



1. 系统介绍

1.1. 典型 PLC 点对点传输系统

APP Host (或 APP Client) 与 PLC Module 是同一台主机，由 SH99F01 完成全部应用功能，如图 1-1 所示。

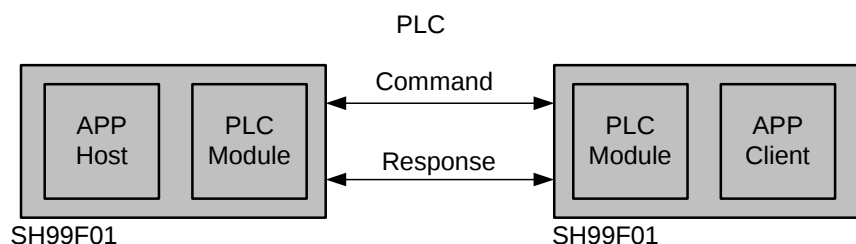


图1-1 无外部主机的 PLC 点对点传输系统

但更多情况是图 1-2，即 SH99F01 与 Host (或 Client) 之间通过 UART 接口连接，PLC 为 Host-Client 之间提供基于电力线载波的透明传输信道。

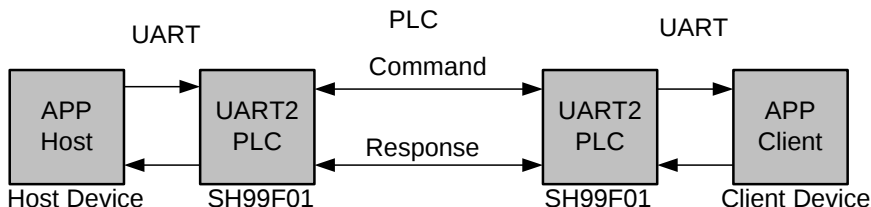


图1-2 有外部主机的 PLC 点对点透传系统

1.2. UART2PLC Module

UART2PLC Module 设计为有外部主机的 PLC 点对点透传系统，完成数据从串口到载波的透明转发。

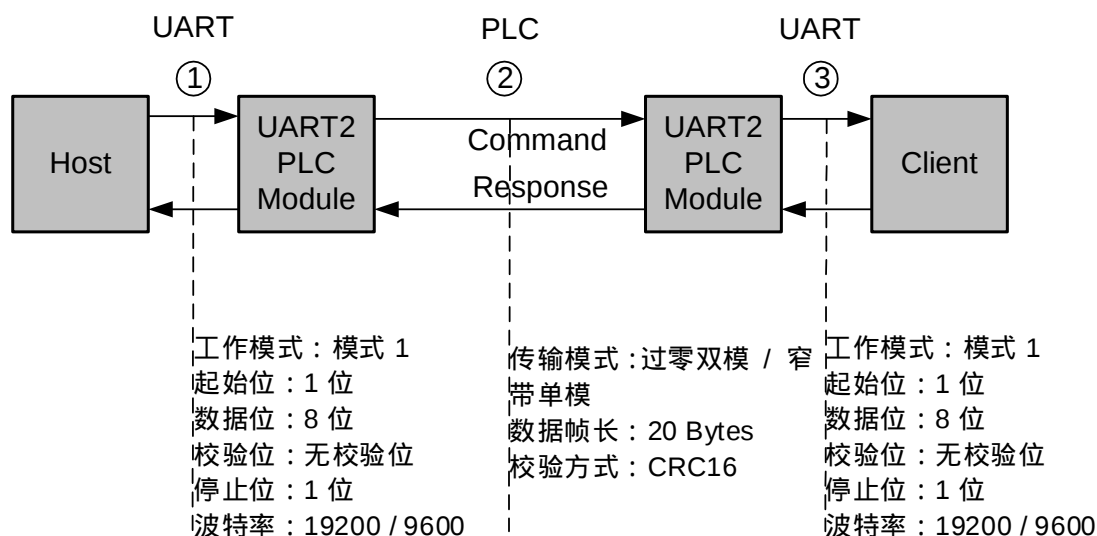


图1-3 UART2PLC Module 传输过程

1. Host 发送一个 UART 包(command 命令)至 UART2PLC Module ,UART 包无固定格式(hex 形式)，不足 20 字节底层自动补 0x00，超过 20 字节截取前 20 字节。
2. UART2PLC Module 通过固定的 20 字节 PLC 包传输，PLC 底层会自动添加 CRC16 校验，校验正确才送到 UART 口，否则直接丢弃。PLC 传输没有 ACK，也不做任何重传，这些都可根据应用需要扩展。
3. 通过统计 Host 与 Client 之间的 UART 包数可计算误包率^注。

