

# 控制模式快速参考指南

## 概述

TI 积极参与尖端控制电路的研发，以帮助工程师解决特定的设计挑战。没有一种控制模式能够适合所有应用，所以本文介绍了非隔离式降压控制器和转换器的各种控制模式的优势以及详细了解每种模式的方法。TI 产品组合包含非隔离式 TPS 和 LM 系列直流/直流开关转换器和控制器的 15 类控制架构。

电压模式	内部补偿高级电流模式 (ACM)	直接连接到输出电容器 (D-CAP™)
具有电压前馈的电压模式	滞环控制模式	D-CAP+™ 控制模式
峰值电流模式	恒定导通时间	D-CAP2™ 控制模式
平均电流模式	采用仿真纹波模式时的恒定导通时间	D-CAP3™ 控制模式
仿真电流模式	DCS-Control™: 可无缝转换到省电模式的直接控制	D-CAP4™ 控制模式

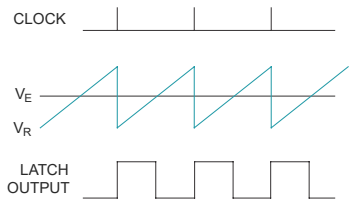
## 电压模式

脉宽调制（锁存输出）通过将输出电压和基准电压的电压误差信号 ( $V_E$ ) 与恒定锯齿-斜坡波形进行比较来实现。斜坡由振荡器发出的时钟信号启动。通过固定的斜坡幅度 ( $V_R$ ) 可获得良好的噪声裕度性能。电压调节与输出电流无关。电压模式使用 3 类补偿来寻址双极功率级，以支持用于外部补偿器件的广泛输出滤波器组合。

**使用场合：**需要固定的、可预测的开关频率时。在输出负载可能发生较大变化时也很有用。

**热门器件：** [TPS54610](#)、[TPS40040](#)、[LM22670](#)

**了解详情：** [开关电源拓扑电压模式与电流模式](#)



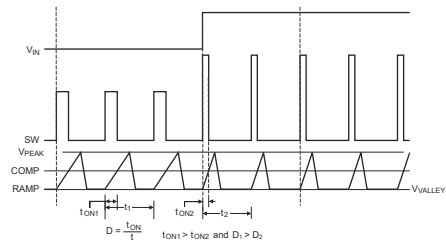
## 具有电压前馈的电压模式

与电压模式类似，但斜坡发生器以恒定斜坡幅度随输入电压改变 PWM 斜坡斜率，并对输入电压变化提供瞬时响应。PWM 不必等待环路延迟即可更改占空比。

**使用场合：**需要固定的、可预测的开关频率时。当输入电压和输出负载可能发生较大变化时也很有用。

**热门器件：** [TPS40057](#)、[TPS40170](#)、[TPS56121](#)

**了解详情：** [可编程 UVLO 对 TPS4005x 和 TPS4006x 系列同步降压控制器可实现的最大占空比的影响](#)



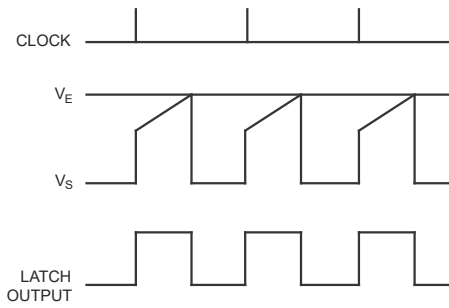
## 峰值电流模式

脉宽调制（锁存输出）通过比较电压误差信号 ( $V_E$ ) 和从输出电流得出的斜坡波形 ( $V_S$ ) 来实现。斜坡由时钟信号启动。该模式能够快速响应输出电流变化。但是，由于前沿电流尖峰，它在低占空比时容易受到噪声灵敏度的影响。它使用 2 类补偿来寻址外部补偿器件的单极功率级。

