

一种涌流抑制技术在三相联动断路器中的应用研究

白晋川, 杜颖

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]当变压器在轻载或者空载合闸时, 因变压器自身的励磁特性以及其它综合原因, 常会产生较大的励磁涌流并引起跳闸事故。过大的励磁涌流, 有可能引起变压器内部绕组的损伤, 减短其使用寿命。常用涌流抑制技术在三相联动断路器中的应用具有一定的局限性, 因而在工程应用中急需解决该问题。[方法]采用基于偏磁与剩磁互克技术的涌流抑制装置, 对一个三相联动断路器控制回路进行了改造, 并进行了空载合闸试验。[结果]试验结果表明: 该项技术在三相联动断路器控制中能够抑制涌流, 并且抑制效果良好。[结论]该项技术稳定有效, 可在实际工程中推广。

关键词: 涌流抑制; 三相联动断路器; 偏磁; 剩磁

中图分类号: TM7; TM411

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0058-07

Research on Suppression Inrush Current Technology in the Control of Three-phase Interconnected Circuit Breaker

BAI Jinchuan, DU Ying

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] When a transformer is in light load or no-load, the excitation characteristic of the transformer and other comprehensive reasons usually produce large inrush current and cause trip accident. Excessive inrush current may cause damage to transformer internal winding and short service life. Common suppression inrush current technology in the application of three-phase interconnected circuit breaker has certain limitations, therefore, it is urgent to solve this problem in engineering applications. [Method] This article applied a specialized device which is based on the theory that the magnetic biasing opposes the remanence. After updating a three-phase interconnected circuit breaker's control circuit, this article carried on a no-load test. [Result] The result demonstrates that this technology can suppress inrush current in the control of three-phase interconnected circuit breaker, and the suppression effect is good. [Conclusion] This technology is stable and effective and can be promoted in practical projects.

Key words: suppression inrush current; three-phase interconnected circuit breaker; magnetic biasing; remanence

随着时代的不断前行, 经济的稳健增长, 我国的电力装备技术、控制保护技术取得了长足的进步, 我国电力主网的稳定性也越来越高。但与此同时, 在一些应用领域, 某些控制保护技术的应用有所忽视。例如, 在南方电网公司的 110 kV 及以下

电压等级的变电站、换流站当中, 常常采用三相联动型式的断路器。当变压器在轻载或者空载合闸时, 因变压器自身的励磁特性、制作工艺上的不足, 以及其它综合性的原因, 常会产生较大的励磁涌流并引起跳闸事故^[1], 无法正常投切。而且过大的励磁涌流, 有可能引起变压器内部绕组的损伤, 减短其使用寿命。作为变电站最为重要的主设备之一, 使用寿命的减短, 将直接导致工程投资经济性和回报率的降低。本文选用了一种涌流抑制装置,

收稿日期: 2018-03-19 修回日期: 2018-04-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“柔性直流输电技术研究”(EV00681W)

其基于偏磁与剩磁互克原理, 对一个 110 kV 三相联动断路器控制回路进行了改造, 并进行了相关试验研究。

1 励磁涌流

1.1 励磁涌流原理

从本质上来说, 励磁涌流的产生是变压器铁芯的非线性所致。当在变压器的一次侧突然施加较大的励磁电压时, 由于遵守磁链守恒原则, 变压器内部铁芯的磁链不能发生突变。在开始时刻, 变压器铁芯不饱和, 变压器的励磁电感很大, 变压器的励磁电流较小。当变压器的铁芯磁链积累达到饱和点以后, 铁芯进入饱和状态, 甚至深饱和状态, 此时变压器的励磁电感较小, 从而导致了变压器的励磁电流较大, 甚至会超过额定电流的数倍, 此时较大的励磁电流称为励磁涌流^[2]。

由于断路器合闸时刻的随机性、变压器铁磁材料的非线性, 以及其它条件的综合作用, 变压器常会工作于饱和区, 甚至深饱和区, 此时会产生较大的励磁涌流, 使得变压器无法正常合闸。

1.2 励磁涌流的危害

励磁涌流危害主要体现在以下几个方面:

- 1) 引发继电保护装置误触发、误动作, 使变压器无法正常投切。
- 2) 损坏电力设备。
- 3) “和应涌流”导致正在运行中的变压器跳闸。
- 4) 直流分量导致电流互感器磁路过度磁化。
- 5) 电网产生谐波污染^[3-5]。

2 偏磁与剩磁互克原理

2.1 常规涌流抑制技术

为了抑制励磁涌流, 使得变压器能在工程应用中平稳投切, 上世纪 80~90 年代, ABB 公司、Alstom 公司分别推出了 F236、RPH2 等选相合闸装置。

其技术原理为: 为了避免空投变压器时出现磁路饱和, 使其不产生偏磁, 考虑控制变压器空载投切时的合闸相位角, 即当交流电压到达峰值点——电压的相位角在 $(1/2 + k)\pi$ 时, 控制断路器合闸。由于此时的感应磁通为零, 从而使磁路总磁通量低于饱和磁通值。

传统的非全相保护动作延时时间为几百毫秒才

出口, 因为三相分合闸时差不超过 10 ms, 也就是说三相全部动作完成, 控制在 10 ms 范围内是不受影响的。上世纪 80 年代, 南方电网在西电东送项目的贵州 500 kV 直流换流站的换流变上首次使用 F236、RPH2 合闸选相装置。之后, 该装置逐步推广到南方电网的 500 kV 交流变电站和直流输电工程以及国家电网的直流输电工程。

但是, 传统的涌流抑制技术存在一定的局限性: 根据上述原理, 不产生偏磁的电源电压只有 2 个角度—— $(1/2 + k)\pi$ (90° 和 270°)。如果偏离了这 2 个角度, 偏磁就会出现, 如果错过这 2 个角度只能等待下一个周期, 这就要求控制回路每个环节都控制地特别精确, 如果断路器机构动作时间发生偏移, 合闸相位角就会产生误差。另外, 三相电压相位相差 120° , 各相电压的选择角不会同时到来, 因此该技术要求工程中选用的断路器必须为三相分相操作机构, 对于设备选型提出了限制性要求, 而且要求断路器动作的离散程度较为理想, 连续两次的动作时间在 1 ms 以内。因此, 上述公司在推广其涌流抑制技术只能配合使用在 ABB、阿尔斯通公司自行生产的特定型号的断路器当中。然而, 南方电网公司的 110 kV 及以下电压等级的变电站、换流站当中, 常常采用三相联动型式的断路器, 故此项涌流抑制技术的应用范围极为受限。

2.2 偏磁与剩磁互克原理

变压器励磁涌流的产生机理是基于电感线圈遵循磁链守恒定律^[6]。由于电压为磁通对时间 t 的微分关系, 电压在相位上超前磁通 90° , 因此当变压器内部没有剩余磁通的时候, 选择在电压峰值、磁通为零时合闸, 对于励磁涌流的产生将会有良好的抑制效果。

而当变压器内部有剩余磁通的时候, 如果能事先测得剩余磁通的极性和数值, 那么在预期的磁通等于剩余磁通的瞬间操作断路器进行合闸, 也将对励磁涌流的产生形成良好的抑制效果。

因此, 在必须考虑变压器内部有剩磁的情况下, 抑制涌流的最佳策略就是用涌流抑制器同时对分闸、合闸进行控制^[7]。

断路器断开电源时的分闸相位与变压器磁路极性和数值有直接联系, 而合闸相位则与偏磁的极性和数值有关。因此, 只要能够控制变压器空载合闸

时电源电压的合闸相位,并且确定变压器末次断电时刻磁路中的剩磁极性,就能实现剩磁与偏磁极性相反,从而消除磁路饱和,达到抑制励磁涌流的目的^[8]。

当断路器为三相联动断路器时,三相电压在分闸时的相角各相差 120° ,因而三相剩磁极性各相也相差 120° 。而在三相联动断路器合闸时的相角相差也为 120° ,这样自然实现了三相磁路中的剩磁与偏磁是互克的。因此,相比于常规涌流抑制技术对于断路器分相操作的局限性,基于剩磁与偏磁互克原理的涌流抑制技术可以很好地解决应用局限性问题。

