

NB-IOT 智能井盖通信机制的低功耗分析*

李洪 张雪凡 徐俊超

(上海大学 特种光纤与先进通信国际合作联合实验室上海先进通信与数据科学研究院 上海 200072)

摘要: 随着城市基础设施建设的发展,目前城市井盖管理普遍存在数量多、难于实现统一管理、不能及时发现井盖损坏和被盗的问题。本文提出了基于窄带物联网(NB-IOT)的智能井盖通信报警系统,采用传感器实时监测井盖信息,NB-IOT 终端模块将状态信息发送到基站,基站再与 NB-IOT 的核心网连接,将状态数据发送到云平台,后台管理系统可以实时获取井盖的故障信息。通过大量的实验测试证明,提出的智能井盖通信机制是满足低功耗要求的,能够准确地检测井盖故障信息。

关键词: 智能井盖;窄带物联网;低功耗;传感器

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

Low power analysis of NB-IOT intelligent manhole cover communication mechanism

Li Hong Zhang Xuefan Xu Junchao

(Joint International Research Laboratory of Specialty Fiber Optics and Advanced Communication, Shanghai Institute for Advanced Communication and Data Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: With the development of urban infrastructure construction, the current management of urban manhole cover is widespread, it is difficult to achieve unified management, and the problem of damage and theft of the manhole cover cannot be found in time. This paper proposes an intelligent manhole cover communication alarm system based on narrowband Internet of Things (NB-IOT). The sensor uses real-time monitoring of manhole cover information. The NB-IOT terminal module sends status information to the base station, and the base station connects with the core network of NB-IOT. The status data is sent to the cloud platform, and the background management system can obtain the fault information of the manhole cover in real time. Through a large number of experimental tests, the intelligent manhole cover communication mechanism proposed in this paper is to meet the requirements of low power consumption and can accurately detect the fault information of the manhole cover.

Keywords: intelligent manhole cover; narrowband internet of things; low power consumption; sensor

0 引言

随着移动通信的发展,未来将会是一个万物互联的时代。物联网通过传感设备采集信息,利用无线通信技术,将物与物连接在一起,物联网技术主要应用在智能家居,智能楼宇,无线抄表和智慧城市等领域。城市中的井盖随处可见,所以井盖损坏和被盗的频繁发生,容易对人们的出行产生安全问题,而普通的井盖没有自动报警功能,当井盖被盗时,负责井盖管理的工作人员不能及时发现,本文研究的智能井盖具备实时监控,实时报警的功能。传统的城市智能井盖管理系统大部分都采用无线自组网技术,将数据发送到 GPRS 网关,再通过网关发送到后台系统^[1]。常用的短

距离通信技术主要包括 WI-FI, Bluetooth 和 ZigBee 等,这些短距离通信技术因为覆盖距离短,所以应用场景受限,而在广覆盖和大量终端连接的物联网应用中,低功耗广域网通信的长处更明显^[2-3]。在低功耗广域网通信技术中,常常与窄带物联网(NB-IOT)相比较的是工作于非授权频谱的基于扩频技术的远距离无线通信(LoRa)^[4]。LoRa 通信需要独立组网,数据传输速率比 NB-IOT 低,在不同网络间存在同频干扰,所以当大量节点连接时,NB-IOT 更有优势^[5-6]。

1 NB-IOT

NB-IOT 是基于蜂窝网络的低功耗广域网通信技术,

工作带宽只需要消耗 180 kHz,可以直接部署在 GSM 网络或 LTE 网络,节约了网络部署成本^[7-8]。如表 1 所示,本文对 NB-IOT,LoRa 和 Zigbee 3 种常用的无线通信技术进行对比,NB-IOT 的每个节点可以直接将采集的数据发送到云平台,而 LoRa 和 Zigbee 的节点需要通过网关才能到云平台^[9]。在单网接入节点容量方面,NB-IOT 的容量是最大的。NB-IOT 利用自己的核心优势,具备广覆盖、低功耗、低成本和大连接等特点,使之成为物联网领域的新兴应用。

表 1 不同无线通信技术比较

组网方式	NB-IOT 基于蜂窝网络,LoRa 和 ZigBee 都是基于网关
单网接入节点容量	NB-IOT>LoRa>ZigBee
频段	NB-IOT 处于运营商频段,LoRa 处于 1 GHz 以下,ZigBee 主要处于 2.4 GHz
传输距离	NB-IOT 和 LoRa 都属于远距离,ZigBee 属于短距离

