配电系统中零线过电流如何抑制的研究

况 东

（中国建筑上海设计研究院有限公司，上海 200062)

摘要：结合某大厦电力配电系统终端箱出现零线过电流并异常跳闸的现象，分析其零线过电流及电压畸变的背后原因，提出针对类似配电故障时的一种新的解决办法。通过分析故障背后的原因，结合电气综合治理保护系统的工作原理，并通过现场电气综合治理保护系统实践应用前后的电流数据变化，阐述了电气综合治理保护系统在治理民用建筑配电系统碰上类似三相不平衡及零线过电流问题时的应用研究。

关键词：零线过电流；三相不平衡；3 次谐波；电压波动

Study on how to suppress zero-phase overcurrent in distribution system

KUANG Dong

(China Shanghai Architectural Design &Research Institute Co.,Ltd., Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on the phenomenon of zero-phase overcurrent and abnormal tripping in the terminal distribution box of the power distribution system of a building, this paper analyzes the reasons behind the zero-phase overcurrent and voltage distortion, and proposes a new solution for similar circuit fault. the reasons behind circuit fault, is aralyzed combined with the working principle of N-Line Treatment Protection System, and through the change of current data before and after the practical application of the on-site N-Line Treatment Protection System, expounds the application research of N-Line Treatment Protection System in the treatment of similar three-phase unbalance and zero-phase overcurrent problems in the distribution system of civil buildings.

Key words: zero line overcurrent, three-phase unbalance, third harmonic, fluctuation of voltage

0 引言

伴随着民用建筑配电系统中LED照明、不间断应急电源和变频控制器等各类非线性负荷在大型公共建筑中的频繁应用，现场有时会导致配电系统中三相不平衡、零线电流过大等故障，甚至发生跳闸或电动机过载发热的现象。笔者通过某项目配电系统中零线过电流的实测数据进行分析，提出了应用电气综合治理保护系统的抑制方法，阐述电气综合治理保护系统的工作原理及应用效果。

1 零线过电流故障的产生

某项目业主反映，建筑实际运营过程中很多楼层的无线通信信号很差，电磁干扰现象严重。笔者通过对现场配电系统的数据调研后，基本排除了过载或设备故障的原因，提出可能是由于末端计算机所带的不间断电源系统（UPS）以及全楼使用LED灯及末端单相回路乱拉导致末端负荷不均而引起的故障，用仪表实测后发现其配电系统中存在比较严重的谐波污染，且电压畸变率大，存在较大的三相不平衡以及零线过电流问题。

每层照明总箱的故障点测试数据见表1。

其中在8F实测数据显示如图1所示。

表 1　测试故障点的测试数据

Tab. 1 Tested data of fault points

测试地点	A 相电流 /A	B 相电流 /A	C 相电流 /A	治理前零线电流 /A	零线对地电压 / V	零线电流总畸变率 THDi（%）	谐波电压总畸变率 THDu（%）	谐波电流总畸变率 THDi（%）	问题分析
8F	190.5	191.6	185.5	153.9	4.79	＞ 2 199	10.7	＞ 36.4	零线过电流严重
7F	76.3	59.1	47.8	80.7	7.13	＞ 307.6	12.9	＞ 90.9	零线电压过高，零线过电流严重
6F	71.8	64.8	76.3	105.7	7.13	＞ 3 690	12.8	＞ 77.5	零线电压过高，零线过电流严重
5F	118.2	78.2	88	154.2	7.28	＞ 459.8	13	＞ 91.3	零线电压过高，零线过电流严重
4F	78	79.7	65.5	116.6	7.10	＞ 1 165	12.6	＞ 91.1	零线电压过高，零线过电流严重
B1F	120	135.9	148.5	174.2	3.28	＞ 1 131	6.7	＞ 61.8	零线过电流严重

