

## TI 窄带电力线通信 (NB PLC) 解决方案介绍

董超 (Knight Dong)

MCU FAE Team

### 摘要

窄带电力线通信 (NB PLC) 是指通过使用已有的电力线设施作为通信媒介实现窄带通信的方法, 可以替换无线或者其它类型的有线通信标准, 从而获得更好的成本效益。NB PLC 可以作为智能监控的手段应用在工业领域, 例如智能电表 (smart metering)。目前, NB PLC 已经有行业联盟协议 (IEC 61334, PRIME, G3) 和调制方式 (FSK, S-FSK, OFDM) 可以使用。同时, 电子行业的两大国际标准委员会 (ITU-T, IEEE) 也在制定电力线通信的国际标准, 其中 ITU-T G.hnem 基于 PRIME; IEEE P1901.2 基于 G3。鉴于此, TI 提供了灵活的开发平台给电力线通信的开发商, 从而帮助企业简化设计, 允许针对不同工作条件而进行优化, 能够容易地进行调整以遵循不断演进的标准。

### 目录

<b>1</b>	<b>PLC 简介</b> .....	<b>2</b>
1.1	PLC 的分类及其频带与调制方式 .....	2
1.2	PLC 的应用及其优势 .....	3
1.3	PLC 面临的挑战 .....	4
<b>2</b>	<b>TI 窄带 PLC 解决方案的设计</b> .....	<b>4</b>
2.1	PLC 软件的模块化 .....	4
2.2	PLC 硬件的模块化 .....	5
<b>3</b>	<b>总结</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>参考</b> .....	<b>8</b>

### 图形

图 1	窄带 PLC 在欧洲的频带划分 .....	2
图 2	窄带 PLC 的调制方式 .....	2
图 3	PLC 解决方案的应用领域 .....	3
图 4	TI 的 PLC 解决方案软件框图 .....	5
图 5	TI 的 PLC 硬件开发工具 .....	5
图 6	TI 的 PLC 硬件开发框图 .....	6
图 7	TMS320F28069 性能及外设资源 .....	6
图 8	AFE031 典型应用原理图 .....	7

# 1 PLC 简介[1]

## 1.1 PLC 的分类及其频带与调制方式

PLC 技术总体上可以划分为宽带（Broadband）PLC 和窄带（Narrowband）PLC 两大类。前者适用于 Internet 互联网这类高速广域网连接，采用 OFDM 调制方式，目前 HomePlug 联盟制定的标准成为国际主流；后者适用于侧重低成本、高可靠性而只需要窄带控制或者低带宽数据采集的场合。目前，适用于 NB PLC 的 PRIME、G3 标准已经进入实际部署阶段；而 IEEE P1901.2 以及 ITU-T G.hnem 两大国际标准即将制定完成。

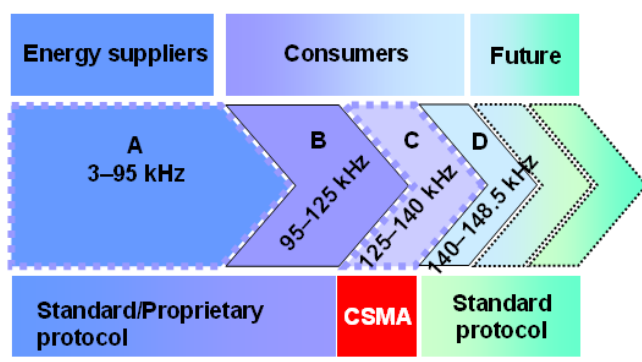


图 1 窄带 PLC 在欧洲的频带划分

NB PLC 的频带由各个国家的频带管理机构来指定和划分。图 1 给出了由 CENELEC 定义的欧洲的 NB PLC 频带划分方式。

美国由 FCC 机构定义的 NB PLC 频带为单一的 10 kHz - 490 kHz 这段较宽的频率段，媒体接入协议由 PLC 标准来定义。同时，也指定了 HomePlug 标准所使用的宽带 PLC 的频带为 2 - 30 MHz。日本由 ARIB 机构定义的 NB PLC 频带为 10 kHz - 450 kHz 这段频率段。而在中国，EPRI 更倾向于使用 3 - 90 kHz 这段频率；而 3 - 500 kHz 这段单一的频率段如何使用并没有规定。

