变流器的过电压保护措施取决于预期的变流器内部浪涌电压。内部浪涌电压乃由诸如熔断器熔断、残留空穴复合现象之类的原因所引起。这类电压一般是可以在设计变流器时加以控制。外部浪涌电压乃是由大气放电、开关装置操作、负载突变之类的原因所引起,而出现在于变流器网侧或直流侧的浪涌电压。

为上述过电压采用的措施主要有下列四种类型:

- 分合闸引起的过电压保护;

- 快速开关引起的过电压保护；
- 换相过电压保护；
- 大气过电压保护。

变流器过电压保护装置应能保护变流器免受可能出现的各种浪涌电压之害而安全工作,对于频繁承受非周期浪涌电压的变流器,以及对过电压保护装置有其它特殊要求的变流器,应在合同或有关技术文件中说明。对电压保护装置的具体要求,应在分类标准或产品技术条件中规定。

5.7.9 电流、电压均衡度

当变流器内部有并联或串联使用的电力半导体器件时,必须采取必要的均衡措施,使每个器件都在规定的额定电流和额定电压范围内运行。

5.7.9.1 电流均衡度

电力半导体器件并联时,在各并联支路之间会产生因开通时间的差异而引起电流分配不均,和因正向压降有异或因支路之间存在互感以及处于直流母线不同位置等原因而引起的电流分配不均。因此须对变流器采取必要的均流措施。如对所用器件的参数进行选配,采用串联均流元件(均流电抗器、电阻、均流互感器等),以及采用强脉冲触发等方法解决并联支路之间电流分配不均的问题。

电流均衡度(若有)应在技术条件中给出,并予以保证。

各并联支路稳态电流均衡度 K_I 用下式表示:

$$K_I = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} I_i}{n_p \cdot I_{iM}}$$

式中: $\sum I_i$ ——各并联支路器件所分担的电流平均值, A;

I_{iM} ——各并联器件中分担最大电流份额的器件所承担的正向平均电流, A。

根据测量和计算的结果,电流均衡度 K_I 应符合产品设计或有关技术条件的规定。

5.7.9.2 电压均衡度

电力半导体器件串联使用时,器件之间的电压分配可能由于器件反向恢复电荷量和(晶闸管的)开通时间不同而出现瞬态的均衡度很低的问题。此外,还可能由于器件在阻断状态下的伏安特性(漏电流值)不一致而出现稳态的均衡度很低的问题。可针对这两种情况应采取必要的均压措施。如对所用器件进行选配、采用并联均压器件(均压电阻、均压阻容电路)以及采用强脉冲触发等方法解决电压分配不均的问题。

电压均衡度应在技术条件中给出,并予以保证。

串联电路各器件之间的稳态电压均衡度 K_U 用下式表示:

$$K_U = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} U_i}{n_s \cdot U_{iM}}$$

式中: $\sum U_i$ ——串联器件承受反向峰值电压的平均值, V;

U_{iM} ——串联器件中分担最大电压份额的器件所承担的正(反)向峰值电压, V。

5.7.10 稳定性能及要求

变流器可以根据要求具有内部的或外部的闭环控制系统或其他用来稳定其输出量(例如:电压、电流、功率等)的装置。

若变流器具有内部的闭环控制系统(其基准值可以由电的、机械的或其它方式引入变流器),则应将变流器的稳定系统视作变流器的一部分。

若变流器是外部闭环系统(成套装置)的一个部分,引入变流器的是来自该环的控制信号,此时可以将变流器看作是外部闭环系统(成套装置)的一个放大器。

5.7.10.1 稳态特性

装置的稳态特性是指当稳定值或扰动量的突然变化所引起的瞬态过程消失之后的这种特性。

若变流器具有内部稳定装置,应针对所有扰动量,如网侧电压、交流系统条件、负载条件的变化范围来确定稳态特性。变流器的稳定量的整定范围应在产品技术条件中给出。

若变流器是外部闭环系统的一个部分,稳态特性乃指某些量在指定条件下的输入信号与变流器输出量之间的关系而言。所谓某些量是指可能影响上述关系的各个量(如网侧电压、交流系统条件、负载条件)而言。

无论是具有内部闭环控制系统的变流器或者是作为外部闭环控制系统一个部分的变流器。其稳定误差用下式计算:

$$\text{稳定误差} = \frac{\text{扰动后达到的稳态值} - \text{扰动施加前的稳态值}}{\text{扰动施加前的稳态值}}$$

变流器稳态特性、稳定量的整定范围、稳定误差等,应在分类标准或产品技术条件中规定。

5.7.10.2 动态特性

系统的动态特性用系统对扰动量的阶跃变化的响应(如最大过冲量和瞬态恢复时间等)来表示。也可以用制造厂和用户之间协商一致的任何方式来表示。

有关动态特性的规定只限于对输出量有显著影响的量的变化,特别是整定值或控制信号的变化,以及负载变化。至于对输出量影响不大的量的变化就不必考虑。若有必要,变流器的动态特性可在分类标准或产品技术条件中规定。

