# 智能低压电力电容器的晶闸管触发可靠性研究

**在智能低压电力电容器中，简单、机械地应用光电双向晶闸管驱动器MOC3083为主的晶闸管触发系统易产生误触发或触发装置损坏。针对此问题，设计了一套新型的智能低压电力电容器晶闸管触发系统。该系统以光耦的特性为基础，巧妙实现晶闸管的电压过零检测，并以电磁触发方式触发晶闸管。该触发系统在复杂的低压配电网中能够稳定、可靠运行。**

冼　冀[1]　程汉湘[1]　李铭鸿[2]　董富德[1]/1.广东工业大学自动化学院
2.中山凯丰电力电子设备有限公司

冼　冀/硕士研究生

*关键词/Keywords*
*智能低压电力电容器·*
*晶闸管·*
*触发·*
*MOC3083·*

由于智能低压电力电容器功能完善、损耗低、体积小且采用积木式结构[1-2]，比传统在屏柜内或箱内由控制器和多个低压电力电容器、开关电器、保护电器和监测仪表等组装成的大体积、高电损、内部复杂和容量可调性差的低压无功补偿设备应用前景更广阔。目前，智能低压电力电容器已在石油化工、轨道交通和民用建筑等领域的低压配电系统取得了不错应用，较好地实现了提高功率因数、降低线路耗损、稳定电网电压和保证供电质量的要求。但随着应用的广泛和深入，智能低压电力电容器在应用过程中出现误触发、触发装置损坏，甚至整个电容器爆炸，这影响了低压配电网的可靠运行，影响了人们应用智能低压电力电容器的积极性，制约了智能低压电力电容器的进一步发展。因此，研究智能低压电力电容器的晶闸管触发可靠性，对促进智能低压电力电容器的发展具有重要意义。

## 智能低压电力电容器的晶闸管触发结构

智能低压电力电容器主要由智能控制器模块、采样电路模块、过零投切开关模块、电容状态指示模块、通信模块、保护模块、电力电容器组和外围电路等组成，如图1所示。智能低压电力电容器的基本原理如下：通过互感器对电网电压、电流采样，并送至智能控制器，实时计算电网的电压有效值、电流有效值、有功功率、无功功率和功率因数等参数，根据相应的控制策略控制过零投切开关，实现电力电容器组的“零投切”，完成对低压配电网的无功补偿[3]。智

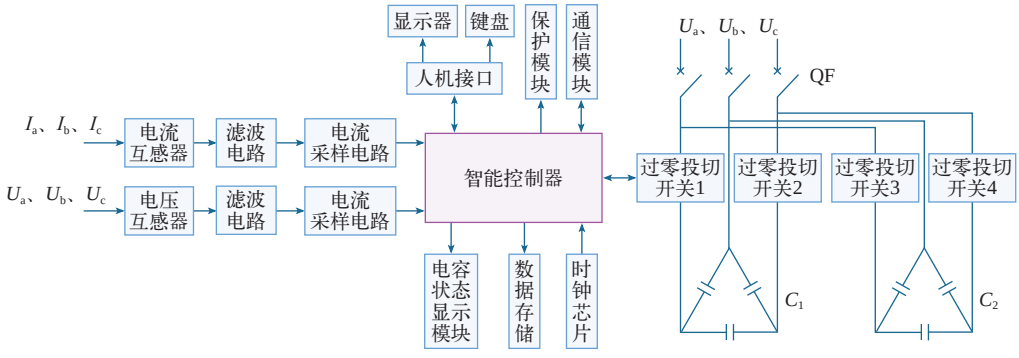


图1　智能低压电力电容器的结构图



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

能低压电力电容器多台联机工作时，联机系统自动产生一个主机，其余则为从机。联机系统中若有个别从机故障，则在不影响其他从机工作情况下自动退出；联机系统中主机若发生故障，则在其自动退出后从其余从机中自动产生一个新的主机，组成一个新的系统工作[4]。

由智能低压电力电容器的结构可知，过零投切开关是智能低压电力电容器实现无功补偿的主要部分。因此，智能低压电力电容器中晶闸管触发的可靠性高低直接决定着整个智能低压电力电容器能否稳定运行。目前，智能低压电力电容器中晶闸管触发系统的结构普遍采用图2所示的结构，主要由两个串联的光电双向晶闸管驱动器MOC3083、双向晶闸管、磁保持继电器、*RC*阻容吸收保护电路和静态均压电阻构成。