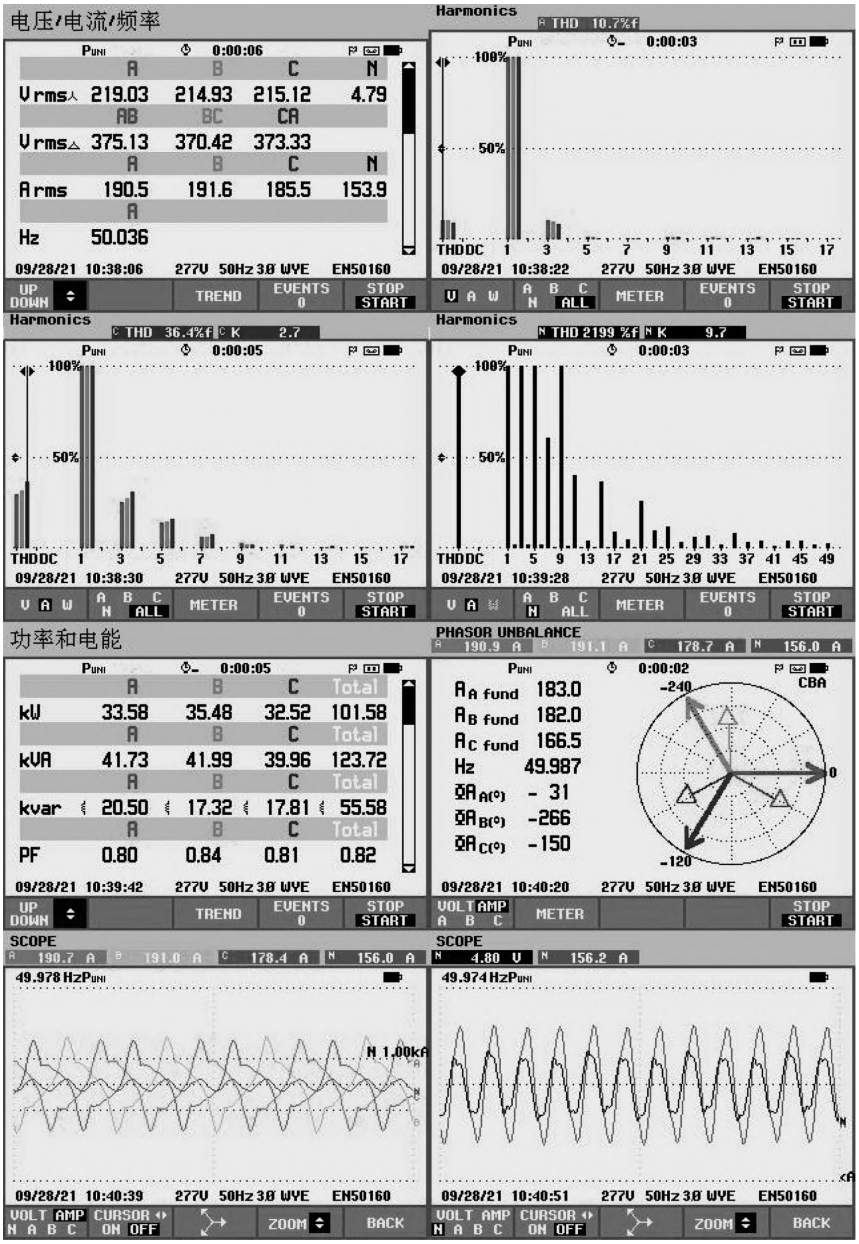

图 1　8F 测试故障点详细数据

Fig. 1 Detailed data of fault points on the 8F

2 零线过电流的原因分析

导致零线过电流的原因主要有以下几方面。

1）末端三相负荷设计不平衡。有的工程师设计项目时，每个小房间配电箱都是从A相开始，容易造成C相负荷过小或为0，正因为没有将末端单相负荷均衡地分接在 A、B、C相上，加上末端插座移动负荷的不可控增容、有些大功率单相负荷的接入以及使用不同期等，均造成了末端三相负荷实际运行时的不平衡。而随着目前绿色建筑的普及，传统的交流单相负荷变得越来越少，大量单相设备是通过交流变直流来供电，比如目前的应急照明。大部分设计师将每个防火分区的应急电源设计在A相，使得三相不平衡，从而导致零线过电流。

