

用电采集终端在复杂电磁环境下的研发测试策略

郝士军

科大智能科技股份有限公司南京分公司 江苏南京 210000

摘要: 随着智能电网及电力系统的发展,用电采集终端的应用更加广泛,但是在复杂电磁环境中,会给终端带来较大影响。为了避免终端在各种电磁干扰下不能稳定可靠地工作,需要采取一些有效的研发测试措施,包括硬件抗干扰措施、信号处理措施、软件误差补偿、数据安全保护等手段。通过现场环境测试方法,对采集终端抗干扰性及数据采集精确性进行充分评估,调整工作方式及技术手段,确保采集数据的准确性。

关键词: 用电采集终端; 电磁环境; 研发测试

电力系统内使用的用电采集终端是整个体系的重要组成部件,在应用中负责数据信息的采集,并根据需要完成数据传输、检测等工作,其工作的稳定可靠水平直接影响着整个电力工作的稳定性与安全性^[1]。针对现有用电采集终端设备电磁干扰问题,本文提出了整体化研发测试方案,增强采集终端的抗干扰能力,提升信号精度,确保采集数据的准确性和电力系统的正常工作。

1 复杂电磁环境对用电采集终端的影响

1.1 信号失真

在复杂的电磁环境下,信号失真就是用电采集终端中常出现的问题,外部的电磁波可通过天线或导线耦合到内部产生对信号幅度、频率和相位上的干扰。由于电源幅度的变化会引起信号强度的变化,频率的变化会造成信号传输错误,而相位的变化将会导致多路信号之间失去同步。对精密的用电采集终端来说,交流采样信号失真问题的发生会引起测量误差、数据不准等问题,甚至阻碍系统的正常运行。

1.2 设备故障

由于用电采集终端在工作环境中存在较大干扰源,设备内部电路或者元器件将产生损坏,严重的话可能会出现短路、过载、烧坏元器件等现象。比如,大的瞬时电磁脉冲会使整个装置瞬间被毁坏,像如此严重的冲击如果处在没有电磁屏蔽的状态下,设备会在很短的时间内发生损坏,从而影响生产和运行的工作效率。

1.3 数据丢失或错误

电磁干扰除了影响信号质量以外,还会对数据的采集和存储产生一定影响。在强电磁环境下,采集到的信号会被

噪声掩盖掉,造成一些信息的缺失或者出错,信号虽然没有失真但也会影响数据的采集和传输稳定性,因此,容易造成数据的误码、丢包等问题^[2]。除此之外,电磁干扰还会引发一些问题,导致系统故障,会让设备无法及时对数据进行采集与存储操作,最终导致系统运行不稳定,数据难以得到有效保存。

2 用电采集终端的研发设计要求

2.1 硬件设计

2.1.1 抗干扰设计

硬件抗干扰能力是用电采集终端正常工作的根本保障,在设计过程中需要采取各种方法来抑制电磁干扰对其影响。其中最常见的手段就是利用滤波器,如通过高通滤波器、低通滤波器、带通滤波器等屏蔽一些无用的频率信号,使采集到的信号更加干净。除此之外还需要做好相关的接地工作,尽量避免出现接地环路,给干扰电流进入电路创造条件。在实际工作中可以通过以上技术优化设计方式,对终端采集信号进行全方位保护。

2.1.2 信号处理能力

因为硬件信号处理能力决定了采集精度及系统的稳定性,优化电路设计,采用高精度的ADC、低噪声运放及高线性的传感器,提高信号采集的精度。比如,对线路板排布进行合理布局,避免出现串扰及电磁耦合,提高信号处理的可靠性。硬件优化能保证对微弱信号进行精准采集,并减少后期软件处理的难度,使整个系统更加可靠有效^[3]。

2.1.3 高频响应能力

高频干扰在目前电力系统中是不可避免的,但是为了

能采集到准确的数据，采集终端也需要具备较强的高频响应能力。对此，硬件上的方案是尽量选用宽带响应元件，PCB布线尽可能地远离高频信号回路，避免高频信号回路出现阻抗不匹配等问题，还能通过高频压敏电阻和电容抵消高频噪声，提高高频响应能力，保证信号的完整性，在终端工作过程中不会受外界环境因素的干扰，保证采集数据的准确性。

