

固定頻率 DCS-Control：具有時脈同步的快速瞬態回應

Chris Glaser

Senior Member, Technical Staff

簡介

固定導通時間 (COT) 控制拓撲的常見缺點是切換頻率變化，以及無法與外部時鐘同步。TI 的固定頻率直接控制可無縫轉換為省電模式 (固定頻率 DCS-Control) 拓撲，以流行的 COT DCS-Control 拓撲為基礎，具有快速瞬態回應，並新增了一個振盪器，可搭配選用時脈同步實現固定頻率操作。此組合可讓應用同時需要快速瞬態回應，並具有特定雜訊或頻率需求。

如差動遠端感測、外部控制迴路補償與可堆疊性等其他功能，可支援在對雜訊敏感的應用中常見高電流處理器的嚴苛瞬態要求，其中包括車用資訊娛樂系統和先進駕駛輔助系統 (ADAS)、通訊設備光學模組、工業測試與測量、醫療，以及航太與國防。本文概述固定頻率 DCS-Control 拓撲技術，討論其絕佳的瞬態回應、穩定且可同步化的切換頻率、低漣波省電模式，以及高電流的可堆疊性。

DCS-Control 拓撲技術概覽

圖 1 顯示了 DCS-Control 拓撲 [1] 的基本原理圖。輸出電壓感測 (VOS) 與回饋 (FB) 接腳皆提供控制迴路的輸入，以進行適當調節。VOS 接腳可直接將輸出電壓饋入斜率，然後進入比較器，讓其立即影響操作點，以提供拓撲的快速瞬態回應。FB 接腳是一種提供高度準確 DC 設定點調節的低頻寬路徑。在 DCS-Control 中結合後，VOS 接腳的 AC 路徑與 FB 接腳的 DC 路徑可提供準確的輸出電壓，快速回應負載瞬變態。

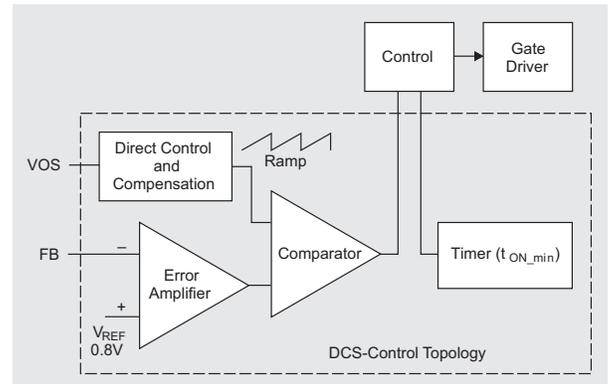


圖 1. DCS-Control 拓撲的原理圖。

DCS-Control 等 COT 拓撲可利用計時器設定開啟時間。計時器透過輸入與輸出電壓調整此開啟時間，可在脈衝寬度調變 (PWM) 模式下，針對多數工作週期，提供合理穩定的頻率運作。方程式 1 展示一個範例，其中 416ns 是 2.4MHz 切換頻率期間：

$$t_{ON} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \times 416ns \quad (1)$$

但切換頻率的準確度並不足以滿足需在特定頻帶內外運作的應用需求。這些應用通常需要以振盪器設定切換頻率，例如電壓或電流模式控制，在部分情況下也需具備與系統時鐘訊號同步化的能力。參考 [2] 提供 DCS-Control 頻率變化的更多範例。

固定頻率 DCS-Control 拓撲概覽

圖 2 展示固定頻率 DCS-Control 拓撲的基本原理圖，如 15A TPS62873 降壓轉換器中的實作。附添加振盪器可以直接設定切換頻率 (f_{SW})，方法與電壓或電流模式控制相同。將振盪器輸入至控制迴路後，也可將切換頻率與套用的時鐘訊號同步化。

