

# 基于 FM 的低压电力线门禁系统设计

丁漩<sup>1,2</sup>, 肖东海<sup>3</sup>, 仲元昌<sup>3</sup>, 周田<sup>3</sup>

(1.重庆邮电大学 法学院, 重庆 400065; 2.重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044;  
3.重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

**摘要:** 介绍了一种基于 FM 的低压电力线门禁系统实现方法, 在分析并建立 FM 数学模型的基础上, 设计了 FM 调频发射机与 FM 调频接收机。该系统可以解决目前专线门禁系统和无线门禁系统的不足, 进一步推进了门禁系统的实用性。实际应用结果证明, 该门禁系统成本低、灵活、可靠。

**关键词:** 门禁; 低压电力线; 直接调频; 双音多频

中图分类号: TP237 文献标识码: A

## Design of low voltage power-line access control system based on FM

DING Xuan<sup>1,2</sup>, XIAO Dong Hai<sup>1</sup>, ZHONG Yuan Chang<sup>3</sup>, ZHOU Tian<sup>4</sup>

(1.Collene of Law Chongqing University of Posts and Telecommunications,Chongqing 400065,China;

2.College of Mechanical Engineering,Chongqing University,Chongqing 400044,China;

3.College of Communication Engineering,Chongqing University,Chongqing 400044,China)

**Abstract:** This paper presents an implementation method of low-voltage power line access control system based on FM. In the analysis and setting up FM mathematical model, designs FM transmitter and FM receiver. In the communication protocol support, MCU controls signal generation and decodes of the received signal. The system can resolve the current shortcomings of special communication line and wireless access control system, further advance the usefulness of the access control system. The practical application of the results show that the access control system are low cost, flexible and reliable.

**Key words:** access control; low voltage power-line;FM;DTMF

目前, 门禁系统的信道媒质有 2 种: (1)专线: 采用专门的线路(例如电话线、闭路线等)来传输信息, 其特点是布线复杂、成本高; (2)无线: 无线的方式传输信息, 存在阴影衰落、多径干扰及其他电磁干扰, 系统的可靠性和安全性受限。

本文利用家庭低压电力线这个现成布线资源, 充分发掘其潜能, 传输门禁控制信号, 实现电力线载波门禁功能, 避免了现有智能化系统在住宅内错综复杂的布线, 既可用于新建住宅, 又便于已建住宅的智能化改造。另外, 利用经典的调制/解调芯片构建的 FM 调频电路, 在近距离通信中以其较高的性价比和较易实现的方式成为电路设计人员的首选。笔者结合具有较强的抗干扰能力和较低的误码率的双音多频 (DTMF) 编码技术, 设计了基于 FM 调频技术的低压电力线门禁系统。

### 1 系统网络拓扑结构

系统网络拓扑结构如图 1 所示, 由 1 个门机、多个室机以及室内低压电力线组成。

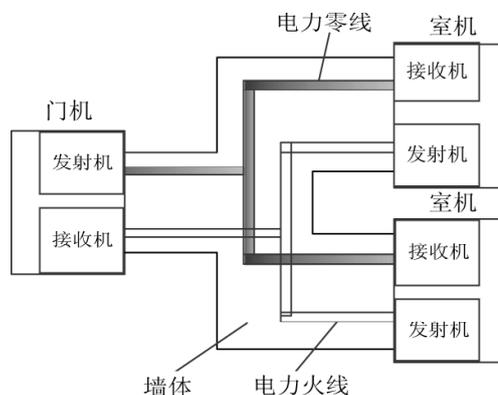


图 1 低压电力线门禁系统网络拓扑结构

门机安装在大门处，其中，按键安装在门外，其余部分安装在门内；每个室机制成装饰品，插在客厅、厨房、卧室、书房、卫生间等处的电力线插座上，并根据需要增减、移动，每个室机的地址码相同，保证门机发送请求信号时，每个室机能同时接收到信号；目前室内低压电力线大多采用暗线，如图1中电力零线、电力火线均内置于墙体中。