NB-IOT 是由 3GPP 标准定义的新兴物联网技术,在低功耗广域网中具有广阔的市场需求^[10]。NB-IOT 有 3 种部署方式,分别为独立部署、保护带部署和带内部署^[11-12]。NB-IOT 采用 FDD 半双工模式,降低了硬件电路的要

求^[13]。NB-IOT 采用新的空口协议,进行了物理层和信道的简化,这些都使得 NB-IOT 具备低成本的特点,从而将在物联网中得到大规模的应用^[14-15]。

2 智能井盖系统设计

本文研究的 NB-IOT 智能井盖通信系统如图 1 所示,主要包括传感器检测模块、处理器、NB-IOT 通信模组、NB-IOT 通信网络和后台管理系统。传感器模块主要检测井盖被搬动时的倾角,硬件模块定期向后台发送井盖的状态信息。在实际应用中,由于智能井盖采用电池供电,所以对硬件模块的低功耗要求非常高。硬件模块大多数时间处于低功耗模式,即深度睡眠状态。当井盖被搬动的角度超过设置的阈值,会产生报警信息,将 NB-IOT 无线通信模块从低功耗模式中唤醒,将井盖的状态信息和井盖的位置信息,通过 NB-IOT 模块发送到相应的基站,然后通过 NB-IOT 核心网发送到后台,后台将安排相应的维修人员进行处理。对比于传统的无线通信 ZigBee 和 LoRa,这些通信方式因为需要自己组网,当越来越多的井盖节点连接时,节点之间的通信干扰会增强,而 NB-IOT 是基于蜂窝网络,在大量节点连接时,可靠性更好。NB-IOT 具有广覆盖的特点,信号强度可以覆盖到地下管道,可以更加准确及时地监测到井盖的信息。由于 NB-IOT 的低功耗、大连接、低成本和广覆盖,使得基于 NB-IOT 的智能井盖管理通信系统为城市的井盖管理降低了人工成本,并提高了管理效率,保证了城市井盖管理的安全性。

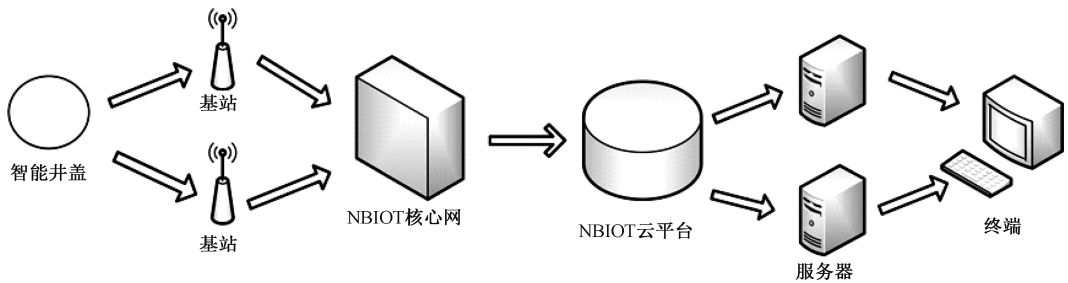


图 1 系统总体框架

3 智能井盖硬件设计

3.1 传感器模块低功耗设计

本文研究的智能井盖主要用于检测井盖是否被开启,采用了三轴加速度传感器模块。系统中使用的是一款三轴加速度传感器,可以测量因运动或冲击引起的动态加速度以及由于倾斜等产生的静态加速度。当井盖被开启或松动的时候,角度测量的值会超过设置的阈值,模块以数字的方式通过 SPI 通信发送给处理器,并且模块可以处于特定的低功耗模式测量。

系统中使用的加速度传感器模块可以通过设置合适的运动检测模式阈值,达到极低功耗的工作模式。如图 2

所示,当模块处于静止时,只需要约 270 nA 的功耗。当模块检测到井盖运动时,会被唤醒至测量工作模式,检测到的值超过设置的阈值时,会触发外部控制,这时的功耗也只需要约 1.8 μ A。

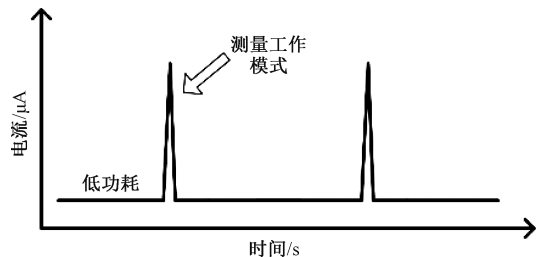


图 2 传感器电流波形

3.2 处理器的低功耗设计

本文的处理器采用的单片机,只需 8 KByte Flash,灵活的时钟控制,低功耗模式,常用的通信接口如 UART, SPI 接口等,以及 32 个中断控制器。单片机在不工作时,处于低功耗待机模式,通过将所有 IO 口设置为输出低电平和将时钟频率降至最低,电流低于 $1 \mu\text{A}$ 。智能井盖节点的设计如图 3 所示,系统在初始化处理器的中断 IO 口后,当传感器检测的值满足相应的条件时,可以通过外部中断,将处理器从待机模式中唤醒。

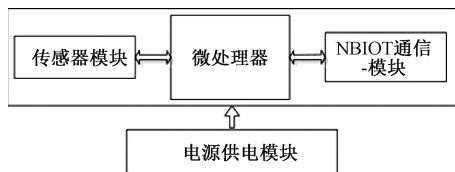


图 3 智能井盖节点设计

3.3 NB-IOT 通信模块的低功耗设计

本方案选用的 NB-IOT 通信模块是 BC26,电源只需 3.3 V,具备支持全面的硬件接口,丰富的软件协议栈,超低功耗和灵敏度更优的特点。下面将从 NB-IOT 通信模块分析如何保证智能井盖的使用更加省电。在物联网应用中,如何使得终端更加省电,对于一些使用电池供电的模块来说是非常重要的,所以低功耗往往是无线通信中的研究热点。NB-IOT 的低功耗模式主要是 PSM (power saving mode) 模式和 eDRX (extended discontinuous reception) 模式,这 2 种模式都是 3GPP 协议中的技术。

PSM 的工作原理如图 4 所示,模块发送完相应的数据包,进入到空闲状态,这时有一个激活定时器计时,在此期间对信道进行周期性寻呼,监听核心网侧是否有数据发送到终端。激活定时器超时后,模块进入到 PSM 状态,在该状态下模块进入了休眠状态,终端模块就无法接受网络侧的寻呼消息,收发设备也被关闭了,相当于处于关机状态,但是核心网侧还保存着终端模块的网络注册信息,这样就能保证定时器超时后,即终端模块被唤醒后,能够快速进入到连接状态,不用重新连接网络,减少了模块的启动时间。

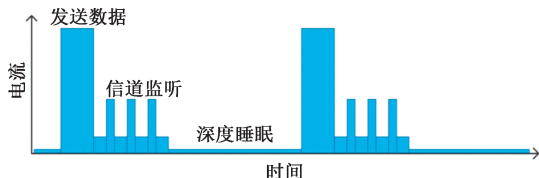


图 4 低功耗模式 PSM

终端模块进入到 PSM 状态后,下行数据不能传输到终端,会被缓存并且延迟寻呼,只有定时器超时或者终端模块有数据需要发送,才会被唤醒,退出 PSM 状态。由于模块在 PSM 模式下大部分时间都在睡眠,NB-IOT 的

PSM 模式功耗非常低,同时也对下行的业务响应不及时,但是大部分的物联网终端一般只需要上传数据,下行业务较少,所以 NB-IOT 的 PSM 模式还是比较有优势的。

NB-IOT 的 eDRX 是在通信系统中省电技术 8DRX (discontinuous reception) 的基础上改进的。DRX 的思想是不连续接收,即间歇性睡眠,睡眠期间关闭发送和接收功能,这样就可以节约功耗^[16]。为了防止网络通过下行链路发送数据给终端时,终端在睡眠而接收不到数据的情况出现,终端模块和网络必须要有一定的时间同步。NB-IOT 的 eDRX 与 DRX 的不同之处是在空闲状态下延长了信道的寻呼侦听次数,所以比传统的寻呼间隔更加省电,如图 5 所示。

