接地故障保护和变频器

变频器为高电阻接地系统中的小电流接地故障创造了一个盲点



技术文件

Littelfuse®

Expertise Applied | Answers Delivered

概述

死亡和伤害使得接地 (对地) 故障成为需要减轻的最重要危险之一。高电阻接地为设备和人员提供了显著保护。然而，很遗憾，在电阻接地系统中使用变频器 (VFD) 时，除非对设备进行相应调整，否则系统可能无法有效检测小电流接地故障。

在高电阻接地系统中使用变频器时，很容易无法检测到小电流接地故障直接接地系统中的接地短路会产生大电流，可能会损坏设备并需要关闭系统，这不仅不方便，而且代价高昂。

如果未被检测到，接地故障会带来严重的电击和电弧闪光危险。在恶劣环境中使用大功率或可移动设备的应用 (例如地下矿井) 中，接地故障尤其严重。

高电阻接地系统的好处

高电阻接地系统消除了许多接地故障问题，包括第一次单相接地故障时发生电弧闪光的可能性。

在高电阻接地系统中，变压器的中性点通过中性接地电阻器接地 (参见**图 1**)，这会将接地故障电流限制在一个较低的值。这个过程做了三件重要事情：

1. 它限制了故障点损坏。
2. 它降低了设备机架上的接地故障电压。
3. 它消除了第一次单相接地故障期间电弧闪光的可能性。(高电阻接地系统可防止接地故障发生电弧闪光，从而消除95%电气故障发生电弧闪光的可能性。)

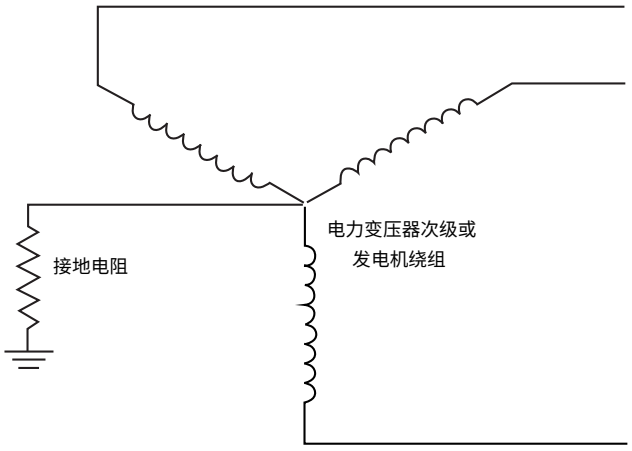


图1: 在高电阻接地系统中，变压器的中性点 (或曲折变压器的人工中性点) 连接到

本文将解释高电阻接地系统的工作原理，并讨论在高电阻接地系统中使用变频器时检测接地故障的挑战和解决方案。通过中性接地电阻接地。

感应接地故障

电流感应接地故障继电器 (也称为接地漏电继电器)，用于检测接地系统中的接地故障，必须足够灵敏，以测量低于中性点接地电阻器 (NGR) 额定值且远低于典型短路电流值的电流。

此外，电流感应接地故障继电器使用零序电流互感器 (也称为磁势平衡电流互感器) 来检测任何不应流动的电流。

当所有载流导体通过电流互感器窗口时，窗口式电流互感器被称为零序电流互感器。如果没有接地故障，那么电流互感器的输出将为零。如果存在接地故障，则电流矢量和不会相加为零。该值将被检测到，并触发报警信号或使故障部分跳闸。

© 2022 Littelfuse, Inc.

限制因素

许多因素会限制系统测量低值接地故障电流的能力。这些包括系统电容、充电电流、电压不平衡、电流互感器限制，以及变频器引起的不规则性（如谐波和开关频率）。

系统电容

所有电气系统都有单相接地电容，可将其建模为“集总”值（参见**图2**）。
如果接地系统中所有三相上的电容相等，则三相上的零序电流互感器将读数为零。

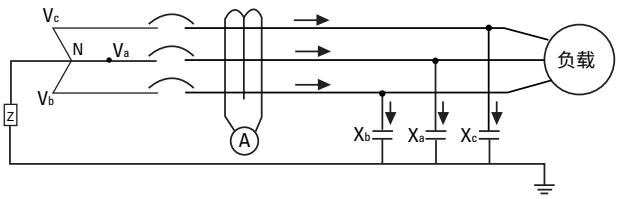


图2： 如果所有三相上的分布电容相等，则三相上的磁势平衡电流互感器的读数将为零，但如果电容或相对地电压不相等，则电流互感器将具有非零输出。

然而，如果电容或相对地电压不相等，则电流互感器将具有非零输出。如果不增加跳闸阈值，则可能会发生误跳闸。虽然可以通过提高跳闸阈值设置来避免这种情况，但这样做会降低系统检测潜在破坏性小电流接地故障的能力。

系统的分布电容越不均匀，就越需要设置跳闸阈值以避免误跳闸。过多的系统电容会使人员保护变得困难，如果使用变频器，高电阻接地系统的电容会增加。这在很大程度上解释了为什么在高电阻接地系统中使用变频器时通常无法实现人员保护级别。

充电电流

当未接地系统中的一相对地短路时，电容性充电电流将流经电容，使其他两相接地（参见**图3**）。[1]

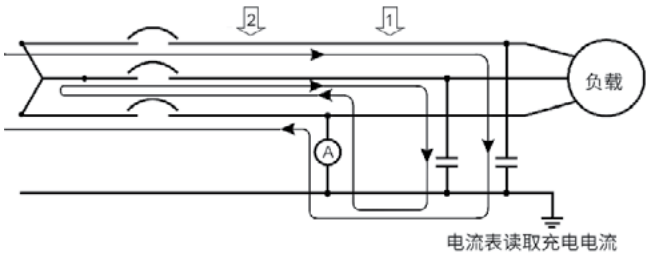


图3： 当未接地系统的一相对地短路时，电流将流经其他两相的对地电容。该充电电流可能足够大，从而导致在未故障的馈线上引起感应跳闸。

电压不平衡

如果三相的线电压不相等，则通过相电容的电流将不相等。这将产生稳态零序电流。这种电压不平衡可能是单相电力负载不平衡的结果，这可能会影响低值接地故障电流检测。值得注意的是，在不存在接地泄漏的情况下，不平衡负载电流不会导致接地故障跳闸，因为磁势平衡电流互感器中的相电流相加为零。

电流互感器限制

电流互感器在低电流和高电流方面都受到限制。在低电流的情况下，有一个最小的一次电流输出，在某些情况下，这可能需要使用专门的零序电流互感器。

对于大电流，可能会出现磁心饱和和输出不再与一次电流成比例的问题。即使一次电流不过大，如果一次导体放置不当，或者如果有较大的浪涌电流，变压器磁芯的部分也可能饱和。这会阻止平衡电流正确求和，并在没有零序电流时产生输出。

减少这种影响的一种方法是使用磁通调节器，这是一种磁导套管，安装在电流互感器的窗口中，减少局部饱和。将相导体集中在电流互感器窗口中是有益的，当每相使用多个导体时，将它们捆绑成ABC、ABC等是很重要的，而不是AA、BB、CC等。

1 “1”处的磁势平衡电流互感器将测量充电电流，而“2”处的磁势平衡电流互感器将测量零。该充电电流可能足够大，从而导致接地故障继电器在无故障馈线上运行。为了避免这种所谓的同感跳闸，这些馈线上的保护必须设置在充电电流水平之上；如果可接受同步操作，则可将保护级别设置得更低。

© 2022 Littelfuse, Inc.

电机浪涌电流

电机启动可能会出现问题，因为您无法预测开关将在交流循环中闭合的位置。电流的突然变化，如电机的浪涌电流，会导致瞬时直流偏移，这将导致零序电流互感器的临时输出电流。可以通过增加接地故障继电器的跳闸延迟或使用数字滤波器抑制直流分量来纠正此问题。

集成变频器到高电阻接地系统中的挑战

变频器可以对电机速度进行精细控制，从而节约能源成本，是工业应用的热门选择。

然而，变频器必须正确应用于高电阻接地系统。这是因为在许多变频器中，只有当接地电流达到固定值（通常不低于满载电流的20%）时，内置接地故障保护才会跳闸。

为了使变频器在高电阻接地系统中安全使用，接地故障继电器必须具有灵敏的宽带交流和直流接地保护。

但是，在高电阻接地系统中，接地故障电流被限制在一个很小的值（通常只有几安培），这意味着驱动器不会看到足够的故障电流来触发接地故障。即使在较低故障值，未检测到的接地故障最终也可能导致严重的设备损坏，如果在单独的相位上发生额外的接地故障，甚至会导致电弧闪光事件。专用且指定正确的接地故障继电器可以解决此问题，但该继电器必须适合解决此问题。

传统的接地故障继电器检测电源线频率（50 或 60 Hz）及以上的接地故障电流。高端接地故障继电器过滤高频以防止谐波噪声跳闸。变频器应用通常在0 Hz至120 Hz（或更高）范围内运行。然而，大多数接地故障继电器不能在低输出频率（低于大约 20 Hz）下工作——更不用说直流了。这使得在同一系统上通过带有变频器的标准接地故障继电器获得全面保护变得具有挑战性。

虽然确实存在直流接地故障继电器，但大多数都无法检测到交流故障。因此，直流接地故障继电器不适用于带有变频器的系统保护。

为了使变频器在高电阻接地系统中安全使用，接地故障继电器必须具有灵敏的宽带交流和直流接地故障保护。继电器应该能够测量高达变频器频率输出的直流和交流。Littelfuse EL731 可以通过一个电流互感器来实现这一点，该电流互感器监控 0 到 90 Hz 的电流，从而覆盖标准变频器输出频率（包括直流），同时忽略高频泄漏电流。

谐波电流

变频器的输出波形不是纯正弦波，有几个谐波频率分量（基本输出频率的倍数）。由于容性电抗与频率成反比，高阶谐波电流很容易通过系统电容流向地面。如果电容和电压是平衡的，那么所有三相上的谐波电流将相同并且总和为零，对接地电流没有影响。

然而，不平衡的影响在更高的频率下会被放大。第三次谐波也称为三次谐波（例如 180 Hz，用于以 60 Hz 运行的系统），在更高频率下，三次谐波彼此同相。这会产生足够的接地电流，从而导致接地故障跳闸。通过增加接地故障继电器上的跳闸设置，或使用具有内置数字滤波器的接地故障继电器，可以解决此问题，该滤波器可以抑制三次谐波电流。

变频器的输出可以包括载波频率（或开关频率）组件，这在涉及敏感接地故障保护时会带来额外的挑战。电容和电压不平衡的影响在更高的频率下更大，电流流向并不存在故障的大地。

© 2022 Littelfuse, Inc.

如何检测变频器系统中的低频故障

交流-直流灵敏接地故障继电器（参见**图4**）测量的接地电流低至6 mA，其中一些继电器能够跨宽频谱进行监测（包括直流应用的0 Hz）。

Littelfuse型号EL731基于微处理器的交流-直流灵敏接地故障继电器（也称为接地漏电继电器）最多可与两个灵敏电流互感器一起使用，可监测0 Hz至6000 Hz之间的输出频率。现有的已与早期的Littelfuse灵敏接地故障继电器使用的EFCT系列接地故障电流互感器可与 EL731 继电器一起使用。

Littelfuse EFCT系列的单个接地故障电流互感器提供0 Hz至90 Hz的接地故障保护。如果应用需要测量高频分量（如谐波和高开关频率产生的高频分量），可以添加第二个电流互感器，将EL731的保护范围扩展至6000 Hz。EL731还提供单独的跳闸和报警启动值，每个的设定值范围是从30 mA至5 A。EL731还具有三个可编程输出继电器。

EL731的温度输入与电阻温度检测器和正温度系数装置一起工作，它们通常嵌入电机中。EL731可用于显示温度读数和超温跳闸。可编程输出继电器也可设置为基于温度的报警和跳闸事件。



图4: EL731 是一款灵敏的交流-直流漏电继电器，具有可编程报警和跳闸设置、继电器、模拟和串行输出以及 32 个字符的 OLED 显示屏。

其他功能

EL731的其他功能包括

- 2 x 16字符OLED显示屏
- 电流和温度测量
- 菜单导航按钮
- LED跳闸和报警指示
- 带有前面板和远程复位跳闸存储器自动复位报警和保持跳闸
- 4至20毫安模拟输出
- 带LED指示的电流互感器验证
- 保形涂层电路
- 面板或表面安装
- 参数设置的密码保护
- Modbus TCP、以太网/IP或DeviceNet网络通信
- 易于升级的固件

结论

变频驱动器会使高电阻接地系统难以监测接地故障。然而，现代接地故障继电器能够解决这些问题，并形成更安全、更可靠的电气系统。

参考资料

[1] J.R.Dunki Jacobs等人，《工业电力系统接地设计手册》。

[2] M.F.Baharom, M.H.Jali, M.N.M.Nasir, Z.H.Bohari, S.A.Tarusan，“变速驱动能效性能研究，设置高扬程泵站的变频设计，” 2014 年国际技术管理和新兴技术研讨会，2014 年 5 月，印度尼西亚万隆。提供：IEEE Xplore 数字图书馆。 https://ieeexplore.ieee.org/document/6936528 [查阅日期：2019年10月7日]

© 2022 Littelfuse, Inc.

定义

设备接地导体：提供接地故障电流路径并将设备 N 的通常不带电的金属部件连接在一起并连接到系统接地导体或接地电极导体或两者同时连接的导电路径。

故障电流：当某相导体发生故障时，流向另一相或接地的电流。

地：大地。

接地：连接至地或延伸连接至地的导电体。

接地故障：相导体与地面或设备框架之间的意外接触。当涉及到电气应用时，“接地（ground）”和“地（earth）”这两个词可以互换使用。

接地导体：有意接地的系统或电路导体。

接地故障电流路径：从布线系统上的接地故障点，经过通常不载流的导体、设备或接地，到电源的导电路径。

设备接地故障保护：一种系统，旨在通过使断开装置断开故障电路的所有未接地导体，保护设备免受损坏的线路接地故障电流。这种保护在电流水平低于保护导体免受供电电路过流装置操作损坏所需的电流水平时提供。

接地电极：一种导电物体，通过它与大地建立直接连接。

接地电极导体：用于将系统接地导体或设备连接到接地电极或接地电极系统上的某个点的导体。

谐波：频率为基频整数倍的电压或电流。

加热：当电流通过系统时，系统的每个部分都会产生加热。如果过电流足够大，这几乎会在瞬间发生。这种过电流中的能量以安培平方秒（I2t）为单位进行测量。持续0.01秒的10000 A过电流的热能为1000000 I2t。仅7500 A的电流可以在0.1 s和8 ms（半个电气周期）内熔化#8 AWG铜线。6500 A的电流可以将AWG THHN热塑性绝缘铜线的工作温度从75°C上升到150°C。高于150°C的电流会立即蒸发有机绝缘材料。

过电流：大于设备额定电流或导体载流量的任何电流。这可能由过载、短路或接地故障引起。

不接地：不连接至地或延伸连接至地的导电体。

电压：有关电路任何两个导体之间的最大电位均方根（rms）差。

免责声明通告——提供的信息视为准确可靠。然而，用户应该独立评估自身应用的适用性并测试针对自身应用所选择的各类产品。Littelfuse产品并非针对所有应用而设计，因而可能不适用于所有应用。完整免责声明见 **www.littelfuse.com/product-disclaimer。**

说明

© 2020 Littelfuse, Inc.

有关更多信息，请访问
Littelfuse.com/EL731

© 2022 Littelfuse, Inc.

FORM PF762-MAN
修订版：2-A-010422