



Pracoviště: Regionální inovační centrum elektrotechniky

Výzkumná zpráva č.: 22190 - 042 - 2011

Oživení laboratorního prototypu 4L-FLC měniče - Experimentální výsledky

Druh úkolu: Vědecko-výzkumný

Řešitelé: Ing. Martin Zeman, Ing. Tomáš Košan,
Ing. Vojtěch Král

Vedoucí úkolu: Doc. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D

Počet stran: 16

Datum vydání: prosinec 2011

Revize: 2

Tato výzkumná zpráva vznikla s podporou grantu Technologické agentury ČR TA01010863 a za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, SGS-2010-037.

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá ožiováním navrženého laboratorního prototypu čtyř-úrovňového měniče s plovoucími kondenzátory. Zpráva prezentuje experimentální výsledky z měření získané v jednotlivých etapách ožiování měniče. Etapy ožiování byly rozděleny na tři části: jedna větev měniče, jednofázový H-můstek a plný trojfázový měnič. Zpráva zároveň popisuje implementaci základní modulace pro víceúrovňový měnič s plovoucími kondenzátory, tzv. PS-PWM, do DSP firmy Texas Instruments TMS320F28335.

Obsah

1	ÚVOD.....	3
2	JEDNA VĚTEV 4L-FLC MĚNIČ	4
2.1	Experimentální výsledky	5
3	JEDNOFÁZOVÝ 4L-FLC MĚNIČ	6
3.1	Experimentální výsledky	8
4	TROJFÁZOVÝ 4L-FLC MĚNIČ	8
4.1	Experimentální výsledky	11
5	ZÁVĚR.....	12

1 Úvod

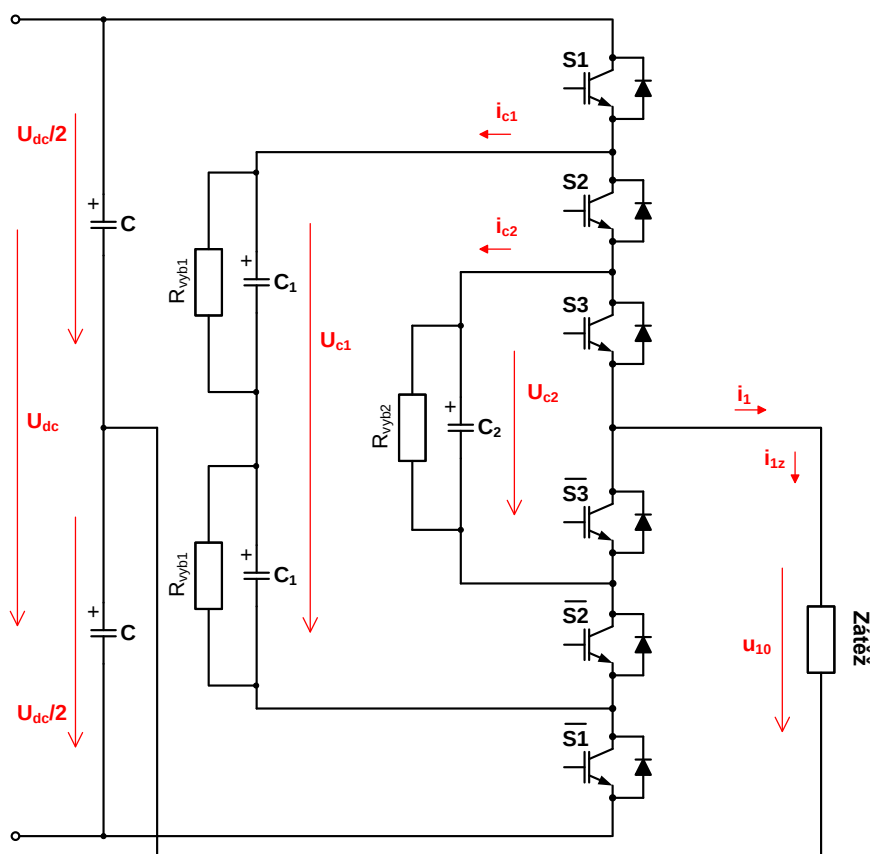
Tato výzkumná zpráva je zaměřena na experimentální výsledky z oživování laboratorního prototypu čtyř-úrovňového měniče s plovoucími kondenzátory (4L-FLC). Zpráva navazuje na výzkumnou zprávu číslo [1], kde je popsán podrobný postup pro oživení jedné větve měniče.

První část zprávy obsahuje experimentální výsledky získané při oživování jedné větve měniče. Druhá část zprávy obsahuje experimentální výsledky získané měřením na jednofázovém 4L-FLC měniči – tzn. zátěž zapojena mezi 2 větve měniče (H-můstek). Třetí část zprávy obsahuje experimentální výsledky z měření na kompletním tří-fázovém 4L-FLC měniči.

Pro oživení měniče byla použita jednoduchá modulace PS-PWM, která se stará o přirozené samo-balancování napětí na plovoucích kondenzátorech a zároveň zajišťuje rovnoměrné rozložení spínacích ztrát na všechny prvky měniče. Princip modulace PS-PWM je popsán v [1]. Modulace PS-PWM byla implementována v DSP firmy Texas Instruments TMS320F28335.

2 Jedna větev 4L-FLC měniče

Tato kapitola obsahuje experimentální výsledky naměřené na jedné větvi 4L-FLC měniče. Zapojení výkonového obvodu je naznačeno na Obr.2.1. Parametry výkonového obvodu jsou uvedeny v Tab. 2.1. Zátěž byla použita typu RL: L ... 6mH, R ... proměnný rezistor. Spínací frekvence prvků byla použita 2kHz. Mrtvé časy o velikosti 3 μ s jsou generovány v DSP.



