

Application Note

控制器到转换器 - 24V 和 48V 系统的设计注意事项



Armando Lopez, Rahil Ajani

摘要

本应用手册对德州仪器 (TI) 最适用于 24V、36V 和 48V 系统的开关降压控制器和降压转换器进行了概括性比较。这些高电压轨通常需要更宽的输入电压器件，以提供安全电压裕度并处理高达 65V 或 80V 的电压瞬变。本报告讨论了更高电流应用中降压控制器和降压转换器设计的考虑因素和权衡，强调了每款器件的价值主张，并对电气性能、PCB 设计尺寸和设计注意事项进行了并排比较。德州仪器 (TI) 的新款 80V 8A 降压转换器 [LM70880-Q1](#) 可用作与类似高压控制器 [LM5148-Q1](#)、[LM5149-Q1](#) 和 [LM5146-Q1](#) 的比较示例。

内容

1 引言.....	2
2 效率和散热注意事项.....	3
3 设计尺寸比较.....	4
4 EMI 和 EMI 滤波器比较.....	5
5 使用控制器和转换器时的其他设计注意事项.....	7
5.1 功率 MOSFET 选型.....	7
5.2 功能集.....	7
5.3 高压转换的最短导通时间.....	7
5.4 功率电感器注意事项.....	7
6 总结.....	8
7 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在以下市场中，使用更高电压电源轨和输入是日益增长的趋势：

- 48V 汽车系统 - 混合动力汽车 (HEV) 和车载充电
- 48V 企业和通信 - 数据中心和远程无线电单元
- 工业中的 24V 电源轨 - 工厂自动化、机器人和楼宇自动化

在这些应用中，大电压瞬变是一个常见挑战，需要一些 24V 电压轨应用，才能使用额定电压为 65V 的器件。同样，48V 汽车系统需要处理 65V 至 80V 范围内的冷启动电压瞬变。通常，对于宽输入电压、高输出电流设计，具有外部 MOSFET 的降压控制器是一种标准选择。

借助 IC 设计、封装和制造方面的新创新，功率密度高、电流大、电压高的转换器得以问世。这些器件还具有多相能力，能够达到通常只有控制器解决方案才能达到的输出电流。与传统控制器设计相比，基于转换器的设计具有许多优势，但也有一些需要权衡的地方，本报告将重点介绍这些方面。下面是每种器件的价值主张的简要要点列表，表 1-1 对此进行了汇总。

降压控制器设计采用的 PWM 控制器 IC 可控制外部 MOSFET。这些设计需要良好且仔细的布局设计，以更大幅度地减少控制器 IC、MOSFET 和重要无源器件（例如输入和输出电容器与电感器）之间产生的大型寄生环路。降压控制器设计具有出色的设计注意事项，可提供以下价值主张：

- 提高设计灵活性并对设计规格进行优化
- 针对效率和热性能进行更多元件优化
- 可实现超低的物料清单 (BoM) 成本

降压转换器具有采用一个或多个集成式功率 FET 的控制器。使用转换器可以大大减轻控制器设计所面临的一些设计挑战。例如，通过集成 FET，关键寄生环路被降至最低，从而降低设计中的 EMI，使设计更容易通过严格的 EMI 要求。降压转换器设计提供以下价值主张：

- 元件集成可简化元件采购，降低客户 BoM 并实现更小的设计尺寸
- 通过减少功率级设计时间，极大地缩短产品上市时间并降低成本
- 寄生环路最小化可降低 EMI 辐射，从而实现尺寸更小、成本更低的 EMI 滤波器

表 1-1. 控制器和转换器亮点总结

	控制器	转换器
设计难度	中等难度 (更多元件选择和更多布局设计注意事项)	简单
设计尺寸	中 (需要 2 个大型外部 FET)	小
EMI	中 (大型寄生环路)	低
设计灵活性	更多 (元件优化)	较少
总 BoM 成本	\$\$\$-\$	\$\$-\$
热性能	可进行优化以实现更好的性能	好

