



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ**
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

2013

Pracoviště: Regionální inovační centrum elektrotechniky,
Fakulta elektrotechnická

Výzkumná zpráva č.: 22190-042-2013

Univerzální měřicí desky pro víceúrovňové měniče

Druh úkolu: vědecko-výzkumný
Řešitelé: Ing. Tomáš Košan
Vedoucí úkolu: Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Počet stran: 19
Datum: Listopad 2013
Revize: 1

Tato práce vznikla s podporou projektu TA ČR TA01010863.

Anotace

Tato výzkumná zpráva obsahuje dokumentaci k měřícím deskám speciálně navrženým k více úrovnovým měničům. Uživateli usnadňuje zjistit na jakém analogovém vstupu MLC interface bude mít kterou hodnotu bez toho aby bylo nutné toto testovat ručně.

Abstract

This research report contains documentation for measuring modules used with multi-level converters. It simplifies for the user to find out where each analog measurement will be on the MLC interface's analog inputs.

Seznam symbolů a zkratek

GND	GrouND
PCB	Printed Circuit Board
DPS	Deska Plošného Spoje
MLC interface	Multi Level Converter interface
4L-FLC converter	four level flying capacitor converter
3L-(A)NPC converter	three level (active) neutral point clamped converter
NPU	napěťový pulzní usměrňovač
LEM	napěťová/proudová sonda výrobce LEM

1 Úvod

Námi navržené víceúrovňové měniče 4L-FLC (Obr.1) a 3L-(A)NPC (Obr.2) vyžadují měření mnoha analogových veličin. To platí především pro 4L-FLC.

Konkrétně 3L-(A)NPC vyžaduje měření:

- minimálně 2x fázové vstupní napětí usměřovače
- minimálně 2x vstupní fázový proud usměřovače
- napětí na každém kondenzátoru meziobvodu (C_1 a C_2 z Obr.2), 2x pro NPU, 2x pro střídač, počet fází nehraje roli
- minimálně 2x fázový výstupní proud střídače

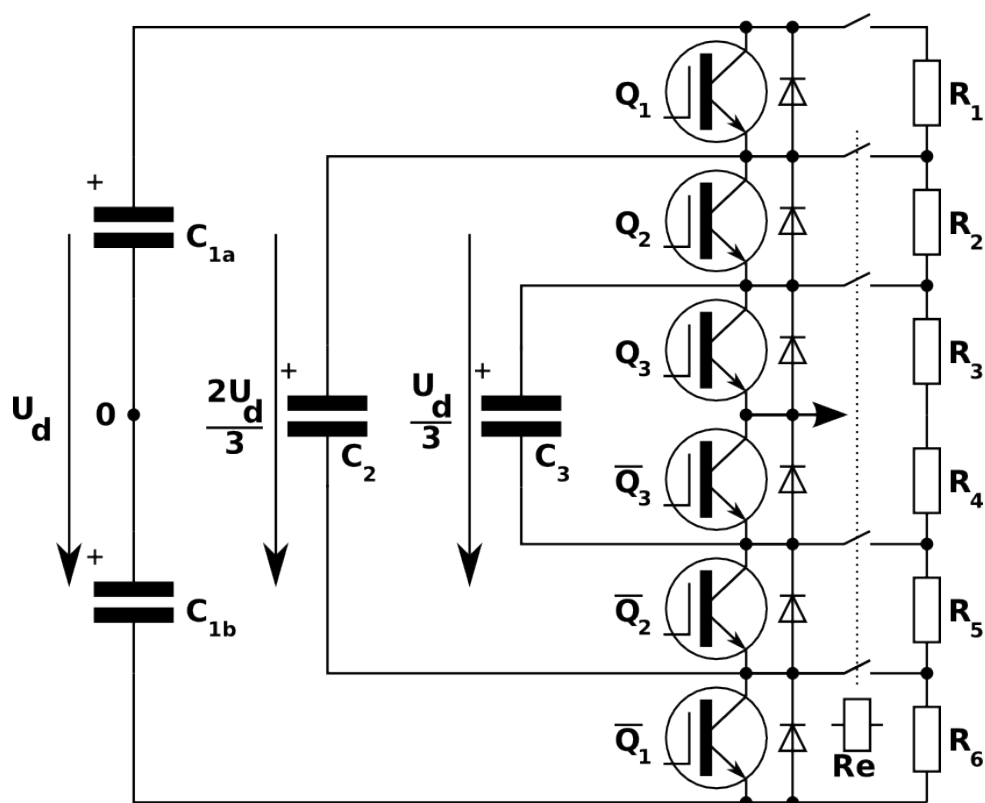
To je celkem minimálně 10 vstupních analogových signálů nutných pro řídicí algoritmy. V našem případě měříme všechny fázové proudy a v případě usměřovače i všechna tři vstupní fázová napětí, výsledný počet signálů je tedy 13.

V případě 4L-FLC je počet analogových signálů je vyšší:

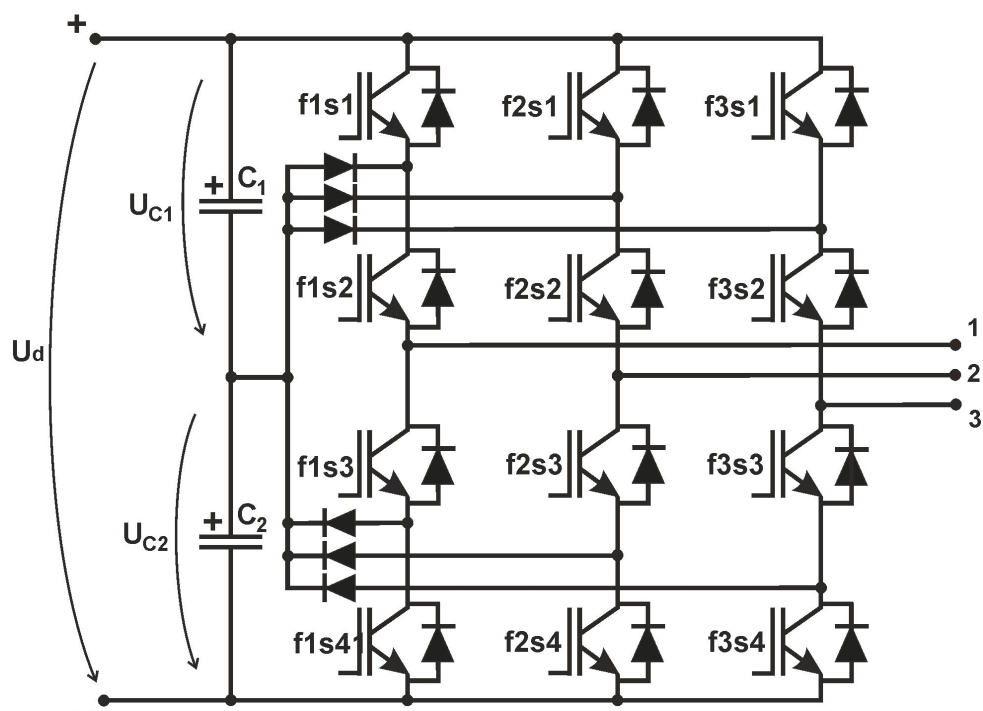
- minimálně 2x fázové vstupní napětí usměřovače
- minimálně 2x vstupní fázový proud usměřovače
- napětí na každém plovoucím kondenzátoru (C_2 a C_3 z Obr.1), kdy každá fáze obsahuje dva kondenzátory tj. celkem 6 měření pro střídač a 6 pro usměřovač (pro trojfázovou variantu)
- napětí v meziobvodu
- minimálně 2x fázový výstupní proud střídače