**使用场合：**当需要一个固定的、可预测的开关频率并且器件数量少于外部补偿双极电压模式时。峰值电流模式使用单零点补偿器，比电压模式的双零点补偿器更容易设计。

**热门器件：** [TPS54620](#)、[TPS62913](#)、[LM5140-Q1](#)

**了解详情：** [了解和应用电流模式控制理论](#)



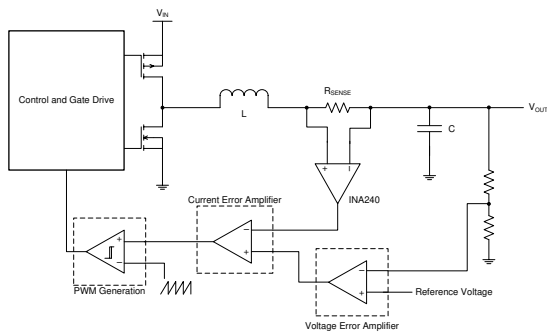
### 平均电流模式

平均电流模式可解决噪声抗扰度问题、峰均电流误差以及峰值电流模式的斜率补偿需求。平均电流模式在电流环路中引入了一个高增益的集成电流误差放大器。电流检测电阻两端的电压代表实际的电感器电流。该差异（即电流误差）会被放大并与 PWM 比较器输入端的大振幅锯齿（振荡器斜坡）进行比较。电流环路的增益有效地设置了斜率补偿，而不限最短导通时间或最短关断时间。电流检测通常位于稳压器内部，但也可以位于外部。

**使用场合：**有效控制电感器电流以外的电流，从而支持更广泛的拓扑应用。

**热门器件：** [TPS546D24S](#)、[TPS546B24S](#)

**了解详情：** [开关电源的平均电流模式控制](#)



### 仿真电流模式

与电流模式类似，但采用门控采样保持电路来捕获通过测量电感器电压仿真的电流信息，以估算斜坡电流。通过允许更小的占空比，消除了传统峰值电流模式的前沿尖峰问题。在接近最短导通时间运行时提供干净的电流波形。

**使用场合：**与传统电流模式相比，需要低占空比且不易受电流噪声影响时。

**热门器件：** [LM5116](#)、[LM5119](#)

**了解详情：** [使用采样保持技术对降压稳压器进行仿真电流模式控制](#)

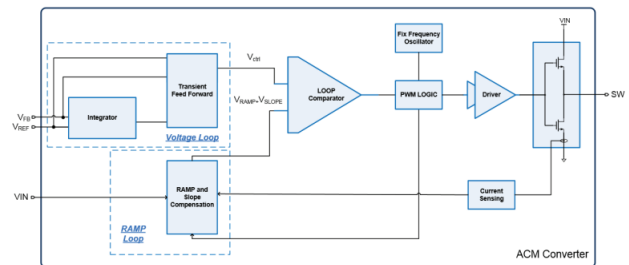
### 内部补偿高级电流模式 (ACM)

内部补偿 ACM 是基于纹波的峰值电流模式控制方案，它使用内部生成的斜坡来表示电感器电流。这种控制模式可在非线性控制模式（D-CAP™、恒定导通时间等）的快瞬态响应速度与其他外部补偿固定频率控制模式（电压模式、电流模式）的广泛电容器稳定性之间实现平衡。内部补偿高级电流模式提供了一个固定的、可预测的频率和一个简化的补偿选择，以减少外部元件数量。

**使用场合：**当需要固定频率和/或堆叠功能以及良好的输出电容器容差和简化的补偿选择时。

**热门器件：** [TPS543B22](#)、[TPS543C20A](#)、[TPS543620](#)

**了解详情：** [内部补偿高级电流模式 \(ACM\)](#)



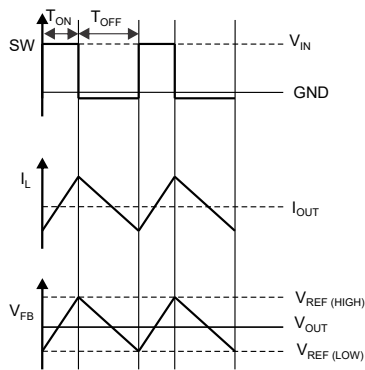
### 滞环控制模式

最简单的控制方案。当反馈电压大于基准高电平阈值时，PWM (SW) 导通时间 ( $T_{ON}$ ) 终止，而当反馈电压低于基准低电平阈值时，关断时间 ( $T_{OFF}$ ) 终止。无需补偿元件。PWM 开关频率不受控制，会随负载电流变化，并在较轻的负载下提供更高的效率。

**使用场合：**需要快速瞬态响应时。启动斜坡没有时钟信号延时时间。输出电容器 ESR 的输出端需要一定的纹波。

**热门器件：** [LM3475](#)、[LM3485](#)

**了解详情：** [LM3485 滞环 PFET 降压控制器数据表](#)



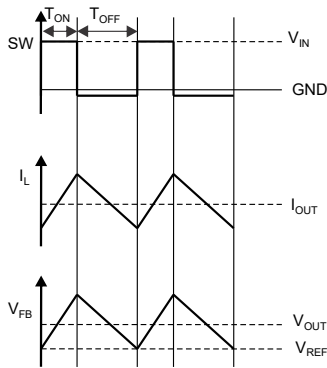
## 恒定导通时间

滞环控制略有变化，可最大限度地减少频移，但采用单一电压阈值电平仍可实现快速瞬态响应。导通时间由单次触发导通计时器终止，与输入电压成正比。当反馈电压降到基准低电平阈值以下时，关断时间被终止。

