

智能电网监控装置取能方法研究

王静丽, 武可, 金光耀, 曹胜利

(平高集团有限公司, 河南 平顶山 467001)

摘要: 随着智能电网技术的不断发展,智能电网监控装置显得尤为重要,其贯穿于整个智能电网,而智能电网监控装置取能技术则是坚强智能电网的有力保障。笔者阐述了智能电网监控装置取能技术的原理及主要研究现状,针对现有技术的不足,给出了交直流两用的电容分压式取能电源设计的思路和方法,并针对其实用性进行了分析,最终设计出了一种取能电源内置型高压智能开关。

关键词: 高压侧; 电源; 电容分压; 在线监测装置; 高压开关

中图分类号: TM83

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2014)09-0094-06

Power Supply Methods Research on the Smart Grid Monitoring Device

WANG Jingli, WU Ke, JIN Guangyao, CAO Shengli

(Pinggao Group Co., Ltd., Henan Pingdingshan 467001, China)

Abstract: With the continuous development of smart grid technology, smart grid monitoring devices become particularly important, and the power supply of the smart grid monitoring device is a safeguard of a strong smart grid. The authors expound the principle of the power supply of the smart grid monitoring device and the corresponding researches, describe the design idea and method of an AC/DC power supply based on capacitive voltage divider to overcome the defect of the existing power supply technology, and analyze the practicability. Consequently, they design a high-voltage intelligent switch with internal power supply.

Key words: high-voltage side; power; capacitive voltage divider; on-line monitoring device; high-voltage switch

0 引言

电网的发展与经济、能源、环境紧密相关,党的十八大把生态文明建设纳入到了中国特色社会主义事业的总体布局之中,推进以电代煤、以电代油。从长远来看,智能电网的发展对于实现安全发展、高效发展、清洁发展,全面促进生态文明建设具有重大的战略意义,“加强城市配电网建设,推进电网智能化”是目前电网建设的主旋律,而智能电网监控装置作为智能电网的盔甲,起着举足轻重的作用^[1-3]。

目前,智能电网监控装置取能技术主要有电流互感器式、电压互感器式,而目前市场上使用较多的为后者^[4-8]。电磁式电压互感器式取能方式由于其铁心饱和等因素容易发生爆炸事故^[9-12],严重影响了配网线路的安全可靠运行;而电流互感器式是利用一次侧感应高压母线电流从而获得二次侧电功率

输出,但当母线电流从几安培至几千安培变化时,该方法无法取得稳定的工作电源,虽然针对输出功率太大时采用了稳压技术,但功耗也增大了,特别是当母线电流小至几安培时,输出功率就会太小,进而不能保证系统的正常运行,针对此问题,虽然可以增加充电电池,但由此会导致取能单元成本及体积的增加,而且充电电池的寿命问题也会增加维修工作的难度;还有一些检测系统利用蓄电池进行供电,但蓄电池的使用寿命较短,增加了维修周期。