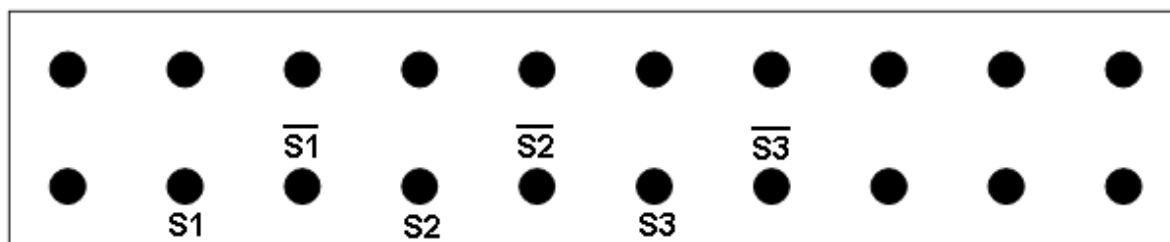
Obr.2.1 Zapojení jedné větve 4L-FLC měniče

Tab. 2.1 Parametry jedné větve 4L-FLC měniče

C	2,2 mF	kapacita vstupního kondenzátoru
C₁	4,7 mF	kapacita plovoucího kondenzátoru C ₁
C₂	2,2 mF	kapacita plovoucího kondenzátoru C ₂
R_{vyb1}	15 k Ω	vybíjecí odpor kondenzátoru C ₁
R_{vyb2}	100 k Ω	vybíjecí odpor kondenzátoru C ₂

Implementace PS-PWM do DSP TMS320F28335 je podrobně popsána ve zprávě [1]. DSP TMS320F28335 je připojen přes interface Texas ver. III. Spínací pulsy PS-PWM jsou vyvedeny na bránu B. Konektor brány B s popisem jednotlivých pinů je na Obr.2.2.

Brána PWM B

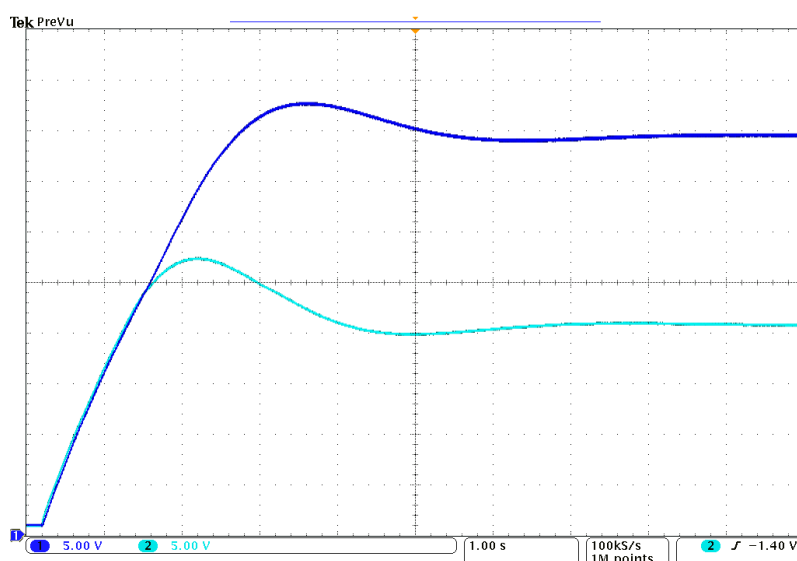


1

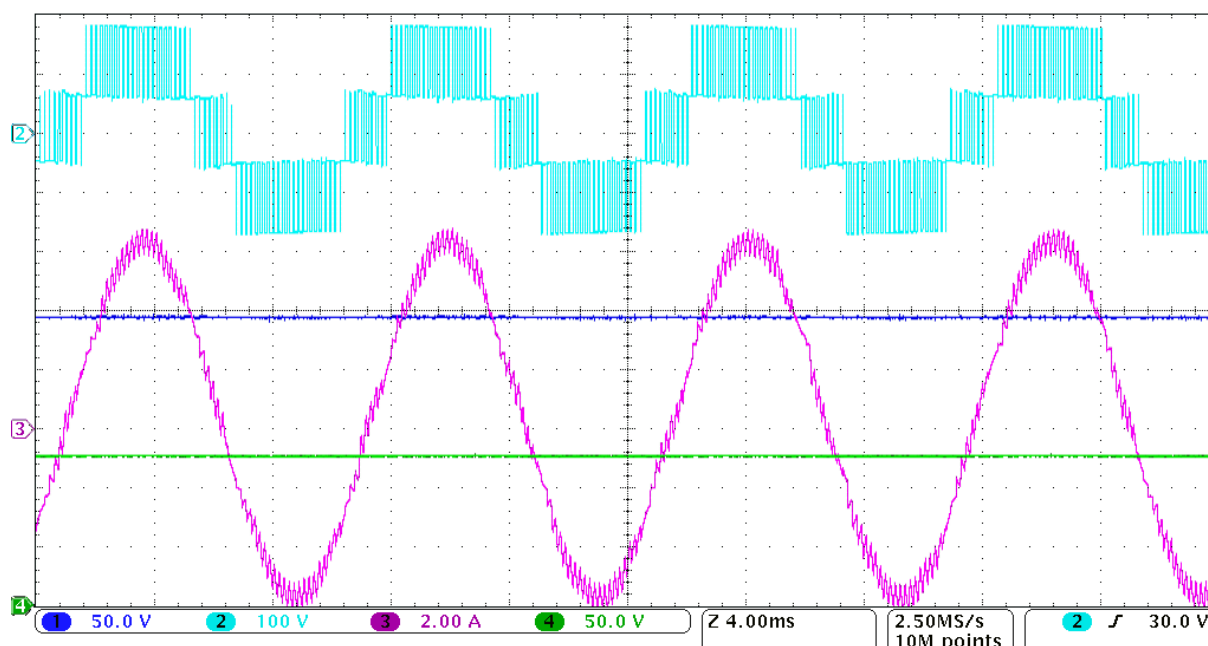
Obr.2.2 Vyvedení spínacích pulzů pro řízení jedné větve měniče. Brána B - pohled shora.