2 效率和散热注意事项

控制器是适用于高电流和高环境温度应用的标准设计，因为它们能够使用低电阻 MOSFET，并且具有更大的 PCB 表面积来散热。转换器的灵活性虽然较差，但可以通过大型热 DAP (裸片外接焊盘)、集成式低电阻 FET 和良好 IC 设计的组合实现类似的热性能，如下图所示。

效率曲线和热数据通过每个器件的相应 EVM 生成。LM5148-Q1 使用与 LM5149-Q1 相同的 EVM (名为 LM5149-Q1EVM-400)，并具有相同的效率和热性能。对 LM70880EVM 进行了调整，以使用与 LM5149-Q1EVM-400 相同的 6.8 μ H 电感器。两个器件均在类似条件下进行测试，LM5149 EVM 使用 RDSon 值为 19.5m Ω 和 8.8m Ω 的 MOSFET。

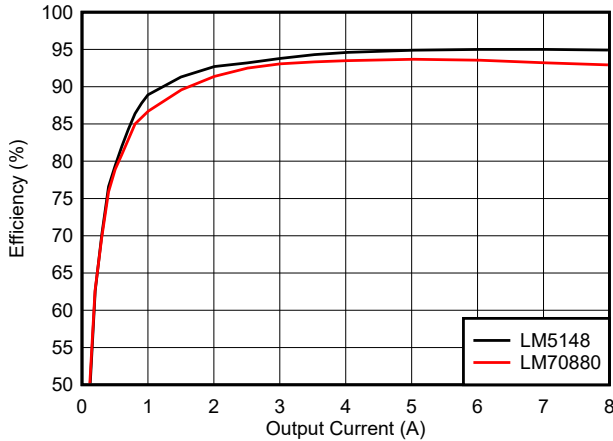


图 2-1. 控制器与转换器效率比较 (VIN = 24V ; VOUT = 5V) 0A 至 8A

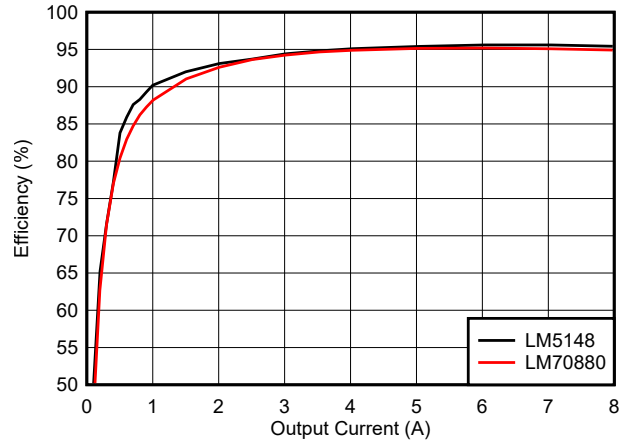


图 2-2. 控制器与转换器效率比较 (VIN = 48V ; VOUT = 12V) 0A 至 8A

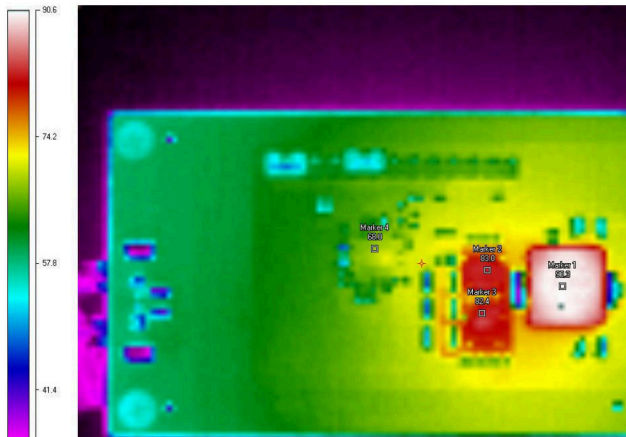


图 2-3. 控制器热性能 (VIN = 48V ; VOUT = 12V 8A)

