International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ВНЕДРЯВАНЕ НА GAN ДРАЙВЕР В МОДИФИЦИРАН ПРОМИШЛЕН AC/DC ЗАХРАНВАЩ БЛОК

Цветомир Христов Гетов[1], Доброслав Данаилов Данков[1,2]

[1] *катедра Електроника, Технически университет – Габрово, tz.getov@tugab.bg*
[2] *Център за компетентност „Интелигентни, мехатронни, еко-и енергоспестяващи системи и технологии“*
Технически университет – Габрово, dankov@tugab.bg
**кореспондиращ автор: tz.getov@tugab.bg*

IMPLEMENTATION OF A GAN DRIVER IN A MODIFIED INDUSTRIAL AC/DC POWER SUPPLY

Tsvetomir Hristov Getov[1], Dobroslav Danailov Dankov[1,2]

[1] *Department of Electronics, Technical University – Gabrovo, tz.getov@tugab.bg*
[2] *Center of competence "Smart mechatronic, eco-and energy-saving systems and technologies"*
Technical University – Gabrovo dankov@tugab.bg
**Corresponding author: tz.getov@tugab.bg*

Abstract

The modernization of industrial power supplies employed in industrial machinery and equipment, whose long-term operational reliability has been demonstrated over many years, increasingly involves the replacement of conventional silicon (Si) semiconductor devices with wide-bandgap (WBG) silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN) devices. The implementation of WBG semiconductor technology, particularly GaN power transistors, requires appropriately designed gate-driver circuits capable of providing the high-speed switching, adequate gate-voltage control, and low parasitic effects required to fully exploit the electrical performance of these devices.In this study, a dedicated gate-driver circuit based on a specialized integrated circuit (IC) is developed for the control of a GaN power transistor. The proposed driver is evaluated using both circuit-level simulations and experimental measurements. Experimental validation is performed using a 200-W industrial switched-mode power supply (SMPS) manufactured by COSEL. The obtained switching waveforms and measured electrical parameters are analyzed to assess the dynamic performance and proper operation of the developed gate-driver circuit under practical operating conditions. The simulation and experimental results demonstrate the functionality of the proposed driver and confirm its suitability for the implementation of GaN-based switching devices in industrial power-supply applications.

Keywords: n-mode GaN, frequency, driver, PWM

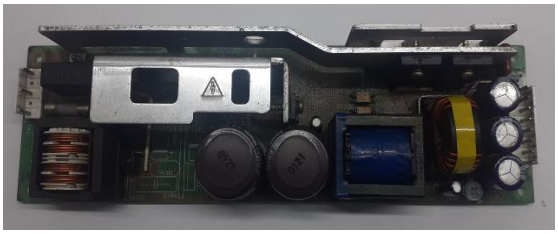
ВЪВЕДЕНИЕ

Модернизацията на промишлените захранващи устройства, използвани в индустриалните машини и оборудване – чиято дългосрочна надеждност е доказана през годините – все по-често включва замяната на конвенционалните силициеви (Si) полупроводникови елементи с такива от материали с широка забранена зона (WBG), като силициев карбид (SiC) и галиев нитрид (GaN). Внедряването на WBG полупроводникова технология, и по-специално на силови транзистори от галиев нитрид (GaN), изисква подходя-