2.1 Experimentální výsledky

Na následujících obrázcích jsou uvedeny experimentální výsledky naměřené na jedné větvi 4L-FLC měniče. Na Obr.2.3 je zachycen start měniče bez přednabitých plovoucích kondenzátorů. K ustálení napětí na plovoucích kondenzátorech došlo přibližně po 6s. Lepší dynamické odezvy lze docílit použitím tzv. balančního filtru – viz výzkumná zpráva [1]. Na Obr.2.4 jsou zobrazeny průběhy pro ustálený stav měniče.



Obr.2.3 Dynamická odezva samo-balancování – start měniče bez přednabitých plovoucích kondenzátorů. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=60\text{V}$, $R=15\Omega$. ch1: U_{c1} [5V/dílek], ch2: U_{c2} [5V/dílek].

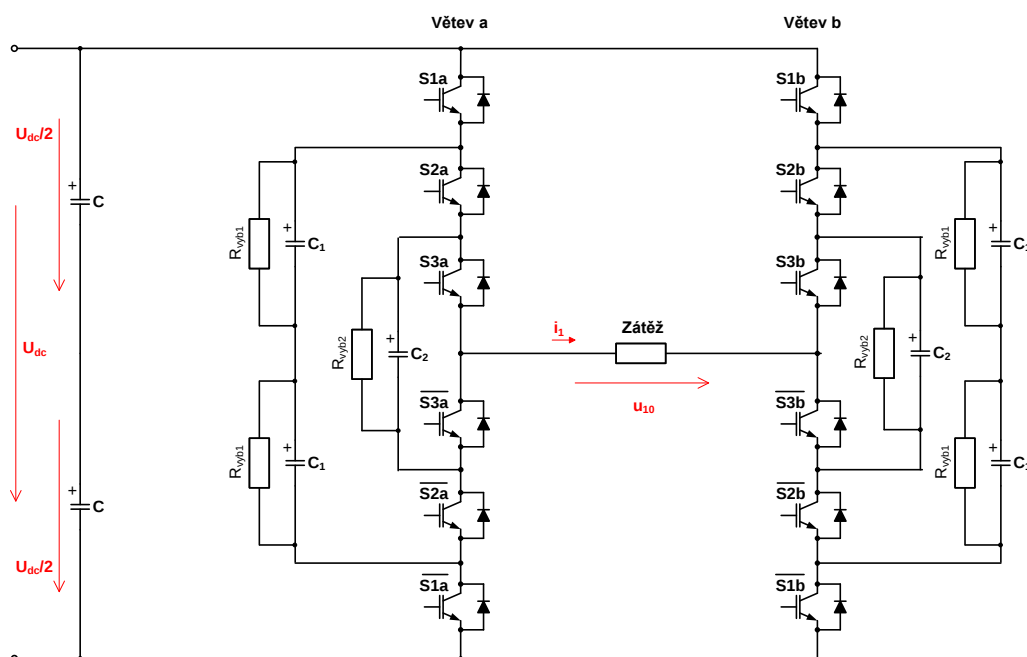


Obr.2.4 Průběhy pro jednu větev 4L-FLC měniče – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=360\text{V}$. ch1: U_{c1} [50V/dílek], ch2: u_{10} [100V/dílek], ch3: i_1 [2A/dílek], ch4: U_{c2} [50V/dílek].

