

基于 SDN 架构的电力通信网络质量感知技术研究

谢小军¹, 潘子春¹, 夏同飞²

(1. 国网安徽省电力公司信息通信分公司, 合肥 230061; 2. 安徽继远软件有限公司, 合肥 230088)

摘要: 电力工业是国民经济的基础支柱, 其通信网络是电力生产、经营和管理的一个重要组成部分; 针对现通信网中业务流实时监测的难题, 提出引入一种基于 SDN 架构设计的新型流量感知监测技术方案, 经实际网络延迟数据与 RLI 算法、MDI 指标中的 DF 参数、VTD 指标互作对比; 为此搭建基于 NetMag 可编程网络设备的实验环境通过验证及建模对比, 均达到预期效果; 论证该项质量感知技术能为电力通信网提供可视化、实时、智能的运维平台部署, 这将使运维管理工作更加主动、有效, 有利于提高网络运行的效率与稳定性。

关键词: SDN 网络; 网络监测; 软件定义; 调试可视化

Research on Quality Awareness Technology of Power Communication Network Based on SDN Architecture

Xie Xiaojun¹, Pan Zichun¹, Xia Tongfei²

(1. State Grid Anhui Electric Power Company Information and Communication Branch, Hefei 230061, China;

2. Anhui Jiyuan Software Co., Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: The power industry is the basic pillar of the national economy, and its communication network is an important part of electric power production, operation and management. Aiming at the problem of real-time monitoring of traffic flow in the communication network, a new traffic perception monitoring scheme based on SDN architecture is proposed. The results are verified and compared. It is proved that the quality perception technology can provide visualization, real-time and intelligent operation and maintenance platform for the power communication network, which will make the operation and maintenance management more active and effective, and improve the efficiency and stability of the network operation.

Keywords: SDN network; network monitoring; software definition; debugging visualization

0 引言

SDN 网络作为新兴的网络技术, 其为国网电力通信大数据时代实现了网络流量的灵活控制。从应用实效而言, 其为现网业务流量监测技术在电力系统的发展发挥指导作用, 保证电力通信网络中各种资源的高效利用, 有利于节约研究开发生源, 明确采购、生产和使用, 其研究成果可应用于全国各个电力通信数据网络, 满足国家及各个省市对于电力下一代通信网络的需求。因此, 基于 SDN 架构的电力通信网络质量感知技术研究成为当下重要研究的课题, 其成效明显地提升电力通信网络的运维体验、故障管理水平, 对助力建设智能电网等有着十分重要的意义^[1]。

1 电力通信网络面临的问题

电力通信数据网的设计组网是独立组网, 该网络中的数据业务流的状态直接影响到生产调度、网内办公等各方面。随着公司业务的不断发展, 各种应用系统持续增加, 数据、语音、

视频等业务实现高度融合, 同时保证各种业务流量可靠稳定的转发, 呈现出几个越来越难以掌控的问题:

1) 业务流数据在网络中各个节点的传输质量难以精细掌握。当网络发生时延、抖动等故障时, 管理员通过传统技术, 难以快速、精准地诊断出产生时延和抖动的真正原因。

2) 网络运行质量无法实现可视化。依靠传统手段难以掌握网络运行实时质量及真实业务性能, 难以预测网络带宽瓶颈, 难以掌握用户行为数据。现有网管系统功能单一, 无法提供有效手段实现网络质量的可视化展现。

3) 网络故障分责定位难。多厂商设备混合组网, 出现故障时依靠传统手段难以实现网络分段定位, 缺乏一套能够跨平台、跨厂商对网络设备进行统一流量监管的平台, 故障排查时间长, 对运维人员的数量及技能要求高。

2 提出架构 SDN 网络质量感知技术

2.1 传统网络监测

所谓的网络监测是基于在一定的通信理论指导下由特定软件和硬件工具经算法监控的总和。其提供实时监控, 用户可了解相关运行数据, 一旦出现错误从而作出及时纠正, 并进行适宜的优化, 有效提升通信的运维水平。

