

ICS 29.200  
K 46



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13422—2013  
代替 GB/T 13422—1992

---

## 半导体变流器 电气试验方法

Semiconductor converters—Electrical test methods

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

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验的一般要求 .....	3
4.1 概述 .....	3
4.2 试验的一般要求 .....	3
5 试验方法 .....	3
5.1 一般电气试验 .....	3
5.2 直流电路电气试验 .....	7
5.3 交流电路电气试验 .....	10
附录 A (规范性附录) 功率损耗的确定 .....	16
附录 B (资料性附录) 几种典型的试验电路 .....	18
附录 C (资料性附录) 脉动直流量的纹波和负载突加和突减时的瞬态电压波形 .....	21
图 1 电压不平衡因数确定 .....	14
图 B.1 整流器试验电路 .....	18
图 B.2 逆变器试验电路(单相) .....	18
图 B.3 变频器试验电路(单相输出) .....	19
图 B.4 整流器并联试验电路 .....	19
图 C.1 脉动直流量的纹波 .....	20
图 C.2 负载突加和突减时的瞬态电压波形 .....	20

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 13422—1992《半导体电力变流器 电气试验方法》。

本标准与 GB/T 13422—1992 相比,主要技术变化如下:

- 修改了标准名称;
- 修改了“主题内容和适用范围”(见第 1 章,1992 年版第 1 章);
- 调整了“引用文件”(见第 2 章,1992 年版第 2 章);
- 调整并修改了“术语”(见第 3 章,1992 年版第 3 章);
- 删除了“试验项目与要求”(1992 年版的 4.1);
- 修改了“电气试验的一般要求”(见第 4 章,1992 年版的 4.2);
- 修改了“试验方法”(见第 5 章,1992 年版第 5 章);
- 增加了“可听噪声测量”和“电磁兼容试验”(见 5.1.16 和 5.1.17);
- 修改了损耗功率测定的基本假设和不可控整流器短路损耗功率的测定方法(见 A.1 和 A.3.1, 1992 年版的 A1 和 A3.1);
- 修改了附录 B 的标题(见附录 B,1992 年版附录 B);
- 修改了附录 C 的标题及其中的文字符号(见附录 C,1992 年版附录 C)。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电力电子学标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本标准主要起草单位:西安电力电子技术研究所、广东志成冠军集团有限公司、漳州科华技术有限责任公司、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。

本标准主要起草人:蔚红旗、李民英、郑旺发、隋学礼、何宝振、罗本东、周敏。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 13422—1992。

# 半导体变流器 电气试验方法

## 1 范围

本标准规定了半导体变流器的一般电气试验方法。

本标准适用于各种普通变流器,包括整流器、逆变器、兼有整流和逆变两种运行方式的变流器以及各种电力电子开关。专用变流器也可参照使用。

本标准不适用于机动车用变流器和航空电器用机载变流器。

## 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 2900.33—2004 电工术语 电力电子技术(IEC 60050-551:1998 和 IEC 60050-551-20:2001, IDT)

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)

GB/T 3859.4—2004 半导体变流器 包括直接直流变流器的半导体自换相变流器(IEC 60146-2:1999, IDT)

GB/T 17626.2—2006 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验(IEC 61000-4-2:2001, IDT)

GB/T 17626.4—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验(IEC 61000-4-4:2004, IDT)

GB/T 17626.5—2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(IEC 61000-4-5:2005, IDT)

GB/T 17626.12—1998 电磁兼容 试验和测量技术 振荡波抗扰度试验(idt IEC 61000-4-12:1995)

GB 17799.4—2001 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射标准(idt IEC 61000-6-4:1997)

## 3 术语和定义

GB/T 2900.33、GB/T 3859.1、GB/T 3859.2 和 GB/T 3859.4 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、GB/T 3859.1 和 GB/T 3859.4 中的一些术语和定义。

### 3.1

#### 直流纹波因数 d. c. ripple factor

脉动直流量的峰值和谷值之差的一半与该直流量的平均值之比。

[GB/T 2900.33—2004, 定义 551-17-29]

3.2

**谐波含量 harmonic content**

周期量中的谐波分量之和。

[GB/T 2900.33—2004, 定义 551-20-12]

3.3

**总谐波因数 total harmonic factor; THF**

交流量中的谐波含量的方均根值与该交流量的方均根值之比。

[GB/T 2900.33—2004, 定义 551-20-15]

3.4

**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]

3.5

**功率效率 power efficiency**

输出(有功)功率与输入(有功)功率之比。

注: 计算变流器的(功率)效率时, 应包括其直流侧交流分量产生的功率, 而变流因数则不考虑这部分功率。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。

[GB/T 3859.1—2013, 定义 3.7.12]

3.6

**不平衡度 unbalance ratio**

三相系统中, 电流或电压基波分量的最大和最小方均根值之差, 与相应的三相基波分量方均根值的平均值之比。

[GB/T 3859.4—2004, 定义 3.5.15]

3.7

**不平衡因数 unbalance factor**

负序分量与正序分量之比。

[GB/T 3859.4—2004, 定义 3.5.16]

3.8

**直流电压调整值 direct voltage regulation**

不包括稳定措施(如果有)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]

3.9

**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]

3.10

**输出电压稳态偏差 steady-state output voltage deviation**

在规定的输入电压最大值和最小值以及规定的最大负载和最小负载(轻载)下, 输出电压相对于规定电压的最大稳态差值。

3.11

**输出电压瞬态偏差 transient output voltage deviation**

负载变化(突加或突减)时, 输出电压最大瞬时值与相应的稳态偏差的差值。

## 3.12

电压恢复时间 voltage recovery time

从突加或突减变化(负载或供电电源电压变化,二者不同时发生)的瞬间起,到输出电压变化达到并保持在规定稳态偏差内的起始瞬间止的时间间隔。

## 4 试验的一般要求

## 4.1 概述

本标准给出了半导体变流器的一般电气试验方法,试验电路参见附录 B。本标准未给出的特定电气试验方法和试验类型的划分应在产品标准中规定。

所有试验的结果应按照产品标准的规定判定。

## 4.2 试验的一般要求

## 4.2.1 正常环境条件

一般而言,正常环境条件包括:

- 环境温度:15℃~35℃;
- 相对湿度:45%~75%;
- 大气压力:86 kPa~106 kPa。

如果不能在上述正常环境条件下试验,应对试验结果进行折算。

## 4.2.2 正常电气条件

一般而言,正常电气条件包括:

- 输入电压允差的上限值为额定电压的+10%,下限值为额定电压的-15%;
- 输入频率允差为额定频率的±2%;
- 三相输入电压不平衡度应不超过5%。

## 4.2.3 其他要求

使用的测量仪器、仪表和设备应具有满足测量要求的准确度,且进行有效的量值溯源。

## 4.2.4 试验安全

应采取措施,确保操作人员、试验人员和设备的安全。

## 5 试验方法

## 5.1 一般电气试验

## 5.1.1 绝缘电阻测量

一般情况下,按照 GB/T 3859.1—2013 中的 7.2.3.1 测量绝缘电阻。

测量位置:

- 彼此无电联结的电路之间;
- 电路与机壳之间。

绝缘电阻只作为绝缘电压试验的参考,不作为考核。

### 5.1.2 绝缘电压试验

一般情况下,按照 GB/T 3859.1—2013 中的 7.2.2 试验。

采用水冷却方式的变流器一般在无水的情况下试验。

当不便施加交流试验电压时,可施加与规定的交流试验电压峰值相等的直流试验电压。

试验电压从零上升至其规定值的时间应不小于 10 s,或者自该规定值的 50% 开始,以每级为该规定值的 5% 逐级增加至其该规定值。

出厂试验时,如果试验电压在 1 s 内足以上升至其规定值,可不必逐级增加试验电压。

### 5.1.3 可触及金属部分的接地电阻测量

可采用直接测量法测量。

测量前,应将变流器与供电电源和负载断开,并清理规定的测量点处的污秽(如果有)。

测量时,仪表端子分别连接至接地端子和机壳(或应接地的导电金属件)。

### 5.1.4 轻载试验

试验程序:

- 调整输入电压达到额定值(型式试验应在额定输入电压的最大值和最小值下试验);
- 调整输出电压达到额定值(负载电流满足试验要求即可);
- 检查显示仪表、触发设备、保护装置、冷却设备和故障检测单元能否正常工作。

### 5.1.5 电压均衡度(均压因数)测量

测量可结合轻载试验或额定电流试验进行。可分别测量每个臂的串联阀器件电压分配情况。

测量程序:

- 调整输入电压达到额定值,负载电流达到满足试验要求的最小规定值,相控变流器的相位应使输出电压处于最不利的情况(相位角接近 90°);
- 测量各串联阀器件承受的反向或断态重复峰值电压;
- 按照式(1)计算电压均衡度  $K_u$ :

$$K_u = \sum U_n / (n_s \times U_M) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $\sum U_n$  ——各串联阀器件承受峰值电压的总和,单位为伏(V);
- $U_M$  ——各串联阀器件中,分担最大电压份额的器件承受的峰值电压,单位为伏(V);
- $n_s$  ——串联阀器件数量。

### 5.1.6 电流均衡度(均流因数)测量

测量可结合额定电流试验进行。在等效的情况下,可分别测量每个臂的并联阀器件电流分配情况。

测量程序:

- 调整变流器电流至不低于其额定值的 80%;
- 测量各并联阀器件承载的电流;
- 按照式(2)计算电流均衡度  $K_i$ :

$$K_i = \sum I_n / (n_p \times I_M) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\sum I_n$  ——各并联阀器件承载的平均电流的总和,单位为安(A);
- $I_M$  ——各并联阀器件中,分担最大电流份额的器件承载的平均电流,单位为安(A);

$n_p$  ——并联阀器件数量。

5.1.7 额定电流试验(低压电流试验)

如果更方便,可采用额定条件下的负载试验代替本试验。

试验程序:

- 将变流器输入端子通过调压器或低压变流变压器连接至足以产生额定连续电流的供电电源,输出端子直接短路或通过电抗器短路;
- 通过调压器或相位控制(如果有)调整电压,使输出电流达到额定值;
- 检查变流器各部分的运行情况。

试验时,控制设备(如果有)和辅助装置由独立电源以额定电压供电。

5.1.8 负载试验

试验程序:

- 调整输入电压和负载电流达到额定值;
- 对于输出可调的变流器,调整输出电压达到额定值;
- 检查变流器各部分的运行情况。

5.1.9 温升试验

试验应尽可能在与规定的负载等效的情况下进行。试验可与额定电流试验或额定条件下的负载试验同时进行。

温升应在最严酷的额定冷却条件下测量。如果在低于规定的最高温度下试验,应进行修正。

环境温度应在试验周期的最后四分之一期间测量。应至少使用两个测温元件对称布置在变流器的周围,其位置高度约为变流器高度的二分之一,距变流器机柜不超过 300 mm。应注意避免空气流动和直变流器直接热辐射对测量的影响。

试验程序:

- 调整输入电压和负载电流等于规定值。检查各部件的温度,直至达到热平衡;

注:当温度变化不超过 1 K/h,即认为达到热平衡。

- 调整过载电流和时间间隔,测量各部件的温度(包括在最高温度下工作的部件的温度);
- 根据测得的温度,按照 GB/T 3859.2—2013 第 7 章计算有效结温升。

5.1.10 效率的确定

效率可采用负载试验的方法或功率损耗测量的方法确定,也可采用计算内部损耗的方法确定。功率损耗的测量方法见附录 A。

效率可分为功率效率和变流因数。对于脉波数为 6 及以上的变流器,可只确定变流因数。

对于可工作在整流和逆变状态的可逆变流器,在整流状态下确定效率。

负载试验方法是通过在额定负载条件下测量交流和直流功率确定效率。试验程序如下:

- 调整输入电压、输出电压和负载电流达到额定值;
- 按照规定的通电时间间隔,测量变流器输入端和输出端的功率。

与变流器配套提供的辅助装置(接触器、泵、程序设备、风机等),即使不与变流器使用同一个电源供电,也应测量其功率。

效率  $\eta$  按照式(3)计算:

$$\eta = P_o / (P_i + P_a) \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $P_o$  ——变流器输出端功率,单位为瓦(W);
- $P_i$  ——变流器输入端功率,单位为瓦(W);
- $P_a$  ——辅助装置要求的功率,单位为瓦(W)。

#### 5.1.11 过电压试验

试验时,过电压的建立方法根据产品标准的规定在下列方式中选择,并在规定的测量点测量电压的瞬时值:

- a) 变流器换相过电压;
- b) 变流变压器网侧的分闸过电压;
- c) 负载断开时的过电压;
- d) 在变流器输入端施加短时过电压;
- e) 在变流器输入端施加脉冲电压。

测量程序:

- 调整输入电压、输出电压和负载电流达到规定值;
- 建立对应于上述 a)、b)、c)、d)和 e)的过电压;
- 在规定的测量点测量最高瞬时电压。

对于 b)、c)、e)的情况,试验应重复(不少于3次)进行,以确保施加合适的试验电压。

#### 5.1.12 输出电压测量

采用直接测量输出电压的方法。

测量程序:

- 调整变流器输入电压和负载电流达到规定值;
- 测量输出电压。

#### 5.1.13 过载试验

试验一般结合温升试验和额定电流试验或负载试验进行。

试验程序:

- 调整负载电流达到额定值;
- 在变流器温度达到热平衡后,增加负载电流至规定的过载值;
- 经过规定的时间间隔后,降低负载电流至额定值。如果与额定电流试验或负载试验同时进行,按照 5.1.12 测量输出电压;
- 过载后,确认温升试验、额定电流试验或负载试验要求的测量参数在规定范围内,保护动作和信号显示符合要求。