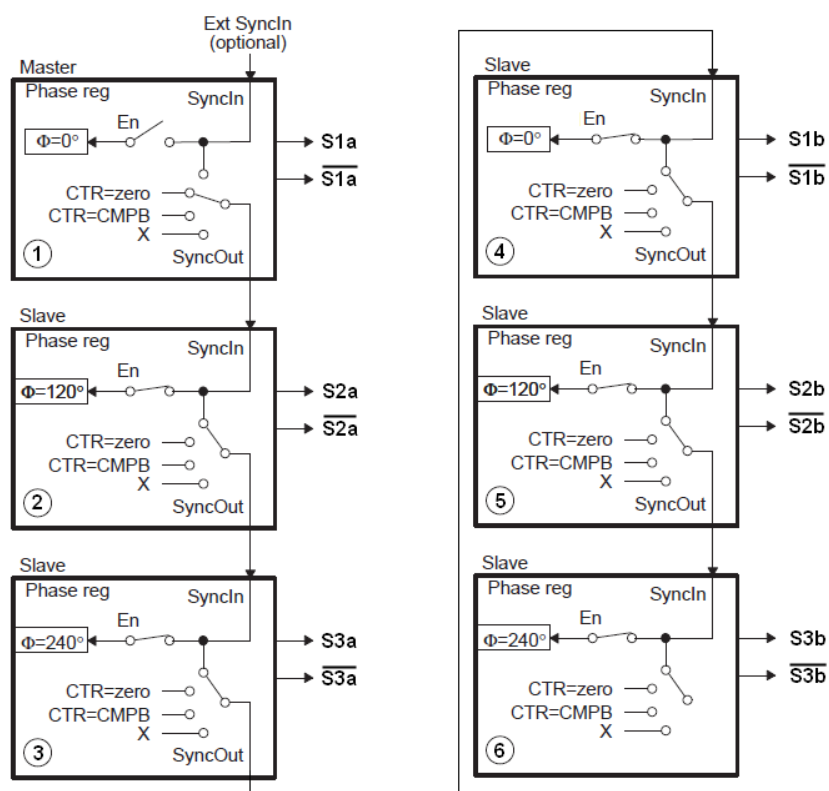
3 Jednofázový 4L-FLC měnič

Tato kapitola představuje experimentální výsledky získané měření na jednofázovém 4L-FLC měniči. Výkonové schéma zapojení jednofázového měniče je zobrazeno na Obr.3.5. Parametry obou větví jsou shodné s předchozí kapitolou – viz Tab. 2.1. Zátěž byla použita opět typu RL: $L \dots 6\text{mH}$, $R \dots$ proměnný rezistor. Spínací frekvence prvků byla použita 2kHz. Mrtvé časy o velikosti $3\mu\text{s}$ jsou generovány v DSP.

Princip implementace modulace PS-PWM v DSP TMS320F28335 pro řízení jednofázového 4L-FLC měniče je shodná s implementací PS-PWM pro jednu větev měniče – viz výzkumná zpráva [1]. Rozdíl je pouze ve využití všech šesti submodulů ePWM. Submoduly 1, 2 a 3 (vyvedeny na bránu A) slouží pro řízení „větve a“ a submoduly 4, 5 a 6 (vyvedeny na bránu B) slouží pro řízení „větve b“. Submoduly 1, 2 a 3 (větev a) využívají modulační signál $+u_{10}^*$ a submoduly 4, 5 a 6 (větev b) využívají modulační signál $-u_{10}^*$. Tzn. z hlediska PWM se jedná o klasické řízení 1f měniče zapojeného do H-můstku. Zapojení obou konektorů je pak shodné s Obr.2.2. Nastavení submodulů ePWM pro realizaci PS-PWM pro 1f 4L-FLC je patrné z Obr.3.6.



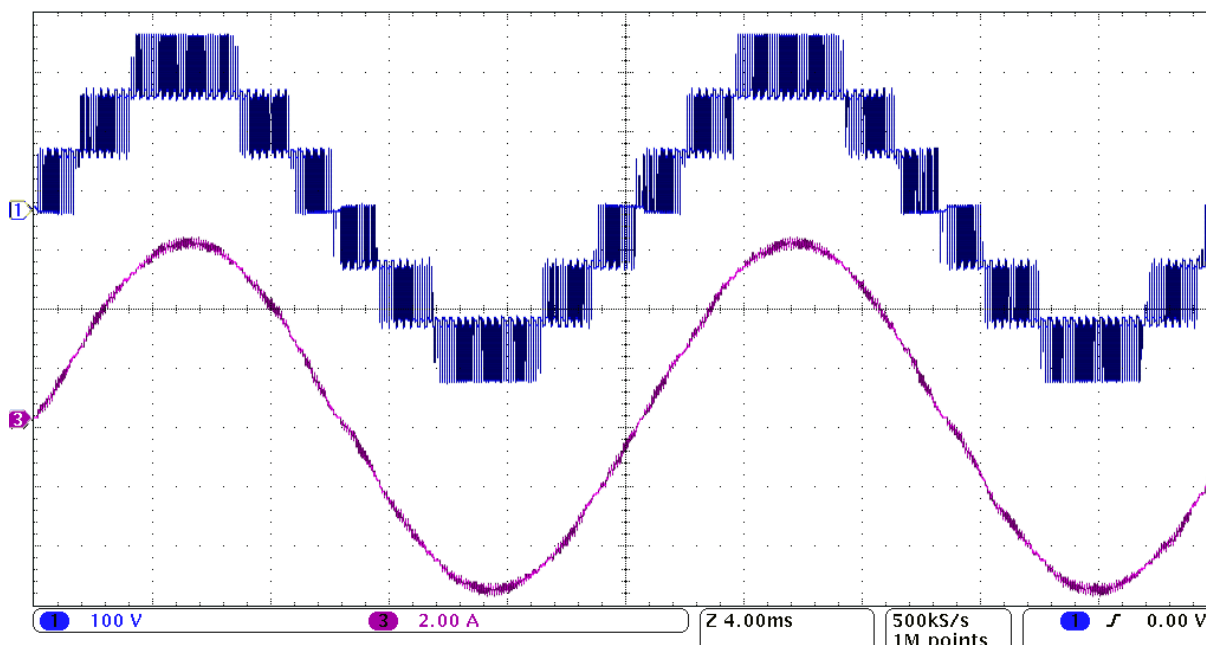
Obr.3.5 Zapojení jednofázového 4L-FLC měniče.



Obr.3.6 Konfigurace periferie ePWM pro řízení H-můstku 4L-FLC měniče.

3.1 Experimentální výsledky

Na následujícím obrázku jsou uvedeny experimentální výsledky naměřené na jednofázovém 4L-FLC měniči. Na Obr.3.7 je zobrazen průběh napětí a proudu na zátěži při ustáleném stavu.



