[开关设备]

一种新型低压配网相间不平衡的电流调节方式

文/国网浙江省电力公司宁波供电公司　马益平　李永腾

近年来，随着社会经济建设及城镇多种经济模式的飞速发展，城镇用电结构及用电量也发生了较大变化，农村用电负荷大幅增加，小加工厂多，昼夜变化大，负荷特性复杂多变，农用配变数量越来越多，三相不平衡、功率因数低、电压质量不合格三方面问题已日益凸显，解决农村电网电能质量是农村电网规划和建设的主要任务之一。

我国城乡居民和商业配电网中主干线供电方式为三相四线，分支线供电方式为单相供电的模式。配电变压器均采用三相变压器，低压配电网中三相负荷与单相负荷共存，但居民家庭用电是以单相负荷为主，并且在规划设计阶段已将单相负荷均衡地分配到三相系统。

目前农网低压配网中对无功和三相不平衡的治理目前基本都是单一的装置实现。

农网中采用的无功补偿装置主要以开关投切电容这类传统无功补偿装置为主，按开关元器件类型可分为机械式接触器投切电容装置、电子式无触点可控硅投切电容器装置和复合开关投切电容装置，它们通过检测系统内的无功需量，然后触动开关器件投入电容器进行无功补偿。这类无功补偿装置具有成本低的优势，但由于自身技术缺陷，容易出现过补、欠补，易受电网影响，轻载时容易造成投切振荡，这类现象会加剧农村电压不稳定状况及损坏开关元件和其他设备。

当前治理农网三相不平衡的方法有均匀分布负荷、增加短路容量、电感与电容组合调整等方法，这些治理方法能取得一定的效果，但不能从根本上解决问题，也降低了供电公司的供电可靠性，间接影响了供电公司的售电量。

随着IGBT技术的发展，一款兼具三相不平衡及无功补偿功能的IGBT型三相不平衡电流治理装置应运而生，根据电网三相不平衡及无功变化特点，结合当前DSP＋CPLD数字技术，研制出新型控制算法；基于三电平拓扑平台，研制了装置内部变流器的控制技术；具备无功补偿功能，cosϕ可达0.99；具备三相不平衡电流补偿功能，三相不平衡度可降至3%以下；实时补偿，全响应时间小于15 ms；动态响应时间小于50 μs；无过补、无欠补、无谐振。以此解决电网中三相不平衡和无功问题，全方位提升电网用电质量。

由于400 V低压配电系统用户侧几乎都是单相负载，且用电具有不同时性，配变系统极易出现三相不平衡。表1为对某公变的配变终端记录数据，可发现农网配变不平衡现象严重。

经过对配电台区的调研工作，工作于户外露天下的电力系统自动化二次设备，以及综合监控系统全部以成套设备方式安装在户外。因此三相不平衡电流治理装置需要与室内电力电子设备不同的结构设计。三相不平衡电流治理装置将工作在一个严酷得多的工作环境中，一般说主要影响因素有气候条件，如温度、湿度、太阳辐射、风、凝露和降水等；生物条件如霉菌、啮齿类动物、鸟类和昆虫等；化学活性物质条件如盐雾、