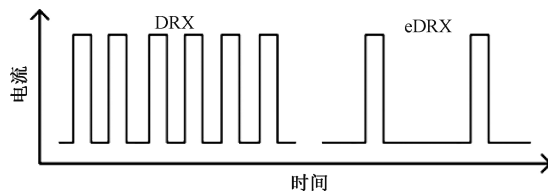


图 5 低功耗模式 eDRX

以上介绍的 NB-IOT 2 种低功耗模式 PSM 和 eDRX 各有优点,在节能方面,PSM 比 eDRX 更加省电,但是 eDRX 的实时性更好,下行链路的可达性更好,所以我们需要在不同的应用场景选择不同的低功耗模式。而本文研究的智能井盖通信系统采用的是 PSM 低功耗模式,正常情况下井盖只需要每天汇报一次状态信息,只有当井盖被搬动的角度超过设置的阈值时,才会将 NB-IOT 通信模块唤醒,发送上行数据,否则绝大多数情况下都处于深度睡眠状态,所以非常省电。因为智能井盖发送数据的频率低,并且大部分时候都是发送上行数据,下行链路的可能性较少,所以 NB-IOT 的 PSM 低功耗模式更适合于智能井盖系统的业务场景。

4 软件设计

4.1 后台管理系统设计

后台管理系统是基于 SpringBoot 的框架和 Mysql 数据库设计的,软件设计流程如图 6 所示,系统会给每个井盖进行编号,通过网络注册到后台管理系统中,每个智能井盖节点会将采集的状态信息实时的更新到数据库中,这样就可以实时的查看井盖的故障信息,及时的安排维修人员处理。

4.2 系统可靠性设计

为了提高系统的可靠性,降低模块的误报率,采用以下方案,1)当井盖的管理人员对井盖进行检查维修时,可以向后台系统申请配置管理权限,这样当井盖被移动时,系统就会自动判断为正常状态;2)加速度传感器检测井盖的运动角度,当井盖的角度超过 15° 就判断被搬动,从而产

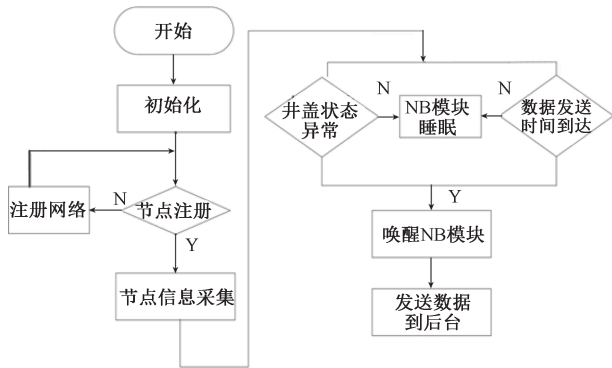


图 6 程序流程

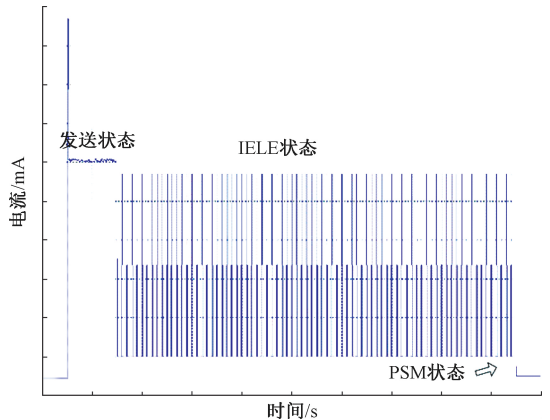


图 7 NB 模块电流波形

生报警信息。在实际的应用中，路上的车辆通过会引起井盖加速运动而产生角度偏差，所以系统软件在设置阈值时，灵敏度应该根据车辆通过引起的震动角度而适当的改变，就可以降低智能井盖节点误报的可能性。

5 低功耗测试与分析

5.1 NB-IOT 通信模块实验测试

测试内容：1)测试 NB-IOT 通信模块处于发送状态的平均电流；2)测试 NB-IOT 通信模块处于空闲态(IDLE)的平均电流；3)测试 NB-IOT 通信模块处于 PSM 状态的平均电流。平均电流是指模块处于相应状态下一定时间内的电流大小的平均值。

测试环境：NB 通信模块，直流电源分析仪。

5.2 测试结果

1)NB-IOT 通信模块电流测试

测试工作流程：利用直流电源分析仪给 NB-IOT 模块供电，通过直流电源分析仪可以得到模块工作中的电流波形图。如图 7 所示，模块正常上电后，7 s 内没有指令工作会自动进入到 PSM 状态，当模块有上行数据需要发送时，会从睡眠状态中唤醒，与网络进行连接，发送一个数据包，本文采用的 TCP 通信，所以系统通信的稳定性较好。发送完上行数据后，20 s 内没有收到下行链路的回应，就会进入 IDLE 态，进行周期性的监听信道。定时器超时后，模块又进入到 PSM 状态。NB-IOT 通信模块工作参数测试结果如表 2 所示。

表 2 NB-IOT 通信模块工作参数测试

测试参数	测试结果
发送状态平均电流	49 mA
IDLE 态平均电流	1 mA
PSM 状态平均电流	5 μ A

2)节点不同工作周期使用寿命测试

节点的工作周期是指井盖的状态上报周期，而实际的井盖被盗报警时间是实时的，仅仅需要几秒钟。状态上报

只是告诉后台井盖是在线的，所以上报周期为 8、12 和 24 h 都是合理的。NB-IOT 通信技术的核心竞争优势在于 PSM 低功耗模式下只需要 5 μ A，所以节点在不同的工作周期中的静态功耗，对电池的使用寿命影响很重要。由于智能井盖大部分是发送上行数据，所以在实际应用中，IDLE 态的周期较短，此部分的功耗忽略不计。

根据表 2 所示的测试结果。下面将分析不同的工作周期的电池影响，对井盖的状态上报周期分别设置为 8、12、24 h，如图 8 所示。

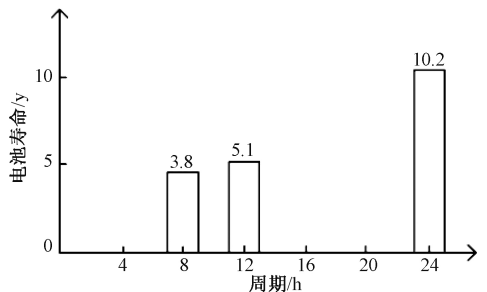


图 8 不同工作周期功耗分析

$$\text{电池工作寿命} : Y = \frac{\text{电池容量}}{\text{平均工作电流}}$$

(1)模块处于发送状态，每次发送 1 min 数据，一年的动态功耗

$$\text{工作周期 } 12 \text{ h} : 49 \times 1/60 \times 2 \times 365 = 596.2 \text{ mAh}$$

(2)模块处于 PSM 状态一年的静态功耗

$$\text{工作周期 } 12 \text{ h} : 0.005 \times 24 \times 2 \times 365 = 87.6 \text{ mAh}$$

(3)电池使用年限，假设电池为 3 500 mAh 的锂电池
工作周期 12 h: $3\ 500 / (596.2 + 87.6) = 5.1 \text{ y}$

以此类推，可以计算出，工作周期为 8、24 h 的电池使用寿命分别为 3.8 和 10.2 y。

3)通信网络环境变化测试

下面通过使用不同增益的天线，测试 NB-IOT 通信模块在不同网络环境变化下发送状态的功耗分析。

根据实验测试的结果得到,当使用内置天线时,平均电流约 295 mA;当使用外置小天线时,通讯状态为-97 dbm,平均电流约 58 mA;当使用外置大天线时,通讯状态为-90 dbm,平均电流约 48.7 mA,如图9所示。

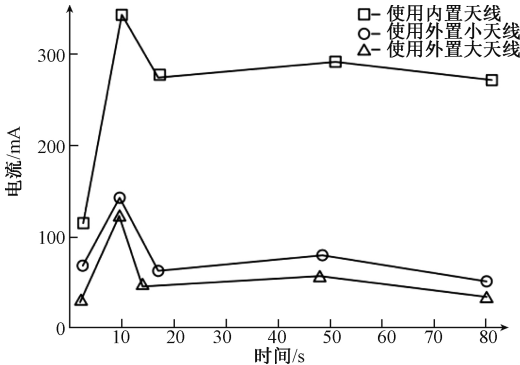


图9 不同天线的功耗分析

由于天线的增益越大,信号越强,传输的距离就越远,所以当发送相同数据时,使用内置或外置小天线,NB-IOT通信模块要想与附近的基站正常的通信,就必须增大发送功率,才能增大传输距离,导致功耗增大。

5.3 低功耗分析与结论

从表2和图7中看到,模块处于活动状态和PSM状态的平均电流只需要49 mA和5 μ A左右。如图8所示,节点的工作周期为8 h,此时的功耗最大,随着工作周期的加长,功耗越来越小,由于最大的工作周期只能为24 h,如果超过24 h,NB-IOT模块在网络的注册信息就会被清除,当需要再次发送数据请求时,需要重新连接网络,这时候的功耗就会增大很多,处于连接状态时的最大峰值电流可以达到127 mA,所以本文将工作周期设置为24 h。

