

# 高压太阳能逆变器直流-交流转换套件

VieriXue

## 摘要

近些年，逆变器，特别是太阳能逆变器引起了广泛关注。太阳能逆变器具有将电能并入电网的太阳能输入，因此，在设计一个太阳能逆变器系统时，并网技术和保护是设计的关键点。

这份应用报告对逆变器套件的安装启用进行了说明，此逆变器套件被用作一个高压太阳能套件的直流-交流转换部件。此套件具有 400V 直流标称输入电压，其 600W 的输出可被输入电网。在本文档中讨论了以下信息：

- 逆变器基础知识
- 套件介绍
- 硬件介绍
- 固件设计
- 闭环环路控制器设计
- 介绍了构建步骤
- 显示了测试结果和波形

## 内容

1	简介 .....	2
2	设计说明 .....	5
3	如何构建固件 .....	12
4	测试结果 .....	20

## 图片列表

1	全桥电流类型逆变器 .....	3
2	单极调制原理 .....	4
3	典型太阳能逆变器结构 .....	4
4	太阳能系统中逆变器部件的控制器环路.....	5
5	电路板上的关键组件 .....	6
6	PCB 布局.....	6
7	过零点 .....	8
8	IGBT 驱动器图.....	8
9	固件结构 .....	10
10	状态机 .....	11
11	ADCDRV_5CH 块 .....	13
12	GEN_SIN_COS: n.....	14
13	INV_ICMD:n.....	15
14	PWMDRV:n .....	15
15	更改递增构建.....	17

All trademarks are the property of their respective owners.

16	调试激活项目 .....	17
17	开环路构建 .....	18
18	无 PLL 的闭环路构建 .....	18
19	此测试的连接 .....	19
20	具有 PLL 的闭环路构建 .....	19
21	PF 和 THDi .....	22
22	效率 .....	23
23	系统结构和连接 .....	23
24	打开概述 .....	23
25	PWM 上的直流-交流转换部件打开 .....	24

## 图表列表

1	关键点 .....	7
2	针对电路板的跳线设置 .....	7
3	LED 闪烁定义 .....	12
4	项目中的 C 语言文件 .....	13
5	asm 文件 .....	13
6	其他文件 .....	13
7	递增构建选项 .....	16
8	PF 和 THDi .....	21
9	效率 .....	22

## 1 简介

此逆变器已经被应用于很多领域，诸如电机控制、不间断电源 (UPS) 和太阳能逆变器系统。此逆变器的主要功能是通过使用诸如绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 和金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 等功率电子元器件将直流电源转换为交流电源。传统上，很多逆变器将通过模拟组件实现。随着数字处理器的发展，已经使越来越多的低成本且高性能微控制器进入市场。与此同时，越来越多的逆变器系统往往使用微控制器来实现数字控制器，此类数字控制器不但能简化系统结构，还能够改进逆变器的输出性能。

有两种不同的逆变器系统类型。第一种类型是电压输出类型，此类型将交流电压输出为电压源。例如，UPS 系统中的逆变器就是典型的电压类型逆变器。另外一个类型是电流类型逆变器，此类型逆变器以额定功率因数输出交流电流。电机控制逆变器和太阳能逆变器是电流类型逆变器。本文档主要讨论用于太阳能系统的电流类型逆变器。

目前，市场上有很多不同的逆变器拓扑结构。这个演示使用全桥拓扑结构（其中包括一个作为参考设计的四个绝缘栅极双极型晶体管 (IGBT)），此结构上手容易，并且对实际产品透明。

## 1.1 基本原则

图 1 中显示了全桥电流类型逆变器拓扑结构。

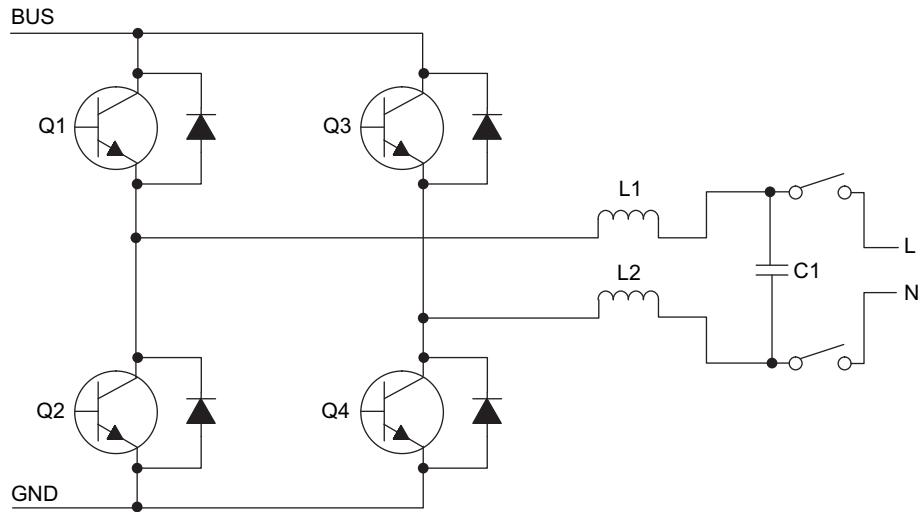


图 1. 全桥电流类型逆变器

有很多正弦脉宽调制 (SPWM) 控制策略可使全桥拓扑结构具有一个交流输出。这些策略可分为以下两类：

- 单极调制
- 双极调制

### 1.1.1 单极调制原理

单极意味着逆变器交流端的电压只有正或负电压。图 2 中显示了一个单极调制的示例。

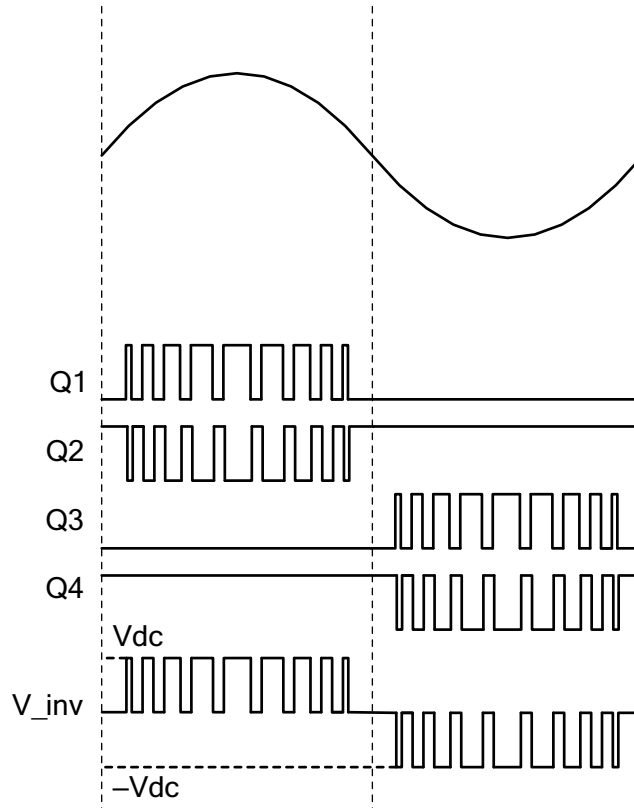


图 2. 单极调制原理

图 2 显示，在正弦波的正周期内，逆变器的输出电压从  $V_{dc}$  变为 0，而在负周期，输出电压从  $-V_{dc}$  变为 0。所以在正周期内，如果 Q1 的占空比为  $d$ ，那么您可以获得输出电压  $V_o$  和直流总线电压  $V_{总线}$  之间的关系：  

$$V_o = dV_{bus} \tag{1}$$

### 1.1.2 控制器环路

对于电流类型逆变器，输出电流受到控制。此外，在大多数太阳能逆变器系统中，在直流-交流转换部件前，有一个直流-直流部件，此部件被用来提高太阳能板的电压，并且执行最大功率点跟踪 (MPPT)。直流-直流部件将不会控制直流总线电压，而是去控制输入太阳能板电压，以及电源输出模式中的运行。所以，控制直流总线电压的任务由直流-交流转换部件（逆变器）承担。

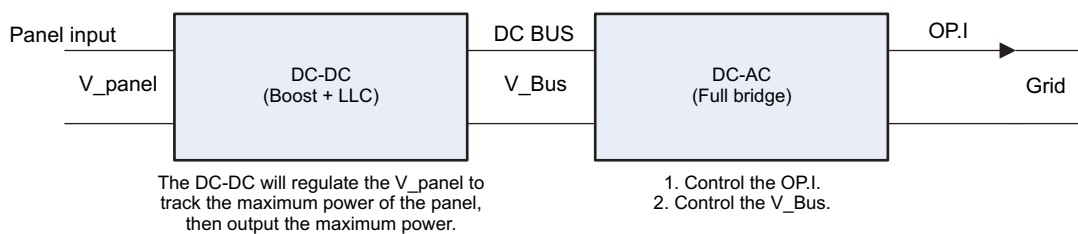


图 3. 典型太阳能逆变器结构

直流总线运行为直流-直流和直流-交流部件的连接。当直流总线电压上升时，直流-交流转换部件增加其输出电流来将直流总线保持在一个指定的值，这样，系统管理的输出功率将增加。当直流总线有下降的趋势时，直流-交流部件减少其输出电流以防止直流总线电压下降，此下降将减少输出功率。

