

基于 ZnO 非线性电阻接地系统故障识别方法研究

谭王景, 刘强锋, 王 锐, 武 帆

(陕西工业职业技术学院, 陕西咸阳 712000)

【摘要】随着配网容量的增大,单相接地故障频发。文章对中性点经 ZnO 非线性电阻接地系统故障后的零序电流进行小波多尺度分析,通过计算高频分量在固定时间窗内的能量比提出识别判据。最后,结合实际系统继电保护方案及 ZnO 非线性电阻作用的有效性形成故障识别方法。

【关键词】弧光接地过电压;氧化锌非线性电阻;小波分析;继电保护

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2020.01.005】

【中图分类号】TM862

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2020)01-0014-05

Study on Methods of Fault Identification by Using ZnO Nonlinear Resistance Grounding Mode

TAN Wang-jing, LIU Qiang-feng, WANG Kun, WU Fan

(Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang, Shannxi, China 712000)

Abstract: Developments in power capacity have made single phase grounding fault increasingly prominent. By using discrete wavelet, the multi-resolution analysis on zero sequence current is performed. According to the high frequency component energy ratio within the time window, the protection strategy based on ZnO nonlinear resistance is put forward. Finally, combined with the effectiveness of the ZnO nonlinear resistance and relay protection scheme in practical system, the ZnO nonlinear resistance grounding mode identification method is designed.

Keywords: arc grounding overvoltage; ZnO nonlinear resistance; wavelet analysis; relay protection

近年来,随着配网规模的扩大和结构的复杂化,以及电力电缆的大规模使用,使得系统电容电流大幅增加,当发生故障时,接地电弧难以自行熄灭,就会引发严重的弧光接地过电压。研究表明,弧光接地过电压的大小与中性点接地方式关系密切,直接影响到过电压倍数。目前,我国配网中性点接地方式主要有三种:中性点不接地、经消弧线圈接地以及经小电阻接地。中性点不接地方式虽然可靠性高,但是发生单相接地故障时会产生很高的弧光接地过电压;中性点经消弧线圈方式降低了高幅值过电压出现的概率,但存在着故障选线及消弧线圈容量调节困难的弱点;中性点经小电阻接地方式在故障时可以迅速跳闸,有效限制了弧光接地过电压,但其也存在着故障跳闸率高及供电可靠性差的问题^[1-4]。

新型接地方式的研究显得尤为重要,研究者们作出多种尝试:提出中性点经非线性电阻接地方式,通过分析和计算基本接线,认为这种接地方式可以很好地限制过电压,有可能变成一种新型接地方式^[5];将 ZnO 非线性电阻应用于某 10kV 变电站的仿真分析计算,通过对弧光接地过电压进行研究和计算,认为这种方式可以很好地限制弧光接地过电压,有待进一步的研究和分析^[6];考虑 ZnO 非线性电阻的特性与系统容量、运行方式的关系,同样证明了其有效性^[7]。但上述研究都未考虑系统发生不同故障时 ZnO 非线性电阻与继电保护整定配合问题。

基于此,本文通过对常见故障零序电流进行小波多尺度分析,提出基于能量比的 ZnO 非线性电阻故障识别方法,研究新型接地方式对弧光接地过电压的

【收稿日期】2019-12-07

【作者简介】谭王景(1991-),男,陕西渭南人,陕西工业职业技术学院助教,硕士,研究方向:继电保护、故障识别。

【基金项目】2019 年陕西工业职业技术学院科研一般项目“ZnO 非线性电阻接地方式继电保护策略研究”(项目编号:ZK19-17)。

抑制效果,为电网规划和发展提供更多理论支持。

1 不同故障信号特征量提取仿真分析

继电保护装置应根据系统发生不同故障时有选择性地动作。当系统发生间歇性弧光接地故障时,由于 ZnO 非线性电阻的作用,故障应当自动消除;当系统发生永久性接地故障时,继电保护装置应能够满足快速性正确动作,所以需要重新配置 ZnO 非线性电阻接地方式下的继电保护策略。

系统中发生永久性接地故障时,绝缘即被击穿,电磁暂态过程中,工频分量基本不变,而高频分量持续衰减。对于系统中发生的间歇性弧光接地故障,故障点存在的电弧反复燃烧、熄灭,加上电弧本身的非线性,会反复产生高频分量。由于不同故障时高频分量的差异,为系统故障识别提供了一定的可能性。

基于此,本文利用小波多尺度变换^[9]分别对中性点经氧化锌非线性电阻接地系统下发生的单相接地

故障、高阻故障、间歇性弧光接地故障进行仿真实验,假设故障发生在架空线末端,采样时间段为 0~200ms,采样频率为 100kHz,利用 Db6 小波对零序电流进行 5 层分解,得到 2^1 、 2^2 、 2^3 、 2^4 、 2^5 下细节部分,结果如图 1、图 2、图 3 所示。

经过 Db6 小波分解后 2^1 、 2^2 、 2^3 、 2^4 、 2^5 各尺度下对应的频率分别为 25~50kHz、12.5~25kHz、6.25~12.5kHz、3.125~6.25kHz、1.5625~3.125kHz。随着小波分解尺度的增加,信号波形的频段逐渐降低,其细节部分越接近低频。信号的高频部分包含大量突变量信息,对于单相接地故障,由图 1 各尺度下可知波形中包含一个明显的跃变点,这是因为故障发生时刻存在一定的瞬态分量,但是其很快衰减为零,由于中性点接入了 ZnO 非线性电阻,原始正弦波发生了一定程度的畸变。图 2 中高阻接地故障与永久性接地故障特征类似,由于故障点过渡电阻较大,因此各尺度