在配网线路的安全可靠运行中,配电线路在线监测系统起着重要作用,而配置一套性能稳定可靠、结构简单灵活的在线智能电网监控装置取能装置对智能电网的发展具有深远的意义。

1 智能电网监控装置取能电源的基本原理

高电位在线取能方式是利用电容分压原理,通过高、低压电容器分压然后经过后期处理得到所需电压,以满足配电网监控装置的正常工作需求。

1.1 取能电源交流电源装置设计

智能电网监控装置取能交流电源原理见图 1, 其中: C_1 为高压陶瓷电容器; C_2 为低压金属化聚丙烯膜电容器; L 为补偿电抗器。

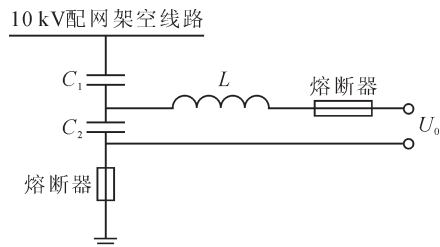


图 1 交流电源原理图

Fig. 1 AC power circuit

高压陶瓷电容器直接与高压配网线路相接触, 从高压电路获取电能, 再利用电容分压原理, 线路从低压电容器两端取能。

$$\text{即 } U_0 = C_1 / (C_1 + C_2) U = KU. \quad (1)$$

式(1)中: U 为配网架空线路电压; $K = C_1 / (C_1 + C_2)$ 为分压比。

图 1 中 L 为补偿电感, 可使 U_0 与 $C_1 / (C_1 + C_2) U$ 在数值及相位上保持一致, 其原理解析见图 2。

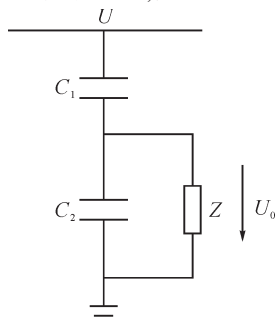


图 2 电容分压原理图

Fig. 2 Capacitive voltage divider circuit

电容分压式电源带负荷 Z 之后, 其内阻抗 $Z_{\text{内}} = 1 / [j\omega(C_1 + C_2)]$ (利用戴维宁定理, 将图 2 转化为图 3 所示等效电路), 当有负荷电流流过时, 在内阻抗上会产生电压降, 为保证负荷 Z 两端的电压幅值及相位与 $C_1 / (C_1 + C_2) U$ 相等, 就需在负荷 Z 之后串接电感 L , 用以补偿电容分压式电源的内阻抗 $Z_{\text{内}} = 1 / [j\omega(C_1 + C_2)]$, 即 $\omega L = 1 / [j\omega(C_1 + C_2)]$, 得 $L = 1 / [4\pi^2 f^2 (C_1 + C_2)]$ 。

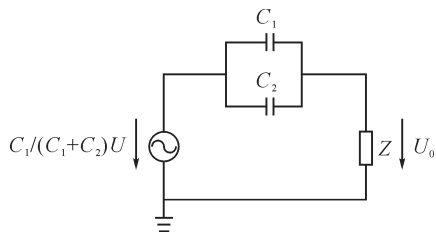


图 3 戴维宁等效电路

Fig. 3 Thevenin's equivalent circuit

1.2 取能电源直流电源装置设计

智能电网监控装置取能直流电源原理见图 4, 其中: C_1 为高压陶瓷电容器; C_2 为低压金属化聚丙烯膜电容器; R 为保护用熔断器; T 为变压器。

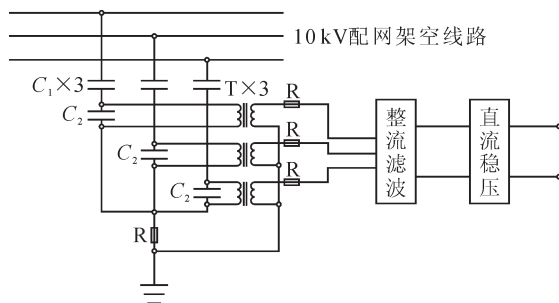


图 4 直流电源原理图

Fig. 4 DC power circuit

3 个高压陶瓷电容器直接与高压配网三相线路相接触, 并从高压电路获取电能, 再利用上述电容分压原理, 线路从低压电容器两端取能, 之后经变压器变换后进行整流滤波, 从而获取直流电能。

2 取能电源的试验研究

取能电源的目的在于为智能电网监控装置提供能量, 并使电网监控装置与线路开关很好地配合, 准确完成架空线路监测控制工作。现结合线路开关及控制器研究分析取能电源在实际电网中的运行情况^[13-19]。

2.1 取能交流电源试验研究

取能交流电源试验原理图见图 5, 其中: T_1 为自耦式调压器 (220 V/127 V); T_2 为电磁式电压互感器 (220 V/10 kV); C_1 为高压陶瓷电容器; C_2 为低压金属化聚丙烯膜电容器; L 为可调电抗器; V 为电压表; A 为电流表。

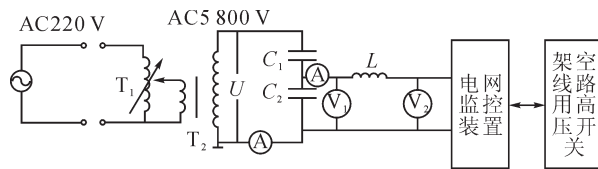


图 5 交流电源试验接线图

Fig. 5 Wiring diagram of AC power

10 kV 架空线路单相相电压为 5 800 V, 现通过市电 220 V 接入调压器 T_1 (220 V/127 V), T_1 输出接入电压互感器 T_2 (220 V/10 kV) 从而获得线路模拟相电压 5 800 V。高压陶瓷电容器 C_1 直接接在高压输电线路路上, 利用电容分压原理(式(1)), 电网监控装置从取能电容 C_2 两端获取电能, 完成与架空线路高压开关的完美配合。