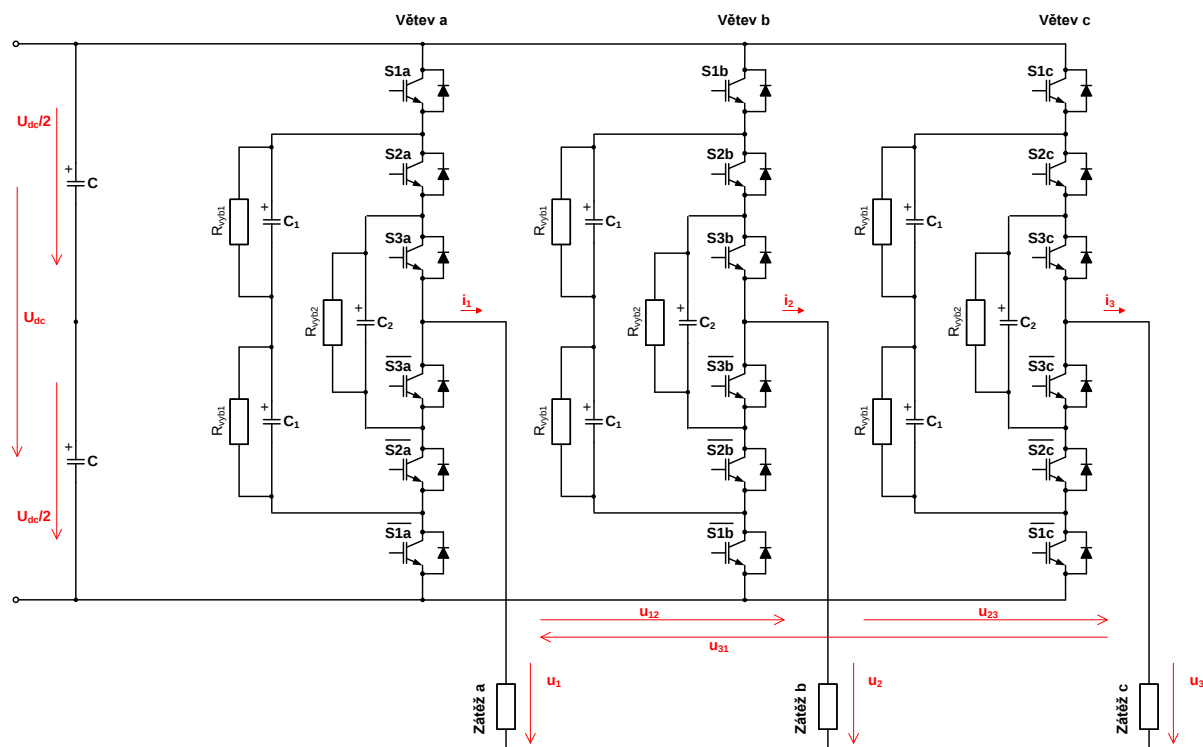
Obr.3.7 Průběh napětí a proudu pro jednofázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=300\text{V}$. ch1: u_{10} [100V/dílek], ch3: i_l [2A/dílek].

4 Trojfázový 4L-FLC měnič

Tato kapitola představuje experimentální výsledky získané měřením na trojfázovém 4L-FLC měniči. Výkonové schéma zapojení trojfázového měniče je zobrazeno na Obr.4.8. Parametry větví jsou opět shodné s předchozí kapitolou – viz Tab. 2.1. Byla použita symetrická zátěž typu RL: $L \dots 6\text{mH}$, $R \dots 50\Omega$. Spínací frekvence prvků byla použita 2kHz.

Na rozdíl od řízení jedné, respektive dvou větví měniče, trojfázový 4L-FLC měnič nelze řídit pomocí DSP TMS320F28335 přímo. Důvodem je nedostatečný počet PWM výstupů. Pro řízení celého měniče je potřeba 18 PWM výstupů, ale použitý DSP disponuje pouze 12 PWM výstupy. Z toho důvodu byly vyvinuty speciální drivery pro spínání jednotlivých větví měniče – viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Vstupem těchto driverů jsou PWM pulzy pro spínání horních prvků měniče, tedy signály S1, S2 a S3 (a, b, c). Spodní prvky jsou pak spínány

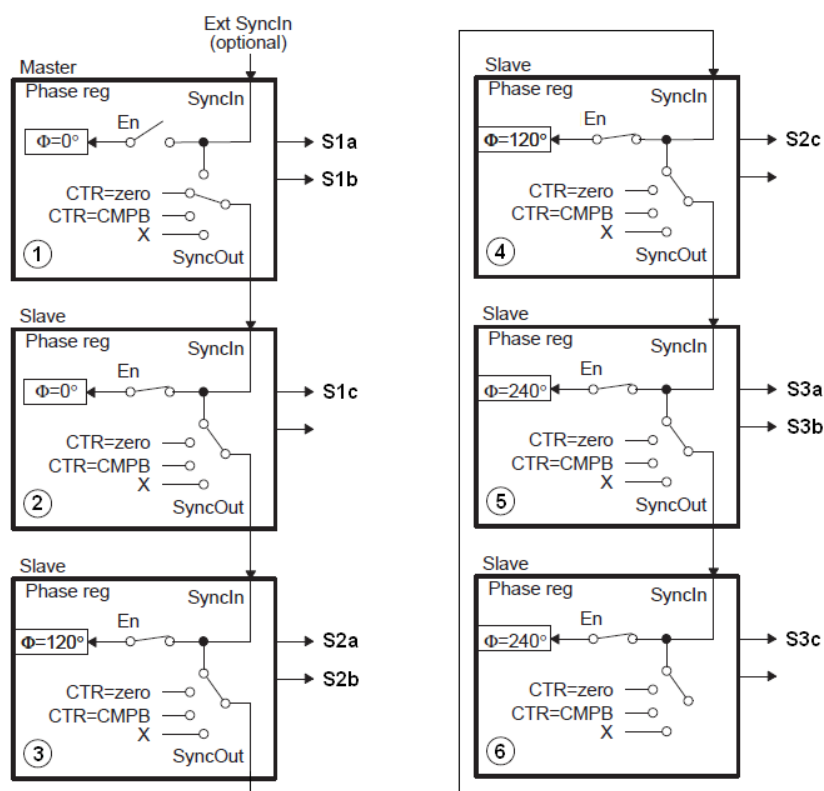
komplementárně a drivery zajišťují vkládání mrtvých časů. Pro účely oživování byly mrtvé časy nastaveny opět na $3\mu\text{s}$.



