

A Countermeasure Application Analysis of the Three-Phase Load Imbalance of the Power Distribution Network

Tao Yang¹, Jianliang Zhang², Congzhi Ma¹, Tao Qin¹, Yunfei Ma¹, Bingran Shao¹, Suna Bai¹

¹State Grid Tianjin Economic Research Institute, Tianjin

²State Grid Tianjin Electric Power Co., Ltd. Jixian Power Supply Company, Tianjin

Email: 13902101068@163.com

Received: Mar. 11th, 2017; accepted: Mar. 28th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

To further promote the three-phase load unbalanced governance. Based on the existing three-phase unbalanced load control scheme, this thesis is aimed at giving an application analysis so that the three-phase load unbalanced governance could be further advanced. From the economic point of view, by giving a comprehensive economic analysis of the three-phase unbalanced load control scheme based on the commutation method, this thesis attempts to find the optimal solution. A mathematical model is established for the optimal input output ratio of the control scheme by acquiring and analyzing user's power consumption data, and developing characteristic group range, and analyzing adjustment action in terms of power consumption in the area. The economically optimal solution to the application of three-phase unbalanced load governance equipment is also to be determined through an analysis of the characteristics of power consumption of the group and the equipment condition itself.

Keywords

Power Supply Quality, Unbalance of Three-Phase Source Voltage, Governance Scheme, Application

配电网三相负荷不平衡治理方案应用分析

杨涛¹, 张建良², 马聪智¹, 秦涛¹, 马云飞¹, 邵冰然¹, 白苏娜¹

¹国网天津经研院, 天津

²国网天津蓟县公司, 天津

文章引用: 杨涛, 马聪智, 秦涛, 马云飞, 邵冰然, 白苏娜. 配电网三相负荷不平衡治理方案应用分析[J]. 输配电工程与技术, 2017, 6(1): 1-7. <https://doi.org/10.12677/tdet.2017.61001>

Email: 13902101068@163.com

收稿日期: 2017年3月11日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

摘要

为进一步推进三相负荷不平衡治理,在现有的三相负荷不平衡在线治理方案基础上,作进一步应用分析。从经济角度,对基于控制换相法的三相负荷不平衡治理方案作经济效益综合分析,找出最优解决方案。通过获取并分析用户能耗数据,拟定特征群体范围,针对范围内群体用电情况进行调节动作分析,建立了以治理方案投入产出比最优为目的的数学模型,并结合特征群体用电特点及设备自身情况,确定三相负荷不平衡治理设备应用的经济最优方案。

关键词

供电质量, 三相不平衡, 治理方案, 应用

Copyright © 2017 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

配电网三相负荷不平衡是指配电网系统中三相电流不对称,且三相幅值差超过 15%的情况。我国配电网单相电用户众多,受不同产业、发展、工业化程度的影响,各个地域用户特性不同,用电居民时空分布不均匀,用电随机性大,用电同时率较低,以及单相大功率负载接入等原因,导致配变台区存在着不同程度的三相负荷不平衡,给电网供电可靠性、供电设备寿命及安全造成较大危害。

三相四线制电力系统中,三相负荷不平衡对配电网产生的危害主要存在以下几个方面:1) 会增加线路及配电变压器的电能损耗。2) 影响配电变压器输出容量,使配电变压器出力降低。3) 因三相负荷不平衡而导致三相电压不平衡,使电动机运行效率降低。4) 配电变压器内部产生零序电流,加快绕组绝缘老化,降低设备整体寿命。5) 影响供电质量,部分用户电压偏低电器无法正常使用,部分用户又存在因电压偏高烧毁电器的危险。6) 配电变压器重、过载运行能力降低,重、过载运行时容易导致变压器烧毁。