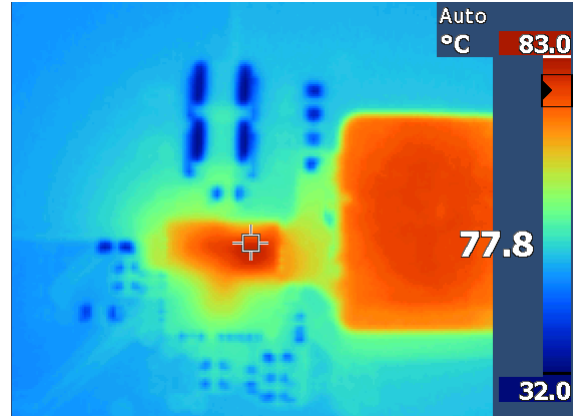


图 2-4. 转换器热性能 (VIN = 48V ; VOUT = 12V 8A)

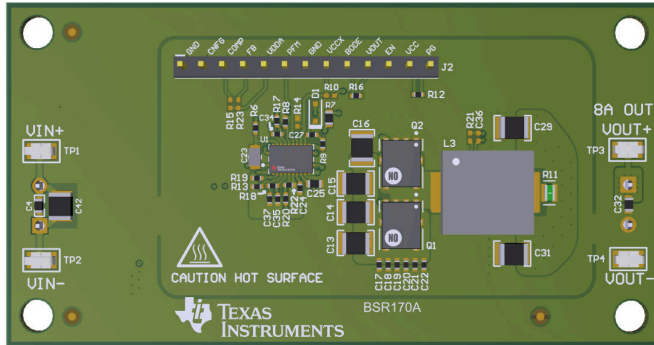
转换器设计具有简化性能表征的额外优势。控制器设计需要更严格的仿真、计算和设计试验。控制器设计必须考虑每个控制器 IC 和为设计选择的每个 MOSFET 的不同规格和性能。

如前所述，控制器设计可提供更高的灵活性，例如 MOSFET 优化。具有较低电阻规格 MOSFET 可以实现更高的效率和更好的热性能，但代价是成本增加。外部 MOSFET 有时还具有高达 175°C 的更宽工作温度，而转换器额定温度高达 150°C。

越来越多的应用设计需要更高的电压转换和更高的输出功率。热性能在这些设计中可能是一个常见的挑战，必须通过各种设计进行管理。基于控制器和转换器的设计都需要良好的布局和散热技术，才能在高环境温度下正常工作。

3 设计尺寸比较

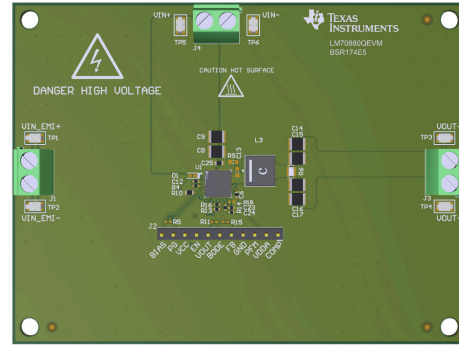
外部 FET 可在控制器设计中节省大量空间，尤其是因为每个 FET 都需要自己的封装。80V MOSFET 的尺寸通常为 5mm x 6mm，某些 60V MOSFET 的尺寸可以为 3mm x 3mm。仅 MOSFET 就可能占控制器总设计尺寸的 20% 以上。转换器可实现紧凑的功率密度设计，如图 3-1 和图 3-2 中的两个 EVM 所示



备注

设计尺寸约为 720mm²

图 3-1. 控制器 EVM 设计尺寸 (LM5149-Q1)



备注

设计尺寸约为 540mm²

图 3-2. 转换器 EVM 设计尺寸 (LM70880-Q1)

