

Research on Influential Factors of Voltage Sage and Suppression Methods Based on DVR

Zhenghua Chen, Hao Chen, Peipei Li

State Grid Yangzhou Power Supply Company, Yangzhou Jiangsu
Email: 1915927299@qq.com

Received: Dec. 22nd, 2017; accepted: Jan. 5th, 2018; published: Jan. 12th, 2018

Abstract

The voltage sage has a great influence on electronic equipments and traditional industry controlled by electronic equipments. The short-term fault of electronic equipments would cause the long-term disconnect of traditional equipments, which results in considerable economic losses. Actions are taken to reduce the risk brought by the voltage sage. The simulation model is built in Matlab/Simulink according to the power system of Baoying Industrial Park. The effects of different fault types, fault positions, fault clearing time, and different grounding methods are analyzed. The simulation model of DVR is established and applied to the simulation system, which certifies DVR inhibition on the voltage sage.

Keywords

Voltage Sage, Simulation Model, Fault Type, Grounding Method, Dynamic Voltage Restorer (DVR)

电压暂降影响因素和基于DVR的治理方法研究

陈正华, 陈 浩, 李培培

国网扬州供电公司, 江苏 扬州
Email: 1915927299@qq.com

收稿日期: 2017年12月22日; 录用日期: 2018年1月5日; 发布日期: 2018年1月12日

摘 要

电压暂降对于电子类设备和由新型电子类设备控制的传统工业过程具有较大影响, 短时断电会造成设备长

时间关断,造成较大的经济损失。为降低电压暂降的危害,以宝应工业园区为基础,建立Matlab/Simulink仿真模型,分析不同故障类型、故障位置和故障切除时间对电压暂降的影响,对比中性点不同接地方式对电压暂降的影响,建立动态电压恢复器(Dynamic Voltage Restorer, DVR)的仿真模型,并应用于发生电压暂降的仿真系统,证明动态电压恢复器对于电压暂降具有良好的抑制作用。

关键词

电压暂降, 仿真模型, 故障类型, 接地方式, 动态电压恢复器

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电压暂降(又称电压跌落)是指供电电压有效值在短时间内突然下降然后又回升恢复的现象。IEEE 标准中把电压暂降定义为: 供电系统中某点的工频电压有效值突然下降至额定值的 10%~90%, 并在随后的 10 ms~1 min 的短暂持续期后恢复正常。

电压暂降对于传统工业及一般性负荷影响不大, 它主要影响电子类设备的正常工作, 或者影响由新型电子类设备所控制的传统工业过程。半导体、自动化、塑料及其它的涉及到自动控制的行业容易受到电能质量的影响, 很短时间的断电可以使这些设备关断几个小时, 造成很大的损失, 因此许多企业采用双回路供电提高可靠性。然而双回路供电不能解决电压暂降、电压凹陷、短时供电中断等问题[1] [2] [3]。

考虑到电压暂降带来的危害, 文献[4]-[13]提出了一系列电压暂降的检测方法和治理措施。文献[4]提出了一种电压暂降的检测方法, 由单相电压移相一个大小可调的角度构造相互垂直且正交的两相电压, 再经过 $\alpha\beta$ -dq 变换计算电压幅值、相角, 良好地保证了检测的速度和精度。文献[5]提出了一种改进不完全 S 变换(MIST)的电压暂降检测方法。该方法对从电网中采集到的电压信号进行快速傅里叶变换, 获得信号的主要频率点; 对各主频点进行改进的 S 变换, 获得信号主频特征分量; 利用这些特征分量信息实现对电压暂降扰动特征量的检测。文献[6]提出通过提高设备抵御电压暂降的能力, 安装电压补偿装置, 改变配网系统设计, 减少故障数目、缩短故障切除时间等措施解决电压暂降问题。文献[7]提出一种改进的紧急电压控制方法, 通过 STATCOM 动态无功补偿和紧急切负荷控制策略协调补偿故障电压, 改善电压暂降发生概率。

本文首先通过模型仿真, 分析了不同类型短路故障对电压暂降的影响; 然后比较了不同的中性点接地方式对电压暂降的影响; 最后建立动态电压恢复器(DVR)的仿真模型, 对比采用 DVR 前后电压暂降的变化, 验证了 DVR 对于抑制电压暂降的作用。

2. 电压暂降原因分析

电压暂降产生的原因涉及电力系统和用户两方面。系统方面的原因包括各种短路故障、雷击、开关操作、变压器以及电容器组的投切等。用户的原因包括用电设备内部短路以及大型电机的启动、电弧炉、轧钢机等冲击性负荷的投运等[14]。其中短路故障、感应电机启动和雷击是引起电压暂降的最主要原因。

短路故障是引起电压暂降的一个重要原因。目前配电系统中的线路主保护一般是分段式电流保护, 从发现故障到断路器断开故障, 动作时间要 3~6 个周期, 在故障期间, 会造成故障线路母线或附近区域电压降低, 当在故障线路及其附近线路上接有敏感负荷时, 将会因电压暂降而被跳闸退出工作。发生电

压跌落的幅值大部分在 30% 额定值以下。

3. 故障类型、位置和切除时间对电压暂降的影响

本文基于宝应工业园区发生电压暂降，导致电子产品无法正常生产的案例，根据园区的实际供电方式，建立该工业园区的仿真模型，分析故障类型、位置和切除时间对该仿真模型电压暂降的影响。

3.1. 宝应工业园区概况

本文提出的能源互联网综合考虑了分布式冷热电三联供系统、储能型高效 HIT 光伏电站、低风速风力发电、分布式智能电网系统、园区智慧能源生活社区、源网荷储协调控制等先进技术，以扬州宝应西安丰镇实验基地为基本试点，建设多能互补、高比例消纳的能源互联网试点示范园区。