为了解决三相负荷不平衡问题,改善供电质量,各个研究学者提出了很多治理方案:1) 通过负荷测试和管理优化[1],针对实际情况具体分析,必要时进行台区调整;2) 增加相间无功补偿,减少不平衡带来的损耗和电压偏差[2];3) 通过引入负载进行负荷补偿,不同装置的技术差异性在于控制策略与补偿网络的不同[3] [4] [5] [6];4) 控制换相法,包括人工控制和在线控制[7]。其中前两类方案只能起到一定程度的缓解作用,不能从根本上解决负荷不平衡问题,第三类方案由于成本较高,且目标主要针对大负荷,不建议大范围推广应用,最后一类方法可有效、快速解决不平衡问题,防止各种损失发生。但目前该治理方案只处于小范围试点应用,并未直接进行大面积推广,其中最关键原因在于该治理方案工程量大,投入产出比不定,应用推广经济性是否明显还未可知。

本文通过采集某配变台区电力载波数据,绘制并分析居民用电负荷特性曲线,以此配变台区居民用电数据为例,全面分析控制换相治理方案投入产出情况,通过综合计算得出经济效益最优方案,并在此

基础上建立三相不平衡治理效益预估模型，以便在工程实施前对投产情况进行评估，以经济最优为目标给出合理化建议。

2. 用电负荷分析

2.1. 用电日负荷数据获取

采用控制换相方案对三相负荷不平衡度进行治理，首先要充分了解治理对象的用电负荷不平衡情况，同时考虑季节、时间、历史事故情况等综合因素。我们选取了某典型居民用电台区，在其用电不平衡高发期间，利用电力载波表连续 7 天测每个用户的不同时间段的用电负荷，并分别计算各用户不同时间段的平均日负荷，统计数据并绘制成折线图，如图 1 所示。

2.2. 台区供电不平衡度分析

台区建设规划中，三相线路上的用户数量基本一致，且是随机的，按照本台区 128 户均匀分配，三相分别接入用户 43 户、43 户、42 户，分配方法一共有 I 种， $I = C(128, 43) * C(85, 43) * C(42, 42)$ ，数量是非常庞大的。鉴于此，我们根据用户的用电负荷总量进行排序，以用户周用电负荷总量为指标进行分析，分析并选取了不平衡度最大和最小的几种组合情况，对其不平衡度情况进行模拟分析，并绘制出三相不平衡日浮动比较图，如图 2 所示。

如果台区建设规划中，按照用户数量平均分配进行随机配置，则供电过程产生的三相不平衡现象相较于依照台区用户用电数据进行分析并合理规划后的三相不平衡要严重的多。若不深度考虑用户用电的随机性，两种极端情况下的三相不平衡度平均值相差超过 10 倍。当然，实际台区分配恰好对应不平衡度最大的情况的概率很小，但相较于实际测量的三相不平衡度，经用户数据分析调整后的理论三相不平衡度平均值约为实际值的 30% 左右。

