

Alan Xia

Abstract

随着座舱处理器 SOC 的算力越来越强，更多的功能被集成到了一个控制器之中，例如音响功放主机、仪表组、抬头显示 (HUD) 和环视系统 (SVS) 等。这也就意味着，座舱的电源系统也有着更加复杂的架构，因此电源的安全和整体电源的效率便显得愈加最重要。

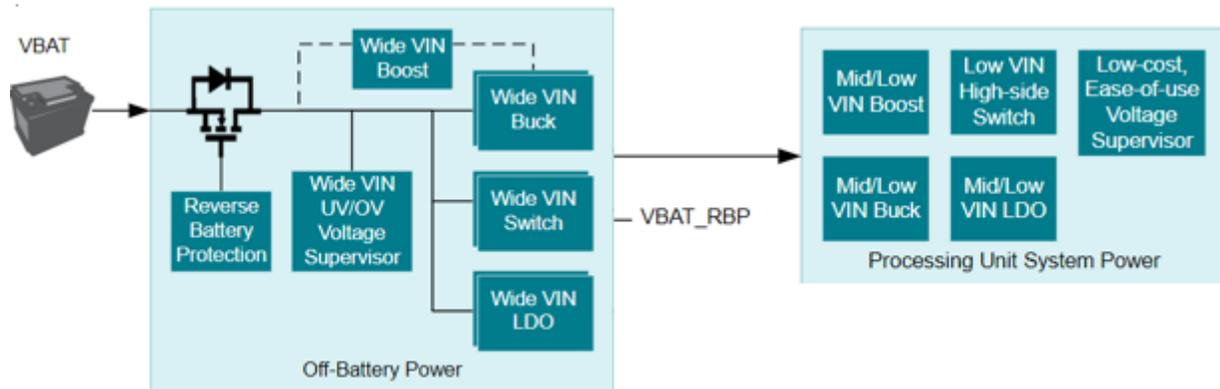


图 1. 数字座舱系统电源树

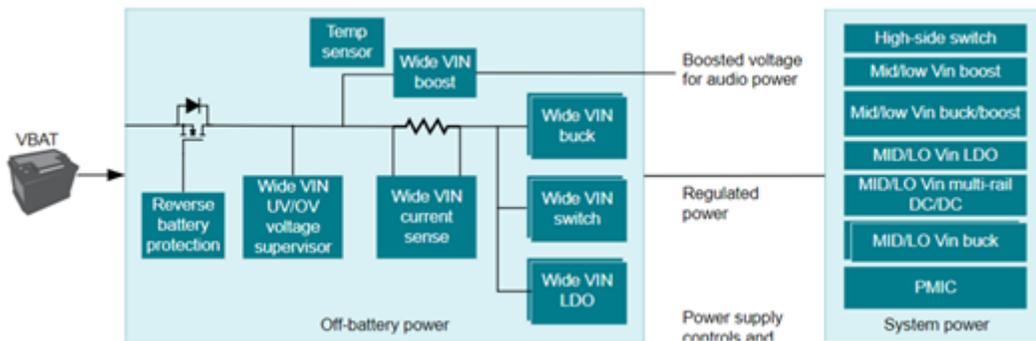


图 2. 功放音响系统电源树

而在电源系统中大量的 DCDC 承载着几十安培甚至上百安培的电流，因为车载主机座舱系统的安全性和效率是设计师们关心的重点。而对于大电流的同步 DCDC 来说，“Dead time”死区时间是工程师在选型时不得不考虑的因素。

“死区时间”是什么？

首先我们知道在同步的 DCDC 拓扑中才存在死区时间的概念，因为非同步的 DCDC 拓扑使用的是续流二极管，即下图中的 S2 使用的是二极管，续流二极管的 Vf 不可避免的带来了功率的损耗，因此为了提高电路效率，同步 DCDC 的应用越来越广泛。

