

精确相位控制 (Point on wave) 分合闸/可控分合闸

Klaus Böhme 博士 / Stefan Werben, Siemens AG / Christopher Pritchard, OMICRON

摘要

可控分合闸是一种对设备造成较小冲击的断路器分闸和合闸的方法。现在, SIPROTEC 5 也具备了该功能。该功能集成在保护/控制装置内, 提高使用的灵活性, 并且节省了接线的时间。在本研讨会中, 我们对其实现方法进行了验证并解释如何测试该功能。

简介/问题摘要

精确相位控制分合闸 (Point on Wave PoW) 可减少开关操作对一次设备和开关的冲击, 并最大程度地减少对系统的干扰。这样可以延长设备的使用寿命并减少老化。并且系统故障 (例如, 电容器重击穿) 更少, 可用性相应增加。开关操作 (关合或分断) 以选择性的方式在预设的相位上进行。某些制造商可以提供对应的专业设备。

由于保护/控制装置是为特定的应用 (快速单极或 3 极分闸) 专门设计或优化的, 精确相位控制分合闸不是其考虑的重点, 因此, 目前使用的开关量输出 (继电器触点) 通常无法实现所需的开关操作相位精度。而 SIPROTEC 5 平台可满足保护控制和可控分合闸方面的所有要求。可控分合闸需要新的如下所述的测试方法。

我们以电容器组/容性负载的投入接通为例来说明可控分合闸的原理。相同的原理也适用于其他设备/负载以不同的相位进行分合闸操作。

不同合闸角度的影响

可以通过仿真 (例如 RelaySimTest) 非常轻松地验证不同合闸角度的影响。[1] 中描述了 MSCDN 系统 (带阻尼的机械式投切电容器) 的波形。MSCDN 系统将产生图 1 所示的涌流。可以清楚地看到, 不利的合闸角度 ($\text{Phi}=90^\circ$) 合闸时的电流幅值明显更高, 这对系统、开关和 MSCDN 造成了更大的冲击。

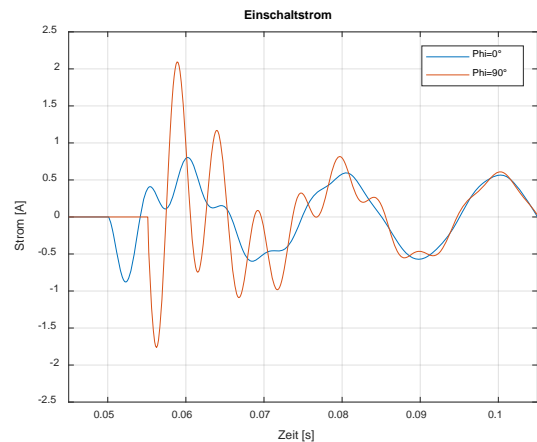


图 1: MSCDN 系统中在有利和不利的合闸角度合闸时产生的涌流

图 2 示出按以上合闸角合闸时的 3 极合闸操作中所有三相中的最大电流。在这种情况下, 不可能找到在合闸操作期间减小冲击的合理的合闸角。断路器因此需要分相操作, 以避免较高的涌流。这在图 3 中以相同的方式示出。合闸角 $L1:0^\circ$ 、 $L2:120^\circ$ 、 $L3:60^\circ$ (用于容性设备的合闸) 的涌流则可以大大降低。图 3 示出这些最佳角度的偏移量。

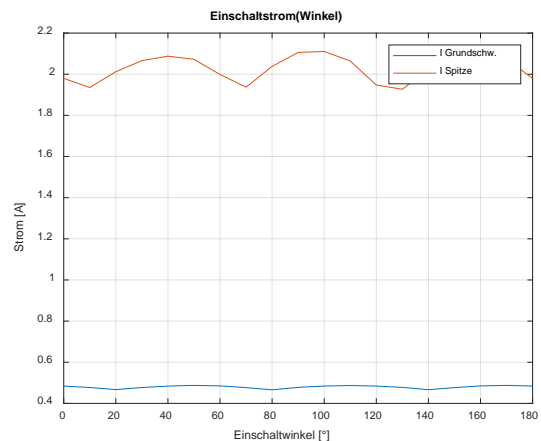


图 2: 三极合闸期间最大电流相对于合闸角的曲线图

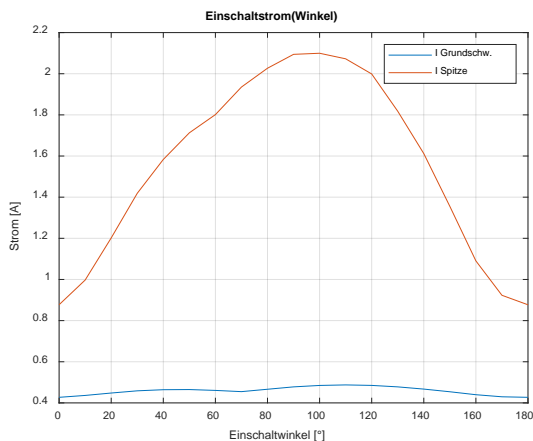


图 3: 单相合闸期间 (L1:0° /L2:120° /L3:60°) 最大电流相对于合闸角的曲线图

可控分合闸

分合闸角度取决于进行开关操作的一次设备。对于容性负载或电容器组，各相的电压过零点是最佳选择。使用测量参考模拟量的过零点 ($\Phi=0^\circ$)、断路器参数和指定的合闸角度进行计算，以确定控制设备出口接点闭合的瞬间，从而确保断路器在预定的角度合闸。在给定参考电压 U_{L1} 的情况下，采用相对于参考电压过零点的合闸序列 L1:0° /L2:120° /L3:60° 来执行容性负载的开关操作。为了计算控制装置接点闭合的瞬间，我们需要知道断路器机械和电气特性（合闸时间和导通时间）。它们会根据使得断路器主触头导通的电弧预击穿的时间而变化。合闸时间/分闸时间还取决于以下因素：

- 分闸/合闸电路的控制电压
- 温度
- 断路器压力

如果需要，可以在断路器操作过程中通过使用隔离放大器输入测量这些参数以考虑其影响。上述影响参数的特性曲线可以是线性或其他特性。这些变量用于计算分合闸操作命令的提前量。

图 4 说明了合闸操作的原理。

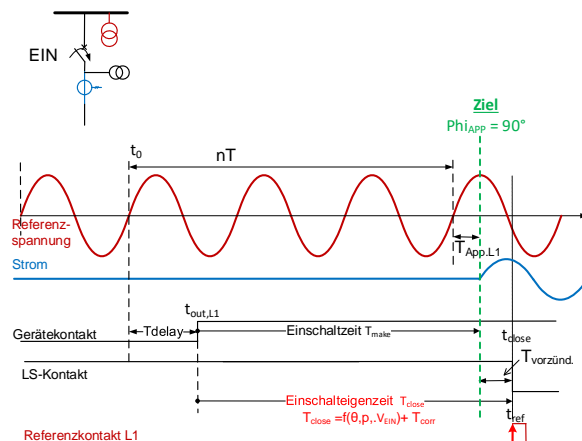


图 4: 可控分合闸的原理

为了获得良好的可控合闸效果，控制设备本身的开关量输出接点闭合时间的离散性需要控制在较低的水平。常规机械式开关量输出（继电器）的闭合时间离散度是 1 到 2 ms。在 50 Hz 系统中，1 ms 的时间离散度会产生 18° 的合闸角度误差。这会导致峰值电流增大大约 30%（见图 3）。关于控制设备接点闭合时间，要求精度 $<100 \mu\text{s}$ ，等于 1.8°。所使用的接点应具有尽可能小的合闸时间离散度。机械接点在这种情况下不合适。在计算合闸时刻时，可以考虑合闸时间的常数系统分量。

SIPROTEC 5 系统的“固态继电器”具有非常短的接点闭合延时和时间离散度。其具有小于 $<50 \mu\text{s}$ 的闭合时间准确度。

测试方法

合闸时间参考点是已定义参考电压（例如 U_{L1} ）的过零点。所有合闸时间都是相对于此过零点。开关操作时间用于计算控制设备的继电器出口接点的激励闭合时间以达到在预期的合闸角进行合闸的目标。用于测试的信号源必须具有高度的时间稳定性，CMC 256plus/356 设备可以保证这一点。使用状态序列输出合闸操作序列信号，同时使用示波器测量相对于参考电压接点导通时间。测量设置和测量原理如图 5 所示。

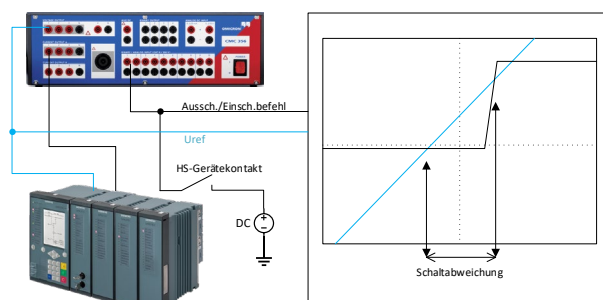


图 5 测量设置/原理

测量参考电压的过零点与控制设备接点闭合时间之间偏差，表明控制设备接点的闭合时间小于 $30\ \mu\text{s}$ ($<0.18^\circ$)。当然更重要的是测量时间的低离散度。系统误差可以在设置中得到补偿。图 6 中的例子显示参考电压的过零点与控制设备接点闭合之间的时间偏差为 $3.0\ \mu\text{s}$ (0.054°)。

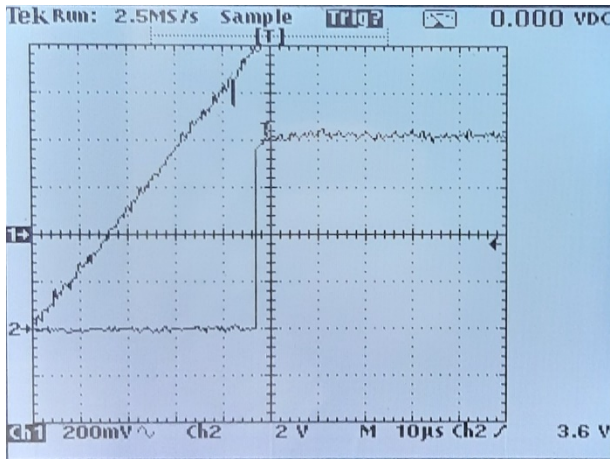


图 6 控制设备出口接点闭合时间偏差的测量

一种简单但相似的测量方法是使用隔离放大器输入。通常用于补偿断路器操作电压的影响或记录参考触点（对于西门子断路器，参考触点代表断路器主触头的机械关合）等。外部直流电压 ($\leq 10\ \text{V}$) 通过该触点施加到隔离放大器。通过评估生成的故障记录 ($f_{\text{sample}}=8\ \text{kHz}$)，可以在实验室中对关合/分断进行粗略评估，以进行探索性测试（时间分辨率： $125\ \mu\text{s}$ ）。

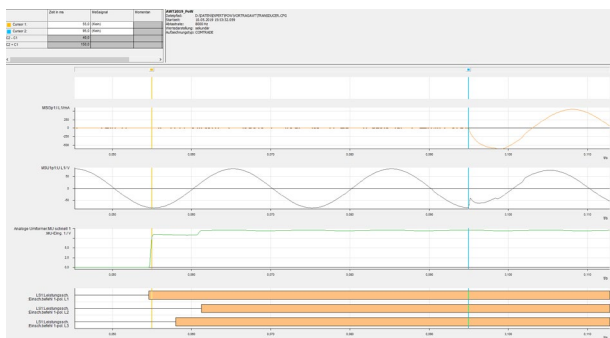


图 7

CMC 测试仪可以使用状态序列进行直接测量。通过 CMC356 的开关量输入进行的直接测量无法达到与使用示波器进行测量相同的准确度水平，因为是以 $10\ \text{kHz}$ 的采样率（换言之，每 $100\ \mu\text{s}$ ）读取开关量输入。这等于 1.8° 的角度偏差，但对于功能和/或的探索性测试而言是可以接受的。较早的 CMC 设备（例如 CMC156）无法达到此采样率。

