

数字式载波机的原理及其选用原则

王奎甫

(许继昌南通信设备有限公司,河南 许昌 461000)

摘要: 数字式载波机是一种利用模拟传输通道来提高载波机传输容量的一种新型传输系统。它采用先进的语音压缩/解压、TCM 或 OFDM 数字调制/解调原理和最新的数字信号处理技术,产生很高的带宽利用率,同样的带宽下其传输的语音和数据通路数是模拟载波机的三到四倍。该文着重介绍了数字式载波机的调制原理、实现方法,以及与数字化载波机的区别和选用的原则。

关键词: 数字单边带调制; Trellis-编码调制; 正交频分复用; 信噪比; 码间串扰

中图分类号: TM73 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)19-0078-04

0 引言

电力线载波通信作为电力系统中一种特有的通信方式,虽然与光纤通信相比有许多不足,但由于这种通信方式既经济又安全可靠,仍在电力系统广泛采用。随着数字通信技术的发展,电力线载波机已由传统的集成电路模拟式发展成数字化和数字式,使得载波机的调试、运行、维护极为方便,可靠性大为提高,特别是数字式载波机,由于其传输容量相当于模拟载波机传输容量的 2~4 倍,受到广泛的应用。但是数字式载波机并不是万能的,由于其传输容量高,对信道的信噪比有一定的要求,因此在选用时要考虑各方面的因素。下面就着重介绍数字式载波机的原理、数字式载波机与数字化载波机的区别以及选用的原则。

1 数字式与数字化载波机的原理

1.1 数字化载波机的原理及实现方法

由于在以前的文章中介绍过数字化载波机的原理^[1],在这里就只简要介绍一下,如图 1 所示。

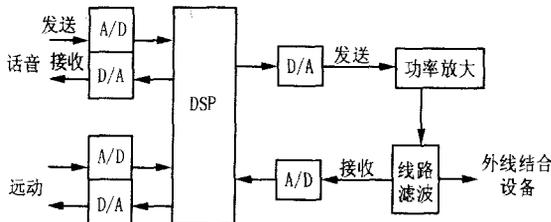


图 1 数字化载波机原理框图

Fig 1 Block diagram of digitized carrier

语音和远动信号经过 A/D 转换,将模拟信号变为数字信号送到数字信号处理器 (DSP) 进行滤波,滤波后与 DSP 内部产生的导频信号进行复合,复合

后进行数字单边带调制^[1],调制后的高频信号经高速 D/A 转换成模拟信号,经过功率放大发送到线路上,接收是调制的反过程。从其调制原理看,数字化载波机采用的是频分复用方式,其传输容量没有提高,与传统的模拟载波机相同。

1.2 数字式载波机的原理及实现方法

数字式载波机采用语音压缩/解压技术、数字复接/分接技术、Trellis-编码调制 (TCM) 或正交频分复用 (OFDM) 技术,在 4 kHz 的带宽内可传输多路语音、多路数据,其传输容量最大是模拟载波机的 4 倍,数字载波机采用的是时分复用方式,如图 2 所示。

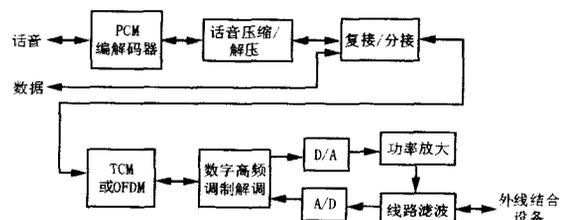


图 2 数字式载波机原理框图

Fig 2 Block diagram of digital carrier

1.2.1 语音压缩/解压的工作原理

由于语音信号进行 PCM 编码后,其速率为 64 kbps,如此高的速率如果不经处理直接在 4 kHz 的带宽内传输是根本不可能的。因而要采用一定的技术来压缩 PCM 编码后的速率。目前数字式载波机所采用的语音压缩一般有两种,MP-MLQ (多脉冲最大相似性量化) 和 AMBE (先进的多带激励) 压缩算法,将 PCM 编码器的 64 kbps 速率压缩到 6.4~2.4 kbps,其 MOS 值 (mean opinion score) 大于 3.4,完全达到通话质量的要求。语音压缩/解压原理框图如图 3 所示。