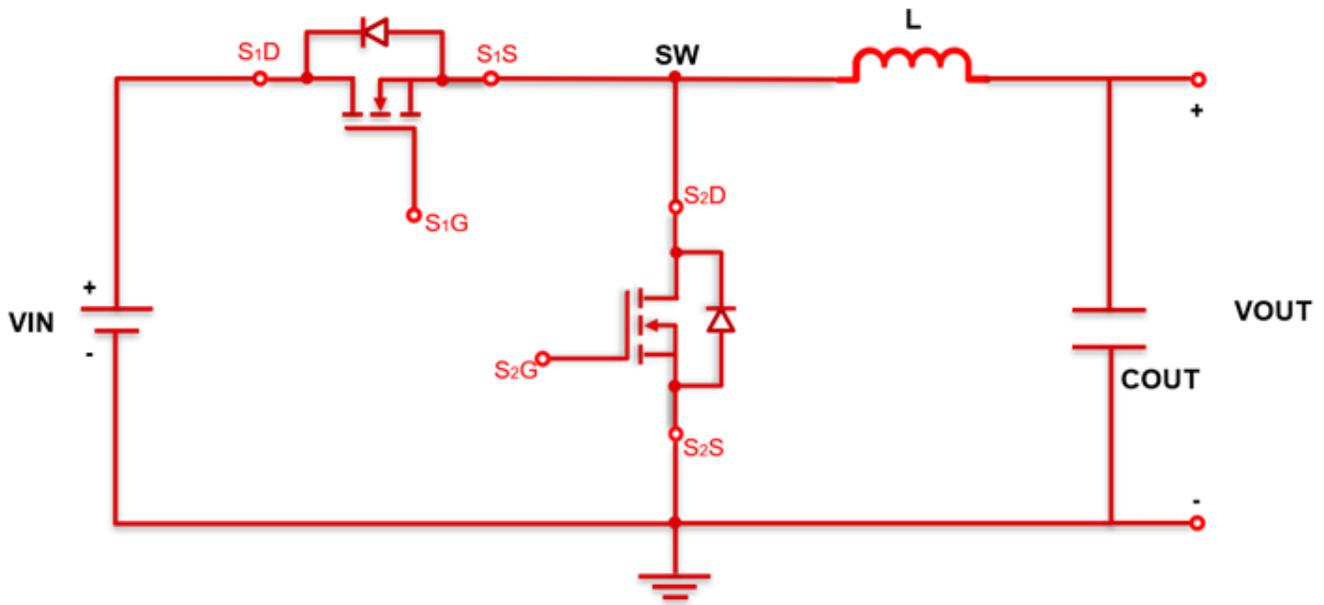


图 3. DCDC-BUCK 拓扑

而同步 DCDC 则是使用另一个 MOS 管来代替续流二极管，由控制器来控制关断。由于二极管的单向导电性，非同步 DCDC 不太会出现上下管同时导通的，发生短路的问题。但是对于同步 DCDC 来说，由于存在上下管的交替开启关断的过程，一旦上下两个 MOS 管同时导通，则会存在烧毁 MOS 的风险，为了避免这种风险的存在，则需要同步 DCDC 中引入死区时间的概念，即在死区时间内，上下管都不会导通。下面，以 BUCK 电路为例，我详细介绍一下死区时间的电路工作。