To je celkem minimálně 19 vstupních analogových signálů nutných pro řídicí algoritmy měniče. Naše konstrukce 4L-FLC však měří všechny fázové proudy i napětí na vstupu usměřovače a máme tedy celkem 22 měřených veličin.

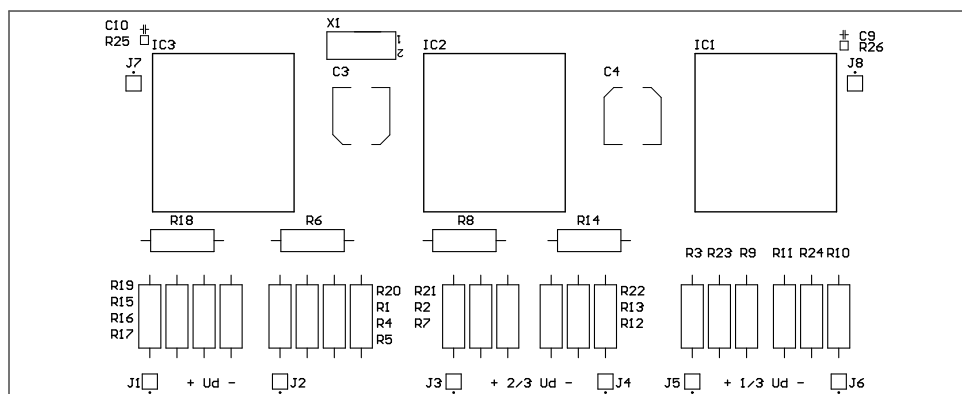
Koncepce obou typů měničů je z pohledu jednotlivých fází modulární, kdy jednu fázi je možné provozovat jako samostatný modul. Toto tvrzení platí zcela pro 4L-FLC měnič, pro 3L-(A)NPC by se musely přidat další měření napětí na kondenzátorech v meziobvodu neboť střídač i usměřovač je sdílejí.



Obr. 1: Schéma jedné fáze FLC měniče



Obr. 2: Schéma trojfázového NPC měniče



Obr. 3: Rozmístění konektorů a součástek na měřícím modulu napětí

Tab. 1: Význam pinů konektoru X1 měřící desky napětí

Pin	Jméno	Typ	Funkce
1	-15V	-	napájení -15V
3	+15V	-	napájení +15V
5	IC1	O	proudový výstup čidla IC1
7	IC2	O	proudový výstup čidla IC2
9	IC3	O	proudový výstup čidla IC3
2,4,6,8,10	GND	-	napájecí zem

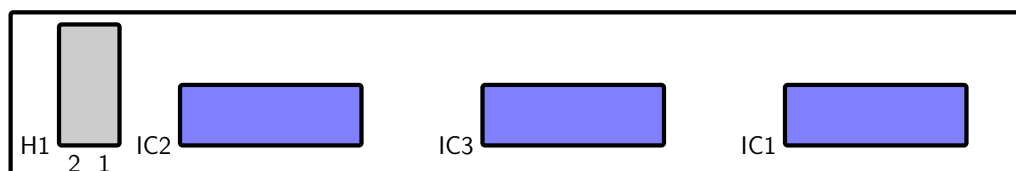
2 Obecné zapojení měřících modulů

2.1 Měřící modul napětí

Pro měření jsou použity speciálně navržené moduly DPS osazené LEM sondami. Oba měniče používají stejné moduly jen s variantním osazením, kdy jsou některé pozice LEM sond neosazené, případně je počet modulů zredukován ($u(A)NPC$).

Modul měření napětí využívá LEM sondy LV20 s předřadnými odpory. Aby byl omezen vliv teplotního součinitele odporů, jsou odpory výkonově předimenzovány a zároveň pod každým z odporů jsou dva větrací otvory.

Na jeden modul lze osadit až tři LEM čidla, rozmístění součástek ukazuje Obr.3. Počet osazených odporů a jejich hodnota pak určuje rozsah daného měřícího vstupu. Každé LEM čidlo má jiný počet předřadných odporů, původně bylo totiž počítáno s měřením na 4L-FLC, kde jsou měřena tři napětí: $\frac{1}{3}U_d$ (IC3), $\frac{2}{3}U_d$ (IC2) a U_d (IC1). Konektor X1 slouží k přivedení napájení a jako výstup z LEM sond. Tento konektor se zapojí do jednoho z X1 - X4 konektorů na propojovací desce měřících modulů (Obr. 5). Zapojení konektoru X1 desky měřícího modulu popisuje Tab. 1.



Obr. 4: Rozmístění součástek na měřícím modulu proudu

Tab. 2: Význam pinů konektoru *H1* měřící desky proudů

Pin	Jméno	Typ	Funkce
1	-15V	-	napájení -15V
3	+15V	-	napájení +15V
5	IC1	O	proudový výstup čidla IC1
7	IC2	O	proudový výstup čidla IC2
9	IC3	O	proudový výstup čidla IC3
2,4,6,8,10	GND	-	napájecí zem

R-C členy C10+R25 a C9+R26 slouží k nepřímému uzemnění modulu na zemní svorku (resp. na chladič) měniče. Pokud není problém s rušením, není třeba je osazovat. Plné schéma modulu ukazuje příloha 6.

