

## **TI PLCLite 在分布式太阳能并网通信系统中的应用**

---

Louis Lu

East China EP FAE Team

### **摘要**

PLCLite 是 TI 基于电力载波通信协议 PRIME 及 G3，结合自身载波现场应用经验以及客户应用设计的需求，设计的自主产权的载波技术。PLCLite 采用 OFDM 调制技术，可在 CELENEC A/B/C/D 频段内选取任一 23KHz 频带进行数据传输。PLCLite 物理层采用了前向纠错算法及特殊的鲁棒模式，使其能够在低信噪比的信道上实现可靠的数据传输。目前 PLCLite 已在家庭用电交互终端，分布式太阳能发电，LED 照明等领域普遍应用。

本篇应用手册将对 PLCLite 方案及其技术特性进行介绍，并结合分布式太阳能并网通信系统介绍 PLCLite 设计相关应用技巧及注意事项。

## 目录

<b>1</b>	<b>PLCLITE 方案介绍 .....</b>	<b>3</b>
1.1	PLCLITE 硬件架构介绍 .....	3
1.2	PLCLITE 软件开发流程 .....	4
<b>2</b>	<b>基于算法库的载波通信工程开发 .....</b>	<b>4</b>
2.1	算法库软件开发流程.....	4
<b>3</b>	<b>基于 PLCLITE 的分布式太阳能发电系统软件设计.....</b>	<b>8</b>
3.1	系统概述 .....	8
3.2	系统软件设计 .....	8
3.3	系统软件设计注意事项.....	10
<b>4</b>	<b>总结.....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>参考文献.....</b>	<b>11</b>

## 图

<b>图 1.</b>	<b>PLCLITE 硬件框图.....</b>	<b>3</b>
<b>图 2.</b>	<b>基于载波固件的系统开发方式 .....</b>	<b>4</b>
<b>图 3.</b>	<b>基于算法库的系统开发方式 .....</b>	<b>4</b>
<b>图 4.</b>	<b>基于算法库的软件开发流程 .....</b>	<b>5</b>
<b>图 5.</b>	<b>载波系统初始化流程图.....</b>	<b>7</b>
<b>图 6.</b>	<b>载波系统数据收发流程图.....</b>	<b>7</b>
<b>图 7.</b>	<b>分布式太阳能组网逆变系统 .....</b>	<b>8</b>
<b>图 8.</b>	<b>分布式太阳能组网系统注册流程.....</b>	<b>9</b>
<b>图 9.</b>	<b>分布式太阳能组网系统通信流程.....</b>	<b>9</b>
<b>图 10.</b>	<b>逆变器工作时候的背景噪音分布.....</b>	<b>10</b>

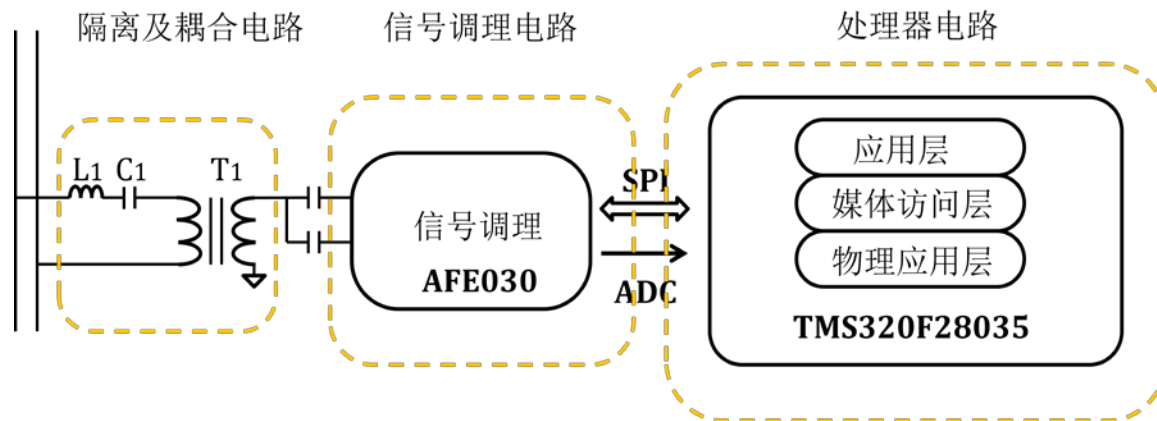
## 表

<b>表 1.</b>	<b>CELENEC 频带 LC 参数选型表 .....</b>	<b>3</b>
<b>表 2.</b>	<b>PLCLITE 算法实现 MIPS.....</b>	<b>10</b>

