

基于 TMS320F28035 的 Totem-Pole 并网双向 3KW AC-DC

TERRY DENG/ EP FAE

摘要

该文档详细描述一种 3KW 的并网双向 AC-DC 的系统设计。这个系统基于 TMS320F28035 开发，采用了 Totem Pole 的拓扑架构。

该系统广泛应用在 EV/HEV 电动车的充电器产品，可充放电池的测试生产设备等应用中。它既可以从 AC 电网侧传输电流到 DC 侧负载，实现电网给电池充电的功能，并满足高功率因数的 Power Factor Correct 性能；也可以从 DC 电源侧传输电流到 AC 电网，实现电池给电网放电或者发电的功能，并满足跟随电网频率相位的 Grid Connect 性能。

这篇文档将阐述此系统的核心算法理论，并分析实际产品的硬件设计，软件设计，参数调试，以及最终效果展示。

Contents

1	系统指标.....	4
2	硬件设计.....	5
	2.1 系统基础拓扑介绍.....	5
	2.2 主要关键部分电路.....	6
	2.2.1 Totem Pole 功率转化电路.....	6
	2.2.2 功率管驱动电路.....	7
	2.2.3 电压采样电路.....	8
	2.2.4 电流采集电路.....	9
	2.2.5 MCU 外围电路.....	10
3	软件设计.....	11
	3.1 软件主流程图.....	11
	3.2 AC -> DC 工作模式的 PWM 计算和分配.....	12
	3.2.1 原理描述.....	12
	3.2.2 核心参考代码.....	12
	3.3 DC -> AC 工作模式的 PWM 计算和分配.....	15
	3.3.1 原理描述.....	15
	3.3.2 核心参考代码.....	15
4	环路控制器设计和参数调试.....	18
	4.1 使用 TI 工具 POWERSUITE 进行控制器设计调试.....	18
	4.2 使用 MATLAB 进行控制器性能验证.....	19
5	成品效果.....	21
	5.1 产品外观.....	21
	5.2 运行波形.....	21
	5.3 测试结果.....	22
6	参考文献.....	23

Figures

Figure 1.	Totem-Pole 电路拓扑结构	5
Figure 2.	Totem Pole 功率转换电路	6
Figure 3.	功率管驱动电路	7
Figure 4.	电压采集电路	8
Figure 5.	电流采样电路	9
Figure 6.	MCU 外围电路	10
Figure 7.	软件主要流程	11
Figure 8.	AC -> DC 工作模式	12
Figure 9.	DC -> AC 工作模式	15
Figure 10.	拓扑结构选择	18
Figure 11.	硬件参数输入	18
Figure 12.	动态响应频谱	19
Figure 13.	电流环模型公式	19
Figure 14.	MATLAB 电流环模型	20
Figure 15.	MATLAB 电流仿真波形	20
Figure 16.	成品外观	21
Figure 17.	AC->DC 模式的交流电压/电流	21
Figure 18.	测试条目和结果	23

1 系统指标

序号	项目	具体参数/功能要求	精度范围
1	用途	双向 AC-DC 模块	
2	连续输出功率	$\geq 3\text{KW}$	
3	交流侧参数		
	输入电压	AC 220V	$\pm 15\%$
	频率	50/60HZ	$\pm 3\text{HZ}$
	最大输入电流	15A	
	最大输出电流	13A	
4	直流侧参数		
	正常电压	DC 24V	$\pm 3\%$
	最大电流值	DC 130A	$\pm 3\%$
5	充放电转换方式	依据母线电压自主控制	
	充电模式切换电压	母线电压 $\leq 16\text{V}$	$\pm 2\%$
	放电模块切换电压	线性放电启动的情况下母线电压 $\geq 26\text{V}$	$\pm 2\%$
6	低功率放电稳定性	以 0.1W 功率放电时，也能保证稳定	
7	充放电转换时间	$\leq 10\text{mS}$ （充电 90%最大电流—放电 90%最大电流）	
8	充电效率	$\geq 91\%$ （不计散热风扇）	
9	放电效率	$\geq 93\%$ （不计散热风扇）	
10	功率因素		
	充电	$\geq 98\%$	
	放电	$\geq 95\%$	
11	THD	$\leq 5\%$ （3-39 次谐波，100%负载，电压谐波小于 1%条件下）	
12	最高工作环境温度	$\leq 45^\circ\text{C}$	
13	开关频率	100KHZ	
14	直流电压纹波	$\leq 1\%$ （以满量程计量）	
15	直流电流纹波	$\leq 5\%$ （以满量程计量）	
16	平均无故障时间	≥ 20000 小时（ 40°C 环境温度时）	
17	主要保护功能		
		交流掉电保护	
		交流过欠/压保护	
		直流过压保护	
		直流过流保护	
		过温保护	

2 硬件设计

2.1 系统基础拓扑介绍

单相 Totem-Pole 系统的拓扑结构如下图所示。

- Q3 和 Q4 是主要开关功率管，通过高频 PWM1A 和 PWM1B 驱动决定流过的电流
- Q1 和 Q2 是辅助功率管，通过 GPIO2A 和 GPIO2B 控制常开或者常闭，代替二极管提高能效
- ADC1 采集电感的交流电流，ADC2 采集电网交流电压，ADC3 采集母线直流电压

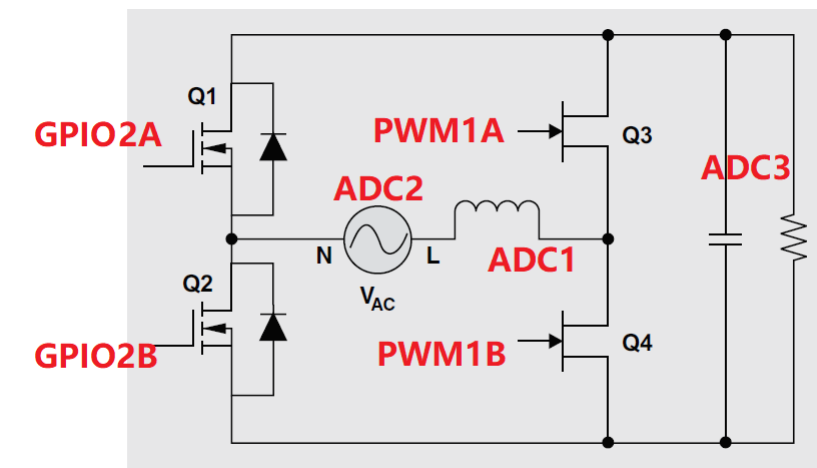


Figure 1. Totem-Pole 电路拓扑结构

2.2 主要关键部分电路

2.2.1 Totem Pole 功率转化电路

AC220 经过两级共模电感滤波，再经过 Boost 电感 L1 连接 Totem Pole 主功率转换电路。M1 和 M2 选择 IKW40N65H5 做为高频驱动功率管，M3 和 M4 选择 SPW47N60CFD 做为低频驱动功率管。继电器 K1 起到上电限制电容充电电流的软开关作用。

