

Elektronika T 170

VALDYMO GRANDINIŲ ĮTAKOS IGBT TRANZISTORIAUS DINAMINIAMS
PARAMETRAMS TYRIMASVytautas Bleizgys¹, Andrius Platakis²¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas,²Puslaidininkų fizikos institutas,El. paštas: ¹vytasbl@gmail.com; ²platakis.andrius@gmail.com

Santrauka. Ištirta dvipolių tranzistorių su izoliuota užtūra (IGBT angl. *Insulated Gate Bipolar Transistor*) valdymo grandinių parametru įtaka tranzistorių kolektoriaus srovės ir kolektoriaus-emiterio įtampos frontų trukmei, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant. Ištirta grandinių parametru įtaka IGBT tranzistorių modulio, naudojamo inverteryje, šilimui.

Reikšminiai žodžiai: IGBT tranzistorius, dinaminiai parametrai, inverteris, dažnio keitiklis, asinchroninis variklis.

Įvadas

IGBT tranzistorių sudaro vienas lauko ir du dvipoliai tranzistoriai (Valentine 1998). Todėl IGBT tranzistorius vadinamas dvipoliu tranzistoriumi su izoliuota užtūra (angl. *The Insulated Gate Bipolar Transistor*, sutr. IGBT). IGBT tranzistoriai gali komutuoti apkrovas, kurių srovės siekia nuo kelių iki kelių tūkstančių amperų, o maitinimo įtampa – nuo dešimčių iki tūkstančių voltų. Šie tranzistoriai yra plačiai naudojami dažnio keitiklių, skirtų elektros variklių valdymui, alternatyviųjų energijos šaltinių keitiklių, aktyviųjų elektros tinklo filtrų bei įvairių maitinimo šaltinių, inverteriuose.

Didžiausi energijos nuostoliai IGBT tranzistoriuje išskiriami pereinamųjų procesų, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant, metu. Šie nuostoliai pasireiškia tranzistoriaus šilimu. Šylant tranzistoriaus lustui, auga jo gedimo tikimybė, mažėja leistina maksimali komutuojama srovė, todėl tranzistoriai aušinami naudojant radiatorius. Siekiant didinti IGBT tranzistorių darbo patikimumą bei mažinti radiatorių dydį ir svorį, būtina mažinti jame išsiskiriančią nuostolių galią (Battello *et al.* 2003; Hayashi *et al.* 2008).

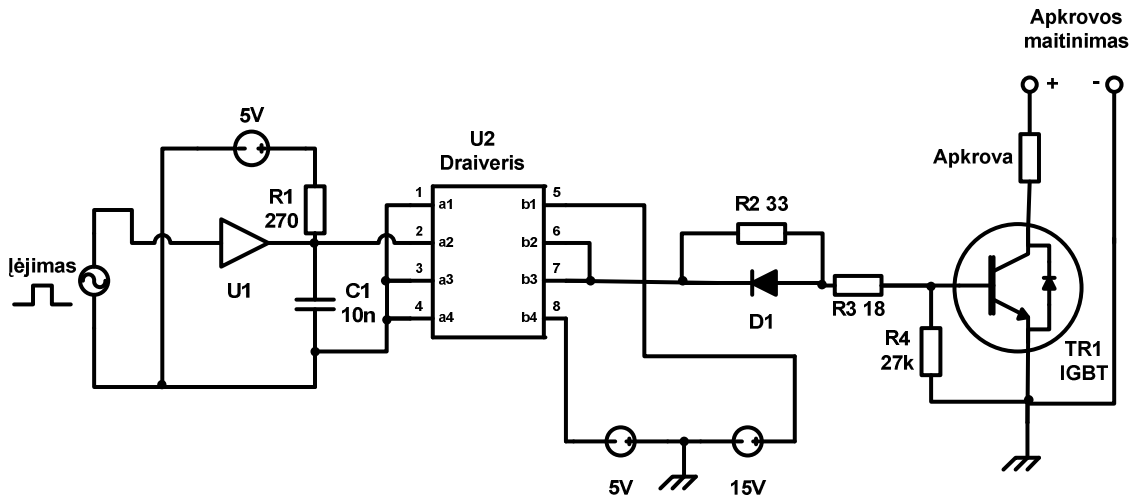
Nuostolių galios mažinimui reikia mažinti IGBT tranzistorių kolektoriaus srovės ir kolektoriaus-emiterio įtampos frontų trukmes, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant. Šiame straipsnyje ištirta IGBT tranzistorių valdymo grandinių parametru įtaka IGBT tranzistoriaus kolektoriaus srovės ir kolektoriaus-emiterio įtampos frontų trukmėms. Taip pat ištirta tranzistorių valdymo grandinių parametru įtaka tranzistorių, naudojamo inverteryje, šilimui.