# 1 PLCLite 方案介绍

## 1.1 PLCLite 硬件架构介绍

PLCLite 方案硬件框图如图 1 所示, 主要由三部分构成:



□ 1. PLCLite 硬件框图

**隔离及耦合电路:** 这部分电路由 L1, C1 组成的串联谐振电路及高频变压器 T1 构成, 主要完成载波信号在电网以及载波调制器端的耦合, 以及电网高压端与处理器低压端的信号隔离。

**信号调理电路:** 这部分电路主要由 TI 为电力载波定制的高性能载波模拟前端 AFE030 及其外围信号调理电路构成, 主要完成对发送信号以及接收信号的调理。

**处理器电路:** 这部分电路由 TI 实时信号处理器 TMS320F28035 组成, 主要实现载波所需要的软件算法以及客户的应用程序。

需要强调的是, 为了取得更优的通信效果及更强的系统稳定性, 在硬件设计过程中需要注意以下四点:

1) C1 与 L1 所构成的串联谐振电路, 其参数选择影响到谐振电路的品质因素, 进而影响到其对信号的频带选择性。为了达到最优的信号通信效果, 需要根据系统应用中所选取的载波频带对应选取 L1 与 C1 的参数, 常用 CELENEC 频带对应的 L&C 参数如表格 1。

表 1. CELENEC 频带 LC 参数选型表

	<20KHz	CELENEC A	CELENEC B/C	FCC
L&C	47uH ; 4.7uF	15uH ; 0.47uF	3.8uH ; 0.47uF	600nH ; 0.47uF

2) 由于载波通信借助于信道恶劣的电力线来进行数据传输, 为了保证模拟前端的稳定工作以及数据传输的可靠性, AFE030 的保护电路设计以及其外围的滤波网络设计很重要, 具体的设计指南请参考应用手册“AFE Design for a Narrowband Power-Line Communications Modem Using the AFE031 (Rev. A)”。

3) 绘制的载波电路 PCB, 需要严格按照 TI 提供的参考原理图上的注释进行布局, 如保证关键信号线宽度大于 20mil, 关键信号的走线应该尽可能短等。

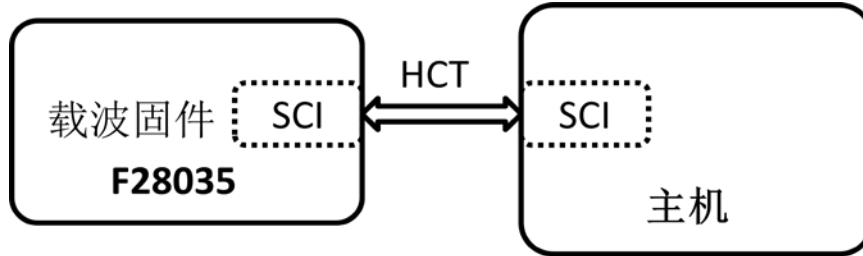
4) 鉴于 C2000 用来实现信号 OFDM 调制以及载波通信的物理层, 其对时钟的精确性要求很高, 需要外接  $\pm 25\text{ppm}$  的高精度时钟振荡器。

## 1.2 PLCLite 软件开发流程

PLCLite 软件基于 TI 实时信号处理器 C2000，采用分层的软件架构。目前，TI 提供两种使用方式供客户选择：

### 1) 基于固件包的开发方式

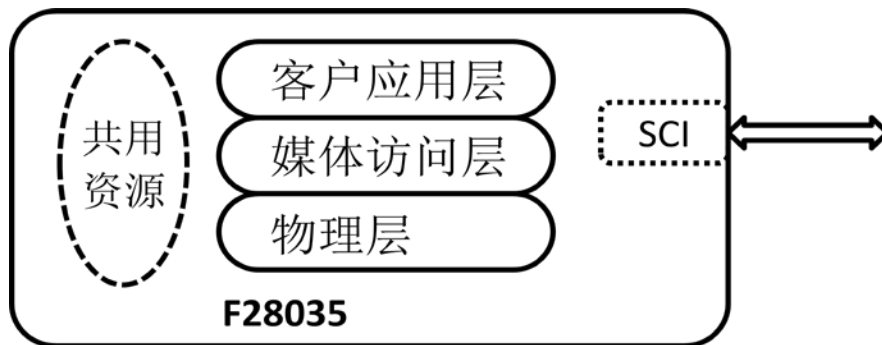
采用固件包开发系统的方式框图如图 2。F28035 烧录 PLCLite 固件，F28035 公布一个外部 SCI 接口与主机通信。F28035 与主机间通信需要遵循 TI 定义的 HCT 协议。主机可以按照 HCT 协议规定，对载波的参数进行相关的参数配置，向电力线发送数据或者接收来自电力线上的数据。该开发方式简单易用，是最快速简洁的开发方式。对于 HCT 协议的相关定义，请参考 TI 载波开发包里的文档“PLC Lite Host Message Protocol Specification”。



□ 2. 基于载波固件的系统开发方式

### 2) 基于算法库的开发方式

采用算法库进行系统开发的框图如图 3。这种方式，TI 提供实现载波通信的算法 API 库文件，客户基于算法库，完成系统的设计。使用这种方式，客户在实现载波通信同时可以在 F28035 上实现部分自定义功能，例如 I/O 口的控制，接口协议的转换，组网应用层的设计等。可以看出，基于算法库的开发方式可以给客户带来更大的灵活性。本文主要对算法库的开发方式进行更详细的说明。

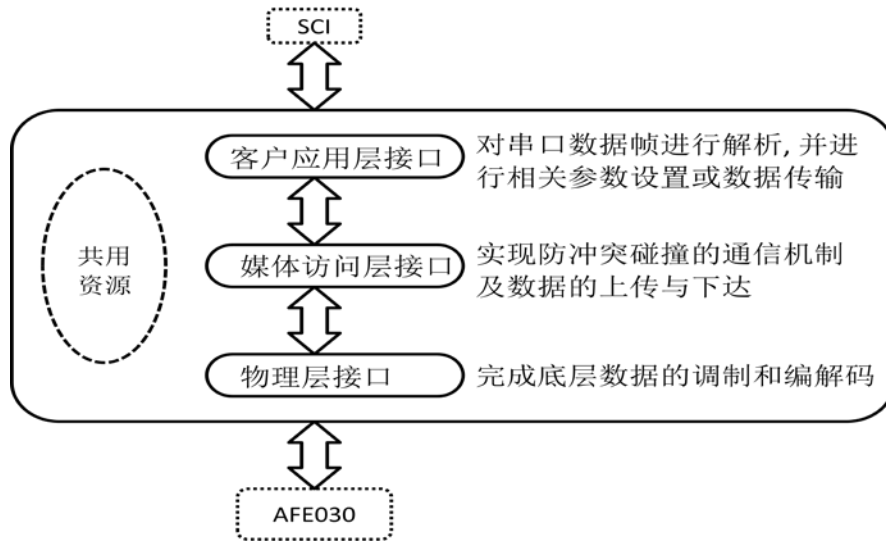


□ 3. 基于算法库的系统开发方式

## 2 基于算法库的载波通信工程开发

### 2.1 算法库软件开发流程

如上章所述，基于算法库的载波技术开发具有很强的灵活性，在降低客户系统成本的同时提供更多的设计便利。本章节将介绍如何使用 PLCLite 算法库进行载波通信系统的设计。基于算法库开发的软件架构框图 4。



□ 4. 基于算法库的软件开发流程

为了实现不同层之间的接口，基于算法库的开发主要工作包括以下方面

1) 公共变量的定义以及相关变量参数的设定。

PLCLite 函数库中数据的传递是通过结构体指针的方式进行。因此，算法库共用的结构体变量需由客户自己声明并定义。这些结构体变量主要有：

**Ctm\_LITE\_handle\_t:** PLCLite 的全局句柄，包括了用于数据发送接收的对应结构体以及数据收发标志。

```
typedef struct
{
    UINT32 fw_ver; // 软件版本号
    volatile Uint16 pkt_rcvd; // 接收数据标志位，置位表示有数据接收
    volatile Uint16 pkt_xmt; // 发送数据标志位，置位表示有数据发送
    PHY_rxPpdu_t rxPpdu; // 接收数据结构变量
    PHY_tx_ppdu_t txPpdu; // 发送数据结构变量
    Ctm_phyParms_t phyParms; //物理层相关参数变量
}Ctm_LITE_handle_t;
```

**Ctm\_phyParms\_t:** 包含物理层相关参数，包括频段的选择，发送功率的设定及调制模式的选定等。

```
typedef struct
{
    UINT16 band; //算法频段使用标志，置位时候为半频带方案。目前只支持半频。
    UINT16 startIdx; //起始频段定义，详细请参考用户文档
    UINT16 mod; //模式选择：0-BPSK；1-QPSK (not supported)；3-robo4；4-robo8
    UINT16 fec; // FEC 功能选择：0-off；1-on
    UINT16 txrobo; //发送 ROBO 模式选择：0-non robo；1-robo；
    UINT16 rxrobo; //接收 ROBO 模式选择：0-non robo；1-robo；
    UINT16 gainControl; // 增益控制
    UINT16 gainValue; // 增值值设置
    UINT16 txTestMode;
    UINT16 rxTestMode;
    UINT16 ppduLength;
```

```

UINT32 ppduTime;
UINT16 numPpdu;
UINT16 txLevel;      // 发送功率设置
UINT16 txDataPattern;)
UINT16 rxDataPattern;
UINT16 txOctet;
UINT16 rxOctet;
UINT16 continuous;
UINT16 mcsSweep;
UINT16 ppduLenSweep;
UINT16 txToneMask[5];
}Ctm_phyParms_t;

```

**Ctm\_ppduPld\_t**: 通信数据所采用的结构体变量。

```

typedef struct
{
    UINT16      pld[CTM_MSG_MAX_WORD_LEN]; //接收数据存储数组
}Ctm_ppduPld_t;

```

**Ctm\_LITE\_handle\_t**, **Ctm\_phyParms\_t**, **Ctm\_ppduPld\_t**具体使用方法可参考附件中的代码示例。其它相关结构体具体说明可以参考文档“**PLC Lite Host Message Protocol Specification**”和“**PLC LITE PHYSICAL LAYER API Specification**”。具体实例可以参考文档对应的附件工程。

## 2) 客户应用程序接口的开发。

在定义好全局函数后，需要定义部分系统初始化函数，部分数据传递需要的回调函数以及客户进行数据传输的对应函数接口，具体需要定义的函数如下：

**Ctm\_LITE\_config**: 全局变量的初始化及相关回调函数的设置。

**Ctm\_phy\_config**: 物理层的参数配置函数。

**Func\_cbMacTX**: MAC 层向 PHY 层传递数据的回调函数。

**Ctm\_cbRxPpdu**: PHY 层接收数据处理的回调函数接口。

**CtmLite\_Data\_Transfer**: 客户向 MAC 层传递数据的函数接口。

**CtmLite\_Data\_Receive**: 客户接收来自 MAC 层数据的函数接口。

基于上述两步，本文创建了一个实例工程。该工程实现了进行载波通信所需要的所有初始化工作及接口工作，最终通过载波实现串口收发器的功能。系统初始化流程如图 5，数据收发流程图如图 6。

