ICS 29.180
K 41

# 中华人民共和国国家标准

GB 1094.5—2003
eqv IEC 60076-5:2000

# 电力变压器
# 第5部分:承受短路的能力

# Power transformers—
# Part 5:Ability to withstand short circuit

2003-05-26 发布　　2004-01-01 实施

中华人民共和国
国家质量监督检验检疫总局　发布

# 目　　次

前言 …… Ⅲ
IEC 前言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　引用标准 …… 1
3　承受短路能力的要求 …… 1
3.1　总则 …… 1
3.2　过电流条件 …… 1
4　承受短路能力的验证 …… 4
4.1　承受短路的耐热能力 …… 4
4.2　承受短路的动稳定能力 …… 6
附录 A（提示的附录）　鉴别类似变压器的准则 …… 12
附录 B（标准的附录）　验证承受短路动稳定能力的计算方法 …… 12
附录 C（提示的附录）　采用说明 …… 13

# 前　　言

**本标准的全部技术内容为强制性。**

本标准是根据国际电工委员会出版物 IEC 60076-5:2000《电力变压器　第 5 部分:承受短路的能力》对国家标准 GB 1094.5—1985《电力变压器　第 5 部分:承受短路的能力》进行修订的,修订原则为等效采用 IEC 60076-5:2000 标准。

本标准自实施之日起代替 GB 1094.5—1985《电力变压器　第 5 部分:承受短路的能力》。

本标准与前版相比,主要在额定容量分类、系统短路视在容量值、短路后绕组平均温度的计算公式及短路试验后的故障检查和试验结果判断等方面有所改变,此外还增补了适用范围、引用标准等内容。本标准的编写方法及格式按照 GB/T 1.1—1993,相应的章、条与 IEC 60076-5:2000 标准基本一致。

本标准对 IEC 60076-5:2000 标准所修改和补充的内容,分别以采用说明的注的形式进行说明或列于附录 C 中,以方便对照。

本标准的附录 A 和附录 C 为提示的附录,附录 B 为标准的附录。

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、中国电力科学研究院、武汉高压研究所、西安变压器厂、保定天威保变电气股份有限公司、沈阳变压器有限责任公司。

本标准主要起草人:章忠国、林然、李光范、武志荣、聂三元、郭爱华、钟俊涛。

本标准参加起草单位:北京变压器厂、顺德特种变压器厂、山东省金曼克电气集团公司、佛山市变压器厂、东莞市变压器厂。

本标准参加起草人:石肃、胡振忠、曾庆赣、牛亚民、陈荣勤、王文光。

本标准于 1971 年首次发布,1979 年第一次修订,1985 年第二次修订,2003 年第三次修订。

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(简写为 IEC)是由所有国家电工委员会(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。为了这个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。任何对此宗旨表示关注的国家电工委员会,均可参加标准的制、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 与国际标准化组织(ISO)已按相互间达成的协议条件进行紧密的合作。
2) 每个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,最大限度地反映了国际上对此技术问题的一致意见。
3) 这些决定或协议,以标准、技术规范、技术报告或导则的形式发布并供国际上使用,在这一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,尽量采用 IEC 标准作为本国的国家标准或地区标准。IEC 标准和相应的国家标准或地区标准之间的任何差别应在其国家标准或地区标准中明确地指出。
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) 提请注意本标准的一些内容有涉及到专利权的可能性,对任何或全部的专利权,IEC 没有责任对此予以确认。

本标准由 IEC TC 14:电力变压器技术委员会制定。

本标准是第二版,替代 1976 年发布的第一版和第 2 号修改单(1994)。本标准(第二版)是技术修订版。

本标准文本是在下述两个文件的基础上制定的。

| FDIS | 表决报告 |
| --- | --- |
| 14/346/FDIS | 14/353/RVD |

有关本标准批准的详细情况,见上表列出的表决报告。

本标准是按 ISO/IEC 导则第 3 部分起草的。

附录 A 是信息的附录。

附录 B 是标准整体的组成部分。

委员会决定本出版物的内容到 2004 年保持不变,到时,标准将被:

—— 确认;

—— 废止;

—— 修订版本代替,或

—— 局部修改。

中华人民共和国国家标准

# 电力变压器
# 第5部分:承受短路的能力

**Power transformers—**
**Part 5:Ability to withstand short circuit**

GB 1094.5—2003
eqv IEC 60076-5:2000

代替 GB 1094.5—1985

## 1 范围

本标准规定了电力变压器在由外部短路引起的过电流作用下应无损伤的要求。本标准叙述了表征电力变压器承受这种过电流的耐热能力的计算程序和承受相应的动稳定能力的特殊试验和计算方法。

本标准适用于GB 1094.1标准所规定范围内的变压器。

## 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1部分 总则(eqv IEC 60076-1:1993)

GB 6450—1986 干式电力变压器(eqv IEC 60726:1982)

GB/T 13499—2002 电力变压器应用导则(idt IEC 60076-8:1997)

## 3 承受短路能力的要求

### 3.1 总则

变压器及其组件和附件应设计制造成能在本标准3.2规定的条件下承受外部短路的热和动稳定效应而无损伤。

外部短路包括三相短路、相间短路、两相对地和相对地故障。这些故障在绕组中引起的电流在本标准中称作"过电流"。

### 3.2 过电流条件

#### 3.2.1 一般条件

##### 3.2.1.1 需要特殊考虑的使用条件

下述情况对过电流大小、持续时间或发生频度有影响,需要进行特殊考虑并应在变压器技术规范中给予明确的规定:

——阻抗很小的调压变压器,需要考虑所连接的限流装置的阻抗;

——发电机组的变压器易受到因发电机与所连接的系统失去同步而产生的较大的过电流;

——直接与旋转电机(如电动机或同步调相器)连接的变压器,在系统故障条件下,发电状态运行的旋转电机向变压器供给电流;

——专用变压器及安装在高故障率系统中的变压器,见3.2.6;

——故障时,非故障端子出现高于额定值的运行电压。

##### 3.2.1.2 关于增压变压器电流限值

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局2003-05-26批准 2004-01-01实施

当增压变压器与系统的合成阻抗导致短路电流值大到使设计这种耐受此过电流的变压器是很困难的或不经济时，制造厂与用户应共同协商确定最大允许过电流值。此时，用户应采取措施使过电流限制到制造厂所确定的且标志在铭牌上的最大过电流值。

3.2.2 具有两个独立绕组的变压器

3.2.2.1 三相或三相组变压器的额定容量分为三个类别：

第Ⅰ类：不大于 2 500 kVA；

第Ⅱ类：2 501 kVA～100 000 kVA；

第Ⅲ类：100 000 kVA 以上。

3.2.2.2 如无其他规定，对称短路电流（方均根值，见 4.1.2）应使用测出的变压器短路阻抗加上系统短路阻抗来计算。

对于第Ⅰ类的变压器，如果系统短路阻抗等于或小于变压器短路阻抗的 5%，则在计算短路电流时，系统短路阻抗可忽略不计。

短路电流的峰值应按 4.2.3 计算。

3.2.2.3 表 1 中给出了在额定电流（主分接）下的变压器短路阻抗最小值，如果需要更低的短路阻抗值，则变压器承受短路的能力应由制造厂与用户协商确定。

表 1 具有两个独立绕组的变压器短路阻抗最小值

| 额定容量/kVA | 最小短路阻抗/% |
|---|---|
| 630 及以下 | 4.0 |
| 631～1 250 | 5.0 |
| 1251～2 500 | 6.0 |
| 2 501～6 300 | 7.0 |
| 6 301～25 000 | 8.0 |
| 25 001～40 000 | 10.0 |
| 40 001～63 000 | 11.0 |
| 63 001～100 000 | 12.5 |
| 100 000 以上 | >12.5 |

注

1 额定容量大于 100 000 kVA 的短路阻抗值一般由制造厂与用户协商确定。

2 在由单相变压器组成三相组的情况下，额定容量值适用于三相组。

3 不同额定容量及电压等级的具体短路阻抗值，见相应的标准。[1]

3.2.2.4 为了获得设计和试验所需的对称短路电流值，应由用户在询价时提供变压器安装地点的系统短路视在容量。

如果没有规定系统短路视在容量，则应按表 2 选取。

3.2.2.5 对具有两个独立绕组的变压器，通常只考虑三相短路，这种考虑实质上能充分满足其他可能包括在内的故障类型（3.2.5 的注中所考虑的特殊情况除外）。

注：当绕组为曲折形联结时，单相对地故障电流可能比三相短路电流大。但是，在所涉及的两个心柱中，较高的电流值被限制在半个绕组中。此外，在其他星形联结绕组中的电流都小于三相短路电流。至于是三相短路还是单相短路

采用说明：

1] IEC 标准中无此规定，本内容是根据我国实际情况增加的。

对绕组的动稳定产生更大的危害，与绕组的结构设计有关。制造厂与用户应就考虑是哪种短路类型达成协议。

表 2　系统短路视在容量[1]

| 系统标称电压/kV | 设备最高电压 $U_m$/kV | 短路视在容量/MVA |
|---|---|---|
| 6、10、20 | 7.2、12、24 | 500 |
| 35 | 40.5 | 1 500 |
| 66 | 72.5 | 5 000 |
| 110 | 126 | 9 000 |
| 220 | 252 | 18 000 |
| 330 | 363 | 32 000 |
| 500 | 550 | 60 000 |
| 注：如无规定，则认为系统零序阻抗与正序阻抗之比为 1～3。 | | |

3.2.3　多绕组变压器和自耦变压器

绕组（包括稳定绕组和辅助绕组）中的过电流应根据变压器和系统的阻抗来确定。应考虑运行中可能产生的不同类型的系统故障，如：与系统和变压器的接地有关的相对地故障和相间故障，见 GB/T 13499。每个系统的特性（至少是短路视在容量值和零序阻抗与正序阻抗之比的范围）应由用户在询价时提出。

三相变压器的三角形联结稳定绕组应能承受运行中可能出现的与相关系统接地条件有关的不同类型系统故障所产生的过电流。

在由单相变压器组成三相组的情况下，除非用户确认将采取特别保护措施以避免相间短路外，稳定绕组应能承受其端子上的短路。

注：将辅助绕组设计成能承受其端子上的短路可能是不经济的。此时，应采取合适的措施（如采用串联电抗器，或在某些情况下采用熔断器）来限制过电流值。此外，应注意防止在变压器与其保护装置之间的范围内发生短路故障。