传统的网络监测方法众多, 主要是针对网络的性能作主动

收稿日期: 2017-04-02; 修回日期: 2017-04-19。

基金项目: 安徽省电力公司科技项目(2016-00633-XTGS)。

作者简介: 谢小军(1975-), 男, 安徽泾县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力通信网的运行管理和数据通信领域的研究。

监测或被动监控,其源于度量 IST 网络指数或 PIMG 典型应用通过积极 ICMP 包发现通信延迟和数据丢失和 parameter Order 等参数。还有的采用第三方检测工具达到网络监测,例如, Iperf 软件是一个极好的试验工具,提供宽限的 TCP 与 UDP 线性间的变化侦察,抖动时延和丢包等。也可以通过特定的装置在网络关键节点以捕获分析通信数据包,以了解当前网络状态性能,索引参数。譬如 Linux 一系统下 tcpdump。其是一款功能强大的数据采集—分析—统计—录入,既可定向监视,捕获数据,甚至实现过滤包功能,可以通过删除一些符合逻辑的解释摒弃掉无用的信息^[2-5]。

2.2 架构 SDN 网络感知技术目的

然而传统网络监测技术虽多,却没有一套整合利用 SDN 架构的网控与软定义特性相辅的通信感知技术,存在一定的局限性。

基于 SDN 架构下的网络控制,能对电力通信数据网络业务进行实时、精准的、端到端的性能监控,实现网络故障的快速定位,提升运维效率已经是当下刻不容缓的趋势,急需出现一种新型的流量检测技术方案能在现网中实现以下功能:

实现架网点对点的通信性能侦测,赋予电力通信网知能化感知技术, IP Service Level Agreement 工作期整周全天候不间断,使故障精准判断、快速定位、高效运作,一改过往运维拖沓的现象,使运维成本不再居高,整网达到可视、可控的目的,较传统电力通信网更具经济和实用价值^[6]。

3 设计方案

3.1 设计原则

要实现基于 SDN 架构的电力通信网,其有别于传统意义上的 IP 网端,在部署监测系统设计时需要依照下面三点原则:

1) 运用 SDN 网络的架构优势,践行可软定义的特性以及其调、控分离的特点;

2) 精细化运作 SDN 的监测与测量,从而捕获的反馈数据能充分反应当前网络质量,又能运算处理展现网络感知技术;

3) 遵循交换机的运作方式,使其最大发挥监测效果,使控制器独立运作,避免两者冲突而降低电力通信网的质量感知效果。

3.2 总体架构配置

新型流量监测解决方案基于 SDN 架构设计,包括流量检测仪、集中化的控制器、软件平台组成,将其引入到电力通信网后,可明显地提高网络质量感知水平,实时地掌握流量在网络中转发情况,并可基于真实业务提供端到端的监测。

为了实现研究目的,首先需建立一套实验环境,实验环境分为 4 个环节,即一张小规模 IP 网络(模拟电力综合数据网),流量检测仪、控制器、管理器,部署示意图见图 1。

注释:

1) IP 网络:与电力综合数据网类似,组建 IP 网络设备主要路由器和交换机构成,尽可能利用冗余设备,减少投资,避免重复采购。

2) 流量检测仪(Meter):完成 OAM 功能,支持 TWAMP(双向主动测量协议)、RFC2544、IPFPM(IP 网络性能检测);对业务进行统计,针对省内电力综合数据网办公

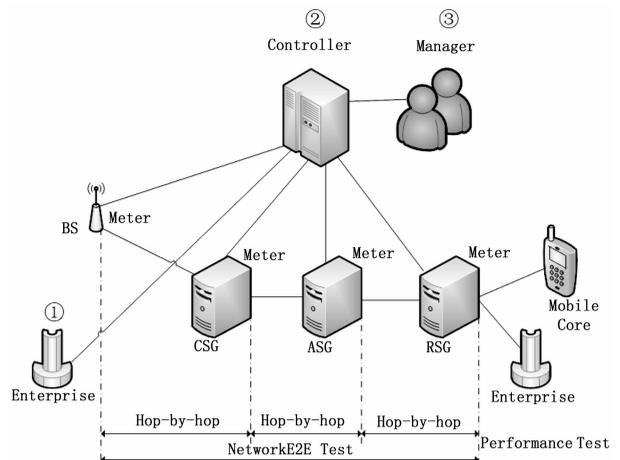


图 1 总体架构部署

OA 数据流、语音数据流、视频数据流进行统计;业务识别,染色,发包^[7]。

3) 控制器(Controller):完成新型流量检测仪的自动发现与代理管理功能,监测结果统计上报。

4) 管理器(Manager):由管理和可视化两部分组成,完成新型流量检测仪的配置、日志(也可能是专门的日志服务器)、告警、性能监控等功能的管理工作;收集告警,保存日志;实时输出流量性能报表。