NB PLC 的调制方式主要有 FSK,S-FSK,OFDM。图 2 分别给出了 IEC 61334、G3、PRIME 这三个 NB PLC 标准所使用的调制方式以及相应的最大通信速率和应用层接口。

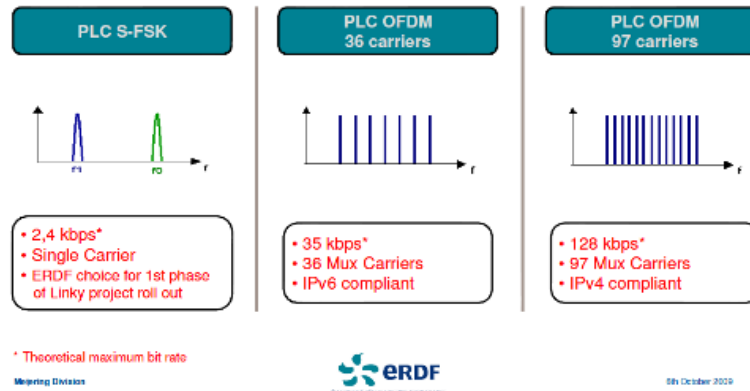


图 2 窄带 PLC 的调制方式

TI 专注于基于 OFDM 调制的 NB PLC 技术的研发和推广。原因主要在于以下几点：1) 低于 500 KHz 的 PLC 信号能够穿过变压器，这具有很好的传播特性；2) NB PLC 在使用 MCU 或 DSP 实现时具有较好的成本效益；3) 在窄带干扰 (NBI) 和短脉冲干扰 (Impulse) 下有很强的健壮性 (Robust)；4) 频率选择性信道的响应 (阻抗特性) 较好；5) 能够与已有的技术 (FSK, S-FSK) 共存；6) TI 在 OFDM 软件方面有很好的积累，软件库能够得以重用并且能够在不同的 MCU 系列之间移植从而实现成本和性能的平衡。

## 1.2 PLC 的应用及其优势

PLC 能够在电力线上传输数据，这样就为许多的应用领域提供了一种具有成本效益的通信方式。由于不需要在互联的设备直接安装额外的线缆，PLC 显著的降低了系统成本、增加可靠性，同时能够实现有效的通信。

PLC 技术能够利用已有的电力线基础设施，这使得它在智能电网 (Smart Grid) 领域占据着优势的技术地位。在智能电表领域，NB PLC 提供了一种稳健的能够替代无线通信的方式，能够满足带宽、功耗和成本的要求。NB PLC 已经有不同的标准，其数据率也从 1.2Kbps 到最高 128Kbps 不等，能够满足数据采集、照明控制、家庭自动化等应用的带宽要求。这样，NB PLC 将是一种非常有吸引力的能够作为智能电网通信基础设施的技术。

最终，电力事业公司 (Utility Companies) 通过使用 PLC 技术将能够持续的监控一天之中终端用户设备或者应用的不断更新的 (up-to-date) 用电情况，从而有针对性的给出电力定价策略用于鼓励消费者调整用电习惯，达到削减电网峰值负载、避免建设更多的发电厂目的。

同样的，PLC 技术使得在照明控制、家居和建筑物的供热和空调系统自动化、安全等系统中实现更加智能化的管理成为可能。只要系统连接到供电网络，它的效率和运行状况就能够被智能地管理和改进。图 3 给出了 PLC 解决方案能够适用的应用领域，例如智能电网 (Smart Grid)、街灯照明 (Street Lighting)、智能电表 (Smart Meter)、太阳能 (Solar Energy)、风能 (Wind Energy)、家居自动化 (Home Automation)，等。