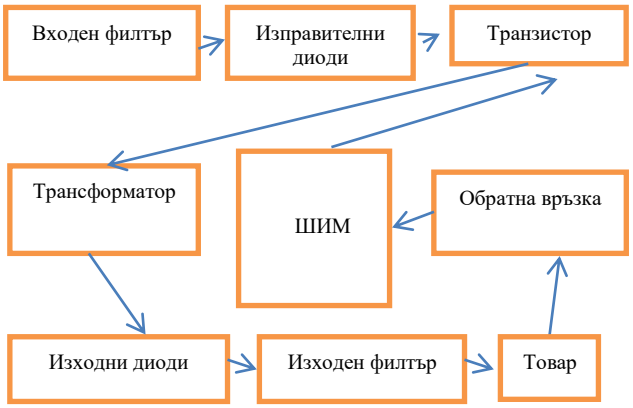
що проектирани схеми за управление на гейта (gate-driver circuits) [1]. Те трябва да осигуряват високоскоростно превключване, прецизен контрол на напрежението на гейта и минимални паразитни ефекти – условия, необходими за пълноценното използване на електрическите характеристики на тези компоненти [2]. В настоящото изследване е разработена специализирана схема за управление на затвора, базирана на интегрална схема (ИС), предназначена за управление на силов GaN транзистор. Предложеното устройство е оценено чрез симулации на схемно ниво и експериментални измервания. Експерименталната проверка е извършена с помощта на промишлен импулсен захранващ блок (SMPS) с мощност 200 W, произведен от компанията COSEL. Анализирани са получените времеви диаграми на превключване и измерените електрически параметри, за да се оцени динамичното поведение и коректната работа на разработената схема в реални експлоатационни условия. Резултатите от симулациите и експериментите доказват функционалността на предложеното устройство и потвърждават неговата пригодност за внедряване на превключващи компоненти, базирани на GaN, в промишлени захранващи системи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Импулсните AC/DC индустриални захранващи блокове на COSEL са широко използвани в различни машини и оборудване благодарение на своята компактност, ефективност и – не на последно място – изключителна надеждност [3]. В същото време технологията, на която се основават, датира отпреди 15–20 години и в много отношения е остаряла. Предвид продължаващата експлоатация на множество плетачни и шевни машини японско производство, в които се използват тези импулсни AC/DC захранвания, възниква въпросът дали те трябва да бъдат оптимизирани или заменени с по-съвременни алтернативи. Като се има предвид високата цена на съвременните индустриални импулсни захранвания, а от друга страна – доказаната надеждност на съществуващите устройства, по-разумно е да се заложи на оптимизация. На Фиг. 1 е показан външният вид на импулсен AC/DC индустриален захранващ блок тип LDA200W-12, а на Фиг. 2 е представена блок-схема на основните му компоненти.

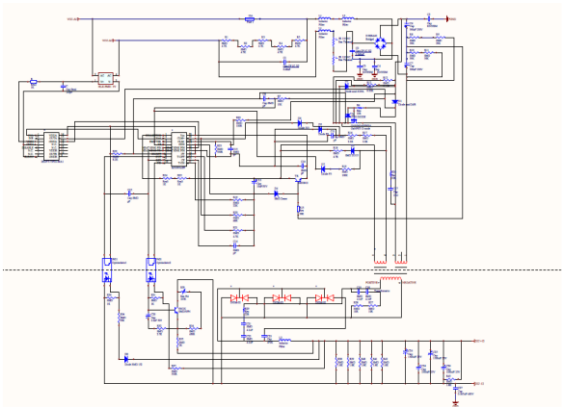


Фиг. 1*.Външен вид на преобразувател LDA200W-12.*



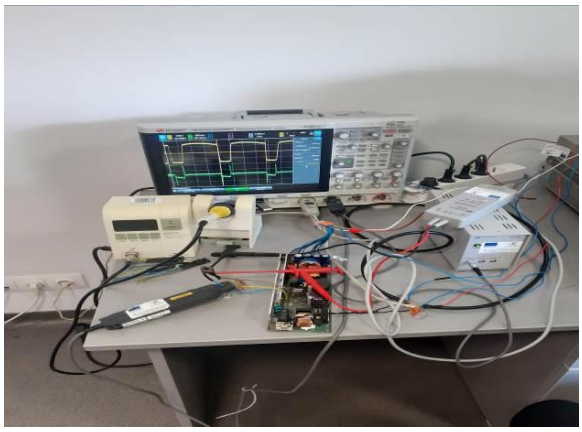
Фиг. 2*.Блокова схема на използвания AC/DC преобразувател.*

Пълната принципна схема е показана на Фиг. 3.



Фиг.3*. Схематично изображение на използвания AC/DC преобразувател с внедрен драйвер за управление на GaN FET*

Силовата схема представлява класически едноключов обратноходов преобразувател (flyback converter) с оптично изолирана обратна връзка по изходно напрежение и защита по ток. Схемата използва PWM контролер (M51955AP), който се отличава с много добри характеристики и достига максимални честоти от 500 kHz. На изхода е приложен двуполупериоден високочестотен изправител със силициеви диоди с общ катод и LC филтър. Поради комутацията на сравнително големи токове са използвани множество защитни RC вериги – както при транзисторите и диодите, така и в първичната страна на изходния импулсен трансформатор.