图 4 中显示了针对逆变器部件的典型控制器结构。

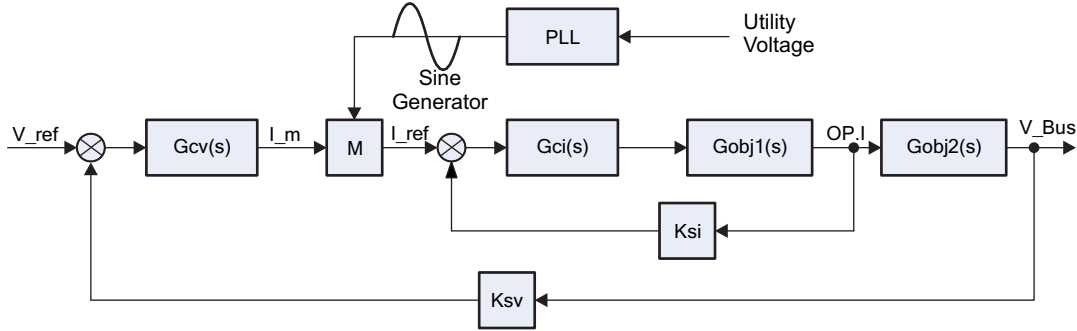


图 4. 太阳能系统中逆变器部件的控制器环路

图 1.4 中使用了双环控制系统。内部环路是输出电流环路，它将跟踪  $I_{ref}$ ，这个值是  $I_m$  和正弦波的乘积。此外部环路是直流总线电压环路，它将把总线电压保持至  $V_{ref}$ 。此外，有一个锁相环 (PLL) 可确保电网电压和输出电流间的同步。注释：

注： 当 CV 模式中未连接直流-直流部件和直流源时，必须将外部环路禁用。

## 2 设计说明

### 2.1 硬件

#### 2.1.1 关键组件

图 5 中显示了此套件的关键组件。在这个套件中，使用了以下硬件：

- 四个 600V IGBT
- IGBT 驱动器被设计为模块类型
- 两个 2.5mH 电感器
- 两个继电器被用来控制并网连接
- 霍尔电流传感器被用来确保电感器电流

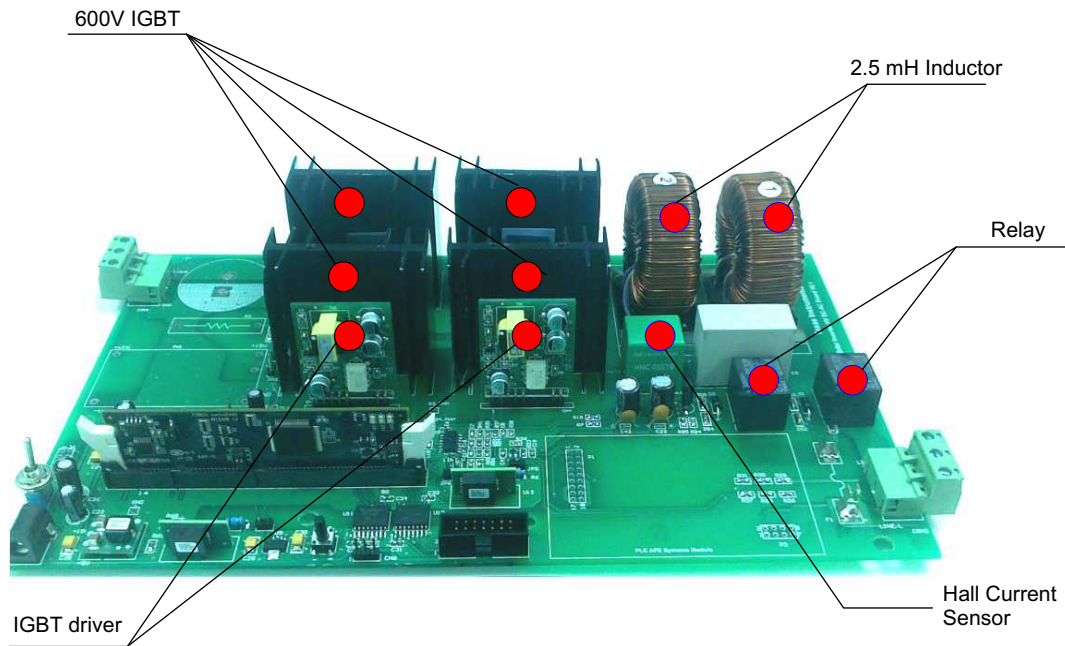


图 5. 电路板上的关键组件

图 6 中显示了印刷电路板 (PCB) 布局。

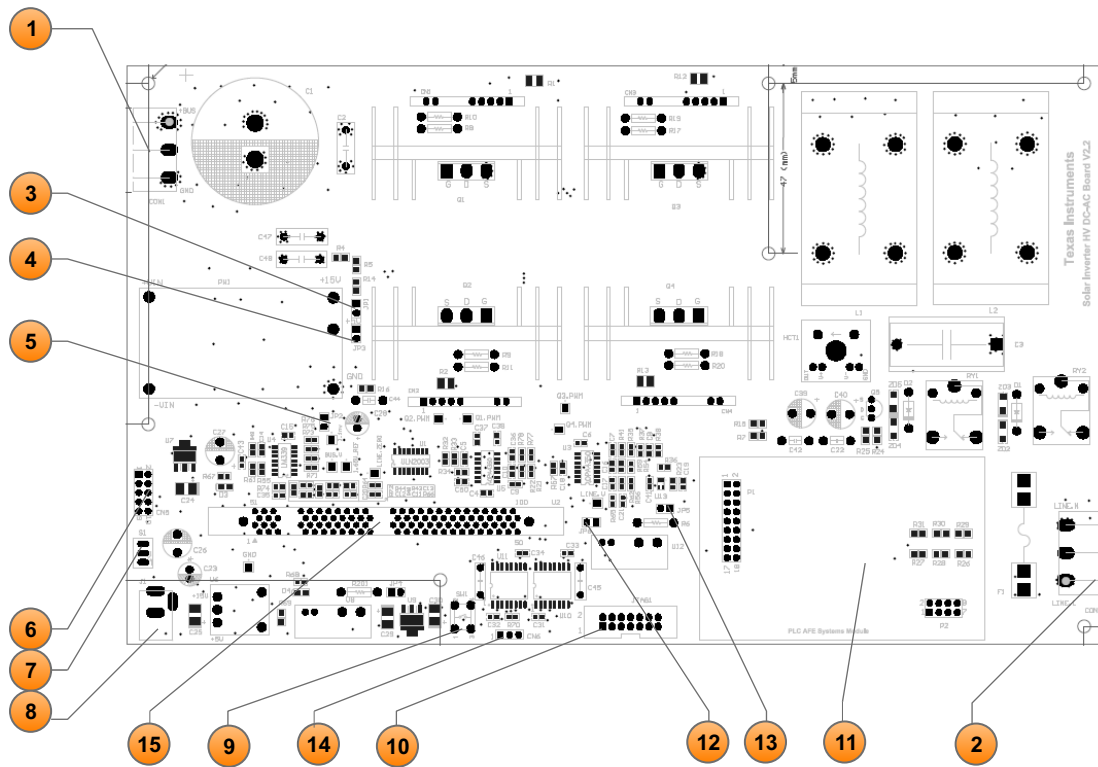


图 6. PCB 布局

**表 1. 关键点**

项目编号	跳接点名称	备注
1	CON1	针对直流-直流输入的直流总线连接器
2	CON2	多用连接器 L 和 N
3	JP1	板上 +15V 跳线
4	JP3	板上 +5V 跳线
5	JP2	IGBT 驱动器 +15V 跳线
6	CN5	直流-直流电路板信号接口
7	S1	外部 +15V 适配器开关
8	J1	外部 +15V 输入插孔
9	SW1	运行按钮
10	JTAG1	用于外部仿真器的 JTAG 接口
11	电力线通信 (PLC) 模拟前端 (AFE) 系统模块	未在这个版本中使用
12	JP6	TRST 跳线
13	JP5	-15V 电源跳线
14	CN6	RS232 端口
15	U2	DIM100 28035 controlCard 端口

### 2.1.2 辅助电源

可使用两个方法来为此套件提供辅助电源。其中一个是使用外部 +15V 适配器。将适配器插入 J1（请见表 1），然后开启 S1 来加电。另外一个方法是使用表 2 中电路板上的电源模块（请见跳接配置）。

**表 2. 针对电路板的跳线设置**

	外部 +15V 适配器	板上 +15V
JP1	×	√
JP2	√	√
JP3	×	×
JP6	不受影响	×

### 2.1.3 信号感测

控制器环路中使用三个关键信号：

- 直流总线电压
- 电感器电流
- 电网电压

直流总线电压感测很简单。从此电路中，可如公式 2 中所示的那样计算信号的采样比率。

$$K_{ratio\_DCBUS} = \frac{R_6}{R_4 + R_5 + R_{14} + R_6} = \frac{10}{3010} = 0.003322 \quad (2)$$

