

# 48V-os DC motor meghajtó fejlesztése autonóm jármű kormány szervó berendezéséhez új típusú GaN E-HEMT-el

## Development of 48V DC motor drive for autonomous servo steering with new type GaN E-HEMT

SZELI Zoltán<sup>1</sup>, SZAKÁLLAS Gábor<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István University SZE-AUT, SZE-JKK Győr, Hungary [szeliz@sze.hu](mailto:szeliz@sze.hu)

<sup>2</sup> Széchenyi István University SZE-KVJT, SZE-JKK Győr, Hungary [szgabor@ga.sze.hu](mailto:szgabor@ga.sze.hu)

### Kivonat

*Energiahatékonysági versenyre szánt elektromos jármű kormány szervó berendezéséhez fejlesztett DC motor meghajtó áramkör tervezésének bemutatása. A motor meghajtó áramkör teljesítmény elektronika szimulációinak és tervezési megfontolásainak ismertetése, valamint az új típusú gallium nitrid teljesítmény FET-ek előnyeinek bemutatása mérési eredményekkel alátámasztva.*

**Kulcsszavak:** autonóm jármű, DC motor, Inverter, MOSFET, GaN E-HEMT, veszteség számítás

### Abstract

*Introducing the design of a DC motor drive circuit for power steering in an energy efficient experimental electric vehicle. Demonstration of the power electronics simulations and design considerations, as well as the benefits of a new type of gallium nitride power FETs based on measurement results.*

## 1. BEVEZETÉS

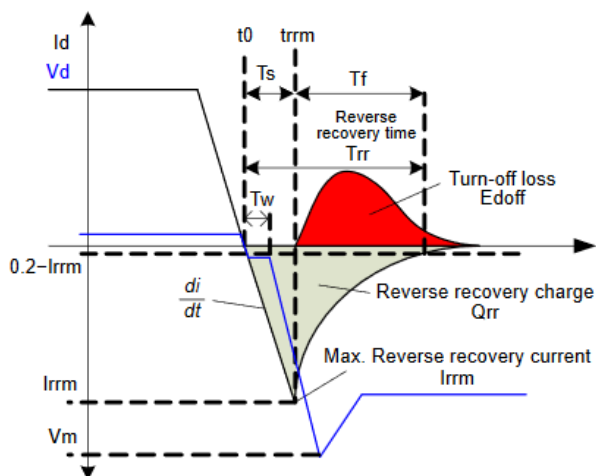
A Széchenyi István Egyetem SZEnergy csapata évek óta résztvevője a világ egyik legnagyobb energiahatékonysági versenyének, a Shell Eco-marathonnak. A verseny célja egy adott táv teljesítése a lehető leghatékonyabb módon. Az elmúlt évektől kezdve egy új kategóriát is elindítottak autonóm jármű területen. A csapat nevezett az új kategóriába is, amely új fejlesztéseket igényelt a versenyautóban. Az egyik megoldandó feladat a jármű kormányzásának irányítása, amelyhez szükségessé vált egy elektromos kormány szervó berendezés fejlesztése.

A kormány szervó meghajtását egy kefes egyenáramú motor biztosítja. A motor névleges feszültsége 48V és a minimálisan elvárt teljesítmény a szervó berendezéstől 500W villamos teljesítmény. A motor meghajtó áramkör fejlesztésénél fontos szempont volt a CAN kommunikáció biztosítása, valamint a kompakt kivitelezés az elérhető legnagyobb hatásfok mellett. A tervezés során figyelembe véve ezeket a szempontokat a GaN félvezető technológia alkalmazása mellett döntöttünk.

## 2. TELJESÍTMÉNY FÉLVEZETŐK KAPCSOLÁSI TULAJDONSÁGAI

A napjainkban legelterjedtebb teljesítmény félvezetők az alacsony feszültségű, nagy teljesítményű alkalmazásokban a „metal-oxide-semiconductor field-effect transistor-ok” (MOSFET). Ezek az eszközök térvezérlésű tranzisztorok, ahol az áramvezetés csatorna jelleggel működik, nincs pn-átmenet. A feszültség vezérelt jellege miatt gyorsabb kapcsolásokra alkalmas, mint a bipoláris tranzisztorok és a csatorna kicsi ellenállása (mΩ nagyságrend) miatt jó hatásfokkal képesek üzemelni. A felépítéséből adódóan a MOSFET-ek tartalmaznak egy a csatornával párhuzamos diódát, amelynek kapcsolóüzemben a kommutációs idő alatt van nagy jelentősége. A diódák vezetésből zárásba történő átmeneténél a dióda kiürített rétegéből el kell távolítani a töltéshordozókat. Ez a töltésmennyiség a „reverse recovery charge”,  $Q_{rr}$ , amely minden átkapcsoláskor eltávolítandó a diódából. Ennek a töltésmennyiségnek a mértéke függ a dióda teljesítményétől, a dióda hőmérsékletétől, valamint az áram

változás meredekségétől. Nagy áramú, nagyfrekvenciás alkalmazások esetében ez számottevő teljesítmény disszipációt jelent.