IGBT tranzistoriaus kolektoriaus srovės ir kolektoriaus-emiterio įtampos frontų trukmių, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant, tyrimas

IGBT tranzistoriaus valdymui yra sukurtos tam skirti mikrograndynai, kurie į IGBT tranzistoriaus užtūrą siunčia teigiamą arba neigiamą įtampą emiterio atžvilgiu. IGBT tranzistoriaus atidarymui, užtūros-emiterio įtampa (U_{UE}) turi būti artima 15 V. IGBT tranzistoriaus uždarymui įtampa $U_{UE} = 0$ V. Norint pagreitinti tranzistoriaus uždarymą ir patikimai jį uždaryti, įtampa U_{UE} turi būti neigiama (nuo -5 V iki -15 V). Tokiam tranzistoriaus valdymui reikalingi du maitinimo šaltiniai: teigiamojo ir neigiamojo poliarumo. IGBT tranzistoriaus valdymo grandinės principinė elektrinė schema pateikta 1 pav.

IGBT tranzistorius dirba raktų režimu. Tranzistoriaus užtūros srovės frontų trukmės lemia rezistorių R2, R3 varžos ir diodas D1. Atidarymo metu srovė teka per abu rezistorius ir yra mažesnė nei uždarymo. Uždarymo metu srovė teka per diodą D1 ir rezistorių R3. Tai leidžia suvienodinti kolektoriaus srovės frontų trukmes, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant.

Tyrimo metu buvo keičiama rezistoriaus R3 varža, taip pat buvo užtrumpinamas diodas D1. Užtrumpinus diodą, užtūros grandinėje likdavo tik vienas rezistorius R3. Frontų trukmės buvo tiriamos tokioms R3 varžoms: 18, 22, 27, 30, 33, 39, 47, 51, 56, 62, 68, 82 Ω . Tranzistoriaus apkrova maitinama išlyginta trifazio tinklo įtampa (540 V). Kaip apkrova buvo naudojamas rezistorius, kurio aktyvioji varža 100 Ω . Į tranzistoriaus valdymo grandinę impulsai siunčiami iš impulsų generatoriaus.



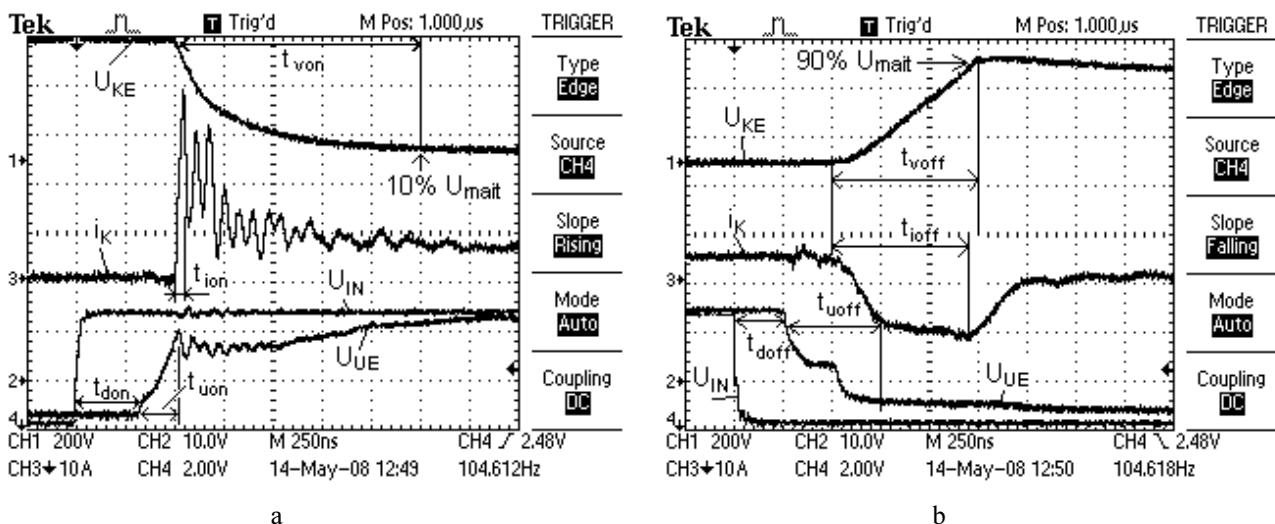
1 pav. IGBT tranzistoriaus valdymo grandinė

