

Application Note

AWR294x 电源优化技术



Shruti Gupta

摘要

本应用手册可协助用户使用 TI AWR2944 毫米波传感器解决不同功率限制问题。根据不同的应用和用例，在传感器上可以进行不同程度的功耗优化。根据对用例的适用情况，可使用多种不同的形式实现功耗优化。本文档描述了不同优化技术的实现方式以及其节能程度和相关的设计权衡。

内容

1 定义、缩写、首字母缩略词.....	2
2 简介.....	2
3 器件架构概述.....	2
4 AWR2944 器件中的主要功耗块.....	3
5 基本的功耗优化策略.....	4
6 适用于 AWR2944 器件的基于 SDK 的功耗优化方法.....	5
6.1 典型雷达测量周期.....	5
6.2 典型雷达测量周期内的功耗状态.....	6
6.3 毫米波演示中实现的功耗降低技术.....	6
7 评估所需的设备：.....	9
8 总结.....	10
9 参考资料.....	10

插图清单

图 3-1. 器件方框图.....	2
图 5-1. 基本功耗优化策略.....	4
图 6-1. 一帧期间的典型雷达测量周期.....	5
图 6-2. 典型雷达运行期间的功耗状态.....	6
图 6-3. 功耗测量演示示例摘要.....	6
图 6-4. 功耗测量演示示例摘要.....	7
图 6-5. 功耗测量演示示例摘要.....	8
图 7-1. AWR2944EVM.....	9

表格清单

表 6-1. 运行期间的不同状态.....	5
-----------------------	---

商标

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 定义、缩写、首字母缩略词

术语	定义
FMCW	调频连续波
SDK	软件开发套件
MSS	主子系统
DSS	数字信号处理子系统
RSS	无线电处理子系统
WFI	等待中断
PLL	锁相环

2 简介

AWR294x 是一款单芯片毫米波传感器，由能够在 76GHz 至 81GHz 频段内工作的 FMCW 收发器、雷达数据处理元件和车载网络外围器件构成。TI 毫米波传感器能够在各种应用中实现高性能测量和目标检测，但有些设计要求功耗尽可能低。本应用手册将讨论适用于关注功耗问题的毫米波传感器的各种节能技术。本指南可协助用户实施各种优化以进行评估。此外，本文档还讨论了所涉及的利弊权衡。本文档中讨论的节能技术只能通过软件实现。