试验中,电容 C_1 、 C_2 为固定值,调节 T_1 使得模拟的线路电压值发生变化,目的在于在实际挂网运行

时,当线路电压变化时,查看此时使开关及监控装置正常工作补偿电抗器的匹配值。实验结果见表1。

表 1 线路电压变化时补偿电抗器匹配值选择试验结果

Tab. 1 Compensation reactor value with the change of the voltage test results

序号	设置值					测量值				结果		
	C_1/nF	C_2/nF	U/V	I/A	L/H	I_1/A	U_1/V	U_2/V	$P=U_2 I_1/W$	装置指示灯	开关分闸	分闸等待时间/s
1	30	720	4 545	0.043	2.0	0.089	195	41.0	3.650	正常	异常	—
2	30	720	4 545	0.043	2.5	0.102	222	49.0	5.000	正常	异常	30
3	30	720	4 545	0.043	3.0	0.115	249	56.0	6.440	正常	异常	20
4	30	720	4 545	0.043	3.7	0.129	284	63.0	8.120	正常	正常	0
5	30	720	4 545	0.043	3.8	0.141	326	74.0	10.360	正常	正常	0
6	30	720	5 454	0.053	3.5	0.126	207	56.0	7.056	正常	异常	20
7	30	720	5 454	0.053	3.7	0.148	242	66.0	9.700	正常	正常	0
8	30	720	5 454	0.053	3.8	0.167	274	73.9	12.300	正常	正常	0
9	30	720	5 800	0.054	3.7	0.162	263	71.1	11.500	正常	正常	0
10	30	720	6 136	0.058	3.7	0.164	275	76.5	12.550	正常	正常	0
11	30	720	6 363	0.059	3.8	0.169	283	78.2	13.200	正常	正常	0

10 kV 架空线路正常运行时,其相电压为 5 800 V,且允许上下浮动 7%。如表 1 所示,当线路电压降低 21.6%时,即 $U=4\ 545\text{ V}$ 时,调节可调电抗器 L ,查看 L 为何值时,电网监控装置工作指示灯亮并能快速带动开关进行分闸操作,且分闸时间不需要等待,试验结果显示,当 L 为 3.7 H 或 3.8 H 时,能满足上述要求,此时电网监控装置所得到的电能分别为 8.12 W 和 10.36 W,能很好地满足功耗为 10 W 且为宽范围输入电压的电网监控装置的正常工作需要。

当线路电压降低 6% 时, 即 $U=5\,454\text{ V}$ 时, 同上, 此时满电网监控装置正常工作时的补偿电抗器的匹配值也为 3.7 H 和 3.8 H, 此时电网监控装置所得到的电能分别为 9.7 W 和 12.3 W。

当线路电压为正常值 5 800 V 时, 满足电网监控装置正常工作的补偿电抗器值为 3.7 H, 且此时电网监控装置所获得的电能为 11.5 W。

当线路电压升高 5.8% 时, 即 $U=6\ 136\text{ V}$ 时, 此时满足要求的补偿电抗器值为 3.7 H , 电网监控装

置所获得的电能为 12.55 W。

当线路电压升高 9.7% 时, 即 $U=6\ 363\text{ V}$ 时, 此时补偿电抗器的值为 3.8 H , 而电网监控装置所获得的电能为 13.2 W 。

由上述实验结果可知,当补偿电抗器取值为 3.7 H 或 3.8 H 时能很好地满足电网监控装置及架空线路开关的正常工作需要,这也说明了电容分压式取能交流电源装置的可行性。

2.2 取能直流电源试验研究

上述交流电源装置中,单相电路中所流通的电流为 50 mA 左右,这不会对架空线路的正常运行产生影响,但为追求完美,从三相线路平衡的角度出发,现采用三相接线法进行直流电源试验研究。

取能直流电源试验原理图见图 6,其中: T_1 为自耦式调压器 (220 V/127 V); T_2 为电磁式电压互感器 (220 V/10 kV); C_1 为高压陶瓷电容器; C_2 为低压金属化聚丙烯膜电容器; T 为变压器 (220 V/8 V); R 为熔断器; V 为电压表; A 为电流表。

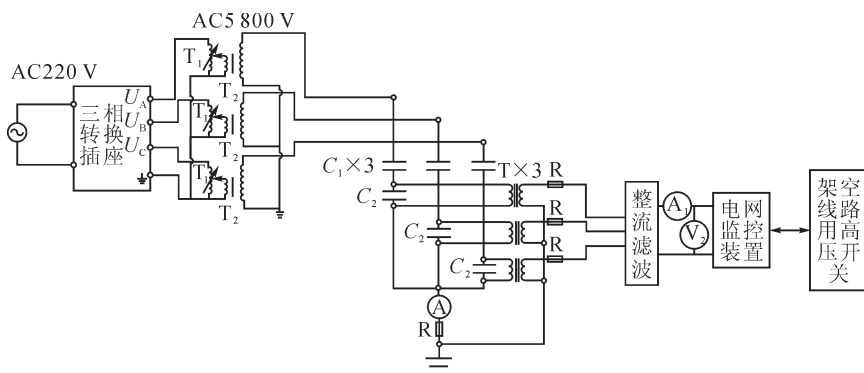


图 6 直流电源试验接线图

Fig. 6 Wiring diagram of DC power

10 kV 架空线路每相相电压为 5 800 V, 现通过市电单相 220 V 接入三相转换插座 (单相 220 V 转三相 220 V), 从而转化出三相大小相等相位相差 120° 的三相电, 之后接入自耦式调压器 T_1 (220 V/127 V), 其输出接入电压互感器 T_2 (220 V/10 kV) 从而获得线路模拟相电压 5 800 V。高压陶瓷电容器 C_1 直接接在高压输电线路, 利用电容分压原理 (式 (1)), 从取能电容 C_2 两端获取电能, 变压器 T (220 V/8 V) 直接与取能电容 C_2 相连, 之后经过整流滤波获得直流 24 V 电压, 用以供给输入电压为直流 24 V 的电网监控装置工作, 而电网监控装置与架空线路用高压开关相互连接、配合, 顺利完成智能电网的监控工作。试验结果显示, 单相线路中流通的电流, 即电流表 A 示数为 30 mA, 电流表 A_1 示数为 240 mA, 电压表 V_1 示数为 24 V, 各项仪表示数显示值均能满足电网监控装置及架空线路开关的正常工作需要, 试验结果波形图见图 7-9, 分别为图 7 经变压器 T 之后三相电压波形、图 8 经三相桥式整流后波形、图 9 经电容滤波后波形 (图 8、9 中横纵坐标的量及单位分别为时间/ms、电压/V)。

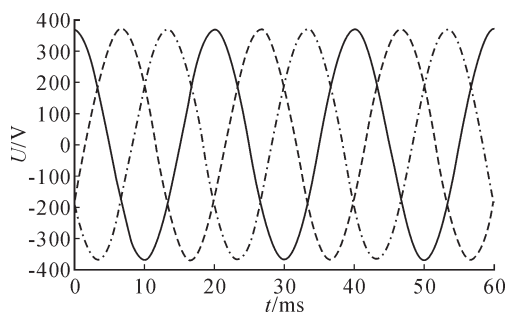


图 7 经变压器 T 之后三相电压波形

Fig. 7 Three-phase voltage waveform after the transformer T

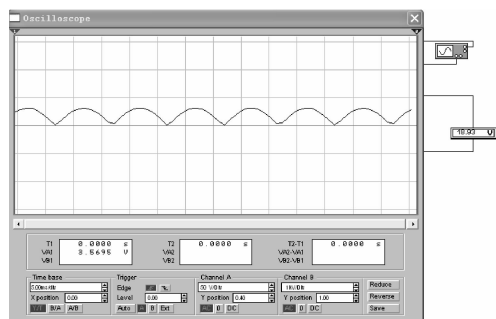


图 8 经三相桥式整流后波形

Fig. 8 Waveform after three phase bridge rectifier

3 取能电源的应用研究

现有电网监控装置取能装置多为电磁式电压互感器, 尤其在市区, 其整套系统接线较为复杂, 造成了

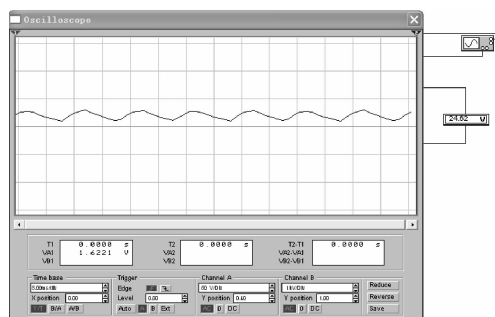


图 9 经电容滤波后波形

Fig. 9 Waveform after a capacitor filter

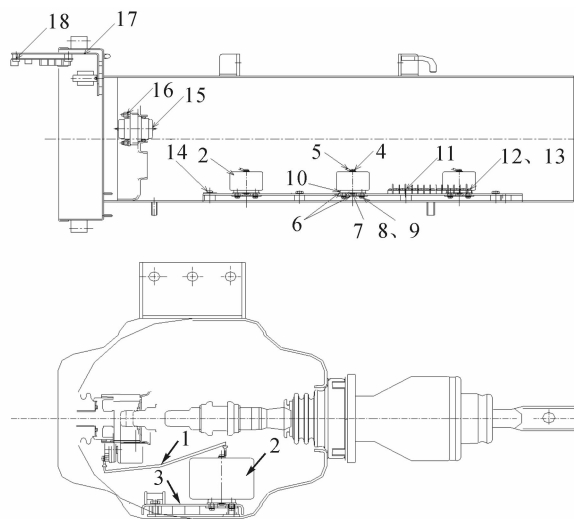
严重的视觉污染, 而且电磁式电压互感器由于受磁饱和等因素的影响, 易发生爆炸事故, 严重影响了智能电网的健康有序发展。现在研究的智能电网监控装置有其自身的优势, 其中, 该装置就能内置于高压开关内部, 不仅实现了取能功能而且增强了美观性^[20-25]。

图 10 为自取能电源内置式高压开关总装图及主要零部件。图 10 中, 对于自取能内置型智能开关而言, 所述高压电容器 2 为圆柱形高压陶瓷电容, 其一端通过盘头螺钉和弹垫组合件 4 固定有端子头 5 装置, 所述高压绝缘导线 1 通过此端子头 5 与供电线路相连, 且高压电容器 2 数量为 3 个, 其另一端接高压电容器电极 10, 且用十字槽螺钉、平垫和弹垫组合件 7 固定于高压电容器 2 上, 高压电容器电极 10 通过绝缘隔板 6 及盘头螺钉、弹垫组合件 8 和大垫片 9 固定于高压电容器安装板 3 上, 高压电容器安装板 3 通过螺栓加弹垫组合件 14 固定于高压开关内部, 且其上还可通过盘头螺钉、平垫、弹垫组合件 12 和六角螺母 13 安装端子排 11, 用于线路接线。所述电源装置中低压电容器及后续元器件均可安装与低压回路电路板 17 上, 且低压回路电路板 17 通过螺母、弹垫组合件 18 固定与高压开关机构箱上, 所述高压电容器 2 与低压电容器之间的布线连接通过端子排 11 及密封端子组 15 相连, 密封端子组 15 通过盘头螺钉、平垫和弹垫组合件 16 安装与高压开关内部。

图 11 架空线路高压开关运行示意图。图 11 中, 自取能电源内置型智能开关在实际挂网运行中, 其进出线侧分别接 10 kV 架空线路, 来完成电网线路的关合与开断等, 高压开关 2 通过连接电缆 3 与智能电网监控装置 4 相连接, 顺利完成高压开关 2 的配网自动化功能。

4 结论

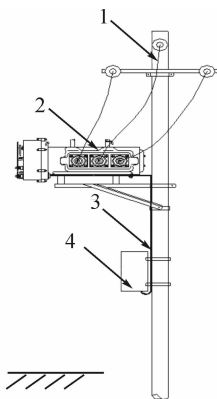
笔者通过对现有高压取能技术进行比对分析, 提出了一种 10 kV 架空线路电容分压式取能方法,



