



中华人民共和国国家标准

GB/T 18494.1—2001
idt IEC 61378-1:1997

变流变压器 第1部分：工业用变流变压器

Convertor transformers—
Part 1: Transformers for industrial applications

2001-11-02 发布

2002-06-01 实施



中华人民共和国
国家质量监督检验检疫总局 发布

前 言

本标准等同采用 IEC 61378-1:1997《交流变压器 第1部分:工业用交流变压器》。

本标准给出了交流变压器负载损耗的计算方法。

有关交流变压器的产品型号、技术参数、允许偏差、试验要求、铭牌及标志、运输和包装等要求,可参见 JB/T 8636—1997《电力交流变压器》。

本标准一般适用于设备最高电压不超过 40.5 kV 的交流变压器。对设备最高电压超过 40.5 kV 的交流变压器也可参考。

当使用条件不符合本标准正常使用条件,或负载电流含有非特征性谐波分量时,需另行考虑,本标准仅作参考。

本标准的附录 A、附录 B 是提示的附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国变压器标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位:沈阳变压器研究所、西安变压器厂、江西变压器有限责任公司、南通变压器厂、沈阳变压器有限责任公司、顺德特种变压器厂、北京华泰变压器有限公司、沈阳市整流电炉变压器厂、山东省金曼克电器集团股份有限公司、苏州特种变压器厂。

本标准主要起草人:高常红、张洪、方治强、石肃、上官远定、徐子宏、曾庆贇、牛亚民、李树芳、孙涛。

本标准为首次制定。

本标准委托沈阳变压器研究所负责解释。

IEC 前言

- 1) 国际电工委员会(简称为 IEC)是由所有国家电工委员会(又称 IEC 国家委员会)组成的一个世界性的标准化组织。IEC 的宗旨是推动电工和电子领域内的全部标准化问题的国际合作。为了此目的以及其他活动的需要,IEC 出版了国际标准。IEC 标准的制、修订任务是委托给各技术委员会负责。任何一个国家电工委员会,若对此表示特别关心,可以参加该标准的制、修订工作。与 IEC 有联系的国际组织、政府机构和非政府组织也可参加这些标准的制、修订工作。IEC 与世界标准化组织(简称为 ISO)已按它们之间的协议条件进行紧密的合作。
- 2) 国际电工委员会(IEC)的各技术委员会是由对该技术问题表示特别关心的各国家委员会组成的。它所作出的决定或协议,最大限度的反映了国际上对此技术问题的一致意见。
- 3) 这些决定和协议,以标准的形式供国际上使用,在这意义上已为各国家委员会所承认。
- 4) 为了促进国际上的统一,IEC 希望各国家委员会在其国内条件许可下,尽量采用 IEC 标准作为本国的国家标准,如果国家标准与相应的 IEC 标准有不同之处时,应在国家标准中尽可能明确地指出。
- 5) IEC 尚未制定任何有关认可标志的程序,因此,当某一台设备被宣布为符合某一 IEC 标准时,IEC 对此不承担任何责任。
- 6) 要注意本标准的一些内容有可能涉及专利权的问题,但 IEC 没有责任要将任何一个或所有这样的专利权给以验明。

本标准由 IEC TC14 电力变压器技术委员会制定。

本标准的文本是以下述文件为根据的:

FDIS	表决报告
14/261/FDIS	14/270/RVD

有关本标准批准的详细情况,见上表的表决报告。

附录 A 和 B 是信息的附录。

IEC 61378 由下述组成。总标题:变流变压器

- 第 1 部分:工业用变流器
- 第 2 部分:高压直流用换流变压器(正在考虑中)
- 第 3 部分:变(换)流变压器应用导则(正在考虑中)

中华人民共和国国家标准

变流变压器

第1部分:工业用变流变压器

GB/T 18494.1—2001
idt IEC 61378-1:1997

Convertor transformers—

Part 1: Transformers for industrial applications

1 总则

1.1 范围

本标准规定了组装在半导体变流设备内的电力变压器和电抗器的技术要求、设计和试验,本标准不适用于一般交流配电变压器。

本标准仅适用于供局部地区用的电力变流器,其额定变流电压等级为中等值,但容量额定值不予限定。一般地说,是供工业用,且设备最高电压典型值不超过 $40.5^{[1]}$ kV。

本标准不适用于高压直流输电用变压器,因为它们是高压变压器,还需要进行直流电压试验。

虽然成套变流器设备标准(如 GB/T 3859 或其有关特殊应用场合的标准)可能包括变流变压器、辅助变压器和电抗器在内的整个设备的各种性能保证和试验方面的要求(例如绝缘、损耗),但本标准仍然适用于作为变流设备中的变压器本身的性能保证和试验要求。

本标准所规定的性能保证、运行和型式试验,既适用于作为成套变流设备中一个组件的变压器,也适用于变流设备用的单独订购的变压器。任何补充的性能保证或特殊验证等均应在变压器订货合同中予以特别规定。

本标准涉及的变流变压器可以是油浸式也可以是干式。它们除了要满足本标准规定外,对于油浸式变压器还要符合 GB 1094;对于干式变压器还要符合 GB 6450。

注

1 有可能在某些变流设备中使用标准设计的普通配电变压器。此时,在使用中,可能需要降低它们的容量。涉及专门设计的变压器的技术要求,本标准不作专门的规定,但可以从本标准第 5.1 条所列出的公式以及从 GB/T 13499 来计算标准配电变压器的容量降低值。

2 使用干式变压器时,应特别注意其时间常数小以及流过大截面导线或箔绕组中的涡流过大的特点。

本标准只涉及带一个器身和一个相间变压器的变流变压器。对于同一油箱中装有几个器身的情况,有关其总损耗的确定和测量需由用户与制造厂协商。

本标准只涉及星接(Y接)和角接(D接)的变压器,对于其他联结,须由用户与制造厂协商。

1.2 分类

变流器的分类及其应用见 GB/T 3859.1 和 GB/T 3859.2,从变压器设计角度看,有必要区分下述两种情况:

——对变压器施加实际正弦波电压;

采用说明:

[1] 按照我国的国情,设备最高电压等级与 IEC 61378-1 标准有所不同,IEC 61378-1 标准规定为:36 kV。

——对变压器施加非正弦波电压,此时,由供交流电源控制或频率变换用的变流器电路对变压器一次侧励磁。

此外,区分下述两种应用场合也同样地重要,即:

——连续负载,如电解、直流电弧炉等,

——周期短或不规则变化的负载,如可逆式轧钢电动机驱动装置等。

变压器技术规范中应给出变流设备使用方面的信息。详见本标准下述有关条款。

1.3 正常使用条件

变压器正常使用条件按 GB 1094.1、GB 1094.2、GB 6450 和 GB/T 3859.1。

按 GB/T 3859.1,交流电压与额定电压或分接电压的任何偏差、正弦波形或三相对称度的偏差应符合 B 级抗扰度限值。如果变流器是由非正弦电压,如由逆变器或变频器供电,须在规范中给出运行电压波形和频率的变动范围。施加电压周期中的直流分量也是一项重要的信息亦应给出。