3 器件架构概述

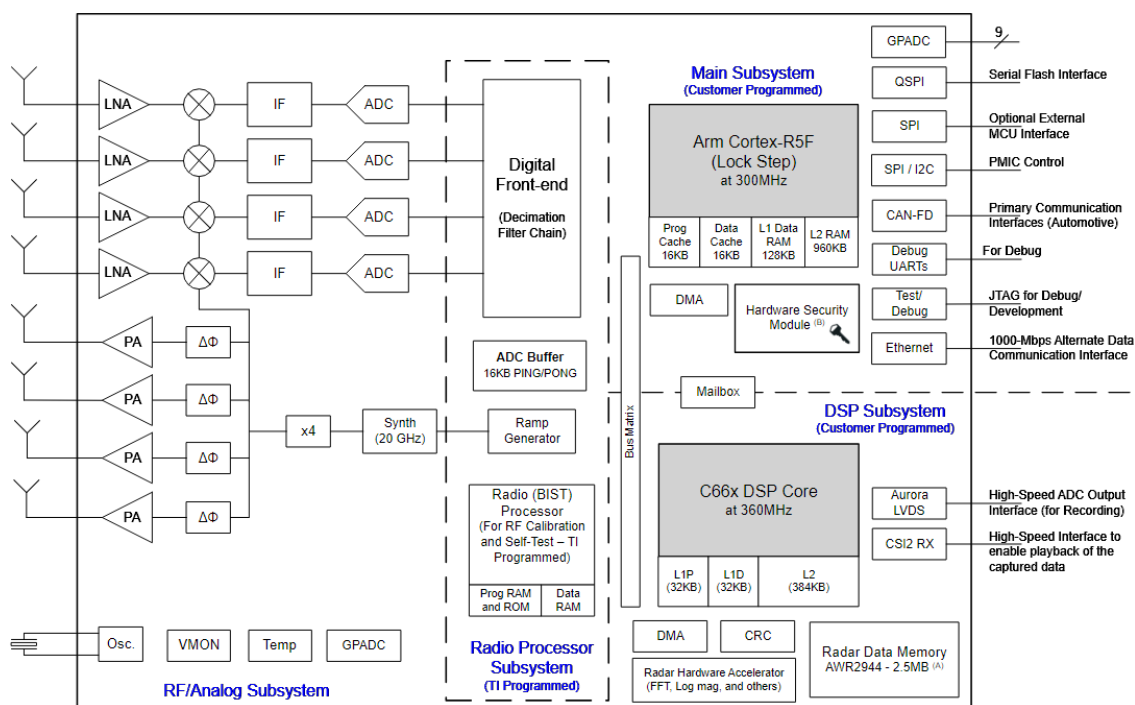


图 3-1. 器件方框图

AWR294x 的功耗可以通过一些技术来降低。这些降低功耗的技术可以通过对 MSS 和 DSP 进行适当编程来实现。AWR2944 的架构允许雷达器件完全或部分关闭不同子系统内的特定块。

4 AWR2944 器件中的主要功耗块

AWR2944 器件是一款高度集成的单芯片雷达传感器，包含数个对高级信号处理和传输功能来说至关重要的主要功耗元件。

主要功耗元件如下：

1. 发送器 (Tx) 和接收器 (Rx) 或雷达前端：这些块负责生成和处理雷达信号，会在高频运行时产生大额功耗。
2. 数字信号处理子系统 (DSP SS)：C66x DSP 内核可处理雷达信号处理所需的复杂计算。由于具有高处理能力，C66x DSP 成了主要功耗器件之一。
3. 雷达硬件加速器 (HWA)：该元件可加速快速傅里叶变换 (FFT)、对数幅度计算以及存储器压缩等操作，这些操作对于雷达信号处理来说至关重要。
4. Arm® Cortex®-R5F 内核：该内核支持锁步操作，可用于控制和配置任务。该内核也会对总体功耗产生重大影响。
5. 锁相环 (PLL)：集成式 PLL 可用于频率合成，会对功耗产生影响，尤其是在信号传输期间。
6. 模数转换器 (ADC)：可使用多个 ADC 通道将模拟雷达信号转换为数字形式以便处理。这些转换器也会产生相当大的功耗。

