

## 紧急切负荷网荷互动终端设计与实现

陆玉军, 李 澄, 陈 颢, 王 宁, 葛永高  
(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:** 鉴于调控切负荷和营销负控切负荷控制手段都无法同时满足特高压直流线路闭锁故障时负荷紧急控制和保障大型用户重要负荷供电的需要, 文中提出了通过改进专变用户终端实现负荷快速控制的方法, 设计了一种可满足用户可切负荷精细化采集、实时通讯、多主站安全快速控制的通用型紧急切负荷网荷互动终端, 并针对现场的负荷接入、功率计算、跳闸出口设计了一种可灵活配置的解决方案, 最终实现终端在用户现场应用, 通过实际切负荷测试验证了终端完全满足精准切负荷系统的要求。

**关键词:** 紧急切负荷; 用电信息采集; 可中断负荷; 切负荷控制;

**中图分类号:** TM762

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2096-3203(2017)03-0082-07

### 0 引言

目前应对电网故障和紧急状态的重要技术措施是紧急切负荷, 包括安全稳定控制系统、低频低压减载装置、事故拉限电等控制手段<sup>[1-4]</sup>。特高压直流工程投运后发生双极闭锁等严重功率输送故障将造成受端电网功率缺额, 引起频率跌落、系统稳定等紧急情况出现, 针对这一问题, 国内外开展了深入的研究, 主要从电网调控层面对负荷的权重进行分类, 以减少事故停电对用户造成的损失, 确保重要用户得到供电<sup>[5-8]</sup>。采取调控集中切负荷手段可力保主网稳定运行, 但却无法避免局部地区用户受大面积停电的影响。

江苏地区用电信息采集系统经过多年的建设, 已实现了全省用户用电信息采集的覆盖, 在大型用户安装的专变采集终端不仅可以实现负荷采集监测, 还可实现负荷中断控制。通过错峰、避峰、负控限电等一系列有序用电措施, 缓解了供用电的矛盾, 发挥了负荷调控和保障关键负荷用电的重要作用<sup>[9-13]</sup>。虽然营销用采系统实现了切负荷控制管理, 但由于终端、通讯及负控主站的限制, 此类切负荷系统的控制时间达分钟级, 难以满足特高压直流故障时紧急切负荷的时间要求。

前述2种切负荷控制方式在特高压电网故障时都无法同时满足紧急切负荷和保重要用户供电的要求。为改进切负荷策略, 利用大型用户的可控负荷, 文献[14]提出的“事故类型查表快速操作法”实现用户可中断负荷控制与调度拉限电对接, 提高了

负控的处置响应时间; 文献[15]提出了一种基于用户互动特高压受端电网负荷综合控制法, 实现负控系统 with 调控系统的负荷监测与控制对接。文献[16]提出了精准负荷控制系统, 通过在大用户侧安装互动终端实现紧急切负荷控制, 可以确保电网稳定运行和功率平衡, 同时避免大面积停电对用户重要设备供电的影响, 弥补了调控切负荷手段的不足。本文通过开展紧急切负荷和专变用户现场需求分析, 提出了可切负荷快速精准控制的解决方案, 开发了一种支持用户负荷精细采集、快速通讯、实时控制的网荷终端。

### 1 网荷互动终端需求分析

#### 1.1 紧急切负荷控制需求

安装于大型用户的专变终端主要用于电能表采集, 采用无线公网或230 M专网与主站通讯, ESAM芯片加密方案, 可控负荷线路少<sup>[10,11]</sup>。负荷数据采集、通讯的实时性和安全性、控制快速性方面达不到紧急切负荷控制快速响应的控制要求。精准切负荷系统对终端提出的新要求有<sup>[16]</sup>:

(1) 可切负荷精细化采集。支持根据用户负荷性质、重要程度进行细分, 实现用户多路负荷的电压、电流、功率等多个参数的实时采集, 并通过通讯快速上传主站, 为主站提供全面的用户实时负荷信息及分轮次可切负荷。

(2) 负荷快速控制。支持当大电网故障或扰动时, 响应电网的紧急切负荷控制命令, 快速切除用户可切负荷, 确保电网频率稳定; 电网故障或扰动发生后, 相关通道潮流超稳定限额, 响应次紧急的负荷分区控制, 切除相应用户的部分负荷; 在故障处理后, 响应主站的需求, 重新恢复部分负荷, 完成

收稿日期: 2016-12-29; 修回日期: 2017-02-23

基金项目: 国家电网公司总部科技项目(用户负荷群快速响应及调控技术研究)