1. S1 导通，S2 断开

上管 S1 导通时，下管 S2 关断，回路如图中蓝色实线，电感处于励磁阶段，电源给输出电容和负载供电。

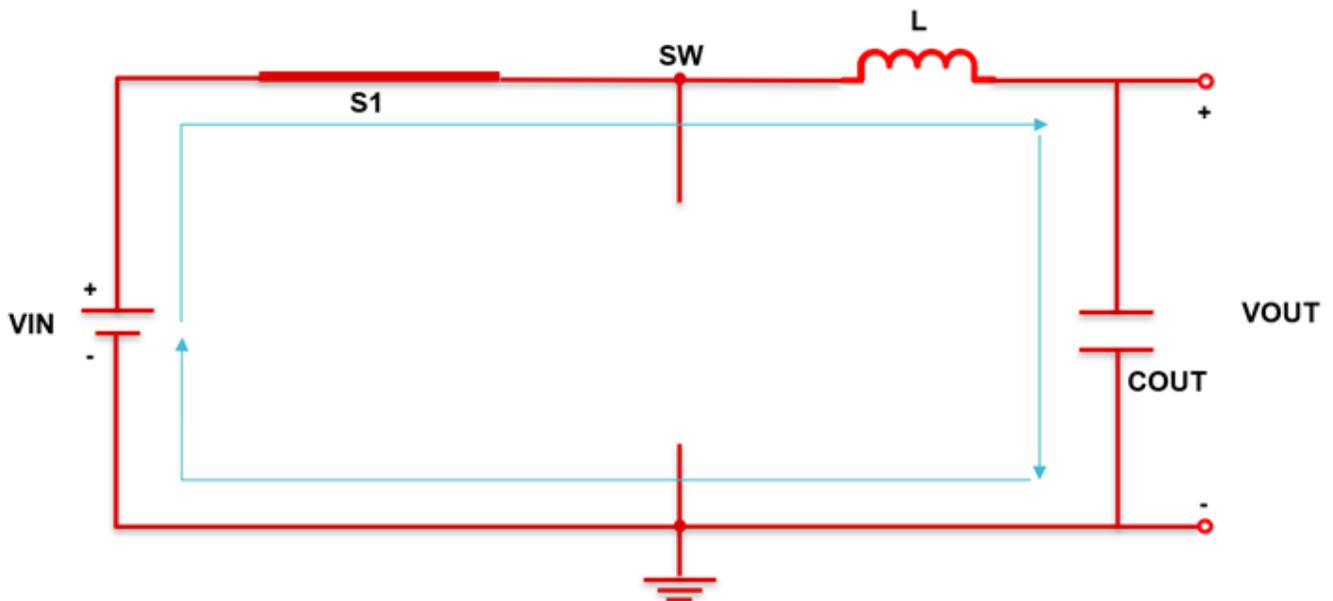


图 4. S1 导通周期

2. S1 断开，S2 导通

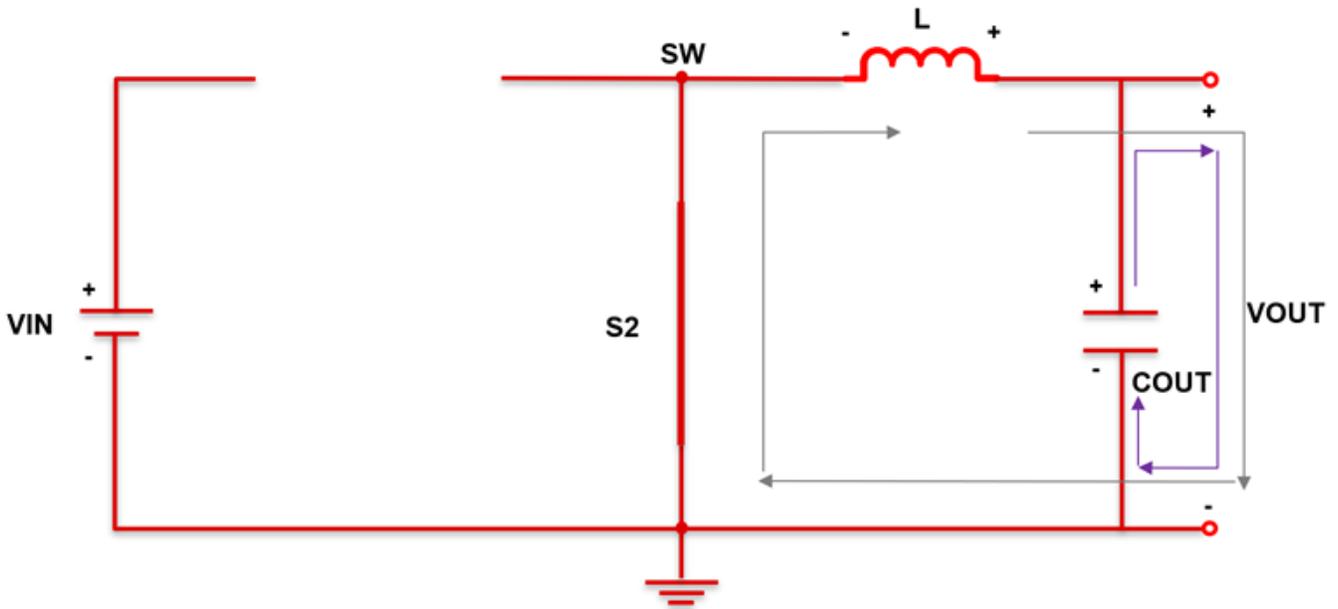


图 5. S2 导通周期

下管 S2 管导通时，上管 S1 关断，回路如图中灰色实线，由电感和输出电容为负载续流供电。

3. Dead time

如下图，一旦上下管出现同时导通的情况电源会直接接到 GND，从而发生短路，短时间极大的电流会直接损毁 MOS。

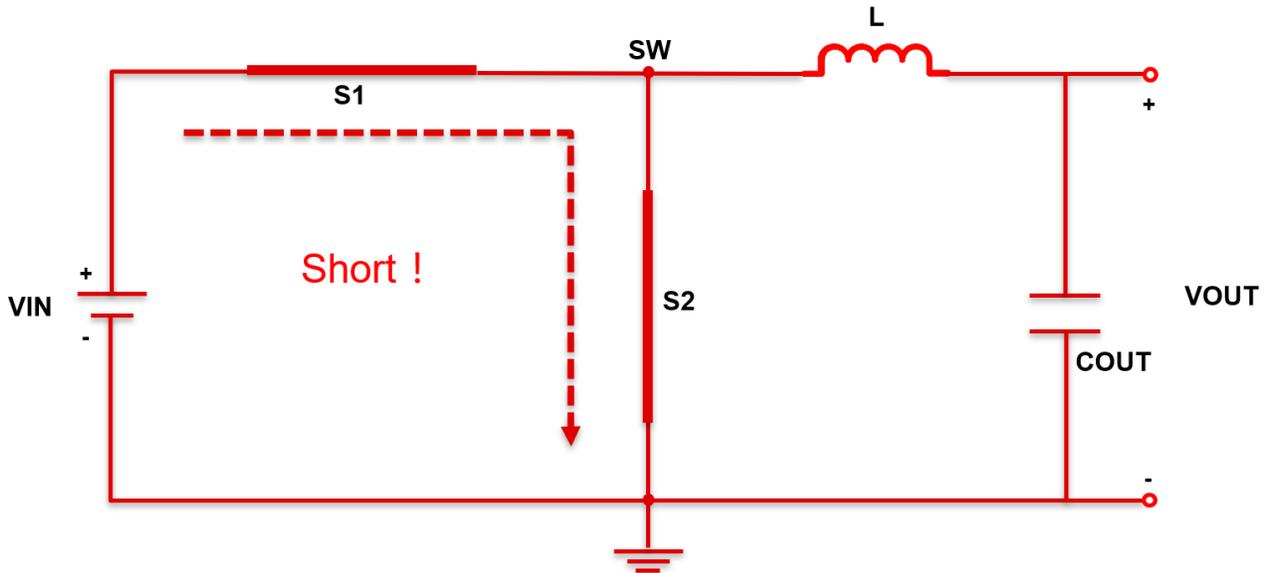


图 6. Shoot Through 回路