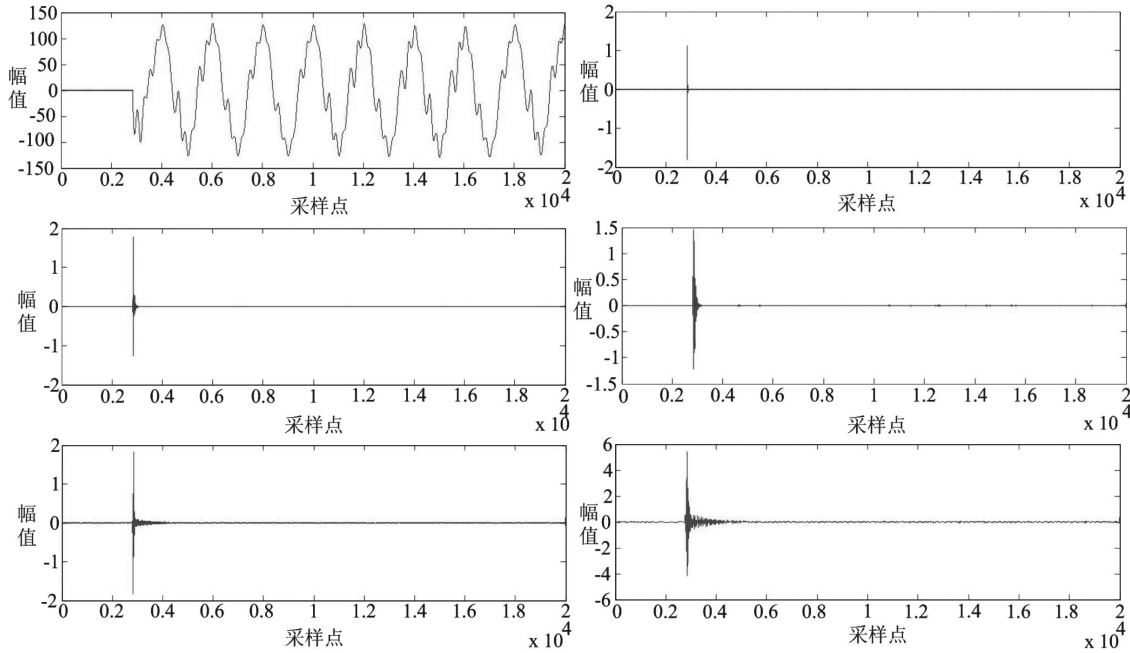


图 1 单相接地故障零序电流 Db6 尺度下的原始波形、 2^1 、 2^2 、 2^3 、 2^4 、 2^5 细节系数图

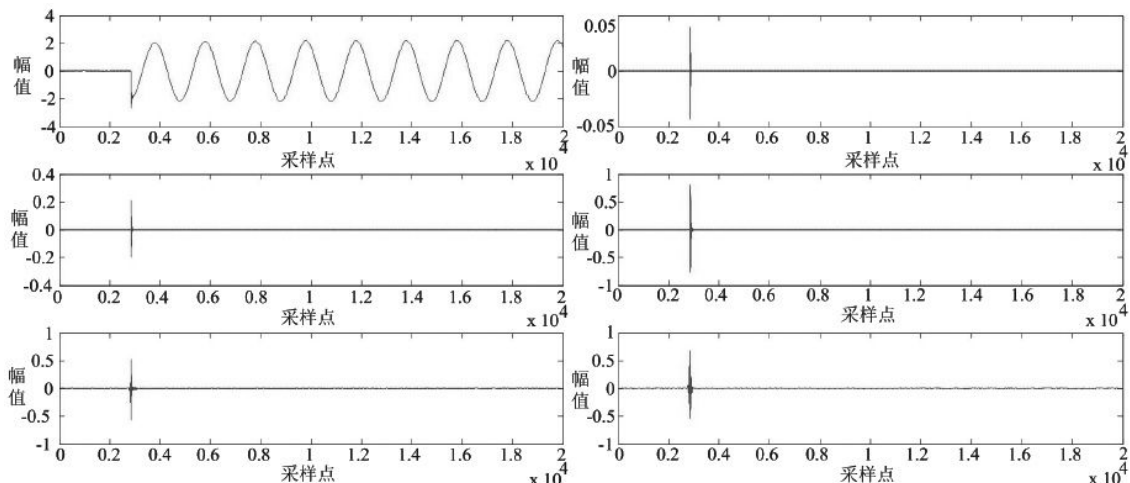


图 2 高阻接地故障零序电流 Db6 尺度下的原始波形、 2^1 、 2^2 、 2^3 、 2^4 、 2^5 细节系数图

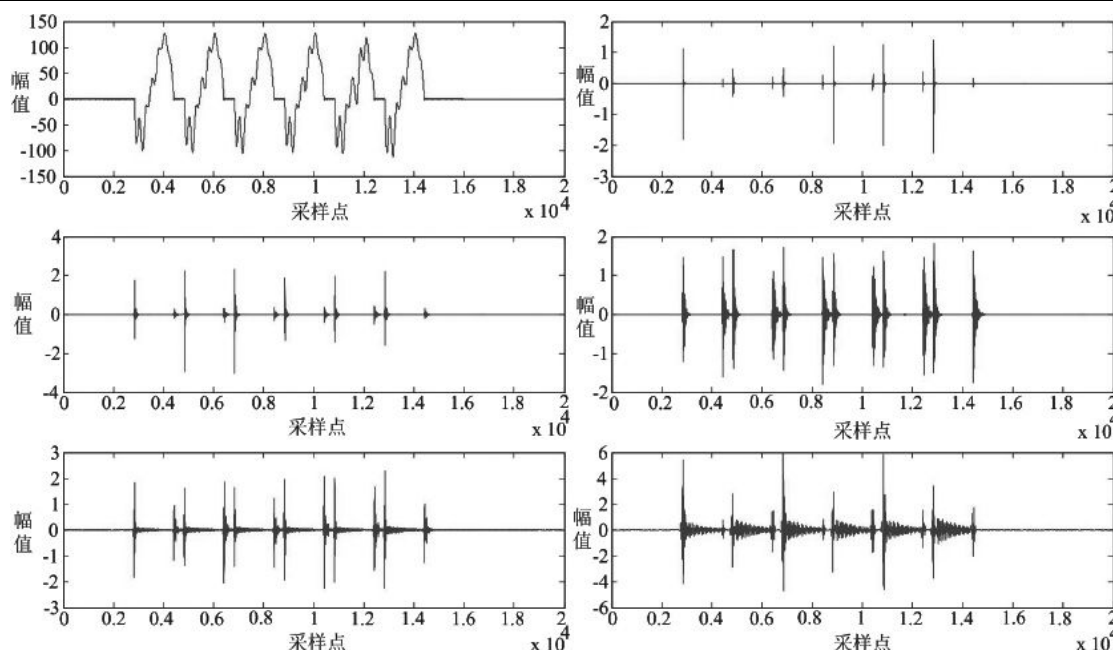


图 3 间歇性弧光接地(1Ω 过渡电阻)零序电流 Db6 尺度下的原始波形、2¹、2²、2³、2⁴、2⁵ 细节系数图

下零序电流幅值较小,故障初期同样包含高频暂态分量,但衰减迅速。对于间歇性弧光接地故障,如图 3 所示,存在多个明显的跃变点,这是因为设置了多次燃熄弧,且每次都会引发高频振荡,虽然也存在衰减现象,但其衰减程度相对较慢。

系统中发生不同形式的故障时,母线处电流互感器可提取的零序电流高频分量差异较大。根据前述分析,通过计算零序电流经小波多尺度变换后细节系数的平方,来表征固定频段零序电流的能量,并通过分析不同系统发生故障时能量的差异提出故障判据。时间窗为 10ms 内的 Db6 小波变换后各尺度下细节系数的能量:

$$E_i = (i\Delta T) = \sum_{n+f\Delta T \times (i-1)}^{n+f\Delta T \times i} D_k^2 \quad (1)$$

式(1)中:采样频率 f 为 100kHz, i 表示第 i 个时间窗, n 为发生故障的采样点, ΔT 为 10ms(时间窗), D_k 为小波变换 2^k 尺度下的细节系数。