3 技术应用

3.1 技术应用前现状

南方电网公司某110 kV换流站110 kV交流进线断路器为三相机械联动型式。操作该断路器进行合闸,对联接变进行空载充电,以B相电压为例,

录波结果如图1~图2所示。

图1蓝色实线处,合闸约80 ms后,B相电压有效值为58.66 kV,此后电压缓慢抬升;图2蓝色实线处,合闸约14 s后,B相电压趋于稳定65 kV。网侧110 kV系统单相电压(一次值)最低在58.66 kV,与稳态电压65 kV相差7 kV,联接变压器涌流效应影响显著。

由于该断路器是三相机械联动型式,无法使用分相控制,无法使用常规涌流抑制技术。

3.2 微机涌流抑制器

本文选用了一种涌流抑制装置,对该站内110 kV三相联动断路器控制回路进行了改造,并进行了变压器空载合闸试验。该装置基于偏磁与剩磁互克原理研制而成,可用于任意电压等级、任意容量的电力变压器、电力电抗器、电力电容器、高压长距离输电线、长距离电力电缆等的投、切,并且支持并联运行变压器按经济负荷自动投退等功能。

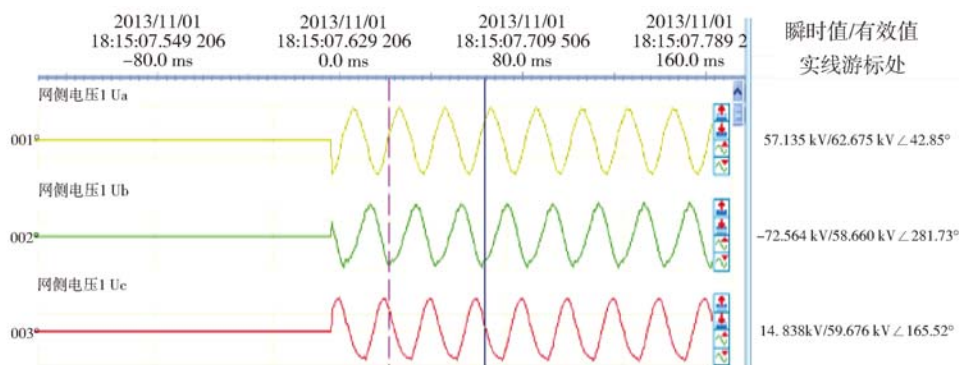


图1 合闸80 ms后B相电压波形图

Fig. 1 Wave diagram of phase B after CB closed 80 ms later

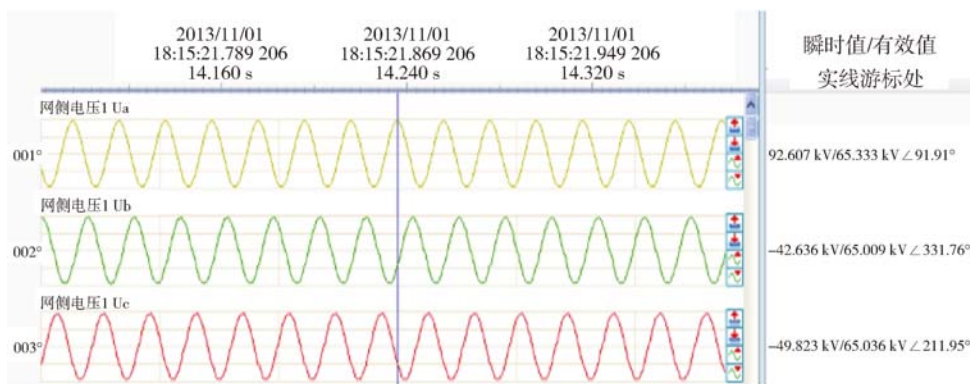


图2 合闸14 s后B相电压波形图

Fig. 2 Wave diagram of phase B after CB closed 14 s later

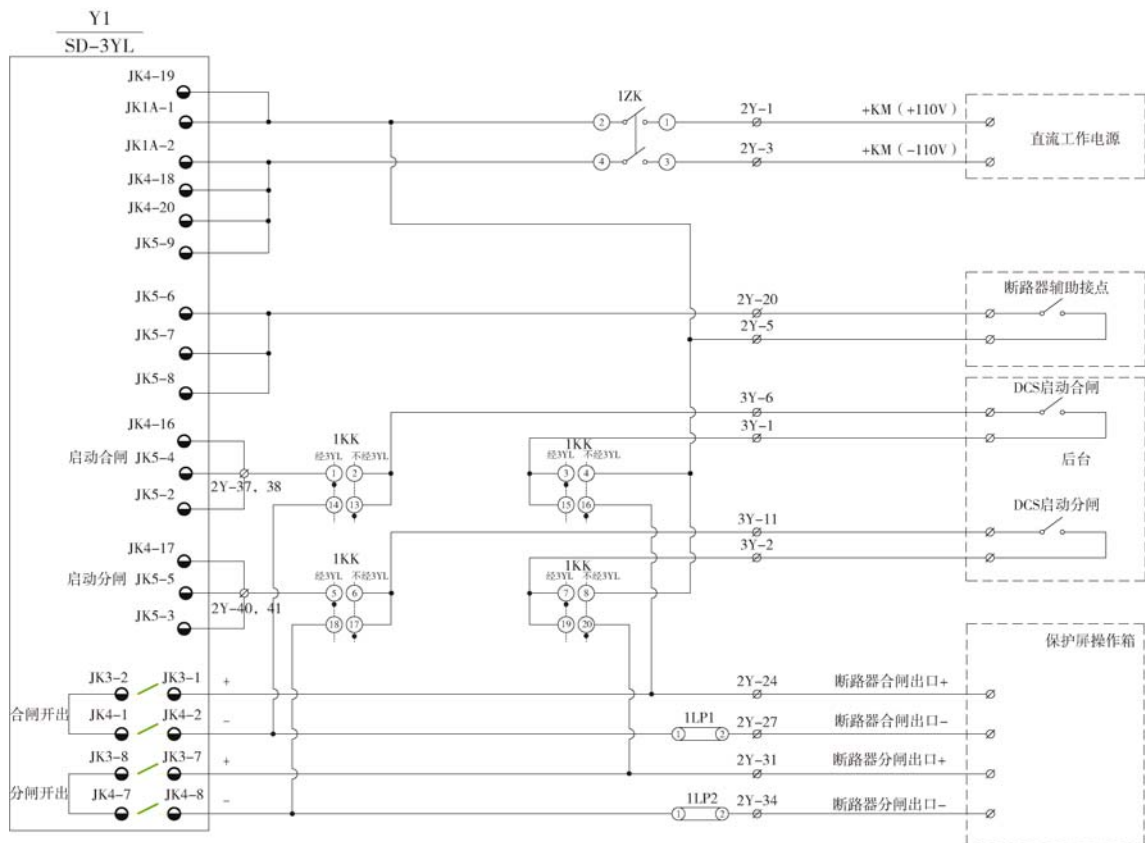


图 4 装置开关量 I/O 原理图

Fig. 4 Schematic diagram of the device's DI/DO

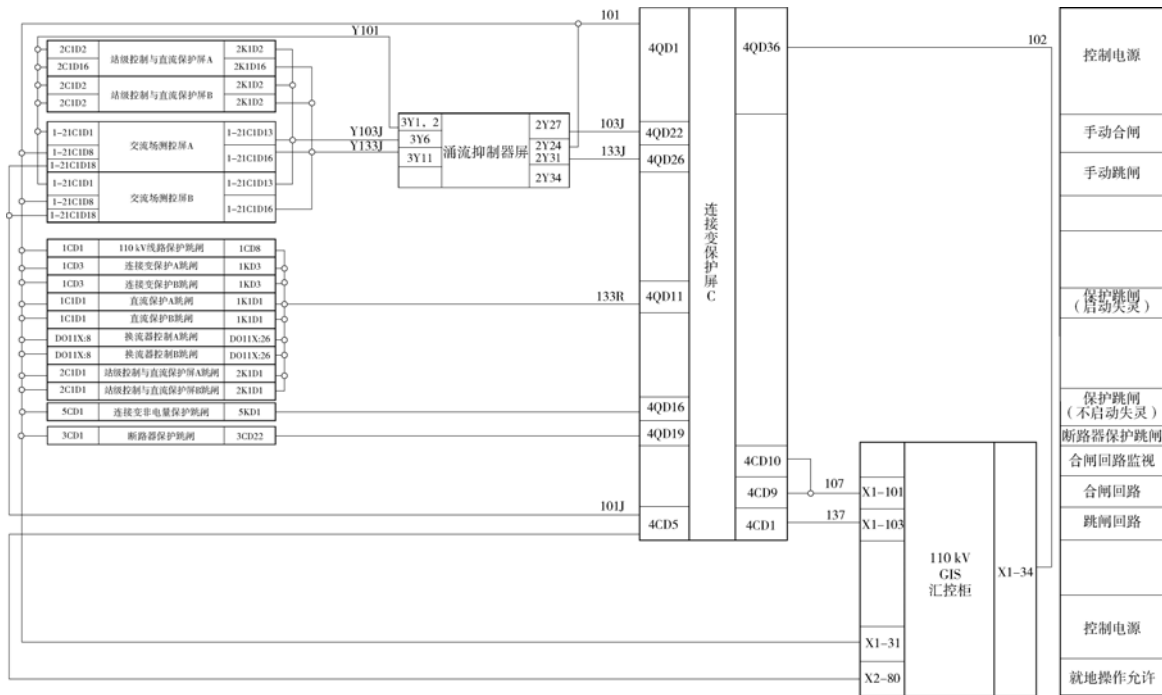


图 5 改造后断路器控制回路图

Fig. 5 Control diagram of the circuit breaker after updating

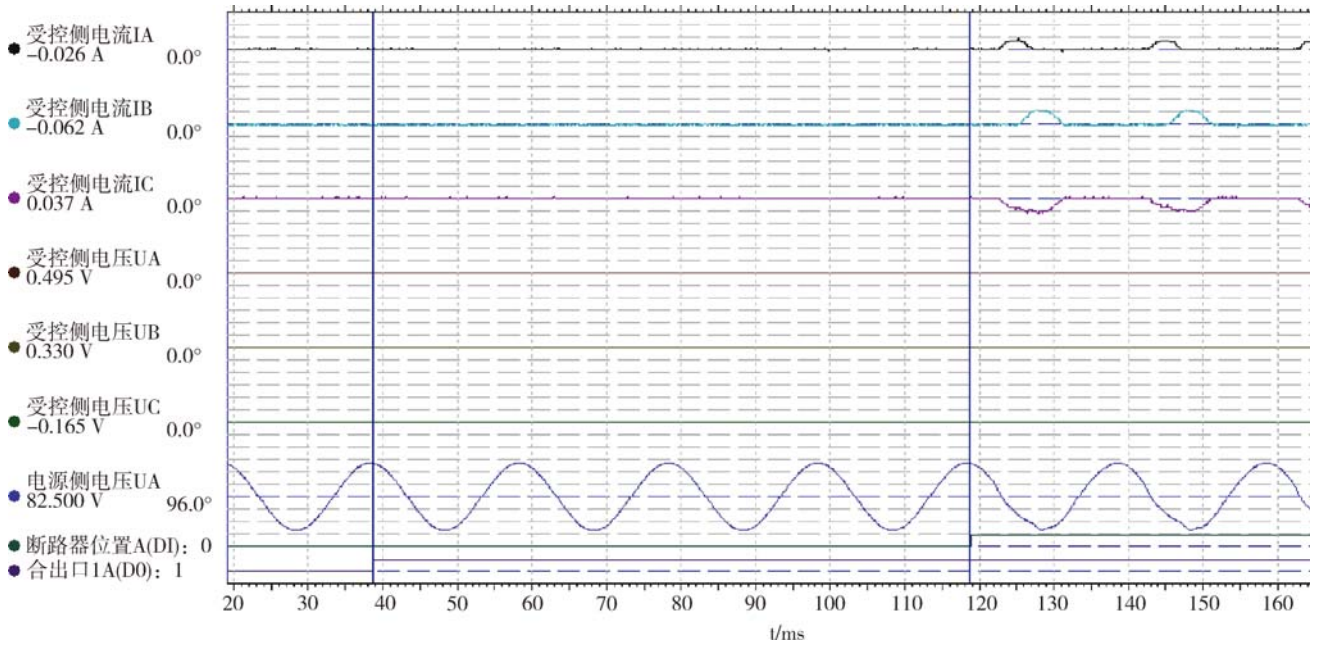


图6 断路器合闸时间图

Fig. 6 Time diagram of the circuit breaker's closing