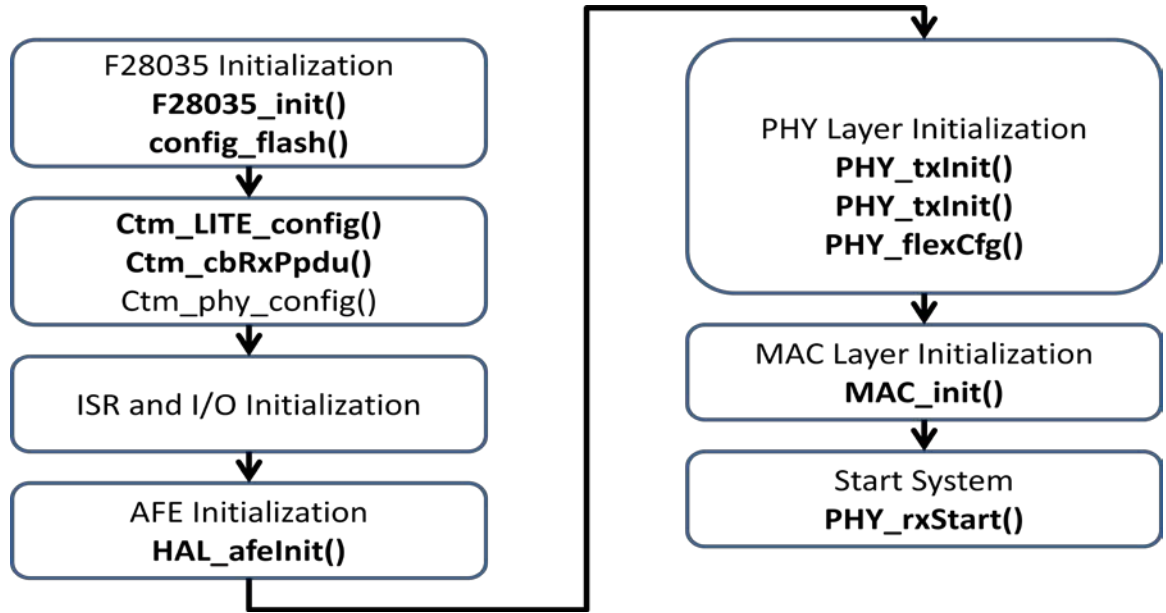


图 5. 载波系统初始化流程图

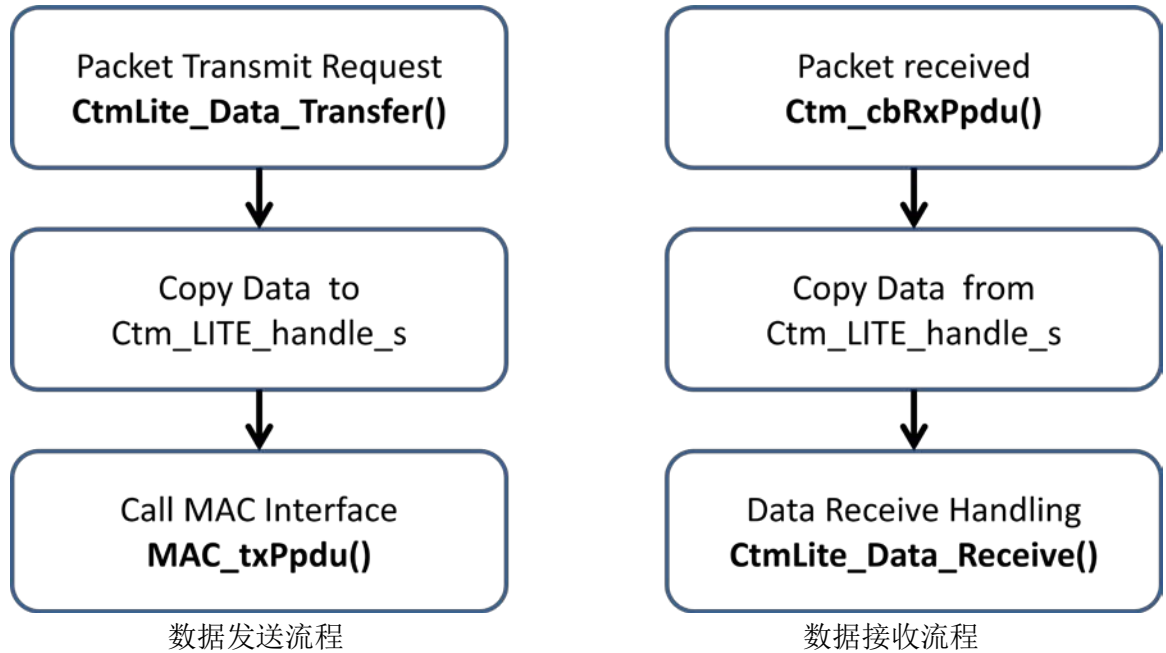


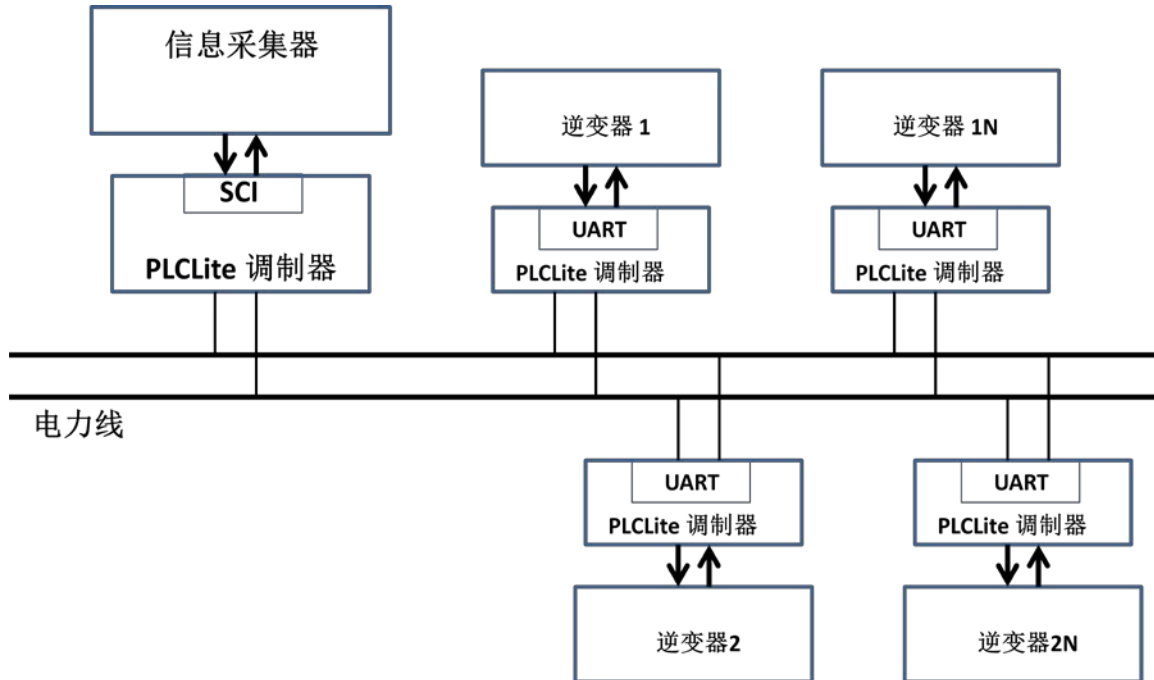
图 6. 载波系统数据收发流程图

本实例的原程序见附件。

### 3 基于 PLCLite 的分布式太阳能发电系统软件设计

#### 3.1 系统概述

如图 7 分布式太阳能组网逆变系统框图，整个系统分为太阳能逆变器，载波调制器，采集器三大部分。太阳能逆变器分布安装，并通过电力线连接至采集器端。为了实时的监测逆变器的发电量，运行状态等信息，采集器间隔性的对向其注册的逆变器进行查询，对应逆变器收到采集器查询信息后，将信息上报。这种集中式的管理机制为系统的维护带来了极大的便利性。



