

# 采用 48V 汽车系统的低噪声电气化

作者:Marshall Beck

应用工程师

## 简介

现代排放标准正在推动汽车朝着高效节能的方向发展。汽车制造商可以通过使汽车功能电气化来实现节能环保的目的,但是为了卜星相系统效率以及成本,往往需要通过修改12V汽车系统以支持更大的功率需求。

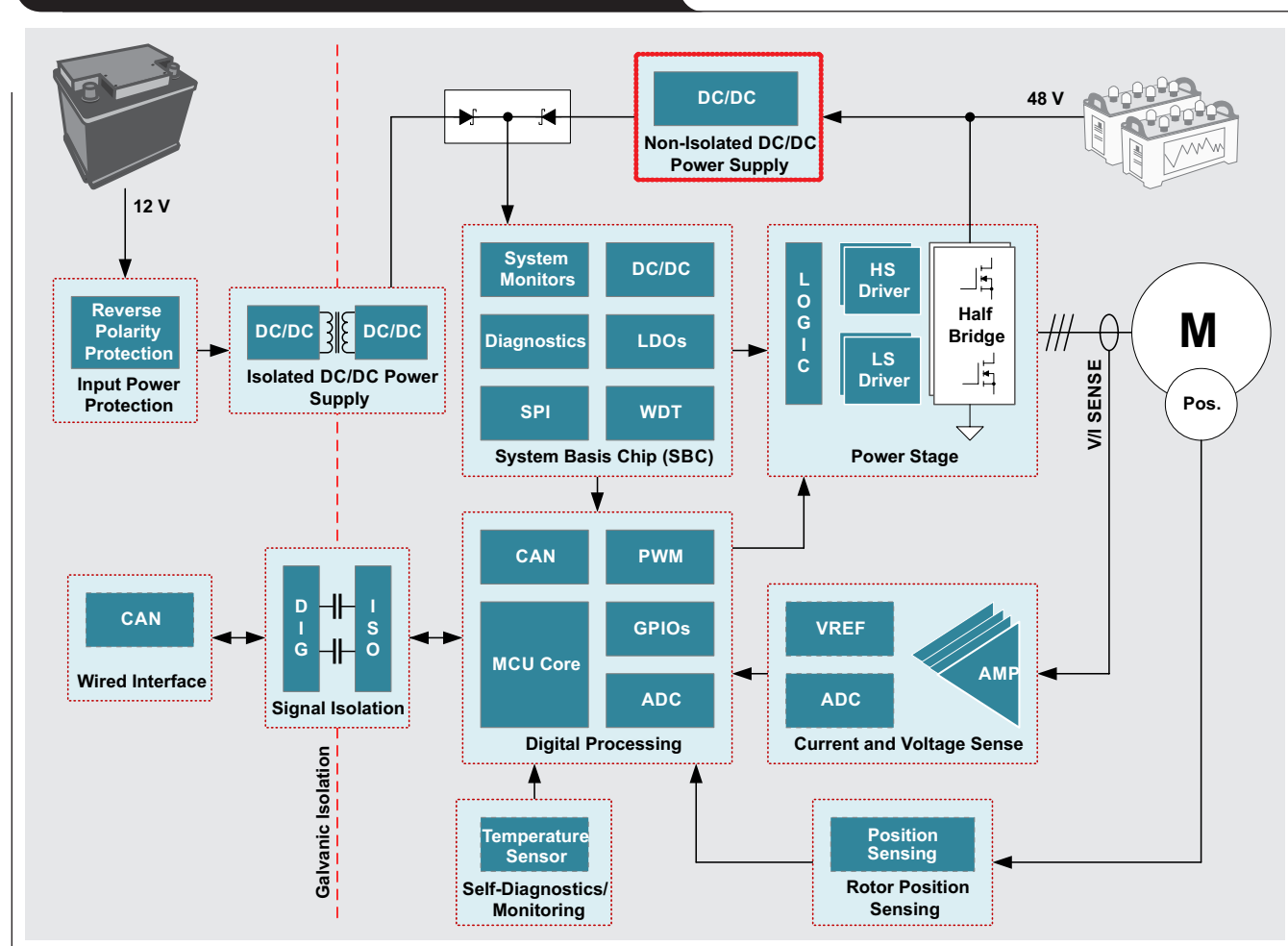
汽车制造商正在通过双电源电气平台制造更环保的汽车,轻度混合动力汽车(mHEV)中就采用了该方法。mHEV将12V电池(为了与当前系统兼容)与48V锂离子动力电池组结合使用,以便运行起动机发电机之类的大功率负载(请参阅图1)。传统的集成式起动机发电机(ISG)皮带和汽车动力总成之间的动力传递效率低

