

# Praktické výsledky v řešení kvazirezonančního meziobvodu napět'ového střídače

Tomáš Pavelek

Katedra výkonové elektroniky a elektrických pohonů, FEI, VŠB – Technická univerzita  
Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba

tomas.pavelek@vsb.cz

**Abstrakt.** V příspěvku jsou uvedeny dosažené výsledky ve výzkumu kvazirezonančního meziobvodu pro napět'ový střídač. Koncepce rezonančních obvodů střídačů s měkkým spínáním vychází z komutačních obvodů pro pulzní měniče. Na základě působení rezonančního obvodu lze rozlišit měniče *rezonanční*, jejichž spínací kmitočet je odvozen od vlastního kmitočtu rezonančního obvodu a činnost střídače je mu podřízena a dále na měniče *kvazirezonanční*, u kterých je rezonanční děj iniciován pouze pro vytvoření nulového proudu (ZCS) nebo napětí (ZVS) v okamžiku přepínání spínačů.

**Klíčová slova:** kvazirezonanční meziobvod, spínací ztráty, měkké spínání, napět'ový střídač

## 1 Úvod

Na ztrátách polovodičových měničů se největší měrou podílejí ztráty spínací. Tyto ztráty snižují horní hranici spínací frekvence a tím dochází ke snížení kvality výstupních veličin. Snížení těchto ztrát lze docílit použitím měkkého spínání v nule napětí nebo proudu.

Špičkou v této oblasti jsou měniče kvazirezonanční, které využívají rezonančních vlastností LC obvodu pouze pro vytvoření nulového proudu nebo napětí v okamžicích přepínání spínačů. Snížení strmosti nástupné a sestupné hrany výstupního napětí při použití rezonančních měničů má také příznivý vliv na elektromagnetické rušení.

Nevýhodou rezonančních měničů jsou nároky kladené na jejich řídicí obvod. Po něm je požadováno, aby pracoval v reálném čase, což například při vektorovém řízení šířkově-pulzní modulace vyžaduje velmi rychlý mikroprocesor. Vzhledem ke složitosti kvazirezonančních měničů také poměr výkon/cena zatím hovoří v neprospěch těchto měničů..

## 2 Střídače s kvazirezonančním meziobvodem

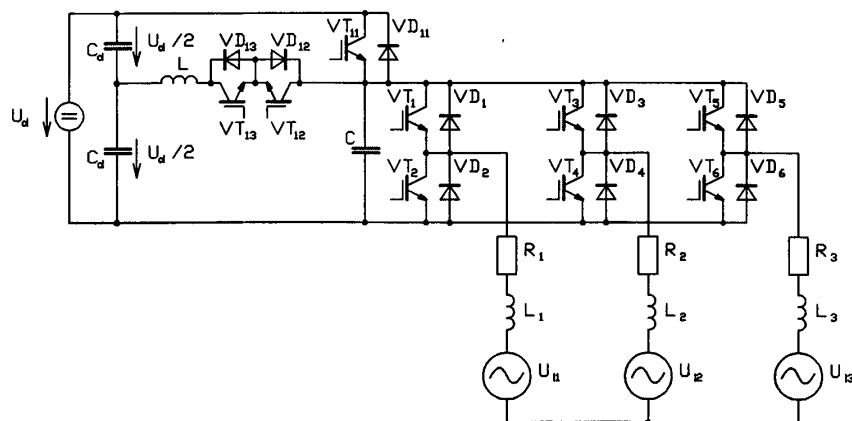
Charakteristickým rysem střídačů s kvazirezonančním meziobvodem je přítomnost sériového spínače v meziobvodu. Existuje několik variant možných řešení výkonového obvodu. Pokud bychom je chtěli jednoduše charakterizovat, jedná se o

zapojení s rezonančním kondenzátorem nebo rezonanční indukčností paralelně ke střídači. Další možností je např. zapojení kvazirezonančního meziobvodu s transformátorem.

