ICS 35.020
CCS L 09

中华人民共和国国家标准

GB/T 12113—2023/IEC 60990:2016
代替 GB/T 12113—2003

接触电流和保护导体电流的测量方法

Methods of measurement of touch current and protective conductor current

(IEC 60990:2016,IDT)

2023-09-07 发布　　2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅴ
引言 …… Ⅵ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 2
4　测试场地 …… 2
4.1　测试场地的环境 …… 2
4.2　测试变压器 …… 2
4.3　接地中线 …… 2
5　测量设备 …… 3
5.1　测量网络的选择 …… 3
5.2　测试电极 …… 5
5.3　配置 …… 5
5.4　测试期间电源的连接 …… 5
5.5　电源电压和频率 …… 9
6　测试程序 …… 9
6.1　通则 …… 9
6.2　设备的正常条件和故障条件 …… 10
7　结果评定 …… 11
7.1　感知电流、惊吓反应电流和摆脱制动电流 …… 11
7.2　电灼伤 …… 12
8　保护导体电流的测量 …… 12
8.1　通则 …… 12
8.2　多台设备 …… 12
8.3　测量方法 …… 12
附录A（规范性）　设备 …… 13
附录B（规范性）　导电板的使用 …… 14
附录C（规范性）　偶然连接的零部件 …… 15
附录D（资料性）　电流限值的选择 …… 16
附录E（资料性）　用于测量接触电流的网络 …… 18
附录F（资料性）　测量网络的限值和结构 …… 19
附录G（资料性）　接触电流测量仪器的结构和应用 …… 21
附录H（资料性）　频率滤波接触电流电路测试的分析 …… 24

附录I(资料性) 交流配电系统(见5.4) …… 31
附录J(资料性) 电网电源供电设备的接触电流的例行试验和周期试验,以及在维修或变更后接触电流的试验 …… 37
附录K(规范性) 网络性能和校准 …… 38
参考文献 …… 42

图1 直接供电的接地中线 …… 3
图2 带有隔离变压器的接地中线 …… 3
图3 未加权的接触电流的测量网络 …… 4
图4 加权接触电流(感知电流或惊吓反应电流)的测量网络 …… 4
图5 加权接触电流(摆脱制动电流)的测量网络 …… 4
图6 接到星形TN或TT系统的单相设备的试验配置 …… 6
图7 接到中心接地的TN或TT系统的单相设备的试验配置 …… 6
图8 接到星形TN或TT系统的相同的单相设备的试验配置 …… 6
图9 接到星形IT系统的相线和中线间的单相设备的试验配置 …… 7
图10 接到星形IT系统的相间的单相设备的试验配置 …… 7
图11 接到星形TN或TT系统的三相设备的试验配置 …… 7
图12 接到星形IT系统的三相设备的试验配置 …… 8
图13 接到未接地的三角形配电系统的三相设备的试验配置 …… 8
图14 接到中心接地的三角形配电系统的三相设备的试验配置 …… 8
图A.1 设备 …… 13
图B.1 设备试验台 …… 14
图F.1 电灼伤电流的频率因数 …… 19
图F.2 感知电流/惊吓反应电流的频率因数 …… 19
图F.3 摆脱制动电流的频率因数 …… 20
图H.1 三角波形接触电流,惊吓反应 …… 24
图H.2 三角波形接触电流,摆脱制动反应 …… 25
图H.3 1 ms脉冲响应,惊吓反应 …… 25
图H.4 1 ms脉冲响应,摆脱制动 …… 26
图H.5 接触电流与上升时间点状图,20 ms方波 …… 26
图H.6 PFC开关电源接触电流波形 …… 27
图H.7 50 Hz方波,0.1 ms上升时间,惊吓反应 …… 27
图H.8 50 Hz方波,0.1 ms上升时间,摆脱制动 …… 27
图H.9 IEC 60479-2 AC+DC组合(增强额外数据)的摆脱阈值 …… 28
图H.10 显示有效值窗口 …… 29
图H.11 显示有效值窗口 …… 29
图I.1 TN-S配电系统实例 …… 32

图 I.2 TN-C-S 配电系统实例 …… 33
图 I.3 TN-C 配电系统实例 …… 33
图 I.4 单相三线,TN-C 配电系统实例 …… 34
图 I.5 三相线加中线的 TT 配电系统实例 …… 34
图 I.6 三相线的 TT 配电系统 …… 35
图 I.7 三相线(加中线)的 TT 配电系统 …… 35
图 I.8 三相线 TT 配电系统实例 …… 36

表 H.1 三角波形响应的比较 …… 25
表 H.2 方波接触电流响应 …… 26
表 H.3 方波单相接触电流脉冲响应 …… 28
表 H.4 混合 ACnDC 波形方程 …… 29
表 H.5 混合 ACnDC 波形方程 …… 29
表 K.1 未加权接触电流测量网络(图 3)的输入阻抗和传输阻抗的计算值 …… 38
表 K.2 感知电流/惊吓反应接触电流测量网络(图 4)的输入阻抗和传输阻抗的计算值 …… 39
表 K.3 摆脱制动电流测量网络(图 5)的输入阻抗和传输阻抗的计算值 …… 39
表 K.4 未加权接触电流测量网络(图 3)的输出电压和输入电压的比值 …… 40
表 K.5 感知电流/惊吓反应电流测量网络(图 4)的输出电压和输入电压的比值 …… 41
表 K.6 摆脱制动电流测量网络(图 5)的输出电压和输入电压的比值 …… 41

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 12113—2003《接触电流和保护导体电流的测量方法》，与GB/T 12113—2003相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——删除了基于对当前效应的理解，减少了“可握紧的零部件”这一使用条件的引用（见2003年版的3.4、附录H）。

本文件等同采用IEC 60990:2016《接触电流和保护导体电流的测量方法》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出并归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、维谛技术有限公司、北京小米移动软件有限公司、维沃移动通信有限公司、中山市宝利金电子有限公司、紫光恒越技术有限公司、青岛海尔多媒体有限公司、深圳创维数字技术有限公司、宁波公牛数码科技有限公司、海信集团控股股份有限公司、中国合格评定国家认可中心、OPPO广东移动通信有限公司、深圳赛西信息技术有限公司、东莞市奥海科技股份有限公司、广州赛西标准检测研究院有限公司、厦门汉印电子技术有限公司、荣耀终端有限公司。

本文件主要起草人：李玉祯、陈迪、王莹、何鹏林、刘云柱、缠潇潇、张光辉、王厚雪、林俊容、王宗强、王清旺、刘风雷、于谋展、崔志龙、宋文平、陈绍亿、刘年丰、郭修根、周辉、白中涛、黄俊英、吴春雨、林锦毅、李建敏。

本文件于1996年首次发布，2003年第一次修订，本次为第二次修订。

引　言

电子开关技术被广泛应用于电源系统和设备中，因而产生了高频谐波电压和高频谐波电流，本文件的制定就是要解决由此而产生的有关问题。

测量漏电流的方法

这一内容包括了不同类型的设备被称为“漏电流”的各个方面的内容，包括在正常条件和某些故障条件下有关生理效应和安装场合的电流的测量方法。

这里所描述的漏电流的测量方法是在对 GB/T 13870.1 和其他出版物，包括对早期测量方法的描述进行了研究而产生的。

从对漏电流效应的研究中得出了以下结论：

——就安全而言，主要考虑可能流过人体的有害电流（该电流不一定等于流过保护导体的电流）；

——发现电流对人体的效应要比早期制定标准时所认为的有几种要考虑的人体效应更为复杂些。

对连续波形，为规定限值所依据的最为重要的人体效应有：

- 感知；
- 惊吓反应；
- 摆脱制动；
- 电灼伤。

这四种人体效应中的每一种效应都有一个特定的阈值，其中某些阈值随频率的变化存在很大差异。

已经确定有两种类型的电流需要单独的测量方法：接触电流和保护导体电流。

接触电流仅在人体或人体模型形成电流通路时才存在。

还要注意的是，“漏电流”这一术语已用于表达若干不同的概念，如接触电流、保护导体电流、绝缘特性等，所以在本文件中，不使用“漏电流”这一术语。

接触电流的测量

过去，设备标准采用两种传统的技术测量接触电流，无论是测量保护导体中的实际电流，还是采用一个简单的电阻器—电容器网络（代表简单的人体模型），都是把接触电流定义为流过电阻器的电流。

本文件采用更有代表性的人体模型，给出上面提到的引起四种人体效应的电流的测量方法。

选择该人体模型用于多数普遍情况下一般意义上的电击。考虑到电流通路和接触条件，使用正常条件下从手到手或从手到脚几乎完全接触的人体模型。对小区域的接触（例如小面积的手指接触），选用其他的模型可能比较合适，但本文件并未包含。

在四种效应中，惊吓反应和摆脱制动与接触电流的峰值有关，并且随频率的变化而不同。习惯上将电击作为正弦波来处理，这样测量有效值（r.m.s）最为方便。峰值测量方法更适合于非正弦波形（预期得到接触电流的有效值），但也同样适用于正弦波形。对测量惊吓反应和摆脱制动电流所规定的网络是具有频率响应特性的网络，这种加权网络对工频下的单一限值进行规定并作为基准。

然而，电灼伤与接触电流的有效值有关，而与频率无关。对可能发生电灼伤的设备（见 7.2），需要分别进行两种单独的测量，即对电击测量电流的峰值，对电灼伤测量电流的有效值。

设备委员会决定哪种生理效应能接受、而哪一种不能接受，并由此规定电流限值，对某些特定类型的设备委员会，以本文件为基础，采用简化程序。在附录 D 中提供了依据各个设备委员会早期工作的所讨论的若干限值。

保护导体电流的测量

在某些情况下，要求在正常工作条件下测量设备的保护导体电流，包括：

——选择剩余电流保护器的情况；

——要求高完整性保护接地电路进行测量的情况；

——防止在电气安装时保护导体电流极度过载的情况。

通过给设备保护接地导体串联一个内阻可忽略不计的安培表来测量保护导体电流。

接触电流和保护导体电流的测量方法

1 范围

本文件描述了下述电流的测量方法：

——流过人体的直流电流或者正弦波形或非正弦波形的交流电流，和

——流过保护导体的电流。

推荐的接触电流的测量方法是以流经人体的电流可能引起的效应为基础的。在本文件中，对流经测量网络(代表人体阻抗)的电流的测量指的就是接触电流的测量。这些网络对于动物并不一定有效。

具体限值的规范和含义不在本文件范围内，IEC 60479(所有部分)提供了电流通过人体的效应的有关信息，根据该信息就可确定出电流的限值。

本文件适用于 IEC 61140 所定义的各类设备。

本文件中的测量方法不考虑在以下情况下使用：

——持续时间小于 1 s 的接触电流；

——在 IEC 60601-1 中规定的患者电流；

——频率低于 15 Hz 的交流电；

——超过所选择的电灼伤限值的电流。

本基础安全标准主要是提供给技术委员会在按 IEC Guide 104 和 ISO/IEC Guide 51 制定标准时使用。制造商或认证机构不能将本文件独立于产品标准使用。

技术委员会在制定标准时要使用基础安全标准。本文件的试验方法和试验条件的要求仅在相关标准中专门引用或规定时适用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

ISO/IEC Guide 51 安全方面 标准中安全问题导则 Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards

注：GB/T 20002.4—2015 标准中特定内容的起草 第 4 部分：标准中涉及安全的内容(ISO/IEC Guide51：2014，MOD)

IEC 60601-1 医用电气设备 第 1 部分：基本安全和基本性能的通用要求(Medical electrical equipment—Part 1：General requirements for basic safety and essential performance)

注：GB 9706.1—2020 医用电气设备 第 1 部分：基本安全和基本性能的通用要求(IEC 60601-1：2012，MOD)

IEC 61140 电击防护 装置和设备的通用部分(Protection against electric shock—Common aspects for installations and equipment)

注：GB/T 17045—2020 电击防护 装置和设备的通用部分(IEC 61140：2016，IDT)

IEC 60479(所有部分) 电流对人和家畜的效应(Effects of current on human beings and livestock)

注：GB/T 13870(所有部分) 电流对人和家畜的效应[IEC 60479(所有部分)]

IEC Guide 104 安全出版物的编写和使用基本安全出版物和组安全出版物(The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications)

注：GB/T 16499—2017 电工电子安全出版物的编写及基础安全出版物和多专业共用安全出版物的应用导则（IEC Guide 104:2010,NEQ）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

接触电流 touch current

当人体或动物接触一个装置或设备的一个或多个可触及零部件时，流过他们身体的电流。

[来源：IEC 60050-195:2021,195-05-21]

3.2

保护导体电流 protective conductor current

流过保护导体的电流。

3.3

设备 equipment

为了完成特定的任务，由机电零部件和一些特性组成的有序合集（按照相关产品标准规定）。

注：如果在相关设备标准中未给出定义，则见附录A。

3.4

可握紧的零部件 grippable part

设备中的这样一种零部件，当它流出的电流通过人手时，引起肌肉收缩而握紧该零部件而不能摆脱制动。

注：预定要用整支手来握紧的零部件就认为是可握紧的零部件而无需再作进一步验证。

3.5

电灼伤 electric burn

由于电流流过或穿过人体表皮而引起的皮肤或器官的灼伤。

4 测试场地

4.1 测试场地的环境

测试场地的环境要求应按照相应的设备标准中的规定。如果规定的电流限值小于70 μA有效值或100 μA峰值，或者设备具有可能被高频信号激励的较大的屏蔽层时，产品委员会应按照附录B。

4.2 测试变压器

隔离测试变压器的使用是可选择的。为了最大程度的安全，应使用隔离测试变压器（见图2中T2，图6～图14中T），并且受试设备（EUT）的电源保护接地端子应接地。变压器的任何容性漏电流都应计算在内。作为EUT接地的一种替代方法，测试变压器的次级和EUT需要保持浮地，在这种情况下，不需考虑测试变压器的容性漏电流。

如果不使用变压器T，这样受试设备本身可能会带危险电压，因此EUT应安装在绝缘台架上，并采用适当的安全保护措施。

4.3 接地中线

预定连接到TT或TN配电系统中的设备应在中线与地之间电位差最小的情况下来进行测试。

注：在附录I中给出了各种配电系统的介绍。

EUT 用的保护导体和接地中线之间的电位差应小于 1%线对线电压(见图 1 中的实例)。

按 4.2 配置的变压器可达到此项要求。

另外,如果电压差为 1%或更高,下述方法的实例在一些情况下可避免由于此电压带来的测量误差:

——将测量仪器的 B 端电极连接到 EUT 的中性端子上而不是电源的保护接地导体(见 6.1.2)上;