2）3次谐波叠加导致零线电流过大。大型公共建筑因为电气绿建二星的要求，均大量使用LED灯，LED灯产生的3次谐波在零线是叠加的，而且不只是3次谐波，也包括3倍次谐波（如6、9和12次谐波等），谐波电流流过导体时，产生趋肤效应，频率越高，趋肤效应越明显。而电流集中在靠近导体表面的位置，让导体实际的截面积减小，使得零线对3次谐波电流出现更大的电阻。当电流流过导体时，导体发热量与导体的电阻及流过导体的电流的二次方成正比。一般设计照明线缆的零线与相线的截面积均相同，若零线电流是相线电流的2倍，则零线发热量是相线的4倍。若选用的线缆是动力线缆（即“3+2”型），截面积是相线的1/2时，$R=\rho L/S$；零线电流是相线电流的2倍时，零线的发热量达到相线的8倍。所以零线过电流会导致零线过热甚至诱发火灾。

3）当现场因为铺瓷砖或受到外力时，零线断裂或者接触不好,或者是因为零线没有很好地接地,也会导致零线带电，笔者房子装修就发生过装修时铁锹铲断零线的故障。

4）设备周边有电磁感应，导致不能够形成回路。由于电磁感应导致电压波形的畸变，使得弱电智能化系统的一些控制器不能正常工作。

3 零线过电流的抑制措施

通过现场的测量数据，考虑到现场的配电环境和非线性负荷量大，结合曾经解决项目类似电气故障的经验，有效解决现场故障的主要方案有：①加装有源滤波器；②加装零线电流滤波器；③加装终端电气综合治理保护系统。

3.1 有源滤波器

有源滤波器的工作原理是从系统发出一个与谐波大小相等且方向相反的电流来抵消谐波，使电网中电流只含基波成分，如图2所示。有源滤波器可以对幅值和频率都变化的谐波进行补偿，且补偿特性不受电网阻抗的影响。因为有源滤波器是靠检测相线上的谐波电流并发出正好抵消谐波电流的补偿电流来工作的，所以有源滤波器主要滤除相线上的谐波，抑制其安装位置上游的谐波电流，对下游的线路抑制效果很差。

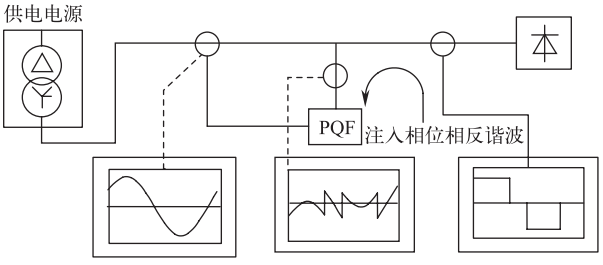

图 2 有源滤波器工作原理

Fig. 2 Working principle of active power filter

基于有源滤波器的这个特点，可以得出如下结论：利用有源滤波器解决3次谐波造成的危害时，必须把有源滤波器安装在故障部位的下游，若要解决某配电箱跳闸的问题，就要把有源滤波器安装在这个配电箱的下游线路位置。当需要解决某段零线过热的问题，也要把有源滤波器安装在这段零线的下游线路上。目前因为有源滤波器价格昂贵，常见的设计是在变压器的下端低压侧安装一台有源滤波器。这种方案仅能解决变压器过热的问题，因此要解决哪个断路器的跳闸问题，需要把有源滤波器安装在该断路器的下端。

综上所述，要解决配电系统中3次谐波电流造成的危害，必须在所有故障的分配电盘处安装

一个有源滤波器，这种方案投资成本较高，对三相不平衡等其他原因造成的零线电流没什么效果。

3.2 零线电流滤波器

零线电流滤波器是市面上一些厂家针对现代建筑配电系统中出线大量3次谐波问题而开发的新型设备。其工作原理是利用电路中磁通360°反向自动消减原理，在电源输入端零线上安装3次谐波电流零线滤波器，当相位角处于360°的3次、9次、15次和21次等3倍频谐波电流流入零线电流滤波器时，零线电流滤波器自动产生一个反向的磁通抵消3倍频谐波的磁通，但是50 Hz的基波，其他频率的谐波则不受影响。这是某些厂家专为各类单相整流电路引起3次谐波过大和零线电流过高而开发的专用滤波器，能够将3次谐波电流和零线电流消除掉80%以上，对于消除3次谐波引起的零线电流过大等相关故障隐患很有效。

零线电流滤波器工作原理如图3所示。

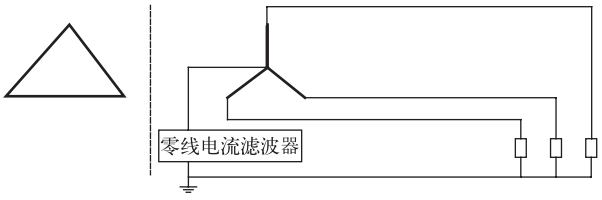

图 3　零线电流滤波器工作原理

Fig. 3 Working principle of zero-phase current filter

3.3 终端电气综合治理保护系统

终端电气综合治理保护系统是目前市面上新出现的一种产品，是集零线过电流保护和消除零线过电流于一体的产品，相比较前两种产品最大的优势是增加了消除三相不平衡、就地进行无功补偿和稳定末端电压等功能。工作原理如图4所示。在正常工况下，电气综合治理保护系统只是消除零线电流和监视零线的运行状态，故障状态下则容许零线短时过电流和过电热运行。其结构包括采集模块、保护器和处理模块3个设备。采集模块的输入端为配电设备回路上的相线和零线，采集模块的输出端与保护器的输入端及处理模块连接。采集模块采集分支回路上的电流值和电压值。当零线上的电流值瞬时升高时，通过保护器滤除升高的电流值；当零线上的电流值持续升高时，保护器可向处理模块发出切断信号，切断与相线的连通。

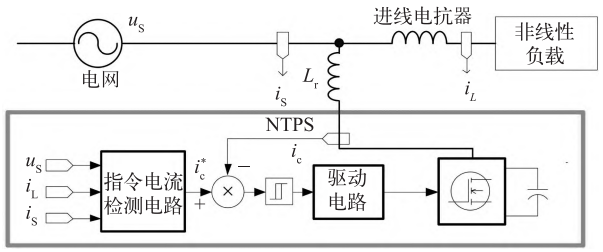

图 4　终端电气综合治理保护系统工作原理

Fig. 4 Working principle of N-line treatment protection system

工作原理为：通过电流互感器检测出三相负荷电流，然后通过基于FPGA的高速数字控制器实现的指令电流控制算法（基于 FFT+AI的人工神经网络算法），将三相负荷电流分解为基波正序有功电流i_{1fp}、基波正序无功电流i_{1fq}、基波负序电流i_{2f}、基波零序电流i_{0f}和谐波电流i_h几个部分。NTPS控制功率电路实现输出电流跟踪指令电流，系统给定不同类别的指令电流让 NTPS分别工作在不同的补偿状态，控制 NTPS输出的电流分别为：①$i_c=-i_{1fq}$，补偿电网无功功率；②$i_c=-i_{2f}$，补偿电网负序分量；③$i_c=-i_{0f}$，补偿电网零序分量；④$i_c=-i_h$，补偿电网谐波电流。

4　终端电气综合治理保护系统的应用

综上所述，最终决定在现场有故障的配电箱处加装终端电气综合治理保护系统的方案，治理后故障点的零线电流数据见表2。

表 2　治理后故障点的零线电流数据

Tab. 2 Zero-phase current data of fault points after governanced

测试点名称	配置方案	配置数量	治理后零线电流 /A
8F	终端电气综合治理保护系统	1	20.2
7F	终端电气综合治理保护系统	1	5.6
6F	终端电气综合治理保护系统	1	14
5F	终端电气综合治理保护系统	1	10.3
4F	终端电气综合治理保护系统	1	10
B1F	终端电气综合治理保护系统	1	8.5

在最初零线电流最严重的8F和5F现场读取数据如图5所示。

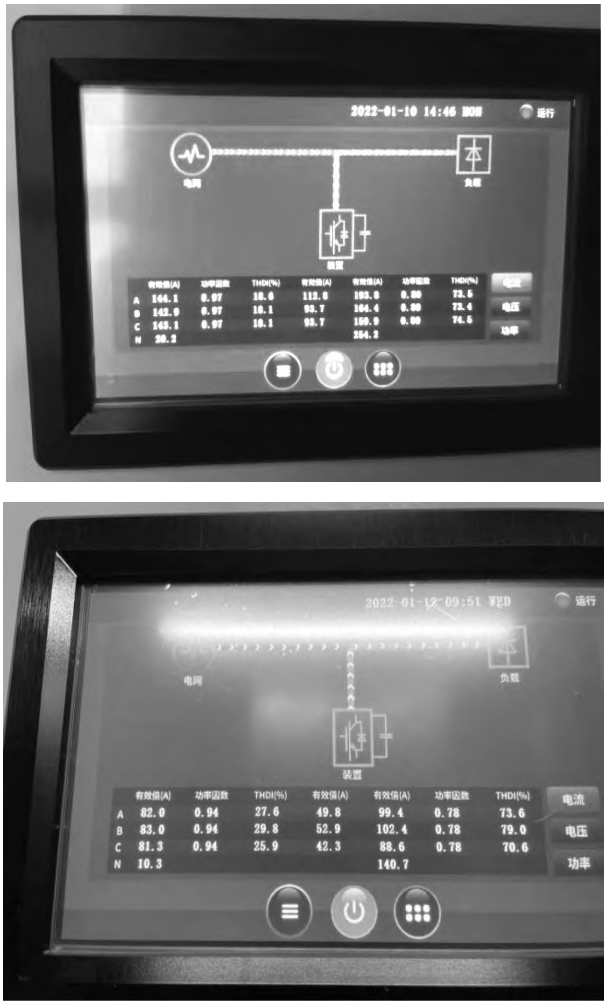

图 5　8F 和 5F 的现场读取数据

Fig. 5 Field reading data on 8F and 5F

以上数据都是终端电气设备正常运行时，通过现场用电高峰时间段测试得出，从测试的结果可看出终端电气综合治理保护系统对现场三相不平衡及零线电流过大的故障治理应用效果很好，应用后零线电流减小80%左右；而且经过终端电气综合治理保护系统治理后的三相电压、电流波形均为较完好的正弦波形；而总电流相比治理前有约20%的下降，在治理的同时，实现了建筑节能。

5　结束语

终端电气综合治理保护系统治理谐波及零线电流的最大优点是抑制3次谐波效果好，可治理三相不平衡、零线过电流及电压波动，降低了三相总电流，有利于电气节能。

与有源滤波器比较，终端电气综合治理保护系统滤波范围更广，可以滤除2～63次谐波，具有对2 kHz～20 MHz高频谐波的治理能力，有源滤波器一般只能滤除2～23次的谐波；它克服了有源滤波器无零线保护的弱点，具有零线过电流保护、定时限保护与反时限保护功能。

与零线电流滤波器比较，终端电气综合治理保护系统不仅仅是多了治理三相不平衡电流的功能，而且具有有源滤波器与零线电流滤波器都不具有的解决电压波动的优点：可以有效治理－15%～10%的电压波动；响应速度不大于5 ms。

市面上新出现的终端电气综合治理保护系统具备治理谐波、三相不平衡和零线过电流的综合性能及节能效果，将在今后工程实践中得到越来越广泛的应用。

参考文献

[1] 况东，刘小芳．工程设计中谐波产生原因及抑制的研究[J]．建筑电气，2007，26(5)：19-21．

[2] 中国航空工业规划设计研究院．工业与民用配电设计手册[M]．北京：中国电力出版社，2016．

作者简介

况东（1980—），男，高级工程师，研究方向为建筑电气及智能化技术。

（收稿日期：2022-07-28）

配电系统中零线过电流如何抑制的研究　P42

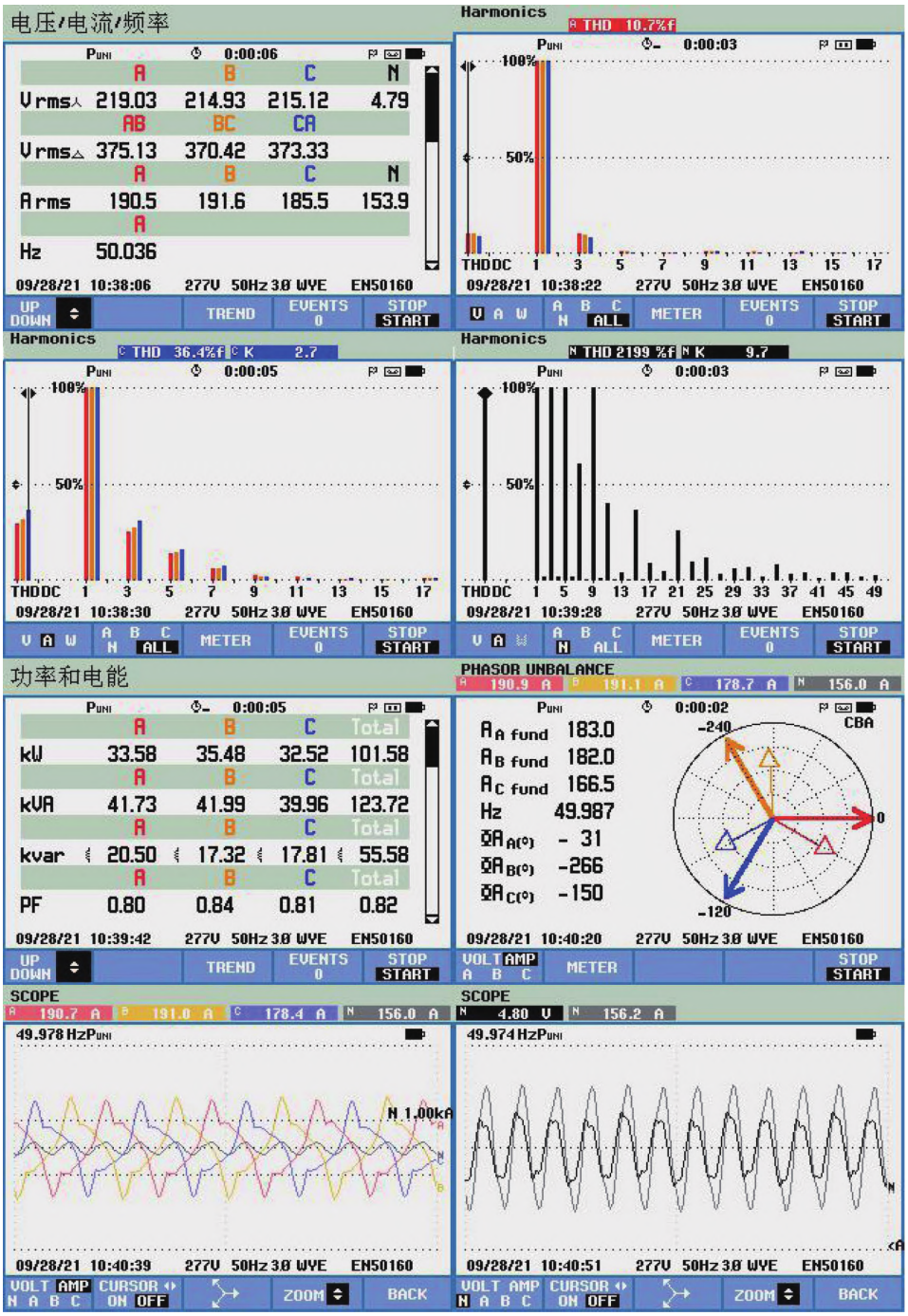

图 1　8F 测试故障点详细数据

Fig. 1 Detailed data of fault points on the 8F