

# 电力配网自动化系统配变终端电能质量 综合治理功能设计探究

崔凯强 郭金波

国网山东电力高青县供电公司

**摘要：**配变电终端的接线端子是配电自动化中的一个关键环节。为了对配网系统进行监控，进而对配网的运行状况进行进一步的优化，在电力配网自动化系统中，对配变终端中的电能质量的保障工作与设计探究是非常重要的。经过对文献的研究和实践的总结和分析，目前电力配网自动化系统中的配变终端电能质量综合治理的功能设计主要有三个部分：硬件设计，软件设计，核心APP设计。要提高设计的科学性，必须结合各个设计关键点进行数值计算。最后，通过仿真实验，验证了配变终端电能质量综合治理作用的有效性。从而提高了系统的功能效果，优化了电力配网自动化系统的运行品质。

**关键词：**电力配网自动化系统；配变电终端模块；软件设计；APP设计；仿真分析

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.059

## 前言

配电变压器的数目巨大，是整个配电网的核心。对配变终端的研究，主要是从软件硬件和核心功能两个方面来进行高效的设计，让它能够在线监测电能采集和电能计量等方面的功能，增强对整个系统的运行状况的监控能力，从而能够满足运行维护人员对整个配变变压器的运行状况的监控要求。

### 一、配网自动化系统配变终端硬件设计研究

#### 1. 硬件总体设计

对于本文所讨论的配变终端的设计而言，其硬件设计主要包括如下几个方面。一是单片机的总控制模块的设计。二是基于单片机的交流-采集模块的设计。三是功率模块的设计。四是数据采集模块的设计。五是通讯模块的设计。六是内存模块的设计。其中，主、交采模块的前两个部分采用了嵌入式辅助芯片来实现。调度运行的管理、电压、电流的采集、数据的处理和分析等功能的实现，是提高电网运行效率的关键。

#### 2. 功能模块设计

在功能模块的设计方面，主要是从芯片的功能和供电两个方面来考虑。在本课题的研究中，采用了一种具有较高可靠性的三相四线制开关供电方式。在任何一种情况下，都能保证电力供应的稳定。此外，功率模块具有更好的电磁兼容性和更低的功耗。另外，数据采集部分也占有很大的比重，它的主要作用就是完成电力系统的参数采集。在本文中，选用了测量芯片ATT7022E来实现数据获取模块的设计。

在实际的计算中，要考虑到许多因素，如电流有效值和无功功率比。在芯片的帮助下，对缓存的数据进行了读取和收集，并实现了数据的传输。可以更好地对电

力系统中的配变终端进行保护和监控。除了以上两个基本的硬件功能模块之外，还选择了与NandFlash有关的器件来进行内存模块的设计，提高了通讯模块的智能设计能力。在整个设计过程中，需要对各种芯片，如主控MCU、交采MCU、采集模块和各种功能模块的电源进行系统的设计。除了功率模块之外，数据采集模块在整个硬件系统中也占有重要的位置。因为采集到的数据是多元的，所以采集模块的电路设计也就比较复杂。

### 二、配电网电能质量综合治理装置的性能

①配电网谐波综合治理设备（简称“设备”），它是指通过对供电地区的电能质量综合治理，对用户侧的电能质量指标进行治理，建立一套行之有效的配电网电能质量管理体系，从而保证本地区的用户用电；②器件组态：实现器件参数的最优组态。③在配电网运行过程中，设备的主要作用是在分配网络建立过程中，对系统进行最优分配；④该装置总体性能稳定，工作寿命延长。⑤本装置能够完全满足用户在本地供电范围内对用户侧的电能质量指数进行测试的需要。⑥根据配电系统运行模式、用户侧负荷种类等具体条件，可根据用户的不同需要，灵活地组合各种设备的功能及参数；⑦通过实时监控设备，监控客户侧的电压波动，无功损失，功率因素，当设备出现不正常的情况时，报警，便于操作人员及早处置。

#### 1. 装置的配置可以满足供电区域内的检测需求

随着社会和经济的持续发展，人民生活水平的不断提升，人们对电能品质的需求也在不断提升，然而，配电网在满足用户需求的同时，也产生了一些诸如电压不稳定，谐波含量超标等问题。为此，为了有效地治理用户侧的电压波动，提高电力系统的运行效率，保证用户

能享受到高质量、高可靠、稳定的电能，就必须在配电网中安装一套综合的配电系统。配电网谐波综合治理设备是一种用于对配电网实施管理、治理谐波的设备。该系统能够对用户侧的功率因数、无功功率、电压脉动等进行监控；也可以向管理中心服务器传送数据，设定装置参数，优化配置；当系统装置发生故障时，能及时发出警报，并给出解决方案。本设备的使用，保证了所辖地区用户能享受到高质量、高可靠性的电力服务。为了进一步强化配电房和终端客户的供电质量，对配电房和终端客户实行了分级管理，针对不同的负荷类别，分别采取了相应的治理措施。

