

Praveen GD

## 引言

在由内燃机提供动力的系统中，交流发电机通过在车辆正常运行期间为电池充电来为汽车电气系统供电。根据工作条件，在车辆的整个使用寿命期间，交流发电机输出电压整流后可能包含交流电压纹波（叠加在电池电压上）。由于发动机转速、励磁电流开/关时稳压器占空比以及电气负载的变化，直流电池线路上叠加了交流电压纹波。在全电动系统或半混合动力系统中，整个电气负载通过直流/直流转换器进行供电。在没有电源线路扼流圈的情况下，直流/直流转换器的输出电压会注入叠加在直流输出电压上的交流电压纹波。

反向电池保护电路通常是汽车 ECU 输入端上的第一个子系统。因此，通过根据不同的汽车测试标准对反向电池保护电路进行测试，验证了反向电池保护电路在电池电源线路路上叠加交流电压纹波时是否能够不间断且稳定地运行。

## 交流叠加测试的汽车标准

各项汽车测试标准（如 ISO 16750-2、LV124 和其他 OEM 特定标准）中都规定了交流叠加测试，旨在验证各种电子模块的稳定运行。ISO 16750-2 等标准规定了在 13.5V 直流电池电压下实现 2V 峰峰值交流纹波，扫频范围为 50Hz 至 25kHz，测试波形如图 1 所示。其他制造商特定要求（如 VW 80000、TS-0000425-05）可能会有所不同，频率可高达 200kHz。峰峰值纹波振幅在 1V 峰峰值到 6V 峰峰值之间变化，具体取决于模块相对于交流发电机、直流/直流转换器和电池的位置。

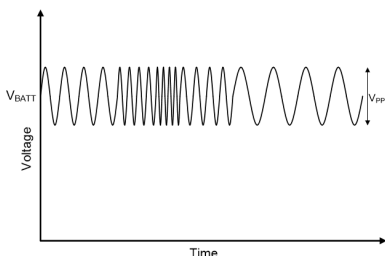
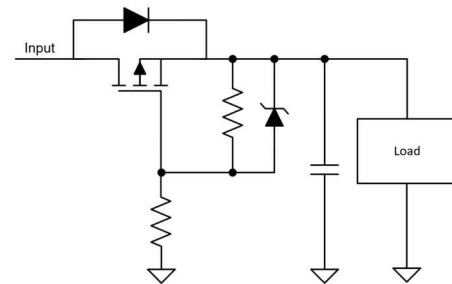


图 1. 交流叠加测试

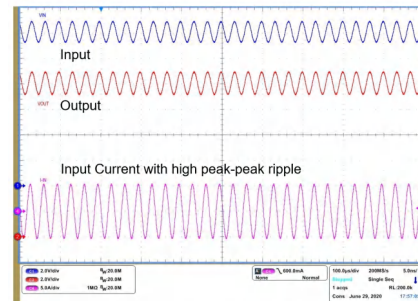
## 为什么需要对交流电压纹波进行整流

传统的输入保护电路使用肖特基二极管或基于 P 沟道 MOSFET 的电路来提供反向电池保护。肖特基二极管

能够有效地对叠加在电池电压上的交流纹波进行整流。肖特基二极管面临的挑战是其两端存在高正向压降，会导致高功率损耗。肖特基二极管仅适用于极低功耗设计。



RBP using P-Channel MOSFET



Response to AC ripple: P-Channel MOSFET

图 2. 反向电池保护：  
P 沟道 MOSFET

此外，图 2 中显示的使用 P 沟道 MOSFET 的反向电池保护电路不会阻止反向电流，因此不会对交流纹波电压进行整流。由于交流纹波未被整流，输出电压与输入电压保持一致，并且交流纹波电流摆幅为负，从而导致峰峰值纹波电流和 RMS 纹波电流增大。

RMS 纹波电流流经输出电解电容器，导致电容器中功率损耗。输出电容器中的功率损耗随着纹波电流大小的增加而增加。如果不加以限制，该纹波电流会增加老化效应并降低整体可靠性。对于传感器融合等应用（可能具有几 mF 级的电容来解决这些问题），有必要对叠加在直流电压上的交流电压纹波进行整流。输入端纹波的整流也有助于提高电源的 PSRR，这对音频放大器子系统有利。

## 使用 LM7472x-Q1 系列理想二极管控制器进行有源整流

LM7472x-Q1 系列理想二极管控制器采用双栅极驱动拓扑来控制两个外部背对背 N 沟道 MOSFET。控制其中一个 MOSFET 以模拟理想二极管，并控制另一个 MOSFET 以实现电源路径开/关控制、浪涌电流限制和过压保护。

理想二极管控制器 LM7472x-Q1 系列器件具有极低的正向压降 (13mV)，可在正常运行期间更大限度地降低 N 沟道 MOSFET 中的功率损耗。LM7472x-Q1 集成了一个升压转换器，可为理想二极管和负载断升级提供驱动外部 N 沟道 MOSFET 所需的电压。

LM7472x-Q1 通过快速关断 MOSFET Q1 (以切断反向电流) 以及在正向导通期间快速导通 MOSFET Q1，对交流叠加电压进行整流。图 3 所示为一个简化原理图，显示了用于有源整流的理想二极管。有关完整的应用电路，请参阅 LM74720-Q1 和 LM74722-Q1 数据表应用部分。

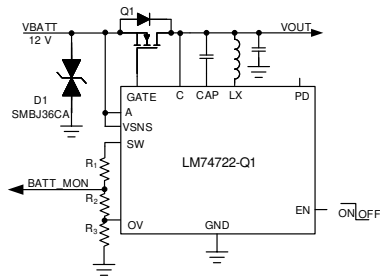


图 3. 采用仅理想二极管配置的 LM74722-Q1

集成的升压稳压器具有 30mA 的高负载能力。LM7472x-Q1 系列器件的峰值栅极驱动电流以及比较器的短暂导通和关断延迟时间，可实现理想二极管 N 沟道 MOSFET 的快速导通和关断。LM74720-Q1 和 LM74721-Q1 可在 1.9 $\mu$ s (典型值) 内驱动 MOSFET 的栅源电压。LM74722-Q1 的更高峰值栅极驱动强度可以更快地导通栅极。LM74722-Q1 可在 0.8 $\mu$ s (典型值) 内驱动 MOSFET 的栅源电压。LM7472x-Q1 还提供非常快的关断延迟。由于这些开关时间非常短，可以使用 LM74720-Q1 和 LM74721-Q1 对 100kHz 交流电压纹波进行整流，而 LM74720-Q1 可对 200kHz 交流纹波进行整流。

图 4 中捕捉了 LM74722-Q1 对 2V 峰峰值、200kHz 交流电压纹波的有源整流。在正周期 MOSFET 导通期间，输出电容器充电，并且输出与输入保持一致，直到流经 MOSFET 的电流反向。一旦检测到反向电流，LM7472x-Q1 就会在 0.45 $\mu$ s 内关断 MOSFET，从而完全阻断反向电流。在负周期内，输出电容器以恒定速率放电，该速率由负载电流和输出电容量决定。

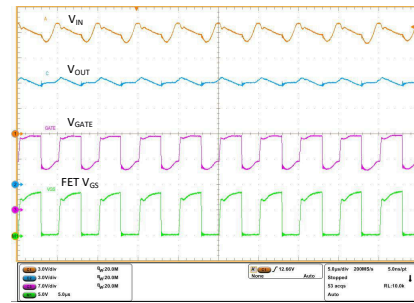


图 4. 交流叠加测试 - 2V 峰峰值 200kHz

快速反向电流阻断功能可更大限度地减小峰值反向电流，并在负周期内完全阻断反向电流。因此，交流纹波电流 RMS 值减少一半，进而将输出电解电容器 ESR 中的功率损耗降低一半。

极低的正向压降和更低的 RMS 纹波电流也降低了 MOSFET 中的功率损耗。

### 总结

对叠加在直流电压上的交流纹波进行高效的有源整流，可实现低正向压降和低 RMS 纹波电流，从而降低 MOSFET 和输出电解电容器中的功率损耗并提高 PSRR。因此，进行有源整流的理想二极管成为汽车 ECU 设计中反向电池保护子系统设计的必然选择。LM7472x-Q1 理想二极管控制器系列具有诸如极低正向压降、快速栅极驱动、快速反向恢复响应和集成升压转换器等重要性能特性，因此能够对频率高达 200kHz 的交流电压纹波进行有源整流。

## 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/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司