Fig. 1. The control circuit of the IGBT transistor

Buvo matuojami šie parametrai: t_{don} ir t_{doff} – įtampos vėlavimo trukmė tarp valdančios grandinės įėjimo įtampos (U_{IN}) ir IGBT tranzistoriaus užtūros-emiterio įtampos (U_{UE}), tranzistoriui atsidarant ir užsidarant; t_{uon} ir t_{uoff} – IGBT tranzistoriaus U_{UE} įtampos frontų trukmės, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant; t_{ion} ir t_{ioff} – IGBT tranzistoriaus kolektoriaus srovės (i_K) frontų trukmės, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant; t_{von} ir t_{voff} – IGBT tranzistoriaus įtampos kolektorius-emiteris (U_{KE}) frontų trukmės, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant. Tyrimo rezultatai, kai $R2 = 33 \Omega$, $R3 = 18 \Omega$, pateikti 2 pav.

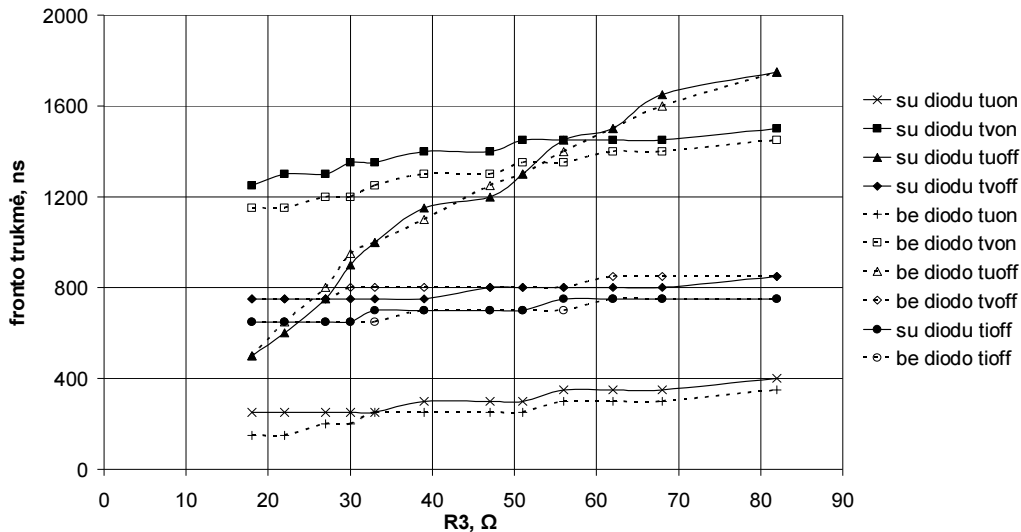
Ištirtų dinamiųjų parametų priklausomybės nuo rezistoriaus $R3$ varžos pateiktos 3 pav. Vėlavimo trukmių t_{don} ir t_{doff} , taip pat i_K srovės fronto trukmės t_{ion} tranzistoriui atsidarant priklausomybės nuo rezistoriaus $R3$ varžos grafike nepateiktos, nes jų trukmės, keičiant $R3$ varžą, praktiškai nesikeitė.

Iš gautų tyrimo rezultatų matome, kad labiausiai nuo rezistoriaus $R3$ varžos priklauso įtampos U_{UE} fronto trukmė tranzistoriui užsidarant. Grandinės, susidedančios iš diodo $D1$ ir rezistoriaus $R2$, užtrumpinimas leidžia sutrumpinti i_K ir U_{UE} frontų trukmes.



2 pav. Tranzistoriaus kolektoriaus srovės i_K (CH3) ir kolektoriaus-emiterio įtampos U_{KE} (CH1) bei valdančios grandinės įėjimo U_{IN} (CH4) ir užtūros-emiterio U_{UE} (CH2) įtampų pereinamieji procesai, tranzistoriui atsidarant (a) ir užsidarant (b), kai $R2 = 33 \Omega$, $R3 = 18 \Omega$

Fig. 2. The transient of transistor collector current i_K (CH3), collector-emitter voltage U_{KE} (CH1), control voltage U_{IN} (CH4) and gate-emitter voltage U_{UE} (CH2) for the cases when the transistor is switched on (a) and switched off (b), at $R2 = 33 \Omega$ and $R3 = 18 \Omega$



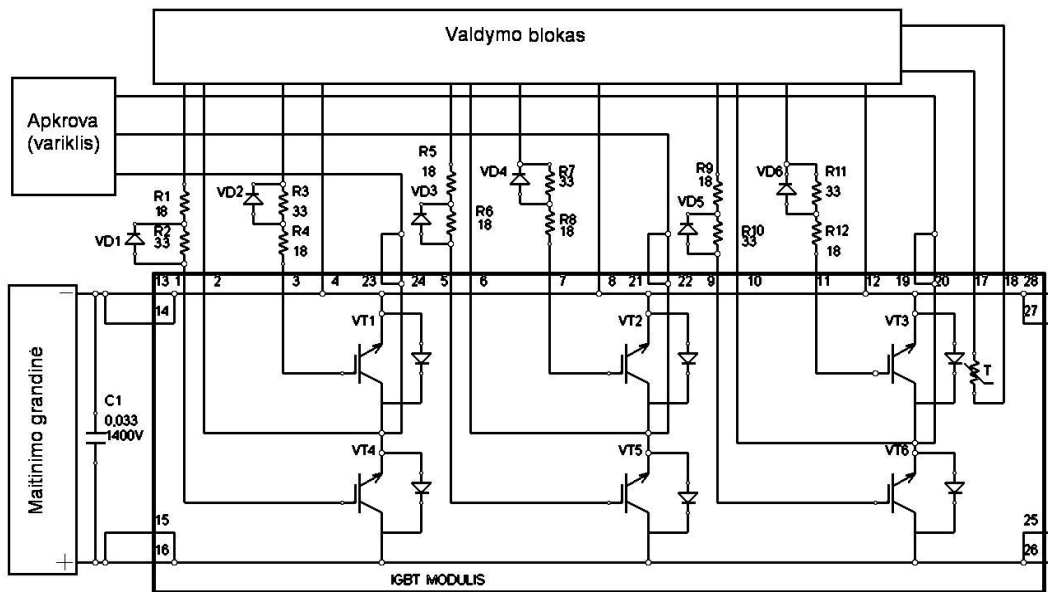
3 pav. IGBT tranzistoriaus i_K , U_{KE} , U_{UE} frontų, tranzistoriui atsidarant ir užsidarant, trukmių priklausomybė nuo rezistoriaus R3 varžos esant skirtingoms sąlygoms

Fig. 3. The dependences of i_K , U_{KE} , U_{UE} rise and fall time of IGBT transistor on resistance of R3, for the cases when the transistor is switched on and switched off

IGBT tranzistorių modulio temperatūros priklausomybės nuo tranzistoriaus valdymo grandinės parametrų tyrimas

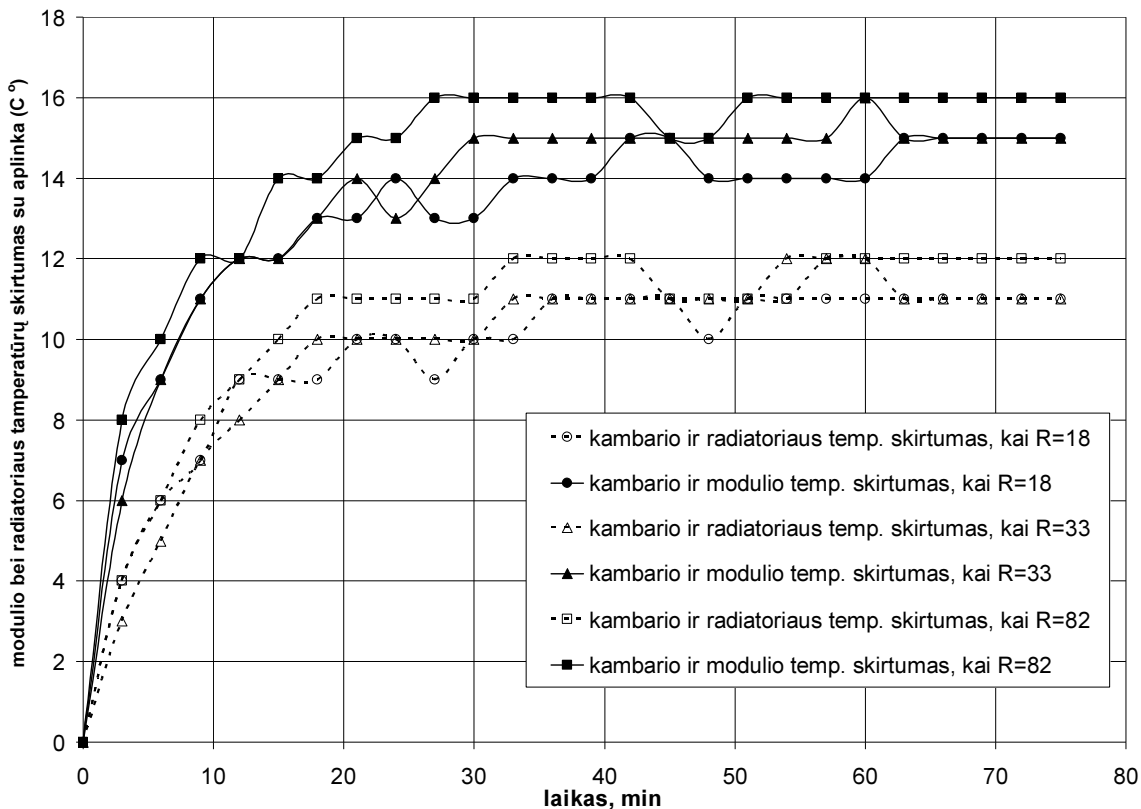
Šie tyrimai buvo atlikti IGBT tranzistorių moduliui FS25R12KE3 (Technische Information 2002), kuris yra naudojamas dažnio keitiklio, skirto asinchroninio elektros variklio valdymui, inverteryje. Kiekvienas iš šešių IGBT modulio tranzistorių yra valdomas atskira valdymo grandine, kaip pavaizduota 4 pav. Kadangi modulį sudaro šeši IGBT tranzistoriai, reikalingos šešios valdymo grandinės.

