

IGBT DRAIVERIS UN TĀ IZMANTOŠANAS PROBLĒMAS IGBT DRIVER AND PROBLEMS OF ITS APPLICATION

Autori: **Jāzeps Ivulis, Aigars Bekmanis**, e-pasts: jazeps.ivulis@gmail.com,
a.bekmanis@hotmail.com, 27316661, 29479689

Zinātniskā darba vadītājs: **Andris Martinovs, Dr.sc.ing.**, e-pasts: andris.martinovs@rta.lv
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne, LV-4601

Abstract. *The paper deals with the problems of creation and application of IGBT driver and their possible solutions. Creating your own IGBT driver and apply it to correctly drive transistors according to the desired purposes might be challenging. In this paper, we in brief summarized the process and main stages of creation and application of IGBT driver. This paper could be used as a guideline for future creations and as a piece of information from what you need to avoid if You want to create and apply your own driver without any setbacks.*

Keywords: *driver, frequency, insulated gate bipolar transistor, pulse-density modulation.*

Ievads

IGBT tranzistors (Insulated Gate Bipolar Transistor – izolētas bāzes binārais tranzistors) ir tranzistors, kas pārslēdzams ar ieejas sprieguma polaritātes izmaiņu, bet ieslēgtā stāvoklī tam ir tiristoram raksturīgās īpašības ar mazu tiešo sprieguma kritumu.

IGBT tranzistors sevī apvieno MOSFET tranzistora, bipolārā tranzistora un tiristora īpašības, kas izveido slēdzi ar nulles statisko vadības strāvu, lielu strāvu, augstu nominālo spriegumu un maziem pārslēgšanas laikiem.

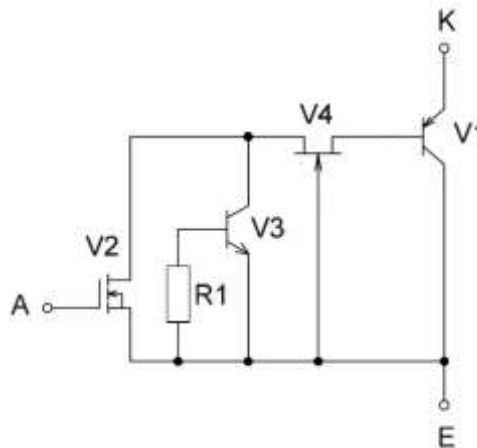
Izolētas bāzes bipolārie tranzistori ir paredzēti izmantošanai lielu strāvu iekārtās – impulse iekārtās un invertoros, līdzstrāvas pārveidošanai maiņstrāvā. IGBT tranzistoru galvenās priekšrocības:

- tranzistoram atrodoties pilnīgi atvērtā stāvoklī ir mazs sprieguma kritums uz kolektora – emitera ķēdi;
- ļoti liela jūtība, jo caur MOSFET tranzistora aizvaru neplūst strāva, tātad vadību praktiski veic tikai ar potenciālu;
- ļoti ātrdarbīgs.

IGBT tranzistorus kā elektriskās jaudas slēdzus pielieto daudzviet: dažādu frekvenču piedziņās, elektriskajās automašīnās, dažādu ātrumu vilcienos, ledusskapjos, gaisa atsvaidzinātājos un pat stereo sistēmās ar pārslēdzošiem pastiprinātājiem. Tie tiek izmantoti vidējas līdz augstas jaudas vajadzībām kā pārslēdzamu režīmu barības avotos, vilces motoru vadībā un inductīvajā sildīšanā. Pēdējā piemēra pielietojums ir tieši tas, kurā mēs izmantojam IGBT draiveri un par kuru tālāk tiks aprakstīts.

Materiāli un metodes

IGBT tranzistora uzbūve parādīta 1. attēlā. Kā redzams 1. attēlā, IGBT tranzistora izejā tiek izmantots bipolārais p-n-p tipa tranzistors. Tranzistoru var ieslēgt, padodot uz vadības elektrodu A pozitīvas polaritātes spriegumu attiecībā pret izejas izvadu E, līdzīgi kā n-p-n bipolārajam tranzistoram.