注：误包率 (PER) 是衡量 PLC 传输性能的主要指标。由于 PLC 信道的多样性与时变性，PLC 性能评估往往以在实际信道及负载条件下进行点对点 PER 测试为准，PER 应不高于 3%，否则需考虑中继或改进系统参数。

1.3. UART 包和 PLC 包格式

UART 包定义为透明传输，无固定包格式，无需起始符和结束符，无需长度 (length) 与包校验 (FCS) 等信息，这些都由用户在具体应用时定义。PLC Module 不会对 UART 包进行任何解析，只完成透明转发。

UART 包的开始与结束通过时间溢出来判断，在第一个 byte 接收后，全部 UART 字节必须在 30ms 时间内接收完成，完成后 UART 接收会关闭 5ms 作为保护间隔，然后恢复到接收等待状态。

注：PLC 传输速率一般会低于 UART 波特率，底层程序未作数据缓冲与流量控制，需在 Host 端保证前后 UART 数据包之间足够的间隔时间，以免溢出。

2. UART2PLC Module 设计说明

Module 参数选项：



- ◆ 串口波特率：bBaudOption, 1 ~ 19200Bps (默认), 0 ~ 9600Bps ;
- ◆ 载波接收通道：bChanOption, 1 ~ VINCOM 通道 (默认), 0 ~ VIN 通道。VINCOM 通道使用 290KHz 载波频率, VIN 通道使用 125KHz 载波频率 (如果有) ;
- ◆ 载波通信模式：bModeOption, 1 ~ 过零双模 (默认, DMZC), 0 ~ 窄带单模 (NBSF) ;
- ◆ 工频自动检测开关：bACFreqDetect, 1 ~ 开启工频自动检测, 0 ~ 关闭工频自动检测 (默认, 此时工频频率由 bFreqOption 指定, 默认 50Hz) ;

注：上述参数选择可在程序中修改, 也可映射到 port 口由 S1 进行设置。

注：程序中使用 P1.2 直接设置 bModeOption P1.2 悬空 (高电平) 时 bModeOption=1, 选中 DMZC, P1.2 短接 GND (低电平) 时 bModeOption=0, 选中 NBSF。

LED 状态指示 (如果有) :

- ◆ PLC TX：载波发送忙指示, 在载波发送期间点亮 (图中接到 P0.6) ;
- ◆ PLC RX：载波接收忙指示, 在载波接收期间点亮 (仅指示有载波接收, 不指示数据正确性, 图中接到 P0.7) ;

工频频率自动检测 (bACFreqDetect) :

- ◆ Module 具有工频频率自动检测, 开启该功能时, 上电时如 PLC TX, PLC RX 两灯快速闪烁 2 下 (50ms 间隔), 表示工频为 60Hz, 如慢速闪烁 2 下 (300ms 间隔), 表示工频为 50Hz, 过零传输时自动按照检测频率匹配过零参数, 无需用户设置 ;
- ◆ 关闭工频自动检测 (默认) 时过零参数由 bFreqOption 设置, 默认为 1 (50Hz 过零参数) ;
- ◆ 在窄带单模 (NBSF) 下过零参数无效 ;

2.1. 使用示例

2 台 Module (通过 RS232 转接板连接 PC), 默认设置, 分别接 PC 串口。使用串口调试助手 (本例使用 AccessPort 软件) 进行测试, 数据为 20 bytes, 设置自动发送间隔为 0.5s。PLC 线路为 300 米测试线路, 或使用人工 -30dB 衰减板。

