

安森美半导体电力线载波芯片的特点及其应用

◆ 安森美半导体应用工程经理/刘耀辉

一、配电线通信

中低压交流配电线用于电能的输送同时，也可作为传输介质实现数据通信。电力线载波通信（PLC）技术就是通过载波方式将模拟或数字信号在配电线上进行高速传输的技术。用电力线作为数据传输介质，利用已有的电力配电网络进行通信不需要重新布线，信号不会因为通过建筑物墙壁而受到衰减甚至屏蔽，相对较为低廉的成本，使这项技术在电表自动抄表系统，灯光控制等诸多领域受到青睐。

图1就是PLC技术典型的应用案例——远程电表自动抄表系统的示意图。

电表通过电力线与集中器进行数据交换。集中器通常位于变压器附近，是网络的核心管理者。它负责网络管理、数据集中采集、命令传送等工作；同时还通过上行线路（PSTN或RF等）与主站进行数据交换和信息传递。一台集中器可管理几十至几百只电表。

在这个系统中，集中器会按照设定的时间间隔读取各个电表的运行数据，并把数据传送给主

站，实现自动远程集中抄表。

1.1 EDF项目

当今世界上许多国家都已采用或即将部署智能电表系统并采用自动远程集抄方式。目前备受关注的就是法国ERDF的Linky电表项目。

欧盟最大的电力配电网运营商，法国电力集团（EDF）的子公司——法国电网输送公司（ERDF）已经启动了一个涉及总数量3500万只电表的项目。该项目从2012年至2017年，将把法国国内的传统电表统一更换成新型的Linky智能电表。智能电表通信采用电力线载波（PLC）技术。

项目对PLC的主要技术要求如下：

物理层：IEC 61334-5-1 和

EN 50065-1

调制方式：S-FSK

通信载波频率：Fm（传号频率）：63.3KHz；Fs（空号频率）：74KHz

通信速率：2400 Baud

物理层与电力线50Hz同步

应用层：IEC 62056-53和IEC 61334-5-11

1.2安森美半导体与PLC通信

安森美半导体针对低/中压电力线上数据通信而研发了S-FSK PLC Modem，在工业现场已有超过8年的成功应用。Modem是采用S-FSK调制方式的窄带PLC收发器，是目前唯一经过多年市场验证的器件。

产品从早期的AMIS-30585发展到如今第二代产品AMIS-

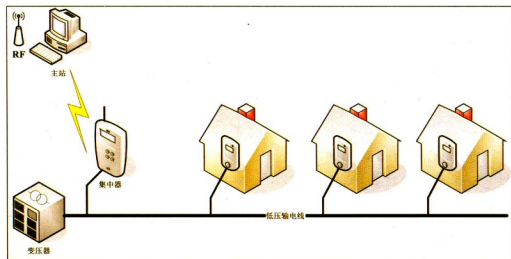


图1

49587。

AMIS-49587完全满足ERDF的技术要求，已被Linky智能电表供应商选中作为PLC通信的核心器件。

下文中，结合EDF Linky电表项目的需求，介绍AMIS-49587的特点。

二、涵盖PHY和MAC Layer的收发器

2.1 Linky电表OSI层参考模型：

Linky项目采用3层网络结构：

— 物理层PHY 采用IEC 61334-5-1标准。

— 数据链路层DLL（包括MAC和LLC子层）采用IEC 61334-5-1/IEC 61334-4-32标准

— 应用层Application Layer 采用IEC 62056-53/IEC 61334-4-511标准

AMIS-49587最突出的特点在于其作为PLC收发器除了完成

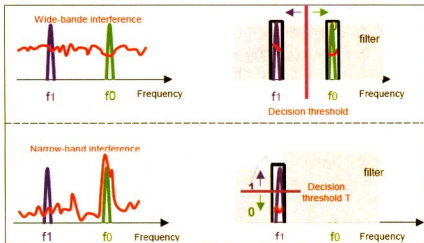


图3

物理层S-FSK信号的收发、调制解调外，还向上包含了MAC子层的处理。这个特点使用户得以把更多的精力放在应用层的开发。通过AMIS-49587进行逻辑链路层（LLC Layer）数据包的交换，底层的帧头、帧校验等都会被自动添加。这在很大程度上减少了客户软件开发方面的工作量。

2.2 物理层采用优化的 S-FSK

电力配电线并不是为信号传

送而专门设计的，它的阻抗处于随时变化中，也极易引入外界的各种电磁干扰。调制方式的选择力求在成本较低的情况下使其针对电力线特殊情况具有良好的通信效果。

FSK（频移键控）是经典的实现成本较低的频率调制方式：利用两个独立的载频传送二进制0和1。S-FSK（Spread FSK）是让这两个频率尽可能远离，（>10KHz）使两个频率传输质量相对独立，以更好的应对电网中常见的窄带干扰的影响。