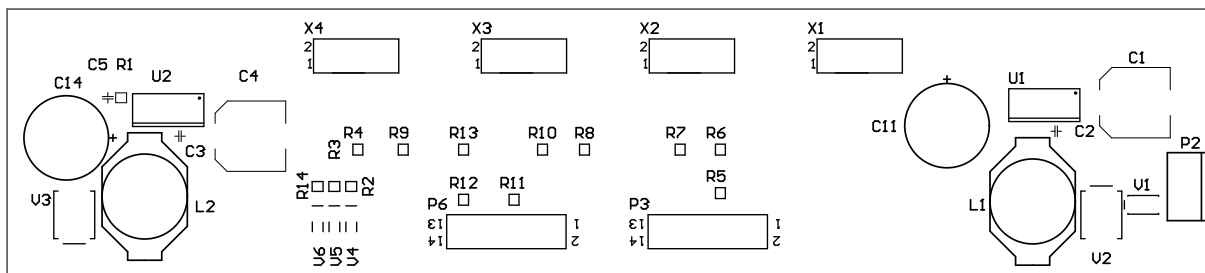
2.2 Měřící modul proudu

Měřící modul proudu využívá trojici průvlekových čidel typu LA-55. Tab.2 shrnuje funkci jednotlivých pinů výstupního a napájecího konektoru. Obr.4 naznačuje rozmístění součástek a konektoru na DPS. Je potřeba dát pozor na to, že jsou čidla zpřeházená, tudíž i měřené proudy jsou na konektoru *H1* zpřeházené. Čidla jsou zapojena tak, že měří kladný proud pokud tento jde do měniče. Kompletní schéma modulu zobrazuje příloha 7.

2.3 Propojovací deska verze 1

K měřícím modulům náleží ještě propojovací deska (Obr. 5), která převádí signály z maximálně čtyř modulů, resp. jejich X1 konektorů na konektory 2x7 pinů (P6 a P3), vhodných k propojení s vývojovým interface či MLC interfacem. Zároveň je na tomto DPS spínáný zdroj napětí, který ze systémového napájení 24V vytváří +/- 15V pro LEM sondy.

Pro přivedení napájení slouží konektor P2, kdy pin 1 je zem a pin 2 se připojuje na +24V=. Napájení je chráněno proti přepolování. Správnou funkci snížovacích měničů a přítomnost napájecího napětí indikují V4 (+24V), V5 (+15V) a V6 (-15V).



Obr. 5: Rozmístění konektorů na propojovací desce měřících modulů, verze 1

Tab. 3: Význam pinů konektoru *P3* propojovací desky verze 1

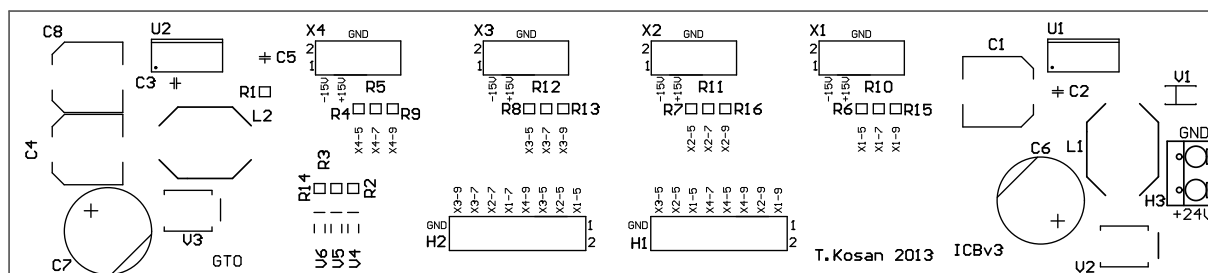
Pin	Jméno	Typ	Funkce	Terminátor
2	NC	-	nezapojen	-
4	NC	-	nezapojen	-
6	X4-5	O	výstup čidla IC1 modulu X4	R4
8	X4-7	O	výstup čidla IC2 modulu X4	R5
10	X1-5	O	výstup čidla IC1 modulu X1	R6
12	X2-5	O	výstup čidla IC1 modulu X2	R7
14	X3-5	O	výstup čidla IC1 modulu X3	R8
1,3,5,7,9,11,13	GND	-	napájecí zem	-

Tab. 4: Význam pinů konektoru *P6* propojovací desky verze 1

Pin	Jméno	Typ	Funkce	Terminátor
2	NC	-	nezapojen	-
4	NC	-	nezapojen	-
6	X4-9	O	výstup čidla IC3 modulu X4	R9
8	X1-7	O	výstup čidla IC2 modulu X1	R10
10	X2-7	O	výstup čidla IC2 modulu X2	R11
12	X3-7	O	výstup čidla IC2 modulu X3	R12
14	X3-9	O	výstup čidla IC3 modulu X3	R13
1,3,5,7,9,11,13	GND	-	napájecí zem	-

Do konektorů X1 až X4 lze zapojit čtyři moduly, přičemž pouze X1 a X4 mají na konektory P3/P6 vyvedeny všechny tři možné signály. X2 a X3 mají zapojeny jen 2 signály z čidel IC1 a IC2. Význam vývodů Xx konektorů je shodný s X1 konektorem měřicího modulu a je tedy shrnut v Tab. 1. Význam vývodů konektorů P3 a P6 pak shrnují tabulky 3 a 4. Celkové schéma desky modulu viz příloha 8.

Některé měřící moduly verze 1 nemusejí obsahovat plošky na terminační rezistory pro proudové výstupy LEM sond.



Obr. 6: Rozmístění konektorů na propojovací desce měřících modulů, verze 2

2.4 Propojovací deska verze 2

Propojovací modul verze 2 prošel mírným redesignem tak, aby lépe vyhovoval pro připojení k MLC interface. Dále byly vylepšeny popisky na DPS tak, aby se dalo vysledovat který signál kam vede i bez dokumentace. Zároveň byly otočeny oba dva obvody LM2575 aby na ně šel bez problémů přišroubovat chladič. Schéma viz příloha 9. Rozmístění konektorů a součástek viz Obr.6.

Kvůli propojení s MLC interface byly oba původně 14-ti pinové konektory změněny na 16-ti pinové a dále byly dozapojeny původně nepoužité piny konektorů X2 a X3. Přibýly další snímací odpory pro dozapojené signály. Zároveň je zapojení konektorů zpětně kompatibilní s verzí 1. Tabulky Tab.5 a 6 popisují význam pinů obou konektorů pro propojení s řídícím interface.