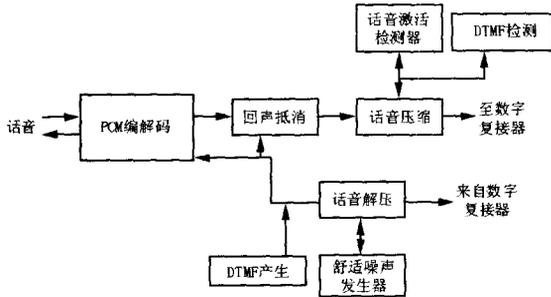


图 3 语音压缩/解压框图

Fig 3 Block diagram of voice compression/decompression

模拟语音信号通过 PCM 编码器变成 64 kbps 的数字信号,该 PCM 信号经过语音压缩算法(由 DSP 完成)将 64 kbps 的数据流压缩到 6.4~2.4 kbps,每 30 ms(MP—MLQ)或 20 ms(AMBE)把压缩的数据“包”送到复接器,与其它通路(语音通路、数据通路)的数据进行复接,然后送到 TCM 或 OFDM 单元。其解压部分是压缩部分的反过程,由数字复接器分接后送来的语音信号经过解压算法将 6.4~2.4 kbps 的数据还原成 64 kbps 的 PCM 数据流,经过 PCM 解码器变为模拟音频信号。语音激活检测和舒适噪声发生器能够节省语音带宽,并产生一个舒适的背景噪声使语音听起来更自然。另外语音压缩还包括 DTMF 检测与产生、回声抵消,在这里就不详细介绍。

1.2.2 复接/分接

数字式载波机采用时分复用(TDM)方式将语音、数据通道送来的数据复接变换成单一的数据流(如图 4、5 所示)。语音通道和数据通道的数据被打包并放置到缓冲器里,时分复用器每隔 30 ms(MP—MLQ)或 20 ms(AMBE)查询每个缓冲器并组一个 TDM 帧送到数字调制器(TCM 或 OFDM)。从数字解调器送来的数据被分接并发送到相应的语音和数据通道。

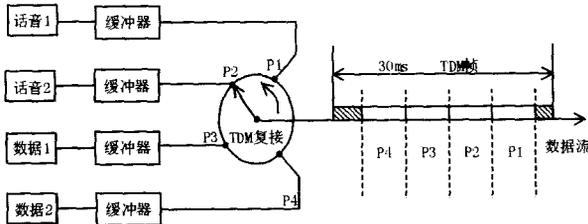


图 4 TDM 复接器(以两路语音、两路数据为例)

Fig 4 TDM multiplexer

1.2.3 数字调制解调原理

数字式载波机一般都采用 TCM 或 OFDM 调制解调方式,这样可以充分地提高功率/频谱的有效利

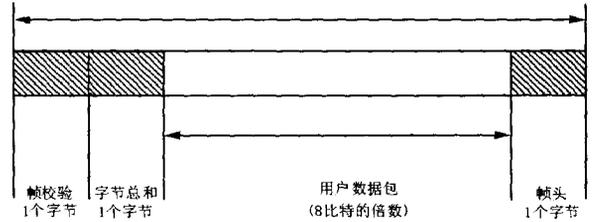


图 5 复接器的帧结构

Fig 5 Frame structure of multiplexer

用率,提高数字式载波机的抗干扰能力,下面简要介绍 TCM 和 OFDM 的原理。

1.2.3.1 TCM 发送/接收原理^[2]

1) 发送部分原理(如图 6 所示)

发送部分一共分为下列四个逻辑单元。

数据分解单元

数据分解单元分为扰码和数据分解部分。扰码器是为了消除由复接器送来的连 0、连 1 的长序列数据,数据分解部分将扰码后的数据分解成不同的数据群送到信号点选择单元。

信号点选择单元

信号点选择单元包括壳状映射、差分编码、映射三个部分,它利用数据分解单元送来的数据从 2D(2 维)星座图中选择合适的信号点送到预编码单元,其中壳状映射将信号点从 2D 空间变换到 4D(4 维)空间,起到星座点扩展的作用,从而使噪比改善约 1dB 左右(即在相同的误码率要求下,所需的发送功率小 1dB 左右)。

预编码单元

预编码单元包含有 trellis 编码和非线性编码,trellis 编码连接在一个反馈回路中,保证发送信号点与一个合适的 trellis 系列相对应,非线性编码器使信号星座点被不等距地分开,从而在星座图中对噪声敏感的星座点被进一步分开,提高了抗干扰能力,降低了码间串扰(ISI),通过非线性编码使误码率降低 50% 以上。