1. ábra Dióda áram és feszültség karakterisztikája vezetésből zárásba történő átmenetkor [1]

A kapcsolóelem további veszteségei a vezetési, a kapcsolási és a vezérlési veszteségekből tevődnek össze. Egy általános célú alkalmazás esetén a vezérlési veszteséget elhanyagolhatónak tekinthetnénk a többi veszteséghez képest, de jelen alkalmazásban ezzel is foglalkoznunk kell.

A vezetési veszteség a teljesítmény kapcsolóelem bekapcsolt állapotában történő veszteséget jelenti, amely függ a rajta átfolyó áramtól, a csatorna ellenállásától, valamint a bekapcsolt állapot időtartamától. A kapcsolási veszteség a kapcsolt feszültség, az átfolyó áram, a fel- és lefutási idők és a kapcsolási frekvencia függvénye, de ide értendő még a dióda vezetésből zárásba történő átmenetének vesztesége is.

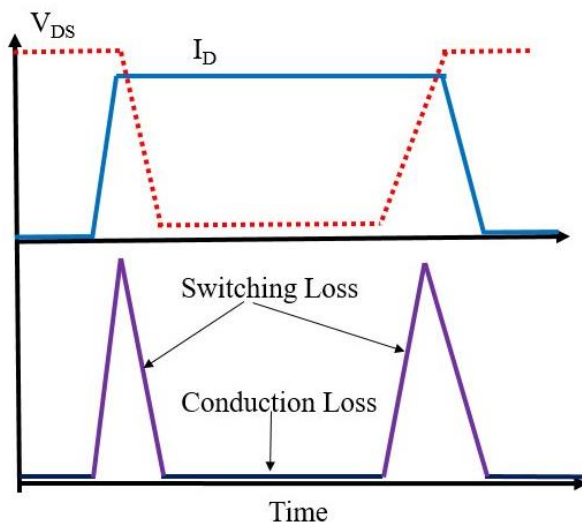
$$P_{COND,MOSFET} = I_D^2 * R_{DS(on)} * t_{ON} \quad [2]$$

$$P_{SW,MOSFET} = 0,5 * V_D * I_D * (t_{SW(on)} + t_{SW(off)}) * f_{SW} \quad [2]$$

$$Q_{rr\ loss} \approx V_D * f_{SW} * Q_{rr} \quad [3]$$

$$P_{MOSFET} = P_{COND,MOSFET} + P_{SW,MOSFET} + Q_{rr\ loss} \quad [2]$$

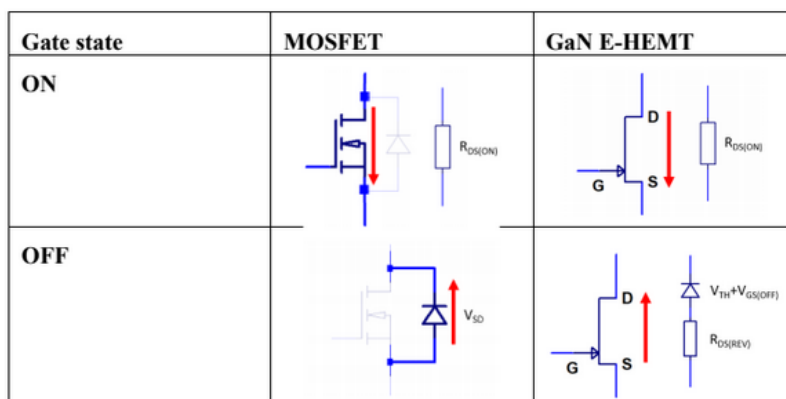
$$P_{Driver} = V_{Driver} * Q_{Gate} * f_{SW} \quad [4]$$



2. ábra MOSFET kapcsolási és vezetési veszteségei induktív terhelés esetén [5]

### 3. GAN E-HEMT ALKALMAZÁSA KAPCSOLÓELEMKÉNT AZ INVERTER ALKALMAZÁSBAN

A gallium nitrid alapú félvezetők a „következő generációs” félvezetők. A GaN E-HEMT (GaN Enhancement mode High Electron Mobility Transistor) tranzisztorok kiváló csatorna ellenállással, nagyon gyors (>100MHz) kapcsolási sebességgel, nagyon alacsony gate kapacitással és alacsony gate küszöb feszültséggel rendelkeznek, valamint a felépítési struktúrájuk nem tartalmaz a csatornával párhuzamos diódát, ellenben a csatorna képes záró irányú előfeszítés esetén vezetni, kiküszöbölve ezzel a pn-átmenet hátrányait. [6]

