

无功补偿多功能检测系统的设计与研制

刘建业 杨 军 陈 杰

(山东华天电气有限公司)

摘要：传统的无功补偿检测系统由负载单元（电感柜和电阻柜）、配电柜、调压器组成。新型的无功补偿检测系统由能馈负载、配电柜、电网模拟柜组成。传统无功补偿检测系统占用场地大、损耗高、效率低；新型的无功补偿检测系统价格昂贵，因此未被大量采用。针对现有无功补偿检测系统存在的不足，设计一种无功补偿检测系统，造价低、体积小且测试功能全面，可满足不同类型无功补偿装置的测试。

关键词：注入变压器；模拟负载；静态开关；整流单元；逆变单元

0 引言

无功补偿装置近年来在汽车制造、冶金、煤炭及配电台区等众多领域得到广泛应用，负载的快速变化要求无功补偿装置具有极快的响应速度，部分无功补偿装置具有滤除谐波功能。因此，对无功补偿装置检测设备也提出了更高的要求。

1 背景需求

传统无功补偿检测系统（见图1）由负载单元（电感柜和电阻柜）、配电柜、调压器组成。其占用场地大、损耗高、效率低，所需调压器容量大，但由于检测设备成本低，因此，仍被大量使用。新型的无功补偿检测系统是理想的无功补偿检测系统（见图2），由能馈负载、配电柜、电网模拟柜组成。能馈负载提供检测所需要的各种负载；配电柜为能馈、电网模拟柜、无功补偿装置提供电源；电网模拟柜能够模拟高低电压、频率、电压不平衡等众多的电网参数。其功能完善，但能馈负载及电网模拟柜价格昂贵，因此现阶段未被大量采用。针对现有无功补偿检

测系统存在的不足，设计一种无功补偿检测系统，造价低、体积小且测试功能全面，可满足不同类型无功补偿装置的测试。

图1、图2分别为传统无功补偿检测系统、新型无功补偿检测系统原理图。

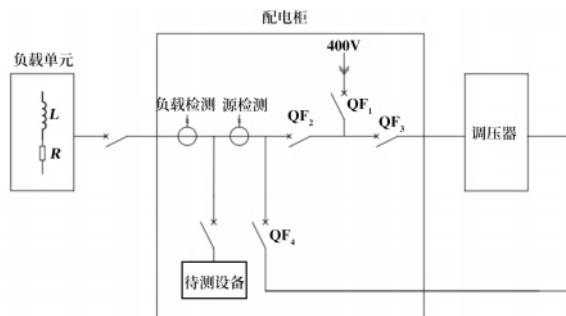


图1 传统无功补偿检测系统原理图

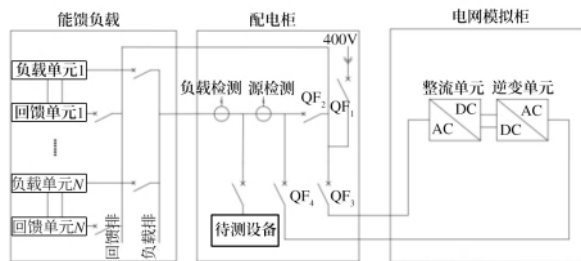


图2 新型无功补偿检测系统原理图

2 无功补偿检测系统研制

针对上述问题及现有技术存在的不足，本文提出一种无功补偿检测系统，包括注入变压器、整流单元、逆变单元、静态开关 STS、模拟负载单元及设备控制单元，如图 3 所示。整流单元不仅为逆变单元提供直流支撑还要补偿待测无功补偿装置发出的无功，接收设备控制单元指令自发电流谐波，因此逆变单元容量为 100kvar，整流单元容量为 500kvar。

