



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**

2013

Pracoviště: Regionální inovační centrum elektrotechniky

Výzkumná zpráva č.: 22190 - 002 - 2013

Studie metod přednabíjení plovoucích kondenzátorů FLC měničů

Druh úkolu: Vědecko-výzkumný

Řešitelé: Ing. Dušan Janík, Ing. Petr Kamenický, Ing. Tomáš Košan

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

Počet stran: 15

Datum vydání: únor 2013

Revize: 3

Práce vznikla s podporou projektů CZ.1.05/2.1.00/03.0094. a
TA01010863

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá ověřením funkčnosti dvou vybraných metod umožňující přednabíjení plovoucích kondenzátorů, které jsou použitelné pro realizaci startovací rutiny prototypu 4hladinového měniče FLC.

Seznam symbolů a zkratk

4FLC

Four Level Flying Capacitor

IGBT

Insulated Gate Bipolar Transistor

Obsah

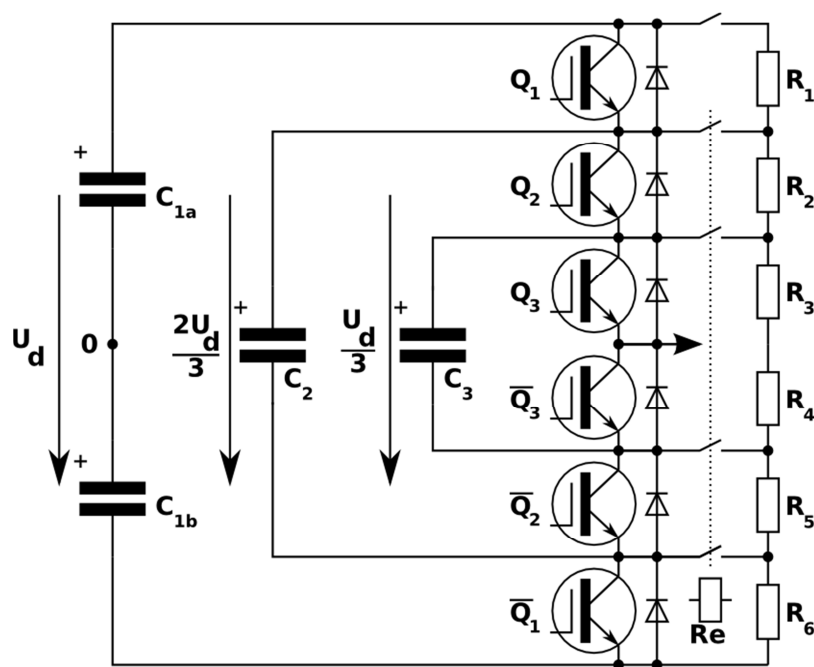
1	ÚVOD.....	4
2	STRUKTURA PROTOTYPU 4FLC MĚNIČE.....	5
3	STARTOVACÍ PROCEDURA VARIANTA 1.....	7
4	STARTOVACÍ PROCEDURA VARIANTA 2.....	8
5	SIMULACE.....	9
5.1	Varianta 1	9
5.2	Varianta 2	11
6	ZÁVĚR.....	14

1 Úvod

Korektní činnost 4úrovňového měniče FLC vyžaduje přednabité plovoucí kondenzátory a kondenzátor v stejnosměrném obvodu FLC měniče. Existuje několik způsobů jak tyto kondenzátory přednabít z externího zdroje, ty však vyžadují přidání dodatečného hardwaru ke stávajícímu zapojení měniče. V literatuře jsou zmíněny metody, které pro přednabití využívají strukturu samotného měniče. Cílem této výzkumné zprávy je ověřit funkčnost a především použitelnost těchto metod pro vyvinutý 4úrovňový měnič FLC.