因此，当同步 DCDC 拥有了死区时间，上下管 S1 和 S2 的 MOS 都会断开，续流回路通过 S2 的体二极管导通，从而保证输出的连续性。

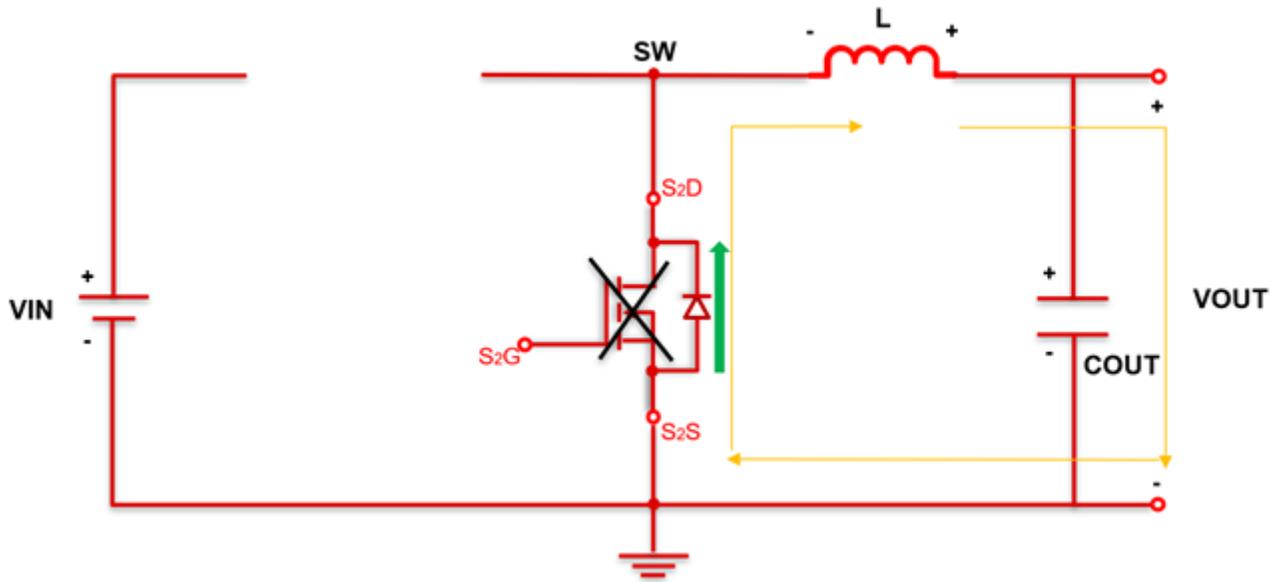


图 7. Dead time 回路

因此我们发现，由于 MOSFET 的体二极管存在 0.7V 的导通压降 V_F ，如果死区的时间过长，那么在死区时间导通的过程中，正向偏置的漏电流会不可避免的存在功率的损耗，对效率存在一定的影响，因此在对于效率有较高要求时，往往会选怎并联一个肖特基二极管来降低死区时间内的功率损耗，提高效率。

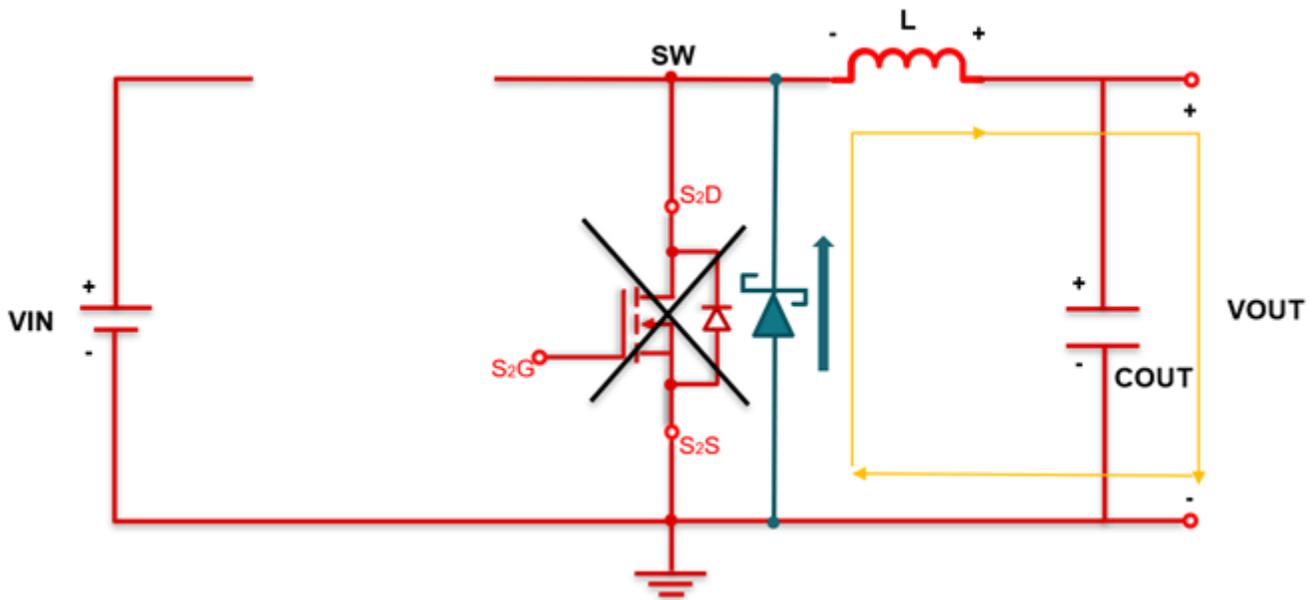


图 8. 并联肖特基二极管

但是一旦死区时间过短，则会存在两管交替导通的时刻，一管还未正常关闭，而另一管已经导通的问题，从而存在直通的风险。如何保证安全并且能够保证高效的调整死区时间是电路设计中一个非常重要的考虑因素。