#### 5.1.14 短路试验

试验可结合轻载试验和功能试验(见 GB/T 3859.1—2013 中 7.3.1)、额定电流试验或负载试验进行。

试验程序:

- 调整输入电压和负载电流达到额定值;
- 对于输出电压可调的变流器,调整输出电压达到额定值,测量规定的测量点处的电流;
- 闭合短接开关或其他短接装置,测量规定的测量点处的电流,检查故障回路的切断和保护装置的动作是否正常;
- 更换熔断器或接通快速开关、断路器,重新启动变流器运行。如果与额定电流试验或负载试验

同时进行,按照 5.1.12 测量输出电压;

——确认额定电流试验或负载试验要求的测量参数在规定范围内,保护动作和信号显示符合要求。

#### 5.1.15 触发设备性能检查

主要检查触发设备的静态和动态性能,包括能否在要求的供电电源电压变化范围内可靠工作。

检查应尽可能在实际负载条件下进行。可结合轻载试验或额定电流试验检查。如果制造厂商的场地无实际负载条件,可与用户协商,在现场安装后进行。

#### 5.1.16 可听噪声测量

采用直接测量可听噪声的方法。报警声(无论任何原因,如果有)不包括在测量范围内。

测量程序:

——将变流器置于预期使用的正常位置,在正常运行方式的稳态条件、规定输入电压和额定电阻性负载下运行;

——自动投切的风机(如果有)应处于合闸状态;

——将声级计分别置于距变流器放置底平面高 1 m,距其外壳前、后、左、右各 1 m 处测量(环境噪声应不高于 10 dB(A))。

#### 5.1.17 电磁兼容试验

##### 5.1.17.1 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2—2006 中规定进行。

##### 5.1.17.2 振荡波抗扰度试验

按照 GB/T 17626.12—1998 中规定进行。

##### 5.1.17.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按照 GB/T 17626.4—2008 中规定进行。

##### 5.1.17.4 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照 GB/T 17626.5—2008 中规定进行。

##### 5.1.17.5 电磁辐射试验

按照 GB 17799.4—2001 中规定进行。

#### 5.2 直流电路电气试验

##### 5.2.1 直流输出电压(或电流)稳态偏差的确定

采用直接测量输出电压(或电流),然后计算的方法确定。

测量程序:

——调整输入电压和负载电流达到额定值,测量输出电压  $U$ 。(或电流  $I$ 。);

——调整输入电压分别达到规定的最小值和最大值,在规定的负载电流(或电压)最大值和最小值下,测量相应的输出电压(或电流);

——取输出电压(或电流)的最大值和最小值作为测量结果。

如果产品标准另有规定,按照产品标准的规定测量输出电压(或电流)。

对于 300 kW 以上的变流器,可采用产品标准规定的方法测量。

a) 稳态偏差对称的情形

直流输出电压稳态偏差  $d_U$  和直流输出电流稳态偏差  $d_I$  分别按照式(4)、式(5)计算:

$$d_U = \pm (U_{\max} - U_{\min})/2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$d_I = \pm (I_{\max} - I_{\min})/2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$U_{\max}$ ——测得的输出电压最大值,单位为伏(V);

$U_{\min}$ ——测得的输出电压最小值,单位为伏(V);

$I_{\max}$ ——测得的输出电流最大值,单位为安(A);

$I_{\min}$ ——测得的输出电流最小值,单位为安(A)。

b) 稳态偏差不对称的情形

直流输出电压的正稳态偏差  $+d'_U$  和负稳态偏差  $-d'_U$  分别按照式(6)、式(7)计算:

$$+d'_U = U_{\max} - U_0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$-d'_U = U_{\min} - U_0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$U_0$ ——当输入电压和负载电流为额定值时,测得的输出电压,单位为伏(V)。

直流输出电流的正稳态偏差  $+d'_I$  和负稳态偏差  $-d'_I$  分别按照式(8)、式(9)计算:

$$+d'_I = I_{\max} - I_0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$-d'_I = I_{\min} - I_0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$I_0$ ——当输入电压和负载电流为额定值时,测得的输出电流,单位为安(A)。

c) 以百分数形式表示的稳态偏差

以百分数形式表示的直流输出电压稳态偏差  $d''_U$  和直流输出电流稳态偏差  $d''_I$  分别按照式 10、式(11)计算:

$$d''_U = \frac{d_U}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$d''_I = \frac{d_I}{I_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$U_N$ ——输出电压的额定值,单位为伏(V);

$I_N$ ——输出电流的额定值,单位为安(A)。

5.2.2 直流输出电压(或电流)整定范围的确定

采用直接测量输出电压(或电流),然后计算的方法确定。

测量程序:

——调整输入电压达到规定的最小值,输出电压(或电流)整定调节器置于最大值位置,输出电流(或电压)达到规定值(可为额定值、中位值、最大值和最小值。按照产品标准的规定),测量相应的输出电压(或电流);

——调整输入电压达到规定的最大值,输出电压(或电流)整定调节器置于最小值位置,输出电流(或电压)达到规定值(可为额定值、中位值、最大值和最小值。按照产品标准的规定),测量相应的输出电压(或电流);

——取输出电压(或电流)的最大值和最小值作为测量结果。

对于 300 kW 以上的变流器,可采用产品标准规定的方法测量。

直流输出电压整定值的正稳态偏差 $+d'_{Ur}$ 和负稳态偏差 $-d'_{Ur}$ 分别按照式(12)、式(13)计算:

$$+d'_{Ur} = U_{\max} - U_N \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$-d'_{Ur} = U_{\min} - U_N \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

$U_{\max}$ ——测得的输出电压最大值,单位为伏(V);

$U_{\min}$ ——测得的输出电压最小值,单位为伏(V);

$U_N$ ——输出电压的额定值,单位为伏(V)。

直流输出电流整定值的正稳态偏差 $+d'_{Ir}$ 和负稳态偏差 $-d'_{Ir}$ 分别按照式(14)、式(15)计算:

$$+d'_{Ir} = I_{\max} - I_N \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$-d'_{Ir} = I_{\min} - I_N \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$I_{\max}$ ——测得的输出电流最大值,单位为安(A);

$I_{\min}$ ——测得的输出电流最小值,单位为安(A);

$I_N$ ——输出电流的额定值,单位为安(A)。

以百分数形式表示的直流输出电压整定值的正稳态偏差 $+d''_{Ur}$ 和负稳态偏差 $-d''_{Ur}$ 分别按照式(16)、式(17)计算:

$$+d''_{Ur} = \frac{+d'_{Ur}}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$-d''_{Ur} = \frac{-d'_{Ur}}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(17)$$