1. attēls. IGBT tranzistora uzbūve

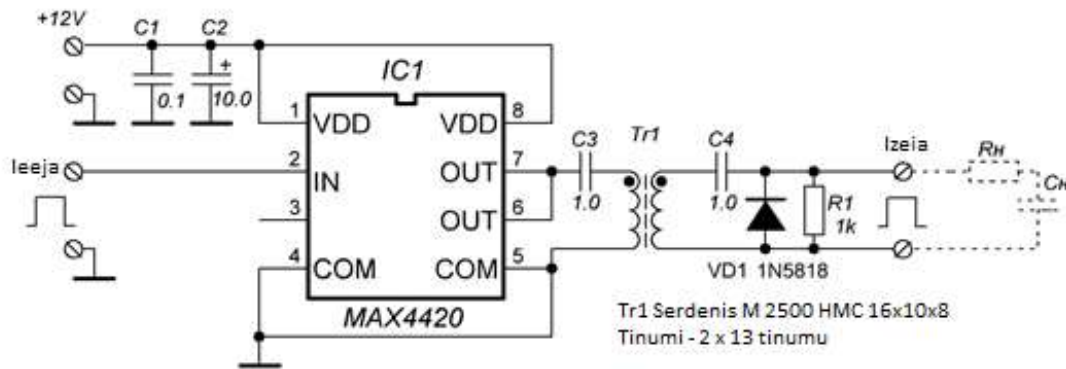
IGBT pustilta draiveris un tā darba iezīmes

Mūsu darbā pie induktīvās apkures iekārtas tika izmantots pustilta draiveris, kurš veica spēka ķēdes pārslēgšanu polaritātes maiņai. Jaudas Regulācija notika ar Pulsa blīvuma modulāciju (Pulse Density Modulation turpmāk tekstā - PDM) jaudas regulācijai. Aprakstot pustilta draiveri, ir jāpiemin, ka jaudas PDM regulēšanas izmantošana iekļauj noteiktas iezīmes pustilta draivera shēmās. Galvenā ir tāda, ka pustilta tranzistora augšējās un apakšējās pozīcijas pie PDM regulēšanas strādā nesimetriski. Pie mazām PDM vērtībām apakšējā tranzistora pozīcija būtībā ir atvērta un aizveras tikai augšējās tranzistora pozīcijas atvēršanās laikā (ņemot vērā “dead-time”). Pie PDM palielināšanas tranzistora augšējā pozīcija atveras aizvien biežāk un biežāk. Un tikai tad, kad PDM ir vienāds ar 100% tranzistora augšējā un apakšējā pozīcija atveras vienlīdz bieži. Tādā veidā pie PDM izmaiņas no 0 līdz 100% tranzistora augšējās pozīcijas vadāmo impulsu aizpildīšanas koeficients palielinās no 0 gandrīz līdz 0.5 (ar uzlabotu “dead-time”), bet apakšējā pozīcija – samazinās no 1 gandrīz līdz 0.5.

Pie tik liela tranzistora apakšējās pozīcijas vadāmo impulsu aizpildījuma koeficienta nav atļauts izmantot izejā transformatoru. Tamdēļ tiek izvēlēts draiveris uz mikroshēmas IR2109 bāzes, kas atļauj funkcionēt pie jebkādiem vadības impulsu aizpildījuma koeficientiem. Tā mērķis ir tāds, lai priekš tranzistora augšējās pozīcijas (ar maziem aizpildījuma koeficientiem) tiktu izmantota transformatora izeja, bet tranzistora apakšējās pozīcijas aizvars būtu pievienots tieši pie draivera izejas bez jebkādas galvaniskās atdalīšanas. Kopējā vadības ķēdes galvaniskā izeja no jaudas tranzistoriem īstenojas pa ieejas signālu ar ātrgaitas optopāra 6N137 palīdzību. Eksperimenti parāda, ka draivera augšējās un apakšējās pozīcijas nesimetriskums gadās diezgan reti, tamdēļ nav nekādas nepieciešamības pēc papildus aiztures kompensācijas.