3 Zapojení analogových signálů pro 4L-FLC

Tato sekce popisuje propojení jednotlivých čidel 4L-FLC měniče a MLC interface. Kompletní měnič 4L-FLC obsahuje šest měřících modulů napětí a dva moduly měření proudů. Je tedy nutné propojit čtyři výstupní konektory H1 a H2 propojovacích desek do tří konektorů s analogovými vstupy MLC interface. Toho bylo docíleno využitím redundance signálů z X1 až X4 konektorů na konektorech H1. Pomocí jednoduché rozbočovací DPS jsou konektory H1 z usměrňovače i střídače zavedeny na jeden analogový kanál MLC interface. Konektory H2 jsou pak napojeny přímo na kanál č.1 (střídač) resp. 2 (usměrňovač) analogových vstupů MLC interface.

Dále uvedené informace jsou platné pro zapojení modulů s propojovací deskou (Obr.7):

- do X1 zapojen modul měření napětí fáze W
- do X2 zapojen modul měření napětí fáze V
- do X3 zapojen modul měření napětí fáze U

Tab. 5: Význam pinů konektoru *H1* propojovací desky verze 2

Pin	Jméno	Typ	Funkce	Terminátor
2	X1-9	O	výstup čidla IC3 modulu X1	R15
4	X2-9	O	výstup čidla IC3 modulu X2	R16
6	X4-9	O	výstup čidla IC3 modulu X4	R9
8	X4-5	O	výstup čidla IC1 modulu X4	R4
10	X4-7	O	výstup čidla IC2 modulu X4	R5
12	X1-5	O	výstup čidla IC1 modulu X1	R6
14	X2-5	O	výstup čidla IC1 modulu X2	R7
16	X3-5	O	výstup čidla IC1 modulu X3	R8
1,3,5,7,9,11,13,15	GND	-	napájecí zem	-

Tab. 6: Význam pinů konektoru *H2* propojovací desky verze 2

Pin	Jméno	Typ	Funkce	Terminátor
2	X1-5	O	výstup čidla IC1 modulu X1	R6
4	X2-5	O	výstup čidla IC1 modulu X2	R7
6	X3-5	O	výstup čidla IC1 modulu X3	R8
8	X4-9	O	výstup čidla IC3 modulu X4	R9
10	X1-7	O	výstup čidla IC2 modulu X1	R10
12	X2-7	O	výstup čidla IC2 modulu X2	R11
14	X3-7	O	výstup čidla IC2 modulu X3	R12
16	X3-9	O	výstup čidla IC3 modulu X3	R13
1,3,5,7,9,11,13,15	GND	-	napájecí zem	-

- do X4 zapojen modul měření proudů

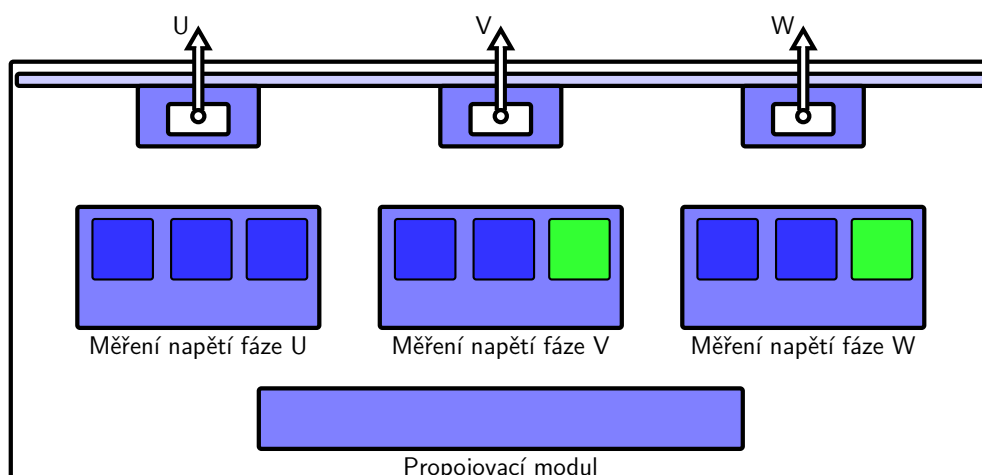
Zapojení propojovacích desek do MLC interface je následující:

- H1 konektor střídače je zapojen do AD CH1 MLC interface
- H1 konektor usměrňovače je zapojen do AD CH2 MLC interface
- H2 konektory usměrňovače i střídače sdílejí AD CH3 MLC interface

Rozmístění měřících modulů a označení fází na měniči 4L-FLC je naznačeno na Obr.7. Obrázek je jen orientační blokové schéma, kde jsou zeleně zvýrazněny LEM čidla, která nejsou u střídače osazena.

3.1 Výpočet změřeného napětí

Pokud je dodrženo výše uvedené zapojení, pak platí tabulky Tab.7, 8 a 9. V tabulkách je vždy uveden pin na AD vstupu MLC interface (ten v případě Tab.7 a 8 koresponduje s pinem na



Obr. 7: Pozice měřících modulů na 4L-FLC měniči

konektoru H1 propojovací desky), měřená veličina, která je na pinu dostupná, její polarita a převodní konstanta. Reálnou hodnotu napětí či proudu pak můžeme zjistit pomocí (1). 4L-FLC měnič používá výhradně propojovací desky verze 2.

$$U_{U23} = polarita.(float)ADCx[i].prevod \quad (1)$$

kde

x je číslo kanálu AD převodníku

i je index vstupu AD převodníku

$polarita$ je korekce znaménka na vstupu ADC

$prevod$ je převodní konstanta ADC a připojené sondy

Chceme-li tedy např. zjistit napětí na 2/3 kondenzátoru C_2 u střídače, z tabulek Tab. 7, 8 nebo 9 vyčteme parametry a dostáváme výslednou rovnici (2).

$$U_{U23} = +1.(float)ADC3[6].1740/32768 \quad (2)$$

Výsledek je pak reálná velikost napětí na příslušném vstupu v plovoucí řádové čárce s jednoduchou přesností. Obdobně by se vypočítala hodnota napětí v pevné řádové čárce. Rovnice (1) a (2) platí v případě použití MLC interface jako řídicí a měřící platformy, převodníky jsou přepnuty na rozsah měření $\pm 5V$ a snímací odpory LEM čidel jsou 100Ω pro snímače proudu a 220Ω pro měření napětí.