1—高压绝缘导线；2—高压电容器；3—高压电容器安装板；4—盘头螺钉+弹垫组合件；5—端子头；6—绝缘隔板；7—十字槽螺钉+平垫+弹垫组合件；8—盘头螺钉+弹垫组合件；9—大垫片；10—高压电容器电极；11—端子排；12—盘头螺钉+平垫+弹垫组合件；13—六角螺母；14—螺栓+弹垫组合件；15—密封端子组；16—盘头螺钉+平垫+弹垫组合件；17—低压回路电路板；18—螺母+弹垫组合件。

图10 自取能电源内置式高压开关总装图及主要零部件

Fig. 10 Assembly drawing and main parts of intelligent switch



1—10 kV架空线路；2—高压开关；3—连接电缆；4—智能电网监控装置。

图11 架空线路高压开关运行示意图

Fig. 11 Diagram of intelligent switch operation

并对该方法进行了理论分析与试验研究,最终将该方法付诸实践,内置于10 kV高压开关的内部,通过连接电缆给智能电网监控装置供电,顺利完成了高压开关与电网监控装置的完美配合。同时该方法原理简单,投资低,对于高压取能领域来说,具有一定的参考价值及可行性。

参考文献:

[1] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
LIU Zhenya. Smart grid technology[M]. Beijing:China Electric Power Press,2010.

[2] 刘振亚. 智能电网知识读本[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
LIU Zhenya. Smart grid knowledge reading book[M]. Beijing: China Electric Power Press,2010.

[3] 荣命哲,王小华,王建华. 智能开关电器内涵的新发展探讨[J]. 高压电器,2010,46(5):1-3.
RONG Mingzhe, WANG Xiaohua, WANG Jianhua. Discussion on new development of connotation for intelligent switchgear[J]. High Voltage Apparatus,2010,46(5):1-3.

[4] 刘丰,高迎霞,毕卫红. 电子式电流互感器高压侧供电方案的研究[J]. 高电压技术,2007,33(7):72-75.
LIU Feng, GAO Yingxia, BI Weihong. Power supply of high voltage side of electronic current transformer[J]. High Voltage Engineering,2007,33(7):72-75.

[5] 任晓东,陈树勇,姜涛. 电子式电流互感器高压侧取能装置的设计[J]. 电网技术,2008,32(18):67-71.
REN Xiaodong, CHEN Shuyong, JIANG Tao. Design of power supply of electrical current transformer[J]. Power System Technology,2008,32(18):67-71.

[6] 钱政. 有源电子式互感器特制线圈供电方法[J]. 高电压技术,2008,34(2):260-263.
QIAN Zheng. Power supply method based on special coil of active electronic transformer[J]. High Voltage Engineering,2008,34(2):260-263.

[7] IEC 60700-1—2008 Thyristor valves for high voltage direct current(HVDC) power transmission.Part1:Electrical testing [S]. 2008.

[8] 房金兰. 关于新型电容式电压互感器的技术探讨[J]. 电力电容器与无功补偿,2013,34(1):1-6.
FANG Jinlan. Discussion on technical development of capacitor voltage transformers[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2013,34(1):1-6.

[9] 武万才,吴志勇,边疆,等. 地区电网电磁式电压互感器烧损和高压熔丝熔断原因分析[J]. 高压电器,2011,47(3):87-92.
WU Wancai, WU Zhiyong, BIAN Jiang, et al. Analysis of potential transformer burning-out and fuse's blowing in local power system[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(3):87-92.

[10] 陈志平,金向朝. 10 kV 电磁式电压互感器熔断器频繁烧毁事故分析[J]. 南方电网技术,2009,3(z1):154-157.
CHEN Zhiping, JIN Xiangchao. Causation analysis and preventions on frequent burning of fuses of 10 kV potential transformer[J]. Southern Power System Technology,2009,3(z1):154-157.