3.2.1 工作方式

新型流量检测方案按照部署与工作方式的的不同分为随路方案(In-line)和旁路方案(Bypass)。

3.2.1.1 随路方案

部署在业务路径上的某个接口上,基于真实的业务流量进行性能统计,具有高精度和实时性的特点。同时也提供发送仿真测试流进行按需的性能统计。

3.2.1.2 旁路方案

部署在非业务路径的某个接口上,发送仿真测试流进行按需的性能统计,具有快速部署和不中断业务的特点。

3.2.2 新型流量检测方案的优势

3.2.2.1 高精度

IP FPM 利用报文染色技术进行性能统计,新型流量检测仪通过三元组(S-IP, D-IP, DSCP)识别指定的业务流,对于 IP 报文头字段以 0 或 1 着色信息的基础上,使业报实现高精度(10^{-6})性能统计数据丢失,包括延迟和抖动等^[8]。

3.2.2.2 灵活部署

新流量仪器可以判别于 IP 报文全部流量,含括 Native Eth、Native IP、L2VPN、L3VPN 等,对所有业务 OAM 技术的一致管控^[9]。

3.2.2.3 轻松运维

所有 IP FPM 的操作全部由独立的可视化部分完成,实现了自动部署、实时统计和智能报表等实用的功能,解放了网络的管理人员、降低了运营成本。

3.3 核心组件测量

核心组件即(新型流量仪表)基于不同的任务对交换机作性能检测,一个测量任务是在消息经发源端交换机后,由其来

完成本次测量任务。而测量组件安置在 SDN 网络业务应用层, 在 SDW 基础上以标准 API 开发的。本架构如图 2 所示。

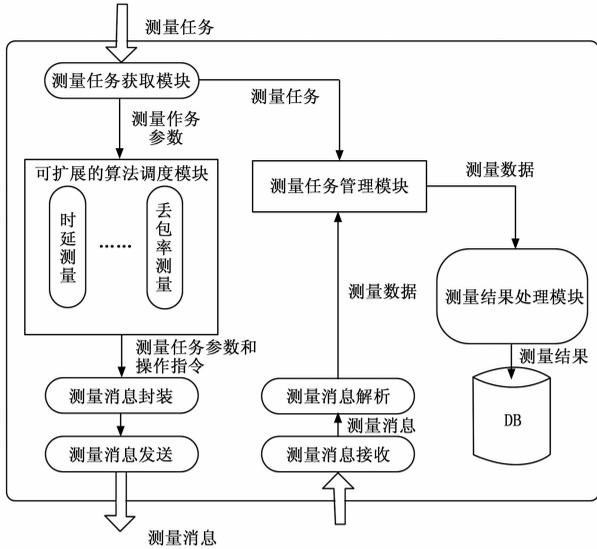


图 2 新型流量检测仪总体架构图

3.3.1 测量组件的各个模块功能

3.3.1.1 测量任务获取模块

执行最新任务的采集指令, 其内容包括: 任务 ID, 测量的类型、源和目的的开关交换机 ID 及选路标识这 5 组信息。

3.3.1.2 可扩展算法的调度模块

其主要功能是根据上一层获取到的参数, 选用相应的算法来构造测量数据包。在这个模块中, 可能需要添加各种各样的测量运算的方法, 测量算法不同的测量要求的包是不一样的, 打个比方来说, 测量包的内容、大小、发送的数量, 发送的时间间隔, 这些参数需要根据特定的测量算法和测量时长而定。虽然采取的运算方法不尽相同, 但我们仍然可以预料到其基本操作, 如添加时间戳、充填数据域, 定义了基本操作, 这种构造形式的扩展有利, 完成一个测量包结构。

