

文章编号:1000-582X(2003)01-0042-03

基于MSK的低压电力线通信

仲元昌

(重庆大学通信工程学院,重庆400044)

摘要:由于低压电力线的信道特性是复杂多变的,如何利用低压电力线实现可靠且具有较高通信速率的通信,一直是电力线通信领域的热点问题。笔者把MSK应用于低压电力线通信,分析了MSK的应用原理,构建了基于MSK的低压电力线通信系统模型。仿真结果表明:MSK调制技术较好地满足了电力线通信信道有效带宽窄、对信号振幅的衰减具有时变性和频率选择性的特点,实现了较好的频谱利用率。

关键词:最小频移键控;低压电力线;载波通信

中图分类号:TN914.42

文献标识码:A

针对电力线幅频特性变化剧烈、有效带宽较窄的特点,需要一种具有较高综合特性的数字调制技术。对适用于电力线信道的数字调制解调技术有以下要求:

1) 频谱利用率高。数字调制的频率利用率是指在单位频带内能传输的信息比特率^[1]。提高频率利用率的措施很多,基本的方法是减小信号带宽。对数字调制而言,就是要求其频谱的主瓣窄,使能量集中在有限频带内,而带外的剩余分量应尽可能低。

2) 误码率低。即在输入信噪比一定的条件下误码率低。它反映了信号的功率利用率^[2]。误码率不仅受信道噪声和各种干扰的影响,而且在电力线通信中受到严重的振幅衰落影响,会使信道的误码率性能严重恶化。单凭增大发射信号功率不能解决根本问题;而且,为防止通信信号对其他设备的干扰,发射信号的功率受到限制。

3) 已调信号的包络恒定。对信道的非线性不敏感,不会因为信道的非线性作用而发生明显的频谱扩散,从而产生大量的带外频谱导致主瓣功率下降。

电力线信道是一个典型的带通信道,为了使数字信号在带通信道中传输,必须用数字信号对载波进行调制。恒包络调制解调技术,其代表就是MSK(最小频移键控)。该类调制解调技术具有包络恒定,能量集中等优越性,是在复杂信道条件下理想的选择。

1 MSK信号数学模型

MSK可以认为是2FSK(最小频移键控)的一种特殊情况^[3],它也是选择两个不同的频率分别传送基带信息的+1和-1。设:传+1的频率为 f_m 、传-1的频率为 f_s 、载波频率为 f_c 、 f_m 和 f_s 与 f_c 的频差均为 f_d 、则有: $f_m = f_c + f_d$ 、 $f_s = f_c - f_d$ 。但MSK要求这2种频率的信号在一个码元周期 T_b 内所积累的相位差必须严格等于 π ,以保证在码元转换时刻已调信号的相位是连续的^[4]。同时MSK要求具有正交信号最小频差。可将MSK表示为:

$$s_{\text{MSK}}(t) = A \cos[2\pi f_c t + \phi(t)] \quad (1)$$

其中, $\phi(t)$ 为时间连续变化的相位, f_c 为未调制载波频率, A 为已调信号的幅度。

考虑给定2个信号 $\cos\omega_m t$ 和 $\cos\omega_s t$,计算它们之间的相关系数,可得:

$$\rho = \frac{\sin 2\pi(f_m - f_s)T_b}{2\pi(f_m - f_s)T_b} + \frac{\sin 4\pi f_c T_b}{4\pi f_c T_b} \quad (2)$$

为了易于区别出这2个信号的波形,希望两者是正交的,或者说要求两者的相关系数等于零($\rho = 0$)。上式中第2项等于零的条件为: $4\pi f_c T_b \gg 1$,或 $f_c \gg 1/T_b$;和 $4\pi f_c T_b = n\pi$, $n = 0, 1, \dots$,即: $T_b = n(1/4)(1/f_c)$ 。也就是说,信号在每个码元周期要包含四分之一载波周期

• 收稿日期:2002-08-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59677009)

作者简介:仲元昌(1965-),男,四川南充人,重庆大学通信工程学院讲师,硕士研究生,主要从事电路与系统设计,通信信号处理,载波通信,医用仪器等领域的教学与研究。

的整数倍。在实际的通信系统中,这个条件通常都是满足的,可不考虑。在满足这个条件后:

$$\rho = \frac{\sin 2\pi(f_m - f_s)T_b}{2\pi(f_m - f_s)T_b} \quad (3)$$

由 2FSK 信号正交的条件:

$$(f_m - f_s) = n/(2T_b) \quad (4)$$

可知,最小频差为:

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{1}{2T_s} = \frac{1}{2T_b} \quad (5)$$

式(5)中, f_1 和 f_2 分别是 2FSK 信号的 2 个频率, T_s 为信号码元间隔, T_b 为二进制信息的间隔。由此可知:

$$f_c = \frac{1}{2}(f_1 + f_2) \quad (6)$$

$$\phi(t) = \pm \frac{2\pi\Delta f t}{2} + \phi(0) \quad (7)$$

式(7)中, $\phi(0)$ 为初相位。由此,MSK 信号的表达式为:

$$s_{MSK}(T) = A \cos\left[2\pi f_c t + \frac{P_n \pi t}{2T_b} + \phi(0)\right], \quad 0 \leq t \leq T_b \quad (8)$$

式(8)中, $P_n = \pm 1$, 分别表示 1 和 0。其中,除载波相位外的附加相位为:

$$\phi(t) = \frac{P_n \pi t}{2T_b} + \phi(0)$$

由(3)式可见,使 $\rho = 0$ 的值不止一个,但当 $h = 0.5$ 时的频差最小。可见 MSK 是一种满足两个信号正交的条件,且频差最小的 FSK,故称之为最小频移键控。也因为它比一般的 2FSK 在相同的频带内可传输更高的比特率,故又名快速频移键控(FFSK)。

2 MSK 电力线载波通信系统模型

2.1 接收机模型

首先,产生虚拟载波,其频率 $f_c = N/(4T_b)$ (N 为一整数),线性相位成型脉冲 $f_d = 1/4T_b$ 。两频率送入乘法器相乘,得到和频与差频信号,其频率分别为: $f_m = f_c + f_d, f_s = f_c - f_d$ 。然后,由两个窄带滤波器(中心频率分别为 f_m 和 f_s ,带宽 $\ll f_d$)得到 f_m 和 f_s ,并分别输到两个加法器,产生正交基函数:

$$\phi_1 = \cos(\pi t/2T_b) \cos 2\pi f_c t$$

$$\phi_2 = \sin(\pi t/2T_b) \sin 2\pi f_c t$$

由原始数据延拓得到的同相数据 m_1 和正交数据 m_0 分别与 2 个正交基相乘,最后两路信号相加,得到 MSK 调制信号^[5]。相应的 MSK 调制的发射机模型如图 1 所示。

应该指出,MSK 信号有多种电路形式,但必须满

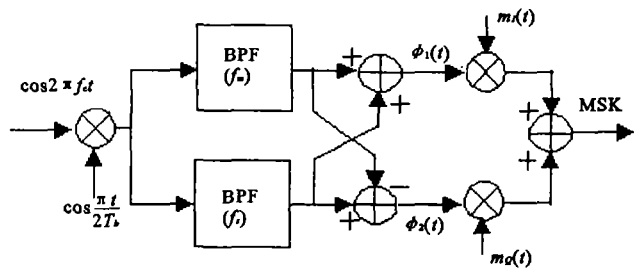


图 1 MSK 发射机模型

足以下条件:

- 1) 已调制信号包络恒定;
- 2) 频偏严格等于 $\pm 1/4 T_b$, 相应的调制指数 $h = 0.5$;
- 3) 附加相位在一个码元周期线性变化 $\pm \pi/2$, 码元转换时刻信号相位连续;
- 4) 在一个码元周期,信号包含 1/4 周期的整数倍

2.2 接收机模型

MSK 调制信号的接收机模型如图 2 所示。

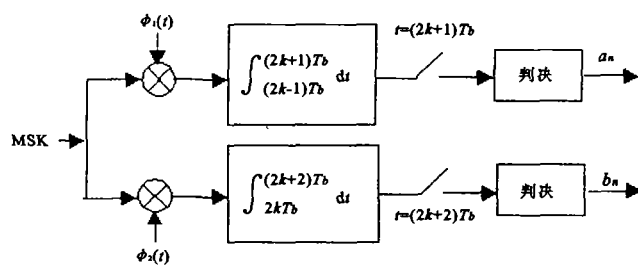


图 2 MSK 信号接收机模型

设接收电路输入信号为:

$$R(t) = S_{MSK} + n(t) \quad (9)$$

接收信号与正交基信号 $\phi_1(t)$ 和 $\phi_2(t)$ 相关。同相支路和正交支路的积分时间均为 $2T_b$, 需要注意的是,正交支路的积分和判决均滞后同相支路 $T_b/2$ 个支路相关的积分结果为:

$$r_1 = \int R(t)\phi_1(t)dt = s_1 + N_1 \quad (10)$$

$$r_0 = \int R(t)\phi_2(t)dt = s_0 + N_0 \quad (11)$$

其中, N_1 和 N_0 为噪声相关积分值,且:

$$s_1 = \sqrt{E_b} \cos \phi(0), s_0 = -\sqrt{E_b} \sin \phi(0)$$

判决规则为:当 r_1 大于 0, 则 $\phi(0)$ 为 0; 当 r_1 小于 0, 则 $\phi(0)$ 为 π ; 当 r_0 大于 0, 则 $\phi(T_b)$ 为 $-\pi/2$; 当 r_0 小于 0, 则 $\phi(T_b)$ 为 $\pi/2$ 。判决方式如下^[6]:

- 1) r_1 大于 0, r_0 大于 0, 则在 $0 \leq t \leq T_b$ 区间, 数据为 0;
- 2) r_1 大于 0, r_0 小于 0, 则在 $0 \leq t \leq T_b$ 区间, 数据为 1;
- 3) r_1 小于 0, r_0 大于 0, 则在 $0 \leq t \leq T_b$ 区间, 数据

为1;

4) r_i 小于0, r_q 小于0, 则在 $0 \leq t \leq T_b$ 区间, 数据为0;

3 仿真结果

仿真参数选择为: 载波频率 $f_c = 320$ kHz, 包络频率 $f_d = 80$ kHz, 传号频率 $f_m = 400$ kHz, 空号频率 $f_s = 240$ kHz, 数据速率 $f_i = 2.52$ kHz。对上述模型进行仿真分析, 得到图3和图4所示的仿真波形。仿真结果证明了MSK调制/解调技术在电力线通信中的可行性和先进性。

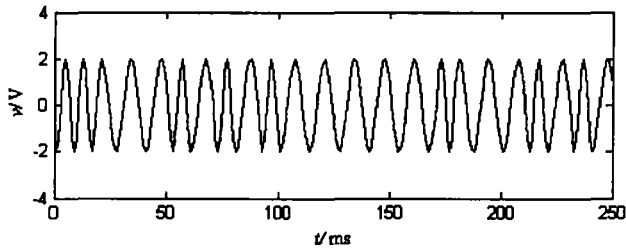


图3 MSK调制信号波形

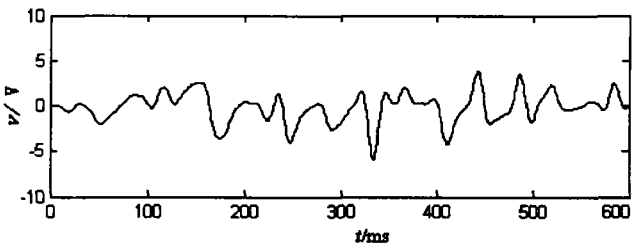


图4 MSK解调信号波形

4 结论

用MSK调制/解调技术, 构建的电力线通信系统能适应电力线信道特性的要求, 实现了较好的频率利用率, 提高了系统的抗干扰能力、降低了误码率。该系统的电路实现, 是笔者正在进行的研究工作。

参考文献:

- [1] 郭梯云, 郭国扬, 张厥盛. 移动通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
- [2] 曹志刚, 钱亚生. 现代通信原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- [3] MORGAN H L, ROBERT W D. Amplitude, Width, And Interracial Distributing For Noise Impulses On Intra - Building Power Line Communication Networks[J]. IEEE Transactions On EMC, 1989, 89(8): 205 - 208.
- [4] NICHOSON J R, MALEK J A. Impedance Of Power lines And Line Impedance Stabil-ization In Conducted Interference Measure-ments[J]. IEEE Trans., 1973, 15(3): 78 - 81.
- [5] DAIDCLARK D L. Powerline Communications on Finally Ready For Prime Time Com-puter[J]. 1998, 98(1): 128 - 130.
- [6] LAFGHOOM J A. Channel Model For The Residential Power Circuit Used As A Digital Communications Medium[J]. IEEE, 1998, 98(11): 120 - 123.

Low Voltage Power Line Communication Based on MSK

ZHONG Yuan-chang

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: For that the characteristics of low voltage power line channel are complicated and variable, how to use low voltage power line to realize reliable and high-speed communication has always been the hottest question in power line communication field. This article introduces how to apply MSK to the low voltage power line communication. It analyses the application elements of MSK and structures the model of low voltage power line communication based on MSK. simulation result indicates that MSK modulation technology can satisfy the characteristics that the bandwidth of power line communication channel is narrow and the attenuation to the amplitude of signal is time-variable and frequency-selected. Also, it makes better use of the spectrum.

Key words: MSK; low voltage power line; carrier communication

(责任编辑 吕赛英)