

基于 EPDT 的分布式光伏群调群控终端实现方案研究

杨鹏¹, 郝波¹, 魏飒²

(1. 国网河北省电力有限公司电力科学研究院 石家庄 050021;

2. 河北远东通信系统工程有限公司 石家庄 050200)

摘要: 分布式光伏系统作为小型光伏发电供电系统, 与电源逆变器、配电网及控制系统共同组成分布式光伏并网接入系统。但是, 伴随分布式新能源以及用户侧负荷的大规模接入, 新型电力系统对于通信性能有了更为严苛的要求。对于现代化新型电力系统的发展而言, 传统光纤通信方式已难以契合其需求, 并且无线公网在满足电力行业全覆盖目标与毫秒级时延要求上也存在着较大的困难, 此外, 电源逆变器出力存在强随机性和间歇性, 大规模无序并网会引起问题。因此, 开展高效且稳定的专网系统研究, 开展分布式光伏群调群控策略研究, 设计并实现一款相应的 EPDT 终端, 对分布式光伏并网接入系统稳定高效运行具有重大意义。

关键词: 分布式光伏; EPDT 终端; 新型电力系统; 群调群控

中图分类号: XXX 文献标志码: XXX 文章编号: XXXX

Research on the Implementation Scheme of Industrial Internet Concerns Based on EPDT

YANG Peng¹, XI Bo¹, WEI Sa²

(1.State Grid Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050021, China;

2.Hebei Far-East Communication System Engineering Co., Ltd, Shijiazhuang 050200, China)

Abstract: Distributed photovoltaic systems, serving as small-scale photovoltaic power supply systems, along with power inverters, distribution networks, and control systems, collectively constitute distributed photovoltaic grid-connected access systems. However, with the large-scale access of distributed new energy and user-side load, the new-type power system has more stringent requirements for communication performance. For the development of modern new-type power systems, the traditional optical fiber communication method can no longer meet their needs, and the wireless public network also has great difficulties in meeting the power industry's goals of full coverage and millisecond-level delay requirements. Additionally, power inverters exhibit strong randomness and intermittency in their output, and large-scale unordered grid connection can lead to issues. Therefore, conducting research on efficient and stable private network systems, developing strategies for the coordinated control of distributed photovoltaic clusters, and designing and implementing a corresponding EPDT terminal are of great significance for the stable and efficient operation of distributed photovoltaic grid-connected access systems.

Key words: Distributed Photovoltaic; EPDT terminal; New-type Power System; Coordinated Control

0 引言

2020年9月, 出于推动达成可持续发展的内在需求, 以及践行构建人类命运共同体的责任担当, 习近平主席于第七十五届联合国大会上, 提出了我国碳达峰、碳中和的目标^[1]。在“双碳”战略目标的推进进程里, 电力乃是能源转型的核心环节、碳减排的关键领域^[2]。2021年3月, 国家主席习近平在中央财经委员会第九次会议上, 就“双碳”目标, 对电力行业下达了全新任务要求, 强调需构建起清洁低碳、安全高效的能源体系, 落实可再生能源替代行动, 搭建以新能源为主体的新型电力系统^[3]。

在新型电力系统稳步前行的大背景下，积极拓展风能、太阳能等新能源电力领域，推动高比例可再生能源顺利并入电网并实现有效消纳，已然成为我国构建新型电力系统的紧迫任务^[4]。太阳能作为一种极具潜力的可再生能源，光伏发电是其开发与利用的主要方式。光伏发电具备诸多显著优势，运行过程中无噪声干扰，不会对环境造成污染，能量获取便捷，不受地域条件的严格限制，无需消耗传统燃料，建设周期相对较短，能够实现就地使用，而且储能较为容易。这些突出优点是传统常规发电以及其他发电模式难以企及的。鉴于此，国家对光伏发电产业的发展给予了强有力的支持^[5]。

分布式光伏系统属于小型光伏发电供电系统，一般配置在用户现场或靠近用电现场。它与电源逆变器、配电网、控制系统一起，共同构建了分布式光伏并网接入系统。其中，电源逆变器的作用不容小觑，它能把光伏电源输出的直流电，转变为和配电网电压频率一致的交流电，进而实现与配电网的连接。配电网作为电力系统的末端网络，承担着将电能送至用户端的重要任务。而控制系统则像是整个系统的“大脑”，负责对系统进行全方位的监控、调节与控制，以此保障系统稳定运行^[6]。

在现代能源体系的构建中，分布式光伏并网接入系统占据着愈发重要的地位。不过，伴随分布式新能源与用户侧负荷以大规模、分散式的形式不断接入，新型电力系统的通信性能面临着更为严峻的挑战^[7]。具体而言，通信网在覆盖范围、运行可靠性、接入灵活性以及网络性能指标等方面，都被赋予了更高、更严格的要求^[8]。所以，在分布式光伏并网接入系统里，怎样达成高效且稳定的无线通信技术，已然成为了一个亟待解决的关键问题^[9-11]。

在当前阶段，电力主体通信网大多采用光纤形式。不过，受经济性、安全性以及灵活性等多方面因素的限制，传统光纤通信方式已难以契合现代化新型电力系统的发展需求^[12-14]。就无线通信技术而言，尽管无线公网能在一定程度上对配用电节点业务起到补充覆盖的作用，然而距离电力行业所要求的全覆盖目标还有差距。而且，当无线公网添加安全装置后，会出现时延过大的问题，无法满足毫秒级的时延要求。此外，依据国家和电网的相关安全规定，在新型电力系统里，涉控业务必须严格采用专网进行承载。