通过节省功率级空间，可以直接节省 PCB 成本或增加可用于其他关键元件的空间。单单这一点就可以证明转换器设计在效率或 BoM 成本方面的折衷是值得的。

4 EMI 和 EMI 滤波器比较

功率级设计需要特别注意细节，以避免噪声敏感电路上出现不安全的电磁干扰，尤其是在具有 CISPR 32 和 CISPR 25 等 EMI 要求的应用中。虽然较新的控制器设计具有降低 EMI 的特性，例如 LM5149-Q1 中的 **双随机展频 (DRSS)** 和 **有源 EMI 滤波 (AEF)**，但电源设计的布局对于 EMI 性能至关重要。在控制器、FET、输入和输出电容器等关键元件之间形成高寄生环路（如图 4-1 所示），通过良好布局尽量减少这些环路可提高 EMI 性能。请参阅 [通过优化的功率级布局免费提升高电流直流/直流稳压器的 EMI 性能](#) 应用手册。

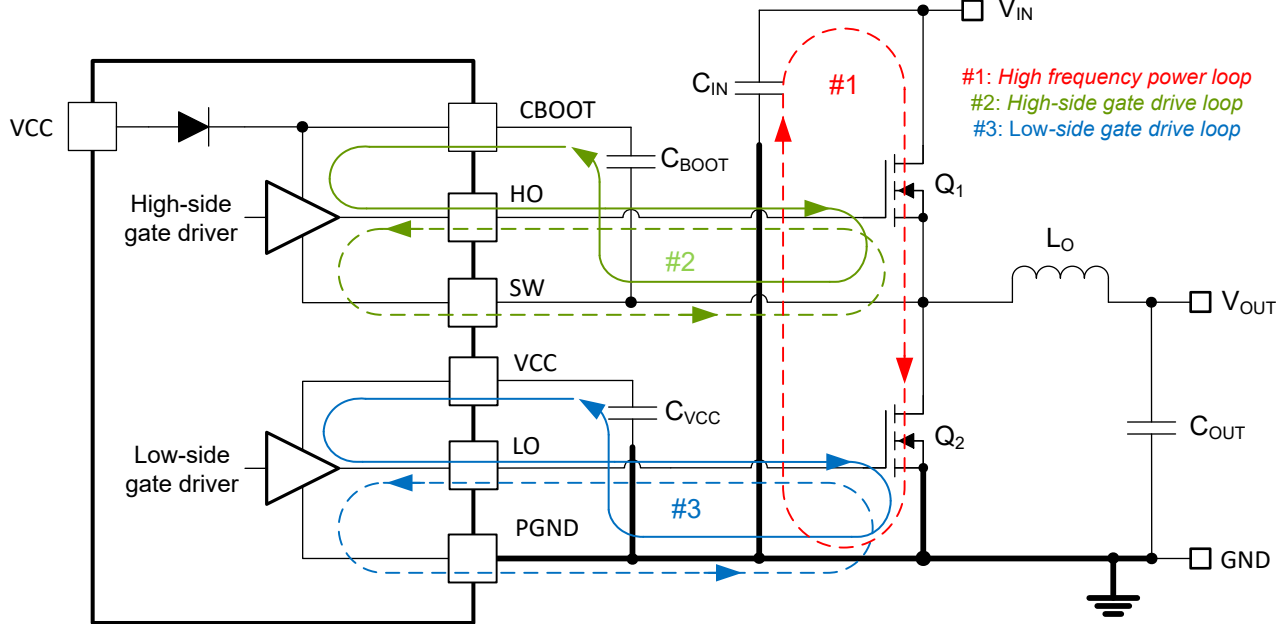
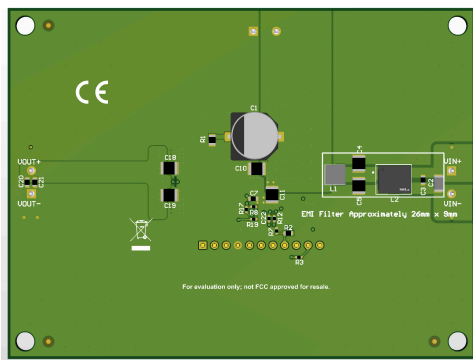