以百分数形式表示的直流输出电流整定值的正稳态偏差 $+d''_{Ir}$ 和负稳态偏差 $-d''_{Ir}$ 分别按照式(18)、式(19)计算:

$$+d''_{Ir} = \frac{+d'_{Ir}}{I_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$-d''_{Ir} = \frac{-d'_{Ir}}{I_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(19)$$

### 5.2.3 直流输出电压瞬态偏差和电压恢复时间的确定

采用直接测量输出电压,然后计算的方法确定。

测量程序:

——调整输入电压和负载电流达到额定值,测量输出电压 $U_0$ 。(整定值可调时, $U_0$ 应在整定范围内);

——使负载电流由规定的最小值阶跃变化至最大值,测量输出电压和负载电流;

——使负载电流由规定的最大值阶跃变化至最小值,测量输出电压和负载电流;

——根据瞬态电压波形(见图 C.2),确定直流输出电压的瞬态偏差 $+d_u$ 和 $-d_u$ 以及电压恢复时间 $t_r$ 。

如果产品标准另有规定,按照产品标准的规定测量输出电压和负载电流。

以百分数形式表示的直流输出电压的正瞬态偏差 $+d''_u$ 和负瞬态偏差 $-d''_u$ 分别按照式(20)、式(21)计算:

$$+d''_u = \frac{+d_u}{U_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$-d''_u = \frac{-d_u}{U_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(21)$$

#### 5.2.4 纹波因数测量

采用直接测量脉动电压(或电流)交流分量的瞬时最大值和最小值的方法确定。

测量程序:

——调整输入电压达到额定值,输出电压(或电流)应在规定值范围内;

——对于输出电压(或电流)可调的变流器,调整输出电压(或电流)达到额定值;

——测量规定的时间间隔  $t$  内的脉动电压(或电流)瞬时最大值与最小值之差  $\Delta p$ (见图 C.1)。

如果产品标准对输入电压另有规定,根据产品标准的规定,按照上述程序测量。

电压纹波因数  $\sigma_U$  和电流纹波因数  $\sigma_I$  分别按照式(22)、式(23)计算:

$$\sigma_U = \frac{\Delta p/2}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$\sigma_I = \frac{\Delta p/2}{I_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中:

$\Delta p$  ——脉动直流量的最大值(峰值)与最小值(谷值)之差;

$U_N$  ——额定输出电压平均值,单位为伏(V);

$I_N$  ——额定输出电流平均值,单位为安(A)。

#### 5.2.5 整流器并联试验

整流器并联试验电路见图 B.4。

试验程序(以两个变流器并联为例):

——调整每个整流器的输入电压达到额定值;

——对于输出电压可调的整流器,调整输出电压达到额定值;

——连接公共负载,负载电流应不小于两个变流器额定输出电流之和的 90%;

——测量每个整流器的输出电流。

#### 5.2.6 固有电压调整值测量

采用负载试验法或轻载和额定电流试验法确定。

##### a) 负载试验法

按照 GB/T 3859.1—2013 确定。

##### b) 轻载和额定电流试验法

测量程序:

——按照 GB/T 3859.2—2013 中 4.7 确定电感性电压调整值  $d_{x1}$  和  $d_{x2}$ ;

——考虑半导体器件的门槛电压,计算固有电压调整值。

### 5.3 交流电路电气试验

#### 5.3.1 交流输出电压稳态偏差的确定

采用直接测量输出电压,然后计算的方法确定。

测量程序:

——调整输入电压和负载电流达到额定值,测量输出电压  $U_o$ ;

——调整输入电压分别达到规定的最大值和最小值,在规定的负载电流最大值和最小值下,测量相应的输出电压;

——取输出电压的最大值和最小值作为测量结果;

——分别按照式(4)、(6)、(7)和(10)计算交流输出电压的稳态偏差(这时,式中的 $U_{\max}$ 、 $U_{\min}$ 、 $U_0$ 和 $U_N$ 均应为方均根值)。

对于 100 kVA 以上的变流器,可采用产品标准规定的方法测量。

### 5.3.2 交流输出电压整定范围的确定

采用直接测量输出电压,然后计算的方法确定。

测量程序:

- 调整输入电压达到规定的最小值,输出电压整定调节器置于最大值位置,输出电流达到规定值(可为额定值、中位值、最大值和最小值。按照产品标准的规定),测量相应的输出电压;
- 调整输入电压达到规定的最大值,输出电压整定调节器置于最小值位置,输出电流达到规定值(可为额定值、中位值、最大值和最小值。按照产品标准的规定),测量相应的输出电压;
- 取输出电压的最大值和最小值作为测量结果;
- 分别按照式(12)、(13)、(16)和(17)计算交流输出电压整定值的稳态偏差(这时,式中的 $U_{\max}$ 、 $U_{\min}$ 和 $U_N$ 均应为方均根值)。

对于 100 kVA 以上的变流器,可采用产品标准规定的方法测量。

### 5.3.3 交流输出电压瞬态偏差和电压恢复时间的确定

采用直接测量输出电压,然后计算的方法确定。对于脉宽调制或脉宽控制变流器,可采用产品标准规定的方法。

测量程序:

- 调整输入电压和负载电流达到额定值,测量输出电压 $U_0$ 。(整定值可调时, $U_0$ 应在整定范围内);
- 使负载电流阶跃变化至规定的最大值,测量输出电压和负载电流;
- 使负载电流阶跃变化至规定的最小值,测量输出电压和负载电流;
- 根据瞬态电压波形(见图 C.2),确定交流输出电压的瞬态偏差 $+d_0$ 和 $-d_0$ 以及电压恢复时间 $t_r$ ;
- 按照 5.2.3 确定以百分数形式表示的交流输出电压瞬态偏差。

如果产品标准另有规定,按照产品标准的规定测量输出电压和负载电流。

### 5.3.4 交流输出电压变化范围的确定

采用直接测量输出电压的方法确定。

测量程序:

- 调整输入电压和负载电流达到额定值;
- 输出电压调节器分别置于最大值和最小值位置,测量相应的输出电压;
- 取输出电压的最大值和最小值作为测量结果。

如果产品标准另有规定,按照产品标准的规定测量输出电压。

### 5.3.5 交流输出电压的频率及其稳态偏差的确定

采用直接测量输出电压频率,然后计算的方法确定。

测量程序:

- 调整输出电压和负载电流达到额定值,测量输出电压频率 $f_0$ ;
- 调整输出电压分别达到规定的最大值和最小值,在额定负载电流下,测量相应的输出电压频率;

——取输出电压频率的最大值和最小值作为测量结果。

如果产品标准另有规定,按照产品标准的规定测量输出电压频率。

a) 稳态偏差对称的情形

交流输出电压频率的稳态偏差  $d_f$  按照式(24)计算:

$$d_f = \pm (f_{\max} - f_{\min})/2 \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

$f_{\max}$ ——测得的输出电压频率的最大值,单位为赫兹(Hz);

$f_{\min}$ ——测得的输出电压频率的最小值,单位为赫兹(Hz)。

b) 稳态偏差不对称的情形

交流输出电压频率的正稳态偏差  $+d'_f$  和负稳态偏差  $-d'_f$  分别按照式(25)、式(26)计算:

$$+d'_f = f_{\max} - f_0 \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$-d'_f = f_{\min} - f_0 \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

$f_0$ ——当输入电压和负载电流为额定值时,测得的输出电压频率,单位为赫兹(Hz)。

c) 以百分数形式表示的稳态偏差

以百分数形式表示的交流输出电压频率稳态偏差  $d''_f$  按照式(27)计算:

$$d''_f = \frac{d_f}{f_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

$f_N$ ——输出电压频率的额定值,单位为赫兹(Hz)。

5.3.6 交流输出电压的频率变化范围的确定

采用直接测量输出电压频率的方法确定。

测量程序:

- 调整输入电压频率和负载电流达到额定值(如果输入电压频率不可调,且产品标准未另行规定,供电电网的频率允差符合 4.2.2 时,可直接连接至供电电网);
- 输出电压频率调节器分别置于规定的最大值和最小值位置,测量相应的输出电压频率;
- 取输出电压频率的最大值和最小值作为测量结果。

5.3.7 交流输出电压与频率的关系的确定

采用直接测量输出电压及其频率,然后计算的方法确定。

测量程序:

- 在额定输入电压下,调整输出电压达到规定的最大值,测量输出电压频率,计算输出电压与频率的比值;
- 调整输入电压分别达到规定的最大值和最小值,测量相应的输出电压及其频率,计算相应的输出电压与频率的比值;
- 取输出电压与频率的比值的最大值和最小值作为测量结果。

如果产品标准另有规定,按照产品标准的规定确定输出电压与频率的关系。

5.3.8 谐波测量

5.3.8.1 交流输出电压谐波

采用直接测量输出谐波分量的方均根值的方法确定。

测量程序：

- 调整输入电压和负载电流达到额定值，输出电压应在规定值范围内。测量输出电压基波和谐波分量的方均根值；
- 调整负载电流分别达到规定的最大值和最小值，在额定输入电压下测量相应的输出电压基波和谐波分量的方均根值；
- 调整输入电压分别达到规定的最大值和最小值，在额定负载电流下测量相应的输出电压基波和谐波分量的方均根值。

### 5.3.8.2 变流器注入电网的电流谐波

采用在变流器输入端直接测量电流谐波分量的方均根值的方法确定。对于整流器，也可在测量电感性直流电压的基础上按照 GB/T 3859.1—2013 中 6.3.1 确定。

测量程序：

- 调整输出电压达到规定的最小值；
  - 调整负载电流达到额定值，测量电流谐波分量的方均根值。
- 必要时，在轻载下测量电流谐波分量的方均根值。

### 5.3.9 交流电压畸变因数测量

#### 5.3.9.1 交流输出电压畸变因数

采用直接测量的方法确定。

测量程序：

- 调整输入电压和负载电流达到额定值，输出电压应在规定值范围内；
- 调整负载电流分别达到额定值、规定的最大值和最小值，在规定的时间内，测量相应的输出电压畸变因数  $\gamma_0$ ；
- 取输出电压畸变因数  $\gamma_0$  的最大值作为测量结果。

#### 5.3.9.2 变流器引起的电网畸变因数

采用直接测量的方法确定。在保证准确度的情况下，也可采用其他方法确定。

测量程序：

- 变流器不连接至电网时，测量电网输出端子处的畸变因数  $\gamma_1$ ；
- 将变流器连接至电网，在规定的时间内，测量电网输出端子处的畸变因数  $\gamma_2$ （如果产品标准另有规定，按照产品标准的规定测量）；
- 变流器引起的电网畸变因数  $\gamma$  按式(28)计算：

$$\gamma = \sqrt{\gamma_2^2 - \gamma_1^2} \quad \dots\dots\dots(28)$$

#### 5.3.10 三相电压不平衡测量

电压不平衡能以术语电压不平衡度或电压不平衡因数给出。如果没有其他要求，推荐使用电压不平衡度。

三相输出电压不平衡应在规定负载范围的两种负载下测量，首选对称负载条件下的空载和满载。如果规定了负载不对称与电压不平衡的关系，应进行验证。

电压不平衡度可采用如下方法确定：

- 在负载对称的情况下，调整输入电压达到额定值；
- 调整负载电流分别达到额定值、规定的最大值和最小值，测量相应的三相输出电压；

——按 3.6 确定电压不平衡度,取其最大值作为测量结果。  
电压不平衡因数能由如下方法确定(见图 1):

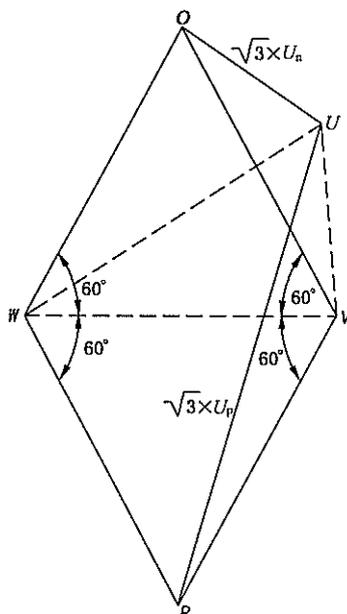


图 1 电压不平衡因数确定

根据测得的线电压  $UV$ 、 $VW$  和  $WU$ ,画出如图 1 中虚线表示的三角形。以  $VW$  为底边,在其两侧各做一个顶点分别为  $O$  和  $P$  的等边三角形。矢量  $PU$  和  $OU$  的幅值分别表示输出线电压的正序分量和负序分量幅值的  $\sqrt{3}$  倍。

电压不平衡因数能由  $OU$  与  $PU$  之比计算:

$$\frac{OU}{PU} = U_n / U_p$$

式中:

- $U_n$  —— 输出电压的负序分量;
- $U_p$  —— 输出电压的正序分量。

### 5.3.11 功率因数测量

可采用负载试验法确定,也可采用轻载试验和额定电流试验确定。  
试验时,变流器连接至规定内阻的交流供电电源。

#### a) 负载试验法

采用直接测量输入参数,然后计算的方法确定功率因数。

测量程序:

- 调整输入电压和负载电流达到额定值;
- 对于输出电压可调的变流器,调整输出电压达到额定值;
- 在变流器输入端测量输入电压  $U_A$ 、 $U_B$  和  $U_C$ ,电流  $I_A$ 、 $I_B$  和  $I_C$  以及有功功率  $P_{in}$ ;
- 按式(29)计算功率因数  $\lambda$ :

$$\lambda = P_{in} / (I_A \times U_A + I_B \times U_B + I_C \times U_C) \dots\dots\dots (29)$$