3.3.1.3 消息封装和解析模块

主要是对封装和解析 OpenFlow 的消息传输作封装和解析的, 实验制定对 OpenFlow 网络消息扩展, 后面再作详细分析。

3.3.1.4 测量发送消息和接收模块

其采用了符合要求的 SDN API 方式, 收、发消息。检测组件可以定义的测量事件并注册到控制器来完成下发检测消息的目的, 还可以经控制器上传通过检到的报文。

3.3.1.5 测量任务管理模块

其表现为链表数据式的结构, 其作用是便于存储测量任务或数据。当每发出一个新构造测量消息任务指令时, 将存储在链表当中, 已经通过的测量数据与测量结果最终传递到处理模块, 并从列表中删除该任务。

3.3.1.6 测量结果计算处理模块

其主要是适用于测量任务已经达成, 根据不同类型的测量方式, 该模块最大的的作用是调用测量相应的算法来处理测量数据, 计算的测算结果, 并存储结果。

的消息, 这是 OpenFlow 标准协议提供下给开发人员根据实验要求的一类数据。此类消息结构如图 3 所示^[10-13];

```

/* Experimenter extension */
Struct ofp_experimenter_header {
Struct ofp_header header; /* TypeOFPT_EXPERIMENTER. */
UInt32_t experimenter; /* Experimenter ID;
    * - MSB 0: low-order bytes are IEEE OUI.
    * - MSB != 0: defined by ONF */
UInt32_t exp_type; /* Experimenter defined */
/* Experimenter-defined arbitrary additional data. */};
    
```

图 3 实验消息结构

注: struct ofp_header header 作为 OpenFlow 协议消息常规模式, 代表消息源的版本代号和类型、长度等数据。

uint32_t experimenter: 代表的意思是实验消息 ID 标识^[14]。

uint32_t exp_type: 代表在实验消息的具体类型, 以便开发者在其 ID 标识下配置成各种消息型。

3.3.2 SDN 网络监测子系统的验证

针对该子系统验证, 工作人员选择了测量模块和交换机下扩大开放流量开关的模块作测试, 验证对这些模块的配置适宜性, 得到的单元测试网络拓扑图见图 4。

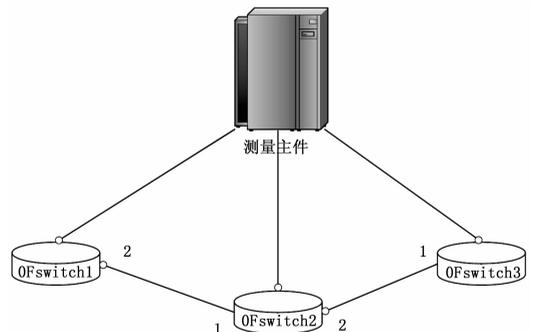


图 4 单元测试网络拓扑图

在测量组件方面, 可适时将算法延伸到调度测试模块, 从而能达到应对不同测量对象, 选取对应于适用于消息体的测量算法。

3.3.2.1 测试方法的步骤

首先作测量标准任务的参数输入, 相关的参数说明见下表 1, 其次该可延伸算法是经调度模块, 可以在工作过程中输出正确的消息。

表 1 测量任务参数说明

参数	参数说明
mission_id	1
measure_type	1
switch_nodes_num	3
datapath_src_id	1
datapath_dst_id	3
Switch_info	(1,2,0)(2,2,1)(3,0,1)

实验消息 (Experimenter) 可以被解释为一个阶段性实验

测试结果表明：可扩展算法调度模块解决了任务参数差异性需求，并达至转化成新的测量消息体目的。

3.3.2.2 测量消息结构体分析

下面得到可延伸的算法调度模块的分析，其在实验状态下输出的信息见图 5。

```
##### measure_algorithm_choose #####
measure_type:1--往返时延测量
测量消息结构体:
mission_id:1  measure_type:1  mission_ttl:600s
group_num:3  packet_num:3
action_set:3  switch_num:3
datapath_src_id:1  datapath_dst_id:3
选路信息:
datacath_id:1  forward_port:2  backward_port:0
datacath_id:2  forward_port:2  backward_port:1
datacath_id:3  forward_port:0  backward_port:1
```