Draivera viena kanāla shēma

Pustilta draiverim izvēlēts sekojošais shematiskais risinājums. Tranzistora vadības signāli tiek pastiprināti uz MAX4420 un pēc tam galvaniski sadalās ar impulsu transformatora palīdzību ar pasīvo elementu komplektu, kas nepieciešams priekš impulsu signāla vienpolārās nodošanas ar kapacitatīvo slodzi uz tranzistora aizvara. Viena kanāla shēma ir parādīta 2. attēlā.



2. attēls. Viens draivera kanāls ar galvanisko mezglu

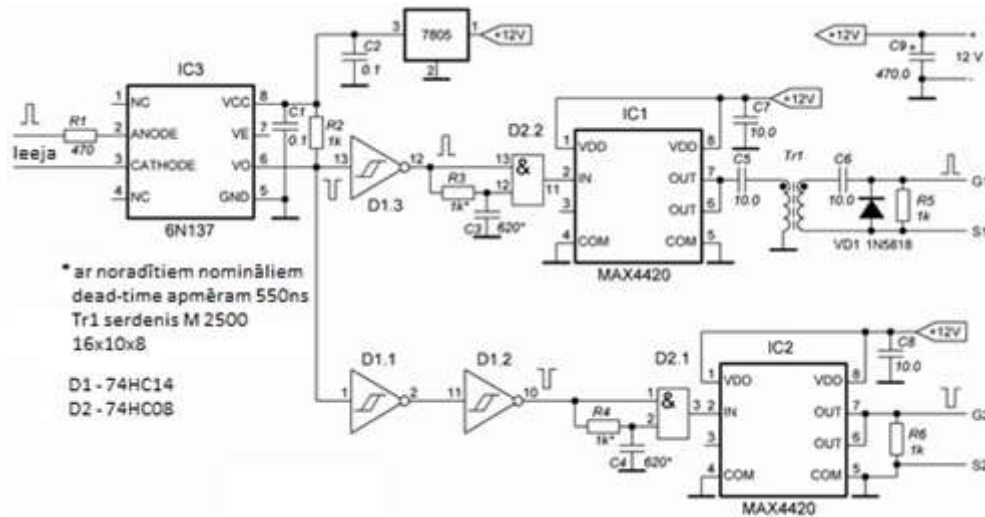
Problēma ir tajā, ka transformatoram ir pareizi jānodod viens polārais signāls. Bet priekš tā, lai izvairītos no serdeņa piesātinājuma, ir nepieciešams novākt nemainīgās sastāvdaļas. Tas tiek izdarīts ar kondensatora C3 palīdzību pirms transformatora pirmā tinuma. Uz Tr1 izejas mēs jau iegūstam divpolāru signālu, kas ideāli sakrīt ar avotu, bet kas pārvietots uz negatīvo apgabalu, kā reiz par šīs novāktās pastāvīgās komponentes lielumu. Tāds signāls mūs pilnībā apmierina, tā kā uz lauktranzistoru aizvāriem var padot negatīvu fiksētu signālu. Bet šeit rodas otra problēma: impulsa amplitūda mezgla izejā būs atkarīga no signāla aizpildījuma koeficienta. Darba frekvences diapazona augstajās daļās (300 kHz) “dead-time” ilgums līdzinās sekojošo impulsu periodiem. Tamdēļ aizpildījuma koeficients (impulsa ilguma attiecība pret periodu) mūsu darba diapazonā (100-300 kHz) izmainīsies jau diezgan plašās robežās. Pie dažādiem aizpildījuma koeficientiem impulsa amplitūda uz transformatora sekundārā tinuma arī ir dažāds. Rezultātā vienā darba diapazonā signāls izrādās pārāk mazs priekš uzticamas tranzistora atvēršanas, bet citā, pavisam otrādi, var pārsniegt tranzistora pieļaujamās robežas (parasti 20 V). Tamdēļ vienkāršāk ir atjaunot mūsu signāla pastāvīgās sastāvdaļas pēc galvaniskā mezgla. Priekš tā var izmantot ļoti vienkāršus risinājumus tā saucamajā ķēdes “atjaunošanas” veidā: kondensators C4 un diode VD1 (skat. 2. attēls). Rezistors R1 ir nepieciešams priekš tranzistoru aizvāru izlādes pie impulsu ģeneratora izslēgšanas, pretējā gadījumā uz tranzistora aizvāra var palikt lādiņš un tranzistors palikt atvērts.

Kondensatorus C1 un C2 (skat. 2. attēls) ir nepieciešams novietot pēc iespējas tuvāk MAX4420 korpusam. Kondensatoru C3 un C4 ietilpības nomināli, kas uzrādītas 2. attēlā, ir pilnībā piemēroti priekš izvēlētajā frekvences diapazona. Kā VD1 diodi vislabāk ir izvēlēties Šotki diodi. Ar to signāla nulles līmenis ir maksimāli tuvu nullei. Transformatora parametri dotajam frekvences diapazonam uzrādīti shēmā. Ir neliels amplitūdas kritums pie impulsa beigām zemajās frekvencēs, bet tas nav kritiski priekš tranzistora darba. Spole ir ar diviem tinumiem. Tinuma vadiem var izmantot datortīklu kabeļu vītos pārus. Tie jau ir ļoti savīti, pietiekami biezi un cieti.

Draivera shēma un konstrukcija

Draivera shēma ir parādīta 3. attēlā. Izejas signāls no impulsu blīvuma modulatora aiziet uz optopāra 6N137 ieeju. Optopāra 6N137 izejā signāls tiek invertēts, tamdēļ tiek izmantoti divi papildus invertējošie bufera elementi D1.1 un D1.3.

Vēl viena signāla invertēšana priekš tranzistora apakšējās pozīcijas noris invertorā D1.2. Tālāk tranzistora augšējo un apakšējo pozīciju vadības signāli nonāk dead-time veidojošajā mezglā. Kas ir īstenots uz loģiskajiem “UN” elementiem D2.1 un D2.2. Rezultātā aizture rodas tikai uz ienākošo signālu priekšējām frontēm. Aiztures lielums un sekojoši arī dead-time nosaka $R3 \cdot C3$ un $R4 \cdot C4$ komponentes kuras var tikt koriģētas pēc jaudas moduļa parametriem.



3. attēls. Draivera elektriskā shēma

Tālāka tranzistora augšējās un apakšējās pozīcijas vadības signālu apstrāde noris dažādi. Tranzistora apakšējās pozīcijas signāls vienkārši pastiprinās ar mikroshēmas MAX4420 palīdzību un aiziet uz draivera izeju. Tranzistora augšējās pozīcijas signālam jābūt kopējam vadības “plūstošam” potenciālam. Tamdēļ ir nepieciešama galvaniskā izeja. Dotajā gadījumā tiek izmantota transformatora izeja ar pastāvīgo sastāvdaļu korekciju.

Transformatora parametri, kas tiek izmantots mezglā, ir parādīti 3. attēlā. Šīs vērtības ir orientētas uz frekvences diapazonu 100-300 kHz. Ja ir nepieciešams strādāt pie zemākām frekvencēm, ir jāpalielina transformatora tinumu skaits.

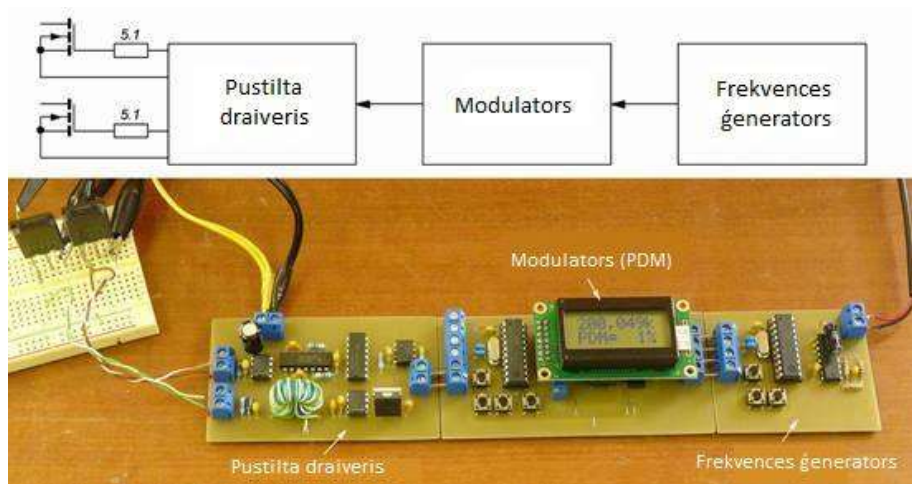
Draivera barība tiek nodrošināta no 12 V sprieguma avota. Optopāra 6N137 izejas posmiem ir nepieciešams 5 V sprieguma barošana. Tamdēļ priekš tā, lai nevajadzētu izmantot vēl vienu barības avota, tiek izmantots integrālais stabilizators L7805. No šī paša stabilizatora barojas mikroshēmas 74HC14 (invertējošie Šmita trigeri) un 74HC08 (4 x 2UN). Pilna draivera konstrukcija ir parādīta 4. attēlā.



4. attēls. Gatavā IGBT draivera plate

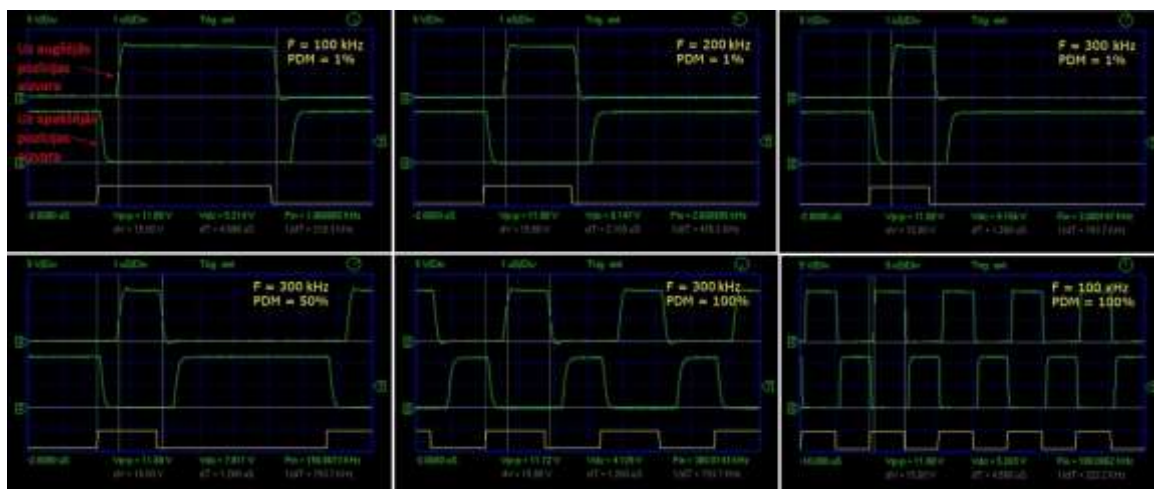
Draivera pārbaude

Tagad ir iespējams izveidot maketu priekš draivera pārbaudes. Maketa blokshēma un kopējais izskats ir parādīts 5. attēlā.



5. attēls. Maketa priekš draivera pārbaudes blokhēma un kopējais ārējais izskats

Kā draivera slodzi var izmantot 10-20 nF kondensatorus vai vienkārši tranzistora aizvarus, kas tiks izmantoti kā invertora jaudas tranzistori. Dotajā gadījumā – tranzistoru IRFPS37N50A aizvari. Protams, ka slodzi vajag pieslēgt caur ierobežojošajiem rezistoriem (5.1 Ω). Draivera, kas izmantoja tranzistoru IRFPS37N50A aizvarus kā slodzi, dažu režīmu izejas signālu oscilogrammas ir parādītas 6. attēlā.



6. attēls. Tranzistoru aizvaru pie dažādām frekvencēm un PDM līmeņiem signālu oscilogrammas

Oscilogrammās ir redzams, ka dead-time pauzes ir labi izteiktas, signālu stājas un frontes uz abiem aizvariem ir pilnībā apmierinošas visā PDM izmaiņas diapazonā un visā frekvences diapazonā. Ja saliekot šādu pustilta draiveri jums izdodas iegūt stipri līdzīgas oscilogrammas varat secināt ka komponentes savienotas pareizi un kvalitatīvi. Pretējā gadījumā jāmeklē bojātā komponente un jāpārbauda ceļiņu kvalitāte.

Rezultāti un to izvērtējums

Veicot IGBT draiveri izveidi, mēs saskārāmies ar dažādām problēmām, kuras bija kā iemesli nepareizi funkcionējoša draivera izveidē.

Viena no tām bija mikroshēmas bāzes izvēle – ir nepieciešams būvēt draiveri uz mikroshēmas IR2109 bāzes, kas atļauj draiverim funkcionēt pie jebkādiem vadības impulsu aizpildījuma koeficientiem.

Vēl viena problēma ir tajā, ka transformatoram ir pareizi jānodod vien polārais signāls. Bet priekš tā, lai izvairītos no serdeņa piesātinājuma, ir nepieciešams novākt nemainīgās sastāvdaļas. To ir viegli izdarīt ar kondensatora C3 palīdzību pirms transformatora pirmā tinuma.

Lai vienā darba diapazonā signāls neizrādītos pārāk mazs priekš uzticamas tranzistora atvēršanas, bet citā, pavisam otrādi, nepārsniegtu tranzistora pieļaujamās robežas (parasti 20 V). Tam izmantojam kondensatoru C4 un diodi VD1 (skat. 2. attēls). Rezistors R1 ir nepieciešams tranzistoru aizvaru izlādei laikā, kad tiek izslēgts impulsu ģenerators. Pretējā gadījumā uz tranzistora aizvara var palikt potenciāls un tranzistors palikt atvērts.

Sekojošā problēma skar izejas signāla kvalitāti - kā VD1 diodi vislabāk ir izvēlēties Šotki diodi, ar kuru signāla nulles līmenis ir maksimāli tuvu nullei, pretējā gadījumā signāls var tikt "izkropļots", ja Šotki diodes vietā izmanto cita tipa diodi, kas var nenodrošināt nulles līmeni.

Atrisinot šīs problēmas un citas nianšes, kuras sīkāk aprakstītas iepriekš, ļāva samontēt funkcionējošu IGBT draiveri, kuru tālāk izmantojām savā projektā.

Summary

In this paper we dealt with IGBT driver and its creation and application to control transistors. Firstly, we explored and chose the right components, that could modify incoming power signals from frequency generator and pulse-density modulator to outgoing signals, that would meet the requirements for correct control of transistors. Of course, that everything wasn't going as planned, because all the components, that were used on IGBT driver, must had been tested if they work all together theoretically and practically. And exactly after practical tests we found some flaws in IGBT driver's work here and there. One of those was that driver must work base of microchip IR2109, that allows driver to work functionally at any fill factor of control signal. The following problem is about quality of outgoing signal – as VD1 diode it is better to choose schottky diode, that allows the zero level of signal to be as close as possible to zero, otherwise outgoing signal can be deformed and useless for specifically applications. There were other details, such as distance between the components needs to be as minimal as possible to avoid power signal losses and disruptions. But if outgoing signal is still not like in picture 6, you should double check all the components, if they're all still alive and all the connections, because if roads, that connects pins of components are thin (like we had), it is very possible, that some connection is damaged. Solving these main problems and other tiny details, that have been looked more closely in this paper, IGBT driver must work just fine and could be used in future creations.

Literatūra

1. С. Кухтецкий, «<http://www.icct.ru/>,» Лабораторный инвертор с PDM-регулированием мощности., 2011. [Tiešsaiste]. Available: <http://www.icct.ru/node/87>. [Pieklūts 13 04 2017].
2. С. Кухтецкий, «<http://www.icct.ru/>,» Простой лабораторный инвертор для индукционного нагрева., 2010. [Tiešsaiste]. Available: <http://www.icct.ru/node/79>. [Pieklūts 13 04 2017].
3. С. Кухтецкий, «<http://www.icct.ru/>,» Простой лабораторный инвертор для индукционного нагрева. Часть 2., 2010. [Tiešsaiste]. Available: <http://www.icct.ru/node/82>. [Pieklūts 13 04 2016].
4. Valery Rudnev, D. Loveless, Micah Black un Raymond L. Cook, Handbook of Induction Heating., Michigan, USA: Marcel Decker Inc., 2003, p. 796.