——将 EUT 的接地端子连接到电源的中线上而不是保护接地导体上。

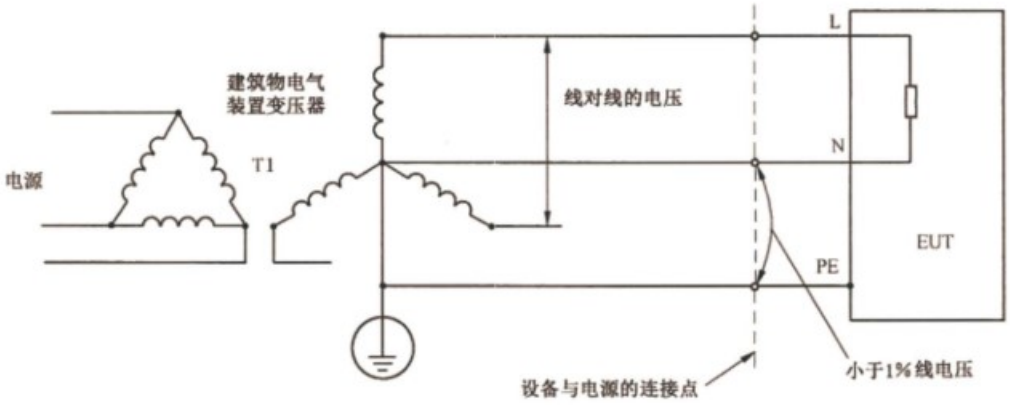


图 1 直接供电的接地中线

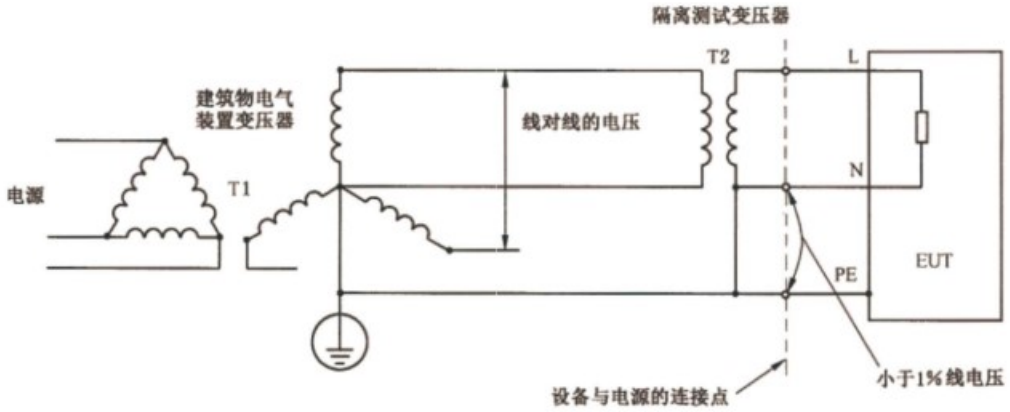


图 2 带有隔离变压器的接地中线

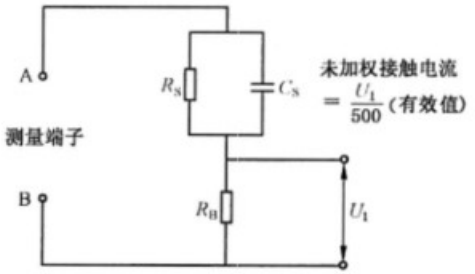
5 测量设备

5.1 测量网络的选择

5.1.1 通则

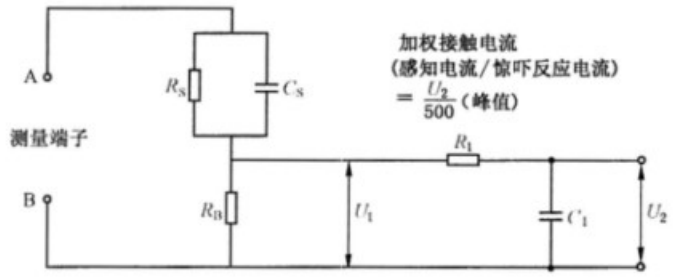
测量应采用图 3、图 4 和图 5 的某一网络进行。

注:对这三个网络的进一步解释参见附录 E、附录 F 和附录 G。



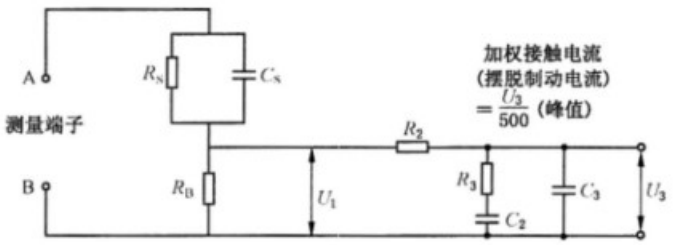
R_S 1 500 Ω
R_B 500 Ω
C_S 0.22 μF

图 3 未加权的接触电流的测量网络



R_S 1 500 Ω　　R_1 10 000 Ω
R_B 500 Ω　　C_1 0.022 μF
C_S 0.22 μF

图 4 加权接触电流（感知电流或惊吓反应电流）的测量网络



R_S 1 500 Ω　　R_3 20 000 Ω
R_B 500 Ω　　C_2 0.006 2 μF
C_S 0.22 μF　　C_3 0.009 1 μF
R_2 10 000 Ω

注：在特定条件下（见 5.1.2）使用这个网络。

图 5 加权接触电流（摆脱制动电流）的测量网络

5.1.2 感知电流和惊吓反应电流

应使用图 4 的网络确定电击的低级别电击限值。这个网络适用于产品标准中的交流电流限值不超过 2.0 mA 有效值或 2.8 mA 峰值时的测量。

5.1.3 摆脱制动电流

应使用图 5 的网络确定更高级别的电击限值。这个网络适用于产品标准中的交流电流限值大于

2.0 mA 有效值或 2.8 mA 峰值时的测量。

5.1.4 电灼伤(a.c.)

使用图 3 的未加权接触电流网络。

5.1.5 无纹波直流

可采用三个网络中的任何一个网络,除非设备标准中另有规定,无纹波直流是指其纹波峰-峰值小于 10%。

5.2 测试电极

5.2.1 结构

除非设备标准中另有规定,测试电极应是:

——测试夹;或

——代表人手的 10 cm×20 cm 的金属箔,用于粘合金属箔的胶合剂应是导电的。

5.2.2 连接

测试电极应连接到测量网络的测量端子 A 和端子 B 上。

5.3 配置

EUT 应按最大限度的配置完全组装好,并做好使用准备。还要按照制造商对单台设备的规定连接上适用的外部信号电压。

对设计成由多路电源但同时仅要求一路电源供电(例如作为备用)的设备,则测试时应仅接上一路电源进行试验。

要求由两路或两路以上电源同时供电的设备,测试时应连接上所有的电源,但连接的保护接地最多一个。

5.4 测试期间电源的连接

5.4.1 通则

注:附录 I 中给出了电源配电系统的实例。

设备应根据 5.4.2、5.4.3 或 5.4.4 适用的情况,按照图 6～图 14 所示进行连接。

设备委员会宜考虑到制造商可能需要确认其设备在最终使用中要连接的配电系统(TN,TT,IT 配电系统)。

当制造商规定 EUT 只能用于某些配电系统中,则设备应在与这些系统连接的情况下进行测试。

仅连接到 TN 或 TT 系统的设备应符合 5.4.2 的要求,连接到 IT 系统的设备应符合 5.4.3 的要求,并且也可连接到 TN 或 TT 配电系统上。

对于 0 类和Ⅱ类设备(见 IEC 61140),忽略图 6～图 14 中的保护导体。

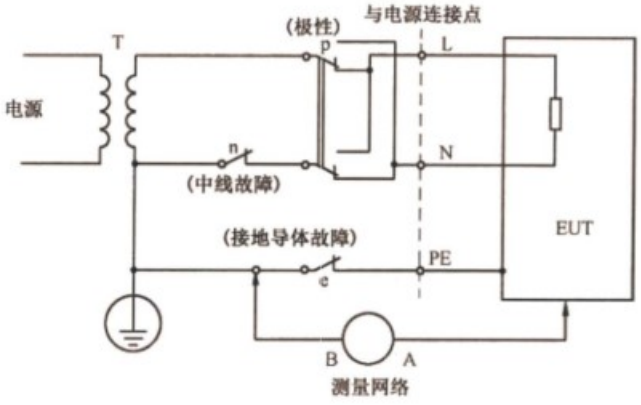
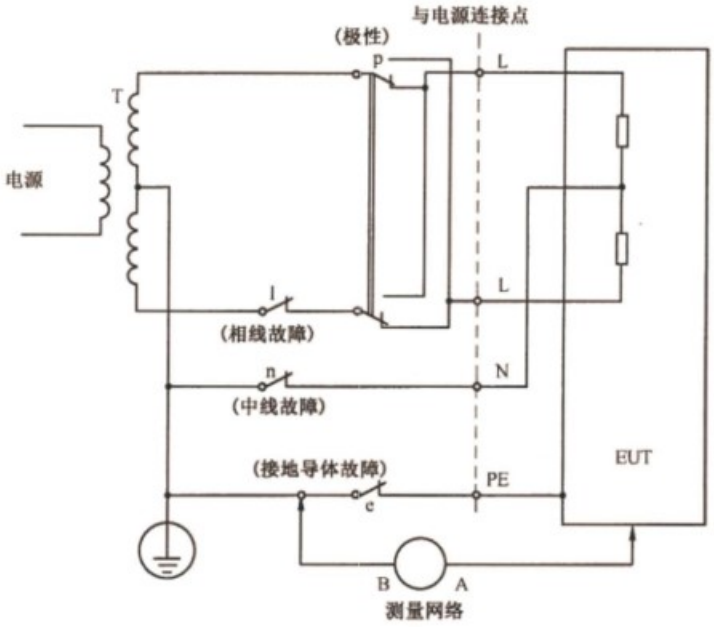


图 6 接到星形 TN 或 TT 系统的单相设备的试验配置



注：中心抽头绕组可是三角形供电一个相。

图 7 接到中心接地的 TN 或 TT 系统的单相设备的试验配置

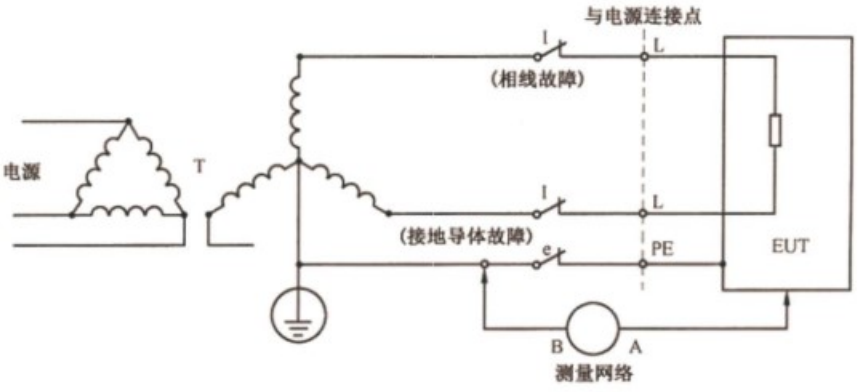
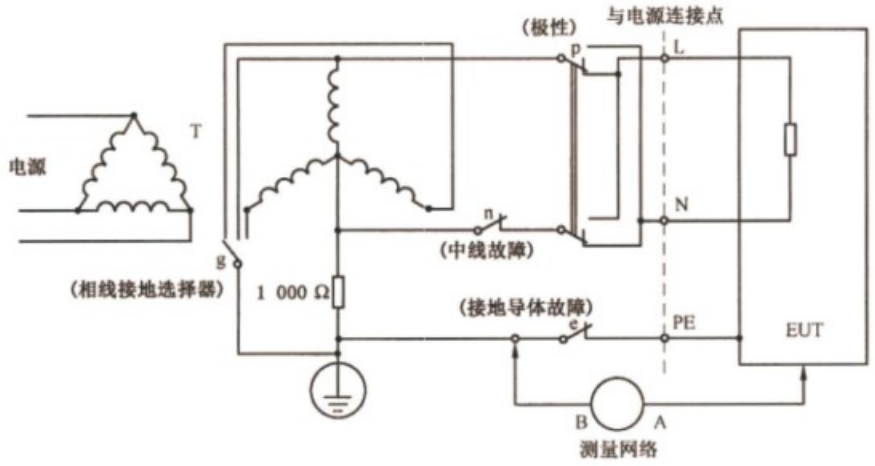
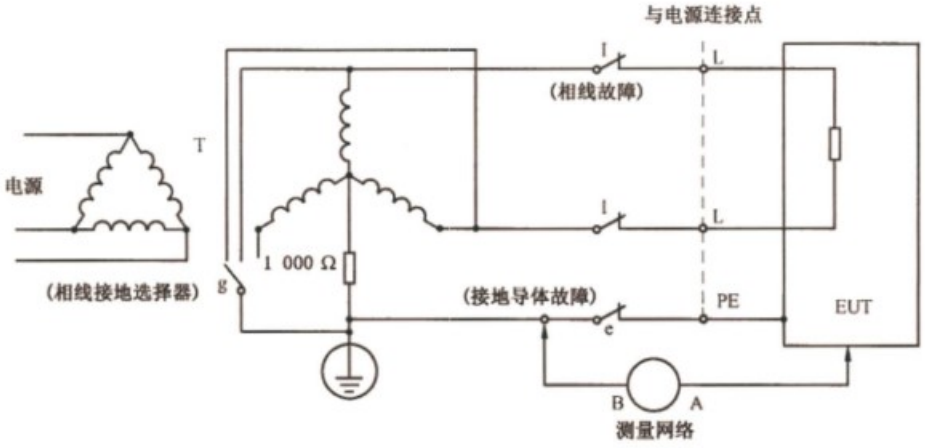


图 8 接到星形 TN 或 TT 系统的相间的单相设备的试验配置



注：对配电系统的故障，宜规定 1 kΩ 的电阻器。

图 9　接到星形 IT 系统的相线和中线间的单相设备的试验配置



注：对配电系统的故障，宜规定 1 kΩ 的电阻器。

图 10　接到星形 IT 系统的相间的单相设备的试验配置

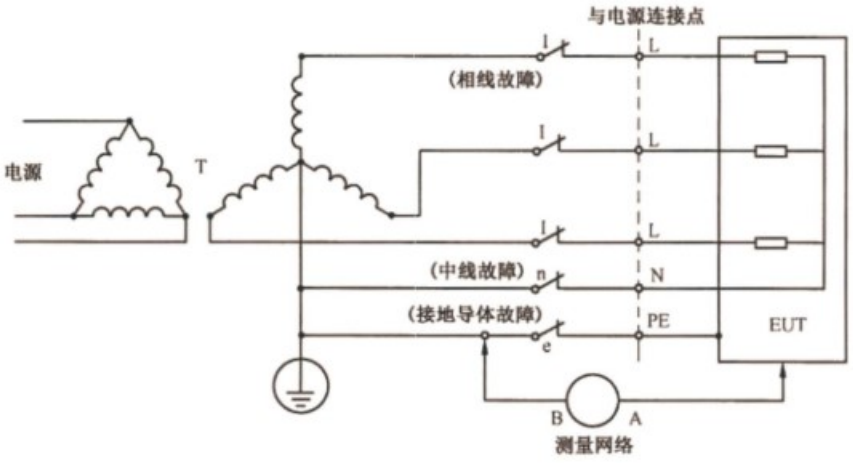
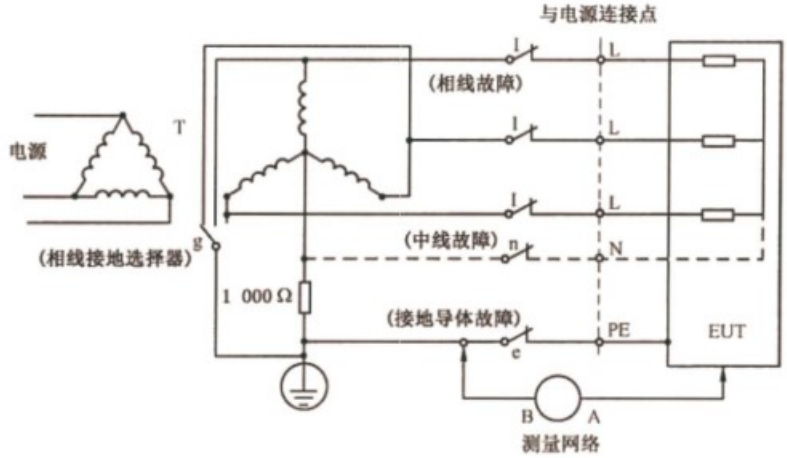


