

# Research in Anti-Theft Position Monitoring System of Power Cable Based on Pulse Modulation Technique

Wei Chen<sup>1</sup>, Bin Xiang<sup>1</sup>, Fan Yang<sup>2</sup>, Xiaorui Hu<sup>1</sup>, Qian Wang<sup>1</sup>, Qi Yang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electric Power Research Institute, State Grid Chongqing Electric Power Corporation, Chongqing

<sup>2</sup>School of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: 475726290@qq.com

Received: Sep. 30<sup>th</sup>, 2016; accepted: Oct. 16<sup>th</sup>, 2016; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The occurrences of cable theft often hits the newspapers, an anti-theft position monitoring system is designed based on the pulse modulation technique and the basic theory of travelling wave method. The system includes a pulse transmitter circuit, AD sampling circuit, measuring circuit, GSM wireless communications, and buzzer alarm circuit module. Owing to the shortage of an obvious blind zone in measuring the pulse and the existence of waveform distortion for the high-frequency harmonic components, the traditional method using fixed pulse wave cannot satisfy the requirement of accuracy. The pulse modulation technique is used to achieve security monitoring of the power cables. Finally, experimental tests have shown that the developed positioning device can monitor the status of power cable and quickly diagnose whether the cable is stolen or not. In addition, the measurement shows that the system has a low error and rapid response characteristics. The theoretical method and experiment verify the accuracy of the system unit.

## Keywords

Pulse Modulation Techniques, Traveling Wave Method, Power Cable, Monitoring System

---

# 基于脉冲调制技术的电力电缆防盗定位监测系统研究

陈伟<sup>1</sup>, 向彬<sup>1</sup>, 杨帆<sup>2</sup>, 胡晓锐<sup>1</sup>, 王谦<sup>1</sup>, 杨旗<sup>2</sup>

文章引用: 陈伟, 向彬, 杨帆, 胡晓锐, 王谦, 杨旗. 基于脉冲调制技术的电力电缆防盗定位监测系统研究[J]. 智能电网, 2016, 6(5): 288-294. <http://dx.doi.org/10.12677/sg.2016.65032>

<sup>1</sup>国网重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆

<sup>2</sup>重庆大学电气工程学院, 重庆

Email: 475726290@qq.com

收稿日期: 2016年9月30日; 录用日期: 2016年10月16日; 发布日期: 2016年10月20日

## 摘要

针对电力电缆被盗时常见诸报端现状, 结合行波法基本理论, 研制得到基于脉冲调制技术的电力电缆防盗定位监测系统。系统包括脉冲发射电路、脉冲回波AD采样电路和回波测量电路以及GSM无线通讯及蜂鸣器报警电路模块。由于固定低压脉冲波的存在较大测量盲区以及高频谐波分量造成波形畸变问题, 采用脉冲调制技术实现对不同电力电缆的长度的防盗监测。最后通过试验测试表明, 基于脉冲调制技术的电力电缆防盗定位装置, 能够快速诊断出系统被盗, 并且得到测量结果具有误差低, 反应迅速特征。理论与试验验证了设计系统装置的准确性。

## 关键词

脉冲调制, 行波法, 电力电缆, 防盗定位

## 1. 引言

电力电缆以直埋、排管以及电缆沟等方式敷设于地下, 具有不占用地面空间, 提高城市空间利用率与美观程度优点, 电力电缆广泛应用于城市电网改造升级[1] [2]。电力电缆因其金属铜巨大经济价值以及其敷设于地下易于获得, 电力电缆时常发生被盗。由于电力电缆敷设线路长, 线路众多, 一旦发生被盗事件时, 造成电力部门查找与定位故障点出现困难[3] [4] [5]。

目前用于电力监测电缆状态的传统方法主要包括了电压检测法, 电流检测法, 电容检测法以及电力载波通信法。电压与电流检测技术主要检测电缆是否带电来判断电缆的状态[6] [7] [8] [9]。电容探测法主要基于电缆本身呈现容性特征, 且容量大小与被割位置有关。因此被盗剪位置不同, 振荡器输出的信号频率也同来实现对电缆被盗位置判断[10]。电力载波通信法主要基于监测加载在电缆中的载波信号, 一旦电缆发生被盗, 信号传输中断, 即可判断电缆被盗[11] [12]。近年来一些学者提出新的方法。徐国凤提出了基于地球信息系统和红外技术的电缆防盗新方法, 通过被盗人进入电缆沟遮挡红外信号判断电缆发生被盗并上传电缆沟位置[13]。邹小春根据电缆终端是否能够接受电能来实现对公路电缆的防盗监测[14]。由于电缆在发生被盗后, 电缆中负荷阻抗发生变化, 厦门大学余臻提出基于阻抗突变测量的电缆防盗方法[15]。