下,因此能够提供的功率不足15kW。ISG的更新版本可实现更高的效率,其并行(P2/P3/P4)架构可提供高达20kW的功率,从而将产生的二氧化碳减少约15%。<sup>[1]</sup>

人们对mHEV中起动机发电机功率的需求不断增长,这使设计人员转向48V电池。

P2/P3/P4起动机发电机可提供更大的功率来驱动辅助部件。由48V电压供电的起动机发电机可提供更高的输出功率,同时减小电流输出。更低的电流需求使4km线束能够采用更薄的导线厚度<sup>[2]</sup>,从而显著减轻重量,提高汽车效率并降低系统成本。

图 1.mHEV 起动机发电机的示例方框图<sup>[3]</sup>



除了驱动动力总成之外,48V 电池还可充当 12V 电压供电部件的备用电源,直流/直流稳压器可通过 48V 电池生成冗余的 12V 电源。鉴于降压型稳压器的简单性,它们可以为 MOSFET 栅极驱动器提供简单的偏置电源。1A 降压转换器可满足偏置电源的 500mA 负载要求 LM5164-Q1 可以满足国际标准组织 (ISO) 21780 中规定的典型值 70V 的瞬态要求。

考虑降压稳压器的电磁干扰 (EMI) 性能也很重要,因为 48V 子系统要通过国际无线电干扰特别委员会 (CISPR) 25 5 类合规性测试。

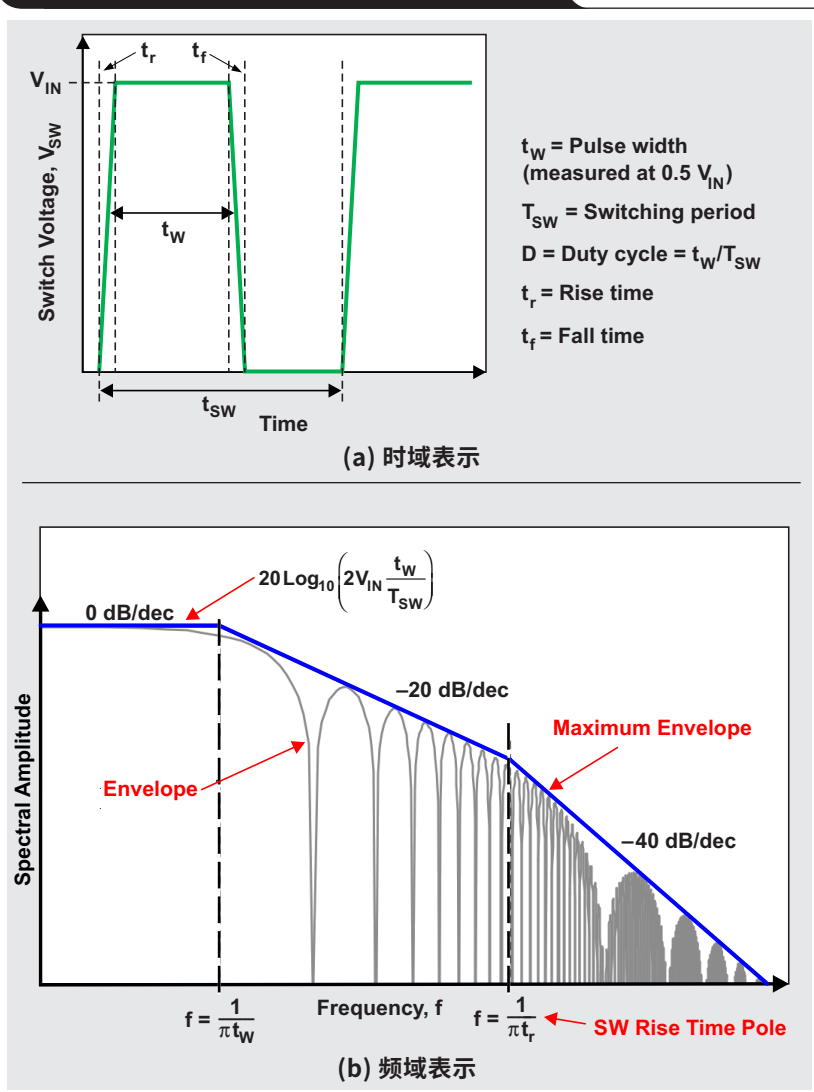
### 双电池 12V 和 48V 系统的 EMI 问题

对于 12V 和 48V 降压稳压器而言,缓解 EMI 的一般原理是相同的。稳压器的不连续输入电流和开关节点电压波形会产生 EMI,而降压转换器会因输入滤波器或布局设计不当而导致电磁兼容性 (EMC) 合规故障。幸运的是,由于在 48V 时具有相同的输出功率能力,而更低的负载电流降低了传导(差分)发射,因此,作为 EMI 的第二主要来源的开关波形就引起了人们的极大关注。更大的开关波形振幅导致更大的 EMI。

