

## Technical Article

## 如何以非耗散箝位提升返馳效率



Brian King

在返馳轉換器的標準形式中，變壓器的洩漏電感會在主要場效應電晶體 (FET) 汲極產生電壓突波。為防止此突波過多並造成損害，FET 需要一個通常是耗散箝位的箝位網路，如圖 1 所示。但在耗散箝位中的功率會限制返馳轉換器的效率。在本用電訣竅中，我專門研究使用非耗散箝位技術回收漏感能量並提高效率的返馳式轉換器的兩種不同變體。

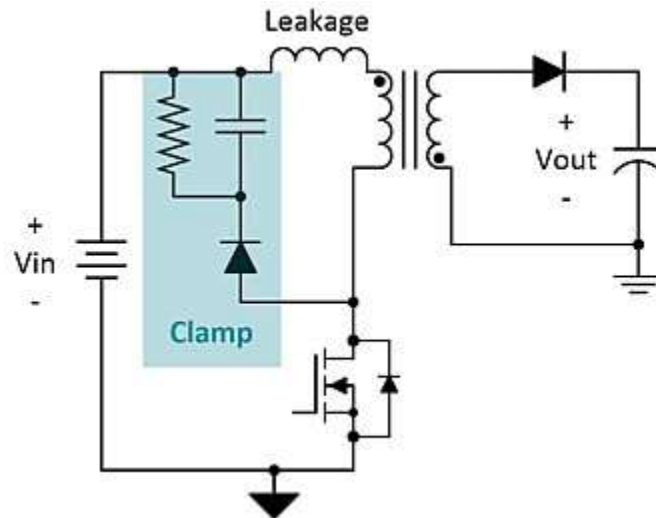


圖 1. 大多數返馳式轉換器皆採用耗散箝位。

耗散箝位中的電源損耗，與各切換週期洩漏電感中儲存的能源有關。FET 開啟時，變壓器主要繞組中的電流會增加至由控制器決定的峰值電流。此峰值電流會在主要磁化和洩漏電感中流動。FET 關閉時，磁化能會透過變壓器的次要繞組傳送至輸出。洩漏能源不會透過變壓器核心耦合，因此會保持在一次側並流入箝位。

務必要了解，不僅箝位中耗散的洩漏能源，即使只是磁化能的一部分也同樣重要。如用電訣竅 #17 中所述，使一次繞組電壓遠高於反射輸出電壓，可在最大限度內減少箝位中消耗的磁化能。

雙開關返馳是返馳式轉換器常見的變異，可回收洩漏能源。圖 2 是雙開關返馳的簡化電路圖。兩個主要 FET 皆以串聯方式連接，並於之間一次繞組串聯。這兩個 FET 同時開啟或關閉。開啟時，一次繞組會連接至輸入，並會通電為峰值電流。關閉時，二次繞組會將磁化能傳送至輸出，並透過 D1 和 D2 將洩漏能源回收回輸入。雙開關返馳可回收漏電能量，其效率比單開關耗散箝位裝置更高。

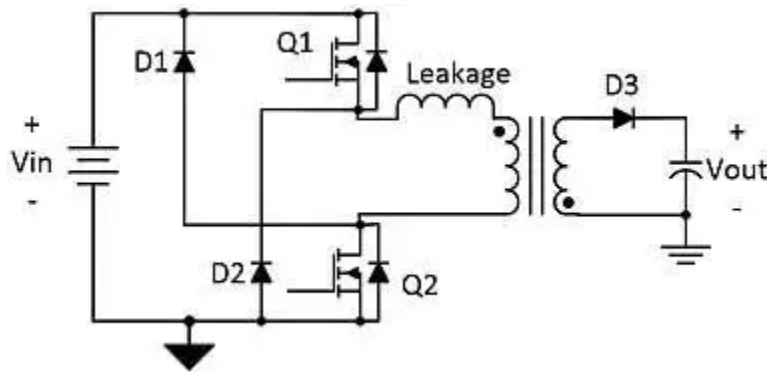


图 2. 雙開關返馳將洩漏能源回收至輸入。

由於兩個開關同時進行傳導，因此獲得的效率會稍微偏移，而且傳導損耗通常會增加，特別是在低輸入電壓應用中。還好有兩個 FET 的汲極至源極電壓會箝制輸入電壓，因此相較於單開關返馳，您可以使用低電壓額定值的 FET。箝位電壓應力也對高輸入電壓應用有利。

效率增益與洩漏電感與磁化電感的比率有關，通常約為 2%。回收除了效率更高之外，同時還有其他好處。在高功率返馳應用（通常大於 75W）中，耗散箝位中的損耗會造成一場熱管理災難。雙開關交器返馳可完全免除此熱源。

為提高效率與提升熱性能，需在成本與複雜性上有所取捨。不僅需要額外的 FET，也需要高側 FET 的隔離式驅動器。此外，需設定變壓器匝比，讓反射的輸出電壓小於最小輸入電壓。否則，輸出電壓將被箝位，變壓器將無法正確重設。因此，雙開關返馳固有的限制為最大 50% 工作週期。事實上，反射的輸出電壓應充分低於最小輸入電壓，讓洩漏電感快速重設。

图 3 中的電路顯示了另一種回收洩漏能源的方式，但採用的是單開關返馳。這種非耗散箝位並不陌，但也非眾所周知。它提供了與雙開關返馳相同的許多優點。

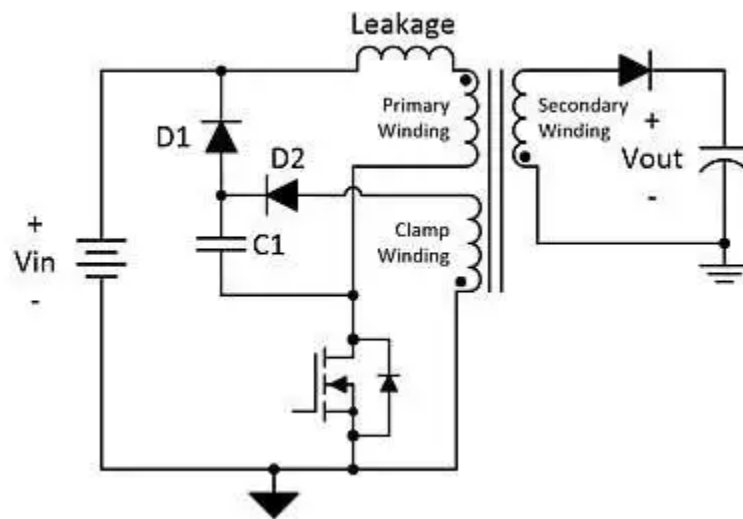


图 3. 在單開關返馳中加入簡單的非耗散箝位。

執行此箝位時，必須在變壓器的一次側增加箝位繞組。此繞組的圈數必須與主要繞組相同。增加箝位電容器並與 FET 汲極相連。箝位電容器的另一端會透過二極體 D1 箝位輸入電壓，並透過二極體 D2 箝位繞組。

箝位繞組和 D2 會將箝位電容器的電壓限制在與輸入電壓相等的最大值，在主要迴路套用 Kirchoff 的電壓定律時就能看出這一點，如 图 4 所示。請注意，無論極性或幅度為何，兩個一次繞組電壓都會互相抵消。此方法僅在兩個繞組上使用相同圈數時有效。

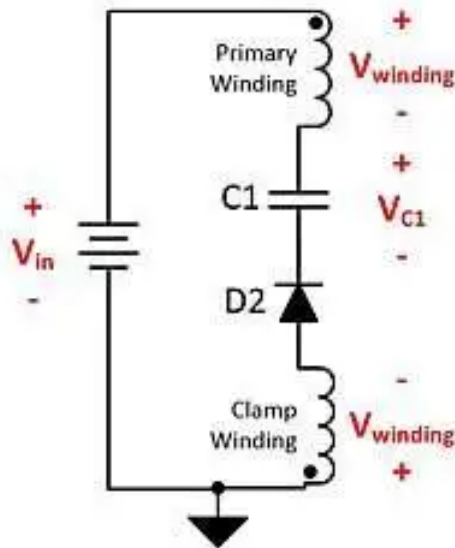


图 4. 箝位電容器電壓受輸入電壓限制。

如要了解此箝位的運作方式，請思考 FET 關閉時會發生什麼事。一次要 FET 關閉時，洩漏電感中的電流會流經箝位電容器和正向偏壓二極體 D1。D1 開啟時，洩漏電感上的電壓等於輸入電壓與反射輸出電壓間的差異。一旦洩漏電感中的電流降至零，D1 便會關閉。傳送至箝位電容器的洩漏能源會暫時增加箝位電容器上的電壓，使其略高於輸入電壓。D1 關閉時，D2 箝位會透過變壓器繞組中的耦合，將儲存的電荷有效傳輸至輸出。

此箝位電路所需元件更少，而且比雙開關返馳便宜。就像雙開關返馳一樣，效率提升了幾個百分點，並免除了與洩漏能源消耗相關的散熱問題。此箝位電路也會將工作循環限制在 50% 最大值。但要取捨的則是電路需要較高電壓的 FET，其額定電壓必須為輸入電壓的兩倍以上。與雙開關返馳相比，FET 汲極上的較高電壓也可能帶來更多的電磁干擾問題。

主動箝位返馳是另一個返馳版本，可回收洩漏能源量，同時可提供零電壓切換。主動箝位返馳較為複雜，需要 UCC28780 等專用控制器，非常值得擁有它的用電訣竅，所以我要將這個討論留到以後再討論。下次設計高功率返馳時，請考慮採用非耗散箝位以提升效率，並讓電源供應器保持冷卻。

#### 相關文章

- [提升低成本返馳式轉換器的效率](#)
- [用電訣竅 #76：返馳式轉換器設計考量](#)
- [用電訣竅 #77：CCM 返馳式轉換器](#)
- [用電訣竅 #17：緩衝返馳式轉換器](#)

先前發佈在 [EDN.com](#)。

## 重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## 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