目前宝应工业园区主要由 110 kV 变电站 A 负责供电，共向区内出线 24 回 20 kV 线路。宝应工业园区供电方式如图 1 所示。

3.2. 仿真模型

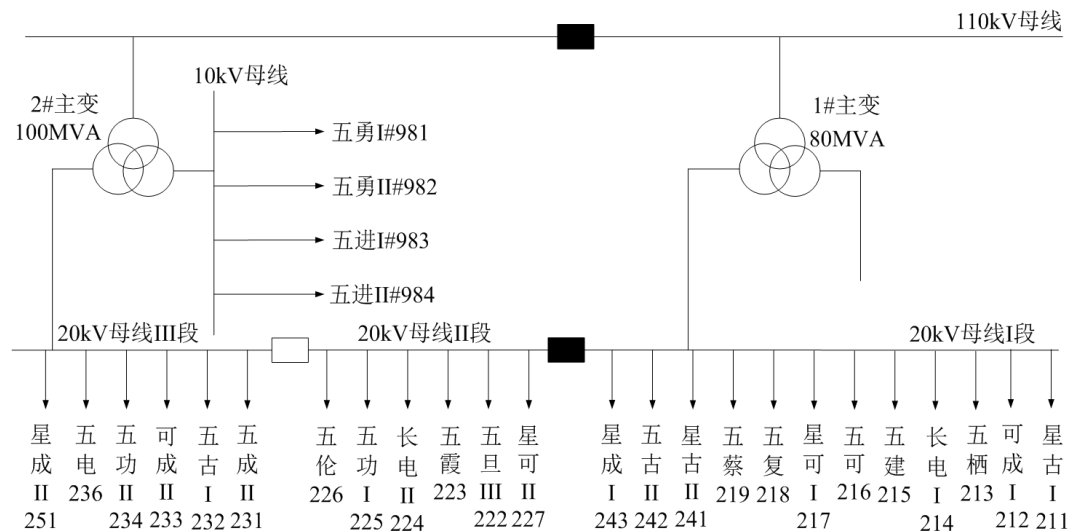
基于 Matlab/Simulink 平台，建立计算仿真模型，系统接线图如图 2 所示。

系统仿真参数设置如下：系统电源为 110 kV 三相电源，经过 2 台三绕组降压变，电压等级 110/20/10 kV，YNd11d11 接线，其中 1 号主变容量 80 MVA，2 号主变容量 100 MVA，通过对故障类型、故障位置和故障时间的设置，分析其他配电网线路故障对可成科技电压(五成线(231))的影响。

3.3. 故障类型对电压暂降的影响

在 20 kV 五电线(236)末端 0.1 s 分别设置三相短路故障、两相(B、C 相)短路故障、单相(A 相)接地短路故障，故障 0.05 s 后切除故障。五成线首端电压如图 3~图 5 所示。

由图 3~图 5 可知，电压暂降的影响大小与故障类型有关。若 20 kV 五电线(236)末端分别发生三相短路故障、两相短路故障、单相接地短路故障，0.05 s 后切除，引起可成科技设备产生的 70%、70%、40% 的电压暂降，且持续 2~3 周波。因此，三种故障中单相接地短路故障引起的电压暂降最小。



注：图中空心表示闭合、实心表示断开运行。

Figure 1. The diagram of the Power Supply Mode in Baoying Industrial Park

图 1. 宝应工业园区供电方式

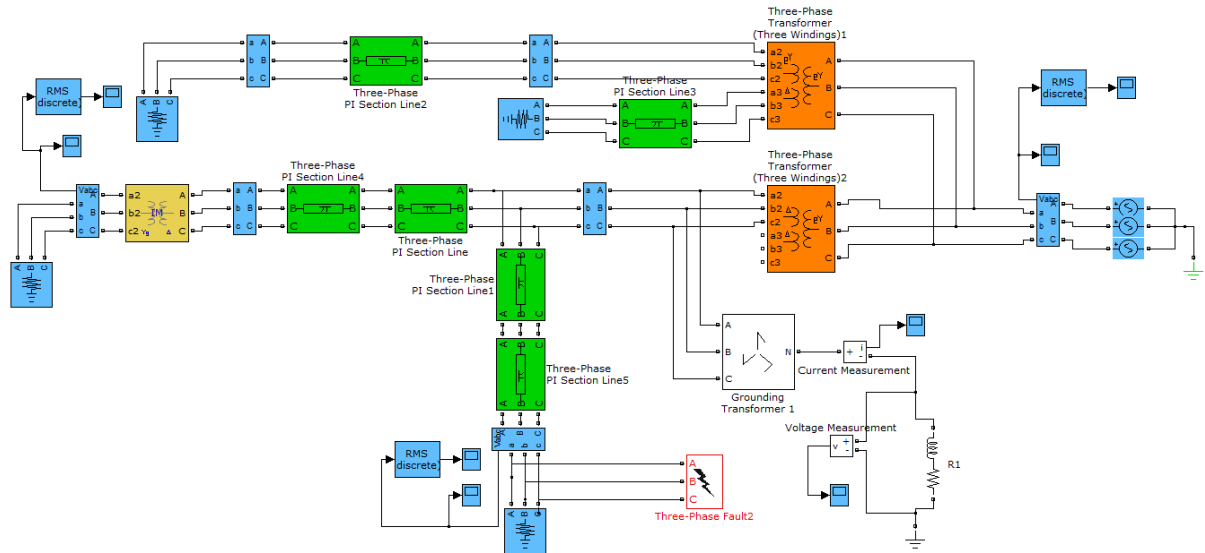


Figure 2. The simulation model
图 2. 仿真模型

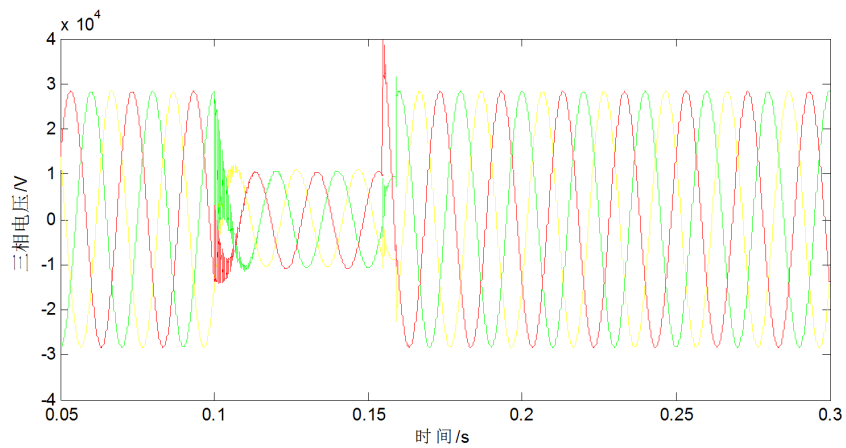


Figure 3. The voltage of the head of Line Wucheng (Under the three-phase short fault)
图 3. 五成线首端电压(三相短路)

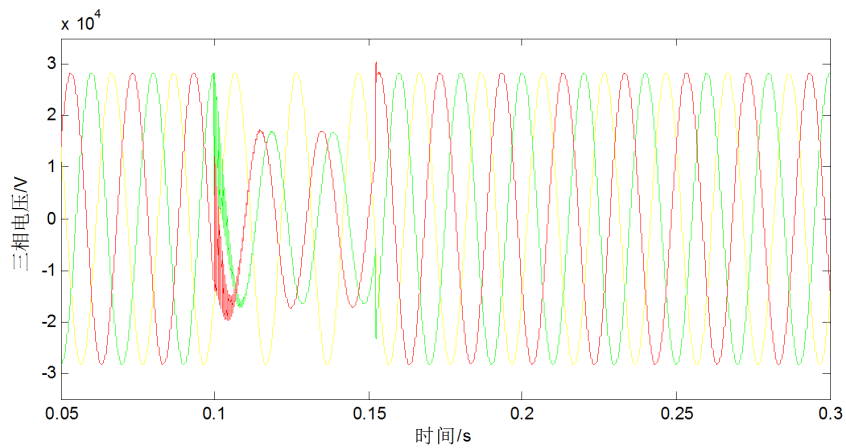


Figure 4. The voltage of the head of Line Wucheng (Under the two-phase short fault)
图 4. 五成线首端电压(两相短路)

3.4. 故障位置对电压暂降的影响

在 20 kV 五电线(236)首端、50%、末端 0.1 s 分别设置三相短路故障，故障 0.05 s 后切除故障。五成线首端电压如图 6~图 8 所示。

由图 6~图 8 可知，电压暂降的大小与距故障点的电气距离有关，与故障点电气距离越近，对电压暂降的影响越大。当五电线末端故障时，对可成科技的影响较小[15]。

3.5. 故障切除时间对电压暂降的影响

在 20 kV 五电线(236)母线 0.1 s 设置三相短路故障，分别在 0.01 s、0.04 s、0.07 s、0.1 s 后切除故障。五成线首端电压和可成科技母线电压如图 9~图 12 所示。

由图 9~图 12 可知，电压暂降的影响大小与故障切除时间有关，随着故障切除时间的增大，电压暂降的持续时间和恢复时间增大。

4. 中性点接地方式对电压暂降的影响

中性点接地方式的选择已成为配电网系统的一个重要组成部分，不同的接地方式适合不同的电网构

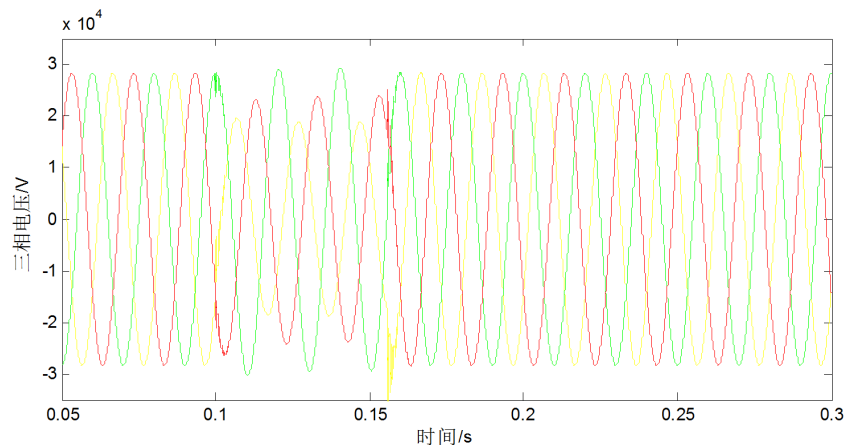


Figure 5. The voltage of the head of Line Wucheng (Under the single-phase short fault)
图 5. 五成线首端电压(单相短路)

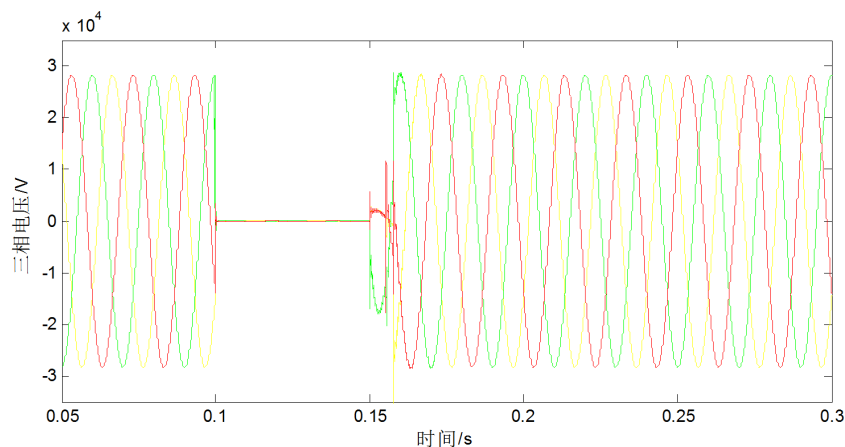


Figure 6. The voltage of the head of Line Wucheng(Under the three-phase short fault at the head of Line Wudian)
图 6. 五成线首端电压(五电线首端故障)

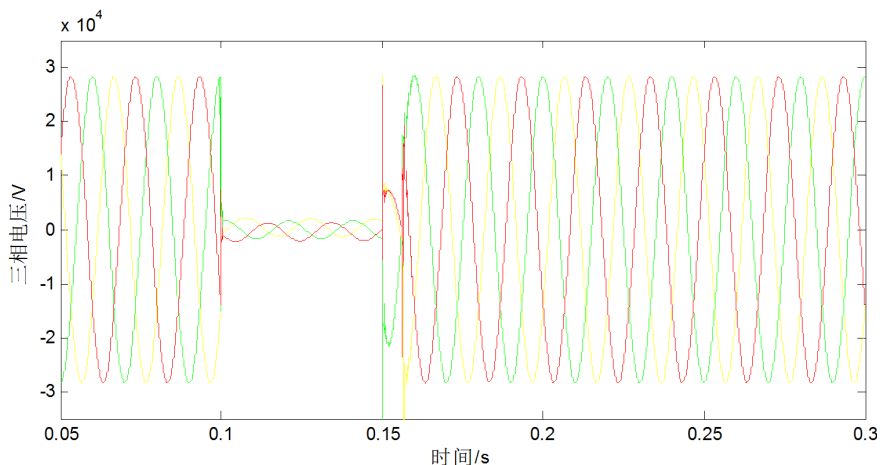


Figure 7. The voltage of the head of Line Wucheng (Under the three-phase short fault at 50% of Line Wudian)

图 7. 五成线首端电压(五电线 50%处故障)

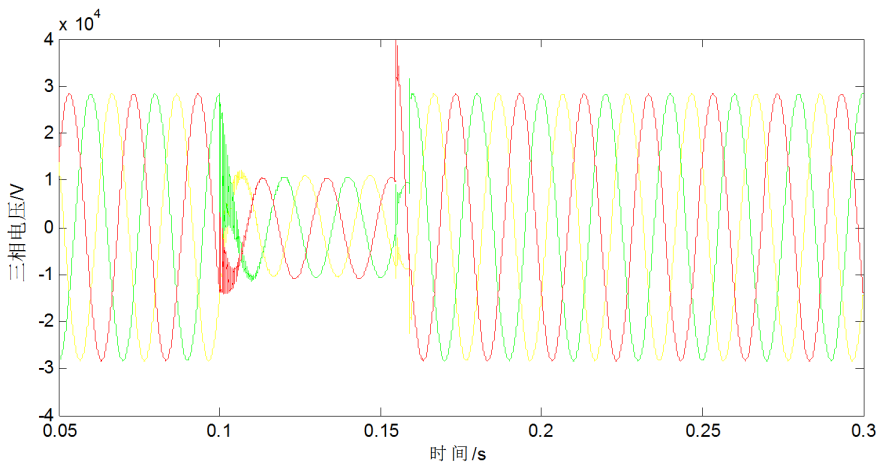


Figure 8. The voltage of the head of Line Wucheng(Under the three-phase short fault at the terminal of Line Wudian)