对于电感器电流感测，有一个采样比率为 4/5 的霍尔传感器。此外，此差动电路被用来获得一个合适的比率。如公式 3 中所示的那样计算电流采样比率。

$$K_{ratio\_current} = K_{hall} \frac{R_{41}}{R_{35} + R_{15}} = 0.15974 \quad (3)$$

对于电网电压，只使用差动电路。如公式 4 中所示的那样计算此电流：

$$K_{ratio\_grid\_voltage} = \frac{R_{59}}{R_{26} + R_{27} + R_{28} + R_{54}} = 0.003311 \quad (4)$$

**注:** 对于电感器电流和电网电压，在采样电路中有一个 1.65V 的偏移。需要从固件中减去这个偏移电压。

### 2.1.4 过零检测

过零检测被用来检测频率。孤岛效应的检测十分方便。此套件使用一个比较器来在每个正向过零中获得一个下降边沿。此外，一个比较器的正向反馈被用来获得一个清晰边沿。

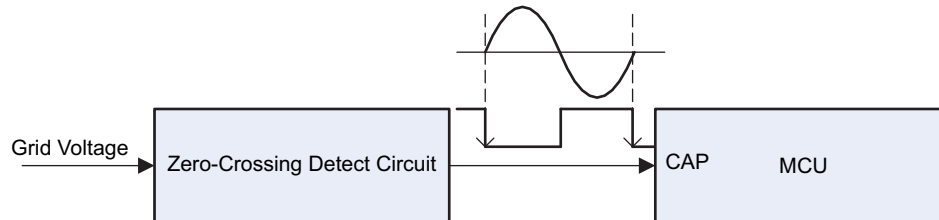


图 7. 过零点

微控制器 (MCU) 的 CAP 捕捉输入信号的下降边沿并保存捕捉值，这个值代表电网电压的正向过零时间。在固件设计中，有一个针对捕捉事件的中断。可使用公式 5 中显示的方法来计算频率。

$$grid\_freq = \frac{f_{cpu\_clk}}{(CAP_0 - CAP_1)} \quad (5)$$

$f_{grid\_freq}$  是电网频率，而  $f_{cpu\_clk}$  是 MCU CPU 时钟。CAP0 是这次的捕捉值，而 CAP1 是上一次的捕捉值。

### 2.1.5 IGBT 驱动器

此套件有四个 IGBT 驱动器模块，这些模块的功能是隔离且增强驱动能力。图 8 中显示了此驱动器的操作图。

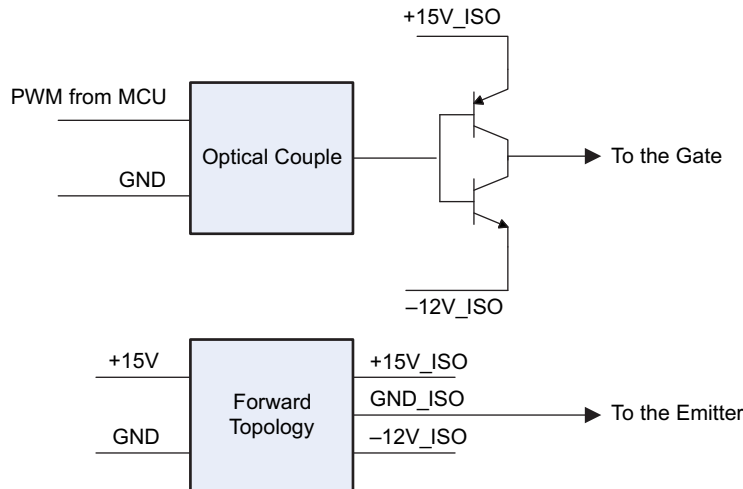


图 8. IGBT 驱动器图

此驱动器在打开状态时可输出 +15V 电压，而在关闭状态时可输出 -12V 电压。

### 2.1.6 电感

为了使电流纹波变得平滑，在主电路中有一个电感器。其电感值由开关频率  $f_s$ ，直流总线电压  $V_{总线}$  和要求的电流纹波  $\Delta I$  确定。



在一个特定的开关周期内，电感器电流可用公式 6 中显示的方法描述：

$$L \frac{\Delta I}{\Delta T} = V_L \quad (6)$$

在这里， $L$  是电感值，而

假定在单个开关周期内，电流  $\Delta I$  的上升值等于电流  $\Delta I$  的下降值。

$$\Delta I_r = \Delta I_f \quad (7)$$

那么，您可获得：

$$L \frac{\Delta I_r}{\Delta T} = L \frac{\Delta I}{dT_s} = V_{bus} - V_o \quad (8)$$

$$L \frac{\Delta I_f}{\Delta T_f} = L \frac{\Delta I}{(1-d)T_s} = -V_o \quad (9)$$

如果您连接公式 1，公式 4 和公式 5，您可得到：

$$\Delta I = \frac{V_{bus}}{Lf_s} \left[ -(d-0.5)^2 + 0.25 \right] \quad (10)$$

在公式 10 中， $\Delta I$  最大值出现在  $d=0.5$  时，并且在公式 11 中显示了此最大值：

$$\Delta I_{max} = \frac{V_{bus}}{4Lf_s} \quad (11)$$

根据公式 11，您可以计算支持单极调制的全桥逆变器所需的电感值。

## 2.2 固件

### 2.2.1 固件结构

固件设计中使用的典型前置和后台系统。对于后台系统，调度三个不同的基于定时器的任务来处理非紧急任务。此外，三个中断处理例程被用作前置来处理紧急事件，诸如闭环控制器、捕捉事件和串行通信接口 (SCI) 接收。