2 引用标准

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

- GB 1094.1—1996 电力变压器 第一部分:总则(eqv IEC 60076-1:1993)
- GB 1094.2—1996 电力变压器 第二部分:温升(eqv IEC 60076-2:1993)
- GB 1094.3—1985 电力变压器 第三部分:绝缘水平和绝缘试验(neq IEC 60076-3:1980)
- GB 1094.5—1985 电力变压器 第五部分:承受短路的能力(neq IEC 60076-5:1976)
- GB/T 2900.15—1997 电工术语 变压器、互感器、调压器和电抗器(neq IEC 50(421):1990、IEC 50(321):1986)
- GB/T 3859.1—1993 半导体变流器 基本要求的规定(eqv IEC 60146-1-1:1991)
- GB/T 3859.2—1993 半导体变流器 应用导则(eqv IEC 60146-1-2:1991)
- GB 6450—1986 干式电力变压器(eqv IEC 60726:1982)
- GB/T 10229—1988 电抗器(eqv IEC 60289:1987)
- GB/T 13499—1992 电力变压器应用导则(eqv IEC 60606:1978)
- GB/T 15164—1994 油浸式电力变压器负载导则(idt IEC 60354:1991)
- GB/T 17211—1998 干式电力变压器负载导则(eqv IEC 60905:1987)

3 定义

GB/T 2900.15 中的定义,适用于本标准。更多的有关变压器和变流器特殊术语的补充定义分别在 GB 1094.1 和 GB/T 3859.1 中给出。其中有些术语定义与 GB/T 2900 系列标准中有关早先定义的同术语有些不同,对此,应优先采用 GB 1094.1 和 GB/T 3859.1 标准中规定的术语。

4 额定参数

应符合 GB 1094.1,但有如下补充和说明:

变流变压器的负载是非正弦波电流负载,有时还在非正弦波电压下工作。甚至在某些应用中,其频率亦可能明显地改变。

变压器的额定值用稳态基波正弦参数值表示,试验和保证均是以它为基准。

以下各条提供了如何从变流器的详细规范和其他有关负载的信息来确定变压器额定值的指导原则。

4.1 额定频率下的额定容量和负载能力

变流变压器额定容量(指网侧)是由电压和电流的基波分量来决定的,因此额定三相容量是:

$$S_R = \sqrt{3} \times U_1 \times I_1$$

式中： U_1 ——线电压基波分量方均根值；

I_1 ——额定线电流基波分量方均根值。

在确定变压器温升和冷却要求时，应考虑谐波引起的损耗增加值（见第5章）。

变压器的负载能力实质上与绕组内的温度有关。如果负载变化迅速，其峰值负载持续时间为5 min或以下，则变压器的额定容量是由负载损耗的长期平均值来确定的。

如果负载变化超过上述规定时间，可能要详细地研究负载脉冲期间或负载周期期间的最高温升峰值。至于按绝缘系统热老化率确定等值恒定负载的一般导则，对于油浸式变压器，见GB/T 15164；对于干式变压器，见GB/T 17211。由此确定的等值恒定负载，可认为是变压器的额定容量。

注：考虑到电力变压器的热时间常数大，上述规则是正确的。GB/T 3859.1—1993表7中列出了许多常用的负载周期图，它们代表了不同的交流器工作方式。这些负载周期图可以按上述规则予以验证。

负载变化图，应由用户在变压器技术规范中列出，以便确定合适的额定容量值。

4.2 额定电压和运行电压

4.2.1 变压器由交流电源系统励磁

对于接到交流电源系统的交流变压器，其额定电压应按GB 1094.1和GB/T 13499的规定。

4.2.2 变压器由变频或不变频的变流器/逆变器励磁

对于变压器电压有明显畸变的交流应用场合，其额定电压是指由最高连续运行电压的傅立叶频谱中导出的正弦基波分量的方均根值。

对于具有这种畸变的变压器电压或具有变频的应用场合，应在技术规范中给出各种不同运行条件下施加的电压。

注：对于上述应用，决定性参数是磁路中磁通密度的峰值，而不是非正弦电压的峰值。此磁通值是由半个周期的电压时间积分确定。在连续运行下，此值是最大值。如果存在电压时间积分短时较高值，则技术规范中也应包括它们在内，以便对可能的过励磁进行检查。

变压器空载铁心损耗相对较低。因此，不必对空载损耗测量值进行电压谐波校正。

注：对应的磁通脉波（是一个时间积分值），相对地比短时电压峰值小些。

4.3 额定电流

变压器的额定电流是指与4.1中的额定容量相对应的电流基波分量的方均根值。

5 变压器和电抗器的负载损耗和电压降

负载损耗的测量应在额定电流下进行。负载损耗保证值应以该测量值为依据。

运行中的实际负载损耗包括由畸变电流引起的附加损耗。此时的损耗值应按5.1条所述方法计算，它不是保证值，但变压器制造厂应向用户提供此值。

上述计算的实际负载损耗，应作为确定油和绕组温升的依据，且要验证它们不超过GB 1094.2（对于油浸式变压器）和GB 6450（对于干式变压器）的允许限值。

如有规定，变压器温升型式试验应在允许的运行负载损耗下进行（见5.1和6.4）。

5.1 在非正弦电流负载下变压器负载损耗的确定

变压器负载损耗通常分为用直流测得的电阻损耗（ I^2R ）、绕组和引线的涡流损耗以及变压器导电构件中杂散损耗。

对具有低电压大电流绕组的变压器，由于电流达几千安的范围，故对其内部大电流连接线中的附加涡流损耗需要进行单独的分析。本标准采用如下几个原则：

a) 高导电率（如铜或铝）的绕组连接线和金属屏蔽是线性元件，其损耗与电流的平方成正比，即：

$$P(I) = \text{常数} \times I^2$$

b) 对于用在非饱和条件下的导磁钢屏蔽，也有相类似的关系式，即：

$$P(B) = \text{常数} \times B^2$$

式中： B ——磁屏蔽中的磁通密度；

c) 对钢结构件中的杂散损耗，也可用二次方的关系式，它仍有一定的准确性：

$$P(B) = \text{常数} \times B^2$$

式中： $B^2 = \text{常数} \times I^2$

在正常运行中，变流变压器负载电流波形是非正弦的，当展开为傅立叶级数时，表示有大量的谐波存在。此非正弦电流增大了涡流损耗和杂散损耗，总损耗比按纯正弦电流下所计算的或测出的总损耗值明显增大。

为了对变压器进行温升计算，也为了对成套变流设备的损耗和效率的正确计算，需要对额定的非正弦变流负载下的较高损耗值进行校正。因此，用户在订货前，应先规定谐波频谱。

用户有必要在订货前规定额定负载下的电流谐波频谱。若无此规定，谐波频谱可按 GB/T 3859.2—1993 的 6.6.2 和 6.6.4 推导。变流器中的负载损耗应由上述确定的谐波频谱和本条下述公式来计算。

下述规则适用于将试验下测得的损耗值换算至规定变流设备负载下的有效损耗值。

各种变量和它们之间关系的一览表如下：

- I_L 变压器非正弦波线电流方均根值；
- I_{LN} 额定变流负载下电流 I_L 的方均根值；
- I_{PN} 额定负载下非正弦波一次相电流方均根值；
- I_{SN} 额定负载下非正弦波二次相电流方均根值；
- I_{PT} 负载损耗试验(施加总负载损耗的初步近似值)时的一次相电流方均根值；
- I_{ST} 负载损耗试验时二次相电流(六相)方均根值；
- I_{WN} 试验时绕组额定电流方均根值；
- I_h h 次谐波电流方均根值；
- I_P 方均根值为 I_{PN} 的正弦波一次相电流；
- I_S 方均根值为 I_{SN} 的正弦波二次相电流；
- I_1 在额定负载(即变压器额定电流)下的基波电流方均根值；
- I_{1P} 变压器基波一次相电流的方均根值；
- I_{1S} 变压器基波二次相电流的方均根值；
- I_{eq} 测定绕组温升时的等效正弦波试验电流的方均根值；
- I_{dN} 额定直流；
- I_{d0} 约定空载直流电压；
- h 谐波次数；
- P_0 额定电压下的空载损耗；
- P_N 电流 I_{LN} 下的变压器负载损耗；
- P_1 电流 I_1 下的变压器负载损耗；
- P_W 电流 I_L 下的绕组损耗；
- P_{Wh} 电流 I_h 下的绕组损耗；
- P_{W1} 电流 I_1 下的绕组损耗；
- P_{WP} 电流 I_{LN} 下的一次绕组损耗；
- P_{WS} 电流 I_{LN} 下的二次绕组及其连接母线的总损耗；
- P_{WE} 电流 I_L 下的绕组涡流损耗；
- P_{WEh} 电流 I_h 下的绕组涡流损耗；

- P_{WE1} 电流 I_1 下的绕组涡流损耗;
 P_C 电流 I_L 下的连接线损耗;
 P_{Ch} 电流 I_h 下的连接线损耗;
 P_{C1} 电流 I_1 下的连接线损耗;
 P_{CE} 电流 I_L 下的连接线涡流损耗;
 P_{CEh} 电流 I_h 下的连接线涡流损耗;
 P_{CE1} 电流 I_1 下的连接线涡流损耗;
 P_{SE} 电流 I_L 下的结构件杂散损耗;
 P_{SE1} 电流 I_1 下的结构件杂散损耗;
 R_W 绕组直流电阻;
 R_C 连接线的直流电阻;
 F_{WE} 绕组涡流损耗附加系数(见附录 A);
 F_{CE} 连接线涡流损耗附加系数(见附录 A);
 F_{SE} 结构件杂散损耗附加系数(见附录 A);
 K_{WE} 绕组在基波下的涡流损耗附加系数(见附录 A);
 x 计算涡流损耗和杂散损耗增加值时用于谐波次数的指数。

$$I_L^2 = \sum_1^n I_h^2$$

$$P_{WE} = \sum_1^n P_{WEh} = F_{WE} \times P_{WE1} = P_W - R_W \times I_L^2$$

式中: R_W 是从网侧看去之值。

$$P_{WE1} = P_{W1} - R_W \times I_1^2$$

$$F_{WE} = \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^2$$

$$P_{CE} = \sum_1^n P_{CEh} = F_{CE} \times P_{CE1} = P_C - R_C \times I_L^2$$

式中: R_C 是从网侧看去之值。

$$P_{CE1} = P_{C1} - R_C \times I_1^2$$

$$F_{CE} = \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^{0.8}$$

$$F_{SE} = F_{CE}$$

$$K_{WE} = \frac{P_{WE1}}{R_W \times I_1^2} (\text{标么值})$$

变压器额定电流 I_1 下的负载损耗分成如下几项:

- I) 由绕组 R_W 及连接线 R_C (实测值) 产生的 $I_1^2 R$ 损耗;
 - II) 绕组中涡流损耗 P_{WE1} (计算值);
 - III) 大电流母线中涡流损耗 P_{CE1} (推导值);
 - IV) 钢结构件中因电磁感应产生的杂散损耗 P_{SE1} (推导值)。
- $P_{CE1} + P_{SE1}$ 之和是从测得的总损耗减去 I) 和 II) 两项后所得的差值。

采用下述关系式:

$$P_1 = I_1^2 (R_W + R_C) + P_{WE1} + P_{CE1} + P_{SE1}$$

$$P_N = I_{LN}^2 (R_W + R_C) + P_{WE} + P_{CE} + P_{SE}$$

$$= I_{LN}^2 (R_W + R_C) + F_{WE} \times P_{WE1} + F_{CE} \times P_{CE1} + F_{SE} \times P_{SE1}$$

注

- 1 P_{CE1} 与 P_{SE1} 之和随公共附加系数 $F_{CE}=F_{SE}$ 而增加,由此得到额定非正弦变流负载损耗。
- 2 变流变压器中不同绕组可能有不同的额定容量值,故 I^2R 和涡流损耗的比值也不同。上述等式中各分量视为各绕组分别计算值之和。
- 3 电阻测量可能不准,特别是当二次电压低而二次电流大的情况下,这是由于:
 - a) 低电阻测量困难;
 - b) 受短路设备的影响。

5.2 绕组几何排列对谐波涡流损耗的影响

对于三绕组变压器,在计算涡流损耗和钢结构件的附加损耗时,应考虑绕组排列。

在计算谐波对负载损耗影响时,有必要考虑下述两种情况。

情况 1:

a) 一次绕组径向布置在两个阀侧绕组之间(这两个阀侧绕组之间的磁耦合可以忽略)的双同心式变压器。

——对于一次绕组,电流谐波分量用下式表示:

$$h = p \times K \pm 1$$

式中: p 表示一次绕组的脉波数, K 为1、2、……、 n 的整数;

对于两个阀侧绕组,谐波分量用下式表示:

$$h = (p/2) \times K \pm 1$$

式中: $p/2$ 表示一个三相阀组的脉波数, K 为1、2、……、 n 的整数;

b) 对具有轴向布置的双二次绕组的双拍连接以及轴向布置的双一次绕组并联连接的变压器,其谐波分量用下式表示:

$$h = (p/2) \times K \pm 1$$

式中: $p/2$ 表示一个三相阀组的脉波数, K 为1、2、……、 n 的整数。

情况 2:

对于具有两个物理绕组的变压器,其外部大电流绕组是由两个电气阀侧绕组组成,它们是作为交叠式线饼连续地形成,分别作成D接和Y接绕组或都是Y接绕组(两个电气阀侧绕组之间的磁耦合实际上是100%),其谐波分量用下式表示:

$$h = p \times K \pm 1$$

式中: p 是脉波数, K 为1、2、……、 n 的整数。

可对照附录A(提示的附录)中的例A1和例A2。

注:Y接和D接阀侧绕组均各自接到六脉波变流器上。

5.3 相间变压器、电流平衡电抗器、串联平波电抗器和饱和电抗器的损耗

当相间变压器、电流平衡电抗器、串联平波电抗器和饱和电抗器作为变流器的组成部分与静态变流器相联时,作为变流器的组成部分,这些组件的损耗应按下述推导。

注:本条中的规则不包含个别标准中关于变流设备单个组件的规范。

5.3.1 相间变压器

制造厂应测出相间变压器的铁损,测量应在其正常运行频率以及能产生与变流器在额定电流、额定电压和规定相位控制角下运行相对应的磁通所计算出的电压值下进行。如不能提供运行频率,可用计算的损耗值。

绕组损耗应由直流电阻和直流电流平方的乘积来计算。

5.3.2 电流平衡电抗器

电流平衡电抗器中铁损较低,可忽略不计。

注:其绕组损耗可以从变流器损耗测量值中得出,也可由直流电阻和绕组中电流方均根值平方的乘积计算得出。

5.3.3 串联平波电抗器

通常,应按 GB/T 10229—1988 第 8 章。

由谐波脉波电流分量产生的铁损很小,可忽略不计。

注:其绕组损耗可以从变流器损耗测量值中得出,也可由直流电阻和绕组中电流方均根值平方的乘积计算得出。

5.3.4 饱和电抗器

推荐用宽频带瓦特表测量饱和电抗器铁损。铁心励磁磁势幅值在基频下不低于 5 000 A/m。

通过饱和电抗器工作绕组的大电流电路损耗,应由在参考温度下测得的或计算出的直流电阻和额定负载下非正弦波绕组电流方均根值计算。

注

1 测量铁损时,允许使用一个合适的试验电流而得到所要的磁势的试验绕组,或者,可以使用控制绕组或偏移励磁绕组。

2 由此得出的这些损耗,将用于效率计算。

5.4 变压器和电抗器的电压降

电压降应由损耗测量值,用 GB/T 3859.1 所列公式计算出。

6 变流变压器试验

除本条另有规定外,油浸式变压器全部试验应按 GB 1094.1、GB 1094.2 和 GB 1094.3 进行,干式变压器按 GB 6450 进行。

按 GB 1094.1—1996 第 10.1.1、10.1.2 和 10.1.3 及 GB 6450—1986 第 5 章,变压器试验分为例行试验、型式试验和特殊试验。

6.1 换向电抗测量和感抗电压降测定

6.1.1 换向电抗

测量换向电抗时,应将变压器网侧端子短路。应使同一换相组中两个连续相通过如第 6.1.2b) 规定的基频交流电流方均根值,并测量这些端子之间的电压。换向电抗 $2 \times X_t$ 等于由本测量结果计算出的阻抗中的电感分量值。对同一换相组中的各对相,至少应进行两次测量,然后取这些测量值的算术平均值作为换相电抗值。

在进行上述试验时,若同一网侧绕组向一个同时换相的并联或串联连接的换相组供电,则与这些换相组相对应的绕组,应逐相地并联连接。

6.1.2 感抗电压调整率

感抗电压调整率应由下述两种方法之一确定。

a) 计算法,用公式

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_t \times \frac{I_{dN}}{U_{d10}}$$

b) 所通过的方均根电流等于 $\frac{\sqrt{2}}{4} \times \frac{\delta}{g} \times I_{dN}$, 测量方法按 6.1.1 所述。

式中: g —— I_{dN} 分流流过换相组的组数;

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 ——每个一次绕组同时换相的换相组数。

此时,用端子间额定电压 U_{v0} 的标么值表示的输入电压感抗分量,称为感抗电压调整率 d_{xt1} 。

对表 1 给出的联结组,其感抗电压调整率可从 17 栏所规定的二次绕组短路试验结果计算出,但联结组 3、4、6、9 和 12 除外。对这些联结组,推荐用 6.1.1 规定的短路试验(见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.4)。

6.2 电压比测量和相位移校验

电压比测量应在每个分接上进行,并应对相位移进行校验。

6.3 负载损耗试验

应在额定电流和基频下进行负载试验,由此得到交流变压器的负载损耗。

对于常用的联结组,表1中的13、14和15栏给出了合适的短路试验接线。

分别测量A、B和C每个短路组合下的损耗,用所测得的损耗值 P_A 、 P_B 和 P_C 按表1第16栏相关的公式计算总损耗。

注:计算的负载损耗值是假定电流为矩形波得出的。在本标准中,该损耗是以用户提供的谐波电流频谱为依据。

试验结果应按下述参考温度进行校正:

——对油浸式变压器,为75℃(见GB 1094.1—1996的10.1);

——对干式变压器,按GB 6450有关试验通用要求。

6.4 温升试验

以下6.4.1和6.4.2是对GB 1094.2—1996的5.2.2关于油浸式变压器温升试验方法的修改。

这些条款,如果适用,也可作为指导干式变压器试验(见GB 6450)的原则。

本试验目的是:

——确定稳态下由总损耗产生的顶层油温升,此总损耗值等于额定非正弦变流器负载电流和变压器额定正弦电压下所产生的损耗;

——确定同一条件下绕组对油的温差;

——确定干式变压器绕组对环境的温升。

油和绕组温升值是用6.4.1和6.4.2所规定的方法测定。

6.4.1 总损耗的输入

总损耗是负载损耗加空载损耗之和。负载损耗是由额定非正弦变流器电流产生的(见5.1),空载损耗则是与变压器额定电压相对应之值。

应测量变压器的输入损耗。应对基波工频电流 I 进行调整,以便获得规定的总损耗试验值。

如果受试验设备限制,输入损耗允许降低到不低于规定值的80%(见GB 1094.2—1996的5.2.3和5.6)。然后,应对试验结束时所测定的温升值进行修正。

注

1 当一台变流变压器具有两个额定容量、额定电压和阻抗均相同的二次绕组时,试验时,可将此两个二次绕组同时短路。

2 应考虑短路试验期间某一绕组有可能出现过载的情况,以便确定是否要降低输入的试验损耗,见附录B(提示的附录)。

6.4.2 额定负载损耗的输入

6.4.2.1 双绕组变压器

当顶层油温升测出后,应将正弦试验电流调节到与额定变流器电流下负载损耗等效的电流值继续进行试验,持续1h,此间,应对油和冷却介质温度进行测量。

等效试验电流等于:

$$I_{eq} = I_1 \left(\frac{I_{LN}^2 (R_w + R_c) + (F_{WE} \times P_{WE1})}{I_1^2 (R_w + R_c) + P_{WE1}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

温升试验终了时,应测定两个绕组的温度。可在切断电源和断开短路接线后的冷却期间,分别测量两个绕组的一系列电阻值来确定。详见GB 1094.2—1996的5.2.2和5.5以及附录C中的C2和C3。

6.4.2.2 多绕组变压器

最常见的情况是带有两个额定容量相同的二次绕组的三绕组变流变压器。两个二次绕组的三相联结方式或是作成带相间变压器的星-星联接,或者,一个为星接而另一个为角接。

应依次对每个绕组供给等效试验电流以得到绕组的温升值。

等效电流的通用公式如下：

$$I_{\text{eq}} = I_1 \left(\frac{I_{\text{WN}}^2 (R_{\text{W}} + R_{\text{C}}) + (F_{\text{WE}} \times P_{\text{WE1}})}{I_1^2 (R_{\text{W}} + R_{\text{C}}) + P_{\text{WE1}}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

各绕组等效试验电流值应用其电阻、涡流损耗和附加系数来求出。

注

- 1 对于二次侧带大电流母线系统的变流变压器,很难甚至不可能迅速断开短路接线。此时,涉及绕组温升的问题应由用户和制造厂进行协商。
- 2 受试绕组的附加系数 F_{WE} ,按附录 A 计算,但要用 I_{WN} 代替 I_{L} 。

试验应按下述方式进行：

两个二次绕组均应短路,输入等效一次电流以得到一次绕组对平均油温的温差。然后,依次将每个二次绕组短路,输入一次电流以使受试二次绕组中的电流等于等效电流。从这两次试验便可得出二次绕组对平均油温的温差。

另一种方法是,仅用上述方法中两个二次绕组同时短路的试验。由此试验测得的二次绕组温升值应按 GB 1094.2—1996 的 5.6 校正。

6.4.3 干式变压器的温升试验

试验应按 GB 6450 给出的任何一种方法进行,但有下列修改：

负载电流应按附录 A(提示的附录)及 6.4.2 的公式,调整到与额定变流器电流下的负载损耗相对应之值。

表 1 联结和

联结代号	变流器联结		阀联结	P	q	$(\delta q_s)/g$ (注 1)	网侧电流因数	阀侧电流因数
	网侧	阀侧					(注 2) I_L/I_d	(注 3) I_v/I_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
单变流器,								
1				2	2	2	0.5	0.707 ($1/\sqrt{2}$)
2	或 			3	3	3	0.471 ($\sqrt{2}/3$)	0.577 ($1/\sqrt{3}$)
3				6	6	6	0.816 ($\sqrt{2}/3$)	0.408 ($1/\sqrt{6}$)
4	或 			6	6	6	0.816 ($\sqrt{2}/3$)	0.408 ($1/\sqrt{6}$)
5	或 			6	3	3/2	0.408 ($1/\sqrt{6}$)	0.289 ($1/(2\sqrt{3})$)
6				6	3	2/3	0.272 ($(1/3)\sqrt{2}/3$)	0.236 ($1/(3\sqrt{2})$)
单变流器, 均								
7				2	2	8	1	1
8	或 			6	3	6	0.816 ($\sqrt{2}/3$)	0.816 ($\sqrt{2}/3$)
9	或 			12	3	3	0.789 ($(1+\sqrt{3})/(2\sqrt{3})$)	0.408 ($1/\sqrt{6}$)

注

1 见 GB/T 3859.2—1993 的 5.5.2 和 5.7.1.4。

2 指变压器一次侧, 见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.2。

3 指变压器二次侧, 见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.3。

4 $I < u; 0.707(1/\sqrt{2})$; $I > u; 0.354(1/2\sqrt{2})$; $\cos u = 1 - X_t \times I_d / \sqrt{2} \times U_{v0}$ 。

5 r_2 是一个单元绕组的电阻。

计算因数

$(U_{di})/(U_{v0})$	$(U_{iM})/(U_{di})$	$(d_{xN})/(e_{xN})$	变压器损耗试验时短接的端子			变流器运行时 绕组总损耗	测量 e_{xN} 时 短路的端子
			A	B	C		
10	11	12	13	14	15	16	17
单拍联结							
0.45 $(\sqrt{2}/\pi)$	3.14 (π)	0.707 $(1/\sqrt{2})$	0-1	0-2		$0.5(P_A+P_B)$	1-2
0.675 $(3/(\pi\sqrt{2}))$	2.09 $(2\pi/3)$	0.866 $(\sqrt{3}/2)$	1-2-3			$P_A+I_a^2r_2/3$ (注5)	1-2-3
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	2.09 $(2\pi/3)$	1.5到0.5	1-3-5	2-4-6		$0.75(P_A+P_B)$	1-3-5和2-4-6 结果的平均
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	2.09 $(2\pi/3)$	1.5到0.5	1-2 3-4 5-6	2-3 4-5 6-1	1-3-5和2-4-6 结果的平均	$(P_A+2P_B+3P_C)/6$	1-3-5和2-4-6 结果的平均
0.675 $(3/(\pi\sqrt{2}))$	2.42 $(4\pi/(3\sqrt{3}))$	0.5	1-3-5	2-4-6		$0.5(P_A+P_B)$	1-3-5和2-4-6 结果的平均
0.45 $(\sqrt{2}/\pi)$	3.14 (π)	0.75到0.5	1-3-5 I - II - III	2-4-6 I - II - III		$1.125(P_A+P_B)/2$	1-4 2-5 3-6
匀双拍联结							
0.9 $((2\sqrt{2})/\pi)$	1.57 $(\pi/2)$	0.707 $(1/\sqrt{2})$ (注4)	1-2			P_A	1-2
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	1.05 $(\pi/3)$	0.5	1-2-3			P_A	1-2-3
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	1.05 $(\pi/3)$	0.26	1-3-5	2-4-6	1-3-5 2-4-6	$0.035(P_A+P_B)+0.93P_C$	1-3-5和2-4-6 结果的平均

表 1

联结代号	变流器联结		阀联结	P	q	$(\delta qs)/g$ (注 1)	网侧电流因数 (注 2) I_L/I_d	阀侧电流因数 (注 3) I_v/I_d
	网侧	阀侧						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	同代号 9, 但有两个不同的变压器		同代号 9	12	3	3	0.789 $(1 + \sqrt{3}) / (2\sqrt{3})$	0.408 $(1 / \sqrt{6})$
11				12	3	3	0.789 $(1 + \sqrt{3}) / (2\sqrt{3})$	0.408 $(1 / \sqrt{6})$
12				12	3	12	1.577 $((1 + \sqrt{3}) / \sqrt{3})$	0.816 $(\sqrt{2/3})$
13	同代号 12, 但有两个不同的变压器		同代号 12	12	3	12	1.577 $((1 + \sqrt{3}) / \sqrt{3})$	0.816 $(\sqrt{2/3})$
单变流器, 非均								
14				2	2	—	$\sqrt{((\pi - \alpha) / \pi)}$	$\sqrt{((\pi - \alpha) / \pi)}$
15				6	3	—	见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.2	见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.3
双变流								
16							见联结	
17							见联结	
18							见联结	
19							见联结	
<p>注</p> <p>1 见 GB/T 3859.2—1993 的 5.5.2 和 5.7.1.4。</p> <p>2 指变压器一次侧, 见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.2。</p> <p>3 指变压器二次侧, 见 GB/T 3859.2—1993 的 5.3.3。</p> <p>4 $I < u; 0.707(1/\sqrt{2}); I > u; 0.354(1/2\sqrt{2}); \cos u = 1 - X_t \times I_d / \sqrt{2} \times U_{v0}$。</p> <p>5 r_2 是一个单元绕组的电阻。</p>								

(完)

$(U_{di})/(U_{v0})$	$(U_{iM})/(U_{di})$	$(d_{xIN})/(e_{xN})$	变压器损耗试验时短接的端子			变流器运行时 绕组总损耗	测量 e_{xN} 时 短路的端子
			A	B	C		
10	11	12	13	14	15	16	17
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	1.05 $(\pi/3)$	0.52			1-3-5 2-4-6	$1.07P_C$	1-3-5 和 2-4-6 结果的平均
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	1.05 $(\pi/3)$	0.26	1-3-5 和 2-4-6 结果的平均	2-3 4-5 6-1	1-2 3-4 5-6	$1.34P_A - 0.08P_B$ $- 0.27P_C$	
2.7 $((6\sqrt{2})/\pi)$	0.524 $(\pi/6)$	0.26	1-3-5	2-4-6	1-3-5 2-4-6	$0.035(P_A + P_B)$ $+ 0.93P_C$	
2.7 $((6\sqrt{2})/\pi)$	0.524 $(\pi/6)$	0.52			1-3-5 2-4-6	$1.07P_C$	1-3-5 2-4-6
匀双拍联结							
0.9 $((2\sqrt{2})/\pi)$	1.57 $(\pi/2)$	0.707 $(1/\sqrt{2})$ (注4)	1-2			P_A	1-2
1.35 $((3\sqrt{2})/\pi)$	1.05 $(\pi/2)$	0.5	1-2-3			P_A	1-2-3
器联结							
代号 5							
代号 5							
代号 8							
代号 8							

附录 A

(提示的附录)

按变压器额定基波电流下的损耗测量值确定
额定非正弦变流电流下的变压器运行负载损耗

利用 5.1 条所列的符号表,可得出下述绕组损耗关系式:

$$P_{w1} = R_w \times I_1^2 (1 + K_{WE} \times 1^x)$$

$$P_{w2} = R_w \times I_2^2 (1 + K_{WE} \times 2^x)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$P_{wh} = R_w \times I_h^2 (1 + K_{WE} \times h^x)$$

$$P_w = R_w \times I_L^2 + R_w \times K_{WE} \times \sum_1^n I_h^2 \times h^x$$

因此

$$\frac{P_w - R_w \times I_L^2}{P_{w1} - R_w \times I_1^2} = \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^x$$

当 $x=2$ 时,绕组附加系数等于:

$$F_{WE} = \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^2$$

在大电流母线连接系统中,其损耗的基本规则与绕组相同,但指数 x 较小。当 $x=0.8$ 时,引线的附加系数等于:

$$\frac{P_C - R_C \times I_L^2}{P_{C1} - R_C \times I_1^2} = \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^{0.8} = F_{CE}$$

根据有关的研究,结构件中杂散损耗附加系数可取母线系统中的系数。

$$F_{SE} = \frac{P_{SE}}{P_{SE1}} = F_{CE}$$

更通用的损耗计算如下:

a) 绕组损耗 P_{w1} 是测得的 $I_1^2 \times R_w$ 损耗与计算的涡流损耗 P_{WE1} 之和。

$$P_{w1} = (I_1^2 \times R_w) + P_{WE1}$$

b) 连接线涡流损耗 P_{CE1} 和结构件中杂散损耗 P_{SE1} 之和等于测得的总损耗 P_1 减去按 a) 项计算的绕组损耗 P_{w1} ,再减去测得的连接线损耗 $I_1^2 \times R_C$,即:

$$P_{CE1} + P_{SE1} = P_1 - (P_{w1} + (I_1^2 \times R_C))$$

非正弦电流下的总损耗为:

$$P_N = I_{LN}^2 \times (R_w + R_C) + (F_{WE} \times P_{WE1}) + F_{CE} \times (P_{CE1} + P_{SE1})$$

上述计算中的所有损耗分量均应校正到参考温度。

上述等式中各分量应是各绕组分别计算值的总和。

由计算的绕组涡流损耗 P_{WE1} 和测得的损耗 $I_1^2 \times R_w$ 便能得到绕组总损耗 P_{w1} 的准确值。

连接线和结构件中的杂散损耗 $P_{CE1} + P_{SE1}$ 可从测出的总损耗 P_1 减去绕组损耗 P_{w1} ,再减去测得的连接线直流损耗 $I_1^2 \times R_C$ 后准确地得出。

绕组涡流损耗附加系数的另一种计算方法

如果已知由轴向和辐向杂散磁通分别产生的绕组涡流损耗 P_{WEax1} 和 P_{WErad1} 就可更准确地推算绕组涡流损耗附加系数 F_{WE} 。这可用电磁场分析有限元法对基波进行计算来得到。

对于由多根导线绕制的常规绕组,它在谐波下的杂散磁场分布与基波下的杂散磁场分布相同,故可推导出下述关系式。

导线的尺寸与渗透深度的关系分别为:

$$X_{ah} = t \times \left(\frac{\mu_0 \times \omega_1 \times h}{2 \times \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$X_{rh} = s \times \left(\frac{\mu_0 \times \omega_1 \times h}{2 \times \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中: ω_1 ——基波脉波数;
 h ——谐波次数。

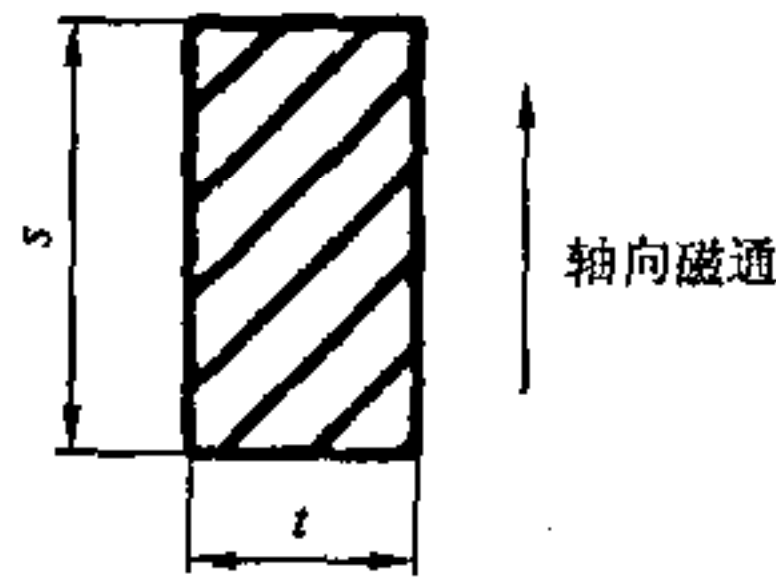


图 A1 绕组导线截面

在 $h \times \omega_1$ 次频率下的附加电阻 R_{ADh} 可定义为:

$$R_{ADh} = R_h - R_w \dots\dots\dots (A1)$$

式中: R_h —— $h \times \omega_1$ 次频率下的绕组电阻。

附加电阻 R_{ADh} 对基波下的阻 R_{AD1} 的增量,对于绕组中的所有导线都是一样的,当忽略每根导线的涡流损耗时,便可得到如下的表示式:

$$\frac{R_{ADh}}{R_{AD1}} = \frac{\psi(X_h)}{\psi(X_1)} \dots\dots\dots (A2)$$

式中: $\psi(X_h) = 2X_h \times \frac{\sinh X_h - \sin X_h}{\cosh X_h + \cos X_h}$

因此,绕组附加系数 F_{WE} 的表达式可以表示为:

$$F_{WE} = \frac{P_{WEax1}}{P_{WE1}} \times \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times \frac{\psi(X_{ah})}{\psi(X_1)} + \frac{P_{WErad1}}{P_{WE1}} \times \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times \frac{\psi(X_{rh})}{\psi(X_1)} \dots\dots (A3)$$

对于箔绕组,绕组附加系数为:

$$F_{WE} = \frac{P_{WEax1}}{P_{WE1}} \times \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^2 + \frac{P_{WErad1}}{P_{WE1}} \times \sum_1^n \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (A4)$$

例 A1: 在非正弦负载电流下的变压器负载损耗的确定
 (线路图见表 1, 联结组代号 5, 阀侧绕组之间的磁耦合为 100%, $p=6$)

变压器额定参数	一次	二次
额定容量(kVA)	18 180	2×12 850
额定系统电压(kV)	30	$\sqrt{3} \times 0.303$
额定变压器相电流(A)	$I_{1P}=350$	$I_{1S}=14\ 128$
联结组	Y	yy0

相间变压器装在公共油箱内。

变流器的额定参数 $U_{d0}=354\text{V}$
 $I_{dN}=50\ 000\text{A}$

额定负载下的谐波分量: $I_{1P}=350\text{A}$

谐波次数 h	I_h/I_1
1	1
5	176.0×10^{-3}
7	110.0×10^{-3}
11	44.7×10^{-3}
13	26.4×10^{-3}
17	11.8×10^{-3}
19	10.6×10^{-3}
23	8.7×10^{-3}
25	8.6×10^{-3}

$$\sum_1^{25} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 = 1.046 = \left(\frac{I_{PN}}{I_{1P}} \right)^2 = \left(\frac{I_{SN}}{I_{1S}} \right)^2$$

$$\frac{I_{PN}}{I_{1P}} = 1.023 = \frac{I_{SN}}{I_{1S}}; \text{六脉波的一次和二次}$$

$$I_{PN} = 358 \text{ A}$$

$$I_{SN} = 14\,450 \text{ A}$$

$$F_{WE} = \sum_1^{25} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^2 = 2.89$$

$$F_{CE} = F_{SE} = \sum_1^{25} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^{0.8} = 1.19$$

从试验中得出绕组温度为 20℃ 时的电阻测量值见下表:

连接端子(见图 A2)	测得的相电阻 Ω	校正 75℃ 时值 Ω
A-B-C	$\frac{1}{2} \times \frac{0.146\,8 + 0.146\,3 + 0.145\,7}{3} = 73.13 \times 10^{-3}$	88.9×10^{-3}
a-c-e	$\frac{1}{2} \times \frac{869 + 905 + 867}{3} \times 10^{-7} = 44.0 \times 10^{-6}$	53.5×10^{-6}
b-d-f	$\frac{1}{2} \times \frac{875 + 907 + 876}{3} \times 10^{-7} = 44.3 \times 10^{-6}$	53.8×10^{-6}
o-n	14.7×10^{-6}	17.9×10^{-6}
o-p	13.6×10^{-6}	16.5×10^{-6}

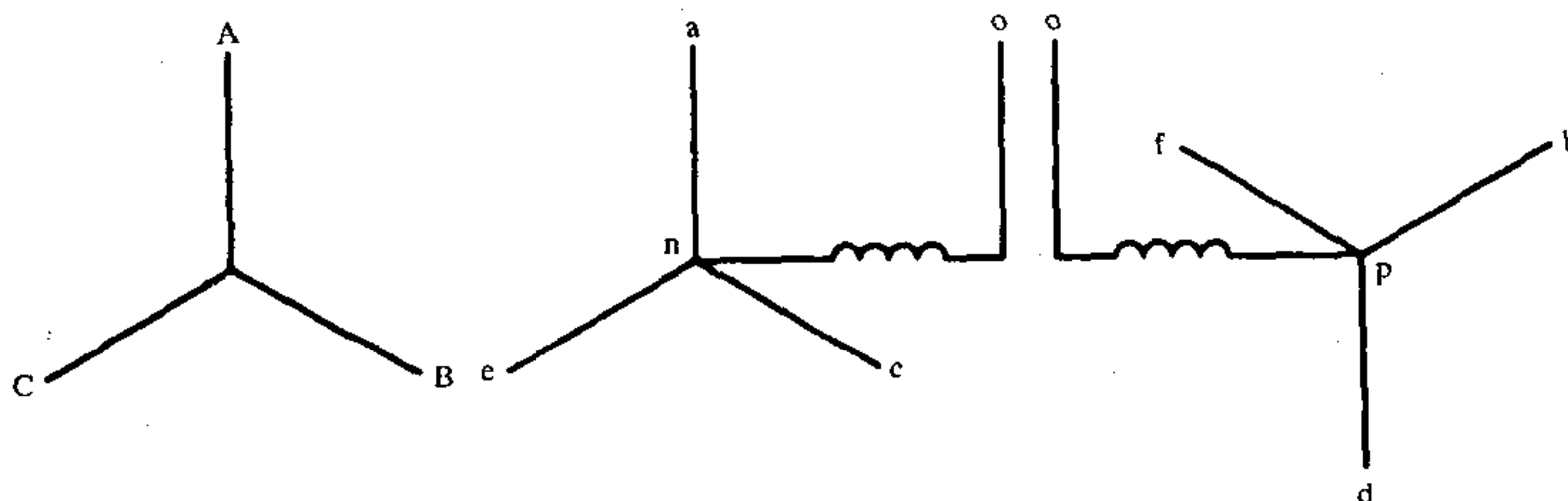


图 A2 绕组联结组 Y yy0 的端子标志

在绕组温度为 75℃, 50 Hz 和额定电流 $I_{1P} = 350 \text{ A}$ 及 $I_{1S} = 14\,128 \text{ A}$ 下测得的负载损耗:

$P_1 = 124.3 \text{ kW}$

变压器绕组和连接线在 75℃ 及额定电流下的损耗 I^2R :

一次 $I^2R = 3 \times 350^2 \times 88.9 \times 10^{-3} = 32.7 \text{ kW}$

二次 $I^2R = 3 \times 14\,128^2 \times 53.5 \times 10^{-6} = 32.0 \text{ kW}$

三次 $I^2R = 3 \times 14\,128^2 \times 53.8 \times 10^{-6} = 32.2 \text{ kW}$

绕组和连接线 $\Sigma 96.9 \text{ kW}$

75℃ 下的涡流损耗计算值: 3.4 kW

$\Sigma 100.3 \text{ kW}$: 保证值的基准值

变压器连接线的涡流损耗与结构件杂散损耗之和为:

$P_{CE1} + P_{SE1} = P_1 - (\Sigma I^2R + P_{WE1}) = 124.3 - 100.3 = 24 \text{ kW}$

非正弦电流下变流变压器的总负载损耗:

$P_N = (1.046 \times 96.9) + (2.89 \times 3.4) + (1.19 \times 24) = 140 \text{ kW}$ (对 I_{PN}/I_{SN} 值)

相间变压器的负载损耗:

$I^2R = 25\,000^2 \times (17.9 + 16.5) \times 10^{-6} = 21.5 \text{ kW}$

变流器负载电流是用变压器变流负载的基波电流加上全部负载条件下的各谐波分量。

选择变压器容量, 应以满足温升要求的最苛刻的基波和谐波电流组合进行。由此, 变压器额定容量不必与变流器的额定负载相对应, 见 4.1。

例 A2: 在非正弦电流负载下的变压器负载损耗的确定

(线路图见表 1, 联结组代号 12, 阀侧绕组之间的磁耦合为 100%, $p=12$)

变压器额定参数	一次	二次	
额定容量(kVA)	8 310	4 323	4 280
额定系统电压(kV)	6.3	0.588	0.582
额定变压器相电流(A)	$I_{1P}=439.7$	$I_{1S}=2\,451$	$I_{1S}=4\,246$
联结组	D	d	y

二次侧由串联的两个六脉波电桥构成

变流器额定参数 $U_{d0}=1\,580 \text{ V}$

$I_{dN}=5\,200 \text{ A}$

额定负载(439.7/2 451/4 246)A 下的谐波含量

谐波次数	I_h/I_1
h	
1	1
11	71.8×10^{-3}
13	55.2×10^{-3}
23	15.0×10^{-3}
25	11.7×10^{-3}

$\sum_1^{25} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2 = 1.008 = \left(\frac{I_{PN}}{I_{1P}}\right)^2 = \left(\frac{I_{SN}}{I_{1S}}\right)^2; \frac{I_{PN}}{I_{1P}} = 1.004 = \frac{I_{SN}}{I_{1S}}$; 十二脉波的一次和二次

	D	d	y
$I_{PN}(\text{A})$	441.5	—	—
$I_{SN}(\text{A})$	—	2 461	4 263

$$F_{WE} = \sum_1^{25} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^2 = 2.34$$

$$F_{CE} = F_{SE} = \sum_1^{25} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \times h^{0.8} = 1.06$$

由试验报告得出的测量值:

连接端子 (见图 A3)	在 21.5°C 下测得的校正到每相的相电阻值 Ω	校正到 75°C 之值 Ω
A-B-C	$1.5 \times 17.5 \times 10^{-3} = 26.3 \times 10^{-3}$	31.7×10^{-3}
a-c-e	$1.5 \times 0.374 \times 10^{-3} = 0.561 \times 10^{-6}$	0.678×10^{-6}
b-d-f	$0.5 \times 0.378 \times 10^{-3} = 0.189 \times 10^{-6}$	0.228×10^{-6}

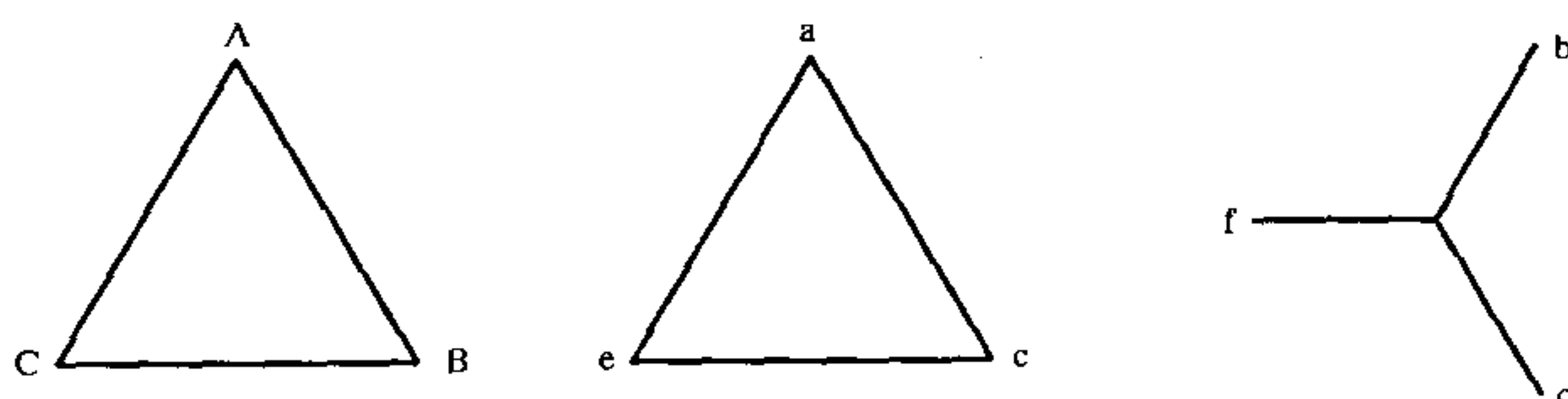


图 A3 绕组联结组 Ddy 的端子标志

在绕组温度为 75°C, 频率为 50 Hz 和额定电流 $I_{IP} = 439.7$ A 及 $I_{IS} = 2451$ A 或 4246 A 下测得的负载损耗为: $P_1 = 50.92$ kW

一次 $I^2R = 3 \times 439.7^2 \times 31.7 \times 10^{-3} = 18.39$ kW

二次 $I^2R = 3 \times 2451^2 \times 0.678 \times 10^{-6} = 12.22$ kW

三次 $I^2R = 3 \times 4246^2 \times 0.228 \times 10^{-6} = 12.33$ kW

绕组和连接线	Σ42.94 kW
75°C 下的涡流损耗计算值	1.39 kW

Σ44.33 kW: 保证值的基准值

变压器的连接线中的涡流损耗及其结构件杂散损耗之和为:

$$P_{CE1} + P_{SE1} = P_1 - (\Sigma I^2R + P_{WE1}) = 50.92 - 44.33 = 6.59$$
 kW

非正弦电流下变流变压器的总负载损耗:

$$P_N = (1.008 \times 42.94) + (2.34 \times 1.39) + (1.06 \times 6.59) = 53.52$$
 kW (对 I_{PN}/I_{SN} 值)

注: 在例 A1 和 A2 计算中, 每相两个二次阀侧绕组之间的磁耦合取接近于 100%。因此, 例 A1 所有绕组的涡流损耗是按六脉波得出的, 例 A2 是按 12 脉波得出的(见 5.2 条)。

采用另一种设计, 可使二次阀侧绕组之间的磁耦合接近于零。此时, 要求按下述条件计算 F_{WE} 和 F_{CE} , 对于二次阀侧绕组, 在例 A1 中是按三脉波进行计算; 在例 A2 中则按六脉波进行计算。

附录 B

(提示的附录)

单拍变流器用的变压器短路试验电流和负载损耗(输入总损耗)

对单拍联结的变流器,每相中的一次电流和二次负载电流的关系式为:

$$I_P = I_S \times \sqrt{2} \text{ (相数比 } 1:1 \text{)}$$

在负载损耗试验中,存在如下的关系式:

$$I_{PT} = 2 \times I_{ST}$$

因此,试验中的一次电流增加 $\sqrt{2}$ 倍。

在负载损耗试验中,为了供给绕组总损耗 P_w ,必须按 I_{PT}/I_P 增加一次试验电流 I_{PT} 。

由此:

$$\left(\frac{I_{PT}}{I_P}\right)^2 \times \left(P_{WP} + \frac{P_{WS}}{2}\right) = P_w$$

或

$$\frac{I_{PT}}{I_P} = \left(\frac{2P_w}{2P_{WP} + P_{WS}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

在包括空载损耗 P_0 后,总电流便增加为:

$$\frac{I_{PT}}{I_P} = \left(1 + \frac{P_0}{P_w}\right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{2P_w}{2P_{WP} + P_{WS}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

在试验情况下,可用下述关系式:

$$P_{WP} \approx \frac{1}{3}P_w; P_{WS} \approx \frac{2}{3}P_w; P_0 \approx 0.15P_w$$

由此得:

$$\frac{I_{PT}}{I_P} = \left(1.15 \times \frac{6}{4}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1.3$$

此试验电流将使一次绕组中的电流过载 30%。因此,应考虑此试验中的连续发热。

中华人民共和国
国家标准
变流变压器
第1部分:工业用变流变压器
GB/T 18494.1—2001

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

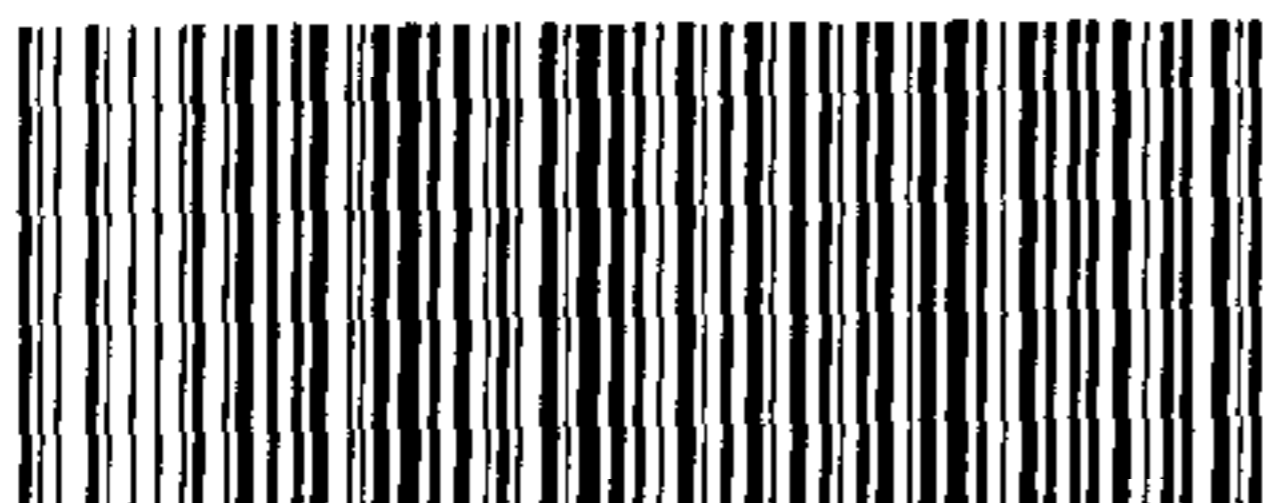
开本 880×1230 1/16 印张 1½ 字数 44 千字
2002年5月第一版 2002年5月第一次印刷
印数 1—2 000

*

书号:155066·1-18366

网址 www.bzcbs.com

版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 18494.1—2001