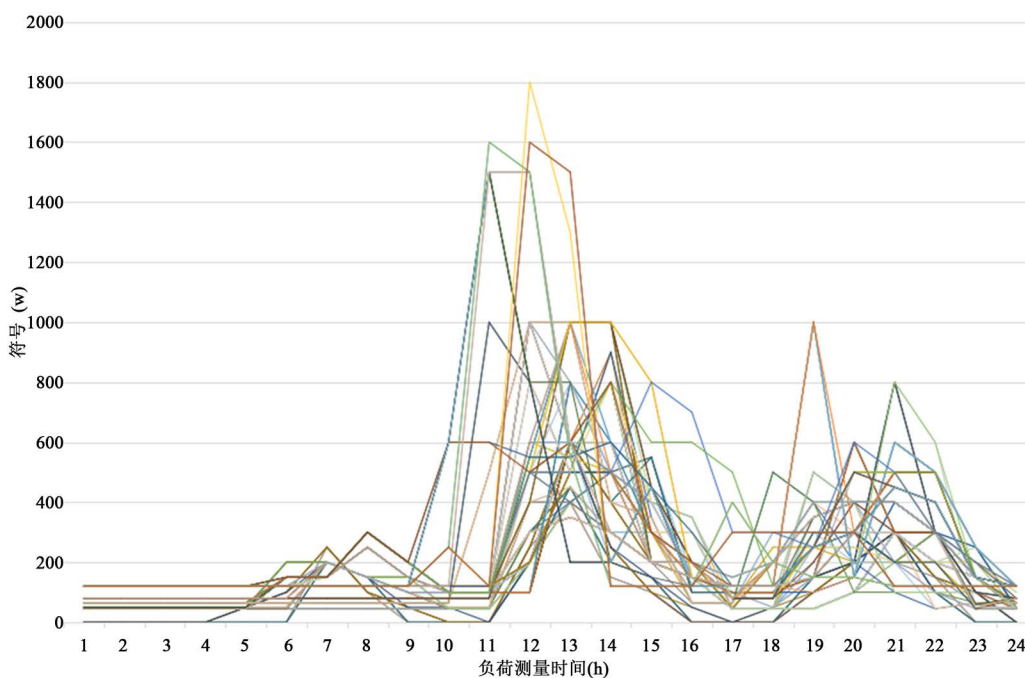


Figure 1. Distribution transformer daily loads

图 1. 台区用电日负荷曲线

三相不平衡浮动比较

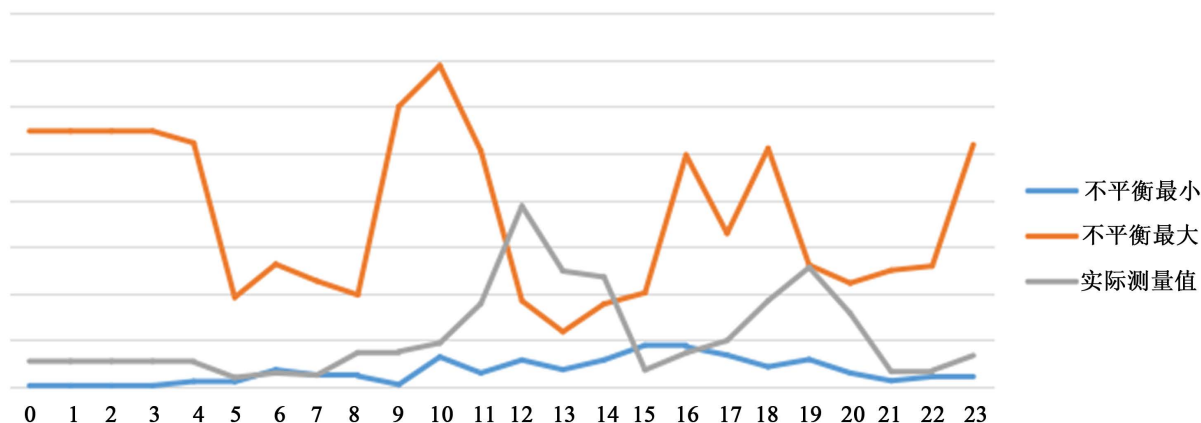


Figure 2. Daily floating comparison of three-phase imbalance

图 2. 三相不平衡日浮动比较

2.3. 三相负荷不平衡治理实施初期优化建议

由以上数据及分析明显看出，如果在台区建设初期对用户用电相别进行一次随机分配，并在一段时间后(用户用电特性达到一个稳定状态)进行用户数据分析及调整,可有效减小三相不平衡可能带来的危害。因此，在三相负荷不平衡治理方案施工前，应当对用户用电数据进行详细采集和分析，并分析给出较合理的接线方案，达到降低整体不平衡的目的，在三相负荷不平衡治理方案施工时，按照较合理的接线方案进行一次性改接线路。

3. 特征用户选取

控制换相方案需要在用户入户端进行安装,如果直接对所有用户进行设备安装,除了施工的工作量、工作成本会产生较大的浪费外,设备运行折旧、维护、关键设备寿命耗费等成本也会大量增加,这样的方案显然是不可取的,要想达到治理方案投入产出比最理想化的结果,要在设备安装上越精简越好,并且不影响三相不平衡度的控制效果。为此,我们需要针对台区用户的用户进行进一步分析,挑选出耗电较多,用电特性相对稳定的特征用户及备选特征用户,只对特征用户和少量的备选特征用户进行切相控制,以减小投入成本,并进行大量的切相模拟试验,验证三相不平衡治理效果。