电力数据传输（EPDT，Electrical-power Professional Data Transmission）旨在满足电力业务接入需求，提升电力系统终端通信接入网的接入能力^[15]。EPDT 技术优势显著，有着结构简约的特点，在带宽方面表现出色，拥有较大的带宽资源，其覆盖范围也极为广泛，还能够对多种业务予以支持，特别适用于那些对精准控制、安全性有较高要求的应用场景^[16]。230MHz 频段作为工业和信息化部为电力行业划定的专用频段，展现出了独特的优势。它的频谱适应性颇强，覆盖范围广阔，绕射能力突出，并且在扩展方面具备较高的灵活性，易于拓展，能够很好地满足电力通信网络中分散节点的接入需要，在组网时还能在很大程度上使成本得以降低^[17]。

EPDT 专网系统主要包括 EPDT 终端、EPDT 基站和 EPDT 云平台。EPDT 云平台内部主要包括服务管理中心（SMC，Service Management Center）与网络管理中心（NMC，Network Management Center）两部分。在 EPDT 业务系统中，SMC 占据着核心控制的关键地位。它以全 IP 网络架构为基础，运用了先进的软交换技术与软件无线电技术，能够为系统提供数据传输、信令处理以及用户管理等一系列重要功能。而 NMC 作为 EPDT 业务系统的核心分析部分，主要承担着业务统计、信息监测和告警管理等职责。EPDT 基站是实现无线覆盖的关键所在，借助它，终端能够通过空中接口顺利进行数据传输。在系统连接方面，SMC 和基站采用的是 IP 传输网络，一个或多个基站与 SMC 相互连接，共同构成了集群系统。

EPDT 专网系统在电力领域优势明显，它可显著提升电力系统的智能化程度，让电力系统的稳定性、可靠性以及运行效率都得以增强。同时，该系统能契合电网涉控业务在网络安全方面的要求，为新型电力系统的安全运行筑牢保障，对推动“双碳”战略目标的实现也大有助益，堪称满足分布式光伏并网接入系统需求的上佳之选^[18]。另一方面，电源逆变器有着自身独特的特性，其出力具有很强的随机性与间歇性，而且常以高密度分散的状态接入配电网，表现出点多、面广、

渗透率高的特征^[19]。当大规模电源逆变器无序并网时，会引发潮流返送、电压波动等一系列问题，这就使得配电网必须对电源逆变器实施有效的调控^[20]。鉴于此，开展针对分布式光伏的群调群控策略研究，研发基于 EPDT 的群调群控终端，并设计与之对应的监测、控制和调度方案，对于解决上述问题，保障分布式光伏并网接入系统稳定且高效地运行，无疑具有极其重大的意义。

1 总体方案

在分布式光伏业务网里，EPDT 终端的关键作用体现在协议转换与数据传输方面。要知道，电源逆变器因类型与设计存在差异，其接口也有所不同，像 RJ45、RS232、SFP/SFP+等都是常见的通信接口。基于此，EPDT 终端对外能够借助网线、串口线或者光纤，与各类电源逆变器进行连接，承担起将电源逆变器接入 EPDT 专网系统的重任；对内则通过射频天线与 EPDT 基站相连，把电源逆变器的数据传至云平台 and 自动化控制系统，以此达成电源逆变器的智能化管理目标，实现对电源逆变器运行状态的实时监控与远程控制。EPDT 终端在分布式光伏业务网中的工作拓扑情况，如图 1 所示。

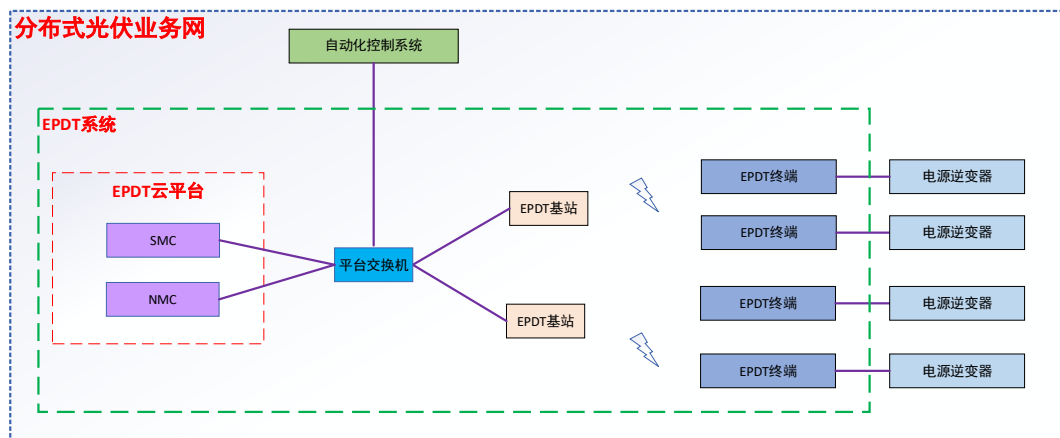


图 1 EPDT 终端工作拓扑

Fig. 1 The working topology of EPDT terminal

EPDT 终端的总体方案设计如下：

- 1) 工作频段：223MHz~235MHz；
- 2) 支持通过串口、网口或者光口的方式连接电源逆变器；
- 3) 支持网络协议转换和数据采集，将采集到的数据安全、可靠地传输到云平台和自动化控制系统，为分布式光伏并网接入系统的监控、分析和决策提供实时数据支持；
- 4) 支持分组数据、短消息、集群登记等业务功能；
- 5) 集成北斗定位，支持周期上报位置或者云平台上拉位置；
- 6) 集成加密手段，为用户提供安全可靠的传输通道；
- 7) 集成用户操作界面，支持协议转换等配置管理功能，支持日志读取、版本升级等维护功能。