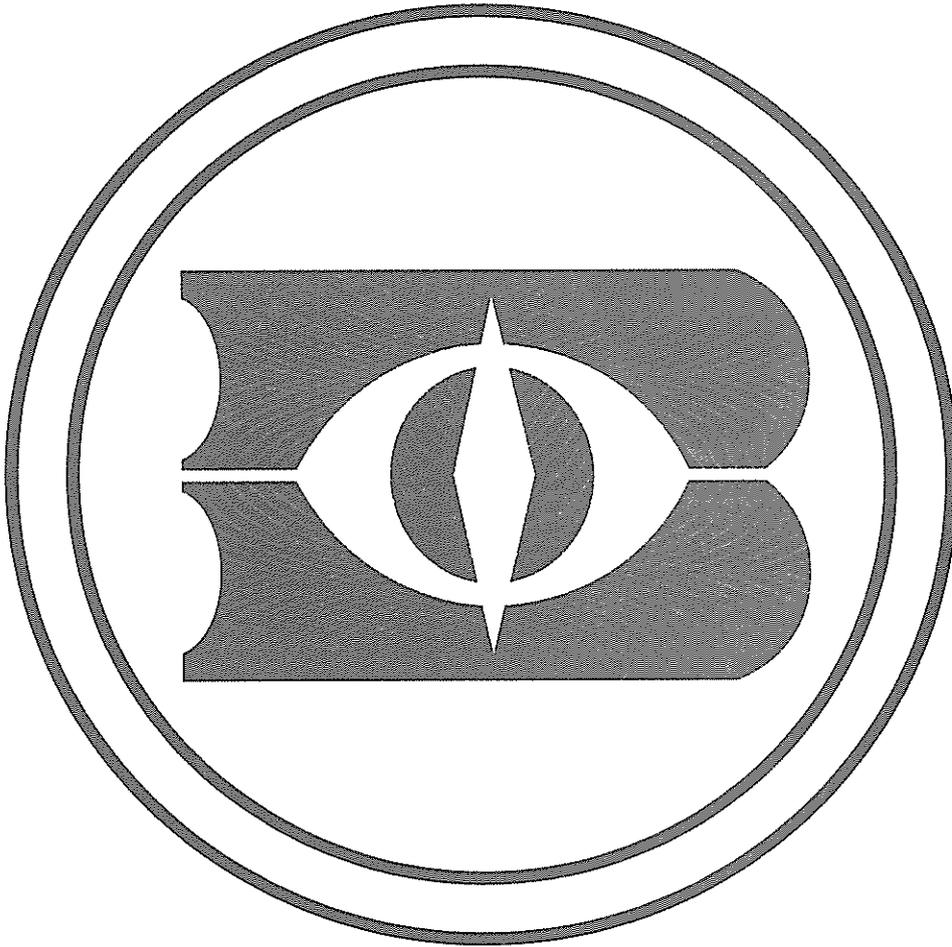
式中:

- $P_{in}$  —— 变流器输入有功功率,单位为瓦(W);
- $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$  —— 变流器输入端的相电流,单位为安(A);

$U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  ——变流器输入端的相电压,单位为伏(V)。

b) 轻载和额定电流试验法

采用轻载和额定电流试验法确定整流器的功率因数时,可根据测得的电抗或直流电压调整值  $U_{dPN}$  和变压器的磁化电流,按 GB/T 3859.2—2013 中 4.6 计算。



附 录 A  
(规范性附录)  
功率损耗的确定

### A.1 概述

确定功率损耗的目的在于确定变流器的效率。

变流器的效率  $\eta$  可按式(A.1)、式(A.2)计算：

对于整流器：

$$\eta = \frac{P_d}{P_d + P_L} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

对于逆变器：

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + P_L} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$P_d$  ——直流功率；

$P_L$  ——损耗之和；

$P_1$  ——交流侧输出基波功率。

损耗的测量应在变流器中所有部位的温度达到对应于额定值的热平衡温度后进行。

试验时，可使用变流变压器或试验变压器。如果使用变流变压器，测得的是整个设备的功率损耗，变流变压器的损耗应修正到 75 °C 时的值。如果使用试验变压器，该变压器应具有与原配置的变流变压器相同的脉波数和换相数。