图 4-1. 控制器设计中形成的寄生环路

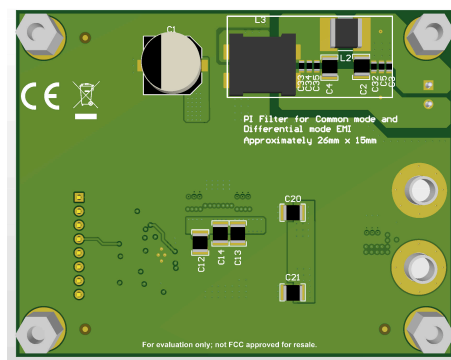
转换器设计会尽可能减少控制器和 FET 之间的寄生环路。仅此因素对控制器和转换器设计之间的 EMI 性能有很大影响，可在每个设计所需的 EMI 滤波器中看到。图 4-2 展示了使用带 DRSS 的转换器设计通过 CISPR25 5 类（面向汽车应用的严格 EMI 规范）测试所需的 EMI 滤波器。图 4-3 和图 4-4 展示了不具有降低 EMI 的特性，无法满足相同 EMI 规范的控制器设计所需的更大滤波器和屏蔽。



备注

图中突出显示了 EMI 滤波器，大小约为 230mm²

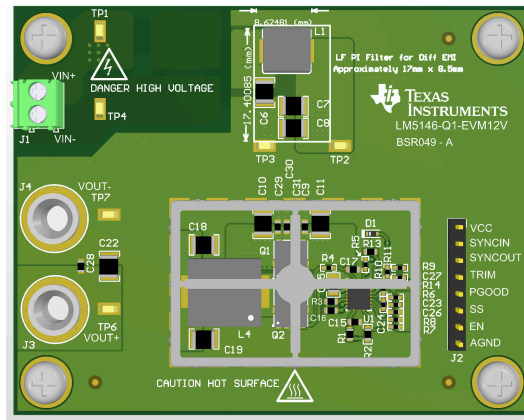
图 4-2. LM70880-Q1 EVM EMI 滤波器



备注

图中突出显示了 EMI 滤波器的一部分，其值约为 390mm²

图 4-3. LM5146-Q1 EVM 前端 EMI 滤波器



备注

图中突出显示了 EMI 滤波器的一部分，其值约为 145mm²

图 4-4. LM5146-Q1 EVM 后端 EMI 滤波器

EMI 滤波器会对设计尺寸和总成本产生很大影响，但确定这一点颇具挑战性。有时，设计人员需要完成其初始设计和布局，然后才能测试其电路的 EMI 性能并确定他们系统所需的 EMI 裕度。这可能与向滤波器添加更多无源器件（例如输入电容器、铁氧体磁珠）一样简单，或者使用更大的滤波电感器，但可能还需要额外的设计时间来优化电路布局。转换器设计可能需要更少的设计工作和 EMI 滤波器元件，以符合 EMI 标准，从而节省时间、成本和减小设计尺寸。

5 使用控制器和转换器时的其他设计注意事项

5.1 功率 MOSFET 选型

虽然控制器设计拥有设计灵活性，但这通常也意味着更高的设计复杂性，其中一个方面是 MOSFET 选择。MOSFET 的选择对控制器设计的性能有重大影响，并且必须考虑各种规格，包括：

- MOSFET 导通状态电阻或 RDS(on)，此规格决定功率损耗和热性能
- 寄生电容，此规格可缩短转换时间并降低开关损耗
- 栅极驱动器电压，控制器 IC 的额定值各不相同，并确定是否可以使用逻辑和/或标准 MOSFET

选择合适的功率 MOSFET 需要花费大量的时间和设计精力。表 5-1 是数据表中显示的典型表，其中概述了在为控制器设计选择 MOSFET 时必须考虑的所有功率损耗。转换器会跳过此设计流程，并能更好地表征其性能。