Tab. 7: Analogové signály na konektoru *H1* pro střídač 4L-FLC

Pin	Veličina	MLC vstup	Polarita	Převod ¹
2	-	ADC1[0]	-	-
4	-	ADC1[1]	-	-
6	I_{invV}	ADC1[2]	$\ominus$	98.5/32768
8	I_{invW}	ADC1[3]	$\ominus$	98.5/32768
10	I_{invU}	ADC1[4]	$\ominus$	98.5/32768
12	U_{invW13}	ADC1[5]	$\ominus$	1340/32768
14	U_{invV13}	ADC1[6]	$\ominus$	1340/32768
16	U_{invU13}	ADC1[7]	$\ominus$	1340/32768
1,3,5,7,9,11,13,15	GND	-	-	-

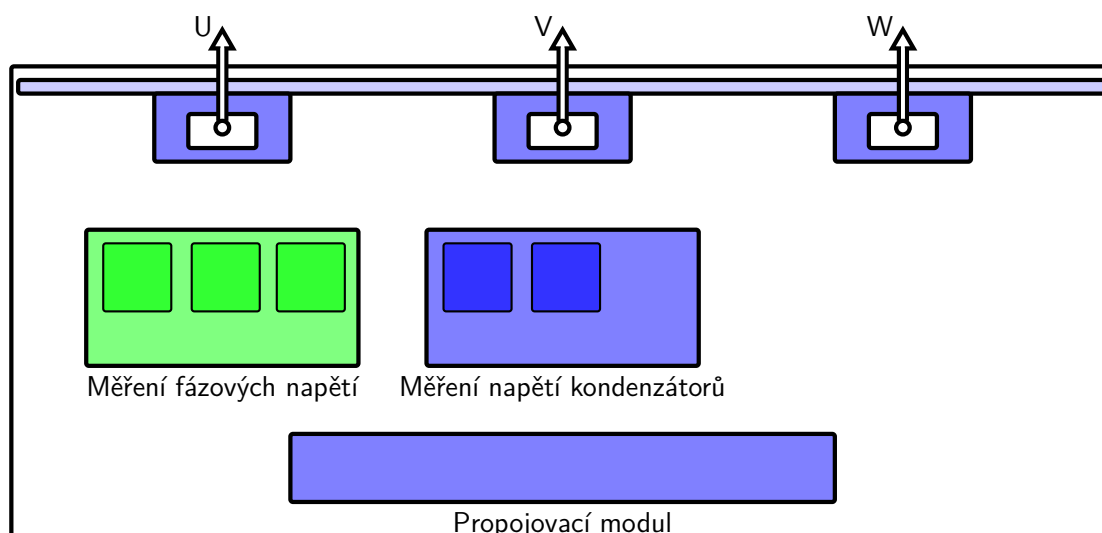
Tab. 8: Analogové signály na konektoru *H1* pro usměrňovač 4L-FLC

Pin	Veličina	MLC vstup	Polarita	Převod ¹
2	U_{rectWU}	ADC2[0]	$\ominus$	2155/32768
4	U_{rectVW}	ADC2[1]	$\ominus$	2155/32768
6	I_{rectV}	ADC2[2]	$\ominus$	98.5/32768
8	I_{rectW}	ADC2[3]	$\ominus$	98.5/32768
10	I_{rectU}	ADC2[4]	$\ominus$	98.5/32768
12	$U_{rectW13}$	ADC2[5]	$\ominus$	1340/32768
14	$U_{rectV13}$	ADC2[6]	$\ominus$	1340/32768
16	$U_{rectU13}$	ADC2[7]	$\ominus$	1340/32768
1,3,5,7,9,11,13,15	GND	-	-	-

Tab. 9: Sloučené analogové signály konektorů *H2* pro usměrňovač a střídač 4L-FLC

Pin	Veličina	MLC vstup	Polarita	Převod ¹
2	$U_{rectW23}$	ADC3[0]	$\oplus$	1740/32768
4	$U_{rectV23}$	ADC3[1]	$\oplus$	1740/32768
6	$U_{rectU23}$	ADC3[2]	$\oplus$	1740/32768
8	U_{rectUV}	ADC3[3]	$\oplus$	2155/32768
10	U_{invW23}	ADC3[4]	$\oplus$	1740/32768
12	U_{invV23}	ADC3[5]	$\oplus$	1740/32768
14	U_{invU23}	ADC3[6]	$\oplus$	1740/32768
16	U_d	ADC3[7]	$\oplus$	2155/32768
1,3,5,7,9,11,13,15	GND	-	-	-

¹ Platí pro rozsah ADC +/- 5V, $R_{snimI}=100\Omega$ a $R_{snimU}=220\Omega$



Obr. 8: Pozice měřících modulů na 3L-(A)NPC

4 Zapojení analogových signálů pro 3L-NPC

Tato sekce popisuje propojení jednotlivých čidel 3L-(A)NPC a MLC interface. Vzhledem k tomu, že 3L-NPC měří podstatně menší počet analogových signálů než 4L-FLC, obejdeme se bez rozbočování analogových vstupů MLC interface. Rozmístění modulů názorně ukazuje Obr.8. Zeleně označený modul je osazený pouze u usměrňovače.

Sestavené 4 kusy 3L-(A)NPC měniče využívají propojovací desky verze 1 i 2. Aby bylo možné měřit všechna požadovaná napětí a proudy, je nutné použít pro měnič zapojený jako usměrňovač propojovací modul verze 1 a využít oba dva výstupní konektory P3 a P6 (Obr.5). Pro střídač pak použijeme modul verze 2 a využijeme k propojení s MLC interface pouze konektor H2. Tím vystačíme se třemi kanály analogových vstupů MLC interface a vyhneme se používání dodatečných rozboček na rozdíl od 4L-FLC.

Dále uvedené informace jsou platné pro následující propojení:

- do X1 je zapojeno měření napětí na kondenzátorech
- X2 není použit
- do X3 je zapojeno měření proudů
- do X4 je zapojeno měření fázových napětí (pouze u usměrňovače)

Při dodržení těchto propojení jsou pak platné tabulky Tab.10, 11 a 12.

Při výpočtu reálné hodnoty napětí postupujeme dle rovnic (1) a (2), stejně jako u 4L-FLC.