图 5 可扩展的算法调度模块构造量消息体

如图 5 所示，可扩展的算法调度模块选择用于构造消息体的往返延迟测量算法。在该任务在在 600 s 的有效时长下，对 ofswitch1 到 ofswitch3 所需的往返延迟，发出三组内含 3 个测量包的数据，途经通过 ofswitch2 转发，从而达到本次的测量要求。见上图选路信息显示，测得的路径上转发分组交换测量端口，代码 0 端口属无效其代表无需测量报文转发，总体结果已达预期。

4 建模实验与结果分析

基于电力通信监控方案首次采用 SDN 架构的设计，其对消息的时间戳的变化监测指标提出 VTD（视频时间戳抖动），源于指数从发报点起根据变化及时接收消息，从时间的变化可以直接反映通信传输延迟所产生的数据包内，其时延是造成网络抖动的主要原因。由此可知 VTD 索引可以实时、准确地反映网络的传输时延抖动的消息。本课题重点将考虑如何架构硬件方面的支撑，最终使数据包的时延测量精度可到达微秒、纳秒级别。下面拟定实验环境如图 6 所示，时延抖动的消息经 Net Magic 捕捉网中截获得到的装置 P4 和 P5 端口的报文摘要信息流，并将其存储在文件数据源。

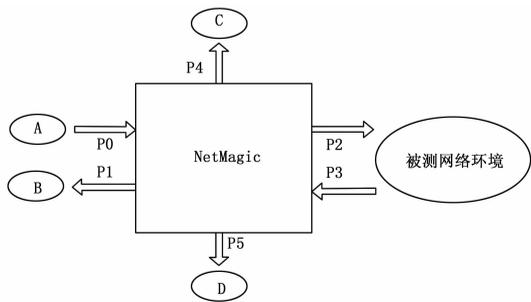


图 6 建模实验环境图

经将实际网络延迟数据与 RLI 算法、MDI 指标中的 DF 参数、VTD 指标互作对比。为此搭建基于 NetMag 可编程网络设备的实验环境，Net Magic 捕捉得到真正的延迟值与 VTD 指数值比较：真实值存在比较简单，其等于消息的接收端发送的时间戳之差，显然发送端和接收端的时间不同步。

首先假设报文发送端每发送一个报文的间隔时间为 t_{s1} 、

t_{s2} 、 t_{s3} …… t_{sn} ，接收端每接收一个报文的间隔时间为 r_{s1} 、 r_{s2} 、 r_{s3} …… r_{sn} 。接收当前包等待的时间 RS 值 (r_{s2}) 比当前包的 TS 值 (t_{s2}) 大时，说明网络延时变大了，数据反馈比预期来得迟。以此类推，得到新数据集，即 VTD 模式：

$$VTD_1 = X$$

$$VTD_2 = X + (r_{s1} - t_{s1})$$

$$VTD_3 = X + (r_{s1} - t_{s1}) + (r_{s2} - t_{s2})$$

……

$$VTD_{n+1} = X + (r_{s1} - t_{s1}) + (r_{s2} - t_{s2}) + \dots + (r_{sn} - t_{sn})$$

$$VTD_1 = X_1$$

VTD 指标计算公式中，引入了时间这个直接反映报文延迟变化的变量来计算 VTD，没有取一个测试周期、也没有引入其它定值作为计算参数，所以更能够准确、及时地反映网络抖动的情况。VTD 参数是一个大于 0 的数值，其值越大，测试计算结果如图 7 所示。