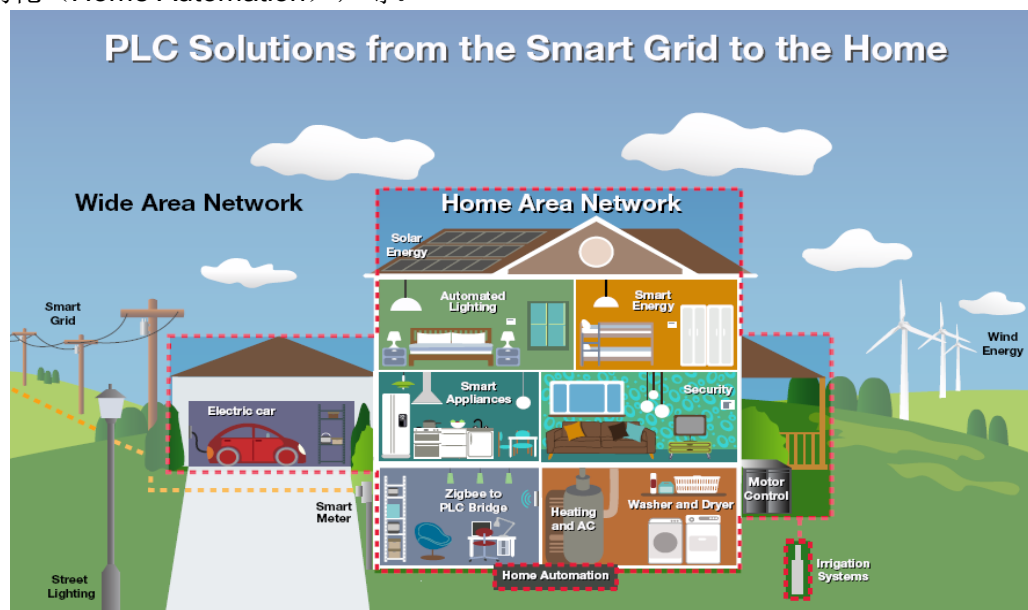


图 3 PLC 解决方案的应用领域

## 1.3 PLC 面临的挑战

开发一种有效的 PLC 实现会面临许多的挑战，例如，电力线固有的噪声；需要健壮的架构来确保数据可靠性；每种应用和运行环境都是不同的，需要开发者优化设计来适应各种因素。

PLC 实现的功能过于固定化将会限制其应用领域；而且，由于 PLC 的标准还没完全确定仍然在不断演进中，这也是一种冒险性的设计策略。开发者需要灵活性的平台，这将能够针对每种应用的特定需求来优化设计，同时也能够适应新的标准和新兴的市场机会。这样，PLC 的知识产权可以在多种应用得以重用，进而在应对不断扩展的市场机会时能够加速开发进程、缩短产品上市时间。

硬件和软件的模块化设计是达到开发平台灵活性的关键部分。通过把复杂的 PLC 系统分解成一些独立的子系统，可以允许开发者在不必完全重新设计整个系统的情况下改变设计的某一方面，例如调制方式或者通信协议。

- 调制方式：硬件层的灵活性使得开发者可以针对某种特定的应用实现最有效的调制方式。例如，窄带通信可以使用扩展频移键控（S-FSK）和正交频分复用（OFDM）。
- 通信协议：为了实现互操作性，设备必须遵循特定的协议标准。在灵活的平台之上，开发者可以方便地实现所有流行的 PLC 标准，例如 SFSK (IEC61334), PRIME 和 G3；同时，能够使得设备随着标准的演讲而保持更新。此外，由于不需要完全地重新设计硬件和固件，把设计移植到新应用或协议的过程也将变得简单。
- 遵循本地规章：各个国家对“绿色电子产品”的热情支持催生了通信规章（CENELEC, FCC, ARIB 等），这将给智能电网（Smart Grid）和其它以 PLC 为基础的应用带来深刻的影响。开发者需要工具来确保设备满足规章要求，同时帮助他们尽快地通过测试，以获得批准使产品尽快上市。

## 2 TI NB PLC 解决方案的设计

TI 的 NB PLC 解决方案使得开发人员不必关心其设计的复杂性，降低了 PLC 在很多工业应用领域的使用门槛。TI NB PLC 解决方案的高效和灵活使得客户能够快速的针对特定的应用需求进行差异化和定制化设计。基于独特的模块化硬件架构和灵活的软件框架，TI 的 PLC 解决方案是目前业界唯一的在单一的平台能够支持多种标准和调制方式的技术。

### 2.1 PLC 软件的模块化[1]

如图 4 所示，TI 的 PLC 软件（plcSUITE™）提供了功能强大的框架使得开发者能够快速的发展 PLC 实现并且测试其健壮性。软件平台的灵活性允许开发者把调制实现、协议设计、应用开发分隔开来。开发者可以利用图形接口（GUI）方便地对 PLC 关键的性能参数可视化和调整。TI 的 NB PLC 解决方案在同一个硬件平台可以支持多种调制方式和协议标准。