□ 7. 分布式太阳能组网逆变系统

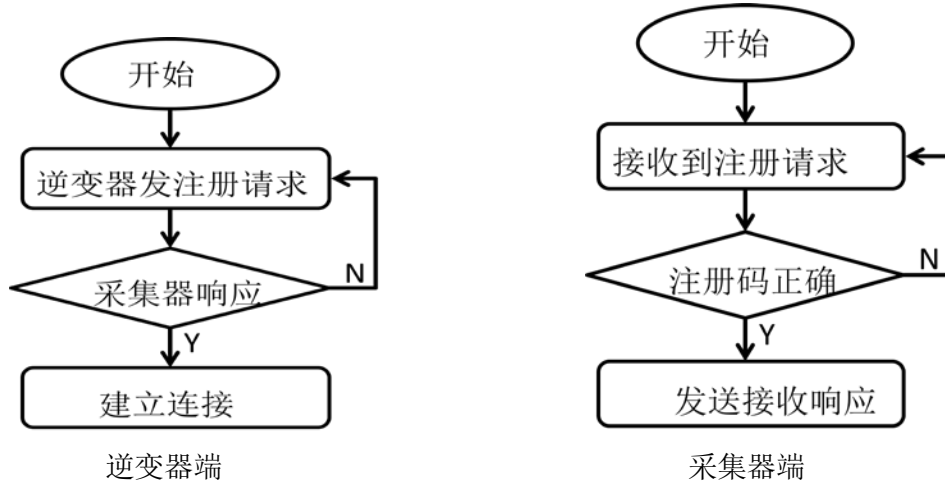
#### 3.2 系统软件设计

本分布式系统的运行主要分为两个阶段：组网阶段以及通信阶段。

##### 3.2.1 组网阶段

组网阶段主要工作是完成逆变器向采集器的注册。组网可由采集器端或主机端发起。鉴于目前组网规模的考虑以及处理器资源的限制，本文采用星型的网络拓扑，即逆变器与采集器进行点对点的通信方式。组网阶段逆变器端及采集器端的流程图如图 8。



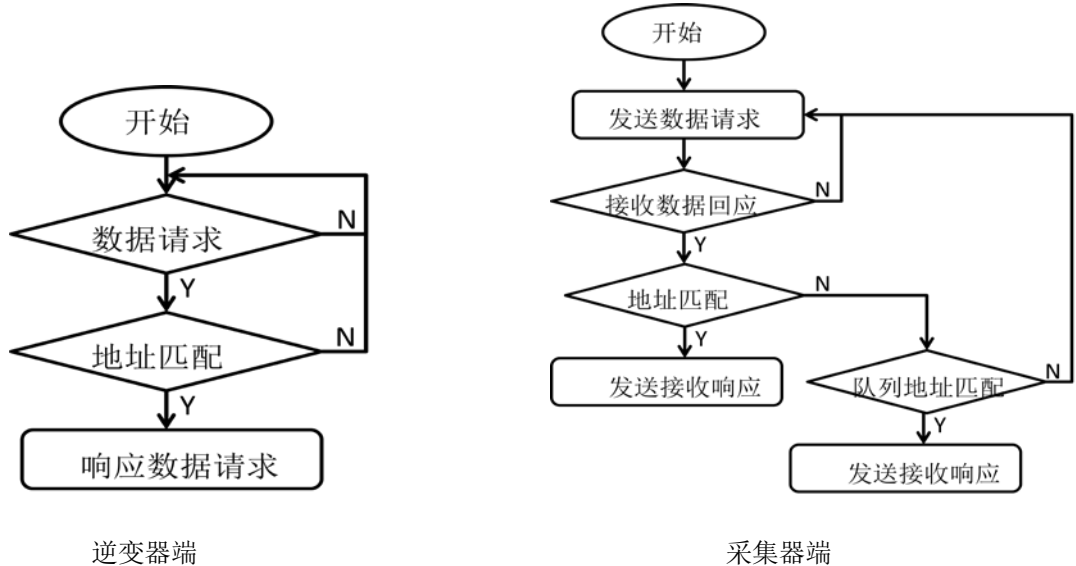


□ 8. 分布式太阳能并网系统注册流程

### 3.2.2 通信阶段

通信阶段主要完成采集器对逆变器系统的信息采集。通信阶段逆变器端及采集器端的流程图如图 9。考虑到逆变器网络时候节点数目众多，因此在通信软件设计时候需要注意到：

- 1) 对每个逆变器进行唯一编址。并在通信帧头里面加入地址信息。
- 2) 逆变器端实现地址过滤功能，根据帧头决定是否回馈数据。
- 3) 采集器建立消息队列，同时对发送信息进行编号以防止延时的回复。
- 4) 采集器需建立已注册逆变器列表，并在系统运行过程中实时维护这个列表。
- 5) 因为 PLCLite 物理层只对数据进行了 PHY 帧头的 CRC 校验，因此，用户需要对数据通信帧进行 CRC 校验以防止错误数据的接收。



□ 9. 分布式太阳能并网系统通信流程

### 3.3 系统软件设计注意事项

由于载波算法的实现占用了部分的处理器资源，因此，在客户做应用程序设计时候需要注意以下几点，以避免由于客户应用程序引起的系统稳定性：

1) 避免与载波算法占用资源使用冲突。

由于载波算法对实时性要求很高，因此，对于载波已经使用的外设资源用户要避免使用，同时，客户优先选用低优先级中断进行设计。具体的 PLCLite 资源使用列表，请参考“TI PLC Development Kit User Guide –General”。