2 Struktura prototypu 4FLC měniče

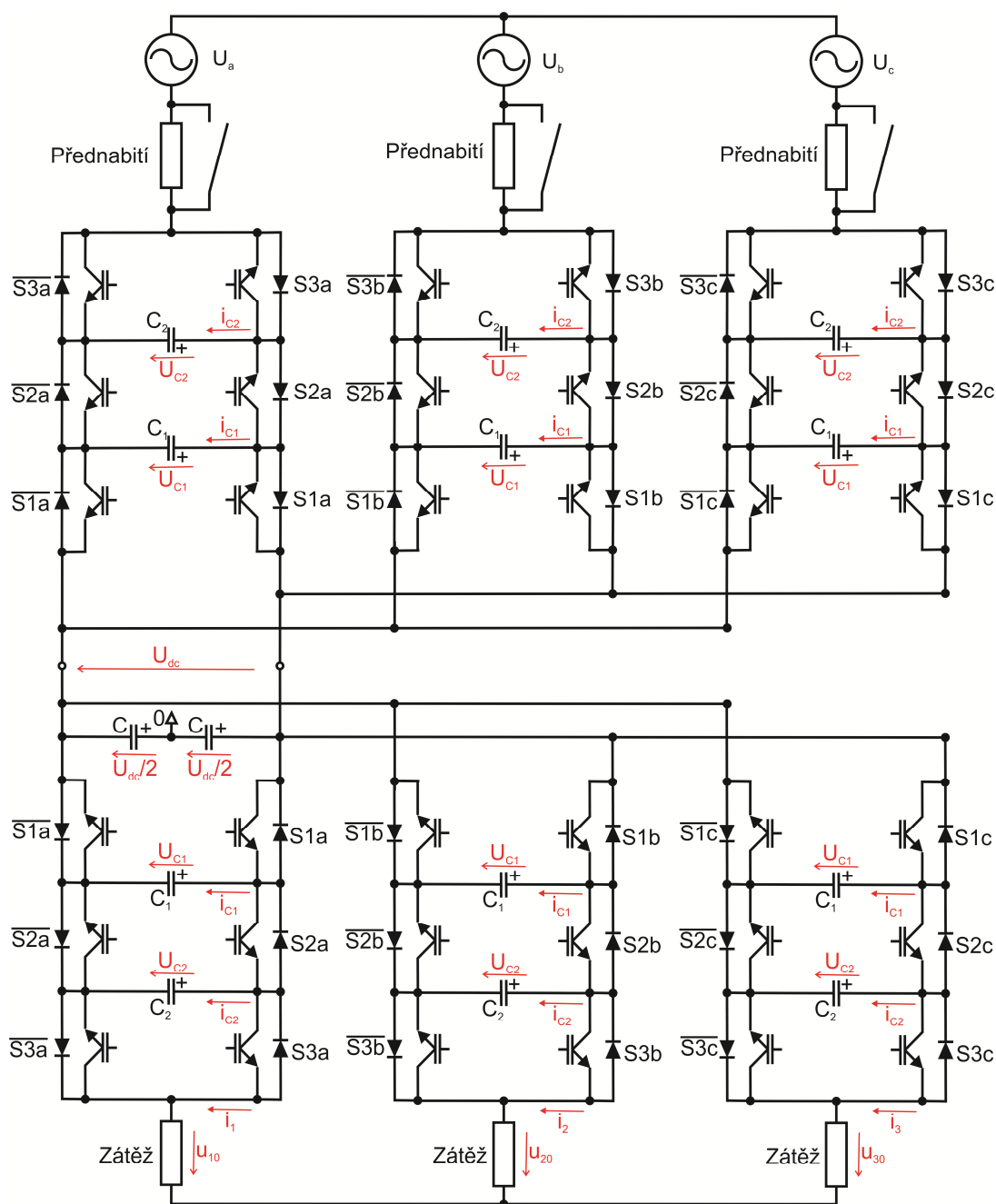
Pro první testy prototypu 4FLC měniče byla použita vnější odporová síť, která byla navržena pro samostatné přednabití kondenzátorů střídače. Struktura tohoto řešení je popsána na Obr. 1.



Obr. 1: Struktura střídače 4FLC s odporovou sítí pro přednabití kondenzátorů

Z důvodu zefektivnění celé přednabíjecí fáze pro kompletní měnič 4FLC byli vybrány dvě varianty, které pro vlastní přednabíjení využívají přímo strukturu samotného měniče a není tak potřeba přidávat další vnější hardware.

Upravená struktura měniče 4-FLC, která je vhodná pro implementaci vybraných přednabíjecích metod, je přiblížena na Obr. 2.