通过测试表明,与其它井盖通信报警系统相比,本文系统的突出优势:1)采用了NB-IOT的无线通信方式,窄带(NB)的优势是抗干扰性强,灵敏度高,而且,与传统的GPRS相比,协议更简洁,与基站连接时间更短,功耗更低,是协议与功耗优化的新一代无线通信。与传统的自组网相比,不存在同频干扰,可以直接与基站连接,通信稳定性更好;2)将井盖的状态上报周期设置为24 h上报一次,3 500 mAh的锂电池可以使用10 y左右,对于城市井盖的大规模使用非常有利。

6 结 论

本文研究的基于NB-IOT的智能井盖系统,充分利用了其低功耗和大连接的优点,使其在智能井盖电池供电和井盖数量越来越大的应用场景下,具备更好的实用性,以及提高了城市井盖的管理效率。基于NB-IOT的智能井盖管理系统将会是智慧城市发展的趋势,由于它是基于LTE网络上的,所以不需要重新建网,进一步节约了成本。不足的是在实验测试中发现,个别地方有信号不够稳定现

象,所以在实际应用中,好的天线设计对NB-IOT通信稳定性是很有帮助的。

参考文献

- [1] 赵士鹏.基于 ZigBee 和 GPRS 的智能井盖远程监控系统设计[J].电子世界,2016(17):158-159.
- [2] 刘磊,孙超山.低功耗远距离无线通信技术及其军事应用分析[J].通信技术,2018,51(2):331-336.
- [3] 吴文斌.短距离无线通信技术在物联网建设中的应用[J].现代信息科技,2018,2(4):185-187.
- [4] LI Y, CHENG X, CAO Y, et al. Smart choice for the smart grid: Narrowband Internet of Things (NB-IoT) [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5(3): 1505-1515.
- [5] YANG G X, LIANG H. A smart wireless paging sensor network for elderly care application using LoRaWAN [J]. IEEE Sensors Journal, 2018, 18(22): 9441-9448.
- [6] 杨磊,梁浩泉,张正,等.基于 LoRa 的物联网低功耗广域系统设计[J].信息通信技术,2017,11(1):40-46.
- [7] 吴细刚.NB-IOT从原理到实践[M].北京:电子工业出版社,2017.
- [8] 盛平,蒋磊,刘晓梅.基于 NB-IoT 的分布式水质测控系统[J].软件导刊,2018,17(10):121-124.
- [9] 秦天宇,冯进良.基于 ZigBee 的智能消防系统[J].电子测量技术,2016,39(8):114-117.
- [10] DUANGSUWAN S, TAKARN A, NUJANKAEW R, et al. A study of air pollution smart sensors LPWAN via NB-IoT for Thailand smart cities 4.0 [C]. Proceedings of the 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology, IEEE, 2018: 206-209.
- [11] LAURIDSEN M, KRIGSLUND R, ROHR M, et al. An empirical NB-IoT power consumption model for battery lifetime estimation [C]. Proceedings of the 87th Vehicular Technology Conference, IEEE, 2018: 1-5.
- [12] 刘毅,孔建坤,牛海涛,等.窄带物联网技术探讨[J].通信技术,2016,49(12):1671-1675.
- [13] 解运洲. NB-IoT 标准体系演进与物联网行业发展[J].物联网学报,2018,2(1):76-87.
- [14] CHEN J, HU K, WANG Q, et al. Narrowband internet of things: implementations and applications [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, 4(6): 2309-2314.
- [15] 邹玉龙,丁晓进,王全全. NB-IoT 关键技术及应用前景[J].中兴通讯技术,2017,23(1):43-46.
- [16] 李贵勇,舒强,李文彬.基于 NB-IoT 系统的 eDRX 的分析与研究[J].电子技术应用,2018,44(8):98-101.

作者简介

李洪(通信作者),硕士,研究方向为无线通信。

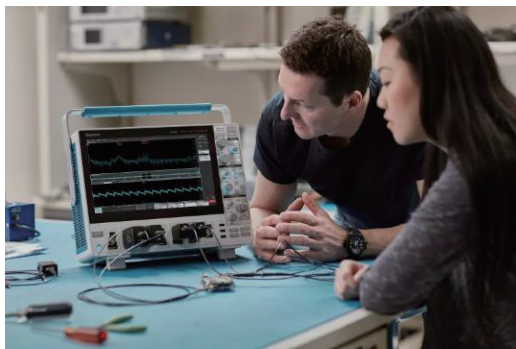
E-mail: 2201596536@qq.com

张雪凡,博士,高级工程师,硕士研究生导师,研究方向为无线通信。

E-mail: 10002461@t.shu.edu.cn

为爱而生 | 泰克全新一代中端示波器

历经一代代传奇之路,泰克科技推出全新 3 系列 MDO 和 4 系列 MSO,打造新一代主流示波器。凭借屡获大奖的高颜值工业设计和高性能表现,泰克为所有工程师提供前所未有的用户体验和更多选择,树立中端示波器行业新标杆。其“更快”,“更准”,“无忧”使工程师每一个设计阶段充满信心,大大提高调试效率,加速产品的研发周期。



全新 3 系列 MDO 和 4 系列 MSO 沿用了屡获大奖的工业设计,与同类相比拥有更大屏幕,更高分辨率的显示,尤其潜意识用户界面设计,大大提高学习效率和仪器操作的效率,让您测试更快,看的更多。硬件升级,采用全新的放大器技术,本底噪声较上一代产品降低了 30%,让您测试更准。泰克一流的产品组合为各种苛刻的应用提供了更多选择,拥有先进的测量和分析功能,为工程师提供了丰富的测试选择。

一、3 和 4 系列的接口设计及触摸屏和前面板,让关键控制功能近在手边,而不用翻阅一层层菜单查找设置,工程师只需双击显示屏上相应的读数或测量即可。

全新 4 系列 MSO 基于 Tek049 新平台,拥有 13.3 英寸显示器,支持 1920×1080 高清分辨率。它提供了高达 1.5 GHz 的带宽,采用 12 位 ADC,其分辨率较传统示波器提高 16 倍,让您对信号幅值测试,尤其小信号测试更加准确。它还拥有六通道和 FlexChannel™ 创新技术,只需连接逻辑探头,任何输入通道都可以从一个模拟通道转成八个数字通道,并且每个数字通道都拥有高达 6.25Gs/s 采样率,数字信号时间分辨率提高 12 倍,让数字信号调试更加准确。

为满足各种应用要求,4 系列 MSO 提供从 200 MHz 起多种带宽选择,支持包括串行解码和分析、任意波形/函数发生器和 DVM/频率计数器在内的多个选项。全新 Spectrum View(频谱视图)功能提供时间相关的频域分析和独立的频谱控制。它还提供了一个功率分析套件,自动进行交流电、开关器件、纹波和时序测量。

二、带宽和选项均可现场升级。所有型号在所有模拟通道和数字通道上提供了 6.25 GS/s 采样率。标配记录长度为 31.25 M,选配记录长度为 62.5 M。

3 系列 MDO 旨在提供紧凑而通用的测试平台,成为每个工程师的桌面必备。它采用时尚的工业设计,拥有 11.6 英寸显示器,支持全高清分辨率。与泰克旗下其他产品一样,它采用直观的用户界面,在工作台上的深度不到 6 英寸。

3 系列 MDO 并不仅是一台可以完成各种调试和验证任务的示波器,它还内置了高达 3 GHz 的频谱分析仪,拥有一个单独的 RF 输入通道,它的性能与一台单独的频谱分析仪相当。工程师可以迅速调试设计中的无线信号,无需其他仪器就能迅速查看 EMI 辐射来源,16 条数字输入通道可用于混合信号分析,选配全面的串行协议解码和触发选项、功率测量选项和 AFG 选项。在产品注册后,还可以免费拥有 DVM/频率计数器功能。

全新 3 系列 MDO 带宽从 100 MHz 起,最高 1 GHz。所有模拟通道都提供了 2.5 GS/s 或 5 GS/s 采样率,数字通道上可提供高达 8.25 GS/s 的采样率,支持 121.2 ps 定时分辨率,标配记录长度是 10 M,带宽和选项可以全面升级。

示波器与被测器件之间的信号连接,对了解棘手的电路至关重要。3 系列 MDO 和 4 系列 MSO 均采用 TekVPI 探头接口,可以接入全系列泰克差分电压探头、有源电压探头和电流探头,以及最新推出的低噪声电源纹波探头和光隔离差分探头。