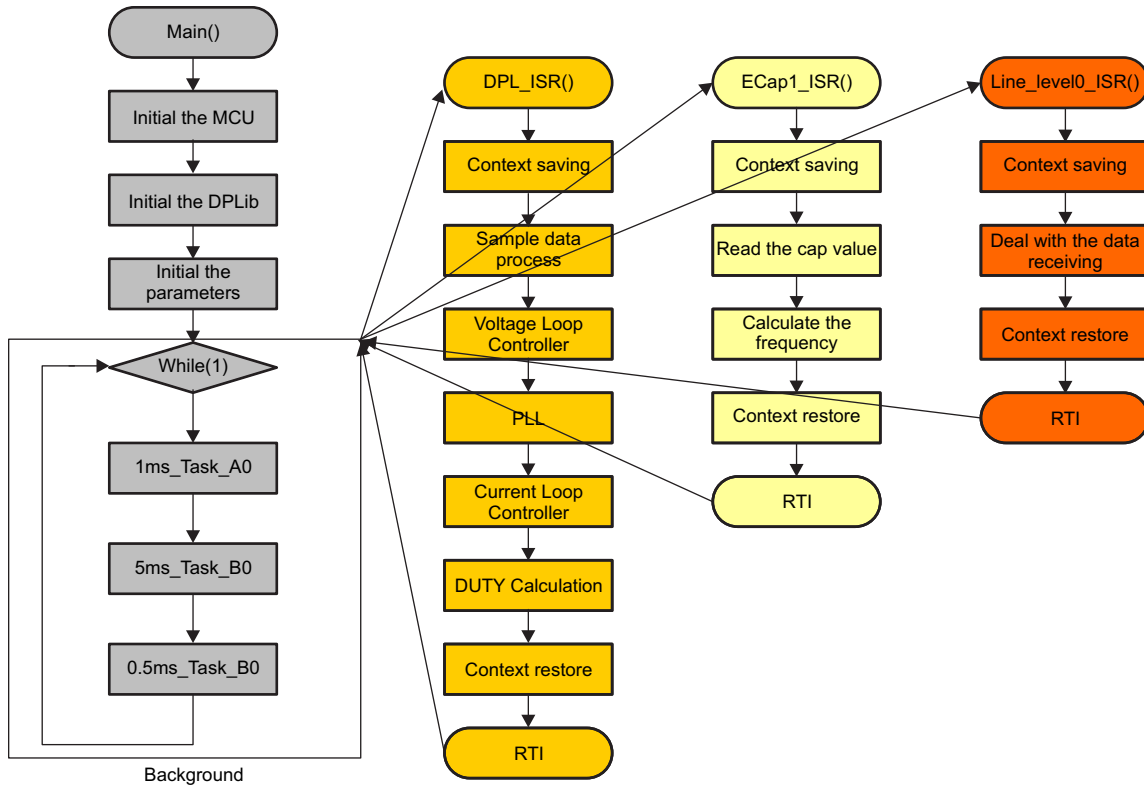


图 9. 固件结构

### 2.2.2 状态机

状态机被用来区分系统的不同状态。不同的状态代表不同的运行模式，其它任务可根据这些模式来采取适当的操作。

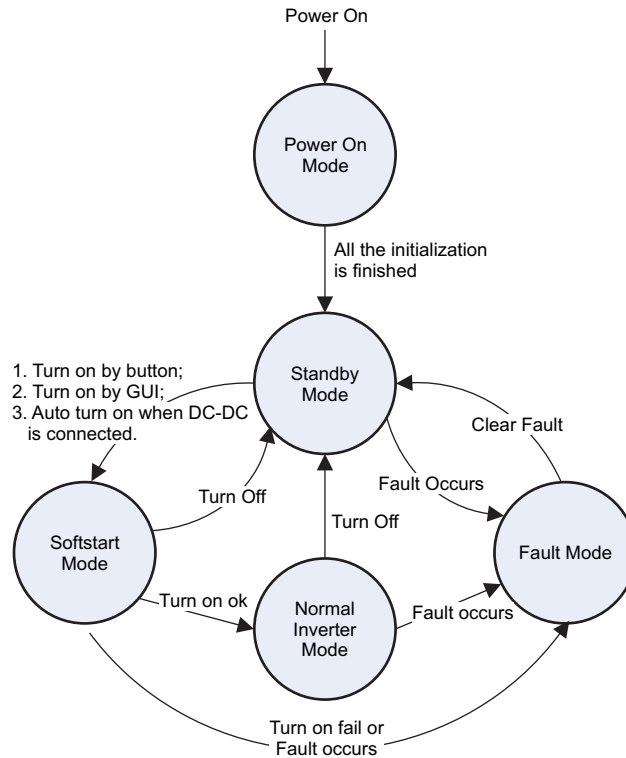


图 10. 状态机

固件中有五种不同的运行模式。

- 加电模式。当电路板加电时，它进入加电模式，然后 MCU 对其自身进行初始化。当初始化完成时，系统自动过渡为待机模式。
- 待机模式。当系统处于待机模式中时，所有的脉宽调制 (PWM) 和中继关闭。此系统正在等待打开指令；它将检测出现的故障。
- 软启动模式。当有一个打开指令时，此系统首先进入软启动模式，然后 PWM 和中继被打开。当打开正常 (OK) 且没有故障发生时，此系统自动进入正常的逆变器模式。
- 正常逆变器模式。当系统处于正常逆变器模式时，这意味着此系统向外提供电能。如果没有故障或关闭指令，此系统保持在这个模式。
- 故障模式。当故障发生时，例如总线过压，此系统立即过渡到故障模式。所有 PWM 关闭，从输出上切断输出中继。此故障可由按钮或图形用户界面 (GUI) 清除。当故障被清除时，它将返回至待机模式。

### 2.2.3 发光二极管 (LED) 闪烁设计

controlCard 上的 LED 根据节 2.2.2 中定义的运行模式来以不同的方式闪烁。详细信息请见表 3。

LD2 被定义为模式 LED，而 LD3 被定义为故障 LED。

表 3. LED 闪烁定义

系统模式	LD2	LD3
加电模式	常开	常开
待机模式	闪烁间隔 0.5s	常闭
待机模式 (带有警告) <sup>(1)</sup>	闪烁间隔 0.5s	闪烁间隔 0.5s
软启动模式	快速闪烁	常闭
正常逆变器模式	常开	常闭
故障模式	常闭	常开 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> 当 LD3 闪烁时，按下电路板上的按钮或单击 GUI 上的“turn on”按钮来清除警告。此系统只能在没有故障或警告时才能被打开。警告可由以下条件生成：关闭、电网电压超出范围或者直流总线电压异常。请查看固件以了解警告生成细节。名为 *FSuperFlag.BIT.FwWarning* 的标志代表警告状态。

<sup>(2)</sup> 如果 LD3 闪烁或常开，请断电并检查硬件。

注：您可以通过 LED 闪烁来快速确定运行模式。

### 2.2.4 任务

在后台系统中，使用三个主任务：

- **Task\_A0.** 这个 1 毫秒任务有四个子任务，此系统只使用任务 A1 和任务 A3。  
子任务 A1 处理状态机转换。每 20ms 检查此状态。当运行模式被改变时，新的运行模式将在 20ms 后生效。  
子任务 A3 处理板上按钮检测和 LED 闪烁控制。
- **Task\_B0.** 这个 4 毫秒任务有四个子任务。  
子任务 B1 处理故障检测，其中包括短路检查、过流检查、电网电压和频率检查，以及直流总线电压检查。子任务 B2 处理测量计算，它计算电网电压均方根 (RMS) 和输出电流 RMS，有源功率，直流总线电压以及过零检查。  
子任务 B3 处理打开检查。  
子任务 B4 处理 GUI 指令处理和电路板间的通信。
- **Task\_C0.** 它是 0.5 毫秒任务。只有 C0 被用来检查 SCI 通信。

### 2.2.5 中断

三个中断被用来处理实时事件：

- **ADCINT1.** 此中断由模数转换器 (ADC) 转换结束 (EOC) 生成。当 ADC 采样完成时，此中断被触发。ISR 执行控制器算法。
- **ECAP1\_INT.** 此中断由捕捉事件生成。当过零发生时，下降边沿触发捕捉事件。
- **LIN0INTA.** 此中断由 LINA 的 RXD 事件生成，LIN 被用作 SCI 端口与直流-直流电路板进行通信。

## 3 如何构建固件

### 3.1 项目的文件结构

软件项目中有很多文件，其中包括 c 语言文件、汇编文件、头文件以及 cmd 文件。

表 4. 项目中的 C 语言文件

C 语言文件名	描述
ADC_SOC_Cnf.c	初始化 ADC
SciCommsGui.c	与 GUI 通信
SolarHv_DCAC-DevInit_F2803x.c	MCU 器件初始化
SolarHv_DCAC-CAP_Cnf.c	Cap 初始化
SolarHv_DCAC-Lin.c	与直流-直流电路板通信
SolarHv_DCAC-main.c	后台
SolarHv_DCAC-PWM_Cnf.c	ePWM 初始化

表 5. asm 文件

asm 文件名	说明
SolarHv_DCAC-CNTL_2P2Z.asm	针对电流的 2P2Z 控制器
SolarHv_DCAC-ADCDRV_5CH.asm	ADC 采样
SolarHv_DCAC-DLOG_4CH.asm	获得实时数据
SolarHv_DCAC-GEN_SIN_COS.asm	生成正弦和余弦波
SolarHv_DCAC-INV_ICMD.asm	计算电流环路基准
SolarHv_DCAC-ISR.asm	针对控制器的 ADC 中断 ISR
SolarHv_DCAC-PWMDRV.asm	计算 CMPR 并更新占空比

表 6. 其他文件

其他文件名	说明
SolarHv_DCAC-Settings.h	项目构建设置
SolarHv_DCAC-f28035_FLASH.CMD	针对闪存内代码运行的 Cmd 文件
SolarHv_DCAC-f28035_RAM.CMD	针对 RAM 内代码运行的 Cmd 文件

### 3.2 块简介

有一些用来实现特定功能的块。您可以在您自己的项目中使用这些块。

#### 3.2.1 ADCDRV\_5CH m n p q s

名为 ADCDRV\_5CH 的块是 ADC 采样驱动器模块，它可被用来获取五个采样通道。

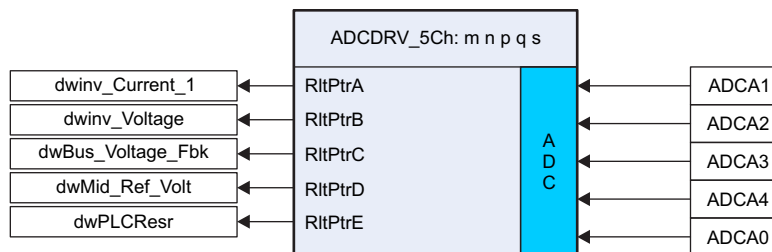


图 11. ADCDRV\_5CH 块

使用了五通道 ADC:

- **ADCA1**被分配给电感器电流感测，在软件中这个通道被命名为 *dwinv\_Current\_1*，*dwinv\_Current\_1* 的格式为 Q24。
- **ADCA2**被分配给电网电压感测，在软件中这个通道被命名为 *dwinv\_Voltage*，*dwinv\_Voltage* 的格式为 Q24。

- **ADCA3**被分配为直流总线电压感测，在软件中这个通道被命名为 *dwBus\_Voltage\_Fbk*，*dwBus\_Voltage\_Fbk* 的格式为 Q24。
- **ADCA3**被分配为 1.65V 基准感测，在软件中这个通道被命名为 *dwMid\_Ref\_Volt*，*dwMid\_Ref\_Volt* 的格式为 Q24。
- **ADCA0**被保留用于未来的 PLC 应用。

