

D22-007



作品摘要

近年來，為了縮減電池充電時間，電源供應在單一時間內需提供更高能量，再加上環保意識抬頭，因此電動車電源系統、USB PD3.1 240W快充技術顯得尤為重要。而在穩定安全供電的前提下，需要將供電電壓提升，因此採用氮化鎵（GaN）高電子遷移率電晶體（HEMT）電路將是最好的選擇。再者，基於GaN的功率轉換器可以同時實現低功耗和高開關頻率操作。

然而，GaN HEMT存在許多製程缺陷，如嚴重的俘獲效應和較大的反向傳導損耗。在半橋拓撲的死區期間內，開關節點（ V_{SW} ）在下橋GaN HEMT導通之前會下降到負電壓。即使沒有體二極體，當閘極和通汲極之間的電壓差超過閾值電壓時，下橋GaN HEMT也會產生「自反向損耗」。由於與矽基電晶體的體二極體電壓相比，GaN HEMT具有更高的源極至汲極電壓降（ V_{SD} ），因此整體效率會降低。

本研究提出的基於GaN的驅動器採用二極體等效GaN技術，使用MSF比較器可以實現0.2ns以下的死區時間，從而使反向導通損耗降低。二極體等效GaN技術可偵測下橋GaN開關（ Q_L ）的閘極電壓（ V_{GL} ）。該技術透過MSF比較器將開關節點電壓（ V_{SW} ）與零電壓進行比較，以實現自適應死區時間控制，無需等待來自上橋GaN HEMT的外部脈寬調製 V_{PWM} 信號的傳輸，從而實現了 V_{SW} 上升緣為小於奈秒的死區時間。具有調整的前置放大增益的MSF比較器可以減少傳遞延遲，並提供亞奈秒（sub-ns）的響應時間，以最小化死區時間的反向導通損耗。

應用於電動車與 USB 最新快充技術之氮化鎵單晶片 400V 轉 48V 直直轉換器

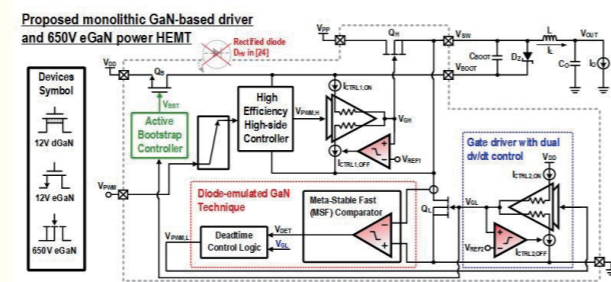
Automobile-Use and the Latest USB-PD-Charging-Use Monolithic GaN-Based 400V-to-48V DC-DC Converter

隊伍名稱 就。很。敢。
Oh. So. GaN.

隊長 王資文 / 陽明交通大學電機工程學系
隊員 李思毅 / 陽明交通大學電控工程研究所
許雅婷 / 陽明交通大學電機工程研究所
郭昱辰 / 陽明交通大學電機工程學系

具有快速放電迴路的主動式自舉控制器可減輕寄生效應以提高切換頻率。此外，本研究所提出的具有快速放電迴路的有源自舉控制器在 Q_L 導通期間通過同步eGaN自舉電路對 C_{BOOT} 充電，以增加半橋拓撲的效率。本研究提出的具有雙向迴轉率控制的閘極驅動器可以實現 50MHz操作和120V/ns的迴轉率。在切換650V GaN的開關操作的過程中，開關的閘極電壓由來自聯級的緩衝電路和雙向迴轉率控制器的自適應電流控制。雙向迴轉率控制的閘極驅動器可以減少開啟和關閉期間於閘極產生的振鈴效應。

本研究提出具有快速放電迴路、雙向迴轉率控制的二極體等效GaN技術可實現50MHz操作和120V/ns的迴轉率。在50MHz下，死區時間小於0.2ns，峰值效率可達到95.4%。



圖一 本研究提出的單晶片 GaN 驅動器和 650V eGaN 功率 HEMT 之架構

指導教授

陳科宏 陽明交通大學電機工程學系

臺灣大學電機工程學士、碩士、博士，曾於 1996 至 1998 年任臺北飛利浦公司兼職 IC 設計人員，1998 至 2004 年任工程師以及經理，從事電源管理 IC 的設計。成立陽明交通大學混合信號和電源管理 IC 實驗室，在 IEEE 頂尖期刊（JSSC 及 TPE）和會議（ISSCC 及 VLSI symposium）上有卓越的貢獻，並擁有多項專利。

研究領域

電源管理積體電路設計、混合訊號電路設計、液晶顯示器（LCD）驅動器設計、氮化鎵驅動器設計

Abstract

In recent years, to reduce the battery charging time, the power supply needs to provide more power. Furthermore, with increased awareness of environmental protection, the electric vehicle power system and the USB PD3.1 240W fast charging technique are particularly important. On the basis of a stable and safe power supply, the power supply voltage needs to be increased, so the use of Gallium Nitride (GaN) high electron mobility transistors (HEMT) circuits will be the best choice. Moreover, the GaN-based power converter can achieve low power consumption and high switching frequency at the same time.

However, GaN HEMT has many process defects, such as serious trapping effects and large reverse conduction loss. During the deadtime period of the half-bridge topology, the switch node (V_{SW}) falls to a negative voltage level before the low-side GaN HEMT becomes conductive. Moreover, considering the high switching operation, a high slew rate during the turn-off period of the low-side power switch will cause an abnormal turn-on through the gate-to-drain capacitance C_{GD} .

The proposed monolithic GaN-based driver with diode-emulated GaN technique utilizes the MSF comparator to reduce reverse conduction loss by sub-0.2ns deadtime. This technique compares switch-node voltage (V_{SW}) with zero voltage by the MSF comparator to achieve an adaptive deadtime control, without waiting for the transmission of external pulse width modulation (PWM) signal V_{PWM} from the high-side GaN HEMT, and also achieves sub-ns deadtime for the V_{SW} rising edge. The MSF comparator with an adjusted pre-amplifier gain can reduce propagation delay and provide sub-ns response



time to minimize the reverse conduction loss during deadtime.

An active bootstrap controller with a fast discharge loop can alleviate parasitic effects to increase the switching frequency. In addition, the active bootstrap controller with a fast discharge loop charges C_{BOOT} during the on-time of Q_L by the synchronous eGaN bootstrap circuit to increase the efficiency of the half-bridge topology. The proposed gate driver with dual dv/dt control can achieve 50MHz operation and 120V/ns slew rate. The proposed gate driver with dual dv/dt control can reduce gate ringing effects in both turn-on and turn-off periods.

The proposed gate driver with dual dv/dt control can achieve 50MHz operation and 120V/ns slew rate. At 50MHz, with sub-0.2ns deadtime, 95.4% peak efficiency can be achieved.

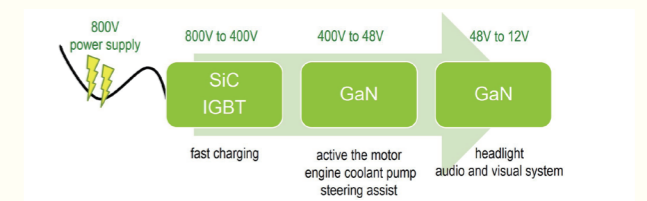


Fig. 2 The application of electric vehicle

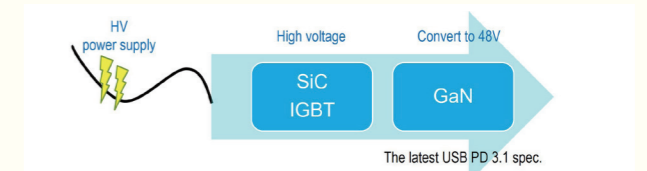


Fig. 3 The application of the latest USB 3.1