Фиг. 4. *Експериментална установка.*

Работата на импулсния AC/DC индустриален захранващ блок тип LDA200W-12 е изследвана с помощта на електронен товар, цифров осцилоскоп и анализатор на мощността Keysight, както е показано на Фиг. 4. На фиг.5 и фиг.6 са показани експерименталните осцилограми от работата на силовия силициев MOSFET транзистор 2SK2648, съответно при изходен ток 1A и 8A. Вижда се големия по продължителност преден фронт, което обуславя бавното отпушване на транзистора и пика на загубната мощност върху транзистора от една страна (123W), но липсата на преднапрежение върху транзистора при бавната комутация на индуктивния товар който се явява първичната намотка на импулсния трансформатор от друга.



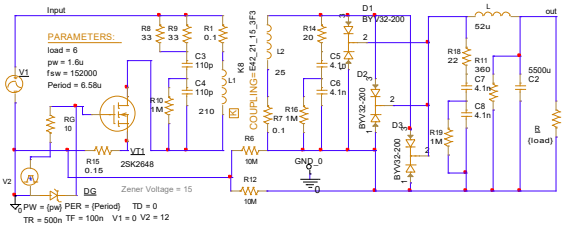
Фиг. 5*. Експериментални осцилограми за напрежението на гейта U_{GS} (синьо), напрежението на дрейна U_{DS} (жълто), тока ID (зелено)и загубите Pdiss (виолетово) при работна честота 134 kHz, товар 12 Ω.*



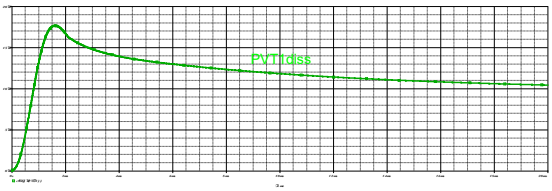
Фиг. 6*. Експериментални осцилограми за напрежението на гейта U_{GS} (синьо), напрежението на дрейна U_{DS} (жълто), тока ID (зелено)и загубите Pdiss (виолетово) при работна честота 134 kHz, товар 1.5 Ω.*

Транзисторът се комутира директно от PWM управляващата интегрална схема M51995AFP с изходен ток на изхода до 2A. Относително големите комутационни загуби обуславят и относително ниската ефективност за съвременните стандарти от около 80% както е посочил производителят [3]. След проведено детайлно експериментално изследване, следващата стъпка е моделирането и симули-

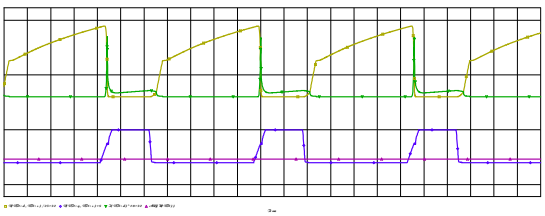
рането на работата на промишленото импулсно захранване (AC/DC) тип LDA200W-12. Това е необходимо, от една страна, за да се извърши симулация при замяна на транзистора с GaN (галиево-нитриден) компонент – преди физическото му внедряване – с цел определяне на работните му режими; и от друга страна, за да се симулират загубите в транзистора и останалите компоненти, влияещи върху коефициента на полезно действие (КПД), което е стандартна практика при изследването на високочестотни преобразуватели [4,5]. На фиг.7 е показана силовата схема на LDA200W-12 за симулация с оригиналния Si транзистор, а на фиг.8-10 са дадени симулационните времедиаграми. Чрез симулациите можем да определим пълните загуби върху силовия транзистор и останалите елементи от силовата схема и с голяма точност по този начин да прогнозираме и бъдещото КПД при модификация на схемата.



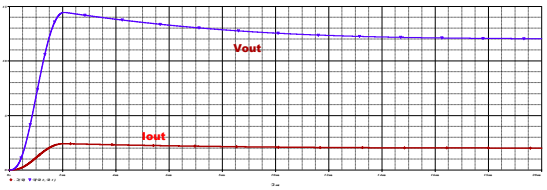
Фиг. 7. *Силова схема за PSPICE симулация.*



Фиг. 8. *Симулация на загубите върху транзистора 2SK2648 при номинален режим.*



Фиг. 9. *Симулация на работата на транзистора 2SK2648 при номинален режим.*



Фиг. 10. *Симулация на изходните напрежение и ток при номинален режим.*

Резултатите от симулацията показват добро съвпадение с резултатите от експерименталните измервания, като грешката не е по-голяма от 10%, което удовлетворява инженерната практика.