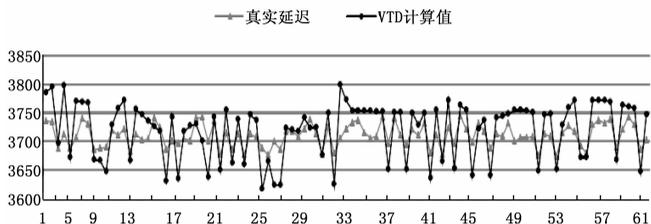


图 7 真实延迟与 VTD 计算值仿真对比

通过对图 7 中的真实延迟与 VTD 计算值的仿真对比，可看到 VTD 值变化和理论计算下延迟值变化曲线的基本一致。个别报文存在 100 μ s 的误差范围内，部分延迟或将更小，不到 50 μ s。所以本次 VTD 参数监测结果是准确的，其时延测量精度在允许条件达到微秒，甚至纳秒级别。

在测试程序的主界面的状态栏中实时显示当前的接收速率，系统的测试中接收速率在 2 800~3 300 B/s 之间，接收的数据不丢失，达到了系统预期要求。

总之基于 SDN 架构的电力通信网络质量感知技术，要求一方面接收组报文监测已达一定精度，另一方面以太网报文命令汇同核心组件即（新型流量仪表）响应消息展现出其正确性。根据交换协议文本的协议过程，检查响应消息对应的消息处理程序的正确性，对照控制和监测主 CPU，找出错误或错误类型，将更加有效地进行通信网络的质量感知技术的研发这也是我们后期工作重点。

5 结语

本课题紧跟智能电网信息化发展脚步，课题完成后具有多重效益。其直接效益分析如下：

- 1) 有利于网路传输质量监测。通过本课题研究，引入新型流量检测技术可以精确定位网络中的时延和抖动，提供了一套有效的网络传输质量监测工具。
- 2) 有利于网络运行质量可视化。通过本课题研究，引入一套网络流量可视化展现工具，可以掌握网络运行实时质量及真实业务性能，同时可预测网络带宽瓶颈，掌握用户行为数据。
- 3) 有利于网络故障分责定位。通过本课题研究，采用集

中化的网管系统和流量分析软件, 对现网多厂商设备进行统一管理, 可实现故障设备和线路的快速定位, 解决了网络故障分责定位难的问题。

参考文献:

- [1] 谢希仁. 计算机网络 [M]. 第五版. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [2] 杨淑英. 电能质量监测装置研究 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 16 (2): 24-50.
- [3] Paul S, Pan J, Jain R. Architectures for the future networks and the next generation Internet: A survey [J]. Computer Communications, 2012, 34 (1): 2-42.
- [4] Aowshanrad S, Namvarasl S, Abdi V, et al. A survey on SDN, the future of networking [J]. Journal of Advanced Computer Science & Technology, 2014, 3 (2): 232-248.
- [5] Masse M. REST API design ruFebook [M]. New York: O'Reilly Media, 2011.
- [6] 吴许俊, 王永利. 基于 POX 的软件定义网络的研究与实践 [J]. 计算机测量与控制, 2013 (12): 3414-3417.
- [7] 黎进都, 时向泉. 基于 Openflow 的 Floodlight 控制器实现研究 [J]. 中国电子商情: 通信市场, 2014 (1): 70-75.
- [8] Medved J, Tkacik A, Varga R, et al. OpenDaylight: Towards a Model-Driven SDN Controller architecture [A]. A World of

- Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2014 IEEE 15th International Symposium on [C]. IEEE, 2014: 1-6.
- [9] Erickson D. The beacon openflow controller [A]. Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking [C]. ACM, 2013: 13-18.
- [10] 李艳, 郝志安, 李宁, 等. 基于 mininet 的 SDN 架构仿真研究 [J]. 计算机与网络, 2016, (5): 57-59.
- [11] 梁满贵, 赵阿群, 张金鑫, 等. 一种向量网络地址编码方法 [P]. 中国发明专利 200810112003.9, 2012.07.11.
- [12] 韦卫嫦, 梁满贵. 向量网控制面体系架构研究 [EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201005-58>.
- [13] 李雁飞, 梁满贵. 向量网的层次多径 QoS 路由方法 [EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线. 2016-03-753.
- [14] 张铖, 曹振, 邓辉. SDN 控制器系统部署方案分析和设计初探 [A]. 2013 年中国通信学会信息通信网络技术委员会年会论文集 [C]. 2013: 68-72.
- [15] 王鑫, 高能, 马存庆, 等. 分布式 SDN 控制器的规则冲突解决方案 [A]. 第 29 次全国计算机安全学术交流会论文集 [C]. 2015: 6-11.
- [16] 左青云, 陈鸣, 赵广松. 基于 Open Flow 的 SDN 技术研究 [J]. Journal of software, 2013, 24 (5): 1078-1097.