图 11　接到星形 TN 或 TT 系统的三相设备的试验配置



注：对配电系统的故障，宜规定 1 kΩ 的电阻器。

图 12　接到星形 IT 系统的三相设备的试验配置

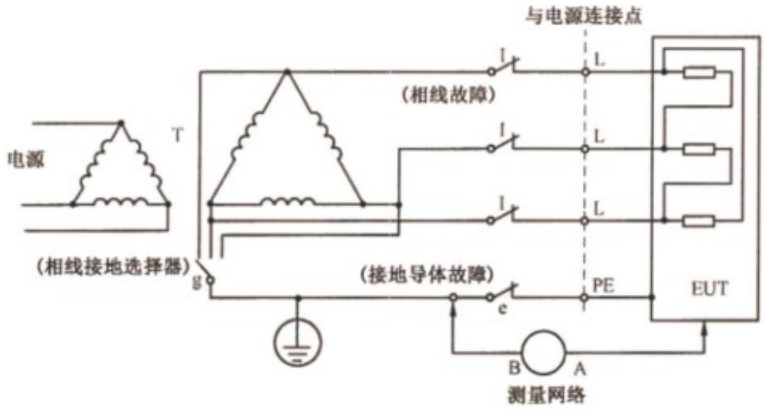
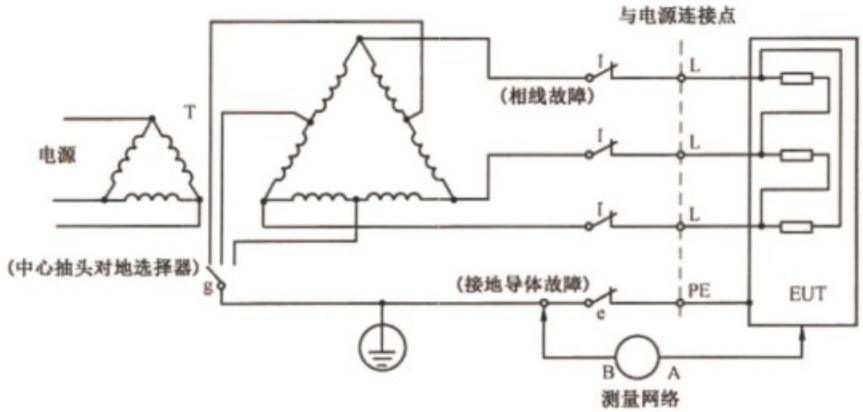


图 13　接到未接地的三角形配电系统的三相设备的试验配置



注：如果设备包含有三相负载和中心接地单相负载，而且接地的绕组(侧)已经确定，则开关 g 宜停留在已确定的接地侧的位置上。

图 14　接到中心接地的三角形配电系统的三相设备的试验配置

5.4.2 仅使用 TN 或 TT 星形配电系统的设备

三相设备应连接到带有中线接地的三相星形配电系统上。单相设备应连接到中线接地的配电系统的相线和中线之间，或者如果制造商规定了工作方式，则也可连接到中心接地的三相星形配电系统的任何两线之间(见图 6、图 8 和图 11)。

5.4.3 使用 IT 配电系统(包括不接地的三角形系统)的设备

三相设备应连接到相应的三相 IT 电源系统。单相设备应连接在相线和中线之间，或者如果制造商规定了工作方式，也可连接在任何两相线之间(见图 9、图 10、图 12 和图 13)。

5.4.4 使用单相中心接地的电源系统或中心接地的三角形电源系统的设备

单相设备应连接到中心抽头接地的电源系统上(见图 7 和图 14)。

三相设备应连接到相应的三角形电源系统上(见图 14)。

5.5 电源电压和频率

5.5.1 电源电压

电源电压应在设备供电端子间测量。

通常接触电流在最大供电电压时达到最大。现代电子电源在这种供电条件下则不会总是产生最大接触电流。接触电流可能在电压最低(即最大电流消耗)或在其他一些条件时达到最大。应在最不利的工作条件下提供电击保护。

额定电压为单一值的设备，应在其额定电压加上电源变化的相应工作容差下进行试验。

额定电压为某一电压范围的设备，应在该范围的极端电压加上电源变化的相应工作容差下进行试验。工作容差将由设备委员会或必要时由制造商来确定(例如：0%，−10%/+6%或+10%)。

对于使用电压选择器来设置不同额定电压或电压范围的设备，应先设置极端额定电压或电压范围，然后像上述那样来进行试验。如果电压转换涉及比改变变压器绕组更为复杂的操作时，则有必要进行另外的试验以确定最严酷的情况。

如果试验设备不方便调到规定的电压，可将它调到额定电压范围内可达到的任何电压下进行试验，然后计算出结果。

5.5.2 电源频率

电源频率应是最大额定标称频率，或者作为另一种选择，可通过计算来修正测量值，以估算最不利情况下的电流值。

6 测试程序

6.1 通则

6.1.1 接触电流测量

根据电压限值的原则(见 IEC 60364-4-41)，产品委员会可能希望免除对某些可接触零部件进行接触电流的测量。如果是这样，应先对可触及电压进行测量，如果需要，再按第 6 章测量加权或未加权的接触电流。

直流或高频(例如：接触电流为 3.5 mA 时，其频率高于 30 kHz)时要考虑电灼伤效应。低频情况下则主要考虑惊吓反应和摆脱制动效应。当有这种考虑时，除了测量感知/惊吓反应电流(见图 4)或摆脱

制动电流(见图 5),还应测量接触电流的未加权有效值(见图 3)。

6.1.2 控制开关、设备和供电条件

在测量接触电流时,测量环境、配置、接地和电源系统应符合 5.3、5.4 和 5.5 的要求。

测量中为了获得电流的最大值,应按照制造商的设备操作和安装说明所允许的情况,通过连接和断开作为设备部件的单元来改变试验配置。

图 6～图 14 中的控制开关 e、g、l、n 和 p 应按 6.2 所述进行控制,而 6.1.2 和 6.2.1 所列的条件是独立变化以给出最大测量值。因此产品委员会应对这些可变因素进行适当的选择。最近在产品标准中加入了与电气安装有关的非正常运行(如保护接地的缺失或者无法确保电源极性)作为运行条件,说明了正常工作和故障条件的试验条件此时也适用于本试验。

6.1.3 测量网络的应用

应根据图 6～图 14 相应的电路(见 5.4),使用合适的测量电极(见 5.2)和测量网络(见 5.1)以及测量装置(见 G.4),来测量可同时触及的零部件之间和可触及零部件与地之间的接触电流。

A 端电极应依次施加到每个可触及的零部件上。

A 端电极每次接入时,B 端电极先接到地,然后再依次逐个接到其他的可触及的零部件上。

对于有功率导体接地的电源系统,B 端电极可在 EUT 和电源接口处与接地的导体直接相连,而不是与保护导体相连。即使保护导体和接地电源导体之间的电压差大于线电压的 1%(见 4.2)时也可使用这个连接。

6.2 设备的正常条件和故障条件

6.2.1 设备的正常操作

试验进行时,应保持所有试验开关,l,n 和 e 接通,测量网络的 A 端依次连接到每个未接地的或导电的可触及零部件和电路上。

测量应在正常工作的所有适用的条件下进行。

正常工作的实例包括:电源开关的接通、断开、等待、启动、预热以及操作人员的控制件的任意设置,电源电压设置控制件除外。

单相设备应以正常极性和相反极性(开关 p)进行测量。

三相设备应在换相条件下测试,除非设备的工作是依赖于相位的。

6.2.2 设备和电源的故障条件

6.2.2.1 通则

6.2.2 不适用于无接地的设备。

对于有保护接地连接或功能接地连接的设备,测量仪器的 A 端要与 EUT 的接地端连接。

测量应在 6.2.2.2～6.2.2.9 所规定的每一个适用的故障条件下进行。每次只施加一个故障,但是并不排除由第一个故障导致的其他合理的任何故障。施加任一故障之前,设备应恢复到它的原始状态(例如没有故障或没有由故障引起的损坏)。

如果在三相设备上使用均衡相线滤波器,对地的净电流理论上等于零。但是,由于元器件和电压不均衡产生有限的净电流是正常的,在型式试验期间,可不测量它的最大值。由于某相上电容器失效将导致更大的不均衡电流,设备委员会宜考虑对这类设备的试验,即在断开保护接地的条件下(见 6.2.2.2),用人为故障的滤波器(拆卸一个电容器的滤波器)来代替。

对于其他有均衡布置的元器件也要有类似的考虑,例如连接在电源与地之间的浪涌抑制器。

三相设备应在换相条件下测试，除非设备的工作是依赖于相位的。

6.2.2.2 故障条件 1

根据设备的类别，要区分保护导体的几个安全等级(见 IEC 61140)。

没有可靠接地的单相设备应在断开保护地(开关 e)的情况下，以正常极性和相反极性(开关 p)进行测试。

没有可靠接地的三相设备应在断开保护接地连接(开关 e)的情况下进行测试。

除非产品委员会另有规定，本条要求不适用于可靠接地的设备，即设备永久地或者通过工业用插头和插座(例如：IEC 60309-1，或类似的国家标准规定的插头和插座)连接到电源上。

6.2.2.3 故障条件 2

单相设备应将中线断开(开关 n)、接地导体原封不动的情况下，以正常极性和相反极性(开关 p)进行测试。

6.2.2.4 故障条件 3

使用 IT 电源系统的设备应逐个将各相线接地(开关 g)进行测试。

6.2.2.5 故障条件 4

三相设备应将各相线逐个断开(开关 l)进行测试。

6.2.2.6 故障条件 5

使用 IT 电源系统或三相三角形电源系统的单相设备，应使用三相电源系统进行测试。测试时将各相线逐个接地(开关 g)，每次以正常极性和相反极性(开关 p)进行测量。同时还要逐个断开各相线(开关 l)，以正常极性和相反极性(开关 p)进行测试。

6.2.2.7 故障条件 6

使用中心接地的三角形电源系统的三相设备，应使用三角形电源系统测试。测试时，将各相线的中心抽头逐个接地(开关 g)。

如果设备同时有三相电路和不能独立安装的中心接地电路，而这个中心接地电路又有一个确定的接地端子，则仅在开关 g 处于被确定的接地端子的位置上进行测试。

6.2.2.8 故障条件 7

如果产品委员会规定的其他故障条件可能会增大接触电流的话，还要模拟这些故障条件进行测试。

6.2.2.9 故障条件 8

对于仅偶然与其他零部件有电气连接的可触及导电零部件，应在与其他零部件有电气连接和没有电气连接的两种情况下进行测试。关于偶然连接零部件按照附录 C。

7 结果评定

7.1 感知电流、惊吓反应电流和摆脱制动电流

图 4 和图 5 中的电压 U_2 和 U_3 是 U_1 的频率加权值，对于所有 15 Hz 以上的频率来说，其接触电流值

是单一的、低频等效指示值。这些接触电流的加权值是按照第 6 章的测试程序所测得的 U_2 和 U_3 的最高峰值除以 500 Ω。测得的最大值应与设备的感知电流或惊吓反应电流和摆脱制动电流限值(例如:50 Hz 或 60 Hz 限值)进行比较。

直流限值的测量以同样的方式进行,但其值取 U_1 除以 500 Ω(参见附录 G)。

7.2 电灼伤

在涉及电灼伤效应(见 6.1)的场合,应测量接触电流的未加权有效值或直流值。该值由电压 U_1 的有效值计算得到,U_1 为跨接在图 3 所示的测量网络的 500 Ω 电阻两端的电压值。

接触电流的效应还和人体的接触面积和接触持续时间有关。这些参数之间的关系和接触电流限值的确定不在本文件规定范围(参见 D.3)。

注:电灼伤是当电流流经人体表皮和人体构成的阻抗时,因消耗功率而造成的。灼伤的其他形式可能是由电气设备引起的,例如电弧或电弧生成物。

8 保护导体电流的测量

8.1 通则

保护导体的电流要求和电流值与接触电流无关,因而分开处理它们的限值和测量方法应分开处理。

8.2 多台设备

在任一共用接地的系统内,各个设备的保护接地电流将按非算术方式相加。因此,只有单一保护接地导体的一组设备,其保护导体电流不能依靠单个设备的保护导体电流预测。所以,单个设备的测量用途有限,设备组的保护导体电流应在共享的保护接地导体上测量。

8.3 测量方法

安装后,应通过阻抗可忽略不计(例如 0.5 Ω)的电流表与保护导体串联来测量安装处的保护导体电流,保护导体电流的测量是在设备和配电系统的所有正常工作状态下进行的。

附 录 A
（规范性）
设备

除设备标准中另有规定以外，设备可认为与供电电源具有单独的连接。

设备可以是一个单独的设备单元，也可是多个结构上独立、电气上互连的设备单元组成（见图 A.1）。设备内部也可含有电源（例如：太阳能或电池供电）。

按照 5.4 的要求，信号电缆的连接件应认为是设备的一部分。

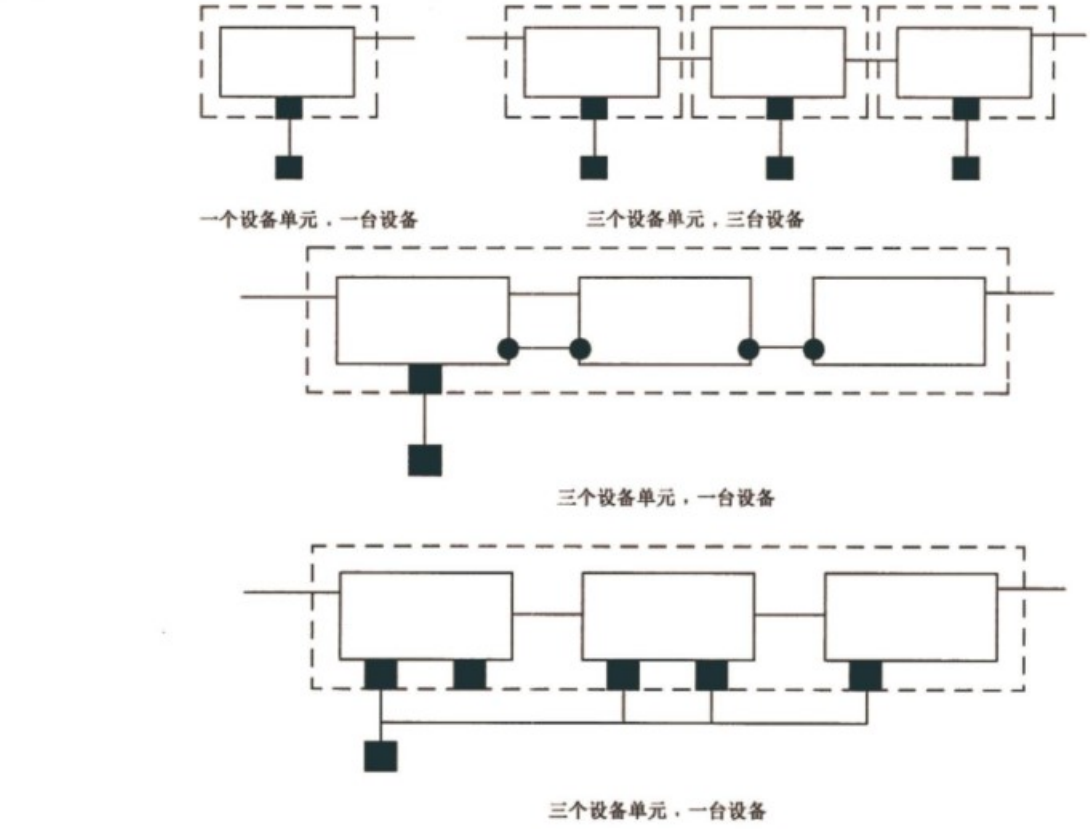


图 A.1 设备

附 录 B
（规范性）
导电板的使用

若规定的接触电流限值（按频率加权或没有频率加权）小于 70 μA 有效值或 100 μA 峰值或者设备在测试时与可能受高频激励（例如：高频信号发生器和电压测量仪器）的外部表面有较大的容性耦合，在这种情况下，采用下面这种测量接触电流的方法是合适的，即让（受试）设备的表面与被放置在正下方或对面的导电板的表面形成电容耦合。如果以这个方式来对设备进行测试，则设备应放置在导电板上，该导电板本身又放置在绝缘平面上（见图 B.1）。