2 关键模块设计

2.1 软件架构设计

EPDT 终端主要由 ARM 和 DSP 两部分组成。ARM 软件主要包括业务控制、协议栈、空口数据收/发、指示灯、日志控制、定位、数据交互、定时器等模块。DSP 软件主要实现空口数据的收发控制和数据解析，根据 EPDT 的时隙定时向 ARM 侧上报时隙中断，根据 ARM 侧软件配置切换频率。

EPDT 终端总体软件架构设计如图 2 所示：



图 2 总体软件架构

Fig. 2 The software architecture of overall

2.2 协议栈设计

EPDT 终端的协议栈整体框架如图 3 所示，协议栈内部功能由底向上一层是时隙管理模块、信令数据管理模块（控制信令管理、分组数据管理等）、业务流程管理模块（分组数据、扫描、注册、短消息等）组成、辅助处理模块（日志、定时器、内存等）。

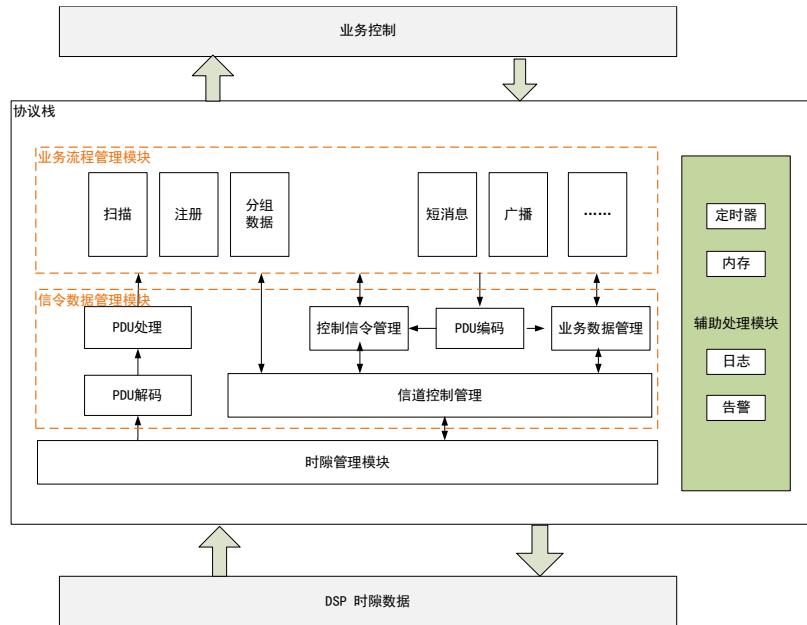


图 3 协议栈整体框架

Fig. 3 The overall framework of protocol stack

初始化协议栈包括模式选择、配置参数和创建队列等操作。运行过程中，根据各种业务需要调用协议栈入口函数，协议栈处理完成后，通过回调函数返回处理结果。

2.3 安全功能设计

EPDT 终端具备多种安全功能，涵盖注册鉴权、序列号同步、端到端加密以及空口加密等方面。在密钥管理上，与之相关的各类密钥，从生成、存储到使用，均由专门的安全硬件模块负责。具体而言，EPDT 终端采用加密卡作为安全硬件，而系统侧所使用的安全硬件则包括鉴权中心、密钥机和加密机。安全功能在电力业务系统中作用的位置如图 4 所示：