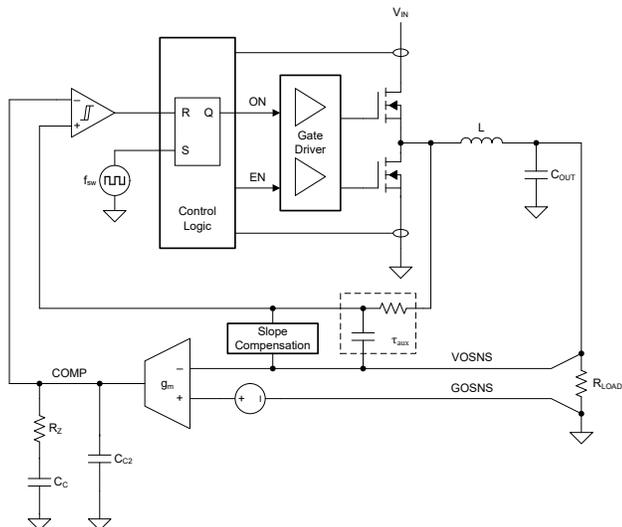


圖 2. TPS62873 固定頻率 DCS-Control 拓撲的原理圖，內含振盪器、差分遠端感測、轉導放大器與磁滯比較器。

固定頻率 DCS-Control 通常用於高電流裝置，採用差分遠端感測。該裝置會調節 VOSNS 和 GOSNS 針腳之間的電壓，這些針腳佈線穿過印刷電路板 (PCB) 直接在負載下感測輸出電壓。負載時的感測會克服並補償 PCB 平面與軌跡的 DC 電壓下降，也會補償裝置與負載間的電感延遲。這兩項特性對於在負載範圍內及負載暫態期間維持非常嚴格的規範非常重要。

差動分遙感訊號饋入轉導放大器 (g_m) 後，會將它們的差異與輸出電壓設定值進行比較。(為簡單起見，圖 2 將此設定點顯示為與 GOSTS 訊信號串聯的電壓源。)COMP 接腳提供此放大器的輸出，並透過 Type II (單極，一個零點) 網路接地進行補償。

這種外部補償可讓您將控制迴路最佳化至任何系統需求，從具強大負載暫態與大輸出電容的系統，到具有極少輸出電容與小尺寸的小或無負載瞬變的系統。與 DCS-Control 不同，快速回授路徑會經由此放大器，不會立即連接至比較器，因此可藉補償元件選擇增加 (或減少) 增益。若需要更強大的瞬態回應，可增加增益，並增加更多輸出電容。若應用中沒有強大瞬變，可減少增益並使用最少輸出電容，以實現最小尺寸。

根據應用需求調整瞬態回應的能力，可以在更嚴苛的瞬態下實現更嚴格的調節，這與以前的 DCS-Control 拓撲技術相比，又能達到嚴苛的處理器核心要求，例如 TI 的 Jacinto™ J7 和 MobileEyeQ6 [3-4]。圖 3 展示三個可提

供 46A 負載瞬變的 TPS62876-Q1 壓轉換器堆疊，同時可維持 0.875V 設定點 $\pm 2\%$ 以內的輸出電壓。

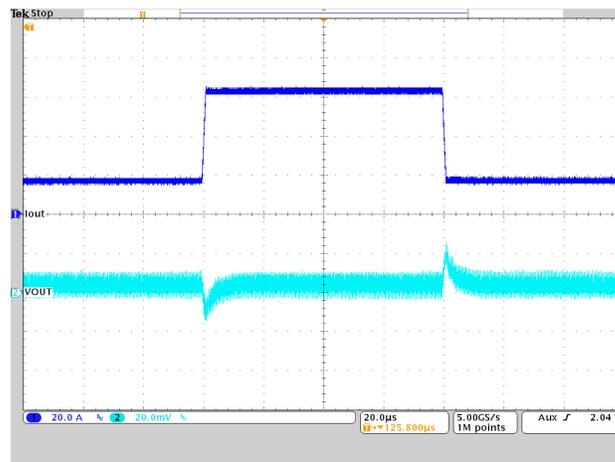


圖 3. 固定頻率 DCS-Control 的瞬態回應可調至最嚴苛的負載瞬變，提供出色的穩壓能力。

磁滯比較器會比較 COMP 接腳輸出與由 τ_{aux} 元件建立的電感器電流複本，並增加斜率補償以防止次諧波振盪。比較器的輸出會驅動設定重設 (SR) 鎖存電路，以及控制閘極驅動器和裝置運作的時鐘。振盪器控制切換，以精準地在切換頻率下發生。

設定重設鎖存器是為控制區塊詳細操作的簡化表示法，實作是為維持 DCS-Control 的快速，磁滯特性，進而能立即回應負載瞬變。例如，在負載突降瞬變 (輸出電壓上升時) 期間，磁滯比較器的輸出在時鐘訊號之上擁有優先權。轉換器會視需要延長高壓側 MOSFET 的關閉時間，以將輸出電壓調至最低過衝。與典型峰值電流模式控制相比，此作為可從本質上改善，在每時脈週期切換，持續為輸出增加能源，即使過高也一樣。減少輸出電壓過衝後，轉換器可將輸出電容大幅降低，這是對電源供應器成本與尺寸的最大影響。

切換頻率變化

除了維持快速瞬態回應 (可透過 COMP 接腳上的外部補償進一步改善與調整) 之外，固定頻率 DCS-Control 還提供了嚴格公差規格的固定切換頻率。由於切換頻率是直接透過振盪器設定，而非透過開啟計時器間接控制，因此特定裝置的產品規格表會指定頻率公差。表 1 並表 2 使用固定頻率 DCS-Control 拓撲比較 TPS62876-Q1 的切換頻率規