如图 2a 所示,稳压器的开关波形是梯形波形,其幅度等于输入电压的幅度。为简化起见,假设边沿速率相等,此波形的傅里叶系数的振幅直接与其幅度相关。频谱包络的上限(直流)从  $V_{IN} = 12V$  变为  $V_{IN} = 48V$  与 12dB 的增长相对应,如图 2b 所示。

开关节点电压波形振幅的增加导致在更高频率下存在更多的能量,此时 CISPR 25 5 类限制也变得更加严格。当开关波形上具有更快的边沿速率时,这种高频能量将成为更大的问题。更快的边沿速率有助于降低稳压器设计中的开关损耗,但要以增大噪声为代价,图 2b 中“SW 上升时间极点”的位置说明了这种思想。在该极点位置,梯形波形的频谱包络以  $-40dB/十倍$  的速度下降。较高的 SW 上升时间极点或更快的上升速度会导致开关波形上的高频能量含量更高。

图 2. 开关电压波形的时域和频域表示



别忘了,开关节点会辐射噪声。较大的铜区域(包括电感器)会增加该噪声的产生,尤其是在输入电压为 48V 时。在稳压器的 30MHz 至 108MHz 传导发射 EMI 扫描中可以明显地看到这种噪声的增加。图 3 比较了 24V 和 48V 输入时的 EMI 性能。

理想情况下,电感器纹波电流应为负载电流的 30% 至 40%,从而确保实现低磁芯损耗和输出纹波。公式 1 用于计算电感器纹波:

$$\Delta I_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times D}{f_s \times L} \quad (1)$$

较高的输入与输出电压差要求较高的电感,这意味着需要具有较大封装的电感器。例如,对于 500mA 的偏置电源,电感器纹波应限制在 150mA。因此,12V 至 5V 的 400kHz 转换器需要 47 $\mu$ H 的电感器。相比之下,48V 至 12V 的转换需要 150 $\mu$ H 的电感器。确保相似的额定功率需要使用大得多的电感器,这会导致产生的噪声显著增大。

48V 至 12V 的转换需要较低的开关频率(AM 以下频段,例如 400kHz),从而保持高于最低导通时间要求。稳压器的最低导通时间要求是一项集成电路(IC)规格,通常用于说明稳压器正确感应电感器电流所需的时间。较低的开关频率还需要较大的输出滤波器。相对电感和电容将增加,以便确保稳定性和足够的性能。较大的电感值会导致输出滤波器的物理尺寸较大,从而产生更大的噪声。

开关节点噪声会容性耦合回到 12V 汽车电池系统的输入线路上。双电池 mHEV 系统要求 48V (KL41) 和 12V 电源 (KL31) 的接地保持分开<sup>[4]</sup> - 底盘将连接到 KL31 并捕获此开关节点噪声,从而可能导致额外的辐射发射(称为共模噪声)。必须抑制这种噪声的产生;否则,由 48V 电压供电的子系统将不符合 CISPR 25 5 类的要求。

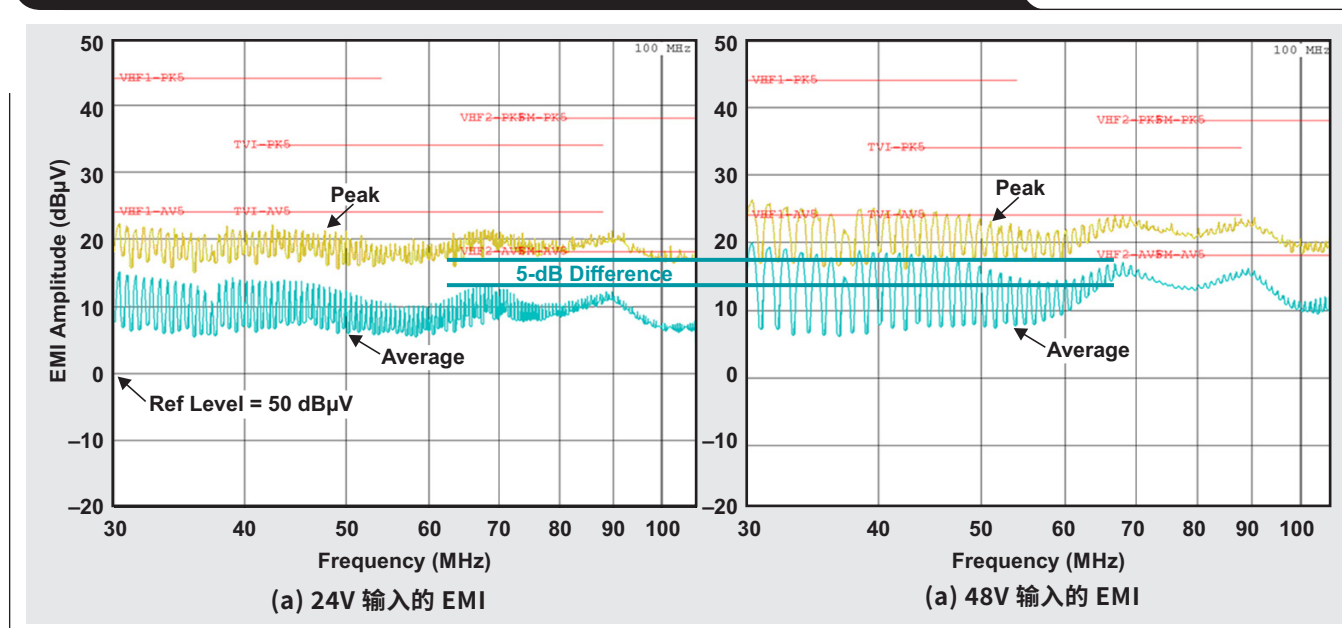
### 抑制 48V 降压稳压器共模噪声

开关节点上的高边沿速率会产生高于 30MHz 范围的噪声,从而扩展到 FM 频段,为一致性测试带来挑战。降噪技术可以减小这种噪声,从而支持符合 CISPR 25 5 类要求的设计。

低噪声汽车电源稳压器包含扩展频谱以降低噪声。调制开关频率可降低发射频谱中的峰值能量。三角展频(TRSS)调制是降低峰值能量的一种方法。

TRSS 经过优化,可以在较低的频率上传播能量。TRSS 的调制频率接近 CISPR-25 5 类 150kHz 至 30MHz 传导测试中使用的 9kHz 分辨率带宽 (RBW) 滤波器,从而使该 CISPR 25 5 类频带的峰值降低。不幸的是,在更高的频段上,TRSS 并不那么有效,但在这种情况下,假随机展频 (PRSS) 技术可弥补 TRSS 的不足。由于大多数 EMI 挑战源自更高的频率(FM 频段),因此对于 CISPR 25 5 类 30MHz 至 108MHz 测试,PRSS 能够以更合适的频率进行调制。利用 PRSS,可以实现有效的调制频率,该频率具有更高的宽带,并且更适合频率更高的 RBW 滤波器 (120kHz)。

图 3.具有相同负载条件的 24V 和 48V 输入的 LM5164-Q1 EMI 性能



双随机展频 (DRSS) 是德州仪器 (TI) 提供的最新展频调制技术。由于 DRSS 在其低频三角调制波形的基础上实现了逐周期假随机抖动, 因此它实现了 TRSS 和 PRSS 的出色功能。这种调制技术可缓解低频和低频 CISPR 25 5 类测量中使用的 RBW 滤波器频带的不足。

低噪声电源稳压器实现了其中的许多展频技术; 实际上, 许多 100V 控制器 (请参阅图 4) 通常包含一个 SYNCIN 引脚, 用于施加一个可通过上述的展频技术之一进行调制的外部时钟源, 此外还包含一个 SYNCOUT 引脚, 用于缓冲输出外部时钟源。最终, 同步多稳压器设计可以避免因开关频率的微小差异而产生拍频。此外, 随着高级驾驶辅助系统 (ADAS) 应用的发展并需要更高的处理能力或更多的传感器 (或同时需要这两者), 系统设计可能要求 48V 至 12V 稳压器提供更大的输出功率。

除纹波消除之外, 具有 SYNCIN 和 SYNCOUT 引脚的并联稳压器还有助于实现更高的输出功率功能。LM5146-Q1 中的 180 度异相 SYNCOUT 引脚可通过消除输入纹波来实现低噪声。这样就可以为 48V 电池提供符合标准的高电流、多输出电源设计。多功能 LM5146-Q1 可提供模块化电源, 从而在不断发展的 ADAS 平台之间重复使用设计。

开关电压的高边沿速率将功率谱密度图扩展到了 FM 频带。48V 至 12V 的转换要求转换器在 AM 频带频率 (400kHz) 以下运行。“低”开关频率与起动机发电机偏置电源上的亚安培负载要求相结合, 可实现低损耗转换器。更高的效率支持更慢的上升速度以降低噪声, 这实际上可能正是符合标准的设计所需要的元素。

