

基于 FPGA 开发静态无功补偿控制器

“我们在NI CompactRIO平台上开发的SVC全数字控制系统，大大缩短了产品上市的时间又保证了系统的稳定性。”



挑战：

电弧炉、轧钢机等大型工业设备在为企业创造产值的同时也带来了无功分量和高次谐波等危害，他们直接导致系统电压的波动和闪变，给电网造成了严重的“污染”。

解决方案：

迄今为止，安装静态无功补偿装置（Static VAR Compensator，简称

SVC）是解决上述问题最有效的方法。客户采用cRIO-9114机箱配合cRIO-9012控制器轻松实现了对TCR+TSC型SVC高达 μ S级的控制。高可靠的FPGA技术和简单易用的LabVIEW软件平台为客户节省了大量开发时间，模拟输入模块NI 9205、NI 9215和5V/TTL高速双向数字I/O模块NI 9401、NI 9403出色地完成了从数据采集到脉冲控制的全过程，使这套基于FPGA的SVC迅速有效地完成了对输电网的优化。

作者：陈彦丰 - 上海聚星仪器有限公司

从发电厂输出的电能都是以交流电的形式进行配送的，当交流电在通过纯电阻的时候，电能都转成了热能，而在通过纯容性或者纯感性负载的时候，并不做功。也就是说没有消耗电能，即为无功功率。当然实际负载，不可能为纯容性负载或者纯感性负载，一般都是混合性负载，这样电流在通过它们的时候，就有部分电能不做功，就是无功功率，此时的功率因数小于1，为了提高电能的利用率，就要进行无功补偿。

传统的无功功率动态补偿装置是同步调相机(Synchronous Condenser-SC)，它是专门用来产生无功功率的同步电机。由于它是旋转电机，因此损耗和噪声都较大，运行维护复杂，影响速度慢，已无法适应无功功率控制的要求。所以20世纪70年代以来，同步调相机开始逐渐被静止无功补偿装置(SVC)所代替，这种电子装置能够提供为高压电网提供迅速变化的有功功率。

SVC研发背景

我国研究和应用SVC已有20多年历史，研制出不少产品，但这些产品大多集中在工业和配电领域，容量一般为10~55 Mvar。20世纪八、九十年代，我国输电系统5个500 kV变电站安装了6套容量为

105~170 Mvar 的 SVC，均为进口设备，国内第一套应用于输电网的 SVC 于 2004 年 9 月投运，为电力系统中 SVC 的国产化和产业化打下了基础。

输电系统的 SVC 对可靠性要求极高，需要采用全数字控制，此系统要求逐点计算，以一个工频周期采样 100 个点来算，逐点控制循环的速率也在 200 μ s，如果要计算高阶谐波，控制循环速率会更高，属于 μ s 级的闭环控制，因此只有硬件级控制的方法才能满足要求，NI CompactRIO 不仅集成了 FPGA 硬件而且特别适合工业现场控制，十分符合全数字控制系统的要求。

TSC+TCR 型 SVC

SVC 有三种基本配置：1. 固定电容器+晶闸管控制的电抗器(FC+CR)。2. 晶闸管切换的电容器(TSC)。3. 晶闸管切换的电容器+晶闸管控制电抗器(TSC+TCR)。其中，TSC+TCR 的组合在通常情况下都是最优解决方案，用 TSC+TCR 补偿器可以获得连续变化的无功功率并做到对补偿器的电感和电容部分的完全控制。

基于 NI CompactRIO 的全数字控制器

TSC+TCR 型 SVC 主要由全数字控制系统和 TCR、TSC 阀组构成，全数字控制系统的控制精度和响应速度直接影响到 SVC 能否有效解决负载带来的电能质量问题，是 SVC 的心腹要塞。

传统的控制算法是基于 DSP 实现的，我们的客户之一某 SVC 设备供应商之所以选用 NI CompactRIO，主要因为 DSP 板级的开发和调试周期都比较长，自己开发的 DSP 板可靠性和稳定性又无法保证，为了产品能尽快交货又保证质量，工程师最终选择了集成 FPGA 技术的 CompactRIO 平台，在一个月內完成了全数字控制系统的发布。

如图 1 所示，“电压测量”环节由 NI 9215 模块测量被控的正序电压，包括 3 相母线电压、3 相负载电流和 3 相源电流，Vref 是根据要求设定的电压参考值，“电压调节器”会根据测量电压 Vm 和参考电压之间的差值，计算出要保持母线电压恒定所需要的并联电纳值 B，“分配环节”决定了 TSC（晶闸管投切的电容器）是否需要投切、计算出 TCR(晶闸管控制的电感器)需要并入的“点火角” α ，最后由同步单元利用锁相环（PLL）跟踪次级电压，严格与工频同步并根据“点火角”在不同的相位给晶闸管发出控制脉冲。

整个过程都在 CompactRIO 上完成，客户采用 cRIO-9114 机箱配合 cRIO-9012 控制器轻松实现了对 TCR+TSC 型 SVC 高达 μ s 级的控制。高可靠的 FPGA 技术和简单易用的 LabVIEW 软件平台为客户节省了大量开发时间，模拟输入模块 NI 9205、NI 9215 和 5V/TTL 高速双向数字 I/O 模块 NI 9401、NI 9403 出色地完成了从数据采集到脉冲控制的全过程，使这套基于 FPGA 的 SVC 迅速有效地完成了对输电网的优化。

用户感言

“我们原来使用 DSP 开发板开发核心控制算法，再进行外围硬件电路及外壳设计和封装。现场运行的反馈是稳定性差，调试排错困难，导致整个控制器的上市时间延长。在上海聚星仪器的协助下我们尝试在 NI CompactRIO 平台上开发控制算法，硬件接口逻辑设计，上下位机通信等功能，算法开

发时间得到有效缩短，最终控制器发布并安装到现场后系统稳定性大大提高。目前已销售了多套在NI CompactRIO上实现控制器的静态无功补偿器。”

硬件：CompactRIO，cRIO 9012，cRIO 9114，NI 9205，NI 9215，NI 9401，NI 9403

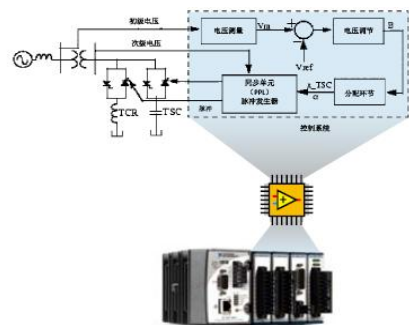


图1 基于NI CompactRIO 的SVC全数字控制系统

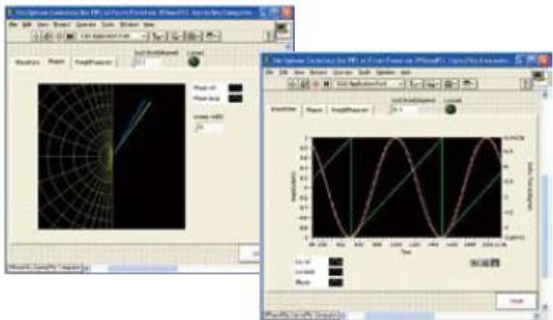


图2 LabVIEW编写的PPL环节界面