图3中我们可以看到：在噪声能量比较平均的宽带干扰下，两个载频的接收信号信噪比相似。接收器滤除掉其他频率，在 f_0 （空号频率）和 f_1 （传号频率）产生两个解调信号— d_S 和 d_M ，如果 $d_S > d_M$ ，认为收到数据“0”；反之认为是数据“1”，这种情况接收器工作在FSK模式；如果遇到窄带干扰使其中一个载频下的信噪比很差时，接收器将忽略这个信道，用另一个较好信道的解调信号与一个内部阈值 T 作比较来决定收到“1”还是“0”。此时接收

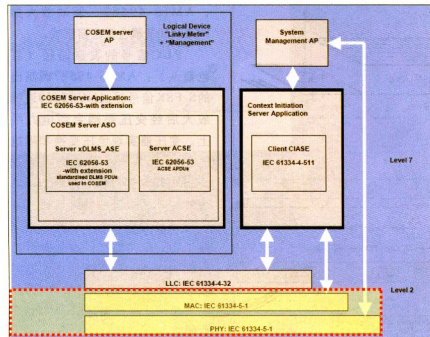


图2

器工作在幅移键控ASK模式。

此外, Modem内部处理器的解调算法尤为重要。其对接灵敏度影响很大。Linky项目要求接收机在S-FSK信号有效值2mV至2V内都可正常识别。

灵活的调制解调模式、先进可靠的解调算法使AMIS-49587具有优异的抵抗电力线上干扰的性能。

2.3 物理层帧格式

AMIS-49587按照IEC61334-5-1物理帧格式来传送数据。

物理帧以时间片(或称时隙, Time Slot)为发送间隔。帧起点被称为时间片指示器Slot indicator, 这点对应电力线电压50Hz的过零点。客户端(Client, 也就是主机)必须在过零点开始发送物理帧。IEC61334-5-1的整个系统都是以时间片为同步依据的, 了解这一点十分重要。

以2400bps速率为例, 传送

1个时间片或物理帧的时间需要150ms。

物理帧由前导码Preamble、起始子帧定界符Start Subframe Delimiter、MAC子帧(Data)和暂停域Pause组成。

物理帧总是起始于基本时间片的整数倍, 这时刻称作时间片指示器。在时间片同步后, 每个装置的物理层就可以通过它的内部时钟独立地跟踪时间片指示器。

前导码和起始子帧定界符(AAAAh和54C7h)具有重要意义。接收方可以在接收这4个字节期间:

- (1) 调整确定接收增益
- (2) 测量信噪比
- (3) 确定解调方式 FSK 或 ASK
- (4) 帧检查, 是否是合法的物理帧的开始
- (5) 调整服务器(Server,

也就是从机)与客户端(Client)同步

2.4 MAC帧与物理帧

如图5所示: 物理帧将MAC帧“包装”后发送。一个物理帧有38个字节数据域, 一次可以发送一个MAC子帧。长MAC帧可以由多达7个MAC子帧组成。有多个MAC子帧的长MAC帧会被拆分成几个子帧, 由相应数量的物理帧顺序发送。接收方全部接收后, 再把它们整合起来。

MAC帧头Header由子帧数、初始可信值IC、当前可信值CC、差值可信值DC、源地址、目的地址以及填充长度Pad Length组成。可信值的使用会在后面中继的章节中详细介绍。LLC帧作为数据被包含在MAC帧中。

三、安森美半导体PLC解决方案

方案主要由PLC Modem, AMIS-49587、驱动放大器NCS5650及耦合变压器组成。

PLC信号的发送路径(红色箭头): AMIS-49587调制出的S-FSK信号经过NCS5650进行放大后经变压器耦合到电力线上。变压器实现电压变换和阻抗匹配, 也用于强弱电的隔离。NCS5650除了对信号进行功率放大外, 其两级运放的结构还组成了衰减特性很陡的4阶低通滤波器。在对电力线接入设备有严格限制的欧洲, 只有增加类似的滤波器, 才能够保证系统对电力线的高频干扰注入满足EN 50065规范的要求。

