

故障电流保护环境下的漏电流

为了提升对操作人员的保护，断路器应用于对电气设备中故障剩余电流的保护越来越多。但是，由于电气系统造成的漏电流，这类断路器常常会在不必要的情况下跳闸。结果造成机器停机和成本增加，然而如果设计时能考虑到高漏电流和有针对性的对策，这些时间和成本是可以避免的。变频器和电源线滤波器是造成接地电流的主要原因，因此应予以特别关注。

除保险丝和断路器外，如今剩余电流动作保护器在电气系统（还可称为漏电保护器（RCD））中的使用越来越多。保险丝主要保护电气系统以防发生短路和火灾，而RCD可为操作人员提供可靠的保护。它们可以监测流到地面的故障电流，比如因不良绝缘引起的故障电流，并在对人员造成伤害前切断电流。RCD的不足之处在于无法区分正常运行中出现的剩余电流和危险故障电流带来的剩余电流。发动机的高效节能运行所需要的变频器尤其容易导致大量剩余电流。



变频器和发动机（资料来源：控制技术公司（Control Techniques AG, 瑞士）

此外，保持电磁兼容性（EMC）所必需的电缆和电源线滤波器的电容也会产生额外的接地电流。因此全部漏电流总量会触发RCD并关闭同一电缆束上的全部负载。这会造成设备停机和造成生产损失，进而产生巨额费用。但目前我们已掌握了应对大量漏电流的措施，能够确保设备高效、安全的运行。

漏电流与故障电流

漏电流是指在正确工作电路中流到

地面或流到外部导电元件的电流。换句话说，电流不会通过中性导线返回。故障电流的情况也是如此，带电导线和返地电流之间出现不良绝缘时就会造成故障电流。即便人员直接碰触带电导线，

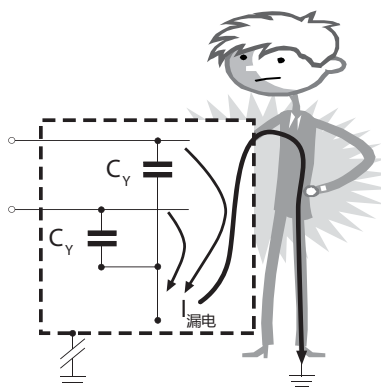


图1: 接地导体断开时漏电流会危及人身安全（资料来源：SCHURTER公司）

故障电流仍会到达地面。此时上游RCD会检测此故障电流并立即断开电路。

与漏电流相反，这种故障电流具有高电阻性，主要是指电容性电抗。但RCD无法区分不同类型的接地电流。因此，当漏电流总量超过跳闸值时它可能已经跳闸。在正常无故障运行中也有可能出现这种情况。

漏电流流量取决于驱动系统的设计以及所采用的电网电压、变频器的脉宽调制频率、电缆长度和干扰滤波器。此外，电网阻抗和系统接地概念会带来重要影响。

变频器的漏电流

在单相和三相变频器中，电网电压首先通过桥接电路进行整流并实现平滑化。因此，依所需发动机速度的不同，变频器生成的输出电压可能在振幅和频率上有所差异。

内部干扰抑制措施以及变频器和发动机电缆中的所有寄生电容导致变频器中出现漏电流。但最大漏电流产生的原因在于变频器的运行方式。变频器使用脉宽调制（PWM）持续控制发动机速度，生成了远远高于50Hz电网频率的漏电流。举例说明，变频器的开关频率可能是4kHz，关联谐波更高频率下会出现非常大的振幅。然后，这些频率会经由发动机电缆到达发动机，因此发动机电缆及其接地屏蔽线发挥了对地电容器的作用。电流通过此电容被转移到地面。因此建议将已滤波电缆和未滤波电缆隔离开来，否则高频干扰信号可能会进入已滤波电缆（参见图2）。

瞬时泄漏电流

另外，系统的开启或关闭也会生成瞬时漏电流。根据相位角，系统开启时，随着电压的迅速提高，会带来急剧上升的电压尖峰。当设备关闭时，电流中的电容率也会造成同样的情况。通过滤波电容器，这些快速电压尖峰生成了到地面的瞬时漏电流。首先启动系统时会导致RCD停止运行。

预防这种情况的方法是使用带有延迟响应特性的RCD。为了不对RCD的安全保护功能造成严重阻碍，这些响应特性

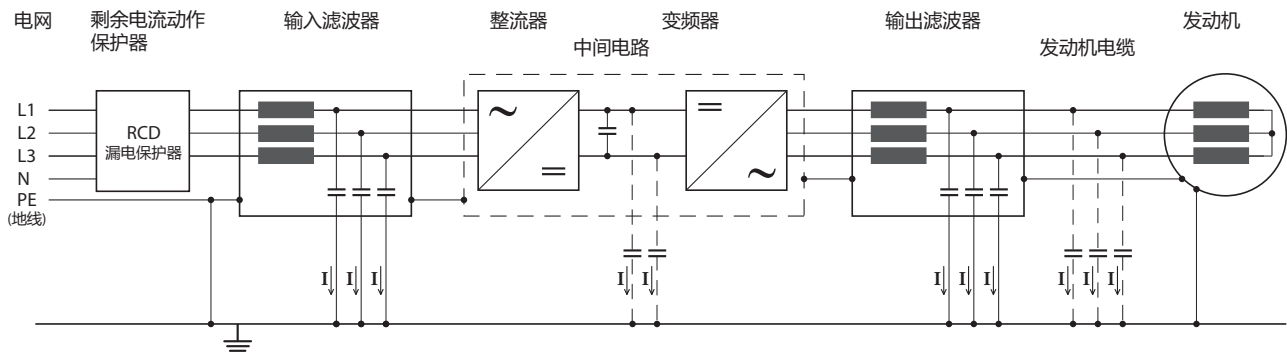


图2: 变频器驱动的发动机的一般漏电流 (资料来源: SCHURTER公司)

的设置范围较窄。B类RCD通常均带有响应延迟。如系统中未嵌入此类RCD, 那么按部就班地启动设备相对简单。这样, 对于由多个组件构成的设备来说, 依次启动多个变频器是有可以实现的。

RCD的属性

RCD的任务是在发生故障时立即中断电流。因此RCD的设计非常多样化。跳闸值为300mA的RCD设备经常用于防火保护, 跳闸值为30mA的RCD适于人体接触。如果因不良绝缘或有人碰触线路达到跳闸值, RCD会立即跳闸。

DIN VDE 0100-410自2007年6月起生效, 规定用于所有20A电源插座电路的故障电流保护装置的最大额定故障电流为30mA。同时也适用于室外便携设备连接的32A电路。与电网非永久性连接的机器或装置同时可与RCD保护下的电气装置相连接, 且可能性相对较大。因此作为制造商, 检查设备的漏电流非常重要。除不同的跳闸值外, 还应注意RCD的多种特性。依据型号的不同, RCD跳闸与否仅取决于正弦故障电流。其它装置对于所有类型的电流均敏感, 还可对这些频率范围在零至数千赫兹范围内的电流进行测量 (参见表1)。

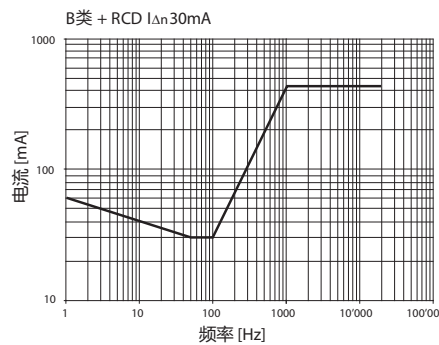


图3: 对所有电流敏感的RCD跳闸特性曲线 (资料来源: SCHURTER公司)

图3显示了对所有电流敏感的B类+RCD的跳闸特性曲线。此断路器可处理所有20kHz及以下的故障电流。50Hz电网频率的规定跳闸值为30mA, 因为最大故障电流可能在此频率范围内产生。跳闸值可以随频率的升高而增大。因此会导致变频器产生高频漏电流。

如无法将系统中的漏电流降低至RCD的响应门限, 则可使用微分RCM (剩余电流测量装置) 替换此装置。此时将系统的最高恒定漏电流 (如, 60mA) 和故障断路器触发值 (30mA) 相加 (90mA) 并将此和用作设定值。RCM允许系统中存在正常漏电流, 但超出上述总限额后会立即做出中断响应。



图4: 测量接地导线电流 (资料来源: SCHURTER公司)

测量漏电流

建议对每台新安装设备的漏电流进行测量。最简单的测量方法是使用钳形电流表测量地面导线的电流 (图4)。

但大多数钳形电流表仅可显示50Hz电流, 因此对电流值进行测量的更好的方式是使用漏电流分析系统。图5显示了在更高频率范围内, 漏电流 (例如: 14mA @ 6kHz) 比50Hz时更大 (6mA @ 50Hz)。基于这样的测量结果, 在初级阶段可能对漏电流的原因进行评估并采取补救措施。在测量漏电流时, 对不同操作条件下的电流进行测量非常重要。具体说来, 发动机速度的变化会对因此产生的漏电流产生重要影响。例如, 如果变频器的开关频率是EMC滤波器谐振频率的倍数, 漏电流可能会明显增大。这将导致滤波器振动进而产生高强度漏电流。

滤波器中的漏电流

在EMC滤波器中, 所有导线的电容器均接线到地。电流通过每个Y电容器持续流动, 电流量取决于电容器、电网电压和频率的规模。在理想的正弦电压三相电网中, 所有这些电流的总和

RCD 类型	符号	故障电流	特性
AC		对交流电流敏感	正弦交流电流
A		对脉冲正弦电流敏感	交流电流脉冲直流电流
B		对所有电流敏感	所有电流达到 2kHz
B+		对所有电流敏感	所有电流达到 20kHz

表1: RCD的特性 (资料来源: SCHURTER公司)

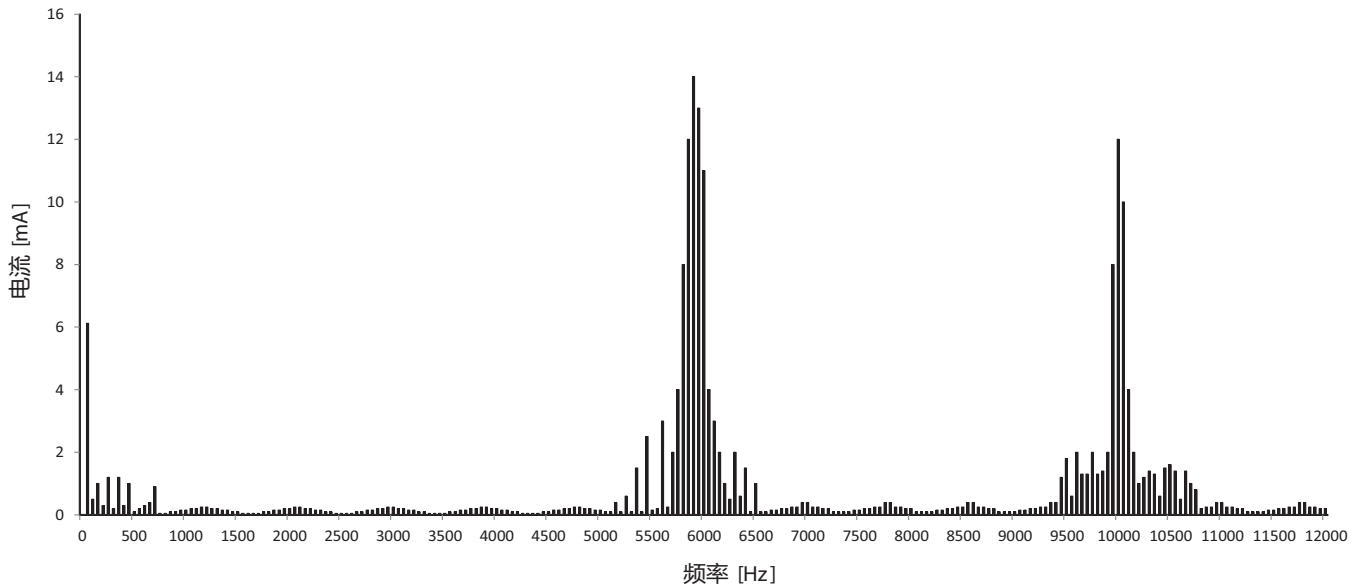


图5: 不同频率范围下的漏电流 (资料来源: SCHURTER公司)

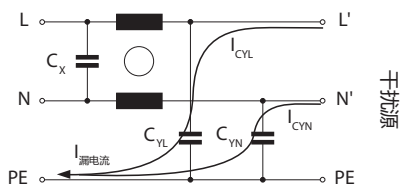


图6: 滤波器中的漏电流 (资料来源: SCHURTER公司)

为零。但事实上由于电网电压的严重失真,会出现持续的漏电流。即使设备并未运行,换句话说,即使电压仅适用于滤波器,漏电流仍然存在。大部分滤波器制造商对最大预计漏电流做出了详细说明,因此用户可以轻松选择最适用的滤波器。但要注意,这些值均为理论值,存在非对称负载或在较高频率下(>50Hz)可能出现偏差。因此建议使用已安装并开始运行的滤波器对接地电流进行测量(参见图6)。

许多变频器与集成滤波器或封装滤波器配套提供。这些滤波器通常构造简单、价格便宜、扼流圈小、相导线对地电容大,会造成较大的漏电流。提高电感即可替代高强度Y电容的滤波效果。例如配有较大Y电容的1阶滤波器必须替换为带有两个扼流圈的2阶滤波器,滤波效果更大,成本更高。

这些滤波器通常还带有EMC合规声明。但这只适用于理想安装和较短的发电



SCHURTER 正弦波输出滤波器 FMAC SINE

机电缆。较长的发电机电缆(如长度10米)需要进行新的EMC测试。发电机电缆较长还会生成较大的对地电容,反过来会导致更大的漏电流。这些额外的非对称电流会导致滤波器扼流圈的磁性饱和。滤波器会因此失去大部分效用,系统也因此超出容许的EMC限值。

减少滤波器中的漏电流

使用较短的电缆或使用输出滤波器可以提供补救措施。输出滤波器又称正弦波滤波器,应直接插在变频器输出端。它能通过降低发动机电压的转换速率有效地降低1kHz以上的电流漏。

如系统中使用了多个变频器,则有必要

使用电网输入端的中央滤波器代替每个单独变频器的滤波器。这样不仅节省费用和时间,还减少了漏电流。许多制造商还为变频器提供了特殊的低漏电流滤波器或求和滤波器,用于电网输入端。

使用带有中性导线的4线滤波器代替3线滤波器是一种特别简单、有效的减少漏电流的方法,大部分带有中性导线的滤波器的漏电流较小,因为许多电容器处于相导线和中性导线之间。采用这种布局,漏电流能够更加有效地通过中性导线返回。RCD采用与相导线测量相同的方法对中性导线进行测量,测得电流总量相等,所以设备不会跳闸。

如滤波器没有充分衰减,可将它与额外的电力线扼流圈相结合。这样会减少电流的纹波系数和谐波,进而减少漏电流。

结论

归纳起来,可采用下列措施减少系统中的大泄漏电流。这些措施也便于组合使用:

- RCD保护/非保护区的独立电路
- 独立已滤波和未滤波的电缆
- 按步骤启动变频器
- 将变频器置于电动机附近(缩短发电机电缆)

- 过压保护, 防止电压尖峰
- 具备延迟响应特性的RCD
- 微分RCM (剩余电流测量装置)
- 电网扼流圈
- 电网输入端的中央滤波器代替多个单独滤波器
- 使用带中性线的4线滤波器代替3线滤波器
- 加入输出滤波器 (正弦波滤波器)
- 低漏电流滤波器

SCHURTER公司提供一系列电源线滤波器和输出滤波器, 其中多种滤波器均属低漏电流版本。SCHURTER的专业EMC测量服务将对应用设备进行检测, 确定滤波器型号参数, 并对系统的漏电流进行测量。如果SCHURTER提供的标准产品均不适用, 我们能够在极短时间内为客户量身定做适用的解决方案。

关于SCHURTER

SCHURTER是全球电子产品和电气部件制造商, 是一家与时俱进的创新型企业。我们的产品旨在确保安全、清洁的电力供应, 同时致力于提高设备的



琉森总部

易用性。SCHURTER提供了一系列广泛的标准化产品, 包括电路保护、连接件、EMC产品、开关和输入系统以及电子制造业服务。不仅如此, SCHURTER时刻准备着与客户展开合作, 满足他们提出的任何未包含在我们的标准产品范围内的具体应用需求。SCHURTER在全球的企业和合作伙伴可确保其服务的卓越品质及货物的及时性! 因此值得您的信赖。

总部

Division Components
SCHURTER Group

SCHURTER AG
Werkhofstrasse 8-12
PO Box
6002 Lucerne
Switzerland
schurter.com

联系方式

亚太区
电话: +65 6291 2111
info@schurter.com.sg

欧洲 (总部)

电话: +41 41 369 31 11
contact@schurter.ch

美国

电话: +1 707 636 3000
info@schurterinc.com