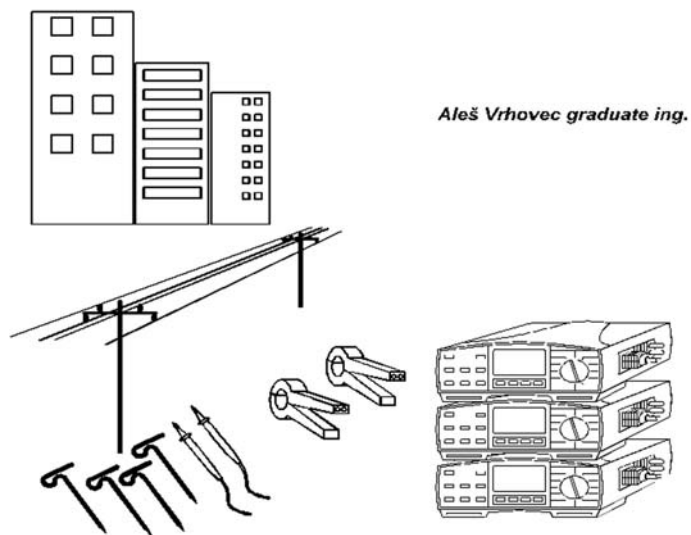


# 电气安装测试理论与实践



| 目录                                 | 页码 |
|------------------------------------|----|
| 1. 前言                              | 6  |
| 1.1. 本手册《电气安装测试理论与实践》的宗旨           | 6  |
| 1.2. METREL d.d. 公司及其生产计划介绍        | 7  |
| 2. 测试仪表方面的欧洲标准                     | 9  |
| 3. 电气安装方面的欧洲标准                     | 13 |
| 4. 电气安装方面的一般性说明                    | 14 |
| 5. 建筑中的电气安装测试                      | 19 |
| 5.1. 绝缘电阻                          | 21 |
| 5.1.1. 导体间绝缘电阻的测试                  | 23 |
| 5.1.2. 不导电墙板与地板的电阻测试               | 25 |
| 5.1.3. 半导体地板的电阻测试                  | 27 |
| 5.1.4. 接地电缆（30 GΩ）的绝缘电阻测试          | 28 |
| 5.2. 保护导体、主平衡和附加平衡导体与接地导体的导电性      | 29 |
| 5.3. 附加平衡                          | 33 |
| 可触及的被动导电部件上的短路电流产生的接触电压的测试         | 37 |
| 5.4. 低电阻                           | 38 |
| 5.5. 接地电阻                          | 39 |
| 5.5.1. 简单的接地桩接地电极的测试               | 46 |
| 5.5.2. 简单的接地带接地电极的测试               | 47 |
| 5.5.3. 具有多个并联电极的复杂接地系统的测试          | 48 |
| 总接地电阻的测试                           | 48 |
| a) 标准四导线、双探头法                      | 48 |
| b) 使用两个测试夹钳的无接地桩法                  | 49 |
| 特殊接地电阻测试                           | 51 |
| a) 通过机械方法断开被测特殊接地电极并采用4导线2探头法进行的测试 | 51 |
| b) 通过机械方法断开被测特殊接地电极并采用4导线2点法进行的测试  | 52 |
| c) 使用标准4端子2探头测试法配合使用测试夹钳进行         | 53 |

|        |                         |    |
|--------|-------------------------|----|
|        | 的测试                     |    |
|        | d) 使用两个测试夹钳进行的无探头测试     | 54 |
| 5.6.   | 特定接地电阻（电阻率）             | 58 |
| 5.7.   | 电源插头处保护导体的连接            | 62 |
| 5.8.   | RCD 保护装置                | 63 |
| 5.8.1. | 接触电压                    | 66 |
|        | a) 未使用辅助测试探头进行的接触电压测试   | 67 |
|        | b) 使用辅助测试探头进行的接触电压测试    | 68 |
| 5.8.2. | 跳闸时间                    | 69 |
| 5.8.3. | 跳闸电流                    | 70 |
| 5.8.4. | 接地电阻（测试电压的外部电源）         | 71 |
|        | a) 未使用辅助测试探头进行的故障环路电阻测试 | 72 |
|        | b) 使用辅助测试探头进行的接地电阻测试    | 73 |
| 5.9.   | 故障环路阻抗和预期短路电流           | 74 |
| 5.10.  | 线路阻抗测试和预期短路电流           | 79 |
| 5.10.1 | 相线与中线之间的线路阻抗            | 80 |
| 5.10.2 | 相间线路阻抗                  | 81 |
| 5.11.  | N-PE 环路电阻               | 82 |
| 5.11.1 | TN 系统中 N-PE 环路电阻的测试     | 83 |
| 5.11.2 | TT 系统中 N-PE 环路电阻测试      | 84 |
| 5.11.3 | IT 系统中 N-PE 环路电阻测试      | 85 |
| 5.12.  | 相位旋转                    | 85 |
| 5.13.  | 电压、频率和电流测试              | 87 |
| 5.13.1 | 电压和频率测试                 | 87 |

|        |                                |     |
|--------|--------------------------------|-----|
| 5.13.2 | 电流测试                           | 87  |
| 5.14.  | 压敏电阻过电压保护装置                    | 89  |
| 5.15.  | 电气安装的跟踪                        | 91  |
|        | a) 电源电压下设备中保护元件的识别             | 91  |
|        | b) 无电压设备中保护元件的识别               | 92  |
|        | c) 相线与中线之间短路的位置                | 93  |
|        | d) 相线与保护导体之间短路的位置              | 94  |
|        | e) 电流环路(导体)中断的位置               | 95  |
| 5.16.  | 功率                             | 95  |
| 5.16.1 | 单相系统的功率测试                      | 96  |
| 5.16.2 | 三相系统的功率测试                      | 97  |
|        | 四线系统的功率测试                      | 98  |
|        | a) 三相功率表法                      | 98  |
|        | b) 单相功率表法                      | 99  |
|        | 三线系统上的功率测试                     | 101 |
|        | a) 单相功率表法(Aron 连接)             | 101 |
|        | b) 平衡三相功率系统法                   | 103 |
|        | c) 不对称负载的单功率表法                 | 105 |
| 5.17.  | 电能                             | 106 |
| 5.18.  | 谐波分析                           | 107 |
|        | 有用公式                           | 110 |
| 6.     | 使用 METREL d.d.公司生产的测试设备进行测试的术语 | 112 |
| 7.     | METREL d.d.公司生产的测试仪表介绍         | 123 |
| 7.1.   | Eurotest 61557 的技术参数           | 123 |
| 7.2.   | Instaltest 61557 的技术参数         | 137 |
| 7.3.   | 接地 – 绝缘测试仪的技术参数                | 145 |
|        | METREL 公司所生产仪表之间的重要参数对照参考      | 152 |

## 1. 前言

### 1.1. 本手册“电气安装测试理论与实践”的宗旨

本手册的设计目的是用于那些对建筑中的新型或改型低压电气安装进行测试或维护的电气工程师。用户可以在本手册中找到进行测试时所遇到的许多实际故障的阐述，以及如何通过使用 METREL d.d. 公司生产的测试仪表排除这些故障。

本手册的主要目的包括：

1. 通过对低压电气安装进行测试的测试仪表的安全说明，来陈述新的欧洲标准 EN 61557。该标准已经自 1997 年 12 月 1 日起在欧共体 (EU) 各成员国强制执行。
2. 说明电气设备上每种测试的性能。包括有助于消除误差、维修设备、连接负载之类的强制性和非强制性测试。对于每种特定类型的测试，该测试的测试原理和实践性能以各种安装配置形式举例说明。另外，测试的其它参数、各种警告信息和所测参数的极限数值也包括在内。并示例说明所有的测试。
3. 阐述被测电路或装置的测试方法。我们确信，所提供的信息将会帮助用户缩短准备和进行测试以及记录测试结果所需的时间。
4. 对所有潜在买主和用户提供有关测试仪表方面的建议，以指导他们正确选择测试设备。

由 METREL d.d.公司生产的、用于测试电气安装安全性的最新测试仪表的全部系列，均在本手册的最后有介绍。

## 1.2 METREL d. d. 公司及其生产计划介绍



该公司的工厂在开发和生产测试与调节设备方面具有 42 年的经验。其最新生产计划是可以进行低压电气安装、接地系统与电器安全测试的多功能测试仪表。

工厂现有员工 240 人，其中半数从事测试生产计划。研发 (R & D) 部门共有 17 名工程师。

METREL 公司的其中一个优越方面就是它完成开发计划的神速，因为，它用不到 12 个月的时间就完成了首批系列产品从设计到生产的过程。

METREL 公司已经与 (南斯拉夫) 卢布尔维那大学和科技部就测试设备方面建立了合作关系。在国内和欧洲国家中无数的注册专利，是我们研究与开发活动的成果体现。

每年都有 METREL 公司生产的新产品投放市场，1999 年有 6 种新型测试仪表下线。每个产品在完成生产过程后，都经过我们的校准实验室检验，并附上相关的校准证书。

METREL 高度重视与其合作伙伴之间的联系以及自己产品的质量。已经获得了 ISO 9001 资格认证。分销网络已经在世界上大部分国家展开。

本手册的编写目的是，使最终用户更好地了解与低压电气安装的测试相关的故障。

METREL 公司已经制造了一种模拟实际电气安装的演示板。它的主要设计目的是，便于测试仪表分销商向其潜在买主演示安装测试情况。METREL 公司也一直在为培训用户而开设的研究班上使用这种演示板。

## 2. 测试仪表方面的欧洲标准

为确保电能的安全使用条件、电气设备的安全、安全测试和保养，人们在制定相关标准方面已经投入相当大的努力。

测试设备的生产者和用户所熟知的现有标准，在制定统一标准过程中经历了频繁的更改。

尽管普通安全标准IEC 1010-1 与后来的协调欧洲标准EN 61010 阐述了电器测试仪表的普通安全性，但是关于低压安装测试使用的安全方面却遗漏了。为确保对电压不大于交流 1000V 和直流 1500V 的电气安装进行测试的测试仪表具有统一的使用原则，IEC 和 CENELEC 已经制定并实行了EN 61557 标准系列，该标准从很大程度上沿袭了德国标准系列DIN VDE 0413。EN 61557 已经对该工作领域提供了重要的解决方案。对于欧共体各成员国的国家委员会来说，新标准叙述如下：

- EN61557 将成为欧洲标准，任何与EN61557 不符或相矛盾的国家标准将作废。

新标准的推介强调了测试仪表的构造和生产方面的各种变化。根据协议，因为每种变化需要一个明确的时间来投入实施，因此同意自1997 年12 月1 日起执行这些改变。

METREL 公司在开发最新测试仪表系列时也考虑到了新标准的要求。

EN 61557 标准分为多个部分，每一部分涉及对电气安装进行规定测试的安全，说明如下：

- EN 61557 第2 部分 绝缘电阻
- EN 61557 第3 部分 故障环路阻抗
- EN 61557 第4 部分 地线连接与等电位搭接的导电性
- EN 61557 第5 部分 接地电阻
- EN 61557 第6 部分 TT 与TN 接地系统中的剩余电流装置（RCD）
- EN 61557 第7 部分 相序
- EN 61557 第8 部分 IT 接地系统中的绝缘监测装置

下面将说明EN 61557 各部分关于测试性能和测试仪表构造的主要要求。

### EN 61557 第2 部分 绝缘电阻

- 最大误差不应超过+/- 30 %。
- 应采用直流测试电压。
- 在与被测电阻（ $R_i = U_n \cdot 1000 \Omega/V$ ）串联的  $5 \mu F$  电容器的情况下，测试结果应与没有连接电容器的情况不同，并大于 10%。
- 测试电压不应超过  $1.5 \cdot U_n$  的数值。
- 流过被测电阻的测试电流  $U_n \cdot 1000 \Omega/V$  应至少为 1 mA。
- 测试电流不应超过 15 mA<sub>p</sub> 的数值，而交流分量不应超过 1.5 mA。
- 高达  $1.2 \cdot U_n$ 、与测试设备相连并持续 10 秒的外部交流或直流电压，不应损坏该设备。

### EN 61557 第3 部分 故障环路阻抗

- 最大误差不应超过+/- 30 %。
- 测试仪表应显示测试导线的电阻是否被补偿。
- 高于 50 V 的接触电压不应在测试过程中出现，或该电压必须在 30 ms 内消除。
- 高达额定电源电压的 120%并与测试设备相连的外部电压，不应损坏该设备或对操作人员造成任何危险，并且测试设备中的保险丝不应熔断。
- 高达额定电源电压的 173%、与测试设备相连并持续 1 分钟的外部电压，不应损坏该设备或对操作人员造成任何危险，但是测试设备中的电位保险丝应熔断。

### EN 61557 第4 部分 地线连接或等电位搭接电阻

- 最大误差不应超过+/- 30 %。
- 可以采用 4 – 24 V 范围内的交流或直流电压。
- 在直流测试电压的情况下，测试设备应能够使测试电压极性反向。
- 在最小测试范围内，测试电流不应大于 200 mA。
- 最小测试范围应包括 0.2 - 2  $\Omega$ 。
- 应确保数字仪表上的分辨率为 0.01  $\Omega$ ，同时应能在简单仪表上清晰显示所超过的极限值。
- 在补偿测试导线或辅助外部电阻的情况下，必须显示出这种情况。

- 高达额定电源电压的 120%并与测试设备相连的外部电压，不应损坏该设备或对操作人员造成任何危险，但是测试设备中的电位保险丝应熔断。

## EN 61557 第 5 部分 接地电阻

- 在下列情况下，最大误差不应超过 $\pm 30\%$ ：
  - 噪声电压为  $3\text{ V}/400\text{ Hz}$ ， $60\text{ Hz}$ ， $50\text{ Hz}$ ， $16.66\text{ Hz}$  或直流电流连接在 E (ES) 与 S 测试端子之间。
  - 辅助探头的电阻为  $100 \cdot R_E$  或  $50\text{ k}\Omega$ （以数值低者为先）。
- 应采用交流测试电压。
- 测试电压应低于  $50\text{ V}_{\text{eff}}$  ( $70\text{ V}_p$ )，或测试电流应低于  $3.5\text{ mA}_{\text{eff}}$  ( $5\text{ mA}_p$ )，或测试信号应存在至少  $30\text{ ms}$ 。
- 测试仪表必须显示辅助测试探头的过量电阻。
- 高达额定电源电压的 120%并与测试设备相连的外部电压，不应损坏该设备或对操作人员造成任何危险，并且测试设备中的保险丝不应熔断。

## EN 61557 第 6 部分 RCD 测试

- 应采用交流正弦测试电流进行该测试。
- 测试设备应能实现接触电压测试和显示，或至少能显示所超过的极限值。该测试可以在有或没有辅助测试探头的情况下进行。在测试跳闸电流的情况下，接触电压应与跳闸电流成比例，并与极限值进行对比。
- 接触电压测试的误差应在极限值的 0 到 $\pm 20\%$ 之间。
- 测试设备应能实现跳闸时间测试，或至少能显示所超过的极限值。
- 当在  $0.5 \cdot I_{\Delta N}$  情况下进行测试时，该测试应持续至少  $0.2\text{ s}$ ，RCD 不应在测试中切断。
- 用于测试 RCD 并具有额定差动电流等于或小于  $30\text{ mA}$  的测试仪表也应允许在  $5 \cdot I_{\Delta N}$  并且持续时间限制为  $40\text{ ms}$  的情况下进行测试。在接触电压小于极限值 ( $50$  或  $25\text{ V}$ ) 的情况下与该极限值无关。
- 跳闸时间测试的误差不应超过极限值的 $\pm 10\%$ 。
- 测试设备应能够实现跳闸电流测试，或至少能显示所超过的极限值。
- 跳闸电流测试时的测试电流应在  $I_{\Delta N}$  与  $1.1 \cdot I_{\Delta N}$  之间。
- 在额定差动电流减半的情况下测试 RCD 时的测试电流必须在  $0.4 \cdot I_{\Delta N}$  与  $0.5 \cdot I_{\Delta N}$

之间。

- 跳闸电流测试的误差不应超过额定差动电流的 $\pm 10\%$ 。

- 在如下的正常情况下所提到的误差有效：

- PE 导体处没有电压。
- 在测试过程中电源电压稳定。
- 在被测设备上没有泄漏电流。

测试过程中电源电压的数值应在额定电源电压的 85%与 110%之间。

- 任何辅助探头的电阻均在测试设备生产商所规定的范围内。
- 在任何测试中接触电压均不应超过  $50\text{ V}_{\text{eff}}$  ( $70\text{ V}_p$ )，或测试电流不应超过  $3.5\text{ mA}_{\text{eff}}$  ( $5\text{ mA}_p$ )，或电压持续时间应小于  $30\text{ ms}$ 。
- 高达额定电源电压的 120%并与测试设备相连的外部电压，不应损坏该设备或对操作人员造成任何危险，并且测试设备中的保险丝不应熔断。
- 高达额定电源电压的 173%、与测试设备相连并持续 1 分钟的外部电压，不应损坏该设备或对操作人员造成任何危险，但是测试设备中的电位保险丝应熔断。

## EN 61557 第 7 部分 相序

- 测试仪表应确保清晰显示相序的电压范围是额定电源电压的 85%到 110%；频率范围是额定频率的 95%到 105%。
  - 测试仪表应既能保证清晰的音频显示（即使在声级超过  $75\text{ dB}$  的情况下），又能保证清晰的视频显示（即使在外部照度级为  $30$  到  $1000\text{ lx}$ ，从  $50\text{ cm}$  之外也能看清楚）。
  - 相序的显示应连续。
  - 即使测试在进行中测试仪表也应便携。该仪表应采用双重绝缘级别的绝缘材料来制造。
- 如果一条或两条测试导线与地线相连而其它测试导线与相电压相连，则泄漏电流应低于  $3.5\text{ mA}$ （在额定电源电压的 110%的情况下）。
- 测试导线的外径应小于  $3.5\text{ mm}$ ，导线横截面面积至少为  $0.75\text{ mm}^2$ ，而单根导线最大直径为  $0.07\text{ mm}$ 。测试导线应采用双重绝缘。

综上所述，EN 61557 标准对测试仪表的构造提出了准确的要求。有些要求恰恰相当，而有些要求与以前的标准相比则完全是新的。这也正是所有最终用户和分销商都需要验证他们的测试设备是否符合 EN 61557 标准的非常重要的原因。

3. 电气安装方面的欧洲标准

这方面内容包括在 IEC 60364-x 法规所提供的国际标准中，而在欧洲标准中，相关的法规以 HD 384-x 标准协调形式发布。

各国均有自己的国家法规，其中某些法规列举如下：

- 德国 ..... VDE 0100 - x （几乎与欧洲协调法规 HD 384-x 的个别部分相同）
- 英国 ..... BS 7671： 电气安装要求  
IEE 接线规定  
第 16 版  
解释手册：  
HB 10011  
HB 10116 - HB 10121  
HB 10123
- 澳大利亚..... ÖNORM B 5430 - ÖNORM B 5435
- 法国 ..... NF C15 - 100
- 西班牙 ..... UNE 20 - 460 - x - x
- 意大利 ..... CEI 64 - 8
- 捷克共和国..... ČSN 33 2130  
ČSN 2000 - x - x
- 芬兰 ..... SF S 5825
- 挪威 ..... TH 30995

4. 电气安装的一般性说明

下图所示为即将详细讨论的安装。该图表示了电网与建筑中电气安装之间的极限线

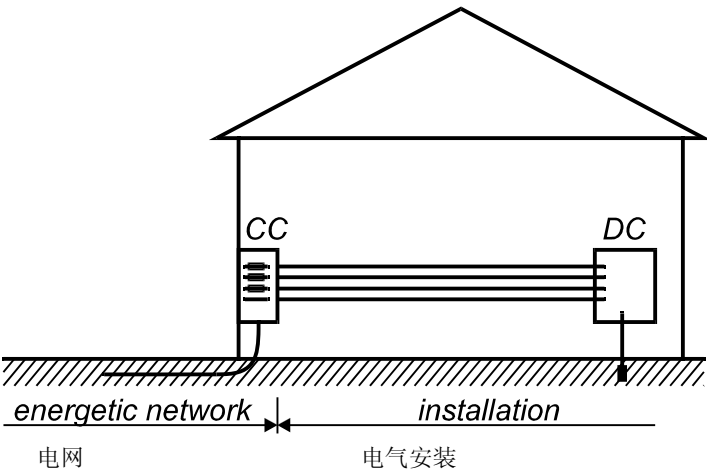


图 1. 电气安装与电网之间的划分

CC ..... 接线盒  
DC ..... 配电箱

在该安装处进行的某些测试也包括一部分电网和电源（例如，线路和故障环路阻抗测试，TN 系统中的接地电阻测试，等等）。

电气安装的构造取决于标准。一般来说，安装可以根据用途、电压波形、接地系统类型等分为许多种。

根据安装的用途，安装可以分为：

- **建筑中的低压安装：**适用于对地的不大于 250 V 的交流电压（住宅房产、商用公寓、旅馆、学校、公共场所、乡村建筑，等等）

- **工业中的低压安装：**适用于对地的不大于 600 V 的交流电压或不大于 900 V 的直流电压（电动驱动装置、机电加工机器、供热系统，等等）
- **安全电压安装：**适用于不大于 50 V 的交流电压或不大于 120 V 的直流电压（电话、公共地址系统、天线网络、智能设备、安全系统、语音装置、局域网络，等等）

根据电压波形，安装可以分为：

- 直流电压安装
- 交流电压安装

根据相关的接地系统（电源变压器的中性点，负载与电器中可触及的导电部件），安装可分为：

a) TN-C 系统

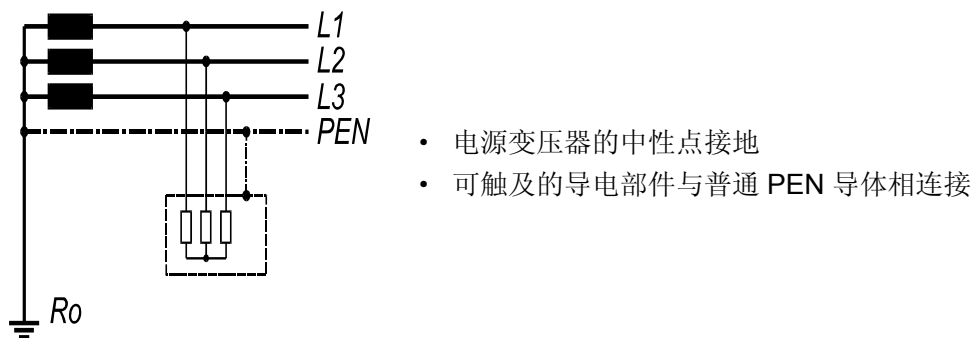


图 2. TN-C 系统

b) TN-S 系统

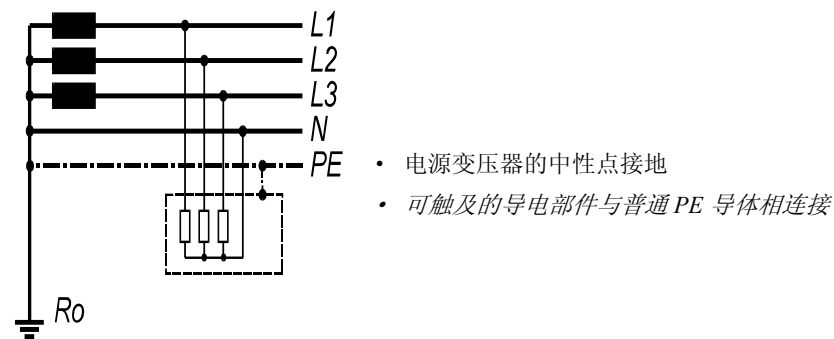


图 3. TN-S 系统

c) TN-C-S 系统

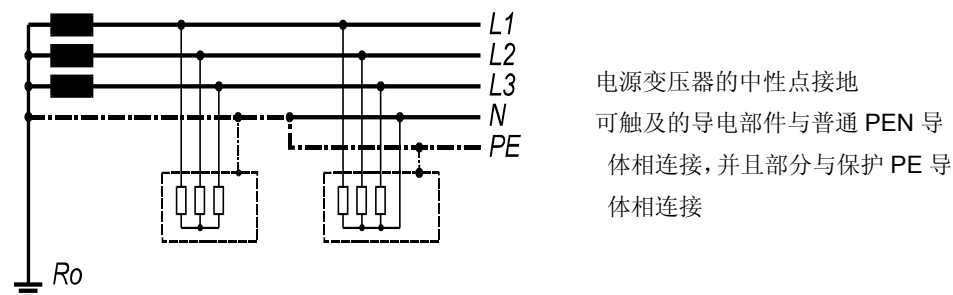


图 4. TN-C-S 系统

当安装 TN-C-S 系统时，知道这一点很重要：一旦 PEN 导体与 N 和 PE 分开后，N 与 PE 导体不应重新连接在一起。

- 电源变压器的中性点接地
- 可触及的导电部件直接与自发接地系统相连接

d) TT 系统

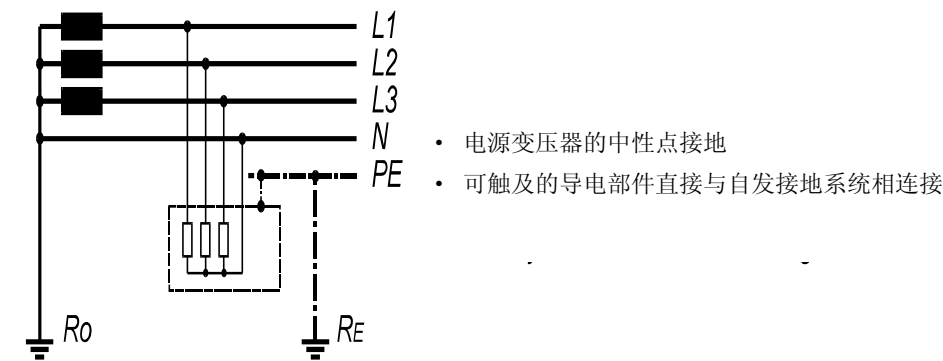


图 5. TT 系统

e) IT 系统

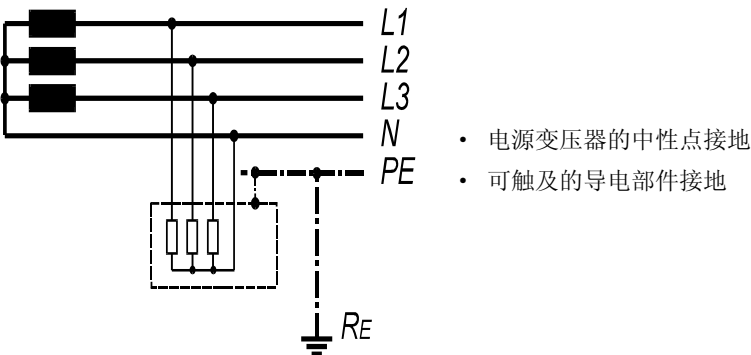


图 6. IT 系统

电气测试中会经常用到的基本概念：

- **可触及的主动导电部件：**能被人体碰到的电气安装或电器的导电部件，例如壳体，壳体的一部分，等等。除非在故障条件下，否则，这种可触及的部件不带电源电压。
- **可触及的被动导电部件：**一种非电气安装或电器部件的可触及的导电部件（供热系统管道，水管，空调系统的金属部件，建筑框架的金属部件，等等）
- **电击：**电流经过人体或动物身体所产生的肉体疼痛反应。
- **接地电极：**安装在大地中的一个或一组导体部件，这样，导体就可以确保与大地之间保持良好永久的接触。
- **额定电压 ( $U_n$ )：**电气安装或电气设备部件（例如，电器，负载等）在额定情况下的电压。某些安装特性也要参考额定电压（例如功率）。
- **故障电压 ( $U_f$ )：**当连接到电网（被连接的设备）的电器发生故障的情况下在可触及的主动导电部件与被动导电部件之间产生的电压。下图表示的是故障电压 ( $U_f$ )，以及接触电压 ( $U_c$ ) 和地板/脚部电阻上的电压降 ( $U_s$ )。

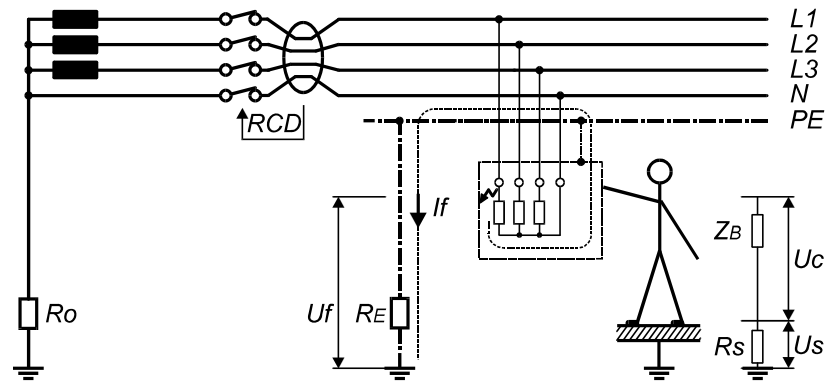


图 7. 当电气负载发生故障的情况下电压  $U_f$ 、 $U_c$  和  $U_s$  的说明

- $Z_B$  ..... 人体的阻抗
- $R_s$  ..... 地板/脚部电阻
- $R_E$  ..... 可触及的主动导电部件的接地电阻
- $I_f$  ..... 故障电流

U<sub>c</sub> ..... 接触电压  
U<sub>s</sub> ..... 地板/脚部电阻上的电压降  
U<sub>f</sub> ..... 故障电压

$$U_f = U_c + U_s = I_f \times R_E$$
（地板材料放置在适当的地板上）

- **接触电压 (U<sub>c</sub>):** 当人体碰到可触及的主动导电部件时所受到的电压。此时人体站在地板上或与可触及的被动导电部件接触。
- **极限接触电压 (U<sub>L</sub>):** 最大的接触电压，可能在特定外部条件下（例如，有水存在时）持续存在。
- **额定负载电流 (I<sub>n</sub>):** 在正常工作条件下并在额定电源电压的情况下流经负载的电流。
- **额定安装电流 (I<sub>n</sub>):** 安装在正常工作条件下所获得的电流。
- **故障电流 (I<sub>f</sub>):** 当电网电器发生故障时流向可触及的主动导电部件然后又流向地线的电流。
- **泄漏电流 (I<sub>L</sub>):** 在正常条件下通常流经绝缘材料或导电元件然后又流向地线的电流。
- **短路电流 (I<sub>sc</sub>):** 在具有不同电位的两点之间短路的情况下流动的电流。

5. 对建筑中电气安装的测试

除了测试之外，确保进行各种目视检查（正确的绝缘材料颜色、导体尺寸，适当的接地搭铁和平衡，所用材料的质量，等等）也很重要。另外，当负责电气安装时，还要进行诸如电机旋转方向、照明和供热系统的操作等方面的功能测试。

本手册中只进一步探讨有关测试理论和实践。

无论使用何种测试仪表，也无论测试参数是什么（绝缘电阻、接地电阻、故障环路

阻抗，等等），所有的测试结果在与容许值比较之前都必须正确。

在出现测试误差时需要进行校正。标准 EN 61557 规定了每个参数的最大容许偏差。这些容许偏差以及由此所需的测试结果的校正如下表所示：

| 参数                      | 容许偏差                     | 所需的测试结果的校正                                                                      |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 绝缘电阻                    | +/- 30 %                 | $R \times 0.7$                                                                  |
| 故障环路阻抗                  | +/- 30 %                 | $Z \times 1.3$                                                                  |
| 保护导体、主平衡和附加平衡导体与接地导体的电阻 | +/- 30 %                 | $R \times 1.3$                                                                  |
| 接地电阻                    | +/- 30 %                 | $R \times 1.3$                                                                  |
| 接触电压                    | U <sub>L</sub> 的+20/-0 % | $R + 5V$ (U <sub>L</sub> = 25V)<br>$R + 10V$ (U <sub>L</sub> = 50V)             |
| RCD 跳闸时间                | t <sub>L</sub> 的+/- 10 % | $R + 0.1t_L$ (标准 RCD)<br>$R + 0.1t_L$ 最大值 (所选 RCD)<br>$R - 0.1t_L$ 最小值 (所选 RCD) |
| RCD 跳闸电流                | I <sub>ΔN</sub> 的+/-10 % | $R + 0.1I_{\Delta N}$ (最高极限)<br>$R - 0.1I_{\Delta N}$ (最低极限)                    |

表 1. 测试结果的校正

其中：

R ..... 由测试仪表所获得的测试结果

U<sub>L</sub> ..... 极限接触电压（25 或 50V）

t<sub>L</sub> ..... RCD 跳闸时间的极限值

t<sub>Lmax</sub> ..... RCD 跳闸时间的最高极限值

t<sub>L min</sub> ..... RCD 跳闸时间的最低极限值

I<sub>ΔN</sub> ..... RCD 的额定差动电流

本表中所提到的极限和数值都是最大极限，一位对自己的测试设备及设备精度充分了解的技术熟练的工程师应能够进行更接近理想结果的测试和校正。

5.1 绝缘电阻 EN 61557- 2

带电部件与可触及的主动导电部件之间适当的绝缘电阻是保护人体避免与电源电压直接或间接接触的基本安全参数。能防止短路或泄漏电流的带电部件之间的绝缘电阻也很重要。

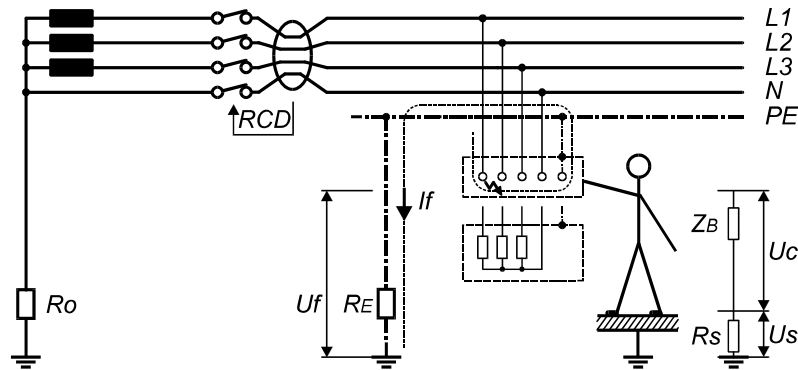


图 8. 用于负载永久连接的接线盒中绝缘不良并导致故障电压  $U_f$  的示例

- $I_f$  ..... 故障电流
- $U_c$  ..... 接触电压
- $U_s$  ..... 地板/脚部电阻上的电压降
- $Z_B$  ..... 人体的阻抗
- $R_s$  ..... 地板/脚部电阻
- $R_E$  ..... 可触及的主动导电部件的接地电阻
- $U_f$  ..... 故障电压

$$U_f = U_c + U_s = I_f \cdot R_E$$

上图表示的是在相线与金属壳体之间具有不良绝缘材料的接线盒。鉴于这种情况，会产生流向保护导体、流经接地电阻并流向地线的故障电流  $I_f$ 。在接地电阻  $R_E$  上的电压降称作“故障电压”。

在不同情况下（比如，电缆、连接元件、配电箱中的绝缘元件、开关、电源插座、壳体，等等）使用不同的绝缘材料。无论使用何种材料，绝缘电阻至少应与法规所要求的一样，这就是必须测试该电阻的原因。