Pro praktické využití je nutné najít relativně levnou koncepci střídače s rezonančním meziobvodem, který by umožnil kvalitní modulaci výstupního napětí. Jednou z velmi často používaných metod řízení střídačů je metoda vektorové šířkově pulsní modulace výstupního napětí, která se jeví v modifikaci pro řízení kvazirezonančního střídače jako nejvýhodnější.

Nejdříve jsme se zabývali analýzou kvazirezonančního meziobvodu s kondenzátorem paralelně ke střídači.

## 2.1 Kvazirezonanční meziobvod s kondenzátorem



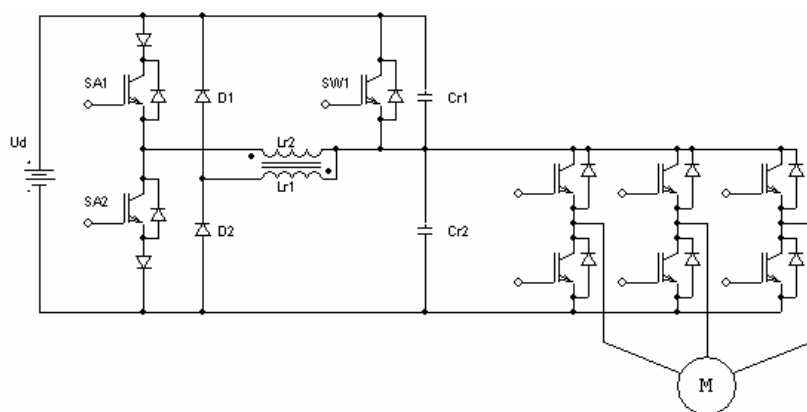
**Obr. 1.** Kvazirezonanční meziobvod s kondenzátorem paralelně ke střídači.

Činnost tohoto typu meziobvodu je ověřena a teoretické, nasimulované i praktické výsledky se velmi dobře shodují. Nicméně takto sestavený meziobvod není pro praktické použití příliš vhodný. Jednak je to z důvodu netypického zapojení výkonových tranzistorů T12 a T13 a nutností rozdělení napájecího napětí na poloviny a dalším důvodem je i relativně složité řízení jednotlivých spínačů meziobvodu. Je totiž nutné nejdříve nabít rezonanční indukčnost, a teprve po dosažení dostatečné velikosti proudu spustit rezonanční děj. S tím souvisí nutnost měřit a porovnávat velikosti rezonančního proudu, i proudu zátěže, což přináší problémy pro řídicí systém. Při rychlosti rezonančního děje je to zejména problém rychlosti A/D převodníků i řídicího systému. U těchto měničů je tedy vhodné mezi vlastní řídicí systém a meziobvod vložit ještě řídicí obvod meziobvodu, který přijme požadavek na změnu spínací kombinace, spustí rezonanční děj a po jeho ukončení změní spínací kombinaci. Vznikají tak různá časová zpoždění, která se dají z větší části zahrnout do výpočtu šířkově pulsní modulace a minimalizovat tak vzniklou chybu. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je však použití tohoto typu meziobvodu vhodnější pro

střídač s pomocnými rezonančními póly, kde nebude tolik ovlivňovat kvalitu modulace výstupního napětí.

## 2.2 Kvazirezonanční meziobvod s transformátorem

Jako vhodný typ pro kvazirezonanční meziobvod je zapojení s transformátorem (viz. obr. 2).