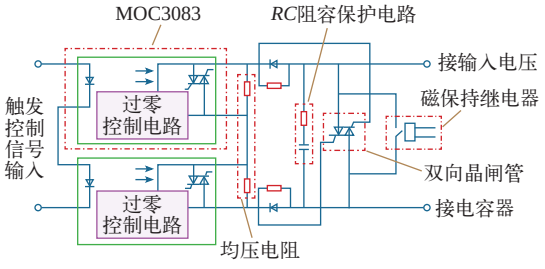


图2　智能低压电力电容器的晶闸管触发结构图

光电双向晶闸管驱动器MOC3083输入输出光电隔离、内部集成过零检测电路及高d*u*/d*t*值，故在一般情况下能实现智能低压电力电容器中晶闸管的过零触发。在400 V交流系统中应用时，由于单个MOC3083器件的额定耐压不够，要将两个或多个串联以提高耐压水平，并在每个串联的MOC3083器件并联一个静态均压电阻，以确保串联应用的MOC3083器件在阻断状态电压均衡。目前，静态均压电阻的取值普遍根据式（1），设*R*为静态均压电阻的阻值，即

$$R=(0.1\sim0.25)\frac{U_{VT}}{\pi I_{DR}} \qquad (1)$$

式中，$U_{VT}$为晶闸管额定电压；$I_{DR}$为断态重复平均电流[5]。

智能低压电力电容器的晶闸管触发原理如下：当智能控制器判定需要投入电容器时，向光电双向晶闸管驱动器MOC3083发出触发控制信号，MOC3083在过零时刻触发晶闸管导通，待稳态后，智能控制器驱动磁保持继电器闭合，并断开晶闸管，由磁保持继电器承担电容器的正常工作电流；当智能控制器判定需要切除电容器时，向光电双向晶闸管驱动器MOC3083发出触发控制信号，触发晶闸管导通，再断开磁保持继电器，断开期间由晶闸管承受电容器的工作电流，然后再停止光电双向晶闸管驱动器MOC3083的触发信号，使得晶闸管在电流过零时关断[7]。

## 智能低压电力电容器的晶闸管触发可靠性分析

由上述可知，在智能低压电力电容器的过零投切过程中，光电双向晶闸管驱动器MOC3083对晶闸管的触发起到关键性作用。而目前，智能低压电力电容器应用过程中出现的误触发、触发投切装置损坏主要表现在晶闸管门极的放大区域损坏或光电双向晶闸管驱动器MOC3083的损坏，而晶闸管的触发来自于光电双向晶闸管驱动器MOC3083。因此，光电双向晶闸管驱动器MOC3083应用的可靠性直接决定了智能低压电力电容器中晶闸管触发的可靠性。

由文献[5]可知，光电双向晶闸管驱动器MOC3083一般情况下能准确在过零点触发晶闸管，但在谐波复杂的低压配电网中，特别是在电压波形严重偏离正弦波、d*u*/d*t*增大时，光电双向晶闸管驱动器MOC3083易受干扰，诱发误触发。由于MOC3083的误触发，造成冲击电流过大，导致晶闸管承受的d*i*/d*t*值过大，超出晶闸管额定值，使得晶闸管门极的放大区域损坏。

目前，国内采用图2所示结构的智能低压电力电容器的晶闸管触发准确度普遍大于±1 ms，低于±1 ms的非常少，并未能实现真正的过零触发[6]。图3为通过采样测试得到的1 ms触发准确度时的涌流波形，涌流值为正常的5倍多。这样的晶闸管触发严重威胁了智能低压电力电容器的可靠运行。

尽管智能低压电力电容器中串联应用的每个光电双向晶闸管驱动器MOC3083都并接一个静



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

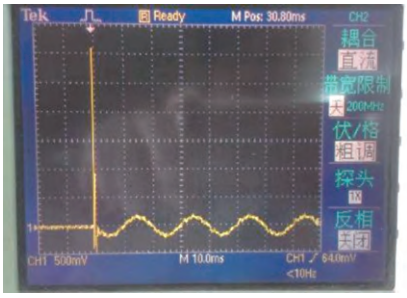


图3　1 ms投切准确度时的涌流波形图

态均压电阻，以实现阻断状态下的电压均衡，但在实际应用过程中，由于光电双向晶闸管驱动器MOC3083自身存在参数的差异性，串联应用光电双向晶闸管驱动器MOC3083使得在驱动导通的瞬间存在动作的不一致性，因而导致驱动导通瞬间串联的光电双向晶闸管驱动器MOC3083受压不均。虽然此过程时间较短，但在长期频繁的应用中，存在较大的隐患。对此，文献[5]曾提到通过在每个串联光电双向晶闸管驱动器MOC3083中并接动态阻容均压电路，以实现串联光电双向晶闸管驱动器MOC3083动作瞬间下的电压均衡。但在谐波复杂的低压配电网中，动态组容均压电路易引发晶闸管误触发。目前，市面上大部分的智能低压电力电容器都是在每个串联光电双向晶闸管驱动器MOC3083旁简单并接均压电阻，有些甚至不接。