关于绝缘电阻测试的一般性说明

应在首次将电源电压连接到设备上之前进行绝缘电阻的测试。所有开关应闭合，所有负载都断开，对整个设备进行测试，并确保测试结果不受任何负载的影响。

测试原理如下图所示：

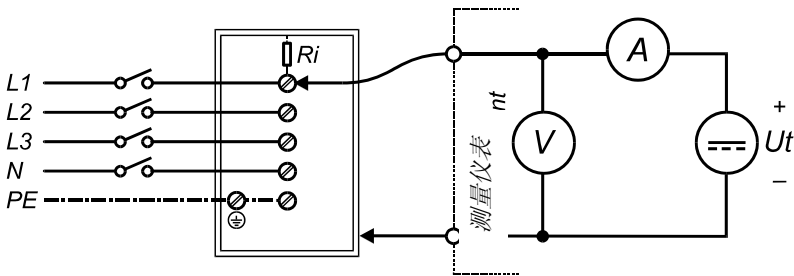


图 9. 绝缘电阻测试原理

使用  $U-I$ （电压 - 电流）方法。

结果 =  $U_t / I = R_i$

其中：

$U_t$  ..... 由电压表测试的直流测试电压

$I$  ..... 由直流发电机通过绝缘电阻  $R_i$  所激励的测试电流（根据 EN 61557 标准，

发电机在 额定测试电压下应激励至少 1 mA 的测试电流)。该电流通过电流表测得。

Ri..... 绝缘电阻

测试电压的数值取决于被测设备的额定电源电压。在使用测试仪表 Eurotest 61557、Instaltest 61557 或接地 – 绝缘测试仪的情况下，测试电压如下：

- 直流 50 V
- 直流 100 V
- 直流 250 V
- 直流 500 V
- 直流 1000 V

除了以上所列的电压之外，测试仪表 Instaltest 61557 和接地 – 绝缘测试仪还能提供 50 - 1000 V 之间以 10 V 为递增量的电压。

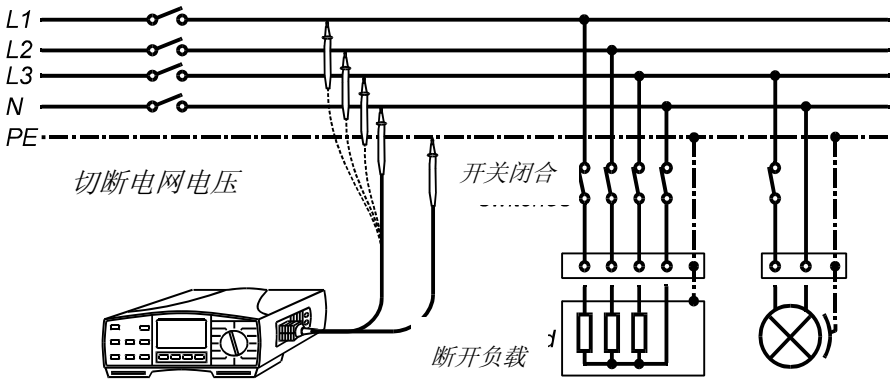
前面所述的由额定电源电压所定义的额定测试电压列于表 2 中。

所有的测试在记录之前都必须考虑误差。 - 参见第 5 章。

5.1.1. 导体间绝缘电阻的测试

该测试需要在如下所有导体间进行：

- 分别在三相线 L1、L2 和 L3 中每一条与中线 N 之间。
- 分别在三相线 L1、L2 和 L3 中每一条与保护导体 PE 之间。
- 在相线 L1 分别与相线 L2 和 L3 之间。
- 相线 L2 与 L3 之间。
- 中线与保护导体 PE 之间。



注意：

- 在开始测试之前关闭电源电压！
- 在测试过程中所有开关都必须关闭！
- 在测试过程中所有负载都必须断开！

绝缘电阻的最小数值由法规来规定，并如下表所列：

| 额定电源电压               | 额定直流测试电压<br>(V) | 最小容许绝缘电阻<br>(MΩ) |
|----------------------|-----------------|------------------|
| 安全低电压                | 250             | 0.25             |
| 除安全低电压之外不大于 500V 的电压 | 500             | 0.5              |
| 大于 500 V 的电压         | 1000            | 1.0              |

表 2. 在电网导体之间所测的绝缘电阻的最小容许数值

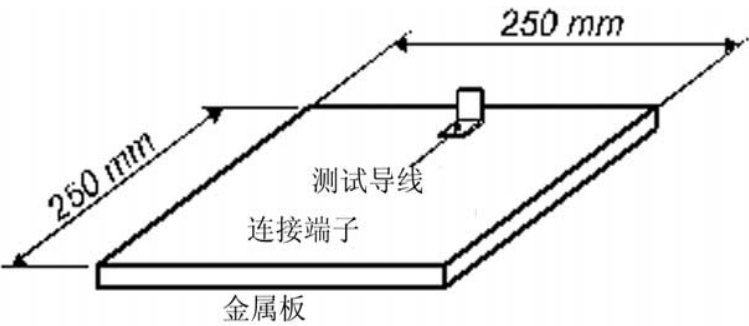
5.1.2. 不导电墙板与地板的电阻测试

有一些特定场合，要求有适合作为与保护接地导体完全绝缘的房间（例如，在实验室进行特定测试的情况下），这些房间视为电安全区域，并且其墙板和地板均采用不导电材料制造。在这些房间内，任何电气设备的安排都应按下列方式：

- 在基本绝缘故障情况下，两个带有不同电位的带电导体不可能同时接触。
- 可触及的主动和被动导电部件组合不可能同时接触。

能将危险的故障电压驱向接地电位的保护导体 PE 不允许出现在不导电房间内。不导电墙板和地板在发生基本绝缘故障的情况下保护操作人员。

应按照下面所述程序使用绝缘电阻测试仪测试不导电墙板和地板的电阻。还要使用如下所述的测试电极。



该测试需在测试电极与保护导体 PE 之间进行，而 PE 只能在被测的不导电房间外获得。

为了建立更好的电气连接，应在测试电极与被测表面放置一块湿修补（270 mm × 270 mm）。在测试过程中应对电极施加 750N（地板测试）或 250N（墙板测试）的作用力。

测试电压数值应为：

- 500 V..... 其中对地的额定电源电压低于 500 V。
- 1000 V..... 其中对地的额定电源电压高于 500 V。

所测试和校正的测试结果的数值（参见第 5 章）必须大于：

- 50 kΩ.....其中对地的额定电源电压低于 500 V。
- 100 kΩ.....其中对地的额定电源电压高于 500 V。

注意！

- 建议采用通过测试电压两极（反接测试端子）进行的测试并取两个结果的平均值。
- 要等到测试结果稳定下来才能记录读数。

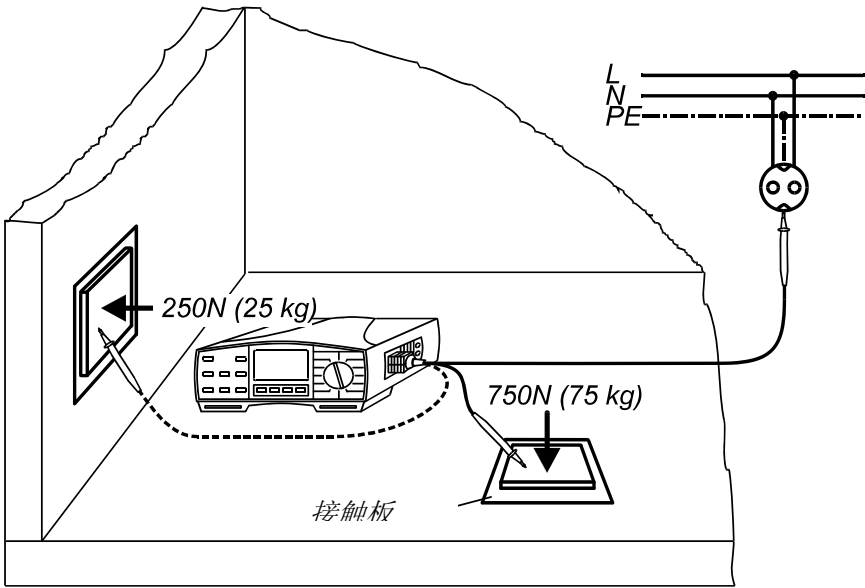


图 12.使用 Eurotest、Instaltest 或接地 - 绝缘测试仪进行的墙板和地板电阻测试

5.1.3. 半导电地板的电阻测试

在某些情况下，例如防爆区域、易燃材料仓库、漆器房间、敏感电子设备生产车间、火灾易发区域，等等，需要具有一定导电性的地板表面。在这些情况下，地板可以顺利地防止静电的聚集，并将任何低电能电位驱向地中。

为了获得适当的地板电阻，应使用半导电材料。还应使用测试电压范围为 100-500V 的绝缘电阻测试仪来测试电阻。

需使用法规所规定的专用测试电极，参见下图。

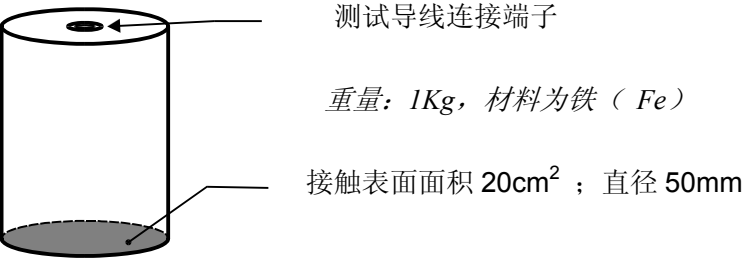


图 13. 测试电极

测试程序如下图所示。需在不同位置重复该测试多次，并应取所有测试结果的平均值。

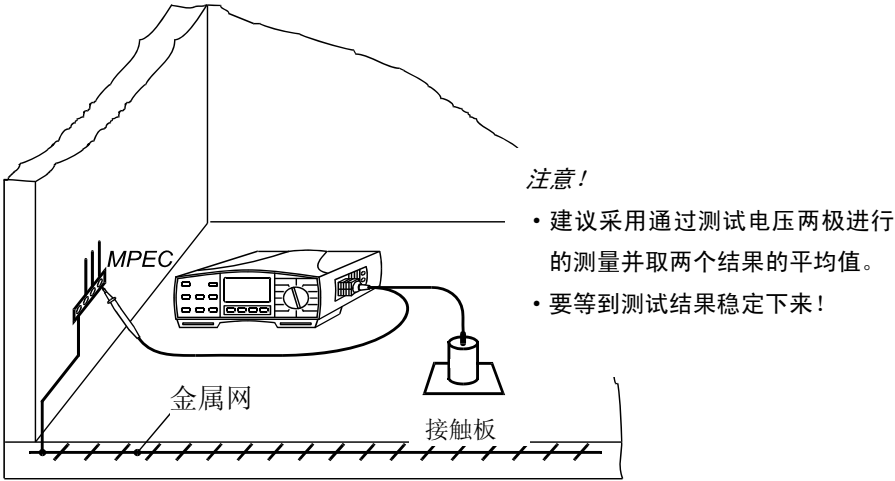


图 14. 半导电地板电阻的测试

该测试需在测试电极与安装在地板上的金属网之间进行，并且该金属网通常与保护导体PE 相连接。施行测试的区域面积应至少为 2 × 2m。

5.1.4.对接地电缆（ 30GΩ） 的绝缘电阻测试

除了由于电缆应承受的极限条件，测试电压应为 1000V 之外，该测试与在设备上两导体间进行测试一样。应在断开的电源电压处所有导体之间进行绝缘电阻测试。

由于绝缘电阻值较高，建议使用接地 – 绝缘测试仪。该仪表容许测试值高达 30GΩ。

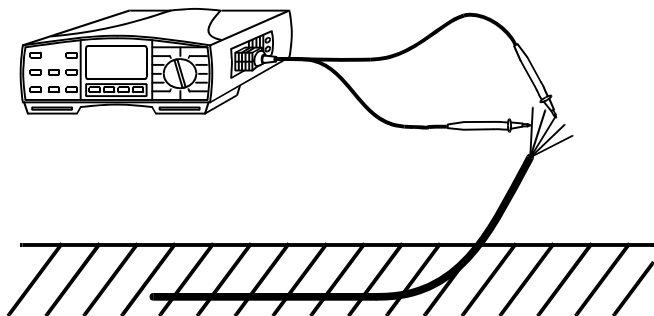


图 15. 使用接地 - 绝缘测试仪对接地电缆进行绝缘电阻测试

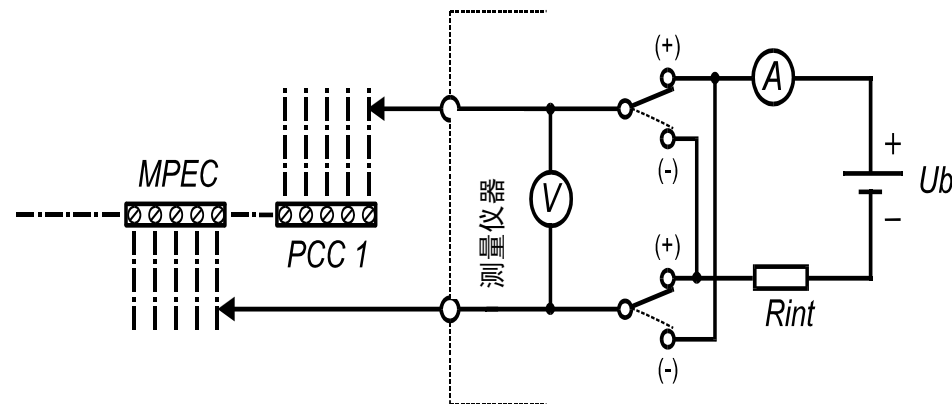


图 16. 测试原理

蓄电池电压激励测试电流经由电流表和内部电阻  $R_{int}$  进入被测环路。然后由电压表测试电压降。电阻  $R_x$  是根据下列等式计算出的：

被测环路中可能具有通常生锈的不同接头。这类接头上具有的这些故障就是，他们可以充当原电池，其中电阻取决于测试电压极性（二极管）。这就是法规要求测试仪表支持测试电压反向的原因。最新的测试仪表，例如 Eurotest 61557, Instaltest 61557 或接地 - 绝缘测试仪会自动通过两种极性进行测试。

由于具有两种测试电压极性，因此可以获得两种子结果如下：

**Result (+) =  $U / I = R_x (+)$  .....** 开关在接通线路位置（如上图）

**Result (-) =  $U / I = R_x (-)$  .....** 开关在中断线路位置（如上图）

其中：

$U$  ..... 由电压表在未知电阻  $R_x$  上测得的电压降。

$I$  ..... 由蓄电池激励并由电流表测得的测试电流。

显示最终结果（最大值）。

## 5.2. 保护导体、主平衡和附加平衡导体与接地导体的导通性 EN 61557- 4

上述导体是能防止危险电压（危险程度从持续时间及绝对值两方面判断）聚积的保护系统的重要组成部分。这些导体只能在尺寸正确、连接适当的情况下才能顺利发挥作用。测试导通性和搭铁电阻很重要的原因就在于此。

### 关于测试的一般性说明：

根据法规，只允许在使用交流或直流电压并且电压值为 **4 – 24V** 的情况下进行该测试。测试仪表由 METREL 生产，并采用 **U-I** 方法。测试原理如下图所示。

如果测试结果大于设置极限值（该数值可以预先设置），该仪表会发出音频报警信号。该信号的目的是使测试人员能注意所使用的导线，而不是显示屏。

实际上，保护导体（电机绕组、电磁阀、变压器等）上可能存在不同程度的电感，这些电感可能会影响被测环路。测试仪表在这些情况下能测试电阻，这一点很重要。而 Eurotest 61557, Instaltest 61557 和接地 – 绝缘测试仪都能测试。

导体太长、横截面太小、接触不良、连接有误等可能会导致保护无法接受的导体电阻过高。

接触不良是电阻过高最普遍的原因，特别是在旧设备上，而所列的其它原因可能会在新设备上引起故障。

因保护导体的测试可能比较复杂，故进行三组主要的测试：

- 与主保护接地插头（MPEC）相连接的保护导体的测试。
- 与每个保险丝盒内保护导体插头（PCC）相连接的保护导体的测试。
- 用于附加接地和局部接地的保护导体的测试。

实际测试的介绍

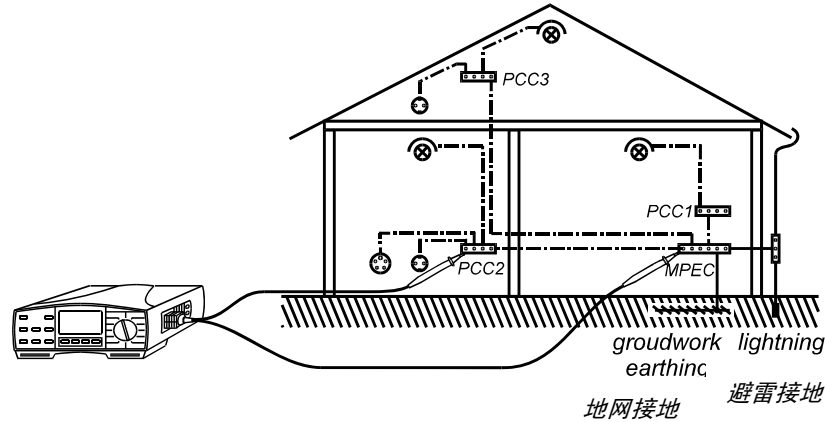


图 17. MPEC 与 PCC 之间的导通性测试

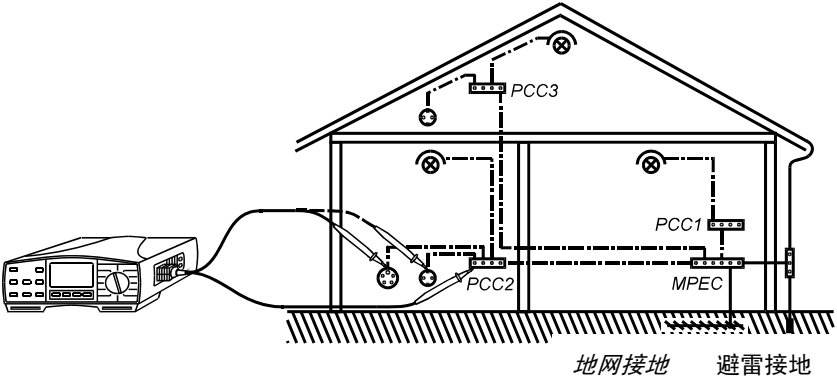


图 18. 每个保险丝盒内的导通性测试（应测试每个电流环路）

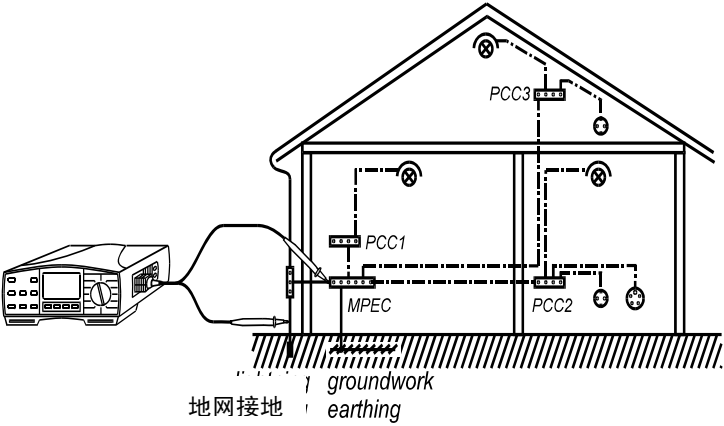


图 19. MPEC 与避雷导体之间的导通性测试

测试结果应符合下列条件：

$R_{PE} \leq U_L / I_a$

其中：

- $R_{PE}$  ..... 所测的保护导体电阻
- $U_L$  ..... 极限接触电压 （通常是 50 V）
- $I_a$  ..... 确保所安装的保护装置正常运作的电流
- $I_a = I_{\Delta n}$  差动电流保护 - RCD
  - $I_a = I_a (5s)$  过电流保护

因为测试下的导体可能长度很长，可能有必要使测试导线也加长到一定程度，这样才能具有足够高的电阻，因此确保在进行测试之前使导线得到补偿，这一点很重要。如果没有进行补偿，应在最终结果中将该电阻考虑进去。

5.3. 附加接地搭铁 EN 61557- 4

当主地线不足以防止危险故障电压的产生时，需采用附加接地搭铁。主接地与附加接地搭铁举例如下：

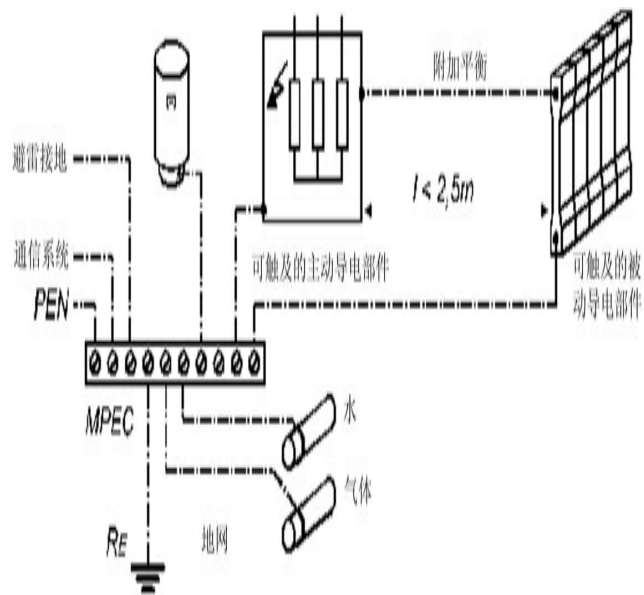


图 20. 主接地和附加接地搭铁

主接地包括与下列装置相连接的保护导体：

- 主 MPEC 或
- 保护导体换向器 PCC

附加平衡的保护导体连接着具有下列特征的可触及的被动导电部件：

- 直接与可触及的主动导电部件相连接；或
- 安装有附加接地插头（CAE）

当上图中介绍的任何负载（例如，三相电机）发生故障（短路）的情况下，短路电流  $I_{sc}$  能流向主接地的保护导体。由于保护导体  $R_{PE}$  的电阻值太高，该电流可能会导致危险的电压降（对接地电位）。因附近的可触及的被动导电部件（例如，散热器）仍然与低电位相连，故将在可触及的被动与主动导电部件之间产生电压  $U_c$ 。如果这两种部件之间的距离小于 2.5 m，则会出现危险情况（当同时接触这两种可触及的部件时）。

为了避免这种情况，需要附加接地，也就是说，需要在可触及的主动与被动导电部件之间进行附加连接。

如何确定需要附加接地？

为了确定是否需要附加接地，应测试可触及的主动导电部件与 MPEC（PCC）之间的保护导体的电阻，参见下图。

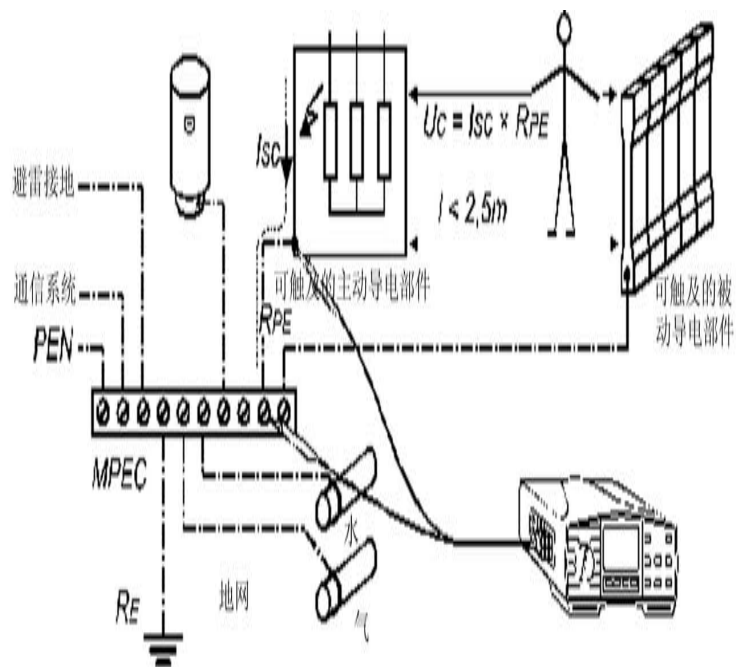


图 21. 为确定是否需要附加平衡而进行的保护导体测试

如果测试结果符合第 26 页上的等式的要求，则应施行附加接地。

一旦施行了附加接地，需要测试该接地的效率。该测试应通过重新测试可触及的主动与被动导电部件之间的电阻来实现，参见下图。测试结果必须符合基本测试中相同的情况，即  $R \leq U_L / I_a$ （参见第 26 页上的说明）。

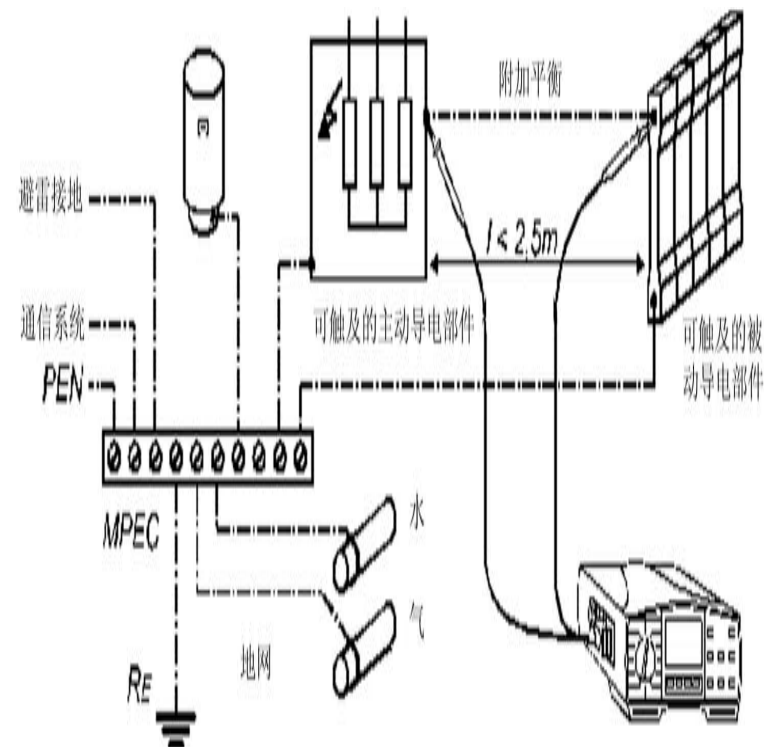


图 22. 附加接地效率的检查

实际上，主接地电阻很容易被超过，特别是在过电流保护的情况下。在该情况下，由于可能产生较高的故障（短路）电流，只允许采用较低的电阻。

测试仪表 Eurotest 61557 也能在对可触及的被动导电部件的短路电流产生时直接测试接触电压。测试仪表的连接与测试原理详述如下。

*在对可触及的被动导电部件的短路电流产生时所进行的接触电压测试*

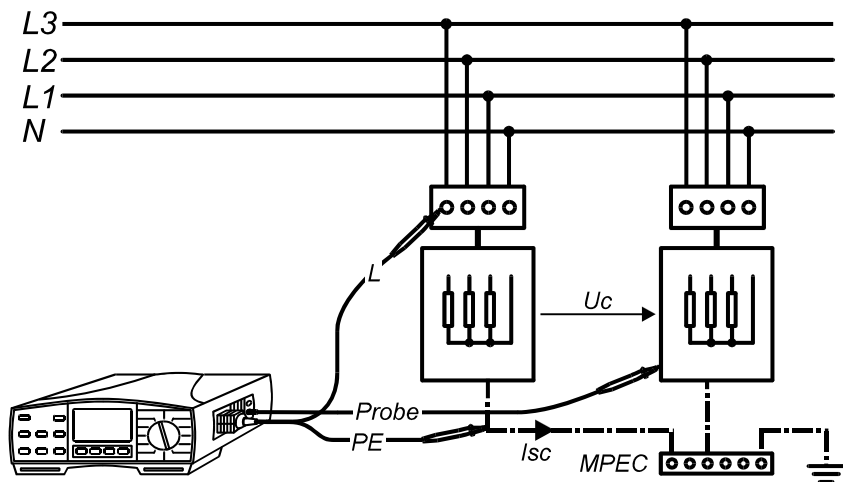


图 23. 在对可触及的被动导电部件的短路电流产生时使用 Eurotest 61557 所进行接触电压测试

该仪表将承受 L 相与保护 PE 测试端子之间很高的电源电压，并持续一小段时间（可能流过高达 23 A 的测试电流）。该测试电流会在连接于被测负载于 MPEC（PCC）之间的保护导体上产生一定的电压降。而在 PE 与探头测试端子之间可以直接测得对另一个可触及的主动或被动导电部件的电压降。测试结果与测试仪表所计算的短路故障电流成比例。

根据该结果，可以确定是否需要附加接地。

该测试的一个很好的特征就是，由于测试电流较高，产生测试结果准确度较高。但是操作人员必须意识到，只有当被测环路中没有 RCD，并且该环路在测试过程中肯定会断开时，才能进行该测试。在这种情况下，RCD 必须短路。

## 5.4. 低电阻

在维修电气设备和电器、检查保险丝状况、查找不同的连接等情况下，该功能非常有用。相对于根据 **EN 61557** 测试保护导体的功能（在前面章节中介绍过）而言，该功能的优势是功能连续（测试电流低，不用反接测试电压极性），并适用于快速测试。测试仪表 **Eurotest 61557**、**Instaltest 61557** 和接地 - 绝缘测试仪均提供这种功能。

测试原理如下图所示。

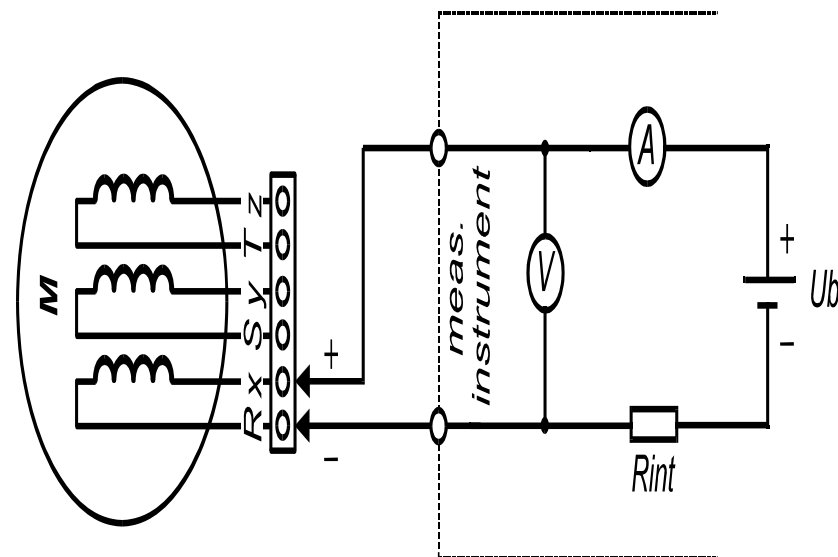


图 24. 测试原理

蓄电池通过内部电阻  $R_i$  和电流表对被测环路施加测试电流。并由电压表来测试被测电阻上所产生的电压降。仪表根据下列等式计算被测电阻:

$$R_x = U / I$$

其中:

U ..... 电压表所测的电压

I..... 电流表所测的测试电流

仪表的内部电阻比通过上一个功能测得的电阻（EN 61557）高，也是测试电流低得多的原因（低 7 mA）。

测试程序与测试导线的连接与上一个功能中完全相同。

如果所测的电阻低于  $20\ \Omega$ ，该仪表将发出音频信号，使测试人员注意测试本身，而不是显示屏。

## 5.5. 接地电阻 EN 61557-5

接地是在保护人体、动物和安装所连接的负载以防止电流影响方面比较重要的措施之一。对电气负载可触及的主动和被动导电部件接地的目的是，将在电气负载发生任何故障情况下可能出现的电位传导至地电平。

接地可以通过各种方式来完成。通常，可以通过金属杆、金属带、金属板等进行。

接地的复杂程度取决于大地，必须接地的物体，以及特殊情况下所要求最大接地电阻。

接地电阻是什么？

是电流在流经接地部件到大地过程所感测到的接地电极的电阻。该电阻受接地电极表面（金属表面的氧化物）和靠近接地电极的大部分地面的电阻的影响。

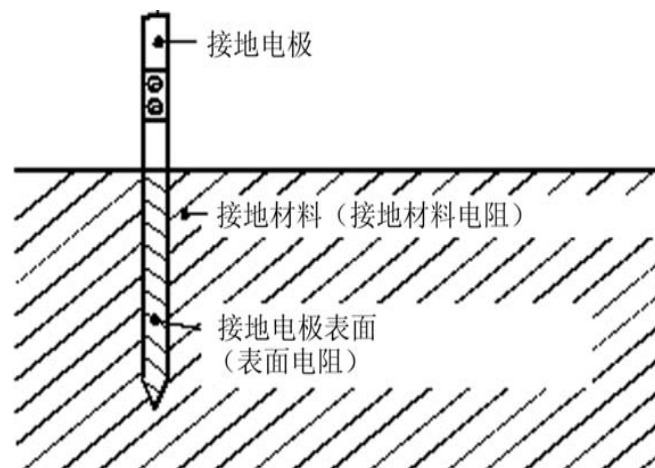


图 25. 接地电极

如果设备或所连接的负载有故障，流经接地电极的电流会在接地电阻上产生电压降。该电压的一部分叫作“电压漏斗”，它证明了接地电阻的大部分集中在接地电极的表面（参见下图）。

图中也显示电流流经接地电阻的结果是产生了阶跃电压和接触电压。

### 阶跃电压

是在接地电极周围的整个临界区域内所测得的电压。方法是在两个分别重 25 kg、表面积适当并分别为  $200\text{ cm}^2$  的金属电极之间进行测试。这两个电极相互间距 1 m 放置。

### 接触电压

是在接地电极与两个连接在一起并分别距离被测接地电极 1 m 放置的测试电极（与阶跃电压测试中的测试电极类似）之间测得的电压。

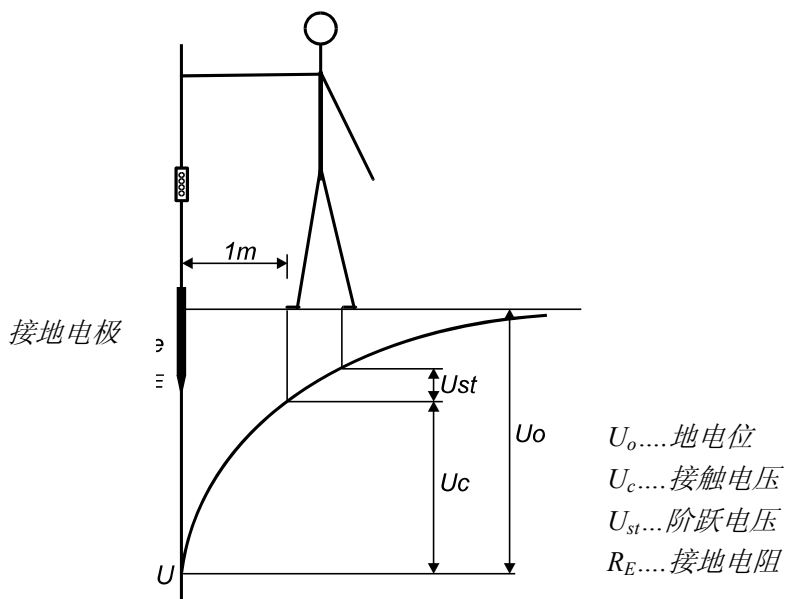


图 26. 通过接地电阻的电压分配 – 电压漏斗

#### 关于接地电阻测试的一般性注意事项

通常有满足用户要求的各种接地系统，这些系统具有不同的测试原理以及各自的优势和局限。

由 METREL 生产的测试仪表 Eurotest 61557, Instaltest 61557 和接地 – 绝缘测试仪采用多种原理（并不是所有的原理都被所有的测试仪表所采用）。例如：

