

# 基于北斗卫星导航技术的配电自动化通信终端设计

向军<sup>1†</sup>, 朱娇<sup>1</sup>, 吴春吉<sup>2</sup>, 方雪琴<sup>3</sup>, 邢治政<sup>2</sup>

(1. 海南电网有限责任公司, 海南 海口 570000; 2. 海南电网有限责任公司 信息通信分公司, 海南 海口 570000;  
3. 南方电网海南数字电网研究院有限公司, 海南 海口 570000)

**摘要:** 为了提高配电自动化通信终端的通信可靠性和抗干扰性, 设计了基于北斗卫星导航技术的配电自动化通信终端。具体设计配电自动化通信终端总体架构、通信终端载体和通信终端运行主程序, 在北斗控制单元中编写信息传入速率控制程序, 调控终端功率大小, 实现信号传入速率控制, 采用射频信号处理程序对射频信号进行滤波和放大。测试结果表明: 设计的配电自动化通信终端通信收发损失程度均在 5 以下, 信噪比均大于 10, 说明该终端的通信可靠性较高、通信抗干扰性较强。

**关键词:** 北斗卫星导航技术; 通信载体; 通信程序; 配电自动化通信终端; 性能验证

中图分类号: TP222.87

文献标识码: A

## Design of Distribution Automation Communication Terminal Based on Beidou Satellite Navigation Technology

XIANG Jun<sup>1†</sup>, ZHU Jiao<sup>1</sup>, WU Chunji<sup>2</sup>, FANG Xueqin<sup>3</sup>, XING Yizheng<sup>2</sup>

(1. Hainan Power Grid Co., Ltd., Haikou, Hainan 570000, China;

2. Information and Communication Branch of Hainan Power Grid, Haikou, Hainan 570000, China;

3. Hainan Digital Grid Research Institute, China Southern Power Grid, Haikou, Hainan 570000, China)

**Abstract:** In order to improve the communication reliability and anti-interference of distribution automation communication terminal, a distribution automation communication terminal based on Beidou satellite navigation technology is designed. The overall architecture, communication terminal carrier and the main program of the communication terminal of distribution automation communication terminal is designed, and the information transmission rate control program is written in the Beidou control unit to regulate the terminal power and realize the signal transmission rate control; The RF signal processing program is used to filter and amplify the RF signal. The test results show that the communication loss of the designed distribution automation communication terminal is less than 5, and the signal-to-noise ratio is greater than 10, indicating that the terminal has high communication reliability and strong communication anti-interference.

**Key words:** Beidou satellite navigation technology; communication carrier; communication procedures; distribution automation communication terminal; performance verification

通信终端是配电实现自动化的基础和核心。借助通信终端能够将实时采集到的配电网运行数据传输到总站, 给调度人员提供判断依据。为了实现配电通信的有效性、可靠性, 通信终端具有更高

的设计要求, 即提高通信的可靠性、抗干扰性等性能<sup>[1-2]</sup>。

目前, 关于通信终端的设计有很多。王兴涛、赵训威、付海旋等人围绕嵌入式 ARM 芯片

GD32F450 构建系统架构。通过主控单元、通信模组、电源单元以及外围接口单元组建通信终端硬件,并设计三层终端软件以及软件功能程序<sup>[3]</sup>。王云棣、王兴涛、吴庆等人在其研究中以 ARM9-Linux 嵌入式系统作为电力无线专网远程通信终端的主控平台;通过模组连通 1.8 GHz 专网基站及核心网,设计通信端总体结构;设计了该终端的硬件部分,包括 AFIM 核心控制器电路、电源模块、通信模组电路、USIM 卡模块电路等;设计终端的软件部分,即 ARM9-Linux 嵌入式系统与各个部分的通信程序<sup>[4]</sup>。

虽然上述前人的研究都取得了一定的成功,但是其中的终端通信模块受到通信载体的限制,通信可靠性以及抗干扰性都没有完全达到通信设计要求。为了解决这一问题,设计一种基于北斗卫星导航技术的配电自动化通信终端。以期通过该研究提高配电通信性能,促进配电自动化建设步伐。

## 1 配电自动化通信终端总体架构设计

北斗卫星导航技术应用到电力通信当中,能够避免通信组网时布线难度过大的问题,降低通信布线成本<sup>[5]</sup>。基于北斗卫星导航技术的配电自动化通信终端总体架构如图 1 所示。从图 1 可以看出,配电自动化通信终端总体架构主要由通信模组(发送单元、接收单元组成)上下行连接而成,上行通过指挥中心相连,下行与配电末端设备相连,通过北斗导航卫星实现信息通信、数据交互<sup>[6]</sup>。

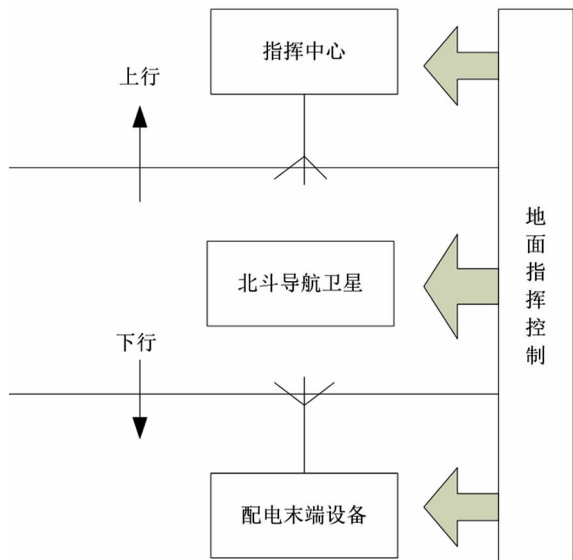


图 1 基于北斗卫星导航技术的配电自动化通信终端架构

## 2 配电自动化通信终端载体设计

配电自动化通信终端的作用是进行信息传输与转发,配电自动化通信终端载体的组成结构如图 2 所示<sup>[7]</sup>。

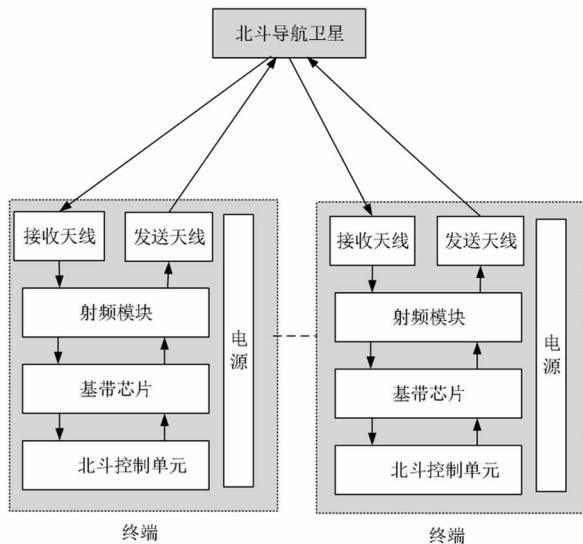


图 2 配电自动化通信终端载体组成结构

(1) 北斗卫星通信模组单元。收、发天线用于接收、发送射频信号;射频模块集成了北斗射频通道、滤波器、功率放大器,用于完成对北斗信号的上、下变频功能;基带芯片用于进行北斗信号的解调<sup>[8]</sup>。

(2) 北斗控制单元。北斗控制单元通过串口与基带芯片相连,是整个终端的“大脑”,用于对信号进行解析与转换处理,以及承载各种通信控制程序<sup>[9]</sup>。

(3) 电源单元。电源单元负责现场电源电压的转换,然后通过上面的排针接口给配电自动化通信终端输送运行能源<sup>[10]</sup>。

## 3 配电自动化通信终端运行程序设计

### 3.1 基于北斗卫星导航的通信终端运行主程序

基于北斗卫星导航技术设计的通信终端,其通信流程如图 3 所示,通信终端运行的具体过程如下。

(1) 配电自动化通信终端初始化;

(2) 判断是否存在通信申请;

(3) 当存在申请时,进行入网验证,判断申请人身份是否合理;若合理,同意入网,否则不同意入网;

- (4) 申请人通过向卫星发出信息发送请求;
- (5) 北斗卫星对发送请求进行解析;
- (6) 北斗卫星确定通信终端位置,并获取当前位置信息;
- (7) 发送端通过发射天线向北斗卫星发送包含发送信息的射频信号;
- (8) 北斗卫星接收射频信号;
- (9) 北斗卫星将信号转发给通信终端;
- (10) 通信终端通过接收天线接收射频信号;
- (11) 射频模块对射频信号进行滤波和放大。
- (12) 基带芯片对北斗信号进行解调,并传入北斗控制单元;
- (13) 北斗控制单元对北斗信号进行处理,得出信号中包含的信息;
- (14) 将信息通过接口发送给接收端,完成整个通信过程<sup>[11]</sup>。

### 3.2 信号接收控制程序

通信终端接入北斗卫星网络后,北斗卫星会转发大量的信息给通信终端。现实情况中,大量信号同时发送给通信终端时,信号会同时涌入一个通信链路,造成信道拥挤,数据丢包问题<sup>[12]</sup>。为了解决这一问题,在配电自动化通信终端北斗控制单元中编写信息传入速率控制程序。控制程序的核心算法如下:

$$R = f \left[ \frac{k_1 e + k_2 e + k_3 e}{E} \right] \quad (1)$$

式中,  $R$  代表输出的控制量;  $e$  代表误差;  $E$  代表实际值;  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  分别代表比例、积分以及微分系数;  $T_i$  代表积分时间常数;  $f$  代表控制函数。

该程序以事先设置的信号接收速率为参考,通过计算与实际之间的误差得出控制量,来不断调控终端功率大小,从而实现信号传入速率控制。

### 3.3 射频信号处理程序

射频信号到达通信终端后,需要被滤波和放大。

#### (1) 射频信号滤波。

射频信号滤波的作用是消除射频信号中的干扰信号。首先导入射频信号到滤波器当中,然后进行射频信号分解,最后重构。具体过程如下:选出射频信号在一段时间内的两个峰值,并进行拟合,然后计算二者之间的平均值,计算公式如下:

$$\bar{P} = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} \quad (2)$$

式中,  $\bar{P}$  代表射频信号中两个峰值的平均值;  $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$  代表射频信号的极大峰值和极小峰值。

利用未处理的射频信号减去  $\bar{P}$ , 得出  $\Delta P$ 。之后判断  $\Delta P$  是否满足分解条件。若不满足,重复上述步骤;若满足,则得出一个去掉高频噪声的剩余分量。

$$Q_1 = P - \Delta P \quad (3)$$

式中,  $Q_1$  代表第 1 个消除高频的剩余分量;  $P$  代表原始射频信号。

重复上述过程,得到  $n$  个高频剩余分量,记为

$$\begin{cases} Q_1 = P - \Delta P \\ Q_2 = Q_1 - \Delta P \\ Q_3 = Q_2 - \Delta P \\ \dots \\ Q_n = Q_{n-1} - \Delta P \end{cases} \quad (4)$$

最后进行射频信号重构,即可得到一个消除高

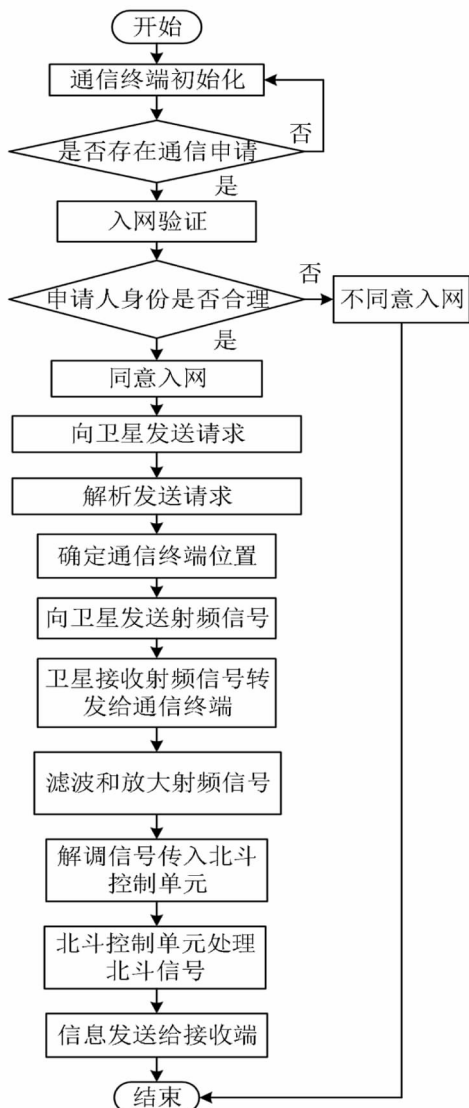


图 3 通信终端运行主程序流程图

频部分的射频信号,实现射频信号滤波净化。

(2)射频信号放大。

射频信号放大的作用是提高通信质量,改善通信效果。射频信号放大主要通过一个放大器来实现,其描述如下:

$$Y = -RI \cdot f(y) \quad (5)$$

式中, $Y$ 代表放大后的射频信号; $y$ 代表原始射频信号; $R$ 代表电阻; $I$ 代表电流; $f(y)$ 代表信号放大函数,公式如下:

$$f(y) = \begin{cases} 1, W \leq T \\ 0, W > T \end{cases} \quad (6)$$

式中, $W$ 代表射频信号强度; $T$ 代表设定的阈值。

## 4 性能的验证测试

### 4.1 通信终端布设

在  $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$  的范围内布设 10 个配电自动化通信终端,以此为媒介,进行外围设备与配电总站之间的信息传输。配电自动化通信终端布设方案如图 4 所示。

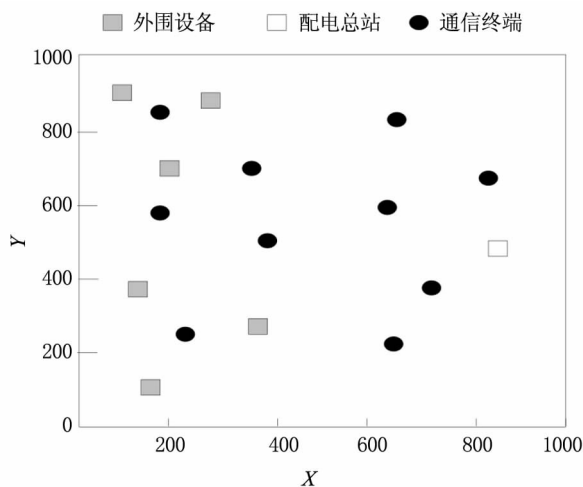


图 4 配电自动化通信终端布设方案

### 4.2 设置配电自动化通信终端通信参数

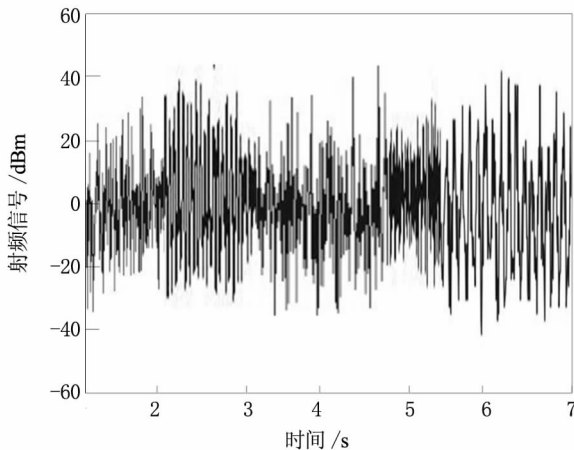
在表 1 的参数设置下进行外围设备与配电总站之间的通信。

### 4.3 射频信号处理

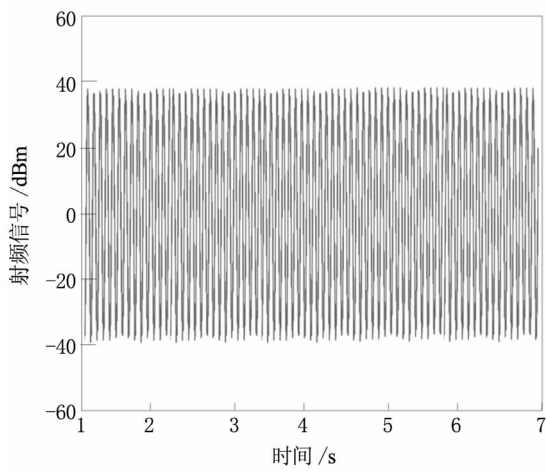
基于 3.3 的研究,射频信号滤波和放大处理结果如图 5 所示。

表 1 配电自动化通信终端通信参数设置

名称	参数
北斗导航卫星	北斗一号
北斗卫星数量	3 颗
接收频率	$1550 \pm 5.50 \text{ MHz}$
发射频率	$1000 \pm 5.50 \text{ MHz}$
接收通道数	5
发射通道数	10
接收天线极化方式	右旋圆极化
发射天线极化方式	左旋圆极化
每次发射时间	2s
发射一次的时间间隔	1 min
通信次数	100 次
圆极化轴比	1:2



(a) 滤波后的射频信号



(b) 放大后的射频信号

图 5 射频信号处理结果

#### 4.4 测试指标

将通信收发损失以及信噪比作为终端性能测试的两个指标。通信收发损失是指经过所设计终端进行收发后数据的损失程度,用于衡量通信终端的通信可靠性,计算公式如下:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_{i1} - V_{i2}}{V_{i1}}}{n} \quad (7)$$

式中,  $\varphi$  代表通信收发损失程度,要求小于或等于 5;  $V_{i1}$  代表通信前数据量;  $V_{i2}$  代表通信后数据量;  $n$  代表通信次数。

#### 4.5 结果与分析

##### 4.5.1 通信收发损失测试结果

在所设计通信终端应用下,产生的通信收发损失如图 6 所示。从图 6 可以看出,所设计终端应用下所产生的通信收发损失程度均在 5 以下,说明该终端的通信可靠性较高。

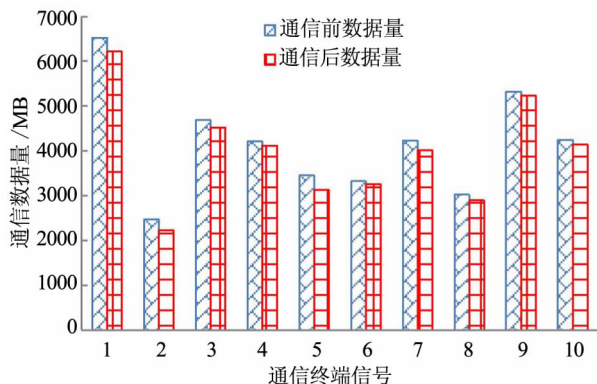


图 6 通信收发损失测试

##### 4.5.2 信噪比测试结果

在所设计通信终端应用下,产生的信噪比如表 2 所示。从表 2 可以看出,所设计终端应用下,信噪比均大于 10,说明该终端的通信抗干扰性较强。

表 2 信噪比测试

通信终端	信号功率 /W	噪声功率 /W	信噪比 /dB
1	25.62	3.65	16.52
2	24.32	3.01	17.54
3	22.54	2.57	15.21
4	30.24	2.63	15.44
5	30.12	3.55	16.54
6	20.14	3.20	14.78
7	20.68	3.22	15.88
8	23.66	2.53	14.52
9	24.32	2.33	15.63
10	25.33	2.42	17.22

## 5 结 论

为实现配电工作的自动化,其通信建设和完善至关重要,为此设计了基于北斗卫星导航技术的配电自动化通信终端。利用北斗卫星导航技术实现数据的转发,设计通信终端的收发机制。终端性能验证结果表明,所设计的通信终端通信收发损失程度以及信噪比均满足要求,证明了配电自动化通信终端的性能可以用于实际。但受到各方面的限制,研究仍存在少许不足之处,所设计的终端在环境温度、防水等级等方面还有待进一步完善。

## 参考文献

- [1] 王阿昊,陈俊平,张益泽,等. 基于分区综合改正数的北斗卫星导航系统和 GPS 组合的动态精密单点定位[J]. 同济大学学报(自然科学版),2020,48(3):447-455.
- [2] 赵娟,白春,胡亚辉,等. 基于北斗卫星的船载无人机惯性导航定位系统[J]. 舰船科学技术,2020,42(8):139-141.
- [3] 王兴涛,赵训威,付海旋,等. 基于嵌入式系统的电力无线专网远程通信终端研制[J]. 电子技术应用,2020,46(1):108-112.
- [4] 王云隼,王兴涛,吴庆,等. 1.8GHz 电力无线专网远程通信终端设计[J]. 电子技术应用,2020,46(5):88-92.
- [5] 王尔申,丛笑林,徐嵩,等. 基于 ADS-B 报文的“北斗”便携式终端实现[J]. 电讯技术,2020,60(2):229-233.
- [6] 赵鹏飞,陈高峰,李小娟,等. 基于北斗三号导航系统的卫星定位技术[J]. 中国空间科学技术,2022,42(2):64-70.
- [7] 尹小俊,陈崇成,李瑞兴,等. 基于 LoRa 集成北斗通信技术的应急响应设计与实现[J]. 福州大学学报(自然科学版),2020,48(2):167-173.
- [8] 张晨,张更新,王显煜. 基于跳波束的新一代高通量卫星通信系统设计[J]. 通信学报,2020,41(7):59-72.
- [9] 钟士元,熊宁,张成昊,等. 配电网网架结构与配电自动化终端协同规划方法[J]. 电力建设,2020,41(3):23-30.
- [10] 赵利刚,黄冠标,翟鹤峰,等. 基于 FPGA 的有源配电网实时仿真器高速网络通讯接口设计[J]. 电力系统及其自动化学报,2020,32(5):86-92+98.
- [11] 席禹,陈波,袁智勇,等. 基于 IEC 61850 的配电自动化终端建模与测试需求研究[J]. 电测与仪表,2020,57(7):41-47.
- [12] 王艳,陈浩,赵洪山,等. 网络模式下配电网物联网载波通信匹配组网方法[J]. 电力自动化设备,2021,41(6):59-65+80+66.