为了观察分合闸过程对一次设备的影响，需要进行闭环仿真。控制设备的反应（或动作）对仿真有直接影响。这种仿真通常很复杂，通常使用昂贵的实时仿真系统（例如 RTDS）实现。

但是是一种更简单的方法，例如 RelaySimTest 中的迭代闭环仿真功能可以到达类似的目的。在此，要执行几次仿真，以考虑控制装置的出口分合闸命令响应。仿真过程如下：

1. 输出模拟量，测量跳合闸命令的时刻，但未考虑跳合闸对于网络拓扑的影响，然后终止仿真。在第二次运行期间对命令进行测量。
2. 第二次从头开始仿真，输出模拟量，并再一次收到跳合闸命令，但此次考虑先前跳合闸命令改变了的网络拓扑的影响。
3. 如果第一次和第二次收到的跳合闸命令的时刻差异很小，则仿真是正确的并终止模拟；否则，需要进行重新执行仿真。

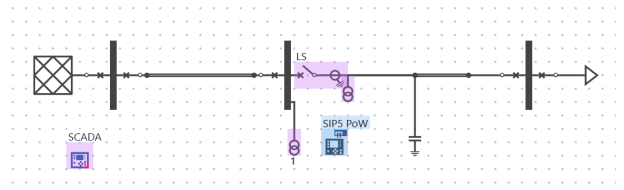


图 8：仿真系统（容性负载）

对于容性负载（或电容器组），按照图 8 中所示的系统模型执行了迭代闭环仿真，模拟了以有利的合闸角度（图 9）和不利合闸角度的进行的合闸操作（图 10）。可以看出明显的谐波畸变。

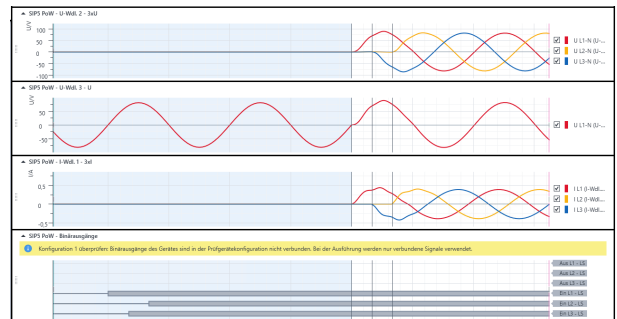


图 9：以有利的角度进行分合闸操作

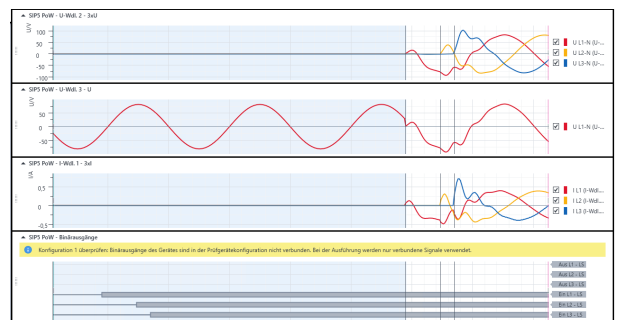


图 10：以不利的角度进行分合闸操作

集成在控制功能中

通常使用保护/控制装置来控制断路器。如果进行同步相位控制/操作，则需要单独的设备。如果要将其集成到保护控制系统中，则需要一些额外的外部接线，以便与保护/控制装置配合使用。“精确相位控制分合闸”功能完全集成在保护/控制装置中意味着减少了一个设备，降低了工程和安装费用。由于控制单元已集成到工艺控制系统中，因此受控开关所需的额外开销要低得多。如果保护控制装置中有“精确相位控制分合闸”功能并已激活，则每次的开关操作将会相应的进行。

“精确相位控制分合闸”功能包括在断路器功能组中。该功能还具有用于启用和禁用该功能的功能块，因此可以针对所讨论的特定应用进行自定义。

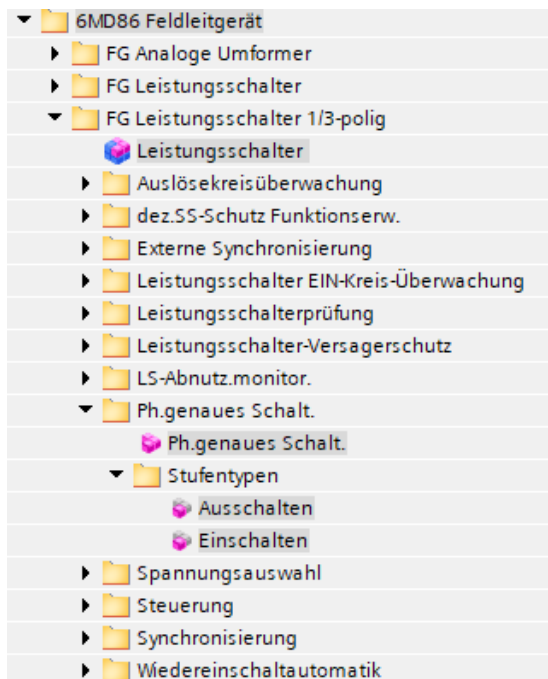


图 11a DIGSI 5 库中的精确相位控制分合闸功能



图 11b 断路器功能组中的精确相位控制分合闸功能参数

概要

可控开关使用对设备冲击最小的方式分闸和合闸。将可控分合闸功能集成到保护控制装置中，可以实现自动高效的精确相位控制分合闸。有多种测试方法可用于对结果进行检查。使用 RelaySimTest 进行的迭代闭环仿真，得以直接测试合闸操作对系统变量的影响。

参考文献

- [1] 告示：动力总成和动力学研究中心，Schutz- und Leittechnik 2018, [调查电容器组的动态响应及其对保护、保护技术和工艺控制的影响], Klaus Böhme 博士, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, 50 赫兹传输
- [2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03 [手册、PSD-控制 2.x PSD01、PSD02 和 PSD03 设备的用户程序], Siemens AG, 2012 年

关于作者



Klaus Böhme 博士于 1963 年出生于柏林。他于柏林工业大学学习电气工程，于 1989 年完成学业。他于 1994 年被授予博士学位。自 1992 年以来，Klaus 一直在 Siemens AG 工作，从事数字保护设备开发工作。他曾担任开发人员和项目经理，负责各种设备的开发，从 7UM5 V2.x 开始，直至 SIPROTEC 4 和 SIPROTEC 5。他的工作重点是发电机保护、同步功能和馈线保护设备。他目前是 SIPROTEC 5 平台新应用程序的高级关键专家。



Stefan Werben 先生于 1964 年 6 月 1 日出生于荷兰奈梅亨 (Nijmegen)。1983 年，他通过了在德国艾恩贝格 (Einbeck) 歌德体育馆举行的毕业考试。Stefan 在德国不伦瑞克工业大学 (德国不伦瑞克) 学习电气工程，并于 1990 年获得学位。1991 年，他在美国卡本代尔 (Carbondale) 的南伊利诺伊大学学习工商管理一年。他于 1992 年加入 Siemens AG 柏林公司，担任数字保护设备的软件开发人员。担任软件开发和开发项目管理人员之后，他于 1998 年转到纽伦堡担任项目管理职位，自 2001 年以来一直担任保护设备产品经理。

OMICRON 是一家以创新性的测试与诊断解决方案服务于电力行业的国际化公司。OMICRON 产品的应用可以让用户能够对其系统中的一次和二次设备的状态作出评估，并且完全可以信赖。再加上在咨询、调试、测试、诊断和培训方面提供的服务，形成了完整的产品范围。

全球超过 160 个国家的用户依赖于本公司的能力来提供质量优良的领先技术。位于各大洲的服务中心提供广泛的知识及优质的客户服务。所有这一切，与我们强大的经销网络结合在一起，使我们成为电力行业的市场领先者。

OMICRON 中国办事处

奥幕电力技术咨询（上海）有限公司
中国上海市杨浦区杨树浦路 288 号建发国际大厦 303 室
(邮编: 200082)

电话: 021-53391010
邮箱: Info.china@omicronenergy.com

更多信息、其他资料以及我们全球各地办公室的联系信息，
请访问我们的网站。

For more information, additional literature, and detailed contact
information of our worldwide offices please visit our website.