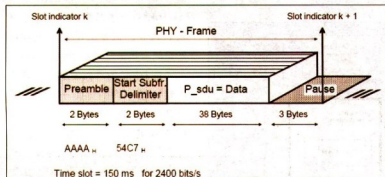


图4

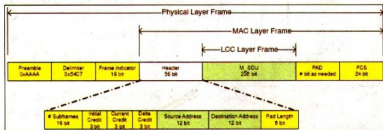


图5

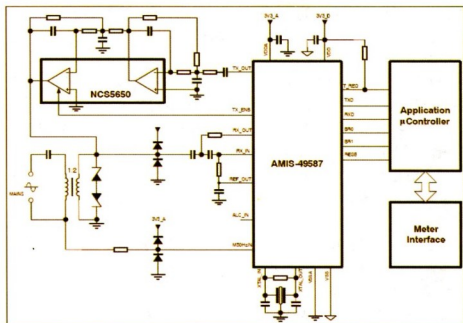


图6

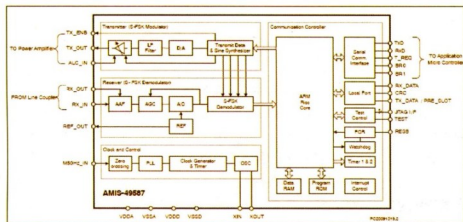


图7

蓝色箭头标注出了接收路径：变压器从电力线耦合过来的信号经过AMIS-49587内置放大器构成的低通滤波器在内部ARM进行FSK解调分析。

图6中黑色箭头是50Hz的过零检测信号引脚。系统依靠这个信号进行同步定时。

图中蓝色虚线框内是电表内的应用处理器，负责通信应用层处理及计量。其与PLC Modem的接口是简单的SCI串行口。

方案的供电十分简单：一路12V——供给线路放大器，用于驱动PLC信号耦合变压器；一路3.3V

给AMIS-49587供电。

3.1 AMIS-49587功能框图

我们再了解一下AMIS-49587的内部结构。

AMIS-49587的核心是一个

32位ARM处理器，完成物理层和MAC层的处理，运行S-FSK调制解调的算法，同时也管理着与外部MCU的通信。嵌入软件储存在片内ROM中。

芯片左边是模拟部分：FSK信号合成输出、接收解调以及系统时钟和50Hz的锁相环。

芯片包含了所有S-FSK信号处理、MCU接口管理等模拟、数字部分。变压器驱动由于是功率放大部分成为收发器板上的发热源。为了防止高热可能给系统精度带来影响，AMIS-49587并没有把信号的功率驱动纳入这颗IC中，而是采用外置方案。

3.2 独特的系统中继方案

在网络通信中，长距离的信息传送需要中继来实现。安森美半导体的AMIS-49587支持采用Repetition with Credit算法进行中继。在这种中继方案中，系统没有需要预先设定的中继器Repeater。其核心理念是每一个服务器端（即电表）都可以是其它服务器的Repeater，帮助把信息或命令接续传递。即使收到的帧目的地址不匹配，如果需要转发，服务器也会将其转发。转发采用以时间片和声（Chorus）方式，这

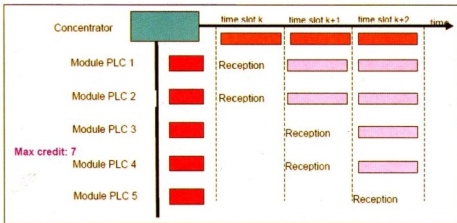


图8

种方式依赖于整个系统统一与时间片同步。

Repetition with Credit中继算法采用了叫做可信度管理的办法。可信度分为7级，由客户端（集中器）进行管理。系统规定：如果服务器被配置成了Repeater，如果收到的MAC帧的当前可信度大于0，这个服务器就要在下一个时间片到来时把这帧重复转发，当前可信度减一。直到当前可信度为0时帧重复的过程终止。在这种机制下，在同一时间片，可能存在许多服务器同时重复转发，这就是和声。

下面（见图8）以一个单MAC帧的转发过程为例，来说明Repetition with Credit机制。

（1）集中器在时间片K给电表5发出一帧并在MAC帧头设定了初始可信度为2。电表（Module PLC）1和2因为距离较近在时间片K正确收到这一帧。

（2）由于这一帧的可信度（Credit）大于0，集中器、电表1和2收到后在时间片K+1开始重复这一帧，当前可信度减一，变为1。电表3和4在这个时间片收到这一帧。但电表5由于线路太远还是没有收到。

（3）电表3和4在K+2重复同一帧。当前可信度减一，集中器、电表1和2也在同时重复，与3和4“和声”。电表5正确收到这一帧。由于当前可信度已变为0，下一时间片所有电表不再重复发送这一帧。