表 5-1. MOSFET 功率损耗

功率损耗模式	高侧 MOSFET	低侧 MOSFET
MOSFET 导通	$P_{\text{cond1}} = D \cdot \left(I_{\text{OUT}}^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right) \cdot R_{\text{DS(on)1}}$	$P_{\text{cond2}} = D' \cdot \left(I_{\text{OUT}}^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right) \cdot R_{\text{DS(on)2}}$
MOSFET 开关	$P_{\text{sw1}} = \frac{V_{\text{IN}} \cdot F_{\text{SW}}}{2} \cdot \left[\left(I_{\text{OUT}} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \cdot t_{\text{r}} + \left(I_{\text{OUT}} + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \cdot t_{\text{f}} \right]$	可忽略
MOSFET 栅极驱动	$P_{\text{Gate1}} = V_{\text{CC}} \cdot F_{\text{SW}} \cdot Q_{\text{G1}}$	$P_{\text{Gate2}} = V_{\text{CC}} \cdot F_{\text{SW}} \cdot Q_{\text{G2}}$
MOSFET 输出电荷	$P_{\text{Coss}} = F_{\text{SW}} \cdot (V_{\text{IN}} \cdot Q_{\text{oss2}} + E_{\text{oss1}} - E_{\text{oss2}})$	可忽略
体二极管导通	不适用	$P_{\text{condD}} = V_{\text{F}} \cdot F_{\text{SW}} \cdot \left[\left(I_{\text{OUT}} + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \cdot t_{\text{dt1}} + \left(I_{\text{OUT}} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \cdot t_{\text{dt2}} \right]$
体二极管反向恢复	$P_{\text{RR}} = V_{\text{IN}} \cdot F_{\text{SW}} \cdot Q_{\text{RR2}}$	

5.2 功能集

控制器可提供许多转换器设计中没有的特性。这些特性提供了多功能性和更高的易用性，例如：

- 可调电流限制，只需对 BoM 进行极少的调整，即可在各种设计和负载中使用一个器件。
- 内部或外部补偿。虽然内部补偿更有利于简化设计，但当客户希望优化其设计以实现负载变化性能和稳定性或尽可能降低所需的输出电容时，也可以考虑采用外部补偿。
- 固定的输出电压设置，降低了 3.3V、5V 和 12V 等常见输出的 BoM

某些转换器（如 LM70880-Q1）包含这些类似控制器的特性，为各种应用提供了更大的通用性。

5.3 高压转换的最短导通时间

在选择高电压转换设计的器件时，需要考虑的一项重要规格是最短导通时间 (Ton min)。高压控制器通常具有低 Ton min，从而支持 48Vin 至 5Vout、3.3Vout 或更低的设计。

对于需要恒定频率开关以避免干扰系统中其他频段的设计，低 Ton min 也很重要。当电压转换超过特定开关频率下的最小导通时间规格时，会发生频率折返。对于处理电压瞬变的系统而言，尤其需要考虑这一点。LM5148-Q1 的最短导通时间约为 50ns，LM70880-Q1 融合了全新的 IC 创新技术，可提供 25ns 的超低最小导通时间，以应对各种高压转换系统挑战。

5.4 功率电感器注意事项

一种良好的电源设计实践是使用饱和电流额定值高于稳压器最大高侧电流限制规格的输出电感器，这可确保即使在输出端软短路条件下电感器也不会饱和。

例如，一些额定电压为 65V 8A 的转换器具有大于 17A 的最大电流限制，而对于 8A 连续输出设计，控制器可以具有大约 12A 的最大电流限制。较高的电流限制会限制电感器选择，并且可能需要略大或更高的电感器，而不是

可与具有较严格电流限制的器件配套使用的电感器。LM70880-Q1 也具有严格的电流限制，从而可以降低电感器的成本或缩小电感器的尺寸。

6 总结

本应用手册概述了控制器和转换器设计之间的权衡。全新的 65V 和 80V 转换器集成了封装、FET 技术、IC 设计和制造方面的创新。这些新型转换器为电源设计人员提供了一种新的工具传送带选项，可实现更小、更低的 EMI 和易于设计的功率级，这些功率级可扩展至以往只有控制器能够触及的输出电流。然而，凭借设计灵活性和优化，控制器不会很快消失。与所有重大挑战一样，通常需要权衡多种设计。

表 6-1 中的直流/直流转换器和控制器非常适合各种应用中的 24V 系统和 48V 系统。如需进一步减小设计尺寸、提高易用性和降低 EMI，可能需要使用集成电感器模块，例如 TPSM365R6 和 TPSM5601R5H。

表 6-1. 推荐用于高压系统的降压转换器

器件	输出电流 (A)	输入电压 (V)	封装	备注
LM5146-Q1	外部 FET	5.5-100	4.5mm x 3.5mm QFN	
LM5137-Q1	外部 FET	4-80	6mm x 6mm QFN	双路输出
LM5190-Q1	外部 FET	5-80	4.5mm x 3.5mm QFN	集成 CC/CV
LM5149-Q1	外部 FET	3.5-80	5.5mm x 3.5mm QFN	单输出、集成 AEF
LM5143A-Q1	外部 FET	3.5-65	6mm x 6mm QFN	双路输出
LM70880-Q1	8	4.5-80	6mm x 6mm QFN	
LM706A0-Q1	10	4.5-65	6mm x 6mm QFN	
LM70660	6	4.5-65	6mm x 6mm QFN	
LM65645-Q1	4.5	3-65	2.6mm x 3.6mm WQFN	超低 EMI、超低 IQ
LMR51635	3.5	4.3-60	2.9mm x 2.8mm SOT-23	Simple Switcher、低 Iq
LM5013-Q1	3.5	6-100	4.9mm x 6mm HSOIC	非同步、低 Iq
LMR38025-Q1	2.5	4.2-80	3mm x 3mm WSON	Simple Switcher、低 EMI
LMR38020-Q1	2	4.2-80	4.9mm x 6mm HSOIC	Simple Switcher、低 EMI
LMR36520	2	4.2-65	4.9mm x 6mm HSOIC	Simple Switcher、低 Iq
LMR36015-Q1	1.5	4.2-60	2mm x 3mm QFN	低 EMI、低 IQ
LMR51610-Q1	1	4.5-65	2.9mm x 2.8mm SOT-23	Simple Switcher、低 Iq
LM5164-Q1	1	6-100	4.9mm x 6mm HSOIC	低 Iq
LM5169-Q1	0.65	6-120	4.9mm x 6mm HSOIC	低 Iq
LMR36506-Q1	0.6	3-65	2mm x 2mm QFN	超低 Iq、超低 EMI
LMR36503E-Q1	0.3	3V-65V	2mm x 2mm QFN	超低 Iq、超低 EMI、工作温度
LMR36502	0.15	3V-65V	2mm x 2mm QFN	超低 Iq、超低 EMI
LMR36500	.05	3V-65V	2mm x 2mm QFN	超低 Iq、超低 EMI

7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [LM5148-Q1 具有超低 IQ 的汽车级 80V 同步降压直流/直流控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [LM70880-Q1 汽车级、高密度、4.5V 至 80V 输入、8A、低 EMI 同步直流/直流降压转换器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [减少传导 EMI 的方式比您想象的要多](#) 博客。
- 德州仪器 (TI), [汽车 EMI 降低技术、应用和解决方案](#) 培训视频。
- 德州仪器 (TI), [直流/直流转换器中 EMI 和噪声消减认知](#) 培训视频。
- 德州仪器 (TI), [轻松抑制直流/直流转换器的传导 EMI](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [降低汽车降压转换器应用中的传导 EMI](#) 应用手册。

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