

# 基于物联网技术的农网智能配变电系统<sup>①</sup>

梁 莉, 杨 林

(西安理工大学 计算机科学与工程学院, 西安 710048)

**摘 要:** 针对农村及偏远地区急需解决智能化配变电设备陈旧及功能单一的问题, 有效增强配电有效性及安全性的需求, 本文设计了一套完整可行的基于物联网技术的农网智能配变电系统. 可以实现对电网电参数及用户电量信息的数据采集, 数据传输、数据处理、异常报警、谐波分析等多功能为一体的农网配变电管理系统; 本文从系统架构到各部分的组成进行了概述, 详细的描述了部分设计过程和设计难点; 以谐波分析为例进行结果验证. 通过实际应用表明, 该设计改善了农网配变电的现状, 提高了配变电设备的功能, 并能通过物联网来监测设备的运行.

**关键词:** 物联网; 智能电网; 体系结构; 谐波分析; 配变终端

## Electrical System of Rural Intelligent Allocation Based on IOT Technology

LIANG Li, YANG Lin

(Faculty of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Due to problem of obsolete and sole function equipment and the requirement of improving power distribution efficiency and security in rural and remote areas, a design of intelligent power distribution system in rural grid based on Internet of Things (IoT) technology is proposed in this paper. The functions of collecting the data of electric quantity information, data processing and transmission of the data, alarming in abnormal state and analyzing the harmonic are realized in the rural intelligent power distribution system. In this paper, the system architecture and composition are summarized; the design process and key points are described in detail; the results of the harmonic analysis are validated. The application of the system indicates that it can improve the distribution efficiency to optimize status of rural distribution substation, and monitor the operation of the equipment based on the IOT.

**Key words:** internet of things; smart grid; system architecture; harmonic analysis; power distribution terminal

智能配电终端是配电自动化系统的重要组成部分, 用于配电系统变压器、断路器、无功补偿电容器等的监测与控制, 与配电自动化主站通信, 提供配电系统运行控制及管理所需的数据, 执行主站给出的对配电设备的控制调节命令<sup>[1]</sup>. 在农网中应用大量的智能配变终端后, 不仅可以对配变总表进行集中的抄表, 而且可以对用户表进行全天候监测, 可减少抄表过程中的人力、物力和财力的付出, 同时有利于维护良好的供电秩序, 促进电网事业发展的稳定性和安全性<sup>[2]</sup>. 目前我国已经生产出大量的智能终端设备, 并应用于生活

当中. 但在农村, 输电电路比较长, 电压质量较差, 配电设备陈旧, 且大多数设备不能远程遥控. 对于配电网运行状态的重视不够, 监测设备少, 同时信息传输通道缺乏, 导致对配电网的故障处理的时间较长, 故障处理结束后恢复供电也比较缓慢.

物联网技术的发展使信息技术有了革命性的进展, 其应用更是促进了各行各业的快速发展和智能化管理, 解决了很多传统行业未曾解决的疑难问题<sup>[3,4]</sup>. 随着物联网的发展及国家电力事业建设过程中新技术和智能应用的大力推进, 给农网智能配变电的发展带来了巨

<sup>①</sup> 收稿时间:2015-10-30;收到修改稿时间:2015-12-10 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005217]

大的需求和前景. 特别是物联网技术的逐步成熟, 给农网配变电系统带来的智能化程度是前所未有的.

因此, 我国现如今需要加快农网智能终端系统的研究, 将其尽快应用到实践中, 以解决农网中存在的各种问题. 该智能配变系统主要用于农网智能型低压配电箱内, 物联网终端设备采用 GPRS 和以太网两种数据通讯方式, 将农网配电箱内的断路器、剩余电流漏电动作断路器、无功补偿投切状态、配电变压器工况、计量电表等数据上报. 对相关的用电信息数据进行监测, 实现供电电监测、控制和管理, 具有远程抄表、用电异常信息报警、负荷管理与控制等多种功能.

### 1 系统体系结构

本文研究基于物联网技术实现的智能配变电系统. 目前物联网技术的定义仍然没有一个官方的详细描述<sup>[5]</sup>, 其应用却已慢慢走入人们生活的方方面面. 本系统采用三层结构: 感知层、传输层、和应用层构成, 系统结构如图 1 所示.