2. 装置可以满足供电区域内的设备运行状况的实时监控

配电网电能质量综合治理设备是指在配网运行过程中，对供电线路进行最优分配，并根据供电地区的实际情况，将系统参数与供电地区的实际情况相结合。首

表1 常见终端app基本功能统计信息表

序号	终端设备名称	基本定义	主要功能
1	采集监测app设备	基于电网设备运行数据进行采集的主要设备	通过数据采集点表配置以及模型对口连接，为运维工作数据计算提供支持
2	基础管理app设备	实现定值、日志、台区、模型管理	有效降低设备间数据管理，交互工作量，提高数据融合度
3	运维精细化app设备	结合电网设备控制算法进行研究	有效扩展设备终端功能，实现本地控制与自我管理

在实际的设计过程中，主要解决了两个关键的功能，即不同种类的设备之间的数据交互和数据的上传。提出了一种基于多个模块的数据交换方法：一是要实现多个终端之间的信息交换和数据的交互；二是应当适时地通过收集应用程序对实际时间库和测量值进行有效的设置，并实现数据的公布。三是对资料资料应具有订购功能。在自动配置工具的帮助下，向应用程序装置上载订阅数据。

2. 核心App功能设计研究

1) 采集监测类核心App设计

要根据不同的类型，有针对性地进行有效的设计。例如，在采集监测的核心应用程序中，可以进一步细分为“智能配电采集”应用程序、“低压分路开关采集应用程序”和“用户采集应用程序”。在智能配电网采集软件的设计中，主要采用SOC测量芯片进行通信与总线的设计，总线采用SPI总线，以实现配电网终端的实时数据采集。另外，还可以实现对正、反有功、四象限有功和无功的定时存储。对正向、反向的有功功率进行有效测量，从而构成一定时期的电能-负载曲线和日冻结电能数据。一系列的数据信息可以通过API接口保存到对应的数据库中，可以在任何时候将其输出到应用程序中。

在低压并联开关采集应用程序中，它的主要作用是实现与低压智能断路器的高效通讯。实现了低压区段的

先，本文从电力系统的实际用电要求出发，对负载进行分类。其次，以电压波动、无功损失、电力因素等为计量指标，分析了各类电力消费者的负载特性。最后，结合设备运行状况，对配电网进行优化。在配电网的运行过程中，对用户端的电压、功率因素等进行了实时监控。在配电网建设过程中，为了确保电力供应能满足客户的需要，对系统的参数进行了优化。

三、配网自动化系统配变终端软件设计

1. 配变终端APP功能架构设计研究

配变终端运营系统的基本功能结构的设计是实现其功能的关键。在智能设计的大背景下，本文的实际设计主要是以智能终端为基础的，将应用程序和硬件进行有效的分离，并在此基础上对软硬件的运行环境进行统一，从而保证了软件的多样性和可扩性。在使用终端功能的时候，主要是依靠各种APP来进行辅助，表1是一些常用的APP的功能信息统计表。

智能化，实现了低压区域的实时数据采集，低压开关状态的采集和断电后的故障报警。在实际应用中，采用RS485作为通讯标准，采用DL/T645标准。在实时数据和状态数据的获取和保存方面，主要是利用API接口将其传送到实时数据库中进行存储。此外，在用户采集应用程序中，其主要的作用是收集客户端的智能监控设备的运行数据及异常情况进行分析。在通信方式上，本文采用了宽频带载波通信的方法，并选择了DL/T645作为通信协议。然后，利用API接口将实时数据和报警信息传递到数据库中，并将其存储在数据库中。

2) 基础管理类核心App设计

基础管理类的核心应用程序又可以进一步分为低压台区型号管理应用程序、对上通信管理应用程序和配变终端状态管理应用程序。其中，低压配电系统模块的主要功能就是对配电台帐、低压用户台帐和低压配电网的接线联通等进行有效的管理。另外，还可以根据对应的功能单位，对基帐簿的管理工作进行分析和收集。实现了对各种数据的实时采集，也可以按照月度累计产生数据信息。

而对上通信管理App的主要功能是，通过MQTT和终端数据总线为台区信息生成对应的描述文件，并在主站中自动地识别和登记上报的数据。配变终端状态管理App的作用就是对设备的状态进行实时管理和监测，特别是在硬件设备发出警报信号时，能够高效地传送异常

状况、异常区域和预警信息。并在此基础上设计了一种智能化的自动控制装置，实现了温度越线报警的自动设置。

### 3) 运维精细化App设计

在实际的应用中，需要对运行和维护的精细化APP进行如下的功能设计。一是“电能质量综合治理”APP。二是开发了一款低压故障的主动应急应用程序。三是集成低压台区在线损耗管理应用程序。针对电能质量状况、低压故障和线损现象，提出了相应的控制对策。