对故障发生后连续 3 个周波进行采样(6 个时间窗),每个时间窗计算一次零序电流的能量,表 1 至表 3 为线路不同位置发生故障时 2^3 尺度下三种故障的能量变化情况,由结果可知,单相接地故障和高阻接地故障存在衰减现象,其能量值在第一个时间窗的值较大,而后五个时间窗迅速衰减,且变化不大,同时数量级较小;对于间歇性弧光接地故障,第一个时间窗与后五个时间窗相比能量值变化不大,因此可利用不同故障时能量变化的差异进行故障识别,即计算第一个时间窗与后几个时间窗内能量的比值:

$$J_i = E_1 / E_i \quad (i = 2 \sim 6) \quad (2)$$

式(2)中: i 为第 i 个时间窗。

表 1 线路末端故障时 $2^3(6250\text{Hz} \sim 12.5\text{kHz})$ 细节系数能量表

	单相接地故障	高阻接地故障	间歇性弧光接地
1	34.6544	6.2222	34.6544
2	0.0018	1.3333×10^{-8}	78.3270
3	0.0040	6.1977×10^{-10}	47.3212
4	0.0017	3.7702×10^{-11}	91.3051
5	0.0061	2.3292×10^{-12}	49.4706
6	0.0029	3.1629×10^{-13}	64.7081

表 2 线路中点故障时 $2^3(6250\text{Hz} \sim 12.5\text{kHz})$ 细节系数能量表

	单相接地故障	高阻接地故障	间歇性弧光接地
1	34.3616	6.8807	34.3616
2	0.0024	1.3663×10^{-8}	21.0692
3	0.0012	6.0809×10^{-10}	42.8692
4	0.0011	3.5865×10^{-11}	27.8021
5	0.0016	2.2397×10^{-12}	42.8168
6	0.0017	3.9812×10^{-13}	22.1961

表 3 线路首端故障时 $2^3(6250\text{Hz} \sim 12.5\text{kHz})$ 细节系数能量表

	单相接地故障	高阻接地故障	间歇性弧光接地
1	2.7897×10^5	0.1215	2.7897×10^5
2	0.6989	5.7420×10^{-9}	1.5340×10^5
3	1.7778	2.3678×10^{-10}	1.2657×10^6
4	3.7526	1.5451×10^{-11}	1.5539×10^5
5	2.1969	1.1485×10^{-12}	1.2827×10^6
6	1.9794	2.6435×10^{-13}	1.7666×10^5

2 故障识别判据的提出

由于单相接地故障和高阻故障第一个时间窗与后五个时间窗能量相差较大,而间歇性弧光接地故障差别较小,通过大量仿真发现可设置 $J_i > 50$ 三次以上作为故障判据,将单相接地故障和高阻故障划分为 A 类故障,即故障时继电保护装置必须动作跳闸,而间歇性弧光接地故障视为 B 故障,是否跳闸视故障情况而定。

实际中间歇性弧光接地故障电流的特点为持续时间短、具有间歇性、冲击性,所以一般有效值不高,因此无法触发保护的门槛值,不能达到整定值要求,零序过流保护无法动作。^[9]因此需要借助其他方案对间歇性弧光接地故障进行准确识别并配合继电保护装置有效动作。

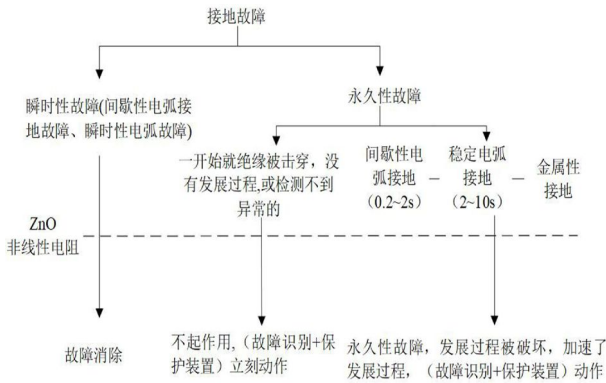


图 4 为 ZnO 非线性电阻与接地故障作用图。按照 ZnO 非线性电阻的物理作用有效性将接地故障分为瞬时性故障和永久性故障。瞬时性故障包括自熄性弧光接地故障、间歇性弧光接地故障,中性点经 ZnO 非线性电阻接地系统中,这两类故障通过 ZnO 非线性电阻作用可自动消除。永久性故障分为两种:一开始绝缘就被击穿,没有发展过或检测不到异常的,例如高阻接地故障,对于这类故障,ZnO 非线性电阻无法起作用,只能依靠断路器动作跳开故障线路,第二种则为有发展过程的,其发展过程为间歇性电弧接地——稳定性电弧接地——金属性接地^[10]。根据实测,间歇性电弧接地持续时间可达 0.2~2s,稳定性电弧接地持续时间可达 2~10s,最后故障点被燃烧成金属性接地,即所谓永久性故障接地,对于这种故障,通过 ZnO 非线性电阻的作用加快了发展过程,使其发展时间被迅速缩短,同时零序电流增大且更易识别,最终可通过断路器动作跳开故障线路。

故障识别方法流程如图 5 所示,电流互感器通过实时采集计算零序电流,当系统中零序电流出现异常时,首先利用 Db6 小波进行多尺度分析,得到不同尺度下的细节系数,其次计算其能量比。当能量比出现

异常时,即第一个时间窗与后三个时间窗的比值都大于 50,同时零序电流达到整定值,即认为系统中发生了 A 类故障,断路器动作跳开故障线路;当能量比出现异常,且第一个时间窗与后三个时间窗的比值都大于 0 小于或等于 50,则认为发生间歇性弧光接地故障或可能发展成永久性故障,不论零序电流能否达到整定值均设置延时 1s,这段时间内 ZnO 非线性电阻作用限制暂态过程的发展或加速永久性故障的发展,若 1s 后零序电流存在,则判定系统发生了永久性故障,断路器动作,若 1s 后零序电流为 0 则认为故障消除,如果同一条线路过段时间后又检测到异常,则无论是永久性故障还是间歇性弧光接地故障,相应的断路器都应动作跳开故障线路保护系统。线路不同位置发生故障时部分测试结果如表 4、表 5、表 6 所示。

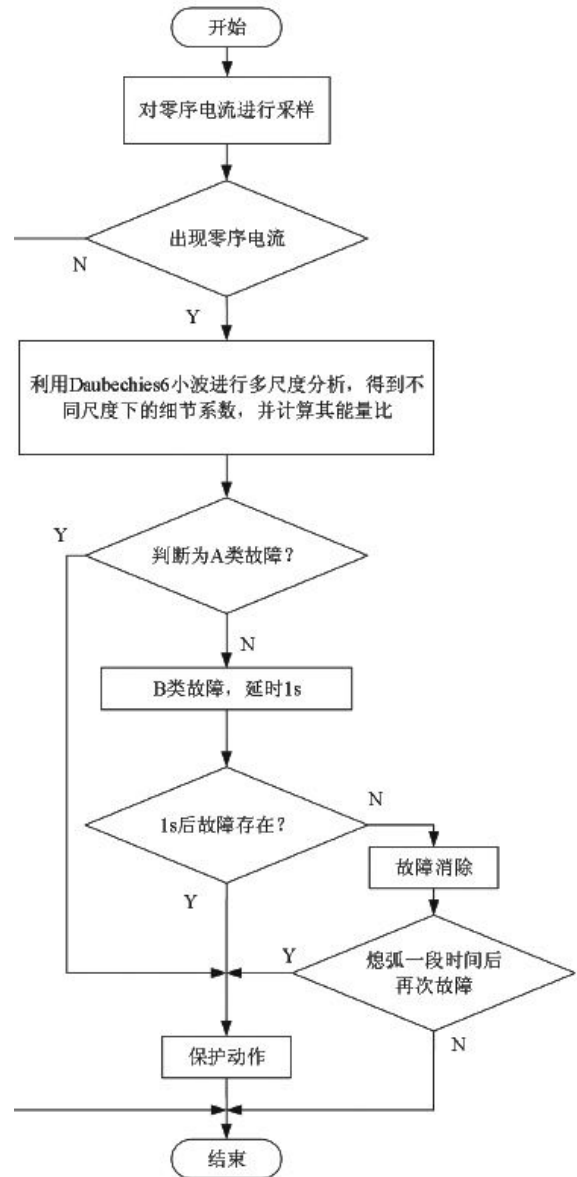


图 5 故障识别方法流程图

表 4 线路末端不同故障识别方法的仿真结果表

2 ³ (6250Hz~12.5kHz) 细节系数能量比			
E ₁ /E ₂	1.9167×10 ⁴	0.4424	4.6668×10 ⁸
E ₁ /E ₃	8.6393×10 ³	0.7323	1.0040×10 ¹⁰
E ₁ /E ₄	2.0421×10 ⁴	0.3795	1.6503×10 ¹¹
判别结果	永久性故障	间歇性故障	永久性故障

表 5 线路中点不同故障识别方法的仿真结果表

2 ³ (6250Hz~12.5kHz) 细节系数能量比			
E ₁ /E ₂	1.4531×10 ⁴	1.6309	5.0360×10 ⁸
E ₁ /E ₃	2.8870×10 ⁴	0.8015	1.1315×10 ¹⁰
E ₁ /E ₄	3.1319×10 ⁴	1.2359	1.9185×10 ¹¹
判别结果	永久性故障	间歇性故障	永久性故障

表 6 线路首端不同故障识别方法的仿真结果表

2 ³ (6250Hz~12.5kHz) 细节系数能量比			
E ₁ /E ₂	3.9915×10 ⁵	1.8185	2.2916×10 ⁷
E ₁ /E ₃	1.5692×10 ⁵	0.2204	2.2783×10 ⁹
E ₁ /E ₄	7.4339×10 ⁴	1.7953	3.5748×10 ¹⁰
判别结果	永久性故障	间歇性故障	永久性故障

3 结论

本文提出了中性点经 ZnO 非线性电阻接地系统的故障识别方法。通过大量仿真测试分析接地系统下永久性故障和瞬时性故障的不同物理特性,利用小波多尺度变换发现不同故障时高频分量的衰减性差异,提出基于幅值比的故障识别判据。最后,根据 ZnO 非线性电阻作用的有效性提出基于 ZnO 非线性电阻接

地系统的故障识别方法,提高了电网运行可靠性。

【参考文献】

- [1]李瑞先.中压电网系统接地实用技术[M].北京:水利电力出版社,2002.
- [2]张辉.关于配电网中性点经消弧线圈接地方式的探讨[J].电瓷避雷器,2019(3):87-91.
- [3]徐丙垠,李天友,薛永端.配电网触电保护与中性点接地方式[J].供用电,2017(5):21-26.
- [4]Fu Z,Wang N,Huang L, et al.Study on neutral point grounding modes in medium-voltage distribution network[C]//2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control.IEEE,2014:154-157.
- [5]王敦波,王大忠.中性点经非线性电阻接地方式构想的初探[J].高电压技术,1994(2):88-93.
- [6]王帅.基于非线性阻抗的中性点接地方式研究[D].宜昌:三峡大学,2011.
- [7]Tan W,Wang Q,Duan J,et al.Arc grounding overvoltage suppression strategy by using ZnO nonlinear resistance grounding mode [C]//2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT).IEEE,2015:231-235.
- [8]郑建云.基于混沌加密和离散小波变换的数字图像水印算法[J].湖南邮电职业技术学院学报,2019(3):29-31.
- [9]贺兴,艾芊,章健.小电阻接地系统间歇性接地故障的动态增量判据及保护方案[J].电力系统保护与控制,2014(11):67-72.
- [10]要焕年,曹梅月.电力系统谐振接地[M].北京:中国电力出版社,2009.

(上接第 13 页)

风电供电技术的不断成熟和制氢成本的降低,可再生能源供电将成为供电的发展趋势,在通信基站中得到更加广泛的应用。

【参考文献】

- [1]蔡卫红,李聪.多频段 LTE 宏基站能耗优化方案研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2019(3):1-6.
- [2]朱永平,赵习猛.新技术驱动下通信网络动环监控系统的研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2018(4):6-8.
- [3]沈雪红.光电互补供电系统在通信基站中的应用与研究[J].通信电源技术,2017(6):14-16.
- [4]柴富起.太阳能光伏通信电源的研究和设计[J].通讯世界,2014(1):13-14.

- [5]王童.风光互补发电系统控制策略的研究[D].淮南:安徽理工大学,2019.
- [6]刘威.高可靠性风光柴储通信基站电源设计与实现[D].武汉:武汉理工大学,2018.
- [7]蒋超.基于 IGBT 的软启动器研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2019(2):12-15.
- [8]朱国才,何向明.废旧锂离子动力电池的拆解及梯次利用[J].新材料产业,2017(9):43-46.
- [9]朱永平,匡玉麟.VRLA 蓄电池端电压均匀性与离散度分析及控制策略[J].河北农机,2018(12):46-47.
- [10]杨军,王文强.风光电油互补一体化通信电源供电系统的应用[J].通信电源技术,2010(6):70-71.