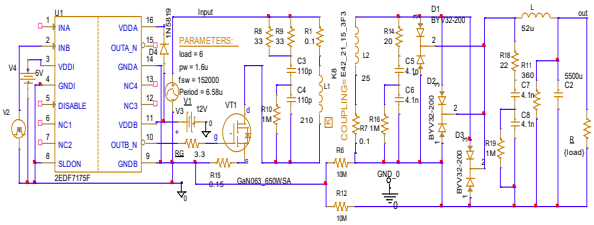
В съответствие с описаните по-горе измервания и тестове, целта ни е да постигнем по-добра ефективност чрез замяна на Si транзистор с транзистор от галиев нитрид (GaN), който има по-ниско съпротивление в проводимо състояние и много бързо превключване. Избрания силов GaN D-mode транзистор е GAN063-650WSA, чиито параметри са представени в Табл. 1.

Таблица 1 *Параметри на GAN063-650WSA.*

V_{DS} (V)	650
$V_{DSS(TR)}$(V) maximum	800
$R_{DS(on)}$ (mΩ) maximum	50
Ciss (pF) typical	1000
QG(tot) (nC) typical	15
td(on) (ns)	57
tr (ns)	10
td(off) (ns)	88
tf (ns)	11

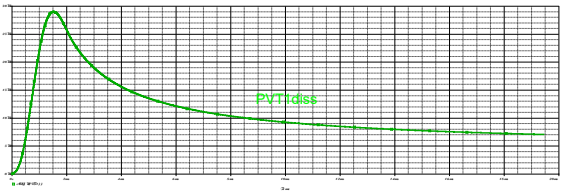
За да постигнем желаната ефективност, ще обърнем специално внимание на напрежението, използвано за управление на гейта на транзистора от галиев нитрид (GaN), тъй като тези транзистори са силно чувствителни, а максималното управляващо напрежение на гейта не трябва да надвишава 10 V. Налага се използването на специализиран драйвер за управление на GaN транзистори [6]. След направеното проучване се установи, че 2EDF7175F е един от най-разпространените типове специализирани драйвери, като в допълнение фирмата-производител предлага и пълен SPICE модел за симулации. Модифицираната симулационна силова схема на LDA200W-12 е показана на фиг.11. Синтезиран е модел

на транзистора GAN063-650WSA, като е модифициран предложения в [7] модел на GaN транзистор. На фиг.12 е дадена времедиаграма на загубите върху транзистора.

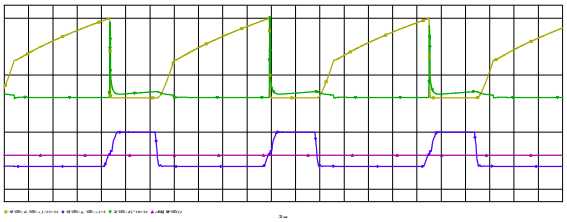


Фиг. 11. *Силова схема с GaN транзистор и драйвер за PSPICE симулация.*

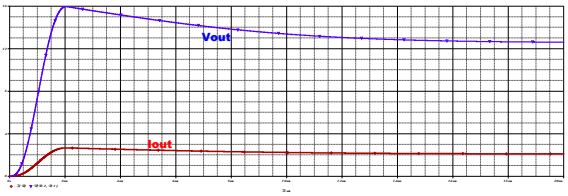
Вижда се, че в установен режим ще намаляват от 10 W с 2SK2648 на 7 W с транзистор GAN063-650WSA, което представлява редукция от 30%.



Фиг. 12.*Симулация на загубите върху транзистора GAN063-650WSA.*

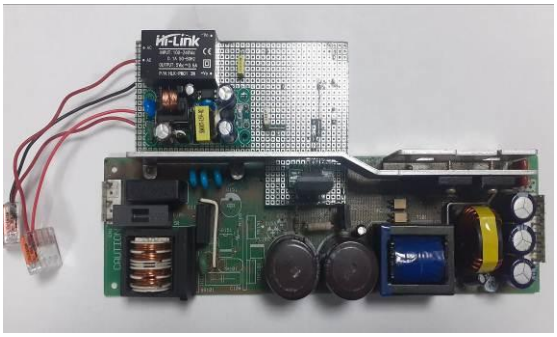


Фиг. 13. *Симулация на работата на транзистора GAN063-650WSA при номинален режим.*



Фиг. 14. *Симулация на изходните напрежение и ток при номинален режим* с транзистор *GAN063-650WSA.*

От фиг.13 и 14 можем да направим извода, че смяната на транзистора не влияе върху режима на работа на транзистора или изходните параметри на захранването. След симулационната верификация е реализиран модул които е внедрен в AC/DC индустриално захранване със специализиран драйвер 2EDF7175F и галванично разделени захранвания за първичната и вторичната страна на драйвера, както и силовия транзистор GAN063-650WSA, показан на фиг. 15.