确定功率损耗时的基本假设见 GB/T 3859.1—2013 中 7.4.1.1。

### A.2 轻载功率损耗的确定

轻载功率损耗测量可与轻载试验结合进行。

如果可行，应在变流器作整流运行时测量功率损耗。测量程序如下：

——轻载试验程序见 5.1.4。直流侧连接电阻性负载。流过变流器的电流应不低于变流器轻载电压开始上升时的过渡电流；

——测量输入功率；

——测量辅助装置和触发设备(如果有)消耗的功率以及其他不取决于变流器负载的功率损耗；

——测量输出功率。对于脉波数为 6 及以上的变流器，允许使用直流电流表和直流电压表测量输出功率，但应予以说明，以免与直流功率混淆。

轻载功率损耗等于测得的变流器输入功率减去输出功率。

空载功率损耗等于空载时的输入功率。

### A.3 短路功率损耗的确定

#### A.3.1 不可控整流器

按照 GB/T 3859.2—2013 中 6.2 确定。

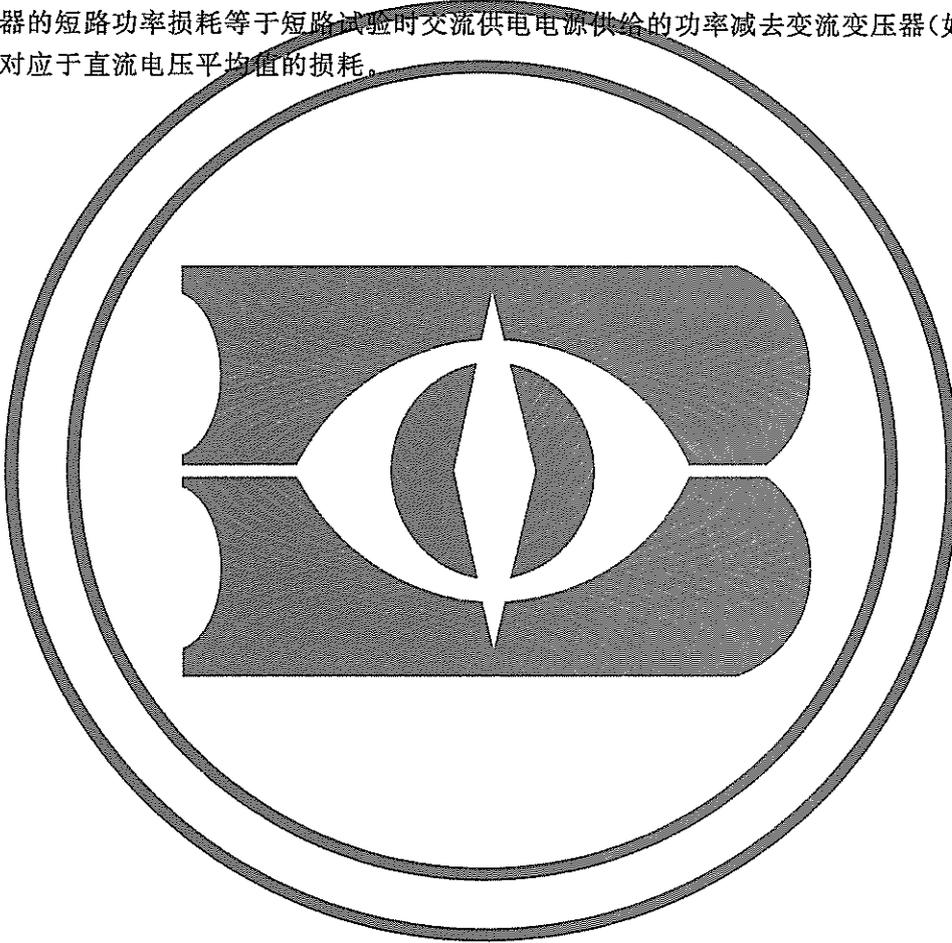
### A.3.2 可控变流器

当用户与制造厂商达成协议,或者当可控变流器的运行条件与不可控整流器在短路损耗方面没有显著差异时,可按照 A.3.1 确定短路功率损耗。

试验时,应使变流器在整流状态下短路运行。短接电路应包括一个电感,其数值足以使直流电流上叠加的纹波电流大致等于实际负载条件下预期的纹波电流。辅助装置和触发设备由独立电源以额定电压供电,它们消耗的功率不计算在短路功率损耗内。

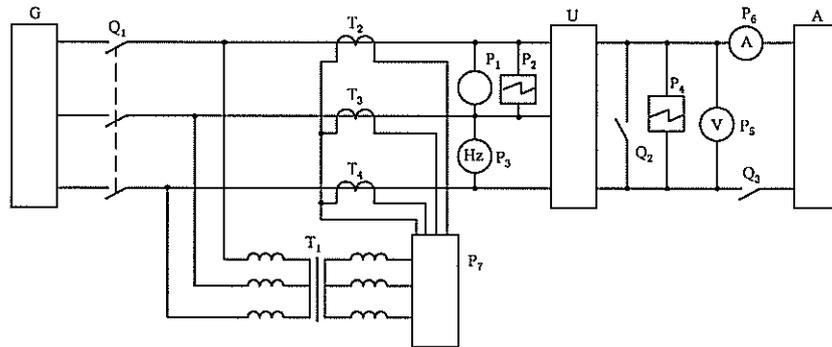
如果在规定运行条件下测量短路功率损耗,应适当协调交流电压和相位的控制,以保证在试验过程中出现的重叠角大致等于实际负载条件下预期的重叠角。

变流器的短路功率损耗等于短路试验时交流供电电源供给的功率减去交流变压器(如果有)铁芯功率损耗和对应于直流电压平均值的损耗。



附录 B  
(资料性附录)  
几种典型的试验电路

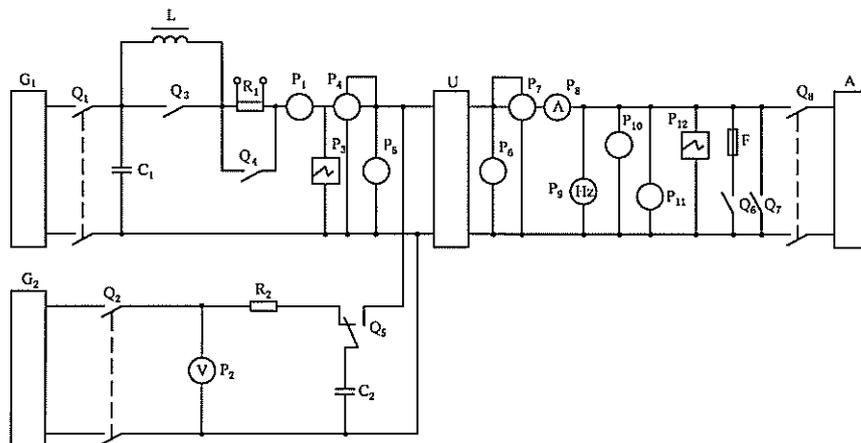
整流器、逆变器、变频器和整流器并联试验电路分别如图 B.1~图 B.4 所示。



说明:

- |                                       |                          |   |
|---------------------------------------|--------------------------|---|
| A——负载;                                | P <sub>3</sub> ——频率计;    | Q <sub>1</sub> 、Q <sub>2</sub> 、Q <sub>3</sub> ——开关;    |
| G——交流电源;                              | P <sub>5</sub> ——直流电压表;  | T <sub>1</sub> ——电压互感器;                                 |
| P <sub>1</sub> ——波形失真仪;               | P <sub>6</sub> ——直流电流表;  | T <sub>2</sub> 、T <sub>3</sub> 、T <sub>4</sub> ——电流互感器; |
| P <sub>2</sub> 、P <sub>4</sub> ——示波器; | P <sub>7</sub> ——功率测量仪器; | U——受试整流器。   |

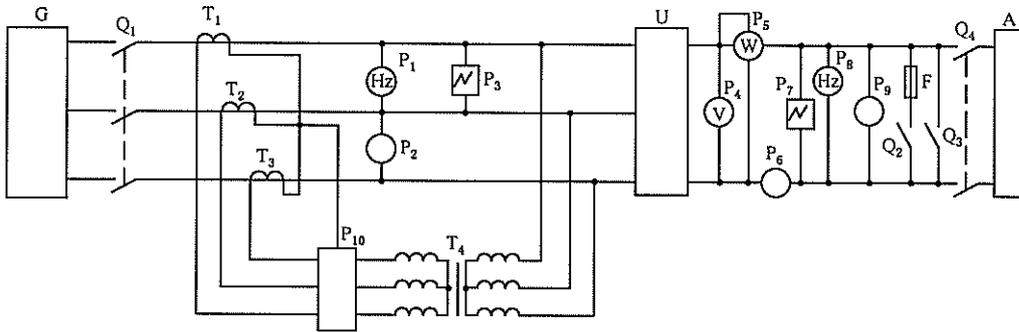
图 B.1 整流器试验电路



说明:

- |   |  |                        |
|---|--|------------------------|
| A——负载;                                  | P <sub>4</sub> 、P <sub>7</sub> ——功率表;                                | Q <sub>5</sub> ——转换开关; |
| C <sub>1</sub> 、C <sub>2</sub> ——电容器;   | P <sub>6</sub> ——交流电压表;  | Q <sub>7</sub> ——断路器;  |
| F——熔断器;                                 | P <sub>8</sub> ——交流电流表;  | R <sub>1</sub> ——分流器;  |
| G <sub>1</sub> 、G <sub>2</sub> ——电源;    | P <sub>9</sub> ——频率计;  | R <sub>2</sub> ——电阻器;  |
| P <sub>1</sub> ——直流电流表;                 | P <sub>10</sub> ——波形失真仪;   | U——受试逆变器。              |
| P <sub>2</sub> 、P <sub>5</sub> ——直流电压表; | P <sub>11</sub> ——谐波分析仪;   |                        |
| P <sub>3</sub> 、P <sub>12</sub> ——示波器;  | Q <sub>1</sub> ~Q <sub>4</sub> 、Q <sub>6</sub> 、Q <sub>8</sub> ——开关; |                        |

图 B.2 逆变器试验电路(单相)

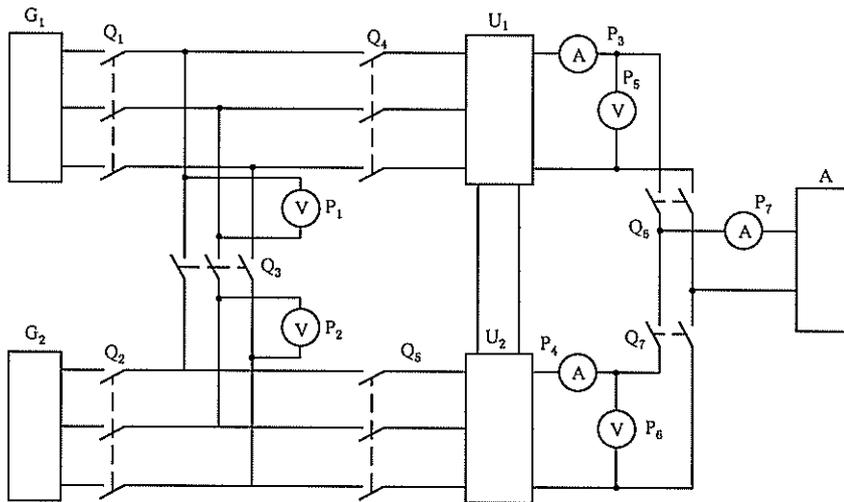


说明:

- A——负载;
- G——交流电源;
- F——保险丝;
- P<sub>1</sub>、P<sub>8</sub>——频率计;
- P<sub>2</sub>、P<sub>9</sub>——波形失真仪;
- P<sub>3</sub>、P<sub>7</sub>——示波器;
- P<sub>4</sub>——电压表;

- P<sub>5</sub>——功率表;
- P<sub>6</sub>——电流表;
- P<sub>10</sub>——功率测量仪器;
- Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、Q<sub>4</sub>——开关;
- Q<sub>3</sub>——断路器;
- T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub>——电流互感器;
- T<sub>4</sub>——电压互感器;
- U——受试变频器。

图 B.3 变频器试验电路(单相输出)



说明:

- A——负载;
- G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>——交流电源;
- P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>——交流电压表;
- P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>7</sub>——直流电流表;
- P<sub>5</sub>、P<sub>6</sub>——直流电压表;
- Q<sub>1</sub>~Q<sub>7</sub>——开关;
- U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>——受试整流器。

图 B.4 整流器并联试验电路

附录 C  
(资料性附录)

脉动直流量的纹波和负载突加和突减时的瞬态电压波形

C.1 脉动直流量的纹波

脉动直流量的纹波见图 C.1。

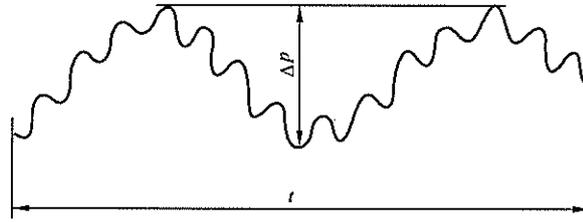
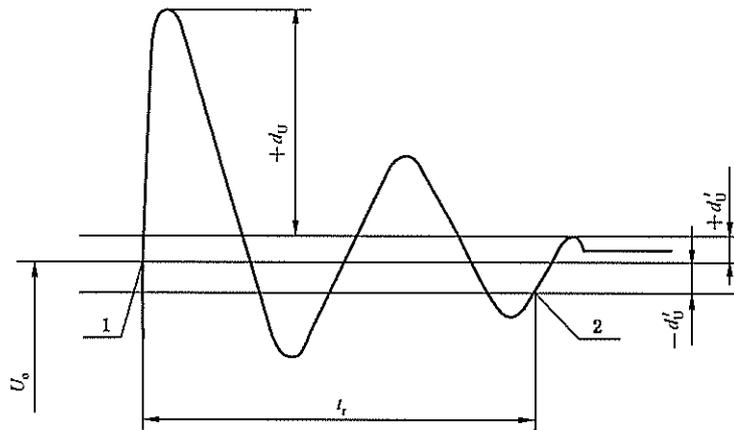


图 C.1 脉动直流量的纹波

C.2 负载突加和突减时的瞬态电压波形

负载突加和突减时的瞬态电压波形见图 C.2。



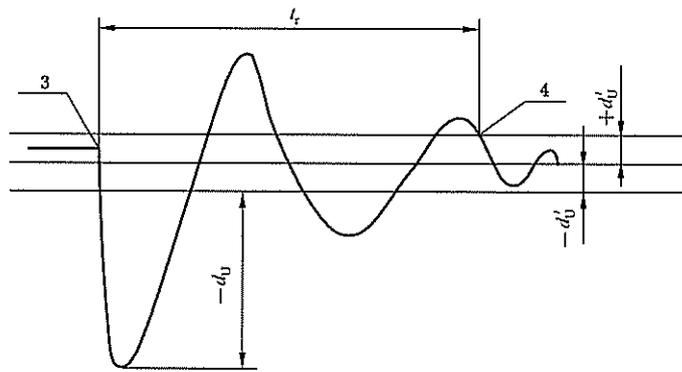
说明：

1——负载突减瞬间；

2——电压变化达到并保持在规定的稳态偏差内的起始瞬间。

a) 负载突减时的瞬态电压波形

图 C.2 负载突加和突减时的瞬态电压波形



说明：

1——负载突加瞬间；

2——电压变化达到并保持在规定的稳态偏差内的起始瞬间。

b) 负载突加时的瞬态电压波形

图 C.2 (续)

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
半 导 体 变 流 器 电 气 试 验 方 法  
GB/T 13422—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](http://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

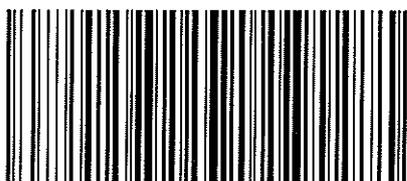
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 46 千字  
2013年10月第一版 2013年10月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-47462 定价 27.00 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



GB/T 13422-2013