了解这些元件有助于优化功耗并提高器件的整体效率。

5 基本的功耗优化策略

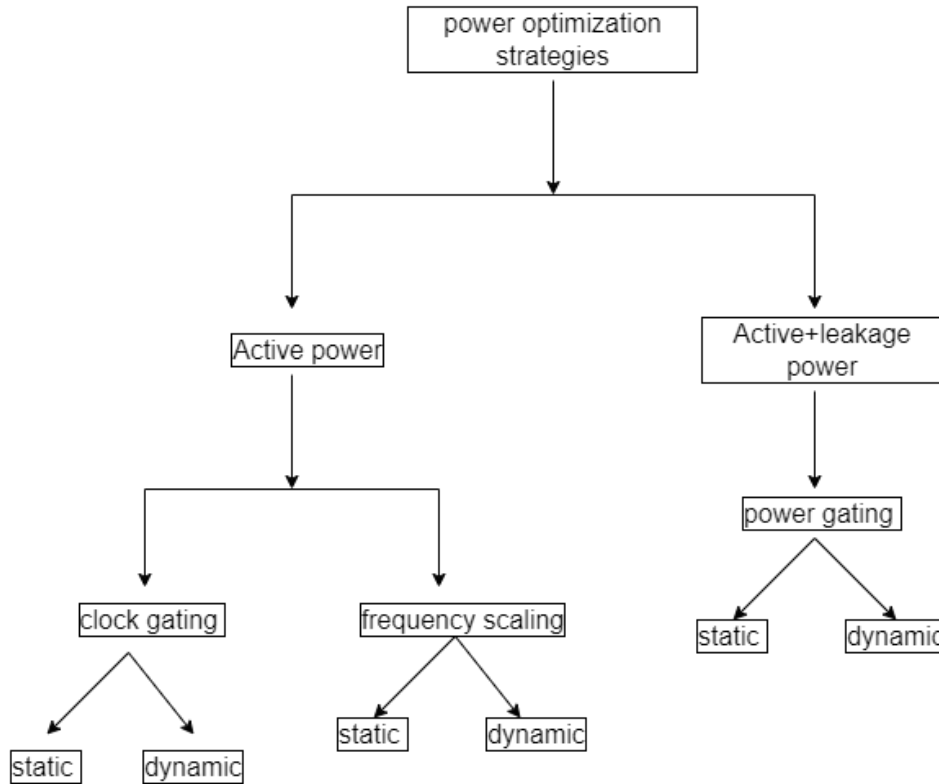


图 5-1. 基本功耗优化策略

如上图所示，以下是可用于功耗优化的主要技术

1. 时钟门控技术：时钟门控是一种用于数字电路的节能技术，可降低功耗。时钟门控的工作原理是在电路的某些部分未使用时禁用这些部分的时钟信号。该门控技术可进一步分为两种类型，分别为静态时钟门控和动态时钟门控。

在静态时钟门控中，未使用模块、外设和块的时钟会被禁用。在动态时钟门控中，时钟的禁用或门控会在特定时间段内进行。在该时间段结束后，时钟可以恢复到之前的状态。

2. 频率调整技术：频率调整是一种电源管理技术，可根据用例调整频率以节省电力。这种门控技术可进一步分为两种类型，分别为静态频率调整和动态频率调整。

在静态频率调整中，特定块或模块的频率会根据用例降低。在动态频率调整中，可以在特定时间段内控制特定模块的频率，之后可将该频率恢复到之前的状态。

3. 电源门控技术：在集成电路设计中，电源门控可用于关闭流向未使用电路块的电流，进而降低功耗。电源门控技术也可以分为两种类型，分别为静态电源门控和动态电源门控。

在静态电源门控中，可根据用例切断未使用块或存储器中的电流。在动态电源门控中，可以在特定时间段内控制特定模块的电流供应。在该时间段后，可以恢复之前的状态。

6 适用于 AWR2944 器件的基于 SDK 的功耗优化方法

AWR294x 的功耗可以通过一些技术来降低。这些降低功耗的技术可以通过对 MSS 和 DSP 进行适当编程来实现。这些技术专为在连续雷达测量周期或线性调频脉冲传输之间存在显著时间间隔的应用而设计。这些技术包括在适当的高性能和低功耗状态下对器件的数字内核、外设和射频或模拟电路进行静态编程，以及状态之间的动态转换。低功耗状态通常通过关闭偏置电流、电源或元件的时钟输入或显著降低时钟频率来实现。

在雷达传感器运行期间，确定进入低功耗运行的途径非常重要。机会窗口取决于模块以及所执行处理的性质。雷达周期内的机会包括线性调频脉冲间和帧间持续时间。

6.1 典型雷达测量周期

图 6-1 展示了一个运行帧期间的典型雷达应用流程。

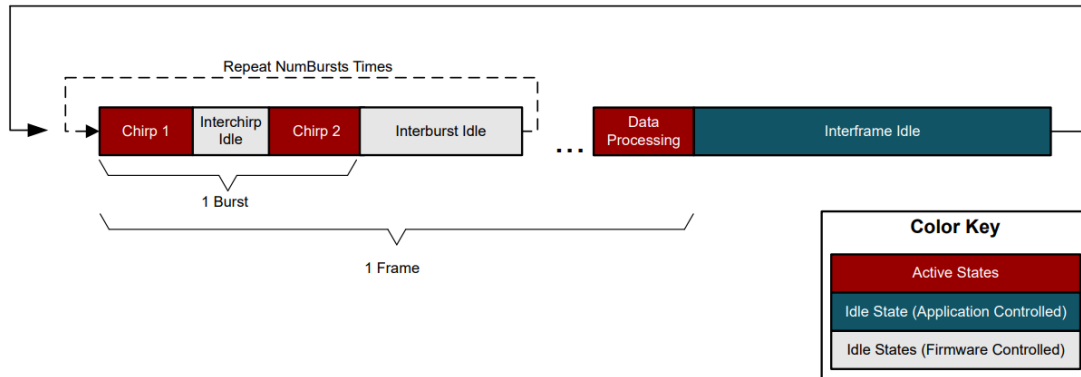


图 6-1. 一帧期间的典型雷达测量周期

一个运行帧期间的不同状态如 表 6-1 所示。

表 6-1. 运行期间的不同状态

状态	说明
线性调频脉冲	一个或多个发送器发射/接收 FMCW 波的时间段。
突发	线性调频脉冲序列。
帧	由一系列突发后跟数据处理组成的时间段。帧在定义的间隔上是周期性的。
线性调频脉冲间空闲	线性调频脉冲之间的时间段
突发间空闲	突发之间的时间段
帧间空闲	从帧结束与下个帧开始之间的时间段
数据处理	器件处理前一帧中收集的雷达数据的时间段

6.2 典型雷达测量周期内的功耗状态

默认情况下，器件在上电时开始引导，根据用户提供的前端配置发出线性调频脉冲，并使所有子系统保持运行（即使这些子系统未使用）。在许多情况下，这种默认行为是可以接受的。然而，对于功耗敏感型应用，可以采取降低采集和帧间周期内的功耗。

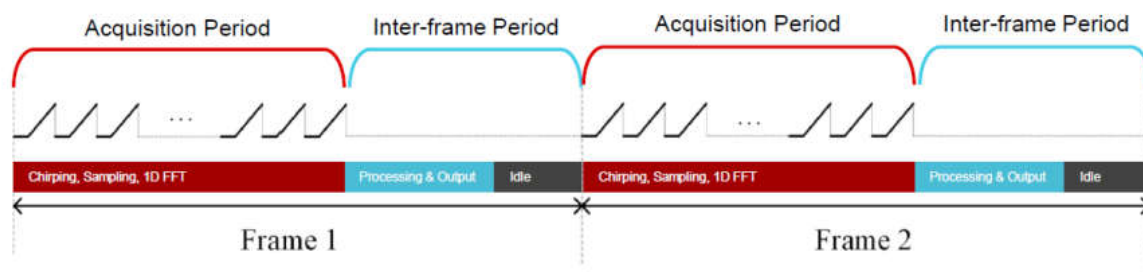


图 6-2. 典型雷达运行期间的功耗状态

功耗优化技术主要可分为两类。

1. 活动模式优化：活动状态是指器件发出线性调频脉冲或处理线性调频脉冲数据时的状态。在此状态下，器件可以处于数据采集子状态（即通过发出线性调频脉冲收集数据时），也可以处于数据处理子状态（即一起处理数据采集子状态中记录的样本时）。在这种情况下，功耗优化技术主要关注采集周期，即传感器发出线性调频脉冲，然后进行采样和 1D-FFT 处理的时间。
2. 空闲模式优化：当器件未主动发出线性调频脉冲或处理数据时，便会进入空闲状态。空闲状态有三种类型（线性调频脉冲间空闲、突发间空闲和帧间空闲）。线性调频脉冲间空闲和突发间空闲状态完全由器件固件处理。当器件在线性调频脉冲和突发之间循环时，器件将自动进入这些状态。相比之下，器件在帧之间进入的帧间空闲状态可以由用户配置和修改。在这种情况下，功耗优化技术主要关注帧间空闲状态。

6.3 毫米波演示中实现的功耗降低技术

要降低雷达器件的功耗，可以进行以下优化：

1. 未使用模块时钟门控：该方法属于静态时钟门控技术。该器件包含数个外设和模块以及数个实例。根据应用的不同，其中部分外设、模块和实例可处于活动状态，而其他的则保持未使用状态。可对未使用外设进行时钟选通，以便节省电力。在 **SDK 功耗测量示例 (mmwave_mcuplus_sdk\demo\awr294x\power_measurement)** 中，以下是已进行时钟选通的未使用外设：
 - a. **MSS** : SPIA、I2C、MII100、MII10CSIRX、OBSCLKOUT、PMICCLKOUT、TRCCLKOUT
 - b. **DSS** : RTIB、SCIA、CBUFF
 - c. **RSS** : CSI2A

[illegible]

图 6-3. 功耗测量演示示例摘要

2. 动态时钟门控：如下所示，可以通过两种方法来实现这种类型的时钟门控：

- 使用 WFI 指令进行时钟门控：处理内核的时钟门控可以通过调用 WFI 指令来完成。适用的内核是 MSS ARM Cortex R5F、HSM ARM Cortex M4F 和 DSS ARM Cortex C66X。支持基于 HW 的逻辑时钟门控，任何中断都会取消逻辑的选通并唤醒内核。
- 显式时钟门控：模块显式时钟门控可以使用控制处理内核来完成。

例如，SDK 功耗测量示例 ((mmwave_mcuplus_sdk\demo\awr294x\power_measurement)) 演示了硬件加速器的动态时钟门控。可借此根据正在执行的参数集对 4 个雷达加速器内核 IP (FFT 数据路径、CFAR、存储器压缩、局部最大值) 进行选通。

该示例还演示了帧处理后 HWA 的时钟门控。到达角帧处理完成后，将对 HWA 进行时钟选通。时钟会在帧起始 ISR 中取消选通。

```
/* Check if DSP Clock Gate option is enabled */
if((gMmwMssMCB.powerMeas.isdspclkgate) && (gMmwMssMCB.powerMeas.dspStateAfterFrameProc == 1))
{
    /* Wait till DSP goes to Power OFF State. */
    while(((volatile uint32_t *)0x06000020 & 0x30) != 0x00)
    {
        ;
    }
    *((volatile uint32_t *)0x06000020) = 0x70; // Gate DSP Clock
}

if((ptrDssRcmRegs->DSP_PD_STATUS & 0x30) == 0x00)
{
    if(gMmwMssMCB.powerMeas.isdspclkgate == MMWDEMO_DSS_CG_ENABLE)
    {
        /* Un-Gate DSP Clock */
        ptrDssRcmRegs->DSS_DSP_CLK_GATE = 0x0;
    }

    /* Restore DSP Clock */
    ptrDssRcmRegs->DSS_DSP_CLK_SRC_SEL = MMWDEMO_DSP_CLK_SRC_DSP_PLL_MUX;
}
```

图 6-4. 功耗测量演示示例摘要

3. 动态频率调整：SDK 中的功耗测量示例 (mmwave_mcuplus_sdk\demo\awr294x\power_measurement) 演示了 DSS 和 RSS/BSS 的动态频率调整。主要目标是在不需要较高频率的特定时间段内降低频率。

- DSS 动态频率调整：在雷达器件中，DSS 子系统主要用于计算。通常，一个测量周期的 DSP 计算会在下一个测量周期的计算开始之前完成。如果 DSP 在整个处理过程中以相同的频率运行，则 DSP 会产生更高的功耗。一种更好的优化方法是在间歇时间内调整频率。

在间歇时间内，DSP 时钟速率可以从正常速率降至 XTAL 频率 (40MHz)，使 DSP 时钟速率保持在活动状态并能响应中断，同时节省功耗。

有两种方法可以降低频率：

- 修改时钟分频器值。
- 将时钟源切换至更低频率。

例如，在 SDK 中的功耗测量示例中，DSP 时钟会在 DSS 加载时间结束后切换到 XTAL 时钟。

- BSS 动态频率调整：对于此类频率调整，TI 固件通过启用 BSS 降频功能来支持动态频率调整。启用功能需要执行以下操作：
 - 首先，需要完成 RSS 时钟和 FRC 时钟源的必要时钟配置。
 - 保留 MSS RTIC 以供 BSS 使用，以维持在各个模式之间切换的节奏。
 - 处理 FRC 和 WDT 功能安全方面的事宜。
 - 这可通过在应用中对帧时序执行逻辑监控来实现。
 - 在取消停止 BSS 内核之前，启用该功能和必要的配置。

例如，在 SDK 中的功耗测量 (mmwave_mcuplus_sdk\demo\awr294x\power_measurement) 中，当内核空闲时，BSS 时钟源会切换到 XTAL (40MHz) 时钟。无法通过 CLI 配置该功能，因为该功能已在 SBL 中启用。请参阅 mcu_plus_sdk_awr294x_<ver>.c 中的 SOC_rcmPopulateBSSControl API，以启用或禁用 BSS 动态时钟功能。将 RSS_CR4_BOOT_INFO_REG5 的第 3 位设置为 1，以启用动态时钟。需要将该位设置为 0 才能禁用该功能。启用动态时钟功能时，BSS 将使用 MSS RTIC。


```
if(timeLapsedMs >= gMmDssMCB.powerMeas.dspTimeToLoad)
{
    /* Check if DSP UC is enabled */
    if(gMmDssMCB.powerMeas.dspClkReduce == MMWDEMO_DSS_UC_ENABLE)
    {
        /* Switch DSP Clock to XTAL */
        ptrDssRcmRegs->DSS_DSP_CLK_SRC_SEL = MMWDEMO_DSP_CLK_SRC_XTAL;
    }
}
```

图 6-5. 功耗测量演示示例摘要

4. 动态电源门控：SDK 中的功耗测量示例 (mmwave_mcuplus_sdk\demo\awr294x\power_measurement) 演示了完成电源门控的不同方法。下面展示了部分示例。
 - a. HWA 模块的动态电源门控：在器件中，有一个用于 HWA 模块的专用电源开关，可以选择关闭 HWA 电源。

与之前介绍的动态降频相比，动态电源门控需要重新配置 HWA 并消耗更多的状态转换时间（多几微秒），但可以节省更多电力。

例如，HWA 会在 AoA 帧处理完成后断电。因此，在下一个帧开始中断之前，HWA 需要上电并重新配置。在提供的示例中，该功能与 DSS Power Gate 配合使用。DSP 会唤醒 HWA，为其上电并进行重新配置。
 - b. DSP 内核的动态电源门控：除了之前介绍的动态降频功能外，还可以使用专用于 DSP 内核的电源开关来关断 DSP 的电源。与之前介绍的动态降频相比，动态电源门控需要更复杂的实现，消耗更长的状态转换时间（多几微秒），但可以节省更多电力。

备注

断电时，L1 存储器的内容不会保留。因此，TI 建议使用 L1 存储器作为高速缓存，并在 DSP 断电之前对已修改缓存行进行写回。L2 存储器的内容会被保留。

例如，SDK 中提供的功耗测量示例演示了 DSP 内核的电源门控。DSS 加载时间结束后，会对 DSP 进行电源选通。DSP 接收到来自 RTIB 计时器的中断后，MSS 就会为 DSS 上电。该计时器根据用户通过 CLI 提供的唤醒时间进行配置。请确保在下一个帧开始之前已为 DSP 上电。

备注

当 DSS 上电时，DSS 会从复位向量开始执行。

备注

DSP 门控问题：

- i. 我们观察到，在 DSP 空闲周期较长 (>8ms) 的典型用例中，DSP 断电相比于动态频率调整更有优势。
- ii. 节省的电力是保存/恢复例程的函数，因为这些例程会使 DSP 处于活动模式。
- iii. TI 建议降低热关断情况下的整体器件功耗。

5. 发送器和接收器：可在线性调频脉冲空闲时间内启用动态节能选项来省电。这是通过关闭各种电路来实现的。例如 TX、RX、LO 分配块。如果线性调频脉冲空闲时间足够，则可在线性调频脉冲之间关闭射频 (RF) 和模拟部分以节省电力。
6. APLL 和 FMCW 合成器：APLL 为 RX ADC 和 FMCW 合成器提供时钟。FMCW 合成器可生成提供给 TX 和 RX 电路的线性调频脉冲波形。这些电路需要在帧中的线性调频脉冲和突发期间开启。在 AWR2944 中，可以在突发间和帧间时间内关闭 APLL 和 FMCW 合成器，以节省电力。
7. RX ADC 低功耗模式：RX ADC 和 IFA 可采用两种模式运行，分别为常规模式和低功耗 ADC 模式，可根据用例进行配置。低功耗模式本身支持较低的采样率。如果用户的 RX 采样率要求较低 (<7.5MHz IF 带宽)，则可启用低功耗模式，通过降低运行时钟频率来节省电力。

8. 射频监视器：这种方法可用于节省监控电力。器件的前端监视器使用 TX 和 RX，通过射频环回相互监控。在基于射频环回的 TX 监视器运行期间使用的 RX 集可与其他监控参数一起进行配置。对于 TX 间不匹配监控器和移相器监控器也是如此。与启用所有 RX 相比，仅启用一个 RX 就足以监视 TX，同时节省电力。

7 评估所需的设备：

评估本文档中所讨论功耗优化技术的硬件和软件要求如下所示。

评估所需硬件：本文档中讨论的所有节能技术均可使用 AWR2944EVM 进行评估。

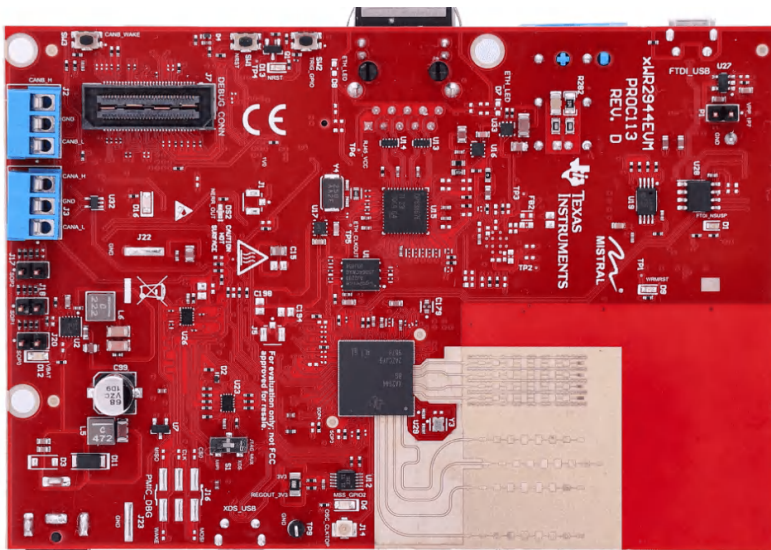


图 7-1. AWR2944EVM

软件要求：器件 SDK 中提供了功耗测量演示：[MMWAVE-MCUPLUS-SDK](#)。这个毫米波演示展示了如何实现功耗降低技术。

8 总结

本文档讨论了节能的关键技术，例如时钟门控、频率调整和电源门控等。实施此技术可带来显著优势，包括提高能效、减少发热、节省成本等。

9 参考资料

- 德州仪器 (TI), [AWR2943/AWR2944 单芯片 76GHz 至 81GHz FMCW 雷达传感器](#), 数据表
- 德州仪器 (TI), [AWR294x 及 AWR2944LC 技术参考手册](#)
- 德州仪器 (TI), [对 TI 雷达器件中的线性调频脉冲参数进行编程](#)应用手册
- 德州仪器 (TI), [AWR2944EVM](#), 网页
- 德州仪器 (TI), [MMWAVE-MCUPLUS-SDK](#), 网页

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司