3.2.4　增压变压器

增压变压器的阻抗值可能很小，因此，绕组中的过电流主要由变压器安装位置处的系统特性来确定，这些特性应由用户在询价及定货时提出。

如果增压变压器直接与一台变压器相连作电压幅值和（或）相位移调节用，则此增压变压器应能承受由这两种设备合成阻抗所产生的过电流。

3.2.5　直接与其他电器相连的变压器

当变压器直接与其他电器相连时，这些电器的阻抗也将限制短路电流。按制造厂与用户之间的协议，可以将变压器、系统及变压器直接相连电器的各自阻抗的总和计入在内。

如果发电机与变压器之间的连接良好，以致在此范围内的相间或两相接地故障的可能性可以忽略不计时，则上述规定也适用于发电机变压器。

注：如果发电机与变压器之间的连接状态如上所述，对于中性点接地的星形-三角形联结的发电机变压器，在与星形联结绕组相连接的系统发生相对地故障，或者在发电机与系统不同步的情况下，就可能发生最严重的短路情况。

3.2.6　专用变压器和安装在高故障率系统中的变压器

对于特殊使用场合（如电炉变压器和向牵引系统供电的变压器）或运行条件（如所连接系统的故障次数多），变压器承受频繁过电流的能力，应由制造厂与用户协商确定。有关系统中非正常运行条件的情况，用户应事先向制造厂提供。

---

采用说明：

1]　与 IEC 标准的差异见附录 C。

3.2.7 分接变换装置

当变压器装有分接开关时，分接开关应和绕组一样能承载由短路引起的同样的过电流。但不要求有载分接开关具有切换短路电流的能力。

3.2.8 中性点端子

星形或曲折形联结绕组的中性点端子，应按可能流经这个端子的最大过电流设计。

## 4 承受短路能力的验证

本章的要求既适用于按 GB 1094.1 所规定的油浸式电力变压器，也适用于按 GB 6450 所规定的干式电力变压器。

### 4.1 承受短路的耐热能力

4.1.1 总则

变压器承受短路的耐热能力应通过计算进行验证。计算按 4.1.2～4.1.5 的规定进行。

4.1.2 对称短路电流值 $I$

对于具有两个独立绕组的三相变压器，对称短路电流的方均根值 $I$ 按下式计算：

$$I = \frac{U}{\sqrt{3} \times (Z_t + Z_s)} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：$I$——对称短路电流的方均根值，kA；

$Z_s$——系统短路阻抗，每相欧姆（等值星形联结），按下式计算：

$$Z_s = \frac{U_s^2}{S} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：$U_s$——系统标称电压，kV；

$S$——系统短路视在容量，MVA。

$U$ 和 $Z_t$ 按以下规定：

a) 对于主分接

$U$——所考虑绕组的额定电压 $U_r$，kV；

$Z_t$——折算到所考虑绕组的变压器的短路阻抗，每相欧姆（等值星形联结），按下式计算：

$$Z_t = \frac{z_t \times U_r^2}{100 S_r} \quad ^{1)} \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：$z_t$——在参考温度、额定电流和额定频率下所测出的主分接短路阻抗，用 %表示；

$S_r$——变压器的额定容量，MVA。

b) 除主分接外的其他分接

$U$——所考虑绕组在相应分接的电压（另有规定除外）[2]，kV；

$Z_t$——折算到所考虑绕组在相应分接的短路阻抗，以每相欧姆表示。

对于多绕组变压器、自耦变压器、增压变压器和直接与其他电器连接的变压器，其过电流计算分别按 3.2.3、3.2.4 或 3.2.5 进行。

所有变压器，除 3.2.2.2 所述情况外，都应考虑系统的短路阻抗。

注：曲折形联结的绕组，单相对地故障的短路电流可能明显大于三相短路时的故障电流。因此，在计算曲折形联结绕组的温升时应考虑此电流值的增大。

4.1.3 对称短路电流的持续时间

除另有规定，用于计算承受短路耐热能力的电流 $I$ 的持续时间为 2 s。

注：对于自耦变压器和短路电流超过 25 倍额定电流的变压器，经制造厂与用户协商后，短路电流持续时间可以小于 2 s。

---

1) 此外用符号 $Z_t$ 和 $z_t$ 分别代替 GB 1094.1 所采用的 $Z$ 和 $z$，目的是与本标准 4.2.3 一致，不致混乱；

2) 分接电压的定义见 GB 1094.1 的 5.2。

4.1.4 每个绕组平均温度的最大允许值

当每个绕组分别按 4.1.2 和 4.1.3 施加规定持续时间的对称短路电流 $I$ 后，其在任何分接位置下的平均温度 $\theta_1$ 应不超过表 3 规定的最大值。

公式(4)和公式(5)中所用的绕组起始温度 $\theta_0$ 应表示为最高允许环境温度与在额定条件下用电阻法测量的绕组温升之和。如果测出的绕组温升不适用时，则绕组起始温度 $\theta_0$ 应为最高允许环境温度与绕组绝缘系统所允许的温升之和。

4.1.5 温度 $\theta_1$ 的计算

绕组短路后的平均温度 $\theta_1$ 应由下述公式计算：

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 235)}{\frac{106\ 000}{J^2 \times t} - 1} \quad \text{（铜绕组）} \qquad \cdots\cdots(4)$$

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 225)}{\frac{45\ 700}{J^2 \times t} - 1} \quad \text{（铝绕组）} \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：$\theta_1$—— 绕组短路 $t$(s)后的平均温度，℃；