- 内部供电（正弦波）和两个测试探头的原理

采用正弦波测试信号比采用方波具有明显的优势。这种方法专门用于测试同时具有电阻分量和电感分量的接地系统。在采用缠绕在物体上的金属带作为地线接头的情况下，这种方法比较普遍。如果物理条件允许的话，这是一个优选原理。

Eurotest 61557 和接地 – 绝缘测试仪采用这种原理。

- 采用不带辅助测试探头的外部测试电压的原理

该原理通常用于测试 TT 系统内的接地电阻的情况，其中，当在相端子与保护端子之间测试时，该接地电阻值比故障环路内其它部分的电阻高得多。该原理的优势是，不需要使用辅助测试探头，这对于没有测试探头接地区域的城市环境中比较适用。

Eurotest 61557 和 Instaltest 61557 采用这种原理。

- 采用外部测试电压和辅助测试探头的原理

该原理的优势是，可以对 TN 系统给出精确的测试结果，其中，相线与保护导体之间的故障环路电阻非常低。

Eurotest 61557 采用这种原理。

- 采用内部供电、两个测试探头和一个测试夹钳的原理

采用这种原理，就不需要机械断开可能与测试电极并联连接的任何接地电极了。

Eurotest 61557 和接地 – 绝缘测试仪采用这种原理。

- 使用两个测试夹钳的无接地桩测试原理

在需要测试复杂的接地系统或存在接地电阻较低的次级接地系统的情况下，该原理可以使你实现无接地桩测试。该原理的优势是，不需要触发测试探头，也不需要分开被测电极。

Eurotest 61557 和接地 – 绝缘测试仪采用这种原理。

注意！

- 有必要意识到，在被测试的接地系统中经常存在高电平干扰信号。这一点尤其涉及到工业中的接地系统和电源变压器等，其中，强大的放电电流会流向大地。在特别靠近高压配电线、铁路等处的接地电极周围区域常常存在较高的漏电电流。测试仪表的质量可通过其在这种要求苛刻的环境下的性能得以证明。Eurotest 61557, Instaltest 61557 和接地 - 绝缘测试仪采用专利测试原理，这些原理能确保即使在竞争对手的仪表无法测试的情况下也能给出准确的结果。
- 为了成功地使用测试探头测试接地电阻，保证测试探头的电阻（电流和电压）不要太高很重要，因此，前面所述由 METREL 生产的仪表在测试前要测试两个探头，这样可以简化测试。这样一来，就不需要通过手动方式反接电流（C2）和电压（P2）测试导线然后再重复测试了。当测试仪表只测试一个探头电阻时，需要在反接的辅助测试探头 P2 和 C2 处重复每个测试。

接地电阻  $R_E$  的最大容许值根据情况各不相同。基本上来说，结合了其它安全元件（例如，RCD 保护装置，过电流保护装置，等等）的接地系统必须防止产生危险的接触电压。

接地电阻的基本测试采用了内部供电和两个测试探头（电压和电流）的原理。该测试基于所谓的 62% 法。

对于这种测试，将被测接地电极与其它串联地线（例如金属结构等）分开，这一点很重要。必须考虑到，当将该导体与接地电极分开时，如果故障电流或泄漏电流流向大地，会导致危险情况发生。

## 使用标准 4 端子、2 探头法的原理

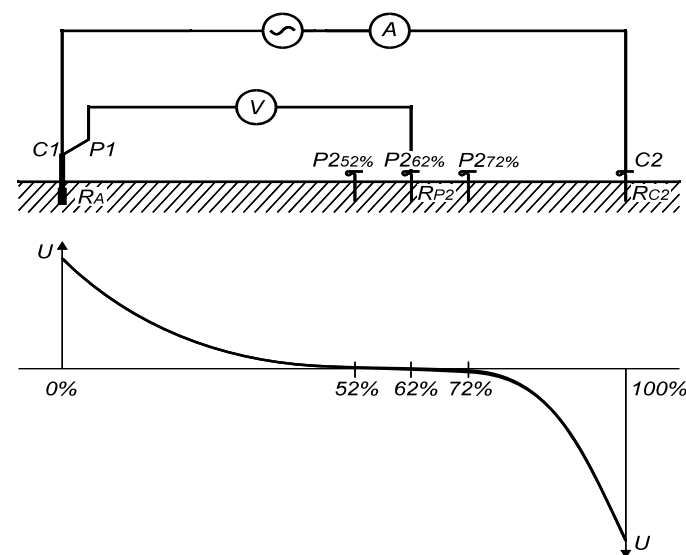


图 27. 测试原理和测试电压的分配

被测接地系统（接地桩或接地带电极）之间所需距离的计算：

计算的依据是接地桩电极的深度或接地带系统的对角线尺寸。

- 从被测接地电极到电流测试探头的距离  

$$C2 = \text{深度（接地桩电极）或对角线（带式电极）} \times 5$$
- 与电压测试探头的距离  $P2$ （62%） = 距离  $C2 \times 0.62$
- 与电压测试探头的距离  $P2$ （52%） = 距离  $C2 \times 0.52$
- 与电压测试探头的距离  $P2$ （72%） = 距离  $C2 \times 0.72$

举例：接地带系统，对角线 = 4 m

$$C2 = 4 \text{ m} \times 5 = 20 \text{ m}$$

$$P2 \text{（62%）} = 20 \text{ m} \times 0.62 = 12.4 \text{ m}$$

$$P2 \text{（52%）} = 20 \text{ m} \times 0.52 = 10.4 \text{ m}$$

$$P2 \text{（72%）} = 20 \text{ m} \times 0.72 = 14.4 \text{ m}$$

5.5.1. 接地桩接地电极的测量

这种计算自然仅仅是理论上的。为了确定与实际接地状况相符的计算距离，应进行下列测试程序。

第一次测试需要在  $0.62 \times C2$  距离处、被驱向接地的电位探头上进行。该测试还应在  $0.52 \times C2$  和  $0.72 \times C2$  距离处重复进行。如果重复测试的结果与第一次测试结果不同，但没有超出第一次测试（ $0.62 \times C2$ ）的 10%，则认为第一次测试结果正确。如果差别超出 10%，则应按比例增大两个距离（ $C2$  与  $P2$ ），并重复所有测试。

建议在接地桩不同的放置方式下重复测试，即，接地桩应在被测电极相反的方向上（ $80^\circ$  或至少  $90^\circ$ ）被驱动。最终结果是两个或更多部分结果的平均值。

由于接地系统可能很复杂，许多系统可能一起连接在地平面以上或以下，系统物理尺寸可能极大，系统的完整性通常不能目视检查等等这些事实，接地电阻的测试可能是要求最苛刻的测试之一。因此，选择适当的测试仪表非常重要。

在开始测试之前要识别接地系统的类型。应根据类型选择适当的测试方法。

无论选择了何种方法，测试结果应在与容许值对比之前接受校正，参见第 5 章。

以下是对各种类型的接地系统进行实际测试的举例。

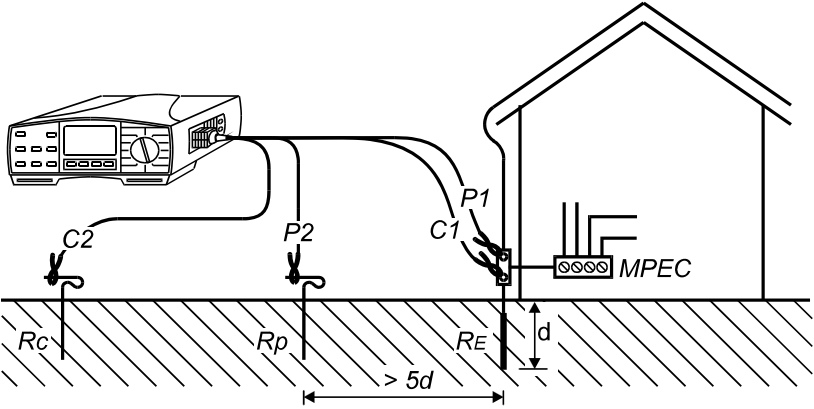


图 28. 接地桩接地电极的接地电阻测量

结果  $= U/I = R_E$

其中：

$U$ ..... 由内部电压表在  $P1$  与  $P2$  测试端子之间所测的电压。

$I$ ..... 在  $C1$  与  $C2$  测试端子之间被驱到被测环路的测试电流  
测量非常简单，因为接地电极可以视为尖端极，并且没有与其它电极相连接。被测电极与被测探头（电流和电压）之间的距离取决于被测电极的深度。

使用 METREL 测试仪器所支持的 4 导线连接，比 3 导线要好得多，因为这样不会对测试夹钳与被测电极通常积尘的表面之间的接触电阻造成故障。

测量探头通常被引向大地，并与被测电极成一条直线，或成等边三角形。

5.5.2. 接地带接地电极的测量

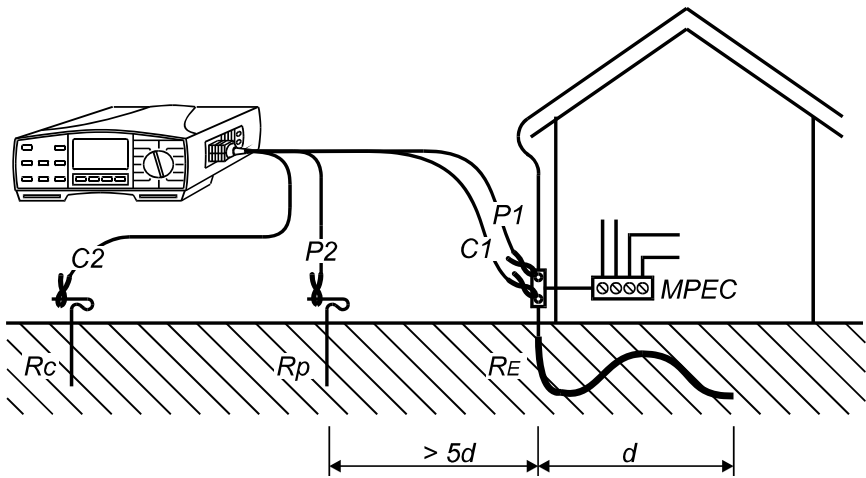


图 29. 接地带电极的接地电阻测量

结果 =  $U / I = R_E$

其中：

U ..... 由内部电压表在 P1 与 P2 测试端子之间所测的电压。

I ..... C1 与 C2 测试端子之间的测试电流。

除了电极不能视为单个尖端极之外，该测量与上一个测量非常相似，但是必须考虑所用带的长度。在该长度基础上，必须计算并使用被测电极到两个测试探头之间的适当距离，参见下图。

测量探头通常被引向大地，并与被测电极成一条直线，或成等边三角形。

5.5.3. 具有多个并联电极的复杂接地系统的测量

在该系统中应注意以下两个重要方面：

- 相当于每个接地电极并联的接地系统的总电阻  $R_{Etot}$   
足够低的总接地电阻符合在负载故障情况下有效防止电击的要求，但却不能对通过避雷导体进行的大气放电进行有效保护。
- 每个接地电极的电阻  $R_{E1} \dots R_{EN}$   
当接地系统是用来防止大气放电时，每个接地电阻必须具有足够的低数值。大气放电非常快，因此，放电电流中包含高频分量。因为这些分量，接地系统中的任何电感都会成为高电阻，因而不能顺利实现放电。这样会导致危险后果。

具有多个分离的接地部件（其中某些部件具有过高的接地电阻）的避雷导体可能会引起与期望相反的效应。避雷系统通过其几何形状和适当的位置（锐边/尖端，通常在最高处）吸收雷电。在避雷系统附近会出现非常高强度的电场和随之的空气电离。

总接地电阻的测量

a) 标准四导线、两探头法

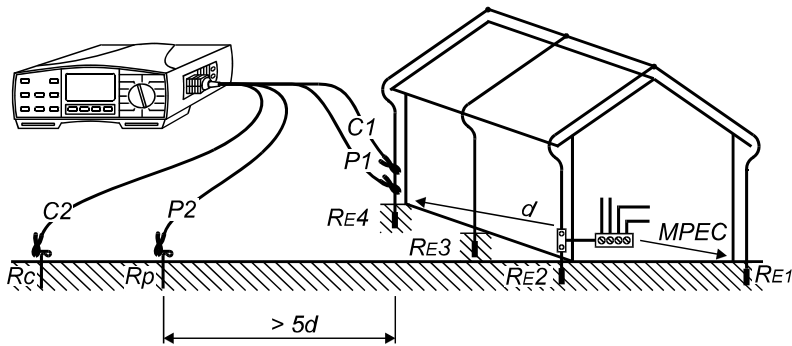


图 30. 使用标准四导线、两探头法测量复杂接地系统的总接地电阻

电压和电流测量探头必须在远离被测系统的地方引向大地，这样可以视作一个点系统。距离电流探头的所需距离必须至少为各个接地电极之间最长距离的 5 倍。距离电压探头的距离应符合本章要求。被测接地系统（接地桩或接地带电极）之间所需距离的计算参见第 35 页。

该方法的优点是它能确保测量结果准确并稳定，而缺点是它需要相对较长的距离来设置测量探头，这样可能会导致故障（特别是在城市环境中）。

结果 =  $U/I = R_{E1}/R_{E2}/R_{E3}/R_{E4} = R_{E_{tot}}$

其中:

- U.....由仪器在测试探头 P1 与 P2 之间所测的电压。
- I.....由仪器在测试探头 C1 与 C2 之间的测试环路中所激励的电流。
- $R_{E1} - R_{E4}$ .....各个接地电极的接地电阻。
- $R_{E_{tot}}$ .....被测接地系统的总接地电阻。

b) 使用两个测试夹钳的无接地桩法

接地电阻测量可以简化，当附加接地电极或接地电极系统具有很低的总接地电阻时，可以不必采用接地峰值而进行该测量。如果具有 Eurotest 61557 或接地 - 绝缘测试仪之类的测量仪器，则可以使用两个测试夹钳来进行该测量。  
这种情况通常在同时存在其它具有较低接地电阻的接地系统的建成区域（例如，金属带与接地电网电缆一起安装）。

以下是这类接地系统的举例和测试仪器的连接。

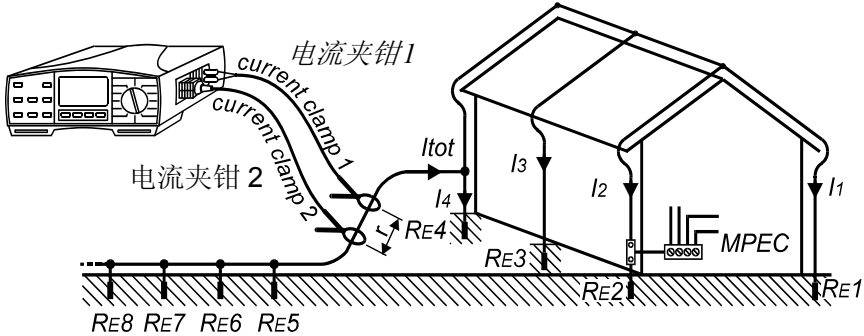


图 31. 使用两个测试夹钳进行总接地电阻测量

- $R_{E1} - R_{E4}$ ..... 被测接地系统的各个接地电阻。
- $R_{E5} - R_{EN}$ ..... 具有较低的总接地电阻的辅助接地系统的各个接地电阻。
- r..... 测量夹钳之间的距离，必须至少为 30 cm，否则，发电机夹钳会对测量夹钳产生影响。

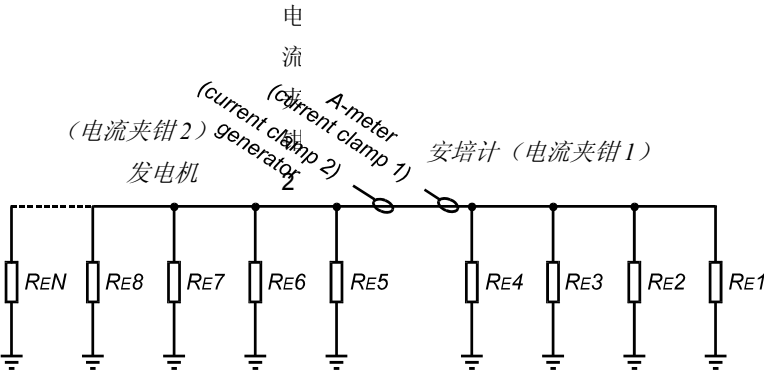


图 32. 以上举例的等效电路

上图对以上举例给出了更好的解释

结果 = (接地电极  $R_{E1} - R_{E4}$  的总电阻) +  
+ (辅助接地系统  $R_{E5} - R_{EN}$  的总电阻)

如果可以假设, 辅助电极  $R_{E5} - R_{EN}$  的总电阻低于被测电极  $R_{E1} - R_{E4}$  的总电阻, 那么, 可以得出下列结果:

结果  $\approx$  (被测接地电极  $R_{E1} - R_{E4}$  的总电阻)

如果该结果小于容许值, 则实际值在安全范围内, 即甚至比显示结果更小。

## 电阻率测量

有多种方法可以测量特殊接地电极的接地电阻。即将使用的方法最适于实际的接地系统, 现有的测试仪器自然也支持。

### a) 通过使用标准四导线、两探头测试方法机械断开被测接地电极而进行的测量

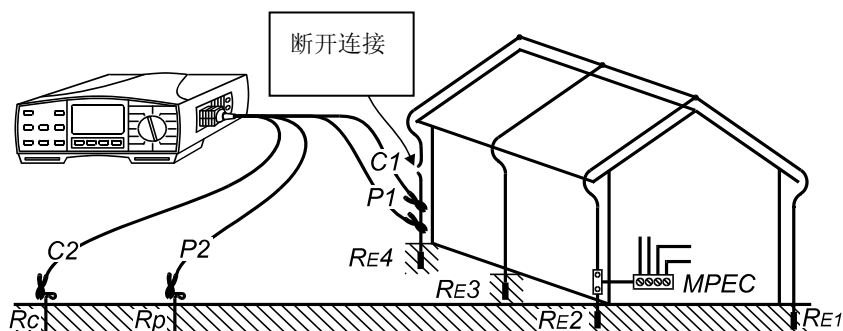


图 33. 特殊接地电极的接地电阻测量

$$\text{结果} = U / I = R_{E4}$$

其中:

U..... 由内部电压表在 P1 与 P2 测试端子之间所测的电压。

I..... 通过 C1 与 C2 测试端子之间的被测环路所激励的测试电流。

被测电极与两个测试探头之间的所需距离相当于接地桩电极或接地带电极测量中的所需距离, 取决于所用电极的类型。

该方法的缺点是, 必须在测量开始之前进行机械断开。由于接头可能积尘, 断开与否存在疑问。该方法的优点是测试结果高度准确并稳定。

### b) 通过使用标准四导线、两点测试方法机械断开被测接地电极而进行的测量

如果所有接地电极的数量足够多, 则可以使用简化的无探头法, 参见下图。

被测电极需机械断开, 而其它所有电极将用作辅助电极。辅助电极的总接地电阻比被测电极的电阻小得多。

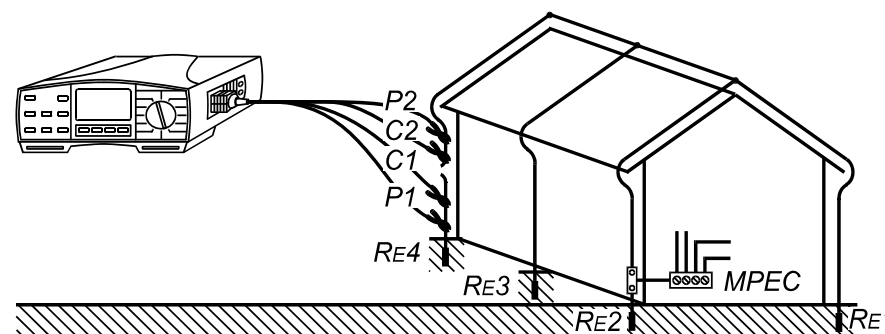


图 34. 简化的无探头法测量

$$\text{结果} = R_{E4} + (R_{E1} // R_{E2} // R_{E3})$$

如果  $(R_{E1} // R_{E2} // R_{E3})$  远远低于被测的  $R_{E4}$ , 则可以标注为:

$$\text{结果} \approx R_{E4}$$

c) 使用标准四端子、两探头测试方法配合使用测试夹钳而进行的测量

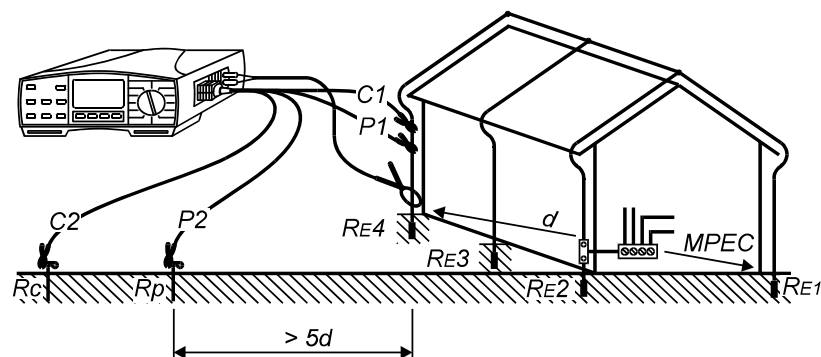


图 35. 使用一个测试夹钳进行的接地电阻测量

以上举例的等效电路图如下图所示。

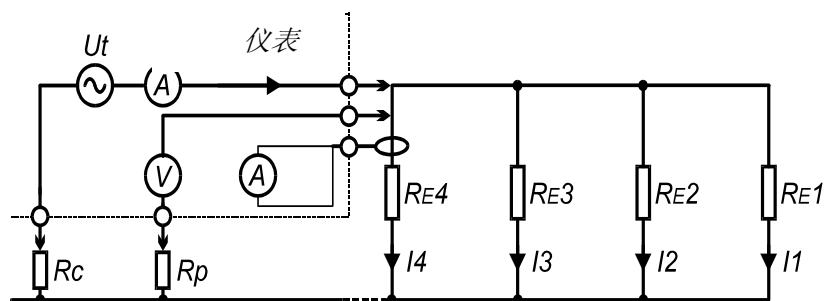


图 36. 以上实例的等效电路图

$U_t$  ..... 测试电压。

$R_c$  ..... 电流测试探头的电阻。

$R_p$  ..... 电位测试探头的电阻。

$I_{tot}$  ..... 由测试电压  $U_t$  产生、并由与发电机串联连接的电流表所测的总电流。

$I - I_4$  .... 每个测试电流。

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_{tot}$$

结果 1 =  $R_{E4}$  (应考虑测试夹钳所测的电流)

结果 2 =  $R_{tot}$  (应考虑电流表所测的总电流)

该方法的优点是，不需要机械断开被测电极。

从一个电极移向另一个电极的测试夹钳只能测量被测接地电极的电流。在该电流基础上，使用内部电流表所测的总电流和内部电压表所测的电压，可以计算出特定的接地电阻。

为了确保电压测量准确，从被测电极到电流探头的距离至少比被测系统中特殊电极之间的最大距离大 5 倍。

注意！

- 由于特殊电极之间的距离较大，通常不允许将测试夹钳从一个电极移向另一个电极！必须移走带有其测试导线的仪器。
- 如果被测接地系统中的电极数量太多，可能由测试夹钳在电极上所测电流太小。在这种情况下，测试仪器会显示不正常的状态。

d) 使用两个测试夹钳进行的无探头测量

具有许多并联电极的复杂接地系统（参见下图）或与其它接地系统互连的系统（参见图 39）在测试时通常符合这种情况。另外，事实证明，在建成区域将测试探头引向大地很困难或无法实现。在这些情况下，建议使用无探头法（如果测试仪器支持该功能的话）。

Eurotest 61557 和接地 - 绝缘测试仪都可以进行该测量，即使存在较大的噪声信号，因为它们都采用特殊的专利技术解决方案。

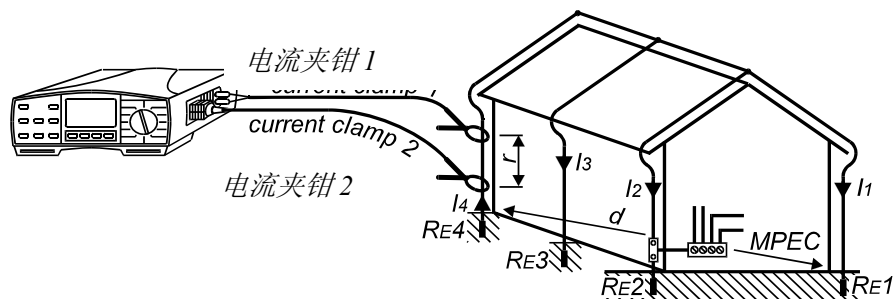


图 37. 使用无探头、双夹钳法测量接地电阻

注意！

- 确保两测试夹钳之间的最小距离至少为 30cm，这一点很重要。否则，这两个夹钳会相互作用，并使读数失真。

以上举例的等效电路图如下。

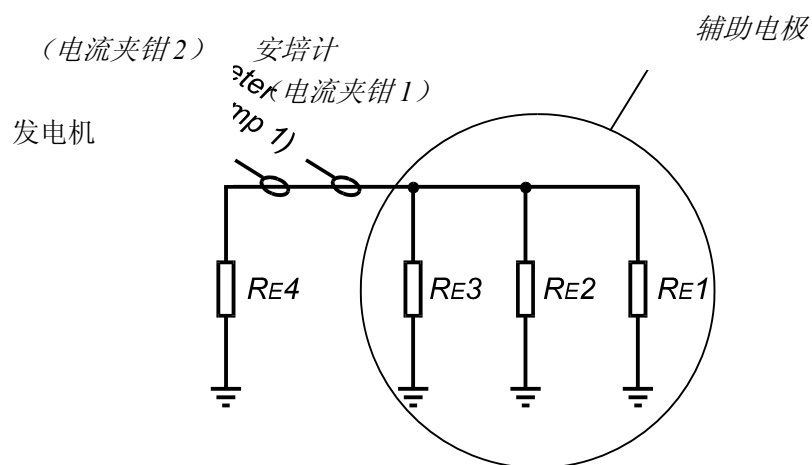


图 38. 以上实例的等效电路图

$$\text{结果} = R_{E4} + (R_{E3} // R_{E2} // R_{E1})$$

如果并联电极  $R_{E3}$ 、 $R_{E2}$  和  $R_{E1}$  的总电阻小于被测电阻  $R_{E4}$  的电阻，则可以得出下列等式：

$$\text{结果} \approx R_{E4}$$

如果结果小于容许值，则实际值肯定在安全范围内，即，实际值甚至比显示值还要小。

通过移动测试夹钳至其它电极上，可以测出其它特定电阻值。

如果有一个实例如图 31 所示，则可以按下图所示连接测试夹钳。容许的测试结果的所需条件是，接地电极  $R_{E5}$  至  $R_{EN}$  的接地电阻相对于被测物体  $R_{E1}$  至  $R_{E4}$  的总电阻来说，可以忽略不计。

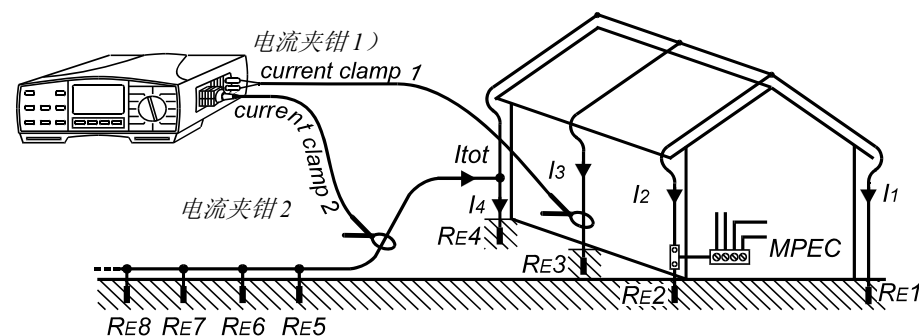


图 39. 使用两测试夹钳进行的无探头法接地电阻测量

连接与图 31 中的相似。不同的是，电流测量的测试夹钳与特定的接地电极相连接，以测量该电极的接地电阻。

以上举例的等效电路图如下图所示。

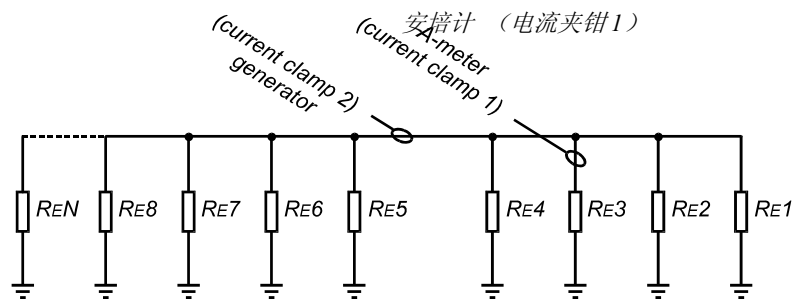


图 40. 以上实例的等效电路图

如果辅助接地电极  $R_{E5}$  和  $R_{EN}$  的总电阻小于电极  $R_{E1}$  至  $R_{E4}$  的总电阻，则可以得出下列等式：

结果  $\approx R_{E3}$

通过移动测试夹钳 1（电流测量夹钳）至其它电极上，可以测量其它接地电极。

注意！

- 如果各个接地电极相互之间靠得很近，可以使测试夹钳接触到，则可以使用该方法。无论测量哪个电极，发电机夹钳都应保持在同一位置。
- 如果被测接地系统中电极数量很多，那么，由测试夹钳在被测电极所测的电流会很小。在这种情况下，测试仪器会显示不正常的情况。

使用外部电压进行的接地电阻测量方法，在“RCD 保护装置”部分的第 5.8.4 节中介绍。

## 5.6. 电阻率 EN 61557- 5

电阻率是什么？

电阻率是形状如  $1 \times 1 \times 1$  m 立方体的接地材料的电阻，其中，测量电极可以放在该立方体的对面，参见下图。

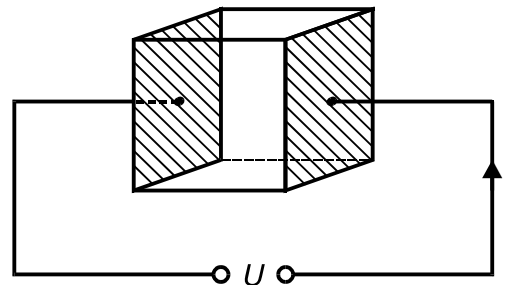


图 41. 电阻率的说明

电阻率的测量

进行该测量是为了确保接地系统的更准确计算，例如，用于高压配电柜、大型工业设备、避雷系统，等等。

应使用交流测试电压，因为如果使用直流测试电压，可能会在被测接地材料中产生电化学反应。

电阻率以  $\Omega m$  表示，其绝对值取决于接地材料的构造。

测量原理如下图所示。

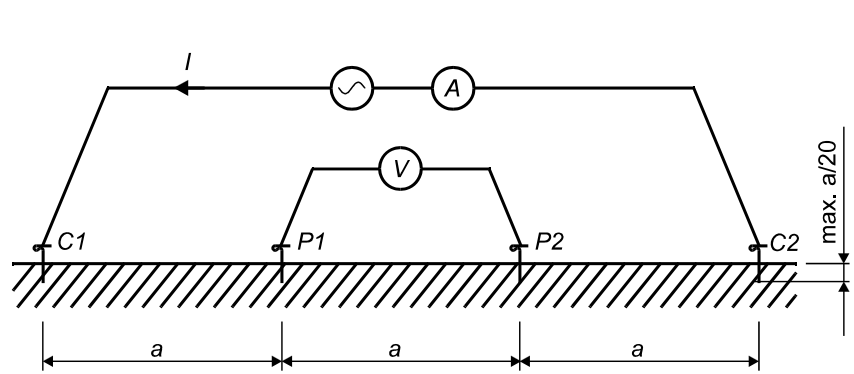


图 42. 测量原理

结果  $= 2 \pi a U / I = \rho$

其中：

- a ..... 测试探头 之间的距离。
- U ..... 由电压表所测的测试探头 P1 与 P2 之间的电压。
- I ..... 由交流发电机激励的并由电流表所测的测试电流。
- $\rho$  ..... 电阻率。

如果测试探头在最大  $a/20$  距离处被引向大地，则以上等式有效。

为了获得更客观的结果，建议从不同方向重复该测量（例如，相对于第一次测量旋转  $90^\circ$ ）并取平均值。

测试探头采用不同距离，表示对在不同深度的材料进行测量。因为距离越长，被测材料的深度就越深。

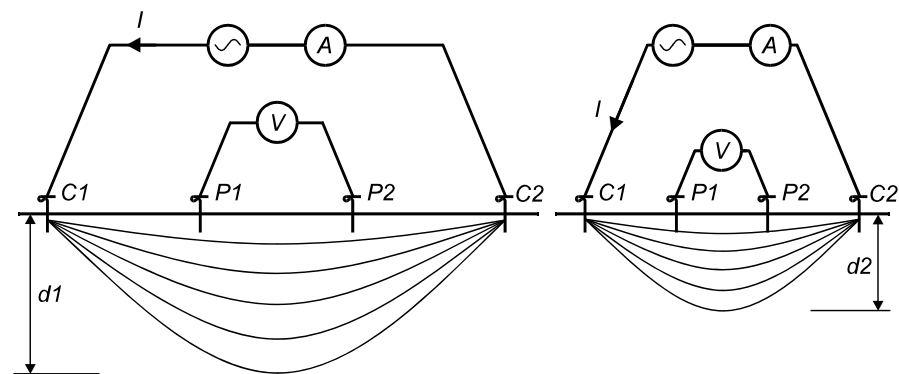


图 43. 距离 a 对测量深度的影响

- d1 ..... 测试探头之间较长的距离 a 所涉及的深度。
- d2 ..... 测试探头之间较短的距离 a 所涉及的深度。

接地电极应位于接地电阻最小的位置和深度（或至少有一个合理的折衷方案），因此需要在不同深度取所获的测试结果。

另外，接地材料的构造也能粗略定义测量电阻率。

下表所表示的是，相对于一些典型的接地材料而言，电阻率的规定值。

| 接地材料的类型 | 电阻率 ( $\Omega\text{m}$ ) |
|---------|--------------------------|
| 海水      | 0.5                      |
| 湖水或河水   | 10 – 100                 |
| 犁过的地    | 90 – 150                 |
| 混凝土     | 150 – 500                |
| 湿砂砾     | 200 – 400                |
| 干细沙     | 500                      |
| 石灰      | 500 – 1000               |
| 干砂砾     | 1000 – 2000              |
| 多石地面    | 100 – 3000               |

表 3. 一些典型的接地材料的电阻率规定值

使用 Eurotest 61557 或接地 – 绝缘测试仪进行的实际测量如下图所示。

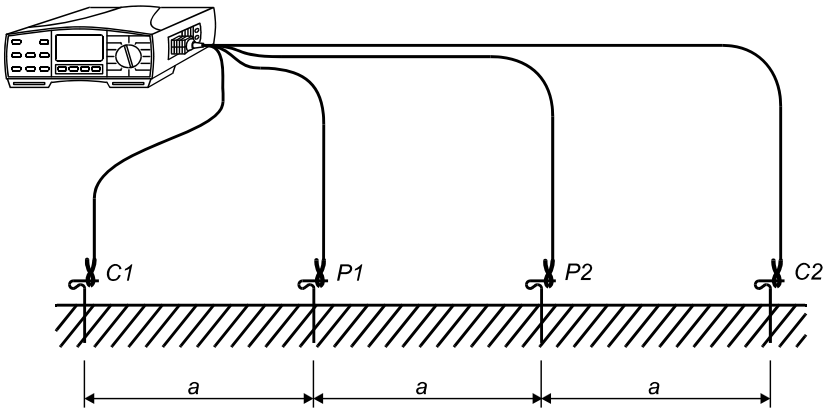


图 44. 电阻率的实际测量

5.7. 电网插头处保护导体 “PE” 的连接

在新装备以及适当的装备上，可能会出现 PE 导体与相线反接的情况，这种情况非常危险！这也是为什么在 PE 短自端子处测试是否有相电压存在，这一点很重要的原因。必须在其它任何需要有电网电压存在的测试进行之前或使用装备之前进行该测试。

只要操作人员手指触碰到与 “START (开始)” 键相邻的 PE 测试探头时，Eurotest 61557 就会进行该测试。

现在看一下测试原理。

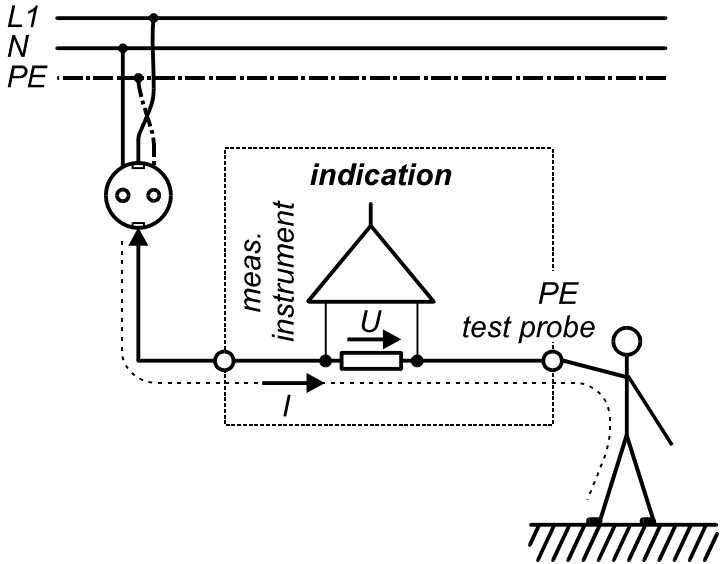


图 45. 测试原理

如果 PE 端子处存在相电压，一旦操作人员的手指接触到 PE 测试端子，就会有一定量的电流从端子流出，并流经测试仪器的内部电阻和操作人员的身体，然后流到大地。电流会在测试仪器的内部电阻上产生一定的电压降，该电压降可以被仪器的电子电路检测到。

## 注意!

- 如果检测到相电压存在，应马上停止所有即将进行的操作，并确认该状况在得到改变并安全后，再继续操作。
- 用户在测试过程中应站在导电的地板上。

## 5.8. RCD 保护装置 EN 61557- 6

RCD 装置是一种保护装置，它可以保护人和动物免遭电击。它以流过不同负载的相电流和流经中性导线的返回电流之间的差值为工作依据。如果该差值高于安装的 RCD 保护装置的跳闸电流，RCD 装置将跳闸，从而切断电源电压。上述的电流差值必须以一个泄漏电流（通路绝缘或电容耦合）或一个故障电流（通路故障绝缘或带电部件和可导电部件间的局部 / 全部短路）的方式流到地面。

这样的保护装置只有在 RCD 装置正确安装，并且安装规格正确，以及接地电阻值低于安装的 RCD 装置容许极限值时才起作用。

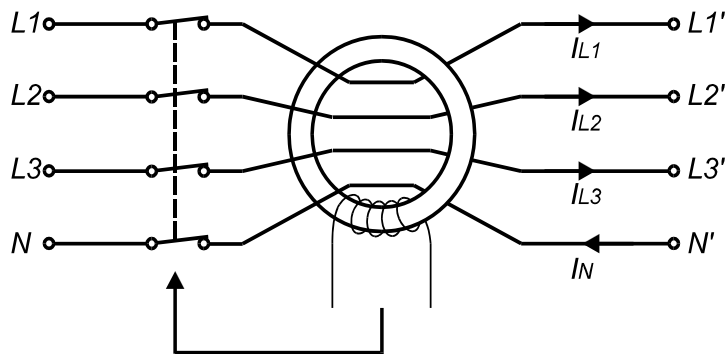


图. 46. RCD 保护装置示意图

L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, N.....与供电网连接的输入端子

L<sub>1</sub>', L<sub>2</sub>', L<sub>3</sub>', N'..... 与建筑物内设备连接的输出端子

$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} - I_N$$

不论连接何种类型的负载（单相、三相三线制、三相四线制、对称、非对称），上式均能成立。

RCD 跳闸条件如下:

$$I_{\Delta} \geq I_{\text{trip}} \text{ (跳闸电流)}$$

式中:

$I_{\Delta}$ ..... 差动电流，该电流等于故障电流与漏泄电流的总和

$I_{\Delta \text{ trip}}$  (跳闸) ..... 安装的 RCD 装置的跳闸电流

为了确保正确操作，任何电流波形的形状有三种基本的 RCD 类型可用，即:

- AC 型，对交变差动电流灵敏。由于多数设备用交变电流给负载供电，所以这是最常用的类型。

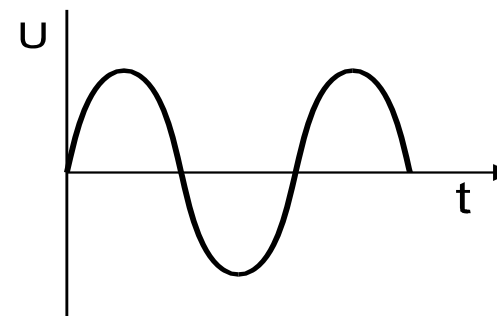


图. 47. 差动电流的波形，对 AC 型 RCD 灵敏

- A 型，除了对交变电流灵敏以外，还对已整流交流电流的半波整流或全波整流电流灵敏。这些电流类型在实际中很少使用，因为用半波整流或全波整流这样的电流给连接负载供电的设备很少（例如：直流电动机、电镀设备等等）。

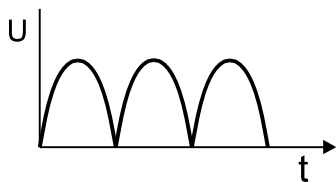


图. 48. 差动电流的波形，对“A”型 RCD 也灵敏

- **B 型**，除了交变电流和半波整流或全波整流电流外，这些类型还对纯直流电流或几乎纯的直流电流灵敏。因为用纯直流电流给负载供电的设备（如全波整流三相电压等）不是很多，所以该类型在实际中很少使用。

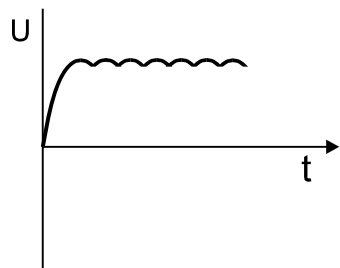


图. 49. 对“B”型 RCD 也灵敏的差动电流波形

对于 RCD 保护装置所需要的跳闸时间，有两种类型可选用，即：

- 标准型（瞬间跳闸）
- 任选型（延时跳闸）

为了确保使用 RCD 保护装置成功进行保护，应测量下面的参数：

- 接触电压  $U_c$
- 跳闸时间  $t_A$
- 跳闸电流  $I_A$
- 接地电阻  $R_E$

上面提到的参数理论上应在旱季、夏季期间接地电阻达到最大值时测量。否则应定期进行测量，例如每个月一次或者：

- 每次跳闸之后或
- 每次设备短路之后或
- 大量的大气放电之后或
- 保护系统进行改进之后或
- 改变地面条件之后（在接地系统的周围采挖，把接地系统周围弄干等等）。

### 5.8.1. 接触电压

什么是接触电压？

接触电压是在故障状态下，在可导电元件上产生的、可以同人体接触的电压。

由于故障负载，故障电流如果可以经过保护导体流到地面，会产生一个穿过接地电阻  $R_E$ （TT—系统）的电压降，叫做故障电压。有一部分故障电压是人体可以接触的，这部分电压就叫做接触电压。见图 7 接触电压示意图。

容许接触电压的最大值叫做极限电压（用  $U_L$  表示），通常为 50V。不过在有些情况下（农村环境，医院，计算机室等），只有 25V。

接触电压  $U_c$  的测量

为了安全，在将任意电路与 RCD 控制连接之前，应测量导体保护的连续性和绝缘电阻。

通常使用一个  $I_{\Delta n} / 2$  或  $I_{\Delta n} / 3$  的测试电流测量接触电压，这就是 RCD 装置在测量过程中不会跳闸的原因（如果 RCD 装置，设备和连接的负载运行状况良好）。

Eurotest 61557 型仪表提供了两种测量方法，即：

- 不使用辅助测试探头
- 使用辅助测试探头

#### a) 不使用辅助测试探头测量接触电压

测量原理如下两图所示。

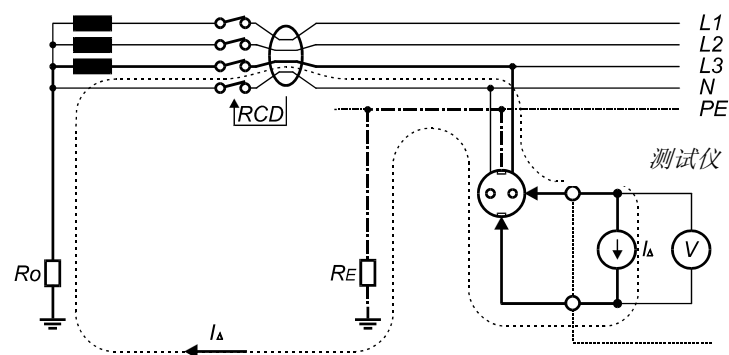


图. 50. TT—系统中不使用辅助测试探头的接触电压测量原理

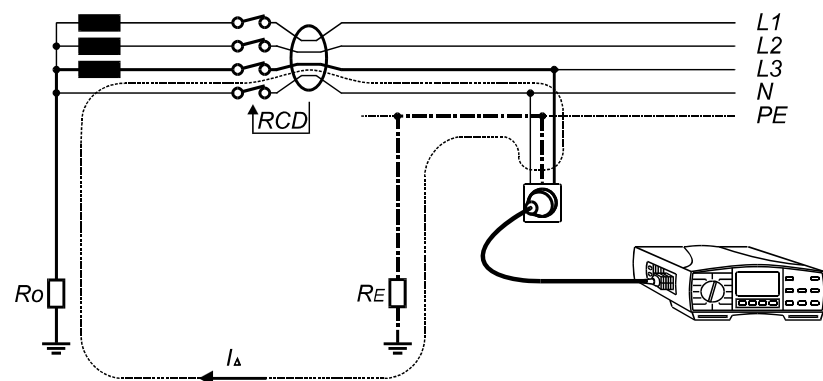


图. 51. Eurotest 61557 型 Instaltest 61557 型测试仪的实际连接

测试仪模拟连接负载上的一个故障，驱动故障电流从相线流到保护导体，然后到地面。电流流经下面的回路：保护导体从测试仪到接地电极；地面从接地电极到电源变压器，二级电源变压器；相线从电源变压器到测试仪。假设被测设备的接地电阻远远高于测试回路上其它所有电阻的总和，那么大部分故障电压的集中在接地电阻上。接地电阻上的电压称为接触电压。用相端子做参考点，可以用测试仪测量此电压。

以上描述的方法（不使用辅助测试探头）可以给出非常精确的结果，尤其是在 TT 一系统中。并且由于不需要驱动辅助测试探头，因此非常方便。为了接触电压的结果绝对精确，尤其是为了接地电阻  $R_E$  的计算精确，建议采用使用辅助测试探头的测试方法。

#### B) 使用辅助探头测量接触电压

测量原理如下两图所示。

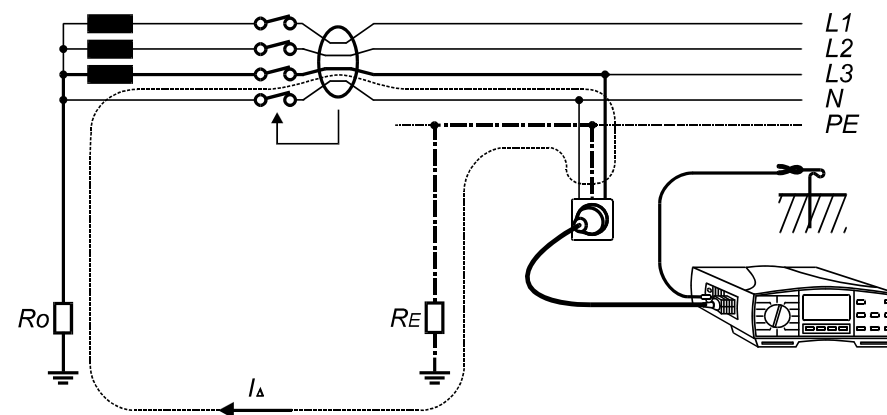


图. 52. TT—系统中使用辅助测试探头的接触电压测量原理

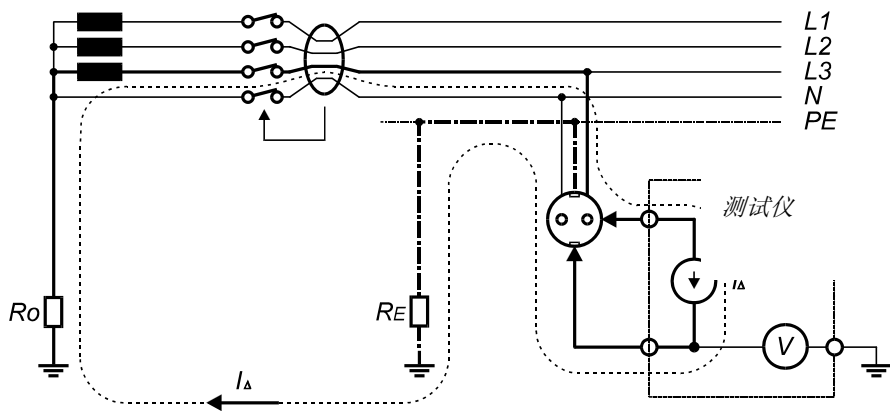


图. 53. Eurotest 61557 型测试仪的实际连接

注意！

- 如果接触电压在容许水准之上，那么就应检查接地电阻。
- 如果在接地电压测量过程中 RCD 跳闸，极有可能有漏泄电流或故障电流已经流到地面。应在测试过程中断开产生此电流的负载。

## 5.8.2. 跳闸时间

什么是跳闸时间？

跳闸时间是指 RCD 在额定差动电流  $I_{\Delta N}$  下跳闸所需要的时间。

跳闸时间**最大容许值** 由 EN 61009 标准规定，列在下表中。

| RCD 类型 | $I_{\Delta N}$ | $2I_{\Delta N}$ | $5I_{\Delta N}^*$ | 备 注   |
|--------|----------------|-----------------|-------------------|-------|
| 标准     | 0.3 s          | 0.15 s          | 0.04 s            | 最大容许值 |
| 任选     | 0.5 s          | 0.2 s           | 0.15 s            | 最大容许值 |
|        | 0.13 s         | 0.06 s          | 0.05 s            | 最大容许值 |

\* 如果额定差动电流  $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ ，可以用 0.25A 的测试电流代替  $5I_{\Delta N}$ 。

表 4. 符合 EN 61009 标准的最大容许跳闸时间

## 测量跳闸时间 $t_{\Delta}$

测量电路图与接触电压测量相同（见图 50, 51, 52 和 53），但测试电流可以是  $0.5 I_{\Delta N}$ ， $I_{\Delta N}$ ， $2 I_{\Delta N}$ ，也可以是  $5 I_{\Delta N}$ 。为了安全，测试仪应在测量跳闸时间之前测量接触电压。

如果测得的跳闸时间超出容许极限，应更换 RCD 装置，因为跳闸时间主要取决于安装的 RCD 装置。

## 5.8.3. 跳闸电流

什么是跳闸电流？

跳闸电流是还可以引起 RCD 跳闸的差动电流  $I_{\Delta}$ 。

跳闸电流的容许量程由 IEC 61009 标准规定，并随 RCD 的类型（AC，A 或 B）而定，如下：

$$I_{\Delta} = (0.5 \text{ 到 } 1) \times I_{\Delta N} \dots\dots\dots \text{AC 型}$$

$$I_{\Delta} = (0.35 \text{ 到 } 1.4) \times I_{\Delta N} \dots\dots\dots \text{A 型}$$

$$I_{\Delta} = (0.5 \text{ 到 } 2) \times I_{\Delta N} \dots\dots\dots \text{B 型}$$

## 测量跳闸电流

测量电路图与接触电压测量相同（见图 50, 51, 52 和 53）。测试仪开始驱动一个  $0.5 I_{\Delta N}$  或更低的测试电流，然后增大此电流，直到 RCD 跳闸或增大到  $1.1 I_{\Delta N}$ 。

如果跳闸电流超出给定的量程，那么就需要检查被测 RCD 以及设备回路和所连接的负接的状况一样。如果测量结果太低，那么某些漏泄电流或故障电流已经流到地面的可能性就很高。

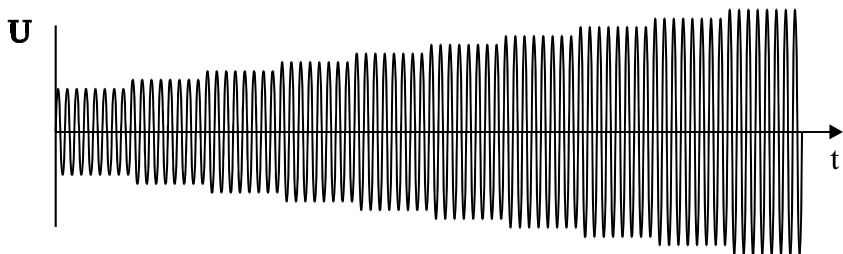


图. 54. 适用于 AC 型跳闸电流测试的测试电流波形

不同制造商生产的测试设备，测试电流的波形可能有稍微的差异，间隔的总数也可能不同（即使是一个平滑的上升波也可以被发现），但基本原理总是相同的。

#### 5.8.4. 接地电阻（外电源测试电压）

如果 RCD 保护用于预防电击，适当的接地电阻是极其重要的。如果接地电阻太高，在故障状态下，可导电零件上可能产生不受欢迎的高接触电压。这个电压意味着有潜在的电击危险。

根据上面提到的，接地电阻可以在所有超高电压的情况下测得。

由于测是原理完全相同，最新式的测试仪可以同时显示两个结果（接地电阻和接触电压）。

Eurotest 61557 型和 Instaltest 61557 型测试仪可以测量全部四个参数（接触电压、接地电阻、跳闸时间和跳闸电流），这些参数对于成功预防电击非常重要。Eurotest 61557 型测试仪测量接地电阻，即可以用辅助测试探头，也可以不用辅助探头；而 Instaltest 61557 型测试仪只可以不带辅助探头进行测试（只可以）。知道了实际接地电阻只可以用辅助测试探头测试是十分重要的。如果不用辅助测试探头进行测试，测试回路（故障回路）中的全部电阻将与 TT 系统中的接地电阻十分相似。

#### a) 不使用辅助测试探头测试故障回路电阻

此方法主要用在 TT 系统。测量电路图以及测试仪的连接与接触电压的测量相同（见图 50 和 51）。最终结果可以用数学表示如下：

$$\text{Result (结果)} = \Delta U / I_t = (U_O - U_L) / I_t = R_{\text{sec}} + R_L + R_{\text{PE}} + R_E + R_G + R_O$$

式中：

- $I_t$ .....测试电流（大多数情况下这个值是额定电流的一半或三分之一，该额定电流还不能引起 RCD 装置跳闸）
- $U_O$  ....第一步测量测得的电源电压，例如无负载电源电压
- $U_L$ .....第二步测量测得的电源电压，例如带负载测试电流的电源电压
- $R_{\text{sec}}$  ....变压器的二次绕组电阻
- $R_L$  ....从电源变压器到测试电源插座间的相线电阻
- $R_{\text{PE}}$ .....从测试电源插座到保护接地电极间的保护导体电阻
- $R_E$  ....保护接地电极的接地电阻
- $R_G$ .....保护接地电极到电源变压器间的接地电阻
- $R_O$  ....电源变压器接地电极的接地电阻

如果使用了 RCD 保护装置，并且如果已知下面的两个参数，**接地电极的最大容许接地电阻**的确定是很明显的

- 已安装 RCD 的额定差动电流  $I_{\Delta n}$ （该电流可以在装置上读出）。  
 $I_{\Delta n}$  的标准值如下：0.01A, 0.03A, 0.1A, 0.3A, 0.5A 和 1A。
- 最大容许接触电压  $U_L$ 。  
此电压通常为 50 V，某些情况下也可以只有 25V。

最大容许接地电阻可以按下式计算：

$$R_{E \text{ max.}} = U_L / I_{\Delta n}$$

式中：

- $U_L$ ..... 极限接触电压（25 或 50V）
- $I_{\Delta n}$ ..... 安装的 RCD 保护装置的额定差动电流

下表给出了计算出的接地电阻最大容许值。

| 额定差动电流 $I_{\Delta n}$ (A)                        | 0.01 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 1  |
|--------------------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|----|
| 在 $U_L = 50\text{ V}$ 时接地电阻最大容许值<br>( $\Omega$ ) | 5000 | 1666 | 500 | 166 | 100 | 50 |
| 在 $U_L = 50\text{ V}$ 时接地电阻最大容许值<br>( $\Omega$ ) | 2500 | 833  | 250 | 83  | 50  | 25 |

表 5. 接地电阻最大容许值

上述的接地电阻值的测量，与章节题目为“故障环路阻抗和预期短路电流”里描述的不同，在该章里，不引起 RCD 跳闸是由于低测试电流造成的（ $<0.5 I_{\Delta n}$ ）。

如果假设接地电阻  $R_E$  远高于测试回路中其它全部电阻的总和（在 TT—系统中是真实的），那么下面公式是值得注意的：

Result（结果）  $\approx R_E$

B) 使用辅助测试探头测试接地电阻

此方法对于 TT 和 TN—系统均适用。  
测量电路图和测试仪的连接与接触电压的测试相同（见图 52 和 53）。

最终结果重新由如下数学公式得出：

Result（结果）  $= U_c / I = R_E$

式中：

- $U_c$ ..... 靠辅助测试探头由电压表测试得的接触电压。它与穿过保护接地极的电阻的电压相等。
- $I$ ..... 经过接地电阻传送的测试电流，由电流表测得。
- $R_E$  ..... 保护接地电极的接地电阻。

最大容许接地电阻  $R_E$  与表 4 中给出的相等。

5.9. 故障环路阻抗和  $I_{psc}$  EN 61557—3

如果电流环路（保险丝回路）被过电流保护装置（保险丝）保护，就应当测量故障环路阻抗  $Z_s$  。故障环路阻抗应足够低，以便在有故障负载的情况下，潜在的故障电流（假设）在给定的时间间隔内，切断安装的保护装置。

TN—系统中的故障环路阻抗由以下局部阻抗组成：

- 电源变压器二次绕组的阻抗
- 从电源变压器到故障位置的相线电阻
- 从故障位置到电源变压器的保护导体电阻

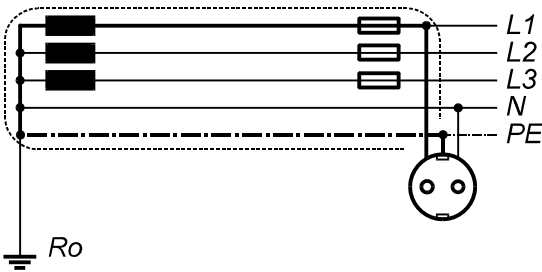


图. 55.TN—系统中的故障环路图

TT—系统中的故障环路阻抗由以下局部阻抗组成：

- 电源变压器二次绕组的阻抗
- 从电源变压器到故障位置的相线电阻
- 从故障位置到接地电极的保护导体电阻
- 接地电阻  $R_E$
- 从接地电极  $R_E$  到电源变压器的接地电阻
- 电源变压器接地系统电阻  $R_0$

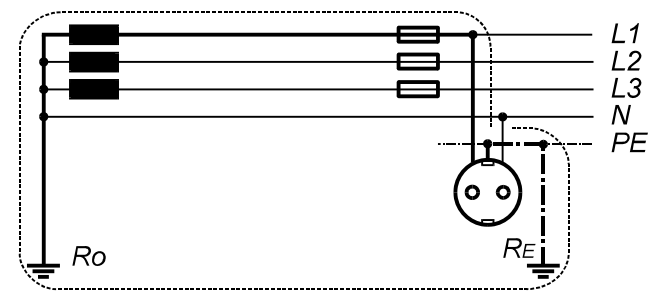


图. 56. TT—系统中的故障环路图

在额定电源电压  $U_{L-N} = 220\text{ V}$  下，在最大容许故障环路阻抗处的设备所用熔断保险丝型号 gG 如下表所示。

| 过电流保护装置<br>的额定电流 (A) | gG 0.4 s |                 | gG 5s  |                 |
|----------------------|----------|-----------------|--------|-----------------|
|                      | Ia (A)   | Zs ( $\Omega$ ) | Ia (A) | Zs ( $\Omega$ ) |
| 2                    | 16       | 13.7            | 9.2    | 23.9            |
| 4                    | 32       | 6.8             | 18.5   | 11.8            |
| 6                    | 47       | 4.6             | 28.0   | 7.8             |
| 10                   | 82       | 2.6             | 46.5   | 4.7             |
| 16                   | 110      | 2.0             | 65     | 3.3             |
| 20                   | 147      | 1.4             | 85     | 2.5             |
| 25                   | 183      | 1.2             | 110    | 2.0             |
| 32                   | 275      | 0.8             | 150    | 1.2             |
| 40                   | 320      | 0.6             | 190    | 1.1             |
| 50                   | 470      | 0.4             | 250    | 0.8             |
| 63                   | 550      | 0.4             | 320    | 0.6             |
| 80                   | 840      | 0.2             | 425    | 0.5             |
| 100                  | 1020     | 0.2             | 580    | 0.3             |
| 125                  | 1450     | 0.1             | 715    | 0.3             |

表 6. 使用 gG 熔断保险丝的电路最大容许故障环路阻抗

Ia..... 故障环路电流，该电流已能保证保护装置跳闸

在有些国家，可以使用过电流保护装置的 gL 型号代替 gG （任何一个）。下面是根据 VDE 0636 和在  $U_{L-N} = 220\text{ V}$  下使用的设备建立的 gL 保护装置对应表。

| 过电流保护装置<br>的额定电流 (A) | gL 0.2 s |                 | gL 5s  |                 |
|----------------------|----------|-----------------|--------|-----------------|
|                      | Ia (A)   | Zs ( $\Omega$ ) | Ia (A) | Zs ( $\Omega$ ) |
| 2                    | 20       | 11.0            | 9.21   | 23.9            |
| 4                    | 40       | 5.5             | 19.2   | 11.5            |
| 6                    | 60       | 3.7             | 28.0   | 7.9             |
| 10                   | 100      | 2.2             | 47     | 4.7             |
| 16                   | 148      | 1.5             | 72     | 3.1             |
| 20                   | 191      | 1.2             | 88     | 2.5             |

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 25  | 270 | 0.8 | 120 | 1.8 |
| 32  | 332 | 0.7 | 156 | 1.4 |
| 35  | 367 | 0.6 | 173 | 1.3 |
| 40  | 410 | 0.5 | 200 | 1.1 |
| 50  | 578 | 0.4 | 260 | 0.8 |
| 63  | 750 | 0.3 | 351 | 0.6 |
| 80  | —   | —   | 452 | 0.5 |
| 100 | —   | —   | 573 | 0.4 |
| 125 | —   | —   | 751 | 0.3 |
| 160 | —   | —   | 995 | 0.2 |

表 7. 使用 gL 熔断保险丝的电路最大容许故障环路阻抗

在额定电源电压  $U_{LN} = 220\text{ V}$  下，设备上使用的 B，C 和 K 型自动熔断保险丝的最大容许故障环路阻抗如下表所示。

| 过电流保护装置<br>的额定电流<br>(A) | 自动熔断保险丝<br>的型号 B |                              | 自动熔断保险丝<br>的型号 C  |                              | 自动熔断保险丝<br>的型号 K  |                              |
|-------------------------|------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
|                         | $I_a=5\cdot I_n$ | $Z_s\text{ (}\Omega\text{)}$ | $I_a=10\cdot I_n$ | $Z_s\text{ (}\Omega\text{)}$ | $I_a=15\cdot I_n$ | $Z_s\text{ (}\Omega\text{)}$ |
|                         | (A)              | (0.2s)                       | (A)               | (0.2s)                       | (A)               | (0.2s)                       |
| 2                       | 10               | 22                           | 20                | 11                           | 30                | 7.3                          |
| 4                       | 20               | 11                           | 40                | 5.5                          | 60                | 3.7                          |
| 6                       | 30               | 7.3                          | 60                | 3.65                         | 90                | 2.4                          |
| 10                      | 50               | 4.4                          | 100               | 2.2                          | 150               | 1.5                          |
| 16                      | 80               | 2.8                          | 160               | 1.4                          | 240               | 0.9                          |
| 20                      | 100              | 2.2                          | 200               | 1.1                          | 300               | 0.7                          |
| 25                      | 125              | 1.8                          | 250               | 0.9                          | 375               | 0.6                          |
| 32                      | 160              | 1.4                          | 320               | 0.7                          | 480               | 0.5                          |
| 35                      | 175              | 1.3                          | 350               | 0.65                         | 525               | 0.4                          |
| 40                      | 200              | 1.1                          | 400               | 0.55                         | 600               | 0.37                         |
| 50                      | 250              | 0.9                          | 500               | 0.45                         | 750               | 0.29                         |
| 63                      | 315              | 0.7                          | 630               | 0.35                         | 945               | 0.23                         |

表 8. 使用 B、C 和 K 型自动熔断保险丝电路的最大容许故障环路阻抗

### 故障环路阻抗的测量

用下面的两图说明测量原理和测试仪的实际连接。

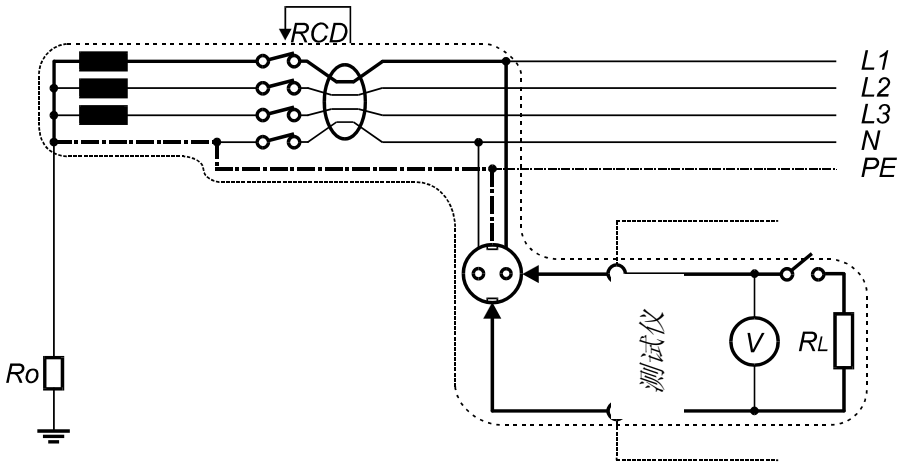


图. 57. 测量原理

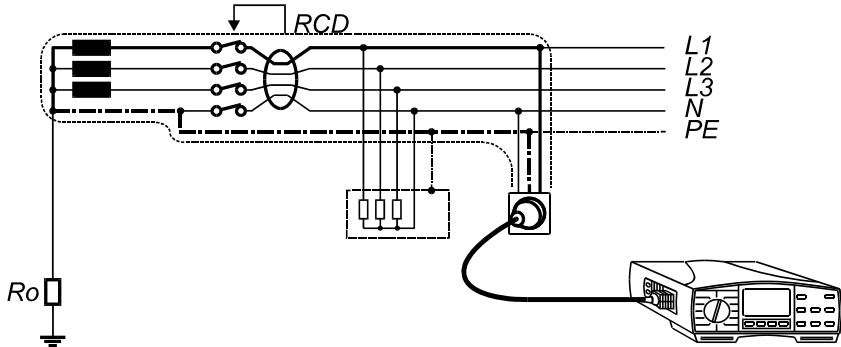


图. 58. Eurotest 61557 或 Instaltest 61557 型测试仪的实际连接

$$\text{Result (结果)} = Z_{\text{sec}} + R_{L1} + R_{\text{PE}} = Z_s$$

式中:

- $Z_{\text{sec}}$ .....变压器二次绕组的阻抗
- $R_{L1}$ .....从电源变压器到测试电源插座的相线电阻
- $R_{PE}$ .....从测试电源插座到电源变压器的保护导体电阻

测试仪与电源电压交叉连接（在相线和保护导体之间），并提供一个适当的负载电阻，从而，经过一个较短的周期时间，可以急剧加载电源电压。环路中流动的测试电流用间断线表示（见图 57 和图 58）。由测试电流产生的电压降用电压表测量。还应测量测试电流与电源电压之间的相位延期。根据测得的参数，测试仪将计算故障环路阻抗  $Z_{\text{LOOP}}$ 。

最新测试仪可同时显示故障环路阻抗与预期短路电流  $I_{\text{psc}}$ ，计算公式如下：

$$I_{\text{psc}} = U_n - 1.06 / Z_{\text{LOOP}}$$

式中:

- $I_{\text{psc}}$ .....故障环路预期短路电流
- $U_n$ .....相线与保护导体之间的额定电源电压（220 V 或 230 V）
- $Z_{\text{LOOP}}$ .....故障环路阻抗

## 5.10. 线路阻抗与预期短路电流

线路阻抗，是在单相系统中相线 **L** 与中线 **N** 的接线端子之间，或者三相系统中两相线接线端子之间测得的阻抗。当检验设备的供电能力时，例如高功率负载，或检验过载电流断路器时，需要测量线路阻抗。线路阻抗由以下局部阻抗组成：

- 电源变压器次级线圈的线阻
- 从电源变压器到测试点的相线电阻
- 从电源变压器到测试点的中线电阻

### 线阻测量的一般说明

测量原理与故障环路阻抗的测量完全相同（见第 5.9 章中的描述），但测量却是在 **L** 与 **N** 接线端子之间进行的。

### 5.10.1. 相线与中线端子之间的线路阻抗

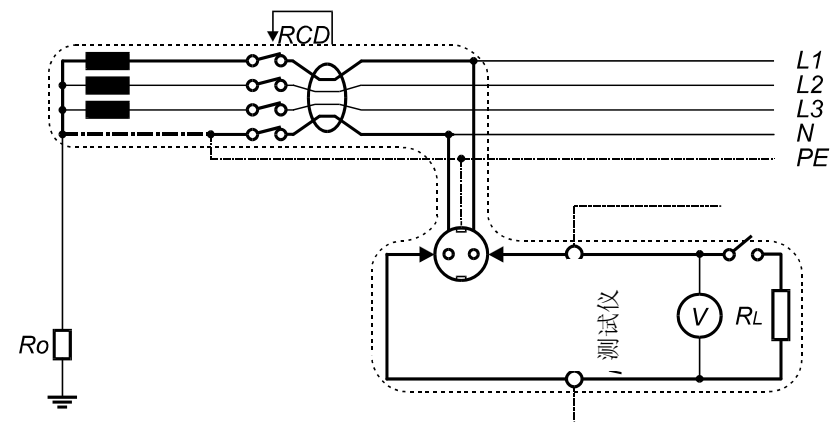


图 59. 相线 L1 中线 N 端子间的线路阻抗测量原理

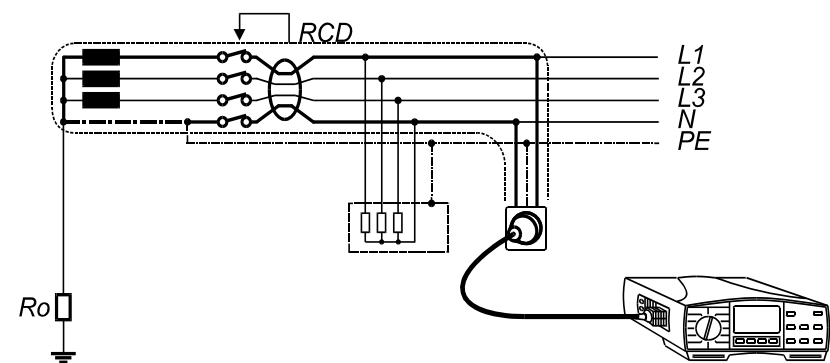


图 60. 测试仪实际连接

$$\text{结果 (结果)} = Z_{\text{sec}} + R_{L1} + R_N = Z_{\text{LINE}}$$

式中:

- $Z_{\text{sec}}$ .....电源变压器次级线圈的阻抗
- $R_{L1}$ .....从电源变压器到测试点的相线电阻
- $R_N$ .....从电源变压器到测试点的中线电阻

$Z_{LINE}$ .....线路阻抗

有关测量的说明请参阅下面的章节。

## 5.10.2. 两相线间线路阻抗的测量

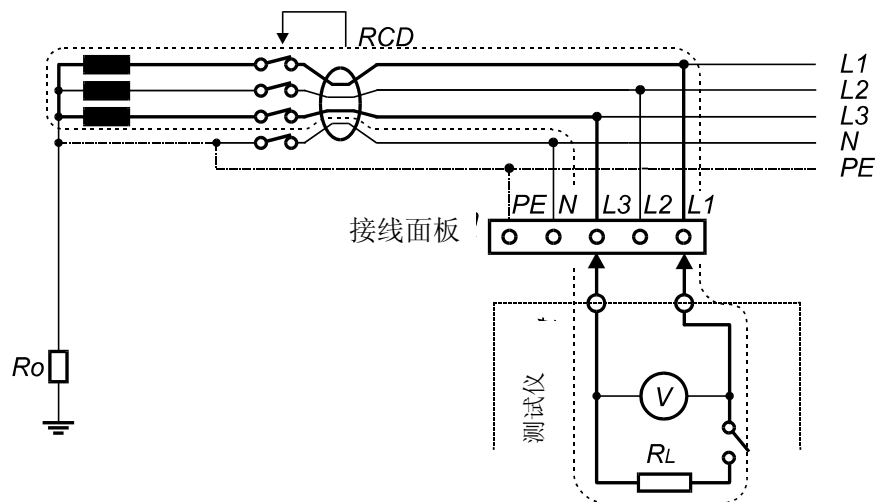


图 61. 两相端子（L1 与 L3）之间线路阻抗的测量原理

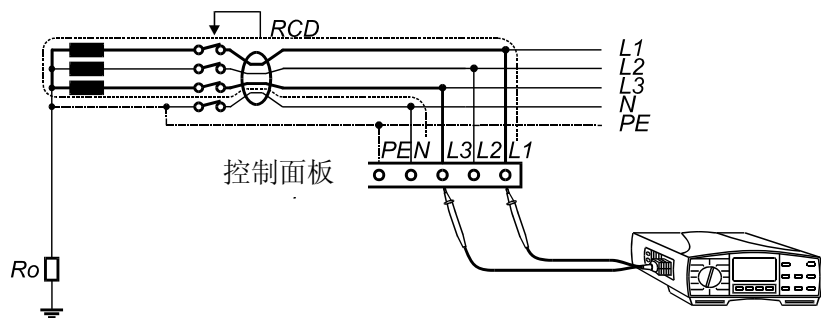


图 62. 测试仪的实际连接

$$\text{Result (结果)} = Z_{\text{sec}} + R_{L1} + R_N = Z_{LINE}$$

测量可以分两步进行：首先，测量无负载系统的电压；然后，将高功率负载与测试端子短时连接，再测量电压。环路中的测试电流用间断线表示。（见图 59, 60, 61 和 62）。测试仪根据电压差（有负载与无负载系统）以及电压与电流之间的相移，计算线路阻抗  $Z_{LINE}$ 。

预期短路电流  $I_{psc}$  根据下面的公式计算：

$$I_{psc} = U_n \cdot 1.06 / Z_{LINE}$$

式中：

$I_{psc}$ .....预期短路电流

$U_n$ .....相线与中线或者两个相线之间的额定电源电压（115 / 230 / 400V）

$Z_{line}$ .....线路阻抗

任何已经安装的过载电流保护装置，其过载电流的容量，应该高于计算出的预期短路电流，否则必须更换所用的过载电流保护装置型号。

## 5.11. N-PE 环路电阻

用现代电子技术制造的新式测试仪，即使是中线 N 与保护 PE 导线间的电阻也可以测量，尽管在中线中可能存在强电流。由相电压驱动的电，流经不同线性与非线性负载时，会导致电压降呈现的极不规则的波形（非正弦波）。电压会干扰测试电压并且妨碍测量。由于在中线和保护导线之间没有电源电压，因此使用内部测试电压（大约 40V，DC，<15 mA）。

这种测量相对于环路故障测试（L—PE）的主要优点是，由于测试电流低（<15 mA），所以 RCD 在测试过程中肯定不会跳闸。

Eurotes 61557 型测试仪使用专门（已经申请专利）的测量原理，来过滤测试信号，从而确保测量结果的正确。

从测量结果可以推论出什么？

根据测量结果，可以得出下面的结论：

- 所用的保护导线的连接方式（TN，TT 或 IT 系统）
- 在 TT 系统连接方式下的接地电阻值
- 在 TT 或者 TN 系统连接方式下，测量结果与环路故障电阻的阻值十分相近，这就是测试仪还能够计算故障环路预期短路电流的原因。

测量原理概述

由于在 N 和 PE 端子之间没有可以作为测试电压的电源电压，所以仪表必须产生一个内部电压。这个电压既是直流也可以是交流。Eurotest 61557 型测试仪使用交流测试电压，并根据下面的图示用 U-I 法进行测试。

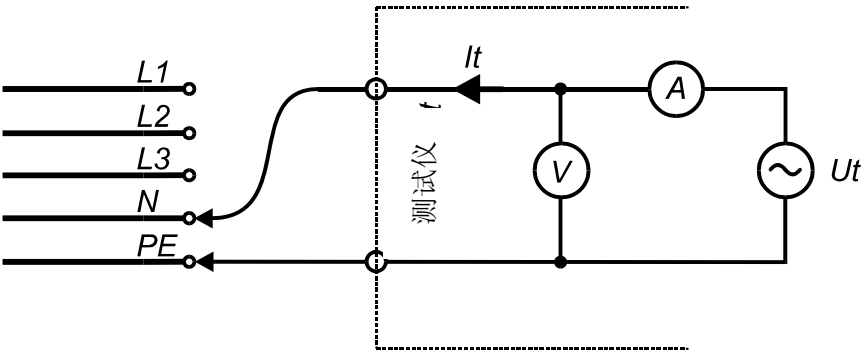


图 63. 测量原理

$$\text{结果 (结果)} = U_t / I_t = R_{N-PE}$$

式中：

$U_t$ .....伏特表测得的测试电压  
 $I_t$ .....安培表测得的测试电流  
 $R_{N-PE}$ .....N-PE 环路电阻

### 5.11.1. TN -系统中 N-PE 环路电阻的测量

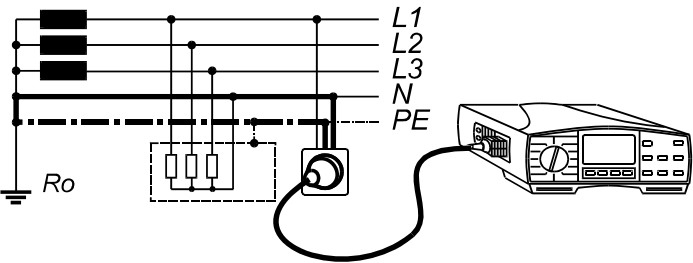


图 64. TN -系统中中线与保护导线之间的电阻测量

测试仪测量从电源变压器到测量点之间的中线与保护导线间的电阻（上图中环路用粗线标记）。在此情况下，如果测试结果很低（最大两欧姆），表明含有 TN—系统。

$$\text{结果 1 (结果 1)} = R_N + R_{PE}$$

$$\text{结果 2 (结果 2)} = I_{psc} = 230V \cdot 1.06 / (R_N + R_{PE})$$

式中：

$R_N$ .....中线电阻（用粗线标记）  
 $R_{PE}$ .....保护导线电阻（用粗点画线标记）  
 $I_{psc}$ .....故障环路预期短路电流

### 5.11.2. TT—系统中 N-PE 环路电阻的测量

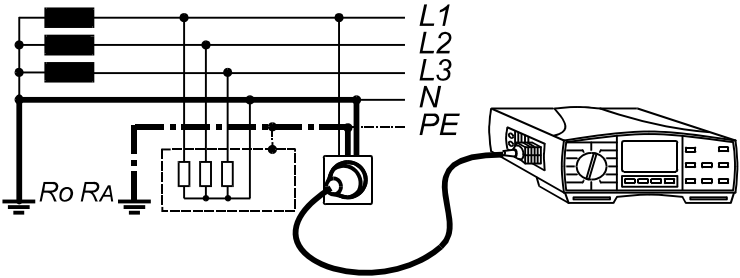


图 65. TT-系统中中线与保护导线之间的电阻测量

测试仪测量如下环路中的电阻：从电源变压器到测量点（电源插座）的中线电阻，从电源插座到接地电极的保护导线电阻，然后通过大地与变压器接地系统回到电源变压器（在上图中环路用粗线标记）。在这种情况下，如果测试结果非常高（超过 10 欧姆），表明含有 TT—系统。

$$\text{结果 1 (结果 1)} = R_N + R_{PE} + R_E + R_O$$

$$\text{结果 2 (结果 1)} = I_{psc} = 230V \cdot 1.06 / (R_N + R_{PE} + R_E + R_O)$$

如果可以假设，阻值  $R_E$  远高于其他所有电阻的阻值之和，那么请注意下面公式：

$$\text{结果 1 (结果 1)} = R_N + R_{PE} + R_E + R_O$$

$$\text{结果 2 (结果 1)} = I_{psc} = 230V \cdot 1.06 / (R_N + R_{PE} + R_E + R_O)$$

式中：

$R_N$ .....从电源变压器到测量点（电源插座）的中线电阻  
 $R_{PE}$ .....从电源插座到接地电极的保护导线电阻

$R_E$ .....保护接地电极的接地电阻  
 $R_O$ .....变压器接地系统的接地电阻  
 $I_{psc}$ .....故障环路预期短路电流

5.11.3. IT-系统中 N-PE 环路电阻的测量

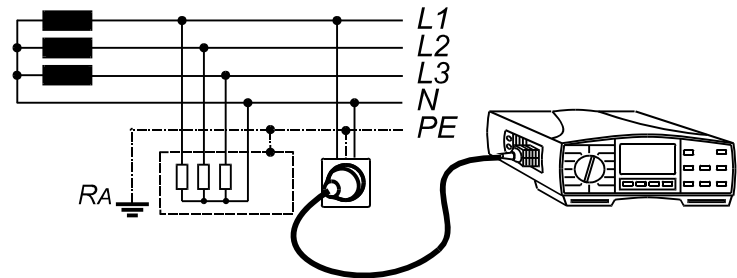


图 66. IT-系统中中线和保护导线之间电阻的测量

从上图可以看出，IT-系统中，在中线和保护导线之间并没有硬线连接。因此，如果测量结果非常高（可能会超过显示量程），就表明含有 IT-系统。

**注意!**  
实质上，过高的测试结果并不能充分证明含有 IT-系统（它可能只是 TN 或者 TT-系统中中断的保护导线）。

5.12. 相位旋转 EN 61557- 7

实际上，我们经常面对三相负载（电动机和其他电动机械）与三相电源装置的连接问题。一些负载（通风机，输送机，电动机，电动机械等等）需要一个特殊的相位旋转，如果相位旋转颠倒，甚至可能会损坏这些设备。这就是为什么在连接之前，应测试相位旋转是合理的原因。

该测试应根据参考电源插座比较进行。

怎样测量相位旋转

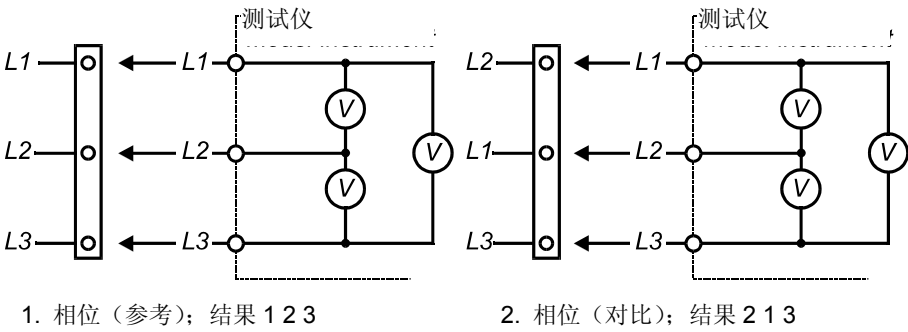


图. 67. 测量原理

测试仪将三相电压同与相位延迟有关的相电压相比，并在此基础之上确定相位旋转。

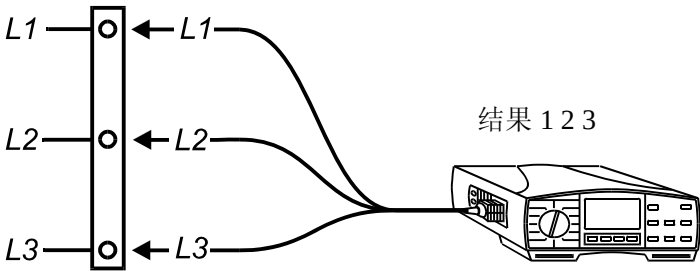


图 68. 相位旋转的测量

步骤:

- 首先, 我们需要以电源插座为参照测量相位旋转, 在那里我们已经知道某些机器 (例如: 相位旋转方向) 的运行情况。必须注意方向。
- 在未知电源插座的情况下重复测量, 并且比较两次测量结果。
- 为了颠倒相位旋转, 如果需要, 两个相导线必须互换。

5.13. 电压、频率和电流的测量

5.13.1. 电压和频率测量

在与电气装置打交道时, 经常需要测量电压 (进行不同的测量和测试, 查找故障位置等)。例如, 当建立电源电压源 (电源变压器或者单独的发电机) 时, 需要进行频率测量。

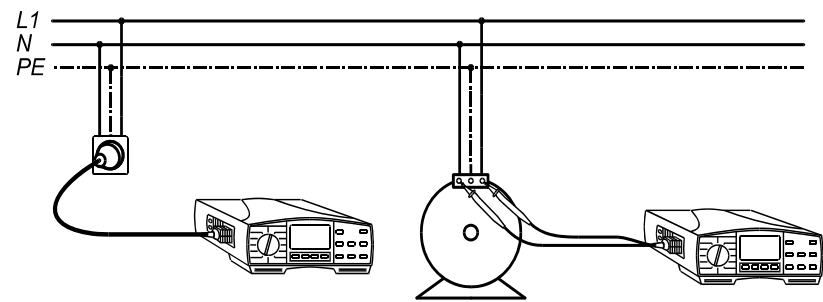


图. 69. 电压/频率测量。在电源插座上, 经由 13 A 插头, 在发电机接线端子上经由万能测试电缆。

5.13.2. 电流测量

Eurotest 61557 型测试仪和接地绝缘测试仪经由电流测试夹钳进行电流测试, 它受欢迎的优点是不需要中断被测量的电流环路。较宽的测量范围, 使这两种仪表可以测试 0.5mA 到 200A 的电流。

下图给出了使用电流夹钳进行的小电流测量, 而图 72 则表示同时对相线 L2 中负载电流的测量, 以及两相之间相电压  $U_{L2-L1}$  的测量。

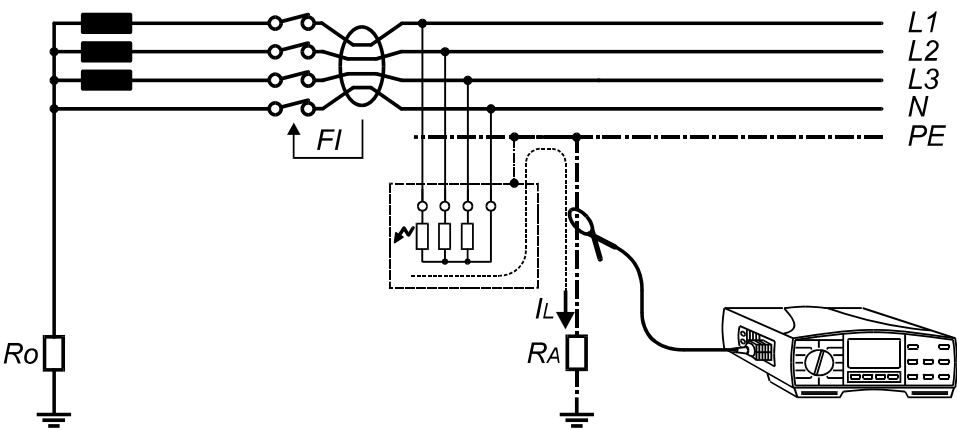


图 70. 小电流测量

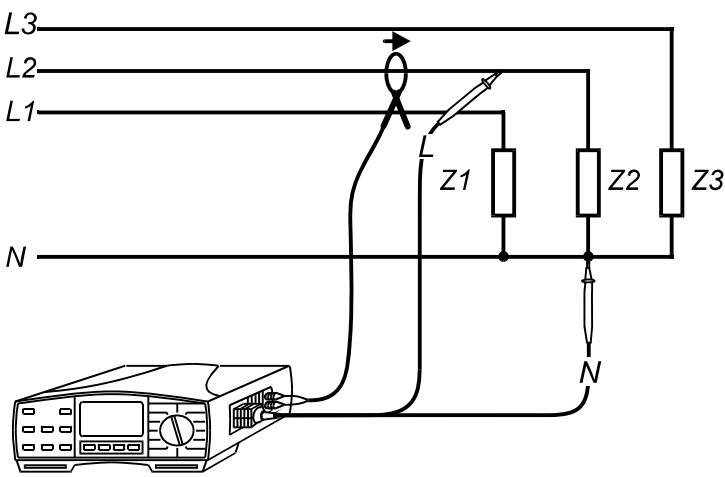


图 71. 负载电流与两相之间的相电压的测量

所测电流的波形通常情况下是非正弦波。个别与电源设备连接的非线性负载可能会扰乱波形。这就是测试仪（如 Eurotest 91557 和接地绝缘测试仪）测量电流的真有效值的原因所在，否则测量结果可能会使人产生误解。

### 5.14. 可变电阻过电压保护装置

可变电阻过电压保护装置通常用来保护高灵敏度的电气设备，以防止闪电对其产生影响。此种保护在大气放电频繁的地区是非常重要的。需要保护的负载实例是个人电脑，打印机，电话交换机等等。保护装置或者永久地安装在电气设备上，或者插入邻近保护装置的电源设备上（一部分电源插座，电话分机等）。

- 为了获得最有效的保护，通常把保护装置安装在几个场合，即：
- 在电源电压的输入连接柜（保护装置防止过载电压的扩散）
  - 在个别设备单元的配电柜中
  - 邻近的连接电子负载（设备）

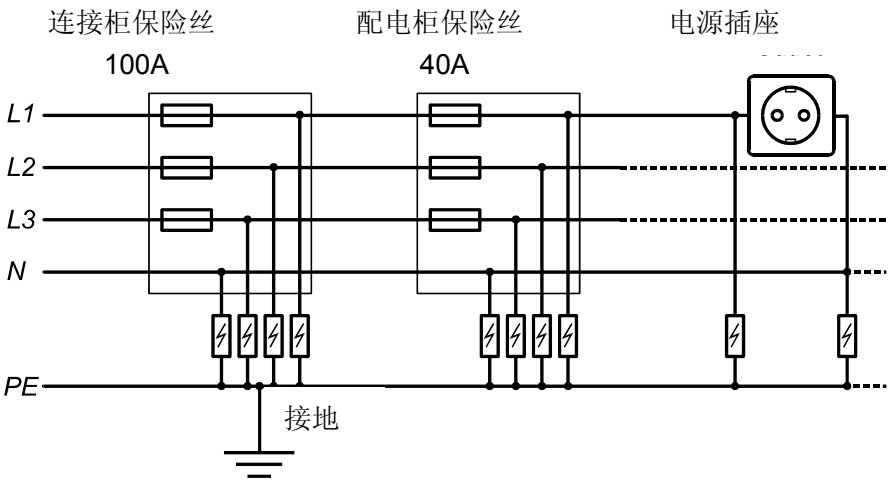


图 72. 多级保护的连接

保护装置的结构是多种多样的。它们可以只由变阻器，气体避雷器，快速二极管，螺线管，电容器组成，或者是上面元件的组合物以及其它各种保护元件等。

由于吸收了高压脉冲，保护装置可能会通过两种方式改变它们的特性：

- 击穿电压可能降低。由于这个原因他们可能会被电源电压自身破坏。
- 它们可能完全停止工作，因此保护功能完全丧失。

测试仪如 Eurotest 61557 或者接地绝缘测试仪，可以使用 50 到 1000V 的测试电压对压敏电阻过电压保护装置进行非破坏性的测试。

测量原理将在下面的图解中详细说明。

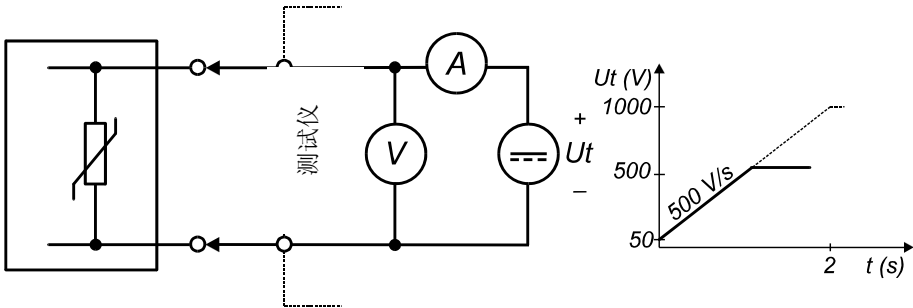


图 73. 测量原理

直流发电机以 500V/s 的斜率增加测试电压，此时安培表测量正向电流。一旦电流值到达 1mA（阈值电流）时，发电机停止产生测试电压，并显示最后的电压（击穿电压）。

使用者应该将显示的测试电压与设备外壳上标注的额定电压比较，如果需要，请更换设备。

如果出现下列情况，可以断定保护装置存在故障：

- 如果已经是开路电流（显示结果 > 1000V）。保护功能已经全部丧失。
- 如果显示的击穿电压过高（例如显示值是额定电压的两倍）。保护装置已经被部分破坏，它可能允许更高的过载电压。
- 如果显示的击穿电压太低（显示值接近额定的电源电压）。在不久的将来，电源电压将会导致保护装置全部损坏。

注意！

- 测试应该在保护装置无电压的情况下进行。
- 为了不使与设备连接的其他负载影响测试，在测试之前应把被测设备从主体设备上拆下来。

5.15. 跟踪电气设备

当涉及到电气设备如安装新设备、维修现存设备、排除设备故障、在现存设备的基础上做设备计划、进行测量等等问题时，工程师经常遇到如何跟踪电气设备的某些部分的问题。遇到的典型实际问题如下：

- 识别负责保护某些回路电流的保护元件（保险丝）。
- 短路定位。
- 导线中断定位。
- 跟踪运转状况下的特殊导线。
- 跟踪特殊的无电压导线（没有连接到电源电压）。

把测量仪表 Eurotest 61557 和手持探测器联合起来，就可以解决上面列出的所有问题。

通过手持探测器，操作者可以选择电容或者电感方式来接收测试信号。选择模式应根据仪表的模式，即：

- 电感模式            运转状况下在设备上操作仪表（加载电源电压）
- 电容模式            无电压状况下在设备上操作仪表（增加自身信号）

测试仪根据是否存在电源电压，自动选择适当的方式。

下面是跟踪电气设备的原理和测试仪的操作。

a) 存在电源电压的情况下识别保护元件

设定探测器为电感接收方式。

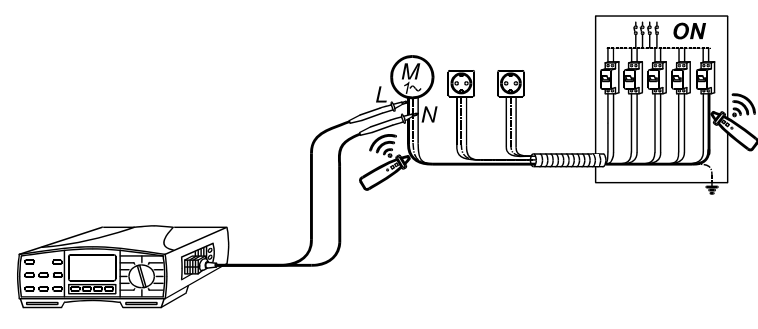


图 74. 测试仪与电气设备的相线和中线的连接

测试仪在电源上施加一个负载。例如：它可以产生一个从相线端子到中线端子的特殊频率的电流测试脉冲。电流围绕连接导线产生一个电磁场，该磁场可以被手持探测器测试到。用这种方式，探测器可以确定断路与保险丝有关。

如果已确定专用的电源插座已连接保险丝，那么测试仪必须根据下面的图示直接连接到插座。

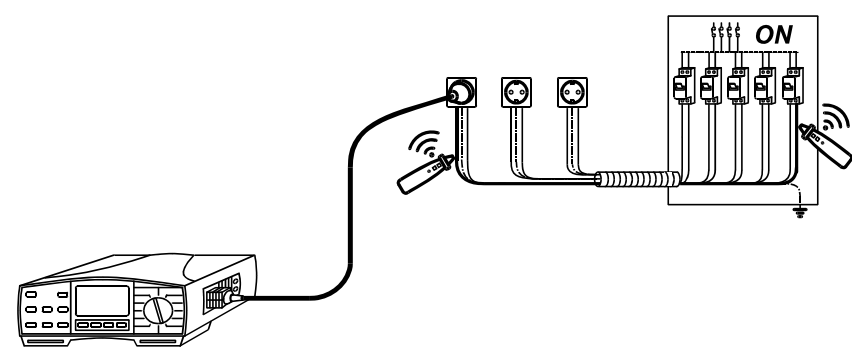


图 75. 测试仪直接与电源插座连接

两种情况下（测试仪直接连接到电源插座-图 76，或者连接到电气设备-图 75）测试仪的工作原理完全相同，例如，测试仪施加电源电压，并产生从相线端子到中线端子的电流测试脉冲。

b) 无电压的情况下识别保护元件

设定探测器为电容接收模式。

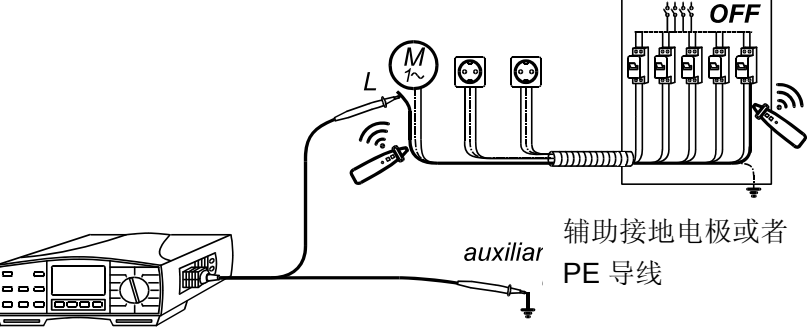


图 76. 在无电压情况下识别保护元件（用辅助接地电极或者 PE 端子作为参照终端）

测试仪在参照点和测试导线之间施加一个音频测试信号。导线传播施加的信号（信号强度随与导线的距离的增大而减小），此信号可以被手持探测器测试到。用这种方式，探测器可以确定含有保护元件（保险丝）。

在测试之前，必须把相线和装置断开。如果不这样做，施加的信号将经过连接装置的内部电阻到达中线，而中线一般都是接地的。这就意味着施加的信号将被短路，从而导致测量失败。

如果测试仪根据下面的图示直接与电源插座连接，也可以进行同样的测量。

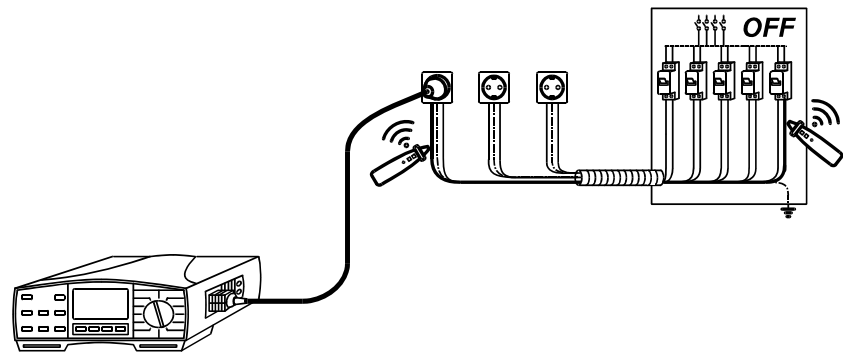


图 77. 在无电压状况下识别保护元件（以电源插座的中线端子作为参照点）

上面的两个例子（图 77. 和图 78.）除了参照点以外其余都是相同的（PE 端子/辅助电极-图 77. 和中线-图 78.）

c) 相线与中线之间短路定位

设定探测器为电感接收方式。

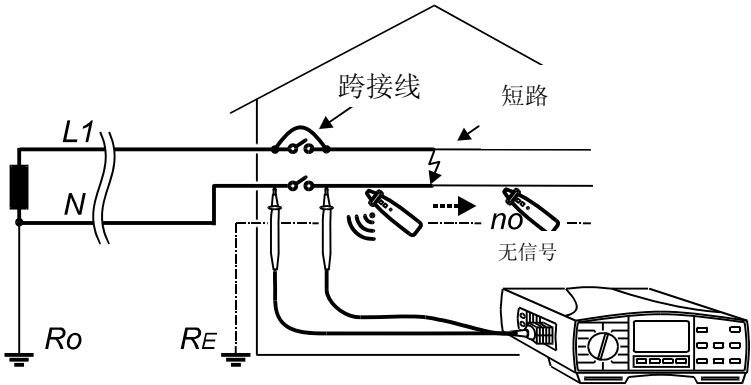


图 78. 相线与中线之间短路定位的测试仪连接图

在测试之前，必须短接两个杆装开关中的一个杆（中线或者相线），从而使测试仪负载于电源电压下。

下面的电流环路已经建立：变压器，从变压器引出的相线经过插入电桥连接到短路中，中线从短路到测试仪并由测试仪回到电源变压器。产生的电流引起适当的电磁场，这个电磁场可以被手持探测器测试到。

d) 相线与保护导线之间短路的定位

设定探测器为电感接收方式。

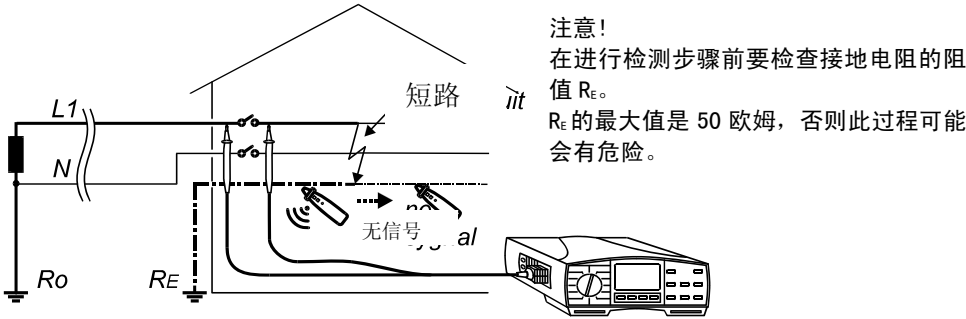


图 79.相线与保护导线之间短路定位的测试仪表连接图

测试仪负载电源电压。下面的电流环路已经建立：变压器，从变压器引出的相线导线经过测试仪表到达短路，保护导线从短路到接地系统并且由大地回到电源变压器。产生的电流引起适当的电磁场，这个电磁场可以被手持探测器测试到。

如果在测试环路中安装有 RCD 保护装置，可能会引起保护装置跳闸。为了避免这种情况的发生，必须短接 RCD 设施，否则进行测试将是不可能的。

e) 电 流 环 路（导线）中断的定位

设定探测器为电容接收方式。

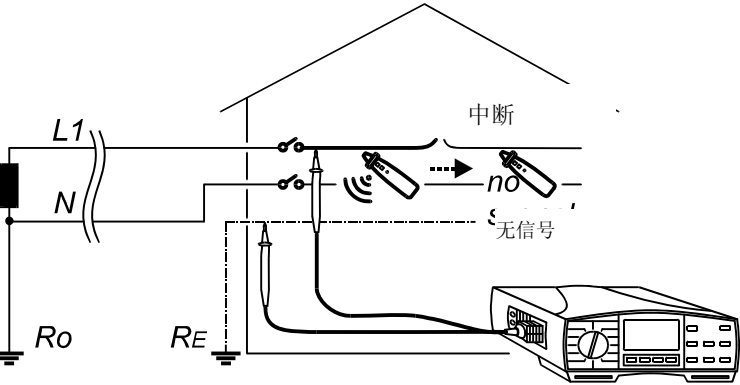


图 80. 电流环路（导线）中断定位的测试仪连接图

测试必须在设备无电压的情况下进行。测试仪在参照点（保护接地电极）与被测导线之间施加一个音频信号。导线传播施加的信号，此信号可以被手持探测器测试到。如果没有 PE 端子可用，可以用接地电极代替并接地。

注意!

当处理复杂的设备（带有几个并联电流环路的长导线），测试任何不属于设备的实际元件时，可以断开环路。如果不这样做，那么测试信号将会传播全部的设备，从而导致所选测试失败。

5.16. 功率

与电源设备连接的电力负载，在额定功率、内部阻抗的特性、相的数量等方面彼此不同。

由于设备只设计用于提供限定功率，所以必须对它进行功率消耗监测。如果不这样，

那么将会引起设备过载甚至损坏，它也可以自动跳闸；由于过载系统的原因，一些负载可能会受低电源电压的损害。测量功率消耗的特性如  $\cos\varphi$ ，也是十分重要的，如果需要的话还要进行补偿。

下面的图示详细得介绍了复杂地区的功率曲线。

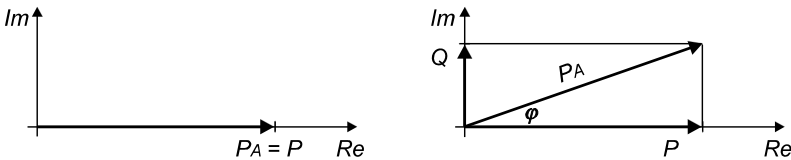


图 81. 复杂地区的功率曲线（ $\cos\varphi=1$  在左图，  $\cos\varphi\neq1$  在右图）

注:

- Im.....假设的中心线
- Re.....真实的中心线
- P.....有功功率
- Q .....无功功率
- Pa .....视在功率

5.16.1. 在单相系统中的功率测量

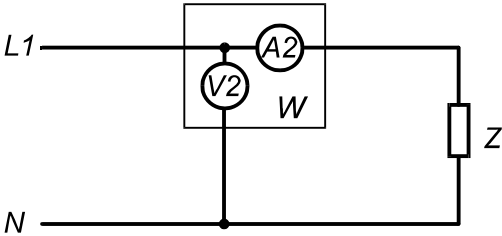


图 82. 单相系统中功率测量原理

三个功率（有功，无功，视在）可以在电压和电流之间直接测量相电压  $U_{L-N}$ ，相电流  $I_L$  和电压与电流间的相位延迟角  $\varphi$ 。角  $\varphi$  是电感或者电容负载连接到电源设备上造成的结果。

使用测试仪 Eurotest 65117 或者功率表，在单相负载上可以测量全部的三种功率（Eurotest 65117）——见下面的测试仪连接图或者在三相负载上测量（功率表）。功率电平被测试仪根据下面的方程式进行计算，并且直接显示出来。

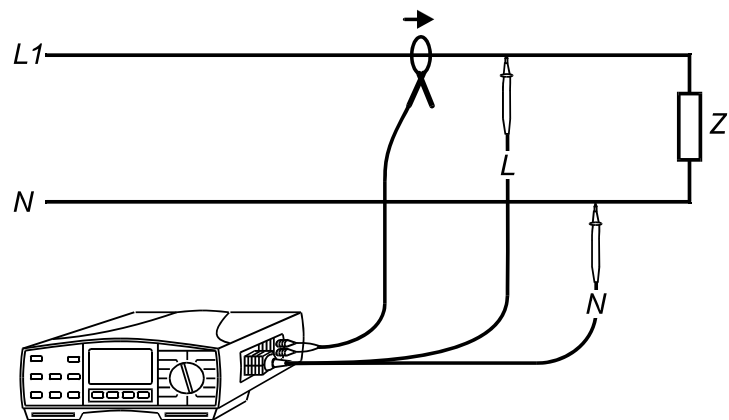


图 83. 单相系统中功率测量的测试仪连接

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi \dots \dots \dots (\text{有功功率 } W)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\phi \dots \dots \dots (\text{无功功率 } VAr)$$

$$PA = U \cdot I \dots \dots \dots (\text{视在功率 } VA)$$

式中：

U.....相电压的有效值  
I.....相电流的有效值  
 $\phi$ .....相电压 U 和相电流 I 之间的角

## 5.16.2. 三相系统中的功率测量

三相系统中的功率测量是下面中的一种：

- 四线制中的测量
- 三线制中的测量

高压输电电能多数采用三线制。在没有中线（发电机，加热系统等）连接主体设备上时，三线制也使用于低电压，但是必须要有巨大的对称的负载。

四线制适合给三相负载或者单相负载提供不平衡的配电设备供电。

在三相制中测量功率时，要考虑到三相功率供应系统不平衡的情况。相与相之间（ $U_{L1/L2}$ 、 $U_{L2/L3}$ 、 $U_{L3/L1}$  的读数指针按照次序不会形成一个等边三角形）。这是由于三相

负载连接到主体设备上引起电压不平衡而造成的。

## 四线制中功率的测量

### a) 功率表方法

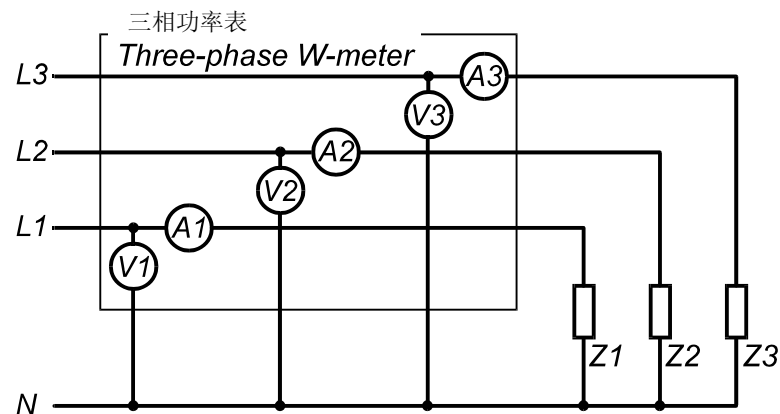


图 84. 在三相四线制中使用三相功率表进行功率测量的原理

三相功率表在电压和电流之间测量全部的相电压和相电流以及相偏差。在此基础上它可以计算出三相中的任一相的功率电平。

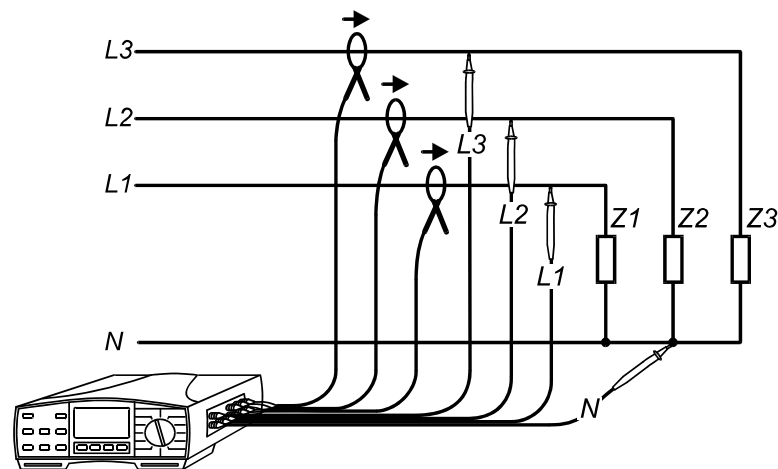


图 85. 使用功率表在三相四线制中进行功率测量

三相功率电平可以在功率表的面板上直接读出。这个方法可以同时测量三相功率，并且特别适合测量不平衡的功率分配。在功率平衡的情况下，使用一块功率表可以分三步依次测量三相功率，具体使用方法见下面章节的介绍。

### b) 单相功率表的测试方法

有时三相负载或者单相负载经常连接到四线制中，就必须分别测量三相的功率（不可能仅仅测量一相就可以计算出全部的三相功率）。使用 Eurotest 65177 分三步进行测量，那么在每一相中测量的结果都是一样的。

第一步：

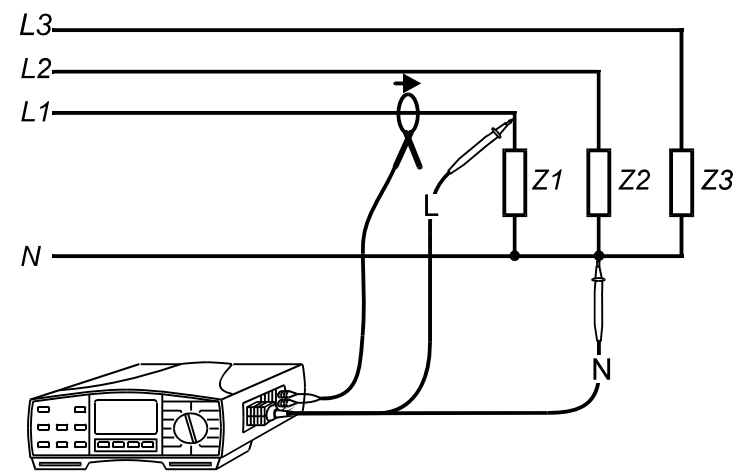
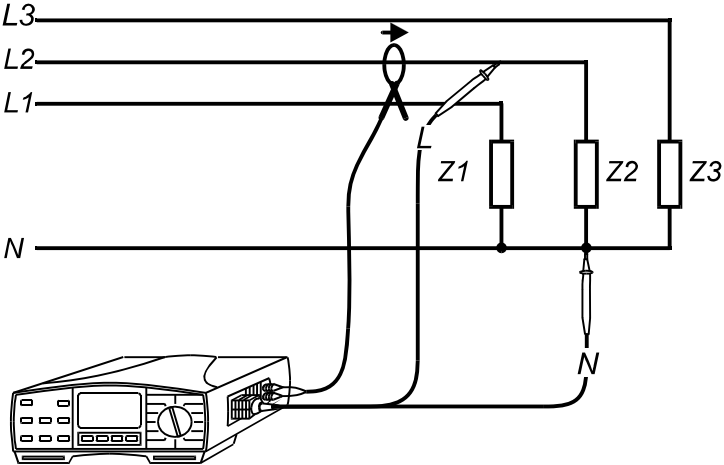


图 86. 在三相制中进行功率测量（第一步）

- 结果 1 =  $P1 = U1 \cdot I1 \cdot \cos\phi1$ .....（有功功率）
- 结果 2 =  $Q1 = U1 \cdot I1 \cdot \sin\phi1$ .....（无功功率）
- 结果 3 =  $Pa1 = U1 \cdot I1$ .....（视在功率）



第二步：

图 87. 在三相制中进行功率测量（第二步）

- 结果 1 =  $P2 = U2 \cdot I2 \cdot \cos\phi2$ .....（有功功率）
- 结果 2 =  $Q2 = U2 \cdot I2 \cdot \sin\phi2$ .....（无功功率）
- 结果 3 =  $Pa2 = U2 \cdot I2$ .....（视在功率）

第三步：

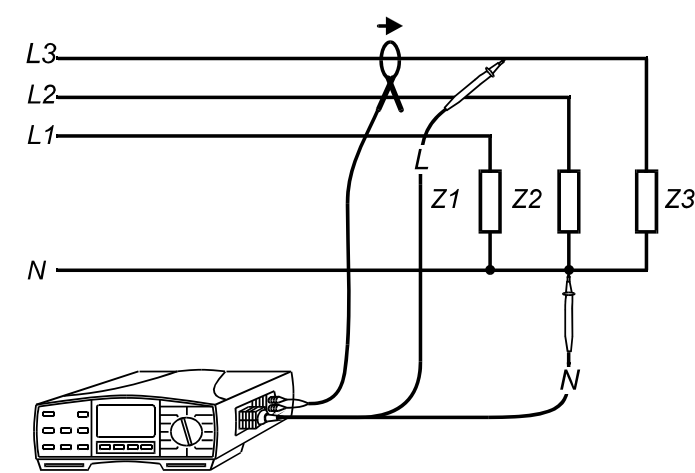


图 88. 在三相制中进行功率测量（第一步）

结果 1 =  $P_3 = U_3 \cdot I_3 \cdot \cos\varphi_3$ ..... (有功功率)  
 结果 2 =  $Q_3 = U_3 \cdot I_3 \cdot \sin\varphi_3$ ..... (无功功率)  
 结果 3 =  $Pa_3 = U_3 \cdot I_3$ ..... (视在功率)

在每一步中，仪表测量相电压、相电流和电压和电流之间相位延迟。根据在每一相测量结果基础上，我们可以根据下面的方程式计算出三线制中全部的功率。

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$ ..... (三相制中总有功功率)  
 $T_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3$ ..... (三相制中总无功功率)

$PA_{tot} = \sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2}$ ..... (三相制中总视在功率)

$P_{Ftot} = P_{tot} / PA_{tot}$  ..... (功率因数)

## 三线制中的功率测量

### a) 两块单相功率表的测量方法（Aron 的连接方法）

如果我们只关心三线制的总功率，而不关心每一相的单独功率，那么可以使用以 Aron'S 法国连接的两块功率表法。按照下面的图解连接两块功率表。即使是在不对称的三相负载(每相负载的阻抗互不相同)，或者不对称电压(相与相之间的电压  $U_{L1/L2}$ 、 $U_{L2/L3}$ 、 $U_{L3/L1}$  的指针按照次序排列不会形成一个等边三角形)的情况下，这个方法也可以正确计算总有功功率。

只有在连接的负载是对称的，并且相电压也是对称的情况下，即电源系统是对称的，计算出来总有功功率才是正确的。

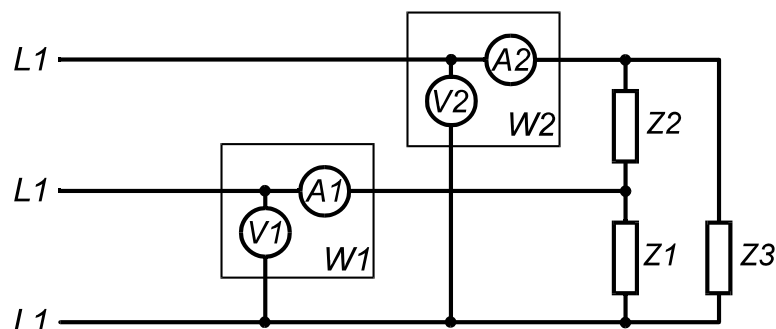


图 89. 使用两块功率表在三相三线制中进行功率测量的原理

这种测量方法，也可以使用 Eurotest 61557 型测试仪，但这时必须分两步进行，然后计算出总功率。测量步骤在下面说明。

### 第一步：

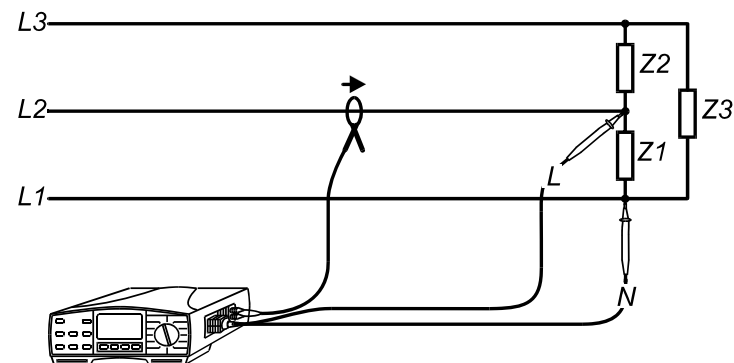


图 90. 使用 Eurotest 61557 型测试仪进行功率测量

结果 1 =  $U_{L2/L1} \cdot I_{L2} \cdot \cos \delta = P_{L2/L1}$   
 结果 2 =  $U_{L1/L2} \cdot I_{L2} = PA_{L1/L2}$

式中：

$\delta$  ..... 相间电压  $U_{L2/L1}$  和电流  $I_{L2}$  之间的相位延迟角

### 第二步：

把电流夹钳和电压测试探头从 L2 导线移到 L3 导线上重复测试。

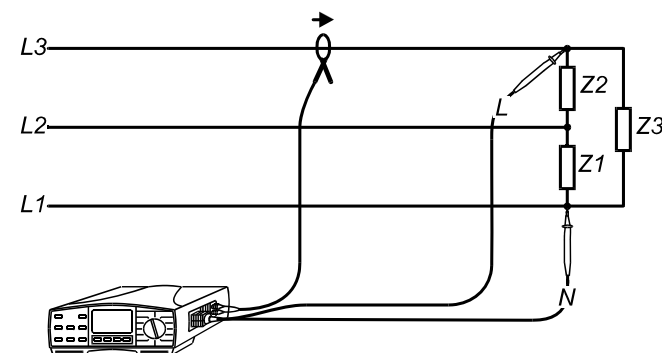


图 91. 使用 Eurotest 61557 型测试仪进行功率测量（第二步）

结果  $1 = U_{L3/L1} \cdot I_{L3} \cdot \cos \delta = P_{L3/L1}$   
 式中:  
 $\delta$  .....相间电压  $U_{L3/L1}$  和电流  $I_{L3}$  之间的相位延迟角

根据下面的方程式可以计算出总有功率和总视在功率。

$$P_{\text{tot}} = P_{L2/L1} + P_{L3/L1} \dots\dots\dots (\text{总有功率})$$

$$P_{A\text{tot}} = P_{A\text{tot}} / P_{\text{tot}} \cdot 1.732 \dots\dots\dots (\text{总视在功率})$$

$$P_{F\text{tot}} = P_{\text{tot}} / P_{A\text{tot}} \dots\dots\dots (\text{功率因数})$$

注意!

- 务必确保电流夹钳与电压测试探头的正确极性（见测试探头和电流夹钳上的标记），否则计算结果将是错误的。
- 如果测量的功率值是负值（可能是由相电压与相电流之间的延迟或滞后引起的），那么在最后的计算中必须使用负号。
- 必须明白的是，测量结果并没有真正的意义，但是在最后的总功率计算中会用到这个测量结果。
- 计算出来的总有功率是正确的与不对称电源系统（不对称的负载或者是不平衡的相间电压）的电压无关。

只有当三相电源系统对称时，计算出来的总视在功率才是正确的。对于功率因数的计算也是一样！在对称的电源系统中，两步测量出来的视在功率是相等的。

## b) 用于对称三相电源系统的测量方法

在电源系统对称，并且在可以接近的中线接点上“Y”型连接负载的情况下，可以使用一块功率表法。只在一相上测量功率就可以计算出总功率。这种方法通常用在三相发电机或类似的对称负载的功率测量中。

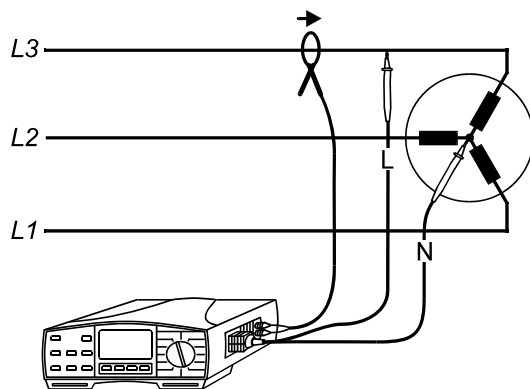


图 92.测试仪的连接

结果  $1 = U_{L3/L1} \cdot I_{L3} \cdot \cos \phi_1 = P_1 \dots\dots\dots (\text{有功功率})$   
 结果  $2 = U_{L3/L1} \cdot I_{L3} \cdot \sin \phi_1 = Q_1 \dots\dots\dots (\text{无功功率})$   
 结果  $3 = U_{L3/L1} \cdot I_{L3} = P_{A1} \dots\dots\dots (\text{视在功率})$   
 结果  $4 = P_1 / P_{A1} = P_{F1} \dots\dots\dots (\text{功率因数})$

三线制总功率的计算:

$$P_{\text{tot}} = 3 \cdot P_1 \dots\dots\dots (\text{三线制中总有功率})$$

$$Q_{\text{tot}} = 3 \cdot Q_1 \dots\dots\dots (\text{三线制中总无功功率})$$

$$P_{A\text{tot}} = 3 \cdot P_{A1} \dots\dots\dots (\text{三线制中总视在功率})$$

$$P_{F\text{tot}} = P_{\text{tot}} / P_{A\text{tot}} = P_{F1} \dots\dots\dots (\text{功率因数})$$

注意!

- 必须检验连接的负载确实是对称的。可以通过测量三个相的相电流进行检验，在相间电压平衡的情况下，相电流彼此之间必须完全相等。
- 如果连接负载的中线连接点不可以接近（由于机械保护、Δ型连接等原因），可以使用电源发电机（变压器）的中线接点，当然假设它是可以接近的中线点。如果相间电压是对称的，也可以使用三个电阻器模拟一个中线接点（见下图）。如果使用模拟中线接点，务必明白，在电源频率下，电阻分压器的内部电阻必须远低于测试仪的内部阻抗。

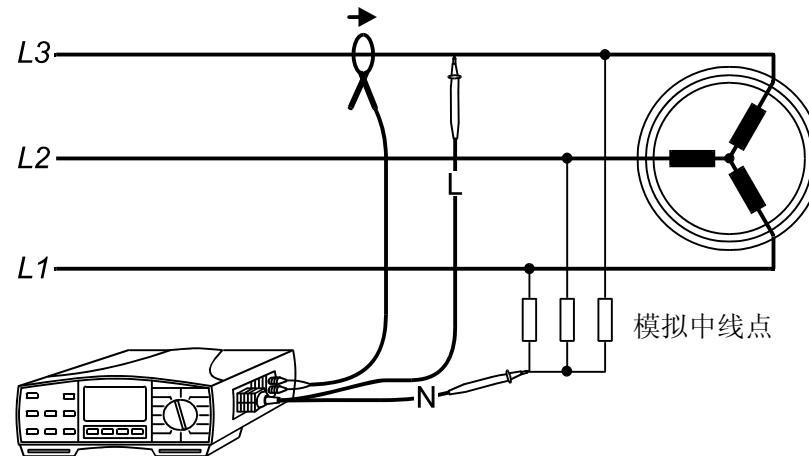


图 93.测试仪与模拟中线接点的连接

c) 用一块 W-表测量不对称负载

测量必须分三步进行（分别在每一相上）。使用 Eurotest 61557 型测试仪，就可以用与单相系统完全一样的方法进行测量，但是测量的中线接点必须参考电源或者必须是模拟中线点（绝对不能是不对称负载的中线接点）。当然在相间电压对称时也是有效的。测量必须在每一相上单独进行。

第一步：

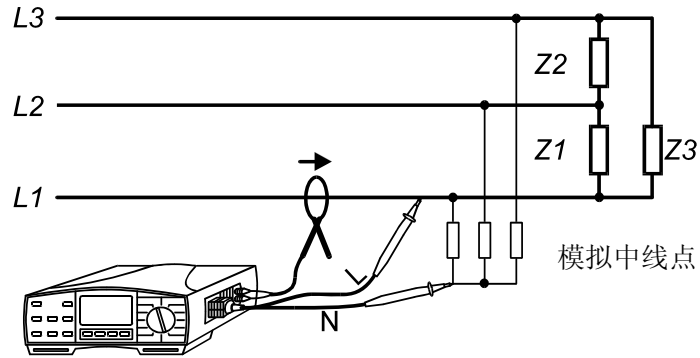


图 94. 使用 Eurotest 61557 型测试仪在带有不对称规则负载三相制中测量功率(第一步)

结果 1 =  $U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \cos\phi_1 = P_1$ ..... (有功功率)  
结果 2 =  $U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \sin\phi_1 = Q_1$ ..... (无功功率)  
结果 3 =  $U_{L1} \cdot I_{L1} = P_{A1}$ ..... (视在功率)  
 $P_{F1} = P_1 / P_{A1}$ ..... (功率因数)

第二步：

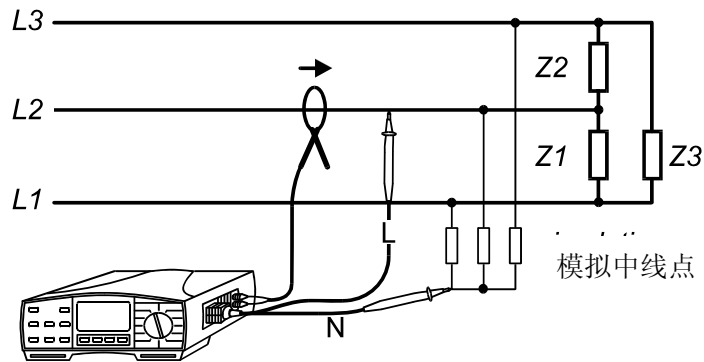


图 95. 使用 Eurotest 61557 在三线制中对不规则负载的测试（第二步）

结果 1 =  $U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \cos\phi_2 = P_2$ ..... (有功功率)

结果 2 =  $U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \sin\phi_2 = Q_2$ ..... (无功功率)  
结果 3 =  $U_{L2} \cdot I_{L2} = P_{A2}$ ..... (视在功率)  
 $P_{F2} = P_2 / P_{A2}$ ..... (功率因数)

第三步：

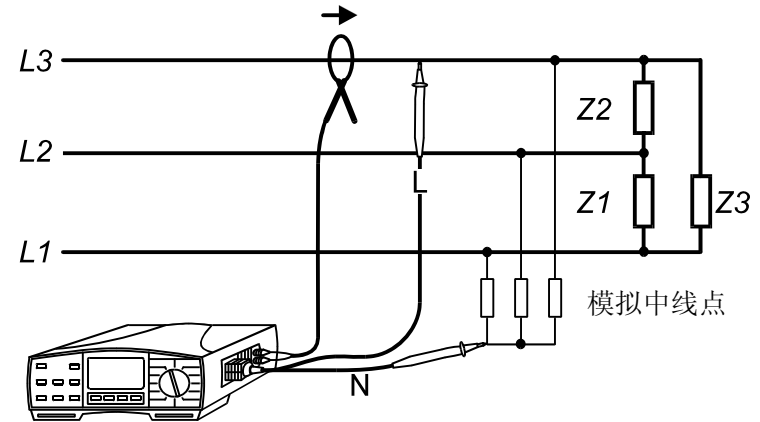


图 96. 使用 Eurotest 61557 在三线制中测量功率（第三步）

结果 1 =  $U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \cos\phi_3 = P_3$ ..... (有功功率)  
结果 2 =  $U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \sin\phi_3 = Q_3$ ..... (无功功率)  
结果 3 =  $U_{L3} \cdot I_{L3} = P_{A3}$ ..... (视在功率)  
 $P_{F3} = P_3 / P_{A3}$ ..... (功率因数)

在上面的测试结果的基础上，根据下面的方程式可以计算出三相制的三个功率电平。

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$ ..... (三相制中总有功功率)  
 $T_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3$ ..... (三相制中总无功功率)  
 $P_{atot} = (P_{tot}^2 + T_{tot}^2)^{-1/2}$ ..... (三相制中总视在功率)  
 $P_{Ftot} = P_{tot} / P_{atot}$ ..... (功率因数)

5.17. 电能

在特殊的负载上，如果功率消耗恒定，那么消耗的电能就可以根据负载的功率以及消耗的时间计算出来。如果功率是个可变的（如可调加热器，间歇式发电机等），就不能计算电能，但是必须测量。如果负载的功率未知，就必须测量电能（不能计算得到）。基于这个原因，Eurotest 61557 型测试仪可以在单相电源负载上测量消耗的电能。下面介绍仪表的连接方法。

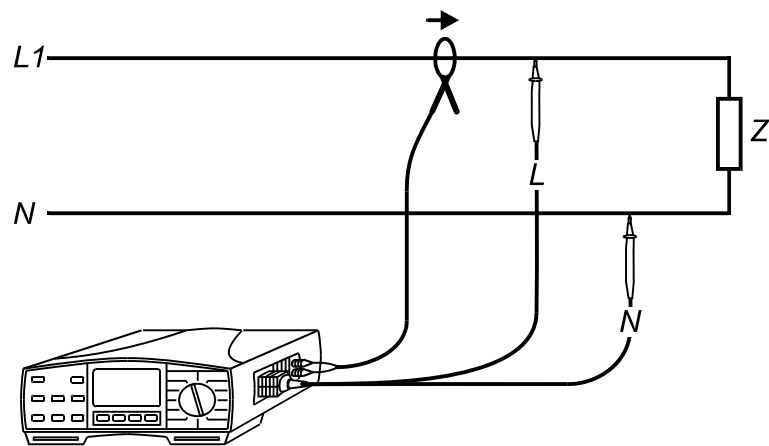


图 97. 单相系统中的电能测量

用测试仪测量相电压、通过测试夹钳测试相电流以及电流与电源之间相位延迟角。并在这些数据的基础上，根据下面的方程式计算消耗的电能：

$$W = U \cdot I \cdot \cos\phi \cdot t = P \cdot t$$

式中：

W.....电能  
U.....相电压  
I.....相电流  
 $\Phi$ .....电压与电流之间的相位延迟角  
t.....消耗时间  
P.....有功功率

使用 Eurotest 61557 型测试仪进行的电能测量，限定在 25 小时之内。

## 5.18. 谐波分析

就是在几年前，谐波分量的处理还被认为是高学术的，绝对不切实际的，甚至是神秘的。由谐波引出的问题，与配电系统和电子负载的关系越来越大，并且导致配电系统和电子负载的高度损坏。这就是任何一个电工程在日常工作中可能会遇到控制谐波问题的原因。应该感谢高效、简单易用、手持式仪表，它使现在的测量工作变得十分简单。

如何测试谐波的存在？

- 连接的负载（电动机、变压器等）将要过热。
- 电源配电系统的损耗将要上升，需要减少负载。

- 由于在电压零交叉点电路的错误触发，调节发电机开始不稳定运转，。
- 高功率电源变压器将要开始过热，需要减少负载。
- 测试负载电流峰值的电子断路器，将要开始跳闸。
- 由于在电压零交叉点电路的错误触发，在电气设备上的一些仪表测试结果（线路/环路阻抗、功率、电压、电流等）的稳定性开始下降。

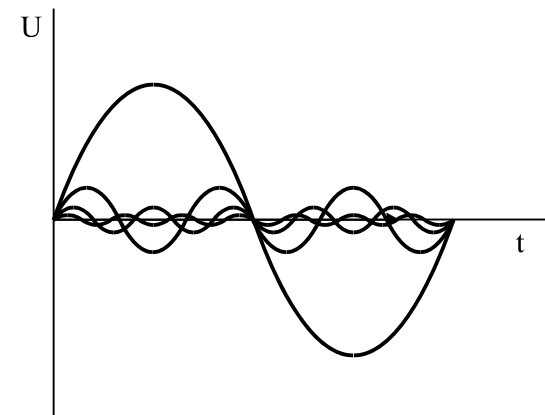


图 101 失真电压的图示（参见图 101），利用傅里叶转换法转变成基频和谐波进行分析。该图示位于时域内。

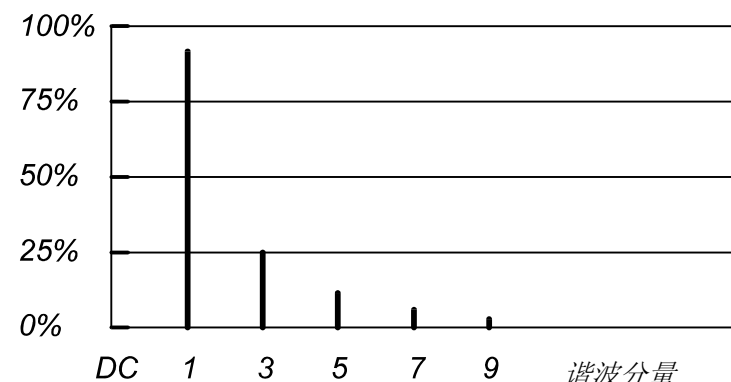


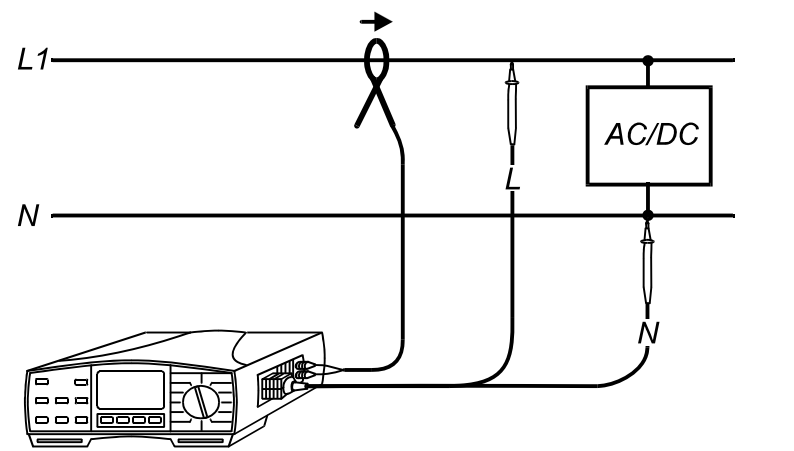
图 102 失真电压的图示（参见图 101），利用傅里叶转换法转变成基频和谐波进行分析。该图示位于频域内。

谐波分量的强度可以直接以伏特表示，或以相对于基波分量的百分比表示。

一般而言，当检查电源电压的质量时，通常要进行电压谐波测量。当寻找失真来源（谐波分量发生源）时，建议测量电流谐波。

Eurotest 61557 测试仪能够进行高达 21 次分量的奇次电压和电流谐波的指示性测量。测量的目的是估计所存在的谐波的强度。在关键场合，有必要使用专业测试仪器，例如 METREL 生产的功率表。

这种分析仪是一款专业测试仪器，它可以分析高达 50 次的谐波分量。另外，该分析仪还可以在 三相系统中实时分析电压和电流谐波，并可以记录测试结果。它还可以同时在三相之上执行所有



三种类型（有功、无功和视在功率）的功率测量。  
图 103 使用 Eurotest 61557 或功率表在单相系统中测量电压和电流谐波

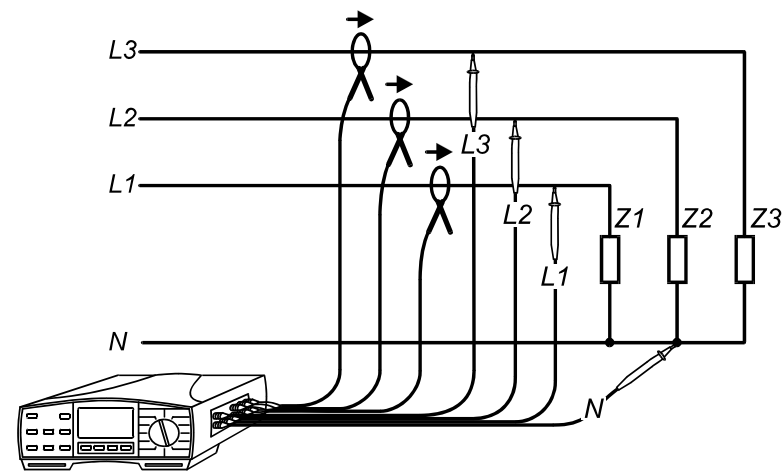


图 104 使用专业功率表测试仪在三相系统中测量电压和电流谐波

有用的公式:

如果在配电系统中存在谐波分量，则所有简单的功率计算都会失效。下面是一些有用的基本公式，它们适用于失真电压和电流。

有效电压值

其中:

- i..... 相位指数
- n..... 谐波分量指数
- $U_i$  ..... 相位 i 的电压有效值
- $U_n, i$  ..... 相位 i 的 n 次电压谐波分量的幅度

电流有效值

其中:

- i..... 相位指数
- n..... 谐波分量指数
- $I_i$  ..... 相位 i 的电流有效值
- $I_n, i$  ..... 相位 i 的 n 次电流谐波分量的幅度

相有功功率

其中:

- i..... 相位指数

$n$ ..... 谐波分量指数  
 $P_i$  ..... 相位  $i$  的所有谐波分量的有功功率  
 $U_{n, i}$ ..... 相位  $i$  的  $n$  次电压谐波分量的幅度  
 $I_{n, i}$ ..... 相位  $i$  的  $n$  次电流谐波分量的幅度  
 $\varphi_{n, i}$ ..... 相位  $i$  的  $n$  次电压谐波分量与  $n$  次电流谐波分量之间的延迟

## 总有功功率

其中:

$i$ .....相位指数  
 $P_{tot}$ ..... 所有相位的全部谐波分量的总有功功率  
 $P_i$  ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的有功功率

## 相视在功率

其中:

$i$ ..... 相位指数  
 $n$ ..... 谐波分量指数  
 $P_{Ai}$  ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的视在功率  
 $U_i$  ..... 相位  $i$  的电压有效值  
 $I_i$ ..... 相位  $i$  的电流有效值  
 $U_{n, i}$ ..... 相位  $i$  的  $n$  次电压谐波分量的幅度  
 $I_{n, i}$ ..... 相位  $i$  的  $n$  次电流谐波分量的幅度

## 总视在功率

其中:

$i$ ..... 相位指数  
 $P_{A\ tot}$  ..... 所有相位的全部谐波分量的视在功率  
 $P_{Ai}$  ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的视在功率

## 功率因数 $P_f$

其中:

$i$ ..... 相位指数

$P_{Fi}$  ..... 相位  $i$  的功率因数  
 $P_i$ ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的有功功率  
 $P_{Ai}$  ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的视在功率

## 平均功率因数 $P_{Favr}$

其中:

$i$ ..... 相位指数  
 $P_{Favr}$  ..... 所有相位的平均功率因数  
 $P_i$ ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的有功功率  
 $P_{Ai}$  ..... 相位  $i$  的全部谐波分量的视在功率

除了单独的谐波分量的强度以外，找到特定相位的总电压或电流谐波失真（THD）也是很重要的。可以根据下列公式计算总谐波失真：

## 对于电压

其中:

$T_{HDi}$  ..... 相位  $i$  的总电压谐波失真  
 $U_1, i$ ..... 相位  $i$  的基波电压分量的幅度

## 对于电流

其中:

$T_{HDi}$  ..... 相位  $i$  的总电流谐波失真  
 $I_{n, i}$ ..... 相位  $i$  的  $n$  次电流谐波分量的幅度  
 $I_1, i$ ..... 相位  $i$  的基波电流分量的幅度

## 6. 使用 METREL d.d. 生产的测试设备进行测量的技术

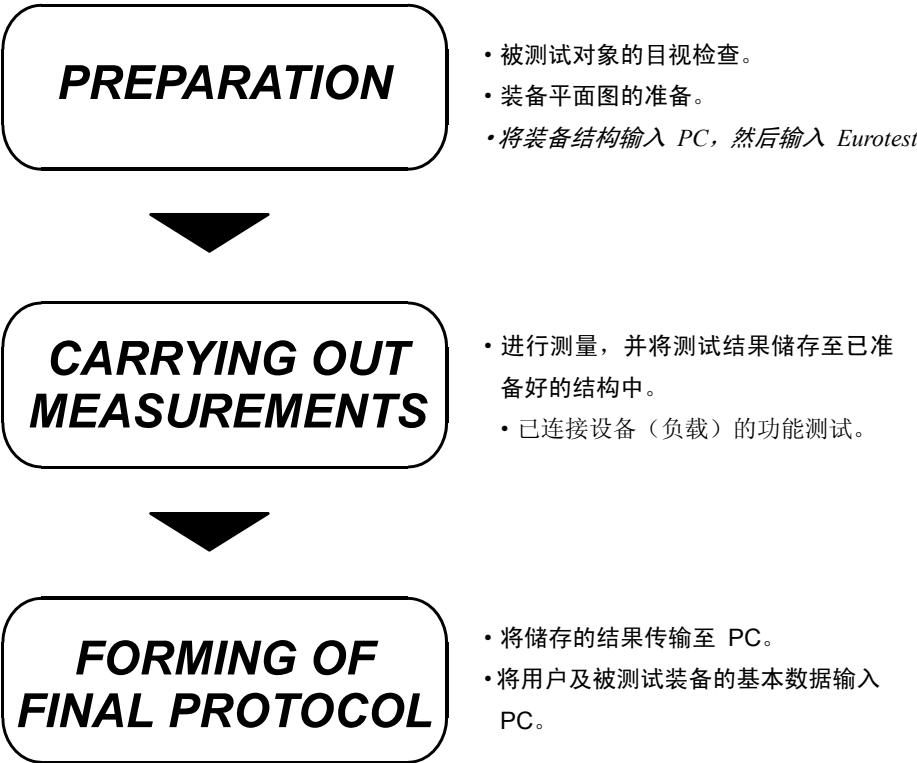
在对当前市场上所销售的大量电气测试设备进行测试时，一些缺陷变得显而易见。这些缺陷会使得操作人员参与越来越多的活动（比如制订工作计划、完成检验报告并填写和复制测试结果），这会占用可花费在可以获取更多利润的领域中的宝贵时间。

鉴于这种情况，METREL 集中其力量开发最新系列多功能测试仪，以便克服这些缺陷。其基本目标是制造易于使用的仪器，以全面支持用户大量的测试活动。

所谓大量的测试活动即意味着，整个程序从操作人员的初始准备开始，继而进行安装的目视检查、测量和电气设备的功能测试，最后完成最终报告的打印。在下面的章节中，我们将审查这一过程，并试图理解该程序的基本原理。

为达到上述目标，必须考虑整个程序并将其与测试设备（测试仪器加上 PC 软件）相结合。我们将该程序称作进行测量的技术。其目的是帮助操作人员尽量简化他们的工作并提高速度，因而降低成本，提高生产率。

为帮助理解，整个程序可以分为三个主要部分：



## 被测对象的目视检查

如果已经按照该技术对某一被测对象进行了测量（定期检查），则检查的目的只是要检验安装与上一次检查时相比存在的潜在偏差。

如果按照该技术第一次进行测量，则安装对于操作人员来说不是真正已知的，因此检查工作必须要让操作人员发现并记录下安装的一些基本特征，例如：

- 被测对象的地址、配电变压器的类型、电能分配器等。
- 按接地系统划分的安装类型（TN-C、TN-S、TN-C-S、TT 或 IT）— 参见本手册的第 14 和 15 页。
- 所涉及的配电柜（熔断器箱）及其标识的数量。
- 每个配电柜中电流回路（熔断器回路）的数量和种类。
- 所使用的间接接触电击防护系统的类型（RCD 保护设备、自动过电流熔断器、熔化过电流熔断器、非导电室、隔离电源和安全电压等）。
- 接地系统的类型（接地桩型、接地带型、接地板型、化学活性型等）。
- 接地系统的设计（单接地电极、多接地电极、柱体间的架空连接、柱体间的地下连接、避雷针与被测试接地系统的连接、配电接地与被测试接地系统的连接等）。
- 存在过电压保护设备。
- 多段保护导体。
- 实现保护导体与总等电位连接集电器（MPEC）的连接。
- 实现每个配电柜内保护导体与保护导体集电器（PCC）的连接。
- 实现总等电位连接。
- 实现辅助等电位连接。
- 标识单独的安装部件（配电柜、熔断器、开关等）及符合规章的情况。
- 导体颜色
- 被测试安装与配电系统的连接（地下、架空）。
- 等等。

在进行以上活动时，操作人员可以使用 Eurotest 61557 测试仪。该测试仪除了可用于规章所需的测量之外，还提供多种辅助测试和测量，例如：跟踪安装导体、跟踪过电流保护设备、故障定位、功率测量、电能测量、电流测量、PE 端子测试（存在相电压）和过电压设备测试等。

以上特征将被手动填入最终报告的空白表格中，随后传输至 PC。它们会自动包含于打印的最终报告中。

安装平面图的准备

如要确保操作人员知晓其采取的行动并进行切合实际的测量，有必要根据实际安装准备一份更新的安装平面图。如果已经具有安装平面图，操作人员只需检查（或插入）合适的安装部件的标识，例如配电柜、电流回路、避雷系统、避雷系统的单独接地柱、接地柱间的连接、总等电位连接集电器（MPEC）、与 MPEC 的连接、连接于 MPEC 的接地系统等。如果没有安装平面图（旧安装或改进的安装），建议绘制一张，以确保随后的行动都会以快速有效的方式进行。同时还建议将所有上述安装部件的标识插入到平面图中。

将安装结构输入 PC，然后输入 Eurotest 61557

电气安装的结构为电气安装的平面图，它可以装到 PC 机上，然后再传输至 Eurotest 61557 测试仪。该结构同时包括所有安装部件的伴随标识。该结构安装于测试仪器上时，可以将测试结果以简单而透明的方式存储到已准备好并经过标识的存储位置。也可以事先通过 PC 将某些测量（要测量的参数）赋于某一个测量位置（电流回路、MPEC 等）。用这种方法，操作人员可以随时确认仍需要进行哪些测量，在哪些位置进行测量。在进行测量和存储测试结果的同时，Eurotest 61557 对操作人员进行引导，显示实际测量位置的名称。

为了确保建立结构的程序简单而又具有重复性（而不管被测试对象如何），该适宜软件拥有已准备好的结构模型。

这一 PC 软件可以用交互的方式引导操作人员安装要进行的程序，以及完成他们需要在 PC 机上所进行的步骤。结构模型提供了安装部件的一般名称，例如：

- 测量对象 1
- ..... 块 1
- 块 2
- ..... 块 3
- ..... 熔断器 1
- 熔断器 2
- 熔断器 3

在将安装结构输入到 PC 机之后，上面列出的一般名称可以与实际名称互换。请参见以下一些真实名称的实例：

- 测量对象 = Alphatek 工厂
- 块 = 主办公室
- 块 = 开发部门
- 块 = 工业装置
- 熔断器 = 照明系统
- .熔断器 = 单相插座
- 熔断器 = CNC 机床

下图为在建筑物中进行测试时常见的典型电气安装平面图。该平面图随后将用于构成一般结构模型。

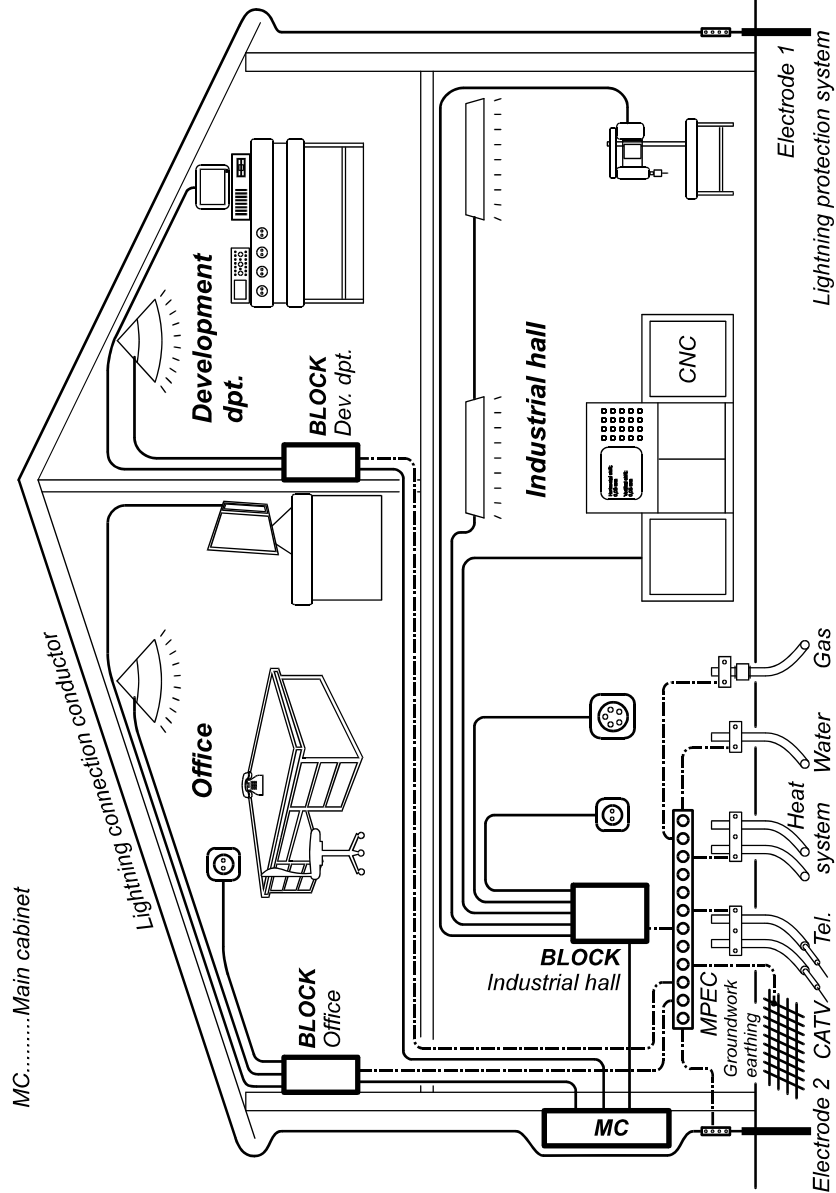


图 105 一般电气安装图

电气安装结构的一般模型（参见下图）可基于上面介绍的一般安装建立。可以使用该模型将电气安装结构输入到 PC 以及 61557，尽管实际安装与其相比具有潜在的偏差。这些偏差应结合到该模型之中。

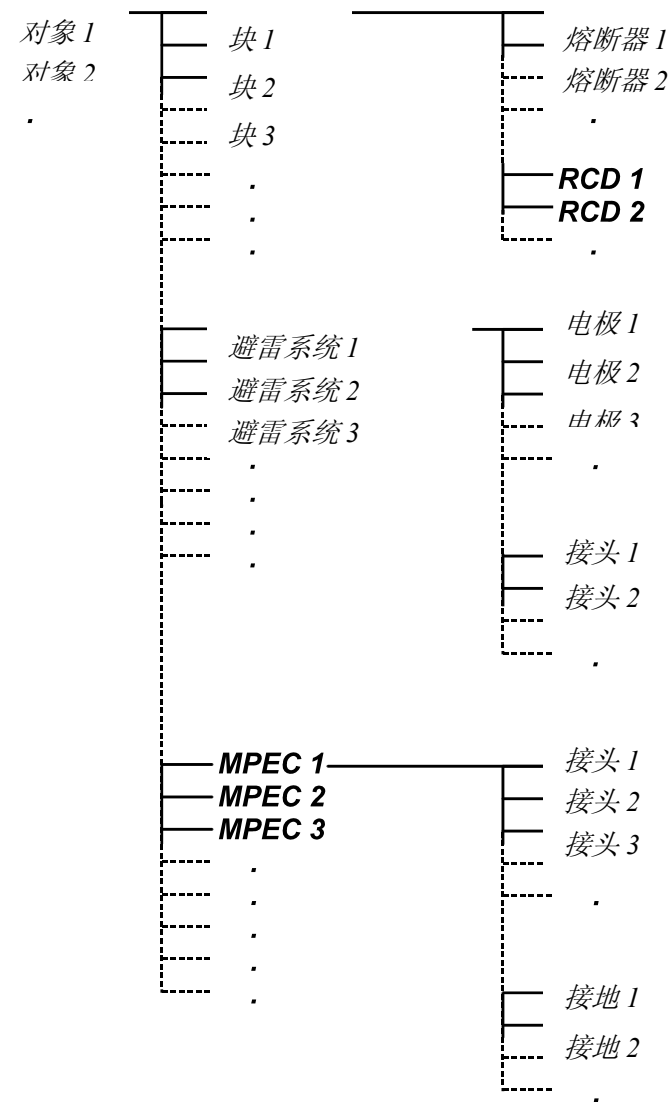


图 106 电气安装结构一般模型，适合于将安装结构输入 PC 以及 Eurotest 61557

上面所介绍模型的说明：

- 第一级

对象是要进行所有测量的主位置。

实例： Alphatek 工厂

- 第二级

整个对象被划分为块、避雷系统和总等电位连接集电器（MPE）。

实例： »块« 主办公室

»块« 工业装置

»块« 开发部门

»避雷系统« 主建筑物

»MPE« 主建筑物等

- 第三级

块被划分为各种熔断器和 剩余电流装置（RCD）。

实例： »熔断器« 照明网

»熔断器« CNC 机床

»熔断器« 单相插座等

»RCD« 配电盘 1

避雷系统被划分为单个电极和与避雷系统的连接。

实例： »电极« 电极 1

»电极« 电极 2

»连接« 供气安装

»连接« MPE 等

总等电位连接集电器（MPE）被划分为与 MPE 的连接和 MPE 的接地。

实例： »连接« 供水安装

»连接« 中央供暖安装

»连接« 供气安装

»连接« 保护导体集电器（PCC） 工业装置

»连接« 保护导体集电器（PCC） 开发部门

»接地« 接地基础

»接地« 保护系统等

在将结构输入到 PC 机之后，该结构随即可以被传输至 Eurotest 61557。

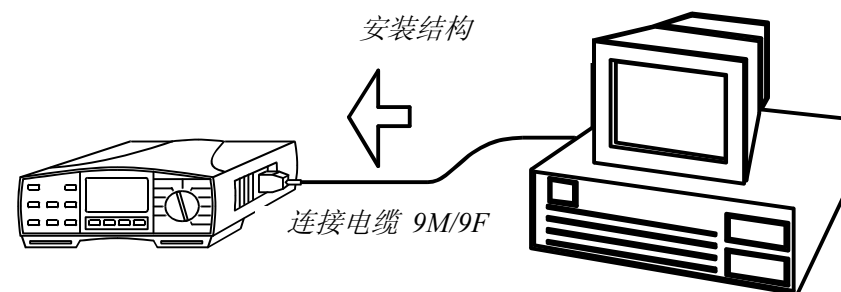


图 107 结构从 PC 传输至 Eurotest 61557

进行测量并将测试结果储存至已准备好的结构中。

测量的顺序依次从主配电柜（电源系统的输入）至所连接的电气负载，即：

- 接地系统（单个接地柱的接地电阻、柱之间的连接、无源可接触导电部件与接地系统之间的连接）。
- 总等电位连接集电器（MPEC）（与 MPEC 的连接、与 MPEC 连接的接地系统的接地电阻）。
- 配电柜（所有电流回路中的总等电位连接保护导体的连续性、辅助等电位连接保护导体的效率、所有电流回路之间的绝缘电阻、所有电流回路上的故障回路阻抗和预期短路电流、所有电流回路上剩余电流装置（RCD）保护设备的测试，以及相序，等等）。

在执行以上测量时所得到的测试结果将储存到准备好（已将结构输入）的存储位置。

Eurotest 61557 会在储存测试结果过程中引导操作人员进行操作，同时显示测试位置处的实际名称（熔断器和块，等等）。

Eurotest 61557 的重要优势在于，操作人员可以随时确认哪些测量还没有完成和储存。如需要如何储存测试结果的详细说明，请参见 Eurotest 61557 说明手册。

所连接设备（负载）的功能测试

完成测量之后，还需要对连接于被测试装备的某些设备进行功能测试。一些设备的实例包括：电动机（旋转方向）、通风机、控制和保护装置、加热系统和照明系统等。测试结果（“正常”或“不正常”）被手动输入到最终报告的空白表格中，然后再传输至 PC。它们会自动包含于打印出的最终报告中。

储存的结果传输至 PC

这种传输是通过向 PC 发出一个简单的指令自动完成的。

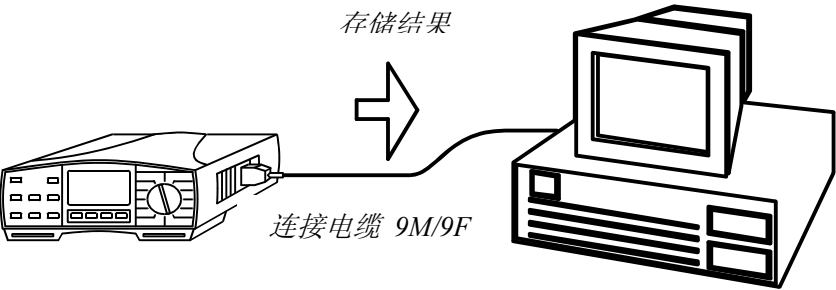


图 108 从测试仪器将储存的结果传输至 PC

将用户和被测试安装的基本数据输入 PC

由 PC 软件提供的最终报告要求输入对被测试对象进行目视检查中所获取的各种数据。这些数据在《被测试对象的目视检查》段落中加以说明，并会自动包含于打印出的最终报告中。

打印包含测试结果的最终报告

在将全部数据（被测试对象的目视检查、测试结果和功能测试）传输至 PC 机之后，可以在 PC 机上创建最终报告并用打印机打印出来。有几种形式的最终报告，详情请参见 Eurotest 61557 说明手册。

至此只剩下一个步骤需要由操作人员来完成，也就是，将测试结果和被测试对象的安装结构储存到操作人员档案中。当要对相同的对象进行下一次定期检查时，可以再次使用这些数据。

至此整个程序即告完成！

让我们再总结一下本章所介绍的使用由 METREL 所制造的结合有 PC 软件的最新测试仪器 Eurotest 61557 的测试技术所提供的所有优势。

- ❖ 特定安装的结构只需准备一次，即可用于在相同的设备上同样的测量。安装的结构只需从档案中传输至 Eurotest 61557。然后该仪器即可准备就绪，以便向相同的存储位置储存新的测试结果。
- ❖ 输入到 Eurotest 61557 中的特定安装的结构可以按需要进行自由修改。这一功能可提供完全的现场灵活性。  
修改结构时，可以不管结构输入到测试仪器中的方式如何（通过 PC 软件或手动输入）。
- ❖ 储存结果时，会显示配电柜、电流回路、接地系统等实际标识。无需额外的手工注释。
- ❖ 操作人员可以随时确认哪些测量还没有完成，在什么位置。
- ❖ 由于使用了合适的 PC 软件，创建最终报告自动而快速。打印出的文件可直接递交给客户。
- ❖ 全部数据（结构和测试结果）可储存到 PC 机或软盘上的操作人员档案中。不管何时需要测量相同的设备，操作人员只需将储存的结构数据传回测试仪器。

如果无论何种原因（没有可用的电气安装平面图等）操作人员没有通过 PC 机建立结构，仍然可以使用相同的技术。在这种情况下，测试仪器在储存测试结果时，将提供安装部件的一般标识，参见第 105 页。将结果传输至 PC 机之后，一般标识仍可用实际的标识替代，而这些实际标识会用于最终报告中。

7. METREL d.d. 生产的测试仪器简介

可以使用各种仪器对电气安装进行完全测试。这些仪器的主要区别在于，特定的仪器所支持的主要及辅助参数（EN 61557 标准没有要求）不同。下面是每种仪器的主要特性。

1. 用于电气安装最终测试的高度专业性多功能测试仪

Eurotest 61557

该仪器供那些在最高层次上参与安装、维护、维修和批准电气安装的专业工程师使用（它们具有广泛的电气安装的专业知识）。该仪器的优点在于，除了 EN 61557 标准所需的全部主要参数之外，它还可以测量一系列的辅助参数，例如高达 21 次分量的谐波、功率、电能、电流、安装跟踪、使用低测试电流的连续性测试以及压敏电阻保护装置测试等。

2. 用于电气安装完全测试的高度专业性多功能测试仪

Instaltest 61557

该仪器供那些参与安装、维护、维修和批准电气安装的所有电工人员使用。它可以测量 EN 61557 标准所需的全部参数，以及一些辅助参数，例如安装跟踪、使用低测试电流的连续性测试以及压敏电阻保护装置测试等。

3. 用于接地电阻和绝缘电阻的完全测试的高度专业性多功能测试仪

接地-绝缘测试仪

该仪器供那些参与安装、维护、维修和批准电气安装上的接地系统及绝缘的工程师和电工人员使用。它可以测量一系列辅助测量参数，例如电流、保护装置的连续性、使用低测试电流的连续性测试以及压敏电阻保护装置测试等。

4. 高度专业化便携式三相谐波和功率分析仪

该仪器供从事电能质量检验的要求苛刻的测量人员使用。该仪器的优点在于，它可以在三相系统中同时控制所有三相电流和电压。全部测量以实时方式运行（每个时段都得到控制），结果被记录下来并可供以后进一步分析。该仪器具有内部电池电源，因而可以独立运行（可以不连接市电电压）。

7.1. Eurotest 61557 的技术参数

功能

绝缘电阻

测量范围 Riso (Un ≥ 250V) (0.008-1000) MΩ

| 显示范围<br>Riso (MΩ)<br>Un ≥ 250V | 分辨率<br>(MΩ) | 精度*             |
|--------------------------------|-------------|-----------------|
| 0.000 - 1.999                  | 0.001       | ± (2% 读数 + 2 字) |
| 2.00 - 19.99                   | 0.01        |                 |
| 20.0 - 199.9                   | 0.1         |                 |
| 200 - 1000                     | 1           | ± (10% 读数)      |

测量范围 Riso (Un < 250V) (0.012 - 199.9) MΩ

| 显示范围<br>Riso (MΩ)<br>Un < 250V | 分辨率<br>(MΩ) | 精度*             |
|--------------------------------|-------------|-----------------|
| 0.000 - 1.999                  | 0.001       | ± (5% 读数 + 3 字) |
| 2.00 - 19.99                   | 0.01        |                 |
| 20.0 - 199, 9                  | 0.1         |                 |

\*若使用 通用测试电缆，则指定的精度有效；若使用触点式测柄，则在 20MΩ 以下时精度有效。

| 显示范围<br>测试电压<br>(V) | 分辨率<br>(V) | 精度              |
|---------------------|------------|-----------------|
| 0 - 1200            | 1          | ± (2% 读数 + 3 字) |

标称测试电压 ..... 50、100、250、500、1000V 直流  
测试发生器的电流能力  
(U<sub>test</sub> > U<sub>N</sub> 时) ..... >1mA  
短路测试电流 ..... <3mA  
测试对象的自动放电..... 是

保护导体的连续性

测量范围 R.....（0.08 - 1999）MΩ

| 显示范围<br>R（Ω） | 分辨率<br>（Ω） | 精度             |
|--------------|------------|----------------|
| 0.00 - 19.99 | 0.01       | ±（2% 读数 + 2 字） |
| 20.0 - 199.9 | 0.1        | ±（3% 读数）       |
| 200 - 1999   | 1          |                |

开路端子测试电压..... 4 - 7 Vd.c.  
短路测试电流..... > 200mA  
测试线的补偿（至 5Ω）..... 有  
声音信号..... 有  
自动极性转换..... 是  
测量模式..... 单次测量

连续性

| 显示范围<br>R（Ω） | 分辨率<br>（Ω） | 精度             |
|--------------|------------|----------------|
| 0.0 - 199.9  | 0.1        | ±（3% 读数 + 3 字） |
| 200 - 2000   | 1          |                |

开路端子测试电压..... 4 - 7V 直流  
短路测试电流..... < 7mA  
声音信号..... 有  
测量模式..... 连续测量  
接地电阻，四线法

测量范围 RE .....（0.11 - 19.99k）Ω

| 显示范围<br>（Ω）    | 分辨率<br>（Ω） | 精度             |
|----------------|------------|----------------|
| 0.00 - 19.99   | 0.01       | ±（2% 读数 + 3 字） |
| 20.0 - 199.9   | 0.1        |                |
| 200 - 1999     | 1          |                |
| 2.00k - 19.99k | 10         | ±（5% 读数）       |

附加峰值电阻误差

在 R<sub>c max</sub>· 或 R<sub>p max</sub> 时 ..... ±（3% 读数 + 5 字）  
R<sub>c max</sub>· .....（4kΩ + 100RE）或 50kΩ（取较低值）  
R<sub>c</sub> = R<sub>c1</sub> +R<sub>c2</sub>（接地电阻率）  
R<sub>p max</sub>· .....（4kΩ + 100RE）或 50kΩ（取较低值）  
R<sub>p</sub> = R<sub>p1</sub> +R<sub>p2</sub>（接地电阻率）

附加误差

在 20V 电压噪声（50Hz） 时..... ±（5% 读数 +10 字）  
开路端子测试电压..... 40V 交流  
测试电压波形..... 正弦波  
测试电压频率..... 125Hz  
短路测试电流..... < 20 mA  
电流和电位测试探头

电阻的自动测试 ..... 是  
电压噪声的自动测试 ..... 是

使用夹钳并结合四线法进行接地电阻测量

以上列出的所有使用四线法的技术数据都是有效的，以下列出了附加数据：

市电电压（50Hz） 产生的 3A 噪声电流下的附加误差  
..... ±（5% 读数 + 10 字）  
电阻比的附加误差..... R<sub>partial</sub>/R<sub>total</sub> · 1%  
R<sub>partial</sub> = 用夹钳测量的电阻  
R<sub>total</sub> = 总接地系统的电阻  
在低钳位电流时的指示..... < 0, 5 mA  
噪声电流的自动测试 ..... 是  
需考虑附加的钳位误差。

使用两个夹钳测量的接地电阻

测量范围 R<sub>E</sub> .....（0.08 - 100）Ω

| 显示范围 | 分辨率 | 精度* |
|------|-----|-----|
|------|-----|-----|

| R <sub>E</sub> (Ω) | (Ω)  |                 |
|--------------------|------|-----------------|
| 0.00 - 19.99       | 0.01 | ± (10% 读数 +2 字) |
| 20.0 - 100.0       | 0.1  | ± (20% 读数)      |

\*测试钳间的距离 >25 cm

市电电压（50Hz） 产生的 3A 噪声电流下的附加误差± (10% 读数 + 10 字  
噪声电流的自动测试 ..... 是  
需考虑附加的钳位误差。

比接地电阻（电阻率）

除显示范围外，所有使用四线法的技术数据都是有效的，参见下表。

| 显示范围<br>ρ (Ωm) | 分辨率<br>(Ωm) | 精度                                |
|----------------|-------------|-----------------------------------|
| 0.00 - 19.99   | 0.01        | 考虑 RE 虑测量的<br>精度<br><br>ρ = 2πaRE |
| 20.0 - 199.9   | 0.1         |                                   |
| 200 - 1999     | 1           |                                   |
| 2.00k - 19.99k | 10          |                                   |
| 20.0k - 199.9k | 0.1k        |                                   |
| 200k - 2000k   | 1k          |                                   |

接地桩间的距离 .....1 至 30m

#### RCD – 一般数据

标称差动电流 10、30、100、300、500、1000mA

实际差动电流的精度：

-0 / +0.1·I<sub>Δ</sub>; I<sub>Δ</sub> = I<sub>ΔN</sub>, 2·I<sub>ΔN</sub>, 5·I<sub>ΔN</sub>

-0.1·I<sub>ΔN</sub> / +0; I<sub>Δ</sub> = 0.5·I<sub>ΔN</sub>

测试电流波形 ..... 正弦波

测试电流开始位置 .....0° 或 180°

RCD 类型 ..... 标准型或选择型

标称输入电压 ..... 230/115V/ 45 - 65 Hz

#### RCD – 接触电压 U<sub>c</sub>

测量范围 U<sub>c</sub> ..... (10 - 100) V

| 显示范围<br>U <sub>c</sub> (V) | 分辨率<br>(V) | 精度*                         |
|----------------------------|------------|-----------------------------|
| 0.00 - 9.99                | 0.01       | (-0 / + 10) % 读<br>数 ± 0.2V |
| 10.0 - 100.0               | 0.1        | (-0 / + 10) % 读<br>数        |

\*在以下情况下精度有效：

市电电压在测量中稳定

..... PE 端子处无干扰电压测量原理 ..... 使用或不使用辅助探头

测试电流 ..... < 0.5 I<sub>ΔN</sub>

极限接触电压 ..... 25 或 50V

接触电压根据 I<sub>ΔN</sub>（标准型）或 2I<sub>ΔN</sub>（选择型）计算得到。

#### RCD – 接地（故障回路）电阻 RE/RL

| 显示范围<br>RE (Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度                          |
|----------------|------------|-----------------------------|
| 0.00 - 19.99   | 0.01       | 考虑 U <sub>c</sub> 测量的精<br>度 |
| 20.0 - 199.9   | 0.1        |                             |
| 200 - 1999     | 1          |                             |
| 2.00k - 10.00k | 0.01k      |                             |

计算 ..... RE (RL) = U<sub>c</sub> / I<sub>ΔN</sub>

测量原理 ..... 使用辅助探头 (RE)

不使用辅助探头 (RL)

测试电流 ..... < 0.5 I<sub>ΔN</sub>

#### RCD – 跳闸时间

测试电流 .....0.5 IΔN、IΔN、 2 IΔN 和 5 IΔN  
（如果 IΔN = 1000mA，则不可使用乘数 5）

测量范围 t（G 型） .....（0ms – 显示上限）

| 显示范围<br>t（ms） G 型        | 分辨率<br>（ms） | 精度   |
|--------------------------|-------------|------|
| 0 - 300<br>（1/2IΔN， IΔN） | 1           | ±3ms |
| 0 - 150<br>（2IΔN）        | 1           |      |
| 0 - 40<br>（5IΔN）         | 1           |      |

测量范围 t（S 型） .....（0ms – 显示上限）

| 显示范围<br>t（ms） S 型        | 分辨率<br>（ms） | 精度   |
|--------------------------|-------------|------|
| 0 - 500<br>（1/2IΔN， IΔN） | 1           | ±3ms |
| 0 - 200<br>（2IΔN）        | 1           |      |
| 0 - 150<br>（5IΔN）        | 1           |      |

RCD – 跳闸电流

测量范围 IΔ .....（0.2 - 1.1） IΔN

| 显示范围 IΔ         | 分辨率     | 精度      |
|-----------------|---------|---------|
| 0.2IΔN - 1.1IΔN | 0.05IΔN | ±0.1IΔN |

测量范围 tΔ .....（0 - 300） ms

| 显示范围<br>tΔ（ms） | 分辨率<br>（ms） | 精度   |
|----------------|-------------|------|
| 0 - 300        | 1           | ±3ms |

测量范围 Uci .....（10 - 100） V

| 显示范围<br>Uci（V） | 分辨率<br>（V） | 精度*                     |
|----------------|------------|-------------------------|
| 0.00 - 9.99    | 0.01       | （0 - 10） % 读数<br>± 0.2V |
| 10.0 - 100.0   | 0.1        | （0 - 10） % 读数           |

\*精度在以下情况下有效：  
市电电压在测量中稳定  
PE 端子处无干扰电压

Uci 电压根据跳闸电流 IΔ 计算得到

故障回路阻抗 和预期短路电流

测量范围 ZL-PE， R， XI.....（0.11 - 1999） Ω

| 显示范围<br>ZL-PE， R， XI<br>（Ω） | 分辨率<br>（Ω） | 精度                |
|-----------------------------|------------|-------------------|
| 0.00 - 19.99                | 0.01       | ±（2% 读数 + 3<br>字） |
| 20.0 - 199.9                | 0.1        |                   |
| 200 - 2000                  | 1          |                   |

| 显示范围<br>Ipsc（A） | 分辨率<br>（A） | 精度               |
|-----------------|------------|------------------|
| 0.06 - 19.99    | 0.01       | 考虑 ZL-PE 的精<br>度 |
| 20.0 - 199.9    | 0.1        |                  |
| 200 - 1999      | 1          |                  |
| 2.00k - 19.99k  | 10         |                  |
| 20.0k - 24.4k   | 100        |                  |

Ipsc 计算： ..... Ipsc = UN·1.06 / ZL-PE  
UN = 115V;（100V ≤ UL-PE < 160V）  
UN = 230V;（160V ≤ UL-PE ≤ 264V）  
最大测试电流（230V 时） ..... 23A（10ms）

标称输入电压 ..... 230/115V/ 45 - 65Hz

短路电流下的接触电压

| 显示范围<br>Uc (V) | 分辨率<br>(V) | 精度                          |
|----------------|------------|-----------------------------|
| 0.00 - 9.99    | 0.01       | ± (3% 读数 +<br>0.02Ω · Ipsc) |
| 10.0 - 99.9    | 0.1        |                             |
| 100 - 264      | 1          |                             |

最大测试电流（230V 时） ..... 23A

标称输入电压 230/115V/ 45 - 65Hz

线路阻抗和预期短路电流

测量范围 ZL-N, R, XI ..... (0.11 - 1999) Ω

| 显示范围<br>ZL-N, R, XI<br>(Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度                 |
|----------------------------|------------|--------------------|
| 0.00 - 19.99               | 0.01       | ± (2% 读数 + 3<br>字) |
| 20.0 - 199.9               | 0.1        |                    |
| 200 - 2000                 | 1          |                    |

| 显示范围<br>Ipsc (A) | 分辨率<br>(A) | 精度          |
|------------------|------------|-------------|
| 0.06 - 19.99     | 0.01       | 考虑 ZL-N 的精度 |
| 20.0 - 199.9     | 0.1        |             |
| 200 - 1999       | 1          |             |
| 2.00k - 19.99k   | 10         |             |
| 20.0k - 42.4k    | 100        |             |

Ipsc 计算: ..... Ipsc = UN·1.06 / ZL-N  
UN = 115V; (100V ≤ UL-N < 160V)  
UN = 230V; (160V ≤ UL-N ≤ 264V)

UN = 400V; (264V < UL-N ≤ 440V)

最大测试电流（400V 时） ..... 40A (10ms)