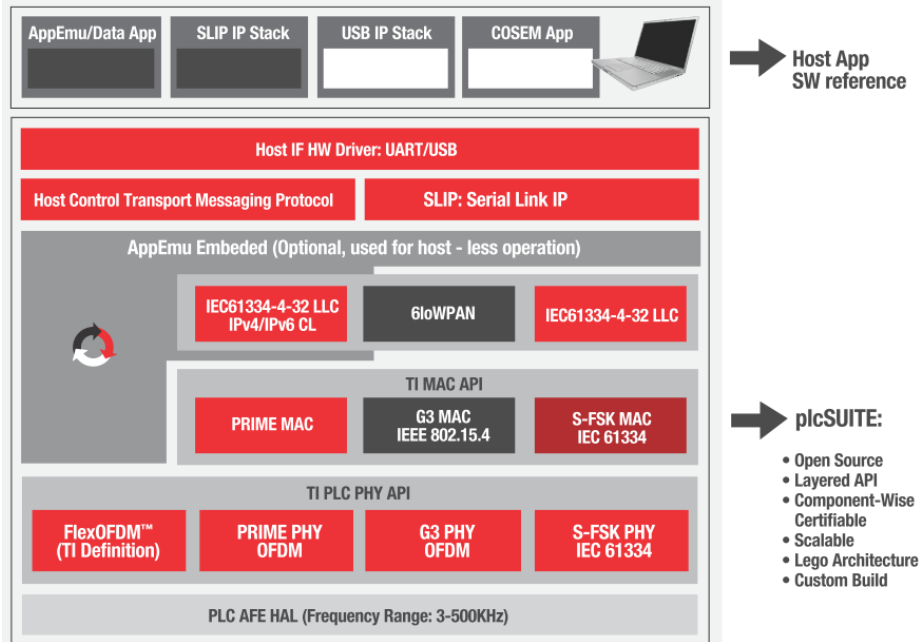


图 4 TI 的 PLC 解决方案软件框图

## 2.2 PLC 硬件的模块化

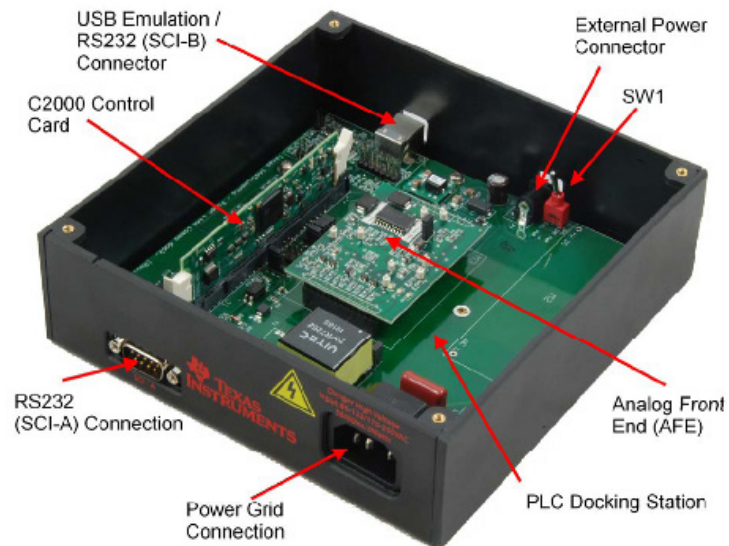


图 5 TI 的 PLC 硬件开发工具

TI 灵活的 NB PLC 硬件平台使得开发变得更加简单。如图 5 所示，PLC 硬件开发工具由模拟前端（AFE）、MCU 卡、基座（Docking Station）组成。开发平台的模块化设计允许开发者容易地调整系统的硬件能力来满足不同的 PLC 通信指标。例如，TI 除了支持 PRIME 和 G3 标准外，通过 FlexOFDM™ 库还支持私有的、完全可编程的基于 OFDM 的系统；开发者能够针对特定的运行环境来优化性能和稳定性，进而进一步地提高效率。如果有需要，还可以通过配置工作频带和数据发送的频点来快速地定制 OFDM 实现；这些改进可以独立于协议和应用层软件。一旦设计、验证完成，开发者可以通过把各个模块集成到单个硬件板（SOM）来降低硬件成本[1]。