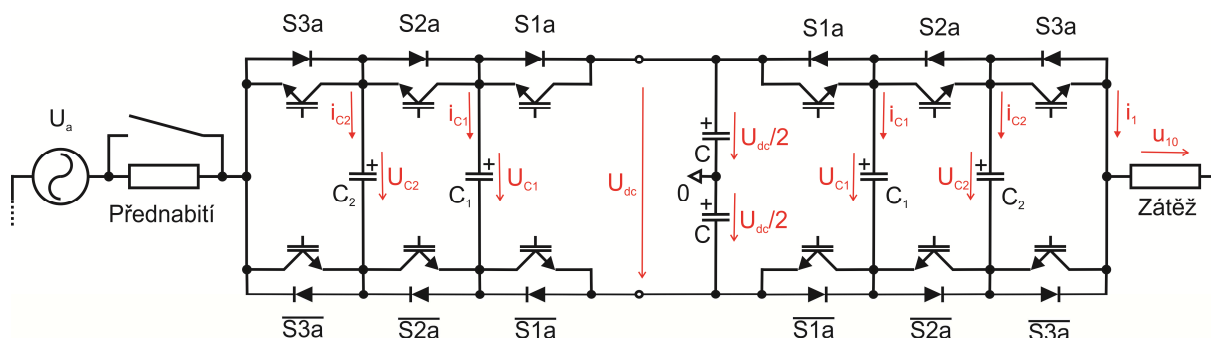


Obr. 2: Schéma trojfázového 4-úrovňového měniče s plovoucími kondenzátory

Jak je z obrázku patrné pro přednabití využijeme pouze tři přednabíjecí odpory, které jsou po dosažení požadovaných hodnot napětí na kondenzátorech přemostěny.

3 Startovací procedura varianta 1

Varianta popsaná ve zprávě [1] využívá diody ve struktuře měniče. Úpravou spínání prvků je docíleno vytvoření diodového usměrňovače, který postupně nabije příslušné kondenzátory na požadované startovací napětí $1/3U_d$, $2/3U_d$ a U_d . Kombinace sepnutí jednotlivých spínacích prvků jedné fáze jsou celkem tři (Obr. 3 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



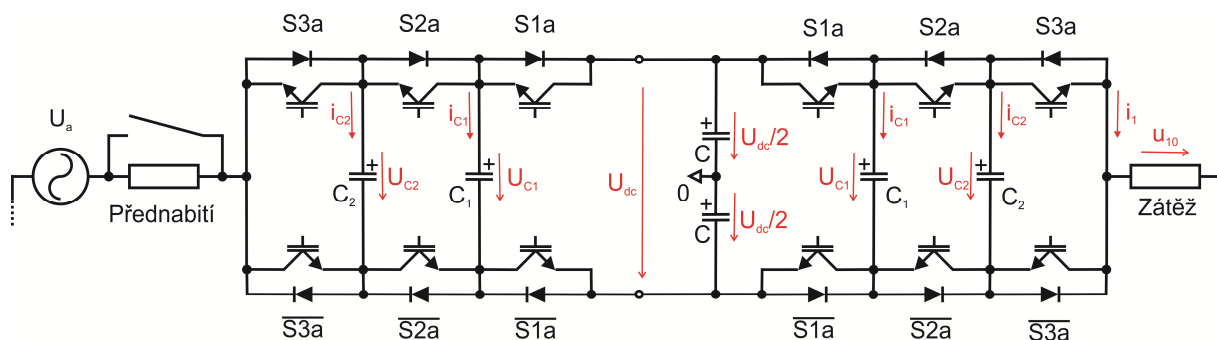
Obr. 3: Schéma jedné fáze (pro variantu 1)

1. kombinace je $S3a = 0$, $\overline{S3a} = 0$, $S2a = 0$, $\overline{S2a} = 1$, $S1a = 0$ a $\overline{S1a} = 1$. V této fázi jsou připojeny všechny tři kondenzátory C , C_1 a C_2 a nabíjejí se současně na hodnotu $1/3U_d$. Po dosažení požadovaného napětí jsou vypnuty spínače $S2a$ a $\overline{S2a}$.
2. kombinace je $S3a = 0$, $\overline{S3a} = 0$, $S2a = 0$, $\overline{S2a} = 0$, $S1a = 0$ a $\overline{S1a} = 1$. V této fázi jsou připojeny dva kondenzátory C s C_1 a nabíjejí se současně na hodnotu $2/3U_d$. Po dosažení požadovaného napětí jsou vypnuty spínače $S1a$ a $\overline{S1a}$.
3. kombinace je $S3a = 0$, $\overline{S3a} = 0$, $S2a = 0$, $\overline{S2a} = 0$, $S1a = 0$ a $\overline{S1a} = 0$. V této fázi je připojen pouze kondenzátor C a nabíjí se na hodnotu U_d . Po dosažení požadovaného napětí je přemostěn pomocný přednabíjecí odpor čímž se přímo připojí napájecí napětí k měniči. Tímto krokem je ukončena startovací sekvence a je spuštěno řízení měniče s aktivním balancováním.