导电板的面积和周长应等于或大于与之贴近的设备表面。

应将测试用的导电板作为可触及部件，按照第 6 章的测量程序来进行测量。

将导电板紧贴在可能与外导电面相邻的设备的任何其他表面上重复进行测量。

为了与电磁干扰隔离，可能需要将设备（包括导电板，如果使用的话）放置在与其他导体或设备距离 0.5 m 或更远处。

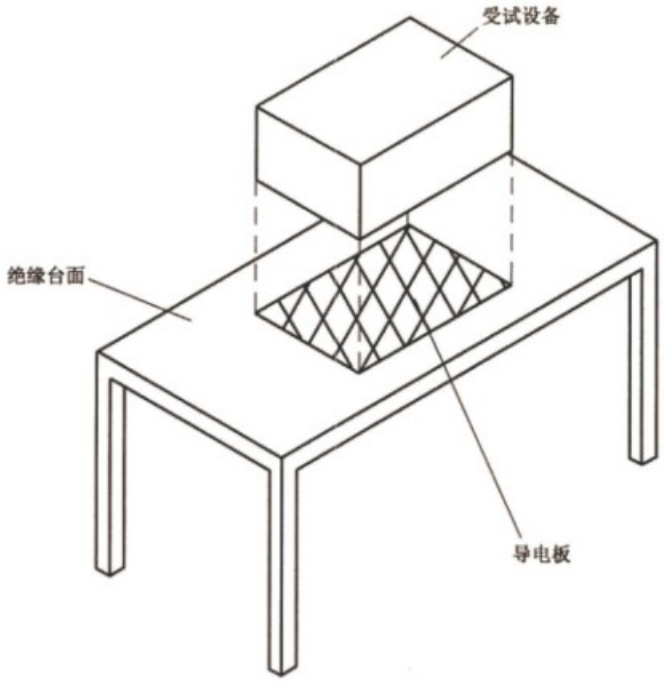


图 B.1 设备试验台

附 录 C
（规范性）
偶然连接的零部件

偶然连接的零部件是可触及的导电零部件，它们与地或任何规定的电压既不可靠地连接，也不确实地隔离。

偶然连接的零部件的实例包括：

——通过金属铰链而连接的门和附属物；

——含有可触及导体（例如：金属箔）的粘贴标签；

——附在涂料或经阳极化处理过的表面上的零部件；

——控制手把。

设备的某些生产样品可能有与地或其他电路有效连接的偶然连接零部件，而在其他一些样品中，这同一零部件可能与地或其他电路隔离，这样的话，通常不清楚哪种情况将产生较大的接触电流，因此，6.2.2 要求在两种情况下测量接触电流，以发现最坏的情况。然而，如果主频低于 100 Hz，最坏的情况很可能是偶然连接的零部件被连接到其他的零部件上。

附 录 D
（资料性）
电流限值的选择

D.1 概述

在起草本文件中所规定的测量程序时，曾设定了产品委员会要使用的电流限值，这样做的目的是从IEC 60479-1中选择合适的电流数值来设计图3、图4和图5的测量网络。

这些设定基于IEC早期的出版物，在本附录中给的电流值仅是举例，以下给出的例子对产品委员会选择电流限值是有帮助的。

D.2 限值示例

D.2.1 心室的纤维性颤动

不设定限值。

若设定接触电流的限值，将选择正好低于心室的纤维性颤动阈值。

D.2.2 丧失摆脱制动能力

本文件规定了测量方法。

IEC 60479-1设定10 mA有效值为摆脱制动电流的近似平均临界阈值，然而作为IEC 60479-1的建议值，5 mA有效值适用于所有的成年人群，频率效应见图F.3。

D.2.3 惊吓反应

本文件规定了测量方法。

IEC 60479-1中给出低频下的惊吓反应阈值大约为0.5 mA有效值，各种使用中的惊吓反应限值均在感知阈值和摆脱制动阈值之间。

D.2.4 感知阈值

毫安级的接触电流就可被感知，除非是电流高到产生不自主的反应，这个反应可能导致有害的效果，否则接触电流被认为是没有危险的，并且通常不用这些方法进行测量。

D.2.5 特殊应用

可使用本文件规定的测量方法，除非是在特定产品的标准中另有规定。

IEC 60065、IEC 60335-1、IEC 60950-1和IEC 62368-1中规定Ⅱ类设备使用0.25 mA有效值（惊吓反应阈值的二分之一），频率效应见图F.2。

某些医学上的应用规定了低于0.25 mA有效值的限值，对于这样的应用，本文件的测量方法可能不能提供适当的人体阻抗模型（见E.1）。

D.3 限值的选择

对于正常工作条件和故障条件，宜考虑需要规定不同的限值。

流过人体的电流效应的导则见IEC 60479（所有部分）。

通常，限值是用直流最大值和在频率不超过100 Hz下的交流最大值来表示的。本文件中所规定的

测量方法就摆脱制动电流、惊吓反应电流和某些特殊应用是相同的。测量网络考虑到了较高频率的电流对人体的作用，并模拟了人体阻抗随频率增高而降低的情况，以电流的峰值、频率加权值确定摆脱制动电流、惊吓反应电流和感知电流的限值。对电灼伤有意义的是有效值，由于在低频下显著的结果是惊吓反应或摆脱制动效应，在本文件范围内，频率对电灼伤的影响是忽略不计的。

对大多数设备，由于惊吓反应或摆脱制动接触电流的限值几乎总是能防止心室纤维性颤动，因此心室纤维性颤动的限值(D.2.1)是不必要的，例外情况(在 IEC 60479-1 中所讨论的)是：如果是短期电流脉冲流过人体(脉冲太短以至于不能摆脱制动)，可认为电流脉冲的惊吓反应不是危险的。

传统上一直注重对可握紧部件的摆脱，但现在来看是一个简单的观点。除考虑电灼伤以外，在这种情况下，连续电流的最高限值与摆脱制动电流阈值(D.2.2)是相同的。然而，电灼伤只有在高频情况下才变成为主要因素。介于惊吓反应电流和摆脱制动电流限值之间的电流虽然可能引起人的神经刺激和不由自主的肌肉反应，但是可预料通过人体的这一电流不会直接对人体有伤害，因此该电流可以说是次要安全危险。在单一故障条件下，该电流可认为是允许的，如果是这样的话，产品委员会可能专门提供豁免。

对于短期电流，有时候用高于摆脱制动电流的电流限值，条件是此限值远低于心室纤维性颤动阈值和电灼伤限值。对于这样小面积接触的交流测试，产品委员会可以指定图 3 的测量网络作为测量网络。

宜使用图 4 的感知/惊吓反应电流测量网络来测量小面积接触的惊吓反应电流限值。

据了解其他 IEC 出版物中的低频接触电流的限值是基于如下考虑：

——惊吓反应电流的限值或较低的限值：

- 为避免无意识的惊吓反应所造成的严重的后果(例如：人从梯子上掉下或设备的摔落)；
- 惊吓反应电流的限值一般为 0.5 mA 有效值或 0.7 mA 峰值的正弦电流；
- 如果使用人员对电流特别敏感或由于环境和生物(学)的原因而有危险的情况下，需要用低于 0.25 mA 有效值(0.35 mA 峰值)的限值。

——摆脱制动电流限值：

- 当施加摆脱制动电流时，感知和某些惊吓反应电流作为故障开始的指示，是可接受的；
- 据估计，男女各自的摆脱制动电流阈值平均为 16 mA 有效值和 10.5 mA 有效值；
- 一些人具有更低的阈值，据报道 99.5%的男女阈值分别为 9 mA 有效值和 6 mA 有效值，而且预见到小孩的阈值更低；
- 某些单一故障条件可证明摆脱制动电流的限值，惊吓反应电流适用于正常条件。

某些类型的设备在开始接通电流时，可能会有很高的初始接触电流值，但随着设备的运行而迅速减小。当被产品委员会指定时，这通常在设定设备限值时被忽略不计。

D.4 接触电流的电灼伤效应

一般没有一个在所有情况下都能防止电灼伤的能被接受的接触电流的限值。目前已知该限值是和其他参数(例如与人体的接触面积和接触的持续时间)相互关联的。这些参数之间的关系需进一步研究，当安全限值确定时，它们可能是基于两个或两个以上的参数。

本文件规定了电灼伤效应的接触电流的测量方法(见 7.2)。

国际标准已经使用了如下的限值：

——IEC 61010-1，500 mA 有效值(故障条件下)。

有研究报告表明，在电流密度约为(300～400) mA/cm^{2}有效值的情况下，开始出现皮肤表皮灼伤。

对于导致电灼伤的条件分析显示，存在一个电灼伤超越摆脱制动的交叉频率，产品要求宜反映出这个需求以做出正确的测量来提供适当的保护。IEC 62368-1 提供了一个定义这种要求的方法。

附 录 E
（资料性）
用于测量接触电流的网络

E.1 概述

本附录给出的电流值仅是示例。

预定适用于图 3、图 4 和图 5 网络测量的接触电流一般使用产品委员会用的限值：例如，从 100 μA 有效值/140 μA 峰值到大约 10 mA 有效值/14 mA 峰值的交流电流和直流电流，并且覆盖频率范围到 1 MHz 的正弦波、混频波和非正弦波。

E.2 人体阻抗网络——图 3

图 3 网络的用途是：

——模拟人体的阻抗；

——如果人体以可能的方式触及设备，网络将提供一个指示可能流过人体的电流等级的测量值。

R_B为模拟的人体内部阻抗。

R_S和 C_S模拟两接触点间总的皮肤阻抗，C_S的值由皮肤接触的面积来决定，对于较大的接触面积，可使用较大的值（例如：0.33 μF）。

注：此处使用的图 3 中具有 R 和 C 的人体模型传统上已经用于产品安全标准 50 年或更长时间了；对于这项测试而言，它具有足够的历史。

电灼伤的接触电流值等于 U_1有效值除以 500 Ω。

E.3 惊吓反应电流（含人体阻抗）测量网络——图 4

人体对电流的惊吓反应是由流过人体内部器官的电流引起的。

为了准确测量这些效应，要求对惊吓反应电流随频率变化进行研究和补偿。对于引起不自主惊吓反应的电流，图 4 的网络模拟了人体阻抗，并且给出了随人体频率特性的加权值。这是基于假定惊吓反应电流和感知电流的频率特性的形状是相同的，并且建立频率特性的数据实际上是从感知电流的阈值的试验中得到的。

该测量网络适用于加权等效于 50 Hz 和 60 Hz 下电流限值高达 2 mA 有效值的情况。对于较高限值电流的测量，如果涉及高于这些限值时不能摆脱制动，则该网络将因为考虑到摆脱制动电流和不同频率的加权的需要而使网络使用受到限制（见 E.4）。

对于惊吓反应的接触电流，交流或直流值等于 U_2峰值除以 500 Ω。

E.4 摆脱制动电流测量网络（含人体阻抗）——图 5

人体丧失摆脱制动物体的能力是由流过人体内部（例如：通过肌肉）的电流所致。测量网络适用于在 50 Hz 和 60 Hz 时约 2 mA 以上的电流限值。

摆脱制动电流限值的频率效应不同于感知电流、惊吓反应电流或电灼伤电流的频率效应，特别是频率在 1 kHz 以上时更是如此，而滤波器的设计考虑了此因素。

图 5 的网络模拟人体阻抗，并额外加权以模拟人体对电流的频率效应，该电流能引起肌肉痉挛（肌肉不自主的收缩）、丧失摆脱制动可握紧零部件的能力。有关摆脱制动电流阈值的接触电流是用 U_3峰值除以 500 Ω。

附 录 F
（资料性）
测量网络的限值和结构

图 3、图 4 和图 5 的网络都是用来产生一个可测量的电压响应，该电压响应近似于图 F.1，图 F.2 和图 F.3 给出的曲线。网络和所提供的参考曲线除了为简化测量电路，在 300 Hz～10 kHz 之间的曲线拐点允许有一点偏差外，一般是与 IEC 60479-1 和 IEC 60479-2 中所公布的曲线相符合的。

如果规定了电灼伤限值，也要在没有频率加权的情况下测量接触电流。如果超过电灼伤电流限值有效值先于超过感知、惊吓反应和摆脱制动的加权峰值电流限值，则使用电灼伤所确定的标准判据。即使发生这种情况，通常也只是在 30 kHz～500 kHz 的范围内，并取决于电流的波形和所使用的限值。如果上述这些频率不是主要分量，则不必测量电灼伤限值。

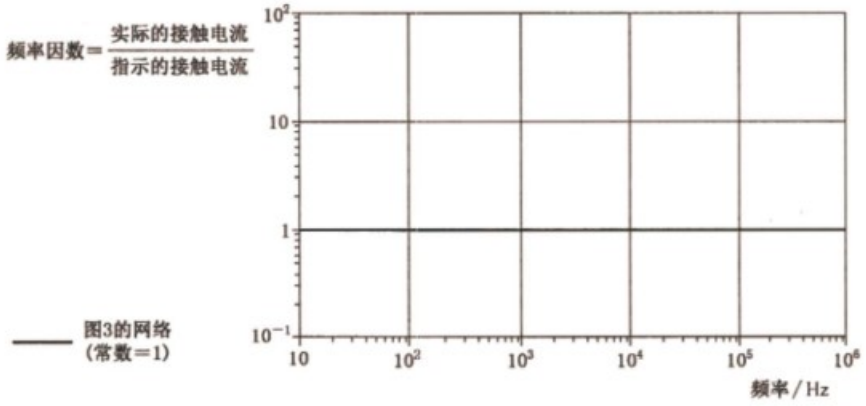


图 F.1 电灼伤电流的频率因数

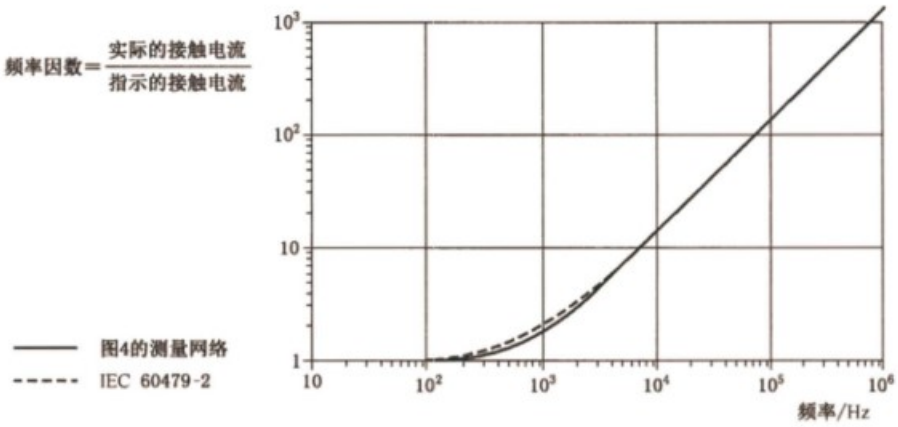


图 F.2 感知电流/惊吓反应电流的频率因数

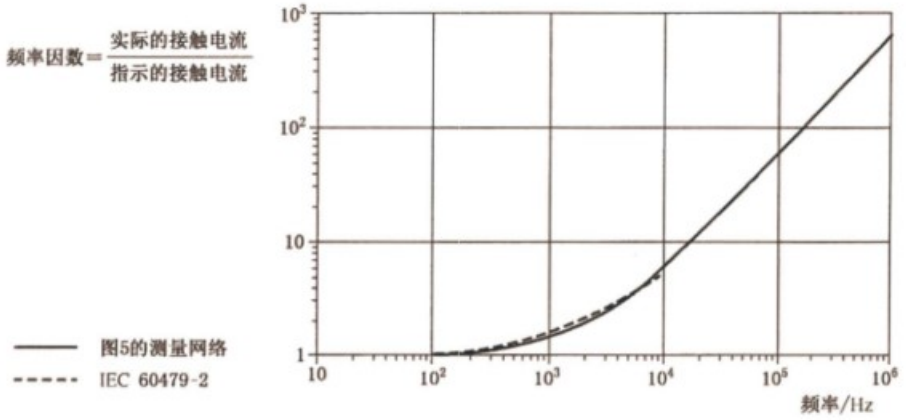


图 F.3　摆脱制动电流的频率因数

附 录 G
（资料性）
接触电流测量仪器的结构和应用

G.1 选择元器件的考虑

G.1.1 概述

对图 3、图 4 和图 5 的接触电流测量网络，其元件的选择在很大程度上会受到实际应用的影响，例如所要测量的电流的大小和频率以及所要考虑的测量误差和功率传输能力。