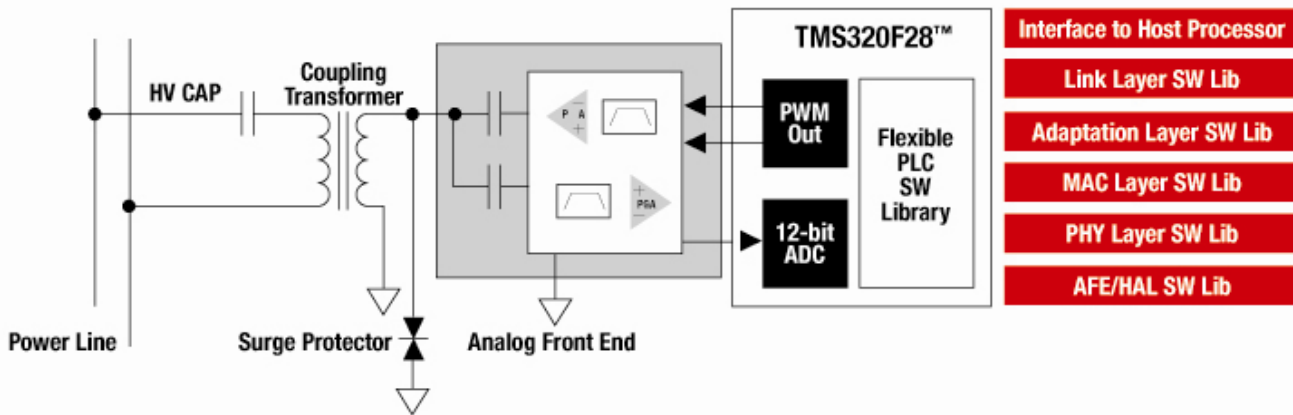


图 6 TI 的 PLC 硬件开发框图

如图 6 所示，TI NB PLC 系统的核心是包括耦合电路在内的模拟前端、用于数字调制和网络实现的处理器。处理器主要实现调制解调等信号处理、媒体接入控制（MAC）、网络层处理（路由、IPV6 等）、应用层实现。处理器的内存及运算能力决定了所能够处理的信号带宽以及所能够达到的数据速率。

为了降低成本同时提高性能，TI 增加 TMS320C2000 MCU 指令集，新增加的指令集由紧耦合的协处理器---VCU（Viterbi, Complex Math, CRC Unit）单元来实现。VCU 通过增加针对复数运算、维特比译码、CRC 计算的汇编指令来增强 C2000 MCU 的处理能力。新增的 VCU 指令集能够加速物理层 OFDM 信号的处理和 MAC 层数据包 CRC 的计算[4]。TMS320F28069 的性能和外设资源如图 7 所示。