2) 避免系统程序超过处理器资源范围。

PLCLite 算法的资源消耗情况如表 2 所示，可以看到，在 PEAK 发送模式下系统 MIPS 最高 55MIPS。鉴于 F28035 是一颗 60MIPS 的处理器，因此客户设计应用软件时候需要注意 60MIPS 的限制。

表 2. PLCLite 算法实现 MIPS

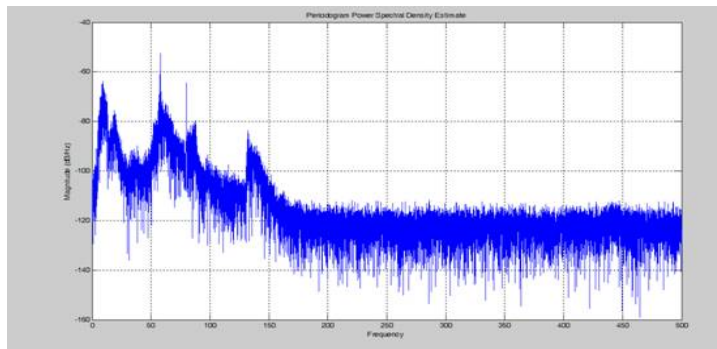
MEM / MIPS	BenchMark
Flash	21.2KWord
Ram	8.7KWord
Average MIPS	45MIPS
PEAK MIPS	58MIPS

3) 合理的配置系统参数。

电力线上存在各种噪音，同时逆变器工作时候可能产生不同频率段的噪音，因此，需要根据系统情况进行合理的参数配置。

a) 背景噪音的确定

在设定参数前，需要对整个系统工作时候的背景噪音分布进行分析。TI 提供了一套 Channel Analyzer 的软件，该软件可以直接运行在 TI 的载波开发板，并可测量 0-500KHz 频段内的频谱，从而得出频段内的噪音干扰情况。如图 10 所示是我们的一个 CELENEC 频段的测试结果。从结果可以看出，在 100Khz-125Khz 的频率段内信噪比最高。因此，我们在进行系统参数配置时候可以选取对应频率段进行数据传输。



□ 10. 逆变器工作时候的背景噪音分布

b) 除了频率段的配置，我们还需要根据具体情况对 PHY 的参数进行配置，主要有以下几个参数：

**发送功率：**发送功率通过 Ctm\_phyParams\_t 中的 txLevel 设置，0 为最高，7 为最低。发送功率的设置很大程度涉及到了载波的传输距离，一般建议客户将发送功率设置为最高。

**调制算法：**PLCLite 的调制方式有四种: BPSK, BPSK+FEC,ROBO-4,ROBO-8。其中 BPSK+FEC 是速度与鲁棒性很好的折中。ROBO-8 是鲁棒性最高的方式。对于不同调制方式在不同信噪比下的通信效果可参考文档“PLC-Lite Receiver Lab PHY Test Results”。

## 4 总结

本文对 TI 的 PLCLite 技术进行了介绍，对载波系统的硬件设计和基于算法库的载波程序开发进行了详细介绍。由于电力载波通信与传统 RS485 比无需额外的接线，与小无线相比没有穿墙的顾虑，加上 PLCLite 具有选频进行通信的特性、出色的鲁棒性及开发的灵活性。因此，PLCLite 技术非常适合于分布式太阳能逆变组网通信系统。本文最后也介绍了将 PLCLite 应用于分布式太阳能通信逆变组网通信系统的开发技巧及注意事项。相信随着分布式发电鼓励政策的不断出台，后续相关应用会如雨后春笋般成长。PLCLite 应用前景非常乐观。

## 5 参考文献

- [1] Xiaolin Lu. Developing robust power line communications(PLC) with G3
- [2] TI. TI PLC Development Kit User Guide – General (Version 0.1)
- [3] TI. PLC LITE PHYSICAL LAYER API Specification (Version 2.2)
- [4] TI. PLC LITE MAC LAYER API Specification (Version 0.2)
- [5] Ed Mullins. Analog Front-End Design for a Narrowband Power-Line Communications Modem Using the AFE031

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接版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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独自负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	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.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/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应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/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>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated