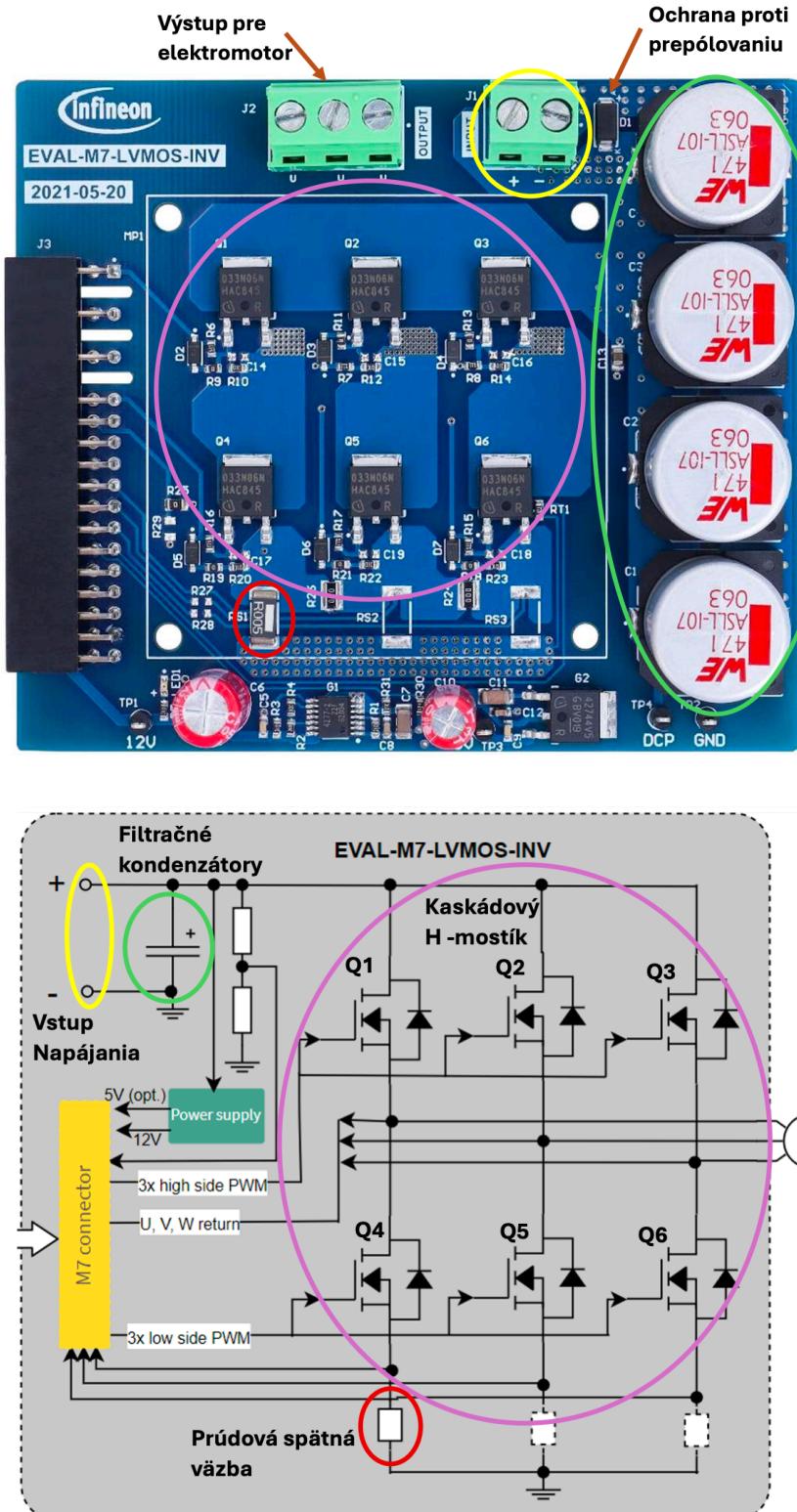


## Výkonový menič



Obr. 1: Porovnanie schémy a dosky výkonového modulu

### MOSFET tranzistory (fialový kruh obr. 1)

Výkonové spínače invertora s integrovanou body diódou pre spätné prúdy. Tranzistory slúžia na spínanie vysokých prúdov do motora a tvoria kaskádový H-mostík kde:

Q1–Q4 → fáza U

Q2–Q5 → fáza V

Q3–Q6 → fáza W

Každý polmostík prepína výstup medzi +DC a GND vytvára PWM napätie, ktorého stredná hodnota tvorí sínus (pre jednotlivé fázy posunutý o 120°).