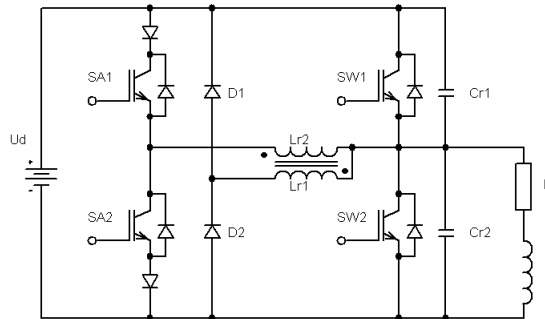


**Obr. 2.** Výkonová část střídače s kvazirezonančním meziobvodem.

Při rezonančních dějích tohoto meziobvodu se uplatňují pouze rozptylové indukčnosti transformátoru, které jsou relativně malé a tak může být vlastní rezonanční děj velmi rychlý. Také řízení je podstatně jednodušší než v případě použití jiných typů meziobvodů (např. s kondenzátorem), protože stačí pouze kontrolovat zánik rezonančního proudu a ukončení přebíjení rezonančních kondenzátorů, což se dá vyřešit binárními vstupy do řídicího systému. Celé řízení se tím zjednoduší a při dostatečně rychlém řídicím systému odpadne i vložený řídicí obvod meziobvodu. Nevýhodou může být konstrukce a odladění rezonanční indukčnosti, kde musí být dodržena velikost rozptylové indukčnosti. Toto je však vyváženo výše uvedenými výhodami.

## 3 Realizace laboratorního vzorku

Pro experimentální ověření činnosti byl zapojen meziobvod podle schématu na obr. 3, kde je výstupní střídač nahrazen tranzistorem SW2 a jeho zpětnou diodou. Jako zátěž jsme použili RL kombinaci.



**Obr. 3.** Experimentální zapojení meziobvodu.

Protože jsme neměli s tímto typem meziobvodu žádné zkušenosti, provedli jsme simulaci jeho činnosti v prostředí OrCAD 9.1.

Ze simulačních výsledků pak vychází návrh jednotlivých prvků výkonového obvodu. Amplituda a doba trvání rezonančního proudového pulzu, který přebíjí rezonanční kondenzátory Cr1 a Cr2 je dána jednak velikostí těchto kondenzátorů a jednak rozptylovými indukčnostmi vinutí transformátoru.

Při návrhu těchto prvků musí nutně dojít ke kompromisu mezi rychlostí rezonančního děje a amplitudou přebíjecího proudu. Vzhledem k použitým IGBT tranzistorům jsme provedli návrh těchto prvků tak, aby při napájecím napětí 300V byla amplituda rezonančního proudu přibližně 50A. Celý rezonanční děj pak trvá asi 3 $\mu$ s. Transformátor je navinut na feritovém jádře měděným lakovaným vodičem. Typ použitých kondenzátorů musí snést proudové impulzní zatížení.

Jako spínací tranzistory jsme použili standardní IGBT moduly se dvěma spínači. Pro řízení a ověření základních vlastností meziobvodu byla navržena řídicí jednotka s TTL obvody.

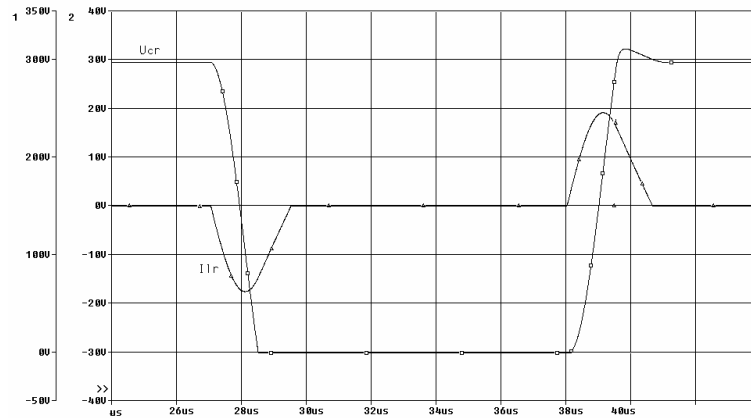
Pro správnou činnost meziobvodu je nutné do řídicí části přivést informace o nabití resp. vybití rezonančních kondenzátorů a o okamžiku zániku rezonančního proudu.

Protože se jedná o velmi rychlé děje, je třeba, aby také čidla napětí a proudu byla co nejrychlejší a nevznikalo tak na nich příliš velké zpoždění, které by pak nepříznivě ovlivnilo celý děj. Jako čidlo proudu bylo vybráno čidlo LEM s velmi rychlou odezvou 50A/ $\mu$ s. Jako čidel napětí jsme použili rychlé optočleny.

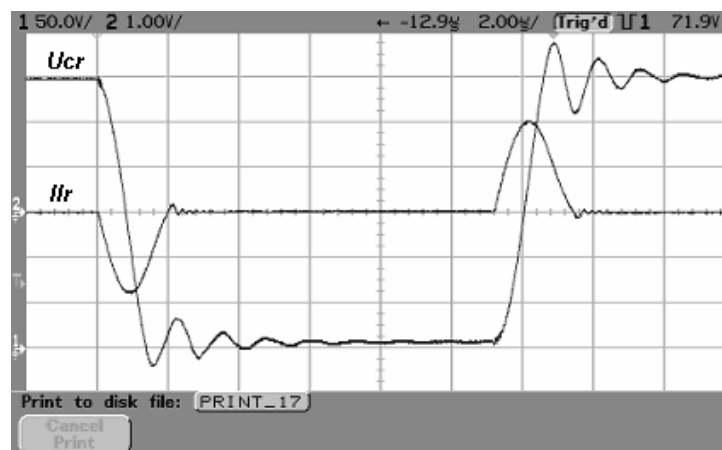
Pozornost je třeba také věnovat použitým budičům výkonových tranzistorů a jejich případnému zpoždění.

## 4 Experimentální výsledky

První dosažené výsledky jsou velmi dobré. Meziobvod jsme napájeli z napětí 300V, zátěží byla kombinace RL, proud odebíraný zátěží 2A. Pro srovnání uvádím průběhy simulované (obr. 4) a naměřené (obr. 5), jedná se o výstupní napětí meziobvodu a rezonanční proudové impulsy. Je zřejmé, že shoda je velmi dobrá. Drobné nepřesnosti vznikají v důsledku odchylky simulačních modelů jednotlivých prvků od skutečnosti.



Obr. 4. Výstupní napětí a rezonanční proud – simulace.



Obr. 5. Výstupní napětí a rezonanční proud – měření.

## 5 Současný stav řešené problematiky

V současnosti je ověřena správná činnost výkonové části měniče, takže se nyní soustředíme na vytvoření softvéru pro řídicí část, která bude pracovat se signálovým procesorem TMS320LF2407. Tento typ procesoru je vzhledem ke své rychlosti schopen obsluhovat jak vlastní meziobvod střídače, tak provádět vektorovou modulaci výstupního napětí trojfázového střídače.

## Reference

1. Chlebiš P. Polovodičové měniče s měkkým spínáním. *Závěrečná zpráva FRVŠ F1 668/1999. Ostrava 1999*
2. C. Y. Inaba, E. Hiraki, S. Ohgaki, M. Nakaoka: Three Phase Soft Commutation Inverter with High Frequency Transformer Assisted Resonant Snubbers. *EPE - PEMC 2000 Košice*
3. Pavelek T., Sládeček V. Experimentální výsledky v řešení meziobvodů kvazirezonančních měničů. *Zborník ku konferencii Elektrotechnika a Energetika 2002, Časopis EE, 8, Bratislava 2002*
4. Pavelek T. - Sládeček V. Varianty a způsoby řešení měkkého spínání, používané u kvazirezonančních měničů. *SYMEP 2002, XIX Mezinárodní symposium učitelů elektrických pohonů. Liberec 2002, ISBN 80-7083-612-1*

## Annotation:

There are summarized results of research of the quasiresonant voltage type converter in this paper. Results shows that the given type of the quasiresonant converter is a good adept for vector pulse width modulation. Next effort is focused to do the control algorithm with modern digital signal microprocesors, based on the TMS320Cxx line by Texas Instruments, as for direct control of the voltage DC link as for vector pulse width modulation control algorithm too.

In the paper are the results of the project CEZ:J17/98:272400014, which was supported by The Ministry of Education of Czech Republic. This research was supervised by Doc. Ing. Petr Chlebiš, CSc.