Obr.4.8 Zapojení trojfázového 4L-FLC měniče.

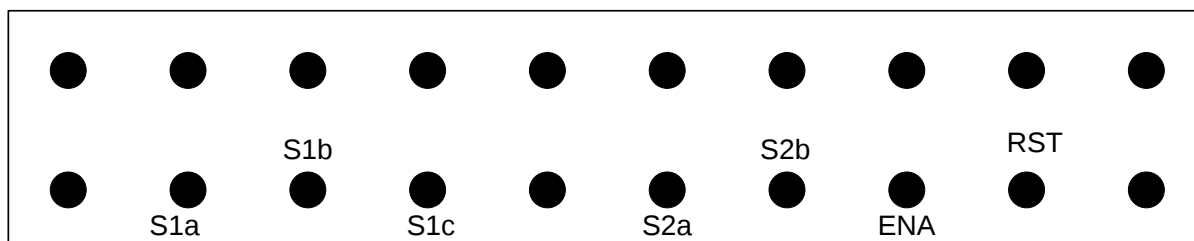
Princip implementace modulace PS-PWM v DSP TMS320F28335 pro řízení trojfázového 4L-FLC měniče je patrný z Obr.4.9. Submoduly 1 a 2 pracují s nosným signálem bez fázového posunu a generují spínací pulzy pro horní prvky S1 větví a, b, c. Submoduly 3 a 4 pracují s nosným signálem posunutým o 120° a generují pulzy pro horní prvky S2 větví a,b,c. A submoduly 5 a 6 pracují s nosným signálem posunutým o 240° a generují pulzy pro horní prvky S3 větví a,b,c. Je zřejmé, že v tomto případě využívají jednotlivé submoduly dva nezávislé komparační registry. Princip vytvoření nosných signálů s posunutím 120° a 240° je vysvětlen ve výzkumné zprávě [1].

Na Obr.4.10 je znázorněno vyvedení spínacích a řídicích pulzů na interface Texas ver. III. Signály ENA a RST představují řídicí signály pro drivery. Signál RST (reset) slouží pro reset driverů a signál ENA (enable) slouží pro povolení/zákaz spínání měniče. Bližší informace jsou uvedeny v [2].



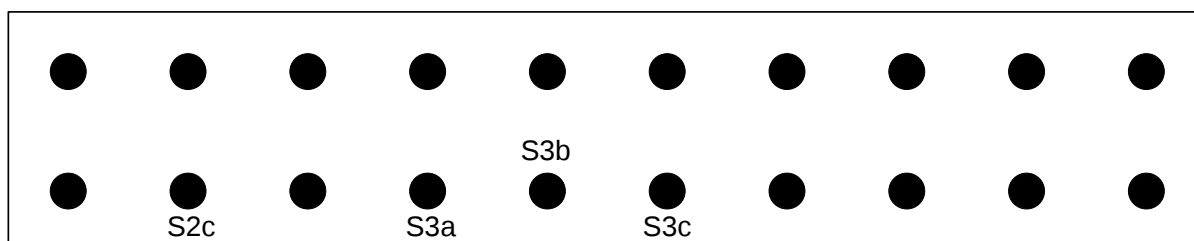
Obr.4.9 Konfigurace periferie ePWM pro řízení trojfázového 4L-FLC měniče.