2.2 软件设计

2.2.1 信号滤波算法

软件滤波是对硬件抗干扰的有效补充，在数字滤波基础上采用滤波算法对采集到的信号电平值进行处理，能很好地滤除受到的电磁干扰信号。常用的有低通滤波器，可抑制高频噪声，卡尔曼滤波、自适应滤波算法则适合动态的场合使用，可减少噪声干扰的影响。通过采取合理方法进行软件滤波，提高数据采集的精度，并在复杂电磁环境下保证系统的稳定性，从而确保终端正常工作。

2.2.2 误差补偿算法

电磁干扰容易导致信号失真及数据偏移，因此，采用软件误差补偿算法，有利于解决此类问题。通过对采集数据的实时监测与模型标准对比，得到误差值，并根据误差值做相应修正。比如，基于历史数据或者统计特性误差补偿方法，去除干扰瞬时误差，使采集的数据更加准确，提高终端设备在恶劣环境下工作的测量可靠度。

2.2.3 数据完整性与安全性

为确保数据采集的完整性和可靠性，需考虑强干扰条件下数据采集的难度，建议实施有效校验码、冗余储存、加解密等措施，防止数据传输及储存中丢失、篡改等问题的发生。同时，动态化地监测系统运行异常情况，如数据丢失、通信中断等，都能落实纠正措施，保证数据的可靠性与真实性。再加上数据安全机制的制定与完善，能增强用电采集系统在复杂电磁环境中的稳定性，进一步提升数据采集可靠性。此外，建议增加重发机制，能应对数据传输中的丢失问题，合理设计断帧字节延时，采集数据有较强的安全性。对于载波抄表系统也要持续优化，保证其适应各种环境下的作业要求，通过各项措施的高效实施，有效构建一个安全、稳定且高效的数据采集系统。

3 用电采集终端在复杂电磁环境下的研发测试策略

3.1 电磁兼容 (EMC) 测试

电磁兼容性测试主要指设备或系统在电磁环境中的工

作不要对其他设备产生不可接受的电磁干扰。电磁兼容性测试包括发射度与抗扰度的评估，测试目的是辐射发射，测试中可测量用电采集终端工作过程中向外辐射的电磁能量是否超过标准数值，保证其在运行过程中不会对周围设备造成干扰。而辐射发射测试是在电磁屏蔽室内进行，利用辐射计、天线检测设备，辐射电磁波评估是否能够满足相关指标。测试过程中，需对频率范围、测定点位进行适当调整，能全面评估设备的电磁辐射水平。此外，辐射抗扰度测试用于考察用电采集终端存在干扰源时，其抗干扰能力，在干扰条件下是否能够稳定持续地工作。整体而言，测试工作的开展，能保证用电采集终端在复杂的电磁环境中具有较强的可靠性，为实践工作的顺利进行提供了良好保障。

3.2 抗辐射能力测试

在进行用电采集终端的绝缘性能测试前，需要先开展自检工作，获取可靠数据，便于测试队伍掌握可靠结果，确保各项数据正确无误后方可进行下一步工作。测试时要保证终端外壳和端子盖板都处于关闭状态，如果外壳和端子盖板用绝缘材料制成，需在外壳和端子盖板外面覆上一层导电箔，并且使导电箔与接地端子相连。导电箔距接线端子及穿线孔不应小于 2cm. 交流电压、冲击耐压测试过程中不能出现闪络、破坏性放电或击穿情况，测试完成后要确保终端的各项功能、性能满足相关标准，也影响着用电采集终端的工作效果。

在正常测试条件及湿热测试条件下，应按照表 1 的测试电压，在终端端子处测量电气回路对地、电气回路间绝缘电阻，并且达到测试要求，具体绝缘电阻表数值要严格按照表中的规定进行检测和验证，保证终端绝缘性能符合技术规范要求、具有足够的电气安全性能。同时，整体测试的目的是验证终端设备在复杂的电磁环境下的绝缘可靠性，防止出现由于电气故障引发的安全隐患，保障设备能够长期稳定运行。在绝缘强度测试中，使用 50Hz 正弦波电压进行，测试电压持续时间为 1min。测试回路包括：电源回路对地、输出回路对地、状态输入回路对地、交流工频电场输入回路对地（需断开接地线）、无电气联系的各回路间、交流电源与直流电源之间的绝缘强度，也影响着系统运行的可靠性^[4]。