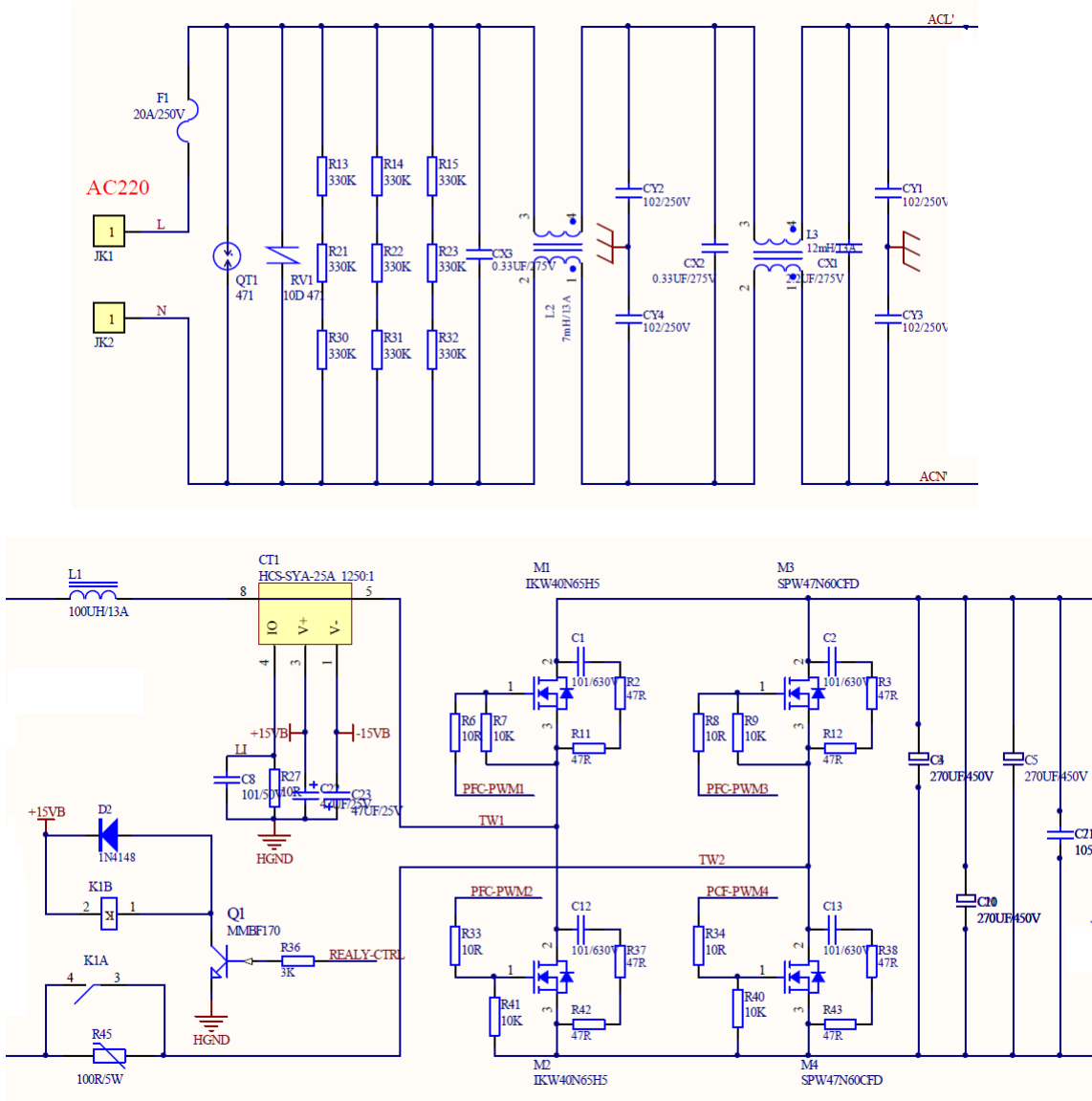


Figure 2. Totem Pole 功率转换电路

2.2.2 功率管驱动电路

高频功率管的驱动信号 PFC-PWM1 和 PFC-PWM2 选择 TLP5772 做为驱动芯片，15VB 经过 NE555DR 产生 2 路 15VA1 和 15VA2 做为上下管各自独立驱动电源。