图 8. 五成线首端电压(五电线末端故障)

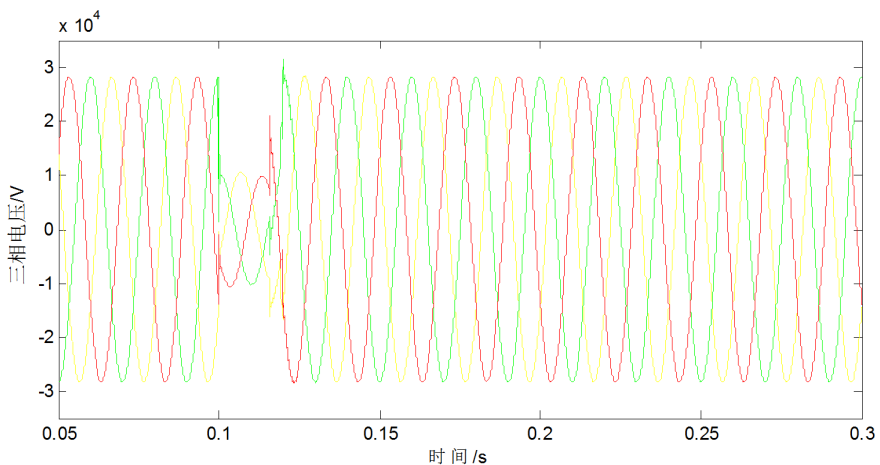


Figure 9. The voltage of the head of Line Wucheng (the fault cleared at 0.01 s)

图 9. 五成线首端电压(0.01 s 切除故障)

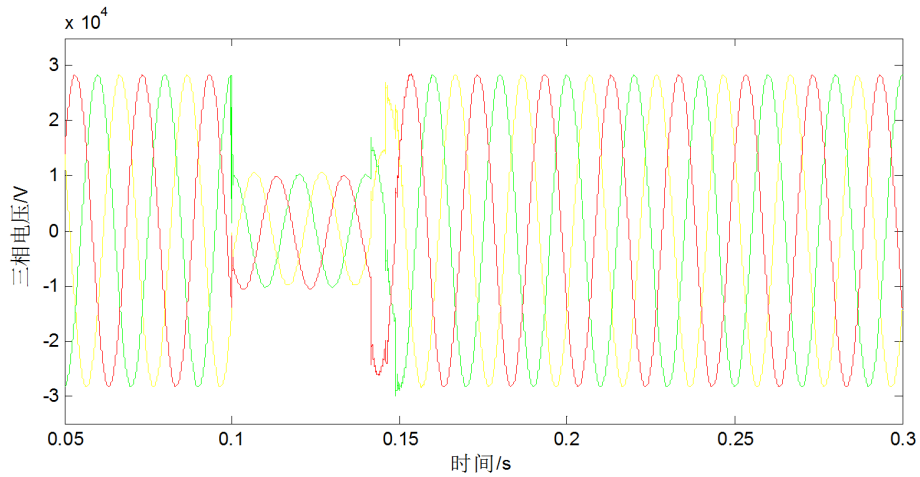


Figure 10. The voltage of the head of Line Wucheng (the fault cleared at 0.04 s)

图 10. 五成线首端电压(0.04 s 切除故障)

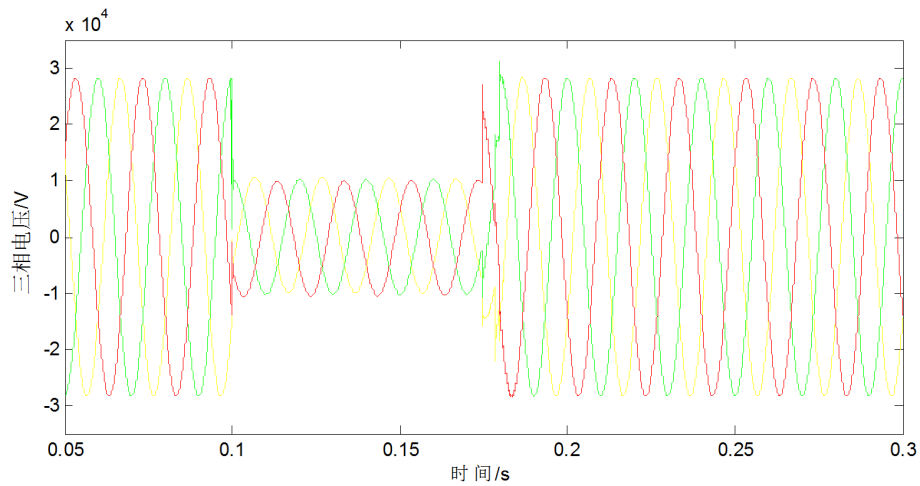


Figure 11. The voltage of the head of Line Wucheng (the fault cleared at 0.07 s)

图 11. 五成线首端电压(0.07 s 切除故障)

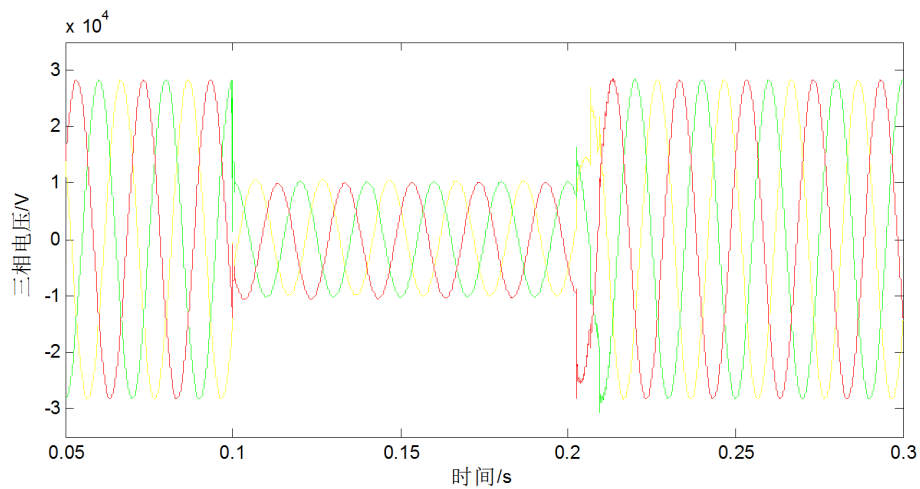


Figure 12. The voltage of the head of Line Wucheng (the fault cleared at 0.1 s)