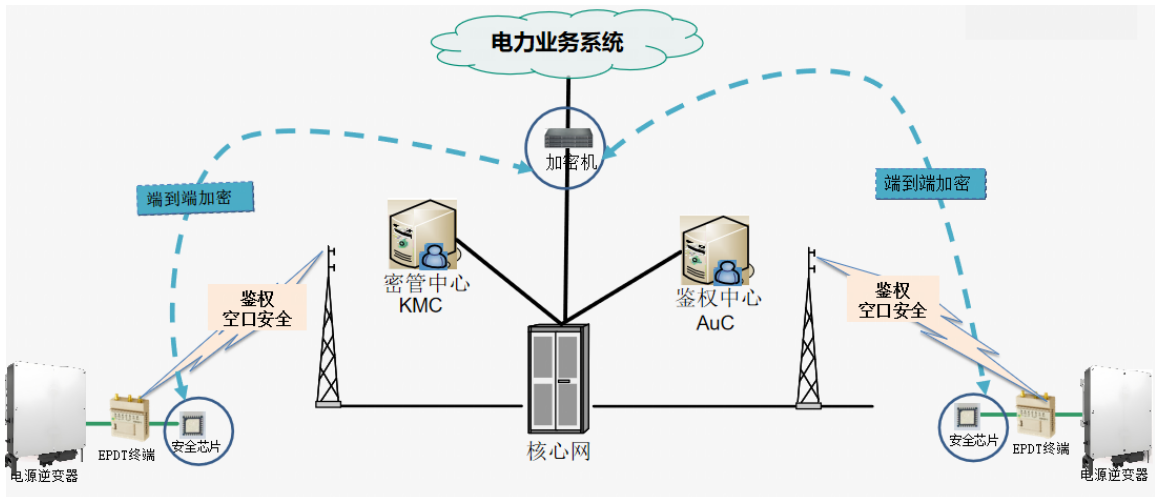


图 4 电力业务系统安全功能

Fig. 4 The security functions of power business system

EPDT 终端安全功能架构如图 5 所示。加解密数据采用的安全芯片是 TF 加密卡。EPDT 终端 ARM 侧软件提供 TF 卡驱动，设计信令封装模块，为各类安全业务提供安全交互接口，应用层实现鉴权、端到端加密、遥毙、序列号同步等业务控制。

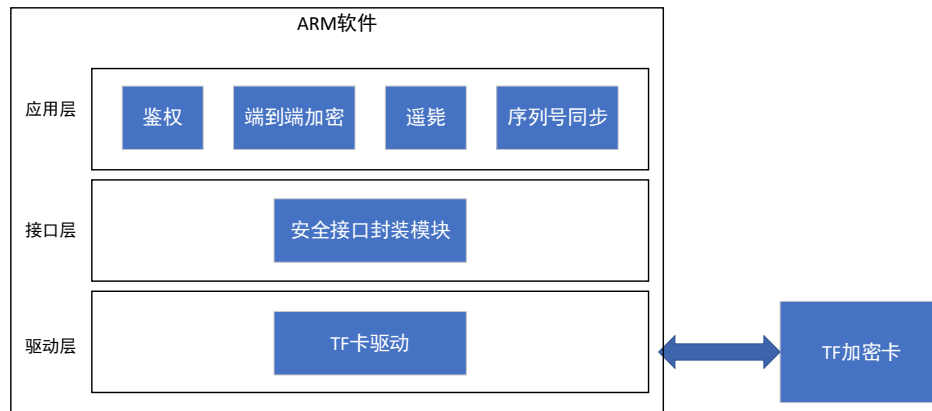


图 5 EPDT 终端安全功能架构

Fig. 5 The security function architecture of EPDT terminal

EPDT 终端开机后首先检查加密卡是否存在，是否能够正常读写，如果存在加密卡且交互正常，则初始化加密卡。EPDT 终端与加密卡的通信不再起单独的任务，将加密卡交互操作封装成库函数，在不同的任务中都可以调用，采用互斥信号量的方式来防止不同任务同时对加密卡进行读或写操作。

EPDT 终端与加密卡通信是通过对加密卡指定偏移地址读写实现，根据不同的业务需求，构建对应的协议数据，写入加密卡，对加密卡指定偏移地址的读取可得到加密卡的返回结果，通过解析可得到加密卡返回的状态、加密数据等内容。

2.4 数据交互模块功能设计

数据交互模块是 EPDT 终端与电源逆变器之间的通信接口，通过串口、网口或者光口实现。主要实现两个功能：

- 1) 传输 EPDT 终端与电源逆变器之间的数据，接收电源逆变器数据、将主站的数据发送给电源逆变器。
- 2) 处理 EPDT 终端与电源逆变器之间的 AT 指令功能，对来自串口、网口或者光口的 AT 指令进行解析并执行相应的业务操作，然后返回结果。

该模块数据收发流程如图 6 所示：

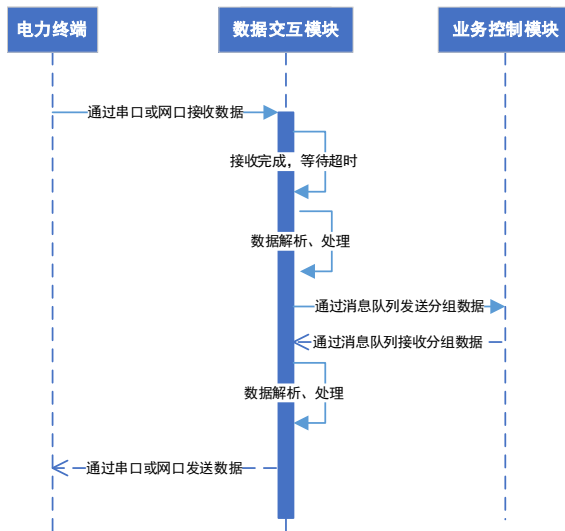


图 6 数据交互模块流程设计

Fig. 6 The process design of data interaction module

- 1) EPDT 终端开机初始化时，创建数据收发任务；
- 2) 数据收发任务读取相关配置文件，串口配置包括开关、波特率、流控功能等，网口配置包括开关、IP 地址、网络连接协议、端口号等，并根据开关开启情况选择从串口收发数据还是从网口收发数据；
- 3) 在任务中通过循环等待的方式接收电源逆变器数据，并对数据头进行解析，区分是国网协议数据还是 AT 指令；
- 4) 如果是国网协议数据，会根据数据头中带的总长度来循环接收国网协议数据，并将接收的数据进行缓存并拼接成一块，直到数据接收完毕，并将数据送到其它模块进行下一步处理；
- 5) 如果是 AT 指令，会循环接收数据，直到接收数据完整，然后对 AT 指令进行解析，解析后执行相应的操作，并返回结果；
- 6) 在任务中收到其它模块转发的中心数据后，要区分数据类型和数据头，并对数据完整性进行校验，然后对数据进行解析和处理，并将处理后的数据通过串口或者网口发给电源逆变器。

