



Lucia Gao

摘要

TPS56325x、TPS562242 和 TPS56425x 系列器件采用 D-CAP3™ 控制模式，无需外部补偿元件即可提供快速瞬态响应和精确的反馈电压。TPS56x25x 数据表包含一个推荐 LC 的表格。本应用手册介绍了如何根据应用需求选择电感值和输出电容值以实现特定的设计目标（如瞬态响应、环路稳定性或输出电压纹波）。

内容

1 引言.....	2
2 D-CAP3 控制模式概述.....	2
3 LC 组合的选择方法.....	3
4 减小输出电压纹波.....	4
5 优化负载瞬态响应.....	5
6 总结.....	5
7 参考文献.....	5

插图清单

图 2-1. D-CAP2 转换器控制图.....	2
图 2-2. D-CAP2 转换器波特图.....	2
图 2-3. D-CAP3 转换器波特图.....	3
图 4-1. 使用 2.2μH 电感器和 10μF 电容器时的输出电压纹波.....	4
图 4-2. 使用 2.2μH 电感器和 22μF * 3 电容器时的输出电压纹波.....	4
图 5-1. 具有 2.2μH 电感器和 10μF 电容器的负载瞬态.....	5
图 5-2. 具有 2.2μH 电感器和 22μF * 3 电容器的负载瞬态.....	5

表格清单

表 1-1. TPS56x25x 系列器件比较表.....	2
表 3-1. 稳定性和 LC 组合.....	3

商标

D-CAP3™ and D-CAP2™ are trademarks of Texas Instruments.

Wi-Fi™ is a trademark of Wi-Fi alliance.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

TPS56x25x 是一款简单、易用、高效率、高功率密度的同步降压转换器，其输入电压范围为 3V 至 17V，支持 0.6V 至 10V 的输出电压。TPS56x25x 采用 1.6mm × 1.6mm 的小型 SOT563 封装，并采用 HotRod 封装技术。TPS56x25x 具有良好的热性能和环路稳定性。表 1-1 展示了 TPS56x25x 系列器件的比较表。这些器件可广泛应用于 Wi-Fi™ 接入点、交换机、路由器、专业音频设备、电视、STB 等。

表 1-1. TPS56x25x 系列器件比较表

PN	最大负载电流	模式	频率	Vref
TPS563252	3A	ECO	1.2MHz	0.6V
TPS563257	3A	FCCM	1.2MHz	0.6V
TPS564252	4A	ECO	600kHz	0.6V
TPS564255	4A	OOA	600kHz	0.6V
TPS564257	4A	FCCM	600kHz	0.6V
TPS562242	2A	ECO	1.4MHz	0.8V