低频功率管的驱动信号 PFC-PWM3 和 PFC-PWM4 选择 UCC27714 做为驱动芯片，供电部分直接由 15VB 负责。

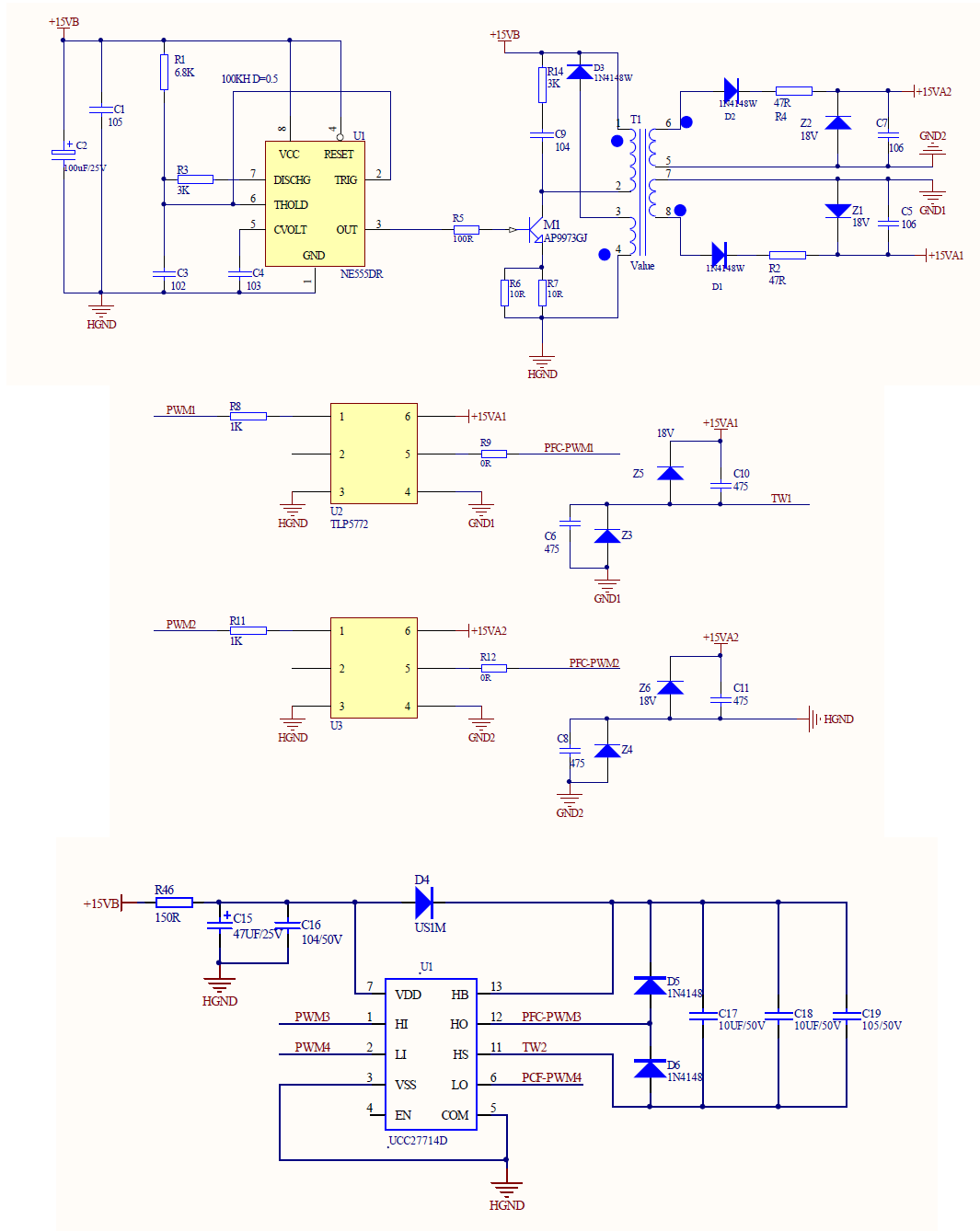


Figure 3. 功率管驱动电路

2.2.3 电压采样电路

交流电压通过分压电阻采集 AC-L 和 AC-N 信号，经过差分运放转换为单端 LINE-V 给到 MCU。

直流电压通过分压电阻得到 HV-SEN 信号，经过一级跟随器转换为 V_BUS 给到 MCU。

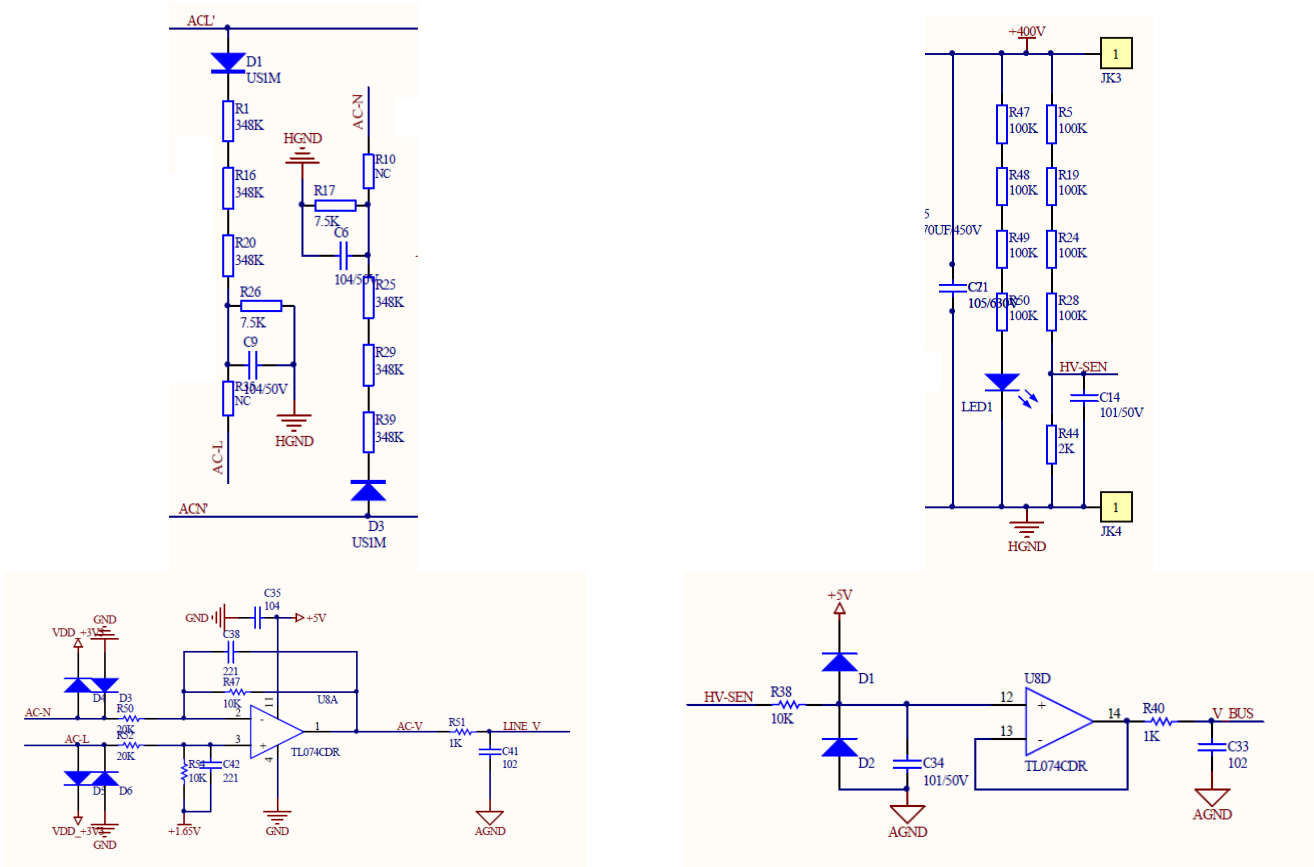


Figure 4. 电压采集电路

2.2.4 电流采集电路

交流电流通过互感器 HCS-SYA-25A 转换为电压信号，再经过差分运放得到 I_SEN 给到 MCU。

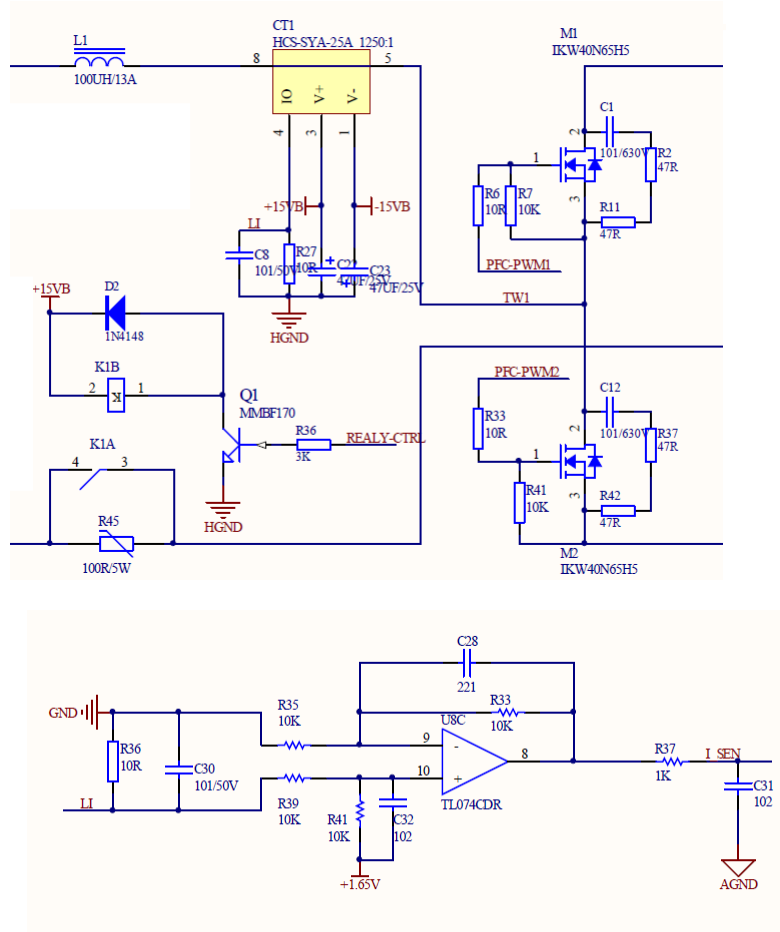


Figure 5. 电流采样电路

2.2.5 MCU 外围电路

MCU 选择经典的 F28035，具有 60Mhz 的 32 位 DSP 运算能力，对于 Totem Pole 架构可以支持到 100HZ 以上的开关频率。内置 3.3V 单电源供电，内部晶振，128KB 程序空间。可以产生 14 路高精度的 PWM 信号，以及 16 路的 12 位 ADC 采样。

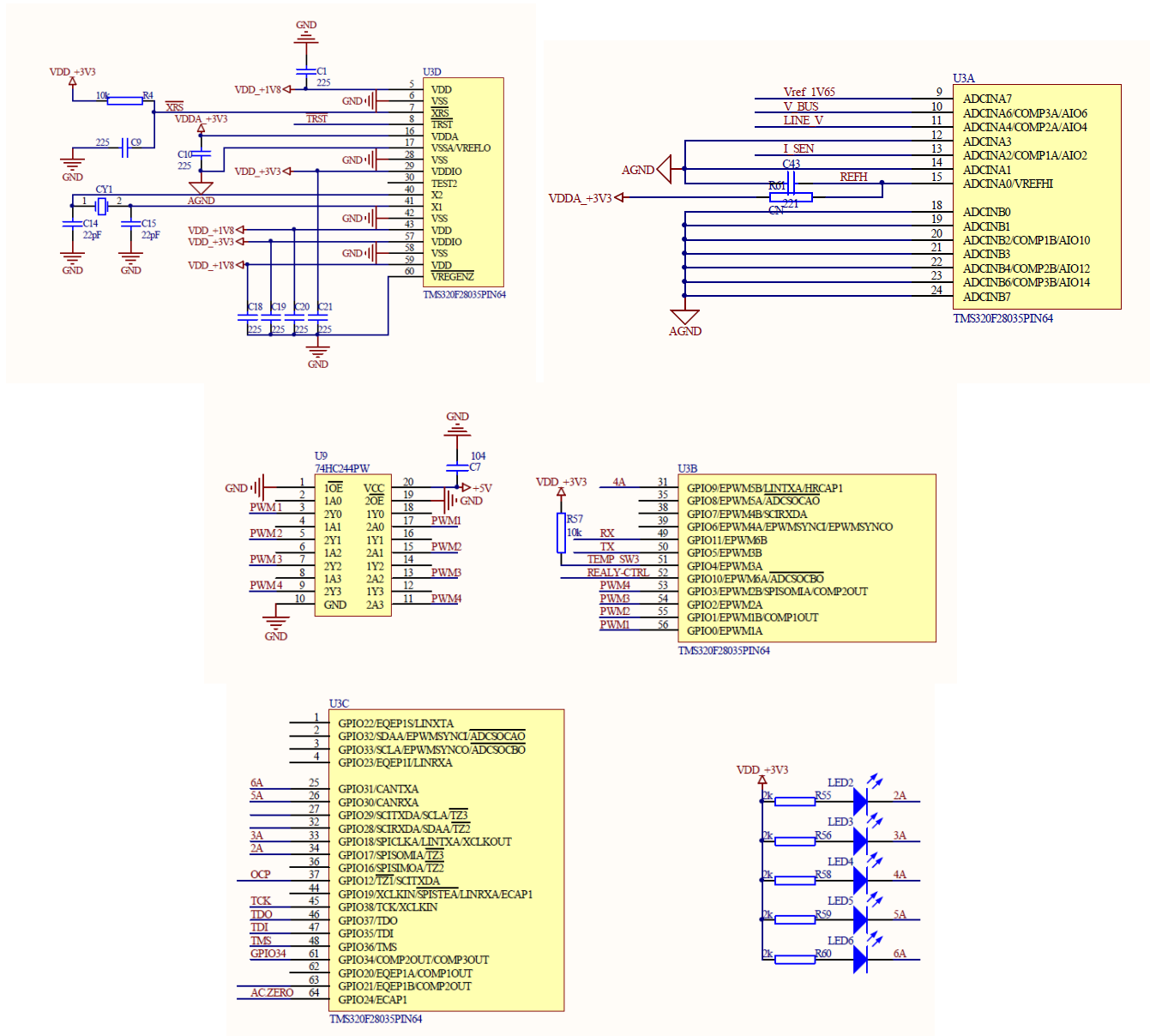


Figure 6. MCU 外围电路

3 软件设计

3.1 软件主流程图

软件采用经典的前后级系统。

后台 **background** 任务分成三种不同的时间间隔处理非紧急事件，包括系统的状态机处理，各种故障检测响应，以及对外接口的通讯事件。

中断 **interrupt** 由 **PWM** 触发，在每个 **PWM** 周期内完成信号采样，锁相环算法，电压环，电流环，以及 **PWM** 占空比的计算和分配。

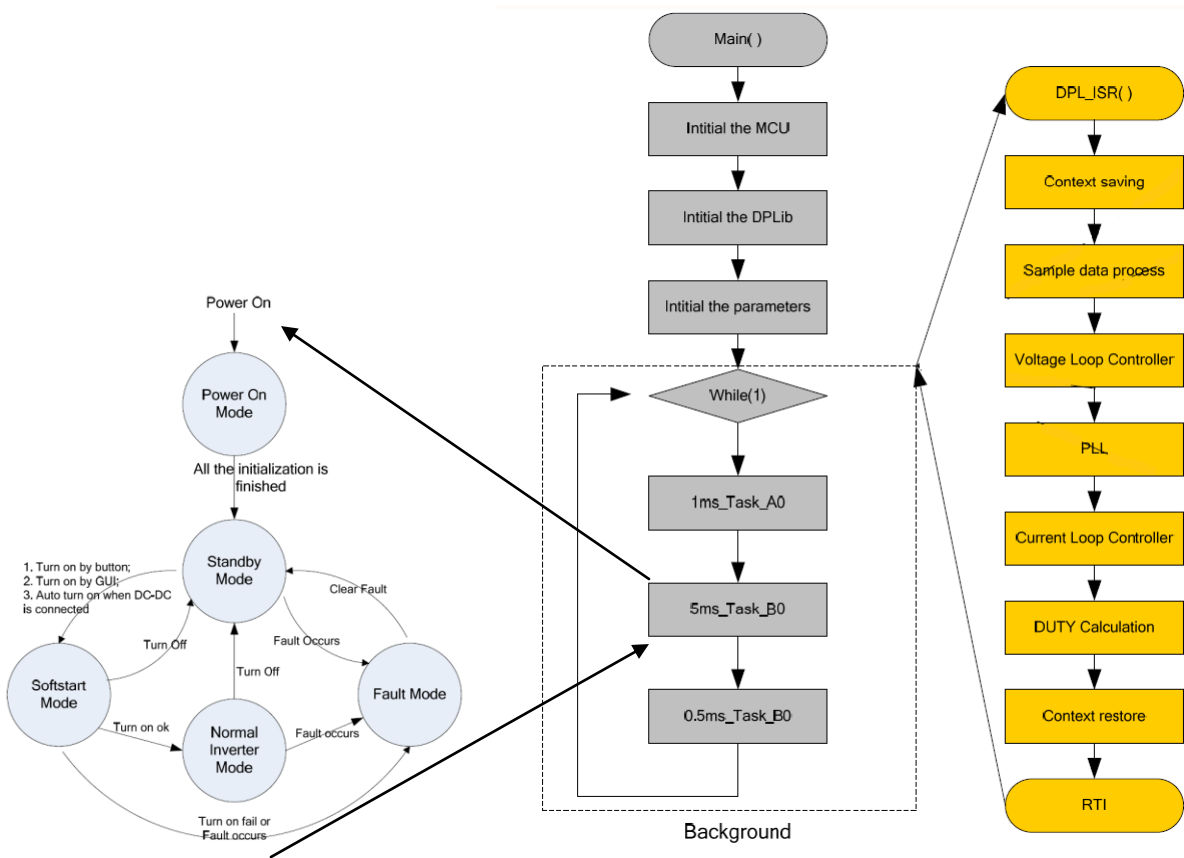


Figure 7. 软件主要流程

3.2 AC -> DC 工作模式的 PWM 计算和分配

3.2.1 原理描述

当 AC 电源做为输入时候，功率管与电感一起工作在整流升压模式。通过跟踪 AC 电压波形，算法产生相应的 PWM 驱动信号可以实现 PFC 功能，不同时刻的电流流向如下图所示：

- 在 AC 电压正半周时候，S2 由占空比 D 驱动决定升压的比例，S1 与之互补由 (1-D) 驱动。在此期间，SD2 则是一直导通，而 SD1 则是一直关断。
- 在 AC 电压负半周时候，S1 由占空比 D 驱动决定升压的比例，S2 与之互补由 (1-D) 驱动。在此期间，SD1 则是一直导通，而 SD2 则是一直关断。

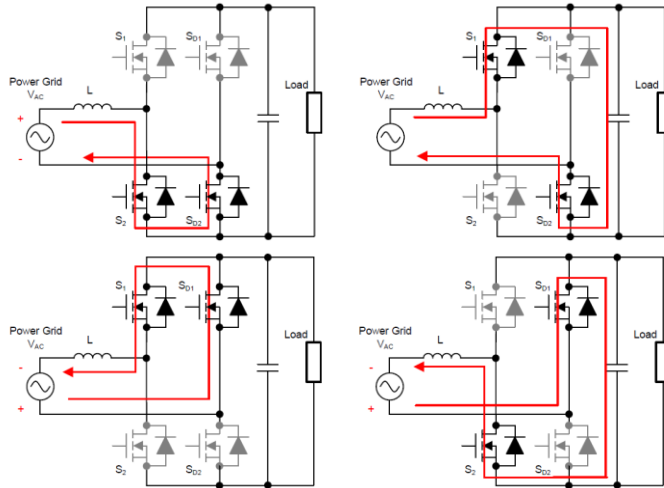


Figure 8. AC -> DC 工作模式

3.2.2 核心参考代码

```

;=====
PWMDRV_PFC
;=====
        .macro m,n

        MOVW      DP, #_PWMDRV_Duty
        ; load DP for net pointer
        MOVL      XAR0, @_PWMDRV_Duty
        ; Load net pointer address to XAR0 (Q10)

        MOVL      XAR1,@_PWMDRV_Temp
        MOVL      XAR2,@_PWMDRV_Ratio

        MOVL      XT, *XAR2
        ; Load net to XT
        QMPYL     ACC,XT,*XAR0
        ; ACC= (Q24) * (Q8) = (Q32): upper 32-bits = (Q0)

```

```

ABS      ACC
MOVW    DP, #_PWMDRV_CMP_Max
MINL    ACC, @_PWMDRV_CMP_Max
MAXL    ACC, @_PWMDRV_CMP_Min
MOVL    *XAR1, ACC

MOVW    DP, #_dwInv_Curr_Ref
; load DP for net pointer
MOVL    ACC, @_dwInv_Curr_Ref
; Load net pointer address to XAR0 (Q10)
CSB    ACC
B      _PWMDRV_10, LT

;; ac>0, Q3 off, Q4 on
MOVW    DP, #_EPwm:n:Regs.AQCTLA
MOV     @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.PRD, #1
MOV     @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.ZRO, #1

EALLOW

MOVW    DP, #0x1be
AND     @0x6, #0xfffc

MOVW    DP, #0x1be
AND     AL, @0x6, #0xffff3
ORB     AL, #0x4
MOV     @0x6, AL

EDIS

MOVL    ACC, *XAR0
SUB     ACC, #0
B      _PWMDRV_00, GT

MOV     ACC, #0
MOVL    *XAR1, ACC

```

_PWMDRV_00:

```

;The duty > 0, then Q1,Q2 work in switch mode,
;Q3 is always on, Q4 is always off
MOVL    ACC, *XAR1
MOVW    DP, #_PWMDRV_CMP_Max
SUB     ACC, @_PWMDRV_CMP_Max
ABS     ACC
;CMPA = (1-Duty) * Period
MOVW    DP, #_EPwm:m:Regs.CMPA
MOV     @_EPwm:m:Regs.CMPA.half.CMPA, AL

B      _PWMDRV_30, UNC

```

_PWMDRV_10:

```

;; ac<0, Q3 on, Q4 off

```

```

MOVW DP, #_EPwm:n:Regs.AQCTLA
MOV  @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.PRD,#2
MOV  @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.ZRO,#2

```

EALLOW

```

MOVW DP, #0x1be
AND  AL, @0x6, #0xfffc
ORB  AL, #0x1
MOV  @0x6, AL

```

```

MOVW DP, #0x1be
AND  @0x6, #0xfff3

```

EDIS

```

MOVL ACC,*XAR0
SUB  ACC,#0
B    _PWMDRV_20,LT

```

```

MOV  ACC,#0
MOVL *XAR1,ACC

```

_PWMDRV_20:

```

;The duty < 0, then Q1,Q2 work in switch mode,
;Q3 is always off, Q4 is always on

```

```

MOVL ACC,*XAR1
      ; CMPA = Duty * Period
MOVW DP, #_EPwm:m:Regs.CMPA
MOV  @_EPwm:m:Regs.CMPA.half.CMPA,AL

```

_PWMDRV_30:

```

LSL  ACC,#9
MOVL *XAR1,ACC

```

3.3 DC -> AC 工作模式的 PWM 计算和分配

3.3.1 原理描述

当 DC 电源做为输入时候，功率管与电感一起工作在逆变模式。同样需要跟踪 AC 电压波形，算法产生相应的 PWM 驱动信号实现 Grid Connect 功能，不同时刻的电流流向如下图所示：

	Q1	Q2	Q3	Q4	VOLTAGE AT BRIDGE OUTPUT	STATE
Positive Half Cycle	D	OFF	OFF	ON	V_{DC}	1
	OFF	1-D	OFF	ON	0	2
Negative Half Cycle	OFF	D	ON	OFF	$-V_{DC}$	3
	1-D	OFF	ON	OFF	0	4

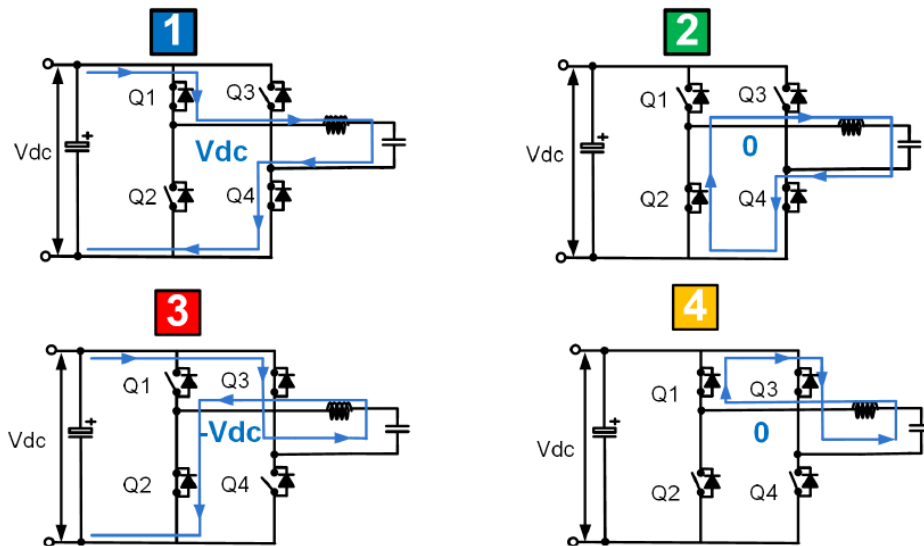


Figure 9. DC -> AC 工作模式

3.3.2 核心参考代码

```

;=====
PwmDRV_FBINV          .macro m,n
;=====

MOVW          DP, #_PwmDRV_Duty
; load DP for net pointer
MOVL          XAR0, @_PwmDRV_Duty
; Load net pointer address to XAR0 (Q10)

MOVL          XAR1,@_PwmDRV_Temp
MOVL          XAR2,@_PwmDRV_Ratio
    
```

```

MOVL      XT, *XAR2
; Load net to XT
QMPYL    ACC,XT,*XAR0
; ACC= (Q24) * (Q8) = (Q32): upper 32-bits = (Q0)
ABS      ACC
MOVW     DP,#_PWMDRV_CMP_Max
MINL     ACC,@_PWMDRV_CMP_Max
MAXL     ACC,@_PWMDRV_CMP_Min
MOVL     *XAR1,ACC

MOVW     DP, #_dwInv_Curr_Ref
; load DP for net pointer
MOVL     ACC, @_dwInv_Curr_Ref
; Load net pointer address to XAR0 (Q10)
CSB     ACC
B        _PWMDRV_1,LT

;; ac>0, Q3 off, Q4 on
MOVW     DP,#_EPwm:n:Regs.AQCTLA
MOV      @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.PRD,#1
MOV      @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.ZRO,#1

EALLOW

MOVW     DP, #0x1be
AND      AL, @0x6, #0xfffc
ORB      AL, #0x1
MOV      @0x6, AL

MOVW     DP, #0x1be
AND      @0x6, #0xff3

EDIS

MOVL     ACC,*XAR0
SUB     ACC,#0
B        _PWMDRV_2,LT

MOV     ACC,#0
MOVL    *XAR1,ACC

```

_PWMDRV_2:

```

;The duty < 0, then Q1,Q2 work in switch mode,
;Q3 is always off, Q4 is always on
MOVL     ACC,*XAR1
; CMPA = Duty * Period
MOVW     DP, #_EPwm:m:Regs.CMPA
MOV      @_EPwm:m:Regs.CMPA.half.CMPA,AL

B        _PWMDRV_3,UNC

```

_PWMDRV_1:


```

;; ac<0, Q3 on, Q4 off
    MOVW    DP,#_EPwm:n:Regs.AQCTLA
    MOV     @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.PRD,#2
    MOV     @_EPwm:n:Regs.AQCTLA.bit.ZRO,#2

    EALLOW

    MOVW    DP, #0x1be
    AND     @0x6, #0xfffc

    MOVW    DP, #0x1be
    AND     AL, @0x6, #0xffff3
    ORB    AL, #0x4
    MOV     @0x6, AL

    EDIS

    MOVL    ACC,*XAR0
    SUB     ACC,#0
    B       _PWMDRV_0,GT

    MOV     ACC,#0
    MOVL    *XAR1,ACC

```

_PWMDRV_0:

```

;The duty > 0, then Q1,Q2 work in switch mode,
;Q3 is always on, Q4 is always off
    MOVL    ACC,*XAR1
    MOVW    DP,#_PWMDRV_CMP_Max
    SUB     ACC,@_PWMDRV_CMP_Max
    ABS     ACC
    ;CMPA = (1-Duty) * Period

    MOVW    DP, #_EPwm:m:Regs.CMPA
    MOV     @_EPwm:m:Regs.CMPA.half.CMPA,AL

```

_PWMDRV_3:

```

    LSL     ACC,#9

    MOVL    *XAR1,ACC

```

4 环路控制器设计和参数调试

4.1 使用 TI 工具 POWERSUITE 进行控制器设计调试

TI 提供了一种调试 GUI 工具 POWERSUITE，可以方便的进行动态响应频谱分析，并实时对控制器参数进行调优。

1) 第一步在 GUI 中选择打开正确的拓扑结构如下：

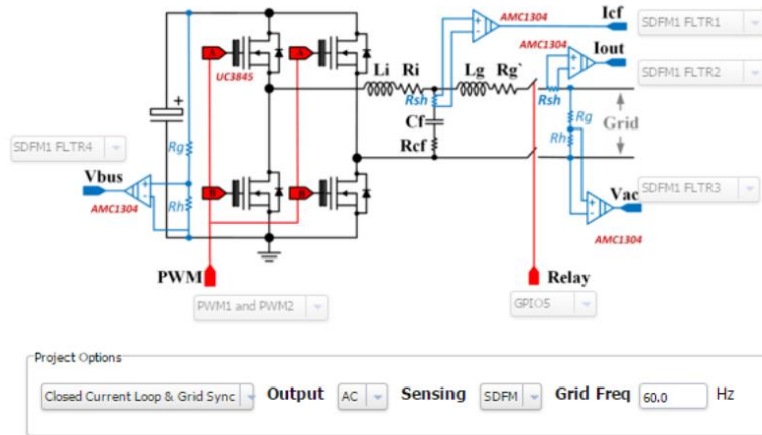


Figure 10. 拓扑结构选择

2) 第二步在 GUI 中输入电路硬件的各种参数如下：

Inverter Power Stage Parameters				
PWM :	Switching Freq (Fsw in kHz)	20	Deadbad (uS)	0.2
Power :	Rated (W)	600.0	Operating (W)	110.0
Nominal Voltage :	Vbus (V)	380.0	Vout (Vrms)	110.0
Inductor (Li):	Li (mH)	3.0	Ri (Ohm)	0.2
Output Cap (Cf):	Cf (uF)	1.0	Rcf (Ohm)	0.015
Inductor (Lg):	Lg (mH)	0.94	Rg* (Ohm)	0.1
LCL Resonance :	Freq (kHz)	5.9520135		
Voltage Sense :	Max Vbus (V)	620.152	Max Vac (+-V)	620.152
Current Sense :	Max (+-Amp)	15.6	Trip Set (+-Amp)	10.0

SDFM Sensing Parameters				
Voltage Sense Resistors:	Rg (MOhm)	4.0	Rh (KOhms)	2.4
Current Sense Resistors:	Rsh (Ohm)	0.02		
SDFM Modulator Params :	Linear Range (mV)	0.25	Max Input (mV)	0.312
	Diff Input Res. (KOhms)	12.5		
SDFM Demodulator Params:	OSR	64	SINC Order	SINC3
	Clock (MHz)	20.0		

Figure 11. 硬件参数输入

3) 第三步在 GUI 运行仿真得到动态响应频谱波形，然后可以实时调试控制环的参数进行优化。

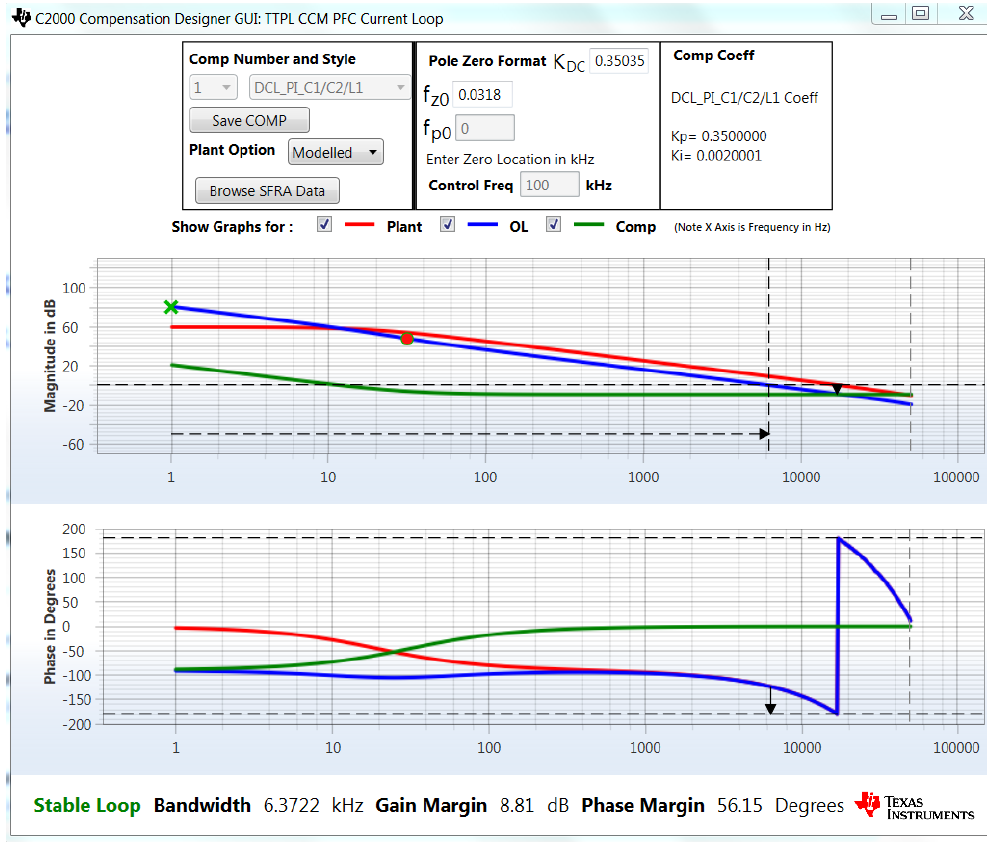


Figure 12. 动态响应频谱

4.2 使用 MATLAB 进行控制器性能验证

1) 第一步我们先分析电路环的模式公式，以 DC-AC 工作模式为例子如下所示：

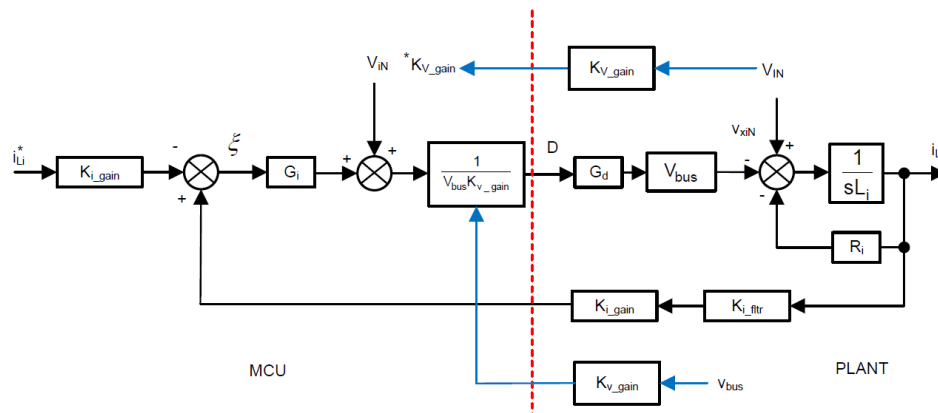


Figure 13. 电流环模型公式

2) 在 MATLAB 根据上面的模型输入公式如下:

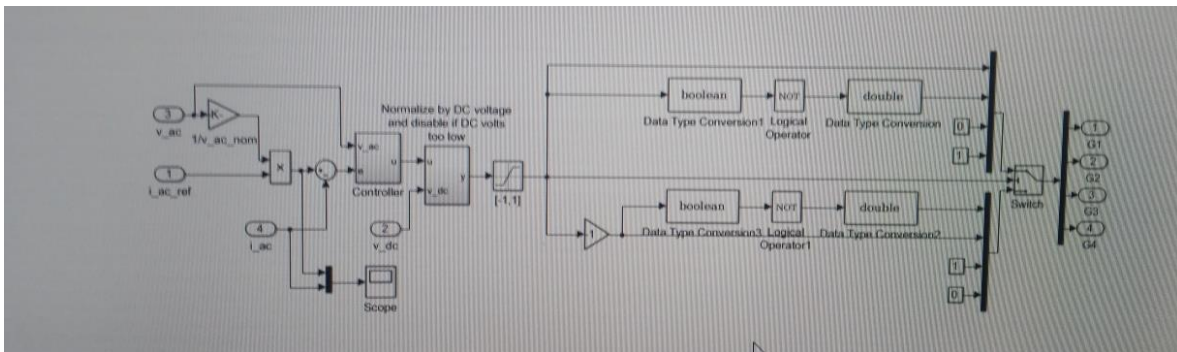
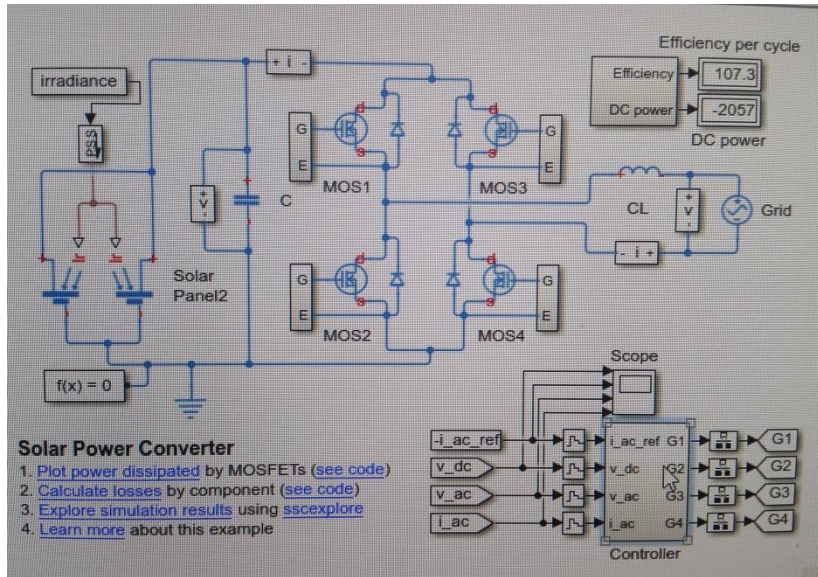


Figure 14. MATLAB 电流环模型

3) 把 TI 工具 POWERSUITE 调试的控制环参数，输入 MATLAB 模型并仿真运行，如下图可以验证得到很好的电流波形，说明 POWERSUITE 调试出的参数是可以很匹配的。