[11] 杨洋,黄文龙,郭锐,等. 一起罕见的电容式电流互感器缺陷的发现和析[J]. 电力电容器与无功补偿,2012,33(1):84-87.
YANG Yang, HUANG Wenlong, GUO Rui, et al. The discovery and analysis of a rare defect of capacitive

- current transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2012, 33(1):84-87.
- [12] 赵建洲, 姚恒智, 袁奥琪, 等. 电流互感器末屏损耗测试稳定性分析与研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2013, 34(4):46-50.
- ZHAO Jianzhou, YAO Hengzhi, YUAN Aoqi, et al. Stability analysis and study on bottom shielding loss test of current transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2013, 34(4):46-50.
- [13] 严璋, 朱德恒. 高电压试验技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [14] 李鹏. 高压开关设备国内外产品水平[Z]. 西安: 西安高压电器研究院有限责任公司, 2011.
- [15] YANG Qiping, XU Danfeng. Development of an power transmission line online monitoring system[C]//2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. [S.l.]: IEEE, 2011: 1-5.
- [16] 林莘. 现代高压电器技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [17] IEEE Std 1159—1995 IEEE recommended practice for monitoring electric power quality[S]. 1995.
- [18] LIU Jian, SONG Zhen, CHENG Hongli, et al. A current transformer feeding power supply for distribution automation systems[J]. IEEE Trans. on PEITS, 2009(3):105-109.
- [19] 杨书杰, 张贤跃. 高压侧测量用电源设计[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(12):113-115.
- YANG Shujie, ZHANG Xian Yue. Design of power source for measuring at high-voltage side[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(12):113-115.
- [20] 赵丽华, 高进强, 郭相国. 浅谈电力设备智能化[J]. 高压电器, 2010, 46(12):1-4.
- ZHAO Lihua, GAO Jinqiang, GUO Xiangguo. Discussion on intelligent electric power equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(12):1-4.
- [21] 秦欢. 高压测量系统感应取能电源设计[J]. 现代电力, 2009, 26(5):32-36.
- QIN Huan. Design of induced power apparatus for high voltage measuring system[J]. Modern Electric Power, 2009, 26(5):32-36.
- [22] 郭琳云, 尹项根, 严新荣, 等. 配电网智能设备自取能电源的效率提升研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(S1):217-221.
- GUO Linyun, YIN Xianggen, YAN Xinrong, et al. Research of improving power efficiency for intelligent device self-power supply utilized in power distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(S1):217-221.
- [23] 郭昊坤, 吴军基. Agent 技术在中国智能电网建设中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(2):13-16.
- GUO Haokun, WU Junji. Application of Agent technology in China's smart grid construction[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(2):13-16.
- [24] 杨帆, 赵书强. 智能电网的发展对大电网可靠性评估的影响[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(10):24-30.
- YANG Fan, ZHAO Shuqiang. Impact of smart grid development on composite power system reliability evaluation[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(10):24-30.
- [25] 朱鸿吉, 侯成革, 李洪臣. 电容式电压互感器铁磁谐振产生机理及其抑制方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2011, 32(2):43-46.
- ZHU Hongji, HOU Chengge, LI Hongchen. Production mechanism of ferro-resonance of capacitor voltage transformer and its suppression method[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2011, 32(2):43-46.
- 王静丽(1985—), 女, 工程师, 硕士研究生, 主要从事高压产品开发工作。

(上接第 93 页)

- [21] 段剑, 何子东, 霍凤鸣, 等. 550 kV HGIS 隔离开关拒动分析[J]. 高压电器, 2010, 47(1):58-60.
- DUAN Jian, HE Zidong, HUO Fengming, et al. Analysis about rejecting remote accident of 550 kV HGIS disconnecting switch[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 47(1):58-60.
- [22] 李真, 刘俊莹. 一起 HGIS 检修作业不当引起跳闸事故的分析[J]. 电工技术, 2010(6):45.
- LI Zhen, LIU Junying. Analysis of HGIS trip accident caused by improper maintenance[J]. Electric Engineering, 2010(6):45.
- [23] 黄伟雄. 500 kV HGIS 操作机构的缺陷处理[J]. 广东输电与变电技术, 2006(1):18-21.
- HUANG Weixiong. 500 kV HGIS operation mechanism of processing[J]. Guangdong Transmission and Substation Technology, 2006(1):18-21.
- [24] 巫环科, 陈永佳. 500 kV HGIS 液压操作机构打压频繁的分析及对策[J]. 高压电器, 2012, 48(2):119-122.
- WU Huanke, CHEN Yongjia. Analysis and countermeasures to frequent pressurizing of 500 kV HGIS hydraulic operating mechanism[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(2):119-122.
- 傅智为(1985—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为电力系统防雷及高压开关技术。
- 许军(1985—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为电力系统过电压。