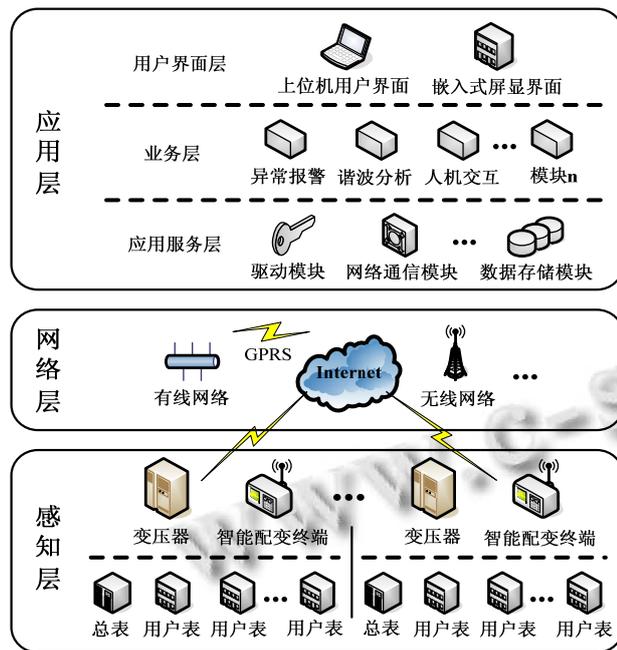


图 1 农网智能配变系统物联网体系结构

1) 感知层: 通过各种传感器节点对农网配变电过程中可能影响农网正常运行的参数进行实时采集和监测. 如: 农网低压配电箱内的断路器、剩余电流漏电动作断路器、无功补偿投切状态、配电变压器工况、计量电表及相关的用电信息等.

2) 传输层: 感知层采集的数据一部分被配变终端设备按照一定策略自行处理, 大多数数据通过信息传输层中的有线和无线传输技术传输至远端的后台系统中进行统一的信息管理及进一步的专家系统分析.

3) 应用层: 本层的功能最为复杂, 本系统将其再次细分为应用服务层、业务层、用户界面层. 应用服务层主要是系统的基本部分, 包括数据的存储、网络通信、驱动设计模块等. 业务逻辑层是系统的核心部分, 有数据分析、谐波分析、无功补偿、异常报警、设备运行情况管理、人机交互设计等模块. 最上层是用户界面层, 负责在电脑和配变终端的显示界面, 实现人机交互的目的.

### 2 系统硬件实现

配变终端根据国家电网公司 Q/GDW 614-2011《农网智能型低压配电箱功能规范和技术条件》与 Q/GDW 615-2011《农网智能型低压配电箱功能规范和技术条件》的标准研发设计出农网智能终端. 该农网智能终端的结构框图如图 2 所示, 每个模块的功能简介如下.

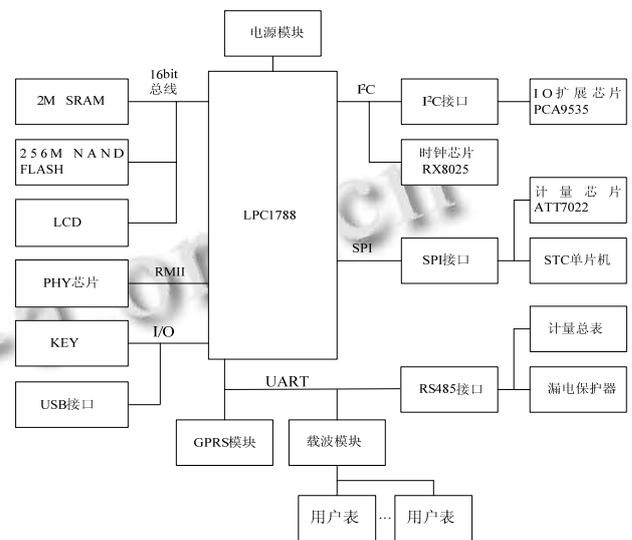


图 2 智能配变终端结构框图

1) 核心板: 本系统选用 ARM Cortex-M3 的微控制器 LPC1788 为处理单元. 包括 512KB 的 Flash 存储器、96KB 的数据存储器、4KB 的 EEPROM 存储器、一个用于 SDRAM 和静态存储器存取的外部存储器控制器 EMC、一个 LCD 面板控制器、以太网 MAC、USB 全速 Device/Host/OTG 控制器、CAN 总线控制器、SSP 控制器、UART 接口、SPI 接口、I2C 接口、I2S 接口、

窗口式看门狗定时器以及多达 165 个通用 I/O 管脚还有电源模块等。

2) 存储模块: 主要用来对系统的各种电量信息, 用户用电信息, 以及故障信息等进行数据的存储。由于存储的数据量过大, 处理器本身的存储器并不能够满足需求, 因此, 对存储器扩展了一片 2MB 的 SRAM, 一片 256MB 的 NAND FLASH 型号为 K9F2G08U0A, 使其能准确并大量的存储各种信息。

3) 电源模块: 用来给农网智能终端中各模块供电, 提供 5V 与 3.3V 的电压信号, 满足系统内部各个芯片的供电电压, 从而使系统能够正常工作。在此基础上设计了锂电池充放电电路作为后备电源, 保证农网智能终端在掉电的情况下, 依旧能够正常工作。

4) 有线通信模块: 本系统采用有线以太网接口芯片 DM9000, 该芯片集成了 10/100M 的物理层接口, 其内部自带 16KB 的 SRAM 作为接收和发送的 FIFO 缓存。该芯片有两种主机工作模式, 具有 AUTO-MDIX(支持直接互连自动翻转)功能, 并且该功能已通过了 HP 认证。DM9000 遵循 IEEE 颁布的 802.3 以太网传输协议。

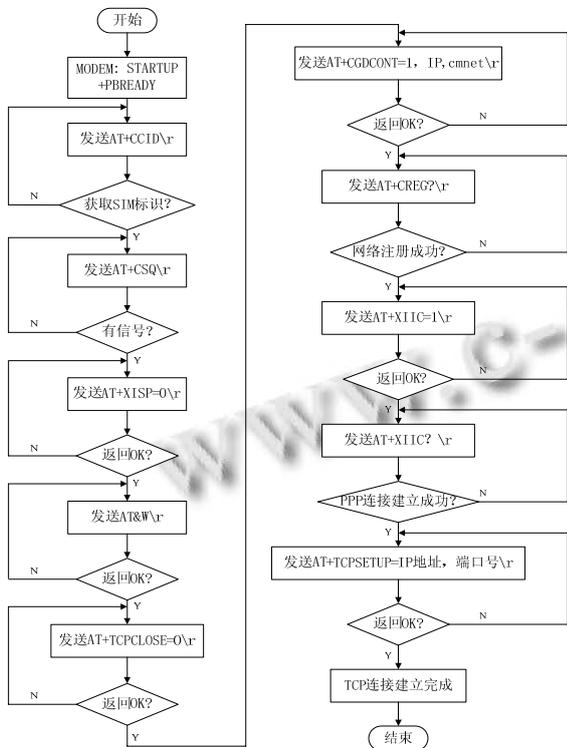


图3 建立 TCP 连接流程图

5) 无线通信模块: 本系统选用 M590 GPRS 无线

通信模块, 是一款 Dual Band 的 GSM/GPRS 工业无线模块, 提供短信、数据业务等功能。有方 M590 内部带有 TCP/IP 协议栈, 本系统主要通过 AT 指令完成对该模块的操作。选择建立 TCP 连接来进行数据的传输, 因此只需调用相关 AT 指令集建立 TCP 连接后, 便可进行数据的传输, 建立过程如图 3 所示。通信模块采用 376.1 电网数据传输规约进行数据的传输, 不仅可以接受主站信息, 并且具有主动上报的功能, 用于主动将当前重要信息和异常状态及时反馈给主站。

对于智能配变终端的实际使用情况以及系统的功能需求, 在设计中还对 LPC1788 的核心板进行了相关的扩展配置, 如: 采集板卡、时钟板卡、开关量板卡、屏显板卡等在此不再赘述。