### **Spínanie MOSFET tranzistora**

MOSFET pracuje ako napäťovo riadený spínač kedy:

- $V_{GS} = 0 \text{ V}$  → tranzistor je vypnutý
- $V_{GS} > V_{th}$  → vytvorí sa vodivý kanál → tranzistor je zapnutý

Pri spínaní nastávajú taktiež:

- Spínacie straty – počas prechodov zapnutie/vypnutie
- Vodivé straty – dané odporom  $R_{DS}$
- Parazitné javy – Millerova kapacita,  $di/dt$ ,  $dv/dt$

### **Shunt rezistor (červený kruh obr. 1)**

Malý odpor ( $m\Omega$ ) slúžiaci na meranie prúdu ktorý sa prevádzka na napäťový úbytok úmerný prúdu. Slúži na realizáciu spätej väzby (signál ide do riadiaceho obvodu (MCU / driver)).

Spätná väzba slúži na:

- regulácia prúdu
- ochrana proti preťaženiu
- detekcia skratu
- vektorové riadenie motora (FOC)

### **Elektrolytické kondenzátory (zelený kruh obr. 1)**

Jedná sa o DC-link kondenzátory, ktoré slúžia na stabilizáciu napäťa (vyhľadzujú napájacie napätie), dodávajú energiu pri rýchlych prúdových špičkách a zároveň znižujú EMI a rušenie.

## Dôležité elektrické parametre dosky výkonového a riadiaceho modulu

**Evaluation Power Board EVAL-M7-LVMOS-INV** je výkonová doska pre napäťový invertor navrhnutá pre permanentné magnetické motory (PMSM alebo BLDC) v kombinácii s riadiacou jednotkou EVAL-M7-D111T. Obsahuje výkonové MOSFETy 60 V OptiMOS™ optimalizované pre vysokú účinnosť a rýchle prepínanie pri nízkych stratách. Doska podporuje konfigurácie jednosmerného vstupného napäťa v rozsahu 20–45 V DC a výstupný výkon 300 W. Nosná frekvencia môže byť v rozsahu 20–40 kHz. Napájacie napäťa pre ovládacie obvody sú na úrovni 12 V a 5 V s výstupnými prúdmi typicky  $\leq 100$  mA (12 V) a  $\leq 150$  mA (5 V). Súčasťou sú aj možnosti merania prúdu cez shunt a spätné väzby pre riadenie motora.

- Vstupné jednosmerné napätie:  $U_{DC} = 20\text{--}45$  V
- Maximálny vstupný výkon:  $P = 300$  W pri spínacej frekvencii 20 kHz a pri napájaní ventilátorového motora (2 póly, 30 A,  $L_d = L_q = 15$   $\mu$ H, 120 000 ot./min).
- Maximálna spínacia frekvencia:  $f_{max} = 40$  kHz pri  $U_{CC} = 12$  V
- Maximálny fázový výstupný prúd:  $I = 12$  A (RMS) pri teplote okolia 20 °C, teplote čipu 100 °C, vzduchovom chladení a spínacej frekvencii 25 kHz.
- Maximálne napätie DC bus na tranzistoroch:  $U = 45$  V

**Evaluation Control Board EVAL-M7-D111T** je riadiaca doska založená na integrovanom motorovom kontroléri Infineon IMD111T-6F040. Ide o ready-to-use smart driver pre 3-fázové motory, ktorý kombinuje integrovaný mikrokontrolér, gate driver a riadiacu logiku pre field-oriented control (FOC) a iné pokročilé stratégie riadenia. Podporuje space vector PWM či senzory Hall alebo sensorless režim. Doska je určená pre laboratórne testovanie a vývoj, nie pre finálnu priemyselnú implementáciu. Poskytuje rozhrania pre pripojenie motora, merania prúdov, spätné väzby Hall/analog výstupy a softvér.

## Dôležité parametre BLDC motora

**Brushless DC Motor 42BSA78-24-01** je 3-fázový bezkomutátorový DC motor (BLDC) určený pre rôzne aplikácie ako robotika, malé pohony a priemyselné riadenia.

- Typ: 3-fázový bezkomutátorový DC motor (BLDC)
- Fázy: 3
- Počet pólov: 8
- Menovité napätie: 24 V DC
- Menovité otáčky:  $3000 \pm 10$  % ot./min
- Menovitý točivý moment: 0,24 Nm
- Menovitý výkon: 75 W
- Menovitý prúd: 4,80 A
- Voľnobežné otáčky:  $\approx 4000 \pm 10$  % ot./min
- Odpor na fázu:  $1,03 \pm 10$  %  $\Omega$
- Induktancia na fázu:  $0,43 \pm 20$  % mH
- Spätné elektromotorické napätie (Back-EMF):  $4,41 \pm 5$  % V/krpm

## Čas neprekrytia (dead-time)

Pri riadení 3-fázového napäťového invertora (VSI) je nevyhnutné zaviesť čas neprekrytia (dead-time) medzi spínaním horného a dolného tranzistora každého polomostu fázy U, V a W. Cieľom je zabrániť vzniku priečneho skratu (shoot-through) medzi kladným a záporným pólom jednosmerného napájania.

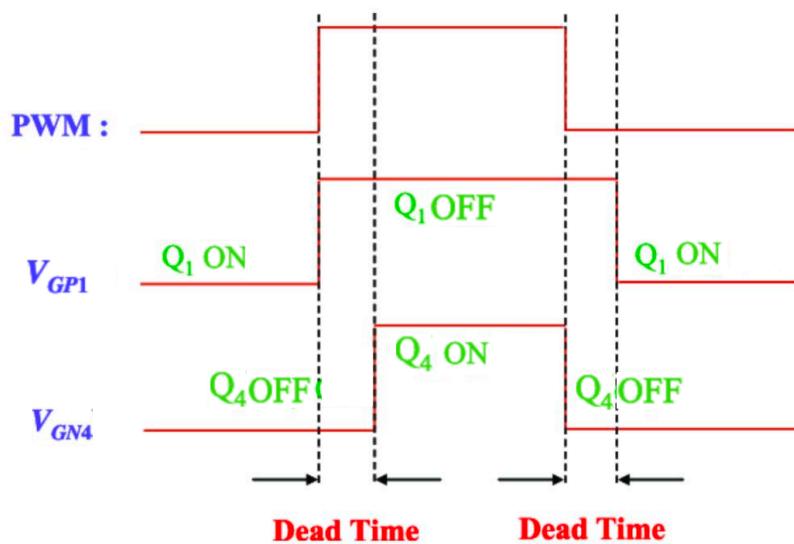
V ideálnom prípade by horný a dolný tranzistor jednej fázy nikdy neboli zopnuté súčasne. V reálnych podmienkach však táto situácia nemôže byť zaručená, pretože výkonové MOSFETy majú nenulové časy zapnutia a vypnutia, ktoré sú ovplyvnené vlastnosťami tranzistorov, gate drivera, parazitnými kapacitami a rozptylom parametrov. V dôsledku toho môže počas prepínania dôjsť ku krátkodobému prekrytiu vodivých stavov oboch tranzistorov polomosta, čo by spôsobilo výrazný nárast prúdu a možné poškodenie výkonovej časti invertora.

Vo všeobecnosti rozlišujeme dva typy času neprekrytia:

- Riadiaci čas neprekrytia – je implementovaný priamo v riadiacom algoritme alebo v PWM generátore. Ide o časový interval, počas ktorého sú oba tranzistory polomosta úmyselne vypnuté.
- Efektívny čas neprekrytia – predstavuje skutočný časový odstup medzi vypnutím jedného tranzistora a zapnutím druhého, pričom zahŕňa aj reálne oneskorenia spínacích prvkov a riadiacej elektroniky.

Úlohou riadiaceho času neprekrytia je zabezpečiť, aby efektívny čas neprekrytia mal vždy kladnú hodnotu, a teda aby v žiadnej fáze 3-fázového VSI nedošlo k súčasnému zopnutiu horného a dolného tranzistora.

Hodnota riadiaceho času neprekrytia sa stanovuje na základe analýzy najhoršieho prípadu, ktorý zohľadňuje maximálne možné oneskorenia vypnutia tranzistora a minimálne časy zapnutia jeho komplementu. Správne nastavený čas neprekrytia tak zabezpečuje dostatočný časový čím sa zvyšuje spoľahlivosť a bezpečnosť prevádzky 3-fázového VSI invertora.



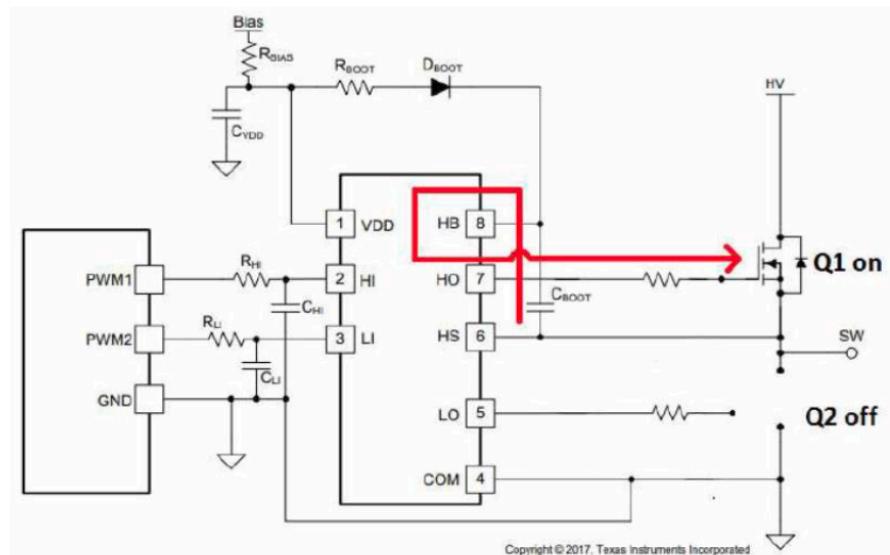
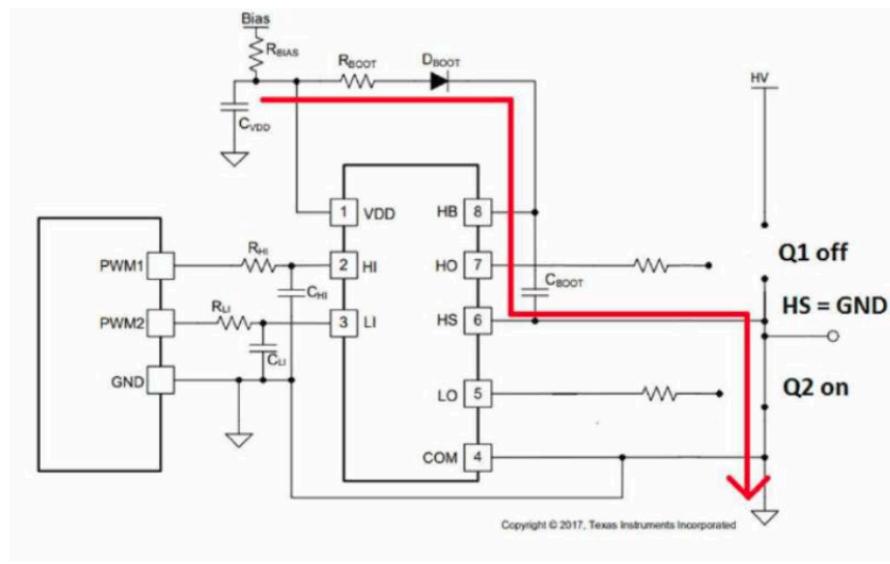
Obr. 2: Čas neprekrytia (dead-time)

## Bootstrap obvod

Bootstrap obvod sa používa na budenie horného (high-side) MOSFETu v polmostíku alebo trojfázovom VSI invertore. Kedže source high-side tranzistora nie je pripojený na zem, ale na výstup fázy, jeho potenciál sa počas činnosti mení a môže dosiahnuť až hodnotu napäťia DC medziobvodu. Na zopnutie MOSFETu je však potrebné, aby napätie medzi gate a source bolo približne 10–15 V (v závislosti od tranzistora).

Bootstrap obvod túto podmienku zabezpečuje pomocou diódy a kondenzátora. V okamihu, keď je dolný tranzistor zapnutý a výstup fázy je blízko GND, bootstrap kondenzátor sa cez diódu nabije na napájacie napäťie drivera. Po vypnutí dolného tranzistora a zapnutí horného tranzistora sa nabitý kondenzátor „zdvihne“ spolu so source high-side tranzistora, čím udržiava potrebné napätie medzi gate a source aj vtedy, keď je source na úrovni +DC.

Nevýhodou bootstrap obvodu je, že vyžaduje periodické prepínanie, pretože kondenzátor sa musí pravidelne dobíjať, a preto nie je možné trvalo držať horný tranzistor zapnutý so 100 % striedou.



Obr. 3: Bootstrap obvod

## Referencie

<https://www.farnell.com/datasheets/3685742.pdf>

<https://www.infineon.com/assets/row/public/documents/60/44/infineon-ug-2021-17-eval-m7-d111t-usermanual-en.pdf>

<https://www.omc-stepperonline.com/24v-3000rpm-0-24nm-75w-4-80a-42x42x78mm-brushless-dc-motor-42bsa78-24-01>

[https://www.researchgate.net/figure/Definition-of-dead-time\\_fig2\\_275632511](https://www.researchgate.net/figure/Definition-of-dead-time_fig2_275632511)

<https://electronics.stackexchange.com/questions/624470/how-is-a-highside-gate-powered-with-a-bootstrap-circuit-and-mosfet-driver>