(上接第 180 页)

在本装置运行后, 系统无功功率进一步地降低, 其均值为 0.45 kvar, 但波形中出现了较多的毛刺。

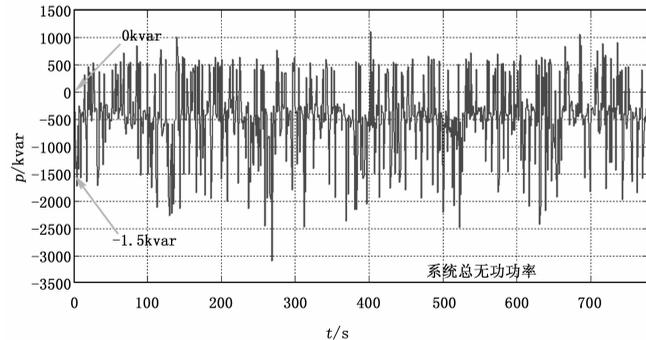


图 17 装置运行后系统无功功率

由现场实验结果可知, 在本装置运行后, 系统无功功率得到了较高的补偿, 补偿后功率因数均在 0.9 以上, 满足项目的要求。但同时也可观察到在装置运行后系统无功功率并不是完全的零, 且存在较多的毛刺。

4 结论

目前在油田现场经常发生爆电容现象。从而使无功补偿装置失去作用, 低压配电网功率因数下降, 造成了无功损耗增加。因此, 针对油田现有无功补偿装置进行故障分析, 并研究出相应的对策。基于 SOGI-FLL 算法的准确锁相, 实时监测、计算无功补偿容量。该算法为实时算法, 保证了无功功率的实时计算, 实现对负载电流中主要次谐波的信号提取, 以此作为静止无功发生器的控制信号进行谐波抑制, 以此为电容器

的稳定运行提供保障。针对抽油机无功功率的波动性, 提出采用晶闸管投切电容器的方式补偿非波动无功功率的绝大部分, 剩余的无功功率由静止无功发生器进行补偿。此方案不仅可以实现无功功率的动态补偿, 同时也有效地降低了装置成本。考虑到现场抽油机负载情况的不同, 增加并联电容器的投切能力, 针对不同大小的静态无功功率可自行调节。目前装置仅对系统的主要次谐波电流进行了抑制, 因此需进一步提高装置的谐波抑制能力, 从而进一步提高配电网的电能质量。

参考文献:

- [1] 韩宇泽. 基于云计算的油田配电网无功优化控制系统研究 [J]. 电气工程, 2014, 43 (8): 93-106.
- [2] 陈惠粉, 乔颖, 闵勇, 等. 风电场动静态无功补偿协调控制策略 [J]. 电网技术, 2013, 7 (1), 248-254.
- [3] 王旭冉, 郭庆来, 孙宏斌, 等. 考虑快速动态无功补偿的二级电压控制 [J]. 电力系统自动化, 2015, 9 (2): 53-60.
- [4] 曹东朝. 谐波电流对电容器无功补偿的影响分析及防范对策 [J]. 科学时代, 2013, 2, 189-226.
- [5] 刘忠丽, 三相锁相环设计及光伏并网逆变器控制研究 [D]: 西南交通大学, 2013.
- [6] 郭晓瑞, 郭吉丰, 龙英文. 三相全数字频率自适应闭环锁相技术 [J]. 电力自动化设备, 2013, 2, 81-96.
- [7] 王照峰, 王仕成, 苏德伦. 锁相环电路的基本概念及应用研究 [J]. 电气应用, 2015, 8, 119-121.
- [8] 李伟锋, 王哲. 基于双派克变换的单相数字锁相环设计 [J]. 中原工学院学报, 2015, 1, 26-30.
- [9] 肖岚. 三相并网逆变器滤波及锁相技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.