调制单元

调制单元包括载频调制器和脉冲成形滤波器,由预编码单元送来的数字序列进行正交幅度调制(QAM),由于载波通道为有限带宽信道,必须通过升余弦脉冲成形滤波器对调制信号进行整形来防止产生码间串扰,经过脉冲成形滤波后的信号进行相加,然后送到数字高频调制器进行数字高频调制。高频调制与解调部分的原理与数字化载波机的原理相同,此处不再介绍。

2) TCM 接收部分原理(图 7 所示)

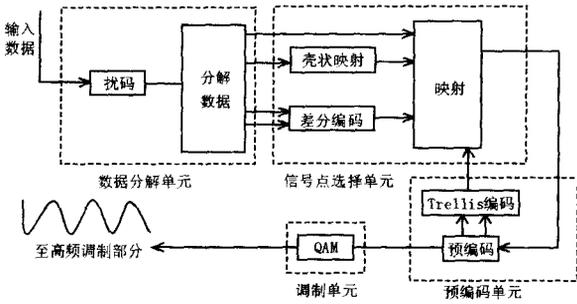


图 6 TCM 发送部分原理框图
Fig 6 TCM sending path principle

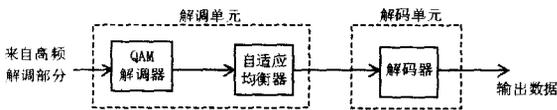


图 7 TCM 接收部分原理框图
Fig 7 TCM receiving path principle

TCM 接收支路包括两个单元: 调制单元和解码单元。

解调单元: 包括 QAM 解调和自适应均衡, QAM 解调器将高频解调送来的信号恢复成原信号点; 自适应均衡器对载波信道引起的信号幅度和相位失真进行均衡, 从而消除码间串扰 (ISI)。

解码单元: 解码器利用解调器送来的信号最大可能地判决星座点所对应的 trellis 序列, 并且将它们恢复成原始的数据送到数字复接器进行分接。

1.2.3.2 OFDM 调制解调原理^[3] (图 8 所示)

对于一个电力线载波通道, 其通道性能如干扰、失真、信噪比、频率响应等是时变的, 有时会在一个通道内的某个频率点产生很强的脉冲干扰, 导致单载波 TCM 解调系统的整体性能迅速下降, 为了进一步提高载波机的抗干扰能力, 可采用正交频分复用 (OFDM) 方式, 采用 OFDM 调制方式对载波信道来讲有如下优点: 能利用较高信噪比的载频来传输信息, 而信噪比较低的载频尽量不传输或少传输信息, 提高抗脉冲干扰的能力。

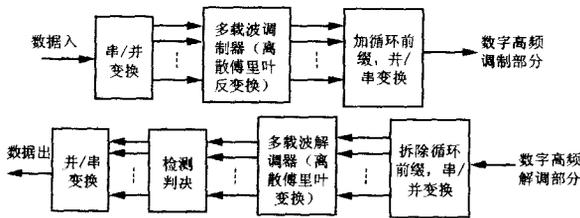


图 8 OFDM 原理
Fig 8 Block diagram of OFDM

OFDM 的发送部分由串/并变换、多载波调制、

并/串变换组成。其调制过程为: 由复接器送来的高速数据流通过串并变换分解成 N 个低速的数据群, 每个群被独立地编码, 编码后的数据群送到多载波调制器, 多载波调制器由 N 个相互独立的正交幅度调制器组成, 其多载波调制由离散傅里叶反变换 (DFT) 完成, 调制后的信号加上循环前缀, 送到高频数字调制器中进行调制。接收部分由串并变换、多载波解调、检测, 并/串变换组成, 这里不再详述。

2 载波机选用原则

2.1 数字式载波机与数字化载波机的区别

1) 数字式载波机采用的是数字单边带 (SSB) 调制技术, 在 4 kHz 的带宽内只能完成一路语音、一路数据的传输; 数字化载波机采用语音压缩技术、数字复接技术、TCM 或 OFDM 调制解调技术, 在 4 kHz 的带宽内完成多路语音、多路数据的传输。

2) 数字式载波机在线路上传输的正弦波信号其幅度、相位是连续变化的。数字式载波机在线路上传输的正弦波信号其幅度、相位的变化是离散的。

3) 数字式载波机采用 TDM 方式, 是同步通信, 在运行过程中必须保证同步。而数字化载波机采用 FDM 方式, 不需要同步信号。

2.2 数字式载波机传输总容量、信噪比、所需带宽的关系 (表 1)

表 1 传输总容量、信噪比 (误码率 $\cdot 10^{-6}$)、所需带宽

Tab 1 Total transmission capacity, signal-to-noise (BER $< 10^{-6}$) and required band