## 智能低压电力电容器的晶闸管触发改进

结合上述智能低压电力电容器的晶闸管触发普遍存在的可靠性问题，提出如图4所示的改进方案，不用光电双向晶闸管驱动器MOC3083，而是在充分结合光耦特性的基础上，巧妙改进晶闸管触发电路，实现智能低压电力电容器中晶闸管的可靠触发。智能低压电力电容器的晶闸管触发系统改进后原理如下。

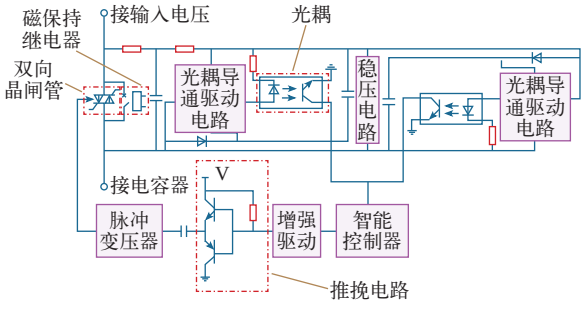


图4　智能低压电力电容器的晶闸管触发改进图

通过采样电阻检测晶闸管两端的电压，即电源电压的瞬态值与电容器的残压，若两者的值相等，则光耦导通驱动电路不驱动光耦导通，电路向智能控制器发出一个150～160 μs的低电平脉冲，智能控制器接收后，则发出晶闸管触发驱动信号，经驱动增强后，利用推挽电路和脉冲变压器隔离驱动晶闸管触发；若两者的值不等，则光耦导通驱动电路驱动光耦导通，电路向智能控制器发出高电平，智能控制器不触发晶闸管。当电容器的残压高于输入电压，左边的光耦导通；当输入电压高于电容器的残压，右边的光耦导通。而与光耦驱动电路相连接的二极管，随着驱动光耦导通的过程中而导通，并使与其相连的电容接入电路滤波。稳压电路通过稳压二极管使得采样后的电压限制在一定值，实际上相当于光耦导通驱动电路的电源。采样输入前端的电阻和电容组成的电路既可保护晶闸管又起到滤波作用，但电阻、电容值要注意选取适当，否则会影响采样、保护和滤波效果，引发低电平脉冲的相位滞后。图5为该晶闸管触发系统的测试波形。从图6可以看出，该晶闸管触发系统的触发准确度为250 μs左右，比目前智能低压电力电容器的触发准确度要好（注：图5、图6中，蓝色线为晶闸管的电压过零检测波形，黄色线为电容器投切的电流采样波形。）。在复杂环境的低压配电网中，该晶闸管触发系统能够可靠、稳定工作，实现真正的过零触发，解决了目前智能低压电力电容器的晶闸管触发存在的可靠性问题。

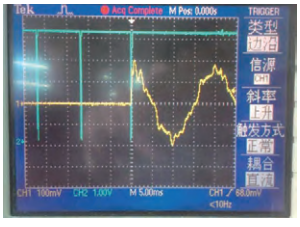


图5　改进后晶闸管触发的波形图

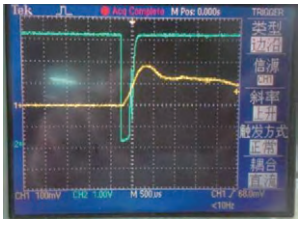


图6　改进后晶闸管触发的波形放大图



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

## 结束语

由于智能低压电力电容器的功能完善，使其在低压配电网系统中有较好的应用。但应用简单的MOC3083触发系统的智能低压电力电容器在复杂的供电环境中不能够长期可靠运行，影响了低压配电网系统的无功补偿。鉴于此，对智能低压电力电容器的晶闸管触发电路进行改进，解决目前智能低压电力电容器晶闸管触发存在的可靠性问题，提高智能低压电力电容器运行的可靠性。

### 参考文献


[1] 王普道．低压智能电力电容器实用技术 [J]．电气应用，2011，30 (2)：74-76.

[2] 王和忠．箱式变新型无功补偿装置中智能集成电力电容器的应用 [J]．变压器，2009，46 (3)：37-39.

[3] 陈元招．零投切开关的智能低压电力电容器设计 [J]．低压电器，2010 (10)：16-20.

[4] 宋玉峰，沈卫峰，施博一．低压电力电容器的智能化与低压无功补偿设备的变革 [J]．上海电力，2008 (2)：168-170.

[5] 孙福泉，张喜军，焦翠坪．基于MOC3083的误触发原理分析及改进方法 [J]．电力电子技术，2009，43 (1)：52-54.

[6] 胡国富，郭晓莉．多路阶梯式补偿的智能电容器装置研究 [J]．电力电容器与无功补偿，2011，32 (4)：38-41，47.

[7] 宋舜波，马琪，高军．一种复合开关控制的智能低压电力电容器设计 [J]．杭州电子科技大学学报，2012，35 (5)：25-28.


（收稿日期：2014－05－05）EA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net