Brána PWM A



1

Brána PWM B

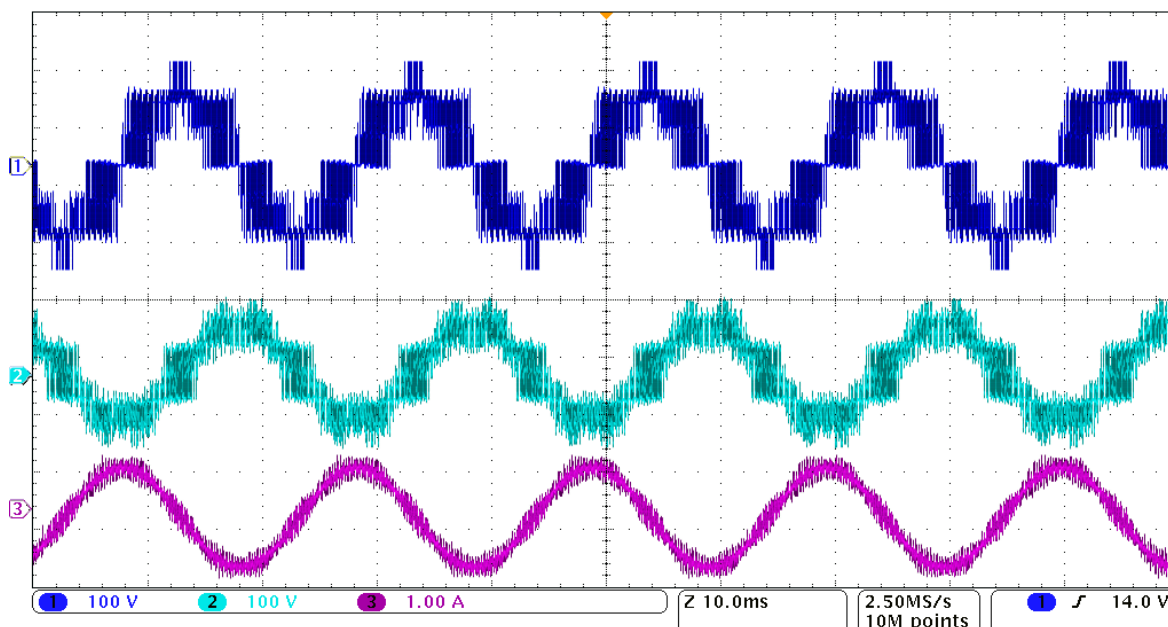


1

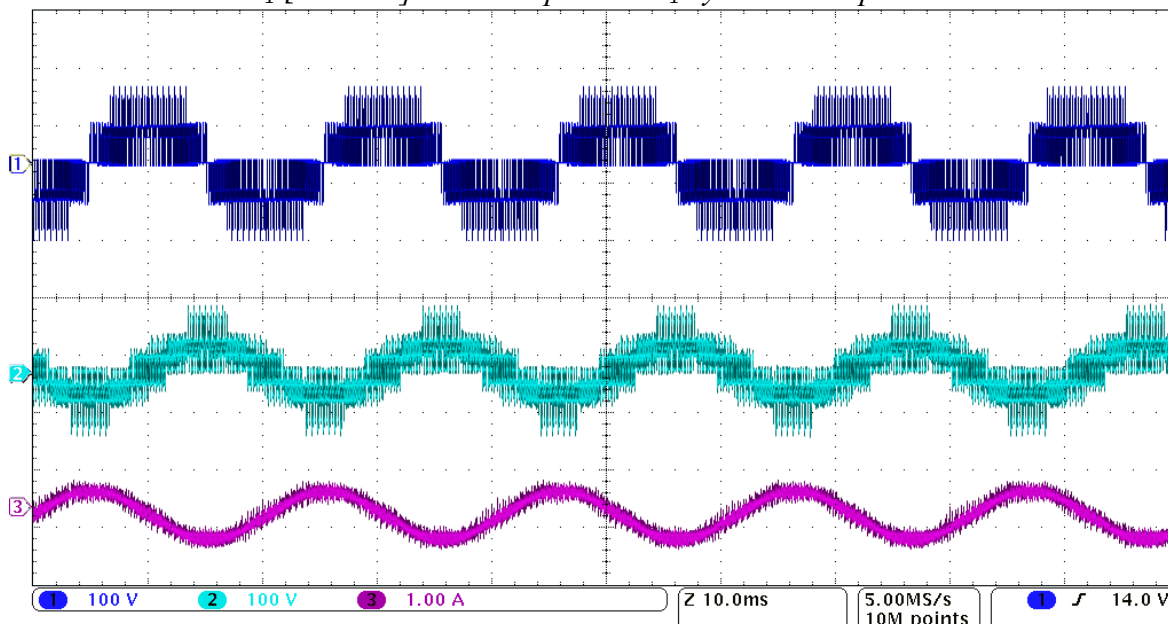
Obr.4.10 Vyvedení spínacích a řídicích pulzů pro 3f 4L-FLC měnič.
Brána A a B - pohled shora.

4.1 Experimentální výsledky

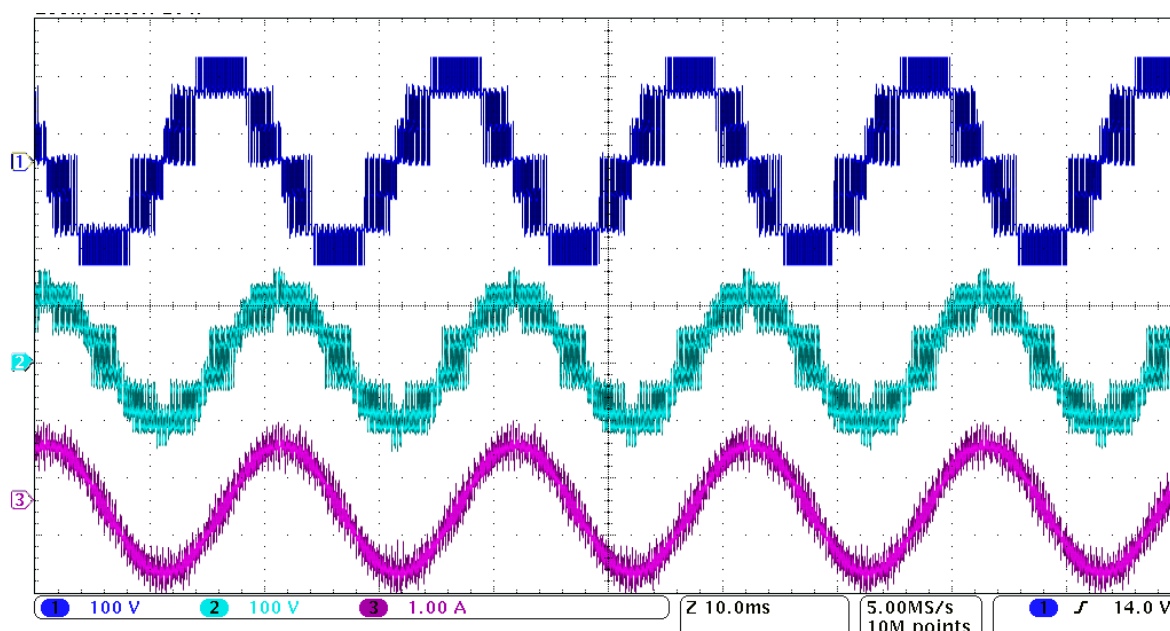
Na následujících obrázcích jsou uvedeny experimentální výsledky naměřené na trojfázovém 4L-FLC měniči. Na Obr.4.11 až Obr.4.13 jsou zobrazeny průběhy sdruženého napětí, napětí na zátěži a proudu na zátěži v ustáleném stavu pro různou hloubku modulace.