## 2 FM 数学模型

$$v(t) = V_m \cos \phi(t) \quad (1)$$

$$v_{\Omega}(t) = V_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (2)$$

其中， $V_m$ 、 $V_{\Omega m}$ 为信号的幅值， $\phi(t)$ 为总瞬时相角， $\Omega$ 为转动角频率。作为调频信号，相应的矢量长度为恒值  $V_m$ ，而矢量的转动角速度在载波角频率  $\omega_c$  上叠加按调制信号规律变化的瞬时角频率：

$$\Delta \omega(t) = k_f v_{\Omega}(t) \quad (3)$$

$$\omega(t) = \omega_c + \Delta \omega(t) = \omega_c + k_f v_{\Omega}(t) \quad (4)$$

其中， $k_f$ 为比例常数，单位为  $\text{rad/s} \cdot \text{V}$ 。因而，它的总瞬时相角为：

$$\phi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \phi_0 = \omega_c t + k_f \int_0^t v_{\Omega}(t) dt + \phi_0 \quad (5)$$

则调频信号的一般表达式为：

$$v(t) = V_m \cos(\omega_c t + k_f \int_0^t v_{\Omega}(t) dt + \phi_0) \quad (6)$$

可见，在调频信号中，叠加在  $\omega_c$  上的瞬时角频率按调制信号规律变化，而叠加在  $\omega_c$  上的瞬时相角则按调制信号的时间积分值规律变化。

以单音调制为例，将式(2)代入(6)式，则FM波表达式为：

$$u_{FM}(t) = V_m \cos[\omega_c t + k_f V_{\Omega m} \int_0^t \cos \Omega t dt] \\ = V_m \cos[\omega_c t + \frac{k_f V_{\Omega m}}{\Omega} \sin \Omega t] \quad (7)$$

$$w(t) = \omega_c + k_f v_{\Omega}(t) = \omega_c + k_f V_{\Omega m} \cos \Omega t \\ = \omega_c + \Delta \omega \cos \Omega t \quad (8)$$

其中

$$\Delta \omega = k_f V_{\Omega m} \quad (9)$$

$$k_f = \frac{\Delta \omega}{V_{\Omega m}} \quad (10)$$

$k_f$ 称调频灵敏度，单位为  $\text{redl}(\text{Sv})$ 。

根据帕塞瓦尔定理，调频信号的平均功率等于各频谱分量平均功率之和，在单位电阻上，其值为：

$$P_{av} = \frac{V_m^2}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(M_f) \quad (11)$$

由第一类贝塞尔函数的下列特性：

$$\sum_0^{\infty} J_n^2(M_f) = 1 \quad (12)$$

可将式(11)简化为：

$$P_{av} = \frac{V_m^2}{2} \quad (13)$$

上式表明，当  $V_m$  一定时，调频波的平均功率也就一定，且等于未调制时的载波功率。

## 3 系统设计

### 3.1 系统硬件设计

系统硬件设计框图如图2所示。MCU作为中央处理单元，一方面接收按键命令，调度通信协议，控制DTMF产生编码信号，完成发送数据命令；另一方面响应接收数据中断，处理DTMF接收的数据，控制执行单元动作，该系统MCU选用性价比很高的STC89C52。

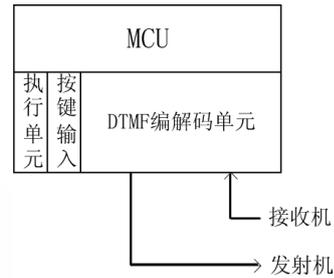


图2 系统硬件设计框图

DTMF编解码芯片选用MT8880，DTMF信号分为高频组和低频组，各包含有4个频率，可以构成16种不同的信号，每种信号由2个正弦波信号叠加而成，选定2个频率  $\omega_1$  和  $\omega_2$  后可得到DTMF信号的数学表达式为：

$$v_{\Omega}(t) = V_{\Omega m} \cos(\omega_1 t) + V_{\Omega m} \cos(\omega_2 t) \quad (14)$$

#### 3.1.1 FM发射机电路

图3是发射机电路图，MT8880产生的DTMF信号  $v_{\Omega}(t)$  送入锁相环LM56的2脚。通过锁相环LM567调制变为较高频率信号，即将式(14)代入式(7)得：

$$u_{FM}(t) = V_m \cos[\omega_c t + M_f \cdot (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)] \quad (15)$$

$$\text{其中 } M_f = \frac{K_f V_{\Omega m} (\omega_1 + \omega_2)}{\omega_1 \omega_2} \quad (16)$$

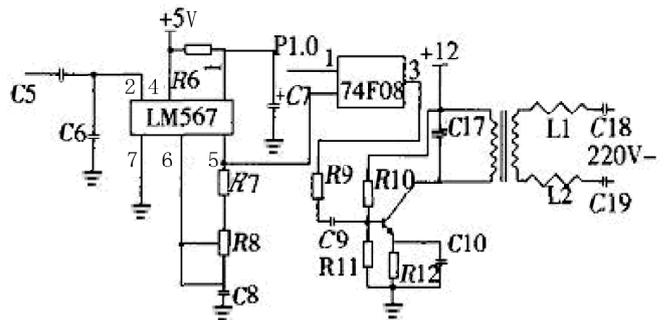


图3 FM调频发射机电路图

由锁相环LM56参数可知  $V_m \approx 4 \text{ V}$ ，调频波平均功率  $P_{av} = 8 \text{ W}$ ，锁相环输出的振荡角频率与5、6引脚外接的定时元件  $R$ 、 $C$  的关系式为：

$$\omega_c \approx \frac{2\pi}{1.1RC} \quad (17)$$

改变  $R$  和  $C$  可以获得不同的频率，锁相环LM567的振荡频率可以在  $0.01 \text{ Hz} \sim 500 \text{ kHz}$  范围内连续变化，可

改变 R8 来获得适当的频率。调制载波频率根据电力线的频率特性一般选在 100 kHz ~ 450 kHz 范围之内。该系统中门机的载波频率选择为 300 kHz, 室机的载波频率选择为 400 kHz。为防止 LM567 的 5 脚输出的方波影响系统正常接收来自电力线的双音频信号, 所以通过单片机的 P1.0 口控制与门的通断: 当发送信号时, P1.0 为高电平, 与门导通; 处于接收状态时, P1.0 为低电平, 门断开, 之后的高频信号由三极管、C17 及变压器对载波信号调谐放大, 由耦合电容送入电力线传送。

### 3.1.2 FM 接收机电路

FM 接收机电路如图 4 所示, 接收信号时, 由电力线传送来的信号经高压耦合电容 C18、C19 和变压器组成的高频滤波环路、再经 LC 并联、谐振回路选频, 之后经过滤波、放大电路, 送入锁相环 LM567 的 3 脚。当载波信号的频率与 LM567 的中心频率相同时, 则对此信号进行解调。解调后的 DTMF 信号由 2 脚输出, 送入 MT8880。

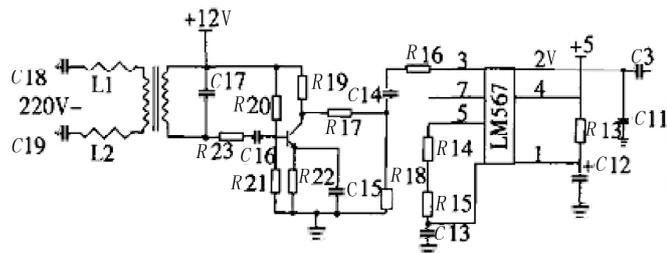


图 4 FM 调频接收机电路

## 3.2 系统软件设计

### 3.2.1 通信协议

根据本系统的特点, 设计一套通信协议, 协议的数据帧结构由 16 位码元组成, 发送编码时, MT8880 每次发送 4 位, 4 次发送 1 帧; 接收同理。数据帧的结构如表 1 所示。

表 1 门禁系统的通信协议

帧头(4 位)	ID (4 位)	状态码 (4 位)	结束码 (4 位)
---------	----------	-----------	-----------

其中, 帧头为 1111; ID 为发送端本地 ID 号, 可在 0 ~ 15 之间设置, 由于门机与室机各占用一个 ID, 因此最多可以扩展  $16/2 = 8$  户, 8 个 ID 号足够使邻居间门禁系统不产生误响; 4 位控制命令可以在 0 ~ 15 之间设置 (不能与结束码相同), 这里统一设置激活门铃的码为 1100, 激活门锁的码为 0011, 结束码为 0000, MT8880 具有强大的锁存功能, 必须用结束码清除数据。每接收 4 位中断 1 次, 转入中断服务程序, 判断是否正确, 正确则接收下 4 位, 否则舍弃重新接收。室机的本地帧可设定为:  $RST^{[15]} = \{0,0,0,0,1,1,0,0,1,0,1,0,1,1,1,1\}$ , 门机同理。

### 3.2.2 程序设计

门机程序流程图如图 5 所示, MT8880 有 6 种工作模式<sup>[8]</sup>, 本设计使用中断模式, 在此模式下选择 DTMF 方式。当 DTMF 信号被接收或出现在监测时间内, IRP/CALL 端下拉至低电压, STC89C52 若检测到外部中断信号, 则读取数据, 若接收数据等于设定编码, 则保存到 16 位数组 DAT<sup>[15]</sup>中, 帧头存入数组 0 ~ 3 中, 依次往高位存, 并 N+1, 然后准备接收下 4 位编码, 否则 N=0, 等待重发, 直到一帧接收完毕 (即 N=3), 若 DAT<sup>[15]</sup>=RST<sup>[15]</sup>, 则开锁; 若有键按下, 则转入发送程序。室机流程图与门机不同之处是将开锁换成响铃。

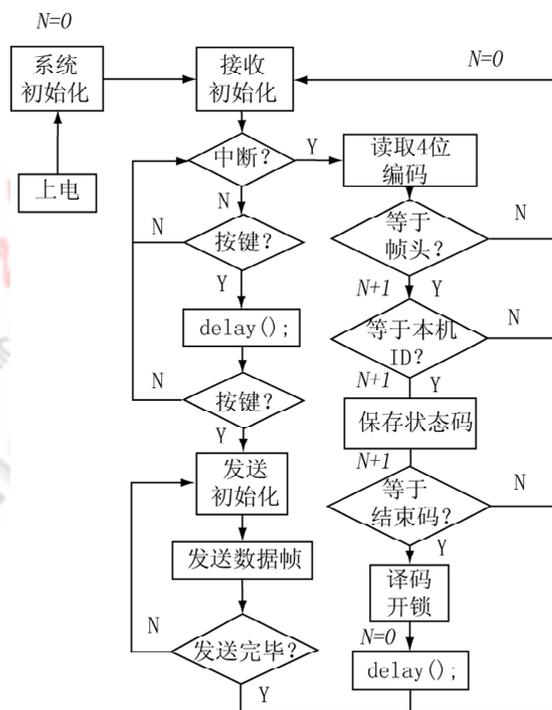


图 5 门机程序流程图

另外, 软件设计时, 需模拟 MT8880 的控制时序, 用指令对 P2 口进行读写操作。控制芯片内部的 CRA、CRB 等寄存器, 从而实现对 MT8880 的发送与接收控制。