传输总容量 / bps	信噪比 / dB	所需带宽 / kHz
9 600 ~ 14 400	16 ~ 24	3.2
16 800 ~ 24 000	22 ~ 30	3.2
21 600 ~ 28 800	26 ~ 34	3.2
33 600	>40	3.429

由于载波机的有效带宽小于 3.4 kHz, 因此载波机的数据传输总速率在 4 kHz 的标称带宽内不会超过 28 800 bps。

2.3 选用原则

数字式载波机的传输容量除与信噪比、带宽有关外, 还与线路上的干扰、失真有关系, 因此并不是在所有的线路上都能达到最高传输速率。由于数字式载波机是一种同步通信方式, 当误码率小于 10^{-3} 时, 数字式载波机的同步不受影响, 当干扰特别严重, 误码率大于 10^{-3} 时, 同步会丢失, 载波机就会重新去同步^[4], 这样会造成语音、数据传输的中断, 使信息无法传输, 特别对于断路器开关有频繁操作的线路会形成很高的脉冲密度, 从而导致严重干扰, 这

些干扰会导致数字式载波机无法同步、无法运行,因此在现场使用中应注意不能一味地上数字式载波机,要针对通道的实际状况来选用。对通道状况、信噪比以及干扰、失真、传输时间满足要求的可选用数字式载波机,对通道上频繁出现瞬时中断、突发干扰比较严重、信噪比过低和传输时间有限的应降低传输容量的要求,选用数字化载波机。目前昌南公司生产的 ESB900 数字化载波机可在 4 kHz 的带宽内传输一路话音、一路 1 200 Bd(或两路 600 Bd)的数据,如采用数据专用传输方式可传输两路 1 200 Bd 或一路 2 400 Bd 的数据。

3 结束语

电力线载波通信具有成本低、可靠性高等优点,数字通信技术的发展使得电力线载波通信完全融合于现代通信环境,并与未来的发展相匹配,数字化、数字式载波机的出现使得电力线载波通信的明天更加辉煌。

参考文献:

- [1] 王奎甫.全数字化载波通信的原理及实现方法[J].继电器,2002,30(7):27-30
WANG Kui-fu The Scheme and Implementation of Digitized Power Line Carrier Equipment[J]. Relay, 2002, 30(7):27-30.
- [2] ITU - T V. 34, 协议[S].
IEU - T V. 34, Protocol[S].
- [3] Droakis J G 数字通信(第一版)[M].北京:电子工业出版社,1998.
Droakis J G Digital Communication, First Edition [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998.
- [4] Siemens ESB 2000i,电力线载波机[Z].
Siemens ESB 2000i, Power Line Carrier[Z].

收稿日期: 2005-01-20; 修回日期: 2005-07-06

作者简介:

王奎甫(1963-),男,高级工程师,从事电力系统通信的研究和开发工作。E-mail: kuifuw@xjgc.com

Principle and selected method of digital power line carrier equipment

WANG Kui-fu

(XJ Changnan Communication Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Digital power line carrier equipment is a new type of transmission system for improved capacity utilization of analog transmission paths. It adopts advanced voice compression/decompression, TCM or OFDM digital modulation/demodulation principle and the latest digital signal processor technology. With all the equipment and techniques, extremely high bandwidth efficiency are produced, for a same bandwidth permits it transfers three to four times the number of voice and data channels compared with the analog power line carrier equipment. This paper introduces the principle and implementation of digital power line carrier equipment, discusses the difference between digital and digitized power line carrier equipment, and puts forward the selection principle.

Key words: digital single side band modulation; Trellis-code modulation; orthogonal-frequency-division-multiplex; signal-to-noise; inter-symbol-interference

(上接第 69 页 continued from page 69)

Development of transformer terminal unit based on MSP430F449

TAO Wei-qing, MA Xiao-lu

(Department of Automatic Control, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Transformer terminal unit based on 16-bit microcomputer MSP430F449 is introduced. Hardware compositions, software design, and the principle and implementation of harmonics analysis are detailed. TTU can measure various parameters of power system in real-time and select different communication interfaces to realize the function of intercommunication with the host. The regulation of communication adopts IEC 870-5-101. The system has a simple structure and stable and reliable capability. The experiment shows that this system possesses higher precision and better anti-jamming to analog signals control. Moreover, harmonics analysis is applied in the design of TTU. It do amplify the function of TTU.

Key words: TTU; MSP430F449 microcomputer; IC bus; message drive; harmonics analysis