系统最大可设定初始可信度为7，假定一台集中器和一台电表的通信距达300m。如果有了带有

7级可信度管理的中继，通信距离将可达2400m。

在这个中继机制中，有三个变量IC、CC、DC分别代表初始可信度、当前可信度以及差值可信度。集中器根据算法设置初始可信度。当前可信度CC会在帧转发过程中随每一次转发逐一递减。差值可信度DC对中间的中继站没有意义，只在目的地址电表处，IC减去CC，得到差值可信度DC。该电表会在回复帧中把DC值发送回给集中器，集中器可以根据这个值修订下次访问该电表的初始可信度。

由于电力线阻抗、干扰状况等处于时时变化中，PLC通信的质量也在不断变化。可信度算法使客户端可以实时根据网络通信状况进行动态管理，以实现可靠的数据传送。

由AMIS-49587组成PLC网络废弃了传统的具有诸多弊端的路由方案，没有复杂的路由表，不需要人工设定和调整中继转发器，网络会自动的找到最佳路由线路，并且持续进行动态的调节。

此外，在Linky项目中，还引入了Repeater Call机制。定期运行的这个机制通过先进的算法调整传输路径中转发器的设置，减少不必要的电表参与“和声”，以减少可能的串扰或回声，这是对网络路由的进一步优化。

3.3 网络建立

由AMIS-49587组成的网络采用主从结构，一个客户端（也称主机或集中器）与多个服务器（从机或电表）组成网络。一般通信的发起者是客户端。按照IEC

61334-5-511，客户端运行“发现Discovery”和“注册Register”服务。“发现”查找新加入或因故重新加入网络的服务器。如果服务器进行了正确的应答，进入注册过程，将被分配独立的MAC地址。

客户端会定期运行发现、注册服务，以实现系统Plug & Play。也会定期进行点对点的Ping服务以确定服务器是否在网和消除可能的地址冲突。

3.3.1 智能同步Smart synchronization

主从网络中，服务器必须先与客户端绑定（绑定后只回复该客户端）才能完成注册进而正常与客户端通信。这个过程叫与客户端同步。服务器与一个客户端同步后，将不再应答其它客户端。客户端访问超时或服务器主动解除同步时，重新进入客户端搜索状态。

刚上电的服务器与50Hz锁定后会不断分析信道，查找前导码（AAAAh）和起始子帧定界符（54C7h），如果侦听到，而且接下来正确收到客户端发出的物理帧后，即可与该客户端同步，并接受注册。

在同步过程中，AMIS-49587采用了更加智能的Smart Synchronization：在一定时间内（可设定），新入网服务器可以先后与多个客户端同步再主动解除同步，期间记录每个客户端信号的强度（SNR）。在设定时间到来时，该服务器最后会选择与信号最强的客户端同步。

该机制非常有效的解决了抄

表系统中常见的多台区/多相信号串扰问题。由于电表都会自动找到最近的集中器与之同步，不需要人工干预，使网络路径自动得到了优化，也极大的减少了施工中的工作量。

3.3.2 报警Alarm机制

AMIS-49587构成的PLC网络中还具有报警机制。当电表有故障发生时，要求其通过网络报警，以便管理人员及时得知并处理。主动上报相当于在网络中实现双向通信。Linky电表会在物理帧的Pause时间段的3个字节发出Alarm警报。主机收到后会发起Discovery服务，以便调查具体故障原因。

Alarm另一个非常有用的功用是新电表刚接入时，会通过Alarm

提示集中器发起Discovery。这会加快新表的接入过程。不必非得等待主机例行的Discovery服务到来。

四、结束语

安森美半导体的AMIS-49587是完全遵从IEC-61334标准开发的电力线载波收发器。在完成物理层调制解调外，嵌入MAC层的处理是这款芯片独到的特点，使其成为具有协议解析功能的PLC收发器。客户在使用这款收发器传送或接收的数据时，不需要太多关注协议的细节。

可信值“和声”中继模式取消了繁杂的路由表，在集中器控制下系统自动找到并持续调整最佳路由线路，使长距离通信变得简单可

靠的同时极大地减少了施工维护工作量。智能同步、Repeater Call模式的加入更是进一步实时动态的对网络进行了优化。

安森美半导体还为PLC应用专门开发了线路驱动器——NCS5650。集成了高带宽运算放大器和高达2A输出电流的功率放大器。两级运放的结构使其非常容易配制成4阶低通滤波器，以便满足各种规章（如EN 50065）对电力线高频注入的严格限制。

安森美半导体的PLC解决方案非常适用于自动化抄表、灯光控制、家用电器以及其它区域集中控制等场合。方案简单易用，实施效果和可靠性已在欧洲工业现场有超过8年的验证。CIC