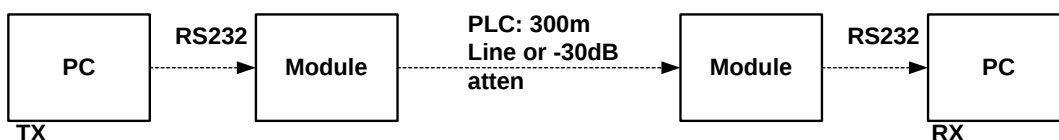




图2-1 基于上位机的透明传输测试框图

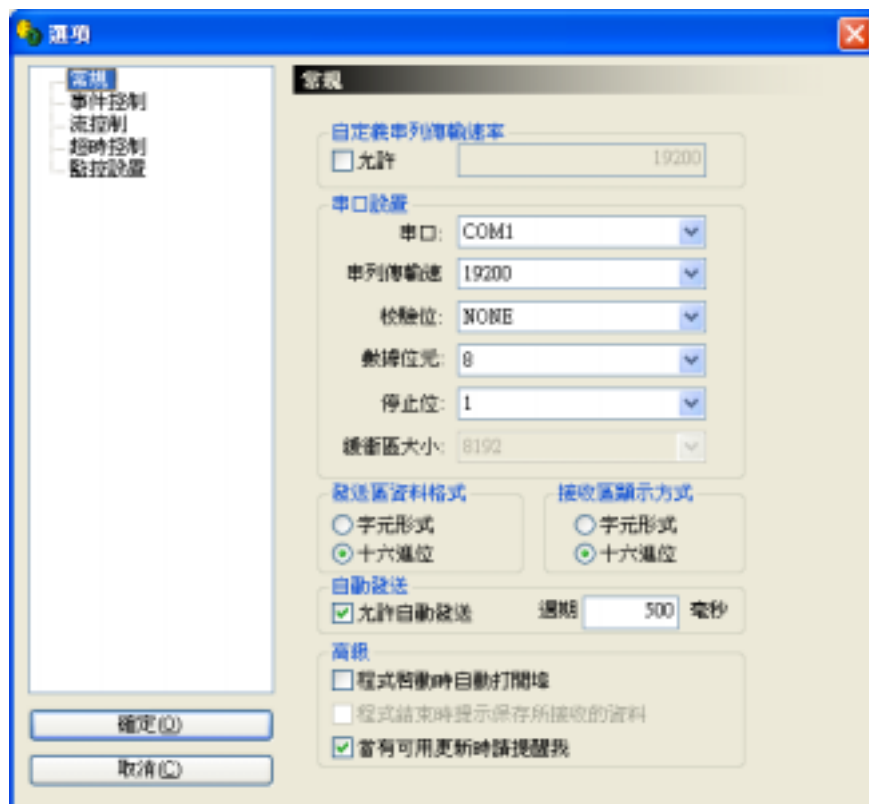


图2-2 AccessPort 串口设置

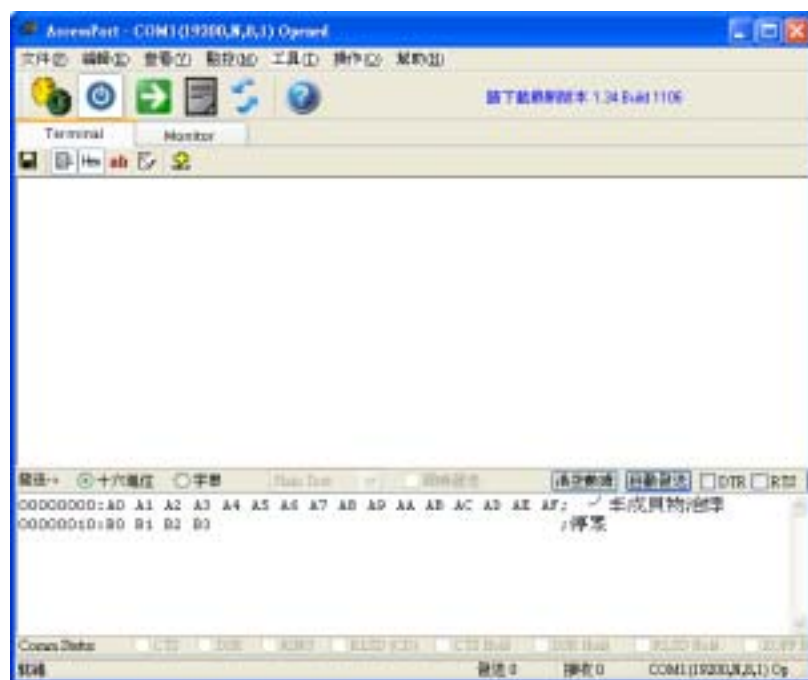


图2-3 发送测试数据（HEX 格式，20 bytes，自动发送）

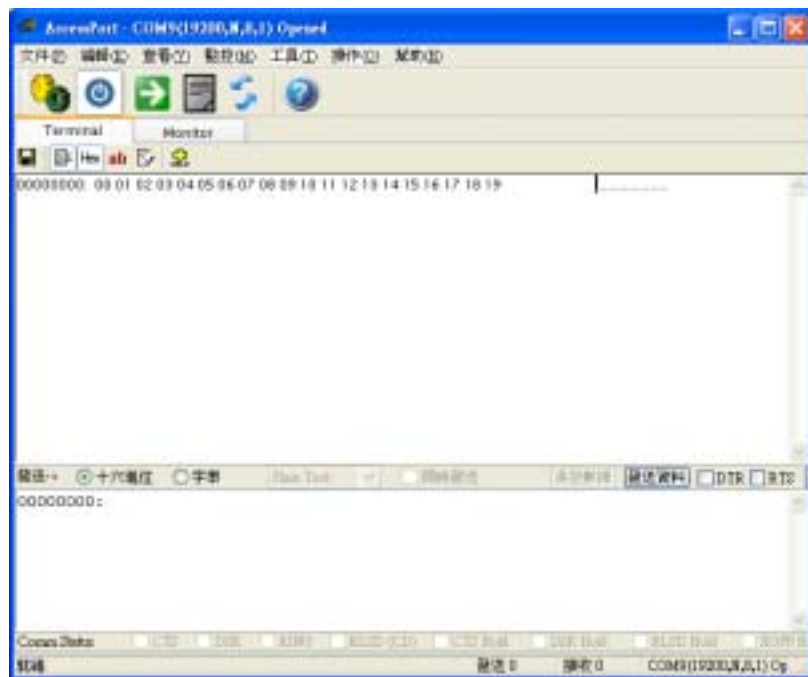


图2-4 测试数据接收（HEX 格式，20 bytes）

3. 附录

3.1. 载波通信模式

通信模式	参数	特点
过零双模（默认，DMZC）	数据包长：20 bytes 持续时间：310ms 数据速率：约 510bps（有效信息） 过零检测：需要	默认传输模式，基于扩频调制与窄带过零传输双模式，抗干扰性能较好，环境适应性强 适合大部分 PLC 信道。
窄带单模（NBSF）	数据包长：20 bytes 持续时间：60ms 数据速率：约 2666bps（有效信息） 过零检测：不需要	较高传输速率，抗干扰性能略有下降，适合负载较轻和干扰较少的 PLC 信道。

注：以上 2 种模式都可以设置不同的载波频率，一般来说频率越高电力线上干扰越少，但幅度衰减也越快。而 290KHz 频率是一个较为折衷的选择。

如果要满足欧洲标准 CENELEC: EN50065-1，必须选择 150KHz 以下载波频率，推荐窄带单模选择 100KHz 频点，过零双模选择 59.375KHz 频点。

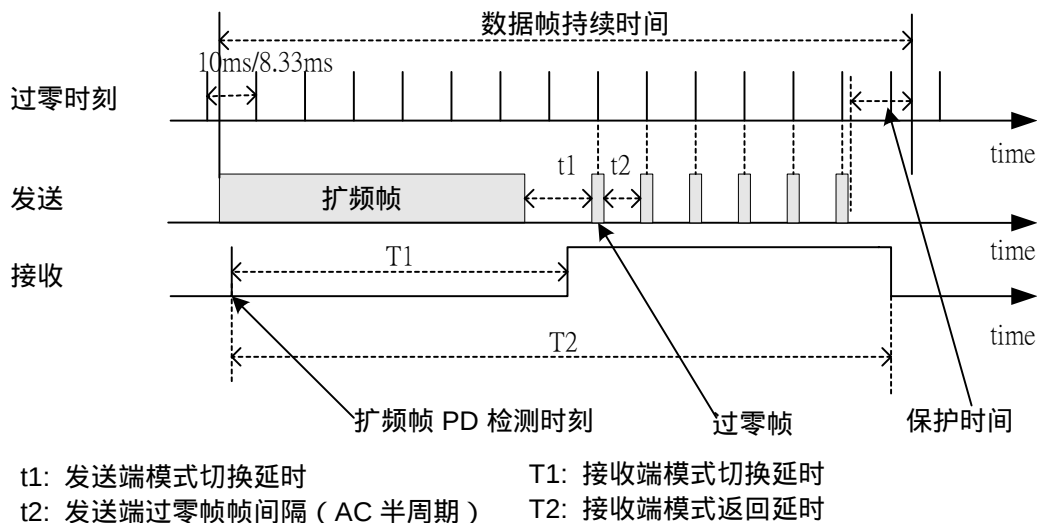


图3-1 过零双模示意图

3.2. 载波频率选择表

表3-1 扩频 (SSC) 载波频率选择表

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



UART2PLC Module

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
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



UART2PLC Module

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：除此表之外的载频点不能使用

表3-2 窄带（DBPSK）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
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, 其他频点性能略有下降, 除此表之外的载频点不能使用。

3.3. 16 位 CRC-CCITT 校验

16 位 CRC-CCITT 校验透传程序中未用到, 提供此表仅供用户开发 Host 程序时增加 UART 包校验 (FCS) 参考。

```
static uint16 CRC16_TABLE[256] =
{
    0x0000, 0x1021, 0x2042, 0x3063, 0x4084, 0x50A5, 0x60C6, 0x70E7,
    0x8108, 0x9129, 0xA14A, 0xB16B, 0xC18C, 0xD1AD, 0xE1CE, 0xF1EF,
    0x1231, 0x0210, 0x3273, 0x2252, 0x52B5, 0x4294, 0x72F7, 0x62D6,
    0x9339, 0x8318, 0xB37B, 0xA35A, 0xD3BD, 0xC39C, 0xF3FF, 0xE3DE,
    0x2462, 0x3443, 0x0420, 0x1401, 0x64E6, 0x74C7, 0x44A4, 0x5485,
    0xA56A, 0xB54B, 0x8528, 0x9509, 0xE5EE, 0xF5CF, 0xC5AC, 0xD58D,
    0x3653, 0x2672, 0x1611, 0x0630, 0x76D7, 0x66F6, 0x5695, 0x46B4,
    0xB75B, 0xA77A, 0x9719, 0x8738, 0xF7DF, 0xE7FE, 0xD79D, 0xC7BC,
    0x48C4, 0x58E5, 0x6886, 0x78A7, 0x0840, 0x1861, 0x2802, 0x3823,
    0xC9CC, 0xD9ED, 0xE98E, 0xF9AF, 0x8948, 0x9969, 0xA90A, 0xB92B,
    0x5AF5, 0x4AD4, 0x7AB7, 0x6A96, 0x1A71, 0x0A50, 0x3A33, 0x2A12,
    0xDBFD, 0xCBDC, 0xFBBF, 0xEB9E, 0x9B79, 0x8B58, 0xBB3B, 0xAB1A,
    0x6CA6, 0x7C87, 0x4CE4, 0x5CC5, 0x2C22, 0x3C03, 0x0C60, 0x1C41,
    0xEDAE, 0xFD8F, 0xCDEC, 0xDDCD, 0xAD2A, 0xBD0B, 0x8D68, 0x9D49,
    0x7E97, 0x6EB6, 0x5ED5, 0x4EF4, 0x3E13, 0x2E32, 0x1E51, 0x0E70,
    0xFF9F, 0xEFBE, 0xDFDD, 0xCFFC, 0xBF1B, 0xAF3A, 0x9F59, 0x8F78,
    0x9188, 0x81A9, 0xB1CA, 0xA1EB, 0xD10C, 0xC12D, 0xF14E, 0xE16F,
    0x1080, 0x00A1, 0x30C2, 0x20E3, 0x5004, 0x4025, 0x7046, 0x6067,
    0x83B9, 0x9398, 0xA3FB, 0xB3DA, 0xC33D, 0xD31C, 0xE37F, 0xF35E,
    0x02B1, 0x1290, 0x22F3, 0x32D2, 0x4235, 0x5214, 0x6277, 0x7256,
    0xB5EA, 0xA5CB, 0x95A8, 0x8589, 0xF56E, 0xE54F, 0xD52C, 0xC50D,
    0x34E2, 0x24C3, 0x14A0, 0x0481, 0x7466, 0x6447, 0x5424, 0x4405,
    0xA7DB, 0xB7FA, 0x8799, 0x97B8, 0xE75F, 0xF77E, 0xC71D, 0xD73C,
    0x26D3, 0x36F2, 0x0691, 0x16B0, 0x6657, 0x7676, 0x4615, 0x5634,
    0xD94C, 0xC96D, 0xF90E, 0xE92F, 0x99C8, 0x89E9, 0xB98A, 0xA9AB,
    0x5844, 0x4865, 0x7806, 0x6827, 0x18C0, 0x08E1, 0x3882, 0x28A3,
```



```
0xCB7D, 0xDB5C, 0xEB3F, 0xFB1E, 0x8BF9, 0x9BD8, 0xABBB, 0xBB9A,  
0x4A75, 0x5A54, 0x6A37, 0x7A16, 0x0AF1, 0x1AD0, 0x2AB3, 0x3A92,  
0xFD2E, 0xED0F, 0xDD6C, 0xCD4D, 0xBDAA, 0xAD8B, 0x9DE8, 0x8DC9,  
0x7C26, 0x6C07, 0x5C64, 0x4C45, 0x3CA2, 0x2C83, 0x1CE0, 0x0CC1,  
0xEF1F, 0xFF3E, 0xCF5D, 0xDF7C, 0xAF9B, 0xBFBA, 0x8FD9, 0x9FF8,  
0x6E17, 0x7E36, 0x4E55, 0x5E74, 0x2E93, 0x3EB2, 0x0ED1, 0x1EF0  
};
```

```
uint16 crc16(const char *pData, uint32 length)  
{  
    uint16 crc = 0x0000;  
    while(length--)  
    {  
        crc = (crc << 8) ^ CRC16_TABLE[*pData ^ ((crc >> 8) & 0xff)];  
        pData++;  
    }  
    return crc;  
}
```

3.4. 硬件原理图



UART2PLC Module

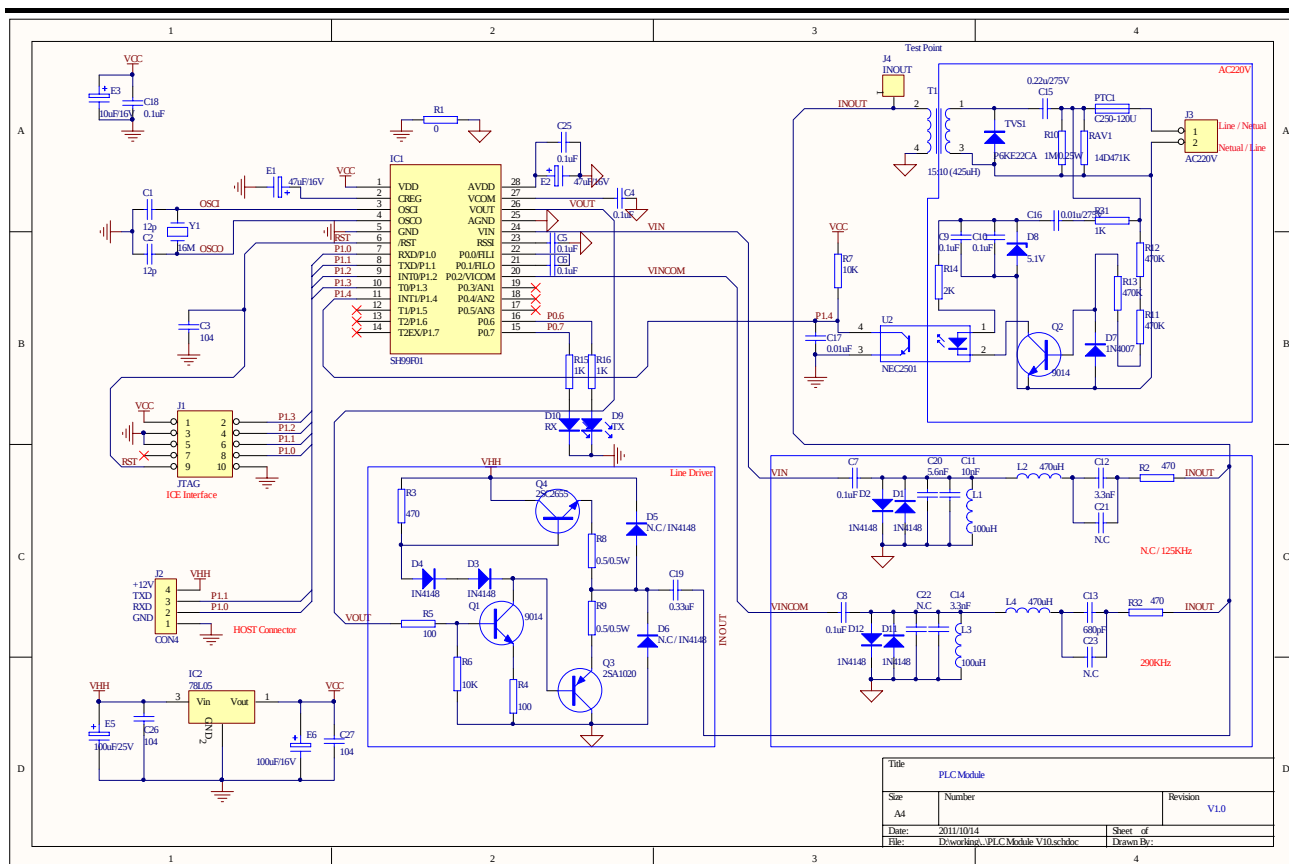


图3-2 载波模块典型电路

注：标注 N.C 的器件为参数优化保留，典型情况下电感和电阻焊短路线，电容和二极管不上件。

说明：该典型电路具有过零检测（ZCD）电路以及两个接收通道（VIN，VINCOM），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检测）；两个接收通道一般只需使用其中一个（由内部 UMR3 寄存器设置），前端 2 阶 LC 选频滤波器可设置为需要的频点（图中分别设置为 125KHz 与 290KHz）。如无特殊要求，我们选择 290KHz 作为默认载波频率。

载波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，前者电流不低于 100mA，后者电流不低于 10mA。载波模块在接收时功耗在 50mW 以下，而由于要求驱动线路负载，发射瞬间功耗要达到 1W 以上（典型 1.5W），发射持续时间根据通信设置差异而不同，如附录 3.1。

3.5. 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	20%	X2 电容



UART2PLC Module

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%	选 290KHz 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%	选 290KHz 单通道时不上件
贴片电容(0603)	5.6nF	C20	1	10%	选 290KHz 单通道时不上件
贴片电容(0603)	N.C	C21 , C22 , C23	3		参数优化保留,匹配中心频点,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 $I_C \geq 1A$, $V_{CEO} \geq 50V$ 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)
贴片电感(1210)	100uH	L1 , L3	2	5%	选 290KHz 单通道时 L1, L2 不上件
绕线电感 (RB.1/.2)	N.C	L5	1		参数优化保留,改善发射谐波。 焊短路线
贴片限幅二极管(SOD323)	1N4148	D1 , D2 , D3 , D4 , D11,D12	8		选 290KHz 单通道时 D1 , D2 不上件
贴片限幅二极管(SOD323)	1N4148	D5 , D6	2		参数优化保留,保护 Q3 , Q4 驱动管,不上件
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



UART2PLC Module

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
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		载波收发指示, 可略
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%	290KHz 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%	模拟地与数字地连接点, 可直接短接
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, 可略
接插件	AC 接线柱	J3	1		
拨码开关	4 路小开关	S1	1		User Option, 可略

注1:表中封装库为“中颖标准库”,可由中颖提供项目库供参考,也可换用用户自己的封装库。

注2:要求选择高Q值低直流阻抗电感,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. 版本历史



UART2PLC Module

版本号	版本记录	时间
V0.0	Original	2010-11-29
V0.1	(1) 增加工频频率自动检测； (2) 调整 “ Module 参数选项 ” ； (3) 更新载波通信模式；	2011-2-20