



中华人民共和国国家标准

GB/T 3859.3—2013
代替 GB/T 3859.3—1993

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

Semiconductor converters—
General requirements and line commutated converters—
Part 1-3: Transformers and reactors

(IEC 60146-1-3: 1991, 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

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 1-3 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 3859.3—1993《半导体变流器 变压器和电抗器》。

本部分与 GB/T 3859.3—1993 相比，主要技术变化如下：

- 修改了标准名称，与采用的国际标准 IEC 60146-1-3:1991 名称一致；
- 修改了“范围”(见第 1 章,1993 年版第 1 章)；
- 调整了“相关标准”(见第 2 章,1993 年版第 2 章)；
- 修改了 1993 年版的 5.1 之前的悬置段，并调整为“5.1 概述”，第 5 章中其余的条重新编号(见第 5 章,1993 年版第 5 章)；
- 调整了表 1 和表 2 的编号；
- 增加了温度等级 F 和相应的温升限值(见表 2)；
- 增加了“海拔超过 1 000 m 时，应按相关标准修正”的规定(见 5.4)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60146-1-3:1991《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》。

本部分与 IEC 60146-1-3:1991 的技术性差异及其原因如下：

- 根据我国标准化工作规则，修改了“范围”(见第 1 章)；
- 根据标准条文中的实际引用情况，调整了部分规范性引用文件(见第 2 章)；
- 删除了 3.2 中的悬置段：“温升限值在 5.3 中规定。”
- 修改了表 1，从而与 GB/T 3859.2—2013 中相应的表 1 一致；
- 删除了表 2 中的第 2 栏限值和注 1、注 4，从而与我国关于变压器标准的相关规定一致；
- 增加了温度等级 F 和相应的温升限值(见表 2)；
- 增加了“海拔超过 1 000 m 时，应按相关标准修正”的规定(见 5.4)。

本部分做了下列编辑性修改：更正了 5.1.2、5.3 和 5.4 相应的段中表述的表 1 和表 2 的编号。

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、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、北京金自天正智能控制股份有限公司。

本部分主要起草人：陆剑秋、蔚红旗、李民英、隋学礼、何宝振、杨艳秋、罗伟。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB 3859—1983、GB/T 3859.3—1993。

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

1 范围

GB/T 3859 的本部分规定了变流变压器不同于通用电力变压器的特性。

应注意到,整流变压器运行时,通常流通着非正弦波电流。在单拍联结中,每个阀侧绕组的电流均含有直流分量,在设计和试验时应特别注意。在某些情况下,外部短路和元件故障会产生异常的应力,因而有必要进行特殊设计。

一些类型的变压器正常运行时的电压波形是非正弦波。其铁芯损耗以具有与运行时的电压半周期算术平均值和基波频率相等的正弦波电压确定。

本部分适用于与 GB/T 3859.1 中规定的电力变流设备配套使用的变流变压器和电抗器。在其他各方面,如果国家标准《电力变压器》与本部分不矛盾,其规定的规则也适用于变流变压器。

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/T 3859.1—2013 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(IEC 60146-1-1:2009,MOD)

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)

3 变流变压器的额定值

3.1 额定电流值

3.1.1 由公用阀侧绕组供电的单变流器或双变流器

在最高冷却温度不超过其热极限时,变流变压器应能连续承受相当于变流器额定直流电流的电流以及随后的规定持续时间(见 GB/T 3859.1—2013 中 6.4.3 和 6.5)的过载电流(当规定时)。

3.1.2 每个晶闸管组件具有独立阀侧绕组的双变流器

在最高冷却温度不超过其热极限时,变流变压器的每个阀侧绕组应能承受相当于变流器额定直流电流的电流以及随后的规定持续时间(见 GB/T 3859.1—2013 中 6.4.3 和 6.5)的过载电流。

当两个阀侧绕组共用一个网侧绕组时,其额定电流按 3.1.1 确定。

3.2 冷却媒质的温度限值

3.2.1 空气冷却的户外设备

变流变压器应设计成在不超过+40℃的周围空气温度下运行时,年平均温度不高于+20℃,且任

意 24 h 内的平均温度不高于 +30 °C。

3.2.2 空气冷却的户内设备

变流变压器应设计成在不超过 +40 °C 的周围空气温度下运行。

3.2.3 水冷却的设备

变流变压器应设计成冷却水进口处的温度不超过 +25 °C。

4 变压器和电抗器的损耗和电压降

4.1 绕组损耗

正常运行情况下,绕组损耗包括采用直流法测得的绕组电阻的损耗、由涡流以及绕组和结构件中的杂散磁通产生的附加损耗(与频率有关)。若考虑谐波的影响,绕组的实际损耗宜在变压器和组件一起正常运行的情况下测量。

上述测量方法过于复杂,且不准确,除非变压器和组件的总损耗一并测量,一般不推荐采用。在这种情况下和对于额定输出容量不超过 300 kW 的设备,损耗可在正常额定负载下测量。

在所有其他情况下,绕组损耗依据在正弦波电流下,短路试验测量的结果计算。这种方法的依据是,如果忽略重叠角(见表 1),绕组中的正弦波电流与实际运行时的电流具有相同的方均根值。

由于组件正常运行时的电流方均根值比试验电流略微偏小,因而存在一个正误差。假设该正误差由组件正常运行时,谐波产生的、被忽略的附加杂散损耗引起的负误差补偿。

4.2 相间变压器、均流电抗器、串联平波电抗器、饱和电抗器及其他电流调节辅助装置的损耗

4.2.1 相间变压器(平衡电抗器)

供应商应在计算提供磁通的频率和电压下测量铁芯损耗,该磁通对应于变流器在额定电流、额定电压和规定的相位控制下的运行状态,且修正至最接近相间变压器主频率的可用频率。

绕组损耗由绕组直流电阻与绕组直流电流的平方的乘积计算。

4.2.2 均流电抗器

均流电抗器的铁芯损耗按惯例忽略不计。绕组损耗可在测量变流器损耗时一并测量,也可由测得的绕组直流电阻与绕组中的方均根电流的平方的乘积计算,且计算基于电流波形为矩形。

4.2.3 串联平波电抗器

串联平波电抗器的铁芯损耗按惯例忽略不计。绕组损耗既可在测量变流器损耗时一并测量,也可由绕组直流电阻与绕组中的直流电流的平方的乘积计算。

4.2.4 饱和电抗器及其他电流调节辅助装置

铁芯损耗应在对应于变流器在额定电流、额定电网电压和规定的直流电压下运行时的磁通情况测量或计算。测量在修正至最接近饱和电抗器铁芯磁通的主频率的可用频率下进行。

表 1 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^b	网侧 电流 因数 ^b I'_L/I_d	阀侧 电流 因数 ^c I_v/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{IM}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	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				2	2	0.5	$0.707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	$0.450 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$3.14 (\pi)$	$0.707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0-1	0-2		$0.5(P_A + P_B)$		1-2
2				3	3	$0.471 \left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)$	$0.577 \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	$0.675 \left(\frac{3}{\pi\sqrt{2}}\right)$	$2.09 \left(\frac{2\pi}{3}\right)$	$0.866 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$	1-2-3			$P_A + I_d^2 \times r_2/3^d$		1-2-3
3				6	6	$0.816 \left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)$	$0.408 \left(\frac{1}{\sqrt{5}}\right)$	$1.35 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$2.09 \left(\frac{2\pi}{3}\right)$	$1.50 \sim 0.500$	1-3-5	2-4-6		$0.75(P_A + P_B)$		均分 1-3-5 和 2-4-6
4				6	6	$0.816 \left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)$	$0.408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	$1.35 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$2.09 \left(\frac{2\pi}{3}\right)$	$1.50 \sim 0.500$	1-2 3-4 5-6	2-3 4-5 6-1	均分 1-3-5 和 2-4-6	$(P_A + 2P_B + 3P_C)/6$		均分 1-3-5 和 2-4-6
5				6	3	$0.408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	$0.289 \left(\frac{1}{2\sqrt{5}}\right)$	$0.675 \left(\frac{3}{\pi\sqrt{2}}\right)$	$2.42 \left(\frac{4\pi}{3\sqrt{3}}\right)$	0.500	1-3-5	2-4-6		$0.5(P_A + P_B)$		均分 1-3-5 和 2-4-6

表 1 (续)

联结 序号	变压器联结		变流联结 (4)	p^a	q^a	网侧 电流 因数 ^b I'_L/I_d	网侧 电流 因数 ^c I_v/I_d	U_{di}/U_{d0}	U_{im}/U_{di}	d_{4kN}/ϵ_{kN}	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_{kN} 时短接 的端子	
	网侧	网侧									(13)	(14)	(15)			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
单变流器, 单相联结																
6				6	2		$0.272 \left(\frac{1}{3\sqrt{2}} \right)$	$0.236 \left(\frac{1}{3\sqrt{2}} \right)$	$0.450 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$3.14 (\pi)$	$0.750 \sim 0.500$	1-3-5 I- II-III	2-4-6 I- II-III	$1.125 \times (P_A + P_B)/2$	1-4 2-5 3-6	
单变流器, 均一双向联结																
7				2	2		1	$0.900 \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1.57 \left(\frac{\pi}{2} \right)$	$0.707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$		1-3		P_A	1-3	
8				6	3		$0.816 \left(\frac{\sqrt{2}}{3} \right)$	$0.816 \left(\frac{\sqrt{2}}{3} \right)$	$1.05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	0.500		1-3-5		P_A	1-3-5	
9				12	3		$0.789 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} \right)$	$0.408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	$1.05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	0.259		11- 13-15 21- 23-25		$0.036(P_A + P_B) + 0.928P_C$	均分 11- 13-15 和 21- 23-25	
10	同联结序号 9, 但具有两个不同的变 压器		同联结序号 9	12	3		$0.789 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} \right)$	$0.408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	$1.05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	0.519		11- 13-15 21- 23-25		$1.07P_C$	11-13-15 21-23-25	

表 1 (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'_L/I_d	阀侧 电流 因数 ^c I_V/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{IM}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	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, 均—双拍联结																
11				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	均分 11-21-13 13-15 和 21-25-11 23-25	11-21 13-23 15-25	$1.34P_A - 0.08P_B + 0.27P_C$	均分 11-13-15 和 21-23-25		
12				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	均分 11-13-15 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		
13	同联结序号 12, 但具有两个不同的变 压器	同联结序号 12	同联结序号 12	12	3	$1.58 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \right)$	$0.816 \left(\sqrt{\frac{2}{3}} \right)$	$2.70 \left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$0.524 \left(\frac{\pi}{6} \right)$	0.519		11-13-15 21-23-25	$1.07P_C$	11-13-15 21-23-25		
单变流器, 非均—双拍联结																
14				2	2	$\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	$0.900 \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1.57 \left(\frac{\pi}{2} \right)$	$0.707^e \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	1-3	P_A	1-3			
15				6	3	见 GB/T 3859.2—2013 中 4.4.2	见 GB/T 3859.2—2013 中 4.4.3	$1.35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1.05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	0.500	1-3-5	P_A	1-3-5			

表 1 (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'_L/I_d	阀侧 电流 因数 ^c I_v/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{d0}}$	$\frac{U_{IM}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	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)
双变流器联结																
16			见联结序号 5													
17			见联结序号 5													
18			见联结序号 8													
19			见联结序号 8													

^a 参见 GB/T 3859.1—2013 中表 1。

^b 变压器初级。

^c 变压器次级。

^d r_2 ——一个单元绕组的阻抗。

^e $\alpha < \mu: 0.707(1/\sqrt{2})$; $\alpha > \mu: 0.354(1/(2\sqrt{2}))$; $\cos\mu = 1 - X_1 \times I_d / (\sqrt{2} \times U_{d0})$ 。

功率绕组的损耗由测得的绕组直流电阻与绕组中的方均根电流的平方的乘积计算,且计算基于理想的电流波形(忽略杂散电感)。当功率绕组由较大尺寸的导体构成时,应计算并计入涡流产生的损耗。

注:这些损耗用于计算效率,而不用于设计。

4.3 变压器和电抗器的电压降

电压降在损耗测量的基础上,按 GB/T 3859.1—2013 中 6.2.4 给出的方法计算。

5 变流变压器的试验

5.1 概述

如果与本章规定的试验没有矛盾,国家标准《电力变压器》规定的所有试验应适用于变流变压器。本章规定了适用于变流变压器的附加试验或特殊试验。

5.2 换相电抗的测量和电感性电压降的确定(型式试验)

5.2.1 换相电抗

为了测量换相电抗,变压器的网侧端子应短接。使阀侧绕组同一换相组的相邻两相流过额定频率的交流电流,测量这种馈电方式下的端子间电压。换相电抗 $2X_t$ 等于由这样测量计算得到的阻抗的电感性分量。应至少在每个换相组的不同相间进行两次试验,并取试验结果的算术平均值。

并联或串联连接的换相组可由同一网侧绕组馈电,且同时换相。对于这种情况,进行上述试验时,对应于这些换相组的阀侧绕组应逐一并联连接。

5.2.2 电感性电压调整值

电感性电压调整值 d_{xN} 可根据 X_t 由式(1)计算:

$$d_{xN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \pi \times g} \times X_t \times \frac{I_{dN}}{U_{d10}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

g ——分流 I_{dN} 的换相组数;

I_{dN} ——额定直流电流;

q ——换相数;

s ——串联换相组数;

U_{d10} ——理想空载直流电压;

δ ——每一初级绕组同时换相的换相组数。

电感性电压调整值也可由 5.2.1 所述的试验获得。试验期间,流过的电流的方均根值由式(2)计算:

$$I = \frac{\sqrt{2}}{4} \times \frac{\delta}{g} \times I_{dN} \quad \dots\dots\dots (2)$$

在这种情况下,输入电压的电感性分量以端子间的额定电压 U_{∞} 的标么值表示,即电感性电压调整值 d_{x1} 。

对于表 1 中的各种联结形式,电感性电压调整值可按表中第 17 栏规定的次级短路试验的结果计算,除表中序号 3、4、6、9 和 12 的联结形式外,建议进行 5.2.1 规定的短路试验(见 GB/T 3859.2—2013 中 4.4.5)。

如果次级电流太大,不能采用此方法,可采用其他任何包含一个阀侧绕组短路的等效方法。

5.3 短路试验(型式试验和出厂试验)

进行本试验是为了获得变压器绕组的总损耗。

表 1 给出了最常用联结形式要求的试验和适用的短路联结。变压器绕组的电流应为正弦波,具有与在额定直流电流(如果重叠角忽略不计)和额定频率下正常运行时,网侧导体中的电流相同的方均根值。

短路试验 A、B 和 C 三种情况的输入功率应分别测量,并用 P_A 、 P_B 和 P_C 表示。总损耗按表 1 中的公式计算。

测得的绕组损耗修正至规定的温升限值(见表 2)加 20 °C。

表 2 温升限值

变流器工作制等级	变压器冷却媒质	变压器温度等级	采用电阻法测得的绕组温升限值 K
I 和 II	空气	A	60
	空气	B	80
	空气	F	100
	空气	H	125
	油	A	65
III	空气	A	55
	空气	B	70
	空气	F	90
	空气	H	110
	油	A	65
IV	空气	A	50
	空气	B	65
	空气	F	80
	空气	H	100
	油	A	60
V	空气	A	45
	空气	B	60
	空气	F	75
	空气	H	90
	油	A	50
VI	空气	A	45
	空气	B	55
	空气	F	70
	空气	H	85
	油	A	50

注 1: 温升数值基于最高周围空气温度为+40 °C,年平均温度为+20 °C和周围空气日平均温度为+30 °C。
 注 2: 可采用变压器的其他温度等级。对于这种情况以及表中未给出的温升数值,由供应商与使用者协商。
 注 3: 工作制等级参见 GB/T 3859.1—2013 中 6.5。

5.4 温升试验(型式试验)

变压器绕组的温升测量应在连续施加额定负载后进行。温升应不超过表 2 规定的限值。

表 2 给出的值基于 3.2 规定的周围空气温度和冷却媒质温度以及在海拔不超过 1 000 m 运行。当冷却媒质温度更高时,按附录 A 修正。

附 录 A
(规范性附录)

冷却媒质温度高于规定值时适用的修正

本附录适用于当规定的冷却媒质温度超过 3.2 规定值(但不超过 15 K)。温升限值应按表 A.1 中给出的数值降低。

表 A.1 冷却媒质温度高于规定值时,温升限值的降低

单位为开尔文

变压器和电抗器运行情况	工作制等级 ^a							
	I	II	III	IV	V	VI		
自然空气冷却和强迫对流冷却: 冷却空气最高温度每超过 1 K,自 5.3 中给出的温升限值降低的数值(A 级和 B 级绝缘)		1.0		0.7		0.6		0.5
流体-空气冷却: 冷却空气的最高年平均或日平均温度每超过 1 K,自 5.3 中给出的温升限值降低的数值(A 级绝缘)		1.0		0.8		0.8		0.8
流体-水冷却: 冷却空气的最高年平均或日平均温度每超过 1 K,自 5.3 中给出的温升限值降低的数值(A 级绝缘)		1.0		0.8		0.8		0.8

^a 见 GB/T 3859.1—2013 中 6.5。

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 1-3 部 分 : 变 压 器 和 电 抗 器
GB/T 3859.3—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 1 字数 22 千字
2013年10月第一版 2013年10月第一次印刷

*

书号: 155066·1-47518

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



GB/T 3859.3-2013