Hlavní přínos této varianty spočívá ve využití komplementárního spínání prvků $S2$ a $S1$ během nabíjení, to je však vykoupeno možností nabíjení plovoucích kondenzátorů pouze kladnou půlvlnou střídavého napájecího napětí.

4 Startovací procedura varianta 2

Varianta popsaná ve zprávě [2] využívá diody ve struktuře měniče. Úpravou spínání prvků je docíleno vytvoření diodového usměrňovače, který postupně nabije příslušné kondenzátory na požadované startovací napětí $1/3U_d$, $2/3U_d$ a U_d . Kombinace sepnutí jednotlivých spínacích prvků jedné fáze jsou celkem tři (Obr. 4).



Obr. 4: Schéma jedné fáze (pro variantu 2)

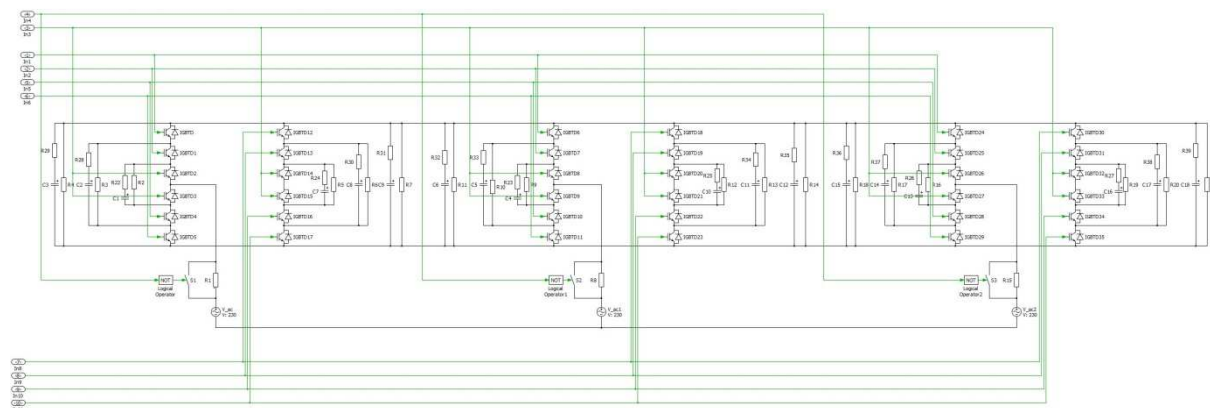
1. kombinace je $S3a = \overline{S3a} = 0$, $S2a = \overline{S2a} = 1$ a $S1a = \overline{S1a} = 1$. V této fázi jsou připojeny všechny tři kondenzátory C , C_1 a C_2 a nabíjejí se současně na hodnotu $1/3U_d$. Po dosažení požadovaného napětí jsou vypnuty spínače $S2a$ a $\overline{S2a}$.
2. kombinace je $S3a = \overline{S3a} = 0$, $S2a = \overline{S2a} = 0$ a $S1a = \overline{S1a} = 1$. V této fázi jsou připojeny dva kondenzátory C s C_1 a nabíjejí se současně na hodnotu $2/3U_d$. Po dosažení požadovaného napětí jsou vypnuty spínače $S1a$ a $\overline{S1a}$.
3. kombinace je $S3a = \overline{S3a} = 0$, $S2a = \overline{S2a} = 0$ a $S1a = \overline{S1a} = 0$. V této fázi je připojen pouze kondenzátor C a nabíjí se na hodnotu U_d . Po dosažení požadovaného napětí je přemostěn pomocný přednabíjecí odpor čímž se přímo připojí napájecí napětí k měniči. Tímto krokem je ukončena startovací sekvence a je spuštěno řízení měniče s aktivním balancováním.

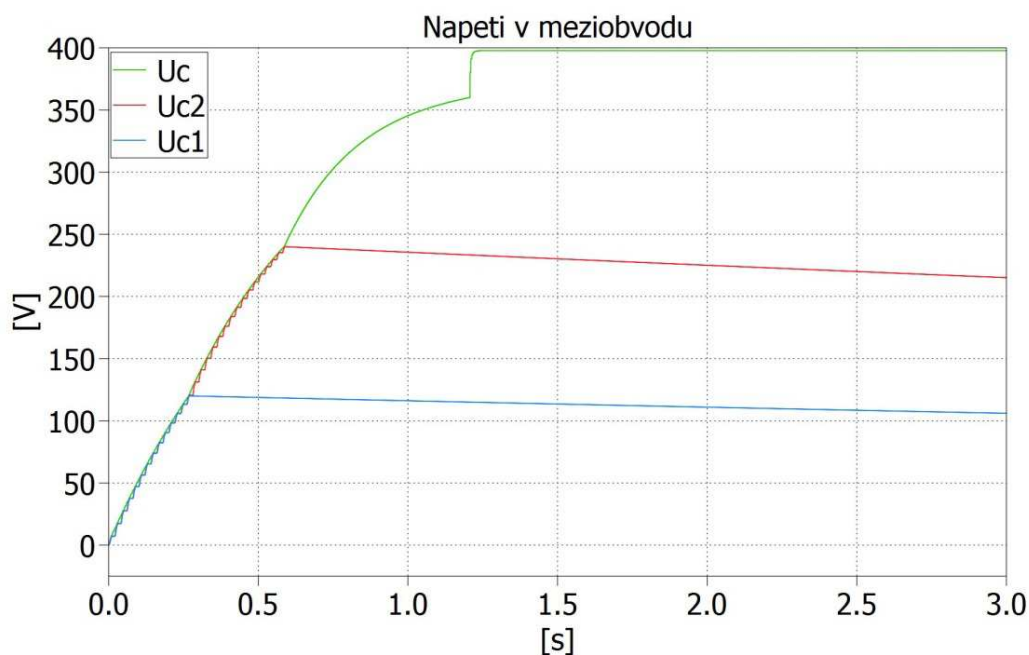
Hlavní přínos této varianty spočívá v možnosti nabíjení plovoucích kondenzátorů jak kladnou tak zápornou půlvlnou střídavého napájecího napětí, to je však vykoupeno nemožností využití komplementárního spínání prvků $S2$ a $S1$ během fáze nabíjení.

5 Simulace

Simulace byly vytvořeny v programu Plecs a Matlab Simulink. Bylo simulováno chování celého třífázového měniče se spínacími prvky IGBT, který bude následně vytvořen spojením dvou samostatných bloků 4FLC. Samotný měnič má v simulacích stejné parametry, rozdíl je pouze ve způsobu spínání, jak bylo uvedeno výše.

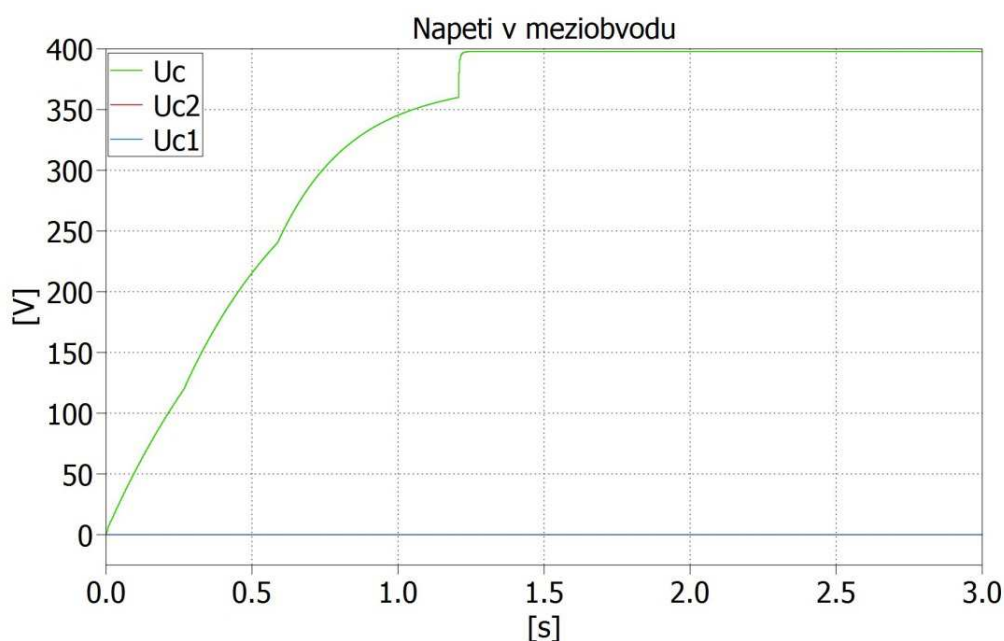
5.1 Varianta 1





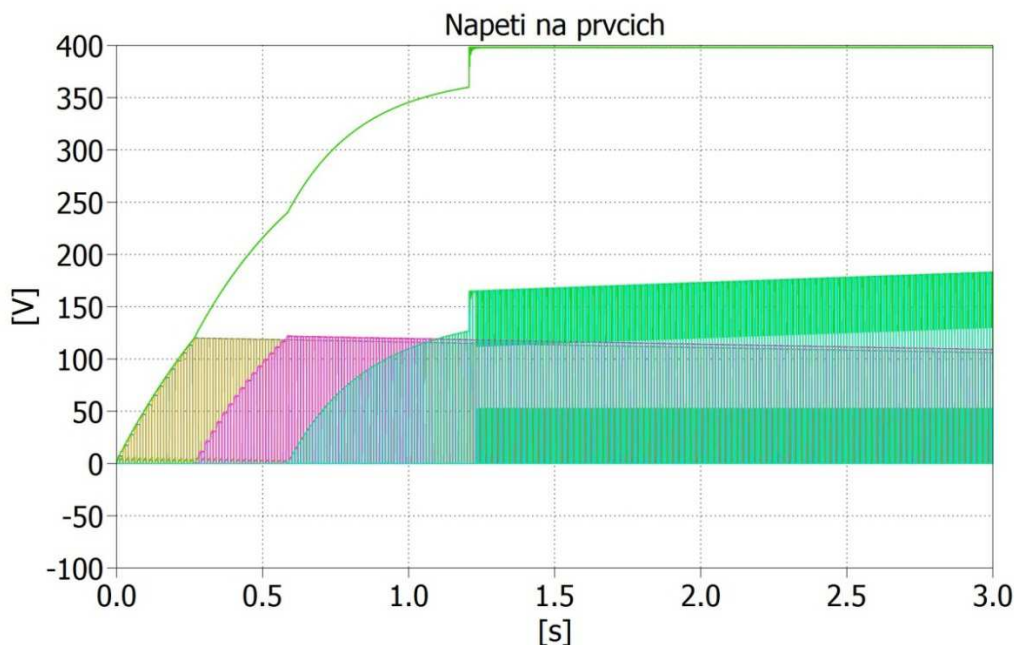
Obr. 6: Průběh nabíjení kondenzátorů $C1$, $C2$ a C usměrňovač

Průběh nabíjení kondenzátoru ve stejnosměrném meziobvodu C a plovoucích kondenzátorů $C1$ a $C2$ střídače je zachycen na Obr. 7. Jak je z obrázku dobře patrné varianta 1 selhává při nabíjení střídače, nedojde k nabití kondenzátorů $C1$ a $C2$ střídače. Spínací varianta 1 je tedy použitelná pouze pro přednabíjení kondenzátorů usměrňovače.



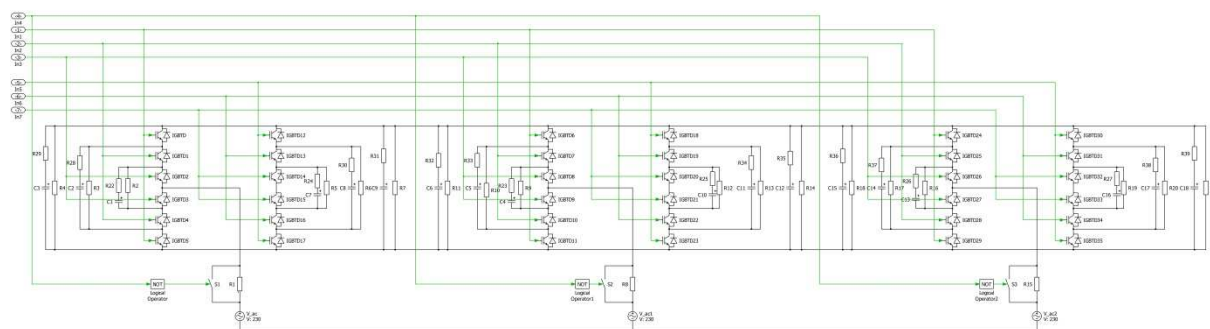
Obr. 7: Průběh nabíjení kondenzátorů $C1$, $C2$ a C střídač

Napěťové úrovně na jednotlivých spínacích prvcích usměrňovače i střídače jsou uvedeny na Obr. 8.



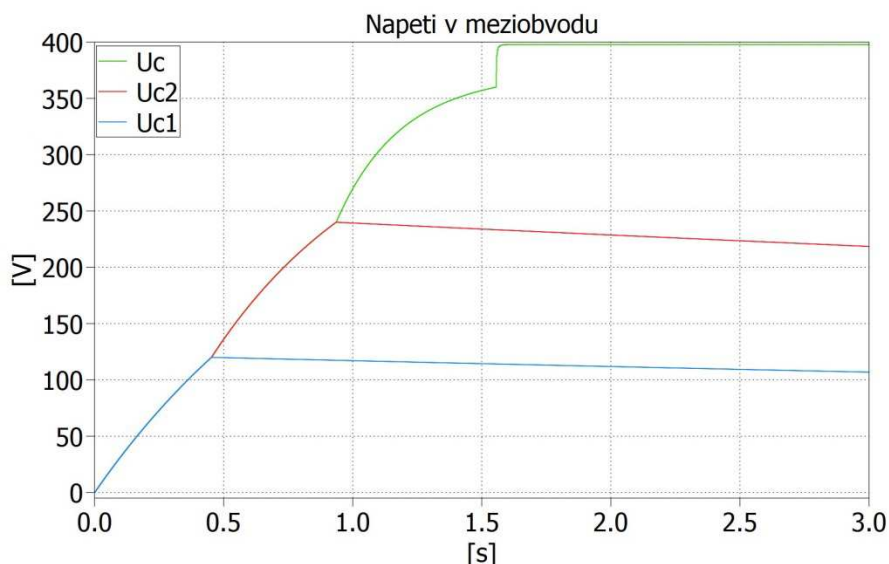
Obr. 8: Průběh napětí na spínacích prvcích během fáze přednabíjení

5.2 Varianta 2



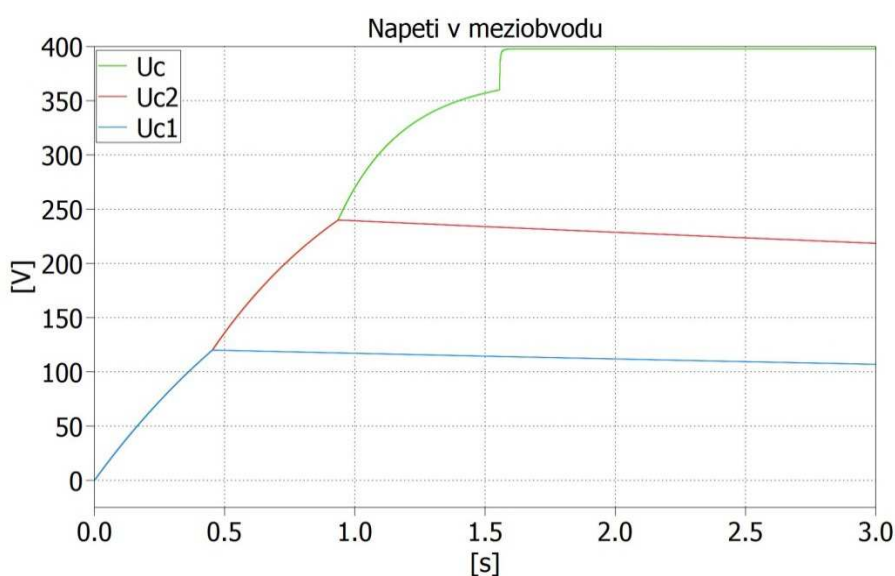
Obr. 9: Simulační model řízení přednabití varianta 2

Průběh nabíjení kondenzátoru ve stejnosměrném meziobvodu C a plovoucích kondenzátorů C1 a C2 usměrňovače je zachycen na Obr. 10 a střídače na Obr. 11.



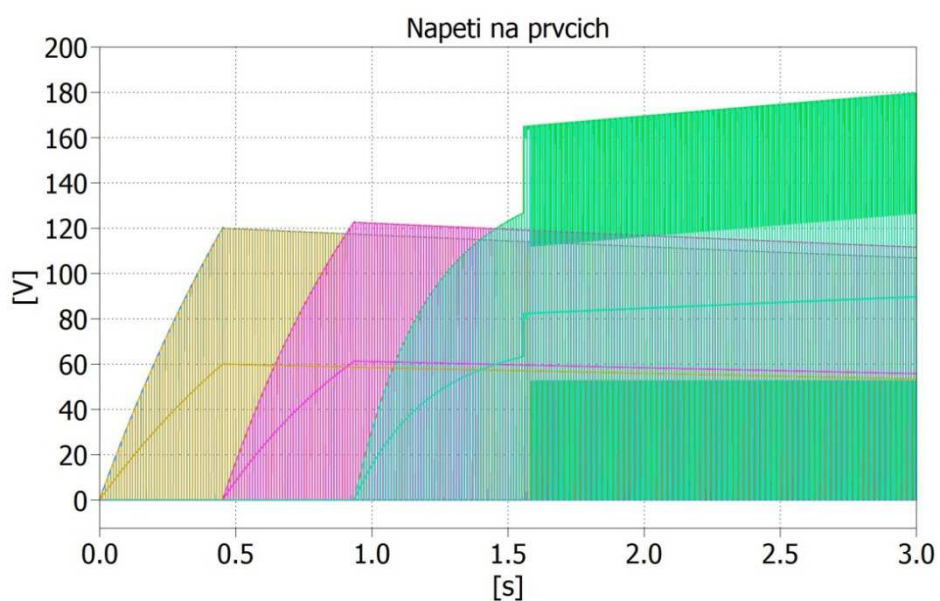
Obr. 10: Průběh nabíjení kondenzátorů C1, C2 a C usměrňovač

Průběh nabíjení kondenzátoru ve stejnosměrném meziobvodu C a plovoucích kondenzátorů C1 a C2 střídače je zachycen na Obr. 11. Přednabití kondenzátorů je dokončeno přibližně za 2,1s. V tomto čase je přemostěn pomocný přednabíjecí odpor. V simulaci není realizováno řízení s aktivním balancováním, které by bylo spuštěno v čase 2,1s. V tomto čase tedy dojde ke skokovému přebití kondenzátoru C na maximální hodnotu dodanou napájecím zdrojem.



Obr. 11: Průběh nabíjení kondenzátorů C1, C2 a C střídač

Napěťové úrovně na jednotlivých spínacích prvcích usměrňovače i střídače jsou uvedeny na Obr. 12.



Obr. 12: Průběh napětí na prvcích během fáze přednabíjení

6 Závěr

Upravené spínací varianty 1 a 2 pro přednabíjení kondenzátorů byly odsimulovány v součinnosti s totožným modelem měniče. Obě varianty jsou funkční a použitelné pro přednabití kondenzátorů usměrňovače 4FLC. Pouze varianta 1 je také funkční a použitelné pro přednabití kondenzátorů střídače 4FLC. Z tohoto důvodu byla vybrána spínací varianta 1 pro realizaci a následné testy na prototypu měniče FLC.

Literatura

- [1] Sepahvand, H.; Khazraei, M.; Corzine, K.; Ferdowsi, M.: **Start-up Procedure and Switching Losses Reduction for a Single-Phase Flying Capacitor Active Rectifier**, Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.PP, no.99, pp.1.
- [2] Kokeš P., Semerád R.: **Návrh konfigurace pole FPGA pro řízení 4-hladinového střídače s plovoucími kondenzátory**. Technická zpráva č. T-478/07, Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i., 2007

Seznam obrázků

Obr. 1: Struktura střídače 4FLC s odporovou sítí pro přednabití kondenzátorů	5
Obr. 2: Schéma trojfázového 4-úrovňového měniče s plovoucími kondenzátory.....	6
Obr. 3: Schéma jedné fáze (pro variantu 1)	7
Obr. 4: Schéma jedné fáze (pro variantu 2)	8
Obr. 5: Simulační model řízení přednabití variantu 1	9
Obr. 6: Průběh nabíjení kondenzátorů C1, C2 a C usměrňovač.....	10
Obr. 7: Průběh nabíjení kondenzátorů C1, C2 a C střídač.....	10
Obr. 8: Průběh napětí na spínacích prvcích během fáze přednabíjení	11
Obr. 9: Simulační model řízení přednabití variantu 2	11
Obr. 10: Průběh nabíjení kondenzátorů C1, C2 a C usměrňovač.....	12
Obr. 11: Průběh nabíjení kondenzátorů C1, C2 a C střídač.....	12
Obr. 12: Průběh napětí na prvcích během fáze přednabíjení.....	13

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	14.2.2013 Janík / KEV
2	Všechny	Doplněny a upraveny	15.10.2013 Janík / KEV