标称输入电压 400/230/115V/ 45 – 65Hz

N-PE 回路电阻和预期短路电流

测量范围 RN-PE ..... (0.11 - 1999) Ω

| 显示范围<br>RN-PE (Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度                 |
|-------------------|------------|--------------------|
| 0.00 - 19.99      | 0.01       | ± (2% 读数 + 3<br>字) |
| 20.0 - 199.9      | 0.1        |                    |
| 200 - 1999        | 1          |                    |

| 显示范围<br>Ipsc (A) | 分辨率<br>(A) | 精度               |
|------------------|------------|------------------|
| 0.06 - 19.99     | 0.01       | 考虑 RL-PE 的精<br>度 |
| 20.0 - 199.9     | 0.1        |                  |
| 200 - 1999       | 1          |                  |
| 2.00k - 19.99k   | 10         |                  |
| 20.0k - 24.4k    | 100        |                  |

Ipsc 计算: ..... Ipsc = UN·1.06 / ZL-PE  
UN = 115V; (100V ≤ UL-PE < 160V)  
UN = 230V; (160V ≤ UL-PE ≤ 264V)

有关发生器的技术数据，请参见接地电阻、四线法下面的内容。

相位旋转

标称市电电源电压 ..... 100 - 440V  
显示的结果 ..... 1.2.3 或 2.1.3

电压（在谐波函数中除外）

| 显示范围<br>U (V) | 分辨率<br>(V) | 精度 |
|---------------|------------|----|
|---------------|------------|----|

|         |   |                |
|---------|---|----------------|
| 0 - 440 | 1 | ±（2% 读数 + 2 字） |
|---------|---|----------------|

标称频率范围 ..... 45 – 65Hz

电流（真有效值）

| 显示范围<br>I（A） | 分辨率<br>（A） | 精度             |
|--------------|------------|----------------|
| 0.0m - 99.9m | 0.1m       | ±（5% 读数 + 3 字） |
| 100m - 999m  | 1m         | ±（5% 读数）       |
| 1.00 - 9.99  | 0.01       |                |
| 10.0 - 99.9  | 0.1        |                |
| 100 - 200    | 1          |                |

测量原理 ..... 电流钳 1A/1mA

标称频率 ..... 50/60Hz

需考虑附加钳位误差。

峰值电流

| 显示范围<br>I（A） | 分辨率<br>（A） | 精度       |
|--------------|------------|----------|
| 5 - 280      | 1          | ±（5% 读数） |

采样速率 ..... 2 个测量值 / ms

测量原理 ..... 电流钳

标称频率 ..... 50/60Hz

需考虑附加钳位误差。

压敏电阻过电压保护装置（击穿电压）

| 显示范围<br>U（V） | 分辨率<br>（V） | 精度 |
|--------------|------------|----|
|--------------|------------|----|

|          |   |                |
|----------|---|----------------|
| 0 - 1000 | 1 | ±（5% 读数 + 10V） |
|----------|---|----------------|

测量原理 ..... 直流斜坡电压

测试电压斜率 ..... 500V/s

阈值电流 ..... 1mA

故障/熔断器/导体故障检寻仪

原理 ..... 线路加载或施加测试信号

加载（市电电压范围 30 - 264V/45 - 65Hz）：

Is < 1A 脉冲

fs = 3600Hz

施加信号（无电压安装）： ..... Us < 7V 脉冲

fs = 3600Hz

Isc < 50mA 脉冲

电流测量（真有效值）：

| 显示范围<br>I（A）           | 分辨率<br>（A） | 精度             |
|------------------------|------------|----------------|
| 10.0m - 99.9m          | 0.1m       | ±（5% 读数 + 3 字） |
| 100m - 999m            | 1m         | ±（5% 读数）       |
| 1.00 - 9.99            | 0.01       |                |
| 10.0 - 99.9            | 0.1        |                |
| 100 - 200              | 1          |                |
| 显示范围<br>THD（阈值）<br>（%） | 分辨率<br>（%） | 精度             |
| 0.0 - 100.0            | 0.1        | ±（5% 读数 + 5 字） |

功率

| 显示范围<br>(W/VAr/VA) | 分辨率<br>(W/VAr/VA) | 精度*             |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| 0.00 - 9.99        | 0.01              | ± (7% 读数 + 1 字) |
| 10.0 - 99.9        | 0.1               |                 |
| 100 - 999          | 1                 |                 |
| 1.00k - 9.99k      | 0.01k             |                 |
| 10.0k - 88.0k      | 0.1k              |                 |

\* (U: 10 - 440V, I: 10mA - 200A)

原理 .....单相，钳位电流  
功率类型 .....W, VAr, VA  
标称输入电压 .....400/230/115V / 50/60Hz  
显示范围 (cosφ) .....0.00 – 1.00  
需考虑附加钳位误差。

电能

| 显示范围<br>W (Wh) | 分辨率<br>(Wh) | 精度              |
|----------------|-------------|-----------------|
| 0.000 - 1.999  | 0.001       | ± (7% 读数 + 1 字) |
| 2.00 - 19.99   | 0.01        |                 |
| 20.0 - 199.9   | 0.1         |                 |
| 200 - 1999     | 1           |                 |
| 2.00k - 19.99k | 0.01k       |                 |

|                |      |  |
|----------------|------|--|
| 20.0k - 199.9k | 0.1k |  |
| 200k - 1999k   | 1k   |  |

计算 .....  $W = \sum P \cdot \Delta t$   
时间间隔 .....预先设置 1min 至 25hr  
标称输入电压 .....400/230/115V/50/60Hz

谐波分析（电压和电流）

电压测量（真有效值）：

| 显示范围<br>U (V)              | 分辨率<br>(V) | 精度              |
|----------------------------|------------|-----------------|
| 10 - 440                   | 1          | ± (5% 读数 + 3 字) |
| 显示范围<br>高达 21 次的谐<br>波 (%) | 分辨率<br>(%) | 精度              |
| 0.0 - 100.0                | 0.1        | ± (5% 读数 + 5 字) |

结果显示 ..... % 总有效值  
标称频率 .....50/60Hz  
需考虑附加钳位误差。

Eurotest 61557 的一般特性

电源 .....6V 直流（4 节 1.5V 电池 IEC LR14）  
测试结果与所设定的高/低极限值的自动比较 .....有  
灯光和声音报警 .....有  
尺寸（宽 × 高 × 深） .....26.5 × 11 × 18.5cm  
重量（不带附件，装有电池） .....2.1kg  
显示屏.....点阵 LCD 带背光照明，128 × 64 点  
存储 .....2000 个测量结果

计算机连接 RS 232  
防护类别 ..... 双绝缘  
过电压类别. .... III 类/300V 或 II 类/600V  
污染级别 .....2  
防护等级 ..... IP 44  
工作温度范围 .....0 - 40 °C  
标称（参考）温度范围.....10 - 30 °C  
最大湿度 ..... 85% 相对湿度（0 - 40°C）  
标称（参考）湿度范围..... 40 - 60% 相对湿度  
自动省电 是

7.2. Instaltest 61557 的技术参数

功能  
绝缘电阻

测量范围 Riso (Un ≥ 250V) ..... (0.008 - 1000) MΩ

| 显示范围<br>Riso (MΩ)<br>Un ≥ 250V | 分辨率<br>(MΩ) | 精度*            |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| 0.000 - 1.999                  | 0.001       | ±(2% 读数 + 2 字) |
| 2.00 - 19.99                   | 0.01        |                |
| 20.0 - 199.9                   | 0.1         |                |
| 200 - 1000                     | 1           | ± (10% 读数)     |

测量范围 Riso (Un < 250V) ..... (0.012 - 199.9) MΩ

| 显示范围<br>Riso (MΩ)<br>Un < 250V | 分辨率<br>(MΩ) | 精度*            |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| 0.000 - 1.999                  | 0.001       | ±(5% 读数 + 3 字) |
| 2.00 - 19.99                   | 0.01        |                |
| 20.0 - 199.9                   | 0.1         |                |

\*若使用 通用测试电缆，则指定的精度有效；若使用触点式测柄，则在 20MΩ 以下时精度有效。

| 显示范围<br>测试电压<br>(V) | 分辨率<br>(V) | 精度              |
|---------------------|------------|-----------------|
| 0 - 1200            | 1          | ± (2% 读数 + 3 字) |

标称测试电压 .....50 - 1000V 直流，分档为 10V  
测试发生器的电流能力  
(Utest > UN 时) ..... >1mA  
短路测试电流 ..... <3 mA  
被测试对象的自动放电... 是

保护导体的连续性

测量范围 R..... (0.08 - 1999) Ω

| 显示范围<br>R (Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0.00 - 19.99  | 0.01       | ± (2% 读数 + 2 字) |
| 20.0 - 199.9  | 0.1        | ± (3% 读数)       |
| 200 - 1999    | 1          |                 |

开路端子测试电压 ..... 4 - 7V 直流  
短路测试电流 ..... > 200mA  
测试线的补偿 (达 5Ω) ..... 有  
声音信号 ..... 有  
自动极性转换 ..... 是  
测量模式 ..... 单次测量  
连续性

| 显示范围<br>R (Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0.0 - 199.9   | 0.1        | ± (3% 读数 + 3 字) |
| 200 - 2000    | 1          |                 |

开路端子测试电压 ..... 4 - 7V 直流

短路测试电流..... < 7mA  
声音信号..... 有  
测量模式..... 连续测量

RCD – 一般数据

标称差动  
电流..... 10、30、100、300、500 和 1000 mA  
实际差动电流的精度：  
-0 / +0.1·IΔ; IΔ = IΔN, 2·IΔN, 5·IΔN  
-0.1·IΔN / +0; IΔ = 0.5·IΔN  
实际差动电流的精度..... (-0 / +0.1) IΔN  
测试电流波形..... 正弦波  
测试电流开始位置..... 0° 或 180°  
RCD 类型..... 标准型或选择型

RCD – 接触电压 Uc

测量范围 Uc..... (10 - 100) V

| 显示范围<br>Uc (V) | 分辨率<br>(V) | 精度*                     |
|----------------|------------|-------------------------|
| 0.00 - 9.99    | 0.01       | (-0 / + 10) % 读数 ± 0.2V |
| 10.0 - 100.0   | 0.1        | (-0 / + 10) % of r.     |

\*精度在以下情况下有效：  
市电电压在测试中稳定  
PE 端子处无干扰电压

测量原理..... 不使用辅助探头  
测试电流..... < 0.5 IΔN  
极限接触电压..... 25 或 50V  
接触电压根据 IΔN (标准型) 或 2IΔN (选择型) 计算得到。

RCD – 故障回路电阻 RL

| 显示范围<br>RL (Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度                                  |
|----------------|------------|-------------------------------------|
| 0.00 - 19.99   | 0.01       | 考虑 Uc 和 IΔN<br>的精度<br>RL = Uc / IΔn |
| 20.0 - 199.9   | 0.1        |                                     |
| 200 - 1999     | 1          |                                     |
| 2.00k - 10.00k | 0.01k      |                                     |

计算..... RL = Uc / IΔN  
测量原理..... 不使用辅助探头  
测量电流..... < 0.5 IΔN

RCD – 跳闸时间

测量电流..... 0.5 IΔN, IΔN, 2 IΔN, 5 IΔN  
(若 IΔN = 1000mA, 则不能使用乘数 5)

测量范围 t (G 型)..... (0ms – 显示上限)

| 显示范围<br>t (ms) G 型       | 分辨率<br>(ms) | 精度   |
|--------------------------|-------------|------|
| 0 - 300<br>(1/2IΔN, IΔN) | 1           | ±3ms |
| 0 - 150 (2IΔN)           | 1           |      |
| 0 - 40 (5IΔN)            | 1           |      |

测量范围 t (S 型)..... (0ms – 显示上限)

| 显示范围<br>t (ms) S 型       | 分辨率<br>(ms) | 精度   |
|--------------------------|-------------|------|
| 0 - 500<br>(1/2IΔN, IΔN) | 1           | ±3ms |
| 0 - 200 (2IΔN)           | 1           |      |
| 0 - 150 (5IΔN)           | 1           |      |

RCD – 跳闸电流

测量范围  $I_{\Delta}$  ..... (0.2 - 1.1)  $I_{\Delta N}$

| 显示范围 $I_{\Delta}$                       | 分辨率                 | 精度                     |
|-----------------------------------------|---------------------|------------------------|
| 0.2 $I_{\Delta N}$ - 1.1 $I_{\Delta N}$ | 0.05 $I_{\Delta N}$ | $\pm 0.1 I_{\Delta N}$ |

测量范围  $t_{\Delta}$  ..... (10 - 300) ms

| 显示范围 $t_{\Delta}$ (ms) | 分辨率 (ms) | 精度        |
|------------------------|----------|-----------|
| 0 - 300                | 1        | $\pm 3ms$ |

测量范围  $U_{ci}$  ..... (10 - 100) V

| 显示范围 $U_{ci}$ (V) | 分辨率 (V) | 精度*                         |
|-------------------|---------|-----------------------------|
| 0.00 - 9.99       | 0.01    | (-0/+10) % 读数<br>$\pm 0.2V$ |
| 10.0 - 100.0      | 0.1     | (-0/+10) % 读数               |

\*在以下情况下精度有效：  
市电电压在测量中稳定  
PE 端子处无干扰电压

$U_{ci}$  电压根据跳闸电流  $I_{\Delta}$  计算得到

故障回路电阻和预期短路电流

测量范围  $RL-PE$  ..... (0.20 - 1999)  $\Omega$

| 显示范围 $RL-PE$ ( $\Omega$ ) | 分辨率 ( $\Omega$ ) | 精度                                   |
|---------------------------|------------------|--------------------------------------|
| 0.00 - 19.99              | 0.01             | $\pm (5\% \text{ 读数} + 5 \text{ 字})$ |
| 20.0 - 199.9              | 0.1              |                                      |
| 200 - 1999                | 1                |                                      |

| 显示范围 $I_{psc}$ (A) | 分辨率 (A) | 精度             |
|--------------------|---------|----------------|
| 0.06 - 19.99       | 0.01    | 考虑 $RL-PE$ 的精度 |
| 20.0 - 199.9       | 0.1     |                |
| 200 - 1999         | 1       |                |
| 2.00k - 19.99k     | 10      |                |
| 20.0k - 24.4k      | 100     |                |

$I_{psc}$  计算: .....  $I_{psc} = UN \cdot 1.06 / RL-PE$   
 $UN = 115V$ ; ( $100V \leq UL-PE < 160V$ )  
 $UN = 230V$ ; ( $160V \leq UL-PE \leq 264V$ )  
最大测量电流 (230V 时) ..... 2.5A  
标称电压范围 ..... 100 - 264V / 45 - 65Hz  
线路阻抗和预期短路电流

测量范围  $RL-N$  ..... (0.20 - 1999)  $\Omega$

| 显示范围 $RL-N$ ( $\Omega$ ) | 分辨率 ( $\Omega$ ) | 精度                                   |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|
| 0.00 - 19.99             | 0.01             | $\pm (5\% \text{ 读数} + 5 \text{ 字})$ |
| 20.0 - 199.9             | 0.1              |                                      |
| 200 - 1999               | 1                |                                      |

| 显示范围 $I_{psc}$ (A) | 分辨率 (A) | 精度            |
|--------------------|---------|---------------|
| 0.06 - 19.99       | 0.01    | 考虑 $RL-N$ 的精度 |
| 20.0 - 199.9       | 0.1     |               |
| 200 - 1999         | 1       |               |
| 2.00k - 19.99k     | 10      |               |
| 20.0k - 24.4k      | 100     |               |

Ip<sub>sc</sub> 计算: .....Ip<sub>sc</sub> = UN·1.06 / RL-N  
UN = 115V; (100V ≤ UL-N < 160V)  
UN = 230V; (160V ≤ UL-N ≤ 264V)  
最大测试电流 (230V 时) ..... 2.5 A  
标称电压范围 ..... 100 - 264V / 45 - 65Hz

相位旋转

标称市电电压范围..... 100 - 440V  
显示的结果 ..... 1.2.3 或 2.1.3

电压

| 显示范围<br>U (V) | 分辨率<br>(V) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0 - 264       | 1          | ± (2% 读数 + 2 字) |

标称频率范围 ..... 45 – 65Hz

频率

| 显示范围<br>f (Hz) | 分辨率<br>(Hz) | 精度                |
|----------------|-------------|-------------------|
| 45.0 - 65.0    | 0.1         | ± (0.1% 读数 + 1 字) |

标称电压范围        10 - 440V

压敏电阻过电压保护装置 (击穿电压)

| 显示范围<br>U (V) | 分辨率<br>(V) | 精度 |
|---------------|------------|----|
|---------------|------------|----|

|          |   |                 |
|----------|---|-----------------|
| 0 - 1000 | 1 | ± (5% 读数 + 10V) |
|----------|---|-----------------|

测量原理 ..... 直流斜坡电压  
测试电压斜率 ..... 500V/s  
阈值电流 ..... 1mA

故障/熔断器/导体故障检寻仪

原理 ..... 线路加载或施加测试信号  
加载 (市电电压范围 30 - 264V/45 - 65Hz) :

Is < 1A 脉冲  
fs = 3600Hz

施加信号 (无电压安装) :

Us < 7V 脉冲  
fs = 3600Hz

Isc < 50mA 脉冲

电压记录

最后结果 .....UAVG, Umax/Nmax, Umin/Nmin  
输入电压范围 ..... 0 - 440V  
采样间隔时间 ..... 1s - 99s, 分档 1s  
总样点数 ..... 1 - 1999

Instaltest 61557 的一般特性

电源 .....6V 直流 (4 节 1.5V 电池 IEC LR14)  
测试结果与所设定的高/低极限值的自动比较 ..... 是  
灯光和声音报警 ..... 有  
尺寸 (宽 × 高 × 深) ..... 26.5 × 11 × 18.5cm  
重量 (不带附件, 装有电池) ..... 1.8kg  
显示屏 ..... LCD 带背光照明  
存储 ..... 1000 个测量值  
计算机连接 ..... RS 232  
保护类别 ..... 双绝缘

过电压类别. .... III 类/300V 或 II 类/600V  
污染级别 .....2  
防护等级 ..... IP 44  
工作温度范围 .....0 - 40 °C  
标称（参考）温度范围.....10 - 30 °C  
最大湿度 ..... 85% 相对湿度（0 - 40°C）  
标称（参考）湿度范围..... 40 - 60% 相对湿度  
自动省电..... 是

7.3. 接地-绝缘测试仪的技术参数  
功能

绝缘电阻

测量范围 Riso（Un ≥ 250V） .....（0.008 - 29.9k）MΩ

| 显示范围<br>Riso（Ω）<br>Un ≥ 250V | 分辨率<br>（MΩ） | 精度*               |
|------------------------------|-------------|-------------------|
| 0.000M - 1.999M              | 0.001       | ±（2% 读数 +<br>2 字） |
| 2.00M - 19.99M               | 0.01        |                   |
| 20.0M - 199.9M               | 0.1         |                   |
| 200M - 1999M                 | 1           | ±（10% 读数）         |
| 2.00G - 19.99G               | 10          |                   |
| 20.0G - 29.9G                | 100         |                   |

测量范围 Riso（Un < 250V） .....（0.012 - 199.9）MΩ

| 显示范围<br>Riso（Ω）<br>Un < 250V | 分辨率<br>（MΩ） | 精度*               |
|------------------------------|-------------|-------------------|
| 0.000M - 1.999M              | 0.001       | ±（5% 读数 +<br>3 字） |
| 2.00M - 19.99M               | 0.01        |                   |
| 20.0M - 199.9M               | 0.1         |                   |

\*若使用 **通用测试电缆**，则指定的精度有效；若使用触点式测柄，则在 20MΩ 以下时精度有效。

|              |            |    |
|--------------|------------|----|
| 显示范围<br>测试电压 | 分辨率<br>（V） | 精度 |
|--------------|------------|----|

|          |   |                |
|----------|---|----------------|
| （V）      |   |                |
| 0 - 1200 | 1 | ±（2% 读数 + 3 字） |

标称测试电压 ..... 50 - 1000V 直流，分档 10 V

测试发生器的电流能力

（Utest > UN 时） ..... >1mA

短路测试电流 ..... <3mA

被测试对象的自动放电... 是

保护导体的连续性

测量范围 R （0.08 - 1999）Ω

| 显示范围<br>R（Ω） | 分辨率<br>（Ω） | 精度             |
|--------------|------------|----------------|
| 0.00 - 19.99 | 0.01       | ±（2% 读数 + 2 字） |
| 20.0 - 199.9 | 0.1        | ±（3% 读数）       |
| 200 - 1999   | 1          |                |

开路端子测试电压 ..... 4 - 7V 直流

短路测量电流 ..... > 200mA

测试线的补偿（达 5Ω） ..... 有

声音信号 ..... 有

自动极性转换 ..... 是

测量方式 ..... 单次测量

连续性

| 显示范围<br>R（Ω） | 分辨率<br>（Ω） | 精度             |
|--------------|------------|----------------|
| 0.0 - 199.9  | 0.1        | ±（3% 读数 + 3 字） |
| 200 - 1999   | 1          |                |

开路端子测试电压 ..... 4 - 7V 直流

短路测试电压 ..... < 7mA

声音信号 (R > 20Ω) ..... 有  
测量方式 ..... 连续测量

接地电阻，四线法

测量范围 RE ..... (0.11 - 19.99k) Ω

| 显示范围<br>(Ω)    | 分辨率<br>(Ω) | 精度              |
|----------------|------------|-----------------|
| 0.00 - 19.99   | 0.01       | ± (2% 读数 + 3 字) |
| 20.0 - 199.9   | 0.1        |                 |
| 200 - 999      | 1          |                 |
| 1.000 - 1.999  | 1          |                 |
| 2.00k - 19.99k | 10         | ± (5% 读数)       |

附加峰值电阻误差  
在 Rc max. 或 Rp max 时 ..... ± (3% 读数 + 5 字)  
Rc max. .... (4kΩ + 100RE) 或  
50kΩ (取较小值)  
Rp max. .... (4kΩ + 100RE) 或  
50kΩ (取较小值)  
在 20V 电压噪声 (50Hz)  
时的附加误差 ..... ± (5% 读数 + 10 字)  
开路端子测试电压 ..... 40V 交流  
测试电压波形 ..... 正弦波  
测试电压频率 ..... 125/150Hz  
短路测试电流 ..... < 20mA  
电流和电位测试探头  
电阻的自动测试 ..... 是  
电压噪声的自动测试 ..... 是  
使用一个夹钳并结合四线法进行接地电阻测试  
除了显示和测量范围之外，所有使用四线法

的技术数据都是有效的，参见以下修改后的数据。

测量范围 RE ..... (0.11 - 1.99k) Ω

| 显示范围<br>(Ω)   | 分辨率<br>(Ω) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0.00 - 19.99  | 0.01       | ± (2% 读数 + 3 字) |
| 20.0 - 199.9  | 0.1        |                 |
| 200 - 999     | 1          |                 |
| 1.00k - 1.99k | 10         |                 |

附加技术参数：  
  
市电电压 (50Hz) 产生的 3A 噪声电流下的附加误差 ± (5% 读数 + 10 字)  
噪声电流指示 ..... >2.4A  
电阻比的附加误差 ..... Rpartial/Rtotal · 1%  
Rpartial = 用夹钳测量的电阻  
Rtotal = 接地系统的总电阻  
在低钳位电流时的指示 ..... < 0.5 mA  
噪声电流的自动测试 ..... 是  
需考虑附加钳位误差。

使用两个夹钳测量的接地电阻

测量范围 RE ..... (0.08 - 100) Ω

| 显示范围 RE<br>(Ω) | 分辨率<br>(Ω) | 精度*              |
|----------------|------------|------------------|
| 0.00 - 19.99   | 0.01       | ± (10% 读数 + 2 字) |
| 20.0 - 100.0   | 0.1        | ± (20% 读数)       |

\*测试夹钳间的距离 >30cm  
  
市电电压 (50Hz) 产生的 3A 噪声电流下的附加误差 ± (10% 读数 + 10 字)  
噪声电流的自动测试 ..... 是

需考虑附加钳位误差。

比接地电阻（电阻率）

除显示范围之外，所有使用四线法的技术数据都是有效的，参见下表。

| 显示范围<br>ρ (Ωm)                                          | 分辨率<br>(Ωm) | 精度                           |
|---------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|
| 0.00 - 19.99                                            | 0.01        | 考虑 RE 测量的精度<br><br>ρ = 2πaRE |
| 20.0 - 199.9                                            | 0.1         |                              |
| 200 - 1999                                              | 1           |                              |
| 2.00k - 19.99k                                          | 10          |                              |
| 20.0k - 199.9k                                          | 0.1k        |                              |
| 200k - 999k<br>(a < 8m)<br><br>200k - 1999k<br>(a ≥ 8m) | 1k          |                              |

| 显示范围<br>ρ (Ωft)                                           | 分辨率<br>(Ωft) | 精度                           |
|-----------------------------------------------------------|--------------|------------------------------|
| 0.00 - 19.99                                              | 0.01         | 考虑 RE 测量的精度<br><br>ρ = 2πaRE |
| 20.0 - 199.9                                              | 0.1          |                              |
| 200 - 1999                                                | 1            |                              |
| 2.00k - 19.99k                                            | 10           |                              |
| 20.0k - 199.9k                                            | 0.1k         |                              |
| 200k - 999k<br>(a < 8ft)<br><br>200k - 1999k<br>(a ≥ 8ft) | 1k           |                              |

接地桩间的距离 ..... 1 至 30m 或 1 至 60ft

交流/直流电压

| 显示范围<br>U (V) | 分辨率<br>(V) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0 ÷ 600       | 1          | ± (2% 读数 + 2 字) |

标称频率范围 ..... 45 – 65Hz，直流

电流（真有效值）

| 显示范围<br>I (A) | 分辨率<br>(A) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0.0m - 99.9m  | 0.1m       | ± (5% 读数 + 3 字) |
| 100m - 999m   | 1m         | ± (5% 读数)       |
| 1.00 - 9.99   | 0.01       |                 |
| 10.0 - 99.9   | 0.1        |                 |
| 100 - 200     | 1          |                 |

输入电阻 ..... 10Ω/1W

测量原理 ..... 电流钳 1A/1mA

标称频率 ..... 50/60Hz

需考虑附加钳位误差。

压敏电阻过电压保护装置 – 击穿电压

| 显示范围<br>U (V) | 分辨率<br>(V) | 精度              |
|---------------|------------|-----------------|
| 0 - 1000      | 1          | ± (5% 读数 + 10V) |

测量原理 ..... 直流电压斜坡  
测试电压斜率 .....500V/s  
阈值电流 .....1mA

**一般特性**

电源 .....6V 直流（4 节 1.5V 电池 IEC LR14）  
测试结果与所设定的高/低极限值的自动比较 ..... 有  
灯光和声音报警 ..... 有  
尺寸（宽 × 高 × 深） .....26.5 × 11 × 18.5cm  
重量（不带附件，装有电池） ..... 1.7kg  
显示屏..... LCD 带背光照明  
存储 .....1000 个测量值  
计算机连接 RS 232  
防护分类 ..... 双绝缘  
过电压类别. . . . . III 类/300V 或 II 类/600V  
污染级别 .....2  
防护等级 ..... IP 44  
工作温度范围 .....0 - 40 °C  
标称（参考）温度范围.....10 - 30 °C  
最大湿度 ..... 85% 相对湿度（0 - 40°C）  
标称（参考）湿度范围 40 - 60% 相对湿度  
自动省电 .....是

专利

- METREL 在开发其最新系列测试仪器时，已经注册并使用了以下专利：
- ❖ 在噪声信号存在下测量接地电阻的专利。
  - ❖ 接触电压测量的专利。
  - ❖ 在测试 FI 保护装置时测试电流发生的方法专利。
  - ❖ 关于如何防止测试电缆和通信电缆双重连接的专利。
  - ❖ 测量线路和回路阻抗和预期短路电流的方法专利。

由 METREL 生产的仪器之重要参数的交叉参考数据

| 参数                    | Eurotest<br>61557 | Instaltest<br>61557 | 接地-绝缘测试<br>仪     |
|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| 绝缘电阻                  | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 显示范围                  | 0.001 –<br>1000MΩ | 0.001 –<br>1000MΩ   | 0.001M –<br>30GΩ |
| 测试电压 50V              | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 测试电压 100V             | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 测试电压 250V             | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 测试电压 500V             | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 测试电压 1000V            | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 可选测试电压（50 –<br>1000V） | /                 | ✓                   | ✓                |
| 压敏电阻过电压保护装置的测试        | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 测试范围（连续）              | 0 – 1000V         | 0 – 1000V           | 0 – 1000V        |
| 保护导体的连续性              | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 显示范围                  | 0.01 –<br>2000Ω   | 0.01 – 2000Ω        | 0.01 – 2000Ω     |
| 自动极性转换                | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 测试线的补偿                | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 可能的电感负载测试             | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 声音信号                  | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 低电阻<br>（连续测量）         | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 显示范围                  | 0.01 –<br>2000Ω   | 0.01 – 2000Ω        | 0.01 – 2000Ω     |
| 声音信号                  | ✓                 | ✓                   | ✓                |
| 接地电阻（内部电源）            | ✓                 | /                   | ✓                |
| 显示范围                  | 0.01Ω –<br>20kΩ   | /                   | 0.01Ω – 20kΩ     |
| 测量原理                  | 4 个端子，2           | /                   | 4 个端子，2 个        |

|                               |                      |                      |              |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|--------------|
|                               | 个探头                  |                      | 探头           |
| 测试电压波形                        | 正弦波                  | /                    | 正弦波          |
| 使用单测试夹钳进行测量                   | ✓                    | /                    | ✓            |
| 使用双测试夹钳进行测量                   | ✓                    | /                    | ✓            |
| Rc 和 Rp 的自动测试                 | ✓                    | /                    | ✓            |
| 高抗干扰信号性能                      | ✓（专利）                | /                    | ✓（专利）        |
| 接地电阻率（比接地电阻）                  | ✓                    | /                    | ✓            |
| 显示范围                          | 0 – 2.5MΩm           | /                    | 0 – 1999kΩm  |
| 测量原理                          | 4 个端子, 4 个探头         | /                    | 4 个端子, 4 个探头 |
| 接地桩间距离                        | 1 – 30m              | /                    | 1 – 30m      |
| RCD 保护开关 – 一般                 | ✓                    | ✓                    | /            |
| 标称差动电流                        | ✓                    | ✓                    | /            |
| 0.01; 0.03; 0.1; 0.3; 0.5; 1A |                      |                      |              |
| 保护开关的类型                       | 交流                   | 交流                   | /            |
| 标准和选择开关                       | ✓                    | ✓                    | /            |
| 测试结果的自动评价                     | ✓                    | ✓                    | /            |
| 接触电压（专利）                      | ✓                    | ✓                    | /            |
| 显示范围                          | 0 – 100V             | 0 – 100V             | /            |
| 测量电流                          | < 0.5 IΔn            | < 0.5 IΔn            | /            |
| 不使用辅助测试探头进行测量                 | ✓                    | ✓                    | /            |
| 使用辅助测试探头进行测量                  | ✓                    | /                    | /            |
| 连接的辅助测试探头的自动识别                | ✓                    | /                    | /            |
| 极限接触电压                        | 25 或 50V             | 25 或 50V             | /            |
| 跳闸时间                          | ✓                    | ✓                    | /            |
| 显示范围                          | 0 – 300ms            | 0 – 300ms            | /            |
| 测试电流                          | (1/2, 1, 2, 5) × IΔn | (1/2, 1, 2, 5) × IΔn | /            |
| 跳闸电流                          | ✓                    | ✓                    | /            |

|                            |                   |                   |   |
|----------------------------|-------------------|-------------------|---|
| 显示范围                       | 0.2 IΔn – 1.1 IΔn | 0.2 IΔn – 1.1 IΔn | / |
| 上升电流                       | 分档为 0.05 IΔn      | 分档为 0.05 IΔn      | / |
| 接地电阻（外部电源）                 | ✓                 | ✓                 | / |
| 显示范围                       | 0.01Ω – 2kΩ       | 0.01Ω – 2kΩ       | / |
| 测量电流                       | < 0.5 IΔn         | < 0.5 IΔn         | / |
| 不使用辅助测试探头进行测量              | ✓                 | ✓                 | / |
| 使用辅助测试探头进行测量               | ✓                 | /                 | / |
| 连接的辅助测试探头的自动识别             | ✓                 | /                 | / |
| 自动测试 RCD                   | ✓                 | ✓                 | / |
| 故障回路阻抗                     | ✓                 | （电阻）              | / |
| 显示范围                       | 0.01Ω – 2kΩ       | 0.01 Ω – 2kΩ      | / |
| 测试电流                       | 23A; 2.3 A        | 2.5 A             | / |
| 测试结果的自动评价                  | ✓                 | ✓                 | / |
| 使用辅助测试探头，在预期短路电流下测量接触电压    | ✓                 | /                 | / |
| 预期短路故障回路电流                 | ✓                 | ✓                 | / |
| 显示范围                       | 0 – 23kA          | 0 – 23kA          | / |
| 线路阻抗                       | ✓                 | （电阻）              | / |
| 显示范围                       | 0.01Ω – 2kΩ       | 0.01Ω – 2kΩ       | / |
| ZL-N（230V）                 | ✓                 | ✓                 | / |
| ZL-L（400V）                 | ✓                 | ✓                 | / |
| 预期短路线路电流                   | ✓                 | ✓                 | / |
| 显示范围                       | 0 – 40kA          | 0 – 40kA          | / |
| N - PE 回路电阻（不带跳闸 RCD 保护开关） | ✓                 | /                 | / |
| 显示范围                       | 0.01 – 2000Ω      | /                 | / |

|            |             |           |            |
|------------|-------------|-----------|------------|
| 相位旋转       | ✓           | ✓         | /          |
| 电流（带电流钳）   | ✓           | /         | ✓          |
| 显示范围（两个范围） | 1mA – 200A  | /         | 1mA – 200A |
| 电压         | ✓           | ✓         | ✓          |
| 显示范围       | 1V – 440V   | 1V – 440V | 1V – 600V  |
| 电压记录       | /           | ✓         | /          |
| 频率         | /           | ✓         | /          |
| 显示范围       | /           | 45 – 65Hz | /          |
| 安装跟踪       | ✓           | ✓         | /          |
| 安装欠电压      | ✓           | ✓         | /          |
| 无电压安装      | ✓           | ✓         | /          |
| 有功功率       | ✓           | /         | /          |
| 显示范围       | 0 – 88 kW   | /         | /          |
| 无功功率       | ✓           | /         | /          |
| 显示范围       | 0 – 88 kW   | /         | /          |
| 视在功率       | ✓           | /         | /          |
| 显示范围       | 0 – 88kW    | /         | /          |
| 电能         | ✓           | /         | /          |
| 显示范围       | 0 – 1999kWh | /         | /          |
| 谐波分析       | ✓           | /         | /          |
| 显示范围       | 最高 n = 21   | /         | /          |

|           |                     |                  |                  |
|-----------|---------------------|------------------|------------------|
| 一般        |                     |                  |                  |
| RS 232 通信 | ✓                   | ✓                | ✓                |
| 存储        | ✓                   | ✓                | ✓                |
| 显示屏       | 图形 LCD<br>75 × 42mm | LCD<br>75 × 42mm | LCD<br>75 × 42mm |
| 显示屏背光照明   | ✓                   | ✓                | ✓                |
| 声音报警      | ✓                   | ✓                | ✓                |
| 自动省电      | ✓                   | ✓                | ✓                |
| PE – 测试电极 | ✓                   | /                | /                |

|                |   |   |   |
|----------------|---|---|---|
| 通过因特网进行可能的软件升级 | ✓ | / | / |
| Windows 兼容软件   | ✓ | ✓ | ✓ |

如有任何与电气安装测量以及 METREL d.d. 生产的测量设备有关的问题、建议和评论，请通过以下方法进行联系：

传真：++386 61 / 749 226

E – mail: metrel@metrel.si

公司网址: <http://www.metrel.si>