图 4. 具有 48V 电池输入的低 EMI、高电流 LM5146-Q1 控制器

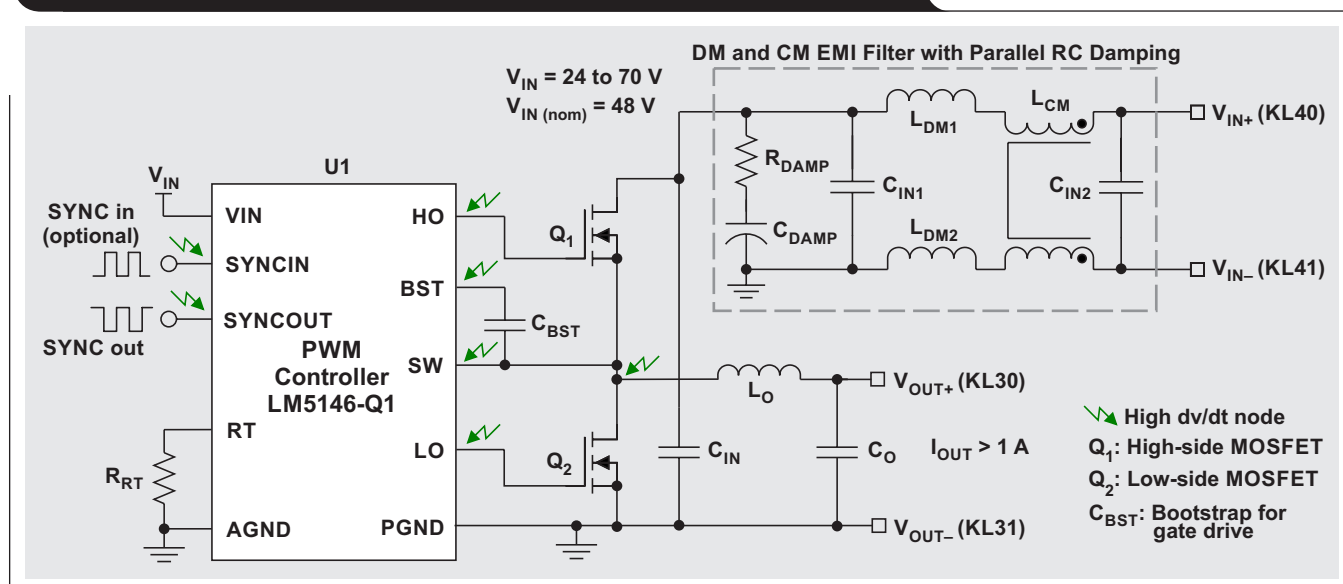
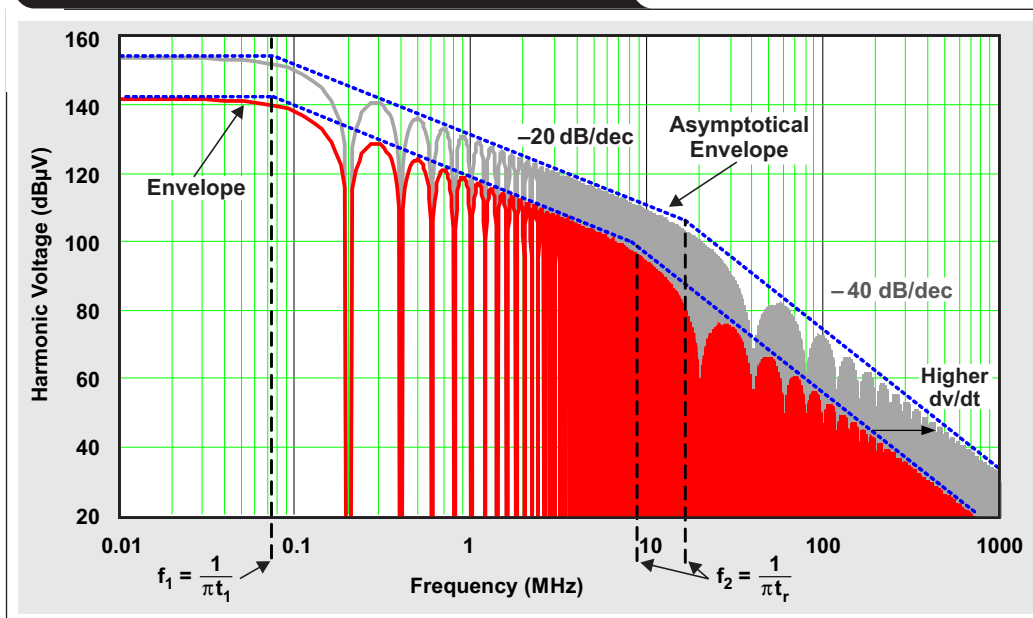


图 5. 具有不同上升时间的开关节点功率频谱密度图比较



降低上升速度的一种方法涉及增加一个与自举电容器串联的电阻器(图 4 中的  $C_{BST}$ )来产生较慢的 MOSFET 栅极电压上升速度。较慢的 MOSFET 开通速度将产生一个低频 SW 上升时间极点。图 5 展示了使用此方法可将噪声降低 20dB, 其中开关节点电压波形的上升时间比默认值大 100%。

电源稳压器中部署的 EMI 工具数量不断增加, 可满足在更高的频率下运行、实现更高的功率密度并符合更严格的 EMI 标准的需求。遗憾的是, 除 IC EMI 缓解技术之外, 此类要求通常还需要进一步的 EMC 滤波。

## 结束语

在为 48V 应用选择电源稳压器之前, 务必评估较高输入电压对 EMI 的影响。此外, 务必选择具有多种 EMI 缓解功能的电源稳压器, 从而降低较高的输入电压产生的额外噪声。即使采用低噪声稳压器, 在选择 EMC 部件时也应遵循低噪声 PCB 布局做法并采取有条不紊的方法。在设计低噪声电源转换器时, 最好首先对数据表和评估板示例进行仿真。

## 参考文献

1. Anuj Narain, 《48V 起动机/发电机系统的发展》, TI E2E™ 支持论坛技术文章, 2019 年 9 月 23 日
2. Jiri Panacek, 《在双电池汽车系统中桥接 12V 和 48V 电源轨》, 德州仪器 (TI) 白皮书 (SLPY009), 2018 年。
3. 逆变器和电机控制、集成电路和参考设计, 德州仪器 (TI)。
4. Timothy Hegarty, 《为何在双电池 mHEV 系统中使用 PSR 反激式隔离转换器》, 德州仪器 (TI) 模拟设计期刊 (SLYT791), 2020 年第二季度。

## 相关网站

产品信息:  
LM5146-Q1  
LM5164-Q1

## 相关文章

- Timothy Hegarty, 《有关直流/直流转换器 EMI 的工程师指南(第 7 部分): 反激式转换器的共模噪声》, 2018 年 12 月。
- Timothy Hegarty, 《有关直流/直流转换器 EMI 的工程师指南(第 8 部分): 隔离式设计中的共模噪声抑制》, How2Power Today, 2019 年 2 月。
- Timothy Hegarty, 《有关直流/直流转换器 EMI 的工程师指南(第 9 部分): 展频调制》, How2Power Today, 2019 年 8 月。
- Timothy Hegarty, 《有关直流/直流转换器 EMI 的工程师指南(第 13 部分): 预测共模传导噪声频谱》, How2Power Today, 2020 年 6 月。

## TI 全球技术支持

### TI 支持

感谢您的订购。要查找有关您支持需求的答复或联系我们的支持中心, 请访问

[www.ti.com.cn/support](http://www.ti.com.cn/support)

中国: <http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.tsp>

日本: <http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.tsp>

### 技术支持论坛

在 TI 的 E2E™ 社区 (工程师对工程师) 中搜索数百万个技术问题和答案, 请访问

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

中国: <http://www.deyisupport.com/>

日本: <http://e2e.ti.com/group/jp/>

### TI 培训

从技术基础到高级实施, 我们提供点播和直播培训以帮助您实现下一代设计。即刻体验, 请访问

[training.ti.com](http://training.ti.com)

中国: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=71968>

日本: <https://training.ti.com/jp>

**重要声明:** 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

A011617

E2E 是德州仪器 (TI) 的商标。所有其他商标均属于其各自所有者。

© 德州仪器 (TI) 公司 2021 年版权所有。  
版权所有。



ZHCT340

## 重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

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 © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司