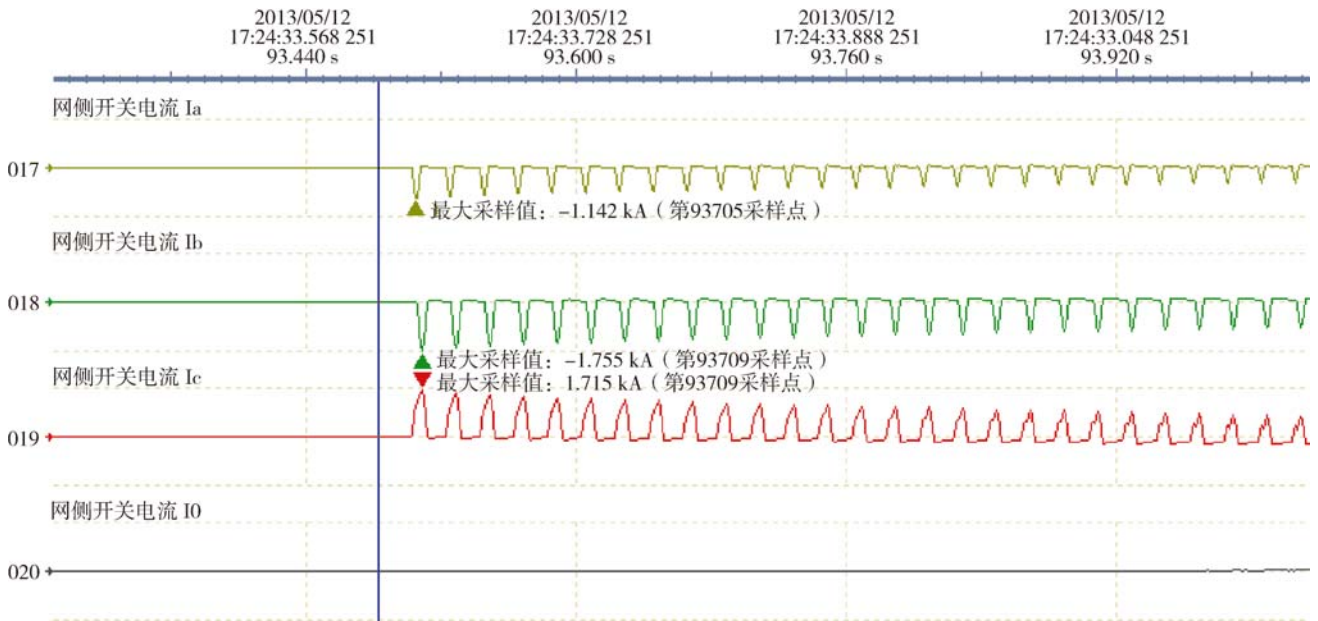


图7 电流波形图

Fig. 7 Current wave diagram

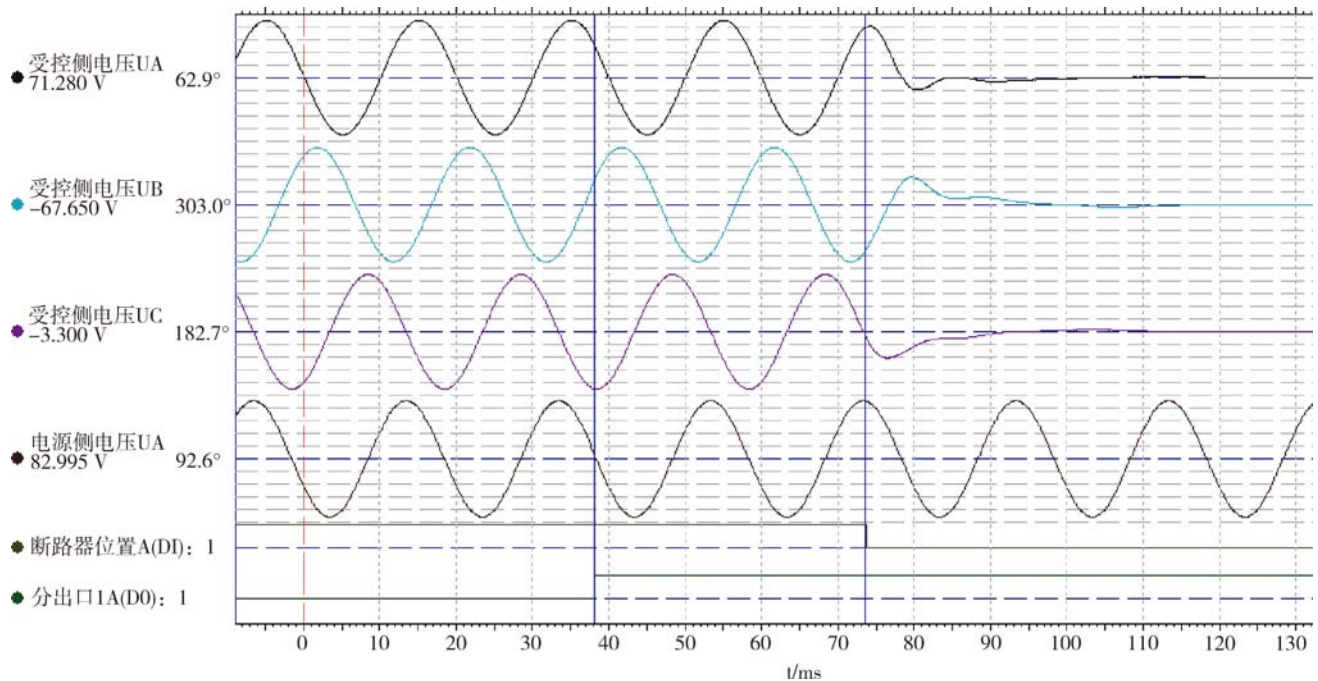


图8 断路器分闸时间图

Fig. 8 Time diagram of the circuit breaker's opening

5 结论

为解决现有常用涌流抑制技术在三相联动断路器中应用的局限性, 本文选用了一种涌流抑制装置, 其基于偏磁与剩磁互克原理, 对一个 110 kV 三相联动断路器控制回路进行了改造, 并进行了联接变压器空载合闸试验。试验结果表明该项技术能够应用于三相联动断路器的控制中, 对于励磁涌流的抑制具有比较理想的稳定性和有效性, 并且对于类似电压等级、采用类似型式断路器的工程具有较好的推广作用。

参考文献:

- [1] 何越, 熊元新, 姜山, 等. 变压器空载合闸励磁涌流的仿真分析研究 [J]. 电力学报, 2010, 25(1): 33-36 +43.