Tiriant modulio temperatūros priklausomybę nuo tranzistoriaus valdymo grandinių parametrų (nuo i_K , U_{UE} frontų trukmių), buvo keičiamos IGBT tranzistorių valdymo grandinių rezistorių R1, R4, R5, R8, R9, R12 varžos. Tyrimai atlikti esant sąlygai $R1 = R4 = R5 = R8 = R9 = R12 = R_u$. Dažnio keitiklis buvo apkrautas 4 kW asinchroniniu trifaziu varikliu. Bandymai buvo atlikti, kai $R_u = 18 \Omega$, 33Ω ir 82Ω . IGBT tranzistorių modulio ir radiatoriaus, ant kurio sumontuotas modulis, temperatūrų pereinamieji procesai pateikti 5 pav.



4 pav. IGBT tranzistorių modulio valdymo grandinės schema

Fig. 4. The control circuit of the IGBT transistor module



5 pav. IGBT tranzistorių modulio ir radiatoriaus temperatūros pereinamieji procesai

Fig. 5. The IGBT transistor module and heat sink temperature transients

Išvados

1. IGBT tranzistorių valdymo grandinių rezistorių varžos keitimas daugiausiai įtakoja tranzistoriaus kolektorius-emiteris frontų trukmes tranzistoriui užsidarant. Tuo tarpu tranzistoriaus kolektoriaus srovės frontui tranzistoriui atsidarant ši priklausomybė yra silpna.

2. Diodo, šuntuojančio vieną iš nuosekliai sujungtų tranzistoriaus valdymo grandinės rezistorių, panaudojimas leido suvienodinti tranzistoriaus kolektoriaus-emiterio įtampos frontų trukmes tranzistoriui atsidarant su trukmėmis gaunamomis jam užsidarant.

Padėkos

Dėkojame prof. Algirdui Baškiui už pagalbą rengiant straipsnį.

Literatūra

Battello, M.; Kesar, N.; Wood, P.; Hezi, M.; Guerra, A. A. 2003. New low-cost flexible IGBT inverter power module for appliance applications, in *Proceedings of the Power Control and Intelligent Motion Conference PCIM 2003*. China, 1–6.

Hayashi, Y.; Takao, K.; Shimizu, T.; Obashi, H. 2008. An effective design for high power density converters, in *Proceedings of 13th Int. Power Electronics and Motion Control Conf., EPE-PEMC 2008*. – Poznan, 2476–2482.

Technische Information. 2002. *IGBT-Module FS25R12KE3 G* [žiūrėta 2008 m. lapkričio 20 d.] Prieiga per internetą: <http://www.sjdz.net/MK/%E8%B5%84%E6%96%99%E4%B8%8B%E8%BD%BD/EUPEC/fs25r12ke3_g_3_0.pdf>.

Valentine, R. 1998. *Motor control electronics handbook*. McGraw-Hill Professional. 704 p. ISBN 0-07-066810-8.

INVESTIGATION OF IMPACT OF THE GATE CIRCUITRY ON IGBT TRANSISTOR DYNAMIC PARAMETERS

V. Bleizgys, A. Platakis

Abstract

The impact of Insulated Gate Bipolar Transistor driver circuit parameters on the rise and fall time of the collector current and voltage collector-emitter was investigated. The influence of transistor driver circuit parameters on heating of Insulated Gate Bipolar Transistors was investigated as well.

Keywords: IGBT transistor, dynamic parameters, inverter, frequency converter, AC induction motor.