**使用场合：**当需要快速瞬态响应而不需要固定或可预测的开关频率时。输出电容器 ESR 的输出端需要一定的纹波。

**热门器件：** LM5017、LM2696、TPS54A20

**了解详情：** [控制输出纹波并通过恒定导通时间 \(COT\) 稳压器设计实现 ESR 非相关性](#)



## 采用仿真纹波模式时的恒定导通时间

COT 稳压器的一种变体，可检测低侧 MOSFET 的部分关断时间电流并将其注入误差比较器以模拟纹波。此控制模式具有与 COT 相同的快速瞬态响应和较少外部元件优点。

**使用场合：**采用低 ESR 陶瓷电容器时或不需要外部纹波注入电路时。

**热门器件：** LM3100、LM3150

**了解详情：** [仿真纹波技术提升了滞环开关电源性能](#)

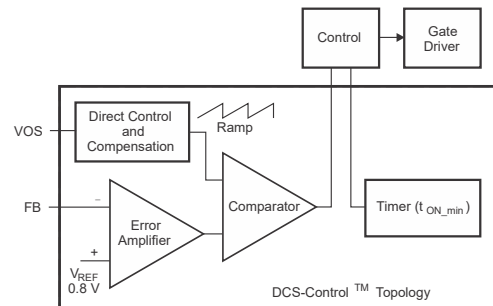
## DCS-Control™：可无缝转换到省电模式的直接控制

兼具通过滞环控制实现快速瞬态响应而无需补偿元件和通过电压模式控制实现高直流精度的优势，同时可从 PWM 无缝过渡到省电模式 (PSM)。

**使用场合：**当需要使用小型低 ESR 陶瓷电容器来实现高轻负载效率时。

**热门器件：** TPS62872、TPS628303、TPS62903、TPS82130

**了解详情：** [高效、低纹波 DCS-Control™ 提供无缝 PWM/节能转换](#)



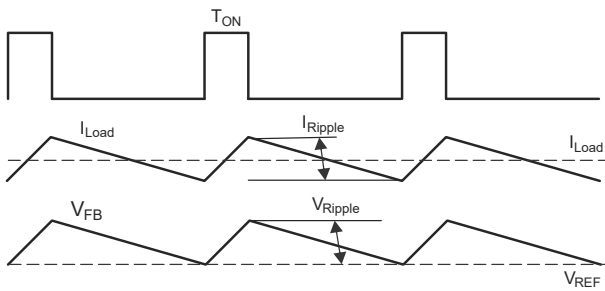
## 直接连接到输出电容器 (D-CAP™)

与 COT 控制类似，只是一次性计时器会生成与输入电压和输出电压成正比的导通时间脉冲。当下降反馈电压等于基准电压时，将生成新的 PWM 导通脉冲。通过控制环路中的高速比较器可实现对负载变化的快速响应。与滞环控制相比，D-CAP™ 可更大限度地降低频移。

**使用场合：**需要快速瞬态响应并使用 POSCAP 或中等 ESR 输出电容器时。无需环路补偿计算或元件。

**热门器件：** TPS51116、TPS53219A、TPS53355

**了解详情：** [笔记本电脑应用中的自适应恒定导通时间 \(D-CAP™\) 控制研究](#)



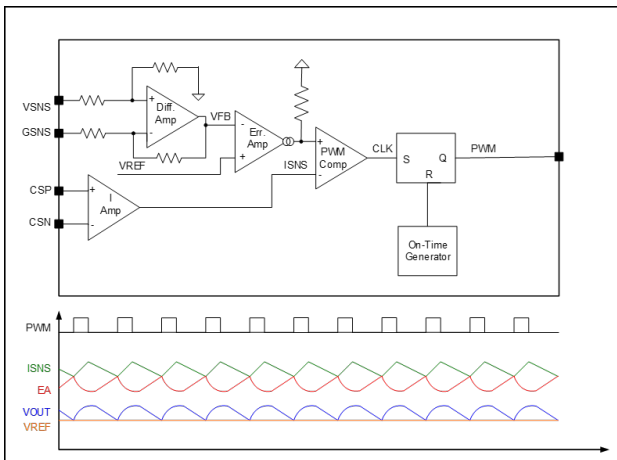
### D-CAP+™

D-CAP+ 在 D-CAP 的基础上添加了一个误差放大器，该放大器会将  $V_{FB}$  与  $V_{REF}$  进行比较，以提高输出电压精度，并添加一个电流检测放大器来直接检测电流，而不是依赖输出 ESR 充当检测元件。D-CAP+ 是真正的电压控制电流源，与大多数电流模式控制型号一样没有时钟限制。D-CAP+ 用于需要真正电流检测的应用，例如具有一个输出电压的多相和压降补偿（负载线路）应用。电流检测可以在电源 IC 内部或外部完成，具体取决于器件。

**使用场合：** 负载线路或多相控制器应用需要高精度电流检测时

**热门器件：** [TPS53661](#)、[TPS53667](#)、[TPS548C26](#)

**（更新）了解详情：** [适用于可为微处理器供电的多相降压稳压器的 D-CAP+™ 控制](#)



### D-CAP2™

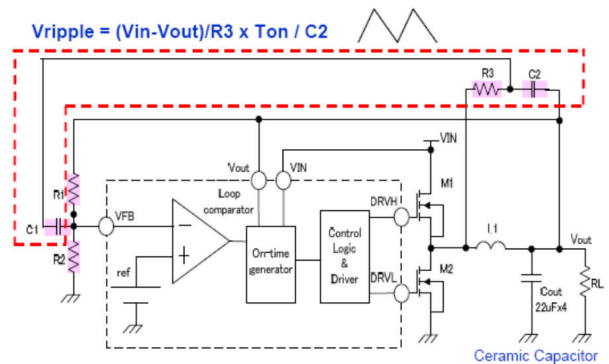
与 D-CAP 略有不同，具有与 D-CAP 相同的瞬态和外部元件优势。此控制模式无需外部电路即可支持陶瓷输出电容。来自内部纹波注入电路的信号直接馈入比较器，从而

减少了对电容器 ESR 输出电压纹波的需求。斜坡由输出电感器仿真。

**使用场合：** 当需要使用低 ESR 陶瓷输出电容器实现快速瞬态响应时。

**热门器件：** [TPS563202](#)、[TPS563210](#)

**了解详情：** [D-CAP2™ 频率响应模型](#)



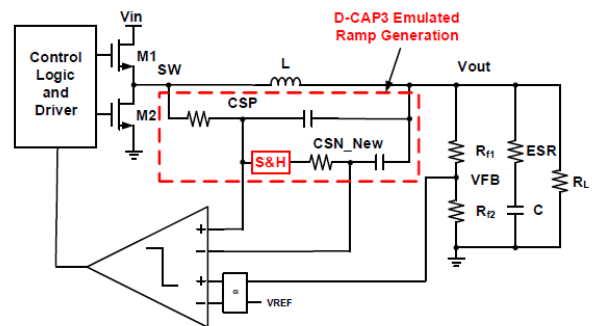
### D-CAP3™

D-CAP2™ 的变体，具有相同的瞬态和外部元件优势。转换器内置采样保持电路，以消除 D-CAP2 仿真斜坡电路产生的失调电压，从而提高电压基准精度。非常适合为低内核电压 FPGA、ASIC 和 DSP 供电。

**使用场合：** 当使用陶瓷输出电容器而需要更严格的基准电压精度和快速瞬态响应时。

**热门器件：** [TPS565247](#)、[TPS56C231](#)、[TPS548B28](#)、[TPS563206](#)

**了解详情：** [适用于 D-CAP3 模块的精度提高型斜坡生成设计](#)

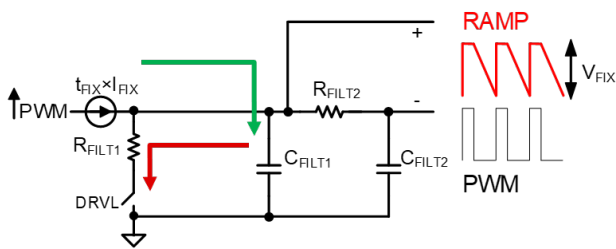


## D-CAP4™

D-CAP4 具有与 D-CAP3 相同的优点，但降低了环路增益对输出电压的敏感度，以改善较高输出电压下的瞬态响应。斜坡注入原理与 D-CAP3 相同，只是斜坡共模和振幅与输出电压无关。斜坡共模与  $(1-D)$  成反比，以便保持恒定的斜坡幅度，因此不太需要针对不同的输出电压调整斜坡。

**使用场合：**在 3.3V 或 5V 等较高输出电压下需要快速瞬态响应时。

**热门器件：** [TPS54KB20](#)



**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。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2023 Texas Instruments Incorporated

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

ZHCT424B

## 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