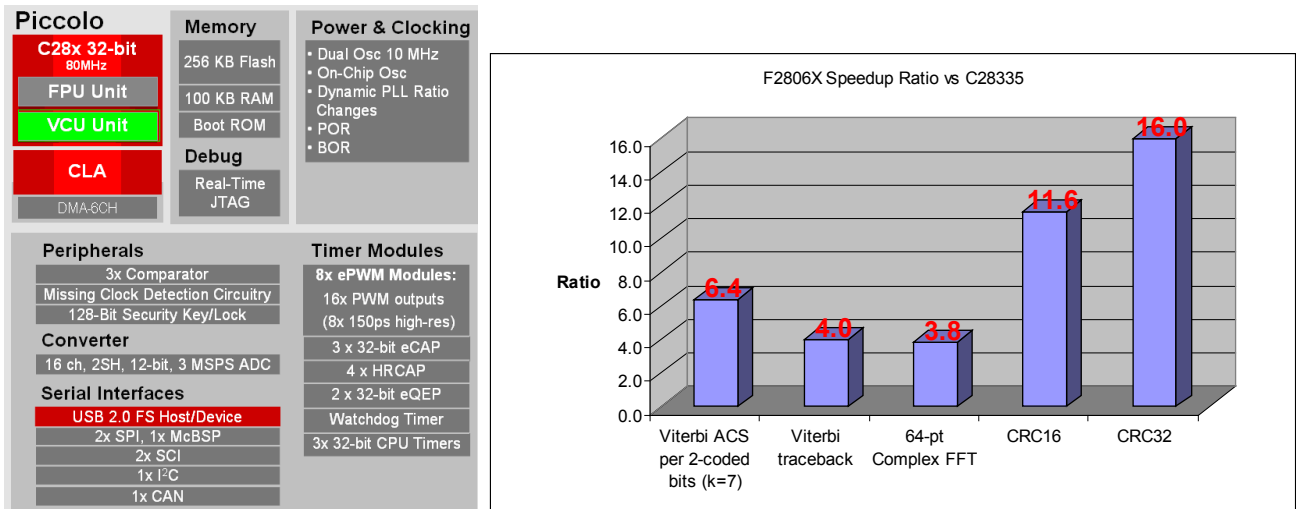


图 7 TMS320F28069 性能及外设资源

高性能、集成的模拟前端（AFE031），如图 8 所示，主要用来滤波、调理、放大信号，同时耦合调制信号到传输线。高性能的 AFE 需要具备下列特点：能够大电流来驱动低阻抗电力线；能够通过高压电容和变压器来耦合信号到电力线；能够检测小到 20UV<sub>rms</sub>的信号、具有宽范围的增益选项来适应可变的输入信号。因此，设计 NB PLC 的模拟前端（AFE）非常具有挑战性。使用 AFE031 能够帮助设计者简化设计高性能模拟前端的工作，设计者只需专注于电路设计（例如，电力线耦合接口、电路保护等）和 PCB 的温度设计。

AFE031 是集成的、高性能的适用于电力线通信的模拟前端芯片，由许多功能块组成，能够被 MCU 无缝地连接和驱动。如图 8 所示，AFE031 的发送通路（Transmitter）从 MCU 通过 SPI 接收数字信号，由内部 DAC 转换成模拟信号，经过滤波和功率放大，通过耦合变压器驱动 AC 电力线。AFE031 的接收通路（Receiver）从 AC 电力线接收模拟信号，滤除噪声，通过可编程增益放大器（PGA）放大，经过 ADC 转换成数字信号输入到 MCU 处理[3][5]。