### 3 系统软件实现

#### 3.1 软件系统架构

该系统有下位机软件 and 上位机软件两部分, 其中下位机系统主要包括 Boot Loader 引导程序、μC/OS-II 内核、硬件驱动程序以及应用程序; 应用程序主要包括 A/D 数据采集、数据处理、数据存储、异常上报和通信等。上位机程序包括远程摇信、预测报警、谐波分析、终端管理、用户管理、人机交互等。该智能配变系统的主要功能划分如图 4 所示。

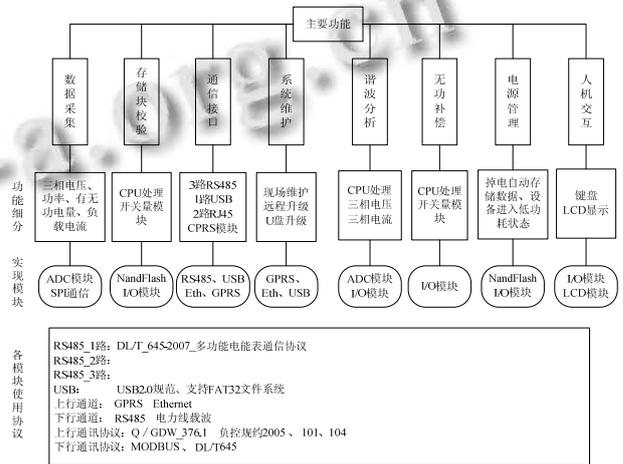


图4 主要功能划分图

ADC 模块: 负责对信号进行 A/D 采样, 并用 RS485 通信对三相电压、功率、有功无功电量、负载电流进行采集。

SPI 通信模块: 主要负责连接计量芯片, 采集各种电能参数信息。

Q/GDW 376.1 协议模块: 负责主站与配变终端的通信.

GPRS/USB 模块: 主要完成现场维护、远程数据传输、远程系统升级、U 盘直插升级等功能.

RS485 /USB/GPRS 驱动模块: 主要对底层驱动的编写, 目的是为上层协议提供使用各个通讯方式的发送接收接口.

LCD 模块: 主要完成的功能是配合物理按键, 能够对当前的部分电网参数进行实时显示.

I/O 模块: 目的是实现电容补偿投切开关的控制、谐波分析的具体算法, 能够正确快速的完成计算.

Nand Flash 模块: 合理的安排优先的存储空间, 对需要存储的历史数据进行正确存储, 并能够在停电时自动检测并启动备用电池对系统运行数据进行存储, 实现掉电保护, 以便系统上电之后继续运行.

### 3.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式操作系统实现

本系统选用  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  这款嵌入式多任务实时操作系统, 它结构简洁精炼, 可读性强<sup>[6]</sup>, 占用空间小, 移植性好, 执行效率高, 并具有较强的可扩展性<sup>[7]</sup>, 并且源代码公开, 体系结构如图 5 所示.

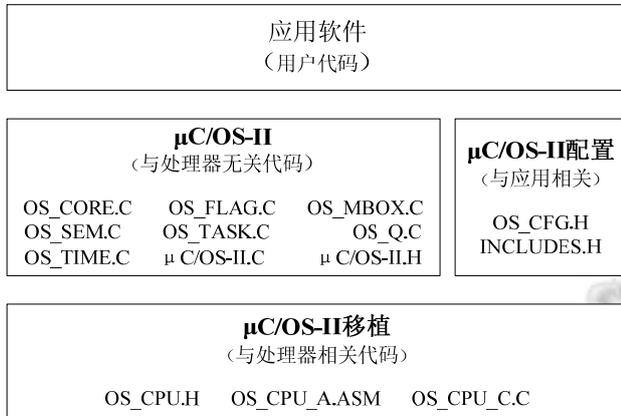


图 5  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  体系结构图

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$  中的任务一共有运行态、就绪态、睡眠态、挂起态以及中断服务态 5 种状态, 而每一个任务都是在这 5 种不同的状态之间发生转换, 任务状态及其转换关系如图 6 所示.  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  正是通过控制不同任务间的状态转换, 从而实现任务的管理与调度.

功能划分好后, 将各个功能封装成  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  系统级下的任务, 并且针对功能要求拟定任务的优先级, 对共享资源安排相应的互斥信号量, 防止资源竞争. 任务划分如下表:

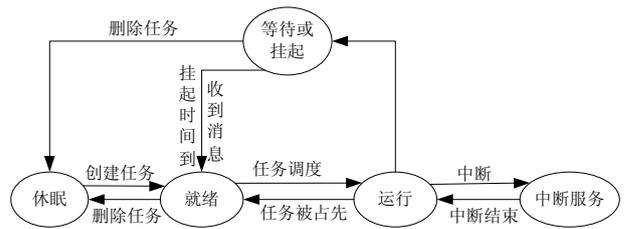


图 6 任务调度图

表 1  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  任务分配表

任务 1 : 系统启动任务	任务 2 : 时钟滴答任务
任务 3-4 : 以太网任务	任务 5 : GPRS 通信任务
任务 6-9 : 进、出线交采	任务 10 : 电容投切任务
任务 11 : 485 总线任务	任务 12 : 载波任务
任务 13 : LED 灯运行任务	任务 14 : GUI 显示任务
任务 15 : 电源管理任务	任务 16 : 数据存储任务

本系统对整个农网智能终端的功能进行实时的调度与分配, 从而使农网智能终端在稳定运行的同时, 能够迅速响应主站的请求并且及时发现异常状况进行报警.

## 4 系统测试

配变终端可对电网中电量数据进行采集, 并对数据进一步分析来达到监控和异常报警等目的. 其中谐波分析就是一个极为重要的指标, 此处以谐波测试为例验证系统正确性. 本文设计的智能终端在当地计量中心进行谐波检测的结果如表 3 和表 4 所示. 其中表 3 是本文设计的智能终端检测的谐波含有率结果, 表 4 是计量中心功率源发出的各次标准谐波含有率. 文献<sup>[8]</sup>规定了中压和低压电网中谐波的兼容值为 8%, 其中各次谐波如表 2 所示.

表 2 低压电网中各次谐波的兼容水平

谐波次数	谐波电压的兼容水平(%)
2	2
3	5
7	5
8	0.5
12	0.2
13	3
17	2
18	0.2
19	1.5

表3 谐波含有率计算值

	谐波电压含有率(%)		
	A相	B相	C相
2次	0.0	0.0	0.0
3次	2.1	1.9	2.1
7次	0.6	0.4	0.5
8次	0.0	0.0	0.0
12次	0.0	0.0	0.0
13次	0.3	0.2	0.3
17次	0.2	0.1	0.1
18次	0.0	0.0	0.0
19次	0.1	0.0	0.0

表4 谐波含有率标准值

	谐波电压含有率(%)		
	A相	B相	C相
2次	0.0	0.0	0.0
3次	2.0	2.0	2.0
7次	0.5	0.5	0.5
8次	0.0	0.0	0.0
12次	0.0	0.0	0.0
13次	0.2	0.2	0.3
17次	0.1	0.1	0.1
18次	0.0	0.0	0.0
19次	0.1	0.1	0.1

智能终端从电网上采集的数据,通过无线 GPRS 通信方式成功将数据从终端传输至上位机进行进一步分析计算.将得到的计算结果和当地标准值进行对比来验证系统对谐波分析的正确性.从表3可以看出电网中ABC三相电压的各次谐波含量均不大,且电网中的谐波含量也处于正常范围内.通过表2与表3的对比,可以看出本文设计出的智能终端所分析的各次谐波均满足了低压电网的谐波兼容值.通过表3与表4的对比,可以看出本终端的谐波含有率计算值与标准值误差在0.1%以内,从而达到了谐波分析的目的;在计量中心测试成功后将设备转为情况更为复杂的现场测试,图7所示为现场测试数据.

对于无功补偿,选用5组电容器组进行实验,将1、2两组设置为共补,3设置为A相分补,4设置为B相分补,5设置为C相分补.设目标功率因数为0.95,偏差为±0.03,选择自动投切控制,由于读取到的功率因数小于目标值,与复合开关对应的LED灯3,4,5,1依次点亮,过一段时间后2也点亮,观察对应的工作状态寄存器的值,查看实时数据,电容器组投切累计

时间和次数正确,此时设置为手动控制,切除1、5电容器组,对应的LED灯灭.再次观察工作状态寄存器的值,其他参数信息显示正确,考虑各种情况进行投切实验,实验结果均能进行有效投切和数据存储.表5、表6则是对各阶段控制器采集的电压、电流经过计算后得到的电网参数结果.将正序电压、电流接入电压、电流端子,按表5、表6对各阶段进行测量校验(电压加0V、44V、176V、220V;电流加0A、1A、3A、5A).

谐波电压含有率		谐波电流含有率		
谐波次数	总	A	B	C
2次	6.4	6.7	7.0%	2.3
3次	0.5	2.5	2.8%	1.8
4次	3.8	6.3	2.9%	2.0
5次	0.4	2.2	2.5%	1.9
6次	0.9	1.9	1.9%	3.7
7次	0.4	2.1	2.3%	1.7
8次	1.0	1.9	1.7%	1.2
9次	0.3	1.9	2.1%	1.6
10次	1.0	1.1	2.9%	1.5
11次	0.3	1.8	2.0%	1.5
12次	0.5	2.0	2.3%	0.9
13次	0.3	1.7	1.9%	1.4
14次	0.2	1.4	1.8%	1.5
15次	0.3	1.6	1.8%	1.2
16次	0.3	1.7	1.6%	1.3
17次	0.3	1.5	1.7%	1.2
18次	0.2	1.5	1.7%	1.3
19次	0.2	1.5	1.7%	1.2

图7 现场电压电流2~N谐波含有率

表5 电网电压计算值

标准电压(V)	0	44	176	220	误差
UA(V)	0.003	43.932	176.063	220.143	<0.5%
UB(V)	0.013	44.027	176.083	220.276	<0.5%
UC(V)	0.008	44.009	175.984	220.162	<0.5%

表6 电网电流计算值

标准电流(A)	0	1	3	5	误差
IA(A)	0.031	1.023	3.131	5.102	<0.5%
IB(A)	0.074	1.075	3.074	5.074	<0.5%
IC(A)	0.025	1.044	3.094	5.117	<0.5%

从各类实验数据分析可得,电压电流的误差均在0.5%之内.谐波和功率因数的控制也都在合理的区间.因此农网智能配变电系统的各个参数符合要求,设备运行正常设计合理.满足该智能配变终端的设计目的.

## 5 结语

此次研究最终设计出一个稳定高效的产品.在物联网技术的基础上实现远程监测、控制智能终端设备.不仅能够实现对配电变压器、进出线开关、剩余电流

动作保护器、智能电能表等运行信息进行采集和用户用电信息进行收集, 而且完成配电变压器计量总表监测、状态监测、谐波监测等功能, 还具有远程抄表、用电异常信息报警、负荷管理与控制等多种功能。

本文所设计出的智能终端已经在部分地区进行试运行, 其运行效果满足了所有设计的功能需求。其软件界面和硬件实物展示如图 8 所示。



图 8 软件界面和硬件实物展示

#### 参考文献

1 陈燕辉. 配电网终端现场智能通信装置的研究与实施[学位论文]. 长沙: 中南大学, 2003.

- 2 刘丽红, 刘丽华, 辛志莲. 配变终端智能表通讯故障原因及处理措施. 电子制作, 2014, 4: 229.
- 3 刘洋, 张钢, 韩璐. 基于物联网与云计算服务的农业温室智能化平台研究与应用. 计算机应用研究, 2013, 11: 3331-3335.
- 4 王国强, 张根保, 陈家焱, 洪涛. 基于物联网技术的数控机床运行监视预警系统研究. 计算机应用研究, 2013, 12: 3682-3685.
- 5 侯俊军, 白杨. 物联网标准供给不足问题研究——以关键技术标准发展为例. 科技进步与对策, 2015, 12: 61-66.
- 6 任哲. 嵌入式实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  原理及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014: 1-12.
- 7 陈是知.  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  内核分析、移植与驱动程序开发. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 64-89.
- 8 GB/T 18039.3-2003/IEC 61000-2-2. 电磁兼容环境公用低压供电系统低频传导骚扰及信号传输的兼容水平. 北京: 中国标准出版社, 2003: 2-6.