2.1 系统构成

如图 3 所示，无功补偿装置检测系统由注入变压器、整流单元、逆变单元、静态开关 STS、模拟负载单元及设备控制单元组成。逆变单元接收设备控制单元指令向注入变压器注入适当的补偿电压，调节待测无功补偿装置输入端电压，进行与待测无功补偿装置过电压欠电压相关试验。整流单元不仅接收设备控制单元指令自发电流谐波，同时对逆变单元提供直流支

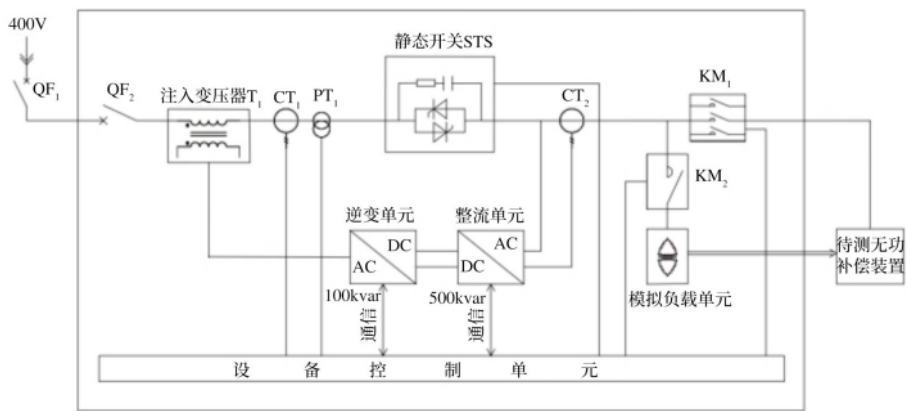


图 3 无功补偿检测系统原理图

撑；整流单元通过电流互感器 CT_2 及单元内部的电压互感器实时计算待测无功补偿装置的输出，产生等容量的感性无功用以抵消待测无功补偿装置产生的容性无功。模拟负载单元由原副边匝数比为一定比例的 Δ 型变压器构成，原副边均为 6 抽头。其中变压器原边与系统电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 连接，副边 U_{ac} 通过端子与待检测设备 A 相检测电流连接，对于 Δ 接线，线电压和相电压幅值、相位均相等。利用电流采样线的感抗，将变压器副边电压信号变为电流信号。同时，由于导线电感的存在，电流信号滞后电压信号 90° ，可得 A 相电压信号 (U_A) 与 A 相电流信号 (I_{AC}) 相位差为 30° ，此时待测无功补偿设备采样到 A 相功率

因数为 $\cos\phi=0.866$ 。同理，变压器副边 U_{ba} 通过端子与待检测设备 B 相检测电流连接，变压器副边 U_{cb} 通过端子与待检测设备 C 相检测电流连接。因此，模拟负载提供了一个功率因数为 0.866，可通过设置互感器变比调节感性无功功率大小的模拟负载，实现待测无功补偿装置的自动投切。同时，通过改变某一相或者两相电流采样线长度或者截面积，可产生三相不平衡模拟负载，设备控制单元通过接触器 KM_2 控制模拟负载的产生。设备控制单元采集电流互感器 CT_1 电流信号及电压互感器 PT_1 电压信号，计算检测设备源侧的电网参数；设备控制单元通过光纤与整流及逆变模块通信，用于下传输出指令及接收模块状态信息；

同时，设备控制单元控制接触器 KM_1 （包括三个单相接触器）的吸合与分断。对于△型变压器，模拟负载

A 相采样电压与 A 相采样电流相位关系如图 4 所示。

2.2 系统功能介绍

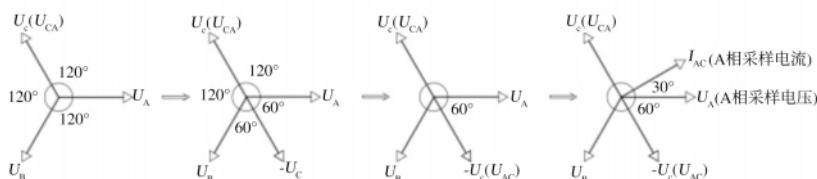


图 4 模拟负载 A 相采样电压与采样电流相位关系

所述无功补偿装置检测系统可实现对无功补偿装置的过电压、欠电压保护试验；无功补偿试验；响应时间测试；缺相保护实验；谐波抑制或谐波滤除功能试验；三相不平衡检测；涌流检测等性能试验。

2.2.1 过电压、欠电压保护试验

闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 吸合，模拟负载单元接入电网，此时，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，无功功率可调的模拟负载。待测无功补偿装置检测到模拟负载提供的电压信号及电流信号后，计算无功功率及功率因数，并根据计算结果投入无功补偿装置内电容支路。此时，整流单元采样电流互感器 CT_2 电流信号及自身内部电压互感器电压信号，计算出待测无功补偿装置投入无功量，发出等量感性无功，抵消待测无功补偿装置投入容性无功。待无功装置内支路全部投入后，设备控制单元通过光纤向逆变单元发送指令，逆变单元向注入变压器注入补偿电压，通过改变注入电流的大小及方向改变注入变压器的输出电压，以改变待测无功补偿装置输入电压。设备控制单元通过采样电压互感器 PT_1 信号，实时检测待测无功补偿装置输入端电压，待待测无功补偿装置输入端电压达到过电压或欠电压设定值时，观察无功补偿装置切除情况。若待测无

功补偿装置在规定的时间内全部切除投入电容器组，则说明待测无功补偿装置过电压、欠电压保护功能合格。整流单元接收设备控制单元指令，不仅为逆变单元提供直流支撑，同时发出等量感性无功，抵消补偿装置容性无功。因此，电网侧电流很小，实现了总进线电源容量很小的情况下，对待测无功补偿装置大容量的检测。

2.2.2 无功功率补偿检测

闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 吸合，模拟负载单元接入电网，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，无功功率可调的模拟负载。待测无功补偿装置检测到模拟负载提供的电压信号及电流信号后，计算无功功率及功率因数，并根据计算结果投入无功补偿装置内电容支路。由于模拟负载为恒定值，因此待测补偿装置会逐组全部投入。此时，整流单元采样电流互感器 CT_2 电流信号及自身内部电压互感器电压信号，计算出待测无功补偿装置投入无功量，发出等量感性无功，抵消待测无功补偿装置投入容性无功。当待测补偿装置全部投入后，观察各组补偿支路电流大小，判断补偿支路是否正常。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 断开，观察无功补偿装置逐路切除情况。

2.2.3 响应时间检测

闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 吸合，模拟负载单元接入电网，此时，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，无功功率可调的模拟负载。利用示波器记录待测无功补偿装置采样电流突变时刻 T_1 ，待测无功补偿装置检测电压信号及电流信号后，计算模拟负载的无功功率及功率因数，投入无功补偿装置内电容支路。此时，利用示波器记录待测无功补偿装置输出电流变化时刻 T_2 ， T_2-T_1 即为补偿装置响应时间。

2.2.4 缺相保护检测

闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 吸合，模拟负载单元接入电网，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，无功功率可调的模拟负载。待测无功补偿装置检测到模拟负载提供的电压信号及电流信号后，计算无功功率及功率因数，并根据计算结果投入无功补偿装置内电容支路。由于模拟负载为恒值，因此待测补偿装置会逐组全部投入。此时，整流单元采样电流互感器 CT_2 电流信号及自身内部电压互感器电压信号，计算出待测无功补偿装置投入无功量，发出等量感性无功，抵消待测无功补偿装置投入容性无功。当待测补偿装置全部投入一段时间后，设备控制单元切除三只单相交流接触器其中的任意一相，待测无功补偿装置应切除全部投入的电容器支路，则缺相保护功能合格。

2.2.5 谐波抑制或谐波滤除检测

闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2

吸合，模拟负载单元接入电网，此时，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，无功功率可调的模拟负载。待测无功补偿装置检测到模拟负载提供的电压信号及电流信号后，计算无功功率及功率因数，并根据计算结果投入无功补偿装置内电容支路。整流单元采样电流互感器 CT_2 电流信号及自身内部电压互感器电压信号，计算出待测无功补偿装置投入无功量，发出等量感性无功，抵消待测无功补偿装置投入容性无功。待无功装置内电容支路全部投入后，设备控制单元向整流单元发送谐波输出指令，整流单元接收指令后按照设备控制单元设定的谐波次数及幅值向电网注入谐波。此时，设备控制单元采样电流互感器 CT_1 电流信号及电压互感器 PT_1 电压信号，计算注入变压器输出侧电流谐波次数及含量，检验无功补偿装置被动谐波滤除或抑制能力。

2.2.6 三相不平衡补偿检测

将无功补偿装置电流采样线其中一相或者两相采用不同截面积或者长度的导线，由于采样导线截面积或者长度不同，则采样导线感抗不同，此时三相采样电流不一致，截面积小或者长度长的导线电流值偏小，可以模拟不平衡负载。闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 吸合，模拟负载单元接入电网，此时，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，三相电流及功率不平衡的可调的模拟负载。待测无功补偿装置检测到模拟负载提供的电压信号及电流信号后，计算无功功率及功率因数，并根据计算结果投入无功补偿装置内电容支路，实现装置不平衡补偿功能的测试。此时，整流单元采样电流互感器 CT_2 电流信号及自身内部电压互感器电压信号，计算出待测无功补偿装置投入无功量，发出等量感性无功，抵消待测无功补偿装置投入容性无功。

2.2.7 涌流检测

闭合断路器 QF_2 ，设备控制单元控制交流接触器 KM_1 吸合、静态开关 STS 导通，此时待测无功补偿装置与电网接通。设备控制单元控制交流接触器 KM_2 吸合，模拟负载单元接入电网，模拟负载单元产生三相功率因数为 0.866，无功功率可调的模拟负载。待测无功补偿装置检测到模拟负载提供的电压信号及电流信号后，计算无功功率及功率因数，并根据计算结果投入无功补偿装置内电容支路。由于模拟负载为恒定值，因此待测补偿装置会逐组全部投入。在装置投入最后一组电容器时，设备控制单元通过电流互感器 CT_1 检测该最后一组电容器投入时涌流值，随机投入试验应不小于 20 次，如最大涌流值小于电容器额定电流值 5 倍，则证明涌流检测合格。

3 结束语

针对现有无功补偿装置检测系统存在的不足，提出一种无功补偿装置检测系统，介绍了系统结构、工作原理。系统采用注入变压器调节待测补偿装置输入电压，变压器容量小，节约成本；利用小容量变压器作为模拟负载单元，结构简单，无损耗，造价低、体积小；通过整流单元对消无功补偿装置发出无功，实现进线电源容量很小的情况下，大容量无功补

偿装置的功能试验，因此，系统造价低、体积小。同时可以实现无功补偿装置的各项功能检测，有效替代传统的无功补偿检测设备，满足生产企业及检验院所无功补偿装置的功能检验及性能测试。

参考文献

- [1] 王丹羽，刘香玉，吴红波，等. 低压成套无功功率补偿装置检测标准[J]. 中国高新科技, 2021(24).
- [2] 蔡晓玮. 低压成套无功功率补偿装置的检测分析[J]. 今日制造与升级, 2021(3): 60-61.
- [3] 信天，周媛，张超，等. 基于无功补偿装置关键试验的检测装置研究[J]. 机电工程, 2020(4): 456-460.
- [4] 李珊，张大立，李克文，等. 一种新型低压无功补偿成套装置自动检测系统[J]. 科技资讯, 2013(20): 125-129.
- [5] 李洪亮，王鑫，窦慧，等. 低压成套无功补偿装置谐波抑制检验方法研究[J]. 中国标准化, 2021(21).

(收稿日期：2024-01-25)