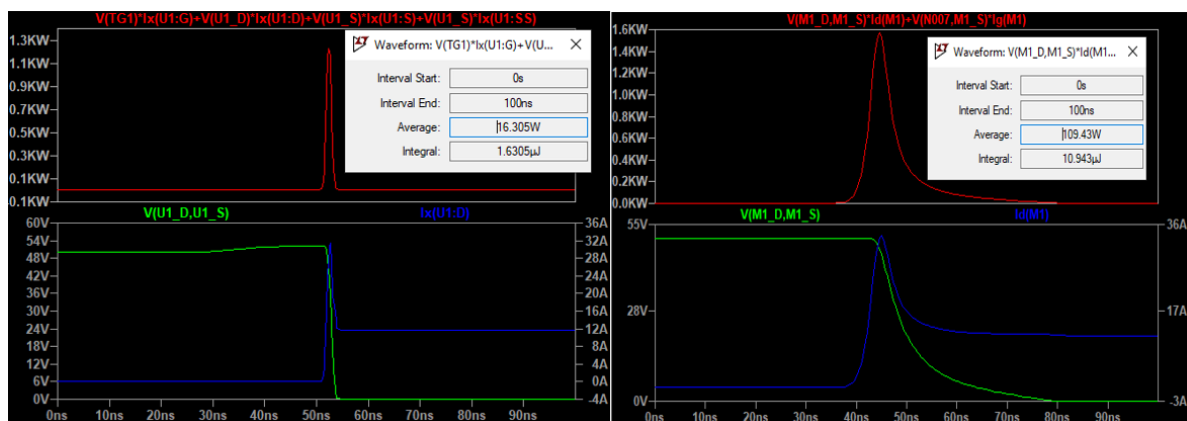


3. ábra MOSFET és GaN E-HEMT vezetési állapotok [6]

### 4. AZ INVERTER VESZTESÉGEI

A tervezett inverter kompakt kivitelben került megtervezésre, ahol a vezérlőelektronika egy külön PCB-re került és két külön végfokozatot építettünk MOSFET és GaN E-Hemt típusú félvezetőkkel. Ezzel a megoldással lehetőségünk nyílt a különböző típusú félvezetők kapcsolási tulajdonságainak összehasonlítására, valamint a tervezés során alkalmazott számítások és szimulációk validálására.

A szimulációk során kapott eredmények és az elvégzett mérések is igazolták, hogy a motor meghajtásra alkalmazott inverternél a két félvezető közötti különbségek veszteség szempontjából nem szignifikánsak. A motor meghajtásához nincs szükség nagy frekvenciás (>100kHz) kapcsolásokra, ahol a GaN E-HEMT kedvezőbb tulajdonságai érvényesülnének, ellenben a vezetési veszteségek szempontjából a MOSFET kevesebbet disszipál a jobb csatorna ellenállása miatt. A GaN E-HEMT jóval kedvezőbb vezérlési teljesítménye miatt, az alkalmazása indokolt az alacsony teljesítményű tartományokban, a csatorna ellenállás csökkentése érdekében pedig párhuzamosított kialakítást alkalmaztunk.



4. ábra GaN E-HEMT és MOSFET kapcsolási veszteségei

## 5. ÖSSZEFOGLALÓ

Az elkészített inverteren jelenleg próbapadi méréseket végzünk modell validációs célból. Ezt követően meg fogjuk vizsgálni a különböző típusú félvezetők esetén az EMC zaj kibocsajtást, valamint a DC oldali kapacitások terhelését.



5. ábra Az elkészített motor meghajtó inverterek

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm teszt pályához kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)” projekt biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] AND9088/D ON Semiconductor's: „Motor Control IGBTs and Free-Wheeling Diodes”, Application Note, August, 2016 -Rev. 3
- [2] Daniel Wagner, Roger M. Kenyon: „Switch-Mode Power Supplies for Beginners: An Efficiency Primer Part 1”, Power Electronics, Mar, 2016
- [3] Steve Widener: „GaN to the rescue! Part 1: Body-diode reverse recovery”, Technical Articles, Texas Instruments, Oct, 2015
- [4] Laszlo Balogh: „Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits”, Application Report (SLUA618A), Texas Instruments, Oct, 2018
- [5] Moinul Shahidul Haque, Mostak Mohammad, Jason L. Pries, Seungdeog Choi: „Comparison of 22 kHz and 85 kHz 50 kW Wireless Charging System Using Si and SiC Switches for Electric Vehicle”, IEEE 6th Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications, Oct, 2018, DOI: 10.1109/WIPDA.2018.8569097
- [6] Miklós Csizmadia, Miklós Kuczmann: „Power Semiconductor Trends in Electric Drive Systems”, Acta Technica Jaurinensis, pp 00-00, vol.11., No.1, 2018, DOI: 10.14513/actatechjaur.v11.n1.000