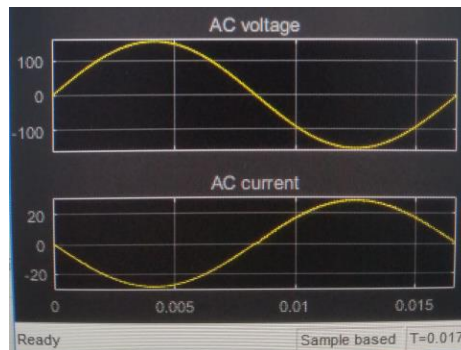


Figure 15. MATLAB 电流仿真波形

5 成品效果

5.1 产品外观

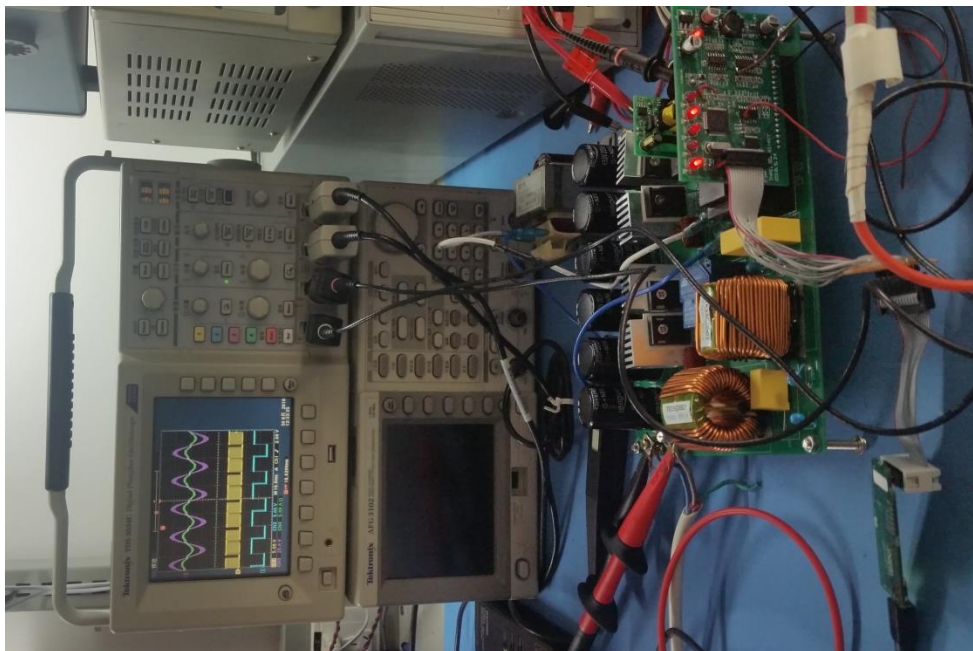


Figure 16. 成品外观

5.2 运行波形



Figure 17. AC->DC 模式的交流电压/电流

5.3 测试结果

此测试是本文描述的 AC-DC 产品，结合后级的 DC-DC 一起工作的结果，除了 THD 略高一点点，其它所有结果均达到设计指标。

3KW数字电源平台自测项目表

序号	项目	测试目的	测试方法和合格标准	测试结果	是否合格
1	自启动功能	电源可以在AC185-255范围内正常启动	185V、220V、255V电压各自反复启动20次，可以正常启动，从打开开关到辅助电源启动时间小于5s	185V、220V、255V电压各自反复启动20次，可以正常启动，从打开开关到辅助电源启动时间为3s	OK
2	通讯功能	电源可通过RS485通讯口正常接受和发送数据	可以用调试小工具软件，通过RS485接口，操作模块运行和接受模块上传的实时数据	可正常操作和上传实时数据	OK
3	通讯地址识别	电源可正常读取自身485通讯地址	停电时拨动PSFB控制板地址编码开关，上电后控制板能识别设定的485通讯地址，并和小工具正常通讯	能完整实现要求功能	OK
4	充电功能	各种负载情况下，模块可否正常充电，并达到设计最大值	接电子负载，使用最大20A电流，做充电测试，电流稳定，跳动小于±10mA，最大充电电压达到150V，输出功率3000W	输出20A—150V，电流跳动±5mA。	OK
5	放电功能	各种负载情况下，模块可否正常放电，并达到设计最大值	接直流电源，使用电压50—150V 最大20A，做放电测试，电流稳定，跳动小于±10mA，最大输入功率3000W	放电20A时，电流跳动±5mA	OK
6	低压放电功能	模式是否支持低压放电功能（此功能可以缓一步支持，需支持变频放电）	低压侧输入50V-0.3V电压时，可以20A电流放电，且电流稳定	现可放电20A的最低电压为45V。	OK
7	效率	电源充放电效率	充电满载整机效率大于92%，放电效率大于92%	充电满载整机效率92.1%，放电满载整机效率92.3%	OK
8	温升	在轻载、满载充放电情况下所有半导体、磁性元件、电容温度	100%负载情况下，充或者放电运行15分钟以后，所有管子管温升小于60度，磁性元件的磁芯温升小于55度（输出电感温度低于120度），线包温升小于50度，电容温升小于30度，散热器温度温升小于40度，其他器件温度不超过70度	（室温25℃）运行15分钟后，放电状态：输出电感110℃，低压端MOS管84℃，低压散热器60℃，高压端散热器47℃，PFC散热器50℃，PFC MOS管管芯52℃，变压器72℃，变压器线包85℃。输出电容51℃。PFC电容38℃ 充电状态：PFC MOS管管芯63℃，PFC散热器52℃，高端PSFB散热器64℃，高端MOS管子70℃，输出电感90℃，变压器线包76℃，变压器磁芯58℃，谐振电感线包76℃，谐振电感磁芯70℃，低端散热器60℃。输出电容42℃。PFC电容36℃	OK
11	恒流精度	充放电电流可以由小工具精确控制，即模块输出电流实际值和采样值误差在允许范围以内	小工具下发的充放电电流值（7点测试0%，5%，20%，40%，60%，80%，100%），和标准表实测值（校准时用的同一个表）误差在千分之一以内	实际测量精度在千分之一以内	OK
12	PF值	电源充放电功率因数	半载以上，大于95%	半载以上，PF值大于95%	OK
13	THD值	电源电流纹率	满载输出时，输入电压畸变率小于2%的情况下，输入15次谐波以下电流畸变率小于8%	正向：电压2.47%， 电流10.3% 反向：电压1.73%，电流7.9%	NG
14	PFC输出电压工频纹波值	400V母线电压纹波值测试	PFC输出400V电压纹波小于30V	PFC输出400V电压纹波24.5V	OK
15	PSFB输出电流工频纹波值	PSFB充放电输出电流中，工频纹波	包括50hz和100hz不超过7%	充电：工频电流纹波1.31A，达6.55% 放电：工频电流纹波1.35A，达6.75%	OK
16	PSFB输出电流高频纹波值	充放电输出电流中高频纹波	开关频率纹波不超过5%	充电：输出高频纹波值Irms=500mA，达2.5% 放电：输出高频纹波值Irms=300mA，达1.5%	OK
17	输出电压工频纹波值	充电输出电压纹波值测量	充电输出电压纹波不超过输出电压值的5%	充电：输出电压纹波7V，达4.6% 放电：输出电压纹波600mV，达0.4%	OK
18	硬件启动响应	测试硬件响应速度	用电流探头，测试充放电输出电流，从电流开始出现，达到90%输出值的时间，均不超过20ms	正向19ms，反向18ms	OK
19	动态响应	测试充放电过程中，突然加载、减载时，电源的响应速度	充放电过程中，半载到满载、满载到半载，PSFB电流波动时间小于10个开关周期，幅值波动小于10%，PFC小于5个工频周期，母线电压 < 450V	充电：PFC部分半载到满载跌15V，5个周期恢复 满载到半载30V，5个周期。 放电：半载到满载过冲30V，2个周期恢复，满载到半载跌落40V，4个周期。PSFB部分无波动	OK
20	电压过冲	测试充放电启动和结束时电压过冲	模块启动和结束充放电时，电压过冲小于50V	PFC部分满载充电母线电压跌48V，关电母线电压过冲40V。放电冲46V关断跌40V。PSFB部分无过冲。	OK
21	电流过冲	测试充放电启动和结束时电流过冲	模块启动和结束充放电时，电流过冲小于输出值的5%	充电关电无电流过冲。	OK
22	母线过压保护功能	测试400V母线异常，是否可以正常保护	400V母线电压异常高时，PFC/PSFB可以自动停止	大于450V可以保护	OK
23	交流掉电保护	测试放电过程中，交流掉电保护是否正常	放电过程中交流掉电，PFC可以自动停止并通知PSFB停止放电	掉电后母线电压过压，触发过压保护。保护时间为50ms。	OK
	交流由压值异常保	测试交流由压值异常	当交流由压值过高或者过低时，PFC会不开机或者自		

24	交流电压值异常保护	测试交流电压值异常时, 是否会保护停机	当交流电压值过高或者过低时, PFC不开机或者自动停止, 并通知PSFB停止工作	低于181及高于263保护	OK
25	交流频率异常保护	测试交流频率异常时, 是否会保护停机	当交流频率异常时 (50HZ±3HZ), PFC不开机或者自动停止, 并通知PSFB停止工作	用AC source给异常频率交流电, 开机后可以准确保护。	OK
26	交流过流保护	测试交流电流过流后是否自动停机	交流电流采样霍尔采样值大于22A, 限流保护	当交流电流峰值达到22A, 限流保护	OK
27	直流高压过流保护	测试PSFB高压侧过流, 是否保护停机	PSFB高压侧电流互感器电流超过11, 自动停机	超过11A自动停机	OK
28	过温保护	散热器温度超过保护值是否保护停机	散热器温度大于75-80度时, 整机自动保护停机	当温度达到78℃可以保护。	OK
29	输出开路保护	运行中输出开路, 输出电压是否可以不超过安全值	运行中输出开路, 输出电压不可以超过180V	输出开路可以保护, 保护时间为50ms	OK
30	输出短路	运行中输出短路保护功能	运行中输出短路, 电流不超过设定值, 过冲不超过输出值的10%	输出短路可以。	OK
31	短路开机	输出短路开机, 电流是否可以限制住	输出短路后, 再开机是否可以保证不发生过流损坏, 最大电流过冲不超过最大输出值的10%	短路开机可以正常运行。	OK
32	弱电网测试	测试电网线路阻抗大时, 是否可以正常工作或保护	交流线进线上, 串联1mH电感器, 机器可以正常工作或者保护停机, 不可发生损坏PFC的情况	能自动停机	OK

Figure 18. 测试条目和结果

6 参考文献

1. TMS320F2803x Datasheet (SPRS584J)
2. TMS320F2803x Technical Reference Manual (SPRUGL8C)
3. Totem-Pole PFC Reference Design for HEV/EV Onboard Charger (TIDUE54)
4. Grid Connected Inverter Design Guide (TIDUB21A)

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

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 © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司