## 4 实验结果及分析

该系统安装在重庆大学主教学楼 26 楼的 2611 (通信与测控研究所), 门机安装在大门处, 室机安插在室内办公桌上的电力线插座上, 电力线长度 15 m。系统的主要工作参数为: 门机载波频率 300 kHz, 室机载波频率 400 kHz, 载频波平均功率  $P_{av} = 8$  W, 调制波频率由 MT8880 的参数决定, 其中:

$$\omega_1 = 2\pi(697,770,852,941) \text{ Hz};$$

$$\omega_2 = 2\pi(1209,1336,1477,1633) \text{ Hz};$$

$$V_{\Omega m} = 0.6 \text{ V}$$

在进行通信实验时, 笔者利用泰克示波器重点监

视了 FM 发射机之前的“发送波形”和 FM 接收机之后的“接收波形”，如图 6 所示。

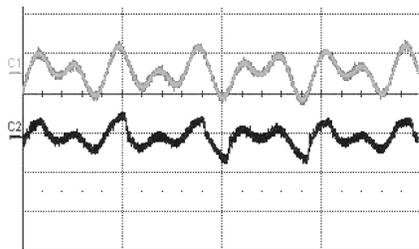


图 6 发送波与接收波形

当门机按下请求按键时，MCU 控制 MT8880 产生双音多频信号 C1，C1 经过 FM 调频发射机调制后耦合到电力线上，室机将耦合接收到的信号经过 FM 调频接收机解调后得到双音频多频信号 C2。可以看出 C2 与 C1 几乎完全吻合。实验证实了 FM 调频发射机与 FM 调频接收的可靠性。

该系统给出了基于 FM 的低压电力线门禁系统的原理及实现过程，主要讨论了在通信协议的支持下，对 DTMF 产生的控制信号进行调制 / 解调，实验证明采用低压电力线进行短距离的控制信号传递是完全可行的，且系统实现体成本、灵活、可靠。

#### 参考文献

- [1] LIN Wei Ming, HUA Xiao Hui, WANG Dong Fang. Status and expectation of low-voltage power line communications[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2007, 2(172): 45-48
- [2] ZHOU Wei Zhi. Design of automatic meter reading system for intelligent housing estate based on power-line carrier communication technique[J]. electronic engineer, 2003, 2(29): 15-24
- [3] 樊昌信. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [4] WANG Jian Nong. An interfacing design between AT89C2051 single-chip microcomputer and chip MT8880[J]. Microcomputer and information (Control & Automation), 2005, 21(10-2): 86-87.
- [5] ZHAO Kun, WANG Ke Chong. The design of a power line carrier communication system based on DTM[J]. Interface and Communication, 2004, 20(11): 131-124.
- [6] LI Jia Sheng. The time-domain analysis of frequency modulation and demodulation and experimental simulation of MATLAB 7[J]. Journal of Jinggangshan University (Science and Technology), 2008, 6(29): 19-23.
- [7] SASHI L, JAMES F. Communication protocol over power line communication networks[J]. Patent Application Publication, 2005, US 2005/0063422 A1: 1-8.
- [8] WILLES W. P., SAMUEL C. K. Digital narrow band power line communication system[J]. Patent Application Publication, 2004, US 2004/003711 A1: 1-31.
- [9] XU Hai Bo, LIAO Chuan Shu. Long distance monitoring and controlling system based on AT89S52[J]. Microcomputer and information (Control & Automation), 2007, 23(7-2): 67-67.
- [10] YAO Ya Feng, CHEN Jian Wen, HUANG Zai Lu. The recognition of frequency-modulated signal by parameter invariant filter[J]. J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science Edition), 2004, 7(32): 48-50.
- [11] FAN Jian Xue, SHENG Xin Fu. Research on automatic meter reading system for low-voltage customers[J]. RELAY, 2005, 17(33): 49-52.
- [12] WANG Shi Lian, GAO Kai, LI Ji. Design and implementation of wide-band IF digital receiver with anti-jammer[J]. Journal of circuits and systems, 2004, 2(9): 138-141.
- [13] LIU Fang, LIU Si Jiu, ZHANG Li Yong. Channel model and simulation system of low-voltage PLCC[J]. Journal HARBIN UNIV. SCI. & TECH., 2006, 4(11): 67-74.
- [14] GIFFORD, KRASS, GROH. Power line communication system[J]. Patent Application Publication, 2004, US 2004/0246108 A1: 1-5.
- [15] DELLER, ROBERT. Line communication circuit[J]. World Intellectual Property Organization[J]. 2003, WO 03/028227 A1: 1-26.