图 12. 五成线首端电压(0.1 s 切除故障)

架及运行工况，接地方式选择的正确能提升配电网的运行效率及稳定性。现阶段我国配电网所采用的接地方式主要可以分为中性点不接地、中性点经高阻抗接地、以及中性点经消弧线圈接地、中性点直接接地、中性点经小电阻接地这五种方式。其中，中性点直接接地和中性点经低阻接地属于大电流接地系统，中性点不接地、高阻接地、经消弧线圈接地属于小电流接地系统。

我国城市配电网中电缆线路逐渐增多，电容电流不断增大，而且系统的运行方式经常性变化，消弧线圈自身调节存在困难逐渐显现，单相接地故障经常发展成为两相短路故障。而单相接地又是配电网系统发生几率最高的故障类型，所以对小电阻接地方式下的短路故障的特性研究十分必要。小电阻接地方式比消弧线圈接地方式的过电压水平要低，能更好的抑制弧光接地过电压。

在排查中发现，110 kV 变电站内 20 kV 设备绝缘满足经消弧线圈接地系统运行方式要求，但部分 20 kV 出线电缆和用户设备不满足消弧线圈接地耐压等级。下面对中性点采用中性点经消弧线圈和小电阻接地方式对电压的影响做如下分析。

4.1. 中性点经消弧线圈接地

经消弧线圈接地系统单相接地短路故障等效模型如图 13 所示，故障母线三相电压波形如图 14 所示。

由图 14 可见，经消弧线圈接地系统发生单相接地短路故障时，故障相电压为 0，其余两相电上升为原来电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

4.2. 中性点经小电阻接地

经小电阻接地系统单相接地短路故障仿真模型同图 13，将消弧线圈改为电阻。与接地变压器相连中性点接地电阻 $R_N = 10 \Omega$ ，改变短路时的接地过渡电阻，分别取 $R_g = 10 \Omega$ 和 $R_g = 20 \Omega$ ，以模拟短路时大地过渡电阻不同的情况。故障母线三相电压波形如图 15 和图 16 所示。

由图 14~图 16 可见，经小电阻接地系统发生单相接地短路故障时，非故障相电压低于 40 kV，较经消弧线圈接地系统小。

变电站 20 kV 侧若采用中性点经消弧线圈接地，发生单相接地故障时，非故障相电压偏移升高为线电压，就可能造成该部分绝缘设备损坏，造成事故扩大；20 kV 侧若采用中性点经小电阻接地，非故障相电压得以控制。

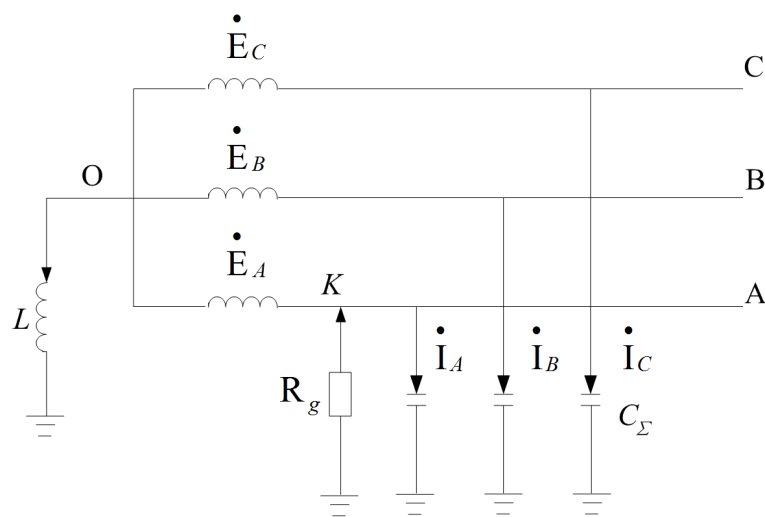


Figure 13. The equivalent circuit of the Arc Suppression Coil Grounded System under the single-phase short fault

图 13. 消弧线圈接地系统单相短路等效电路

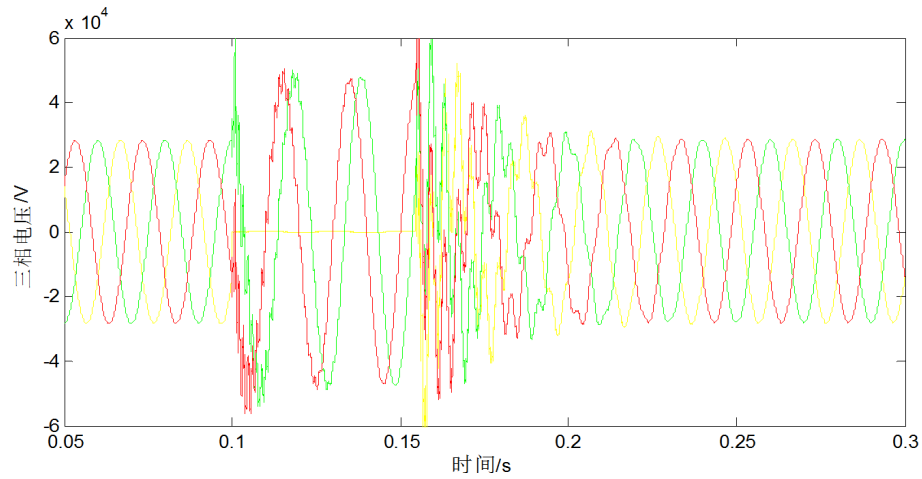


Figure 14. The voltage of the fault bus (the Arc Suppression Coil Grounded System)

图 14. 故障母线电压(经消弧线圈接地)

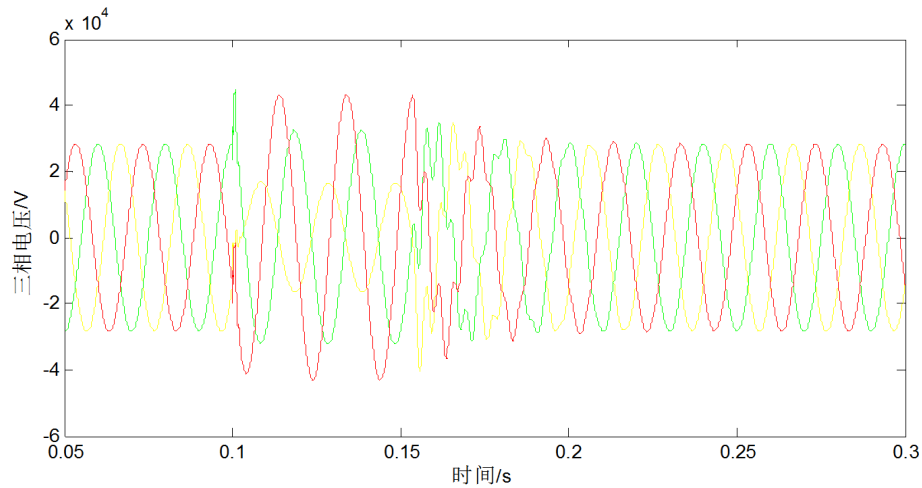


Figure 15. The voltage of the fault bus (the Low-Resistance Grounded Neutral System, $R_g = 10 \Omega$)

图 15. 故障母线电压(经小电阻接地, $R_g = 10 \Omega$)

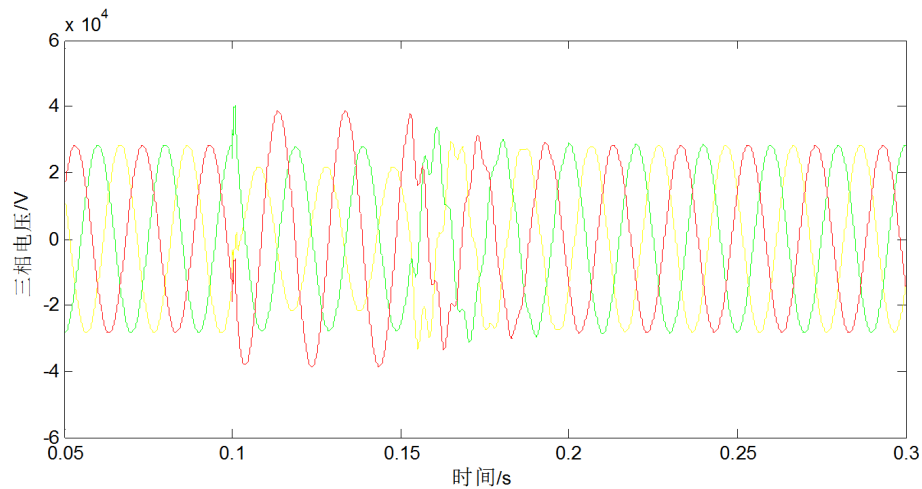


Figure 16. The voltage of the fault bus (the Low-Resistance Grounded Neutral System, $R_g = 20 \Omega$)

图 16. 故障母线电压(经小电阻接地, $R_g = 20 \Omega$)

5. DVR 对电压暂降的抑制

DVR 被认为是目前保证敏感负荷供电电压质量最有效的串联补偿装置，能在毫秒的时间内将电压暂降补偿至正常值，在消除电压暂降、提高大型综合性敏感负荷的供电质量方面有显著的效果[7]。

5.1. DVR 补偿电压暂降的原理

在配电系统正常供电情况下，DVR 工作在备用状态，其损耗是相当低的。当系统电压发生骤降或凸起的时候，DVR 装置立即(毫秒级的时间内)输出相应幅值和相位的补偿电压，从而抑制电网电压暂降对重要负荷的损失。DVR 补偿电压暂降的原理图如图 17 所示。

DVR 的工作原理可用如下过程描述：首先利用传感器、检测电路检测出电压或电流量；随后通过控制电路产生在给定补偿策略下确定的补偿信号；再经过 PWM 电路形成 PWM 驱动信号；然后由驱动电路去控制逆变器功率器件的开通和关断；最后经 LC 滤波器滤除高次谐波，从而在串联变压器上产生与补偿指令相同的补偿电压来消除电网电压中的各种畸变量，达到给负荷提供高质量电能的目标。

5.2. 仿真分析

基于 Matlab/Simulink 平台，模拟发生三相电压暂降、两相电压暂降、单相电压暂降时，DVR 装置投运前后设备母线电压情况。

5.2.1. 三相电压暂降

设置三相短路故障，使可成科技母线在 0.1~0.2 s 之间电压暂降降至 50%，母线电压如图 18 所示。搭建 DVR 三相补偿电压暂降仿真模型如图 19 所示，DVR 装置投运后母线电压如图 20 所示。

5.2.2. 两相电压暂降

设置两相短路故障，使可成科技母线在 0.1~0.2 s 之间电压暂降降至 50%，母线电压如图 20 所示。搭建 DVR 两相补偿电压暂降仿真模型，DVR 装置投运后母线电压如图 21 所示。

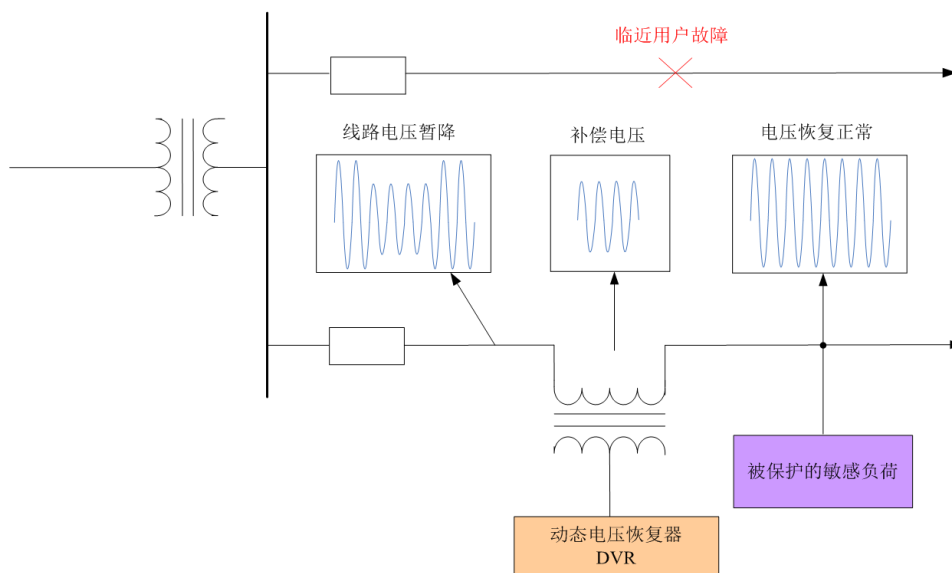


Figure 17. The schematic diagram of DVR

图 17. DVR 补偿电压暂降的原理图

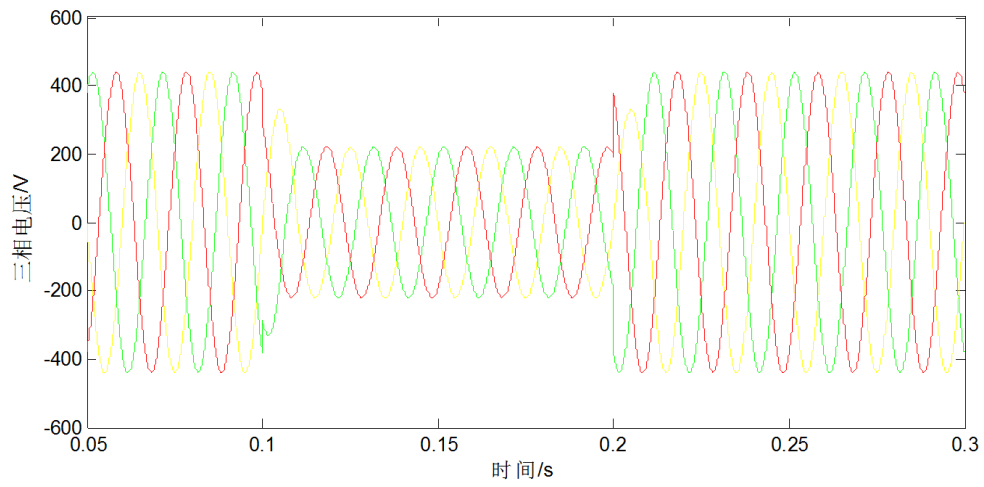


Figure 18. The bus voltage of Catcher Technology (Before the operation of DVR)

图 18. 可成科技母线电压(DVR 未投运)

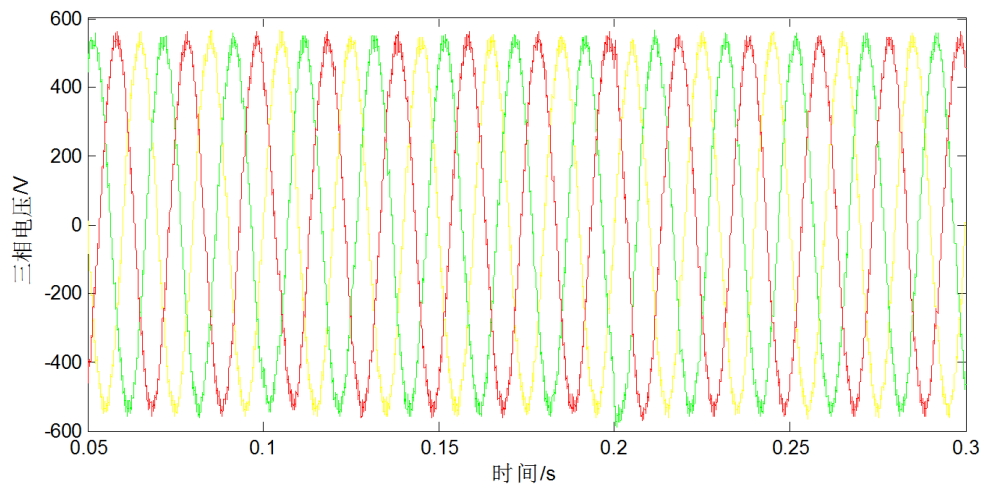


Figure 19. The bus voltage of Catcher Technology (After the operation of DVR)

图 19. 可成科技母线电压(DVR 投运后)

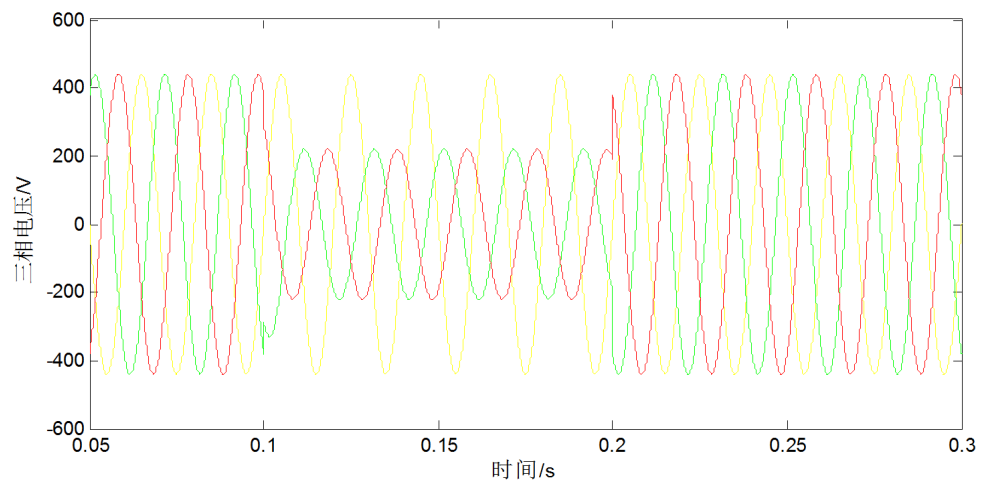


Figure 20. The bus voltage of Catcher Technology (Before the operation of DVR)

图 20. 可成科技母线电压(DVR 未投运)

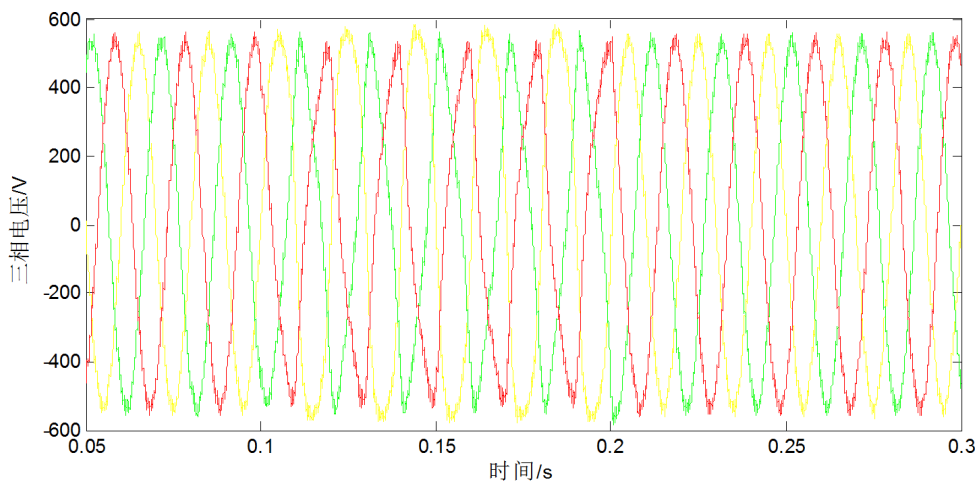


Figure 21. The bus voltage of Catcher Technology (After the operation of DVR)

图 21. 可成科技母线电压(DVR 投运后)

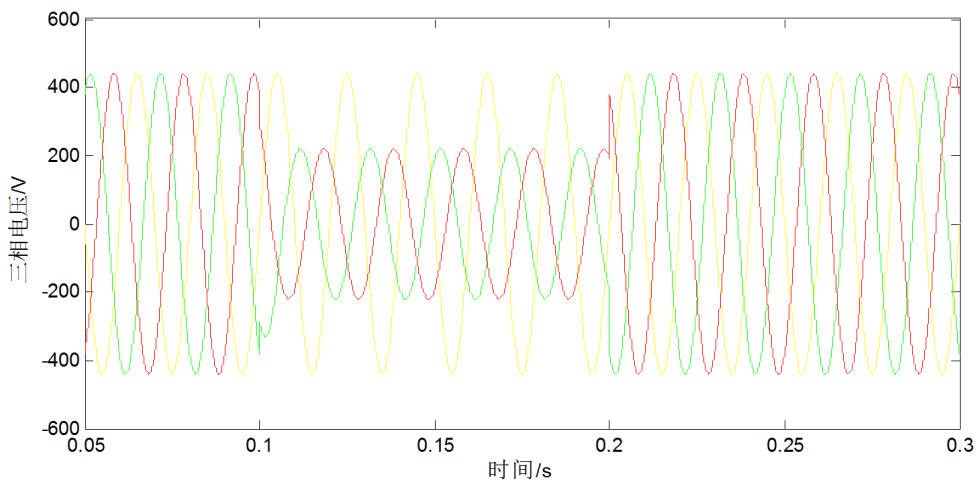


Figure 22. The bus voltage of Catcher Technology (Before the operation of DVR)

图 22. 可成科技母线电压(DVR 未投运)

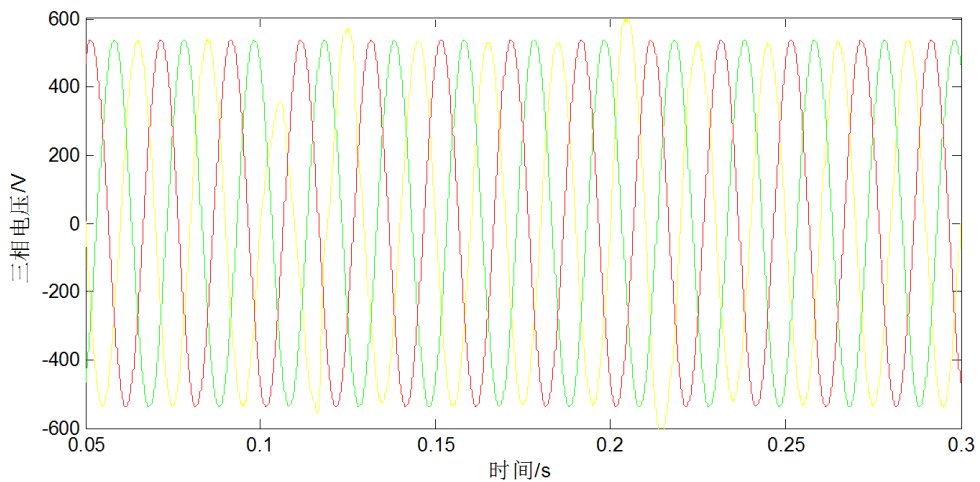


Figure 23. The bus voltage of Catcher Technology (After the operation of DVR)

图 23. 可成科技母线电压(DVR 投运后)

5.2.3. 单相电压暂降

设置单相短路故障, 使可成科技母线在 0.1~0.2 s 之间电压暂降降至 50%, 母线电压如图 22 所示。搭建 DVR 单相补偿电压暂降仿真模型, DVR 装置投运后母线电压如图 23 所示。

由图 18~图 23 可见, 当系统电压发生骤降的时候, DVR 装置立即(毫秒级的时间内)输出相应幅值和相位的补偿电压, 从而抑制电网电压暂降引起的重要负荷的损失。

6. 总结

本文基于实际的电压暂降的案例, 分析其产生的原因, 研究不同故障类型、故障位置、故障切除时间和中性点接地方式对电压暂降的影响, 提出了采用动态电压恢复器(DVR)抑制电压暂降的措施, 证明了 DVR 对于三相电压暂降、两相电压暂降、单相电压暂降均具有良好地抑制效果。

基金项目

国家自然科学基金项目(51475246), 《磁流变悬架系统电磁干扰机理与抑制方法研究》。

参考文献

- [1] 刘旭娜, 肖先勇, 汪颖. 电压暂降严重程度及其测度、不确定性评估方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(4): 644-658.
- [2] 李欣, 刘育权, 钟庆, 等. 特殊时期重要用户电压暂降问题仿真及对策研究[J]. 广东电力, 2012, 25(2): 34-39.
- [3] 崔江静, 廖辰川, 彭显刚, 等. 电压暂降对珠澳电网影响的仿真研究[J]. 广东电力, 2016, 29(3): 52-55, 66.
- [4] 瞿硕, 黄纯, 江亚群, 等. DVR 电压暂降检测新方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(4): 234-239.
- [5] 肖助力, 龚仁喜, 陈双. 一种改进不完全 S 变换的电压暂降检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 62-68.
- [6] 张子林. 电压暂降分析及解决方案[J]. 技术与市场, 2013, 20(12): 4-5.
- [7] 黄小庆, 曹阳, 吴卫良, 等. 考虑电压暂降指标的电压协调控制方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 147-154.
- [8] 程志友, 王雪菲, 徐佳. 一种基于复阻抗的电压暂降定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(4): 149-154.
- [9] 赵晨雪, 陶顺, 肖湘宁. 基于电能质量检测系统电压暂降信息的故障定位估计方法[J]. 电网技术, 2016, 40(2): 642-648.
- [10] 周超, 田立军. 基于粒子群优化算法的电压暂降监测点优化配置[J]. 电工技术学报, 2014, 29(4): 181-187.
- [11] Li, P., Xie, L.L., Han, J.W., Pang, S.L., *et al.* (2018) A New Voltage Compensation Philosophy for Dynamic Voltage Restorer to Mitigate Voltage Sags Using Three-Phase Voltage Ellipse Parameters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **33**, 1154-1166. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2676681>
- [12] 付学谦, 陈皓勇, 王江, 等. 含双馈异步风力发电机组的配电网电压暂降研究[J]. 陕西电力, 2014, 42(1): 55-59.
- [13] 贾清泉, 艾丽, 董海艳, 等. 考虑不确定性的电压暂降不兼容度和影响度评价指标及方法[J]. 电工技术学报, 2017, 32(1): 48-57.
- [14] 杨志超, 詹萍萍, 严浩军, 等. 电压暂降原因分析及其源定位综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(12): 15-20.
- [15] Zhang, S., He, Z.Y., Lee, W.J., *et al.* (2017) Voltage-Sag-Profiles-Based Fault Location in High-Speed Railway Distribution System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **53**, 5229-5238. <https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2728782>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jee@hanspub.org