$\theta_0$—— 绕组起始温度，℃；

$J$ —— 短路电流密度，A/mm²，按对称短路电流的方均根值计算出；

$t$ —— 持续时间，s。

注：公式(4)和公式(5)是按绝热条件推导的，且仅对短路持续时间不超过 10 s 时才有效。公式中的系数是按表 4 中所列的参数得出的。

表 3 每个绕组在短路后的平均温度最大允许值

| 变压器的型式 | 绝缘系统温度/℃（括号内为绝缘耐热等级） | 温度最大值/℃ | |
|---|---|---|---|
| | | 铜绕组 | 铝绕组 |
| 油浸式 | 105 (A) | 250 | 200 |
| 干式 | 105 (A) | 180 | 180 |
| | 120 (E) | 250 | 200 |
| | 130 (B) | 350 | 200 |
| | 155 (F) | 350 | 200 |
| | 180 (H) | 350 | 200 |
| | 220 | 350 | 200 |

注

1 当绕组由高抗拉强度的铝合金导线制成时，可由制造厂与用户协商确定更高的温度最大值，但不得超过相应的铜绕组的温度。

2 当油浸式变压器所使用的绝缘系统不是 A 级时，可由制造厂与用户协商确定不同的温度最大值。

表 4 材料参数

| 参　数 | 材　料 | |
|---|---|---|
| | 铜 | 铝 |
| 100℃时的比热/(J/(kg·℃)) | 398.4 | 928 |
| 100℃时的密度/(kg/m³) | 8894 | 2 685 |
| 100℃时的电阻率/μΩ·m | 0.022 4 | 0.035 5 |

4.2 承受短路的动稳定能力

4.2.1 总则

如果用户有要求，承受短路的动稳定能力应由下述两者之一来验证：

——试验验证；

——计算和设计验证。

所用验证方法的选择，应由用户与制造厂在定货前协商确定。

短路试验为特殊试验，应在定货合同中规定。试验应按 4.2.2～4.2.7 的要求进行。

大容量变压器有时不能按本标准进行试验，如：受试验条件的限制。此时，试验条件应由用户与制造厂协商确定。

当选择计算和设计验证时，要求用已做过短路试验的类似变压器或在有代表性的模型上的短路试验来证明。鉴别类似变压器的准则见附录 A(提示的附录)。

4.2.2 变压器短路试验前的条件

4.2.2.1 除非另有规定，试验应在准备投入运行的新变压器上进行。短路试验时，保护用的附件，如气体继电器及压力释放装置应安装在变压器上。

注：对短路性能无影响的附件(如可拆卸的冷却器)可不安装。

4.2.2.2 短路试验前，变压器应按 GB 1094.1 的规定进行例行试验，但在此阶段中，不要求做雷电冲击试验。

如果绕组带有分接，应在短路试验所在分接位置上测量电抗，必要时也对电阻进行测量。

所有电抗测量值的复验性应在±0.2% 以内。

试验报告包括例行试验的结果，在短路试验开始前应备齐。

4.2.2.3 短路试验开始时，绕组的平均温度应在 10℃～40℃之间（见 GB 1094.1—1996 的 10.1)。

短路试验期间，由于流过短路电流，绕组的温度可能升高。当布置 $I$ 类变压器的试验线路时应考虑这种情况。

4.2.3 双绕组变压器的试验电流峰值 $\hat{i}$

试验应在被试相达到最大非对称电流时进行。

非对称试验电流的第一个峰值(kA)按下式计算：

$$\hat{i} = I \times k \times \sqrt{2} \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中，对称短路电流 $I$ 按 4.1.2 确定；

$k$ 为计算试验电流的初始偏移的系数，而$\sqrt{2}$考虑了正弦波峰值与方均根值之比。

系数 $k\times\sqrt{2}$(或称峰值因数)与 $X/R$ 有关，其中：

$X$——变压器的电抗与系统电抗之和($X_t+X_s$)，以 Ω 表示；

$R$——变压器电阻与系统电阻之和($R_t+R_s$)，以 Ω 表示，其中 $R_t$ 为参考温度下的电阻(见GB 1094.1—1996 的 10.1)。

在短路电流计算中若包括了系统短路阻抗时，如无另行规定，应假定系统的 $X_s/R_s$ 值等于变压器的 $X_t/R_t$ 值。表 5[3] 列出了不同 $X/R$ 值的峰值因数值，以供实际应用。

---

3) 表 5 是按下列峰值因数公式得出的：

$k\times\sqrt{2}=[1+(e^{-(\varphi+\pi/2)R/X})\sin\varphi]\times\sqrt{2}$

式中：e——自然对数的底；

$\varphi$——相位角，等于 $\mathrm{arctg}X/R$，弧度。

表 5　系数 $k\times\sqrt{2}$的值

| $X/R$ | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k\times\sqrt{2}$ | 1.51 | 1.64 | 1.76 | 1.95 | 2.09 | 2.19 | 2.27 | 2.38 | 2.46 | 2.55 |
| 注：若 $X/R$ 为 1～14 之间的其他值，其 $k\times\sqrt{2}$可用线性插值法求得。 | | | | | | | | | | |

注：当 $Z_s\leqslant 0.05Z_t$ 时，对主分接可用 $x_t$ 和 $r_t$ 代替 $X_t$ 和 $R_t(\Omega)$，其中：

$x_t$—— $z_t$ 的电抗分量，%；

$r_t$—— 参考温度下 $z_t$ 的电阻分量，%；

$z_t$—— 参考温度下的变压器短路阻抗，%。

如果无其他规定，当 $X/R>14$ 时，系数 $k\times\sqrt{2}$假定为：

对Ⅱ类变压器：$1.8\times\sqrt{2}=2.55$；

对Ⅲ类变压器：$1.9\times\sqrt{2}=2.69$。

4.2.4　短路试验电流的非对称峰值和对称方均根值的允许偏差

包含第一个峰值 $\hat{i}$ 的非对称电流（见 4.2.3）将变化（如果短路试验电流的持续时间足够长）到对称电流 $I$（见 4.1.2）。

试验中所得到的电流峰值偏离规定值应不大于 5%，而对称电流偏离规定值应不大于 10%。

4.2.5　双绕组变压器短路试验程序

4.2.5.1　为了得到 4.2.4 所要求的试验电流，电源的空载电压可高于被试绕组的额定电压[4]。绕组的短路可在变压器另一绕组施加电压之后（后短路）进行，亦可在施加电压之前（预先短路）进行。

如果采用后短路，电压应不超过 1.15 倍绕组额定电压，除非制造厂与用户另有协议。

如果对单同心式绕组的变压器预先短路，为了避免铁心饱和，应将电压施加于远离铁心的一个绕组，而将靠近铁心的绕组短路。否则，试验最初的几个周波中将会产生过大的励磁电流并叠加于短路电流上。

当现有的试验设备要求将电源接到内绕组时，应采取特别的措施，如预先磁化铁心，以防止产生励磁涌流。

对交叠式绕组或双同心式绕组的变压器，应经制造厂与用户协商后，才能采用预先短路的方法。

为防止危险的过热，前后两次施加过电流之间的时间间隔应适当，此时间间隔应由用户与制造厂协商确定。

注：当对Ⅰ类变压器试验时，必须考虑试验期间由于温度升高而引起的 $X/R$ 的改变，并在试验回路中提供相应的补偿。

4.2.5.2　为了在被试相绕组中得到短路电流的起始峰值（见 4.2.3），合闸时应使用同步开关来调节。

为了检查试验电流 $\hat{i}$ 和 $I$，应使用示波图记录。

为了在三个相绕组中的一个绕组中得到最大的非对称电流，应在该相绕组的电压过零时合闸。

注

1　对于星形联结绕组，当相电压过零时合闸，可以得到最大的非对称电流。峰值电流 $\hat{i}$ 的系数 $k$，可根据线电流的示波图确定。对于三角形联结绕组的三相试验，这个条件可以在线电压过零时合闸得到。在预先调整试验中，在线电压最大时合闸是确定系数 $k$ 的一种方法。此时，可以从线电流的示波图中求出系数 $k$。

确定三角形联结绕组相电流的另一种方法是将测量线电流的各互感器的二次绕组适当地相互连接。可利用示波图记录相电流值。

2　对于星形-曲折形联结的恒磁通调压、且 $x_t/r_t\leqslant 3$（见 4.2.3）的第Ⅰ类变压器，不使用同步开关进行三相同时合闸。对于其他的星形-曲折形联结的变压器，其合闸方式由制造厂与用户协商确定。

---

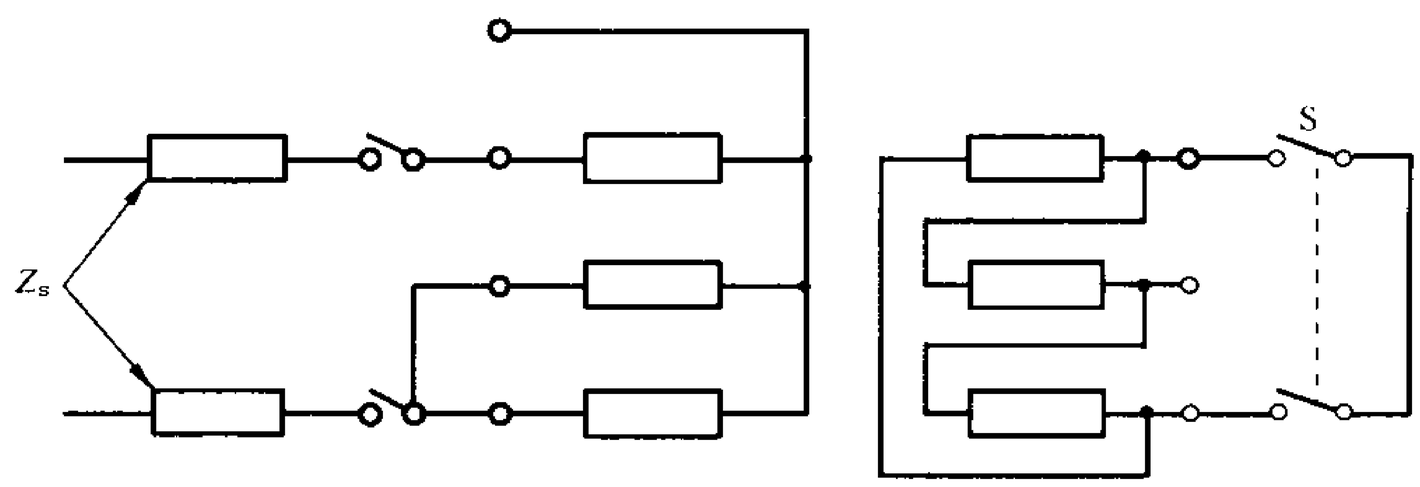
4）另一试验程序是对被试的两个绕组同时施加两个相位彼此相反的电压，两个绕组可由同一电源或两个独立的、但同步的电源施加电压。这种方法对防止铁心饱和是有利的，且将减小供电容量。

4.2.5.3 试验电源的频率应是变压器的额定频率。如果用户与制造厂之间有协议，允许用 50 Hz 的电源试验 60 Hz 的变压器和用 60 Hz 的电源试验 50 Hz 的变压器，只要能得到 4.2.3 和 4.2.4 所要求的试验电流值。

此程序要求试验电源的电压按变压器的额定电压进行调整。

4.2.5.4 对于三相变压器，只要满足 4.2.4 的要求，就应使用三相电源。如果情况与此不同，则可以使用下述单相电源。对于三角形联结的绕组，单相电压应施加在三角形的两个角上，试验时的电压应与三相试验时的相间电压相同。对于星形联结的绕组，单相电压应施加于一个线端与其余两个连在一起的线端之间，试验时，单相电压应等于三相试验时相间电压的$\sqrt{3}/2$倍。

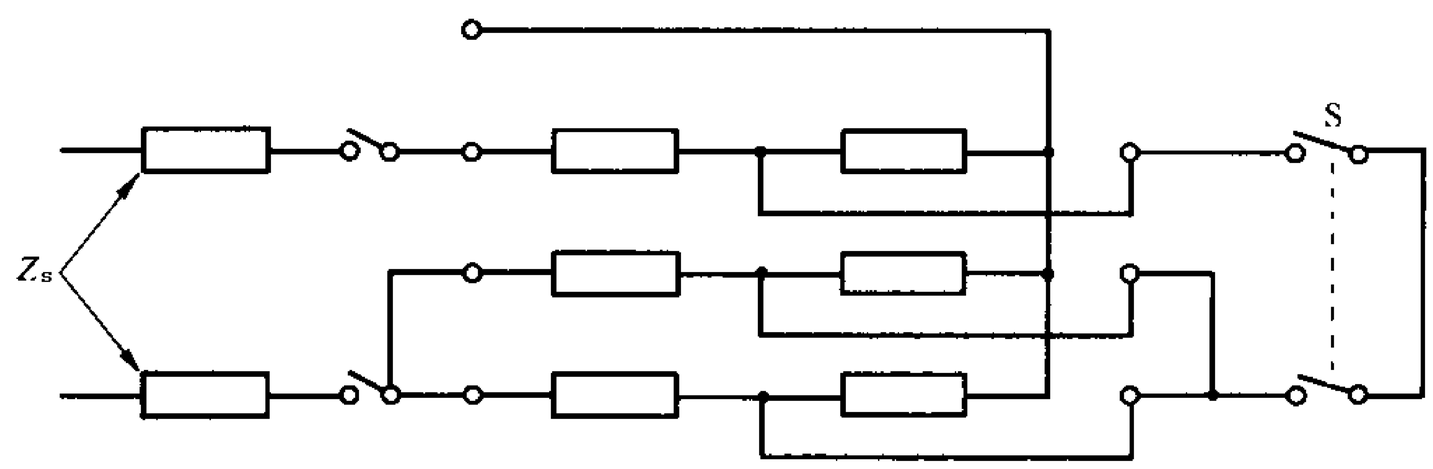
图 1 和图 2 给出了两种可能用来模拟三相试验的单相试验线路。




$Z_s$——试验系统的阻抗

S——后短路用的同步开关或预先短路用的固定连接母线

图 1 星形/三角形联结的变压器




$Z_s$——试验系统的阻抗

S——后短路用的同步开关或预先短路用的固定连接母线

图 2 星形/星形联结的自耦变压器

注

1 单相电源试验主要用于Ⅱ类或Ⅲ类变压器，很少用于Ⅰ类变压器。

2 对于分级绝缘的星形联结绕组，必须检查中性点的绝缘是否能满足单相试验的要求。

3 对于星形联结绕组，如果电源容量不足以进行上述的单相试验，而中性点可以利用且能承受相关的电流时，经制造厂与用户协商，单相电源可施加于线端与中性点之间。这种试验接线方式可使不试相的相应端子方便地进行相互间的连接，以便较好地控制其上的电压，只要这样做是可行的且接线是正确的。

4.2.5.5 如无特殊规定，三相和单相变压器的试验次数按下述规定，它不包括小于 70%规定电流进行预先调整试验的次数。调整试验是用来就合闸瞬间、电流调节、衰减和持续时间等方面检查试验操作正确性的。

对于Ⅰ类和Ⅱ类的单相变压器，试验次数应为三次。如无另行规定，带有分接的单相变压器的三次试验，是在不同的分接位置上进行，即：一次是在最大电压比的分接位置上，另一次是在主分接的位置上，一次是在最小电压比的分接位置上。

对于Ⅰ类和Ⅱ类的三相变压器，总的试验次数应为九次。即：每相进行三次试验。如无另行规定，带有分接的三相变压器的九次试验是在不同的分接位置上进行。即：在旁侧的一个心柱上的三次试验是在最大电压比的分接位置进行；在中间心柱上的三次试验是在主分接位置进行；在另一个旁侧的心柱

上的三次试验是在最小电压比分接位置进行。

对于Ⅲ类变压器，其试验次数和试验所在分接位置通常需由制造厂与用户协商确定。然而，为了尽可能模拟运行中可能发生的重复短路的效应，以便监测被试变压器的特性和对所测短路阻抗的可能变化作出有意义的判断，推荐的试验次数如下：

——对单相变压器：三次；

——对三相变压器：九次。

至于分接的位置和试验程序，建议与Ⅰ类和Ⅱ类变压器相同。

每次试验的持续时间应为：

——对Ⅰ类变压器：0.5 s；

——对Ⅱ类和Ⅲ类变压器：0.25 s。

其允许偏差为±10%。

4.2.6 多绕组变压器和自耦变压器的短路试验程序

对于多绕组变压器和自耦变压器，可以设想有各种各样的故障条件，见3.2.3。通常，与双绕组变压器的作为参考情况的三相短路（见3.2.2.5）相比，这些条件的性质更复杂。

为了用试验手段模拟某些故障现象，往往需要特殊的试验线路。通常，根据对所有可能出现故障情况下的短路电动力的计算结果来选择试验工况。

试验线路布置、电流值、试验顺序和试验次数通常由制造厂与用户协商确定。

协议中的试验电流值和试验持续时间的允许偏差，建议与双绕组变压器一致，而试验顺序的选择按预计电动力的增大来确定。

4.2.7 故障检测和试验结果的判断

4.2.7.1 短路试验前，应按4.2.2要求进行测量和试验，对气体继电器（如果有）亦应进行观察。这些测量和试验均作为检测故障的依据。

4.2.7.2 每次试验（包括预备试验）期间，应对下列项目进行示波图记录：

——施加电压；

——电流（见4.2.5.2）。

此外，对被试变压器尚需进行外观检查和连续录像。

注

1 可以使用补充的检测故障的方法，以获得有关试验信息并使试验判断完善。这些方法有：记录油箱（将油箱绝缘起来）与地之间的电流，记录噪声与震动，记录在短路电流流过期间油箱内不同位置处的油压变化。

2 试验时由于振动，可能引起气体继电器的偶然动作。这种现象对变压器承受短路的能力而言是无关紧要的，除非继电器中出现了可燃性气体。

3 在励磁阶段中，油箱连接处可能出现短暂的火花放电，同时在励磁和短路阶段中，铁心框架接合处也可能出现内部火花放电。

4.2.7.3 每次试验后，应对试验期间所获得的示波图进行检查，同时观察气体继电器，并测量短路电抗。对三相变压器，测出的电抗应以每相为基准进行判断，在绕组为星形联结的情况下，可直接测出相对中性点的电抗，在绕组为三角形联结的情况下，可采用合适的方法从三角形联结绕组的接线图中推导出。

注

1 可以使用补充的判断方法来判断试验结果，如绕组电阻的测量、低压冲击试验技术（对试验前、后分别录取的示波图进行比较）、频谱响应分析、传递函数分析、空载电流测量以及比较试验前、后溶解气体的分析结果。

2 试验前、后所作测量结果之间的任何差异均可作为确定可能有缺陷的依据。特别是在连续试验过程中，观察每次试验后测量电抗的可能变化是特别重要的，此电抗值变化可能是递增的，也可能是趋于某个稳定值。

3 为检查匝间故障，建议分别从高压侧和低压侧测量短路电抗。

4.2.7.4 试验后，应检查变压器外观和气体继电器（如果有）。应分析试验不同阶段中所测量的短路电

抗值和所摄取的示波图，以找出试验过程中可能出现的异常现象，尤其是短路电抗所显示的变化。

注

1 如果绕组带有分接，试验后，应对短路试验时所用的各个分接位置进行电抗测量。

2 在试验过程中，短路电抗的变化通常呈减小的趋势。电抗值也可能在试验后过了一段时间会有某些变化。因此，如果试验后立即测出的电抗值变化大，以致超过了规定的限值，应经过一定的时间间隔，对电抗值再进行谨慎的重复测量，以确认这种变化是否保持住。在确定其是否符合标准时，要以最后测出的电抗值作为最终值。

在此阶段中，对Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类变压器所采取的程序是不同的。这些程序和电抗限值如下列项 a)和项 b)所述。

a) Ⅰ类和Ⅱ类变压器

除非另有协议，应将变压器吊心，检查铁心和绕组，并与试验前的状态相比较，以便发现可能出现的表面缺陷，如引线位置的变动、位移等，尽管这些变动不妨碍变压器通过例行试验，但可能会危及变压器的安全运行。

重复全部例行试验，包括在 100%规定试验电压下的绝缘试验。如果规定了雷电冲击试验，也应在此阶段中进行。但是，对于Ⅰ类变压器，除绝缘试验外，其他重复例行试验可以不做。

如满足下述条件，则应认为变压器短路试验合格：

1) 短路试验的结果及短路试验期间的测量和检查没有发现任何故障迹象；

2) 重复的绝缘试验和其他的例行试验合格，雷电冲击试验(如果有)也合格；

3) 吊心检查没有发现诸如位移、铁心片移动、绕组及连接线和支撑结构变形等缺陷或虽发现有缺陷，但不明显，不会危及变压器的安全运行；

4) 没有发现内部放电的痕迹；

5) 试验完了后，以欧姆表示的每相短路电抗值与原始值之差不大于：

——对于具有圆形同心式线圈[5]和交叠式的非圆形线圈变压器，为 2%。但是，对于低压绕组是用金属箔绕制的且额定容量为 10 000 kVA 及以下的变压器，如果其短路阻抗为 3%及以上，则允许有较大的值，但不大于 4%。如果短路阻抗小于 3%，则应由制造厂与用户协商，确定一个比 4%大的限值；

