

## Technical White Paper

# 旨在提高空调和 HVAC 效率的 TI 解决方案



Hely Zhang

### 摘要

年度性能系数 (APF) 和季节能效比 (SEER) 是评估空调和暖通空调 (HVAC) 能效的关键指标，并且相关要求不断提高。本技术白皮书介绍了 TI 的多种解决方案，比如功率因数校正 (PFC)、辅助电源、数字信号处理器 (DSP)、压缩机电机驱动器、风扇电机驱动器、温度和湿度传感器以及毫米波雷达，以帮助空调和 HVAC 满足上述那些不断提高的要求。

### 内容

1 引言.....	1
2 功率因数校正 (PFC).....	2
3 反激式辅助电源.....	2
4 基于 C2000 DSP 的电机控制器和 FAST 观测器.....	3
5 用于高效风扇驱动的 GaN IPM DRV7308.....	4
6 电子膨胀阀 (EEV).....	4
7 具备边缘 AI 功能的 DSP.....	4
8 温度传感器.....	5
9 毫米波雷达.....	5
10 参考资料.....	5

### 插图清单

图 1-1. 空调室外机.....	2
图 4-1. 电机驱动效率比较：FAST 与 eSMO.....	3

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

为了满足现代社会的可持续发展需求，并响应消费者对节能和环保产品日益增强的关注，许多国家和地区实施了一系列政策措施，包括财政支持、优惠税收政策和强制性能效标准，以鼓励企业和个人选择具有更高 APF 和 SEER 评级的空调。

作为卓越的半导体供应商，德州仪器 (TI) 持续关注能效和环境保护，利用先进的半导体帮助空调制造商提高系统层面的能效标准。

图 1-1 展示了一个典型的空调系统，包括室内机和室外机。主要子系统包括 PFC、辅助电源、DSP、压缩机电机驱动器、风扇电机驱动器、温度和湿度传感器以及毫米波雷达。本文档探讨了 TI 针对这些子系统的解决方案。

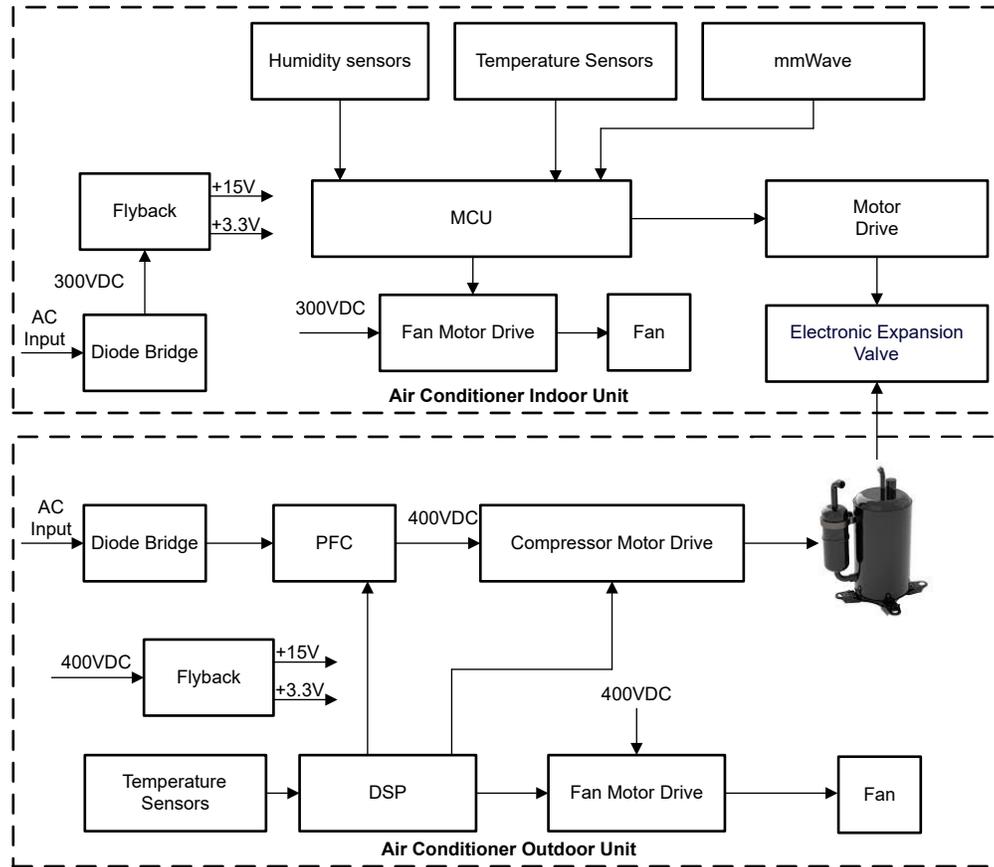


图 1-1. 空调室外机

## 2 功率因数校正 (PFC)

当前主流的 PFC 采用基于电桥的解决方案，将 IGBT 或 MOSFET 用作开关器件。这种方法会导致输入桥式整流器和电源开关产生显著损耗，整体效率仅在 96%-97% 左右。此外，由于开关频率受限，升压电感器的尺寸很大，从而增加了 PFC 的整体体积和重量。

TI 推出了基于第三代半导体 GaN 的图腾柱 PFC 解决方案。此图腾柱 PFC 使用有源开关替代传统二极管电桥并使用 GaN 代替 MOSFET，从而提高了效率，峰值效率超过 99%。

凭借更高的效率和更快的开关频率，图腾柱 PFC 非常适合高功率密度应用。它可以进一步减小升压电感器的尺寸，从而最终提高功率密度。

TIDA-010203 和 TIDA-010236 是基于 GaN 和 C2000 的两种数字图腾柱 PFC 参考设计，分别可实现 99.1% 和 98.6% 的峰值效率。

## 3 反激式辅助电源

以常见家用空调为例，其待机功耗通常在 1W 至 5W 之间。在 24 小时期间，计算得出的每日待机功耗在 0.024kWh 至 0.12kWh 之间。虽然这个数字看似不大，但随着时间的积累，总能耗会相当可观。因此，用户在使用空调时应尽量减少待机功耗。

德州仪器 (TI) 提供了全面的辅助电源产品系列，其中 UCC28730 尤为引人注目。UCC28730 是一款零待机功耗的开关电源芯片，支持低于 5mW 的待机功耗，因此符合节能和环保要求。它采用初级侧调节 (PSR) 技术，无需光耦合器，从而简化了电路设计并降低了成本。此外，它还具有唤醒信号检测功能，能够快速响应大型负载阶跃，并增强系统的响应能力。PMP31248 参考设计展示了 UCC28730 的这些功能。

#### 4 基于 C2000 DSP 的电机控制器和 FAST 观测器

C2000 系列微控制器由德州仪器 (TI) 专为实时控制应用设计，是基于 C28x 的 32 位微控制器。此 MCU 系列具有高性能内核和针对应用优化的外设，因此非常适合电机控制、数字电源、位置传感和汽车雷达等高级处理应用。它们不仅具备高性能内核，还有丰富的集成外设以及增强的安全特性。

磁通、角度、速度和转矩 (FAST) 观测器是德州仪器 (TI) 推出的另一款产品，是专为无传感器磁场定向电机控制而设计的电机控制观测器。它嵌入在系统中，让设计人员能够识别、调试和完全控制任何类型的三相、变速、无传感器、同步或异步电机控制系统。FAST 观测器无需物理传感器，即可准确估算电机的磁通、角度、速度和扭矩，从而实现无传感器控制。通过高级算法和模型，FAST 观测器可提供高精度电机状态估算，从而提高控制精度。

TIDM-02010 是一款适用于 HVAC 和空调且具有数字交错式 PFC 的双电机控制参考设计，展示了单个 DSP 芯片能够同时控制交错式 PFC 和双电机。下图基于 TIDM-02010 设计，比较了 FAST 观测器和 eSMO 观测器之间的效率和速度误差。可以观察到，与 eSMO 相比，FAST 观测器的效率提高了 5% 以上，而在低速时效率更是显著提高了 10%，这对空调尤其重要，因为空调在大部分运行时间都处于低速运行状态。

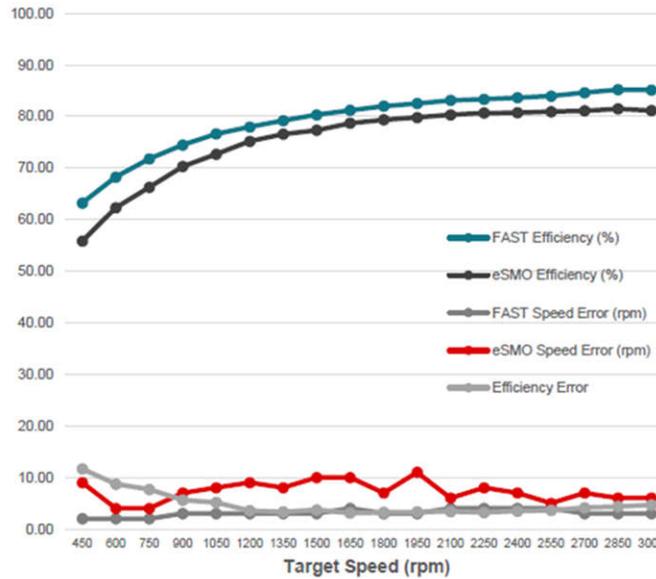


图 4-1. 电机驱动效率比较：FAST 与 eSMO

## 5 用于高效风扇驱动的 GaN IPM DRV7308

**DRV7308** 集成了六个高性能氮化镓 (GaN) 智能电源模块 (IPM)，其效率超过 99%。与传统 IGBT 和 MOSFET 相比，它将功率损耗降低了 50%。这种性能优势不仅可以显著提高电机驱动系统的能效，还可以极大地减少能量损耗。DRV7308 芯片采用独特的 12mm x 12mm 封装设计，是一款出色的超紧凑、高效 IPM，适用于 150W 至 250W 电机驱动应用。由于具有高效率，DRV7308 无需外部散热器。与类似的 IPM 解决方案相比，电机驱动逆变器印刷电路板 (PCB) 的尺寸可以减小 55%，这有助于工程师开发出更高效、更紧凑的空调风扇驱动系统。

**TIDA-010273** 是一种 250W 电机逆变器参考设计，其中展示了 DRV7308 的功能。

## 6 电子膨胀阀 (EEV)

电子膨胀阀 (EEV) 是一种利用电信号来控制制冷剂流量的设备。它通过调节制冷剂流量，实现对制冷系统的精确控制，从而保持系统压力，实现可变温度热交换，并确保空调系统稳定运行和高效冷却。

**DRV8847** 是一款集成式低压双路 H 桥驱动器，专门设计用于驱动电子膨胀阀。它支持 2.7V 至 18V 的宽输入电源电压范围，并具有高输出电流能力：在 25°C 环境温度下，单个 H 桥可以驱动 1A RMS 的负载，并且在并行模式下可以驱动高达 2A RMS 的负载（在适当的散热条件下）。因此，DRV8847 能够驱动具有更高功率要求的电机或负载。该器件可以通过简单的 PWM 接口与控制器轻松集成，有助于实现精确的电机控制。此外，该器件还提供了低功耗睡眠模式，在 VVM=12V 和 TA=25°C 时，睡眠模式下只消耗 1.7μA 的电源电流，这有助于减少无负载条件下的能耗。内置的保护功能可确保电机可靠运行并提供故障状态指示，方便用户及时发现和处理故障。

## 7 具备边缘 AI 功能的 DSP

人工智能 (AI) 在空调行业的应用越来越广泛，涉及远程控制、智能学习和场景适应等功能。从节能减碳的角度来说，AI 从多个方面扮演着至关重要的角色。它支持预测性维护，可显著延长空调的使用寿命并更大限度地减少故障导致的能源浪费。此外，AI 算法还可以通过分析历史数据来优化运行参数，从而提高空调的能效比 (EER) 并帮助用户减少电费。同时，通过实时监控和预测系统状态，AI 会自动调整冷却塔、冷却泵、制冷机和其他设备的运行参数，从而更大限度地降低整个系统的能耗。相关数据显示，采用 AI 技术可以使中央空调系统节能 15%-25%。

**TMS320F28P550SJ** 处理器尽管广泛用于实时控制应用，尤其是工业自动化、电力电子和汽车电子产品，但凭借其强大的处理能力和专用功能，它也可在某些与 AI 相关的场景中发挥重要作用，尤其是在嵌入式系统和边缘计算中。它可以通过以下方式参与 AI 应用：

- **嵌入式 AI 推理**

在需要极高实时性能的嵌入式系统（例如自动驾驶车辆中的传感器融合或工业机器人的实时路径规划）中，TMS320F28P550SJ 可以执行轻量级的 AI 推理任务。这些任务可能涉及简化的训练模型，从而实现边缘快速决策。

借助其内置的控制律加速器 (CLA) 和可能的神经网络处理单元 (NNPU)，TMS320F28P550SJ 能够加速某些类型的神经网络计算。

## • 数据预处理和后处理

在 AI 系统的数据管道中，TMS320F28P550SJ 可以管理数据采集、预处理和后处理。例如，在机器视觉应用中，它可以处理来自摄像头的原始图像数据，执行图像滤波、边缘检测等预处理操作，然后将优化后的数据传递到更强大的 AI 处理器以进行更深入的分析。

## • 实时控制和系统集成

实时控制是许多 AI 应用中不可或缺的部分。TMS320F28P550SJ 与 AI 处理器协作执行实时控制任务，例如电机控制和运动控制。此外，它还将 AI 处理器的决策结果转换为具体的控制命令，从而确保对物理环境进行精准操作。

## 8 温度传感器

响应快速的准确温度测量可帮助空调系统实现更高的能效。TI 的 **TMP61** 是一款正温度系数 (PTC) 线性热敏电阻，可在整个温度范围内提供高线性度和一致的灵敏度。与基于金属和金属氧化物的 NTC 不同，TMP61 PTC 由硅制成，使其电阻与温度呈线性关系，同时具备更快的响应时间。在空调系统中，使用单个型号的 TMP61 硅基 PTC 温度传感器可以在不同位置实现高分辨率的温度检测，同时简化材料管理。有关 TMP61 的更多信息，请参阅 [TMP61 线性热敏电阻在空调系统中的优势](#)。

## 9 毫米波雷达

毫米波雷达能够准确感知房间内人员的存在和状态，从而智能调节空调的制冷/加热能力和风量。这种智能调节方式不仅提高了空调系统的舒适度，还有效降低了能耗，从而实现了节能降耗的目标。

值得一提的是，毫米波雷达通过发射和接收电磁波来感知目标，消除了对图像或声音信息的需求，因此几乎没有隐私泄露的风险。在当今用户对隐私保护愈加重视的背景下，毫米波雷达的这一优势无疑为其在空调等智能家居产品中的应用提供了有力支持。

**IWRL6432** 毫米波传感器器件是一款基于 FMCW 雷达技术的集成式单芯片毫米波传感器。该器件能够在 57GHz 至 63.9GHz 频段内运行，主要分为四个电源域：射频/模拟子系统、前端控制器子系统 (FECSS)、应用子系统 (APPSS) 和硬件加速器 (HWA)。IWRL6432 经过专门设计，可对上述每个电源域进行单独控制，因此可根据用例要求控制其状态 ( 上电或断电 )。该器件还具有运行各种低功耗状态 ( 如睡眠和深度睡眠 ) 的功能，其中低功耗睡眠模式是通过时钟门控和关闭器件的内部 IP 块来实现的。该器件还提供了保留器件某些内容的选项，例如在此类情况下保留的应用图像或射频配置文件。有关 IWRL6432 的详细信息，请参阅 [利用 TI 毫米波雷达传感器让智能家用电器实现智能化和高效](#)。

## 10 参考资料

- [TIDA-010203 采用 C2000 和 GaN 的 4kW 单相图腾柱 PFC 参考设计](#)
- [TIDA-010236 适用于电器的 4kW GaN 图腾柱 PFC 参考设计](#)
- [PMP31248 230V 交流输入 12V 初级侧调节反激式参考设计](#)
- [DRV7308 650V、205mΩ 三相集成式 GaN 智能电源模块 \(IPM\)](#)
- [TIDA-010273 250W 电机逆变器参考设计](#)
- [DRV8847 18V、2A 双路 H 桥电机驱动器](#)
- [TMS320F28P550 具有 1 个 C28x + 1 个 CLA、1.1MB 闪存、5 个 ADC、CLB、AES 和 NNPU 的 150MHz C2000™ 32 位 MCU](#)
- [TMP61 采用 0402、0603/0805 和穿孔封装的 1%、10kΩ 线性热敏电阻](#)
- [IWRL6432 单芯片低功耗 57GHz 至 64GHz 工业毫米波雷达传感器](#)
- [利用 TI 毫米波雷达传感器让智能家用电器实现智能化和高效](#)
- [TMP61 线性热敏电阻在空调系统中的优势](#)

## 重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司