本文件所论述的测量网络、仪器及其性能规格既适用于简单设备的正弦波接触电流，也适用于会产生高频的复杂产品的非正弦波接触电流。然而，在作有限的应用时，网络不必覆盖从直流到 1 MHz 的整个范围，也不必承受在特定的应用中不太可能的功率输入值。如果电路的情况能保证简单的电流测量网络和仪器测得的数据和规定的网络和仪器测得的数据是相同的，则可使用较为简单的电流测量网络和仪器来代替规定的网络和仪器。

这里所给出的信息是要指出对每一个元件所要考虑的因素，以便可针对特定的应用来作出相应的选择。

G.1.2 R_S和R_B的功率额定值和电感

R_S和R_B的功率是由两个因素来决定的，一个因素是在直流或低频条件下可能的过载。例如，如果希望具有 240 V、50 Hz/60 Hz 条件下的过载能力，则至少在短时间内，R_S能承受 21.6 W，R_B能承受 7.2 W，其电阻值就不会发生漂移。然而，如果过载并不是所要关心的，则 1/2 W 或 1 W 的金属膜电阻器就可具有足够的准确度，同时还能具有低温度系数和长期稳定性。

基于上述的选择，测量网络就宜标有适当的标记，除非它能够承受长时间的过载。

在某些应用场合，R_B也可能消耗高频电流的功率，例如，如果要测量灼伤危险电流 500 mA，则在R_B上将消耗 125 W 的功率。即使不可能遇上这种测量，但有可能还是选取具有这种能力的电阻器为好。

如果其他因素诸如准确度和电感误差被控制在实际应用所能允许的水平，则线绕功率电阻器就可用来传输功率。准确度为±1%和±5%的功率电阻器是很容易得到的。曾经对典型的 12 W 和 20 W 的线绕电阻器测量过电感，结果发现电阻值为 1 000 Ω 时大约有 30 μH 的电感。两个这样的电阻器并联，其电阻值为 500 Ω，而在 1 MHz 下，其电感将使阻抗增加 2%，达到 510 Ω。

电阻器R_S的电阻值和电容器C_S的电容量值控制R_S/R_B网络的高频性能。一个远高于预期值的 1 mH 的电感器与R_S(1 500 Ω)串联，在 1 MHz 的情况下所造成的误差小于 0.2%。

G.1.3 电容器C_S

推荐使用具有延伸金属箔结构的薄膜电容器。电容器C_S可能需要具有一个能承受短时过载的电压额定值，例如交流 250 V，或者可能是直流 400 V 或直流 600 V。对按直流规定的薄膜电容器，通常在短时间内能承受等于直流额定值的交流峰值电压而不会损坏。如果为了满足 1 MHz 下的性能而需要来控制C_S及其引线的电感，则可能需要将两个或三个电容器并联起来，以达到准确度和频率响应。

曾经对额定电压为交流 250 V，0.1 μF 的薄膜电容器测量过约在 3 MHz 下的响应。可预计在 1 MHz下，由于这种元件的电感而引起的误差大约为 3%，对小于 0.1 μF 的电容器可并联起来，以减小电感误差。

G.1.4 电阻器 R1、R2 和 R3

在过载和频率高达 1 MHz 的情况下，金属膜电阻器能给出满意的性能。如果希望具有过载能力(见 G.1.2)，则 R1 和 R2 的额定值宜取 1 W。

G.1.5 电容器 C1、C2 和 C3

推荐使用具有延伸金属箔结构的薄膜电容器。这种系列的电容器的电感在 1 MHz 下通常不会导致明显的误差。电容器的误差可通过并联两个或两个以上的较小的电容器来调节。

G.2 电压表

为了在高达 1 MHz 时具有满意的性能，用来测量 U_1，U_2 和 U_3 的装置宜是一种具有下列特性的电压测量仪器：

——能响应下列测量值：

- 直流，在作直流测量时；
- 真有效值，在作有效值测量时；和
- 峰值，在作峰值测量时。

——输入电阻不小于 1 MΩ；

——在作交流测量时输入电容不大于 200 pF；

——在作交流测量时频率范围从 15 Hz 到 1 MHz，或如果涉及更高频率时，则达到更高的频率；

——浮动或差动输入在高达 1 MHz 时的共模抑制至少为 40 dB。

关于针对特定的应用而使用较为简单的仪器见 G.1。

G.3 准确度

接触电流测量网络及其电压表总的准确度受电阻器和电容器准确度、电压表的频率响应、阻抗和准确度的影响。元件相互间的电容和引线电感也影响测量的准确度。

注：在指定 R 和 C 的接触电流表当中，对于测量接触电流误差影响的分析显示，电阻 R_S 和 R_B 误差主要影响测量结果。其他组件误差的影响要低一个数量级。

电压表既有输入电阻又有输入电容。在直流或低频情况下，用一个具有 1 MΩ 输入电阻的电压表与图 4 或图 5 的测量网络配合在一起使用，由于和测量网络中的 10 000 Ω 电阻器分压的结果，将使电压表的指示减小 1%。在高频情况下，由于电压表的输入电容，其典型值为 30 pF，是与测量网络的输出电容直接并联的，因此在图 4 的网络中就能使电压表的指示减小 0.15%，而在图 5 的网络中则能减小 0.33%。

G.4 测量仪器的校准和应用

注：校准的定义是用标准仪器的读数来关联仪器的读数，从而来核查仪器。

一个组合的接触电流测量网络或一台接触电流测量仪器，其性能可通过比较所关心的整个频率范围(见附录 K 的 K.1)内的测量读数和计算的理想值来确定。对每一种仪器具有多台样品的情况，应记录在每一个频率下的测量误差。一组汇总的误差数据应用来建立今后的测量值可能会落在其中的误差限制带。可规定出关于误差限制带宽的统计置信度。如果某种特殊设计的仪器只制造了一个样品，则误差限制带可是实际的误差数据。

建立误差限制带可确保在按下列方法使用时，测量值可重复再现被试设备的接触电流是否在限值范围内。

对设备制造商来说，读数宜加上误差限制带，并把总数与限值相比较。这样就能确保已表明符合接

触电流限值的设备不会被检测实验室判为不合格。对检测实验室来说，宜将读数减去误差限制带，并把差值与限值相比较。这样就能确保检测实验室不会把实际上符合限值要求的设备判为不合格。检测实验室所使用的仪器的误差应足够的小，以便能与限值和不希望的生理效应阈值(见 IEC 60479-1)的差异相适应。

如果有必要，可采取下列措施将测量网络的误差限制带做得更窄，例如：

——对元件进行挑选；

——并接一个或多个元件来调整元件的值；

——减小引线长度和避免引线急弯(以减小电感)；

——减小相邻零部件的面积(以减小元件间的电容)。

建议设备制造商把接触电流减小到最低限度，由于接触电流受元件误差、老化、使用和环境的影响，当设备的设计使其接触电流值接近接触电流限值时，则这种设计被认为不是一种良好的设计。当设备的接触电流接近限值时，宜特别注意测试设备的精确度和校准。如果设备接触电流尚未接近接触电流限值，则对制造商所使用的仪器来说就允许有较宽的误差限制带。

G.5 记录

对于每一台测量仪器，宜按照 ISO 10012 的规定建立包含测量系统的周期性测量的记录。这些记录将提供确认系统(见 G.6)中的连续数据和使用时的任何限制。

G.6 确认系统

对用于产品认证用的测量仪器，其准确度宜定期进行确认(见 K.2)。

附 录 H
（资料性）
频率滤波接触电流电路测试的分析

附录 H 说明了与 IEC 60479(所有部分)一致的测量复杂波形的方法。

现代示波器在测量过程中能提供波形的准确数值信息。常规测量是测量波形的有效值，峰值和峰-峰值。本附录将说明如何正确使用这些数据来制定所需的需要与产品标准中指定的限值进行比较的值。

IEC 60479-2(电流对人和家畜的效应 第 2 部分：特殊情况)，处理由现代电子设备产生的复杂的波形，可以很容易地将明显的电压切换为适用于设备内部特殊使用的电压或电流。

GB/T 13870.2—2016，5.2 摘录“大多数生理效应与由频率系数 F 决定的自然人体滤波器滤过的峰值电流(在量级和持续时间上)有关。除电流的均方根值和峰值有确定关系的情况(例如纯正弦电流)外，此峰值电流适用于所有情况”。

为满足本文件而提出的频率因子滤波器满足 IEC 60479-2 的扩展到 1 MHz 的频率因子曲线要求，如附录 F 所述，这是在电气安全和 EMC 之间长期的分频。此扩展是基于对身体内电流传导的一般医学理解，包括允许电流的持续增加到截止频率，同时专门测量的效应也同样的在减小。作为逆频率因子曲线，这些滤波器有助于简化测量。

为了实现依据 IEC 60479 的接触电流的测量，包括频率因子的规定，本文件提供两种在如下条件下满足 IEC 60479 的频率因子曲线的接触电流测试电路：

——加权了惊吓反应(以前称为反应)的电路——图 4；

——加权了摆脱制动(以前称为摆脱)的电路——图 5。

对图 4 的频率滤波电路的 SPICE 分析已经完成，图 5 使用的一般波形的简单分析和结果在下边讨论。虽然只有两个循环，此分析适用于持续的接触电流波形。接触电流的分析计算和 V(输出)/500 Ω 已经显示在图中。计算可导出与接触电流 Y/垂直、坐标轴相关的 mV/Ω 单位(mA)。

注：SPICE 输出波形命名解释：[V(输出)/500 Ω=接触电流加权值和 x mV/Ω=x mA，使用图 4 的惊吓反应电流或图 5 的摆脱制动电流测试网络中的输出电压来计算]。

双相波的例子

双相变换电流波形包括：

——正弦波(最普遍的例子)；和

——配电和利用产品中的电子开关形成的非正弦波。

图 H.1 和图 H.2 给出了 50 Hz(20 ms)的三角波形示例。

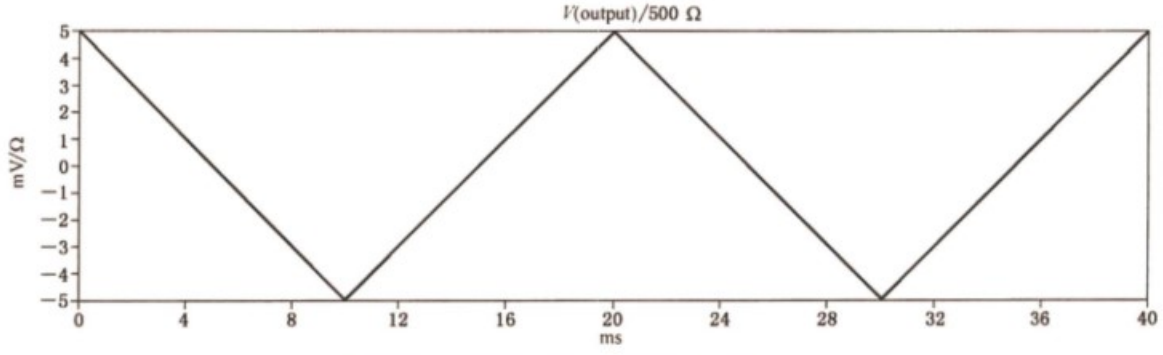


图 H.1 三角波形接触电流，惊吓反应

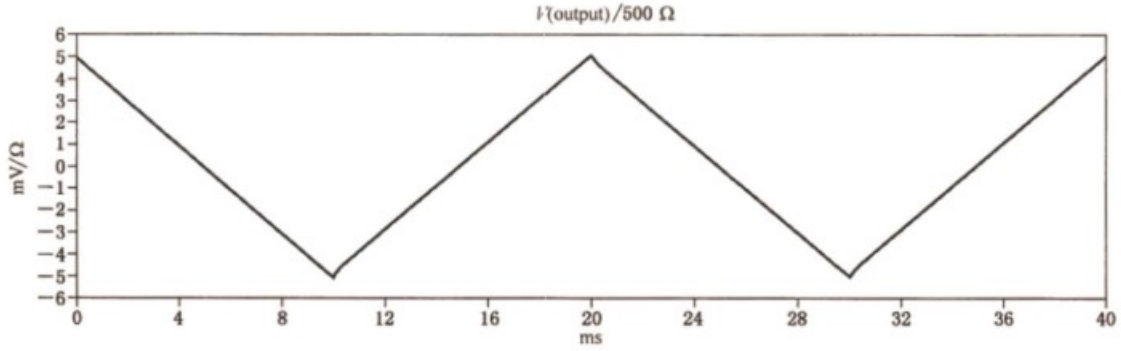


图 H.2　三角波形接触电流，摆脱制动反应

对于等效正弦波而言，输入条件相同时，结果是不同的。表 H.1 中的峰值为峰-峰值除以 2。上图中的峰值电流在 5 mA 的峰值水平但有效值在低于 3.5 mA 的水平。测得的峰值一定要与对身体有害的接触电流水平进行充分的比较。在这种情况下测量充足的有效值会显示一个低于毫无保护意义的正弦极限值的裕度。

表 H.1　三角波形响应的比较

电路/接触电流响应	峰值	有效值
惊吓反应电路接触电流 I [V(输出)/500 Ω]	4.98 mA	2.868 mA
摆脱制动电路接触电流 I [V(输出)/500 Ω]	5.05 mA	2.869 mA