2 D-CAP3 控制模式概述

D-CAP 系列控制方案具有瞬态性能快、外部元件少、成本低、设计尺寸小等特点，广泛应用于笔记本电脑、服务器、交换机和 WiFi-AP 等各种电子系统。

采用 D-CAP2™ 控制方案的降压转换器示意图如图 2-1 所示。D-CAP2 转换器的开环传递函数波特图如图 2-2 所示。

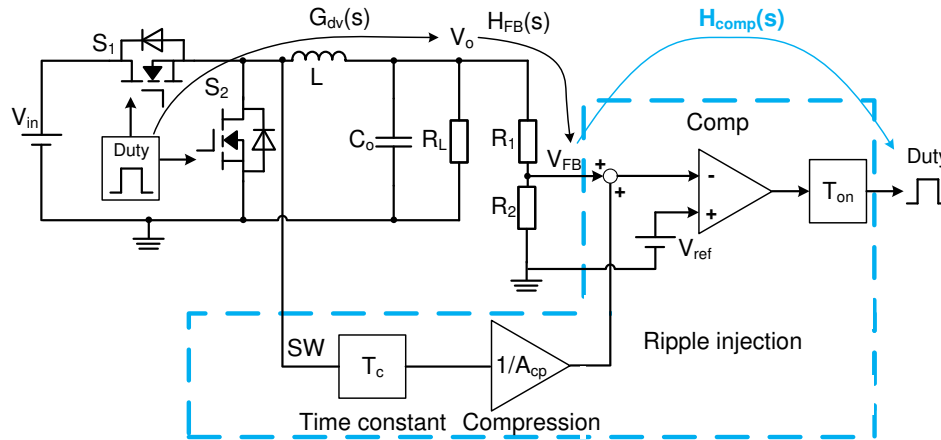


图 2-1. D-CAP2 转换器控制图

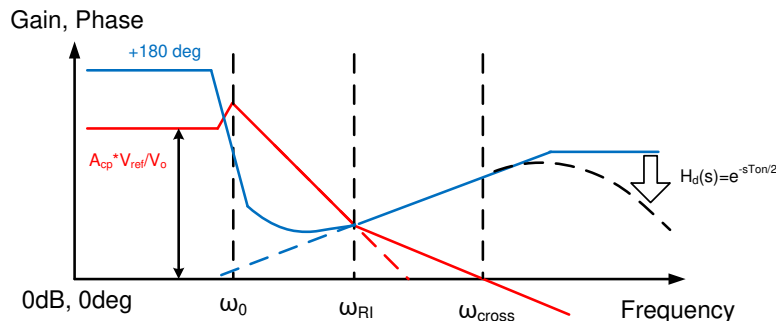


图 2-2. D-CAP2 转换器波特图

D-CAP3 控制模式是恒定导通时间控制模式的一种变体，在该模式下，环路比较器监测来自反馈电压、基准电压和仿真电流斜坡电压的输入，以仿真纹波，从而生成导通脉冲。为了提高输出电压的直流精度，建议采用 D-CAP3 并将其广泛应用于 TI 的当前产品中。与 D-CAP2 相比，D-CAP3 中的直流误差校正性能进一步提高。通过

在低频范围添加额外的极点和零点，可增加低频范围的增益，从而提高直流误差校正能力。但中频和高频下的增益和相位特性与 D-CAP2 转换器几乎相同。开环传递函数的波特图如图 2-3 所示。*D-CAP2 和 D-CAP3 转换器的稳定性分析和设计 - 第 1 部分：如何选择输出电容器* 应用手册提供了 D-CAP2 和 D-CAP3 转换器的稳定性分析和设计。

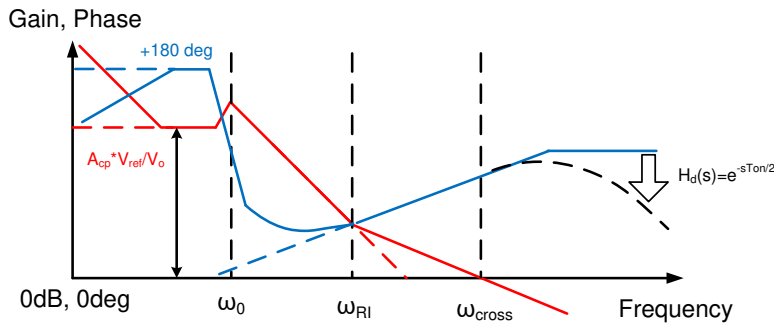


图 2-3. D-CAP3 转换器波特图

3 LC 组合的选择方法

在为降压开关稳压器选择电感器和输出电容器时，需要考虑许多因素，包括输出纹波、环路稳定性和瞬态响应。例如，一般而言，在开关电源中最好选择较低的电感，因为它通常对应于更快的响应、更小的 DCR 和更小的尺寸，从而实现更紧凑的设计。电感过低会产生过大的电感电流纹波，从而使器件产生更多的电感磁芯损耗。在同一个输出电容中，更大的电感电流波纹同样意味着更大的输出电压波纹。为确保系统环路的稳定性，在输出滤波器极点频率下，增益以每十倍频程 -40dB 的速率滚降，且相位下降具有 180 度下降。内部纹波生成网络引入了高频零点，可将增益滚降从每十倍频 -40dB 降低至 -20dB ，并导致 90 度相位提升。表 3-1 展示了 TPS56325x 的不同 LC 组合的稳定性，该组合已在实验室中以 12V 输入电压、 3A 负载电流和 3.3V 输出电压进行了测试。下表所示的这些组合可以满足环路响应性能的要求，而对于输出电压纹波、负载瞬态响应等其他性能，仍需根据实际要求进行检查。

表 3-1. 稳定性和 LC 组合

标称电感值	标称陶瓷电容值				
	10 μF	22 μF	22 μF * 2	22 μF * 3	22 μF * 4
	有效转角频率				
1.5 μH	53.1kHz	34.2kHz	24.2kHz	19.8kHz	17.1kHz
2.2 μH	43.8kHz	28.3kHz	20.0kHz	16.3kHz	14.1kHz
3.3 μH	35.8kHz	23.1kHz	16.3kHz	13.3kHz	11.5kHz
	在数据表 LC 表中推荐用于 TPS56325x				
	使用 C _{ff} 时性能稳定 (在数据表中的推荐 LC 表之外)				

从表 3-1 中可以看出，蓝色单元格在数据表的推荐 LC 范围内，因此稳定。灰色单元格超出了数据表推荐范围，但经过测试，在使用适当的 C_{ff} 时性能稳定。列出的转角频率基于有效电感和电容，这意味着考虑了陶瓷电容器的直流偏置效应。例如， $22\mu\text{F}$ 电容器的器件型号为 GRM21BR61A226ME44L。考虑到直流偏置降额，其在 3.3V 偏置下的有效值为 $14.4\mu\text{F}$ 。

4 减小输出电压纹波

输出纹波主要由两部分组成。一部分由电感电流纹波经过输出电容的等效串联电阻 (ESR) 造成。另一部分由电感电流纹波对输出电容充放电造成。电压纹波中的两个分量不是同相的，因此实际峰峰值纹波小于两个峰值之和。如果需要较低的输出纹波，主要有三种方法。第一种方法是减少流经电感器的纹波电流。第二种方法是减小电容器的阻抗幅度。对于 ESR 非常低的陶瓷电容器，更有效的方法是使用更大的电容。由于 ESR 的影响，当电容变大时，电容增加的影响可忽略不计。第三种方法是选择更高的开关频率。对于 TPS56325x，开关频率为 1.2MHz，与上一代器件相比，这是高频器件。高开关频率允许在输出纹波要求相同的情况下使用更小的电感器和输出电容器。

图 4-1 展示了使用 2.2 μ H 电感器和 10 μ F 输出电容器时 TPS563257 的输出电压纹波。图 4-2 展示了使用 2.2 μ H 电感器和 22 μ F * 3 输出电容器时 TPS563257 的输出电压纹波。使用更大的陶瓷电容器是减少纹波的有效方法。

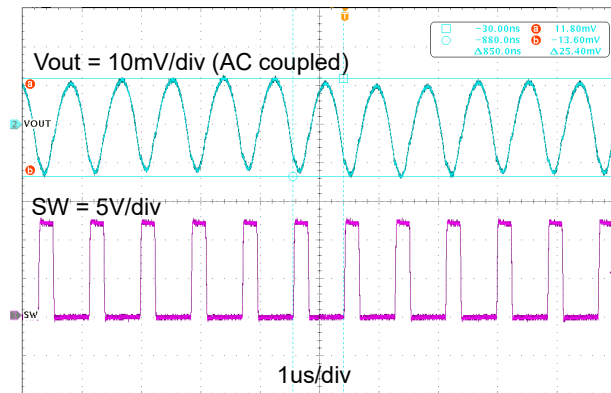


图 4-1. 使用 2.2 μ H 电感器和 10 μ F 电容器时的输出电压纹波

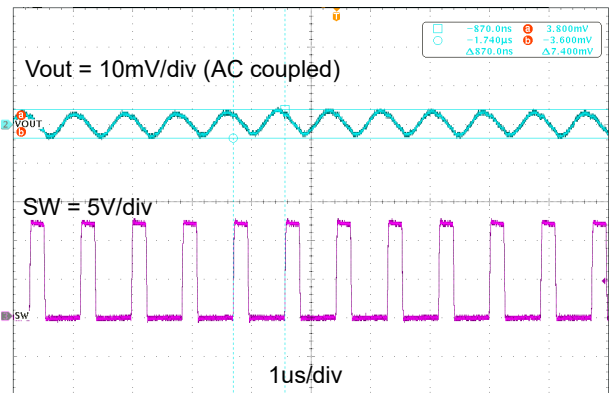


图 4-2. 使用 2.2 μ H 电感器和 22 μ F * 3 电容器时的输出电压纹波

5 优化负载瞬态响应

几乎所有电子器件都要求电源电压保持在特定的容差范围内，即使负载电流发生变化也是如此。当负载电流需求在零到满载之间变化时，即使该变化在相对较短的时间内发生，稳压器也必须能够保持其输出电压恒定。输出电压的变化幅度取决于稳压器的速度、输出电容器的数量和类型以及负载电流变化的 di/dt 。负载电流的 di/dt 与应用有关，因此电容器的数量和类型以及稳压器的速度是改善输出电压变化幅度的两个主要因素。

在稳压器控制环路针对负载变化进行调整的时间间隔内，只有输出电容器能够提供前稳态值和新负载电流值之间的负载电流差值。因此输出电容器将显著影响瞬态响应。改善输出电压偏差的最直接方式是使用更大的电容。图 5-1 展示了具有 $2.2\mu\text{H}$ 电感器和 $10\mu\text{F}$ 电容器的 TPS563257 的负载瞬态。图 5-2 展示了具有 $2.2\mu\text{H}$ 电感器和 $22\mu\text{F} * 3$ 电容器的 TPS563257 的负载瞬态。

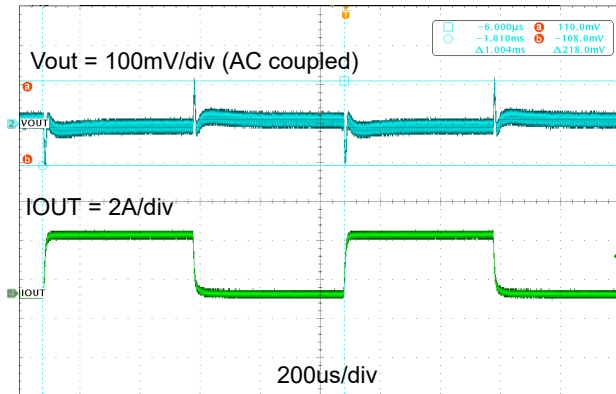


图 5-1. 具有 $2.2\mu\text{H}$ 电感器和 $10\mu\text{F}$ 电容器的负载瞬态

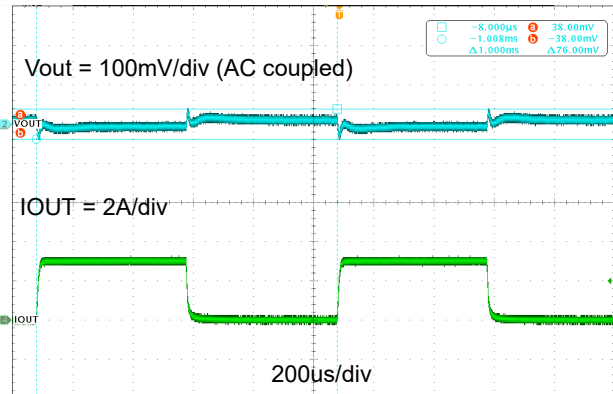


图 5-2. 具有 $2.2\mu\text{H}$ 电感器和 $22\mu\text{F} * 3$ 电容器的负载瞬态

稳压器控制环路的响应速度越快，在环路校正到负载电流的新值之前，输出电容器的电压变化就越小。控制器的响应时间与控制环路的带宽直接相关。带宽越高，控制器的响应速度就越快。由于 TPS56x25x 系列具有内部补偿功能，因此带宽主要受 LC 滤波器转角频率的影响，该频率在控制环路中形成双极点。如表 3-1 所示，LC 转角频率越高，控制环路带宽就越高。要提高 LC 转角频率，请减小电感和电容的乘积，或选择合适的前馈电容器。

6 总结

本应用手册提出了选择 TPS56x25x 系列电感器和输出电容器的方法。选择这些器件时会根据应用需求考虑特定的设计目标，例如瞬态响应、环路稳定性和输出电压纹波。我们还通过实验分析并验证了改善输出电压纹波和优化负载瞬态的方法。该选择指南展示了各种外部元件的可行性，有助于设计 TPS56x25x 系列。

7 参考文献

- 德州仪器 (TI), [TPS56325x 采用 SOT-563 封装的 3V 至 17V 输入、3A 同步降压转换器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [D-CAP2 和 D-CAP3 转换器的稳定性分析和设计 - 第 1 部分：如何选择输出电容器](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [D-CAP2 和 D-CAP3 转换器的稳定性分析和设计 - 第 2 部分：如何选择前馈电容器](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [AN-1733 负载瞬态测试简化版](#) 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司