HE Y, XIONG Y X, JIANG S, et al. Simulation and analysis of excitation inrush current in transformer no-load switching [J]. Journal of Electrical Power, 2010, 25(1): 33-36 +43.
- [2] 冯存亮. 牵引变电所变压器励磁涌流的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011: 18-20.
- [3] 齐国政. 变压器励磁涌流抑制技术研究 [D]. 济南: 山东大学, 2014: 21-22.
- [4] 刘兰荣. 基于相控分合闸技术的变压器励磁涌流研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2013: 10-11 +18-20.
- [5] 陈智. 配网励磁涌流保护的研究与实现 [D]. 广州: 华南理

工大学, 2015: 16-17.

- [6] 钟文华. 台山电厂升压变压器励磁涌流分析及其抑制手段 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 26-30.
- [7] 周志刚. 宁海电厂二期升压变压器励磁涌流分析及其抑制手段 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 29-33.
- [8] 李洁. 南澳柔性直流输电系统涌流抑制措施及试验分析 [J]. 广东电力, 2017, 30(3): 112-115.
LI J. Suppression measures for inrush current of Nan'ao HVDC flexible transmission system and experimental analysis [J]. Guangdong Electrical Power, 2017, 30(3): 112-115.

作者简介:



BAI J C

白晋川 (通信作者)

1989-, 男, 湖北荆州人, 工程师, 硕士, 主要从事变电站电气设计及研究的工作 (e-mail) baijinchuan@gedi.com.cn。

杜颖

1982-, 男, 广东肇庆人, 高级工程师, 硕士, 从事电气线路设计 (e-mail) duyong@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)