TC 电路的滤波电路部分正确作用于每个波形的高频分量。

另外一个有趣的简单电路是图 H.3 和图 H.4 所示的 50 Hz 方波图。

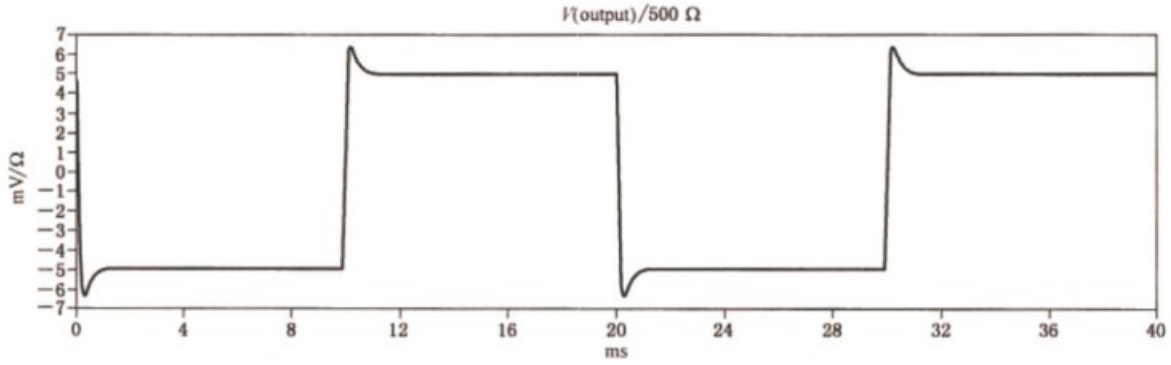


图 H.3　1 ms 脉冲响应，惊吓反应

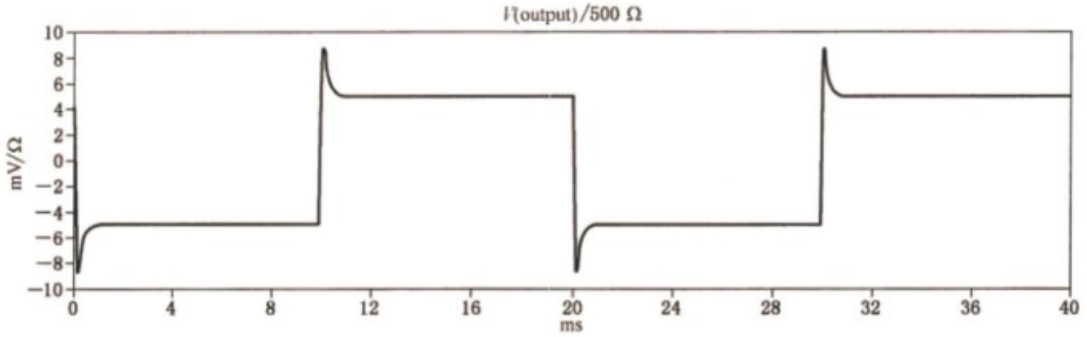


图 H.4　1 ms 脉冲响应，摆脱制动

如表 H.2 所示，稳定值是 5 mA 但峰值(＝峰-峰值/2)要更高些。

表 H.2　方波接触电流响应

电路/接触电流响应	峰值	有效值
惊吓反应电路接触电流 I [V(输出)/500 Ω]	6.39 mA	4.991 mA
摆脱制动电路接触电流 I [V(输出)/500 Ω]	8.758 mA	5.054 mA

摆脱制动电路允许更高频率的电流通过滤波器，因此峰值要更高些。

对一个快速上升波形来说，上升时间是峰值接触电流的一个关键因素。对此类波形正如图 H.5 的接触电流与上升时间图所示，上升时间通过两个因素来影响接触电流。

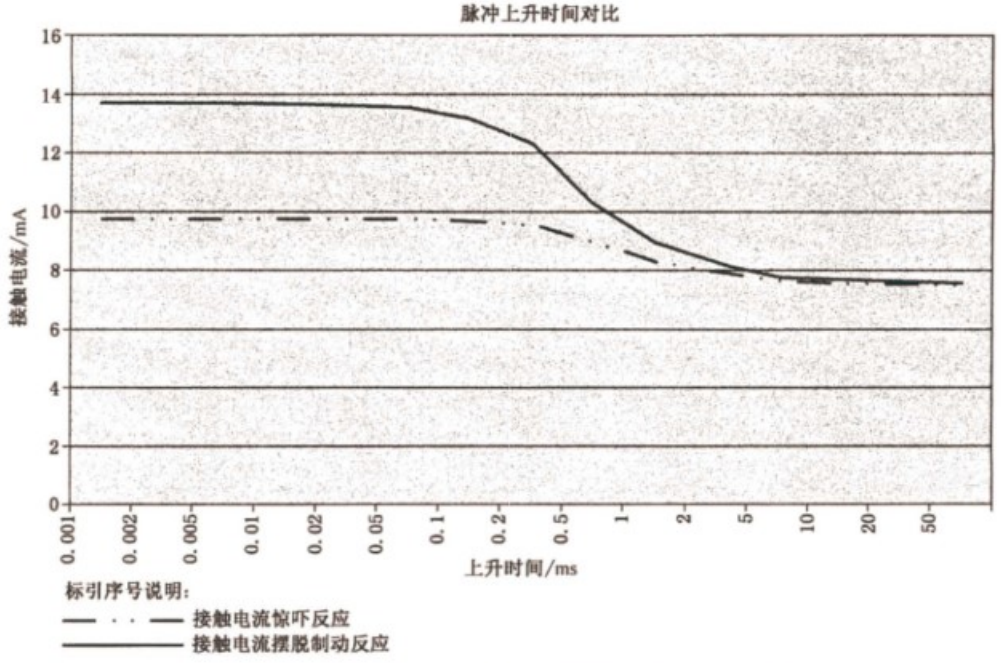


图 H.5　接触电流与上升时间点状图，20 ms 方波

现代设备的接触电流波形已经形成了几十种。开关电源设备的应用，包括对正弦输入电流(功率因数校正，即 PFC)的恢复和最近对开关电源供应能源效率的提高所进行的努力，都导致了更加复杂的接触电流波形的产生。更加复杂的波形之一在图 H.6 中的波形 A 中显示。

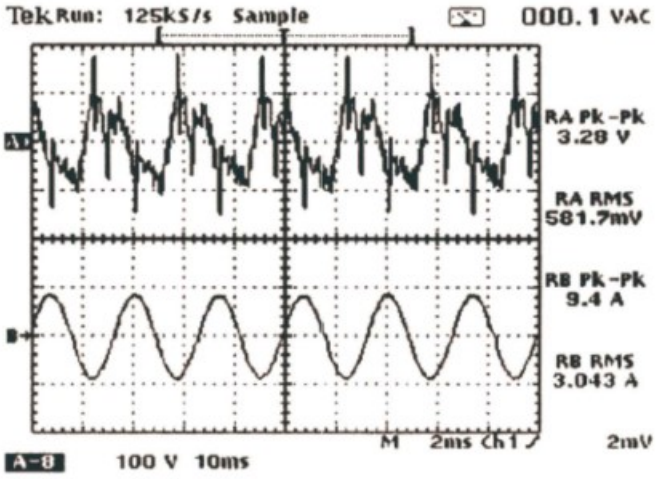


图 H.6 PFC 开关电源接触电流波形

单相波形的例子

直流应用是单相波形最常见的的例子，这里讨论的直流切换的应用，如图 H.7 和图 H.8所示。

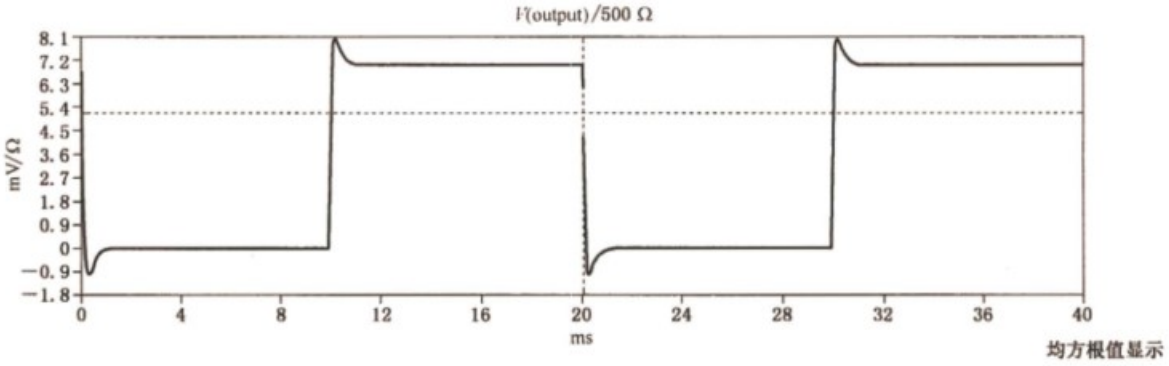


图 H.7 50 Hz 方波，0.1 ms 上升时间，惊吓反应

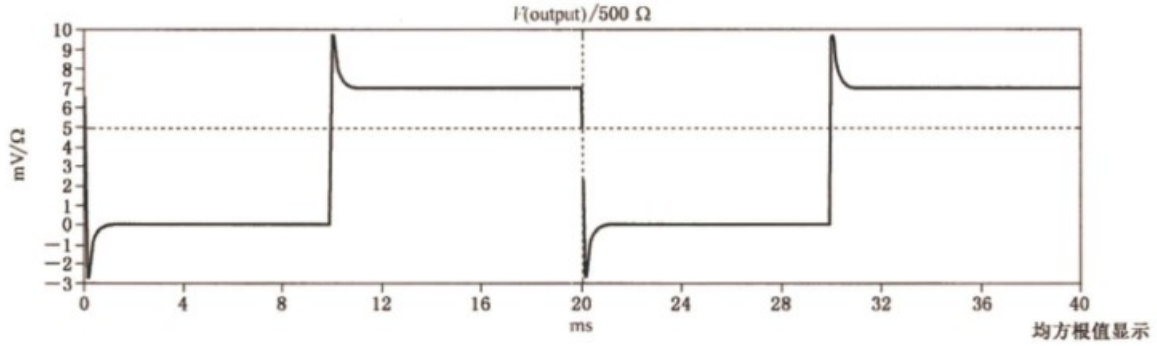


图 H.8 50 Hz 方波，0.1 ms 上升时间，摆脱制动

对于单相波形使用的是接触电流的峰值，直流脉冲顶部的正向尖峰包含在测量当中，负向尖峰未包含在内。

表 H.3 方波单相接触电流脉冲响应

电路/接触电流响应	峰值	有效值
惊吓反应电路接触电流 I [V(输出)/500Ω]	8.031 mA	5.006 mA
摆脱制动电路接触电流 I [V(输出)/500Ω]	9.716 mA	5.037 mA

依旧如表 H.3 所示,波形的上升时间影响了接触电流的峰值和正向尖峰。

混合的交流/直流的例子

GB/T 13870.2—2016,图 7 显示了以峰值 mA 来表示的 50/60 Hz 正弦交流电流和直流组合的摆脱阈值。为包含儿童在内的人群而建立的摆脱阈值中的用 mA 表示的直流和交流复合波形峰值被表达成用 mA 表示的直流分量的函数。

GB/T 13870.2—2016,图 7 被表达成了直流分量的函数:

$$ACpk + DC = 7.176^{(-0.143\,4 \times DC)} - 0.106\,1 + DC$$

这些影响与电流峰值有关,并且结合频率来评估总的影响。测试电路在本文件里有所表述。

本章所示的是用于混合交/直流接触电流测量的本文件电路的应用,并且依据上述方程对它们进行了评估。GB/T 13870.2—2016 的图 7 在图 H.9 中再次出现,并额外注释了些本附录所讨论的波形中的一些数据。

注:GB/T 13870.2—2016 所示的复合波形图 7 命名为图 H.9 ACpknDC。以 ACpknDCex1 和 ACpknDCex2 为例,DC 值的名称如文本所示。

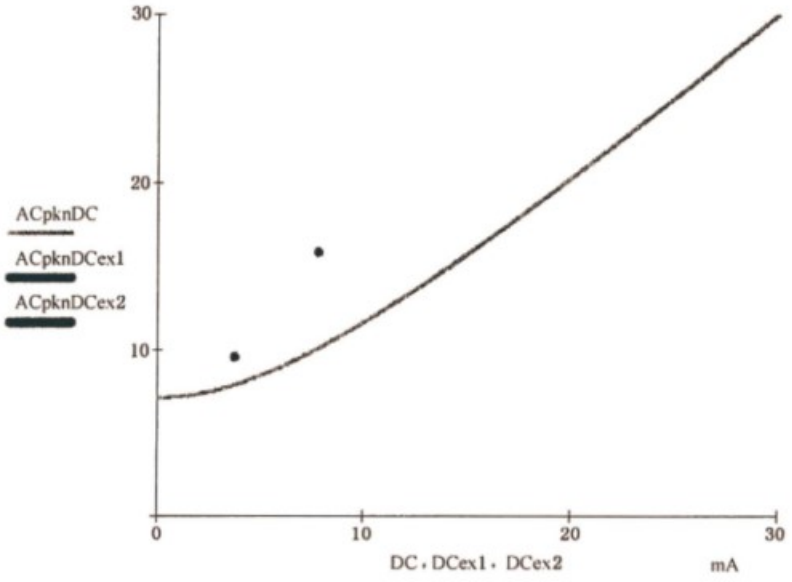


图 H.9 IEC 60479-2 AC+DC 组合(增强额外数据)的摆脱阈值

程序如下。复杂波形的最大峰值绝对值(表中粗体的接触电流)被描述为 ACpknDC。此峰值等效值(pk-ev)从有效值中计算而来;这是从最大峰值中减去从而得到作图所需的直流值。测量值可被做成与此处对比曲线相同的图表,或可反向地把直流值添加到计算 ACpknDC 的方程中,并且与称作 ACpknDC 的测量值做比较。

例 1:

分析摆脱制动的第一个例子(见图 H.10)。

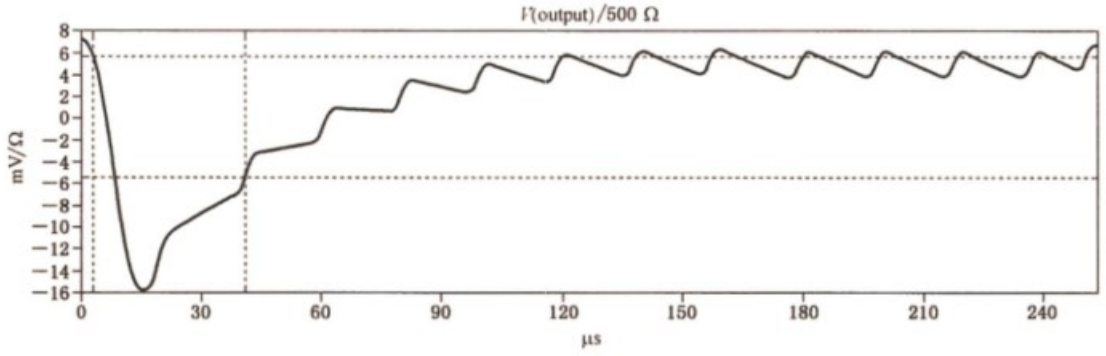


图 H.10　显示有效值窗口

对于例 1，参考表 H.4。

表 H.4　混合 ACnDC 波形方程

接触电流效应/接触电流响应	接触电流峰值	接触电流有效值
摆脱制动例子	+7.281 96/−15.788 2 mA 峰值	5.644 6 mA r.m.s Pk-ev:5.644 6×1.414=8 mA 峰值 15.79−8=7.79 mA d.c.
表中的粗体数值对应于图 H.10 中点值(舍入在后)。		

图形评估所需的绘制值是：

ACpknDC(例 1)＝15.8，DC(例 1)＝7.79

例 2：

另外一个混合实例 2 见图 H.11 和表 H.5。

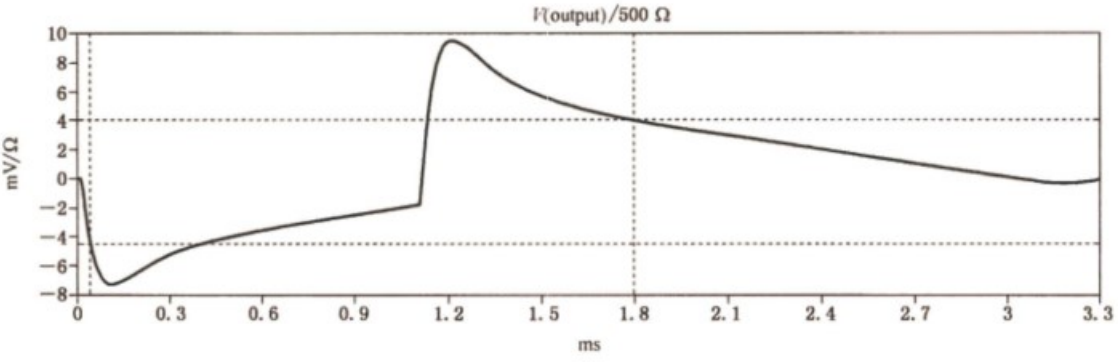


图 H.11　显示有效值窗口

表 H.5　混合 ACnDC 波形方程

接触电流效应/接触电流响应	接触电流峰值	接触电流 r.m.s
摆脱制动例子	9.524 69/−7.247 19 mA 峰值	4.085 4 mA r.m.s Pk-ev:4.085 4×1.414=57 776 mA 峰值 9.524 7−5.777 6=3.747 1 mA d.c.
表中的粗体数值对应于图 H.11 中点值(舍入在后)。		

图形评估所需的绘制值是：

$$ACpknDC(例\ 2)=9.52,\ DC(例\ 2)=3.75$$

每个例子都在摆脱制动曲线上方，并且没有达到 IEC 60479-2 中的摆脱制动接触电流的 5 mA 有效值/7 mA 峰值限值。

附 录 I
（资料性）
交流配电系统（见 5.4）

I.1 通则

在 IEC 60364-1 中，按载流导体的配置和接地的方法将交流配电系统划分为 TN，TT 和 IT，在本附录中对配电系统的类别和代码进行了解释，图 I.1～图 I.8 给出了每一类配电系统的一些实例，但现有还存在一些其他配置的配电系统。

在图中：

——在大多数情况下，配电系统适用于单相和三相设备，但为了简化起见，只阐述了单相设备；

——供电电源可是变压器的次级绕组，电动机驱动的发电机或不间断电源系统；

——有些图适用于用户建筑物范围内的变压器，图中的建筑物区域代表的是建筑物的一个楼层；

——某些配电系统还在另外的位置接地，例如在用户建筑物的电源入口处接地。

考虑如下设备连接的类型所提到的导线数量不包括单独用于接地的导体：

——单相，2 线；

——单相，3 线；

——两相，3 线；

——三相，3 线；

——三相，4 线。

所使用的配电系统代码的含义如下：

——第一个字母：配电系统与地的关系

- T 表示一极直接连接到地；
- I 表示系统与地隔离或某一点通过阻抗连接到地。

——第二个字母：设备的接地

- T 表示设备直接电气连接到地，而与配电系统的任何一点接地无关；
- N 表示设备直接电气连接到配电系统的接地点（在交流系统中，配电系统的接地点通常是中性点，或如果无中性点，则接地点通常应是某一根相线）。

——后缀字母（如果有）：中线和保护导体的配置

- S 表示保护功能是通过与中线分开的导体或与接地的相线（或交流配电系统中的接地相线）分开的导体来提供；
- C 表示中线和保护接地导体的功能合并在一根单独的导线上（PEN 导线）。

I.2 TN 配电系统

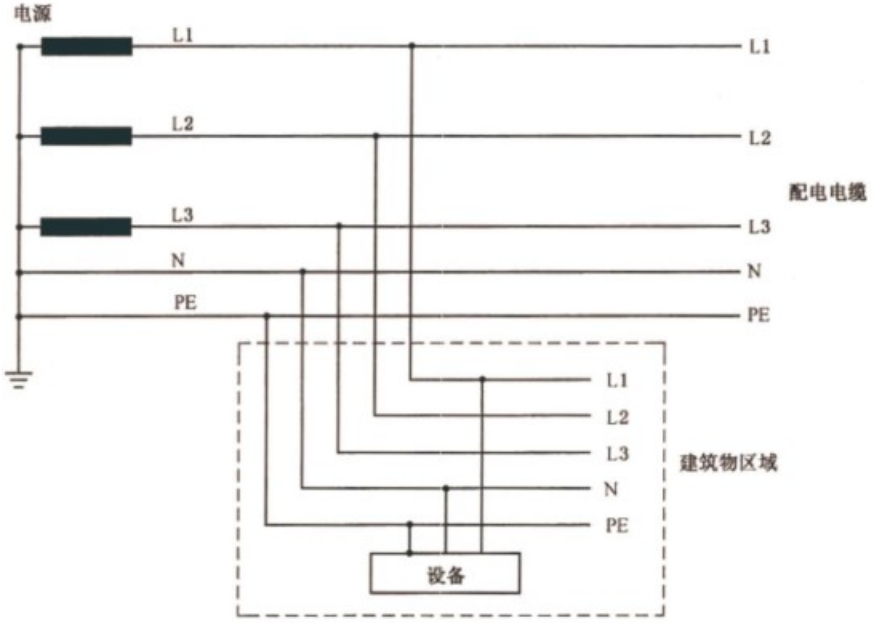
TN 配电系统是直接接地的系统，设备上需要接地的零部件通过保护接地导体连接，TN 配电系统被认为有下列三种类型。

——TN-S 系统：在整个系统中使用一根单独的保护接地导线。

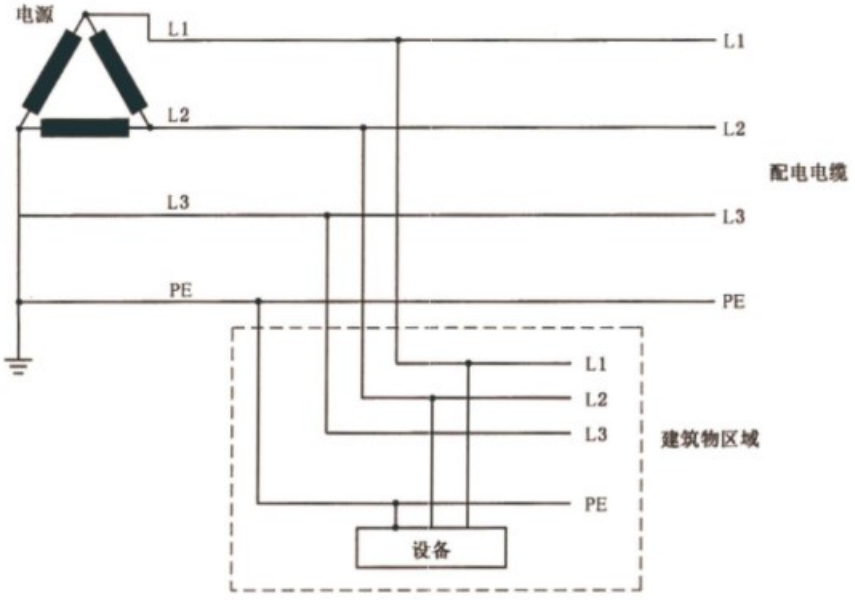
——TN-C-S 系统：在系统某一部分中，中线和保护接地导线的功能合并在一根单独的导线上。

——TN-C 系统：在整个系统中，中线和保护接地导线的功能合并在一根单独的导线上。

某些 TN 配电系统是由带有接地的中心抽头（中线）的变压器的次级绕组供电的。凡是能提供两根相线和一根中线的这些配电系统通常称为“单相三线配电系统”。



单独的中线和保护接地线



接地的相线

图 I.1 TN-S 配电系统实例

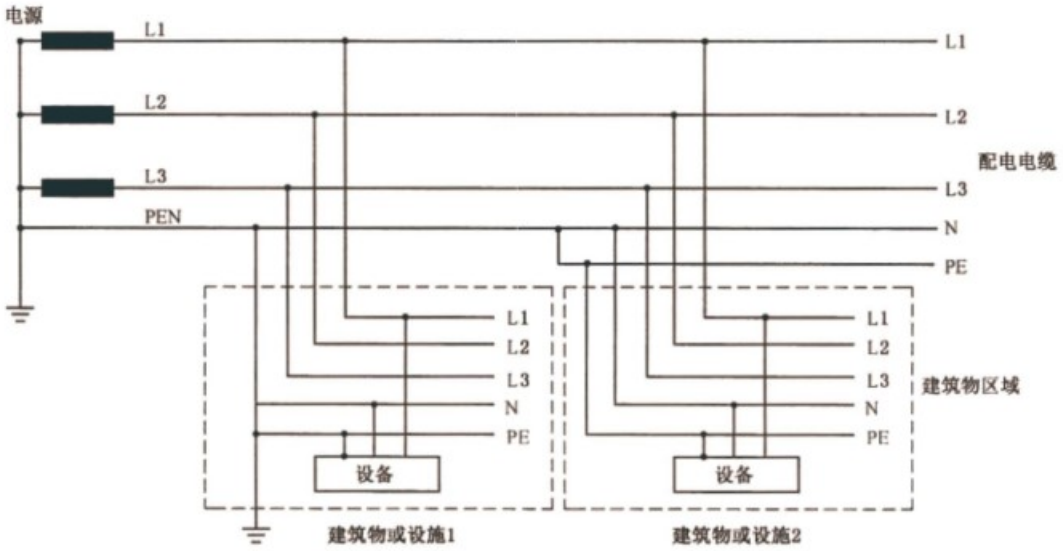
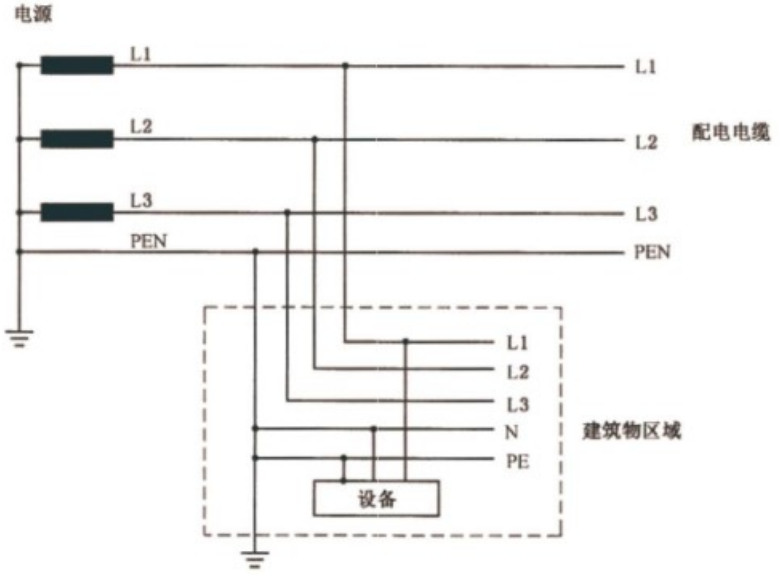


图 I.2　TN-C-S 配电系统实例

将 PEN 导线分解成保护接地线和中线的点可在建筑物入口处或建筑物的配电板上。



中线和保护接地功能合并在一根单独的导线上(PEN)