Obr.4.11 Průběh napětí a proudu pro trojfázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=190\text{V}$. ch1: u_{12} [100V/dílek], ch2: u_1 [100V/dílek], ch3: i_1 [1A/dílek]. Pozn.: u průběhu i_1 byla otočena proudová sonda.



Obr.4.12 Průběh napětí a proudu pro trojfázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.4$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=190\text{V}$. ch1: u_{12} [100V/dílek], ch2: u_1 [100V/dílek], ch3: i_1 [1A/dílek]. Pozn.: u průběhu i_1 byla otočena proudová sonda.



*Obr.4.13 Průběh napětí a proudu pro trojfázový 4L-FLC měnič – ustálený stav.
Řízení PS-PWM. $M=1$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=190\text{V}$.
ch1: u_{12} [100V/dílek], ch2: u_1 [100V/dílek], ch3: i_1 [1A/dílek].*

5 Závěr

Tato výzkumná zpráva prezentuje experimentální výsledky získané při oživování navrženého laboratorního prototypu 4L-FLC měniče. Oživování laboratorního prototypu měniče bylo rozděleno do tří etap:

- jedna samostatná větev měniče,
- jednofázový H-můstek (2 větve měniče),
- plný trojfázový měnič.

Pro oživení a otestování laboratorního prototypu měniče byla zvolena základní modulace pro řízení víceúrovňového měniče s plovoucími kondenzátory – tzv. PS-PWM. Tato modulace byla zvolena z důvodu jednoduché implementace do DSP TMS320F28335 a také pro svou výhodnou vlastnost přirozeného balancování napětí na plovoucích kondenzátorech měniče. Součástí této zprávy je také popis implementace modulace PS-PWM do DSP TMS320F28335.

Literatura

- [1] Zeman, M.; Peroutka, Z.: Čtyř-úrovňový měnič s plovoucími kondenzátory: Oživení laboratorního prototypu. Výzkumná zpráva 22190-043-2011, ZČU - RICE, Plzeň, 2011.
- [2] Košan, T.: Nízkoúrovňový kontrolér pro čtyřúrovňový měnič implementovaný v CPLD. Výzkumná zpráva 22190-015-2011 ZČU - RICE, Plzeň, 2011.

Seznam obrázků

Obr.2.1 Zapojení jedné větve 4L-FLC měniče.....	4
Obr.2.2 Vyvedení spínacích pulzů pro řízení jedné větve měniče. Brána B - pohled shora.....	5
Obr.2.3 Dynamická odezva samo-balancování – start měniče bez přednabitých plovoucích kondenzátorů. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=60\text{V}$, $R=15\Omega$. ch1: U_{c1} [5V/dílek], ch2: U_{c2} [5V/dílek].	5
Obr.2.4 Průběhy pro jednu větev 4L-FLC měniče – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=360\text{V}$. ch1: U_{c1} [50V/dílek], ch2: u_{10} [100V/dílek], ch3: i_1 [2A/dílek], ch4: U_{c2} [50V/dílek].	6
Obr.3.5 Zapojení jednofázového 4L-FLC měniče.....	7
Obr.3.6 Konfigurace periferie ePWM pro řízení H-můstku 4L-FLC měniče.....	7
Obr.3.7 Průběh napětí a proudu pro jednofázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=300\text{V}$. ch1: u_{10} [100V/dílek], ch3: i_1 [2A/dílek].....	8
Obr.4.8 Zapojení trojfázového 4L-FLC měniče.	9
Obr.4.9 Konfigurace periferie ePWM pro řízení trojfázového 4L-FLC měniče.	10
Obr.4.10 Vyvedení spínacích a řídících pulzů pro 3f 4L-FLC měnič. Brána A a B - pohled shora.....	10
Obr.4.11 Průběh napětí a proudu pro trojfázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.8$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=190\text{V}$. ch1: u_{12} [100V/dílek], ch2: u_1 [100V/dílek], ch3: i_1 [1A/dílek]. Pozn.: u průběhu i_1 byla otočena proudová sonda.....	11
Obr.4.12 Průběh napětí a proudu pro trojfázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=0.4$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=190\text{V}$. ch1: u_{12} [100V/dílek], ch2: u_1 [100V/dílek], ch3: i_1 [1A/dílek]. Pozn.: u průběhu i_1 byla otočena proudová sonda.....	11
Obr.4.13 Průběh napětí a proudu pro trojfázový 4L-FLC měnič – ustálený stav. Řízení PS-PWM. $M=1$, $f_{u10}=50\text{Hz}$, $U_{dc}=190\text{V}$. ch1: u_{12} [100V/dílek], ch2: u_1 [100V/dílek], ch3: i_1 [1A/dílek].....	12

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	16.12.2011 M. Zeman / KEV
2	4.1	Doplněny experimentální výsledky	23.1. 2011 Glasberger/RICE