2.5 定位上报功能设计

EPDT 终端中具备北斗定位模块，EPDT 终端从北斗定位模块中获取定位、时间、方位角、经纬度、速度等信息，可供云平台上拉或者 EPDT 终端周期性主动上报。用户可根据实际使用情况，设置定位上报条件为距离发生变化或者是时间发生变化。

定位上报功能流程设计如下：

- 1) EPDT 终端设备开机初始化时，创建定位上报任务，用于实现北斗数据处理；
- 2) 读配置文件，并根据配置文件选择是否开启周期上报定位数据至云平台，并设置周期上报定时器；
- 3) 设置北斗模组的数据上报周期间隔，默认为 1 秒；
- 4) 接收北斗模块的串口数据，并按照北斗数据格式以“\r\n”为结尾分隔北斗上报信息；
- 5) 解析北斗上报数据并赋值给其它功能模块。

2.6 群组控制策略设计

在分布式光伏电源逆变器的并网过程中，无序并网往往会带来一系列问题，像潮流返送以及电压波动等情况就可能出现。为妥善解决这些问题，可从多方面着手。首先，对逆变器设计进行优化，使其性能得以提升，更好地适应并网需求；其次，要强化并网管理，制定更为严格和科学的管理规则与流程，确保并网操作的有序性；此外，增加无功补偿装置也是一个重要举措，通过

合理补偿无功功率，维持电网的稳定运行。

群调群控策略在应对此类问题上发挥着关键作用。该策略借助集中控制与管理，能够从整体上对分布式光伏电源逆变器进行统筹安排，避免各自为政的无序状态。同时，通过实时监测与调节，可及时掌握逆变器的运行状况，一旦发现潮流返送或电压波动等问题，能迅速做出调整。正因如此，群调群控策略在光伏电站的管理和控制中意义重大，它能够让发电效率得到有效提高，使光伏电站在相同条件下产出更多电能；还能降低运维成本，减少因设备故障或异常运行带来的维修和管理费用；并且能增强电网的稳定性，为整个电力系统的可靠运行提供有力保障。本文为实现群调群控，设计和实现了动态重组技术和业务回执调度算法，如图 7 所示。

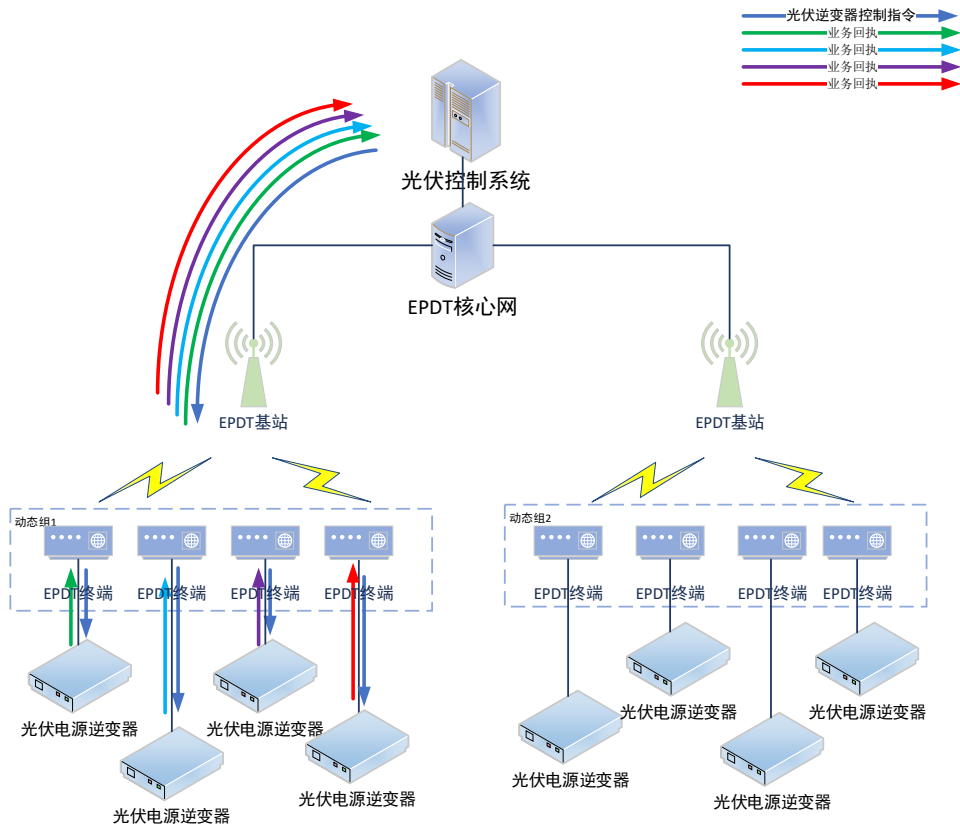


图 7 群调群控方案

Fig. 7 The solution of coordinated control

传统集群系统里的组呼功能，能让多人同时进行通话，在群组协作与集体指挥场景中应用广泛。而在电源逆变器控制业务方面，本文专门设计出了数据组呼功能，借助分组数据技术，达成了对多个电源逆变器的统一管控。在电源逆变器控制指令下发环节，鉴于每次执行控制指令的逆变器存在不确定性，于是设计了任意多个终端的灵活重组技术。利用该技术，可将多个终端重新组合到同一组内，再依靠分组数据技术，实现向群组的下行数据发送。为对电源逆变器组的集中调控，自动化控制系统会与分布式电源进行信息交互，收集分布式电源的运行状态及参数。然后，依据电源的状态信息、储能水平以及用电需求，对电源逆变器实施动态分组，最终完成对电源逆变器组的集中调节与控制。

针对电源逆变器控制指令下发以及大量终端发送业务回执可能产生的通信碰撞问题，开展了一项创新型系统控制发送权机制的研究。该机制的关键在于依靠系统的统一裁定，对终端的数据发送实施有序的管理操作，以此保证多个终端在发送业务回执时可以有效避免碰撞，达成数据的串行化传输。

该机制的第一步是对不同终端在群组里的优先级进行区分。当控制指令被下发之后，系统会

依照预先设定的优先级以及终端的实际状态，为各个终端赋予不同的发送权优先级。要是多个终端在同一时间提出业务回执的发送请求，系统会结合各终端的优先级状况和当前的网络负载水平，来确定哪个终端可以优先进行数据发送。

在完成发送权的分配操作后，系统会向获得授权的终端发送权确认信号，同时给其它终端发送等待指令，以此保障整个发送流程能够有序展开。获得授权的终端在收到权确认信息后，便能够依据既定的协议和格式来发送业务回执。而其余的终端则要依据等待指令来调整自身的发送策略，防止对传输过程产生干扰。该机制主要包括发送权限请求、发送权限授权、发送权限排队、发送权限拒绝四种状态。调度算法的交互流程如图 8 所示。

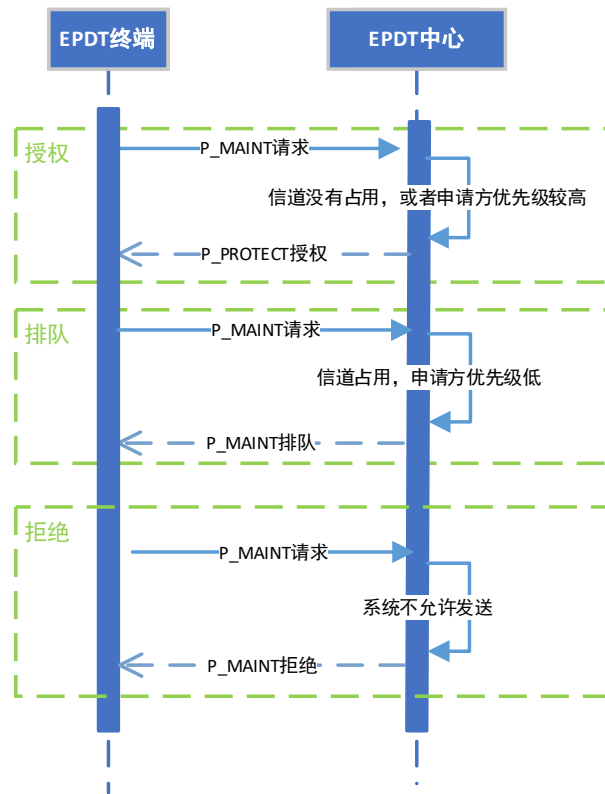


图 8 业务回执调度算法

Fig. 8 The algorithm of business receipt schedule

- 1) 发送权限请求：终端在着手数据发送操作之前，会发送 P_MAINT 请求。
- 2) 发送权限授权：当系统接收到终端的数据发送请求时，如果此刻没有正在发送的数据，就会授权申请方进行数据发送，同时发送 P_PROTECT 授权。
- 3) 发送权限排队：系统在进行裁决操作时，若此时正在进行数据发送，就会依据发送方的优先级进行裁决。若申请方的优先级较低或者处于同一级别，系统会通知申请方进行排队，并发送信令 P_MAINT 排队。
- 4) 发送权限拒绝：系统在进行裁决时，倘若系统不允许该申请方进行数据发送，就会通知申请方被拒绝，并发送信令 P_MAINT 拒绝。

通过采用这种发送权控制机制，在电源逆变器控制指令下发期间，EPDT 群组控制功能可以有效地处理多终端发送业务回执时出现的碰撞问题。该机制不仅使数据传输的可靠性和稳定性得到提升，而且增强了系统对复杂通信环境的适应能力，为 EPDT 群组控制功能在调控业务方面提供了强大的技术支撑。

3 测试与验证

已实现的 EPDT 终端为 1U 设备，对外接口说明如表 1 所示。

表 1 接口说明

Tab. 1 The interface description

| 序号 | 接口 | 说明 |
|----|---------------|------------------------|
| 1 | 网口 (RJ45) | 用于调试，以及连接外部设备进行业务数据传输。 |
| 2 | 光口 (SFP/SFP+) | 用于调试，以及连接外部设备进行业务数据传输。 |
| 3 | 232 串口 | 用于连接外部设备进行业务数据传输。 |
| 4 | 天线接口 1 | 用于外射射频线。 |
| 5 | 天线接口 2 | 用于外接北斗射频线。 |
| 6 | 电源接口 | 用于对 EPDT 终端进行供电。 |
| 7 | USB 接口 | 用于日志输出、版本升级。 |

EPDT 终端与电力业务系统适配后，可以传输任意类型的电力业务数据，其中与电源逆变器、模拟终端的部分测试结果如图 9 所示。

```
15:58:11 2024]收: Z0EB000CEB0000 000610800100 811600002ED7
15:58:12 2024]收(密文): Z4EB0026EB0008 92DFE5ABC8EC 66DAE373E91A 6520C5E5B4FF 0BB2F135EDA 405DC2939F82 4A1003425D88 12D7
15:58:12 2024]接收(总召): 680C0C68D30100 64 01 07000100 0000 14 5516
15:58:12 2024]送: Z0100001000116
15:58:12 2024]送: Z0EB000CEB0001 000610000100 011600002FD7
15:58:14 2024]收(密文): Z4EB0096EB0008 80CA62062DF3 46FB5450084E DC246B5FFD52 7F47204DA61A 54DB47ECAD90 F976FDA78A7E 7848A09D5862
15:58:14 2024]接收(遥信): Z1687A7A68F30100 01 EF 14000100 0100 01<0:合> 00<1:分> 00<2:分> 00<3:分> 01<4:合> 00<5:分> 00<6:分> 00<7:分>
15:58:14 2024]送: Z0100001000116
15:58:14 2024]送: Z0EB000CEB0001 000610000100 011600002FD7
15:58:15 2024]收(密文): Z4EB0066EB0008 5F00AA785A09 85CA693038A2 E8B43486ED79 8040AD768E7D 6A0AE615E60A 0BD2A1C32740 6B44B9C2E654
15:58:16 2024]接收(遥信): Z168515168D30100 01 C6 14000100 7000 00<111:分> 00<112:分> 00<113:分> 00<114:分> 00<115:分> 00<116:分> 00<117:分>
15:58:16 2024]送: Z0100001000116
15:58:16 2024]送: Z0EB000CEB0001 000610000100 011600002FD7
15:58:19 2024]收(密文): Z4EB0106EB0008 E6E21F9382EB 512DB0A4B7E0 5488B3E3ED5C 2223E4645A2B 8C6CEA301A87 0150C0E00B92 59342F33F321
15:58:19 2024]接收(遥测): Z068ECC68F30100 0D AD 14000100 0140 0000000000<0:0.000> 0000000000<1:0.000> E77B464200<2:49.621> 000000
15:58:19 2024]送: Z0100001000116
15:58:19 2024]送: Z0EB000CEB0001 000610000100 011600002FD7
```

图 9 总召业务测试结果

Fig. 8 The test result of the general call business

使用模拟终端软件，可以更加灵活地设置测试参数，可以发送任意长度数据，还支持测试系统在高负载或极端条件下的性能。模拟终端软件还支持自动化测试，可以提高测试的效率和准确性。如下图所示，是使用 EPDT 终端连接模拟终端与真实电力业务系统进行总召业务的测试结果，电力业务系统下发总召命令，电力终端回复遥信报文，遥信报文回复完成后，电力终端发送总召结束报文，在进行电力业务传输过程中，EPDT 系统收发消息传输延时小于 2S。

本文选择某电力公司应用试点中的电源逆变器，测试的目的是确保 EPDT 专网系统能够与电源逆变器协同工作，满足日常业务需求，并对主要业务功能、连接稳定性、数据传输速率等进行了全面的测试。

对单一电源逆变器测试遥控业务，进行合闸和分闸测试，一次遥控业务耗时 5 秒。总共进行 10 次测试，测试成功率等于 100%。

试点单 EPDT 基站覆盖 10 公里范围内有 20 个电源逆变器，对所有电源逆变器进行合闸或者分闸测试，自动化控制系统将所有电源逆变器动态重组在 1 个动态组，对该动态组连续发送 4 次组播合闸或者分闸指令，一次遥控业务耗时 10 秒，与单个终端顺序执行需要 100 秒相比，全部电源逆变器的业务执行时间降低 90%。总共进行 10 次测试，测试结果如表 2 所示，测试成功率大于等于 95%。

表 2 20 个电源逆变器测试结果

Tab. 2 The test result of 20 power inverters

| 测试编号 | 指令执行成功的电源逆变器个数 | 成功率 |
|------|----------------|------|
| 1 | 20 | 100% |
| 2 | 19 | 95% |
| 3 | 20 | 100% |
| 4 | 19 | 95% |
| 5 | 19 | 95% |
| 6 | 20 | 100% |
| 7 | 19 | 95% |
| 8 | 20 | 100% |
| 9 | 20 | 100% |
| 10 | 20 | 100% |

试点六个 EPDT 基站覆盖 20 公里范围内有 500 个电源逆变器,对其中 100 个电源逆变器进行合闸或者分闸测试,自动化控制系统将匹配成功的 100 个电源逆变器动态重组在 1 个动态组,分别对该动态组连续发送 4 次组播合闸或者分闸指令,一次遥控业务耗时 10 秒,与单个终端顺序执行需要 500 秒相比,全部电源逆变器的业务执行时间降低 98%。总共进行 10 次测试,测试结果如表 3 所示,测试成功率大于等于 96%。

表 3 100 个电源逆变器测试结果

Tab. 3 The test result of 100 power inverters

| 测试编号 | 指令执行成功的电源逆变器个数 | 成功率 |
|------|----------------|------|
| 1 | 98 | 98% |
| 2 | 96 | 96% |
| 3 | 99 | 99% |
| 4 | 97 | 97% |
| 5 | 98 | 98% |
| 6 | 96 | 96% |
| 7 | 98 | 98% |
| 8 | 99 | 99% |
| 9 | 100 | 100% |
| 10 | 97 | 97% |

通过相关测试,EPDT 终端与电源逆变器于 EPDT 专网环境下的综合性能得到了全方位验证,同时也使人们对 EPDT 专网技术的成熟度与安全性更具信心。EPDT 专网技术凭借低延迟、高带宽的显著特性,可保障分布式光伏系统的实时数据精准地传输至控制中心,为远程监控工作的高效开展、故障的及时预警以及快速响应提供了有力的技术支撑,为未来智能电网的建设与发展筑牢了根基。

4 结束语

详细设计并顺利实现了一款基于 EPDT 技术的群调群控终端,且针对此终端开展了分布式光伏并网接入方面的测试。从测试所呈现的结果来看,该终端于 EPDT 专网环境下,在传输电源逆变器控制业务指令时,展现出了高效、快速的卓越性能。与此同时,本文通过动态重组技术和业务回执调度算法实现的群调群控策略,在确保成功率稳定的基础之上,还能够切实地缩短执行时间,使执行效率得到显著提升。

基于 EPDT 的群调群控终端经过成功设计并投入应用后,充分显示出 EPDT 专网系统与分布式光伏电力业务之间存在着高度的适配性。同时,也有力地展现出该系统于提升整个电力系统效能方面所具备的巨大潜在价值,为未来智能电网的建设与发展给予了极具价值的实践经验及技术

参照。伴随技术的日益成熟以及应用范围的不断扩大,我们完全有理由确信,以 EPDT 技术为基础的专网系统会在电力系统朝着智能化、自动化和数字化迈进的过程中,发挥出至关重要的作用。它不仅能够使电力系统的整体运行效率得以提升,还可以切实增强系统的安全性与稳定性,在未来有着极为广阔的应用前景与发展潜力。

参考文献

- [1] 何乐平. “双碳”目标背景下新能源在新型电力系统中的运用[J].光源与照明,2024,(09):240-242.
- [2] 严宇航.构网型储能支撑新型电力系统建设的应用展望[J].电工材料,2024,(05):71-74.
- [3] 赵剑波,王蕾. “十四五”构建以新能源为主体的新型电力系统[J].中国能源,2021(05):19-23.
- [4] 张智刚,康重庆.碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J].中国电机工程学报,2022,42(08):2806-2819.
- [5] 李学荣,黄泽志,傅致勇,等.基于 LAN 的分布式光伏发电通信组网[J].电气时代,2024,(10):56-59.
- [6] 赵彬,张晓东,潘光勇.分布式光伏并网接入系统中无线通信关键技术研究[J].长江信息通信,2024,37(08):69-71.
- [7] 任大伟,肖晋宇,侯金鸣,等.双碳目标下我国新型电力系统的构建与演变研究[J].电网技术,2022,46(10):3831-3839.
- [8] 欧清海,王盛鑫,余蕊,等.面向新型电力系统的电力通信网需求及应用场景探索[J].供用电,2022,39(02):2-8+21.
- [9] 乐健,郎红科,谭甜源,等.新型配电系统分布式经济调度信息安全问题研究综述[J].电力系统自动化,2024,48(12):177-191.
- [10] 赵深,孙景钊,林世溪,等.海岛微电网供电模式下户用风光互补发电系统的应用研究[J].浙江电力,2014,33(05):22-26.
- [11] 曹军威,万宇鑫,涂国煜,等.智能电网信息系统体系结构研究[J].计算机学报,2013,36(01):143-167.
- [12] 吴智泉,贾纯超,陈磊,等.新型电力系统中储能创新方向研究[J].太阳能学报,2021,42(10):444-451.
- [13] 余海波,陶媛.基于 5G 的智能电网配电调度解决方案[J].广西电业,2024,(09):18-25.
- [14] 张旭苹,张益昕,王亮,等.分布式光纤传感技术研究和应用的现状及未来[J].光学学报,2024,44(01):11-73.
- [15] 姚继明,黄凤,田文锋.电力 LTE 异频组网系统应用研究[J].计算机技术与发展,2017(03):187-190.
- [16] 邱书琦.电力无线专网混合组网研究[J].通信与信息技术,2024,(04):10-12+38.
- [17] 刘卉,欧清海,宋继高,等.电力无线专网深度覆盖技术研究与应用[J].供用电,2019,36(06):16-22.
- [18] 吴庆,王日宁,王盛鑫,等. “双碳”下 230 MHz 电力无线专网建设演进策略[J].供用电,2023,40(11):45-53.
- [19] 盛万兴,吴鸣,季宇,等.分布式可再生能源发电集群并网消纳关键技术及工程实践[J].中国电机工程学报,2019,39(08):2175-2186+1.
- [20] 陈炜,艾欣,吴涛,等.光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J].电力自动化设备,2013,33(2):26-32+39.