### 3.2.2 GEN\_SIN\_COS: n

GEN\_SIN\_COS: n 被用来生成正弦波和余弦波。

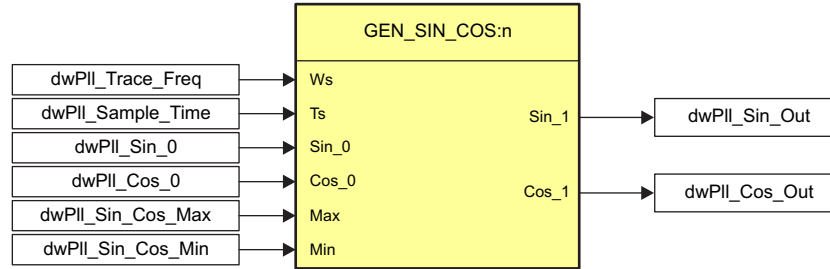


图 12. GEN\_SIN\_COS: n

*Ws*是发电机的频率输入。 *dwPll\_Trace\_Freq*被分配给这个输入，格式为Q20。 例如：

*dwPll\_Trace\_Freq* = *\_IQ20(376.9911)* 表示 60Hz

*Ts*是发电机的采样频率。 *dwPll\_Sample\_Time*被分配给这个输入，格式为Q24。 例如：

*dwPll\_Sample\_Time* = *\_IQ(0.000052)* 表示 52e-6 秒

*Sin\_0*是正弦值的初始值。 *dwPll\_Sin\_0*被分配给这个输入，格式为Q22。 *dwPll\_Sin\_0*的缺省值为 0。

*Cos\_0*是余弦值的初始值。 *dwPll\_Cos\_0*被分配给这个输入，格式为Q22。 *dwPll\_Cos\_0* 的缺省值为 *\_IQ22(0.99)*。

*Max*是输出的最大值。 *dwPll\_Sin\_Cos\_Max*被分配给这个输入，格式为Q22。 *dwPll\_Sin\_0* 的缺省值为 *\_IQ22(0.99)*。

*Min*为输出的最小值。 *dwPll\_Sin\_Cos\_Min*被分配给这个输入，格式为Q22。 *dwPll\_Sin\_Cos\_Min* 的缺省值为 0。

### 3.2.3 INV\_ICMD:n

INV\_ICMD:n 被用来计算电流基准。

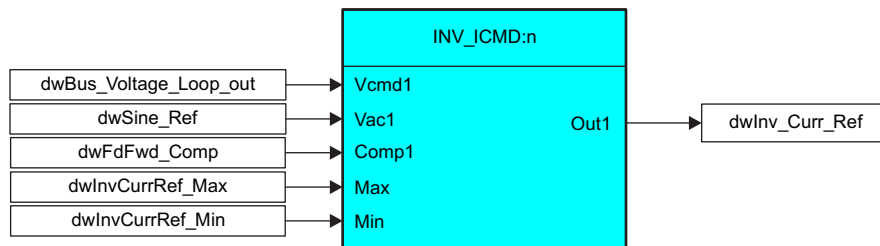


图 13. INV\_ICMD:n

Vcmd是基准电流的振幅，它通常为电压环路控制器输出。dwBus\_Voltage\_Loop\_Out被指定为接口。格式为Q24。

Vac1是表示电流基准角的单位正弦波，它通常为发电机的输出。dwSine\_Ref被指定为接口。格式为Q24。

Comp1是对电网电压变化的补偿。缺省值为 1。Max, Min 是输出的限制。

Out1是块的输出，dwInv\_Curr\_Ref 被指定为接口。格式为Q24。

### 3.2.4 PWMDRV:n

PWMDRV:n 被用来根据控制器的输出来计算 CMPR。它将在完成计算时更新 CMPR 寄存器。

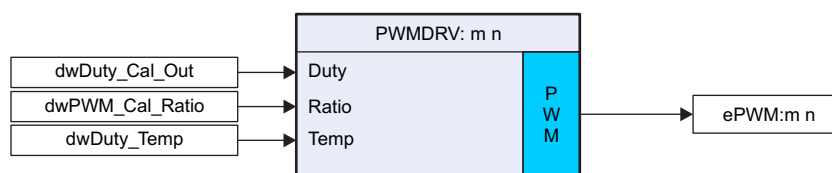


图 14. PWMDRV:n

占空比是控制器的输出，它通常是电流环路控制器输出。dwDuty\_Cal\_out被分配给这个输入，格式为Q24。

比率是占空比与 CMPR 值之间的转换比率。格式为Q8。可使用以下方法来计算此比率：

$$\text{比率} = \text{周期} * 1000 / V_{dc}$$

Temp 被保留用于调试。

### 3.2.5 CNTL\_2P2Z:n

这与数字电源库中定义的块一样。

### 3.2.6 DLOG\_4CH:n

这与数字电源库中定义的块相似，但是日志记录的开始时间是不同的。在这个项目中，块在变量 wDataEnable 为 1 时开始数据记录。

### 3.3 构建步骤

以下的部分讨论了递增构建步骤并提供逐步函数。

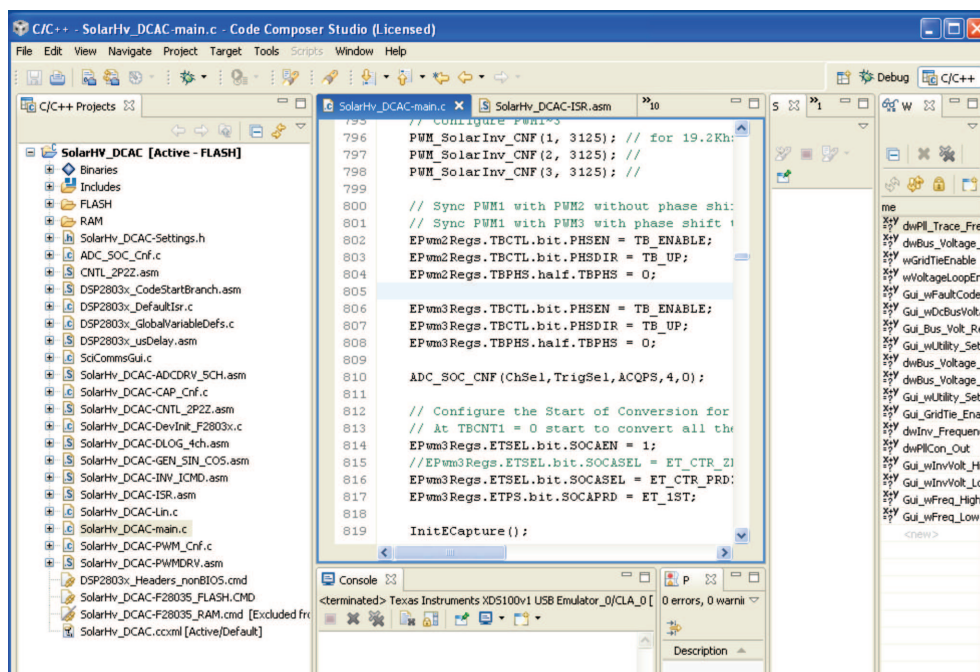
构建步骤可由名为 *SolarHv\_DCAC-Settings.h* 的头文件内的预先定义的宏 `INCR_BUILD` 设定，请参见表 7 中的设置。

表 7. 递增构建选项

<code>INCR_BUILD == 1</code>	开环构建
<code>INCR_BUILD == 2</code>	无锁相环 (PLL) 的闭环路
<code>INCR_BUILD == 3</code>	具有 PLL 的闭环路

#### 3.3.1 启动 Code Composer Studio 项目

1. 将 USB 线缆连接至 ISO PiccoloB controlCard。端接跳线 JP2, JP4, JP5, JP6; 断开跳线 JP3, JP1。
2. 将 +15V 适配器插入 J1, 然后开启 S1 以打开辅助电源。
3. 启动 CCSV4 并创建一个全新的工作区。
4. 单击菜单: Project (项目) → Import Existing CCS (导入现有的 CCS) → CCE Eclipse Project (CCE Eclipse 项目)。在 Select root directory (选择根目录) 下, 找到并选择。。。\controlSUITE\development\_kits\Solar HV Kit\DC-AC board when the integrated development environment (IDE) opens. 当项目打开时, 显示出以下的工作区。





5. 如图 15 中所示, 通过将 INCR\_BUILD 设定为一个值来改变递增构建选项。

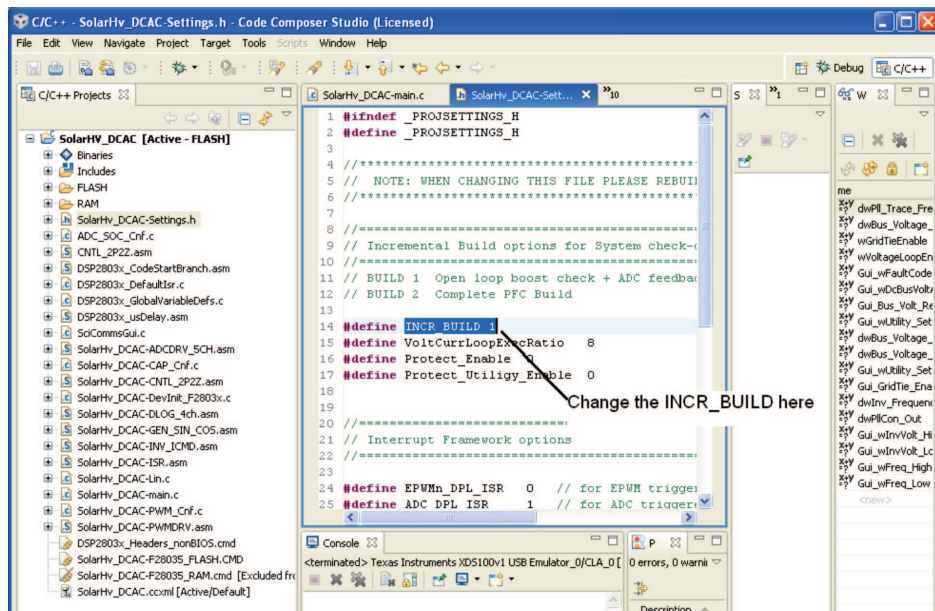


图 15. 更改递增构建

6. 单击菜单: Project → Active Build Configuration (激活构建配置) 来设置构建配置。如果您希望在 RAM 中运行代码, 请选择 RAM 或 FLASH (闪存) 选项。
7. 通过单击菜单: Project → Rebuild All (重建全部) 来重建项目。如果没有错误, 将生产新的 .out 文件。
8. 在打开的 .ccxml 文件中, 将 Connection (连接) 选为 "Texas Instruments XDS100v2 USB Emulator" (德州仪器 (TI) XDS100v2 USB 仿真器)。向下滚动并选择 "TMS320F28035" 器件。单击 Save (保存)。
9. 通过单击 Target (目标) → Debug Active Project (调试激活项目) 来启动 TI 调试器。
10. 图 16 在代码成功载入时出现。

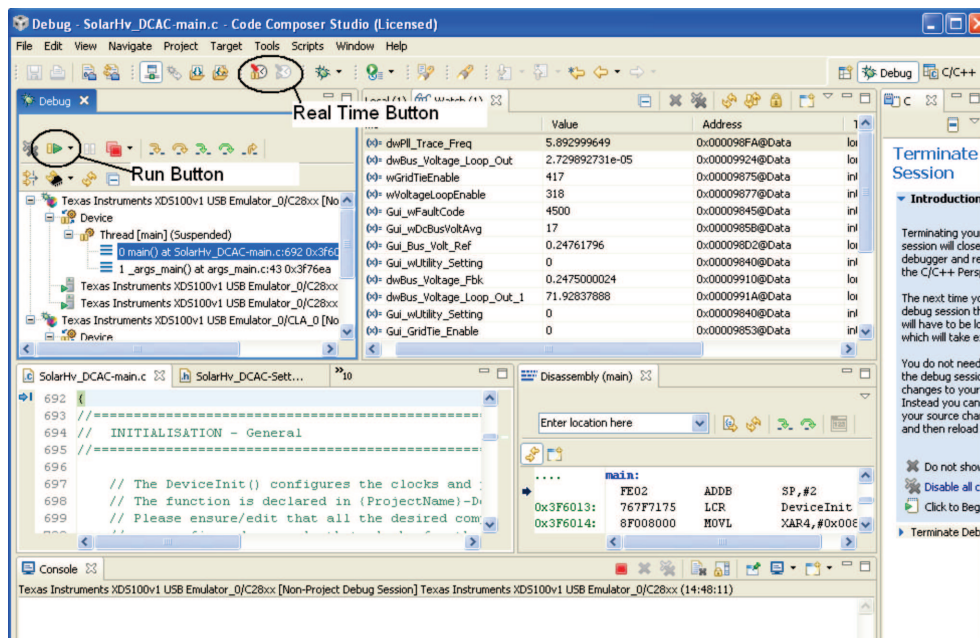


图 16. 调试激活项目

11. 单击工具条上的按钮来使用实时调试选项。
12. 单击工具条上的“Run”（运行）按钮来运行代码。

### 3.3.2 开环路构建

第一步是开环路构建；让电路板输出一个正弦波。在一个步骤中，GEN\_SIN\_COS 和 PWMDRV 块被用来生成 SPWM。还使用了 DLOG\_4CH 和 ADCDRV\_5CH。您可以实时或通过 GUI 来检查采样数据。（如果使用了 GUI，您必须在闪存内运行代码）。

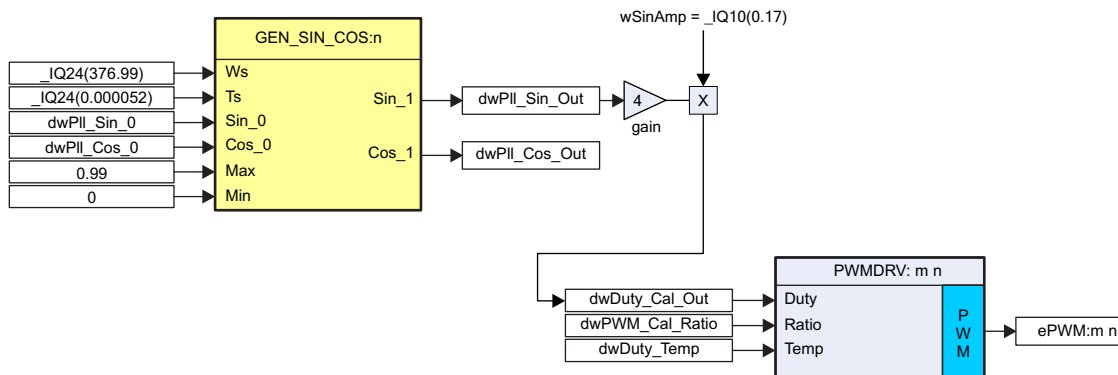


图 17. 开环路构建

当您在 *SolarHv\_DCAC-Settings.h* 中设置 *INCR\_BUILD = 1* 时，开环路构建可用。

当代码正在运行时，将直流源输入设定为 400V，然后按下 SW1 来打开电路板。

### 3.3.3 无 PLL 的闭环构建

当电网未接至电路板时，电路板可运行无 PLL 的闭环。它将一个恒定电流输出至负载。

在您构建这个步骤前，请确保您成功进行了开环路测试；它必须将一个电阻器负载连接至输出。建议的电阻器负载为 25Ω/1000W。

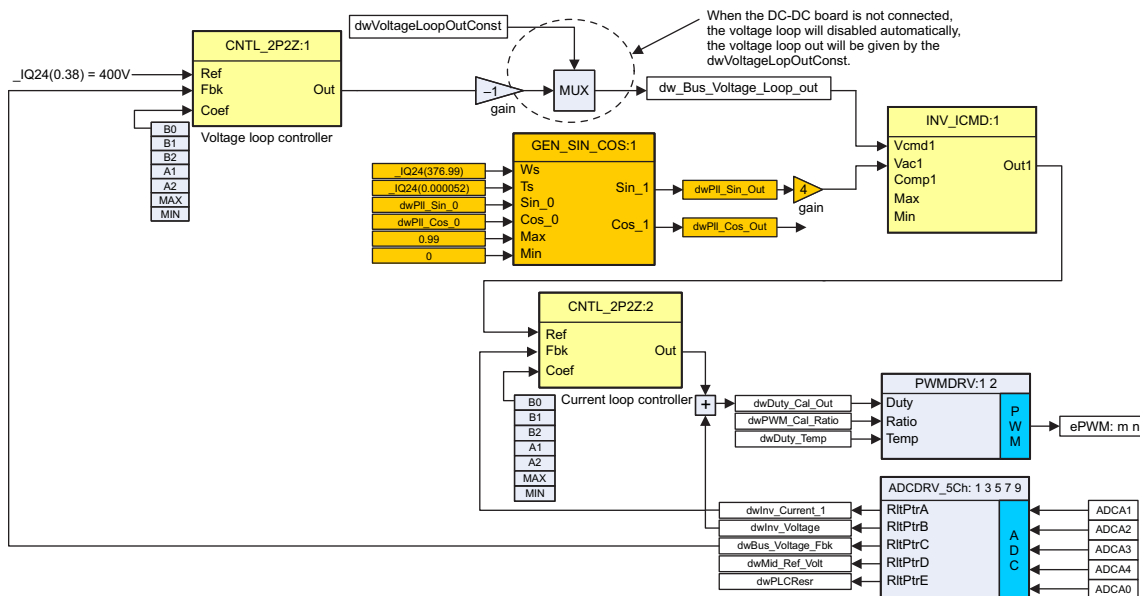


图 18. 无 PLL 的闭环构建

当您在 *SolarHv\_DCAC-Settings.h* 文件中设置 *INCR\_BUILD = 2* 时，可提供无 PLL 的闭环构建。

请注意，当未连接直流-直流电路板时，电压环路将自动被禁用。 *dw\_Bus\_Voltage\_Loop\_Out* 将由 *dwVoltageLoopOutConst* 直接给出。您可以实时修改 *dwVoltageLoopOutConst* 以获得不同的输出电流值。

### 3.3.4 具有 PLL 的闭环构建

如果完成了节 3.3.3 中提到的构建，您可以进行针对并网测试的最后构建步骤。您可以如图 19 中所示的那样将测试工具连接至电路板。

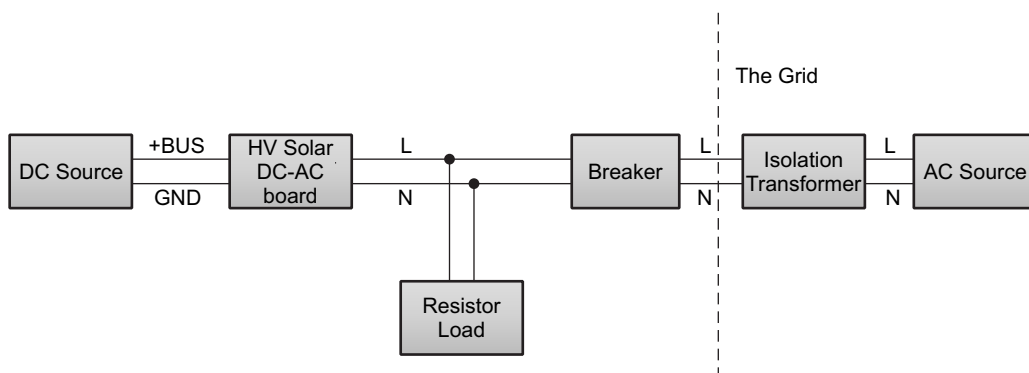


图 19. 此测试的连接

出于安全考虑，TI 强烈建议您在电网和逆变器输出之间使用一个断路器。

注：所有测试应该在实验室内完成，并且您必须使用交流电源来仿真电网。当您用这个电路板连接至电网时，无法确保安全性。

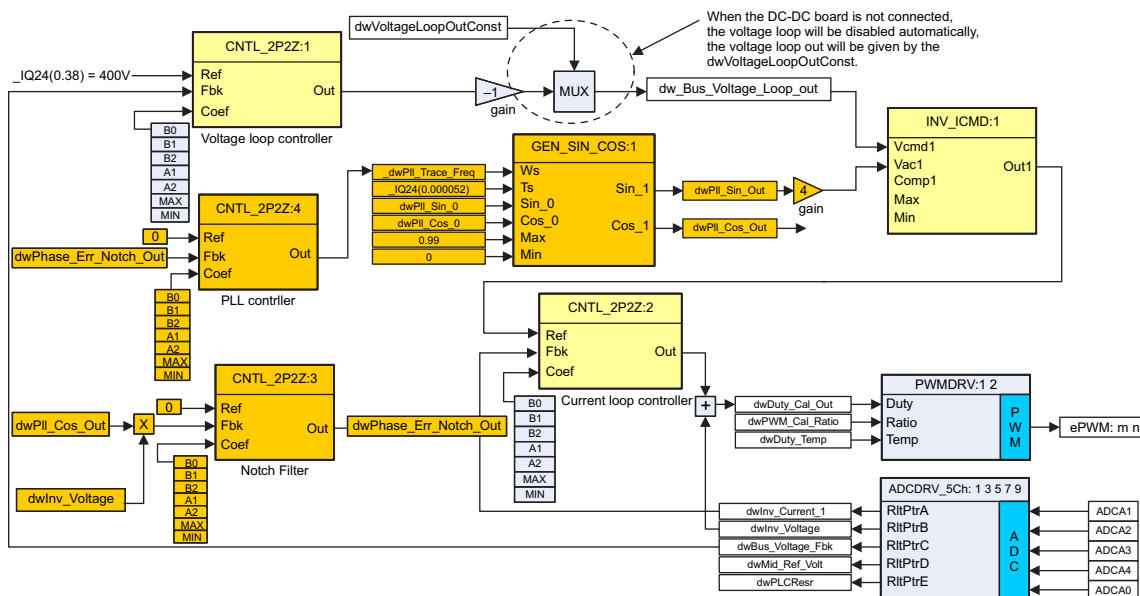


图 20. 具有 PLL 的闭环构建

当您在 *SolarHv\_DCAC-Settings.h* 文件中设置 *INCR\_BUILD = 3* 时，可提供具有 PLL 的闭环构建。

请注意，当未连接直流-直流电路板时，电压环路将自动被禁用。 *dw\_Bus\_Voltage\_Loop\_Out* 将由 *dwVoltageLoopOutConst* 直接给出。您可以实时修改 *dwVoltageLoopOutConst* 以获得不同的输出电流值。

## 4 测试结果

### 4.1 技术规格

此系统的主要技术规格如下：

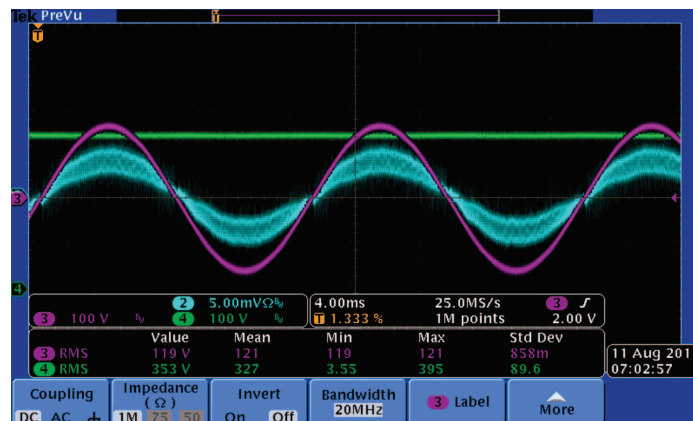
- 额定功率：600W
- 标称电网电压：120V/60Hz(RMS)，220V/50Hz
- 输出功率因数：1
- THDi: <5%
- 太阳能电池板输入电压范围：400V
- 并网
- 抗孤岛效应保护

测试条件：

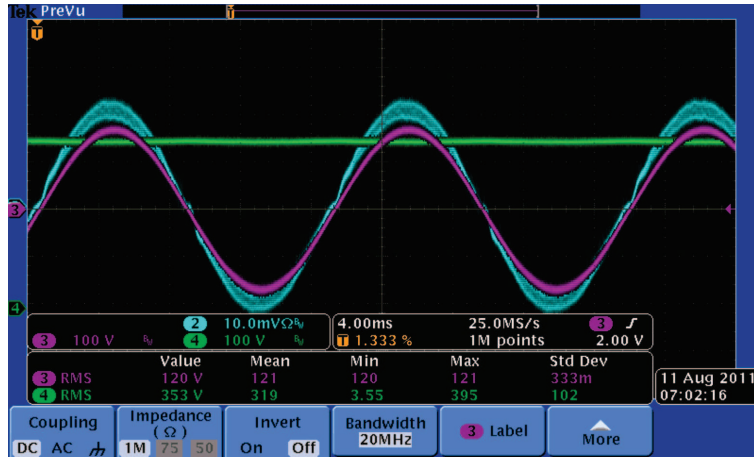
- 已连接交流电源，它的值为 120VAC/60Hz
- 直流总线电压：400V
- 功率范围：100-600W 输出
- 并网
- 室温

### 4.2 直流-交流电路板电流环路并网测试结果

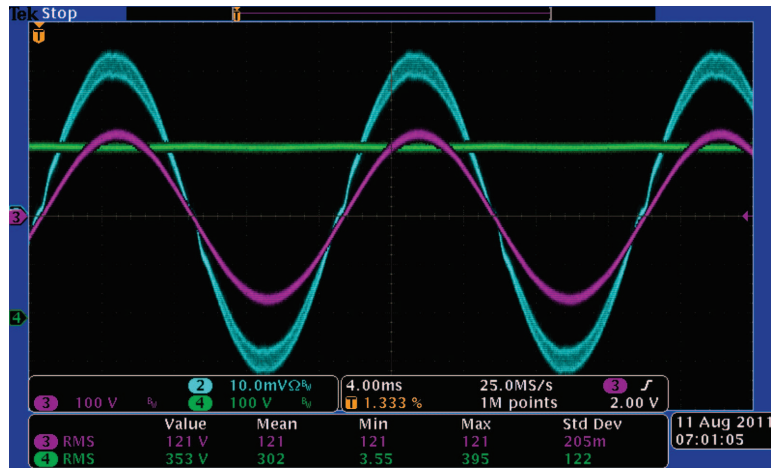
- 轻负载电流和电网电压波形
  - CH2: 输出电流（蓝色）
  - CH3: 电网电压（红色）
  - CH4: 总线电压



- 中等负载电流和电网电压波形



- 满负载电流和电网电压波形



### 4.3 输出功率因数和 THDi

表 8. PF 和 THDi

Inv V_out	Inv P_out	输出 PF	THDi
119.5	100.3	0.983	12.60%
119.8	151.6	0.992	8.70%
119.2	198.4	0.995	6.80%
119.5	248.1	0.996	5.80%
119.8	297.7	0.997	5%
120.1	344.1	0.997	4.30%
119.6	391.7	0.997	3.90%
119.9	439.2	0.997	3.60%
120	464.2	0.997	3.40%

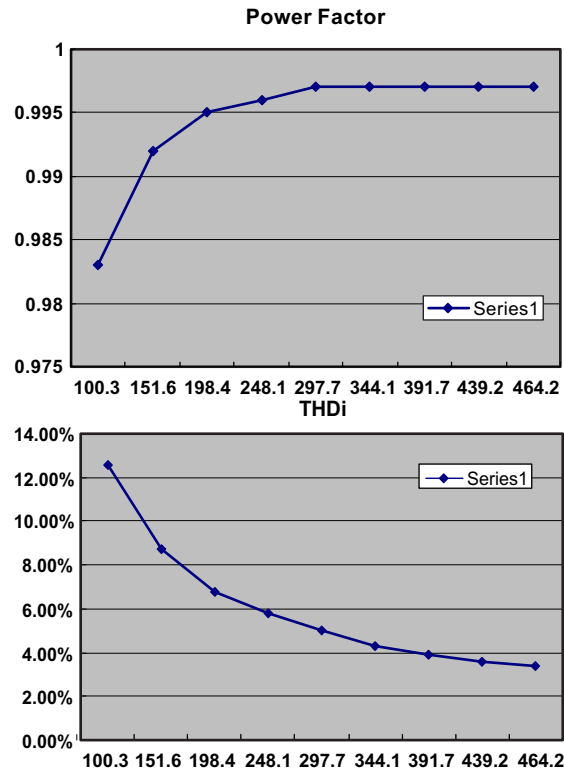


图 21. PF 和 THDi

#### 4.4 效率

表 9. 效率

项目	DC_in(V)	AC_out(V)	输出 (W1)	输入 (W)	效率(%)
1	400	120	609	632	96.3
2	400	120	536	557	96.2
3	400	120	500	521	95.9
4	400	120	446	467	95.5
5	400	120	356	376	94.5
6	400	120	302	321	94.1

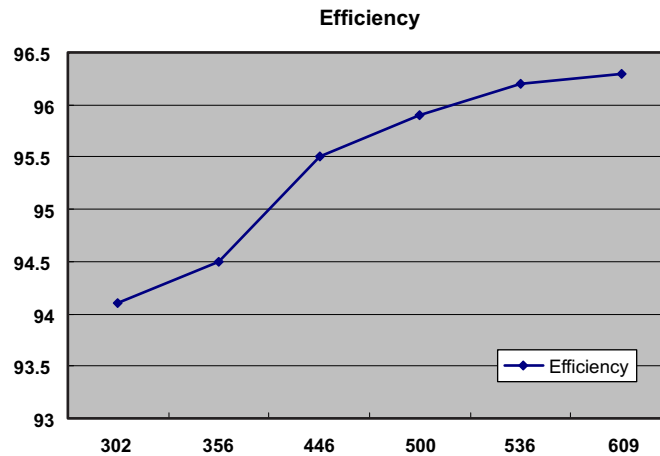


图 22. 效率

#### 4.5 HV 太阳能系统测试

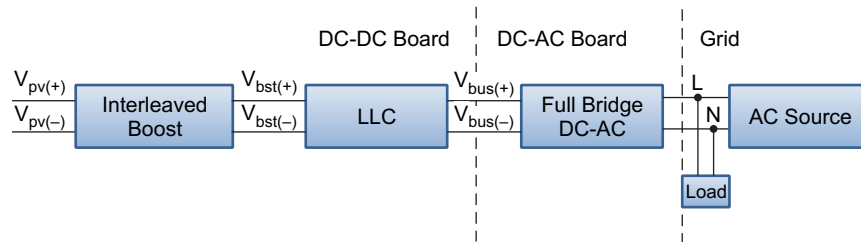


图 23. 系统结构和连接

- 120VAC/60Hz, 打开:
  - CH2: 输出电流 (蓝色)
  - CH3: 电网电压 (红色)
  - CH4: 总线电压

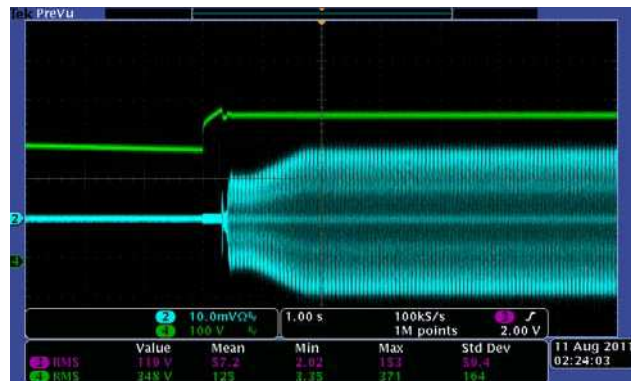


图 24. 打开概述



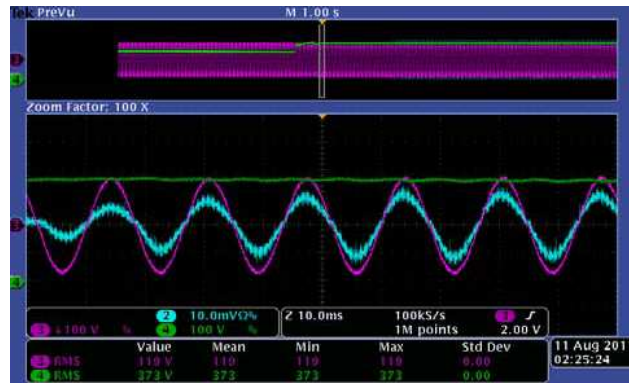
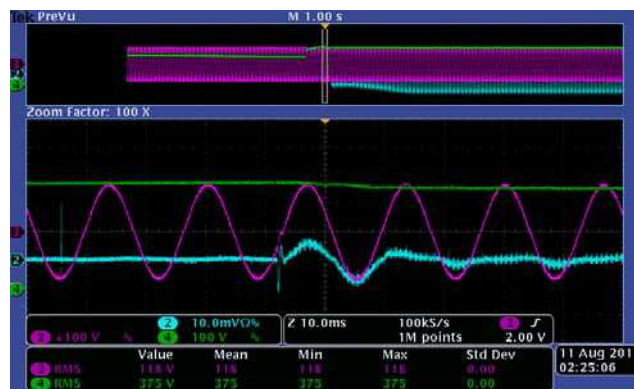
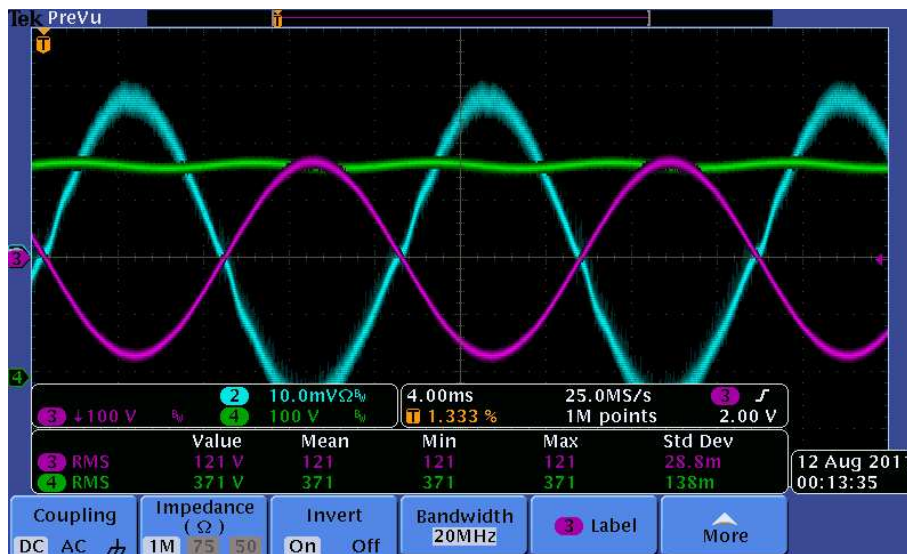


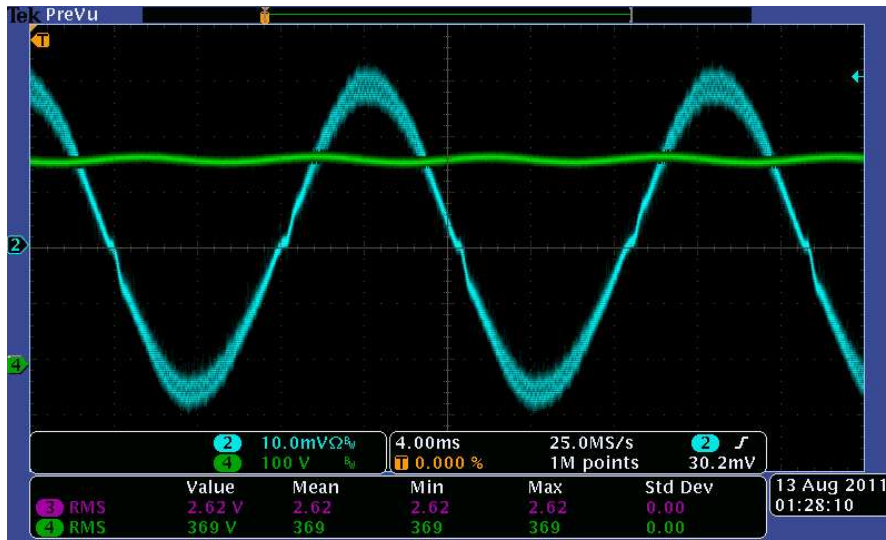
图 25. PWM 上的直流-交流转换部件打开



- 120VAC/60Hz, 500W
  - CH2: 输出电流 (蓝色)
  - CH3: 电网电压 (红色)
  - CH4: 总线电压







## 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隐含权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, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 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, 并且由客户独力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>

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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司