## 四、配变终端电能质量综合治理功能仿真分析

### 1. 无功优化功能算法分析与改进

蜈蚣优化功能应用程序的运行过程中，主要需要借助于九宫格算法和基本算法的完善来实现无功优化的流程推进。在实际应用中，对配电网进行补偿时，应将其设定为均匀的响应时间，而实际研究中，通常将其设定为60秒。确定该判据的依据是：RC时间常数是决定电容器放电时间的关键。具体的表示是： $V_0=E$ ， $V_u=0$ 。在电容器放电的情况下，任何瞬间t都可以用下面的公式来计算，从而获得电容器上的电压和放电的时间。在实际的分析过程中，将相应的配电网端子的投切时间常数RC设为60。通过对电容器进行补偿，使电容器的容量达到总容量的50%，达到了正常工作的要求。

$$Vt=E*\exp(-t/RC) \quad (1)$$

$$t=RC*\ln(E/Vt) \quad (2)$$

之所以选择60秒的计算，是因为过去的工程经验总结，设定这个时间间隔，是为了避免线路频繁开断，对电网的谐波状况产生影响。另外，在采集的过程中，也存在着延迟的情况。所以60秒是一个能适应多种实际需要和适合的反应时间。

当证实判定结果正确时，可以进一步证实三个无功均符合实际的运行要求，此时，就不需要进行实际的接入关断电容器的操作。资料收集、周期判定工作需要进一步跟进。如果基本判定是否定的，那么这三个选项中的任何一个都有可能是1的状态。如果进一步确定这三种状态中有一种是唯一的，那么应该延迟执行投入电容操作，并在延迟60秒之后继续确定。

### 2. 三相不平衡治理功能算法

本文将使用16个空间矢量，它们可以在abc坐标框架下组成一个完全的十二面体，在坐标轴之上是0的空间矢量，在坐标轴之下是1的空间矢量，这样就可以计算出十六个平面之间的关系。

### 3. 综合治理功能优化仿真分析

#### 1) 合理设置仿真分析基础参数

在模拟计算中，需要设定直流侧的电容指标、直流

侧的电压指标、对称的交流侧电感指标和不对称负荷的负荷指标。在实际设计中，要根据设备运行的基本情况，对这些参数进行合理的设定，以利于仿真的建立。

### 2) 仿真模型构建分析

在Simulink环境下，建立了相应的仿真模型。在建立了数学模型之后，将会有一个主要的数学模型和一个SVPWM的模型。还需要在整个框架模型的基础上，进一步建立可计算的模型。在建立模型时，需要判断整个系统的工作状态和调制参数的大小是否超过了期望的范围。把三个项目占空因数加起来，再减去1，如果数值大于0，表示系统已进入超调，需要对占空因数做相应的调整。具体而言，0切换时的空间向量占空率可以设定为 $d_0$ 。

$$d_0=1-d_1-d_2-d_3$$

其中， $d_1$ ， $d_2$ ， $d_3$ 分别是三项占空比阶段性数据。用减法求出 $d_0$ 的计算结果。接着，算出各相开关桥臂导通时间、导通次序。为有关资料的分析奠定基础。例如，在对台内的低压工况进行分析时，可以设定负荷突变的情况来观测模拟的结果。在系统工作状态下，采用三相非对称的补偿方式，可以在0.1秒之内将系统连接到系统中，观测其功率因素的变化。当改变发生时，需要用1/2的周期来完成动态调节，从而使能量单向恢复到接近1的状态。

### 结论

通过对本文的实践分析，可以看出，在实际的电网运行过程中，配网自动化系统，配网终端的电能质量综合治理的功能设计，需要从软件、硬件、核心作用App等多个层面进行综合的设计。并在此基础上，通过数值模拟与分析，验证各工作状态下的治理函数所起的作用。可以看出，在对系统功能进行优化改进的过程中，需要注意对各个环节的模拟分析和节点的设计。从而使电能质量综合治理的作用得以充分发挥，使电网自动化系统的运行状况达到最优。

### 参考文献

- [1] 张晓东, 卢玺宁. 配网自动化系统相关技术研究[J]. 中国信息化. 2013, (12): 89-91.
- [2] 倪久祥. 凉山供电公司馈电自动化系统的设计与实现[D]. 2015.
- [3] 陈素娟. 惠州地区配电网自动化的应用研究[D]. 2018.
- [4] 王洋. 大连核心地区配电网自动化系统的设计与实现[D]. 2016.
- [5] 姜中华, 罗安, 赵伟, 吴芳慈. 配电网电能质量实时监测分析与治理仿真[J]. 电网技术, 2010, 34(8): 18-24.