格，對比於與 DCS-Control **TPS62869** 降壓式轉換器的典型頻率規格。

| 參數 | 測試條件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 單位 |
|-----------------|----------------------------------|-------|------|-------|-----|
| f _{SW} | f _{SW} = 1.5MHz、PWM 操作 | 1.35 | 1.5 | 1.65 | MHz |
| | f _{SW} = 2.25MHz、PWM 操作 | 2.025 | 2.25 | 2.475 | |
| | f _{SW} = 2.5MHz、PWM 操作 | 2.25 | 2.5 | 2.75 | |
| | f _{SW} = 3MHz、PWM 操作 | 2.7 | 3 | 3.3 | |

表 1. TPS62876-Q1 採用固定頻率 DCS-Control 拓撲，在完整溫度與輸入電壓範圍中指定四個切換頻率選項的 ±10% 公差。

| 參數 | 測試條件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 單位 |
|-----------------|----------|---|-----|-----|-----|
| f _{SW} | PWM 切換頻率 | I _{OUT} = 1A、V _{OUT} = 0.9V | 2.4 | | MHz |

表 2. 使用 DCS-Control 的 TPS62869 僅指定一般切換頻率。

圖 4 圖 5 並比較切換頻率與應用中負載電流的實際變化。兩種裝置都支援省電模式，能降低較低負載電流下的頻率（兩張圖表的左側）。在 PWM 模式下運作（在高電流下）可為固定頻率 DCS-Control 產生精確控制的切換頻率，而 DCS-Control 的切換頻率則會隨負載增加而稍微提高。在強制 PWM 模式（未顯示）下，固定頻率 DCS-Control 可將其固定頻率降至無負載。

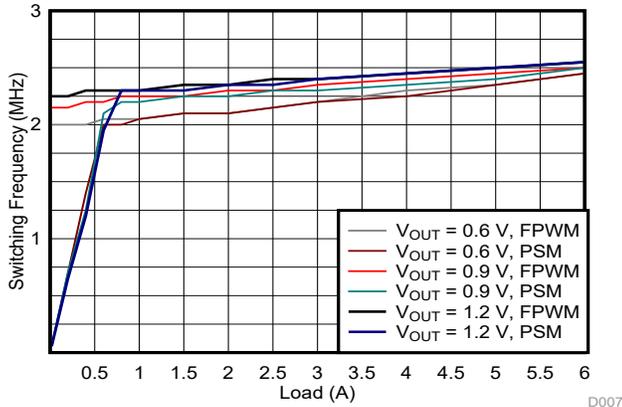


圖 4. 具備 DCS-Control 的 TPS62869 切換頻率變化。

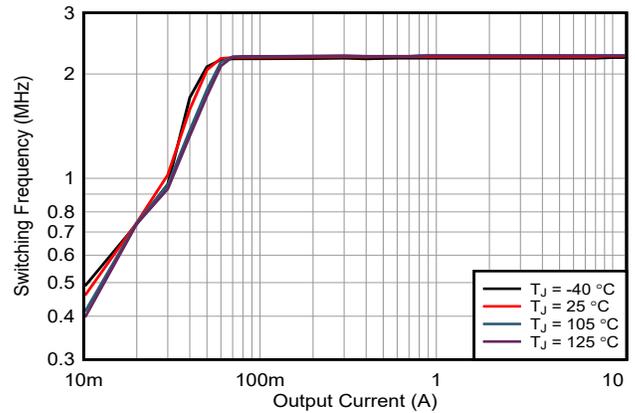


圖 5. 具固定頻率 DCS-Control 的 TPSM8287A12 電源模組切換頻率變化。

除了省電模式外，在兩種情況下切換頻率可能會偏離振盪器設定的頻率：在強負載暫態期間，以及達到最小開啟時間。施加高負載時，高側 MOSFET 會開啟超過完整切換週期的時間，而移除高負載時，其關閉時間可能會超過完整切換週期。這兩種情況都會導致一個或多個脈衝因延長開/關時間而不存在。

若達到高側 MOSFET 的最小開啟時間，固定頻率 DCS-Control 和 DCS-Control 會降低切換頻率，以符合最小開啟時間，並維持輸出電壓穩壓。與部分能維持頻率但讓輸出電壓上升以符合所需的最小開啟時間的電流模式裝置相比，此裝置的性能已獲得提改。雖然固定頻率 DCS-Control 和 DCS-Control 以 [2] 的相同方式降低切換頻率，但固定頻率 DCS-Control 在達到最小開啟時間的操作條件較少，而且最小開啟時間較低，因此頻率降低。例如，**TPS62876-Q1** 指定在 5V 輸入電壓和所有操作溫度下最小開啟時間的 44ns 最大值。例如，這麼低的最小開啟時間值，就能在汽車與航太與國防應用中降低輸出電壓，並在整體系統有時需要的高頻率區域中運作。