上述电缆状态监测的很多方法基本原理是行波法, 相比于目前新方法具有成本低, 快速精度高优点。因此, 该方法广泛应用于电力系统中。在传统基于行波法的往往采用定脉宽技术, 存在测量盲区以及精度不高问题, 随着城市地下网络的复杂以及技术的提高, 电力系统对与电力电缆的防盗与定位提出更高精度要求和实时性要求。因此, 考虑到行波在传播中衰减特性, 设计了一种基于脉冲调制技术的电力电缆防盗定位装置, 以提高电缆防盗定位精度。

## 2. 理论分析

### 2.1. 行波在电力电缆中传播特性

采用行波法运用于电缆监测时, 线路长度与波长可比拟。此时, 必须计及电缆的分布参数。如图 1

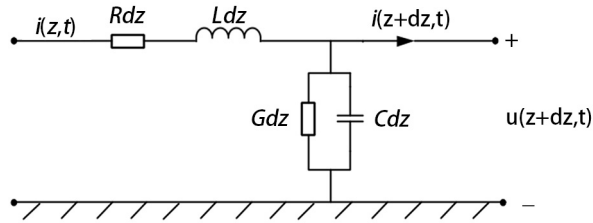


Figure 1. Distribution parameter model of power cable  
图 1. 电力电缆分布参数模型

所示,  $R_0$ 、 $L_0$ 、 $G_0$ 、 $C_0$  分别表示表示了电缆单位长度的电阻、电感、电导和电容。根据均匀传输线理论, 当发射信号频率为  $\omega$  的正弦波, 其电报方程可表示为式 1.1,1.2, 并计算得到  $u(z,t)$ ,  $i(z,t)$ 。

$$-\frac{d\dot{U}(z)}{dz} = (R + j\omega L)\dot{I}(z) \quad (1.1)$$

$$-\frac{d\dot{I}(z)}{dz} = (G + j\omega C)\dot{U}(z) \quad (1.2)$$

$$u(z,t) = |A_1|e^{\alpha z} \cos(\omega t + \beta z + \varphi_1) + |A_2|e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \varphi_2) \quad (1.3)$$

$$i(z,t) = \frac{1}{Z_c} \left[ |A_1|e^{\alpha z} \cos(\omega t + \beta z + \varphi_1) - |A_2|e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \varphi_2) \right] \quad (1.4)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} - (\omega^2 LC - RG) \right]} \quad (1.5)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + (\omega^2 LC - RG) \right]} \quad (1.6)$$

其中,  $\alpha$  和  $\beta$  分别为衰减常数和相位常数。由式 1.3, 1.4 可知, 在电缆中电压, 电流以波的形式传播, 根据传播理论, 第一项为入射波, 第二项为反射波, 并且随着传播距离的变化, 幅值呈现指数规律衰减, 相位也随着频率增加发生变化。因此, 在使用行波法监测电力电缆时, 需要考虑行波在电缆中的传播时的衰减和畸变特性。

## 2.2. 脉冲调制技术的电缆防盗定位原理

基于行波法的检测方法主要有低压脉冲法, 脉冲电压法和脉冲电流法等。电缆发生被盗时, 采用低压脉冲法具有精度高优点。如图 2 所示, 通过脉冲发射仪器在电缆一端(首端)注入低压脉冲信号, 当遇到阻抗不匹配点时, 该脉冲信号就会产生反射, 被首端测量仪器接收。通过检测反射信号和发射信号的时间差, 可实现测量电缆长度  $S$ 。当电缆发生被盗后, 电缆长度发生变化为  $S_1$ , 通过比较初始长度与监测长度的差( $S_1$  与  $S$ ), 实现对电缆防盗监测。基于 1.1 中分析, 要实现电缆精确测量与定位, 必须考虑脉冲波形衰减问题。脉冲总有一定的时间宽度, 假定为  $\tau$ , 则在  $\tau$  时刻以内传播来的反射脉冲会与发射脉冲相重迭, 无法区分发射和反射脉冲, 因此就不能测出故障点距离即出现了测量盲区。从减小盲区的角度看, 发送脉冲宽度窄一些好, 但脉冲愈窄, 它所包含的高频成分愈丰富, 在线路传输中高频损耗大, 使反射脉冲幅值过小, 畸变严重, 影响远距离故障的测量效果。因此提出基于脉冲调制技术的电缆防盗方法, 该方法通过调制发射脉冲波形的宽度, 根据电缆长度选择发射脉宽, 电缆长度越长, 调制出脉冲宽度越宽, 当电缆发生被盗后, 根据粗测电缆的长度范围, 选择发射适合的脉冲宽度, 减少测量盲区以及提高脉冲测量精度。

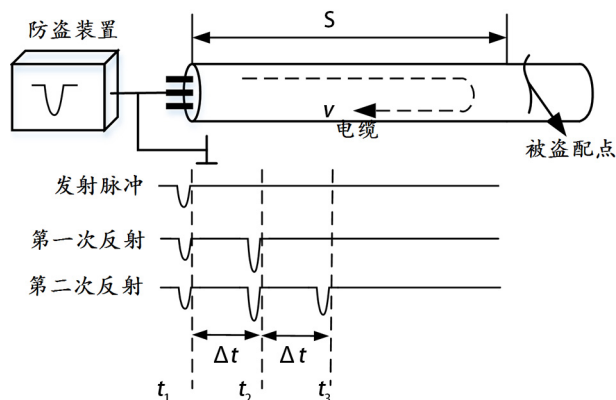


Figure 2. Anti-theft positioning schematic for power cable  
图 2. 电缆防盗定位原理图

$$S = v(t_2 - t_1)/2 = v\Delta t/2 \quad (1.7)$$

### 3. 系统设计

#### 3.1. 硬件系统设计

根据行波法基本原理，设计出基于脉冲调制技术的电力电缆防盗定位系统。设计的防盗定位系统主要包括脉冲发射电路、脉冲回波 AD 采样电路和回波测量电路以及 GSM 无线通讯及蜂鸣器报警电路模块。脉冲发射模块能产生脉宽可调的脉冲波，脉冲回波 AD 采样电路模块主要是对回波电压波形采集，实现对电缆是否发生被盗判断，由于发射的窄脉冲信号脉宽为纳秒和微妙级别，对于 AD 采样电路，采样率需要达到一定的要求，回波测量电路主要实现对波形进行处理和时间测量，无线通讯和报警模块能实现短信和电话报警并能传输故障类型和故障距离信息，其硬件结构如图 3 所示。

由行波理论可知，在防盗系统发射低压脉冲首端与被割点其反射系数为 1，脉冲会在被割处和首端来回反射形成幅值逐渐衰减，极性相同的脉冲波形。由于传播损耗和波形色散，后续反射脉冲会逐渐衰减和畸变。为准确测量断线距离，排除后续反射脉冲的影响。同时考虑电缆作为容性负载的特性，在发射端设计与电缆阻抗匹配的输出电阻，保证最大输出功率驱动负载电缆，同时消除首端二次反射的影响。通过设置对低压脉冲调制得到合适的周期和占空比，保证不出现测量盲区且本次发射脉冲的反射脉冲位于下一个发射脉冲之前。

因脉冲在电缆中传播造成一定程度的衰减和畸变。需要对其进行一定的预处理，在回波测量电路中将发射脉冲和反射脉冲信号进行电压迟滞比较得到方波信号。既排除了传播过程中的电磁干扰，又得到了便于处理的数字电平的方波信号，如图 4 所示。最后对方波信号的上升沿捕获就能获得脉冲信号在电缆中的传播时间  $\Delta t$ 。

#### 3.2. 软件系统设计

基于设计的硬件系统，设计得到软件系统如下图 5 所示。软件部分核心处理回波输入的信号。对电缆进行监测前，需要测出电缆的初始长度，通过比较监测长度和初始长度来判断电缆是否被盗。由于脉冲在传播过程中会发生一定程度的畸变，因而会对时间和电缆长度的测量带来一定的误差  $\Delta l$ 。设电缆初始长度为  $S_1$ ，测量长度为  $S_2$ ，如果  $|S_1 - S_2| \leq \Delta l$ ，则认为被监测的电缆是正常的，没有发生被盗；如果  $S_1 - S_2 > \Delta l$ ，且  $S_2$  经过多次反复测量后都满足  $S_1 - S_2 > \Delta l$  时，则判定电缆发生被盗事故。系统发出蜂鸣报警，并将被盗点距监测点的距离和电缆被盗长度通过 GPRS 无线网络以短信的形式发送给相关安保人

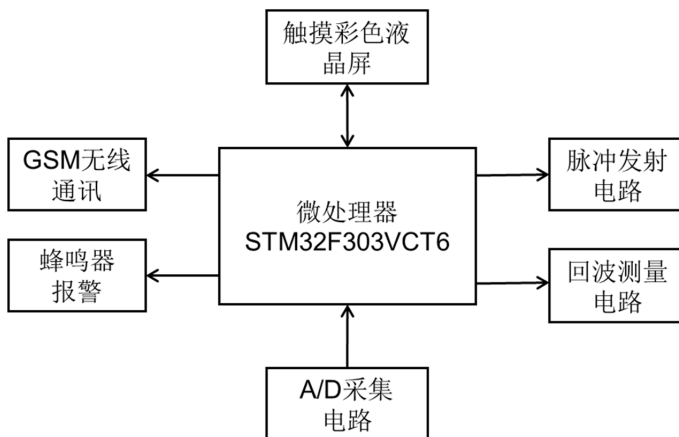


Figure 3. System structure  
图 3. 系统结构图

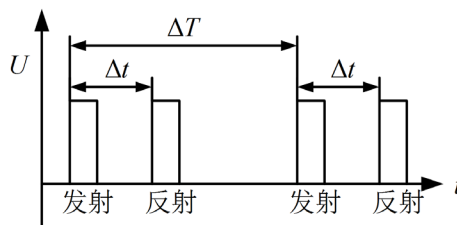


Figure 4. Square wave signal after comparator  
图 4. 比较器整形方波信号

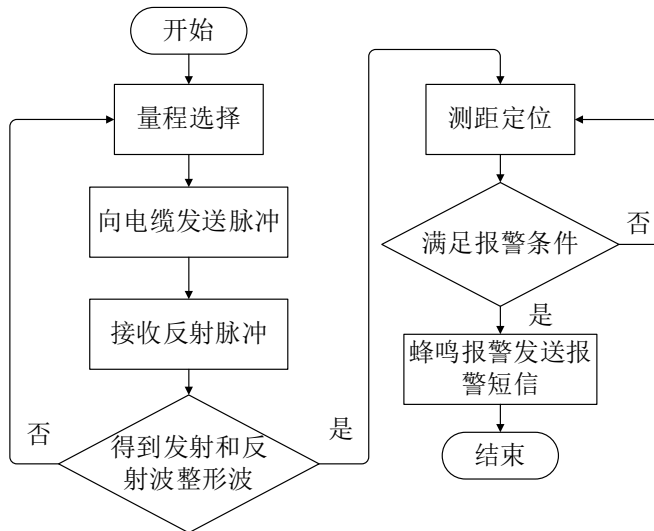


Figure 5. Anti-theft positioning flow chart for power cable  
图 5. 电缆防盗定位流程图

员进行处理。

软件系统还具有自动测距功能。系统内部预设了几个量程，每个量程对应不同的发射脉冲宽度，量程和脉冲宽度的对应关系见表 1。系统运行前，由操作人员估计电缆长度，并选择一个量程。当选择量程偏大时，会出现测量盲区，发射波和反射波叠加，不能完成测距。此时防盗系统会自动向下选择相邻较小的量程，直到可以测出电缆长度。整个过程自动完成，免去了重新设置的麻烦。



## 4. 实验测试

为了进一步验证防盗设备的监测报警准确性，课题组又利用防盗报警系统对不同型号和长度的电缆分别进行了现场实验验证。

首先验证的是带终端接头的 10 kV 交联聚乙烯绝缘电缆，实验平台如图 6 所示。试验中，首先将电缆的两相进行串联，然后断开。串联的两相没有断开时，监测结果显示电缆原长和监测长度都为 239 m，断开后，监测长度变为 121 m。

为得到电缆的实际长度，进行误差分析，我们用示波器得到了电缆中的行波的传播特性，如图 7。

图 7 中，首个脉冲为发射脉冲，脉宽为 1  $\mu\text{s}$ ，第二个脉冲为反射脉冲。其中左图为行波在串联两相中的传播特性，右图为行波在单相电缆中的传播特性。从图中可以看出，脉冲行波在电缆中传播一定距离后都有不同程度的畸变，且传播距离越长，畸变越严重。

两图中发射和反射脉冲的之间的间隔分别为 2.75  $\mu\text{s}$  和 1.40  $\mu\text{s}$ ，经计算，电缆实际长度分别为 234 m 和 119 m。由此，可得监测结果与实际电缆长度的误差分别为 5 m 和 2 m，和实验室测试结果的误差很相近，可以满足防盗监测的误差要求。

此外，还对型号为 YJV<sub>22</sub>-3 $\times$ 300 的 8.7/10 kV 的电缆进行了测量。测量结果显示，该电缆初始长度为 199 m，经过波形测算，该电缆实际长度在 196 m，误差 3 m，同样满足电缆防盗精度要求。