——对于具有非圆形的同心式线圈变压器，其短路阻抗在 3%及以上者为 7.5%。经制造厂与用户协商，该 7.5%的值可以降低，但不低于 4%。

注

1 对于短路阻抗小于 3%的非圆形同心式线圈的变压器，其电抗的最大变化不能用普通的方法加以规定。经验表明，某些结构的变压器达到$(22.5\sim5z_t)$%的变化是可以接受的，$z_t$ 是以百分数表示的短路阻抗。

2 对设备最高电压 $U_m$ 不高于 52 kV 的属于Ⅱ类上限范围的变压器应特别注意，上述电抗变化的限值可能需要调整。

如果上述任何一项条件没有满足，则应考虑是否需要拆卸变压器，以确定其异常的原因。

b) Ⅲ类变压器

应将变压器吊心，检查铁心和绕组，并与试验前的状态相比较，以便发现可能的表面缺陷，如引线位置的变化、位移等。尽管这些变化不妨碍通过例行试验，但可能会危及变压器的安全运行。

重复全部例行试验，包括在 100%规定试验电压下的绝缘试验。如果规定了雷电冲击试验，也应在此阶段中进行。

如果满足下述条件，则应认为变压器短路试验合格。

1) 短路试验的结果及短路试验期间的测量和检查没有发现任何故障迹象；

2) 重复的例行试验合格，雷电冲击试验(如果有)也合格；

3) 吊心检查没有发现诸如位移、铁心片移动、绕组及连接线和支撑结构变形等缺陷或虽发现有缺

5) 圆形线圈包括所有绕在圆柱体上的线圈。即便如此，仍有偏离圆柱体形状的可能，如用金属箔绕制的线圈，由于引线的存在，有局部偏离圆柱体形状的可能性。

陷，但不明显，不会危及变压器的安全运行；

4） 没有发现内部放电的痕迹；

5） 试验完了后，以欧姆表示的每相短路电抗值与原始值之差不大于1%。

如果电抗变化范围在1%～2%之间，应经用户与制造厂协商一致后，方可验收。此时，可能要求做更详细的检查，必要时，还要拆卸变压器，以确定其异常的原因，但是拆卸前应先采取一些补充的判断方法（见4.2.7.3注1）。

注：由于Ⅲ类变压器的价格和全面检查变压器内部各部分状态的费用的经济影响，建议对绕组引线的位置、分接、垫块的垂直度和端部绝缘件外形等进行录像，以便对试验前、后变压器内部各部分作出准确的比较。出于这种原因，检查绕组的轴向压紧力可能是有用的。如有必要，可由双方当事人之间相互达成接受现已存在的小位移和小变动的协议，只要它们不影响变压器运行的可靠性。

## 附 录 A
（提示的附录）
## 鉴别类似变压器的准则

变压器是否与一台参考变压器相类似，可用下述相容的关键特征来鉴别：

——运行方式相同，如与参考变压器一样为发电机升压变压器、配电变压器、联络变压器；

——设计型式、结构相同，如与参考变压器一样为干式、油浸式、带有同心式绕组的心式、交叠式、壳式、圆形线圈、非圆形线圈；

——主要绕组的排列和几何分区顺序与参考变压器相同；

——绕组导线材料与参考变压器相同，如用铝、铝合金、软铜或硬铜、金属箔、圆线、扁线、连续换位导线和环氧树脂粘接导线（如果用）；

——主要绕组的类型与参考变压器相同，如螺旋式、连续式、层式等；

——短路时吸取的容量（额定容量/短路阻抗标幺值）介于参考变压器的30%～130%之间；

——短路时轴向力和相对应绕组的应力（实际应力与临界应力之比值）不超过参考变压器的110%；

——制造工艺过程与参考变压器相同；

——固定和支撑方式与参考变压器相同。

## 附 录 B
（标准的附录）
## 验证承受短路动稳定能力的计算方法

标准的计算方法正在考虑中。

# 附 录 C
（提示的附录）
## 采 用 说 明

因我国电网的设备最高电压和系统短路视在容量与 IEC 标准的规定有差异，考虑到我国的实际情况，本标准在编制时对 IEC 标准进行了修改，IEC 标准表 2 规定的系统短路视在容量列于表 C1 中。

表 C1 系统短路视在容量

| 设备最高电压 $U_m$/kV | 短路视在容量/MVA | |
|---|---|---|
| | 欧洲现用值 | 北美现用值 |
| 7.2、12、17.5、24 | 500 | 500 |
| 36 | 1 000 | 1 500 |
| 52、72.5 | 3 000 | 5 000 |
| 100、123 | 6 000 | 15 000 |
| 145、170 | 10 000 | 15 000 |
| 245 | 20 000 | 25 000 |
| 300 | 30 000 | 30 000 |
| 362 | 35 000 | 35 000 |
| 420 | 40 000 | 40 000 |
| 525 | 60 000 | 60 000 |
| 765 | 83 500 | 83 500 |
| 注：如无规定，则认为系统零序阻抗与正序阻抗之比为 1～3。 | | |