



### 1. SH99F01 概述

#### 1.1. 概述

SH99F01 是高性能电力线载波通信产品，具有全数字载波调制解调模块，并内建高速 8051 内核，具有丰富的片内资源，是标准的载波通信 SOC 芯片。

8051 内核特性为：

- 基于 1T 8051 指令流水线结构的 8 位单片机
- Flash ROM: 16K 字节
- EEPROM: 2K 字节（掉电数据备份）
- RAM: 内部 256 字节，外部 512 字节
- 工作电压：  $V_{DD}=3.0V - 5.5V$ ,  $AV_{DD}=3.0V - 3.6V$
- 晶体谐振器: 6MHz - 16MHz
- 16 个 CMOS 双向 I/O 管脚，I/O 内建上拉电阻
- 3 个 16 位定时器/计数器 T0, T1, T2
- 中断源：定时器 0, 1, 2，外部中断 0, 1，UART, ADC，载波通信
- 内部硬件看门狗
- 低电压复位（LVR）
- 4 通道 10 位模数转换器(ADC)，内建比较功能
- 工作温度范围：-40 ~ +125

载波通信模块特性为：

- 内建 63 位直接序列扩频结合 QPSK 调制，典型的载波扩频调制
- 内建非扩频的 DBPSK 调制，典型的载波窄带调制，速度高达 6Kbps
- 集成模拟前端电路，接收增益最高 90dB，灵敏度达 100uV
- 提供接收信号强度指示（RSSI），方便组网应用
- 高性能硬件前向纠错码技术（里德所罗门编码加卷积编码，以及交织）
- 载波频率可调：50KHz - 500KHz（具体见附录 A）
- 接收双通道（分时复用），提供更多可靠性
- 高精度 10 位 DAC 输出
- 可设计频段范围满足 CELENEC，FCC 及 DL/T698 频谱规范
- 低功耗设计，待机全开时不到 10mA
- 小型封装：28 引脚 TSSOP



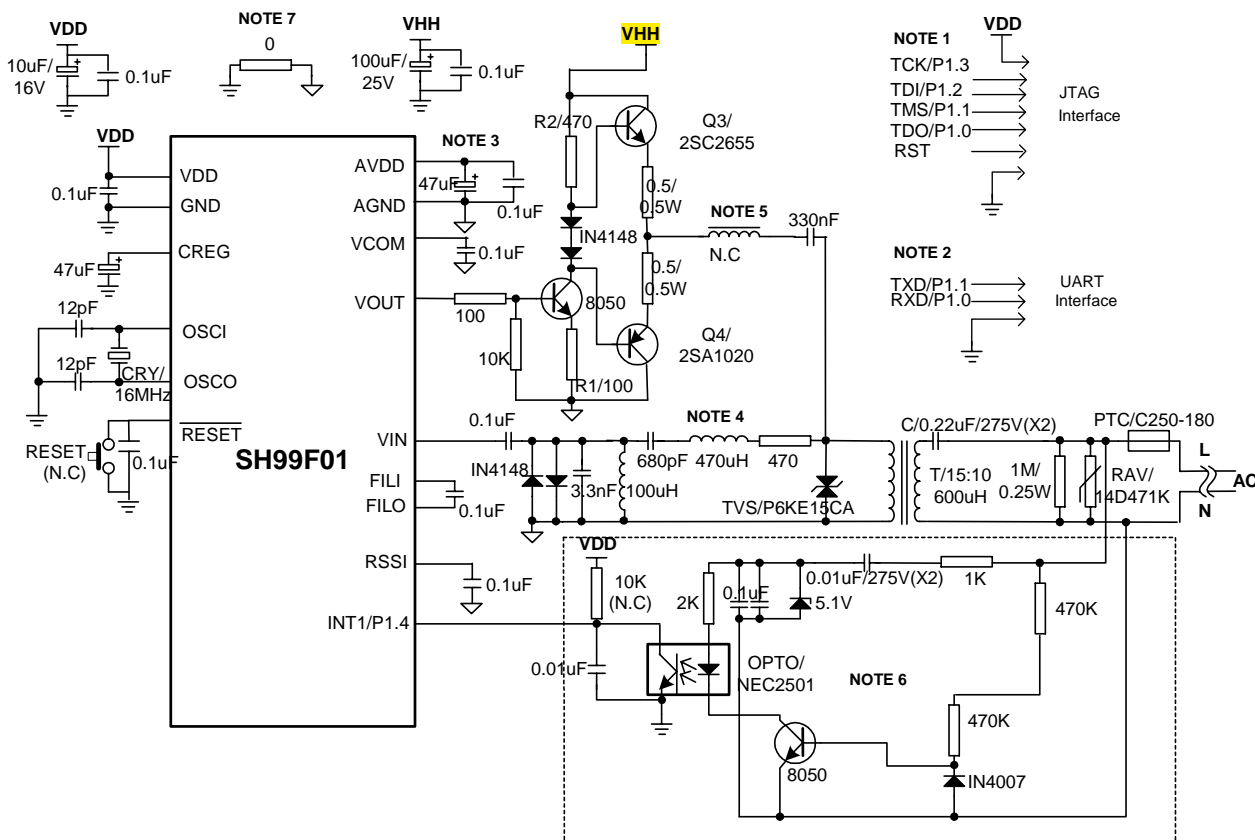
SH99F01 除提供常用的扩频技术与 DBPSK 技术两种基本的载波调制格式外，还首创载波双模通信技术™，可有效提高载波在电力线信道环境的适应能力，提供稳定可靠的传输通道。同时还支持 DBPSK 方式下的过零传输，支持双载波跳频通信等。

SH99F01 构造的载波模块 BOM 成本低，外围电路简洁，一致性好，生产测试简单。

### 1.2. 应用领域

SH99F01 面向低压电力线载波应用，也支持其它信道的低速控制应用，其主要应用领域包括：

- 载波集抄
- 路灯远程监控
- 智能家居控制
- 楼宇智能控制
- 安防监控
- Power Meter





在无外部主机时，SH99F01 作为独立的控制结点，完成监控及通信全部功能。监控可使用 SH99F01 内部 MCU 资源及其外围电路。相对于主控加载波收发器的双芯片方案，SOC 架构可简化应用，降低成本。

SH99F01 提供 3.3V / 5V 接口。

## 2.2. 典型电路介绍

### 2.2.1. 耦合电路

耦合电路作用: (1) 隔离载波模块低压端和 AC 高压端; (2) 加载载波信号到电力线; (3) 从电力线上提取载波信号; (4) 过滤 50Hz/60Hz 工频信号及其谐波。

耦合电路分隔离型和非隔离型两种，如图 2-2 和 2-3。显然，电感（或线圈）与 0.22uF 电容构成了 LC 高通滤波，可过滤 AC 电压，并保证高频载波无衰减通过。

隔离型耦合电路能够保证高低压电气隔离，安全性高。非隔离电路只在特定场合使用。如无特别说明，耦合电路应设计为隔离型。

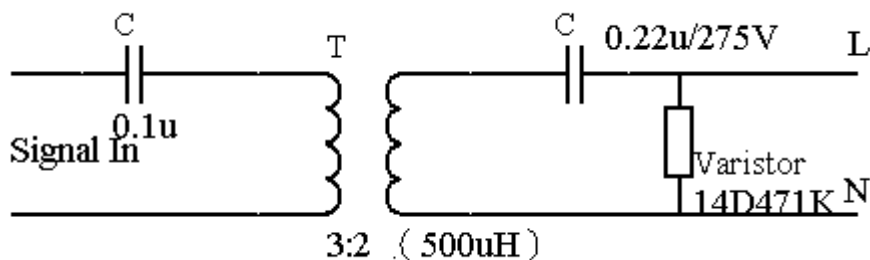


图2-2 隔离型耦合电路

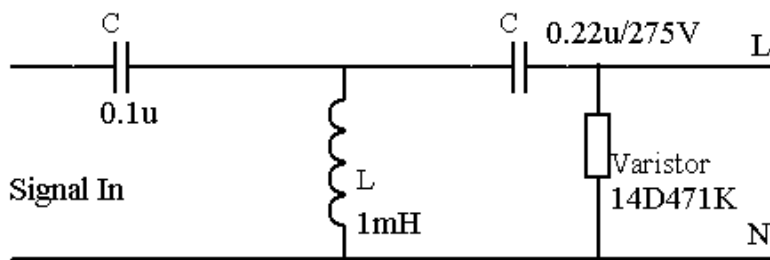


图2-3 非隔离型耦合电路

耦和线圈是耦合电路的核心器件，要求紧密耦合，漏感小，导线电阻小，寄生电容小，一般采用高磁通的铁氧体磁环来制作，匝数比根据要求可选择 1:1 或 3:2，绕制方式可采用匝间并绕，也可使用对称独立绕线。耦合线圈的基本要求是：

- 电感量在 400uH ~ 1000uH；



- 漏感不高于 10uH；
- 直流阻抗小于 1 $\Omega$ ，通流不小于 1A；
- 耐高温（视应用环境，不低于 120 $^{\circ}\text{C}$ ），原副边绝缘，直流耐压高（视应用环境，不低于 5000V）；

附录 E 提供了一种常用的耦合线圈规格以及采购信息，供参考。

在图 2-1 中，除耦合线圈 T 外，0.22u/275V 电容 C 必须是具有短路保护的 X2 型电容。RAV 和 TVS 用于 EMC 防护，PTC 用于过流保护。

### 2.2.2. 驱动电路

一般认为电力线阻抗在 0.1 $\Omega$  ~ 100 $\Omega$  之间，并且具有时变特性，驱动电路设计目标是提供在低负载阻抗条件下的足够驱动能力，而阻抗匹配则不作严格要求。另外，为满足各地区对电力线频谱规范要求，驱动输出的谐波指标也是个考虑因素。

SH99F01 典型驱动电路是一个输入缓冲的推挽输出功放电路，使用三个晶体管，结构简单。该电路可实现三态输出与静态关闭，在非发送状态，驱动管关闭，可使驱动电路静态电流降低到 200 uA 以下，同时接口呈现高阻状态<sup>注</sup>，不会对线路阻抗造成影响。驱动管可根据驱动要求选择多种对管，如 2SA1020 / 2SC2655，PBSS4250X / PBSS5250X 或 BD137 / BD138 等。典型电路中，V<sub>HH</sub> 取 12V，输出幅度可达到近 10V<sub>pp</sub>（LISN 负载）。

SH99F01 默认为 DAC 输出，具有良好的谐波指标。也可通过置位 PULSE\_OP (UMR1.3) 设置为方波输出，后者主要为配合某些特殊的驱动电路。内部预驱动电路(Pre-Amp)提供 4 级输出增益：0dB，-3dB，-6dB 和 -9dB。

除了典型晶体管驱动电路外，SH99F01 也支持使用集成功放作为电力线驱动。

*注：高阻状态有助于保证在大量节点并接在总线上时不致影响总线的阻抗。*

### 2.2.3. 选频电路

SH99F01 内置 AFE 完成滤波放大，在接收前端只需设计前端选频电路，对选频的基本要求为阻抗匹配，插入损耗小，选择性好，一般选择 LC 谐振电路。

扩频技术与 DBPSK 两种载波调制格式对选频电路的要求不同，前者带宽较宽，选频电路主要完成阻抗匹配，后者带宽较窄，滤波对性能具有较大影响。

典型电路选择 LC 参数如图 2-4，是 2 阶 LC 带通滤波电路，Q 值较低，中心频点 290KHz，3dB 带宽 100KHz，适用于典型扩频调制格式（包括“过零双模”等扩频增强格式）。

图 2-5 为 3 阶 LC 带通滤波电路，Q 值增加，中心频率 75KHz，带宽 30KHz，适用于 DBPSK 载波调制格式（包括“窄带过零”等窄带增强格式）。

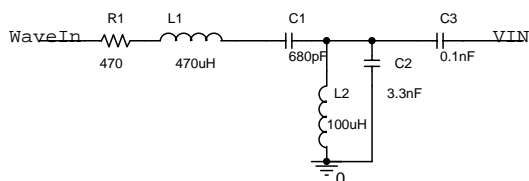




图2-4 2 阶 LC 带通滤波参数 (  $f_c \sim 290\text{KHz}$  ,  $bw \sim 100\text{KHz}$  )

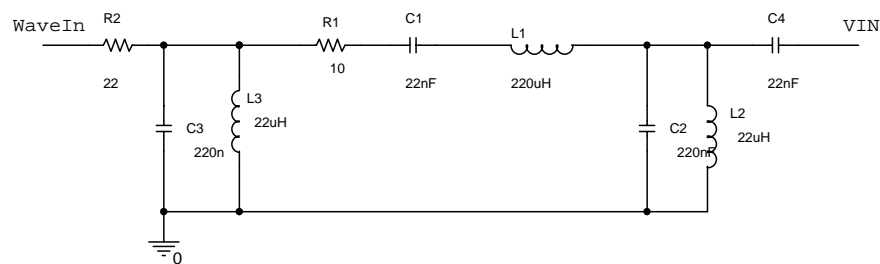


图2-5 3 阶 LC 带通滤波参数 (  $f_c \sim 75\text{KHz}$  ,  $bw \sim 30\text{KHz}$  )

2.3. 系统功耗

载波通信为突发传输系统，发送是瞬态，其瞬态功耗一般比较高，而接收是常态，其常态功耗直接关系到系统整体功耗。SH99F01 的低功耗设计可有效降低系统整体功耗，在业界处于领先水平。

下表给出 SH99F01 典型应用时的功耗情况。

表2-1 SH99F01 典型系统功耗 (VHH=12V , VCC=5V , LISN 负载)

工作状态	电流平均值 (芯片部分， VCC 供电)	电流平均值 (驱动部分， VHH 供电)	系统功耗 (W)
载波接收	约 8.5mA	约 160uA	0.044
载波发送 <sup>注</sup>	约 8.7mA	约 80mA	1.003

注：载波发送功率与负载有关，大部分情况线路等效负载在 2 欧左右，部分情况会达到 1 欧以下，此时瞬时功率会达到 1W 以上，但持续时间很短（几十 ms 或数百 ms）。为保持可靠的驱动，要求电源功率达到 1.5VA 以上，推荐选择 3W 的线性或开关电源。

3. 载波通信模式介绍

3.1. 模式介绍

SH99F01 提供两种基本的调制方案：直序扩频载波及窄带 DBPSK 载波，分别对应目前低频段低速 PLC 的主流方案。在此基础上，SH99F01 还提供增强型方案，如“双载波”，“双模”及“过零双模”等。

3.1.1. 基本模式

表3-1 SH99F01 基本通信模式

调制模式 <sup>注1</sup>	SSC	DBPSK	ZCT <sup>注2</sup>
选中方式（UMR1）	MODE1/0=00b	MODE1/0=10b	MODE1/0=11b



特点	灵敏度高 ,抗随机干扰和 宽带干扰能力强。 速度较低。	速度快 ,抗某些窄频干扰 有优势。 灵敏度较扩频载波有一 定下降。	抗某些电子整流和开关 电源设备有优势 ,速度介 于扩频载波和窄带调相 之间。
典型应用参数	数据帧长 20 bytes ,持续 时间 218ms ( $F_{PLT}=16\text{MHz}$ )	数据帧长 20 bytes ,持续 时间 60ms ( $F_{PLT}=16\text{MHz}$ )	数据帧长 20 bytes ,持续 时间 55ms ( $F_{PLT}=16\text{MHz}$ , AC 50Hz )
典型应用领域	载波集抄 ,路灯监控 ,要 求远距离传输的场合	智能家居 ,楼宇监控 ,要 求高速传输的场合	智能家居 ,要求过零传输 的场合

注 1 :在选定调制模式后 ,载波频率需要参考附录 A 的“ 扩频载波频率选择表 ”和“ 窄带 DBPSK 载波频率选择表 ” 进行选择。

注 2 :ZCT 是指窄带过零传输 ,属于 DBPSK 的一种特殊调制格式。基本方法是把一个较长的 DBPSK 数据包分割成多个较短的窄带过零包进行传输 ,每个窄带过零包都在过零间隙中发送。由于过零间隙干扰较小 ,在某些场合可获得更好的性能。

3.1.2. 增强模式

SH99F01 典型情况使用过零双模™ 调制方式。

如图所示 ,过零双模的基本思路是整合扩频载波与窄带过零传输格式 ,克服单一调制格式对抗不同干扰类型的不足。

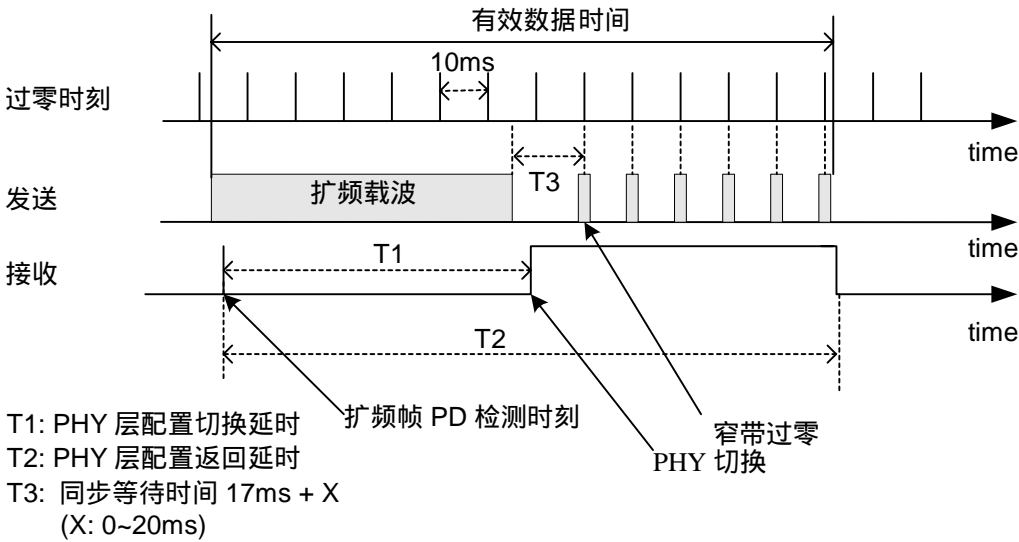


图3-1 过零双模示意图

如图所示 ,同一包数据 ,先使用扩频调制 ,再使用窄带过零调制 ,接收端收到任何一种调制数据即正确传输。具体参数为 :



有效数据帧长：20 bytes

耗时：发送时不超过 310ms，接收时不超过 320ms（发送持续时间再加 10ms 保护时间）。

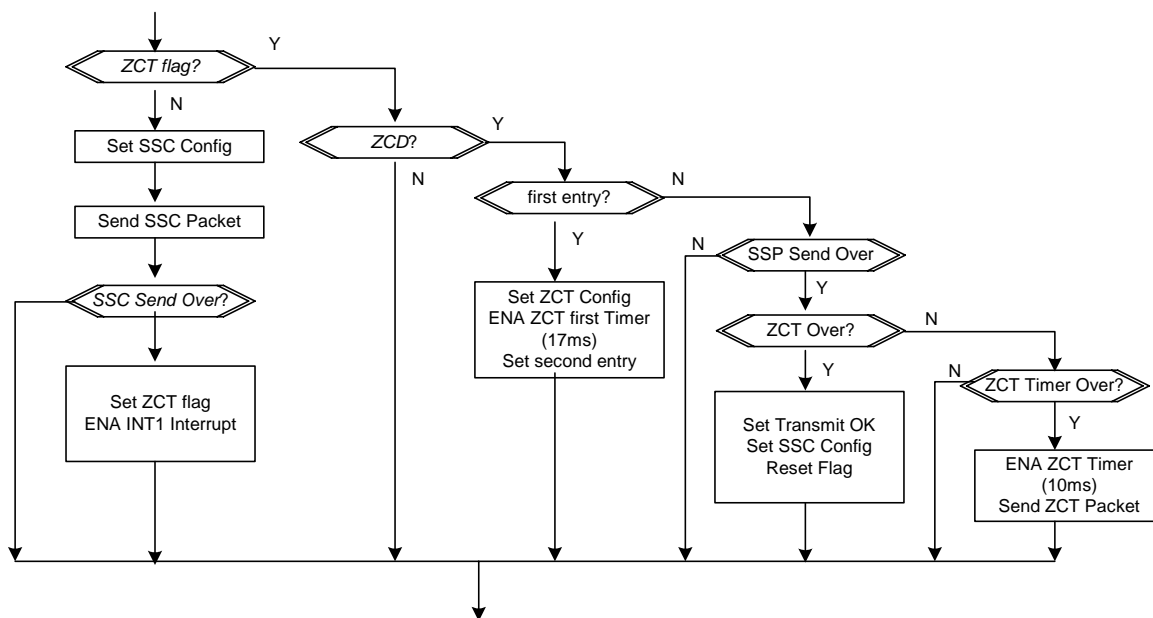


图3-2 过零双模发送流程

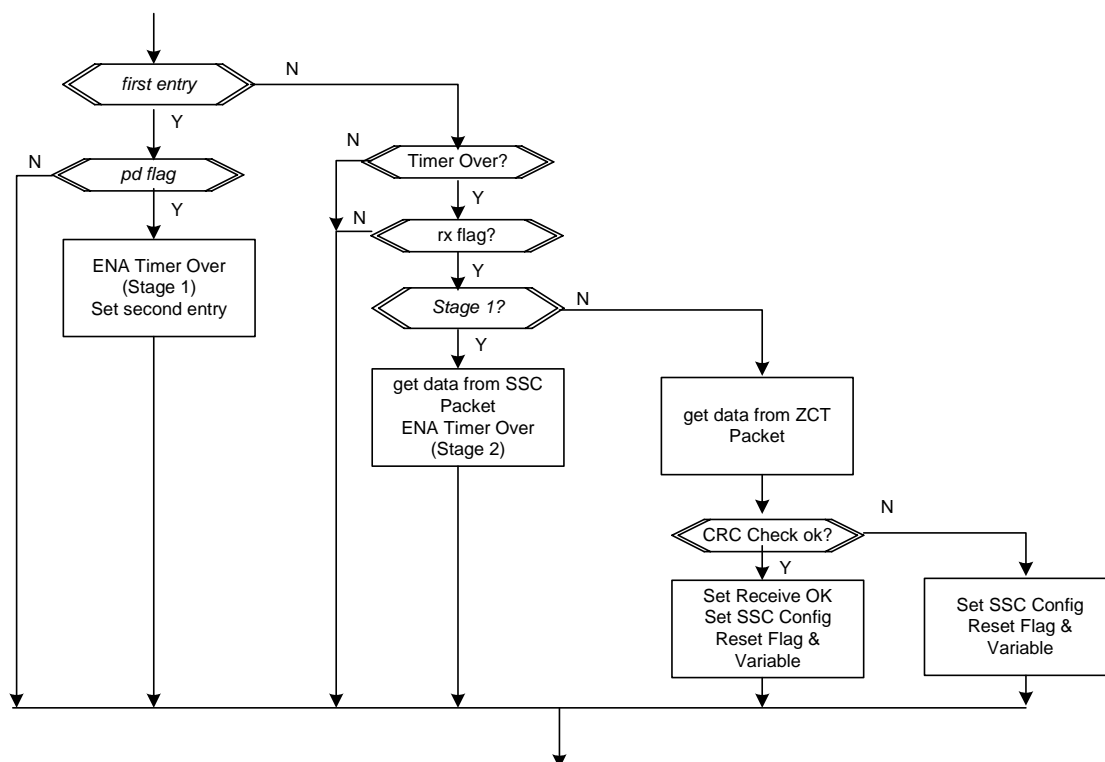


图3-3 过零双模接收流程





## 3.2. 软件参考

### 3.2.1. 载波通信基本流程

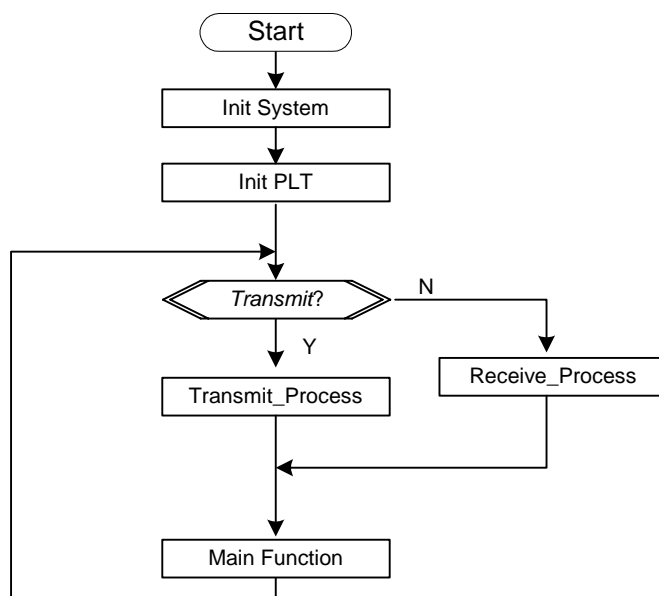


图3-4 载波通信基本流程

### 3.2.2. 初始化 PLT

PLT 初始化包括 SFR 控制寄存器以及内部通信配置寄存器(SR), 内部通信寄存器通过 PLADR2 和 PLREG 读写, 通信时需要收发双方匹配通信设置。



```
/*PLT 通信配置寄存器设置 C 实例*/
Void Plt_SettingRegister()
{
    PLCON ^= 0x04;        // PLT 模块软复位，自动解锁注
    PLADR2 = 0x00;        // UMR1
    PLREG = 0x00;         //模式配置为扩频调制（默认）
    PLADR2 = 0x01;        // UMR2
    PLREG = 0x54;         //帧长设置为 20 字节
    PLADR2 = 0x02;        // UMR3
    PLREG = 0x41;         //关闭内部 DBPF，关闭 ABPF，使用 VIN 信道
    PLADR2 = 0x03;        // TXFC
    PLREG = 0x5C;         //发送载频设置为 290KHz
    PLADR2 = 0x04;        // RXFC
    PLREG = 0x5C;         //接收载频设置为 290KHz
    PLADR2 = 0x05;        // SSCI
    PLREG = 0x80;         //选择 3 号码组，选择 0 号序列
    PLADR2 = 0x06;        // SSCQ
    PLREG = 0x00;         //选择 0 号序列（必须与 SSCI 序列号相同）
    PLADR2 = 0x07;        // TACQ
    PLREG = 0x10;         // 扩频捕获门限设为 16（默认）
    PLADR2 = 0x08;        // TFA
    PLREG = 0x0A;         //帧同步门限（默认）
    PLCON = 0xE8;         //PLT 使能，CRC 使能，FEC 使能，RSSI 使能
    CLKCON = 0x00;        // PLT 模块时钟不分频（默认）
    PLOCK = 0x5A          //加锁，PLT 通信配置寄存器设置写保护
}
```

注：PLT 模块软复位会自动解锁通信配置寄存器的写保护，如未执行软复位，则需增加解锁操作。

### **3.2.3. 收发控制**

PLT 的收发控制可使用中断或查询方式实现。



```
/*PLT 中断方式控制收发 C 实例*/
EA = 1;      // 允许所有中断
EPLT =1;     // 允许 PLT 中断
void PLT_ISR() interrupt 7      //PLT 中断处理子程序
{
    if(RXINT)                    //判断是发送完成还是接收完成
    {
        RXINT = 0;              //接收完成， 清除标记，返回接收状态
        for(i=0; i<20; i++)      // 20 字节数据包，与初始化配置匹配
        {
            PLADR1 = i;
            data_rcv[i] = PLBUF ;
        }                        //从 RXBUF 读取接收数据，存放 data_rcv 中
        rx_flag = 1;             // 置接收完成标记
    }
    else if(TXINT)
    {
        TXINT = 0;              //发送结束， 清 TXINT， 返回接收状态
        tx_flag = 1;            // 置发送完成标记
    }
}

main.c :
while(1)
{
    .....
    if (bEnaPLCTransmit)        // bEnaPLCTransmit 是 PLC 发送使能位
    {
        PLCON |=0x01;           // set TRC=1, start transmitting
        bEnaPLCTransmit = 0;
    }
    .....
}
```



```
/*PLT 查询方式控制收发 C 实例*/
main.c :
while(1)
{
    .....
    if (bEnaPLCTransmit)                // bEnaPLCTransmit 是 PLC 发送使能位
    {
        PLCON |=0x01;                    // set TRC=1, start transmitting
        bEnaPLCTransmit = 0;
    }
    .....

    if(RXINT)                            //判断是发送完成还是接收完成
    {
        RXINT = 0;                        //接收完成，清除标记，返回接收状态
        for(i=0; i<20; i++)                // 20 字节数据包，与初始化匹配
        {
            PLADR1 = i;
            data_rcv[i] = PLBUF ;
        }                                //从 RXBUF 读取接收数据，存放 data_rcv 中
        rx_flag = 1;                      // 置接收完成标记
    }
    else if(TXINT)
    {
        TXINT = 0;                        //发送结束，清 TXINT，返回接收状态
        tx_flag = 1;                      // 置发送完成标记
    }
    ...                                  //程序其它操作
}
```

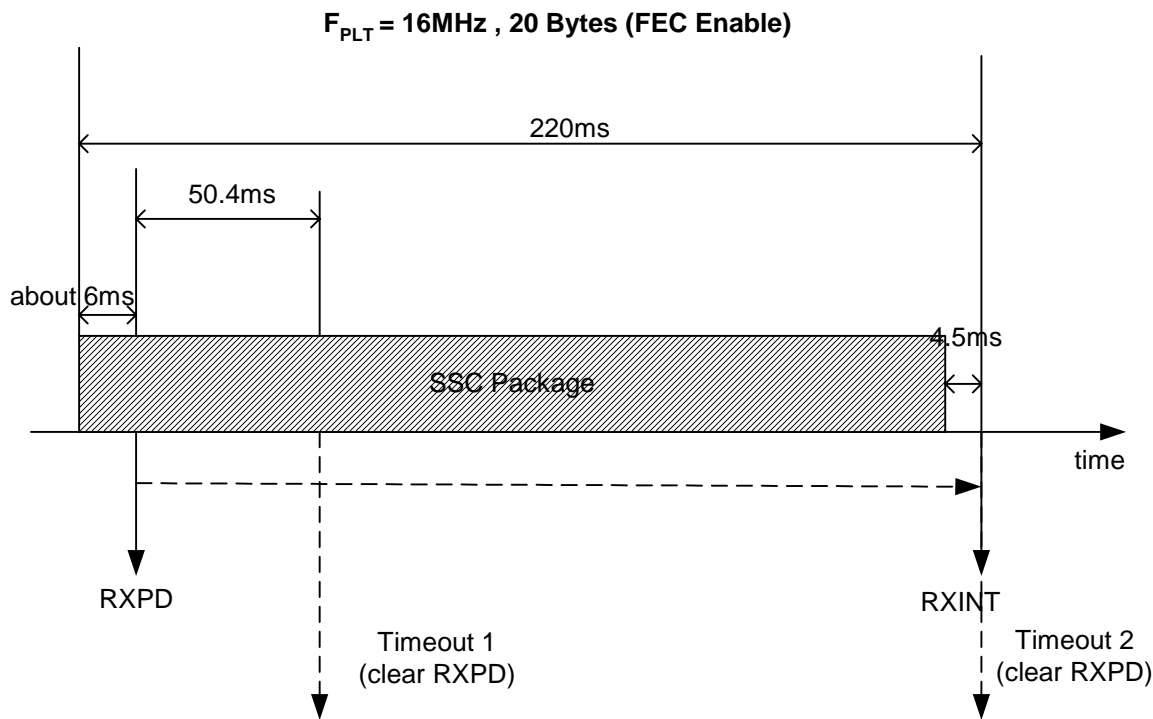
### 3.2.4. 冲突检测

电力线信道是共享信道，PLC 必须使用共享信道接入算法，常用的是载波侦听冲突避让（CAMA / CA）算法。底层物理层需提供有效的冲突检测机制，该检测的基本要求一是快速，要在线上出现信号的初始阶段就能够快速检测；二是准确，由于线上噪声严重，要保证较高的检测正确率，频繁误检将影响传输效率；三是灵敏度高。

