

摘要

本文提出了一种构建变频多相移控制模块的方法，非常适合用于 DAB 或 DAB-SRC 等相移控制拓扑的仿真和验证，并且可以大大提高仿真的效率。

内容

1 引言.....	1
2 变频三相移 (TPS).....	1
3 PLECS 中的解决方案.....	2
4 结语.....	5
5 参考资料.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

传统转换器只有一种控制方法，例如 PWM、PFM 或 PSM，用于分别控制占空比、频率和相移角。DAB-SRC 等一些拓扑通常需要混合控制方法。

图 1-1 展示了 DAB-SRC 拓扑。一篇论文提出了一种四自由度⁽¹⁾的控制方案，即变频三相移 (TPS) 控制方案，以提升转换器的性能。

要验证此控制逻辑，您通常需要在仿真软件中构建仿真模型，而 PLECS 是一种非常简单快速的仿真软件。本文提出了一种思路来构建用于这种复杂控制的控制模块。

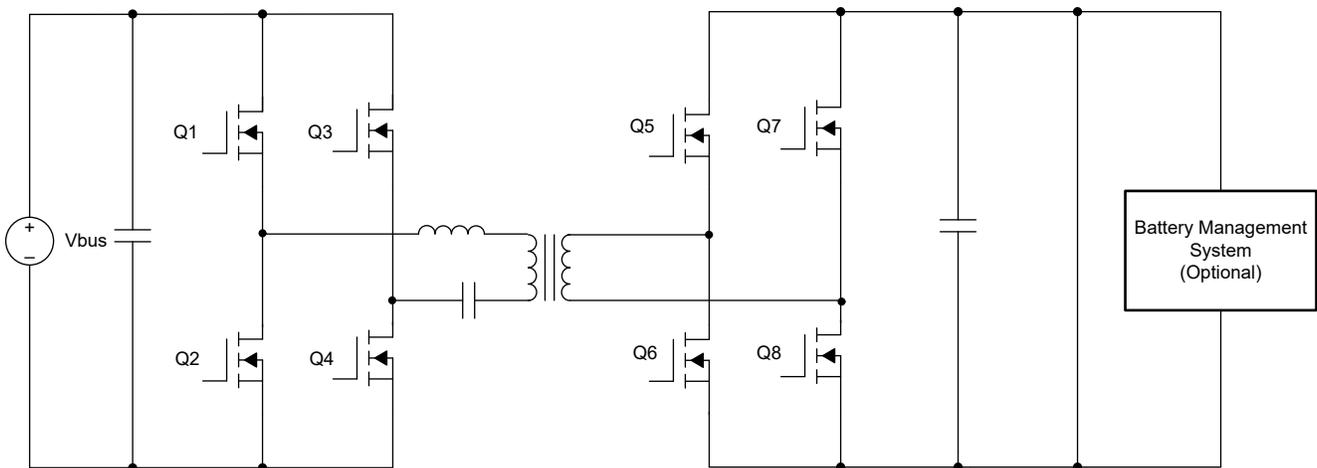


图 1-1. 双有源电桥串联谐振转换器

2 变频三相移 (TPS)

传统 TPS 控制的工作原理如图 2-1 所示，其中所有开关以接近 50% 的占空比交替运行，并具有必要的死区时间。这里定义了三个相移角，用于实现双向功率调节。

内桥相移 θ_1 定义为初级侧电桥中 Q1 驱动器信号相对于 Q3 驱动器信号的相移。内桥相移 θ_2 定义为初级侧电桥中 Q6 驱动器信号相对于 Q8 驱动器信号的相移。由于存在内部相移，因此会产生两个高频交流电压。外部相移 ϕ 定义为 Q1 驱动器信号相对于 Q8 驱动器信号的相移。外部相移 ϕ 也可以定义为在一个开关周期内，VAB 从零到高电平的正向上升沿相对于 VCD 的相移。

当变频与 TPS 控制相结合时，每个电桥仍以 50% 的占空比工作，但开关频率也会实时变化。

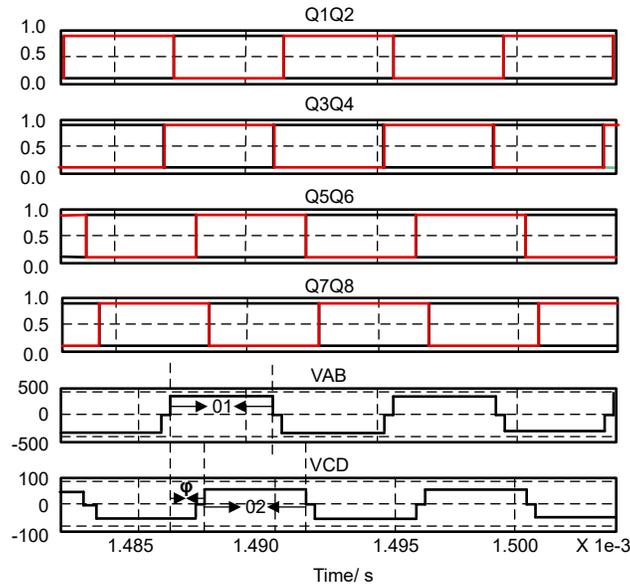


图 2-1. 传统 TPS 控制下 DAB-SRC 的典型工作波形

3 PLECS 中的解决方案

PLECS 的演示模型中有一个由 SPS 控制的 DAB 模型，该模块包含一个单相移模块，如图 3-1 所示，我们可以基于该模块构建多相移模块。

如图 3-2 所示，经过修改后，该模块以 S1 作为基础驱动器，S3 则相对于 S1 存在 θ_{1a} 的相移。通过这种方法，您可以基于 S1 获得不同相移角度的驱动信号，从而解决了多相移驱动的问题。现在，唯一需要解决的是如何在改变相移角的同时实现频率变化。

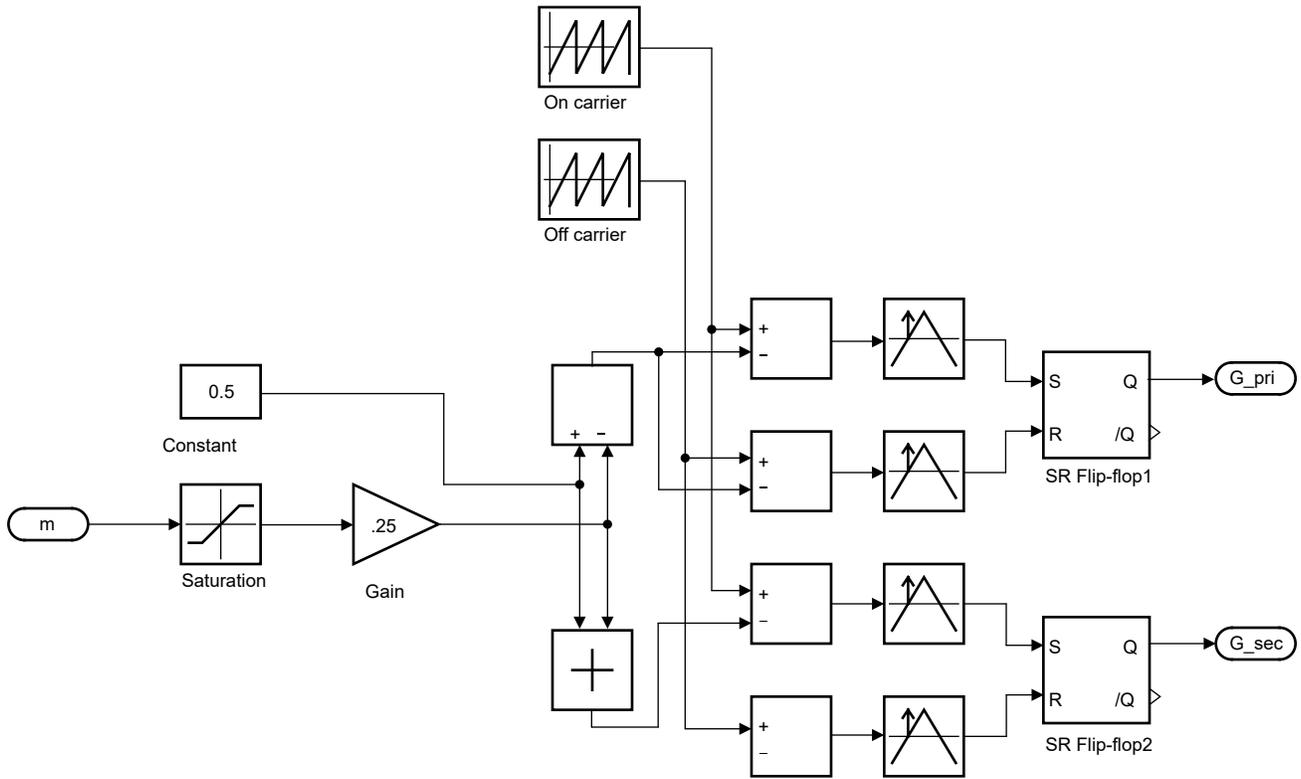


图 3-1. 演示模型中的单相移功能模块

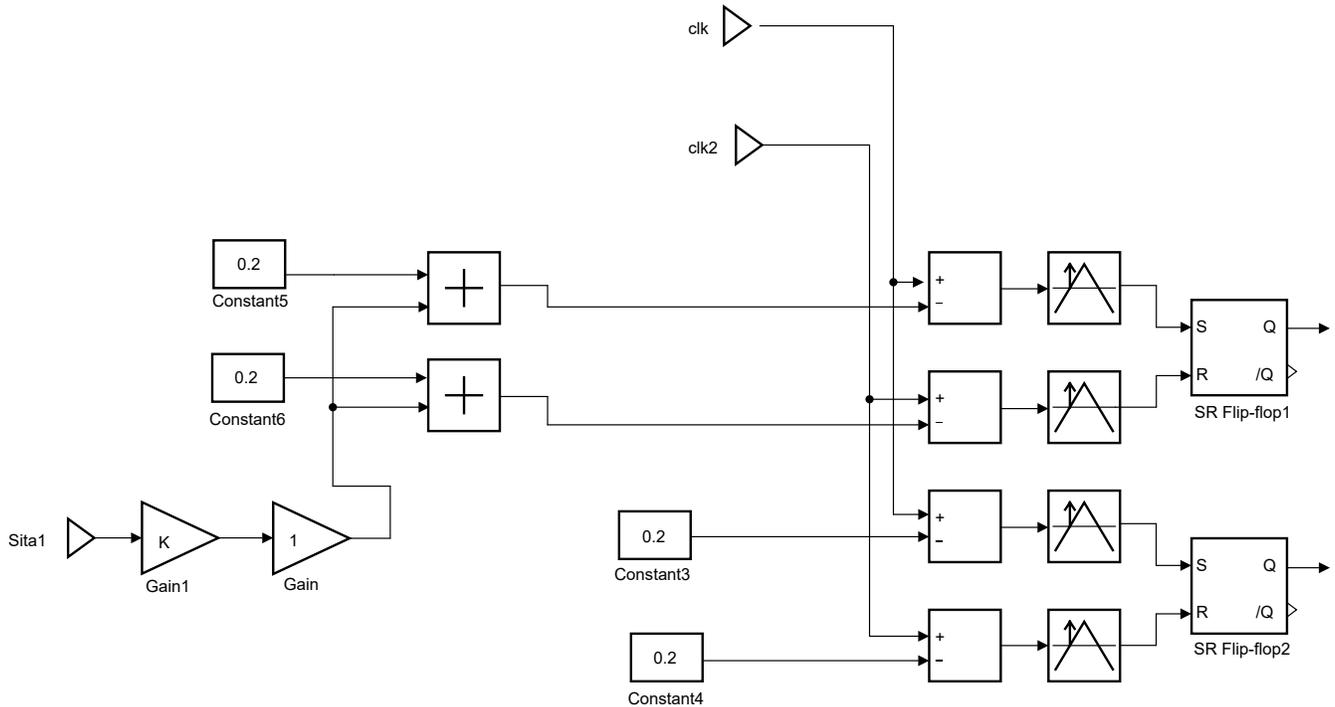


图 3-2. 修改后的单相移功能模块

从图 3-1 可以看到，这里使用了两个载波（开启载波和关闭载波）作为参考信号，因此通过实时改变载波的频率，可以同时实现频率和相移的变化。

此演示中提供的载波无法实现实时频率变化，因此您需要找到新的方法来实现变频载波。请注意，这两个载波之间还具有 1/2 周期的相移，这也增加了构建该模块的难度。

本文现在提出了一种方法，可以生成两个变频载波，同时这两个载波之间具有 1/2 周期的相移。这种方法构建的仿真速度比带有延迟的仿真要快。

如图 3-3 所示，这里使用了积分器 (1/s) 来生成锯齿波，并使用积分器的外部初始条件来生成另一个具有 1/2 周期相移的锯齿波。该图还展示了外部初始条件的设置以及如何连接各个模块。

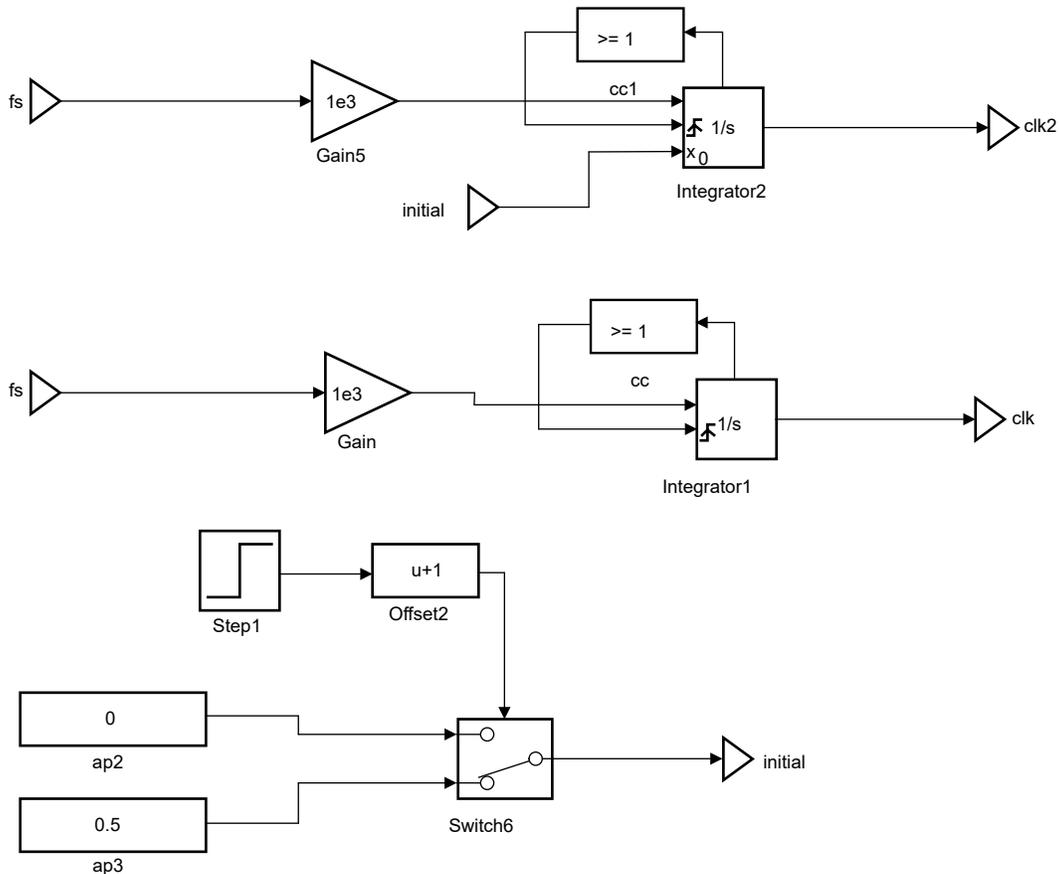


图 3-3. 变频锯齿波实现原理图

图 3-4 展示了 clk 和 clk2 波形的开关频率可以在 300kHz 到 100kHz 之间变化，而没有出现任何问题。

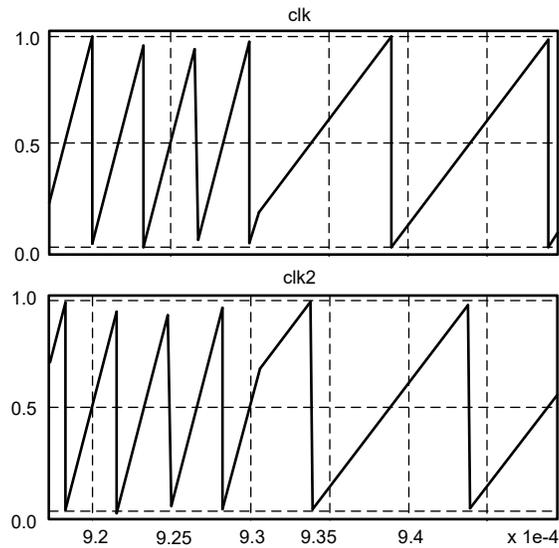


图 3-4. 更改开关频率时的详细波形

4 结语

本文提出了一种构建变频多相移控制模块的方法，非常适合用于 DAB 或 DAB-SRC 等相移控制拓扑的仿真和验证，并且可以大大提高仿真的效率。

5 参考资料

1. M. Yaqoob, K. H. Loo, and Y. M. Lai, "A four-degrees-of-freedom modulation strategy for dual-active-bridge series-resonant converter designed for total loss minimization," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 34, no. 2, pp. 1065_1081, Feb. 2019.

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