发用电平衡调控。

(3) 实时快速安全通讯。支持将采集的用户负荷数据通过高速光纤通道上传负控主站或精准切负荷系统,接收主站控制命令。支持数据的安全传输,加密方案符合《电力监控系统安全防护规定》。

除此之外还需要实现用户电能和负控数据的采集,针对有序用电、需求响应、电费收缴等业务进行功率控制。

## 1.2 专变用户负荷现场需求

### 1.2.1 用户负荷需求

根据入户电压等级和变配电房布置,分2类用户:一类是负荷规模大、出线较多的35 kV及以上等级“降压变电所+配电房”的用户;另一类是负荷规模中等、出线略少的35 kV及以下只有配电房的用户。用户可切负荷一般是不影响直接生产的负荷;包括次要生产负荷,或辅助生产、生活负荷等;这些负荷位于中压侧和低压侧,前者一般直接负荷出线,后者接配电房低压出线,因此,用户可切负荷在厂区内分布一般较分散。

用户负荷接入要求,终端至少能实现8路或以上各种电压等级负荷的采集与控制。

### 1.2.2 用户设备接入控制需求

根据可切负荷线路接入控制需要,需采集用户负荷线路的交流电流、电压并实现开关跳闸控制。

(1) 交采信号:线路TA二次输出有5 A/1 A

2种定额,电流采集应能满足2种额定接入。母线电压有TV二次电压(57.7 V/100 V)和低压母线电压(220 V/380 V)2种额定,Y/V 2种接线形式,电压采集也需适应这2种方式。

(2) 开关控制:负荷线路开关机构一般具有常开或常闭冗余辅助触点,为空接点形式,接入开关位置时需要2种都支持或具备。开关跳闸控制一般以跳闸空接点接入开关跳闸回路,考虑具备相关负荷恢复功能,应具备合闸输出或相关提示、告警。

由于现场用户开关设备厂家不一,设备输出定额和配置往往不同,要求终端设计应能自适应满足各种场合的应用需求。

## 2 网荷互动终端设计

网荷互动终端是一种新型专变终端,其不仅要满足精细化采集、实时通讯、分轮次快速切负荷的要求;同时满足用电信息采集系统对用户电能数据采集、有序用电控制等要求,还应能适应各种行业的用户安装使用要求,可完全替代现有专变终端,因此要求终端的接口丰富、通讯强大、负荷控制迅速、安全可靠,具备可配置或扩展功能。

