

基于网荷终端的用户低压负荷紧急控制

陆玉军¹, 李澄¹, 江红成², 刘海波³, 陈颢¹, 葛永高¹, 王伏亮¹

(1. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 国网南通供电公司, 江苏 南通 226001; 3. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 目前安装网荷终端的用户可切负荷集中在 10 kV 以上, 在紧急切负荷时把很多重要的低压 400 V 负荷同时切除了。为进一步减少紧急切负荷对用户生产的影响, 通过对现场用户 400 V 负荷性质、容量、设备的调研, 提出了符合现场用户特点的设备改造负荷接入方案。针对 400 V 负荷精细化采集、快速控制的需要, 及现场实施的可行性、经济性要求, 设计了针对集中式和分散式两种类型用户的 400 V 负荷快切方案, 并完成了现场用户试点实施。通过研制一种基于面向通用对象的变电站事件通信 (generic object oriented substation event, GOOSE) 的网荷子单元, 对方案进行优化改进, 使其满足了紧急切负荷的动作快速性要求。

关键词: 紧急切负荷; 网荷终端; 电力用户; 负荷控制

中图分类号: TM762

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)03-0043-05

0 引言

特高压直流发生双极闭锁故障时引起的受端电网功率缺额、频率稳定问题更为突出, 采用调控紧急切负荷仍是确保电网安全运行的重要手段, 但以 110 kV 线路为控制对象的安全稳定控制系统集中切负荷方式, 易触发企业生产事故, 造成大面积的用户损失和不利的社会影响^[1-5]。

针对这一问题, 江苏电网根据大用户负荷控制和需求响应的实施经验, 结合专变用户负荷控制终端升级、负荷精细化采集、能效监控和负荷快速控制的多重需求, 率先开展了大规模用户、电网、电源友好互动系统的研究和建设, 通过在大型电力用户侧安装网荷终端, 采用光纤以太网通信, 实现了用户负荷的精细化采集和可切负荷快速精准控制^[6-13]。首期在全省实施了 1000 多户大型用户负荷分路快速控制, 监测可控负荷达到了 3500 MW, 主要集中于用户厂内的 35 kV/20 kV/10 kV 电压等级。

对于用户低压负荷中有重要生产负荷, 如果被切除, 会造成一定的损失或不利影响。为减少紧急切负荷对用户的影响和实现负荷精准采集控制, 本文提出了一种以用户 400 V 低压可切负荷为对象的负荷紧急控制方案, 即基于用户已安装网荷终端, 通过与低压侧网荷子单元通信, 实现低压负荷分散采集与精准可切。

1 网荷终端负荷紧急控制

网荷终端是在大型用户专变终端基础上开发

收稿日期: 2018-01-31; 修回日期: 2018-03-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51477029)

的新型用户终端, 安装于用户变电所或配电房。支持用户 8~12 路负荷出线电流和多段电压接入, 实现用户可切负荷实时采集监测; 终端同时具有丰富的通信接口, 支持与主站实时通信上传用户实时负荷和精准可切负荷; 终端不仅具备常规的负荷管理功能, 同时可接受主站的切负荷指令, 支持实现电网应急响应控制要求的毫秒级紧急负荷控制和秒级快速负荷控制。终端与主站控制结构如图 1。

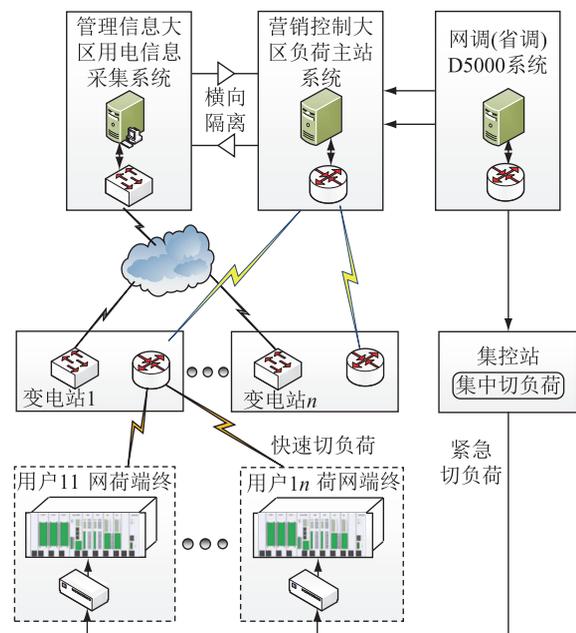


图1 网荷终端控制示意图

Fig.1 Grid-load terminal control diagram

目前现场接入终端的用户侧可切负荷分路大多集中在 35 kV/20 kV/10 kV 中压侧, 这类负荷采用通过电缆直接采集、终端开出跳闸的方式, 使终端跳闸出口延迟最小。当发生电网故障时, 可确保

从调度主站发出控制指令,经集中切负荷中心站,到网荷终端出口跳开负荷开关的整组时间在 450 ms 内完成,满足了毫秒级紧急切负荷的要求^[11]。但在这些被控负荷线路下仍带了若干个 400 V 负荷,由于未进一步细分,快切时部分重要的低压负荷也一并被切除了,选择对用户低压负荷直接控制,可以减少此种负荷快速控制对用户造成的不利影响。

2 用户低压负荷特点及控制实现要求

用户 400 V 负荷数量众多且分散分布于厂区内,现场实现这些支路的负荷精细化采集和快速切除控制难度非常大。用户厂区内低压负荷由配电房内 400 V 支路供电,这些支路安装相对集中、实施方便,实现这些负荷支路采集与控制仍是可行的。

2.1 用户低压负荷特点

2.1.1 分散式与集中式 400 V 负荷

用户低压负荷可分为两类:一类是入户电压等级在 35 kV 以上总降变电所和配电房用户,有一个变电所和多个配电房,终端安装在变电所,变电所与配电房间的物理距离一般在数百米甚至上千米,400 V 负荷线路分布在不同的配电房内,这类低压负荷称分散式 400 V 负荷。另一类是入户电压等级在 35 kV 以下的配电房用户,终端安装在配电房,低压 400 V 负荷线路与终端在同一配电房内,物理距离不过百米,这类低压负荷称集中式 400 V 负荷。

2.1.2 400 V 负荷性质及可切量

用户配电房内有 400 V 支路少则 30~40 条,多则达百条,各支路实现了负荷细分,但用户厂区内 400 V 负荷受设计施工、生产管理、建造成本等众多因素制约,多数支路在车间或用电设备侧还设有下一级配电箱。这些支路的负荷,仍是辅助生产负荷(照明、空调、电梯、通风、供水)与主生产设备负荷(加热、冷却、变频、水泵)的混合^[14-15]。这些支路开关的额定电流在 50~630 A 不等,负荷支路额定电流与功率关系如表 1 所示。

2.1.3 400 V 负荷支路设备

400 V 负荷支路开关设备安装于低压开关柜内,可为两种:

(1) 抽屉柜式。低压中小电流支路采用,每面柜由 3~10 个左右的抽屉组成,每个支路占用 1 个抽屉,抽屉内采用塑壳空气开关,支路一般不带电动操作机构,多数配一个 B 相电流互感器(CT)用于运行监视、无开关位置辅助接点,实现远程监视控制不便。

表 1 400 V 支路额定电流与功率

Tab.1 Rated current and power of 400 V branch

额定电流/A	额定容量/(kV·A)	功率因数 0.95 功率/kW	70%额定负荷/kW
50	<35	<35	<25
100	<70	<70	<50
200	<140	<140	<100
300	<210	<200	<150
400	<277	<270	<200
500	<346	<330	<250
630	<436	<420	<300

(2) 固定柜式。400 V 主变低压总开关支路,或少数容量达到 250 kV·A(或额定电流达 400 A)以上的支路采用,配备框架式低压万能开关,支路 CT 配置完整、开关位置有辅助触点,部分支路甚至还配有智能仪表,实现远程监视控制方便。

2.2 实现低压负荷控制的设备要求

实现 400 V 支路负荷控制,仍需具备实现采集和开关控制的条件基础。固定柜安装的支路设备已满足这一要求,但多数抽屉柜安装、塑壳空气开关的负荷支路设备则需进行下述改造才能满足。

2.2.1 开关改造

塑壳开关改造有:配置相应型号电动操作机构或分励脱扣器(MX)两种方式,前者施工量较大、实施复杂、成本高,后者施工量小、实施简单、成本低,选择改造方式需结合现场实际情况进行。

2.2.2 负荷采集

负荷采集首先需为改造的支路配备三相完整的 CT(或 AC 相 CT),采集有两种方式:一种是通过电缆直接接入支路 CT 回路,另一种是加装智能仪表采集,通过串口通信上传数据。前者实施简单,后者需进行仪表装配接线,实施较复杂。

3 低压负荷采集控制方案及比较

3.1 低压负荷采集控制方案

在前述控制条件基础上,根据集中式和分散式 400 V 两类负荷的特点,结合现场实施的工程量、控制的可行性、实现的经济性等因素,低压负荷控制可以采用下述的 3 种采集控制方案。

3.1.1 电缆直采直跳方案

电缆直接采集电流电压,终端跳闸出口经电缆跳低压开关,该方案与目前接入网荷终端的中压侧负荷基本一致。对于集中式 400 V 负荷,终端与低压负荷出线都位于一个配电房内,400 V 负荷与终端间距离较近,一般采用该方案。

3.1.2 主从终端方案

对于终端位于变电所内,400 V 负荷则位于另外的某个配电房内的分散式 400 V 负荷,400 V 负荷与终端间电缆距离会长达数百米甚至上千米,且可能会分布在多个配电房内,考虑采用如下图所示的主从终端通信控制方案,在用户每个配电房内增加 1 台终端,400 V 负荷线路通过电缆接入从终端实现采集与控制,主终端与从终端间经光纤通信实现负荷功率采集和跳闸命令传输。

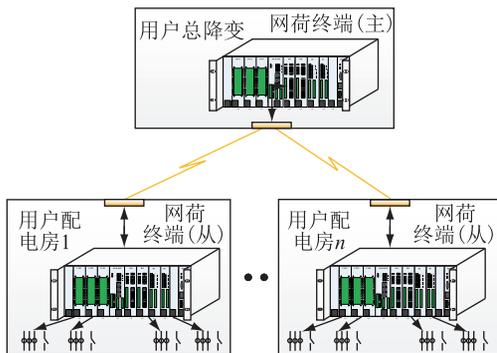


图2 主从终端方案

Fig.2 Master-slave terminal scheme

3.1.3 网荷子单元方案

面向通用对象的变电站事件通信 (GOOSE) 是 IEC 61850 标准中定义的用于满足变电站自动化系统快速报文通信传输,是具有严格时间指标、重发机制和有效性检查的通信协议,其订阅发布机制、高效的数据传输、功能分布化的特征,使其在变电站继电保护领域中得到应用普遍^[16-19]。

考虑终端通信标准化和采集数据及命令快速传输,开发了一种基于 GOOSE 规约通信的网荷子单元装置。网荷子单元与终端间采用 GOOSE 通信传输负荷采样数据和跳闸命令,与现场智能仪表间采用串口通信传输采样的功率负荷数据和跳闸命令。

为实现低压负荷的控制,需为每个接入低压负荷的配电房配 1 个网荷子单元,同时配电房内每个受控 400V 支路配 1 个智能仪表,如图 3 所示。网荷子单元与智能仪表通信,采集数据上传给终端,终端的跳闸命令通过网荷子单元下发至智能仪表,实现 400 V 负荷控制。

3.2 控制方案分析比较

上述 3 种实现低压可切负荷控制的方案各有利弊。电缆直采直跳方案简单、但只适用于电缆长度较短的现场,分散式低压负荷环境不适用;主从终端方案由于增加终端、安装麻烦、实施成本高不适用于集中式低压负荷,只适用于分散式现场。

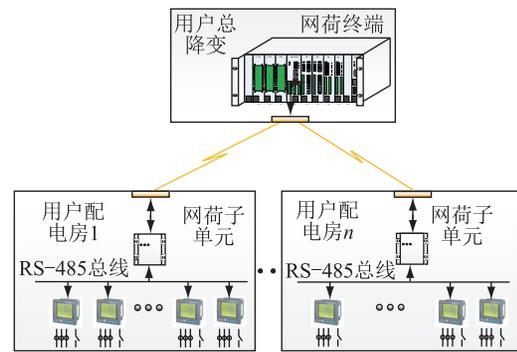


图3 网荷子单元方案

Fig.3 Grid-load sub-terminal scheme

表 2 从适用范围、施工量、增加设备、施放光缆、终端程序升级、调试工作量、控制时延、灵活性、实施成本等方面进行了比较。

表 2 控制方案比较

比较项	直采直跳方案	主从终端方案	网荷子单元方案
适用范围	集中式	分散式	两者都可
增加设备	不增	终端	子单元
施放电缆	需要	需要	不需要
施放光缆	不需要	需要	需要
终端升级	不需要	需要	需要
施工安装	简单	复杂麻烦	简单
设备调试	容易	繁琐	较容易
控制时延	无	固定	串口延迟
灵活性	不灵活	一般	灵活
实施成本	低	高	较低

从表 2 中可以看出,网荷子单元方案可以适用于上述两种用户的各种现场,方案较灵活,可接入的用户低压负荷支路数扩展容易。如用户已具备智能仪表,现场施工工作量可进一步减少,该方案仅在串口通信方面存在相应的延时。

4 低压切负荷实现与改进

根据前述方案,采样网荷子单元,终端 GOOSE 报文可在终端发出开关跳闸命令后立即传输,使跳闸命令的传输整体延迟达到最小,保证了命令传输的快速性^[16]。

4.1 低压切负荷试点

在苏州地区挑选了 2 个典型用户,利用网荷子单元实施了 400 V 负荷快速控制改造。

4.1.1 某 10 kV 配电房用户

用户实现 400 V 负荷快切的支路有 4 条,且配有智能仪表。通过升级终端程序,增加 1 个网荷子单元(装于终端屏内),建立与各智能仪表和终端通

信,最终实现 400 V 负荷数据采集和开关控制。

现场采用该方案的优势是仅增加 1 个网荷子单元就实现了多个 400 V 负荷分路的控制,利用用户设备减少了很多现场施工和调试工作量。

4.1.2 某 35 kV 变电所用户

用户有 4 条可切 400 V 负荷位于独立的配电房内,与终端距离超过 800 m。通过在用户厂区内敷设光缆,升级终端程序,在配电房内增加 1 个网荷子单元和 4 个智能仪表,建立了网荷子单元与智能仪表、终端间通信,最终实现 400 V 负荷的数据采集和开关控制。

现场采用该方案的优势是省去了在用户厂区内的大量电缆敷设施工,且能灵活适应今后可切负荷支路的扩充。

4.2 低压紧急控负荷改进

4.2.1 前述方案不足

网荷子单元方案虽在用户进行了试点,但在紧急切负荷方面,仍存在如下不足:

智能仪表只支持串口 RS 485 半双工通信,采用波特率为 9600 通信时,报文的传输和程序处理延迟约 100~200 ms,当一个网荷子单元带有 n 个支路的智能仪表时,由此导致的最大切负荷时延将达到 $200n$ ms(加上前述固定时间,累计时间会超出 1 s),已难以满足毫秒级紧急切负荷的时限要求^[11]。

现场用户配备的设备,由于不需控制,部分用户安装的智能仪表不带开出接口(或无出口模块),通过通信无法实现对负荷开关的控制。

4.2.2 网荷子单元直接跳闸

鉴于前述方案仍难以满足毫秒级紧急切负荷系统严苛的时限要求,且网荷子单元与智能仪表间安装在同一个配电房内,两者之间距离较近,将网荷子单元作如下改进:配置独立开出接口 4~8 路,通过电缆实现网荷子单元的直接跳闸控制。

改进后方案如图 4 所示,支路负荷仍通过串口采集,开关控制则是当终端接收到主站切负荷命令后发出 GOOSE 跳闸报文,网荷子单元接收报文后直接发出开出跳闸命令,控制开关跳闸。改进后的控制时延由 GOOSE 通信的报文传输和处理延迟决定,与接入控制的负荷支路数量无关。

网荷子单元两种控制方式比对试验测试结果如图 5 所示,当接入支路从 1 个增加到 6 个时,串口控制的延时增加明显,而直接跳闸控制的延时基本没有增加,且多路负荷全部跳闸时由网荷子单元产生的延迟总时间最大不超过 30 ms^[16-17]。因此采用此改进的低压负荷控制方案可确保 400 V 负荷毫秒

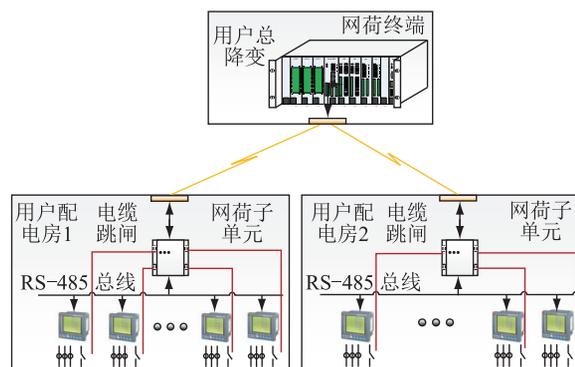


图 4 网荷子单元跳闸方案

Fig.4 Grid-Load sub-terminal trip scheme

级紧急控制的实现,同时现场的施工工作量增加不多。

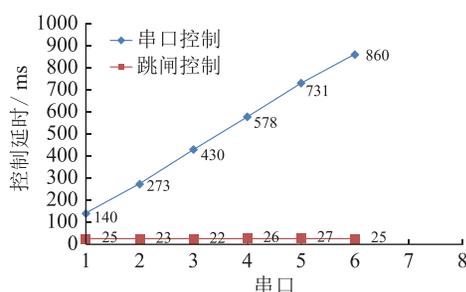


图 5 网荷子单元串口与跳闸控制延时对比

Fig.5 Delay comparison between serial control mode and trip control mode

5 结语

本文针对现场实现 400 V 可切负荷快速控制的需要,结合已安装于用户的网荷终端,提出了适应集中式和分散式 400 V 负荷的几种实现解决方案。利用 GOOSE 通信快速传输机制,现场试点实现了网荷子单元的控制方案,并针对串口通信的多支路延时积累效应问题,提出了一种改进的带跳闸出口的网荷子单元方案,该方案具有延时小、动作快的特点,可满足现场所有用户 400 V 负荷快速控制的要求,具有较好的实用性和经济性。

参考文献:

[1] 李明节. 大规模特高压交直流混联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.
 [2] 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案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(20): 91-96.
 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.
- [3] 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 [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [4] 中华人民共和国国务院. 电力安全事故应急处置和调查处理条例[Z]. [2011-07-07].
State Council of the People's Republic of China. Electric safety accident emergency disposal and investigation and handling regulations[Z]. [2011-07-07].
- [5] 李碧君,侯玉强. 紧急负荷调节用于安全稳定紧急控制的研究[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(11):104-110.
LI Bijun, HOU Yuqiang. Research of emergency load regulation for security and stability control [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(11):104-100.
- [6] 刘旭生,何颖,吴润泽,等. 面向智能电网双向互动信息服务的通信组网方案设计[J]. 电子设计工程,2011,19(23):78-82.
LIU Xusheng, HE Ying, WU Runze, et al. Communication network scheme of bidirectional interaction information service system in smart grid [J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(23):78-82.
- [7] 马璘,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 Zhengang. The research on load control strategy during UHVDC transmission system full power block fault [J]. Power Demand Side Management, 2015, 17(5):44-48.
- [8] 韩冰,孙世明,赵家庆,等. 适应特高压直流闭锁故障处境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] 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.
- [10] 夏飞,鲍丽山,王纪军,等. 源网荷友好互动系统通信组网方案介绍[J]. 江苏电机工程,2016,35(6):65-69.
XIA Fei, BAO Lishan, WANG Jijun, et al. Introduction of communication network scheme for source-grid-load friendly interaction system [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(6):65-69.
- [11] 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.
- [12] 吕志鹏. 虚拟同步机技术构建“源-网-荷”友好互动新模式[J]. 供用电,2017,34(2):32-34.
LYU Zhipeng. New pattern of source-grid-load friendly interaction based on virtual synchronous machine technology [J]. 2017, 34(2):32-34.
- [13] 肖雄,刘治. 基于负荷管理终端的电能质量监测研究与分析[J]. 广东电力,2016,29(2):85-89.
XIAO Xiong, LIU Zhi. Research and analysis on electric energy quality monitoring based on load management terminal [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(2):85-89.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] DL/T 860.81—2006 变电站网络通信和系统 第8-1部分:特定通信服务映射(SCSM)对MMS及ISO/IEC 8802-3的映射[S]. 2006.
DL/T 860.81—2006 Communication networks and systems in substations-Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-mapping to MMS and to ISO/IEC 8802-3 [S]. 2006.
- [17] 范建忠,马千里. GOOSE 通信与应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):85-90.
FAN Jianzhong, MA Qianli. GOOSE and its application [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19):85-90.

作者简介:



陆玉军

陆玉军(1972—),男,硕士,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(E-mail: seeseek@126.com);

李澄(1970—),男,硕士,研究员级高级工程师,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;

江红成(1976—),男,硕士,高级工程师,从事运维检修、继电保护技术管理工作。

Research on Resonance Suppression Strategy of T-SAPF Filtering System Based on Virtual Damping Control

WEI Jiahao¹, SONG Haiyang¹, ZHAO Yulin², CHANG Xinrui³

(1. State Grid Taizhou Power Supply Company, Taizhou, 225300, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing, 211103, China;

3. School of Electrical Engineering & Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China)

Abstract: In order to reduce the harmonic pollution in the grid caused by strong nonlinear loads such as rectifier and inverter, a hybrid filtering system T-SAPF composed of shunt active power filter (SAPF) and thyristor switched filter (TSF) is proposed in this paper. In view of the parallel resonance potentially arised between TSF and the grid, the resonance mechanism is analyzed in detail and a virtual damping control strategy of SAPF for suppressing parallel resonance of the system is proposed. The self-tuned filtering algorithm is used to extract the instruction of damping current and the effective range of the damping coefficient is defined by three constraint conditions. The simulation results show that the parallel resonance of the system can be effectively restrained by the proposed virtual damping control strategy, the distortion degree of the PCC voltage in the resonance is reduced, and the effect of harmonic current compensation is also guaranteed.

Key words: T-SAPF; virtual damping control; damping coefficient; resonance suppression; harmonic compensation

(编辑 胡昊明)

(上接第 13 页)

MMC-HVDC Control Strategy Based on Variable Target Control

XIA Chengjun, LIU Zhijiang, DU Zhaobin

(School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: In view of the existing control strategy of MMC-HVDC cannot guarantee the robustness, stability and fastness of the control system, a variable target control strategy is proposed. It divided the target value into multiple small targets, so that the system quickly reaches the target step by step without overshoot. Moreover, the setting principle of the PI parameter of the MMC-HVDC control system with variable target control and the setting method of the variable target control time are put forward. Finally, a three-terminal MMC-HVDC is built and simulated with PSCAD/EMTDC. The result of simulation demonstrates that the variable target control strategy can overcome the paradox between adjusting speed and overshoot, and the PI control unit parameter setting range is expand. The results clearly verifies enhancement in the robustness and adaptability of the system.

Key words: MMC-HVDC; MMC; inner and outer ring control; variable target control strategy; speediness; overshoot

(编辑 胡昊明)

(上接第 47 页)

Emergency Load Shedding of User Low Voltage Based on Grid-load Terminal

LU Yujun¹, LI Cheng¹, JIANG Hongcheng², LIU Haibo³, CHEN Hao¹, GE Yonggao¹, WANG Fuliang¹

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

2. State Grid Nantong Power Supply Company, Nantong 226001, China;

3. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In the power user installed grid-load terminal, many important loads at low voltage are cut in large power users during emergency load shedding action. In order to reduce the adverse affect to power users, a detailed inquiry of user low voltage load is executed in fields on load character, volume and switch devices. According to the needs of precise acquisition and emergency control of user 400 V load, also for economic reasons, three schemes are proposed for user 400 V load swift shedding. A novel terminal subunit based on GOOSE communication is developed at decentralized and concentrated user loads. Through improvement, the 400 V load cutting delay is reduced and the performance can satisfy the requirements of emergency load shedding.

Key words: emergency load shedding; grid load terminal; power user; load control

(编辑 陈娜)