表1　五马村250 kV·A一号变压器8月12日配变终端数据

日期	视在功率/kV·A	瞬时有功/kW	无功/kvar	A相电流/A	B相电流/A	C相电流/A	总功率因数
2015－08－12 00:00:00	43.37	41.95	11	47	97	37	0.97
2015－08－12 00:15:00	43.48	42.07	11	39	97	48	0.97
2015－08－12 00:30:00	37.87	35.92	12	38	78	38	0.95
2015－08－12 00:45:00	38.31	36.7	11	39	81	41	0.96
2015－08－12 01:00:00	38.75	37.44	10	38	69	54	0.97
2015－08－12 01:15:00	41.01	39.21	12	46	75	50	0.96
2015－08－12 01:30:00	37.39	36.29	9	42	66	49	0.97
2015－08－12 01:45:00	42.23	40.77	11	48	69	62	0.97
2015－08－12 02:00:00	35.12	33.01	12	40	66	40	0.94
2015－08－12 02:15:00	42.05	40.3	12	46	70	54	0.96
2015－08－12 02:30:00	33.05	31.8	9	35	60	45	0.96
2015－08－12 02:45:00	30.81	29.47	9	45	48	37	0.96
2015－08－12 03:00:00	30.87	29.82	8	30	57	44	0.97
2015－08－12 03:15:00	34.61	33.13	10	42	65	39	0.96
2015－08－12 03:30:00	35.3	34.38	8	30	63	53	0.97
2015－08－12 03:45:00	31.54	30.23	9	43	52	38	0.96
2015－08－12 04:00:00	28.99	27.86	8	31	54	38	0.96

工业生产和车辆排放产生的二氧化硫、硫化氢、氯气和氨气等；机械活性物质条件如沙、灰尘等；电磁环境条件如外界电磁干扰、雷电和静电等。

要克服上述种种环境因素的影响，三相不平衡电流治理装置必须在结构、工艺以及功能方面采取有效的加固措施，才能适应户外的工作环境，保证设备正常工作。综合起来,主要有以下几个问题需要重点考虑。

由于户外设备在露天的环境中工作，毫无疑问，户外机柜的密封是结构设计首先要解决的问题。户外环境下，风沙和灰尘都是机械活性粒子，这些沙尘性物质除了会使设备机械部分阻塞和磨损外，有些固体物质还会与空气、水分或其他物质发生化学作用，引起化学反应而产生腐蚀。某些绝热性物质附着于冷却系统，会影响系统的散热。导电尘埃沉积于电路会产生短路，而绝缘体又会积聚电荷对电路形成干扰。

防止雨水的侵入当然是户外机柜密封的另一重要目的，雨水进入机柜对电子设备的危害是众所周知的。户外机柜的密封作用还在于有效地防潮湿、防盐雾、防霉菌和防止昆虫进入，同时也是实现机柜内部温度控制的先决条件。选用IP44作为户外机柜的防护等级应该是恰当的。

户外环境下,湿热的条件对电子设备的可靠性及设备的功能和寿命都产生很大破坏。高温高湿对大气污染物起着催化作用。高湿会提高化学活性颗粒的活性，水汽吸附于物体表面还会通过扩散、渗透等方式进入材料内部。高温会加快盐雾和沙尘引起的腐蚀。同时温度和湿度又是霉菌生成的关键因素。

三相不平衡电流治理装置的密封措施并不能安全阻止潮湿的空气进入机柜内部。此外，在阳光辐射下加上设备本身耗散的热量，密封机柜内部温度有可能超出设备允许的范围，而在极端寒冷的气候环境下同样会导致设备不能正常工作。机柜内外交替变化的温度会对材料产生附加应力而加快破坏。同时，相对湿度又随着温度改变,达到100%时产生凝露,使元器件和材料受潮。户外机柜的冷却可以采用风冷、液冷、热交换器或半导体致冷等形式。机柜有内、外两个通风系统，在封闭的机柜内部，功率模块有足够的风扇抽风散热，而机柜外壁也有相应的抽风风扇抽出柜内热量，空气在风机作用下反复循环。

户外设备在外界环境中受到更多的电磁干扰，但是由于三相不平衡电流治理装置采用了密封的结构形式，有可能得到较好的屏蔽效果，需要解决的问题在于机柜各部件之间良好的电联接以及机柜的接地，才能具有良好的抗电磁干扰能力。

根据农网三相不平衡、无功和电压变化特点，结合当前DSP＋CPLD数字技术，研制出新型控制算法如下。

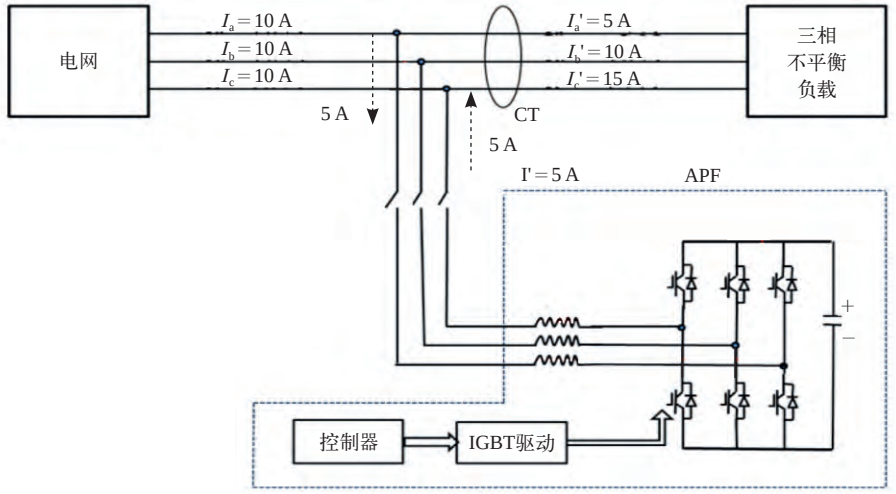
（1）补偿三相不平衡

三相不平衡电流治理装置是一款利用大功率电力电子技术解决电流三相不平衡的产品。其原

理是通过CT实时检测电流信号，然后将采集信号通过DSP数字控制处理器分析，之后驱动IGBT功率电路、利用内部储能电容将系统三相不平衡电流转移、平均分配，使三相电流达到平衡状态。具体原理如下。

如图1所示，假设A、B、C三相负载电流分别为5 A、10 A、15 A，这时候就认为此系统的三相电流出现了不平衡，三相电流完全平衡的状态应为A、B、C三相电流全部为10 A。

三相不平衡电流治理装置在运行时，会通过外接电流互感器（CT）实时检测系统电流，然后将CT采集到的电流信息发给内部控制器进行处理，经过控制器分析之后，三相不平衡电流治理装置就会发现系统的电流不平衡状态，同时计算出三相电流达到平衡状态所需转换的电流值。以下图为例，A相电流想达到平衡状态则需要减少5 A的电流给电容充电，B相电流正好为10 A无需调整，C相电流想达到平衡状态则需要用APF补充5 A的电流给负载。计算完成之后，控制器就会通过IGBT驱动电路来驱动IGBT动作，从而使得5 A电流从系统A相流入三相不平衡电流治理装置，从三相不平衡电流治理装置内部流出5 A到C相负载。从而使得A、B、C三相电流全部重新分配为10 A。这一系列的计算及控制动作都是在瞬间内完成的。



图

三相不平衡电流治理装置的动作是瞬时的，而在某一段时间内其吸收发出的电流有效值却是平衡的，因此可以将其动作的结果理解为分流作用，使得系统三相电流的有效值达到一个平衡状态。

当系统内三相电流都偏离平衡点时，补偿原理与以上所述的两相偏离平衡点的状况类似。其根本原则就是将某相多出来的电流瞬间存储到三相不平衡电流治理装置母线电容中，随后从母线电容瞬间发出电流补偿需要补偿的某相。

三相不平衡电流治理装置面向的对象是电流且实时采集，使得无论负载分布如何、用电时间不一致，只要实时检测的三相电流因负载变化导致不平衡，三相不平衡电流治理装置都能快速动作平衡电流。这就解决了电流三相不平衡传统解决方法中的客观局限性。此三相不平衡调节方式不会受电网电压影响，且治理三相不平衡时安装更简便、没有前期烦琐的计算及接入方法的困扰，可即装即治。

（2）补偿无功

三相不平衡电流治理装置开启后，通过外部电流互感器实时检测负载电流，并通过内部DSP计算分析负载电流的无功含量，然后根据设置值来控制PWM信号发生器发出控制信号给内部IGBT使逆变器产生满足要求的补偿电流，最终实现动态无功补偿的目的。

（3）稳定系统电压

三相不平衡电流治理装置对补偿点电压进行采样，将电压信息传递给内部DSP，以判断补偿点电压是否超过设定值，当电压超过调压上限（U_{max}）时，三相不平衡电流治理装置输出容性电流，降低电压；当电压低于调压下限（U_{min}）时，三相不平衡电流治理装置输出感性电流，提升电压。最终使各相电压稳定在正常范围内。

将提到的三相不平衡电流治理装置应用于电

能质量问题较为严重的五马村250 kV·A一号变压器二次出线侧台区进行挂网运行。实现三相负荷不平衡率、功率因数达到变压器运行规程标准中规定的数值，并根据运行情况进行效果分析。

应用效果总结如下。

1）不平衡。现场治理前三相不平衡严重，从8月12日配变终端数据可以看出不平衡电流约为60 A；补偿后从8月18日配变终端数据数据三相电流基本平衡，不平衡电流约为2 A，不平衡度由60%降至2%。

2）功率因数。治理后无功功率稳定至1，功率因数得到提升。

表2　五马村250 kV·A一号变压器8月18日配变终端数据

日期	视在功率/kV·A	瞬时有功/kW	无功/kvar	A相电流/A	B相电流/A	C相电流/A	总功率因数
2015－08－18 00:00:00	34.64	34.63	1	49	51	49	1
2015－08－18 00:15:00	34.09	34.08	1	48	50	48	1
2015－08－18 00:30:00	34.73	34.72	1	49	50	49	1
2015－08－18 00:45:00	31.84	31.82	1	44	45	44	1
2015－08－18 01:00:00	36.89	36.88	1	52	53	52	1
2015－08－18 01:15:00	36.33	36.32	1	51	52	51	1
2015－08－18 01:30:00	34.16	34.15	1	48	50	48	1
2015－08－18 01:45:00	27.31	27.29	1	38	40	38	1
2015－08－18 02:00:00	31.36	31.34	1	44	45	44	1
2015－08－18 02:15:00	27.4	27.38	1	38	40	38	1
2015－08－18 02:30:00	28.17	28.15	1	39	41	39	1
2015－08－18 02:45:00	34.27	34.26	1	48	49	48	1
2015－08－18 03:00:00	29.34	29.32	1	41	42	41	1
2015－08－18 03:15:00	28.19	28.17	1	39	40	39	1
2015－08－18 03:30:00	27.74	27.72	1	38	39	38	1
2015－08－18 03:45:00	31.36	31.34	1	43	45	44	1
2015－08－18 04:00:00	31.83	31.81	1	44	45	44	1

通过项目研究与成果应用，提高了台区低压配电网的电能质量，大大降低配电变压器出线电流不平衡度；降低了配电网因三相负荷不平衡产生的负序和零序电流而造成的故障与事故，提高了配电系统的安全可靠性，延长了配电变压器、继电保护装置和电力设备的使用寿命。

优质的电能质量是电力系统安全、稳定和经济运行的必要条件，是电网运行水平高低的重要标志，同时也是电力企业用电管理水平考核的重要指标，是提高国民经济总体效益用电效率（节能降损）和改善电气环境，以及工业生产可持续发展的技术保证。是面向电力市场适应竞争机制强有力的手段。通过建立和健全电能质量的全面管理保障各行各业的正常用电秩序，为千家万户提供信得过的产品。

目前国内系统公变负载三相不平衡面临的现状普遍处于未解决或者亟待解决状态。各方都在寻求一种新型智能的不平衡治理装置优化供配电系统，而IGBT型三相不平衡电流治理装置正适应了该需求。EA

（收稿日期：2015.12.17）

（编辑：刘群点）

更　正

《电气时代》2015年第5期中，《小型中央空调的应用设计与实现》一文作者更正为：青岛港湾职业技术学院　王浩　盛明光。

《电气时代》杂志社
2016.02.03