我们将单个用户每天的耗电数据作为一个样本,相同用户的7个样本作纵向对比,并对其用电特性稳定度和相似性进行分析,选出用电特性稳定且用电量不小于平均值的用户(即备选特征用户,约占总用户的40%),对这些用户的日用电情况进行再次采集,并提高数据采集频率(每隔20分钟进行一次数据获取)。然后对得到的数据进行再次分析,综合用电量、用电特性稳定度等相关因素进行特征用户符合度排序,甄选出合适数量的特征用户(即适合安装切相设备的用户),特征用户数量参考用户用电总量和台区用电总量(特征用户总用电量与台区用电总量的比值应不小于30%)。

为了验证特征用户选取的效果,我们做了几组对比试验。给所有用户安装了切相装置,从台区用户中随机选取 a (a 为特征用户数)个用户,组成一组对比参量,共选取3组参量与特征用户组成的参量作对比,分别让对应的切相装置轮流工作相同的天数,在此期间进行用户用电负荷监测(用于筛选数据,对用电负荷特性发生明显变化的数据进行剔除)和不平衡度监测(作为对比试验的结果参考量),并对试验其他相关数据进行记录和保存,连续进行一段时间(约2个月),将试验数据对比绘制成曲线,如图3所示。

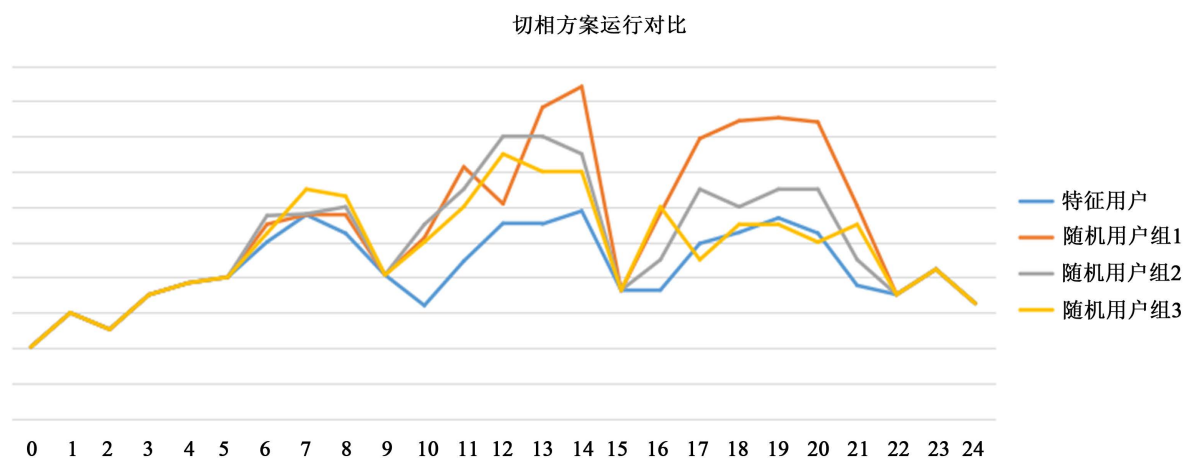


Figure 3. Phrase commutation running comparison

图 3. 切相方案运行情况对比

4. 经济最优分析

4.1. 初装成本控制

采用控制换相方案进行三相不平衡治理,首先要进行设备生产及初装(需停电),为了保障投入产出比,需要对初装成本进行合理控制。

首先应对待治理台区用户用电数据进行采集、处理及分析,判断当前台区三相不平衡严重程度,台区用户用电总量和用电特性,是否适合采用控制换相方案进行治理。一些小的台区,用户用电特性稳定,三相不平衡现象不严重,只需进行线路一次性改接即可改善当前三相不平衡情况,无需进行三相不平衡治理。对于不平衡现象严重的台区,要结合其历史事故、不平衡现象严重程度对由三相不平衡带来的经济损失进行一定的估计,为治理方案实施细节及参数提供参考依据。

其次,要确定合适的安装点和安装数量,依照上述的特征用户选取法进行甄选,还要结合台区用户实际线路情况,选择成本低、安全性高的安装地点进行设备初装。

最后在进行安装时,尽可能地按照由用户负荷分析得出的建议线路进行一次性调整,以减少后期三相不平衡度治理过程中投切相动作产生的损耗,达到整体改善的目的。

4.2. 运行损耗成本控制

控制换相方案的本质相当于通过分布式三相不平衡监测设备对其进行监理,其运行过程中的损耗和维护费用也是不容忽视的。在治理方案实施过程中要注意尽量选择环境良好的地点进行安装,在抵抗干扰方面要采取一些高效低成本措施,尤其要结合实际安装点的气候环境条件,如温度、湿度、凝重、雷雨天气等。

4.3. 关键器件成本控制

三相不平衡治理过程不仅要有效控制三相不平衡在合理范围内,还要保证在治理过程中不影响用户的电器使用,不产生瞬间停电,且对用户电器造成影响越小越好。控制切相的器件性能是极其关键的,也是运行过程中损耗较大的。目前多选用断路器、低压复合开关等,表现出较好的无损性、无冲击性、实时性等。三相不平衡度控制策略中,多以台区各回低压线路三相不平衡度最小为目的,以多目标最优分析等方法进行策略控制,并未考虑到切相控制器件的寿命及损耗问题。

以性价比较好的国产断路器为例，其理论机械寿命为 100 万次以上，电寿命为 10 万次。而实际过程中，断路器长期频繁操作，加之各种因素影响，可能导致其在未达到理论寿命时产生失效或失灵现象，造成停电事故的发生。此外，实际运行过程要充分考虑环境因素、时间因素及切换相频率等，还要考虑到换相设备运行过程中工作的均匀性，尽量“分摊”切换相工作，避免造成个别换相器过渡损耗失效(可能会造成停电事故甚至更严重的损失)。而这些因素都要包含在三相不平衡控制策略中才能得到有效改善。在运行过程中，还应对切相动作进行记录和分析，及时发现异常情况并处理。

5. 建模分析及应用

5.1. 建模依据

由于我国三相不平衡现象严重，用户分散，台区众多，每个台区用户数量、用电特性等不尽相同，我们对上述情况进行统一建模分析，通过对台区以往事故、用电数据、一段时间内的日负荷数据、用户数量等进行统一算法分析处理，给出方案实施及优化建议(第一模型)；另外针对关键器件的选择，进行单独建模，对备选器件的参数、价格、现有控制策略结合当第一模型输出结果，进行再次仿真、分析及计算，对其输入值进行优化处理。如图 4 所示。

5.2. 模型验证和适用范围分析

针对上述模型，我们选取了 5 个不同居民用户数量的配变台区，对其历史事件、数据和当前用电情况进行了统计和数据采集，依照模型输出的结果进行优化，并对控制策略进行了优化，然后将对比方案应用在相同的配变台区，对优化前后的总成本和三相不平衡治理结果进行了统计对比，如图 5 所示。