图 I.3　TN-C 配电系统实例

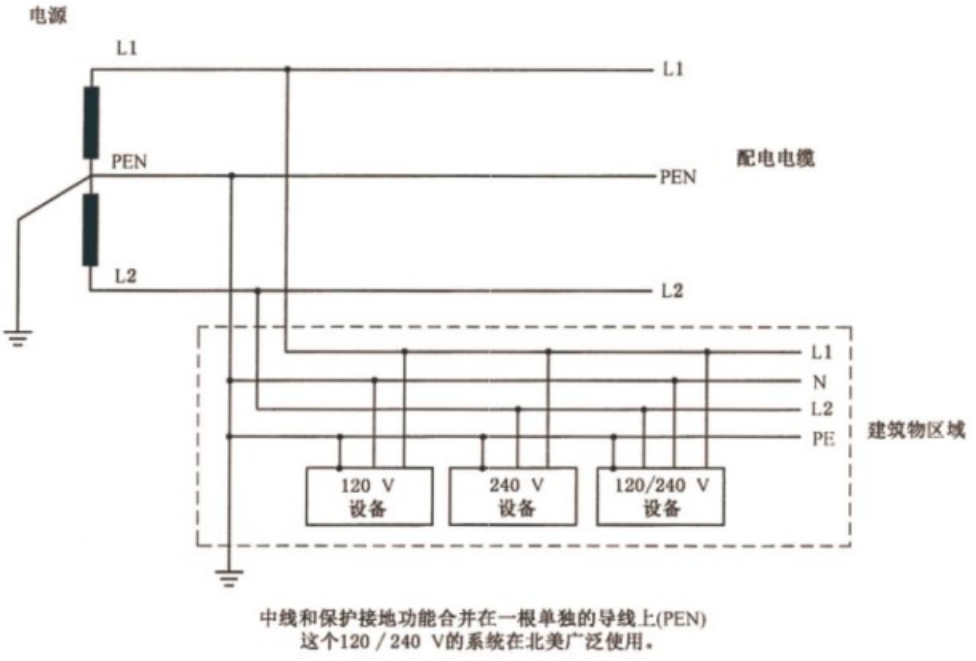


图 I.4　单相三线，TN-C 配电系统实例

I.3　TT 电源系统

TT 电源系统具有一个直接接地点的配电系统，设备上需要接地的零部件在用户建筑物中连接到接地电极上，该接地电极与配电系统的接地电极无电气连接。

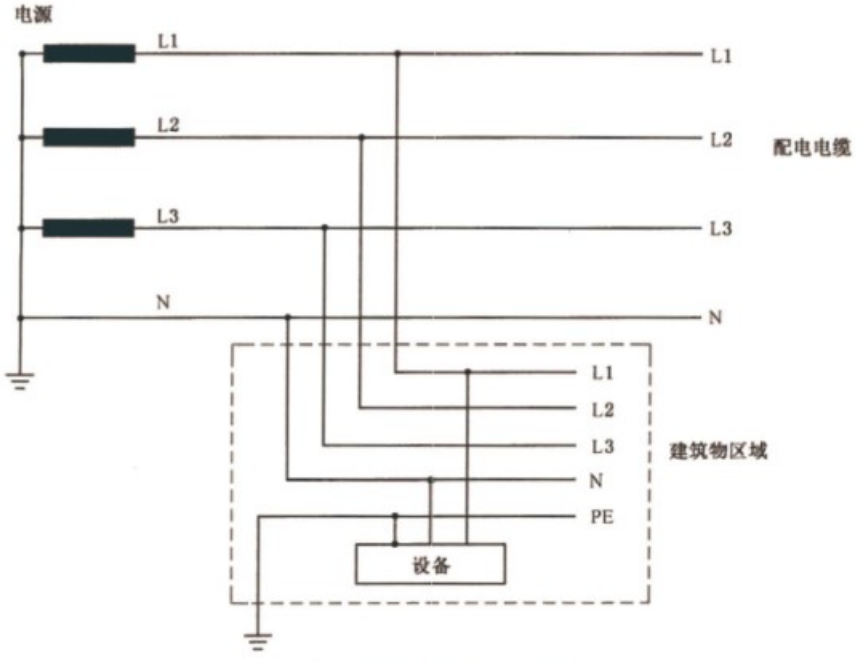


图 I.5　三相线加中线的 TT 配电系统实例

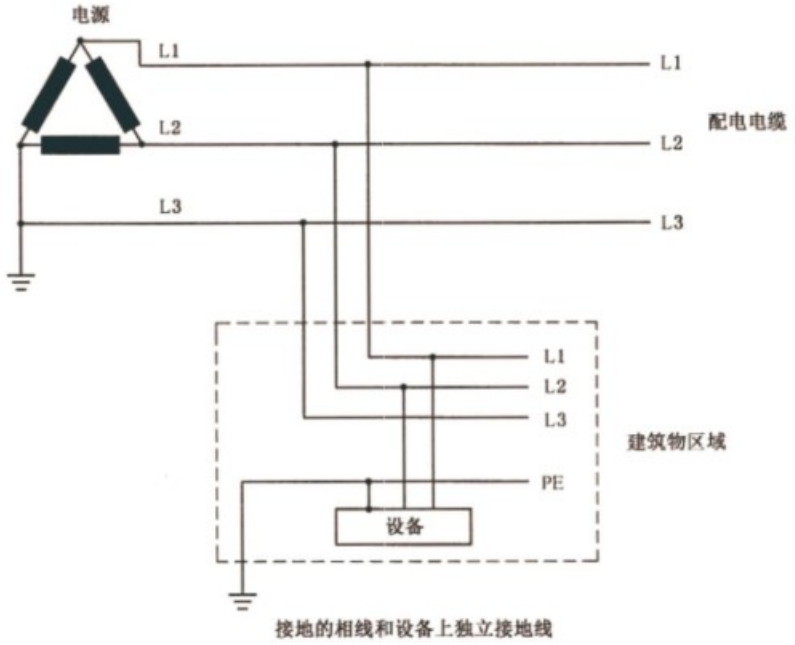
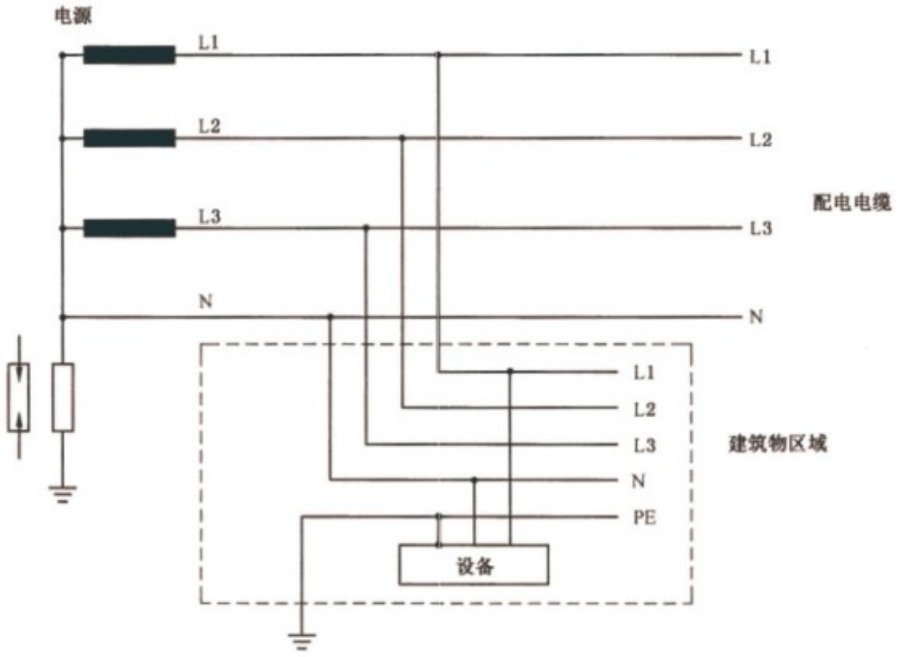


图 I.6 三相线的 TT 配电系统

I.4 IT 电源系统

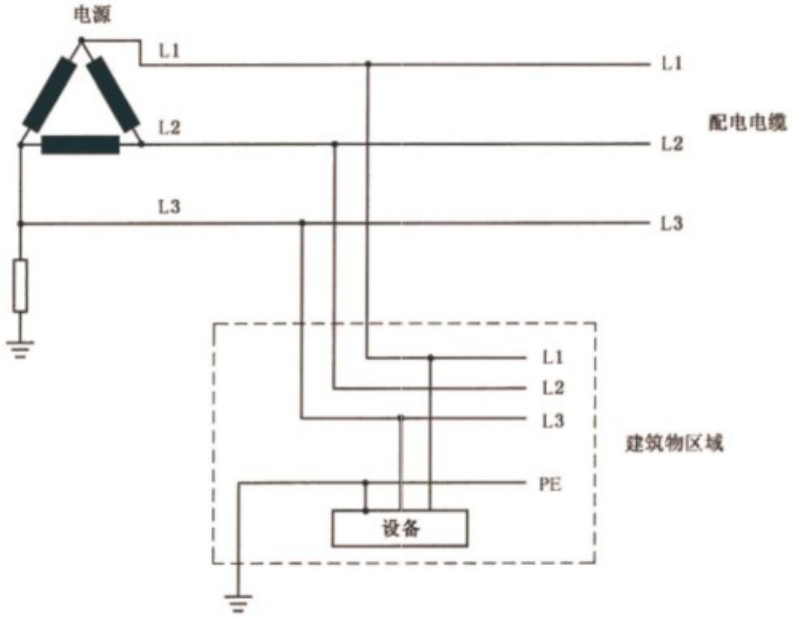
IT 配电系统与地隔离，除非有一点通过阻抗或限压装置接地，设备中需要接地的零部件都在用户建筑物中与接地电极连接。



中线通过阻抗或限压装置连接到地，或与地隔离。

该系统广泛应用于与地隔离，在法国的一些设施中，阻抗接地，为 230/400 V，在挪威，电压限制器，中性点不分布，在线线电压 230 V。

图 I.7 三相线（加中线）的 IT 配电系统



这个系统可与地隔离。

图 I.8　三相线 IT 配电系统实例

附 录 J
（资料性）
电网电源供电设备的接触电流的例行试验和周期试验，以及在维修或变更后接触电流的试验

本附录规定了设备在生产过程中（例行试验）、维修或变更后以及在使用的间隔周期，按产品标准的设计要求检测接触电流时所要执行的试验方法和程序。

本附录的目的是要使技术人员或其他经过培训的人员利用能达到足够准确性的简单程序来完成试验。测量结果宜易于说明问题。测量设备在实际现场条件下宜是经济的和易于使用的。

方法

试验要执行本文件的程序和使用适当的测量网络来进行。试验要在具有适当环境条件的场所或工厂场地来进行。

设备要在除电网电源外没有外部连接的独立配置的情况下进行试验。

按如下方法测量接触电流，并比较其是否等于或低于设备标准中规定的限值：

——如果限值以直流电流给出，则测量直流值并与限值比较；

——如果限值以峰值电流给出，则测量峰值电流，再与峰值限值比较；

——如果限值以有效值电流给出，则测量有效值电流，并与有效值限值比较。

除非设备标准规定，对电灼伤电流没有例行或定期测试要求。

附 录 K
（规范性）
网络性能和校准

K.1 网络或仪器的性能和初次校准

将所测得的输入电压和输入电流的比值（输入阻抗）以及输出电压和输入电流的比值（传输阻抗或网络响应）与按图 3、图 4 和图 5 规定的标称元件值计算的理想值进行比较。试验设备电路的配置应使内部元件间的电容、引线电感和电压测量装置的特性不会对该电压-电流比值造成显著影响。

对每台仪器要规定出表示不同频率下测量不确定度的误差限制带，如果需要，可将测量网络的性能调整到使误差限制带变得更窄一些。

注 1：测量不确定度的定义是对测量值的真实估计范围的表征；这是计量和校准中常用的术语。

注 2：调整测量网络的性能的指导在 G.4 中给出。

测量网络的性能要用不同频率的正弦波电流加到仪器的输入端，即加到图 3，图 4 和图 5 的端子 A 和端子 B 来检验。在各个频率下测量输入电流（I），输入电压（U）和输出电压（U_1，U_2 或 U_3），如有可能，要使用和设备在作产品认证时进行所有测量所使用的，以及在作所有确认程序（见 K.2）所使用的同一个电压表来测量输出电压。

表 K.1 未加权接触电流测量网络（图 3）的输入阻抗和传输阻抗的计算值

频率/Hz	输入阻抗 U/I	传输阻抗 U_1/I
20	1 998	500
50	1 990	500
60	1 986	500
100	1 961	500
200	1 857	500
500	1 434	500
1 000	979	500
2 000	675	500
5 000	533	500
10 000	509	500
20 000	502	500
50 000	500	500
100 000	500	500
200 000	500	500
500 000	500	500
1 000 000	500	500

表 K.2 感知电流/惊吓反应接触电流测量网络(图 4)的输入阻抗和传输阻抗的计算值

频率/Hz	输入阻抗 U/I	传输阻抗 U_2/I
20	1 998	500
50	1 990	499
60	1 986	498
100	1 961	495
200	1 857	480
500	1 433	405
1 000	973	284
2 000	661	162.9
5 000	512	68.3
10 000	485	34.4
20 000	479	17.21
50 000	477	6.89
100 000	476	3.45
200 000	476	1.722
500 000	476	0.689
1 000 000	476	0.345

表 K.3 摆脱制动电流测量网络(图 5)的输入阻抗和传输阻抗的计算值

频率/Hz	输入阻抗 U/I	传输阻抗 U_3/I
20	1 998	500
50	1 990	499
60	1 986	499
100	1 961	496
200	1 858	484
500	1 434	427
1 000	976	340
2 000	667	251
5 000	515	144.3
10 000	487	79.9
20 000	479	41.2
50 000	477	16.63
100 000	476	8.32
200 000	476	4.16
500 000	476	1.666
1 000 000	476	0.833

K.2 确认系统中的校准

K.2.1 概述

注：测量不确定度定义为在表征的范围内测量的真值有可能是错估的；这是计量校准中的一个常见术语。

用来确定设备认证是否合格的每一台仪器应按规定，定期在确认系统中进行校准，以确保仪器的性能偏差不出现超出允许的误差限值。有必要参考该测量仪器在初次校准（见 K.1）时所记录的误差限制带和其他数据。

如果某些测量仪器的偏差超出了允许的限值，则该仪器自上次确认校准后对设备所进行的测量应进行复验，以检验其测量的有效性。

确认系统中的校准分两步来进行。

K.2.2 输入电阻的测量

测量直流输入电阻，并与理想值（2 000 Ω）和初次校准时的测得值相比较来检验该电阻值。

注：此测量可防止输入阻抗的漂移和仪器响应的漂移在同一时间发生，否则就会导致误差的增加或抵消。

K.2.3 仪器性能的测量

在不同的频率下测量输入电压和输出电压（或仪表指示的毫安值），并将其各个比值按适用的情况，与表 K.4、表 K.5 或表 K.6 中列出的数据相比较。如有可能，要使用和在初次校准所使用的，以及试验设备在作产品认证时进行所有测量所使用的同一个电压表来测量输出电压。在所关心的整个频率范围内的几个频率下进行测量就足够了。所使用的输入电压应是在注意内部元件功率额定值的条件下，能产生在测量仪器预定的接触电流限值范围内的输出示值。

注：但是为了简化确认程序，可分别根据表 K.1、表 K.2 和表 K.3 来导出表 K.4、表 K.5 和表 K.6，这样产生的数据就可不需要在高频条件下来测量输入电流。

表 K.4 未加权接触电流测量网络（图 3）的输出电压和输入电压的比值

频率/Hz	输出电压和输入电压的比值	输入电压和输出电压的比值	每毫安示值的输入电压
20	0.250	4.00	2.00
50	0.251	3.98	1.99
60	0.252	3.97	1.99
100	0.255	3.92	1.96
200	0.269	3.72	1.86
500	0.349	2.87	1.43
1 000	0.511	1.96	0.979
2 000	0.740	1.35	0.675
5 000	0.937	1.07	0.533
10 000	0.983	1.02	0.509
20 000	0.996	1.00	0.502
50 000	0.999	1.00	0.500
100 000	1.00	1.00	0.500
200 000	1.00	1.00	0.500
500 000	1.00	1.00	0.500
1 000 000	1.00	1.00	0.500

表 K.5 感知电流/惊吓反应电流测量网络(图 4)的输出电压和输入电压的比值

频率/Hz	输出电压和输入电压的比值	输入电压和输出电压的比值	每毫安示值的输入电压
20	0.250	4.00	2.00
50	0.251	3.99	2.00
60	0.251	3.99	1.99
100	0.252	3.96	1.98
200	0.259	3.87	1.93
500	0.282	3.54	1.77
1 000	0.292	3.43	1.71
2 000	0.246	4.06	2.03
5 000	0.133	7.50	3.75
10 000	0.070 8	14.1	7.06
20 000	0.036 0	27.8	13.9
50 000	0.014 5	69.2	34.6
100 000	0.007 23	138	69.1
200 000	0.003 62	277	138
500 000	0.001 45	691	346
1 000 000	0.000 723	1 382	691

表 K.6 摆脱制动电流测量网络(图 5)的输出电压和输入电压的比值

频率/Hz	输出电压和输入电压的比值	输入电压和输出电压的比值	每毫安示值的输入电压
20	0.250	4.00	2.00
50	0.251	3.99	1.99
60	0.251	3.98	1.99
100	0.253	3.95	1.98
200	0.261	3.83	1.92
500	0.298	3.36	1.68
1 000	0.348	2.87	1.44
2 000	0.377	2.65	1.33
5 000	0.280	3.57	1.79
10 000	0.164	6.09	3.04
20 000	0.086 0	11.6	5.81
50 000	0.034 9	28.7	14.3
100 000	0.017 5	57.2	28.6
200 000	0.008 74	114	57.2
500 000	0.003 50	286	143
1 000 000	0.001 75	572	286

参 考 文 献

[1] GB/T 13870.1 电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分

[2] GB/T 13870.2—2016 电流对人和家畜的效应 第2部分:特殊情况(IEC TS 60479-2:2007,IDT)

[3] ISO 10012 Measurement management systems—Requirements for measurement processes and measuring equipment

[4] IEC 60050-195 International electrotechnical vocabulary (IEV)—Part 195:Earthing and protection against electric shock

[5] IEC 60065 Audio,video and similar electronic apparatus—Safety requirements

[6] IEC 60309-1 Plugs,fixed or portable socket-outlets and appliance inlets for industrial purposes—Part 1:General requirements

[7] IEC 60335-1 Household and similar electrical appliances—Sefety—Part 1:General requirements

[8] IEC 60364-1 Low-voltage electrical installations—Part 1:Fundamental principles,assessment of general characteristics,definitions

[9] IEC 60364-4-41 Low voltage electrical installations—Part 4-41:Protection for safety—Protection against electric shock

[10] IEC 60479-1 Effects of current on human beings and livestock—Part 1:General aspects

[11] IEC 60479-2 Effects of current on human beings and livestock—Part 2:Special aspets

[12] IEC 60950-1 Information technology equipment—Safety—Part 1:General requirements

[13] IEC 61010-1 Safety requirements for electrical equipment for measurement,control,and laboratory use—Part 1:General requirements

[14] IEC 62368-1 Audio/video,information and communication technology equipment—Part 1:Safety requirements