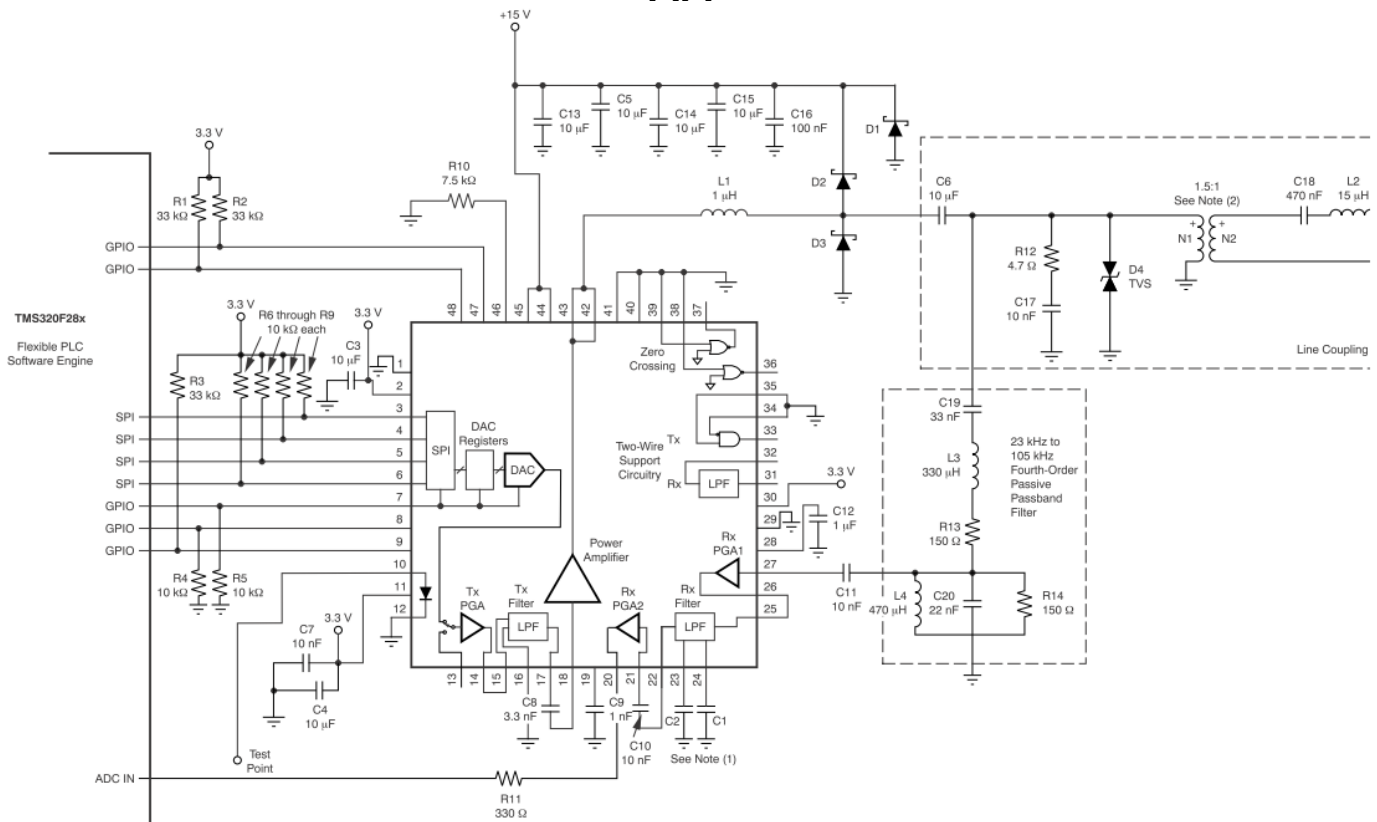


图 8 AFE031 典型应用原理图

### 3 总结

TI 持续地在智能电网和智能电表技术领域加大投资，在 Dallas 建立了 PLC 研发中心，以市场上最灵活的 NB PLC 解决方案引领该行业。TI 在 NB PLC 领域非常的活跃，是 PRIME 联盟（[www.prime-alliance.org](http://www.prime-alliance.org)）的核心会员。TI 基于 PRIME 标准的解决方案在世界各地都进行了成功的 MAC/PHY 层的现场测试，且已经通过认证，交付客户开始了大规模部署。

目前，TI 在即将制定完成的两大窄带 PLC 国际标准中（IEEE P1901.2, ITU-T G.hnem）发挥着不容忽视的作用。在 2011 年 1 月份，TI、MAXIM 与法国的 ERDF 公司合作向美国机动车工程师学会（SAE）的 PEV 委员会提交了 J2931-3 NB PLC 技术标准，该标准基于即将制定完成的 IEEE P191.2 国际 NB PLC 标准（<http://grouper.ieee.org/groups/1901/2/>）。J2931-3 规范电动汽车(Plug-In Electric Vehicle, PEV)和电动汽车充电服务设备(Electric Vehicle Service Equipment, EVSE)之间在充电时的通信[2]。

通过利用已有的电力线设施作为传输数据的链路，PLC 在许多应用领域都是最有成本效益的通信方式，够改变我们监视和控制世界的方式。开发者利用 TI 灵活而成熟的窄带 PLC 解决方案将能够加快其具有 PLC 特性的产品上市时间。

#### 4 参考

- [1]. *TI Delivers Flexible Power Line Communications Solutions*, Olivier Monnier
- [2]. *Automotive qualified J2931/3 reference design achieves affordability, robustness, and high performance communications between the PEV and EVSE*, Don Shaver,  
[www.cygnuscorp.com/autorem%20paper%20r4.pdf](http://www.cygnuscorp.com/autorem%20paper%20r4.pdf)
- [3]. *Analog Front-End Design for a Narrowband Power-Line Communications Modem Using the AFE031*, Ed Mullins, Anass Mrabet
- [4]. TMS320F28069, [www.ti.com/product/tms320f28069](http://www.ti.com/product/tms320f28069)
- [5]. AFE031, [www.ti.com/product/afe031](http://www.ti.com/product/afe031)
- [6]. G3-PLC Alliance “G3 Physical Layer Specification”, <http://www.g3-plc.com/technical-information>



## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>		
	德州仪器在线技术支持社区		<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司