Tab. 10: Analogové signály na konektoru *P3* pro usměřňovač 3L-(A)NPC

Pin	Veličina	MLC vstup	Polarita	Převod ¹
2	NC	ADC1[0]	-	-
4	NC	ADC1[1]	-	-
6	U_{rectVW}	ADC1[2]	$\ominus$	2155/32768
8	U_{rectWU}	ADC1[3]	$\ominus$	2155/32768
10	U_{rectC2}	ADC1[4]	$\ominus$	1340/32768
12	-	ADC1[5]	-	-
14	I_{rectU}	ADC1[6]	$\ominus$	98.5/32768
1,3,5,7,9,11,13	GND	-	-	-

Tab. 11: Analogové signály na konektoru *P6* pro usměřňovač 3L-(A)NPC

Pin	Veličina	MLC vstup	Polarita	Převod ¹
2	NC	ADC2[0]	-	-
4	NC	ADC2[1]	-	-
6	U_{rectUV}	ADC2[2]	$\ominus$	2155/32768
8	U_{rectC1}	ADC2[3]	$\ominus$	1340/32768
10	-	ADC2[4]	-	-
12	I_{rectV}	ADC2[5]	$\ominus$	98.5/32768
14	I_{rectW}	ADC2[6]	$\ominus$	98.5/32768
1,3,5,7,9,11,13	GND	-	-	-

Tab. 12: Analogové signály na konektoru *H2* pro střídač 3L-NPC

Pin	Veličina	MLC vstup	Polarita	Převod ¹
2	U_{invC2}	ADC3[0]	$\ominus$	1340/32768
4	-	ADC3[1]	-	-
6	I_{invU}	ADC3[2]	$\ominus$	98.5/32768
8	-	ADC3[3]	-	-
10	U_{invC1}	ADC3[4]	$\ominus$	1340/32768
12	-	ADC3[5]	-	-
14	I_{invV}	ADC3[6]	$\ominus$	98.5/32768
16	I_{invW}	ADC3[7]	$\ominus$	98.5/32768
1,3,5,7,9,11,13,15	GND	-	-	-

¹ Platí pro rozsah ADC +/- 5V, $R_{snimI}=100\Omega$ a $R_{snimU}=220\Omega$

5 Závěr

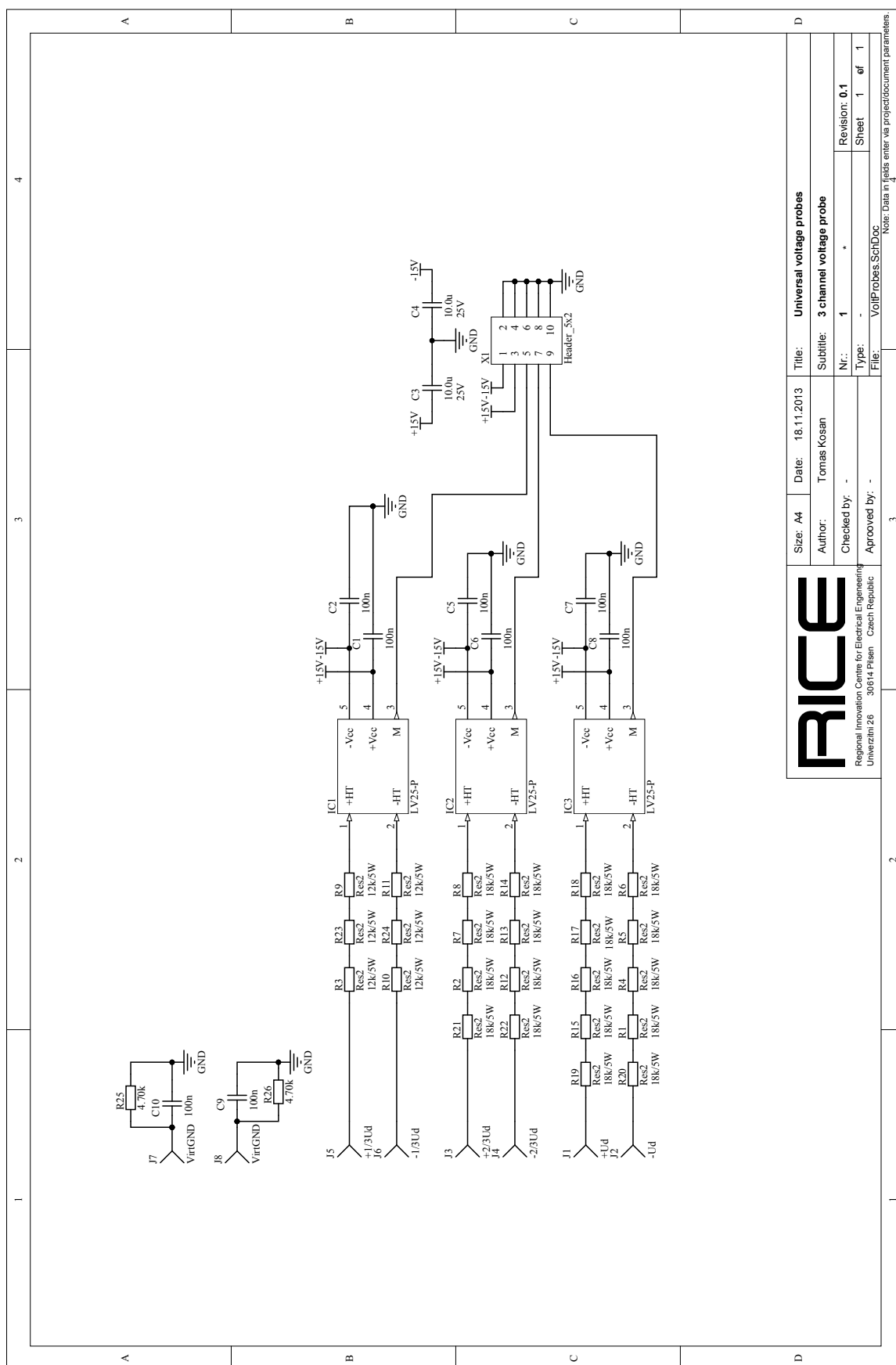
Tato práce má za úkol zjednodušit používání 4L-FLC a 3L-NPC resp. jejich analogových měření. Poskytuje kompletní dokumentaci k měřícím modulům na obou měničích a pokrývá všechny vyrobené verze propojovacích modulů.

Do budoucna bude zpracována teoretická možnost zásadní redukce počtu měřících čidel u 4L-FLC na základě myšlenky měření napětí na výstupních svorkách a z nich dopočítání napětí na plovoucích kondenzátorech viz [1]. U 3L-(A)NPC redukce počtu čidel nemá valný význam.

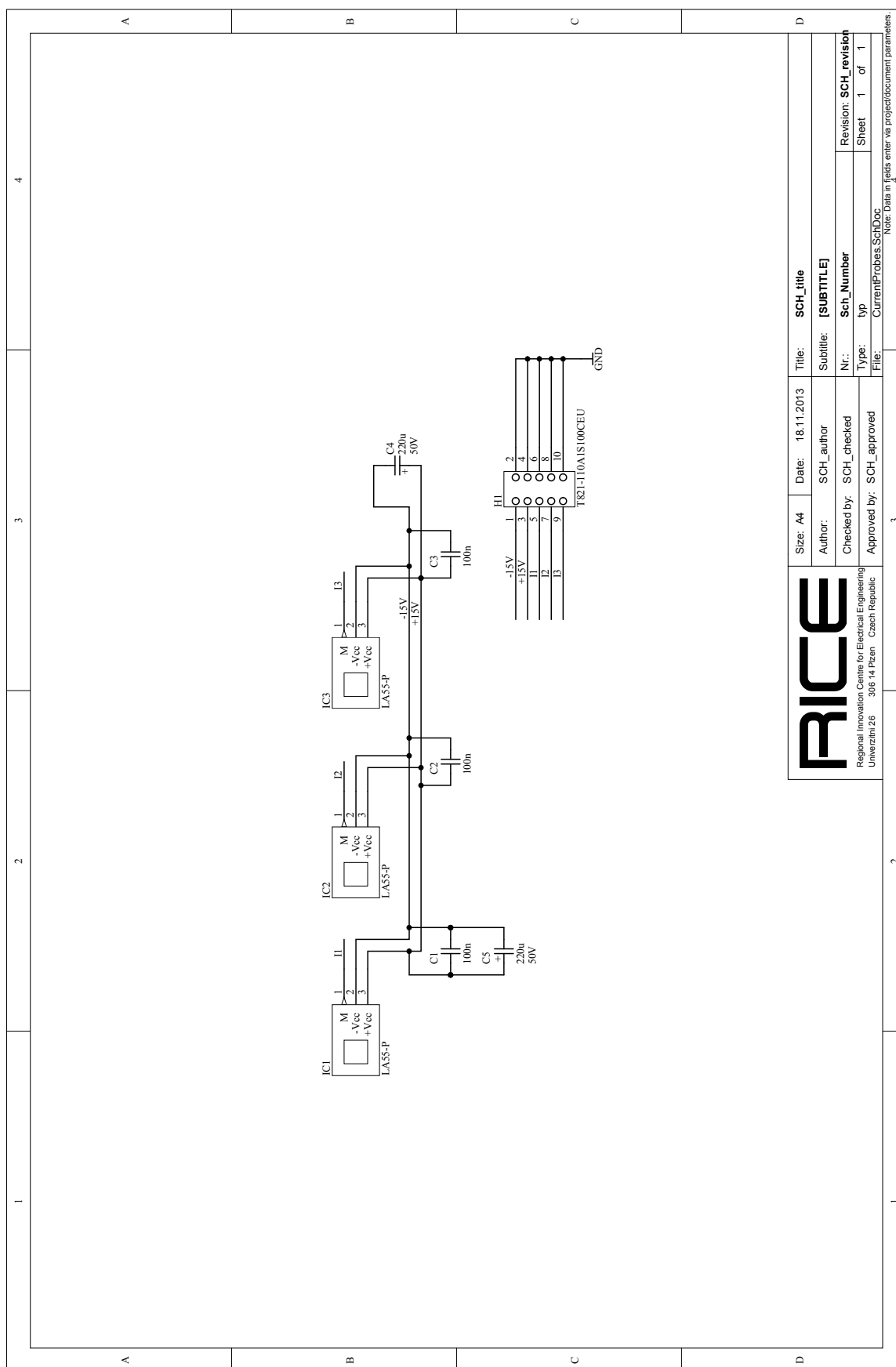
Literatura

- [1] Valouch V., Kokeš, P., Škramlík, J., *Vícehladinové napěťové měniče s plovoucími kondenzátory na síti a jejich řízení*, výzkumná zpráva č.: Z1418/08, Ústav termomechaniky, AV ČR, Praha 2008

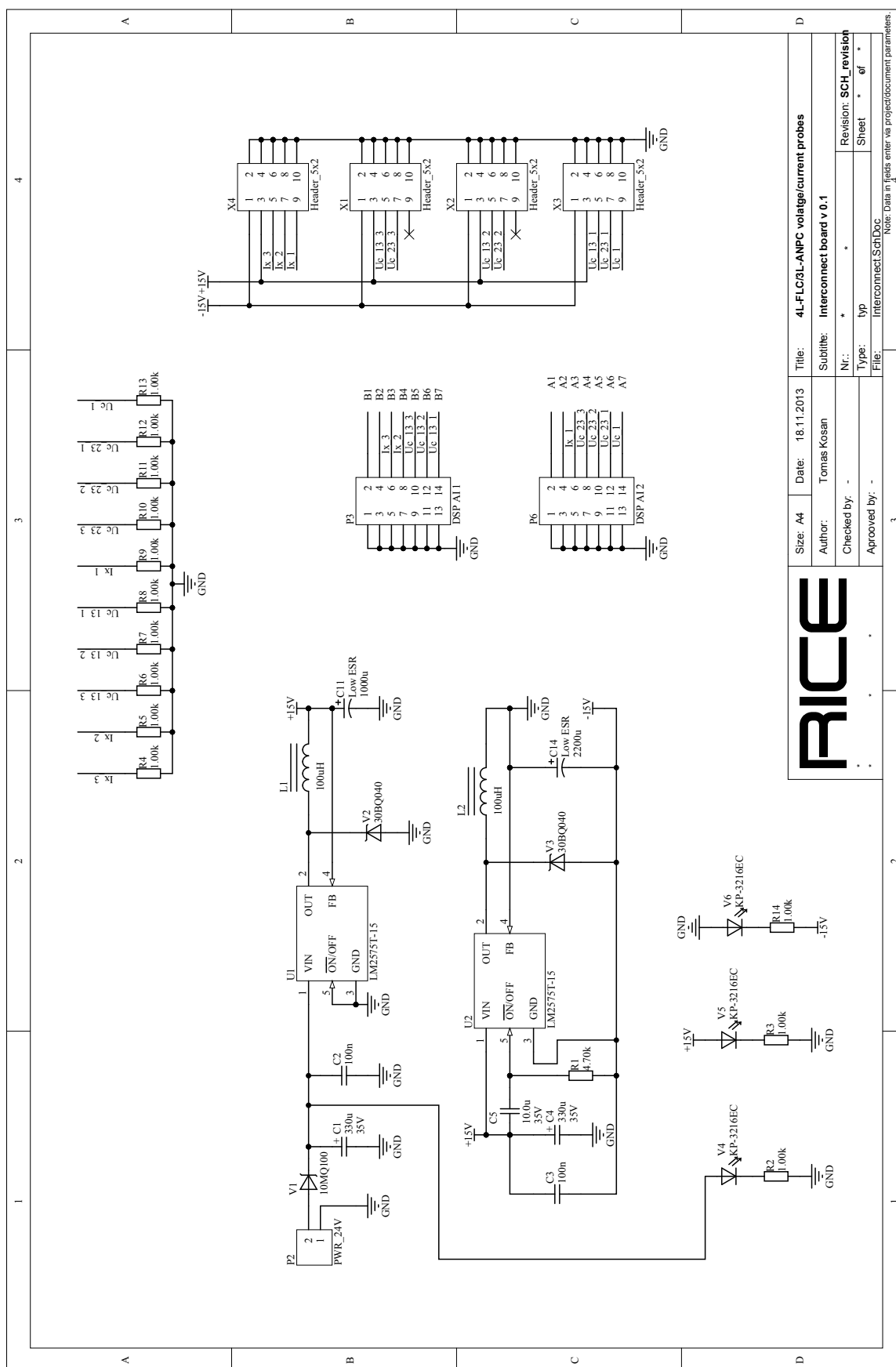
6 Příloha A - schéma modulu měření napětí



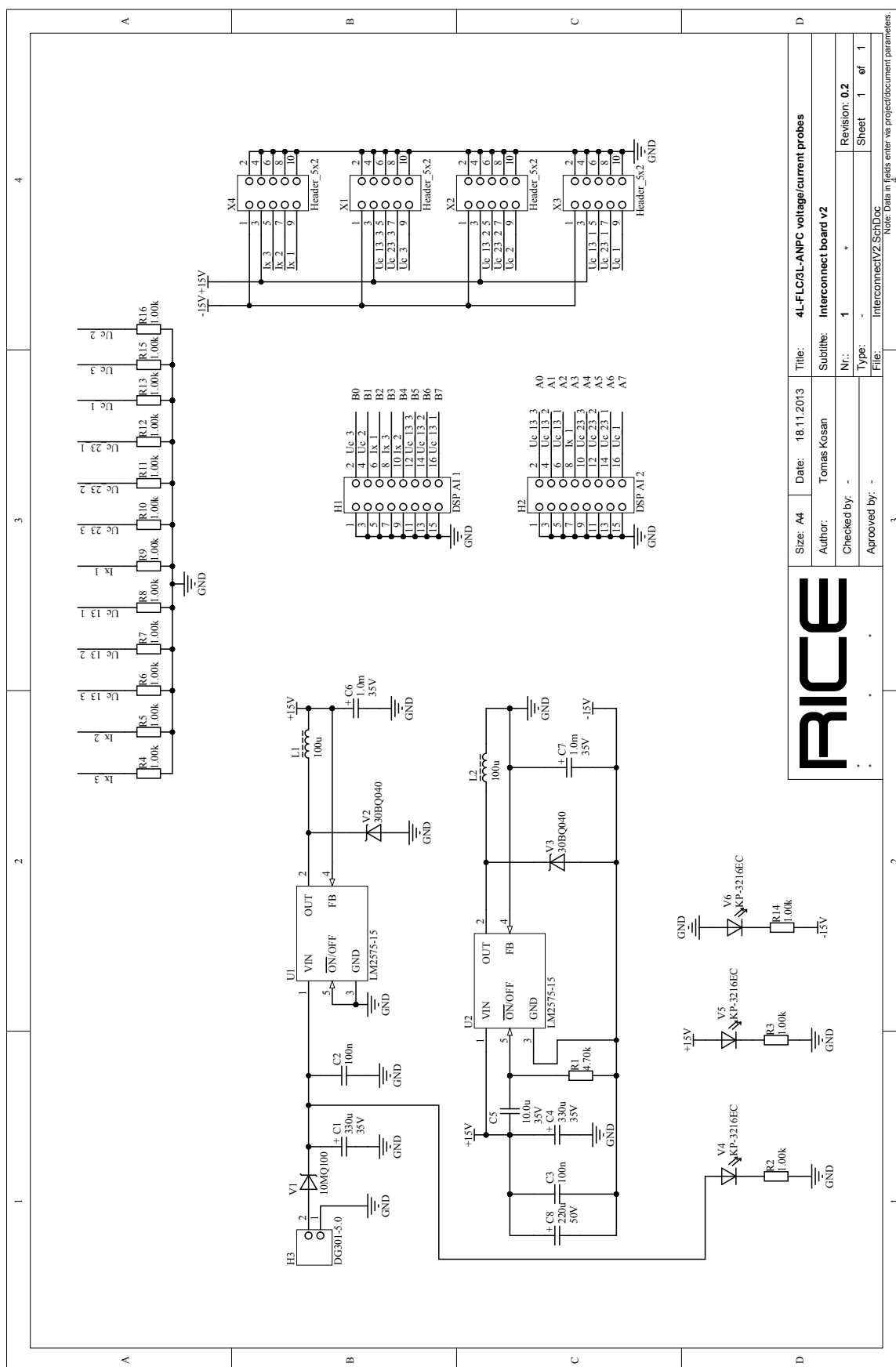
7 Příloha B - schéma modulu měření proudů



8 Příloha C - schéma modulu propojení verze 1



9 Příloha D - schéma modulu propojení verze 2



RICE

Title: 4L-FLC/3L-ANPC voltage/current probes

Subtitle: Interconnect board v2

Nr.: 1

Revision: 02

Sheet 1 of 1

Type: -

File: InterconnectV2.SchDoc

Note: Data in fields enter via project/document parameters.