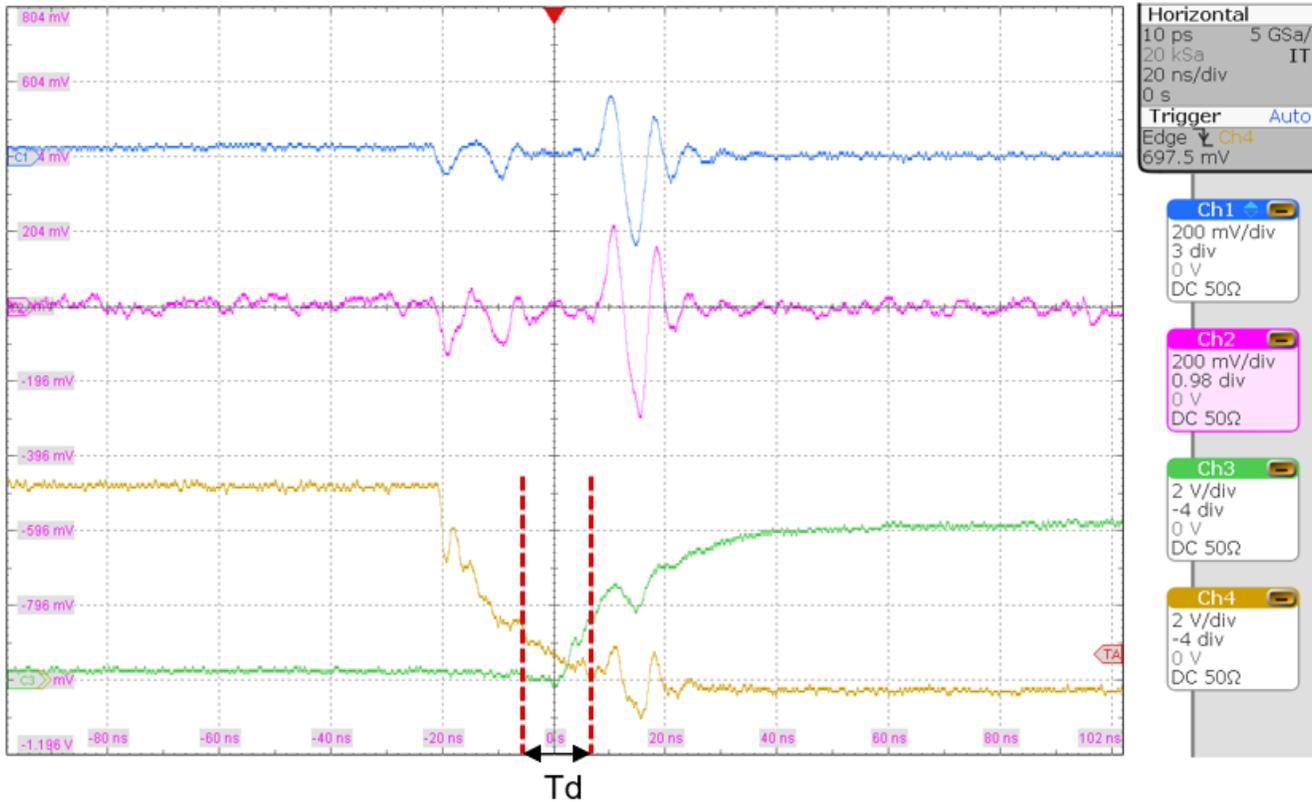


图 9. LM5123 开关波形

图 8 是 LM5123 的 EVM 开关波形，MOS 使用的 NTMFS5C670NL， $V_{GS(TH)}$ 的范围是 1.2(MIN)-2.0V (MAX)，因为在 V_{GS} 小于 1.2V 可以认为 MOS 是完全关断的，正如上图， T_d 时间内，可以认为是上下 MOS 均为关断的状态，也就是死区时间。

TI 电源 Dead time 的两种调节方式

TI 的电源种类繁多，例如 LM5170-Q1 是一款多相双向电流控制器，被广泛应用于汽车电池升压系统中，它便拥有两种死区时间的配置方式。一种是通过硬件电阻配置来根据计算公式自行选择死区时间，可以根据不同的应用要求灵活的自行配置死区的时间。

另一种则是芯片内置了自适应死区调节的功能，通过检测半桥开关桥臂的一个驱动器实时监控另一个驱动器的输出，只有当另一个驱动器的电压低于特定值，保证 MOSFET 关闭后才能打开另一个 MOSFET，从而在保证不会出现直通的现象的同时，还选择了最合适的死区时间，提高了效率。例如 LM51231-Q1 的死区时间控制便是应用了该技术，它被广泛应用于汽车外置功放音响系统中，用于为 TI 的 Class D 功放供电。下面将详细介绍一下两个死区时间控制。

1. 可编程死区时间

以 LM5170-Q1 为例，在升压模式启动期间，为了防止同一半桥臂上的高侧和低侧功率 MOSFET 之间发生击穿，可以通过 DT 引脚选择两种类型的死区时间方案：可编程死区时间或内置自适应死区时间。要对死区时间进行编程，需要在 DT 和 AGND 引脚之间放置一个电阻器 RDT，如图 9 所示。图 10 所示的死区时间 t_{DT} 由下面方程确定：

$$t_{DT} = R_{DT} \times 4 \frac{ns}{k\Omega} + 16ns \quad (1)$$

请注意，该公式对于 20 ns 至 250 ns 之间的 t_{DT} 编程有效。当功率 MOSFET 连接到栅极驱动时，其栅极输入电容 C_{ISS} 成为栅极驱动输出的负载，HO 和 LO 压摆率降低，导致高侧 MOSFET 和低侧 MOSFET 之间的有效 t_{DT} 降低。用户需要评估有效 t_{DT} ，以确保其足以防止高侧 MOSFET 和低侧 MOSFET 之间的击穿。

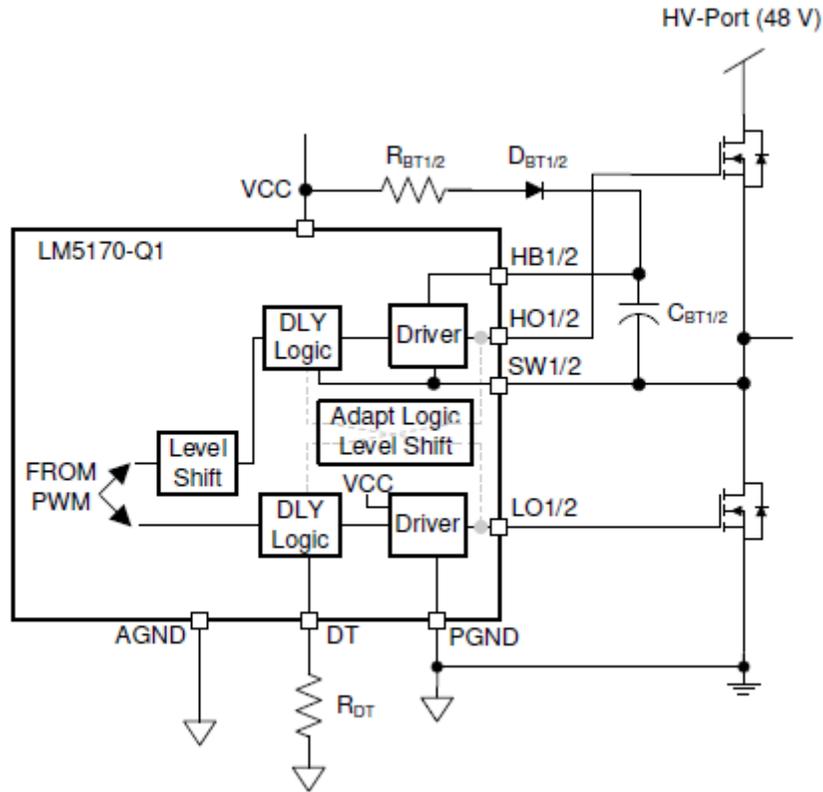


图 10. 使用 DT 引脚进行死区时间编程

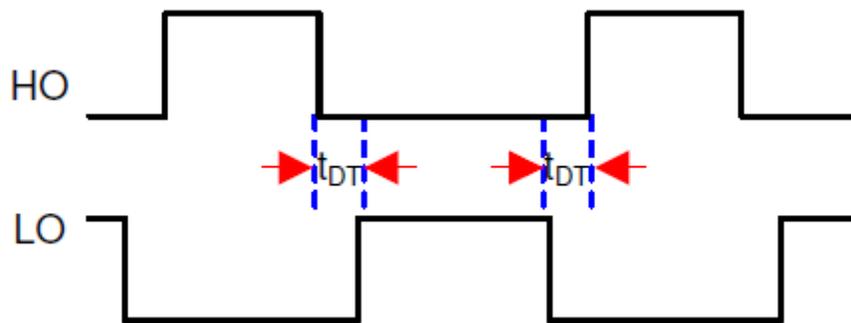


图 11. 栅极驱动死区时间

2. 自适应死区时间

如果想使用自适应死区时间模式时，只需将 DT 引脚连接到 VCC，如图 11 所示，即可激活内置自适应死区时间模式。自适应死区时间是通过同一半桥开关桥臂的另一个驱动器 (LO 或 HO) 实时监控一个驱动器的输出 (HO 或 LO) 来实现的，如图 11 和图 12 所示，通过 Adapt Logic 模块实时监控驱动器的电压。仅当一个驱动器的输出电压低于 1.25 V 时，在间隔 40ns 后，另一个驱动器才会开始导通，这样既保证了不会发生直通的问题，又最小化了死区时间。提高了效率，但是该方法存在一定的限制，那就是栅极的驱动电阻不能过大，该限制后文会详细介绍。

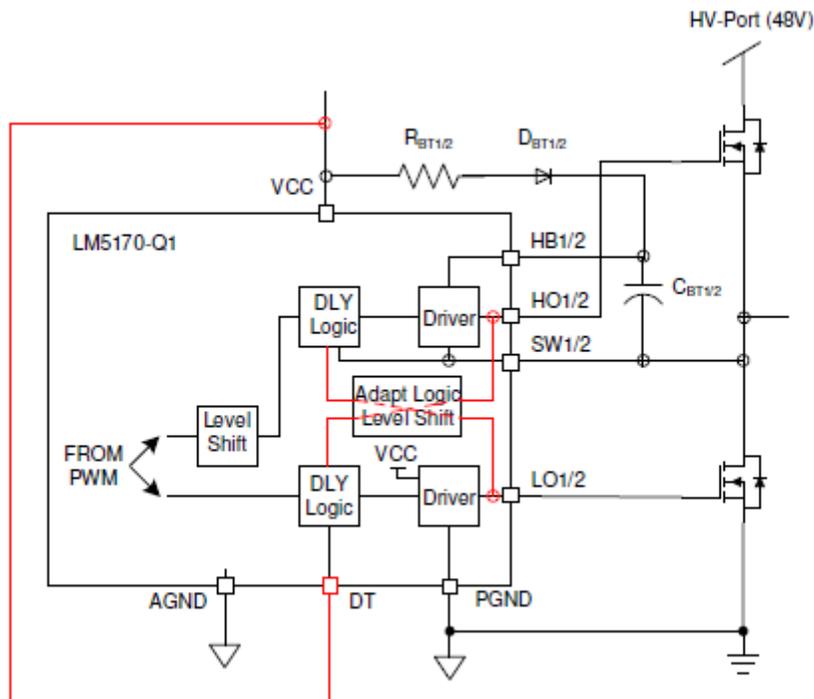


图 12. 使用 自适应死区配置

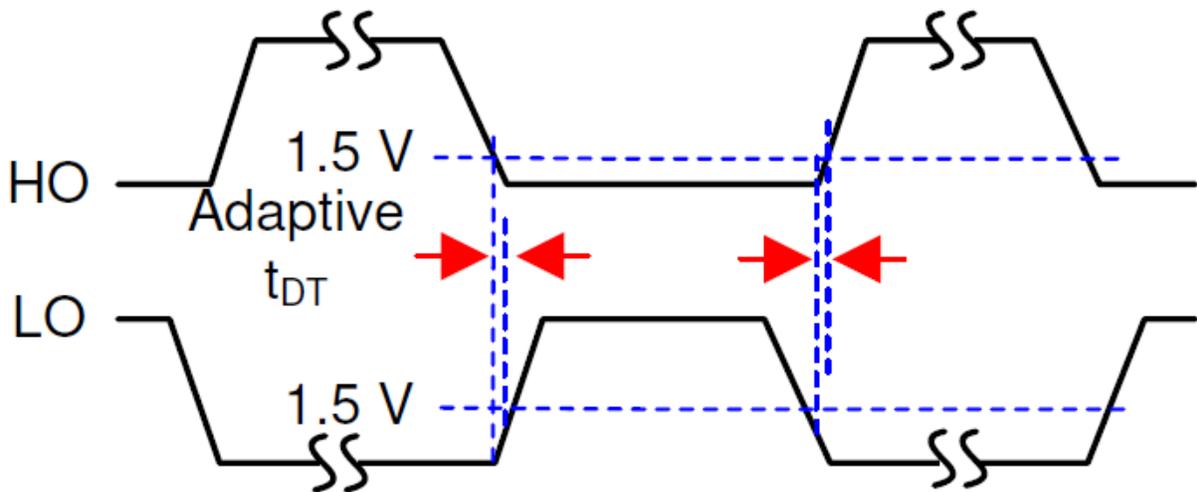


图 13. 栅极驱动死区时间

值得注意的是，在 DCDC 电路中，工程师往往会在 MOSFET 的 Gate 极串联一个驱动电阻，这会增加 MOSFET 的导通时间和截止时间，减缓 di/dt 的变换，其目的就是防止 MOSFET 在开关的过程中产生高频谐波震荡信号，避免产生 EMC 相关的问题。

但是在 LM51231-Q1 或者其他使用自适应死区时间设计的芯片时，不建议使用超过 0Ω 的栅极驱动电阻，因为根据上文所述的原理，是通过检测 MOSFET 的栅极电压低于 $1.25V$ 后，保证其中一个 MOSFET 完全关闭后才会开启另一个 MOSFET，芯片的检测的点位是图 13 中的 A 点，即 LO pin 的电压，在栅极驱动电阻之前，而非实际作用于 MOSFET 的 GATE 的电压。如果使用的大于 0Ω 的栅极驱动电阻，就有可能会出现下面这种现象：例如，芯片检测 LO 的 pin (A 点) 电压已经低于 $1.25V$ ，但是由于栅极驱动电阻的延迟导致，实际 MOSFET 的 Gate 电压 (B 点) 并未下降到 $1.25V$ 以下使下管完全关闭，而此时芯片会控制上管导通，此时会有可能存在两管切换时存

在直通风险，此时的大电流可能会损坏 MOSFET。所以为了使应用了自适应死区时间控制的芯片稳定的工作，请避免使用过大的栅极驱动电阻以及控制好 MOSFET 的栅极走线的阻抗。

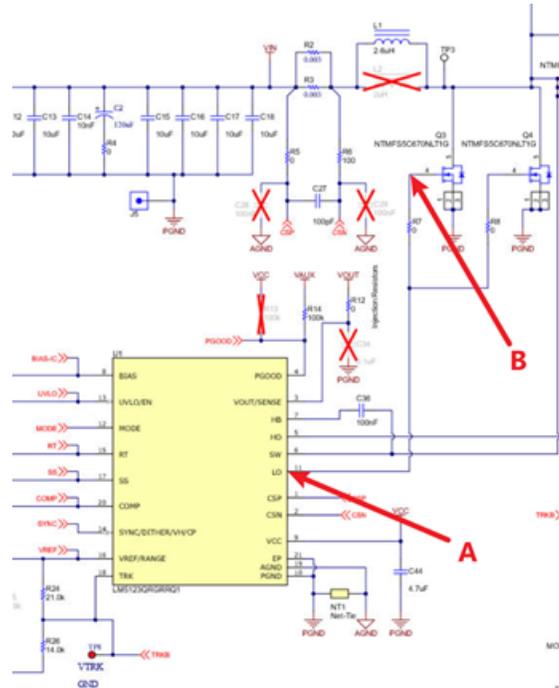


图 14. LM5123 EVM 原理图

TI 自适应死区产品应用推荐

LM51231-Q1 是 TI 目前最新的 Boost 电源控制器产品，它使用 TI 的自适应死区功能，可以在保证安全的同时最大的提升效率。并且它还可以使用跟踪功能对输出电压进行动态编程，可以对功放输出的监控，使用 DSP 或者 MCU 都 LM51231-Q1 的输出进行动态的调节，从而降低在较低音频信号下的功率损耗。

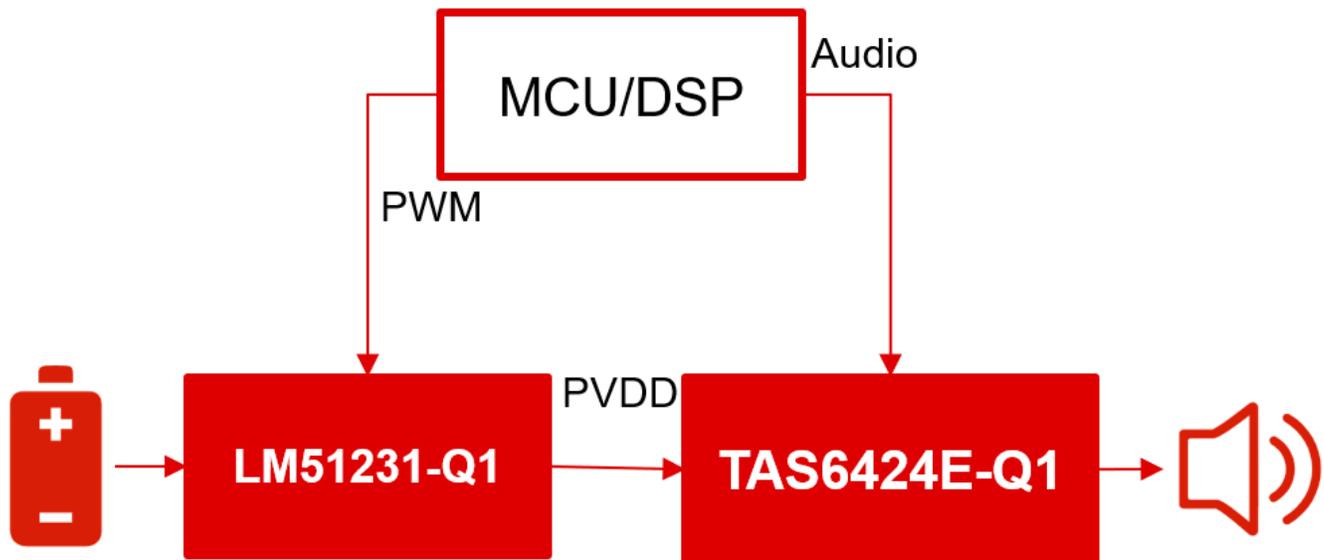


图 15. Class H 拓扑

另外该产品具备 **Bypass mode**，当电源电压大于升压输出时，会进入 **100%** 占空比的，驱动高侧的 **MOSFET** 导通，消除了对高侧 **MOSFET** 体二极管的导通，降低了体二极管的导通压降的损耗，大大提高了效率。总的来说，它是一款集成了多种技术，最大化提升效率的电源产品。

结语

随着汽车座舱的功能越来越多样，集成化程度的增加，整体效率和损耗的要求又上了一个新的台阶，无论时 **LM5170-Q1** 还是 **LM51231-Q1** 等众多的 **TI** 电源产品，通过自适应死区的功能的设计，帮助座舱系统在安全的前提下，最大的提升了效率，降低损耗。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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