5.7.11 噪声

当有关技术文件没有对变流器的噪声作明确规定时,作为本标准的最低要求,须保证变流器在正常运行时产生的噪声符合以下规定:

- 不需要经常操作、监视或维护的产品应不高于95 dB(A);
- 需要经常操作、监视或维护的产品以及需要与具有这种设备安装在—起的产品,应不高于80 dB(A);
- 产品安装场所要求安静环境者,应不高于65 dB(A)。

5.7.12 部件和辅助设备

组成变流器的元器件、辅助设备和部件应符合其各自的标准和技术条件的要求。主要组成部分的标准如表10所示。

5.7.13 其他特性

当用户对变流器的性能有其他特殊要求,应在订货时提出,并与制造厂取得协议。

表 10 变流器部件及辅助设备的标准

变流器的组成部分	标准号
晶闸管	GB 4940
整流管	GB 4939
快速熔断器	JB 1628
变流变压器和电抗器	JB 2530 GB/T 3859.3
主电路与辅助电路配置电气元件安装	GB 2681~2682及有关标准
变流器柜体、框架等结构件	变流器统一设计要求及有关标准
变流器触发装置	GB/T 3859.2、ZB K46 013及有关标准

6 检验及试验

6.1 总则

出于经济上的原因,本标准提出的试验主要是在制造厂内进行的试验。对于大型成套设备的负载试验,不推荐在制造厂内进行,可依据专门协议在现场安装后进行实际负载试验。作为一个整体正常交货的小型变流器,在出厂前应按规定进行全部试验。

试验应在与实际工作相等效的条件下,或在能保证变流器性能可满足使用要求的条件下进行。

在设备试验时,如果更为方便,也可将装置和设备的一些部件单独地进行试验。堆和装置均应由与合同规定相等效联结的变压器供电。

除非另有协议,交流电源和试验电压应取额定频率,但绝缘试验除外,绝缘试验电压可以为直流或任何方便频率的交流电压(由供货者在15~100 Hz之间选择)。

变流器内配套使用的所有元器件,如半导体器件、电子元件、电器元件、堆、变压器、电抗器、风机、泵等,在安装前应通过出厂试验。若这些元器件已附有按各自技术标准通过出厂试验的合格证,则在组装后可只进行与变流器有关的功能试验和操作试验。

注:当用户或其代理人希望参加工厂的试验时,应在订购产品时说明。如果在订货之前同意的话,合同可以明确供货者应提供哪些试验报告。对以前已通过型式试验的同类产品,且试验条件不低于合同和技术要求的规定,可以只提供证明书而不必进行全面试验。

6.2 检验规则

6.2.1 型式试验

型式试验是全面考核产品性能和质量,验证产品是否符合技术要求的一种试验。在下列情况应进行型式试验。

- 试制的新产品;
- 当产品的设计、工艺或所用原材料的改变会影响产品的保证性能时;
- 不经常生产的产品再次生产时;
- 批量生产的产品,每隔一定时间进行一次抽试,具体期限由分类标准规定,但不得超过五年。

批量生产时抽试的数量不少于两台,试验时只有一台一项不合格者,允许返修复试,复试仍不合格,则该批产品为不合格品,必须在消除缺陷并通过试验后方可继续生产。

6.2.2 出厂试验

为了考核产品的性能,保证产品符合有关标准和型式试验的相关要求,组装后的变流器必须逐台进行出厂试验。

出厂试验合格后,应给予出厂试验合格证明。

出厂试验时,只有一项不符合规定的要求,则允许返修复试。复试合格后方可给予出厂试验合格证明。

6.3 试验项目

表11列出了变流器型式试验项目、出厂试验项目和选择性试验项目。其中选择性试验只有在合同或有关文件提出要求时方予进行。对试验项目的特殊要求也应在分类标准或合同等有关文件中作出说明。

表 11 试验项目一览表

试验	型式试验	出厂试验	选择试验	试验方法
绝缘试验	★	★		6.4.1
功能试验(轻载试验)	★	★		6.4.2
额定电流试验	★	★ ¹⁾		6.4.3
均流试验	★	★		6.4.9
均压试验	★	★		6.4.9
负载试验			★	6.4.4
功率损耗测定(装置和设备的)	★			6.4.5
温升试验	★			6.4.6
功率因数测定			★	6.4.7

续表 11

试验	型式试验	出厂试验	选择试验	试验方法
固有电压调整值测量			★	6.4.8
一般性检验	★	★		6.4.19
辅助装置检验	★	★		6.4.11
控制设备性能检验	★	★		6.4.12
保护系统性能检验				6.4.13
a. 持续过电流保护	★	①		
b. 故障短路保护	★			
c. 过电压保护	★			
抗干扰试验			★	6.4.14
射频干扰和传导噪声测量			★	6.4.15
音频噪声测量	★	★ ²⁾		6.4.16
纹波电压和纹波电流测量	★			6.4.17
环境试验			★	6.4.20
稳定性能的试验	★			6.4.18
过电流能力试验	★			6.4.10
其他试验			★	6.4.21

注：1)①表示对大型设备，经供需双方协商，允许在现场进行试验。

2) 音频噪声的出厂试验仅用于检验有无异常的机械和电磁噪声，不要求测量正常时的噪声值。

6.4 试验方法

这里规定的都是变流器有关试验的最基本要求，更为详细的规定和试验程序应按变流器电气试验方法和产品技术条件的要求进行试验。

6.4.1 绝缘试验

绝缘试验的目的在于检查变流器的绝缘状况，为了防止不必要的破坏，在试验之前，可先用1 000 V兆欧表测量受试部分的绝缘电阻。在环境温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 和相对湿度为90%的情况下，其数值应不小于1 M Ω ，但所测绝缘电阻只作为耐压试验的参考，不作考核。

6.4.1.1 一般要求

- a. 绝缘试验可用交流电压或用直流进行，由制造厂选择；
- b. 对3.6~36 kV中等电压等级的变流器，当装置不经过变流变压器而直接与交流电网相连接时，除进行交流试验外，如有必要，还应进行电压冲击试验，由合同或产品技术条件规定；
- c. 变流器的一个主端子与机柜连接时，绝缘试验在机柜与另外没有与之作金属连接的端子之间进行，应有特别说明；
- d. 变流装置的主端子以及所有半导体器件的阳极、阴极和门极端子应彼此相互短接；
- e. 印制电路板和多接头组件，在进行绝缘试验时可以拔下、断开，或用标准样件代替。但是，如果辅助装置（例如辅助变压器、脉冲变压器、测量设备等）绝缘破坏时，可能有电压通至未与机壳连接的人体易接近部分，或者可能有高压侧电位导至低压侧时，以及可能引起故障跳闸时，则辅助装置与主电路之间的连接不应断开，并与主电路一起承受同样的耐压试验；
- f. 主电路的开关装置和控制设备应闭合或旁路。不与主电路金属连接的辅助设备（例如系统控制设备、风机电动机），在进行6.4.1.3的试验时应与机壳连接。在进行绝缘试验时，如果部件的外壳是用绝缘材料制造，则应以金属箔将其包封，但若因部件的绝缘外壳太大而不能完全包封时，可以只把与保护有关的关键部位用金属箔复盖，在进行试验时即把金属箔作为外壳；
- g. 在进行交流电压试验时，可以使用额定频率或15~100 Hz的任何频率作为试验电压的频率。在进行6.4.1.2和6.4.1.3的试验时，试验电压应以不小于10 s的时间上升至全值，或以规定值的0.5标么值为起点，用最大以全值的0.05标么值分级上升到全值。受试部分应能承受规定电压1 min。

在出厂试验时,若在1 s内足以施加规定的试验电压值,则可不采用逐级增加试验电压的方法;

h. 如果因为有电磁兼容(EMC)滤波器部件不容易断开而不能施加交流电压时,可以用规定试验电压的峰值作为直流试验电压来进行试验;

i. 试验时接地电阻断开;

j. 试验之后应即施加至少100 V的直流电压测量绝缘电阻,变流器的电压 $U_M/\sqrt{2}$ 值不超过1 000 V时,绝缘电阻值应不小于1 M Ω ;对于 $U_M/\sqrt{2}$ 电压值较高者,绝缘电阻按不小于1 000 Ω /V计算;

k. 用水作热转移媒质的设备,绝缘试验一般在无水的情况下进行。若需要在通水情况下进行绝缘试验时,试验条件及合格判据应作单独规定;

l. 本标准规定之外的其它绝缘试验,按有关合同文件进行;

m. 如果发生击穿、闪络,或在直流试验时漏电流超过规定值,则试验失败。

6.4.1.2 部件分开安装时的绝缘试验

变流器有关部件不安装在一个柜内,则可以分别进行试验,成套后的变流器仅测量各连接部分的绝缘电阻即可。

6.4.1.3 装在同一机柜内的绝缘试验

a. 变流器各电路应承受对机壳和其他任何电路的绝缘试验,这些电路与所试的电路彼此是独立的。试验电压按所试电路的 U_M 值依据6.4.1.4确定试验电压;

试验电压加在受试电路与外壳之间,在此试验过程中,其他所有电路的端子应连接在一起并与外壳相接;

b. 与项a相比,制造厂对某些电路可以规定较低的绝缘电平,这些电路在进行项a的试验时,可以看作是一个相同的电路,使用上述电路最高的 U_M 作为试验依据。此外,在这些电路进行试验时应与原规定的试验电压相互对照。

6.4.1.4 试验电压

a. 低压变流器的试验电压值按表12规定,这里, U_M 是任意一对端子之间预期的最高峰值电压,如果对地电压高于两端子间的电压(例如变流器串联连接和任何主端子有意接地或因偶发性事件而可能接地时),则使用较高的 U_M 值;

表 12 低压设备的试验电压

V

$U_M/\sqrt{2}$	试验电压(方均根值)
≤ 60	500
≤ 125	1 000
≤ 250	1 500
≤ 500	2 000

b. 中等电压的变流器,试验电压按表13规定。

表 13 中等电压设备的试验电压

kV

电网电压	冲击电压 (1.2 μ s/50 μ s)峰值	交流电压 (工频、方均根值)
$0.5 < U_{LN} \leq 1.1$	不作	$1 + 2U_M/\sqrt{2}$
$1.1 < U_{LN} \leq 3.6$	不作	$3U_M/\sqrt{2}$
$3.6 < U_{LN} \leq 38$	$15 + 3U_M/\sqrt{2}$	$4 + 1.8U_M/\sqrt{2}$

6.4.2 轻载试验(功能试验)

轻载试验的目的是为了验证电气线路的所有部分以及冷却系统的连接是否正确,能否与主电路一起正常运行,设备的静态特性是否能满足规定要求。

本试验作为出厂试验时,变流器仅在额定输入电压下运行,而型式试验时,则应在额定电压的最大值和最小值下检验设备的功能。对于高压变流器,轻载试验可以在比额定电压低的电压下进行试验。对于小电流设备(例如5 A 以下),可以不必进行轻载试验。

本试验可以与短路损耗测试(6.4.5)、均衡度测量(6.4.9)和负载试验(6.4.4)结合进行。

试验时所选用的负载应能满足所验证的性能的要求。在试验期间,应检查控制、辅助、保护装置等的性能,应能与主电路协调工作。不同类型的设备,可以用不同的方法来达到试验的目的。

6.4.3 额定电流试验(低压大电流试验)

进行本试验是为了检验设备能否在额定电流下满意运行。

额定电流试验可以与短路损耗测量(6.4.5)、均流试验(6.4.9.2)、温升试验(6.4.6)和负载试验(6.4.4)结合进行。

试验时把直流端子直接或通过电抗器短路,变流器的交流端子连接能足以产生额定连续直流电流的交流电压,试验过程中,控制设备(如有)和辅助设备须单独用额定电压供电。

用适当的协调控制(如有)和施加交流电压,使额定电流流过直流端子并检查运行情况。如在臂中使用并联器件,则应检查电流均衡度。

当进行负载试验(6.4.4)时,本试验可不必重复进行。

6.4.4 负载试验

负载试验是为了检验变流器能否在规定的负载等级和负载类型下正常运行,各部分温升不超过规定值。

试验时所有条件应不低于额定条件。试验可以使用等效负载或实际负载,可以在制造厂内或在现场进行,均由供需双方商定。

对于大型设备,由于经济上的原因,若产品质量能够保证,可以不进行负载试验,需由供需双方商定。

6.4.5 变流装置和变流设备损耗功率的测定

6.4.5.1 一般要求

装置和设备的损耗可以在测量的基础上进行计算,或者直接测定。间接冷却的变流器的功率损耗可以从测得的热转移媒质所转移的热量(用量热的方法)和估算通过变流器机壳的热流量来计算。

当在实际工作条件下(额定负载)不便于进行损耗测量时,可以使用以下方法。

在进行轻载试验(负载尽可能小)和短路试验时测量变流器的功率损耗。此时,变流器的总损耗为试验中测得的轻载损耗和短路损耗之和。

这种方法基于下列假定和条件:

- a. 工作时开关过程、断态时反向电流在阀中产生的损耗通常忽略不计;
- b. 阀的正向压降可以用一个恒定分量加上一个与电流成比例的阻性分量表示;
- c. 在多相联结中,正向电流所产生的损耗等于直流电流值相同而波形为矩形时所产生的损耗;
- d. 装置中装有饱和、非饱和电抗器,且承受阀侧相电流或变流器电路的电流时,则这些电抗器可包括在测量电路之内。饱和电抗器的偏置电流应调整到对应于正常运行时所需要的值,以使装置在额定网侧电压和额定直流电流时提供额定直流电压;
- e. 规定负载条件下的效率,可以通过测量输入和输出功率来确定,或由损耗试验单独确定;
- f. 规定的负载条件下的变流因数,由测量交流功率和直流输出电流、电压值来确定;
- g. 不考虑由于存在电源畸变或由于增加负载而增加的功率损耗。

6.4.5.2 测量方法

试验可以在供货者厂房的通常环境温度下进行。电力半导体器件正向损耗测量应在变流装置的所有部分达到承受额定直流电流的稳定温度之后进行。

当测得的功率损耗包括变压器损耗,而测量时变压器的温度又低于基准值时,负载损耗应修正到所

规定的极限温度加20 K(A级和B级绝缘)的基准温度,修正时P值按每K增加0.12%修正。为此,变压器的温度,对于油浸式变压器取平均油温,对于空气冷却变压器取绕组的平均温度(见GB/T 3859.2)。

在所有情况下,均压电阻、阻尼电阻、浪涌吸收器(如有)在工作时产生的损耗应包括在内。

6.4.5.3 试验电路

见GB/T 3859.2和半导体电力变流器电气试验方法。

6.4.6 温升试验

温升试验的目的在于测定变流器在额定条件下运行时各部件的温升是否超过规定的极限温升。

试验应在规定的额定电流和工作制,以及在最不利的冷却条件下进行。

对于小型变流器,温升试验应结合负载试验同时进行。对于大型变流器,可与额定电流试验(6.4.3)结合进行,但应注意,如果加上高电压会出现可观的开关损耗时(例如中频感应加热用变流器),则引起的附加温升应予以考虑。

试验时,测温元件可以使用温度计、热电偶、热敏元件、红外测温计或其他有效的方法。

温升应尽可能在规定点测量。如果变流器的额定值不是基于连续工作制,则应测量主电路部件和冷却系统的热阻抗。对主电路的半导体器件,应测量若干个器件,其中应包括冷却条件最差的器件。

记录半导体器件规定部位的温升和计算等效结温,并以此说明在考虑了并联器件的均流情况之后,装置能承受规定的负载而不超过规定的最高等效结温。

半导体器件的温升极限可以是规定点(例如外壳)的最高温升,也可以是等效结温,由制造厂决定。

变流器及其变流变压器的极限温升如表14和表15所示。

表 14 变流器各部位的极限温升

部件和部位	极限温升,K
主电路半导体器件	外壳温升和结温由产品技术条件或分类标准规定
主电路半导体器件与导体的连接处	裸铜:45 有锡镀层:55 有银镀层:70
母线(非连接处):铜	35
铝	25
浪涌吸收器与主电路的电阻元件	距外表面30 mm处的空气:25

表 15 变流变压器的极限温升

变流器工作制等级	变压器冷却介质	变压器温度等级	用电阻测量的绕组极限温升 K
I 和 II	空气	A	60
		B	80
		H	125
	油	A	65
III	空气	A	55
		B	70
		H	110
	油	A	65
IV	空气	A	50
		B	65
		H	100
	油	A	60

续表 15

变流器工 作制等级	变压器 冷却介质	变压器 温度等级	用电阻测量的 绕组极限温升 K
V	空气	A	45
		B	60
		H	90
		A	50
VI	油	A	40
		B	55
		H	85
		A	50

6.4.7 功率因数测定

一般情况下,不需要测量功率因数,当要求测量时,应测定总功率因数 λ 。

6.4.8 固有电压调整率测量

使变流器电压等于额定值,饱和电抗器(如有)的控制电流、延迟角等调到规定值,在不同的直流电流下测量直流电压和直流电流。

固有直流电压调整率也可以根据轻载试验、额定电流试验取得的数据计算(见 GB/T 3859.2)。

6.4.9 均衡度测量

6.4.9.1 电压均衡度测量

测量电压均衡度的目的是为了检查变流器串联连接的电力半导体器件的瞬态和稳态的电压均衡度是否符合产品技术条件的规定。本试验可与功能试验(6.4.2)或负载试验(6.4.4)结合进行,方法如下:

- 测量仪表:示波器,峰值电压表,存贮示波器,智能化仪表等;
- 测量方法:直接测量半导体器件上的电压瞬时值;
- 测量程序:调整输入电压等于额定值,相控设备应使输出电压处于最不利的相位,负载电流等于规定的满足试验要求的最小值,测量每个半导体器件的正、反向电压;
- 电压均衡度计算:

$$K_U = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} U_i}{n_s \cdot U_{iM}}$$

式中: $\sum U_i$ —— 串联器件承受的峰值电压的总和, V;

U_{iM} —— 串联器件中分担最大电压份额的器件所承受的峰值电压, V;

n_s —— 串联器件数。

电压均衡度符合产品标准规定则为合格。

6.4.9.2 电流均衡度测量

测量电流均衡度的目的是为了检查变流器并联连接的电力半导体器件的瞬态和稳态电流均衡度是否符合产品技术条件的规定。本试验可与额定电流试验(6.4.3)或负载试验结合进行。方法如下:

- 测量仪表:毫伏表、钳式电流表、示波器;
- 测量方法:直接测量半导体器件电流或测量支路内(如熔断器)的电阻或标准母线上电压降;
- 测量程序:调整变流器电流至不低于80%的额定值,用同一仪表测量每一支路上的电流;
- 电流均衡度计算:

$$K_I = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} I_i}{n_p \cdot I_{iM}}$$

式中: $\sum I_i$ ——流过各并联支路电流平均值的总和, A;
 I_{iM} ——并联器件中分担最大电流份额的元件所承担的电流, A;
 n_p ——并联的器件数。

电流均衡度符合产品标准规定则为合格。

6.4.10 过载能力试验

过载能力试验是负载试验的一部分,应结合在一起进行。

变流器在额定运行情况下,在规定的的时间间隔施加规定的短时过电流值,若在现场进行实际负载试验,则应按实际负载要求所规定时间间隔、电流大小并顺序投入运行,变流器均应能正常工作,记录试验时所达到的电压和电流值。

若本试验作为型式试验在工厂内进行,可按5.6.3的要求进行。

6.4.11 辅助装置的检验

变流器辅助装置的检验主要在于对电气元件、泵、风机等辅助装置的性能进行检验。但只要这些元件具备出厂合格证,可只检验其在变流器中的运行机能,不必重复进行出厂试验。

辅助装置的检验可与变流器的额定电流试验同时进行。将辅助装置接至规定的额定电压,检查其运行机能(启动、运转、噪声及停机等)。当变流器在温升试验中某些部件的温升超过规定时,应测量有关冷却风机的风速或泵的流量。

当这些辅助装置已通过的绝缘试验电压低于其在变流器内可能承受的电压时,应按本标准6.4.1的规定进一步检验其绝缘性能。

6.4.12 控制设备性能检验

控制设备性能检验主要是检验控制设备的静态和动态性能是否符合要求,包括是否能在设计的电源电压变化范围内使变流器可靠工作。

控制设备性能检验应尽可能在实际负载条件下进行。当制造厂内无条件进行时,可结合本标准6.4.2功能试验和6.4.3额定电流试验的两种负载条件来检验,必要时可通过协商在安装后进行。

控制设备的稳态特性,如脉冲的幅值、宽度、陡度、对称度等,以及在规定的电源电压变化情况下的可靠性可用示波器检验。动态特性检验应在主电路通电和满载情况下进行,应检查各相始导瞬间的对称度、调压范围、调压光滑度等。控制设备的动态特性也可用模拟试验方法检验。

控制设备的其他性能试验(如抗扰性能试验、高低温试验),只有在合同或有关文件要求时才予以考虑,详细资料见GB/T 3859.2。

6.4.13 保护系统的检验

保护系统检验主要包括各种过电流保护装置的过流整定;快速熔断器和快速开关的正确动作;各种过电压保护设施(如避雷器、浪涌过电压抑制器、重复过电压阻容吸收器等)的正确工作;装置冷却系统的保护设施(如风速、流量、水压等继电器)的正常动作;作为安全操作的接地装置和开关的正确设置以及各种保护器件的互相协调。

由于变流器保护系统形式繁多,因而不可能提出一个通用的检验规则。总的要求是,保护系统的检验应尽可能在不使变流器各部件受到超过其额定值冲击的条件下进行。出厂试验时保护系统动作的检验不包括那些动作时会发生永久性损坏的器件(如熔断器),因而,本标准6.4.13.1规定的b、c两种试验除非有专门的规定,否则不是必须进行的。整个变流器系统过电流保护设施性能的检验,可根据产品技术条件的规定进行。而熔断器的保护性能,则只有在认为有十分必要时,由供需双方商定,按有关规定进行。

6.4.13.1 过电流保护检验

a. 持续过电流保护检验

本试验可与6.4.3额定电流试验同时进行。调整限流元件(如过电流继电器或自动开关等)的整定值,使与产品技术条件的规定值相符,如果设备中采用了保护变流器免受过电流冲击的控制系統,则其

性能也应检验；

b. 直流侧短路保护检验

在直流侧做人为短路，检验快速熔断器和快速开关等保护器件的正确动作；

c. 交流侧短路保护检验

在电路臂做人为短路，检验交流侧保护器件的正确动作。

6.4.13.2 过电压保护检验

装置过电压(见5.7.8.3)的测量一般可使用高频示波器，其频率响应须在40 MHz以上，有条件时，可与同步开关及峰值电压表配合使用，测量数据以示波器为准。

a. 分合闸引起的浪涌过电压保护措施的检验

本项试验可与功能试验结合进行。测量时将测量仪器接至直流侧正负端子，并在变流器直流侧开路的情况下使变流器网侧开关作分合闸操作，记取过电压峰值，如此至少重复5次，如果变流器在实际运行时不可能开路，则允许在轻载条件下进行试验；

b. 快速开关引起的浪涌过电压保护措施的检验

本试验可与短路保护的检验结合进行，或在额定负载下使快速开关动作，测出最高峰值电压，再据以推算事故条件下的过电压；

c. 换相过电压的检验

本项试验可与负载试验及短路保护的检验结合进行，分别测量其正常和事故状态下的数据；

d. 大气过电压保护措施的检验

有关大气过电压保护措施的检验可参照有关标准对大气过电压试验的规定进行。

6.4.14 抗扰试验

变流器的抗干扰试验尽可能依据所规定的电气条件进行，应包括主电源和引(进)线的干扰(见GB/T 3859.2和GB 10236)，试验可按产品技术条件和有关文件的规定进行。

6.4.15 射频干扰和传导噪声试验

若合同或有关文件对射频干扰和传导噪声有要求，则应规定实际使用的负载，并依据相应的标准、技术规范或专门制订的文件进行试验。应注意，整套变流器的射频干扰和传导噪声可能与一个单元的不同。

6.4.16 音频噪声测量

试验在周围2 m内没有声音反射面的场所进行。测量应在正对设备操作面、垂直距离0.5~1 m、距地面高度1.2~1.6 m处取至少两点作为测试点，测量时测试话筒正对设备噪声源，取噪声最严重一点的值为测试值，应符合本标准5.7.11的规定。

测试按GB/T 3768的规定进行，可以使用声级计或其他噪声测量设备，采用A声级，测试时应尽量避免周围环境噪声对测量结果的干扰。

6.4.17 纹波的测量

试验仅在有关标准或合同文件提出要求时方予以实施，并按半导体电力变流器电气试验方法和产品分类标准的规定进行。

6.4.18 稳定装置性能检验

稳定装置性能检验主要是对具有稳定特性的变流器的稳定误差的检验。

本试验应尽可能在实际负载条件下进行，当制造厂无条件进行时，可结合6.4.2功能试验和6.4.3额定电流试验同时进行。必要时可与用户协商在安装后进行。

当电网电压、交流系统条件及负载情况在允许波动范围内变化时，测量输出量的变化，按5.7.10计算稳定误差，应符合产品技术条件的规定。

6.4.19 一般性能的检验

6.4.19.1 元器件检验

检查变流器所使用的电力半导体器件、各种电器零件的型号、规格和合格证记录,均应符合有关标准或产品技术条件的规定。

若装置中有串并联使用的电力半导体器件,检查其电气性能参数(以表格形式附于产品出厂合格证书)是否齐全。

6.4.19.2 柜体检验

柜体结构的外形尺寸、焊缝、安装孔距、金属零件镀层、紧固零件的安装等均应符合有关标准或技术文件的规定。

6.4.19.3 装配检验

变流器电器元件的安装,在正常使用条件下应不致危害人身的安全。易损件应便于更换和维修。

变流器主电路各电气零件与母线的连接、母线相序排列和漆色、线端标志等,二次回路的配线、焊接、接插件、标志和编号等,均应符合有关标准或技术文件的规定。

6.4.19.4 冷却系统的检验

对液冷系统,施加 200 ± 25 kPa 水压,保持30 min,应无渗漏现象。油浸式的油箱,施加 35 ± 5 kPa 的胎压,保持12 h,应无渗漏和油箱变形现象。对风冷系统应检查风道、过滤器等组成部分的安装运行情况。

6.4.20 环境条件试验

环境试验只有在分类标准或有关合同文件有明确规定时方予以考虑,试验的目的是检查变流器在环境,特别是非正常环境条件下(如冲击、振动、温度、湿度等)的工作能力。试验按 GB/T 3859.2和 GB/T 2423或合同文件的有关规定进行。

若对整台(套)设备进行试验有困难或造成不合理的耗时,允许只对关键性部件进行试验。

6.4.21 其他试验

若对变流器有上述试验项目未包括的其他性能有要求,应在定货时提出,并取得协议。

7 允差

表 16 允差

项 目	允 差
装置损耗	保证值的 $+0.1$ p. u.
变压器和电抗器设备的损耗	总保证值的 $+0.1$ p. u.
变流器设备的效率	对应损耗的 $+20\%$ 时效率允差的最小值为 0.002 p. u.
计算的位移因数	$-0.2(1 - \cos\phi_1)$
由变压器产生的感性直流电压降 U_{dL}	保证值的 ± 0.1 p. u.
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)	$\pm(1 + 0.02 U_{dN})$
测得的直流电压(10 V 及以下)	$\pm 0.1 U_{dN}$

注:直流电压的允差在设备输出量有自动控制时,应规定被控制量的允差。

变流器有关参数,给出的并不一定都是保证值。当给出保证值时,应同时规定其允差,或给出保证值的最大值和最小值。而不管是否给出保证值及规定允差,在任何情况下,变流器的参数都应符合表16的规定。

变流器的保证值总是以额定值和额定工作条件为基础。

8 标志、包装、运输、储存

8.1 标志

每一台出厂的变流器都应具有铭牌,并装于其柜体的明显位置。铭牌的尺寸、型式应符合机电工业

关于产品标牌的有关规定。

8.1.1 变流设备铭牌的内容

- a. 型号和产品出厂序号；
- b. 输入相数(或用 D.C 标志)；
- c. 额定输入电压(逆变器用额定输入直流电压)；
- d. 额定输入电流(逆变器用额定输入直流电流)；
- e. 额定输入频率(如有)；
- f. 输出相数(或用 D.C 标志)；
- g. 额定输出电压(对整流器/逆变器,用额定直流电压/交流电压)；
- h. 额定输出电流(对整流器/逆变器,用额定直流电流/交流电流)；
- i. 额定输出频率(如有)；
- j. 输出电压范围(若输出电压可调)；
- k. 输出频率范围(若输出频率可调)；
- l. 负载类型(若限定,应标明)；
- m. 工作制等级；
- n. 抗干扰等级(不标明则为 B 级)；
- o. 主电路联结；
- p. 制造依据(标准号)；
- q. 重量、制造厂名及制造日期。

注：小型设备可以省略 a 中的出厂序号、d、i~l 各项。

8.1.2 变流装置的铭牌内容

- a. 型号和产品出厂序号；
- b. 输入相数(或用直流标志)；
- c. 额定输入电压(逆变器用额定输入直流电压)；
- d. 额定输入电流(逆变器用额定输入直流电流)；
- e. 额定输入频率(如有)；
- f. 输出相数(或用 D.C 标志)；
- g. 额定输出电压(对整流器/逆变器,用额定直流电压/交流电压)；
- h. 额定输出电流(对整流器/逆变器,用额定直流电流/交流电流)；
- i. 额定输出频率(如有)；
- j. 负载类型(若限定,应标明)；
- k. 工作制等级；
- l. 抗干扰等级(不标明则为 B 级)；
- m. 主电路联结形式；
- n. 制造依据(标准号)；
- o. 重量、制造厂及制造日期。

注：① 型号以每台变流变压器为基础，额定电流以每台变流装置为基础；

② 如果变流器、电抗器或其他部件不与变流装置结合成一个整体，而是一个独立的设备，则这些设备应按其技术条件要求单立铭牌；

③ 在足以标明产品特性的前提下，小型变流器的铭牌内容允许适当简化。

8.2 包装

应符合 JB 4276 和 GB/T 13384 的规定。

随同产品一起包装供应的技术文件应有：

- a. 装箱清单;
- b. 产品合格证明书;
- c. 产品安装及使用说明书;
- d. 产品成套及备件一览表。

8.3 运输

产品在运输过程,不应有剧烈振动、冲击和倾倒放置。

8.4 储存

产品在储存保管期间,应放在空气流通,温度和湿度符合本标准5.1.3的规定,及无腐蚀性气体的仓库中。

产品在储存保管时,不应淋雨、曝晒,并避免出现凝露和霜冻,以防损伤设备。

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由全国电力电子学标准化技术委员会归口。

本标准由机电部西安电力电子技术研究所负责起草。

本标准主要起草人周观允。