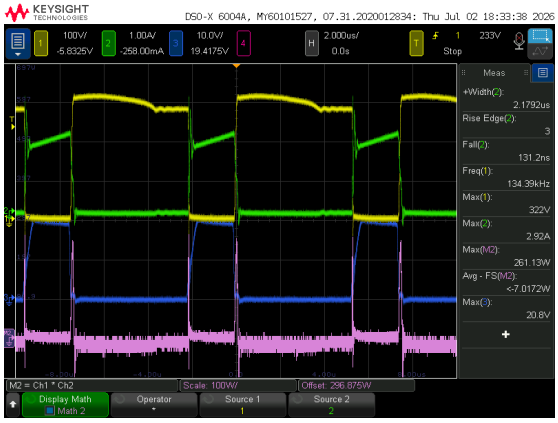


Фиг. 15. *Външен вид на AC/DC индустриално захранване с внедрен GAN модул.*

Експерименталните времедиаграми от работата на драйвера с GaN транзистора са дадени на фиг.16 и фиг.17. На фиг.16 UGS е на празен ход, като предния фронт на импулса на гейта е 21.4 nS и е по-малко от времето за отпушване на транзистора, което е 77nS (съгл. табл.1).



Фиг. 16. *Експериментални осцилограми за напрежението на гейта U_{GS} при f=134 kHz.*



***Фиг. 17**. Експериментални осцилограми за напрежението на гейта U_{GS} (синьо), напрежението на дрейна U_{DS} (жълто), тока I_D (зелено) и загубите Pdiss (виолетово) при работна честота 134 kHz, товар 1.5 Ω. и GaNFET транзистор GAN063-650WSA.*

От фиг. 17 се вижда работата на GaN транзистора в номинален режим, както и загубите върху него, които са по-малки от 7W и съответстват на получените загуби от симулацията, показани на фиг.12.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на извършените измервания може да се каже, че транзисторът от галиев нитрид (GaN) има по-ниски комутационни загуби, което води до по-висока ефективност. Използваният в схемата PWM (широчинно-импулсен модулатор) не е подходящ за управление на транзистор от галиев нитрид (GaN); вследствие на това е използван специализиран драйвер за управление на такъв тип транзистори (2EDF7175FXUMA1) който показва добри резултати. Предстои изследване на модифицираното промишленото импулсно захранване (AC/DC) тип LDA200W-12 със специализиран уред Keysight Technologies IntegraVision PA2201A по отношение на реалната ефективност и фактор на мощността.

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на Програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект № BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „"Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Guo et al., "Design and Analysis of AC/DC Converter for GaN-Based Server Power Supply System," 2025 International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM), 2025. DOI: 10.1109/icicm66614.2025.11316017.

[2] Efficiency Evaluation and Loss Analysis of 300W isolated DC-DC converter, Application Note, Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation, 2021.

[3] COSEL LDA AC-DC Power Supplies Open Frame/Enclosed type, January 20, 2022,https://www.coseleurope.eu/Products/AC-DC/LDA.

[4] Kou L., Fr.Stueckler, Modeling and simulation of GaN power systems, Infineon Technologies AG, 08/2025.

[5] S. Leonovs, S. Jahdi, H. C. P. Dymond and B. H. Stark, "Use of an NSGA-II Genetic Algorithm and Active Gate Driving to Improve Simulated GaN Power Electronic Switching Waveforms," PCIM Europe 2022; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2022, pp. 1-10, doi: 10.30420/565822051.

[6] Xie R. et al., "Modeling the gate driver IC for GaN transistor: A black-box approach," 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), San Antonio, TX, USA, 2018, pp. 2900-2904, doi: 10.1109/APEC.2018.8341429.

[7] Staley J. R., Using GaN FET Models in LTspice Simulations, Analog Devices, Inc., 2025.