表 1 绝缘电阻要求

| 额定绝缘电压 V | 绝缘电阻 M | | 测试电压 V |
|--------------|--------|------|--------|
| | 正常条件 | 湿热条件 | |
| U ≤ 60 | ≥ 10 | ≥ 2 | 250 |
| 60 < U ≤ 250 | ≥ 10 | ≥ 2 | 500 |
| U > 250 | ≥ 10 | ≥ 2 | 1000 |

注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路采用 U > 250V 的要求。

3.3 辐射干扰测试

辐射干扰测试主要是为了确定用电采集终端在整个频率范围内产生的电磁辐射干扰程度。因在复杂的电磁环境中存在电磁辐射干扰问题，导致用电采集终端不能正常工作，甚至引发设备性能降低、设备故障等问题。对此，为保证用电采集终端使用稳定可靠，进行辐射干扰测试非常必要。在辐射干扰测试过程中需要用频谱分析仪、天线、探头等仪器，测定设备辐射电磁波的频率和强度，在设备工作时使用频谱分析仪能实时检测出设备辐射信号的频谱特征，便于工作人员分析判断不同频段范围内的辐射干扰状况。此外，利用天线接收设备发射出去的电磁波，通过不同的方向、不同的角度扫描检查终端的整个辐射情况。

为保证测试结果的正确性、有效性，在测试时一般是在没有反射的无反射测试区间内（简称 An echoic Chamber）进行，在这种环境下消减周围环境带来的干扰及反射信号，更加准确地做出测试结果。在此项工作中，职能部门对行业各项标准及规则进行深入分析，以确定电磁干扰辐射的最大限值，这些分析不仅涵盖了不同设备类型的特性，还制定了针对性的测试技术要求。通过明确的标准和指标，确保用电采集终端在各种电磁环境下的可靠性能，从而有效降低对周围设备的干扰风险，提升系统的整体稳定性和安全性。同时，测试过程还为后续研发和测试提供了科学依据和实践指导。通过辐射干扰测试，识别设备在运行过程中可能产生的电磁干扰源，确保其符合电磁兼容性要求，从而避免对其他设备或通信系统的影响。

3.4 电源线路干扰测试

电源线路干扰测试主要评估用电采集终端电源系统对

电网的传导干扰。电源线路电磁干扰有可能使电网上的其他设备受到损害而使设备出现异常甚至故障的情况发生，为了避免这种情况的发生需要进行测试，在测试时需使用电流探头、频谱分析仪等设备来检测电源输入端口电流及电压的变化情况，以此进行干扰强度的判断，利用电流探头收集电源线路上的干扰信号，再利用频谱分析仪分析信号的频谱特性。一般情况下，电磁兼容性测试的频率范围选择在 150 kHz 至 30 MHz 之间，这一范围能够覆盖大部分电源传导干扰频段。在测试完成后，可以将测得的结果与 CISPR11 标准进行对比检验，以确保设备的电磁辐射符合相关要求。通过这一对照，能够有效评估用电采集终端在实际应用中的电磁兼容性，从而为其在复杂电磁环境中的稳定运行提供有力保障，还能确保设备性能及系统运行的可靠性。通常，设备的电源干扰应低于限值，以确保其在正常运行过程中不会对电网产生有害影响。通过电源线路干扰测试，有效识别设备对电网可能产生的干扰源，确保设备在电磁兼容性方面符合相关标准，避免影响其他设备或电网的正常运行。

4 结语

综上所述，为确保用电采集终端在复杂的电磁环境下稳定，需要依靠一套完善的研发测试体系，在研发测试过程中对测试端口的软硬件优化，提高采集设备的抗干扰性，使终端在实际工作中能长期保持稳定的状态。通过对采集数据所涉及的相关算法应用，对工作环境的模拟测试，保证数据采集精度及接收的可靠性。

参考文献：

- [1] 马斌, 龙存玉, 华书蓓等. 用电信息采集终端双队列缓存优化算法 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2024, 22(12): 1407-1413.
- [2] 郑陈凯, 江军, 丁小春. 用电信息采集终端信息传输带宽预测算法研究 [J]. 中国设备工程, 2024, (24): 256-258.
- [3] 蒋小三, 张辉, 岳浩. 基于用电采集终端的抄表稳定性自动化测试系统 [J]. 电力设备管理, 2024, (20): 170-172.
- [4] 杨小芳. 10kV 配网远程用电采集终端的设计与测试分析 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(35): 105-108.