## 5. 结论

根据行波法基本理论，设计了基于脉冲调制技术的电力电缆防盗监测定位系统。系统具备发射低压脉冲行波，智能测距，防盗监测，蜂鸣报警和 GPRS 无线通讯等功能。对不同型号和长度的交联聚乙烯电缆进行了现场实验测试。实验结果表明该系统能以一定的周期自动向电缆发送监测脉冲，对电缆进行

**Table 1.** Corresponding relationship between the range of device and pulse width

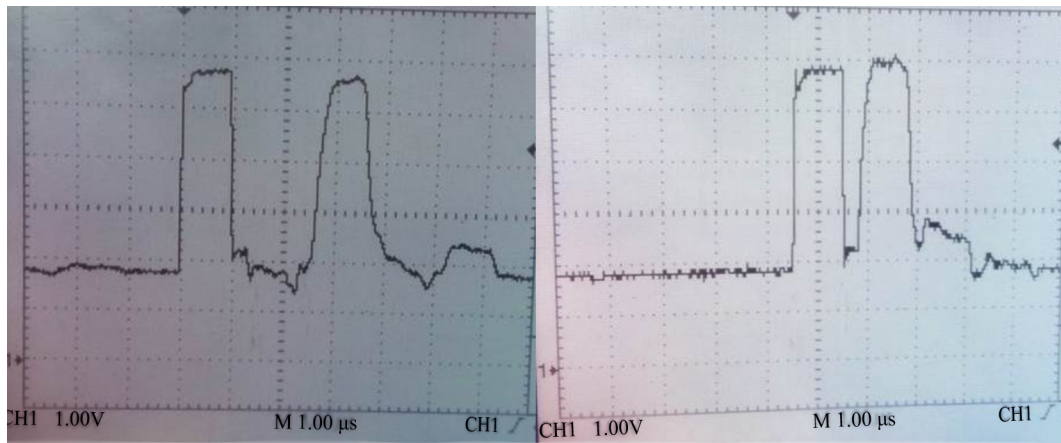
**表 1.** 设备量程和脉冲宽度的对应关系

量程/m	10~100 m	100~500 Km	500~1 Km	1 k~10 Km	10 Km 以上
脉宽/ $\mu\text{s}$	0.1	1	5	10	15



**Figure 6.** Experimental platform

**图 6.** 实验平台



**Figure 7.** Propagation characteristics of traveling wave in power cable  
**图 7.** 电缆中行波传播特性

实时监控。电缆被盗时，系统能够对电缆断点位置进行定位，发出蜂鸣报警信号并能够向设定电话发送报警短信，提醒相关安保人员进行处理。监测结果表明该系统报警准确，误报警和漏报警率低，对电缆被盗点的定位误差小(<5 m)，满足防盗报警及定位需求。

### 参考文献 (References)

- [1] 李莹. 基于传感器融合技的电缆防盗监控系统研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [2] 胡雪云. 试论电力电缆行波故障测距方法[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2003(1): 24-26.
- [3] 赖晓峰. 电力电缆故障测距方法的研究[J]. 广东电力, 2007(6): 11-15.
- [4] 洪滨, 王大文, 林春泉. 基于行波的电力电缆故障探测技术[J]. 电线电缆, 2011(3): 38-44+46.
- [5] 崔江静, 梁芝培, 孙廷玺. 电力电缆故障测试技术及应用的概述[J]. 高电压工程, 2001, 27(7): 40-41.
- [6] 唐妍. 高速公路电力电缆、电力设备的智能监测防盗系统研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [7] 王万纯. 基于 ATP-EMTP 的电缆故障测距技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [8] Komoda, M. (2013) Development of a Current Detection Type Cable Fault Location. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 6, 541-545. <http://dx.doi.org/10.1109/61.131109>
- [9] 张能. 基于电力线载波低压电缆防盗方案[J]. 电子测试, 2009(6): 45-48.
- [10] 方波, 秦大为. 电力电缆防盗报警系统[J]. 电工技术, 2007(1): 30-31.
- [11] 陈凤, 郑文刚, 申长军. 低压电力线载波通信技术及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009(22): 188-195.
- [12] 徐超群, 高明煜. 低压电力载波通信技术在城市路灯远程智能监控中的应用[J]. 电讯技术, 2006(6): 145-149.
- [13] 徐国风, 席忠华, 高云辉, 盛利. 基于 GIS 和红外技术的电缆防盗系统研究[J]. 机电信息, 2013(12): 160-161.
- [14] 邹小春, 李茂华. 公路电缆防盗报警技术研究与应用[J]. 公路交通技术, 2010(3): 131-134.
- [15] 余臻. 基于阻抗突变测量的电缆防盗新机制的研究[J]. 仪器仪表学报, 2013(2), 377-382.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[sg@hanspub.org](mailto:sg@hanspub.org)