SH99F01 通过分组检测（PD）来满足上述要求。



下面以 16M PLT 时钟下 20 bytes 扩频载波为例对上述 PD 检测进行详细说明。



如图所示, PD 检测标记在帧出现后的 6ms 左右送出, 考虑到不同信道状况, 其变化范围在 4ms ~ 8ms 之间, 如超过 8ms 未检测到 PD, 则此包数据丢失 (漏检)。整个接收通道会在 PD 检测成功后开启。

由于采用了特殊的检测算法, PD 检测具有极高的检测概率。对于小概率误检, 系统会在短时间内 (约 50ms, Timeout1) 识别该误检并清除 PD 标记, 恢复到待机状态。

因此, 在冲突检测处理中, 一般可设检测窗为 6ms。 (不同的 PLT 时钟上述参数会有调整)。

### 3.2.5. 接收信号强度指示

SH99F01 提供接收信号强度指示(RSSI), RSSI 检测输入信号幅度, 给出 RSSI 检测电平, SH99F01 使用内部 ADC 采样该电平获得 RSSI 数字量。ADC 时钟设置为 32 个系统时钟周期, 采样时间取 15 个 ADC 时钟, 转换时间固定为 12 个 ADC 时钟, 每个电平采样共需 864 个系统时钟, 按照  $F_{osc}=16\text{MHz}$ , 采样率为 18.5KHz。

RSSI 检测可在整个数据帧接收期间进行, 但一般安排在 FA 检测成功后进行。



```
/*PLT 查询 RSSI 值 C 实例*/
ADCON = 0x80;      // 使能 ADC 模块，选择 ADC 信道 0
ADT = 0x0EF;       // 设置 ADC 时钟周期  $t_{AD}=32 t_{SYS}$ ，采样时间  $15t_{AD}$ 
uchar GetRSSI(void) // 输出范围 0 ~ 255
{
    uchar m_nRssiCount = 0;
    uint  m_nRssiSum= 0;
    while(m_nRssiCount<8)           //8 点求平均去抖
    {
        ADCON |= 0x01;              // 开启 ADC 转换
        while((ADCON&0x01)==0x01); // 等待转换完成
        m_nRssiSum+=ADDFH;          // 取 ADC 采样高 8 位作为 RSSI 值
        ADCON&=0x0BF;              // 清除转换标记
        m_nRssiCount++;
    }
    return (255-(m_nRssiSum>>3));
}
```

注：在调用 GetRSSI ( ) 之前必须使能 ADC 模块，否则上述 while 循环无法退出。

SH99F01 内含了 RSSI 曲线校准信息，以满足对曲线一致性要求高的场合。校准信息存放在 PLRSSIL，PLRSSIH 寄存器中，按照如下公式进行计算：

$$D_Y = 63 + 47 * (D_A * AVDD / 2 - D_H) / (D_L - D_H)$$

其中  $D_A$  为实际 RSSI 电平采样值， $D_L$  和  $D_H$  分别是 PLRSSIL 和 PLRSSIH 寄存器内的值（上电后即可读出）。AVDD 为芯片模拟电压，也是 ADC 供电电压，取 3.3V。 $D_Y$  为经过校准以后的 RSSI 值。

此时上述 GetRSSI ( ) 函数调整为：



```
/*PLT 查询 RSSI 值 (带校准) C 实例*/
ADCON = 0x80;      // 使能 ADC 模块, 选择 ADC 信道 0
ADT = 0x0EF;       // 设置 ADC 时钟周期  $t_{AD}=32 t_{SYS}$ , 采样时间  $15t_{AD}$ 
uchar GetRSSI(void) // 输出范围 0 ~ 255
{
    uchar m_nRssiCount=0;
    uint  m_nRssiSum=0;
    uint  m_nRssiTemp=0;
    uchar m_nRssiH=0;
    uchar m_nRssiL=0;
    while(m_nRssiCount<8)    // 8 点求平均去抖
    {
        ADCON |= 0x01;
        while((ADCON&0x01)==0x01);
        PLADR2=PLRSSIH;
        m_nRssiH=PLREG;
        PLADR2=PLRSSIL;
        m_nRssiL=PLREG;
        m_nRssiTemp =63+47*(ADDH*1.65-m_nRssiH)/(m_nRssiL-m_nRssiH);
        m_nRssiSum+=m_nRssiTemp;
        ADCON&=0x0BF;
        m_nRssiCount++;
    }
    return (255-(m_nRssiSum>>3));
}
```

### 3.2.6. RXINT 延迟

在使能 FEC 的情况下, 在波形接收结束到 RXINT 产生, 有一小段延迟 (图中  $t_{Delay}$ ), 该延迟与 PLT 时钟, Package 长度有关。在延迟时间内, PLT 接收已经被关闭。因此, 在连续发送和接收中, 前后数据帧之间间隔 (图中  $t_{Space}$ ) 需大于 RXINT 延迟时间, 否则会造成后一帧的接收失败。

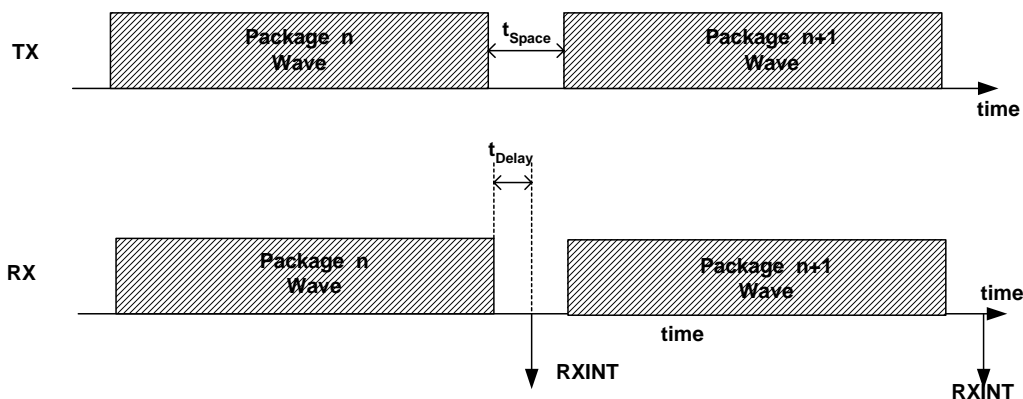


图3-6 RXINT 延迟影响示意图

表3-2 RXINT 延迟时间(单位：ms)

帧长(MPKG)\PLT 时钟	F <sub>PLT</sub> =8MHz	F <sub>PLT</sub> =12MHz	F <sub>PLT</sub> =16MHz
9 bytes	6	4	3
20 bytes	9	6	4.5
31 bytes	12	8	6

注：只有在使能 FEC 以后才存在 RXINT 延迟。

3.2.7. 外部电源处理

SH99F01 开发的载波通信模块可使用外部线性或开关电源，对于线性电源，只需满足功率要求即可，对于开关电源，需具有电源 EMI 滤波以避免开关频率干扰载波通信。图 3-4 是一个具有简单电源 EMI 电路的载波模块。

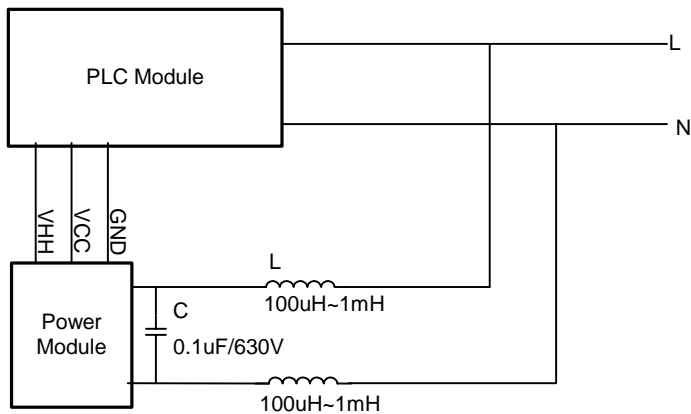


图3-7 具有 EMI 抑制的载波模块

上图中，电容 C 会对高频载波造成衰减，而电感 L 则刚好可抵消电容的影响。

3.2.8. 性能改进方法





由于信道的多样性及时变性，典型电路在某些开放线路环境中无法达到期望的性能<sup>注</sup>，此时需进行优化。一种是从载波模块本身进行优化，另一种是从系统层面进行优化。

载波模块的优化主要有以下几点：（1）增强驱动能力，选择更大的输出功率以应对极低的负载阻抗；（2）分析干扰频段范围，调整载波通信频率以避免干扰，特殊情况下可采用双载波通信以增强可靠性；（3）使用窄带调制方式以避免干扰区域；（4）使用过零传输方式以避免周期性脉冲干扰。

系统层面优化就需要分析具体的线路状况，比如是否存在跨相通信问题，是否有穿越变压器或断路器，是否存在强干扰源，线路干扰及线路阻抗是否有改进可能等。有些系统中会使用专门的 EMC 滤波器，可使强干扰源释放的线路干扰有效隔离。另外一些小功率系统可自制一些低成本的滤波或陷波电路，以改善线路噪声状况。

注：开放线路环境是指线路是现有公共线路一部分，其负载及线路拓扑都无法控制，干扰强度及干扰类型都无法限制。相对另外一种线路环境是封闭线路，这类线路一般是用户系统的一部分，与公共线路有唯一的入口，线路内部负载可控，必要时可对负载进行简单的优化。比较典型的封闭线路是一些逆变系统中的直流线路部分。

### 3.3. 测试

#### 3.3.1. 测试介绍

此处的测试主要测试产品的一致性，可靠性指标，要求测试方法简洁快速。

#### 3.3.2. 测试方法

生产测试要求快速准确，以传输性能作为测试指标，基本要求是在设定的模式下，在 50dB 衰减下达到可靠通信。

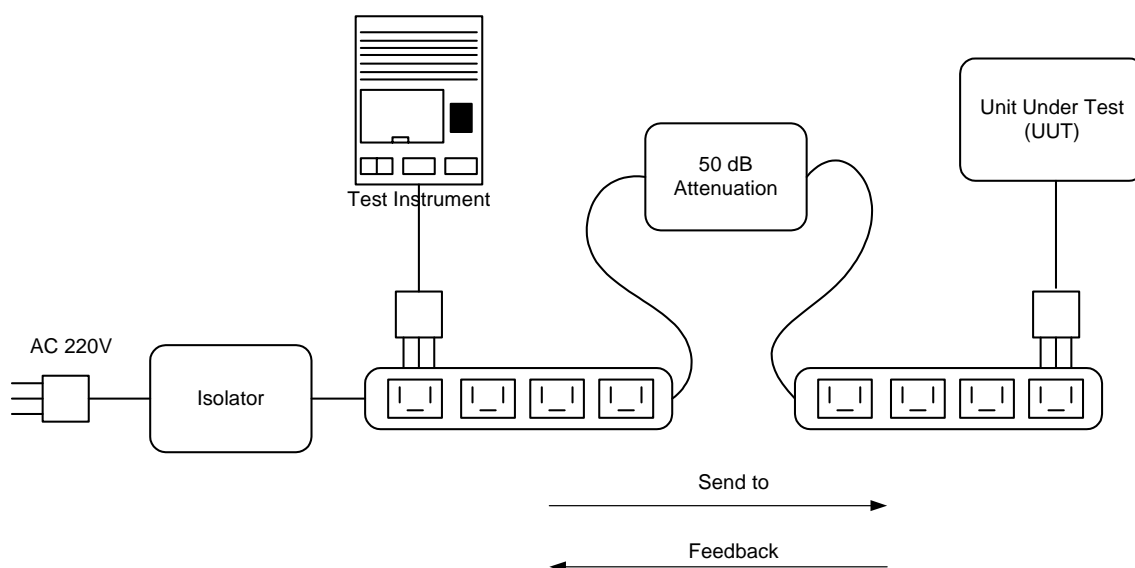


图3-8 载波模块测试方案



如图所示，测试网络与外界通过 Isolator 隔离，被测模块加在 50dB 衰减电路后，整个测试分成如下步骤：

1. 被测模块 (UUT) 烧写测试代码，该代码为接收到测试帧后，每个字节累加 127 后回传；
2. 测试仪器 (Test Instrument) 产生 20 字节 (或 31 字节) 测试数据帧，按 Start 后开始发送，经 UUT 接收处理后回传给测试仪器；
3. 每次测试发送 10 帧，要求 10 帧回传全部正确，如有丢帧则判为 fail。
4. 典型配置下每个 UUT 测试时间在 7s 左右。

## 4. 附录

### 4.1. 附录 A 载波频率选择表

表4-1 直序扩频载波调制频率选择表

Index (TXFC5-0/RXFC5-0)	$f_c$ (KHz) ( $F_{PLT}=8\text{MHz}$ )	$f_c$ (KHz) ( $F_{PLT}=12\text{MHz}$ )	$f_c$ (KHz) ( $F_{PLT}=16\text{MHz}$ )
15	25.000	37.500	50.000
16	26.563	39.844	53.125
17	28.125	42.188	56.250
18	29.688	44.531	59.375
19	31.250	46.875	62.500
20	32.813	49.219	65.625
21	34.375	51.563	68.750
22	35.938	53.906	71.875
23	37.500	56.250	75.000
24	39.063	58.594	78.125
25	40.625	60.938	81.250
26	42.188	63.281	84.375
27	43.750	65.625	87.500
28	45.313	67.969	90.625
29	46.875	70.313	93.750
30	48.438	72.656	96.875
31	50.000	75.000	100.000
32	51.563	77.344	103.125
33	53.125	79.688	106.250
34	54.688	82.031	109.375



## SH99F01 载波通信应用指南

35	56.250	84.375	112.500
36	57.813	86.719	115.625
37	59.375	89.063	118.750
38	60.938	91.406	121.875
39	62.500	93.750	125.000
40	64.063	96.094	128.125
41	65.625	98.438	131.250
42	67.188	100.781	134.375
43	68.750	103.125	137.500
44	70.313	105.469	140.625
45	71.875	107.813	143.750
46	73.438	110.156	146.875
47	75.000	112.500	150.000
48	76.563	114.844	153.125
49	78.125	117.188	156.250
50	79.688	119.531	159.375
51	81.250	121.875	162.500
52	82.813	124.219	165.625
53	84.375	126.563	168.750
54	85.938	128.906	171.875
55	87.500	131.250	175.000
56	89.063	133.594	178.125
57	90.625	135.938	181.250
58	92.188	138.281	184.375
59	93.750	140.625	187.500
60	95.313	142.969	190.625
61	96.875	145.313	193.750
62	98.438	147.656	196.875
63	100.000	150.000	200.000
64	101.563	152.344	203.125
65	103.125	154.688	206.250
66	104.688	157.031	209.375



67	106.250	159.375	212.500
68	107.813	161.719	215.625
69	109.375	164.063	218.750
70	110.938	166.406	221.875
71	112.500	168.750	225.000
72	114.063	171.094	228.125
73	115.625	173.438	231.250
74	117.188	175.781	234.375
75	118.750	178.125	237.500
76	120.313	180.469	240.625
77	121.875	182.813	243.750
78	123.438	185.156	246.875
79	125.000	187.500	250.000
80	126.563	189.844	253.125
81	128.125	192.188	256.250
82	129.688	194.531	259.375
83	131.250	196.875	262.500
84	132.813	199.219	265.625
85	134.375	201.563	268.750
86	135.938	203.906	271.875
87	137.500	206.250	275.000
88	139.063	208.594	278.125
89	140.625	210.938	281.250
90	142.188	213.281	284.375
91	143.750	215.625	287.500
92	145.313	217.969	290.625
93	146.875	220.313	293.750
94	148.438	222.656	296.875
95	150.000	225.000	300.000

注：index 低于 15 与高于 95 的频点不使用。

表4-2 窄带 DBPSK 载波调制频率选择表



## SH99F01 载波通信应用指南

Index (TXFC5-0/RXFC5-0)	$f_c$ (KHz) ( $F_{PLT}=8\text{MHz}$ )	$f_c$ (KHz) ( $F_{PLT}=12\text{MHz}$ )	$f_c$ (KHz) ( $F_{PLT}=16\text{MHz}$ )
15*	25.000	37.500	50.000
18	29.688	44.531	59.375
28	45.313	67.969	90.625
31*	50.000	75.000	100.000
34	54.688	82.031	109.380
44	70.313	105.470	140.630
47*	75.000	112.500	150.000
50	79.688	119.530	159.380
60	95.313	142.970	190.630
63*	100.000	150.000	200.000
66	104.690	157.030	209.380
76	120.310	180.470	240.630
79*	125.000	187.500	250.000
82	129.690	194.530	259.380
92	145.310	217.970	290.630
95*	150.000	225.000	300.000
98	154.690	232.030	309.380
108	170.310	255.470	340.630
111*	175.000	262.500	350.000
114	179.690	269.530	359.380
124	195.310	292.970	390.630
127*	200.000	300.000	400.000
130	204.690	307.030	409.380
140	220.310	330.470	440.630
143*	225.000	337.500	450.000
146	229.690	344.530	459.380
156	245.310	367.970	490.630
159*	250.000	375.000	500.000

注: \*推荐载频点

注: index 低于 15 的频点不建议使用。



此处提供几种 SH99F01 典型应用电路，分别用于 LV DC 线路，单相 AC 线路和三相 AC 线路。

SH99F01 在 DC 线路上能获得更好的通信性能，DC 线路的干扰和复杂性要远比 AC 线路低得多。严格来说，SH99F01 作为一颗低频率（500KHz 以下）通信收发器，在大多数闭合回路中都能进行通信，只要配合合适的信号耦合电路即可。

对于 48V 或更高/更低电压 DC 线路，可使用 DC-DC 电路供电（电源功率要求 2W 以上，特殊情况下也可降低到 1W），同时系统中各器件耐压等级要求提高到相应电压以上。



LV DC 系统可作为独立模块使用，也可作为外部主机的 PLC Modem。后者通过 UART 接口（TXD/RXD/GND）与主机连接。

#### 4.2.2.1. 原理图



单相模块是指存在外部主机，由 SH99F01 构成的载波模块只需完成数据传输，不参与系统监控操作。载波模块电源由主机提供，二者通过 UART 接口连接。

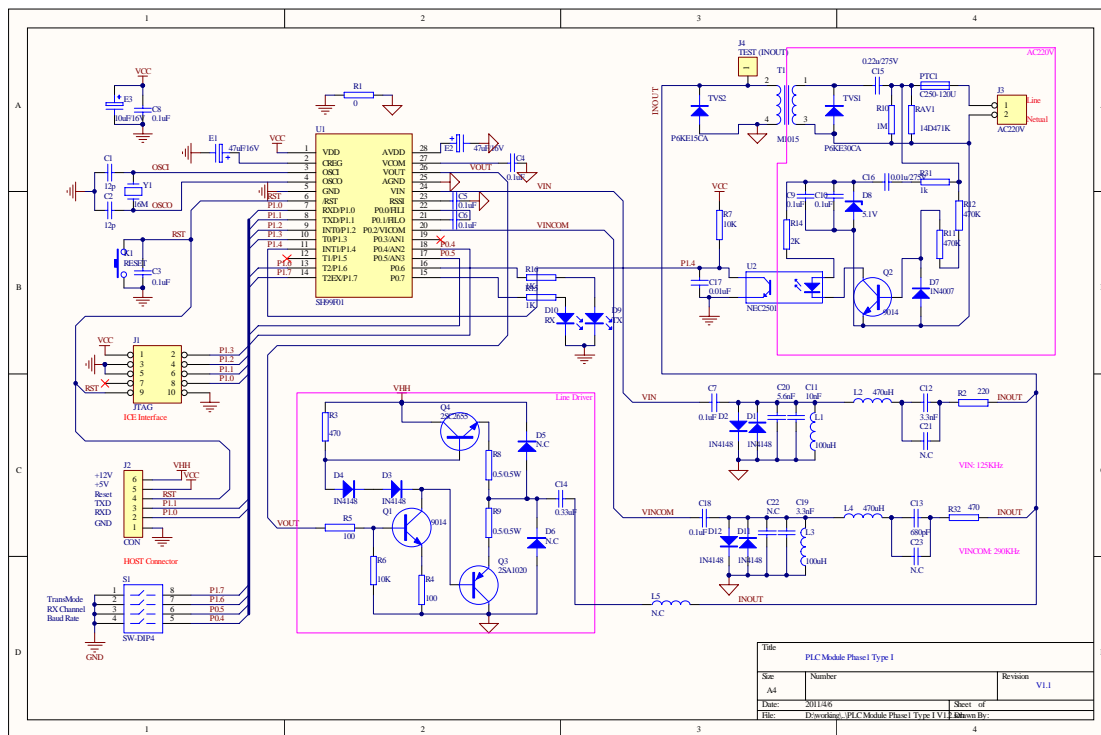


图4-2 单相 AC 线路载波模块典型电路

注：标注 N.C 的器件为参数优化保留，典型情况下电感电阻焊短路线，电容不上件。

说明：该典型电路具有过零检测电路以及两个接收通道，过零检测电路在工频上升过零点送出检测脉冲（下降沿脉冲，INT1 采用下降沿外部中断）；两个接收通道前端分别设计 2 阶的 LC 选频滤波器，中心频率为 125KHz 与 290KHz。典型情况下只需对 290KHz 通道上件。

模块与主机系统通过 J2 接口连接，由主机提供+12V(或+15V)和+5V 电源，前者不低于 100mA，后者不低于 20mA。载波模块在接收时功率不到 50mW，而由于要求驱动线路负载，发射瞬间功率要达到 1W 以上（典型 1.5W）。在典型应用中，载波模块大部分时间处于接收状态。

典型电路通过 S1 保留了 3 个 options，分别是 Baud Rate Option，RX Channel Option 和 Trans Mode Option，供扩展使用。

## 4.2.2.2. PCB 布线要求

- GND 与 AGND 在靠近 U1 的一点连接；
- U1 附近布置 0.1uF 去耦电容，如 VCC 由外部提供，需再布置 10uF 电容滤波；
- C1，C2，Y1 与 U1 之间走线尽量短，并应远离 Analog 电路；
- C1，C2，E1 地端先和 U1 的 GND 引脚连接，再接到 PCB 的 GND 端，即保持一点接地；



■ Q3 , Q4 如选择其它贴片器件需注意功率参数及散热要求 ;

## 4.2.2.3. BOM 表

类型 ( 注 1 )	名称	编号	单数	精度	备注
IC (TSSOP28)	SH99F01	U1	1		主 IC
IC (DIP4)	NEC2501	U2	1		光耦
无源晶振	16.000MHz	Y1	1		普通扁平晶振(30ppm, C=12pF)
耐高压电容	0.01uF/275V	C16	1	10%	X2 电容
耐高压电容	0.22uF/275V	C15	1	20%	X2 电容
直插电容	0.33uF	C14	1	10%	
贴片电容(0603)	12pF	C1 , C2	2	5%	
贴片电容(0603)	0.1uF	C3 , C4 , C5 , C7 , C8 , C18	10	10%	
贴片电容(0805)	0.1uF	C9 , C10	2	10%	
贴片电容(0603)	10nF	C17	1	5%	
贴片电容(0603)	680pF	C13	1	5%	
贴片电容(0603)	3.3nF	C12	2	5%	单通道时不上件
贴片电容(0603)	3.3nF	C19	2	5%	
贴片电容(0603)	10nF	C11	1	5%	单通道时不上件
贴片电容(0603)	5.6nF	C20	1	10%	单通道时不上件
贴片电容(0603)	N.C	C21 , C22 , C23	3		不上件
贴片三极管(SOT323-Q)	9014	Q1 , Q2	2		
直插三极管(TO-126)	2SA1020	Q3	1		可用其他相近参数对管 , 要求 $I_C \leq 1A$ , $V_{CEO} \leq 50V$ 如 PBSS4250X 和 PBSS5250X
直插三极管(TO-126)	2SC2655	Q4	1		
贴片电感(1210)	470uH	L2 , L4	2	5%	( 注 2 ) 单通道时 L1 ,L2 不上件
贴片电感(1210)	100uH	L1 , L3	2	5%	
绕线电感 ( RB.1/2 )	N.C	L5	1		焊短路线
贴片限幅二极管 (SOD323)	1N4148	D1 , D2 , D3 , D4 , D11,D12	8		单通道时 D1 ,D2 不上件
贴片限幅二极管 (SOD323)	1N4148	D5 , D6	2		不上件





## SH99F01 载波通信应用指南

直插整流二极管	1N4007	D7	1		
直插稳压管	5.1V	D8	1		
直插瞬态抑制二极管	P6KE30CA	TVS1	1		双向 30V TVS
直插瞬态抑制二极管	P6KE15CA	TVS2	1		双向 15V TVS
热敏电阻	C250-120U	PTC1	1		120mA 可恢复保险丝
压敏电阻	14D471K	RAV1	1		470V VAR
耦合线圈	定制	T1	1		定制耦合线圈, 400uH ~ 1000uH, 见附录 D
贴片电解电容(B type)	47uF/16V	E1, E2	2	20%	
贴片电解电容(A type)	10uF/25V	E3	1	20%	
F3 普亮发光二极管	发光二极管	D9, D10	2		收发指示, 视应用需要
贴片电阻(0603)	100 欧	R4, R5	2	10%	
贴片电阻(0603)	470 欧	R3, R32	2	10%	
贴片电阻(0603)	220 欧	R2	1	10%	单通道时不上件
贴片电阻(0603)	10K	R6, R7	2	10%	
直插电阻	0.5 欧/0.5W	R8, R9	2	5%	
贴片电阻(0603)	2K	R14	1	10%	
贴片电阻(0603)	1K	R15, R16	2	10%	
贴片电阻(1210)	470K	R11, R12, R13	3	10%	
贴片电阻(0603)	0 欧	R1	1	10%	可用短路线替代
直插电阻	1M	R10	1	10%	
直插电阻	1 K	R31	1	10%	
接插件	10pin 直角插针 (带壳)	J1	1		可合并使用一组单排插针
接插件	6pin 单排插针	J2	1		
接插件	1pin 单排插针	J4	1		测试点, 省略
接插件	AC 接线柱	J3	1		
小按键	6*6 小按键	K1	1		复位按键, 可省略
拨码开关	4 路小开关	S1	1		Option 选择, 可省略

注 1：表中封装形式为“中颖标准库”封装。

注 2：要求选择高 Q 值低直流阻抗电感，注意精度 5%。推荐型号：村田 LQH32MN101J23（100uH），LQH32MN471J23（470uH），或 TDK 的 NL453232T-101J-PF（100uH），NL453232T-471J-PF（470uH）。

### 4.2.2.4. 简化电路图



对于相对封闭网络，负载可控，在对负载 EMI 进行必要优化后，仅使用“NBSF”调制模式即可取得良好的系统性能。该模式有效信息速率达到 3kbps，不使用过零传输，取 290KHz 通道（注意图中改接到了 VIN），同时省略了过零检测电路，得到单相 AC 的简化应用电路。

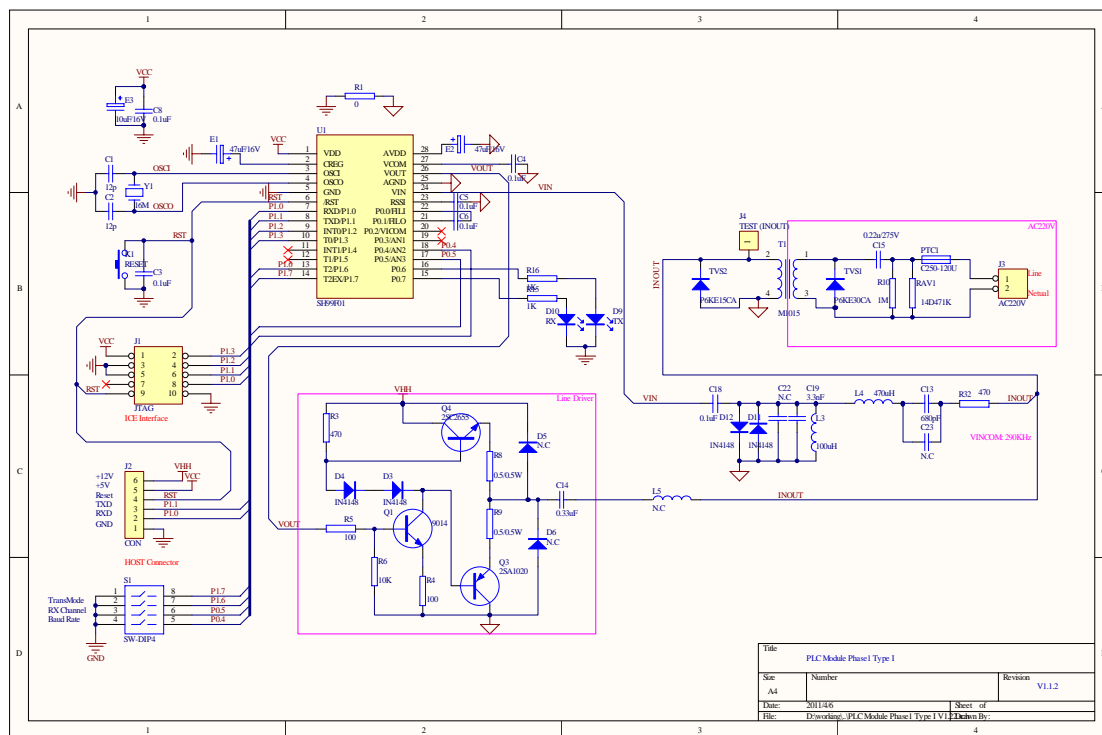


图4-3 单相 AC 线路载波模块简化电路

由于不使用过零检测，此电路可应用在 DC 线路上，即使线路上未加电（无线路<sup>注</sup>），只要线路接通，使用电池给载波模块供电，仍然可完成远程通信。

注：载波使用无线路，类似于传统有线通信，但由于使用了高性能调制技术与纠错技术，比传统有线通信具有更强的信道适应性与抗干扰能力，支持大量节点并联。

### 4.2.3. 三相 AC 线路模块典型电路

对于三相应用系统，各终端可设计为单相模块或三相模块，前者需提供相间耦合电路，后者需设计三相载波接口。

#### 4.2.3.1. 相间耦合电路

此方式下各模块仍然使用单相载波模块，但挂在不同相位上，通过专门的耦合电路把载波信号在不同相位间联通。

如下图所示两种典型的载波相间耦合电路。

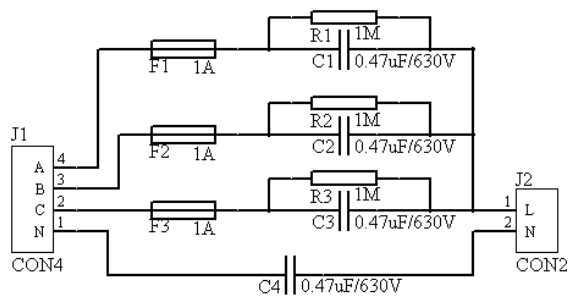


图4-4 非隔离相间耦合电路

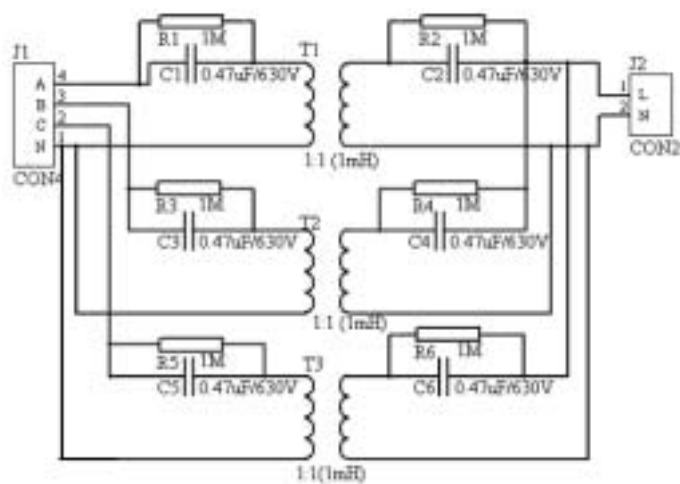


图4-5 隔离相间耦合电路

经过耦合后三相线路实际上可看作一个网络，应用与单相线路没有本质区别。

#### 4.2.3.2. 三相载波模块

根据线路耦合方式不同，提供 2 种三相载波模块电路：（1）直接耦合方式三相电路；（2）选择耦合方式三相电路。两种方式仅在驱动耦合部分不同。

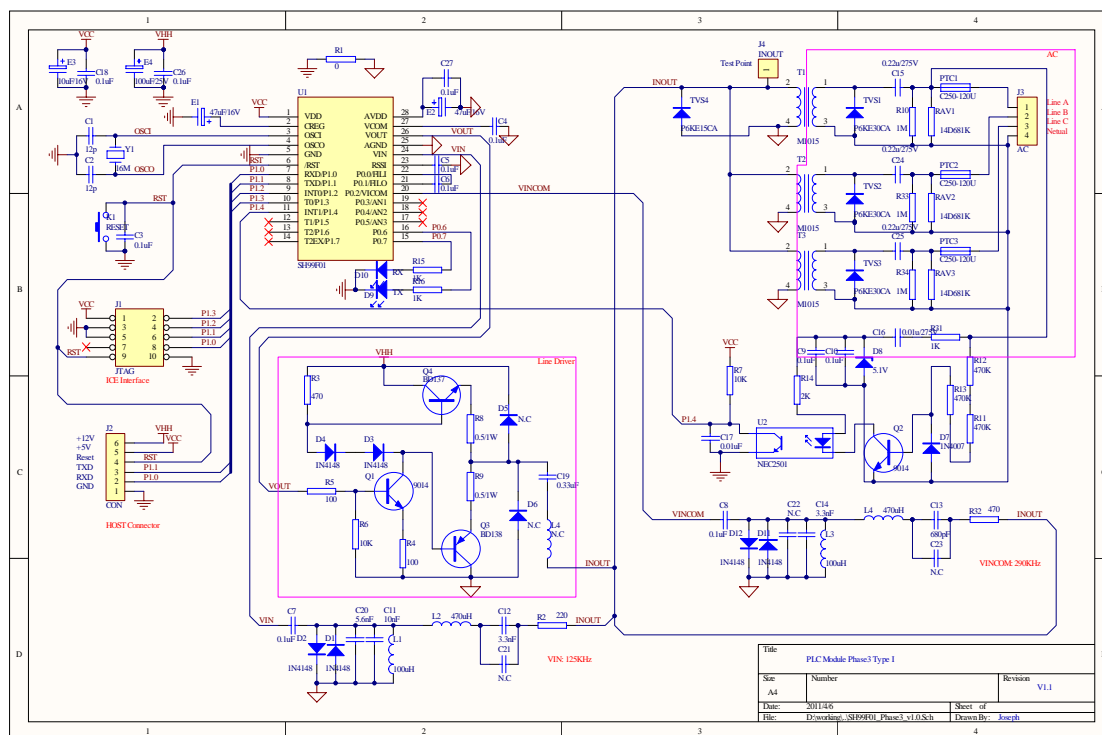


图4-6 直接耦合方式三相典型电路

注：图中有一路过零检测电路，提供 VIN 与 VINCOM 通道，典型只需对 VINCOM 上件。

直接耦合方式是最简单的耦合输出，仅在单相电路上增加两个耦合通道，低压部分完全相同。

唯一差异是驱动管规格要提高，图中使用 BD137，BD138 对管替换 SC2655，SA1020。

这种电路优点是简单可靠，协议处理也简单，可以完全按照单相线路的控制方式进行组网与控制。

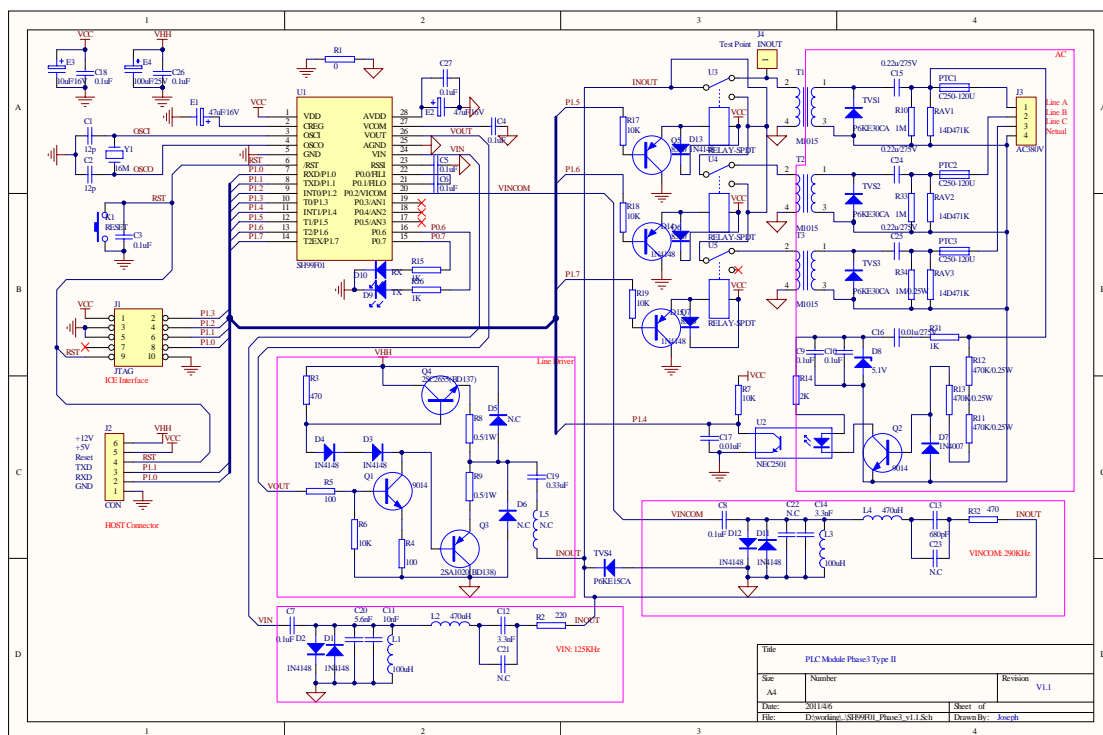


图4-7 选择耦合方式三典型电路

选择耦合方式使用三个 SPDT 型继电器，通过继电器每次只接通三相线路中的一相，从而可减轻负载，降低对驱动电路要求，同时也完全退化到单相传输过程。由于继电器存在触点寿命问题，这种方式下三相模块使用寿命会受继电器影响。此图中过零检测电路布置在 A 相，相应的 B 相 C 相零点可通过时间确定。

上述电路中对 SPDT 型继电器的基本要求是触点电阻小于 200m $\Omega$ ，触点电流大于 1A。  
与 A 相节点通信时，U3 常开（图中动触点打到上面通路），U4，U5 常闭，仅接通 A 相线路；  
与 B 相节点通信时，U4 常开（图中动触点打到上面通路），U3，U5 常闭，仅接通 B 相线路；  
与 C 相节点通信时，U5 常开（图中动触点打到上面通路），U3，U4 常闭，仅接通 C 相线路；  
接收时，有两种方式，（1）U3，U4，U5 同时打开，接通 A，B，C 相线路，实现三相同步接收；（2）依次开启 U3，U4，U5，每次仅接通一相线路。

### 4.3. 附录 C 模块测试

#### 4.3.1. 测试辅助电路

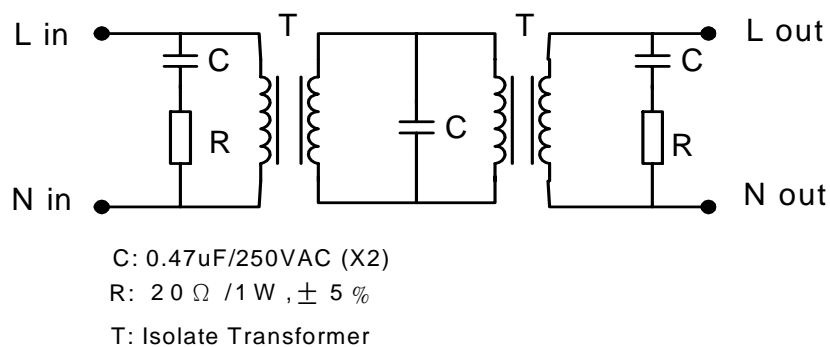


图4-8 电力线隔离电路 (约 -70dB)

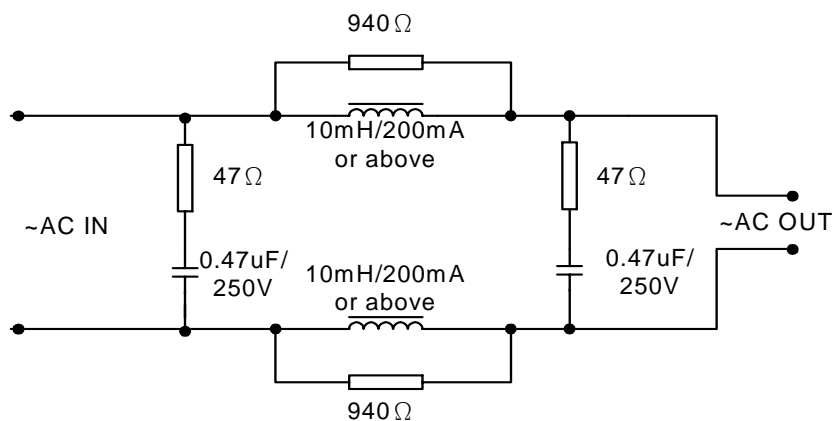


图4-9 信号衰减电路 (双向, 约 -30dB)

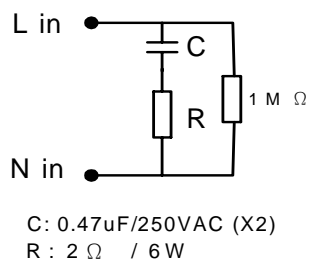


图4-10 电力线等效负载 (about 2 欧)

#### 4.3.2. 参考波形

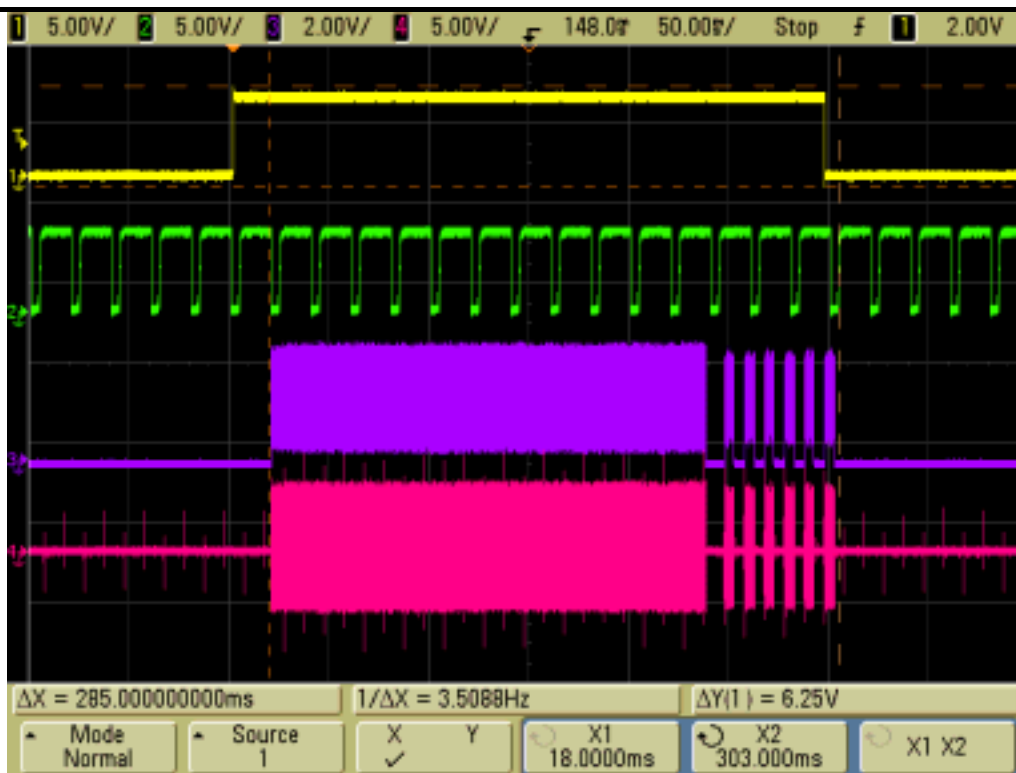


图4-11 过零双模波形

注：载频 290KHz，过零双模调制格式，有效数据 20 bytes，帧长 310ms，包括一个扩频帧，6 个过零片段，每个过零片段间隔 10ms。

CH1：tx busy 信号，发送使能；

CH2：ZCD 信号（50Hz 工频上升过零检测，周期 20ms）；

CH3：载波输出 VOUT 信号（注意有 AVDD/2 直流偏置）；

CH4：驱动输出信号（在耦合线圈低压端测得，在 AC 端加 2 欧等效负载）；

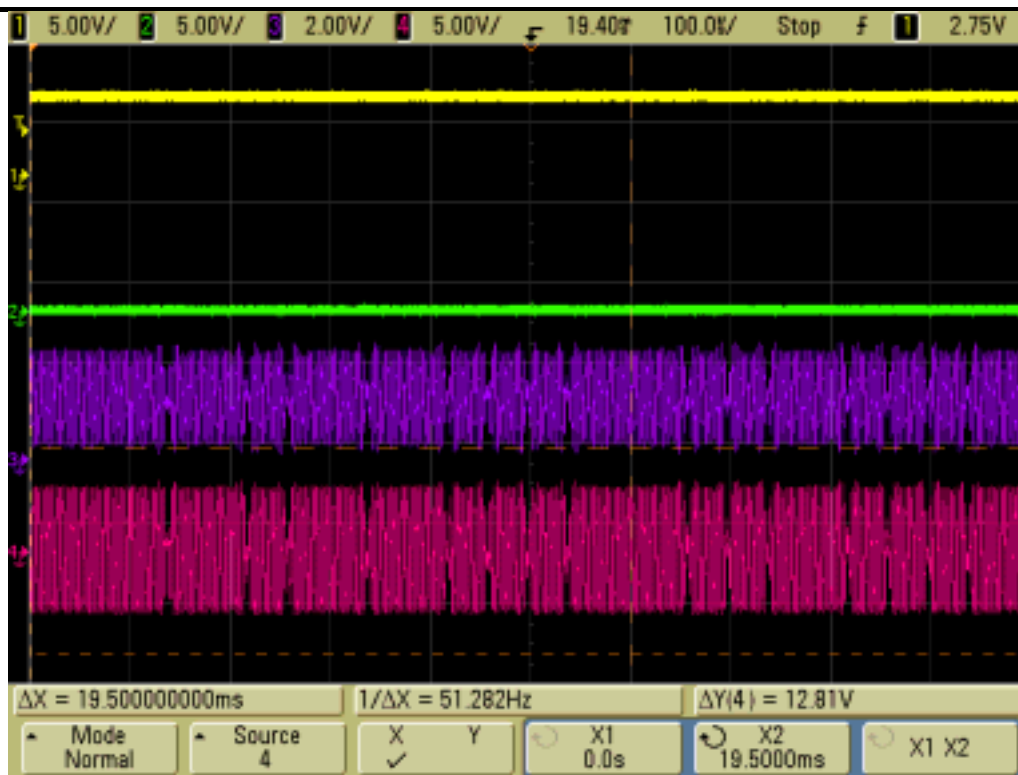


图4-12 扩频帧局部波形

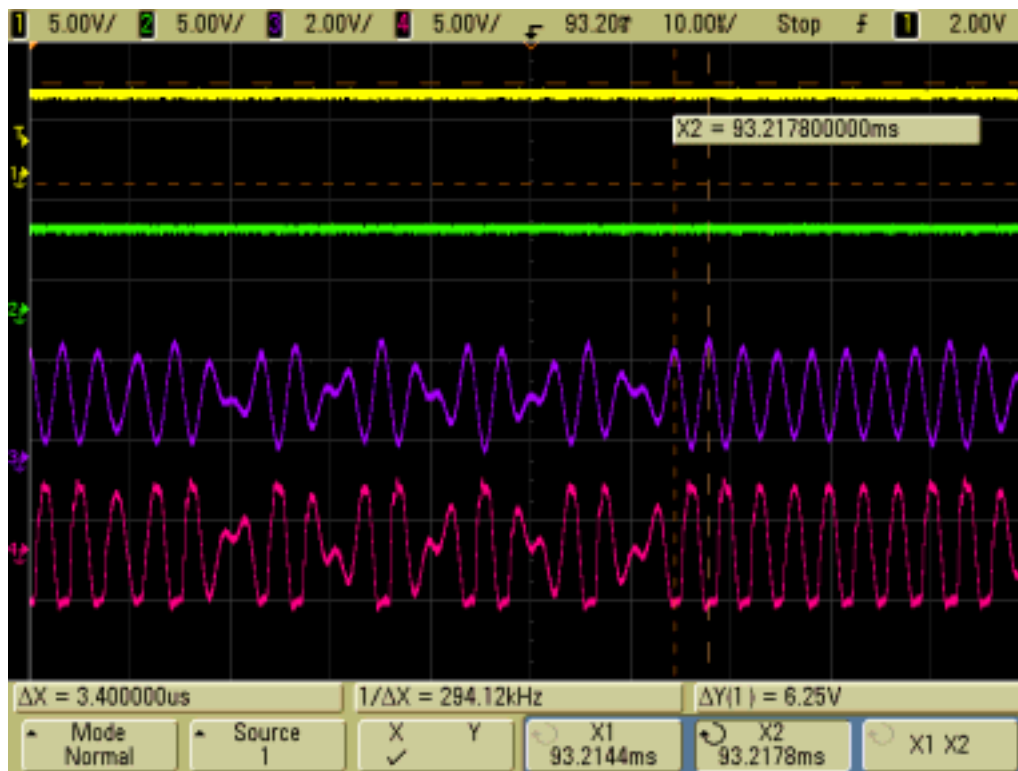


图4-13 扩频帧载波频率检查（约290KHz）





4.4. 附录 D 耦合线圈规格

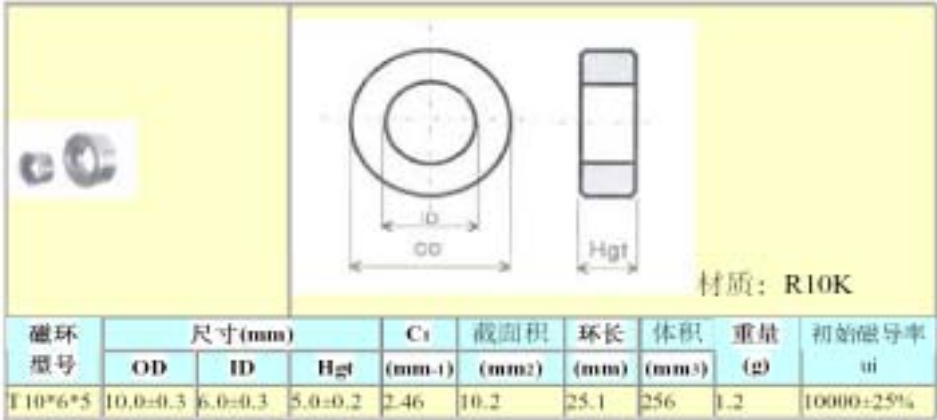
T1 线圈选用电力线载波应用中较常用的 M1015 线圈。

M1015 线圈绕制方式

- (1) 绕制匝数比：原边 10 匝(接 220V 端)；副边 15 匝(接低压端)
- (2) 绕制方式：匝间并绕
- (3) 绕线类型：耐高温线，或漆包线
- (4) 电感量：使用电感测试仪测量(1KHz，副边开路)原边电感量为  $600\mu\text{H} \pm 25\%$
- (5) 绕制后注意检查原副边是否短路，可以使用工字型骨架进行硬封装

磁环规格及参数：

铁氧体磁环，具体尺寸及磁导率可根据要求调整。



采购信息：

扬州鼎成电子有限公司

联系人：高先生

TEL：0514-86077732

0514-86837772

FAX：0514-86838319

5. 应用指南版本历史

版本号	版本记录	时间
V1.0	Original	2009-12-25



## SH99F01 载波通信应用指南

V1.1	删除“典型应用”中其他推荐外围电路介绍，只保留目前已使用的首选外围电路。 增加了 3.2 中“冲突检测”介绍，增加了 4.3“附录 C”。	2010-07-07
V1.2	局部内容删节。	2010-08-30
V1.3	修改典型应用电路，增加 DC 线路与三相应用线路。	2010-10-20
V1.4	修改“载波通信模式介绍”，增加过零双模流程介绍。 增加跨相耦合介绍。 增加性能改进方法介绍。	2011-03-20
V1.5	删除部分附属电路，删除冲突检测细节。	2011-06-12