### 2.1 网荷终端功能设计

网荷终端由三大功能模块组成,如图1所示。

#### 2.1.1 实时负荷采集计算模块

实时采集进线电流、母线电压、开关位置;采集中压出线电流、母线电压、开关位置,低压出线电

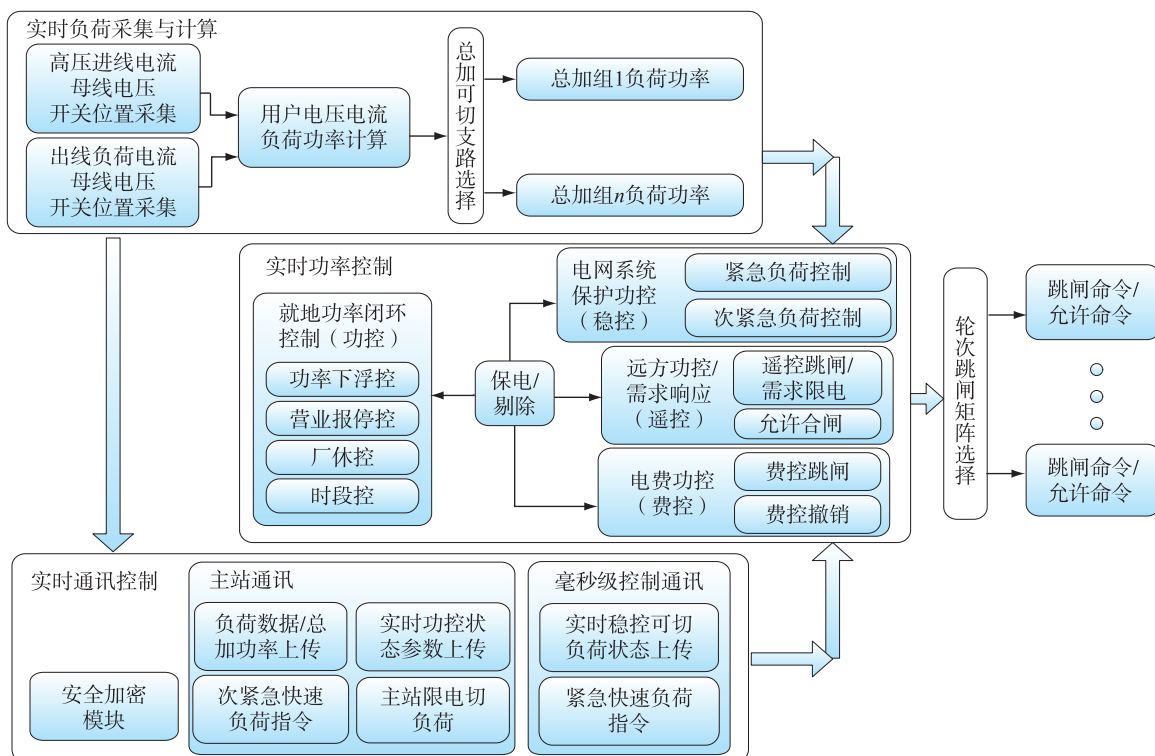


图1 终端功能设计

Fig.1 Function design of the terminal

流、母线电压、开关位置。

通过采样计算电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数、频率;根据总加组线路配置,计算出对应总加组的功率,作为可切负荷功率。

### 2.1.2 实时功率控制模块

(1) 电网稳控模块。依据特高压电网故障类型的不同时效性,接受来自精准切负荷系统和营销主站的控制指令,实现紧急/次紧急切负荷的稳定控制。

(2) 远方功控/需求响应模块。根据主站对用户的限电需求,发出控制指令,完成负荷需求响应控制。

(3) 电费控制模块。根据用户购电方式,终端上传用户电能数据,主站根据用户用电和电费余额判断是否需要预购电用户采取相应限电措施,实现预购电/电费控制。

(4) 就地功率控制模块。根据预置的功率控制模式,像负控终端一样工作在功率下浮控、营业报停控、下浮控、时段控等多种模式<sup>[10]</sup>。

### 2.1.3 实时通讯控制模块

(1) 安全加密模块。实现调度数据传输要求的安全加密方案,支持数字签名和报文加密的组合应用。

(2) 主站通讯。支持与营销主站的快速通讯,上传负荷数据、总加组功率,接收主站切负荷控制命令、主站下发的控制参数。

(3) 快速切负荷通讯。支持与精准切负荷系统等设备快速通讯,上传精准切负荷量和接收紧急切负荷指令,实现精准负荷控制。

(4) 其他通讯。电能表数据采集通讯,同时为考虑 400 V 分散负荷的接入,预留相应的底层设备接入通讯(如网络或串口设备通讯)。

除上述主要功能模块外,终端还有控制出口模块。可针对切负荷或功率控制方式,设定相应总加组和控制矩阵,根据预设可切负荷的配置,分批分轮次切除用户可切线路负荷。

## 2.2 多任务环境设计

根据前述的功能模块,基于嵌入式系统环境,设计了如图 2 所示的 4 层软件控制架构。

(1) 最底层为硬件接口层,提供对 DSP 及其外设硬件的控制操作。

(2) 第二层为操作系统环境和应用接口,为上一层多任务环境提供任务控制、中断处理、访问控制。

(3) 第三层为多个实时任务组成的软件环境,

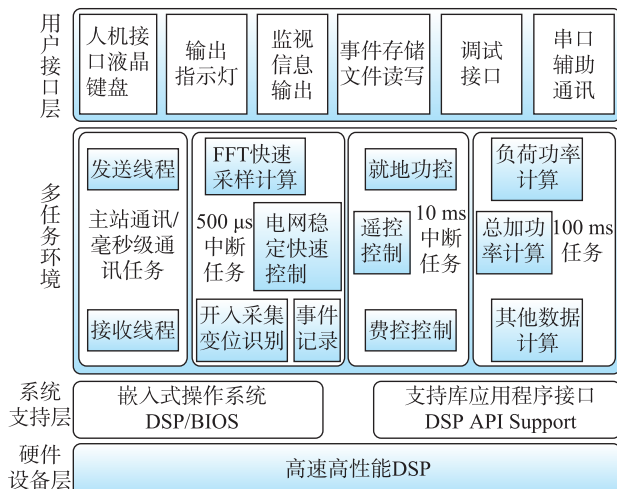


图 2 多任务环境设计

Fig.2 Multitask environment scheme

其中主站通讯、精准切负荷通讯任务由中断触发执行,500  $\mu$ s/10 ms/100 ms 任务由定时中断触发,各项任务根据需要进行子任务划分,其中采样数据的计算放在较慢速的 100 ms 任务中,而常规功率控制而放在 10 ms 级任务中,为确保电网稳控切负荷响应被快速执行,将紧急/次紧急切负荷放在 500  $\mu$ s 级任务中执行,可确保快速切负荷指令能得到最快执行。

(4) 第四层为各种用户接口提供处理任务,主要用于人机接口、信息输出、事件存储、设备调试等与用户交互的任务处理。

## 2.3 终端硬件设计

根据前述要求,终端不仅具有常规测控终端或配电终端的接口,同时还要支持多路通讯接口以适应现场应用的需要。

### 2.3.1 终端板件设计

考虑终端需同时与营销控制主站、精准切负荷系统、用电信息采集主站电能表采集通讯,以及控制安全隔离和数据加密传输的需要,终端设计由负荷主控和电能采集 2 部分组成,如图 3 所示。为减少体积,2 部分板件集成在 1 个机箱内,2 者共用 1 块电源。

(1) 负荷主控部分由主 CPU 板、进线负荷模拟量输入 AI 板、出线负荷模拟量 AI 板、开入 DI 板、开出 DO 板、人机接口 UI 板、总线背板组成。

(2) 电能采集部分有 1 块通讯采集 SER 板。

### 2.3.2 负荷主控设计

(1) 通讯接口。为考虑与营销主站、精准切负荷系统及其他设备通讯,终端设计有 3 个以太网接口,同时预留 3 至 5 个串口,以便于与其他智能设备通讯或实现扩展。

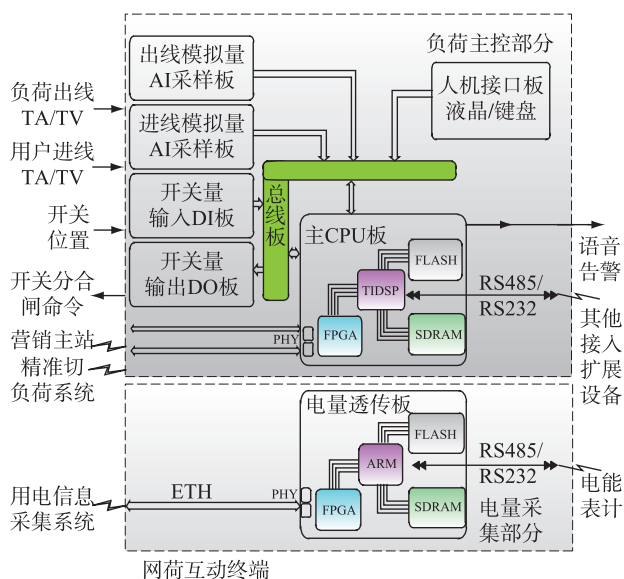


图3 终端板件结构

Fig.3 Terminal plate structure

(2) 模拟量输入接口。配备 36 个交流采样通道, 电流电压采样通道的调整可通过更换插件或修改配置进行调整, 以适应现场的电压 Y/V 接线、电流的全相、非全相、或单相接入。

(3) 开关量输入接口。配备 32 路, 支持可扩展开关量输入到 48 路, 空接点输入。

(4) 开关量输出接口。配备 24 路开关量输出, 支持可扩展开出到 30 路, 空接点输出。

### 2.3.3 电能采集设计

电能采集部分支持 4 路独立 RS485 串口采集, 支持各种接口的配置和对各种电表进行采集, 通过以太网接口上传主站。

### 2.3.4 人机接口设计

采用大屏点阵液晶设计, 配备多达 18 个指示灯, 12 个专用按键, 采用树状中文菜单设计, 单屏菜单显示信息丰富, 提示详细准确, 菜单层级少、操作简便, 人机接口友好。

## 3 快速切负荷终端实现

### 3.1 终端的灵活配置

#### 3.1.1 负荷线路

终端软件设计共 36 个交流采样通道, 每个通道可配置电压  $U$  或电流  $I$ , 最大可采集 16 条可切负荷线路。典型配置是  $24I+12U$  输入, 按 8 条全电流线路 ( $8 \times 3I+4 \times 3U$ ) 或 12 条非全电流线路 ( $12 \times 2I+4 \times 3U$ ) 设计。考虑一段母线上的线路共用一组电压, 4 组电压最多可采 4 段母线电压。

当接入负荷线路为  $3I$  时可选择三表法或两表法计算, 而当接入  $2I$  时只可选两表法计算。程序

内支持第  $m$  ( $m=1 \sim 4$ ) 组电压灵活配置到  $n$  ( $n=1 \dots 16$ ) 条线路, 通过正确配置可确保线路功率计算准确, 该配置可满足目前绝大多数用户的可中断负荷接入需求。当接入线路超过 12 条时可通过调整电压电流通道的数量满足, 针对个别用户可切负荷超过 16 路时, 可通过扩展终端满足现场应用的要求。

#### 3.1.2 总加功率处理

采集线路的功率一般为实际用电功率, 但由于电流回路极性接反 (或按流出母线方向为正设计) 等原因, 将导致采集的负荷功率为负, 采集功率方向与实际相反。这不仅导致主站也难以识别正确的功率方向, 也影响负荷功率总加计算, 易产生计算错误。为确保每一条线路的采集功率与实际一致, 需要根据现场情况进行功率方向的矫正。终端在设计时中充分考虑了现场的这一情况, 设计了可修改线路名称、TA/TV 变比、功率方向的配置, 如图 4 所示。在总加组的配置中, 通过选中线路、设置正确的功率方向, 可有效解决上述问题。

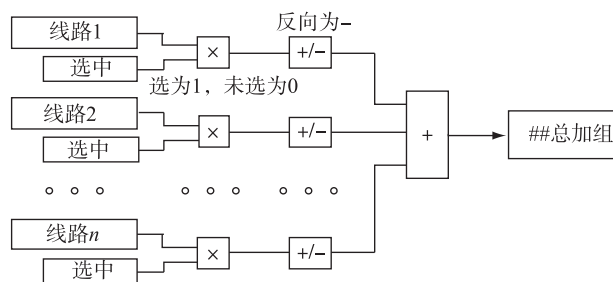


图4 总加功率处理

Fig.4 Total active power process

#### 3.1.3 可配置跳闸矩阵

用户接入的可切负荷线路可能随生产变化做出相应调整, 使得被切负荷或切负荷的轮次发生改变, 因此为负荷的灵活控制设计了一种可配置出口的线路跳闸矩阵, 可根据用户负荷线路控制需要进行调整。对每一种切负荷方式 (功率控制) 对应一个跳闸矩阵, 跳闸矩阵中每一路负荷可独立选择, 选中的线路 (用  $X$  表示) 为可切负荷线路。如表 1 所示。

表 1 线路跳闸出口矩阵

Table 1 Line trip output matrix

| 控制方式   | 线路 1 | 线路 2 | ... | 线路 $n$ |
|--------|------|------|-----|--------|
| 功控轮次 1 | X    | —    | —   | —      |
| 功控轮次 2 | —    | X    | —   | —      |
| ...    | ...  | ...  | ... | ...    |
| 功控轮次 8 | —    | —    | —   | X      |
| 营销快切   | X    | X    | X   | X      |
| 快切系统   | X    | X    | X   | X      |

### 3.2 终端的厂内测试

根据快速切负荷系统的要求,于2016年3月在厂内搭建了如图5所示的模拟主站—终端测试系统,由模拟营销主站、模拟精准切负荷系统分别与2个终端通讯,终端接4条负荷进行切负荷实测。厂内模拟切负荷测试如表2所示。

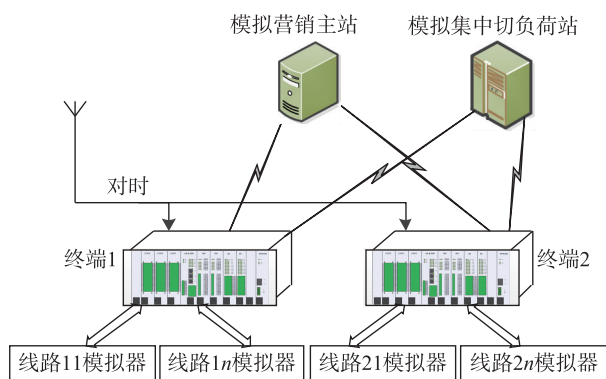


图5 模拟测试

Fig.5 Emulation test

表2 厂内模拟切负荷测试

Table 2 Factory emulation load shedding test

| 营销切线路/<br>精准切线路 | 接收跳闸命令<br>时间 | 开关分位接点<br>动作时间 | 间隔<br>/ms |
|-----------------|--------------|----------------|-----------|
| 线路11            | 10:21:46.346 | 10:21:46.378   | 32        |
| 线路1n            | 10:21:46.325 | 10:21:46.362   | 37        |
| 线路21            | 10:21:46.314 | 10:21:46.348   | 34        |
| 线路2n            | 10:21:46.333 | 10:21:46.366   | 33        |
| 线路11            | 10:35:23.810 | 10:35:23.845   | 35        |
| 线路1n            | 10:35:23.798 | 10:35:23.830   | 32        |
| 线路21            | 10:35:23.803 | 10:35:23.837   | 34        |
| 线路2n            | 10:35:23.790 | 10:35:23.826   | 36        |

从表2看出,终端在接收到主站命令切模拟负荷的平均时间为34ms,模拟器动作时间约25~30ms。经测算终端在2种控制方式下,接收到跳闸命令到出口的时间均不到10ms,测试结果显示终端具有快速的响应能力。

## 4 现场快速切负荷实测

根据前述设计的终端已于2016年成功安装于江苏境内1500家用户,根据营销主站2016年7月统计,全省接入的可切负荷最高达3500MW。现场选择部分用户开展了切负荷试验。

(1) 营销主站切负荷试验。2016年5月底对全省34户开展了营销主站集中切负荷试验,苏州地区10户的动作情况如表3所示。

通过表3可见终端接收主站命令切负荷平均时间不到53ms,实测终端接收报文到出口最大时间

90ms(含开关动作时间30~70ms不等),表3中的最短时间仅36ms,通过试验测算终端接收命令到跳闸出口时间不超过10ms。

表3 营销主站切负荷时间

Table 3 Load shedding time of marketing master station

| 用户      | 接收跳闸命令<br>时间 | 开关分位接点<br>动作时间 | 间隔/<br>ms |
|---------|--------------|----------------|-----------|
| 达诺铸造    | 16:48:23.987 | 16:48:24.049   | 62        |
| 科斯伍德油墨  | 16:48:23.968 | 16:48:24.026   | 58        |
| 大同精密金属  | 16:48:23.930 | 16:48:24.020   | 90        |
| 佳诚涂层钢板  | 16:48:23.933 | 16:48:23.977   | 44        |
| 华美达铝业   | 16:48:23.965 | 16:48:24.009   | 44        |
| 双腾管业    | 16:48:23.877 | 16:48:23.926   | 49        |
| 贝内克汽车内饰 | 16:48:23.921 | 16:48:23.968   | 47        |
| 福华织造    | 16:48:23.926 | 16:48:23.980   | 54        |
| 远轻铝业    | 16:48:23.958 | 16:48:23.994   | 36        |
| 纬立资讯配件  | 16:48:23.937 | 16:48:23.982   | 45        |

(2) 精准切负荷系统切负荷试验。2016年6月开展了苏州地区用户精准切负荷系统切负荷试验,记录的4户动作时间如表4所示。

表4 紧急切负荷时间

Table 4 Emergency load shedding time

| 用户    | 接收跳闸命令<br>时间 | 开关分位接点<br>动作时间 | 间隔/<br>ms |
|-------|--------------|----------------|-----------|
| 久保田机械 | 15:20:37.498 | 15:20:37.566   | 68        |
| 富士和机械 | 15:20:37.498 | 15:20:37.576   | 78        |
| 旭硝子玻璃 | 16:47:49.957 | 16:47:50.014   | 57        |
| 协鑫光伏  | 17:03:14.061 | 17:03:14.130   | 69        |

通过表4可见终端接收到主站命令切负荷平均时间为68ms,终端的最大出口时间为78ms,由于用户开关动作时间的离散性,每一户动作时间会有所差异。

## 5 结语

本文针对特高压直流故障时电网安全稳定控制的需要,设计了一种可精细控制用户负荷的网荷终端设备,它支持与大规模快速切负荷系统快速通讯,接受快速切负荷命令,实现对用户可切负荷的快速控制,现场试验结果表明终端在接收命令到出口时间非常迅速,可完全满足系统对用户负荷快速控制的要求。

### 参考文献:

[1] 徐泰山,李峰,张建新,等. 各类紧急减负荷控制的在线风险评估和协调决策方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(20):91-95.

XU Taishan, LI Feng, ZHANG Jianxin, et al. Online risk assessment and coordinated decision scheme for emergency load

- shedding control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(20):91-95.
- [2] 范东君,吴兴扬. 国内电力系统紧急减负荷现状分析[J]. 电子测试,2013(24):243-244.  
FAN Dongjun, WU Xingyang. Analysis of current situation of emergency load shedding in domestic power system [J]. Electronic Test, 2013(24):243-244.
- [3] 杨卫东,庄侃沁,徐泰山,等. 华东电网低频低压减载方案研究[J]. 华东电力,2009,37(10):1656-1660.  
YANG Weidong, ZHUANG Kanqin, XU Taishan, et al. Low frequency and low voltage load shedding schemes for East China Power Grid[J]. East China Electric Power, 2009, 37(10):1656-1660.
- [4] 张执超. 电力系统紧急状态下切负荷控制策略研究[D]. 北京:华北电力大学,2014.  
ZHANG Zhichao. Study on load shedding strategy for power system under emergency situations[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [5] 杨明,韩学山,梁军,等. 计及网络安全约束及用户停电损失的动态经济调度方法[J]. 电力系统自动化,2009,33(14):27-30.  
YANG Ming, HAN Xueshan, LIANG Jun, et al. A method for dynamic economic dispatch considering network security constraints and customer interruption costs[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(14):27-30.
- [6] 李明节. 大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术,2016,40(4):985-991.  
LI Mingjie. Characteristic analysis and operational control of large-scale hybrid UHV AC/DC power grids[J]. Power System Technology, 2016,40(4):985-991.
- [7] 王建国,孙华东,张健,等. 锦屏—苏南特高压直流投运后电网的稳定特性及协调控制策略[J]. 电网技术,2012,36(12):66-70.  
WANG Jianming, SUN Huadong, ZHANG Jian, et al. Stability characteristics and coordinated control strategy of interconnected grid integrated with UHVDC transmission line from Jinping to Sunan[J]. Power System Technology, 2012, 36(12):66-70.
- [8] 韩冰,孙世明,赵家庆,等. 适应特高压直流闭锁故障处置的批量负荷快速控制关键技术[J]. 电力系统自动化,2016,40(17):177-183.  
HAN Bing, SUN Shiming, ZHAO Jiaqing, et al. Key technologies for high speed batch control of load dispatching adapt to block fault disposal of UHVDC transmission system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(17):177-183.
- [9] 冯隆基. 江苏地区电力用户用电信息采集系统的研究[D]. 南京:东南大学,2013.  
FENG Longji. Study on electric energy data acquisition system of electric power user in Jiangsu[D]. Nanjing: Southeast University, 2013.
- [10] Q/GWD 1374.1—2013 电力用户用电信息采集系统技术规范第1部分:专变采集终端技术规范[S].  
Q/GWD 1374. 1—2013 Power user electric energy data acquire system technical specification part1: Data acquire terminal of special transformer[S].
- [11] Q/GWD 1375.1—2013 电力用户用电信息采集系统型式规范第I部分:专变采集终端型式规范[S].  
Q/GWD 1375. 1—2013 Power user electric energy data acquire system type specification part1: Data acquire terminal of special transformer[S].
- [12] 颜庆国,陈霄,易永仙. 有序用电用户负荷特性分析方法研究[J]. 江苏电机工程,2014,33(6):48-50.  
YAN Qingguo, CHEN Xiao, YI Yongxian. Load property analysis method for demanders participating orderly power utilization[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014,33(6):48-50.
- [13] 熊德智,粟忠民,黄志刚. 特大型专变客户负荷控制方案优化[J]. 电力需求侧管理,2013,15(4):24-26.  
XIONG Dezhi, SU Zhongmin, HUANG Zhigang. Load control scheme optimization of oversize special transformer customer [J]. Power Demand Side Management, 2013,15(4):24-26.
- [14] 马礎颀,徐正安. 特高压直流满功率故障负荷控制策略研究[J]. 电力需求侧管理,2015,17(5):44-48.  
MA Jingjie, XU Zheng'an. The research on load control strategy during UHVDC transmission system full power block fault[J]. Power Demand Side Management, 2015,17(5):44-48.
- [15] 李虎成,袁宇波,张小易,等. 全球能源互联网下的受端大电网柔性控制策略探讨[J]. 江苏电机工程,2016,35(3):10-12.  
LI Hucheng, YUAN Yubo, ZHANG Xiaoyi, et al. The flexible control strategy study of receiving end large power grid under global energy connection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3):10-12.
- [16] 罗建裕,李海峰,江叶峰,等. 基于稳控技术的源网荷友好互动精准负荷控制系统[J]. 电力工程技术,2017,36(1):25-29.  
LUO Jianyu, LI Haifeng, JIANG Yefeng, et al. Source network load friendly interactive and precise load control system based on stability control technology [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1):25-29.

## 作者简介:



陆玉军

陆玉军(1972—),男,江苏句容人,高级工程师,从事电力自动化二次系统相关的研究开发与应用工作;

李澄(1970—),男,江苏无锡人,研究员级高工,从事继电保护、变电综合自动化系统、配网自动化系统等研究与项目开发工作;

陈颢(1987—),男,湖北钟祥人,工程师,从事电力自动化二次系统相关的研究开发与应用工作;

王宁(1981—),男,河北保定人,工程师,从事变电站自动化系统相关研究与技术开发工作;

葛永高(1978—),男,江苏兴化人,工程师,从事电力自动化二次系统相关的研究开发与应用工作。

(下转第99页)

- Electrotechnical Society, 2016,31(24):96-104.
- [15] 巢亚锋,潘洪峰,黄福勇. 硫化硅橡胶涂料在直流输电线路绝缘子上的运行状况研究[J]. 高压电器,2014,50(11):81-85.
- CHAO Yafeng, PAN Hongfeng, HUANG Fuyong. Performance of the RTV and RTV-II coatings on DC transmission line[J]. High Voltage Apparatus, 2014,50(11):81-85.
- [16] 方 苏,高海峰,贾志东. 纳米 SiO<sub>2</sub> 对 RTV 硅橡胶涂料性能的影响[J]. 高电压技术,2009,35(1):128-128.
- FANG Su, GAO Haifeng, JIA Zhidong. Influence of nano-silica on silicone rubber coatings for outdoor insulation [J]. High Voltage Engineering, 2009,35(1):128-128.
- [17] 徐志钮,律方成. 室温硫化与高温硫化硅橡胶在交流电晕下憎水特性的比较[J]. 高电压技术,2011,37(8):1916-1923.

XU Zhiniu, LYU Fangcheng. Influence of AC corona on HTV and RTV hydrophobicity loss and recover [J]. High Voltage Engineering, 2011,37(8):1916-1923.

作者简介:



王铭民

王铭民(1974—),男,江苏扬州人,高级工程师,从事高电压技术、电网设备运维技术研究及管理工作;

许建刚(1980—),男,江苏无锡人,工程师,从事变电运维管理工作;

杨小平(1980—),男,湖北荆州人,高级工程师,从事变压器及防污闪涂料方面工作;

周志成(1977—),男,湖南株州人,研究员级高级工程师,从事高电压技术、电网设备运维技术,研究及管理工作。

## Automatic Spraying Equipment Research of RTV on Substation

WANG Mingmin<sup>1</sup>, XU Jiangang<sup>1</sup>, YANG Xiaoping<sup>1</sup>, ZHOU zhicheng<sup>2</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing, 211103, China)

**Abstract:** RTV is one of effective methods for power transmission equipment external insulation properties improving. However, the performance of RTV coating was affected by spraying operation, which was mainly artificial spraying on site. In this paper, an automatic spraying equipment was developed to deal with uneven coating thickness, flow and other phenomena of artificial spraying. The device can help the spraying gun achieve circular, up and down and swinging three-dimensional motion by setting up the gun's posture parameters. After spraying, spot detection found that artificial spraying thickness difference is quite large, while automatic spraying thickness is relatively uniform, and the automatic spraying equipment can effectively improve the RTV coating quality and efficiency.

**Key words:** RTV; external insulation; artificial spraying; automatic spraying

(编辑 刘晓燕)

(上接第 87 页)

## Design and Implementation of User Terminal Unit for Emergency Load Shedding

LU Yujun, LI Cheng, CHEN Hao, WANG Ning, GE Yonggao

(Jiangsu Frontier Electric Power Technology Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Due to the dispatching and marketing load control method cannot satisfy the load emergency control and the power supply needs of large users and important loads when UHVDC block fault occur, a method is proposed to realize swift load control by improving specialty transformer user terminals in this paper. A common emergency load shedding control terminal is designed to meet the precise acquisition of interruptible load, real-time communication, and multi-master security fast control. A flexible configuration solution is designed for field load access, power calculation and tripping output. Finally, the terminal is applied at the user site. Actual load shedding test verified that the terminal fully meet the requirements of the precision load shedding system.

**Key words:** emergency load shedding; electric energy data acquire system; interruptible load; load shedding control

(编辑 徐林菊)