低漣波省電模式

當大多數應用都以強制 PWM 模式操作固定頻率的 DCS-Control 裝置，以在低負載時獲得低輸出電壓漣波及更出色的瞬態回應時，此拓撲確實能支援省電模式，能在低負載時提升效率。為了維持目標切換頻率，並提供更低的漣波以降低負載電流，固定頻率 DCS-Control 將省電模式的開啟時間縮減，而 DCS-Control 則可維持開啟時間恆定。當電感器電流不連續時，兩種拓撲都會進入省電模式，因此會比 PWM 模式產生稍微高的漣波。

DCS-Control 的省電模式不需以相同開啟時間降低頻率，而是減少開啟時間，同時維持相同頻率。減少開啟時間就可減少輸出的能量，與 DCS-Control 相比可減少漣波電壓。一旦開啟時間降至最小，跳過脈衝就會進一步降低輸出功率，以達到最輕負載。跳過脈衝也會降低頻率。

图 4 图 5 展示在省電模式下降低頻率的相異之處。固定頻率 DCS-Control 裝置可將頻率降至低於約 60mA 負載，DCS-Control 裝置則開始將頻率降至 500mA 左右。雖然這些電流值因不同裝置和操作條件而有所不同，但固定頻率 DCS-Control 可將切換頻率維持低至低負載電流，漣波因而降低。

堆疊 (並聯) 以實現更高 (或更低) 負載電流

從一方面來看，處理器核心在每次連續產生處理器時，通常需要較高的電流。但在另一方面，某些應用可能無法使用指定處理器的所有功能，或是在同一處理器系列中使用功能較弱的處理器，因而導致電流需求降低。向上和向下調整電源供應器的電流能力需要堆疊式 (可並聯) 解決方案，在該解決方案中可隨電流需求改變新增或移除其他電源供應相位。

固定頻率 DCS-Control 裝置支援堆疊。雖然各裝置系列的專屬實作詳細資訊稍有不同，但具備包括分流、相位交叉和介面精簡等特性。

分流可透過 COMP 接腳實現。由於 COMP 接腳基本上是小訊號操作點，因此在所有堆疊裝置之間分享用此接腳的訊號，因此固定頻率 DCS-Control 通常可實現高於 10% 分流準確度。

相位交叉可透過專用 SYNC_OUT 接腳完成，該接腳連接堆疊之下一個裝置的 MODE/SYNC 輸入接腳。

SYNC_OUT 會自動相移換以提供漣波消除。透過這種簡單的菊鍊，堆疊中的所有裝置都能以相較於單相設計的相同頻率及更低的漣波運作。您可堆疊大量轉換器並獲得非常好的相位平衡，而不需指定堆疊中的裝置數量。

透過 I2C 介接堆疊時，通訊只會發生在主要裝置 (而非堆疊中的每部裝置) 以調整輸出電壓、變更操作模式，或讀回故障暫存器。與單一裝置介接可藉由減少讀取與寫入的數量及需要路由的 PCB 訊號數量，大幅簡化通訊開銷項目和 PCB 路由佈線。

結論

固定頻率 DCS-Control 具備快速瞬態回應及可堆疊性，可滿足最新處理器的嚴苛負載瞬態及輸出電流需求，同時具備固定頻率操作與同步化功能，非常適合對雜訊敏感的應用。汽車 ADAS 與資訊娛樂系統、光學模組、工業測試及量測、醫療、航太與國防應用，全部都具備領先優勢。可調式外部控制迴路補償支援具最小輸出電容的快速瞬態回應，可縮小電源供應器系統尺寸並降低成本。

參考

- 德州儀器：[高效率、低漣波 DCS-Control 提供無縫 PWM/省電轉換](#)
- 德州儀器：[了解 DCS-Control 拓撲的頻率變化](#)
- 德州儀器：[具有使用 TPS6594133A-Q1 PMIC 與雙 HCPS 轉換器且適用於隔離電源組的 Jacinto SoC 系列供電](#)
- 德州儀器：[MobileyeEyeQ6L - 半離散電源樹](#)
- Priess, Canan 「[如何為 ADAS 處理器提供超過 100 A 電流](#)」。TI E2E™ 設計支援論壇技術文章，2023 年 6 月 6 日。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated