

MD15² – Budič motoru 15V/15A

Bc. Tomáš Solarski, www.solarskit.wz.cz

Pro řízení pohonu mobilního robota, založeném na stejnosměrném komutátorovém motoru o špičkovém výkonu cca 150W (motor z Aku-vrtačky Bosch) jsem realizoval tento čtyřkvadrantní budič motoru s HEXFET tranzistory. Je použito speciálních obvodů HCPL-3101 pro řízení Gate elektrod HEXFETů a tak je dosažena zvýšená kvalita průběhu hran (vysoká strmost) při řízení otáček pomocí PWM signálu.

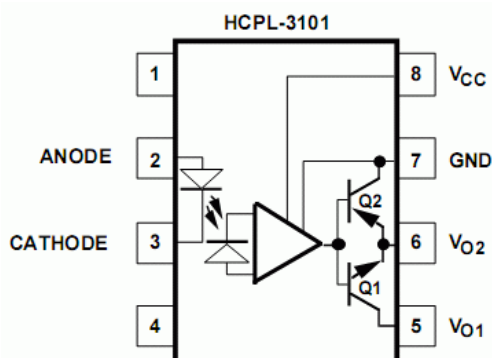
Dodatečnou vlastností, ne však klíčovou, je optické oddělení řídicí části budiče od výkonové.

Výkonové napájení:	12 až 20V
Logické napájení:	5V
Max. f. PWM:	cca 20kHz
Max. I:	15A, viz text
Provedení:	2 x ½ most
Log. vstupy:	TTL
Použité spínače:	
IRF4905	-55V, -74A, 0,02Ω, 200W
IRFZ48N	55V, 64A, 0,014Ω, 130W

Pro potřebu řízení stejnosměrného motoru v obou směrech je tento budič kvadrantní, jedná se o tzv. zapojení do můstku, anglicky H-bridge, kdy jsou použity čtyři výkonové spínače (používá se i pojem ventily) zapojeny, tak aby se proud procházející rotorovým vinutím mohl měnit v obou směrech.

Pro své velmi dobré výkonové parametry byly zvoleny unipolární tranzistory typu HEXFET. Jedná se u nich o řádově desítky ampér, které mohou sepnout při velmi nízkých ztrátách na sepnutém kanále – typicky kolem 10mΩ u N a cca dvakrát tolik u P. Velkým problémem u takovýchto výkonových prvků je však jejich velmi vysoká vstupní kapacita (C_{ISS} – Input Capacitance – kapacita Gate elektrody vůči elektrodě Source). Jedná se typicky o jednotky nF. Pro rychlé děje pohybující se řádově v desítkách kHz je tato kapacita tak vysoká, že běžnými metodami, či výstupy např. OZ, nejsme schopni HEXFET sepnout, a ani vypnout požadovaně rychle. Pro rychlé sepnutí nebo vypnutí, vlastně změnu stavu, je potřeba velmi vysoký špičkový proud. Vysoký výstupní odpor obvodu pro řízení elektrody Gate a současně její vysoká kapacita totiž dává vznikat jednoduchému RC integračnímu članku, který začne fungovat jako zpožďovací člen a tak zkreslí výstupní výkonový signál, jelikož se napětí na Gate elektrodě pomalu zvedá a tranzistor sepne se zpožděním a navíc i pomalu, což způsobí jeho vyšší ztráty, jelikož se odpor ze stavu rozepnuto (řádově MΩ) do stavu sepnuto (~10mΩ) přepíná pomalu – část spínaného proudu bude protékat tranzistorem v době kdy má např. jednotky ohmů – spínací ztráty.

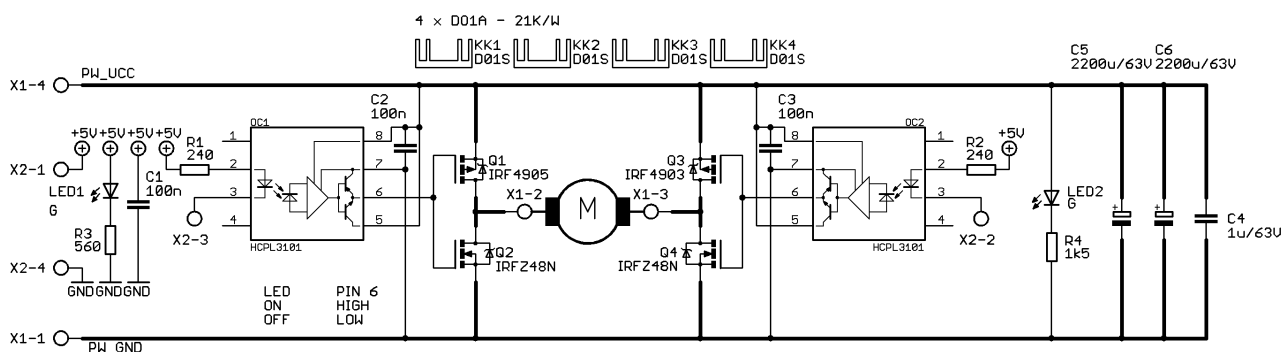
Pro aplikací velmi rychlého PWM (vysoká frekvence v řádech 10ti kHz) je tedy potřeba speciálně navržených obvodů – tzv. budičů FET tranzistorů. Budič FETu je obvod, který je schopen dodávat velmi vysoký špičkový proud a to právě proto, aby byl schopen velmi rychle nabít nebo vybit kapacitu Gate elektrody a tedy velmi rychle HEXFET tranzistor sepnout nebo vypnout.



Obr.1.: Budič HEXFET/IGBT s optickým oddělením HCPL-3101.

HCPL-3101 (popř. HCPL-3100) se skládá s AlGaAs LED galvanicky oddělené od integrovaného obvodu s

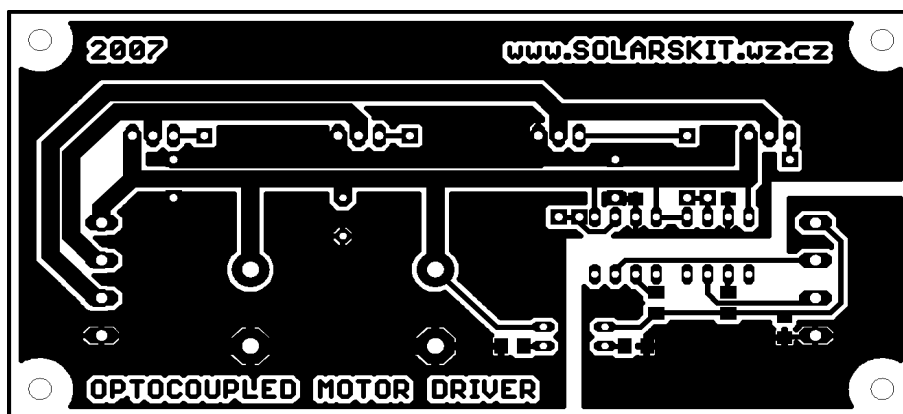
výkonovým výstupem. Tyto typy optočlenů jsou navrženy pro řízení MOSFETů a tranzistorů IGBT, které se používají v řídicích systémech pohonů. Vysoký rozsah možného napájecího napětí (15 – 30V – avšak při použitých HEXFET IRF4905 a IRFZ48N je výkonové napájení omezeno na 20V) výstupního výkonového stupně, umožňuje jeho napájení z výkonové části pohonu a touto napětíovou hladinou řídit Gate elektrody. HCPL-3101 je schopen sepnout zátěž 3000pF za 0,5μs (údaj z datasheetu výrobce).



Obr.2.: Celkové schéma provedení budiče.

Celkové provedení budiče je na Obr.2, je koncipován jako dvojnásobný ½ most, kde každý ½ most je řízen separátním optočlenem HCPL-3101. Logický signál řízení je přiveden na katodu LED, která při log.0 emituje světlo, které dopadá na fotocitlivý prvek výstupního výkonového stupně a na výstupu (pin 6) je vysoká úroveň, odpovídající napájecímu napětí, to sepne N-MOSFET a na odpovídající výstupní svorce X1-2/3 je 0V. Obdoba nastane při log.1 na katodě LED, která se nerozsvítí a na pinu 6 bude 0V a tedy sepne P-HEXFET a na výstupu ½ mostu bude plné napájecí napětí výkonové části. Vidíme tedy že logická úroveň na vstupu (svorky X2-2/3) je převedena na výkonový výstup (i když samotný optočlen signál neguje a ten je pak dále negován stupněm s HEXFET tranzistory).

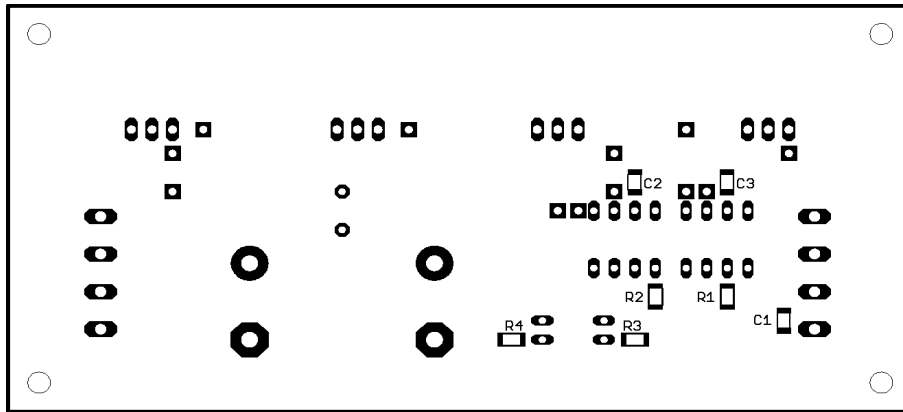
Řídicí Gate dvou výkonových HEXFET tranzistorů v příslušném ½ mostu jsou spojeny dohromady a protože jsou tranzistory komplementární, spínají při odlišných logických úrovních a mohou být tedy řízeny jedním výkonovým stupněm optočlenu HCPL-3101.



Obr.3.: Plošný spoj budiče MD15², rozměry 112mm x 54mm

Budič je svým konceptem velmi jednoduchý, což přináší i problém se samotným spínáním koncových HEXFET tranzistorů u kterých není řízen Death Time (Time Before Make), což je doba potřebná k odsaturování (vypnutí) příslušného výkonového tranzistoru v jednom ½ mostu než sepne ten druhý. Při přepínání stavu totiž na krátký okamžik (100ky ns – μs) dochází ke zkratu na napájení výkonového stupně. Při změně stavu totiž dojde k sepnutí jednoho tranzistoru dříve (např. Q1 v levé části schématu), než se stačí jeho komplementární dvojice rozpojit (zde tedy Q2) a určitou dobu teče přes ½ most zkratový proud. Čím je častější přepínání stavu (frekvence PWM signálu) tím dochází k těmto ztrátám častěji. Prakticky bylo naměřeno cca 25mA při frekvenci PWM 20kHz, ona hodnota však není jen dána zkratovým proudem, ale je v ni i zakomponována energie spotřebovávána na samotnou změnu stavu (z teoretického hlediska totiž pro změnu stavu pomocí skoku je potřeba tím více energie čím je hrana strmější).

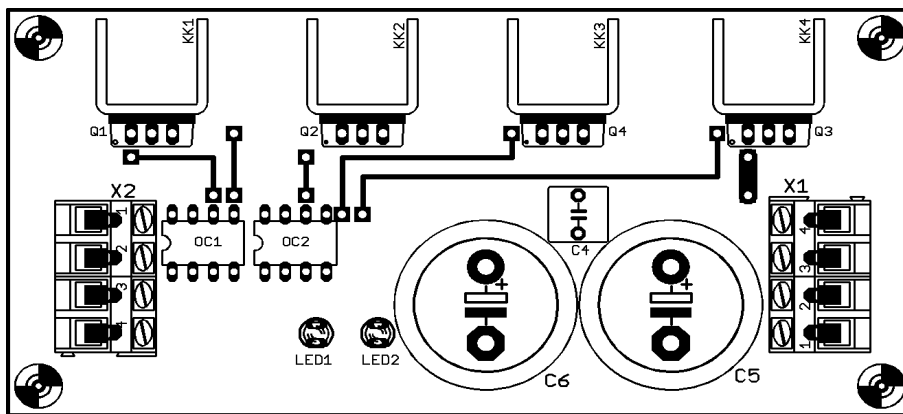
Pro ochranu výkonových stupňů jsou využity interní nulové diody, které jsou integrovány v pouzdře s HEXFET tranzistory. Vlivem jejich spínání, při průchodu zpětného proudu, dochází taktéž k dalším ztrátám a ohřevu.



Obr.4.: Osazení ze strany plošných spojů - BOTTOM

Důležitou částí budiče jsou blokovací elektrolytické kondenzátory C5 a C6, jež je důležité silně napěťově předdimenzovat, proto jsou oba na 63V (min 50V) i když budič je použit do napájecího napětí 20V. Kondenzátory na vyšší jmenovité napětí mají totiž nižší odpor a jsou tedy schopné daleko lépe vyrovnávat napěťové poklesy a špičky vzniklé spínáním – chovají se jako velmi tvrdý zdroj napětí. Mají i funkci ochrany zdroje, kdy přebytek energie akumulují do sebe. Při použití zdroje na bázi transformátoru by vlivem rekuperace mohlo dojít k nebezpečnému nárůstu napětí, které se právě dá akumulovat do kondenzátorů, popřípadě při použití akumulátoru jej dobíjet.

Řízení je realizováno pomocí dvou signálů přivedených na katody LED optočlenů, tedy na svorky X2-2 a X2-3. Jelikož je budič motoru realizován jako 2 x 1/2 most, lze ovládat jedním signálem pro určení směru a jedním signálem pro určení PWM. Pokud se signál na vstupu X2-3 bude rovnat log.0 bude se pomocí PWM na svorce X2-2 určovat výkon (otáčky) 0 – 100%. Pro změnu směru otáčení motoru dáme na svorku X2-3 log.1 a signál PWM negujeme.



Obr.5.: Osazení desky plošných spojů, včetně propojek - TOP

Budič motoru je realizován na jednostranném plošném spoji s osazením součástek jak klasických tak technologií SMT. Pro chlazení výkonových stupňů jsou použity chladiče typ DO1A (dle označení www.gme.cz). Spínací ztráty se v podobě ohřevu (joulesovy ztráty) projevují hlavně na HEXFETech typu P, které mají vyšší odpor sepnutého kanálu. Těmito chladiči je vlastně stanoven maximální proud, které je budič schopen regulovat (uchladit). Zvětšením plochy chladiče, respektive zmenšením tepelného odporu, lze dosáhnout zvýšení spínaného proudu. S použitými chladiči typ DO1A je potřeba dbát opatrnosti při spínaném proudu přesahujícím 10A. Při takovýchto hodnotách proudu se chladič příslušného spínaného P-HEXFET tranzistoru silně zahřívá a teplota přesahuje 80°C!

Ovšem je potřeba patřičně nadimenzovat i cesty na plošném spoji a připojovací kabeláž. Navržený plošný spoj není na proud 15A, pro dosažení takovéto hodnoty jsem navíc měděné spoje silně pocínovač, popřípadě posílil dalším měděným vodičem připájeným na cestu plošného spoje.

Budič byl nasazen v prototypovém průzkumném robotovi, sestaveném na bázi terénního modelářského podvozku BigFoot 1:6, pro Katedru robotiky, Fakulty strojní, VŠB-TU Ostrava. Napájení zajišťuje 12V SLA

akumulátor, což budiči postačuje i když obvody HCPL-3101 mají minimální napájecí napětí 15V. Pro řízení robota je použit RC souprava, ze které signály (1,0 – 1,5 – 2,0 ms) interpretuje procesor AVR ATmega8 a převádí je na řídicí signály směru otáčení a PWM na frekvenci 15kHz.

Zdroje/datasheety:

- [1] Hewlett Packard – HCPL-3101
- [2] Internation Rectifier – IRF4903
- [3] Internation Rectifier – IRFZ48N

Všechny součástky lze zakoupit na www.gme.cz, dotazy/náměty/připomínky zasílejte na solarskit@gmail.com, www.solarskit.wz.cz

Fotogalerie:

Budič MD15² a Průzkumný robot – budič je na jeho pravé straně nad motorem.