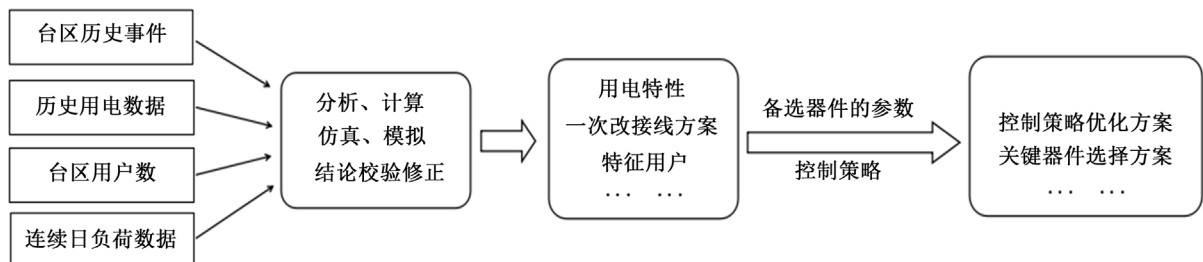


Figure 4. Modeling scheme

图 4. 建模方案

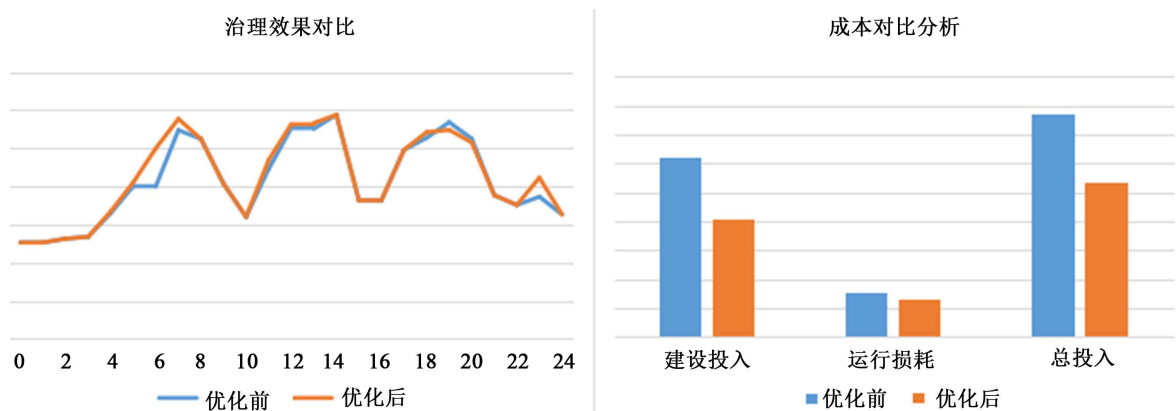


Figure 5. Optimization before-and-after

图 5. 优化前后运行效果对比

治理方案优化前后,三相不平衡治理结果基本类似,最高三相不平衡度均可控制在 10%内;方案优化后较优化前,初装投入平均减少约 35%,设备及运行损耗成本平均减少约 12%。本模型可应用于普通居民用电台区的三相不平衡治理优化,对于随机性过大、极特殊的台区(实际数量较少),本模型和分析方案作用并不明显,需要单独分析。

6. 总结与展望

对三相不平衡治理方案进行了简单的调研分析,针对应用效果较好的换相控制治理三相不平衡方案做了经济最优化分析。提出先对台区历史数据、当前负荷数据进行收集,并在此基础上确定相应台区治理方案实施的优化建议,对此,做了大量的对比试验和结果分析。提出了建模处理方案优化策略,对大多数居民用电台区,可通过少量的数据收集工作和仿真模型分析,直接得到相应的治理方案优化建议,其效果是比较理想的。

参考文献 (References)

- [1] 王晴. 三相负荷不平衡调整开关及其应用[J]. 农村电气化, 2011(8): 5.
- [2] 杨云龙, 王凤清. 配电变压器三相不平衡运行带来的附加损耗、电压偏差及补偿方法[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 73-76.
- [3] 王松, 谈成龙, 李耀华, 等. 链式星型 STATCOM 补偿不平衡负载的控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(27): 20-27.
- [4] 朱永强, 刘文华, 宋强, 等. D-STATCOM 不平衡负荷补偿电流的优化设计[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 65-70.
- [5] 朱永强, 刘文华, 邱东刚, 等. 基于单相 STATCOM 的不平衡负荷平衡化补偿的仿真研究[J]. 电网技术, 2003, 27(8): 42-45.
- [6] 王茂海, 孙元章. 通用瞬时功率理论在三相不平衡负荷补偿中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(11): 56-59.
- [7] 叶伟杰. 江西电网配电变压器单相不平衡综合治理措施研究[D]: [博士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2013.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: tdet@hanspub.org