

Možnosti využití piezoelektrických transformátorů pro napájení budičů MOSFET a IGBT tranzistorů

Pavel Valenta

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

valpav@kae.zcu.cz

Possibilities of Using Piezoelectric Transformers for MOSFET and IGBT Drivers Supplying

Abstract – In many applications MOSFET and IGBT drivers must be powered by a floating voltage. This can be solved by using an auxiliary power supply with an isolated output voltage. In this paper, possibilities of using piezoelectric transformers for this purpose are presented. Also the results from the experiment are mentioned.

Keywords – Auxiliary power supply; High-side driver; IGBT; MOSFET; Piezoelectric transformer; Resonant frequency.

I. ÚVOD

Tranzistory MOSFET (případně IGBT) jsou běžně používány v mnoha topologiích měničů. V mnoha případech je tranzistor zapojen tak, že elektroda source není připojena k napájecí zemi. V tomto případě je nutné, aby budící napětí (připojené mezi svorky gate a source) bylo plovoucí. Budící obvod (v tomto případě označovaný jako tzv. High-side switch driver) musí být napájen ze zdroje s izolovaným výstupním napětím. To lze zařídit různými způsoby. V této práci jsou popsány možnosti využití piezoelektrických transformátorů k tomuto účelu.

II. PIEZOELEKTRICKÝ TRANSFORMÁTOR

Piezoelektrický transformátor (PT) představuje alternativu ke klasickému transformátoru s elektromagnetickou vazbou. V případě piezoelektrického transformátoru je vazba, přes kterou dochází k přenosu výkonu, mechanická. PT se skládá ze dvou částí. Primární (budící) část, která pomocí nepřímého piezoelektrického jevu přeměňuje elektrickou energii na mechanickou. Sekundární (přijímací) část přeměňuje mechanickou energii zpět na elektrickou pomocí přímého piezoelektrického jevu. Mezi primární a sekundární stranou PT musí být dobrá mechanická vazba. Primární strana a sekundární strana však mohou být navzájem galvanicky odděleny.

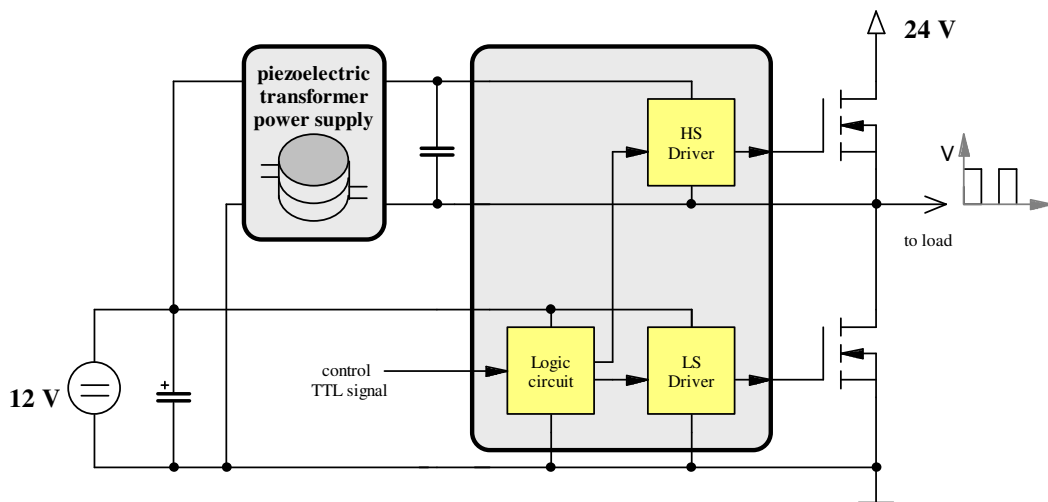
Piezoelektrický transformátor má ve srovnání s klasickým transformátorem jisté výhody: Vyšší výkonová hustota, vyšší účinnost, nižší hmotnost a menší elektromagnetické rušení. PT se chová jako sériový rezonanční obvod. Musí být proto provozován na (nebo velmi blízko) rezonanční frekvenci.

III. VYUŽITÍ PIEZOELEKTRICKÝCH TRANSFORMÁTORŮ PRO ÚČELY BUZENÍ MOSFET A IGBT TRANZISTORŮ

Jak bylo nastíněno výše, pro napájení budících obvodů MOSFET tranzistorů je potřeba plovoucí napětí. Pro generování tohoto napětí je možné využít piezoelektrický transformátor s galvanicky odděleným sekundárním napětím. V následujícím textu budou popsány možné způsoby využití PT pro tento účel.

A. Pomocný zdroj s piezoelektrickým transformátorem pro napájení budiče

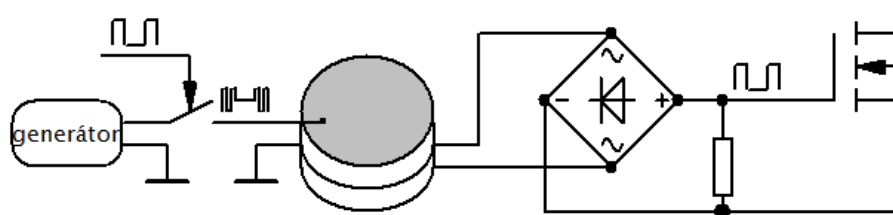
V tomto případě je pro napájení budiče použit pomocný zdroj s izolovaným výstupním napětím. V pomocném zdroji je využit piezoelektrický transformátor. PT zde slouží jen k napájení budiče. Řídící impulsy jsou od budícího obvodu odděleny klasickým způsobem, například s využitím vazebního optočlenu, nebo např. pomocí tzv. level shifteru. Bližší popis takového řešení je popsán v [1]. Na obrázku I je blokově naznačeno řešení napájení horního budiče pro měnič s topologií polovičního můstku.



Obrázek I. Napájení horního budiče z pomocného zdroje s PT

B. Přímé buzení MOSFET tranzistoru pomocí piezoelektrického transformátoru

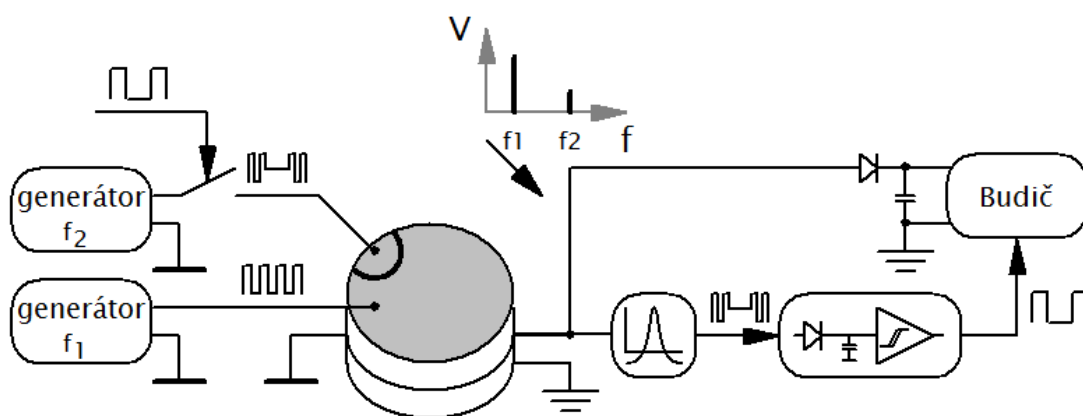
Tento způsob využití PT je znám již delší dobu. Uveden je například v [2] a [3]. Výstupní napětí PT je usměrněno a přímo připojeno k elektrodě gate spínaného tranzistoru. Pokud má být tranzistor sepnut, je PT připojen ke zdroji střídavého napětí (frekvence se musí rovnat rezonanční frekvenci PT). Je-li potřeba tranzistor vypnout, vypne se i napájení PT. Tento princip je vcelku jednoduchý. Jeho velkou nevýhodou jsou dlouhé zapínací/vypínací doby v řádech stovek mikrosekund [2]. V tomto případě PT slouží k přenosu energie a pro přenos řídicí informace (logická 0 nebo 1) je použita on-off modulace. Nevýhodou je, že v případě vypnutého stavu nejsou případné budící obvody vůbec napájeny. Tento způsob je vhodný pro trvalé spínání zátěže. Pro režim spínání s vyšší frekvencí je tento způsob nevhodný. Zlepšení lze dosáhnout použitím PT s vysokou rezonanční frekvencí (řádově jednotky megahertzů). Blokové schéma takového zapojení je na obrázku II.



Obrázek II. Přímé buzení MOSFET tranzistoru pomocí PT

C. Nezávislý přenos energie a řídicího signálu s využitím piezoelektrického transformátoru

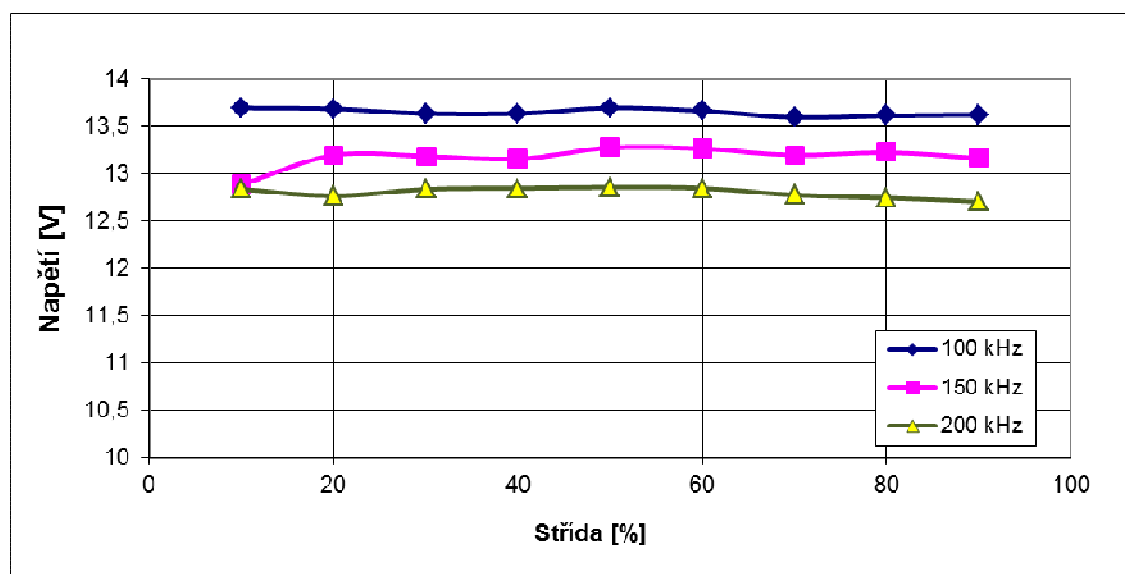
V případě on-off modulace lze pomocí PT přenášet energii a zároveň řídicí signál. Energie však může být přenášena pouze při jedné hodnotě přenášené informace (logická 1). Následující řešení umožňuje současný přenos energie a informace nezávisle na sobě. PT má více rezonančních frekvencí. Jen jedna je ale dominantní. PT je trvale buzen na své dominantní rezonanční frekvenci (f_1) a takto přenesená energie je použita pro napájení zátěže. Pro přenos informace je využita pomocná elektroda PT a vyšší (méně významná) rezonanční frekvence (f_2). Na vyšších rezonančních frekvencích je účinnost přenosu energie velmi malá, ale pro přenos informace dostatečná. Výstupní napětí z PT lze použít pro napájení zátěže. Pro získání přenesené informace je potřeba z výstupního napětí vyfiltrovat pouze frekvenci, která nese informaci. V případě použití pro buzení MOSFET tranzistoru je budící obvod napájen z PT. Řídicí signál je získán filtrací a úpravou výstupního napětí PT. Tento princip je naznačen na obrázku III.



Obrázek III. Přenos energie a informace pro buzení tranzistoru pomocí PT

IV. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

V [1] je detailně popsáno řešení z obrázku I. Pro napájení budiče horního tranzistoru, v zapojení polovičního můstku, je použit pomocný zdroj s PT. Po oživení bylo provedeno měření závislosti napájecího napětí pomocného zdroje v závislosti na spínací frekvenci a střídě spínání. Graf na obrázku VI zachycuje tyto závislosti. Přestože zpětnovazební regulace výstupního napětí nebyla použita, je výstupní napětí dostatečné ve všech režimech. Dále byl změřen špičkový budící proud do hradla tranzistoru. Při zapojení rezistoru $R_G = 4,7 \Omega$ do hradla, byl špičkový budící proud 0,91 A. Střída spínání může být v celém rozsahu 0 až 100 %.



Obrázek IV. Závislost výstupního napětí pomocného zdroje s PT v závislosti na frekvenci a střídě spínání

V. ZÁVĚR

V porovnání s klasickým transformátorem má piezoelektrický transformátor určité výhody. Zejména vyšší hustotu energie, nižší hmotnost a menší elektromagnetické rušení. V této práci byly popsány možnosti využití piezoelektrických transformátorů pro buzení MOSFET (příp. IGBT) tranzistorů. Jak ukazují výsledky z experimentálního ověření, je PT použitelný pro tuto aplikaci. Z výsledků vyplývá, že PT je schopen přenést dostatečné množství energie pro napájení budících obvodů a rychlé otevření tranzistoru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

LITERATURA

- [1] VALENTA, P., KOUCKÝ, V., HAMMERBAUER, J. Piezoelectric transformer for high-side MOSFET driver supplying. In *Proceedings of the 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. Piscataway: IEEE, 2017. s. 1-4. ISBN: 978-1-5090-6405-2.
- [2] STENGL, Jens Peer a TIHANYI, Jenö. *Výkonové tranzistory MOSFET*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. 191 s. ISBN 80-86056-54-6.
- [3] D. Vasic, F. Costa, and E. Sarraute, "A new MOSFET & IGBT gate drive insulated by a piezoelectric transformer," 2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.01CH37230), Vancouver, BC, 2001, pp. 1479-1484 vol. 3.