



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Elektrotechnická fakulta

katedra elektroenergetiky

Řízení výstupního napětí moderních svařovacích zdrojů
Control of output voltage for up to date welding machines

Diplomová práce

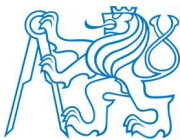
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Jiří Maryška

Bc. Jan Švamberg

Praha 2014



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Jan Švamberg**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Řízení výstupního napětí moderních svařovacích zdrojů**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prostudujte a zpracujte literární rešerši problematiky svařovacích zdrojů.
- 2) Zjistěte zpětný vliv svařovacích zdrojů na rozvodnou síť (EMI)
- 3) Popište zdroje stejnosměrného svařovacího napětí.
- 4) Popište zdroje střídavého svařovacího napětí.
- 5) Porovnejte modifikace zkratového přenosu pro různé druhy základního materiálu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Pavelka J., Čeřovský Z., Lettl J.: Výkonová elektronika; ČVUT Praha, 2007
- [2] Vondráček F.: Výkonová elektronika, svazek 3, Měnič se vlastní komutací a bez komutace; ZČU Plzeň, 2003
- [3] Chlebiš P.: F.: Polovodičové měniče s měkkým spínáním; Monografie: VŠB - TU Ostrava, 2004
- [4] Rashid M. H.: Power Electronics; Prentice-Hall International, Inc., 1995

Vedoucí: Ing. Jiří Maryška

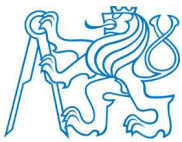
Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

prof. Ing. Josef Tlustý CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Rypka, CSc.
děkan

V Praze dne 12. 2. 2014



ANOTACE:

Řízení výstupního napětí moderních svařovacích zdrojů (Migatronic).

Diplomová práce pojednává o svařovacích zdrojích od firmy Migatronic A/S, které využívají pulzní měniče. V první části jsou představeny všechny topologie pulzních měničů používané ve svařovacích zdrojích této značky a nastíněna historie pulzních měničů od 70. let minulého století do dnešní doby. Dále jsou popsány zdroje stejnosměrného a střídavého svařovacího napětí. Předposlední část se zabývá zpětnými vlivy svařovacích zdrojů na rozvodnou síť. Práci uzavírá svařovací zdroj Sigma Galaxy, ve kterém jsou použity nejnovější technologie na řízení svařovacího oblouku.

ANNOTATION:

Control of output voltage for up to date welding machines by Migatronic.

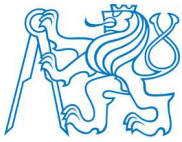
This thesis deals with welding machines produced by Migatronic A/S which use pulse converters. The first section covers all topologies of pulse converters used in the welding power sources of the brand, and deals with the history of pulse converters from the 70's of the last century until today. The following section describes welding power sources of direct and alternating voltage. The penultimate section deals with the regressive impact of welding machines on the power grid. The work concludes with the Sigma Galaxy welding power source, which uses the latest technology to control the welding arc.

KLÍČOVÁ SLOVA:

svařovací zdroje, pulzní měniče, zpětný vliv, IAC.

KEYWORDS:

welding machines, pulse converters, interference, Intelligent Arc Control.



PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW apod.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne.....

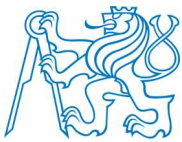
.....

Podpis



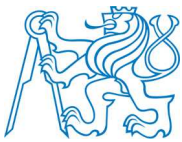
PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji především vedoucímu mé Diplomové práce Ing. Jiřímu Maryškovi za cenné připomínky a věcné rady a Vlastimilovi Neterdovi, za technickou podporu při praktickém měření. Dále bych rád poděkoval firmě SpektraVision za zapůjčení měřícího zařízení a v neposlední řadě mé rodině a všem, kteří mě podporovali.

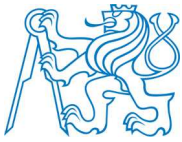


OBSAH:

1. Zadání diplomové práce.	13
2. Svařovací zdroje základní dělení.	14
2.1. Dva svařovací zdroje, které nelze opominout.	14
2.2. Přehled metod svařování.	17
2.3. Svařovací zdroje pro obalenou elektrodu.	18
2.4. Svařovací zdroje pro metodu TIG.	19
2.5. Svařovací zdroje pro metodu MIG/MAG.	20
3. Historický vývoj pulzních zdrojů.	21
3.1. Jednočinný propustný měnič.	21
3.2. Fázově posunutý plně řízený můstkový měnič.	22
3.3. Fázově posunutý plně řízený můstkový měnič s IGBT moduly.	24
3.4. Chladiče sestavené z tepelných trubic.	25
4. Zpětné vlivy svařovacích zdrojů na rozvodnou síť.	26
4.1. Elektromagnetická kompatibilita (EMC)	26
4.2. Normy související s EMC.	27
5. Měření EMI na svařovacích zdrojích.	28
5.1. Svařovací zdroj Automig 273	28
5.2. Test zdroje Automig 273 z hlediska EMI podle normy EN 50199:1995.	30
5.3. Svařovací zdroj LDH 160.	32
5.4. Test zdroje LDH 160 z hlediska EMI.	33
5.5. Měření vlivu svařovacích zdrojů na rozvodnou síť.	35
5.6. Skokově řízený zdroj versus pulzní měnič.	37
5.7. Delta 400 DC měření v průběhu svařování.	42



5.8.	Kompenzace vyšších harmonických kmitočtů .	46
5.9.	Praktický dopad rušení na délku datových kabelů.	47
6.	Zdroje stejnosměrného svařovacího napětí.	48
6.1.	Stejnoseměrné zdroje pro svařování metodou TIG/WIG.	48
6.2.	Bloková schémata DC zdrojů PI.	49
6.3.	Fyzické rozmístění dílů ve zdrojích PI.	50
6.4.	Silové schéma zapojení zdrojů PI.	50
6.5.	Stejnoseměrné zdroje pro svařování metodou MIG/MAG.	52
6.6.	Svařovací hořáky pro metodu MIG/MAG.	53
6.7.	Bloková schémata DC zdrojů Omega.	54
6.8.	Silové schéma DC zdrojů Omega.	55
7.	Zdroje střídavého svařovacího napětí.	56
7.1.	Střídavé zdroje pro svařování metodou TIG/WIG.	56
7.2.	Bloková schémata zdrojů střídavého napětí.	57
7.3.	Schémat zapojení zdrojů střídavého napětí.	57
8.	Modifikace zkratového přenosu	60
8.1.	Sigma Galaxy 400	60
8.2.	Funkce Intelligent Arc Control - IAC.	62
8.3.	Měření průběhu proudu ve zkratovém a IAC režimu.	63
8.4.	Funkce PowerArc .	66
9.	Závěr.	67
10.	Seznam použité literatury:	68



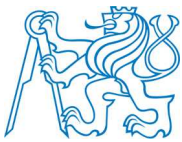
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ:

- **E** - Označení pro svař. zdroj pro obalenou elektrodu.
- **EMC**- Elektromagnetická kompatibilita.
- **EMI** - Elektromagnetická interference.
- **EMS** - Elektromagnetická susceptibilita.
- **HF** - High Frequency.
- **HP** – Označení svařovacího zdroje s pulzací a HF zapalováním.
- **IAC** - Intelligent Arc Control.
- **IGBT** – Insulated Gate Bipolar Transistor.
- **IGC** - Intelligent Gas Control.
- **ISOTOP**- Pouzdro s izolovaným chladičem.
- **MAG** - , Metal Active Gas.
- **MIG** – Metal Inert Gas.
- **MMA** – Manual Metal Arc Welding.
- **MOSFET** - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.
- **PCB**- Printed Circuit Board.
- **PFC** – Power Factor Correction.
- **PLD** - Programmable logic device.
- **PTC** – Positive temperature coefficient.
- **TIG** – Tungsten Inert Gas Welding.
- **WIG** – Wolfram–Inertgasschweißen.

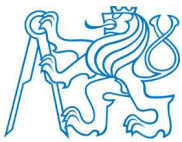


SEZNAM OBRÁZKŮ:

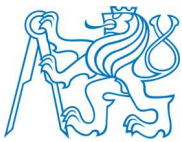
2.1 Snímek zdroje TRIODYN RK 320.....	14
2.2 Charakteristika svař. proudu.....	14
2.3 Schéma zapojení dynamu svař.zdroje.....	15
2.4 Snímek svařovacího zdroje WLSP 315.....	15
2.5 Popis WLSP 315.....	15
2.6 Porovnání zatěžovacích charakteristik rozptylových a síťových transformátorů.....	16
2.7 Schéma zapojení silové části svař.zdroje WLSP 315.....	16
2.8 Přehled metod značení dle jednotlivých předpisů.....	17
2.9 Delta 160 E.....	18
2.10 Statická charakteristika zdrojů Delta.....	18
2.11 Blokové schéma zdroje Delta 160 E.....	18
2.12 PI 250 AC/DC.....	19
2.13 Blokové schéma PI 250 AC/DC.....	19
2.14 Ovládací panel PI 250 AC/DC.....	19
2.15 Schematický náčrt Migového zdroje.....	20
2.16 Snímek svař. zdroje Sigma 400.....	20
3.1 Původní snímek svařovacího zdroje LDH 320.....	21
3.2 Schéma fázově posunutého plně můstkového měniče.....	22
3.3 Snímek svařovacího zdroje Delta 160HP.....	22
3.4 Schéma primární části svařovacího zdroje Delta 160 E.....	23
3.5 Měření na tranzistoru jedné větve.....	23
3.6 Naměřené průběhy na tranzistoru.....	23
3.7 Schéma zapojení IGBT modulu používaného ve zdrojích PI	24



3.8 Ukázka IGBT.....	24
3.9 Schéma zapojení a snímek IGBT modulu od firmy Danfoss.....	24
3.10 Klasický AL chladič.....	25
3.11 Chladič z tepelných trubic.....	25
3.12 Snímek zdroje Delta 400E.....	25
3.13 Snímek s vyznačeným chladičem.....	25
4.1 Snímek mezí odolnosti a mezí vyzařování.....	26
5.1 Snímek svařovacího zdroje Automig 273.....	28
5.2 Technická data zdroje Automig 273.....	29
5.3 Snímek vnitřního uspořádání dílů ve zdroji Automig 273.....	29
5.4 Průběh měření naprázdno na fázi L1.....	30
5.5 Měření na fázi L1 při proudu zátěže 20 A a napětí 15 V.....	30
5.6 Měření na fázi L1 při proudu zátěže 140 A a napětí 21V.....	31
5.7 Test při proudu 140 A_21 V. Horizontální anténa 1 m.....	31
5.8 Snímek měřicí antény.....	32
5.9 Tři modifikace svařovacího zdroje LDH 160.....	32
5.10 Blokové schéma svařovacího zdroje LDH 160	33
5.11 Graf průběhů rušivého napětí zdroje LDH 160.....	33
5.12 Schéma zapojení vstupní svorkovnice LDH 160.....	34
5.13 Schéma zapojení EMC filtru zdroje PI 250.....	34
5.14 Schéma zapojení pracoviště.....	36
5.15 Snímek pracoviště.....	36
5.16 Snímek Unilizer 900.....	36
5.17 Nastavený proud zátěže 40 A 16.5 V, pravidelné spínání po 20 s.....	37



5.18	<i>Nastavený proud zátěže 100 A _18.5 V, pravidelné spínání po 20 s.....</i>	38
5.19	<i>Nastavený proud zátěže 200 A _20 V, pravidelné spínání po 20 s.....</i>	38
5.20	<i>Nastavený proud zátěže 40 A_15.2 V, pravidelné spínání po 20 s.....</i>	39
5.21	<i>Nastavený proud zátěže 100 A_17.6 V, pravidelné spínání po 20 s.....</i>	40
5.22	<i>Nastavený proud zátěže 200 A _28.8 V, pravidelné spínání po 20 s.....</i>	40
5.23	<i>Činný, zdánlivý a jalový výkon při proudu zátěže 200 A_24 V, zdrojem Omega 223i.....</i>	41
5.24	<i>Činný, zdánlivý a jalový výkon při proudu zátěže 200 A_24 V, zdrojem A223.....</i>	41
5.25	<i>Nastavený proud zátěže 100 A _22 V, svařování metodou MMA.....</i>	43
5.26	<i>Nastavený proud zátěže 100 A _22 V, svařování metodou MMA / 20 s.....</i>	43
5.27	<i>Nastavený proud zátěže 300 A _30 V, svařování metodou MMA.....</i>	44
5.28	<i>Nastavený proud zátěže 300 A _30 V, poklesy napětí.....</i>	44
5.29	<i>Nastavený proud zátěže 400 A_ 38 V, svařování metodou MMA.....</i>	45
5.30	<i>Nastavený proud zátěže 400 A_38 V, poklesy napětí.....</i>	45
5.31	<i>Schéma funkce aktivního filtru od firmy Danfoss.....</i>	46
5.32	<i>Schéma robotizovaného pracoviště pro Migové zdroje.....</i>	47
5.33	<i>Schéma robotizovaného pracoviště pro Migové zdroje.....</i>	47
6.1	<i>Snímek rodiny svařovacích zdrojů PI 200 DC, PI 250 DC, PI 500 DC.....</i>	48
6.2	<i>Blokové schéma svařovacího zdroje PI 250 DC.....</i>	49
6.3	<i>Blokové schéma svařovacího zdroje PI 200 DC PFC.....</i>	49
6.4	<i>Snímek fyzického rozmístění dílů ve zdrojích PI 250.....</i>	50
6.5	<i>Schéma silového obvodu svařovacího zdroje PI 200 DC.....</i>	51
6.6	<i>Schéma silového obvodu svařovacího zdroje PI 200 DC.....</i>	51
6.7	<i>Snímek rodiny svařovacích zdrojů Sigma²400DC, Omega²550, 400, 300.....</i>	52
6.8	<i>Snímek svařovacího zdroje RallyMIG 161i.....</i>	52
6.9	<i>Dva snímky hořáků TWIST MV 450.....</i>	53

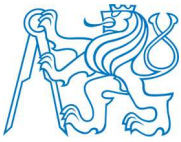


6.10	<i>Snímek obdélníkových průběhů ovládní Migového hořáku.....</i>	53
6.11	<i>Blokové schéma svařovacího zdroje Omega 400.....</i>	54
6.12	<i>Silové schéma zdrojů Omega.....</i>	55
6.13	<i>Snímek IGC.....</i>	55
7.1	<i>Snímek rodiny svařovacích zdrojů PI 200, 250, 350, 500 AC/DC</i>	56
7.2	<i>Blokové schéma svařovacího zdroje PI 500 AC/DC.....</i>	57
7.3	<i>Schéma primární části svařovacího zdroje PI 500 AC/DC.....</i>	58
7.4	<i>Schéma sekundární části svařovacího zdroje PI 500 AC/DC.....</i>	58
7.5	<i>Schéma výstupních usměrňovačů.....</i>	59
7.6	<i>Snímek střídače a usměrňovače PI 500 AC/DC.....</i>	59
8.1	<i>Snímek svařovacího zdroje Sigma Galaxy 400.....</i>	60
8.2	<i>Snímek ovládacího panelu s barevným displejem.....</i>	61
8.3	<i>Technická data zdroje Sigma Galaxy.....</i>	61
8.4	<i>Průběh oddělení kapky v IAC režimu.....</i>	62
8.5	<i>Referenční průběhy proudu a napětí ve zkratovém a IAC režimu.....</i>	62
8.6	<i>Průběh proudu při zkratovém a IAC procesu.....</i>	63
8.7	<i>Schéma zapojení pracoviště.....</i>	64
8.8	<i>Snímek z průběhů měření proudu.....</i>	64
8.9	<i>Naměřené průběhy proudů při zkratovém a IAC režimu.....</i>	65
8.10	<i>Na snímku je znázorněno vyvařování mezery s použitím režimu IAC.....</i>	65
8.11	<i>Na snímku je znázorněn průvar v režimu PowerArc.....</i>	66



1. Zadání diplomové práce.

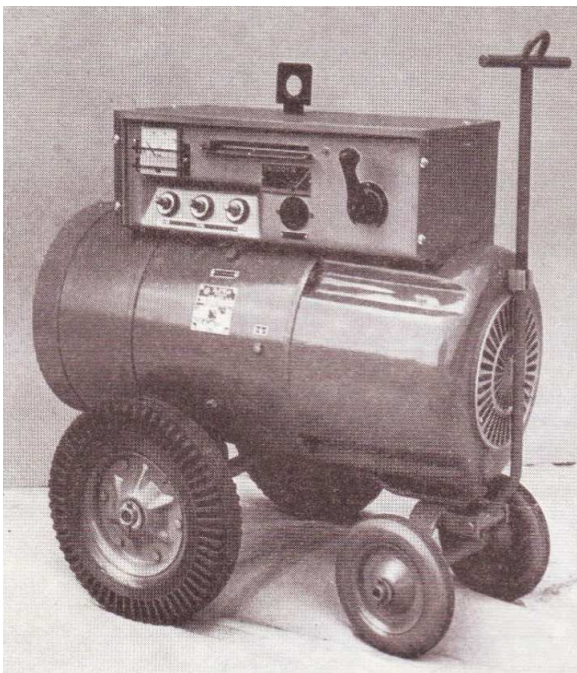
Základním cílem diplomové práce je zmapování používaných svařovacích zdrojů, jejich rozdělení a představení jednotlivých skupin dle metod svařování, pro které jsou použity. V první části bude nastíněna historie pulzních měničů ve svařovacích zdrojích. Dalším cílem je popsat zdroje stejnosměrného a střídavého svařovacího napětí. Ukázat na konkrétních schématech zapojení rozdíly mezi střídavými a stejnosměrnými zdroji. Následný úkol je provést měření na svařovacích zdrojích a zjistit jejich zpětný vliv na rozvodnou síť. V poslední části bude popsán nejmodernější svařovací zdroj Sigma Galaxy 400, na kterém budou porovnány modifikace zkratového přenosu.



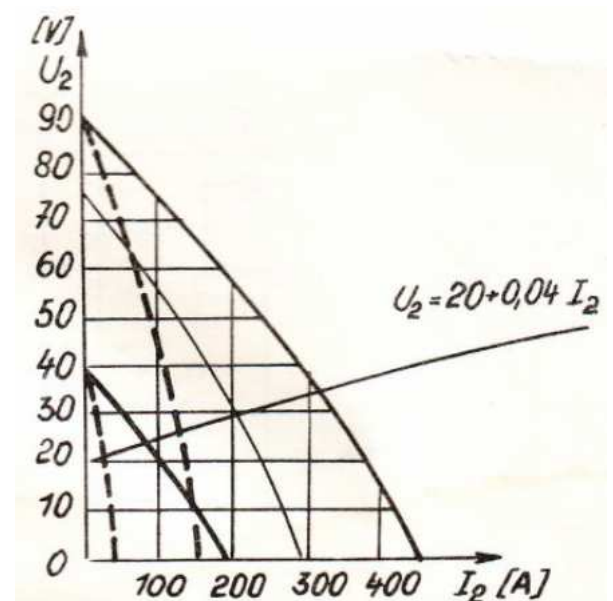
2. Svařovací zdroje základní dělení.

2.1. Dva svařovací zdroje, které nelze opominout.

Svařovací zdroj TRIODYN K 220, RK320. Úvodem mé práce jsem se rozhodl představit dva výrazné typy svařovacích zdrojů, které svým rozšířením v České republice určitě patří do práce zabývající se svařovacími zdroji. Prvním z nich je rotační oblouková svářečka TRIODYN K 220 a RK 320. Tento svařovací zdroj byl vyráběn firmou MEZ Brumov N.P. od sedmdesátých let minulého století. S prvním typem jsem se setkal osobně při mé servisní činnosti a dovoluji si tvrdit, že tyto zdroje vykazují velkou spolehlivost.

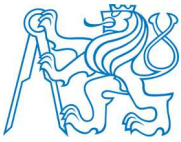


Obrázek 2.1 Snímek zdroje TRIODYN RK 320

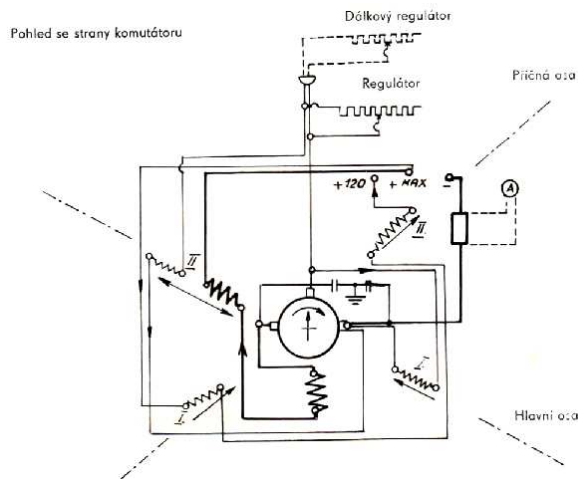


Obrázek 2.2 Charakteristika svař.proudu

Tento zdroj je tvořen asynchronním motorem a svařovacím dynamem. Rotor hnacího asynchronního motoru a dynama je na společné hřídeli. Svářecí zdroj pracuje na principu tří dynamických strojů, které jsou soustředěny v jednom soustrojí. Prvním strojem je kompaudovaný budič, druhý z nich je překompaudovaný generátor svařovacího proudu a třetí stroj



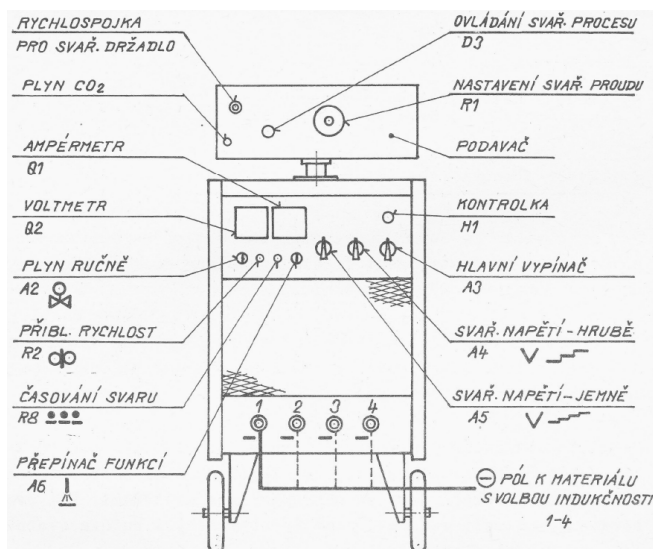
je sériový motor přizpůsobující napětí svař. zdroje změně oblouku bez magnetické setrvačnosti, v důsledku čehož se svařovací proud nemění.



Obrázek 2.3 Schéma zapojení dynamu svař. zdroje

Svařovací zdroj WLSP 315.

Dalším svařovacím zdrojem, který nelze opominout, je legendární svařovací zdroj WLSP 315. Tento svařovací zdroj určený pro metodu MIG byl vyráběn firmou ZEZ Hořice a stále je hojně používán.



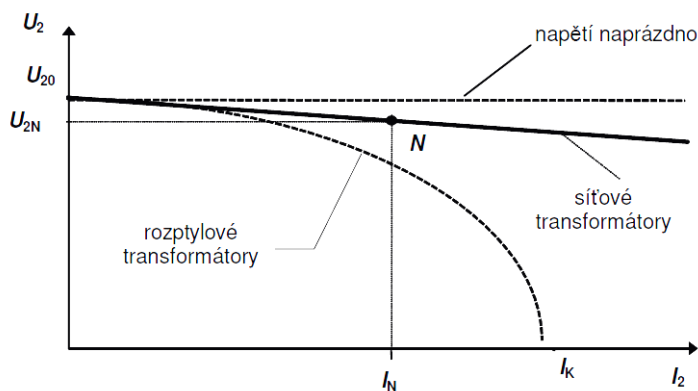
Obrázek 2.4 Popis WLSP 315



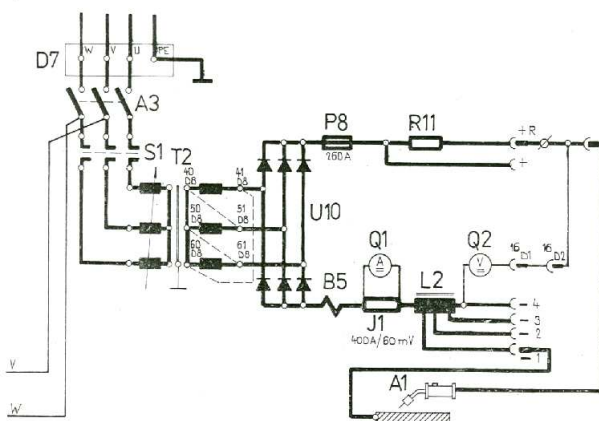
Obrázek 2.5 Snímek zdroje WLSP 315



Na tomto zdroji lze demonstrovat základní princip skokově řízeného svařovacího zdroje. Slovem skokově je míněno, že se nejedná o plynulou regulaci proudu, ale o skokové přepínání odboček primárního vinutí transformátoru. Použitý transformátor má velkou rozptylovou reaktanci, proto je tento typ nazýván rozptylový nebo svařovací transformátor. Velké rozptylové reaktance je dosaženo konstrukcí transformátoru. Dalším prvkem zlepšujícím vlastnosti svařovacího zdroje je sériově zařazená tlumivka za výstupní usměrňovač. Tato tlumivka má volitelné odbočky čímž, lze volit „ tvrdost “ svař. zdroje. U rozptylového transformátoru je velmi malý rozdíl mezi zkratovým a jmenovitým proudem.



Obrázek 2.6 Porovnání zatěžovacích charakteristik rozptylových a síťových transformátorů



Obrázek 2.7 Schéma zapojení silové části svař. zdroje WLSP 315



2.2. Přehled metod svařování.

- A. Svařování metodou MMA (Manual Metal Arc Welding).** Jedná se o metodu svařování obalenou elektrodou, při které hoří elektrický oblouk mezi základním materiálem a elektrodou. Elektrody jsou obaleny tavidlem, jehož funkce je plynotvorná a ionizační. Ke svařování se využívá střídavý a stejnosměrný proud. Podle použitého proudu je nutné použít odpovídající elektrody.
- B. Svařování metodou TIG, WIG (Tungsten Inert Gas Welding, Wolfram Inert Gas).** Svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. Elektrody pro tuto metodu svařování se standardně neodtavují do svařovací lázně jako v předchozí metodě svařování obalenou elektrodou, ale slouží k dlouhodobému použití a jsou vyrobeny z Wolframu. Jako ochranný plyn se používá Argon, pro některé materiály čisté Hélium nebo jeho směs s Argonem.
- C. Svařování metodou MIG, MAG (Metal Inert Gas , Metal Active Gas).** Tato metoda je založena na automatickém podávání přídatného materiálu přímo do lázně. Ochrannou atmosféru tvoří opět plyny, velmi je rozšířen CO₂, dále také směsi CO₂ popř. Oz a Argonu. Hlavní předností této metody je rychlost svařování ve všech polohách a kvalitní svár.

Přehled metod značení dle jednotlivých předpisů				
EN ISO 4063	Evropské (EZ) a Americké (AZ) značení		Kompletní název	Český překlad
111	EZ	MMA	Manual Metal Arc Welding	Svařování obalenou elektrodou
	AZ	SMAW	Shielded Metal Arc Welding	
114	EZ	FCAW	Flux - Cored wire Metal Arc Welding	Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
	AZ	FCAW	Flux - Cored Arc Welding	
12	EZ	SAW	Submerged Arc Welding	Svařování pod tavidlem
	AZ	SAW	Submerged Arc Welding	
13	EZ	MIG/MAG	Gas Shield Metal Arc Welding	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu
	AZ	GMAW	Gas Metal Arc Welding	
131	EZ	MIG	Metal -arc Inert Gas welding	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném inertním plynu
	AZ	GMAW	Gas Metal Arc Welding	
135	EZ	MAG	Metal -arc Active Gas welding	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném aktivním plynu
	AZ	GMAW	Gas Metal Arc Welding	
136	EZ	FCAW	Flux -Cored wire metal - Arc Welding	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (trubičkový drát)
	AZ	FCAW	Flux- Cored Arc Welding	
137	EZ	FCAW	Flux -Cored wire metal - Arc Welding	Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu (trubičkový drát)
	AZ	FCAW-S	Flux- Cored Arc Welding	
141	EZ	TIG	Tungsten Inert Gas Welding	Obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou
	AZ	GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	

Obrázek 2.8 Přehled metod značení dle jednotlivých předpisů



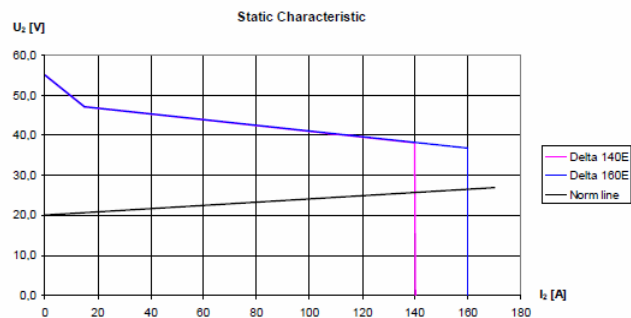
2.3. Svařovací zdroje pro obalenou elektrodu.

Svařovací zdroje pro obalenou elektrodu patří k nejjednodušším svařovacím zdrojům, které používají ke svařování kovové odtavující se elektrody. Elektrody jsou obaleny tavidlem, jehož funkce je plynotvorná a ionizační. Ke svařování se využívá střídavý a stejnosměrný proud. Podle použitého proudu je nutné použít odpovídající elektrody.

Jedním ze zástupců čistě elektrodového zdroje je zdroj Delta 160 E.

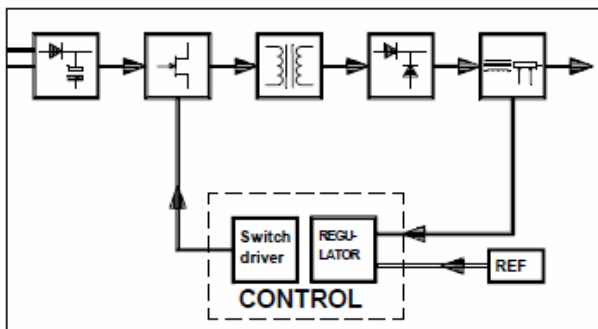


Obrázek 2.9 Delta 160 E

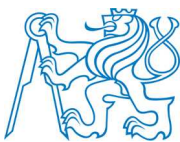


Obrázek 2.10 Statická charakteristika zdrojů Delta

Tento zdroj obsahuje pulzní zdroj, jehož proudový rozsah činí 5 – 160 A a při váze necelých deset kilogramů je klasickou ukázkou montážního zdroje.



Obrázek 2.11 Blokové schéma zdroje Delta 160E

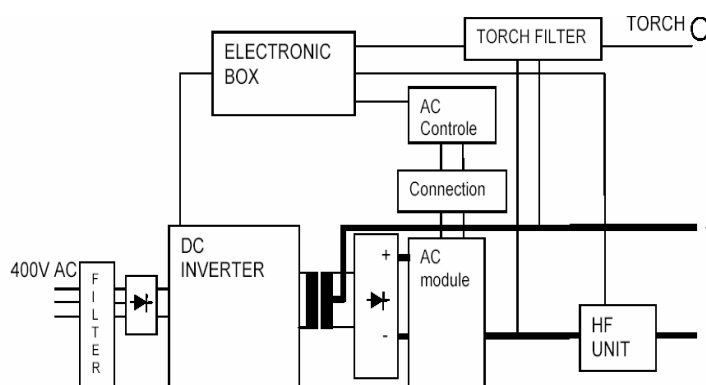


2.4. Svařovací zdroje pro metodu TIG.

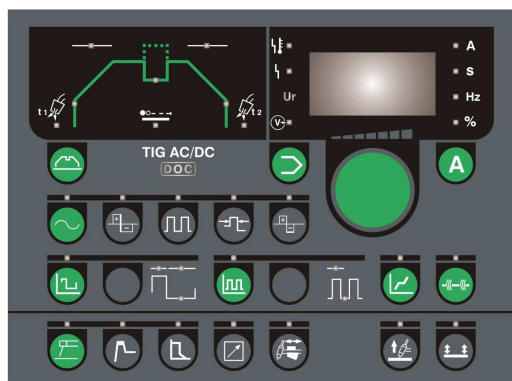
Tyto svařovací zdroje využívají k vytvoření ochranné atmosféry ochranný plyn, nejčastěji se jedná o Argon. Elektrody pro tuto metodu svařování se standardně neodtavují do svařovací lázně jako v předchozí metodě svařování obalenou elektrodou, ale slouží k dlouhodobému použití a jsou vyrobeny z Wolframu. Tyto zdroje pracují se stejnosměrným a střídavým proudem a lze s jejich pomocí svařovat například nerezové oceli a ve střídavém režimu také hliník a jeho slitiny. Zdroj, který pracuje ve střídavém i stejnosměrném režimu je například PI 250 AC/DC.



Obrázek 2.12 PI 250 AC/DC



Obrázek 2.13 Blokové schéma PI 250 AC/DC



Tyto svařovací zdroje mají průmyslový charakter a používají se ve výrobních procesech například pro montáže v chemickém průmyslu. Zdroj je navržen pro práci v prostředích venkovních a splňuje podmínky krytí IP 23. Ovládací panel nabízí široký rozsah nastavení i pro náročné montáže.

Obrázek 2.14 Ovládací panel PI 250 AC/DC

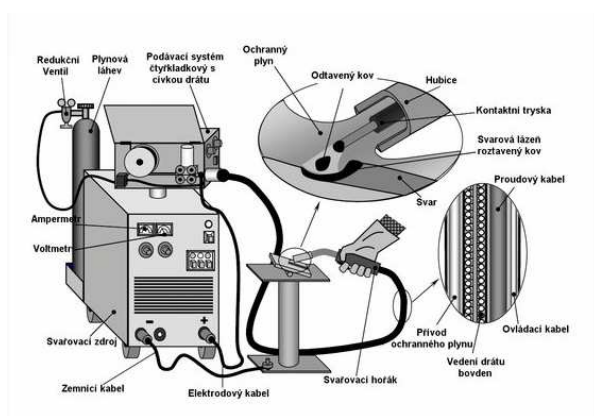


2.5. Svařovací zdroje pro metodu MIG/MAG.

MIG – Metal Inert Gas (ochranný plyn je inertní, chemicky nereaguje s roztavenou lázní)

MAG – Metal Active Gas (ochranný plyn chemicky reaguje s roztavenou lázní)

Tato metoda je založena na automatickém podávání přídavného materiálu přímo do lázně. Ochrannou atmosféru tvoří opět plyny, velmi je rozšířen CO_2 , dále také směsi CO_2 a Argonu. Hlavní předností této metody je rychlost svařování ve všech polohách a kvalitní svár, který často nevyžaduje žádnou další úpravu. Tyto zdroje jsou vyráběny v proudových rozsazích 100-500 A.



Obrázek 2.15 Schematický náčrt Migového zdroje



Obrázek 2.16 Snímek svař. zdroje Sigma 400

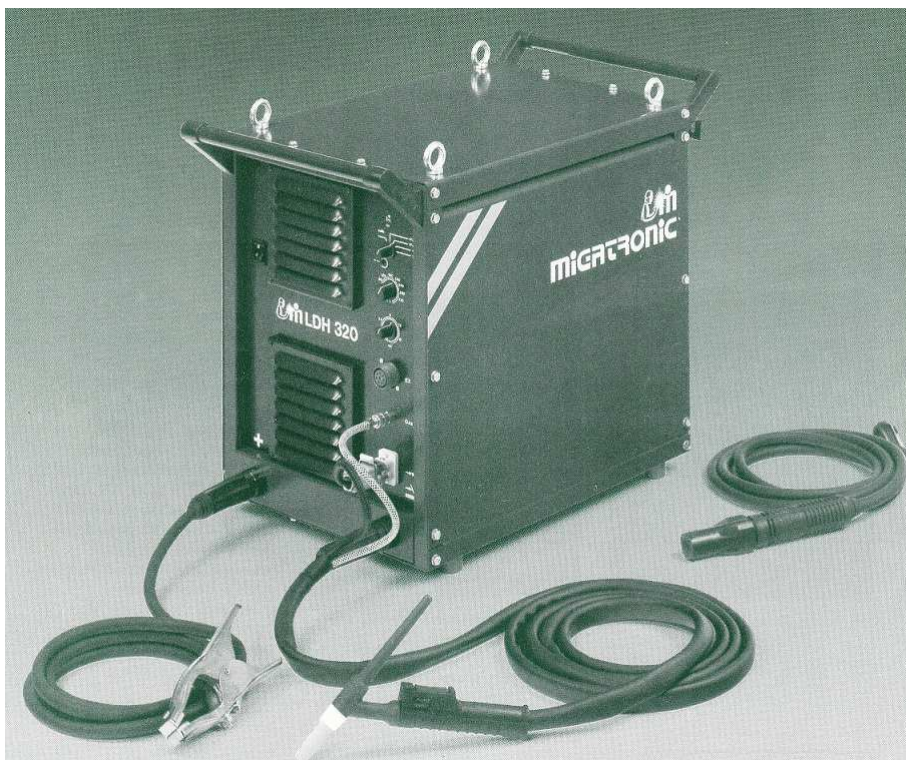
Představitelem pulzního zdroje pro svařování metodou MIG je Sigma 400. Tento svařovací zdroj umožňuje jak klasický zkratový proces, tak i impulsní svařování, které se dnes hojně využívá. Impulsní proces je takový, kdy svařovací proud pulsuje mezi dvěma hodnotami proudu, čímž je optimalizována svařovací lázeň. Impulsní přenos je bez rozstříku a využívá se především pro svařování nerezů a hliníku.



3. Historický vývoj pulzních zdrojů.

3.1. Jednočinný propustný měnič.

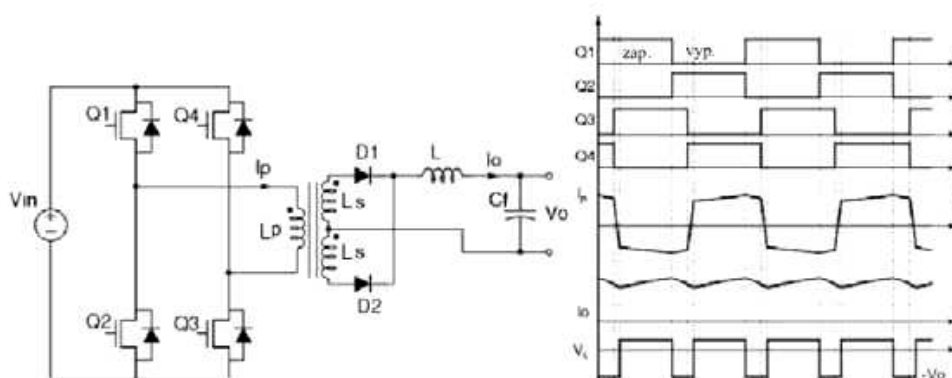
První invertor od firmy Migatronik byl vyroben v roce 1977. Byl vystaven na mezinárodním veletrhu svařovací techniky v Essenu. Další pulzní zdroje rychle následovaly. V prvních svařovacích zdrojích s pulzními měniči byl použit jednočinný propustný měnič. Toto zapojení bylo nejjednodušší a vycházelo z vlastností polovodičových součástek dostupných v dané době. Nekladlo velké nároky na řízení, jediný problém spatřuji v paralelním chodu spínaných tranzistorů, který kladl velké nároky na výběr a párování součástek. Jedním z prvních pulzních zdrojů byl také zdroj určený pro metodu TIG a MMA LDH 320 a novější montážní varianta LDH 160. Pracoval na principu jednočinného propustného měniče proudový rozsah 5 – 160 A při váze 19 Kg.



Obrázek 3.1 Původní snímek svařovacího zdroje LDH 320

3.2. Fázově posunutý plně řízený můstkový měnič.

Fázově posunutý plně můstkový měnič (Phase Shift Full Bridge). Mezi typ, který je využíván u malých svařovacích zdrojů do 200 A, jeho použití se datuje kolem roku 2005. Spínače v dané větvi jsou spínány vždy v protifázi a jednotlivé větve jsou vůči sobě fázově posunuty. Tyto měniče mají velmi dobré vlastnosti a pracují se střídou nad 50 %. Mezi jejich nevýhody patří složitější řízení spínání tranzistorů.

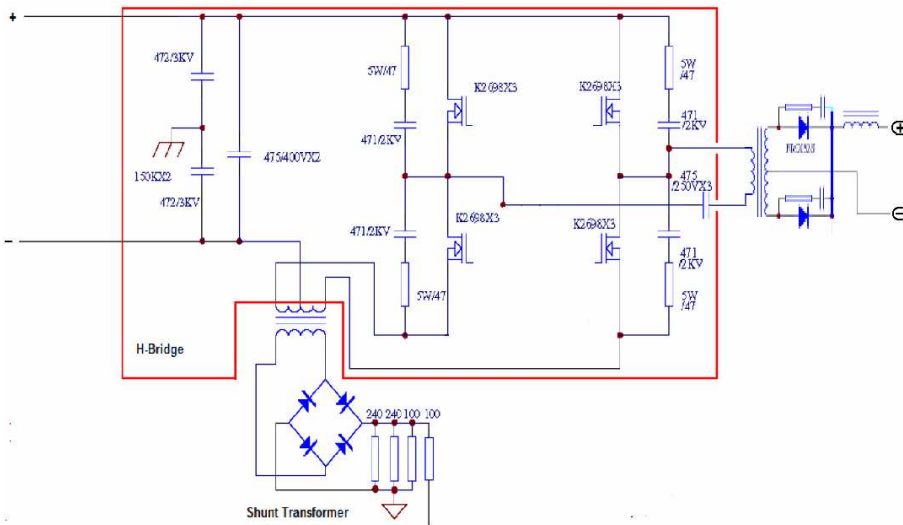


Obrázek 3.2 Schéma fázově posunutého plně můstkového měniče

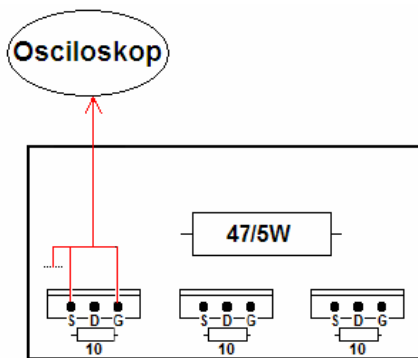
Delta 160 HP je jedním z představitelů zdrojů, ve kterém je použit fázově posunutý plně můstkový měnič. Izolační oddělení jednotlivých větví je řešeno izolováním tranzistorů izolačním páskem, který odděluje izolačně jednotlivé větve umístěné na stejném chladiči. Na sekundární vinutí lze rozeznat uzlový dvoucestný usměrňovač. Na výstupní svorky jsou připojeny svařovací kabely.



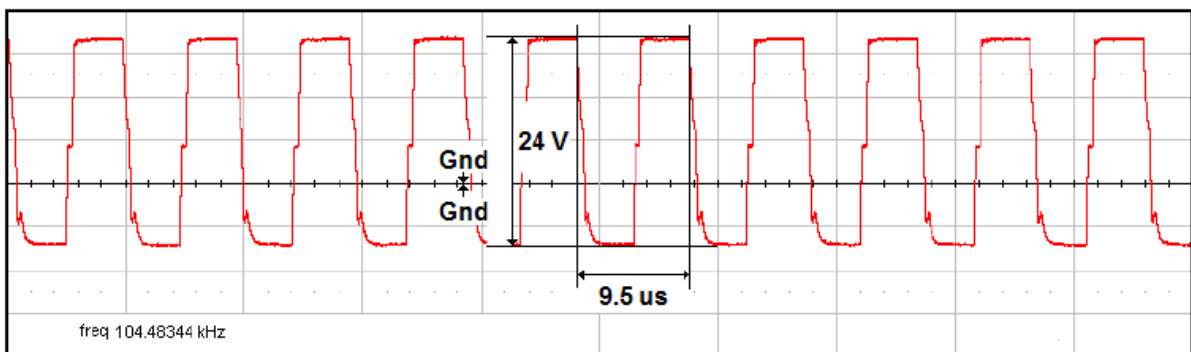
Obrázek 3.3 Snímek svařovacího zdroje Delta 160HP



Obrázek 3.4 Schéma primární části svařovacího zdroje Delta 160 E



Obrázek 3.5 Měření na tranzistoru jedné větve. Frekvence spínání se pohybuje kolem 105 kHz

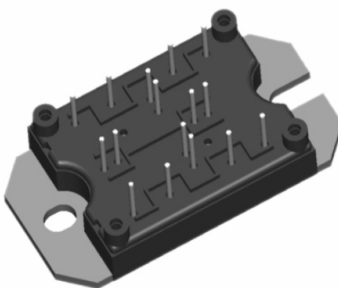
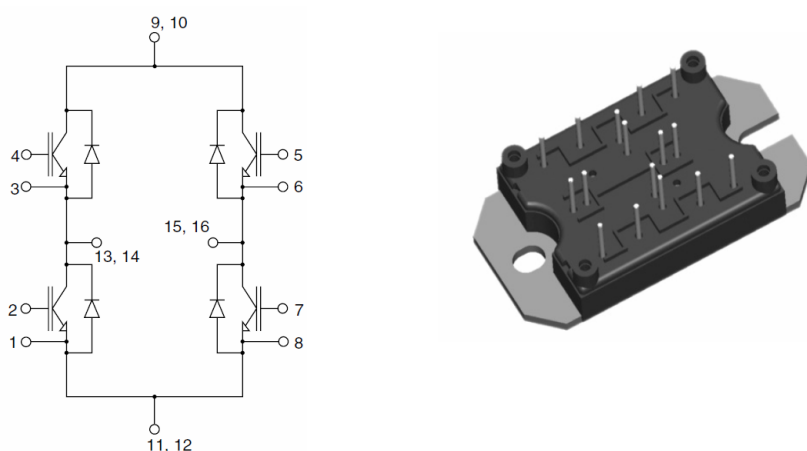


Obrázek 3.6 Naměřené průběhy na tranzistoru



3.3. Fázově posunutý plně řízený můstkový měnič s IGBT moduly.

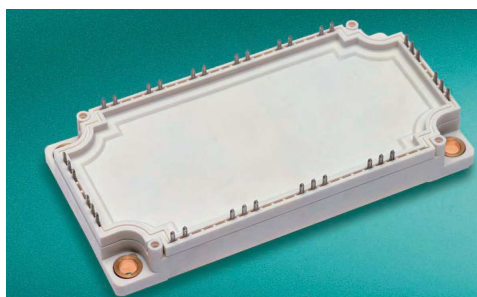
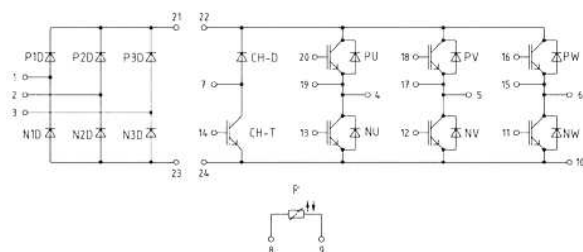
Poslední trend je použití fázově posunutého můstkového měniče, ve kterém jsou spínací tranzistory integrovány do IGBT modulů. Tímto způsobem je ošetřen paralelní chod a zvyšuje se tak odolnost spínacích modulů. Jedním z příkladů použití jsou svařovací zdroje PI 200-500. Tato konstrukce má velkou výhodu s ohledem na servisní činnost.



Obrázek 3.8 Ukázka IGBT

Obrázek 3.7 Schéma zapojení IGBT modulu používaného ve zdrojích PI

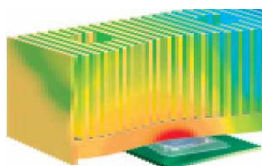
Dalším trendem, který dokládá snahu výrobců o tepelnou stabilitu měničů je umísťování teplotních čidel přímo do IGBT modulů, a tak možnost ještě lépe chránit měniče. Při použití PTC čidla je možné přímo spojitě řídit otáčky chladicího ventilátoru. Příkladem takto vybaveného modulu je IGBT modul od firmy Danfoss.



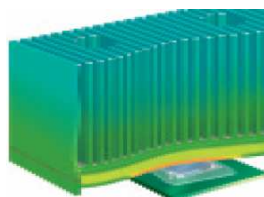
Obrázek 3.9 Schéma zapojení a snímek IGBT modulu od firmy Danfoss

3.4. Chladiče sestavené z tepelných trubic.

Lze předpokládat, že technologie pulzních měničů se bude ubírat ke koncepci kompaktnějších celků. Velký podíl na zmenšení modulů bude mít odvod tepla, v tomto ohledu byly již použity tepelné trubice, které zajišťují velmi účinné odvádění tepla z místa umístění součástky na chladiči.



Obrázek 3.10 Klasický AL chladič



Obrázek 3.11 Chladič z tepelných trubic

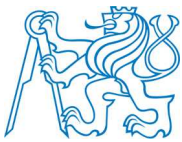
Ukázka použití tepelných trubic k chlazení polovodičových komponentů. Na obr. 3.10. z termovize je klasický hliníkový chladič, na obr. 3.11. je chladič složený z tepelných trubic. Na prvním chladiči je rozložení tepla nerovnoměrné a je odváděno se značným zpožděním. U chladiče složeného z tepelných trubic na obr. 3.11 je rozložení tepla na chladiči téměř rovnoměrné, lze předpokládat, že pro stejný výkon bude potřeba menších rozměrů chladiče. V současné době používané IGBT moduly mají izolovaný chladič, stejně tak používané diodové bloky pod názvem ISOTOP. Tento fakt umožňuje použití společného chladiče pro primární i sekundární část. Prvním svařovacím zdrojem, ve kterém jsem zaznamenal použití tepelných trubic, je zdroj Delta 400. Zde je použitý tento chladič k chlazení IGBT modulu.



Obrázek 3.12 Snímek zdroje Delta 400E



Obrázek 3.13 Snímek s vyznačeným chladičem

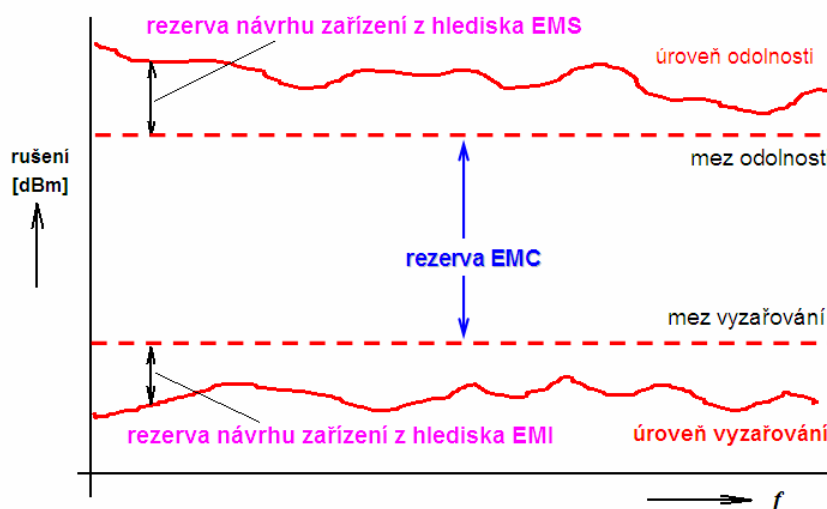
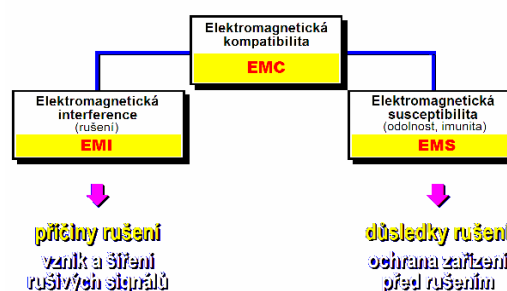


4. Zpětné vlivy svařovacích zdrojů na rozvodnou síť.

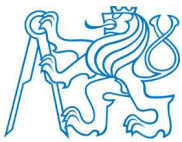
4.1. Elektromagnetická kompatibilita (EMC).

Elektromagnetická kompatibilita je obor, který se zabývá zajištěním maximální spolehlivosti elektrických a elektronických zařízení v reálném elektromagnetickém prostředí. Přístroje musí vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. neprodukovat signály, jež by byly nepřipustně rušivé pro jiná zařízení (technická či biologická).

Základní členění problematiky EMC



Obrázek 4.1 Snímek mezi odolnosti a mezi vyzařování



4.2. Normy související s EMC.

A. ČSN 342860

Z hlediska elektromagnetické kompatibility byla v České Republice platná norma ČSN 342860 S názvem: *Předpisy pro odrušení elektrických strojů, přístrojů a zařízení*. Tato norma byla platná od 25. 12. 1972 a novelizovaná 1. 5. 1989.

B. CISPR 14

V roce 1993 byla norma ČSN 342860 nahrazena převzatou normou Mezinárodního poradního sboru pro otázky odrušení CISPR 14 nazvanou: *Mezní hodnoty a metody charakteristik rádiového rušení způsobeného elektrickými spotřebiči pro domácnost, přenosným elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji*. Tato norma je základem celoevropského doporučení EN 55014 (včetně mezních hodnot).

C. ČSN EN 50199

ČSN EN 50199 Tato norma je českou verzí evropské normy EN 50199:1995. Evropská norma EN 50199:1995 má status české technické normy. Tato evropská norma platí pro zařízení určená pro obloukové svařování a příbuzné procesy určené pro použití v průmyslových podnicích a obytných prostorech. Mezi tato zařízení patří zdroje svařovacího proudu. Norma platí pro kmitočtový rozsah od 0 Hz do 400 GHz.

D. Nařízení vlády č.616/2006 Sb.

Toto je nařízení, které stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility. Toto nařízení je prováděcím předpisem k zákonu číslo 22/1997 o technických požadavcích na výrobky.



5. Měření EMI na svařovacích zdrojích.

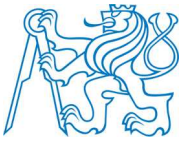
5.1. Svařovací zdroj Automig 273.

Automig 273 je jednoduchý svařovací zdroj určený pro svařování metodou MIG/MAG. Jedná se o odbočkový zdroj s neřízeným trojfázovým usměrňovačem připínaným pouze v okamžiku svařování. Ve stand-by režimu je svařovací transformátor oddělen od sítě pomocí stykače.

Spotřeba v tomto režimu je minimální jen 127 W. Jedná se o příkon ovládacího transformátoru a ventilátoru určeného k nucené cirkulaci vzduchu v oblasti usměrňovače. Tento zdroj se vyrábí s různými obměnami už více než dvacet let. Hlavní oblast využití jsou autoservisy a malé zámečnické dílny. Dá se říci, že se jedná o stroj legendární, protože velká většina z první série je stále funkční.



Obrázek 5.1 Snímek svařovacího zdroje Automig 273



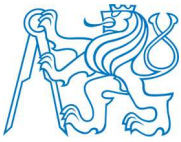
Technická data

Mains voltage	3 x 400 V
Fuse	10 A
Open circuit voltage	15 - 34 V
Voltage steps	10
Duty cycle 100%	140 A
Duty cycle 60%	165 A
Duty cycle 35%	200 A
Current range	20 - 250 A
Wire reel dimension	5 – 15 kg
Wire speed	2 - 15 m/min.
Dimensions, lxxh, cm	72 x 38 x 70
Weight, kg	66

Obrázek 5.2 Technická data zdroje Automig 273

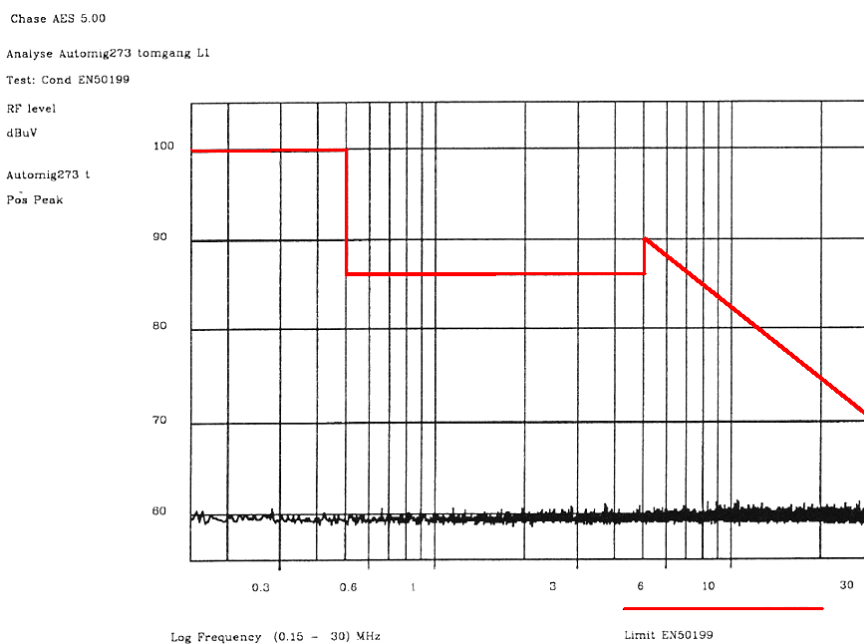


Obrázek 5.3 Snímek vnitřního uspořádání dílů ve zdroji Automig 273

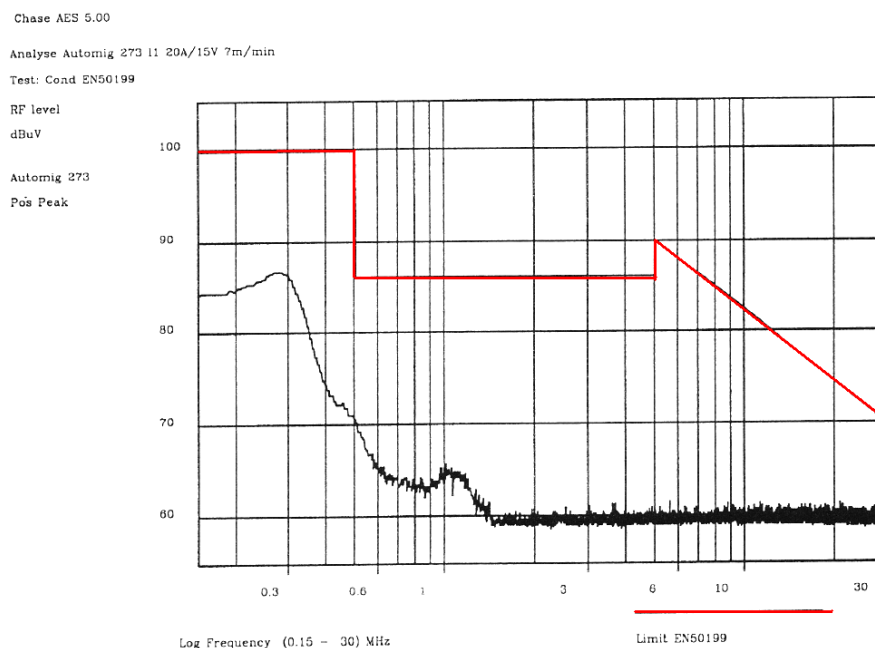


5.2. Test zdroje Automig 273 z hlediska EMI podle normy EN 50199:1995.

Tato měření jsou převzata z protokolů firmy Migatron. Důvodem převzetí jsou značné náklady na každou zkoušku. Měření se provádí na každém fázovém vodiči, a to nejprve bez zátěže (naprázdno), a dále se provádí měření při konstantním proudu zátěže.



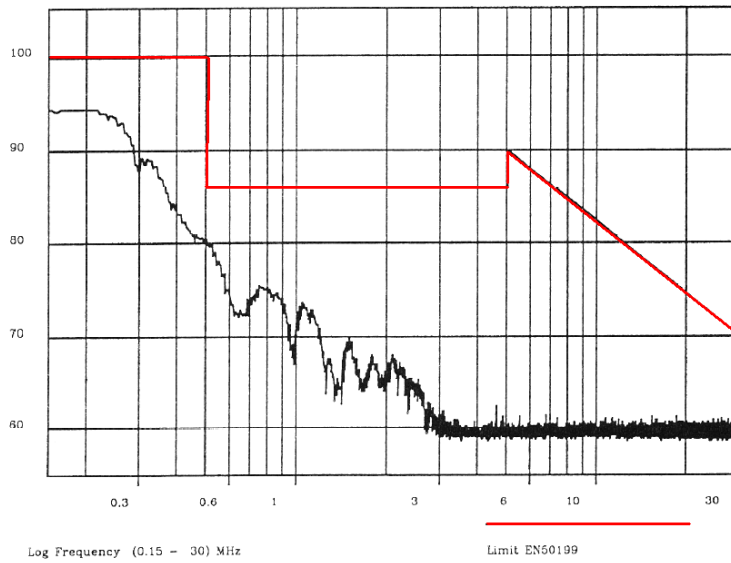
Obrázek 5.4
*Průběh měření na-
prázdko na fázi L1*



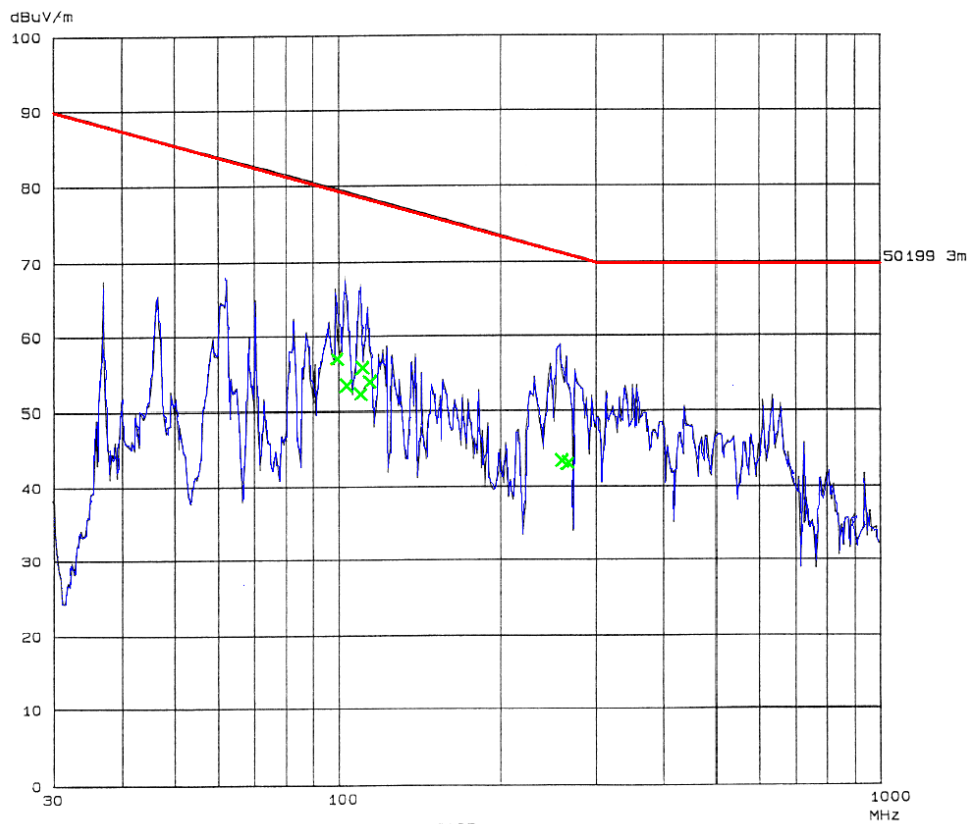
Obrázek 5.5 *Měření
na fázi L1 při proudu
zátěže 20 A a napětí
15 V*



Chase AES 5.00
Analyse Automig 273 II 140A/21V 7m/min
Test: Cond EN50199
RF level
dBuV
Automig 273
Poš Peak



Obrázek 5.6 Měření
na fázi L1 při proudu
zátěže 140 A a napětí
21 V



Obrázek 5.7
Test při proudu
140 A_ 21 V.
Horizontální
anténa 1 m



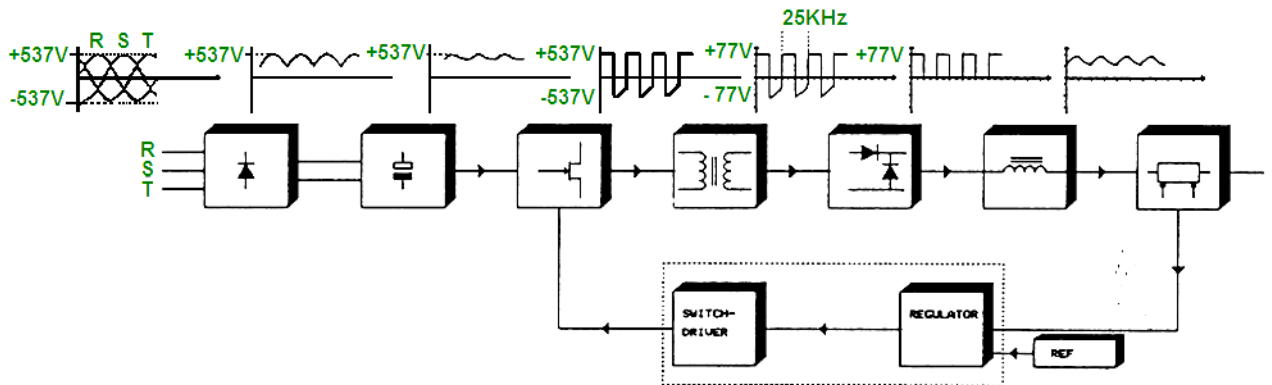
Obrázek 5.8 Snímek měřící antény

5.3. Svařovací zdroj LDH 160.

Zdroje LDH 160 byly výjimečné svou nízkou váhou a posunuly možnosti montážních strojů pro metodu MMA a TIG. Domnívám se, že tento zdroj ukázal směr, kterým se budou vyvíjet montážní stroje v dalších letech. Pulsní zdroje zcela vytlačily klasické transformátorové zdroje v oblasti MMA a TIG.



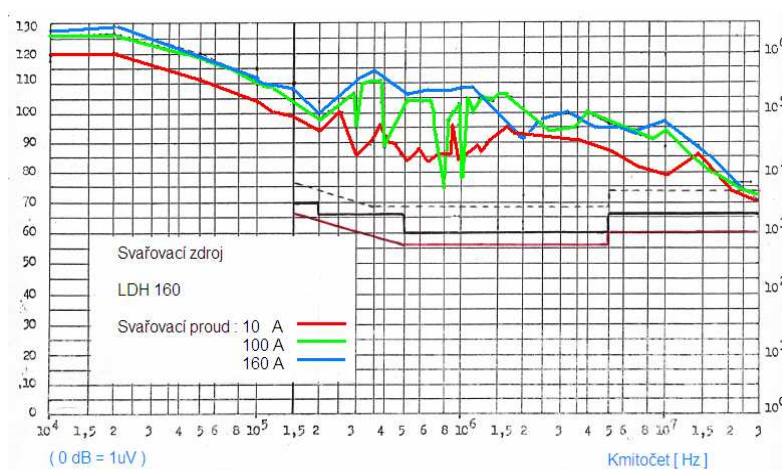
Obrázek 5.9 Tři modifikace svařovacího zdroje LDH 160



Obrázek 5.10 Blokové schéma svařovacího zdroje LDH 160

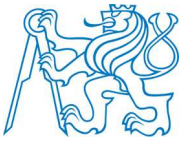
5.4. Test zdroje LDH 160 z hlediska EMI.

Měření se provádí na každém fázovém vodiči a to nejprve bez zátěže (naprázdno), dále se provádí měření při konstantním proudu zátěže

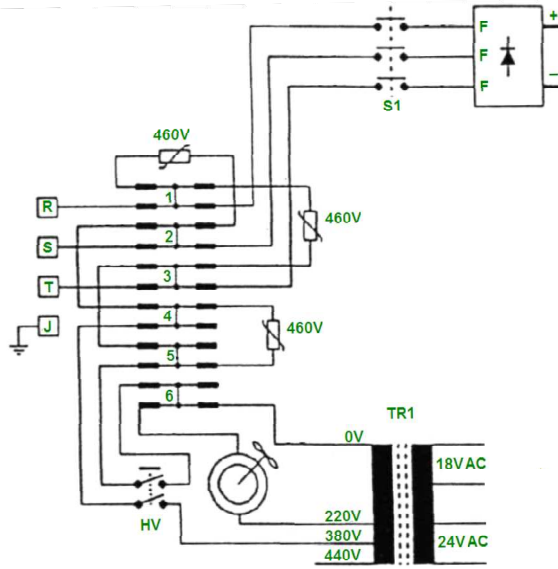


Obrázek 5.11 Graf průběhů rušivého napětí zdroje LDH 160

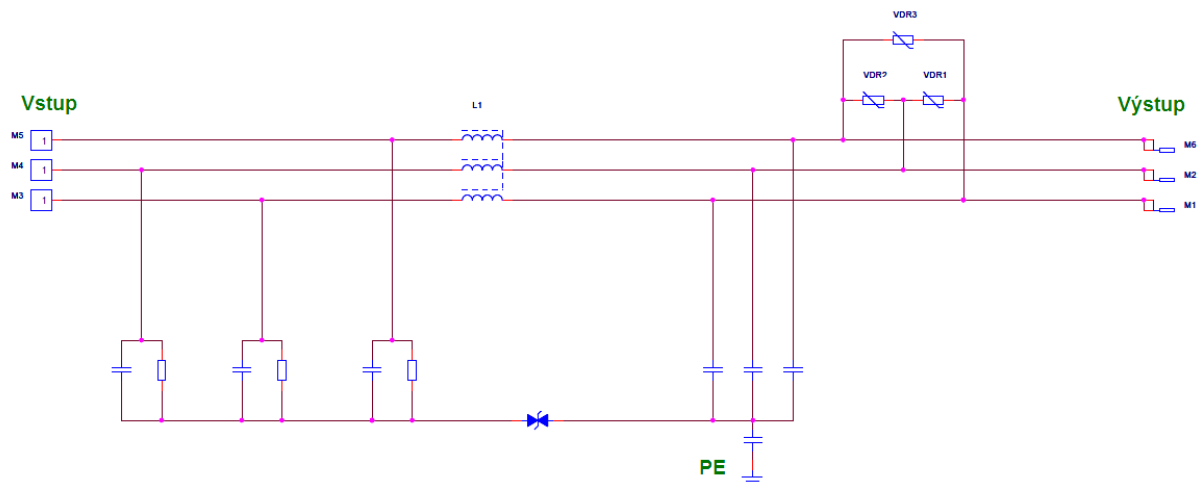
Tento graf názorně ukazuje překročení stanovené normy ve všech měřených proudových rozsazích. Důvodem překročení hranice stanovené normou je naprostá absence EMC filtru na vstupu invertoru. Vstup je chráněn pouze proti přepětí paralelními varistory na napětí 460 V AC. Výroba tohoto modelu skončila před více jak patnácti lety, kdy vývoj svařovacích



invertorů byl ve svých počátcích. Dnes již EMC filtry obsahují všechny pulzní zdroje vyráběné firmou Migatron. Velikost EMC filtru závisí na velikosti odebíraného proudu z roz. sítě.

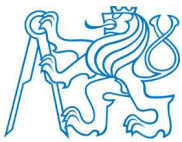


Obrázek 5.12 Schéma zapojení vstupní svorkovnice LDH 160



Obrázek 5.13 Schéma zapojení EMC filtru zdroje PI 250

Na obrázku 5.12 a 5.13 lze dobře rozpoznat rozdíl v odrušení zdroje LDH 160 a současného zdroje PI 250 s plnohodnotným EMC filtrem. Tento filtr obsahuje sériovou indukčnost na feritových jádrech a kapacity připojené proti kostře zdroje.



5.5. Měření vlivu svařovacích zdrojů na rozvodnou síť.

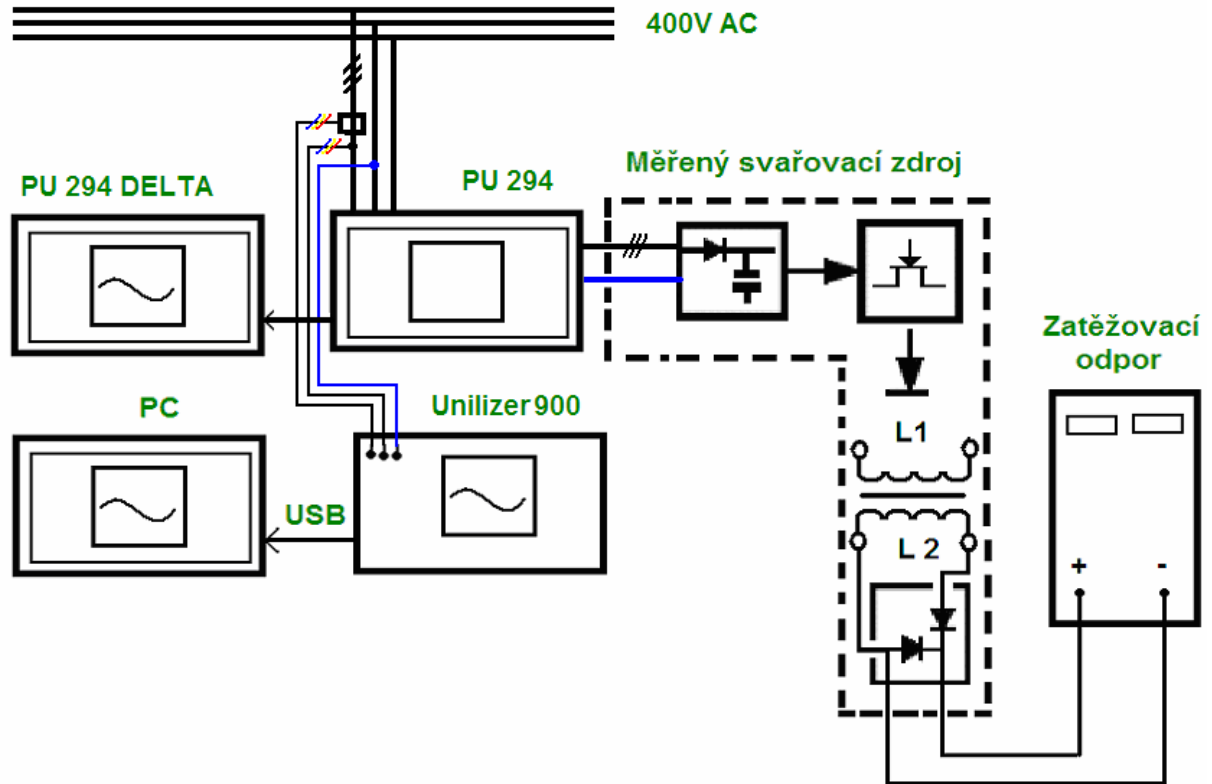
Použité přístroje:

- a) Unilizer 900, třída přesnosti A, výrobce Unipower (Švédsko).
- b) PU 294 DELTA, PU 294
- c) měřicí sondy napětí a proudu
- d) zatěžovací odpor SMP v. č. - 1153
- e) notebook HP Compaq PC 6320 v. č. – CNU716FWR
- f) měřený svařovací zdroj: Automig 223 MPS, Omega 223i, Delta 400

Použitý software: PQ Secure , PQ Online 3.

Postup měření:

Stanovený cíl je změřeni příkonu a $\cos\phi$ při různém proudovém zatížení svařovacích zdrojů a s použitím analyzátoru sítě posoudit zpětný vliv měřených zdrojů na síť. První měření provedeme při přesně definovaném proudu a napětí zátěže. Přesnou zátěž zajistíme zatěžovacím odporem SMP 1153, který je vybaven kalibrovanými měřidly proudu a napětí. Měření provedeme v celém proudovém rozsahu. Měřicí přístroj PU 294 DELTA a PU 294 připojíme do série s měřeným zdrojem. Analyzátor Unilizer 900 připojíme do stejného bodu jako měřený svařovací zdroj. Druhé měření provedeme při reálném svařování. Při tomto měření jsou použity také různé modifikace svařovacího přenosu jako je zkratový přenos, pulzní přenos, IGC a power arc.



Obrázek 5.14 Schéma zapojení pracoviště

Pro vytvoření představy příkládám snímek zdrojů a celkový pohled na měřící pracoviště.



Obrázek 5.15 Snímek pracoviště



Obrázek 5.16 Snímek Unilizer 900

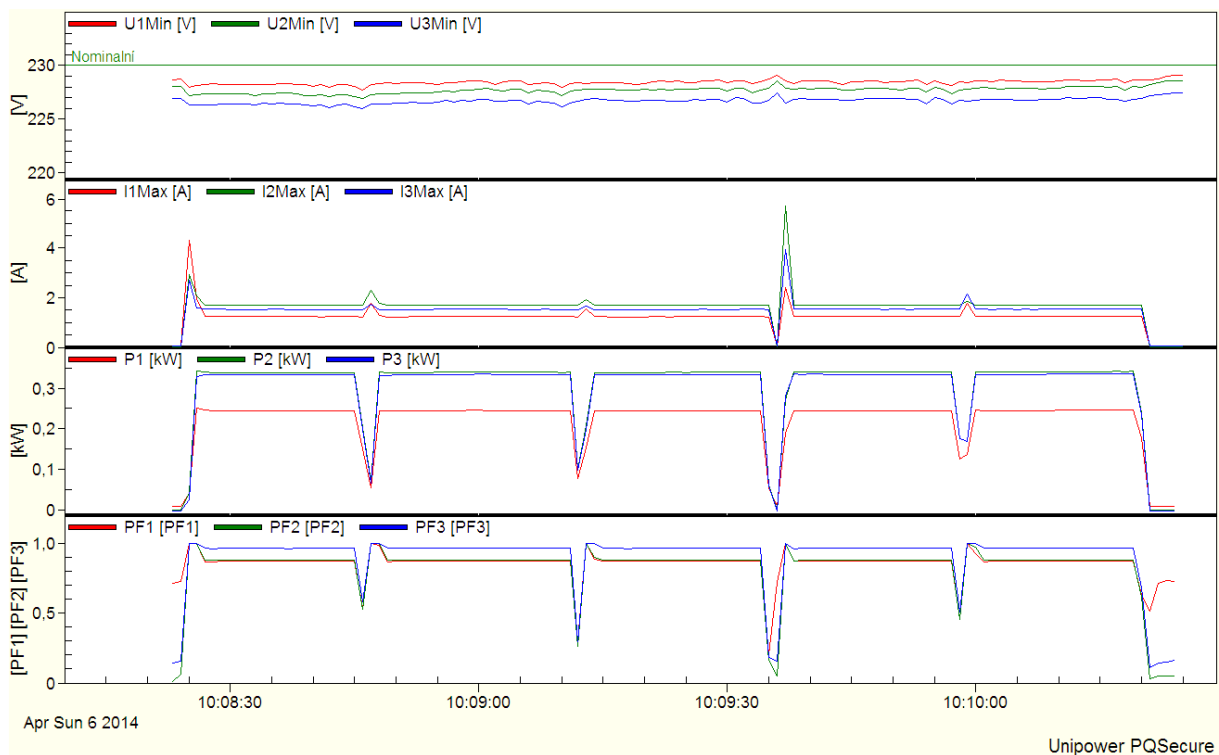


5.6. Skokově řízený zdroj versus pulzní měnič.

Při prvním měření jsem provedl porovnání vlivu klasického transformátorového svařovacího zdroje Automig 223 a svařovacího zdroje s pulzním měničem s označením Omega 223i. Podobnost názvů je záměrná, jedná se o stejnou výkonnostní kategorii zdrojů, značka (i) označuje inverter.

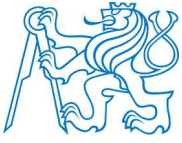
A. Automig 223 MPS.

Nejprve jsem provedl měření při konstantním proudu a napětí zátěže na zdroji Automig 223.

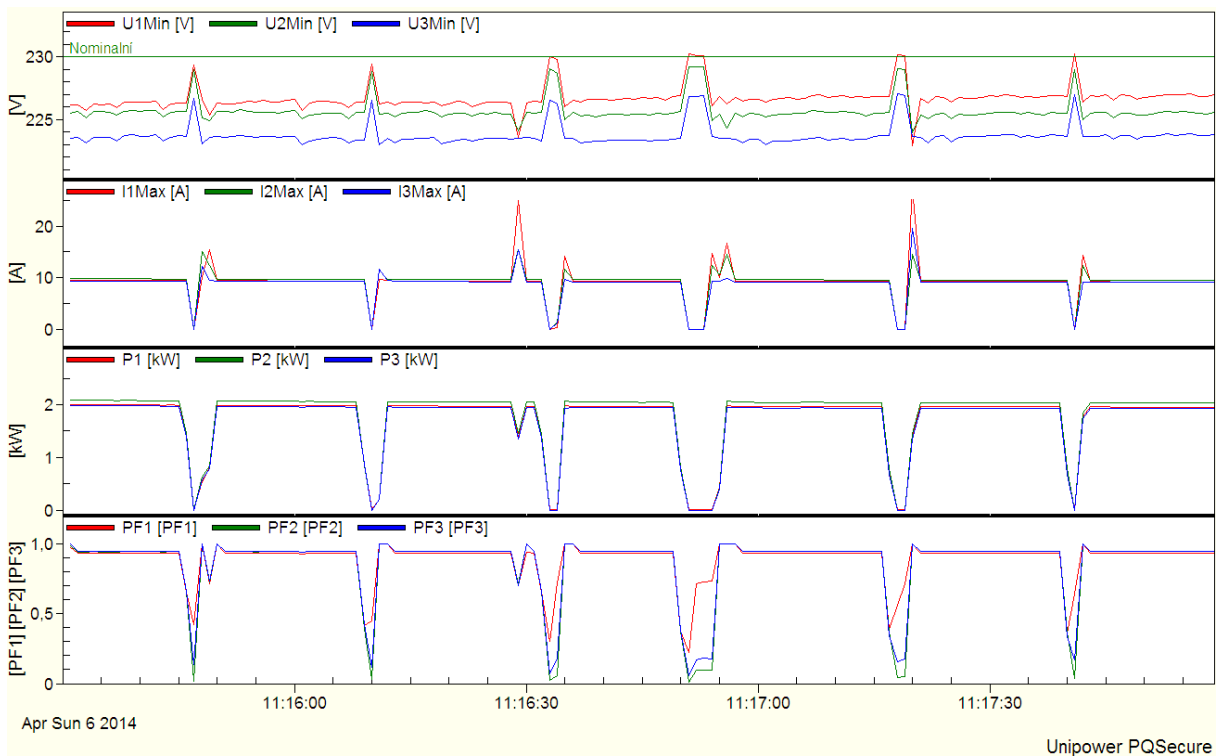


Obrázek 5.17 Nastavený proud zátěže 40 A_16.5 V, pravidelné spínání po 20 s

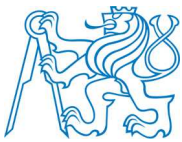
Automig 223 bilance příkonu a výkonu						
	proud zátěže[A]	napětí zátěže [V]	činný příkon [W]	činný výkon [W]	cos φ	účinnost [%]
1.	0	29	127	0	0,16	
2.	40	16	903	640	0,8	68%
3.	100	18.6	2 499	1860	0,91	74%
4.	200	20	6020	4000	0.92	67%



Obrázek 5.18 Nastavený proud zátěže 100 A_{18.5 V}, pravidelné spínání po 20 s



Obrázek 5.19 Nastavený proud zátěže 200 A_{20 V}, pravidelné spínání po 20 s



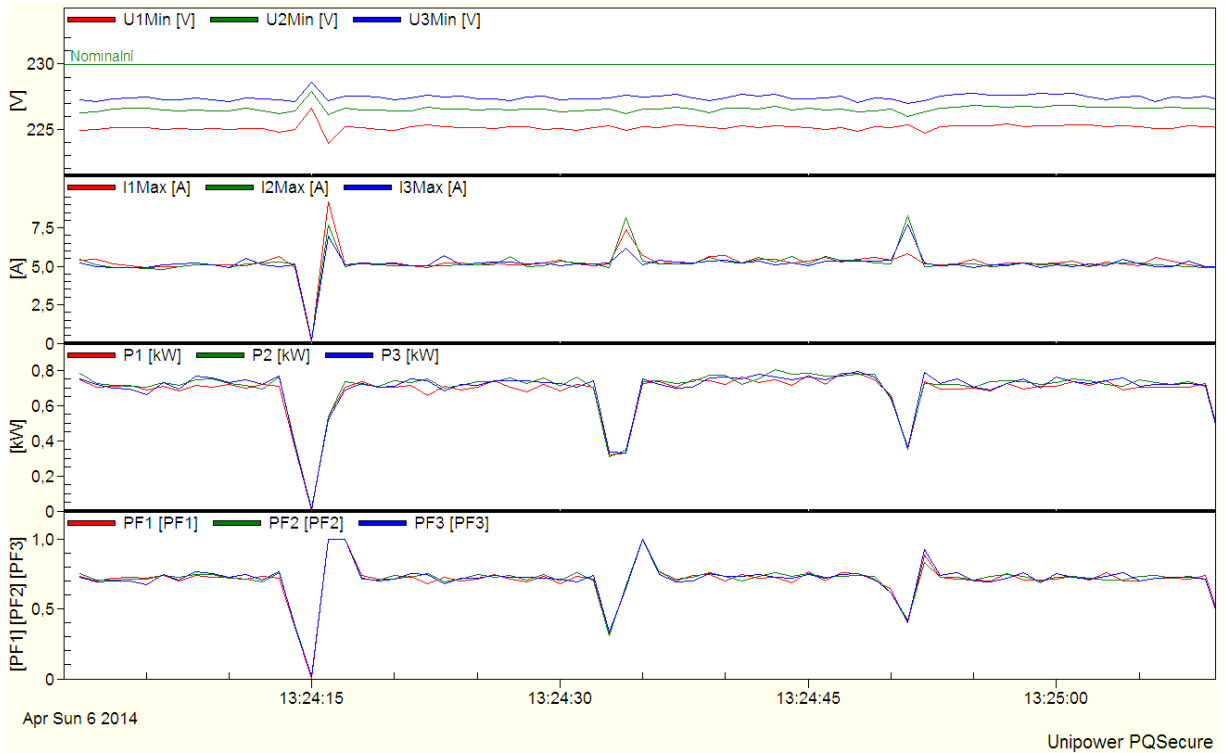
B. Svařovací zdroj Omega 223i.

Druhé měření jsem provedl při konstantním proudu a napětí zátěže na zdroji Omega 223i. Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o invertorový zdroj, u kterého lze plynule regulovat svařovací proud. Samozřejmostí je poloviční váha zařízení ve srovnání se skokově regulovaným zdrojem. Další výraznou výhodou je zabudovaná čtečka SD karet, která se využívá k aktualizaci svařovacích programů.



Obrázek 5.20 Nastavený proud zátěže 40 A_15.2 V, pravidelné spínání po 20 s

Omega 223i bilance příkonu a výkonu						
	proud zátěže[A]	napětí zátěže [V]	činný příkon [W]	činný výkon [W]	cos φ	účinnost [%]
1.	0	50	50	0	0.16	
2.	40	16.7	831	668	0.58	80%
3.	100	19	2 220	1900	0.72	86%
4.	200	24	5566	4800	0.89	86%



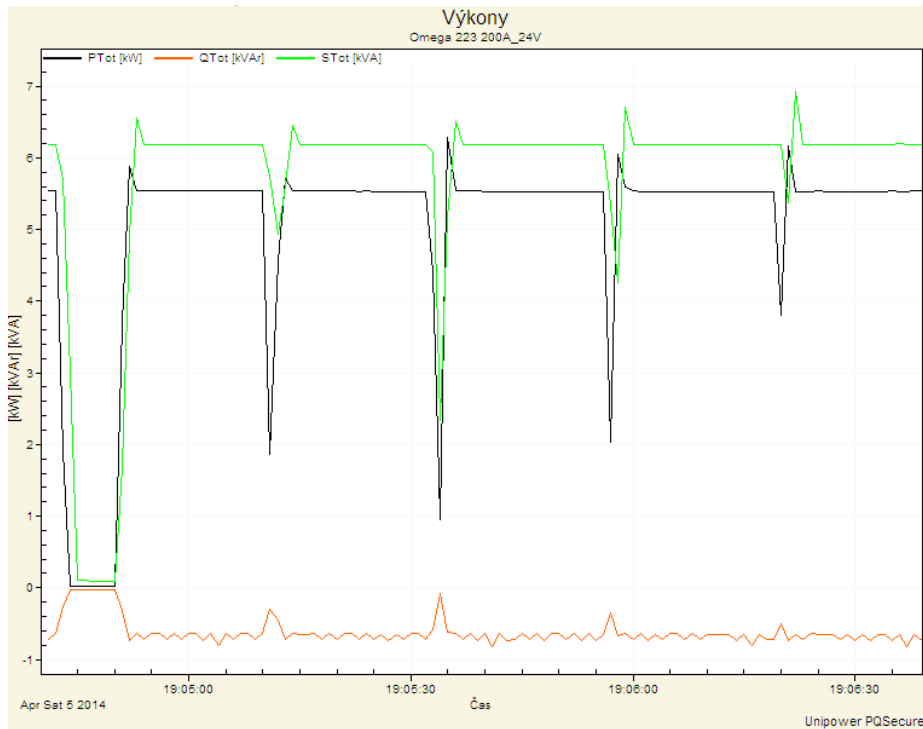
Obrázek 5.21 Nastavený proud zátěže 100 A _17.6 V, pravidelné spínání po 20 s



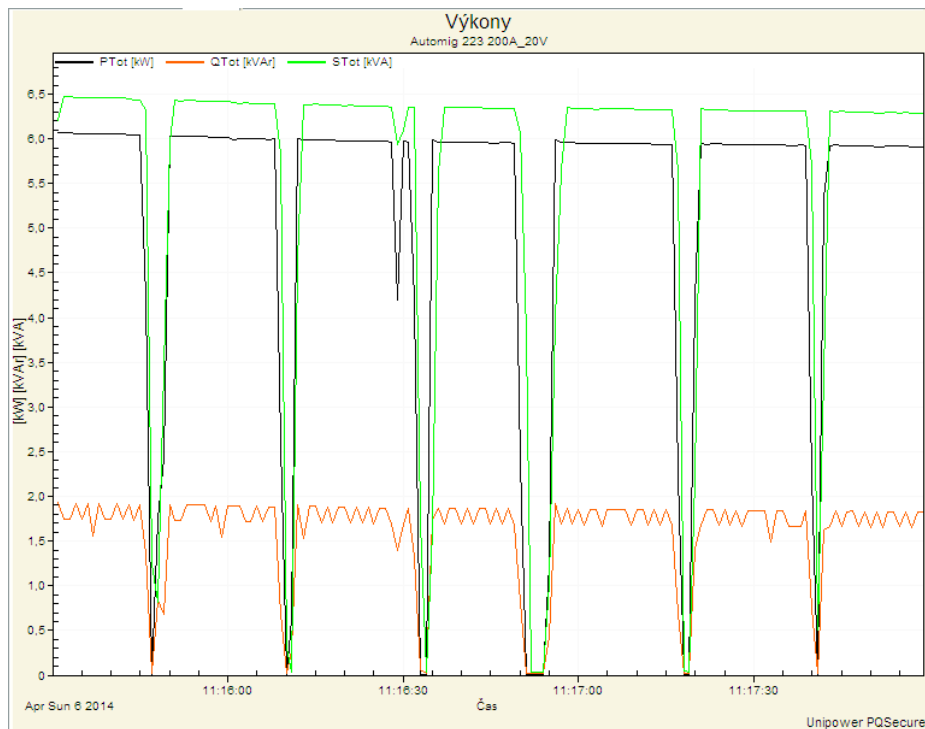
Obrázek 5.22 Nastavený proud zátěže 200 A _28.8 V, pravidelné spínání po 20 s.



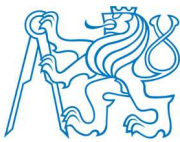
C. Porovnání jalového výkonu odebíraného ze sítě.



Obrázek 5.23 Činný, zdánlivý a jalový výkon při proudu zátěže 200 A_{24 V}, zdrojem O223i



Obrázek 5.24 Činný, zdánlivý a jalový výkon při proudu zátěže 200 A_{24 V}, zdrojem A223



Rekapitulace odebíraných výkonů v tabulkách.

Kanál	Analyzátor	Max	99.5%	95%	5%	0.5%	Min	#
PTot [kW]	Omega 223 200A_24V	6,2767	6,1742	5,5458	0,0279	0,0219	0,0219	120
QTot [kVAr]	Omega 223 200A_24V	-0,0280	-0,0288	-0,0307	-0,7375	-0,8208	-0,8208	120
STot [kVA]	Omega 223 200A_24V	6,9252	6,7089	6,1924	0,1004	0,0859	0,0859	120

Kanál	Analyzátor	Max	99.5%	95%	5%	0.5%	Min	#
PTot [kW]	Automig 223 200A_20V	6,0679	6,0655	6,0539	0,0071	0,0071	0,0071	150
QTot [kVAr]	Automig 223 200A_20V	1,9278	1,9246	1,9090	0,0200	0,0198	0,0198	150
STot [kVA]	Automig 223 200A_20V	6,4695	6,4685	6,4558	0,3014	0,0274	0,0274	150

V průběhu měření nebyl zjištěn žádný vliv na síť, který by překračoval normy. Lze však konstatovat, že tyto svařovací zdroje vliv na síť jistě mají. Transformátorový zdroj Automig 223 má značný odběr jalového výkonu ze sítě, a to až šedesátkrát větší, než invertorový zdroj. Ten také dosahuje větší účinnosti, v tomto případě až o dvacet procent. Je nutné však říci, že v standby režimu má transformátorový zdroj třikrát nižší spotřebu, než invertorový zdroj Omega 223i.

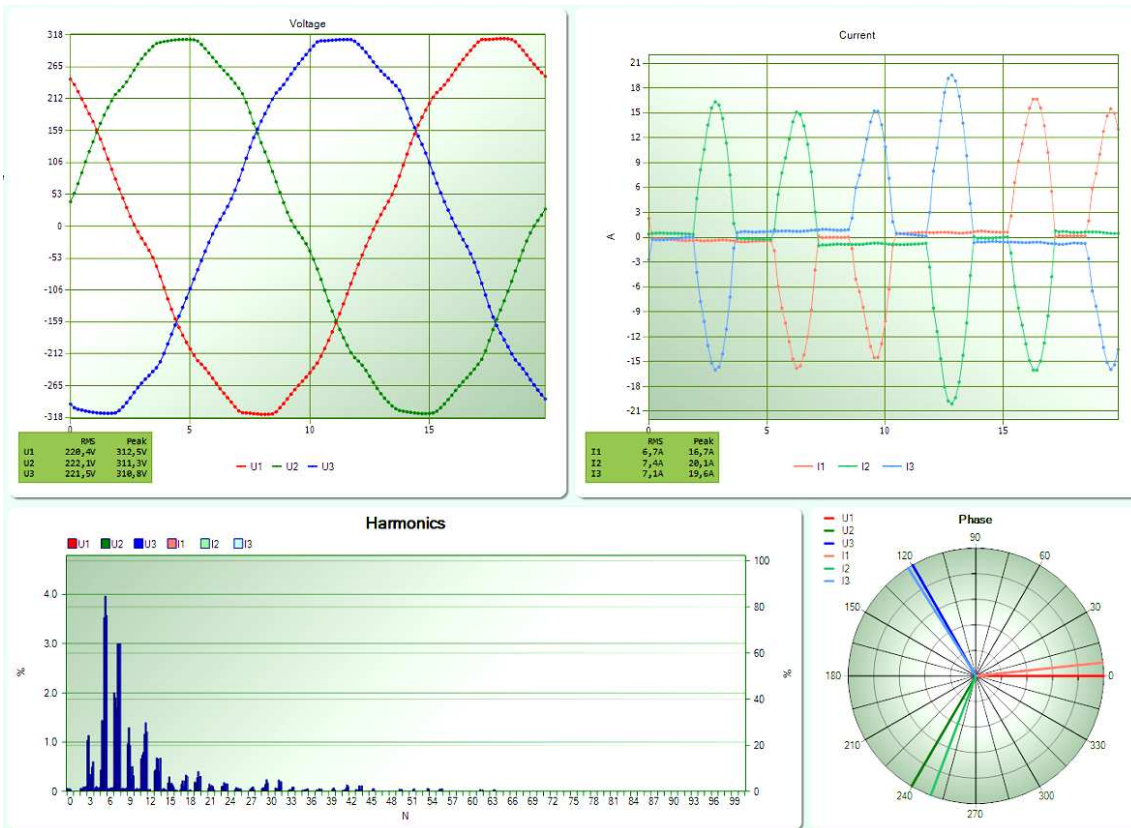
5.7. Delta 400 DC měření v průběhu svařování.

Dalším měřeným zdrojem je spínaný zdroj Delta 400 DC. Na tomto zdroji jsem se zaměřil na deformace sinusového průběhu a tím vzniklých vyšších harmonických. Záznamy byly pořízeny v průběhu svařování, při definovaném proudu a napětí zátěže. Je zřejmé, že se nejedná o zcela konstantní zátěž. Svařovací proud a napětí závisí na délce oblouku a čistotě základního materiálu.

Delta 400 bilance příkonu a výkonu						
	proud zátěže[A]	napětí zátěže [V]	činný příkon [W]	činný výkon [W]	cos φ	účinnost [%]
1.	0	56	108	0		
2.	50	22	1312	1100	0,58	83%
3.	100	24	2 800	2400	0,64	86%
4.	200	28	6470	5600	0,72	87%
5.	300	32	11 310	9600	0,77	85%
6.	400	36	16 820	14 400	0,81	86%



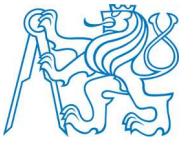
A. Záznam z osciloskopu při svařování proudem 100 A_22 V.



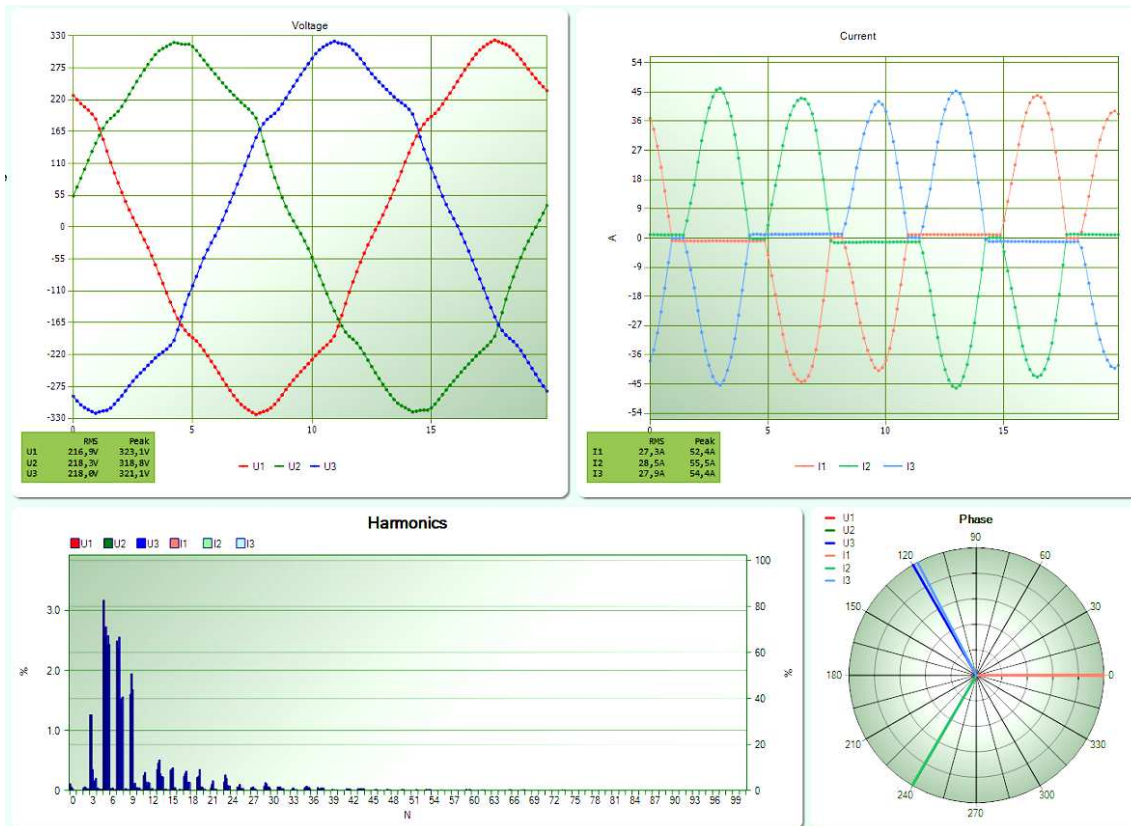
Obrázek 5.25 Nastavený proud zátěže 100 A_22 V, svařování metodou MMA



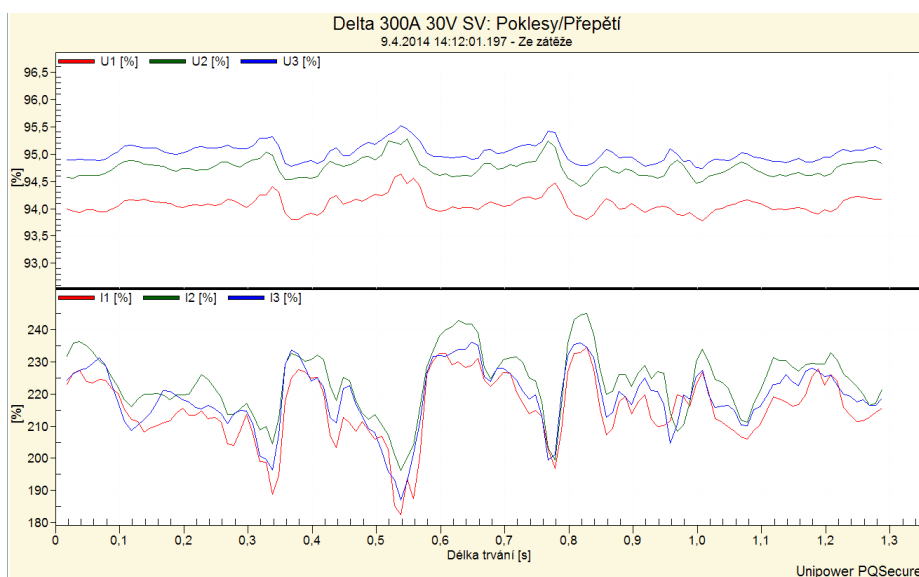
Obrázek 5.26 Nastavený proud zátěže 100 A_22 V, svařování metodou MMA / 20 s



B. Záznam z osciloskopu při svařování proudem 300 A_30 V.



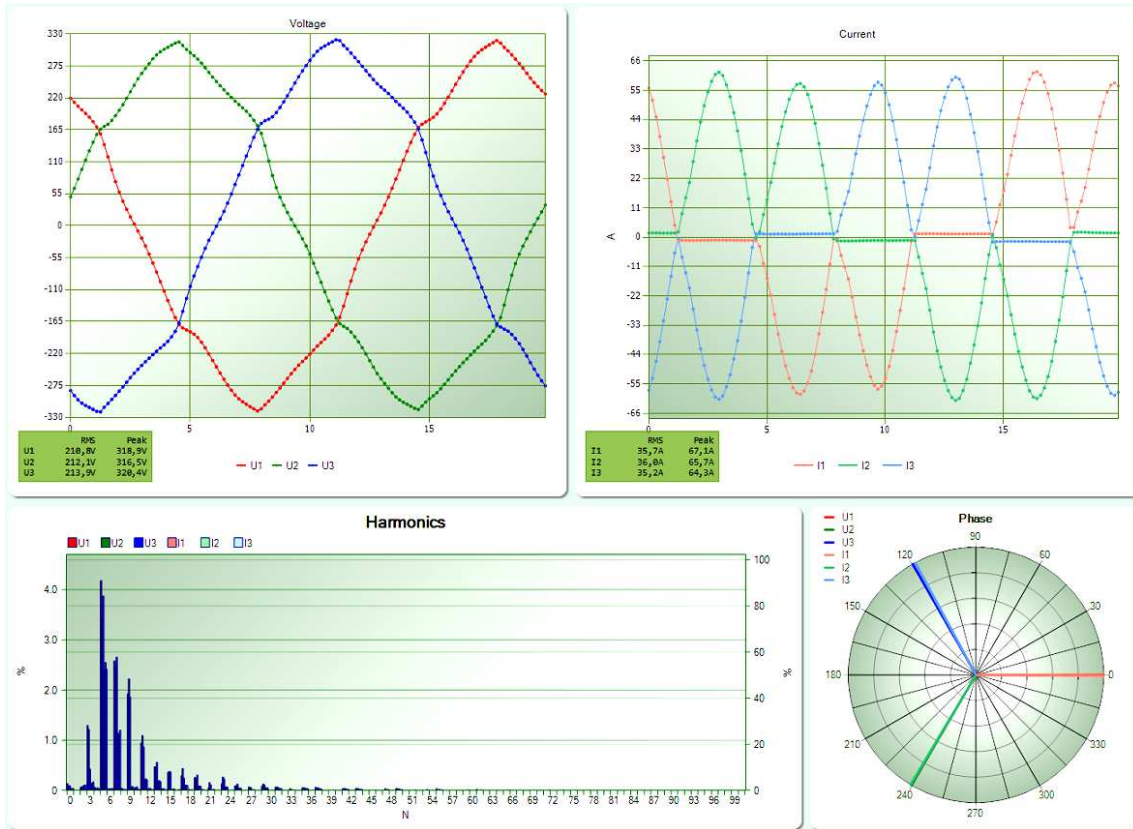
Obrázek 5.27 Nastavený proud zátěže 300 A_30 V, svařování metodou MMA



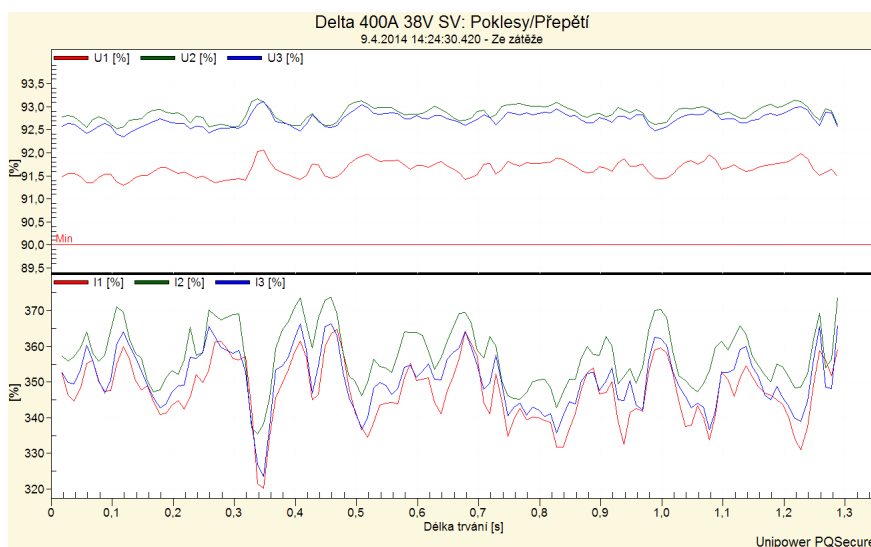
Obrázek 5.28 Nastavený proud zátěže 300 A_30 V, poklesy napětí



C. Záznam z osciloskopu při svařování proudem 400 A _38 V.



Obrázek 5.29 Nastavený proud zátěže 400 A_38 V, svařování metodou MMA

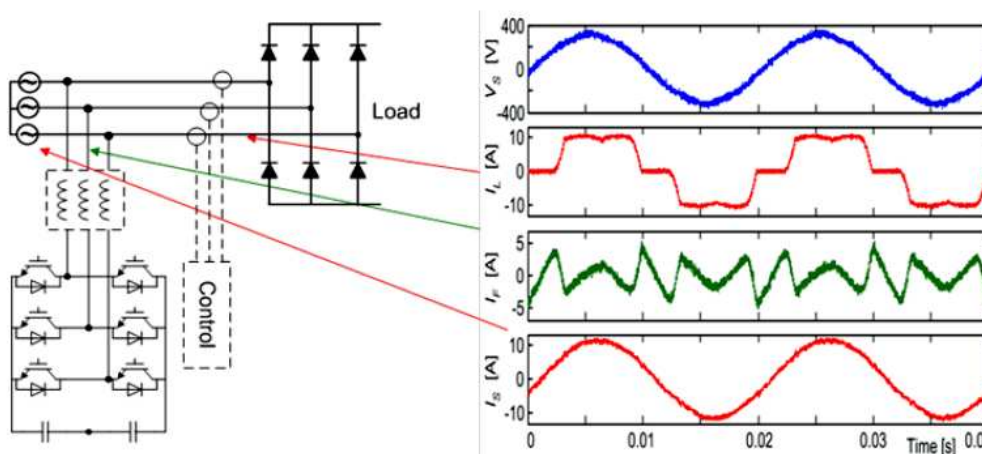


Obrázek 5.30 Nastavený proud zátěže 400 A_38 V, poklesy napětí

Měřený svařovací zdroj Delta 400 způsoboval značné deformace napájecího sinusového napětí, vznik vyšších harmonických kmitočtů. Při postupném zvyšování svařovacího proudu lze pozorovat průběh deformací, kdy při proudu 400 A_38 V je deformace maximální. Tento zdroj nelze v Evropské unii již více než dva roky prodávat, jelikož nesplňuje zpřísněné limity norem EMC pro rušení.

5.8. Kompenzace vyšších harmonických kmitočtů.

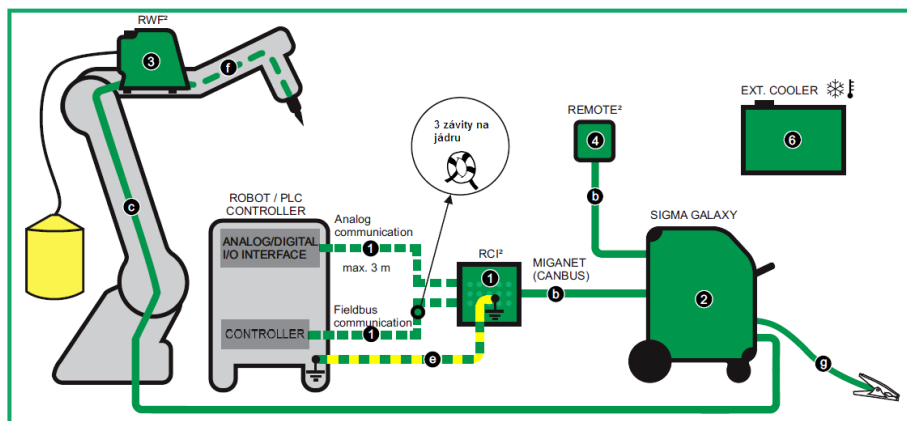
Zde je patrné, že výrobce je zodpovědný za jedno konkrétní zařízení v případě souběhu více zařízení s pulzními měniči může doházet k překročení norem stanovující limity vyšších harmonických kmitočtů. Toto překročení však již musí řešit provozovatel zařízení.



Obrázek 5.31 Schéma funkce aktivního filtru od firmy Danfoss

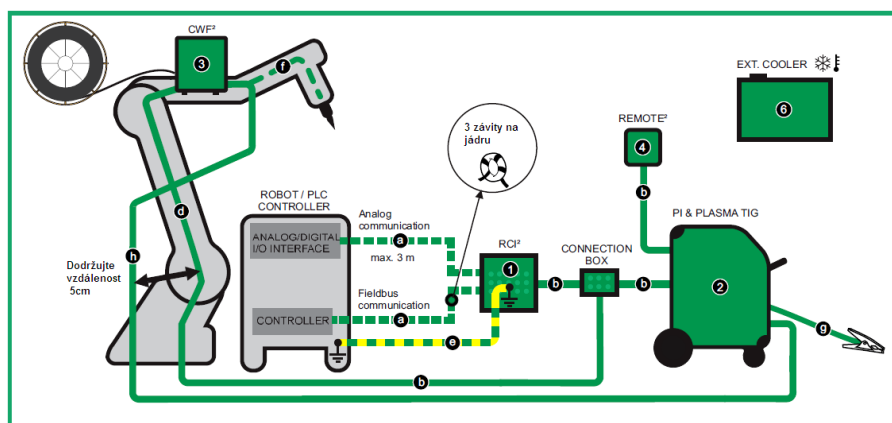
Vzhledem k proměnné zátěži je podle mého názoru vhodné použít aktivní filtry, které jsou schopny monitorovat aktuální stav v rozvodné síti a operativně kompenzovat vyšší harmonické kmitočty a jalové výkony. Domnívám se, že velké výrobní společnosti řeší tento problém centrální kompenzací. Avšak firmy zaměřující se na svařování, s počtem svařovacích zdrojů v desítkách kusů zatím tyto vlivy neřeší.

5.9. Praktický dopad rušení na délku datových kabelů.



1. Interface
2. Svařovací zdroj
3. Podavač drátu
4. Dálkový regulátor
5. Robot kontrolér
6. Externí chlazení

Obrázek 5.32 Schéma robotizovaného pracoviště pro Migové zdroje



- a. Signálový kabel
- b. CAN kabel
- c. Mezikabel pro MIG
- d. Mezikabel pro robota
- e. Uzemnění
- f. Svařovací hořák
- g. Zemnicí kabel
- f. Mezikabel

Obrázek 5.33 Schéma robotizovaného pracoviště pro Tigové a Plazmové zdroje

Tabulka doporučených délek svařovacích a datových kabelů s ohledem na rušení zařízení a spolehlivost řídicích obvodů u robotizovaných pracovišť.

Svařovací proces	Vzdálenost od pracoviště (c + f + h)	Celková délka svařovacího obvodu (c + f + g + h)	Celková délka CAN kabelů (b + d + c)
MIG – IAC and pulse	10 m	20 m	30 m
MIG – non pulse	30 m	60 m	30 m
TIG	10 m	20 m	30 m



6. Zdroje stejnosměrného svařovacího napětí.

Stejnoseměrné svařovací zdroje můžeme rozdělit do tří základních kategorií. První z nich jsou zdroje pro svařování metodou TIG/WIG. Ve druhé kategorii jsou zdroje pro svařování metodou MIG/MAG a třetí kategorií jsou zdroje pro metodu MMA.

6.1. Stejnoseměrné zdroje pro svařování metodou TIG/WIG.

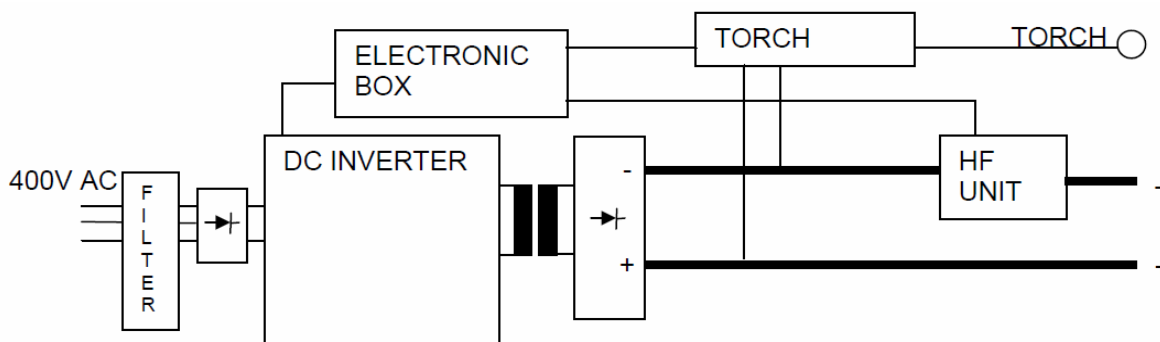
První kategorie je v současné době zastoupena zdroji s označením Delta a PI. Zdroje, které mají nejmenší proudový rozsah jsou zdroje Delta 160 HP. Proudový rozsah těchto zdrojů je zakódován do samotného názvu, PI 200 DC má maximální sekundární proud 200 A. Dále následují zdroje s označením PI 250 DC, PI 350 DC a PI 500 DC. Tyto zdroje využívají topologii fázově posunutého plně řízeného můstkového měniče.



Obrázek 6.1 Snímek rodiny svařovacích zdrojů PI 200 DC, PI 250 DC, PI 500 DC

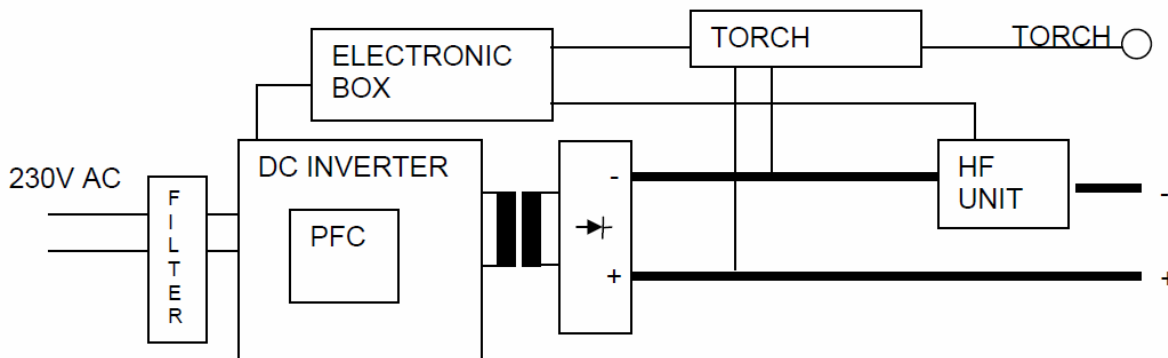
6.2. Bloková schémata DC zdrojů PI.

Blokové schéma obsahuje základní díly zdroje znázorněné do jednotlivých bloků. Schéma ukazuje vstupní EMC filtr na vstupu napětí 3 x 400 V AC. Tento filtr je nezbytnou součástí všech pulzních zdrojů. Dalším blokem je znázorněn třífázový usměrňovací můstek, následuje blok s DC výkonovým modulem. Z výkonového modulu je připojen transformátor, který pracuje na frekvenci cca 90 kHz. Střídavé napětí z transformátoru je usměrněno výstupním usměrňovačem. V dalších blocích jsou znázorněny řídicí box, HF modul a modul ovládání tigového hořáku.



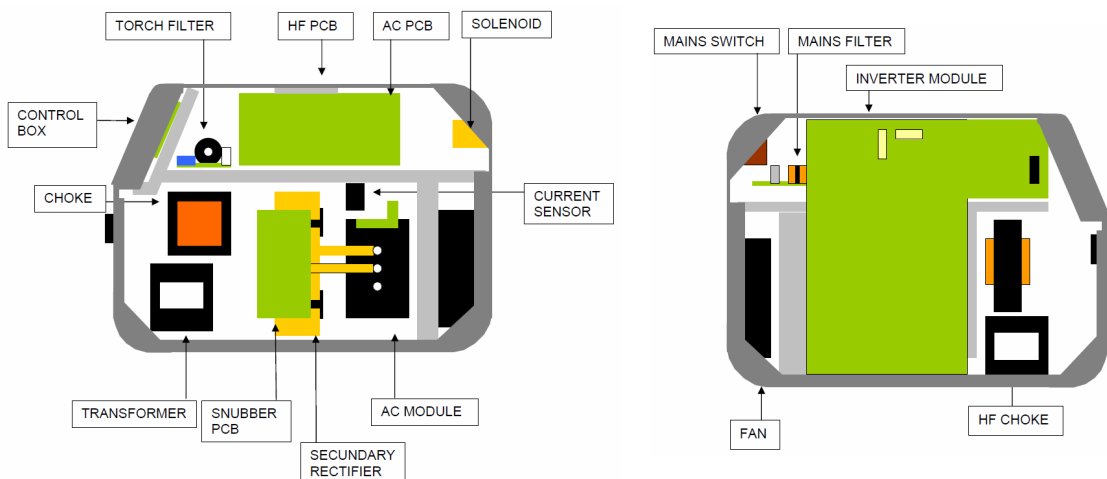
Obrázek 6.2 Blokové schéma svařovacího zdroje PI 250 DC

Následné blokové schéma popisuje zdroj napájený 230 V AC. Schéma obsahuje jednofázový EMC filtr. DC výkonový modul obsahuje vstupní usměrňovač a PFC obvod, který bude následně podrobně popsán. Ostatní díly jsou totožné s blokovým schématem PI 250 DC.



Obrázek 6.3 Blokové schéma svařovacího zdroje PI 200 DC PFC

6.3. Fyzické rozmístění dílů ve zdrojích PI.

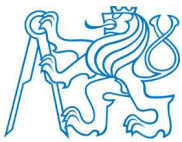


Obrázek 6.4 Snímek fyzického rozmístění dílů ve zdrojích PI 250

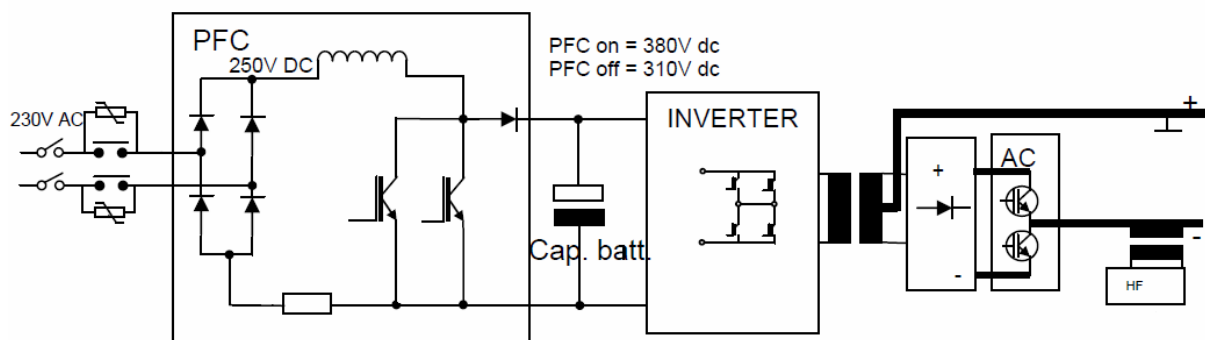
Celá konstrukce je kovová a dělí vnitřní prostor na tři části. V horní je umístěn EMC filtr a PCB HF modulu. Řídicí box je upevněn v samostatné části. Ve spodním prostoru je uložena celá výkonová část. Výkonové prvky jsou umístěny na hliníkových chladících profilech, které jsou chlazeny nuceným průchodem vzduchu. Chlazení zajišťuje mohutný ventilátor umístěný v zadní části zdroje. Váha zdroje činí 20 kg. U tohoto zdroje s proudovým rozsahem to představuje 12.5 A na 1kg váhy zdroje.

6.4. Silové schéma zapojení zdrojů PI.

Silové schéma popisuje zapojení zdroje PI 200 DC PFC od přívodu po stejnosměrný výstup. Napájecí napětí 230 VAC je vedeno na vstupní relé, jehož kontakty jsou překlenovány termistory, které zajišťují zpomalení nárazového proudu při nabíjení filtrační kapacity. U starších zdrojů byly využívány drátové rezistory, často však docházelo k jejich přepálení, proto jsou s výhodou pro jejich vlastnosti používány termistory. V okamžiku nabití dochází k sepnutí kontaktů relé. Dalším dílem je vstupní usměrňovací můstek, indukčnost a dva tranzistory PFC obvodu, který je aktivován při poklesu napětí. PFC obvod kompenzuje poklesy napětí

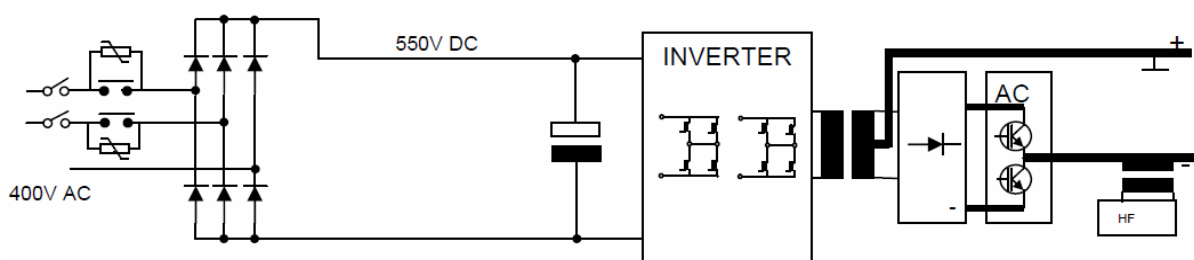


v napájecí síti. Následuje filtrační baterie kondenzátorů. U těchto kondenzátorů je důležitá dostatečná tepelná a napěťová odolnost. Kondenzátory, které jsou použity, mají napěťovou odolnost 400 V – 450 V a pracovní teplotu 115 °C. Stejnoseměrné napětí je přivedeno na tranzistory plně můstkového fázově posunutého měniče. Do diagonály je zapojeno primární vinutí vysokofrekvenčního transformátoru, který je navinutý z plochého měděného vodiče. Jádra jsou vyrobená z feritu. Sekundární vinutí je vyvedeno na výstupní usměrňovač, střed sekundárního vinutí představuje kladný pól.



Obrázek 6.5 Schéma silového obvodu svařovacího zdroje PI 200 DC

Druhé silové schéma popisuje zapojení zdroje PI 250 DC. Tento zdroj je na rozdíl od předchozího napájen třífázovým napětím 3 x 400 V AC. U tohoto zdroje již není potřeba obvod PFC, jelikož na třífázové síti nedochází k tak značným poklesům síťového napětí jako u jednofázového napájení 230 V. Vstupní můstek je trojfázový. Další výkonové díly jsou již totožné se zdrojem PI 200 DC .



Obrázek 6.6 Schéma silového obvodu svařovacího zdroje PI 200 DC



6.5. Stejnoseměrné zdroje pro svařování metodou MIG/MAG.

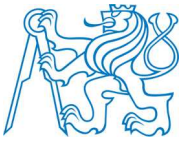
Stejnoseměrné svařovací zdroje pro metodu MIG/MAG mají mnohem širší zastoupení než zdroje pro metodu TIG. Důvodem je větší rozšíření těchto zdrojů a pestrost odvětví, kde lze tyto zdroje používat. Zdroje jsou vyráběny ve dvou základních řadách, a to zdroje Omega a Sigma, doplňkem jsou pak zdroje RM 161i, které lze využít pro metodu MIG, TIG, MMA. Do kategorie MIG spadá i nejmodernější zdroj s označením Sigma Galaxy 400, který bude popsán v samostatné kapitole.



Obrázek 6.7 Snímek rodiny svařovacích zdrojů Sigma² 400, Omega² 550, 400, 300



Obrázek 6.8 Snímek svařovacího zdroje
RallyMIG 161i

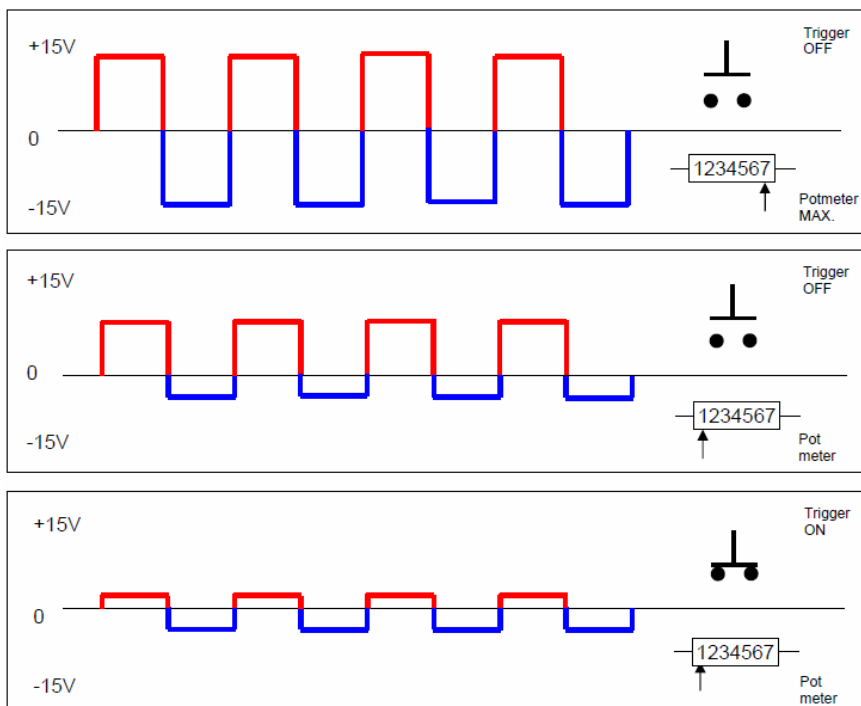


6.6. Svařovací hořáky pro metodu MIG/MAG.



Obrázek 6.9 Dva snímky hořáků TWIST MV 450

Řídicí box vysílá obdélníkový signál o frekvenci 100 Hz do svařovacího hořáku. V rukojeti je umístěn tištěný spoj s mikropínačem a potenciometrem 10 kΩ. Z rukojeti hořáku lze spínat svař. proud, ochranný plyn a podávání přídatného materiálu. Dále lze z rukojeti řídit svařovací proud v rozsahu 1-7.

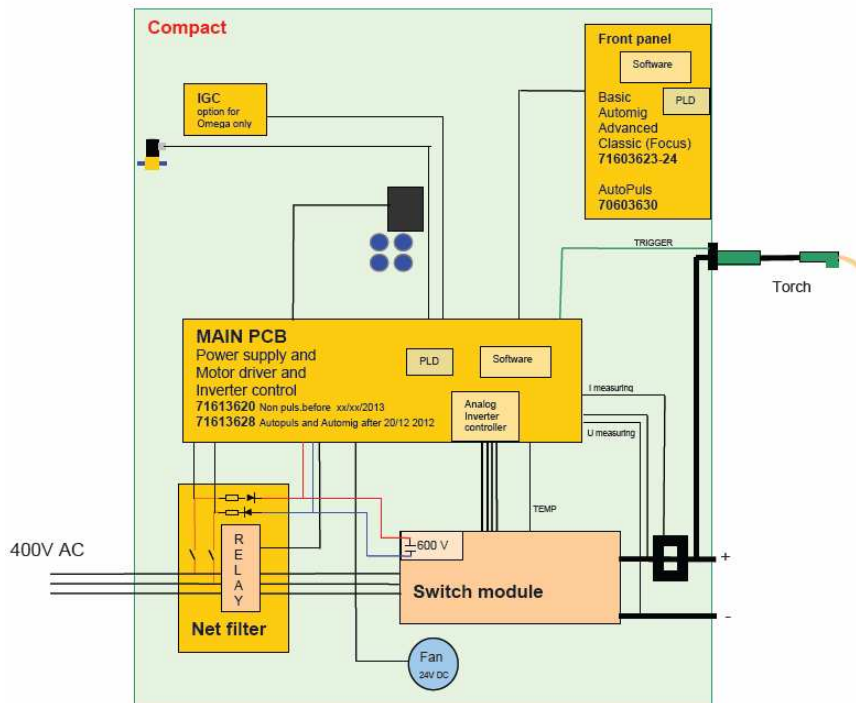


Obrázek 6.10 Snímek obdélníkových průběhů ovládní Migového hořáku



6.7. Bloková schémata DC zdrojů Omega.

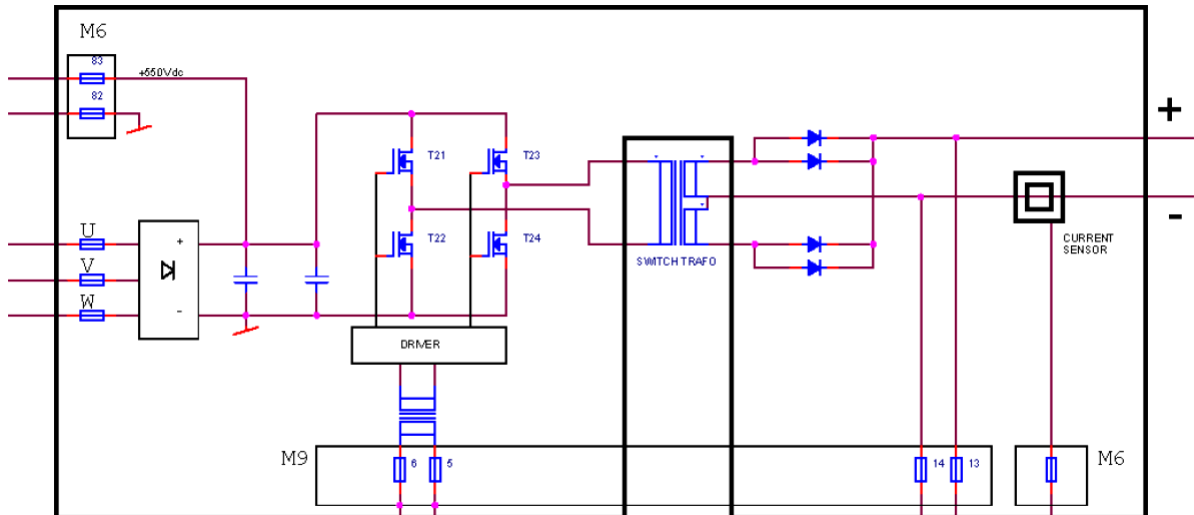
Blokové schéma zdrojů Omega obsahuje všechny hlavní části a jejich vzájemné propojení. Na vstupu je umístěn EMC filtr kombinovaný s nabíjecím obvodem. Jedná se o kombinaci, která je využívána v Migových zdrojích Migatronic velmi často. Následný blok obsahuje kompletní výkonový modul. Na výstupu je patrná Hallova sonda určena k snímání sekundárního proudu a napojení svařovacího hořáku na plusový vývod zdroje. Dalším dílem je PCB, na které je umístěno kompletní řízení, napájecí zdroj a řízení pulzního měniče. Migatronic v posledních letech využívá programovatelné obvody PLD. Lze tak jednoduše modifikovat konkrétní PCB pro daný svařovací zdroj a náhradní díly jsou tak značně univerzální a použitelné do celé řady zdrojů Omega. Důležitou součástí každého zdroje je řídicí box, jsou zde umístěny ovládací prvky a dva displeje zobrazující svařovací proud, napětí, případně chybová hlášení. Jedny z posledních dílů jsou řízení spínání plynu, solenoidový ventil a motor podavače přídavného drátu.



Obrázek 6.11 Blokové schéma svařovacího zdroje Omega 400

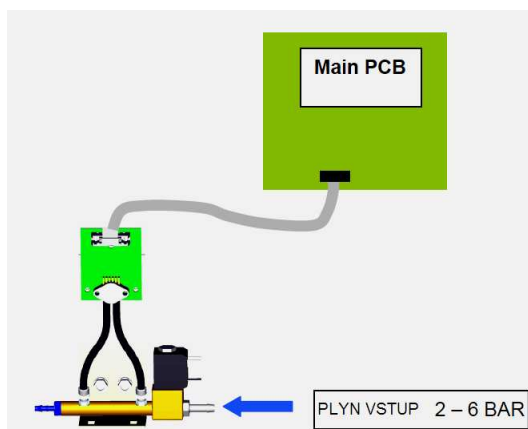


6.8. Silové schéma DC zdrojů Omega.



Obrázek 6.12 Silové schéma zdrojů Omega

Schéma znázorňuje zapojení silové části zdrojů Omega. Trojfázový přívod je veden na vstupní usměrňovač, dále jsou na schématu patrné filtrační kapacity a fázově posunutý můstkový měnič. Ve spodní části je umístěno řízení měniče. Z měniče je napájen vysoko frekvenční transformátor, který má na sekundárním vinutí napojen uzlový usměrňovač. Na výstupu lze rozpoznat napěťovou a proudovou zpětnou vazbu.



Obrázek 6.13 Snímek IGC

7. Zdroje střídavého svařovacího napětí.

7.1. Střídavé zdroje pro svařování metodou TIG/WIG.

Střídavé zdroje napětí jsou zastoupeny zdroji Focus 200 AC/DC, PI 200 AC/DC, PI 250 AC/DC, PI 350 AC/DC a PI 500 AC/DC. PI 500 AC/DC je zdroj s největším proudovým rozsahem 500A.

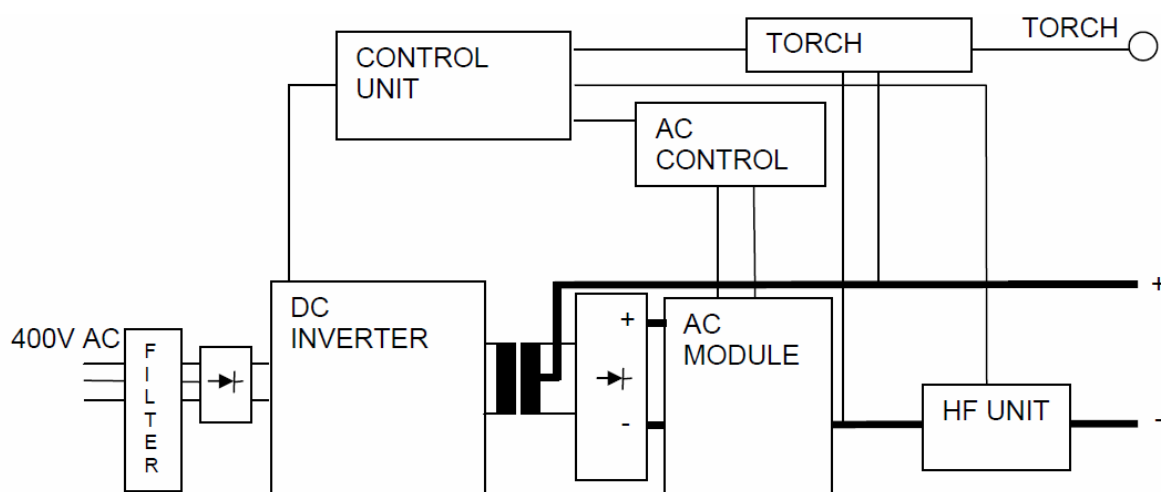


Obrázek 7.1 Snímek rodiny svařovacích zdrojů PI 200, 250, 350, 500 AC/DC

Celá řada svařovacích zdrojů PI je již koncepčně tvořena jako univerzální modulový stroj. Pokud zákazník požaduje průmyslový zdroj na obalenou elektrodu, je mu nabídnut zdroj PI 250 MMA, dále lze tento stroj modifikovat na svařování metodou TIG /WIG v režimu DC s tím, že lze stroj využívat také na obalenou elektrodu. Poslední modifikací je metoda TIG/WIG v režimu AC/DC. Tuto nejvyšší řadu lze samozřejmě používat také v režimu MMA, TIG/WIG.

7.2. Bloková schémata zdrojů střídavého napětí.

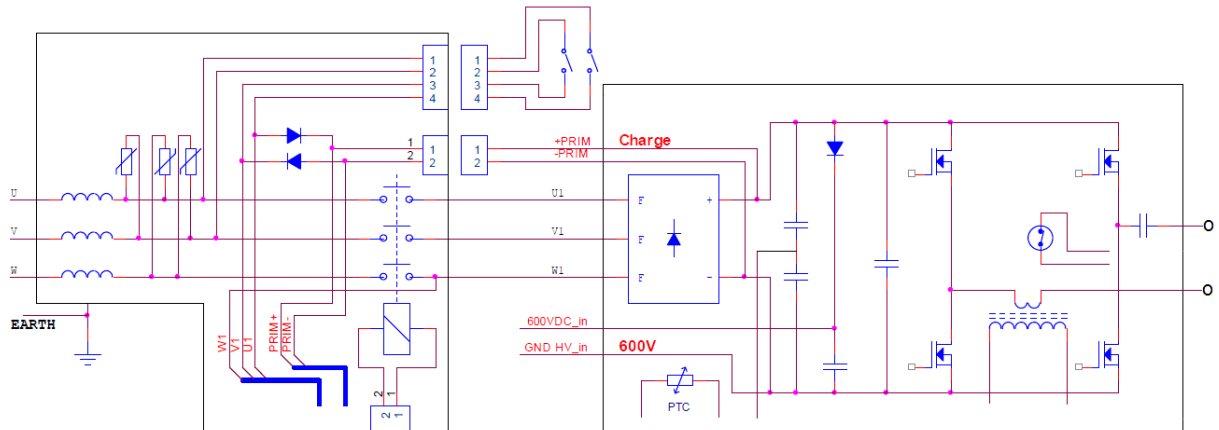
Blokové schéma obsahuje základní díly zdroje znázorněné do jednotlivých bloků. Díky modulovému uspořádání jsou díly téměř totožné s popisem zdroje PI 250 DC. Tento zdroj je pouze rozšířen o výstupní střídačový modul a jeho řídicí PCB. Čelní box je doplněn ovládacími prvky pro svařování v AC režimu.



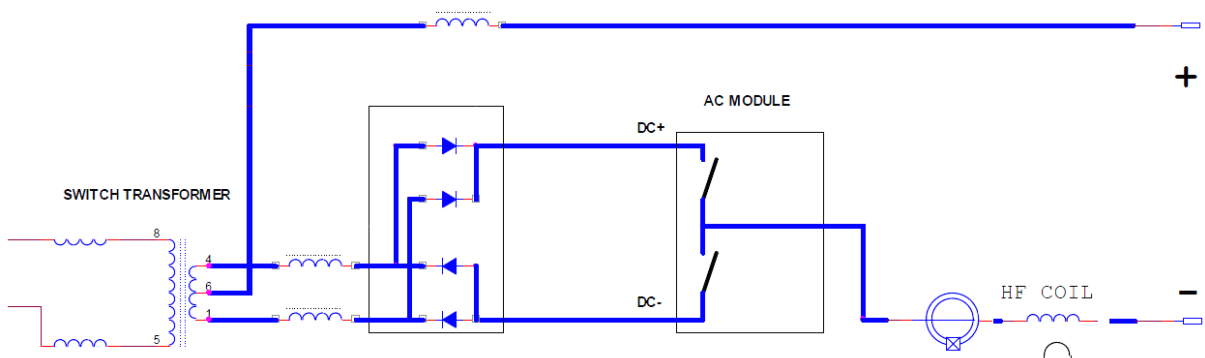
Obrázek 7.2 Blokové schéma svařovacího zdroje PI 500 AC/DC

7.3. Schémata zapojení zdrojů střídavého napětí.

Jak již bylo zmíněno, na předchozí stránce, střídavé zdroje obsahují totožné díly jako zdroje DC doplněné o střídač. Střídač je realizován jedním nebo dvěma IGBT moduly, přes které je přenášen celý svařovací proud. Dalším dílem, který je nezbytný, je řídicí obvod pro IGBT moduly. Z důvodů spínacích rázů je také posílen výstupní usměřovač, a to jak proudově v propustném směru, tak napěťově v závěrném směru. Musím konstatovat, že IGBT moduly vykazují vysokou spolehlivost, zejména ve srovnání s paralelním chodem jednotlivých tranzistorů.

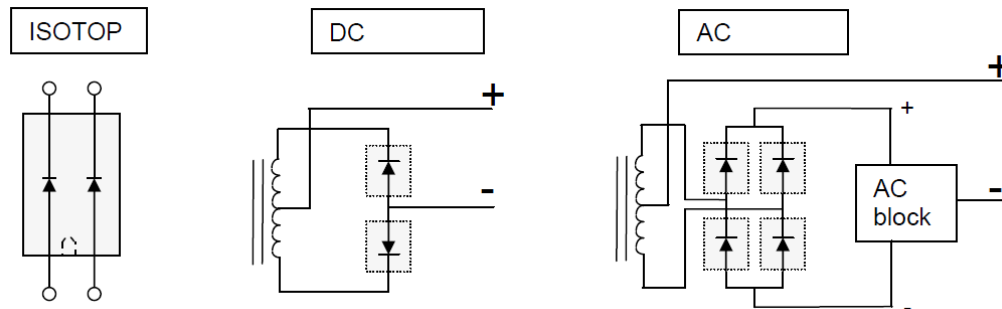


Obrázek 7.3 Schéma primární části svařovacího zdroje PI 500 AC/DC



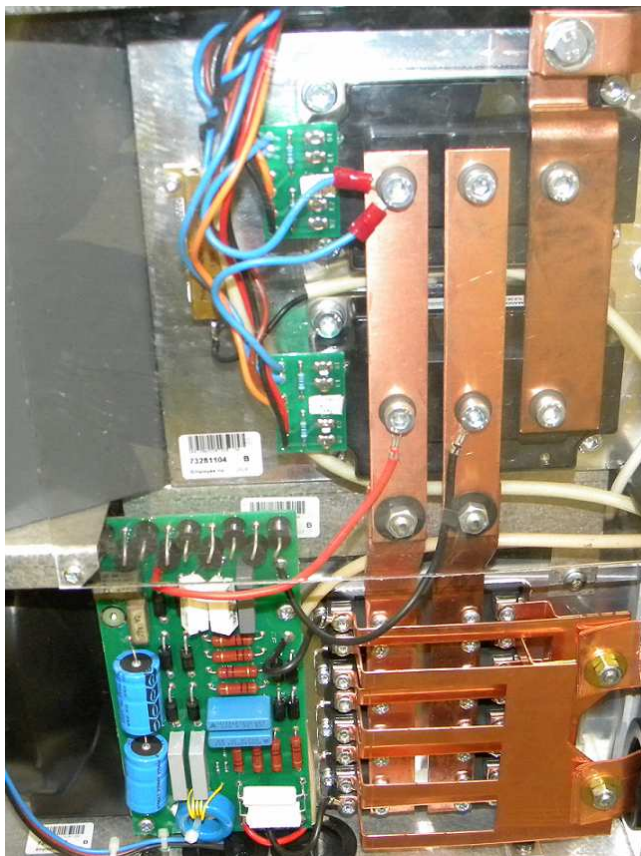
Obrázek 7.4 Schéma sekundární části svařovacího zdroje PI 500 AC/DC

Na schématu sekundární části je patrný spínací transformátor s vyvedeným středem. Dále výstupní usměrňovač složený z čtyř izotopů, následuje IGBT modul, který střídavě připíná kladné a záporné napětí. Na výstupu je umístěna Hallova sonda na snímání svařovacího proudu a výstupní indukčnost.



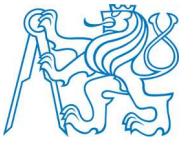
Obrázek 7.5 Schéma výstupních usměrňovačů

Tento snímek ukazuje srovnání zapojení výstupních usměrňovačů u zdrojů PI 250DC a PI 250 AC/DC.



Na snímku v horní části je vyobrazen střídač složený ze dvou IGBT modulů. Na levé straně je připojeno řízení modulů. Ve spodní části jsou na chladiči upevněny izotopy výstupního usměrňovače. V levé spodní části je zobrazen snuber kombinovaný s bustrem. Propojení všech částí střídače je provedeno šroubovými spoji, jenž je značná výhoda s ohledem na případný servis. Tento střídač přenáší proud 500 A a je použitý ve střídavém zdroji PI 500 AC/DC.

Obrázek 7.6 Snímek střídače a usměrňovače PI 500 AC/DC



8. Modifikace zkratového přenosu.

8.1. Sigma Galaxy 400.

Sigma Galaxy 400 je moderní svařovací zdroj pro metody MIG/MAG. Stroj jsem vybral na porovnání metod řízení svařovacího oblouku s možností ovlivnění přenosu energie do základního materiálu. V první části bude popsán svařovací zdroj z pohledu použitých dílů a vnitřního zapojení. Nejprve bych ale představil některé přednosti tohoto stroje, který posouvá svařování o další krok kupředu. První co každého zaujme, je přehledný barevný displej, který graficky znázorňuje zadávané funkce a nastavení. V nabídce přednastavených progra-



mů lze najít vše, co dnešní svařovací zdroj musí splňovat, a dovoluji si konstatovat, že i něco navíc. Tím myslím funkci IAC Intelligent Arc Control umožňující řízení svařovacího oblouku tak, že vykazuje velkou stabilitu i v nízkých proudových rozsazích. Dalšími přednostmi jsou funkce IGC–Intelligent gas control a v neposlední řadě čtečka SD karet, která je umístěna na boční straně řídicího boxu. Dále bych také zmínil funkci MIGA LOG, která umožňuje sledovat a zaznamenávat průběh svařování, což v dnešní době, kdy je kladen značný důraz na spotřebu, lze s výhodou použít pro přesnou kalkulaci nákladů na zhotovení daného výrobku.

Obrázek 8.1 Snímek svařovacího zdroje Sigma Galaxy 400



K úsporným funkcím lze přiřadit i funkci IGC, s jejíž pomocí lze optimalizovat spotřebu použitého plynu. Velkou předností tohoto stroje je modulové řešení, které umožňuje rychlou diagnostiku případné závady, na kterou upozorní chybové hlášení na displeji stroje. Tato funkce obsahuje také historii případných chyb včetně přesného data a hodiny. Rozmístění jednotlivých modulů je přehledné a umožňuje tak snadnou výměnu.



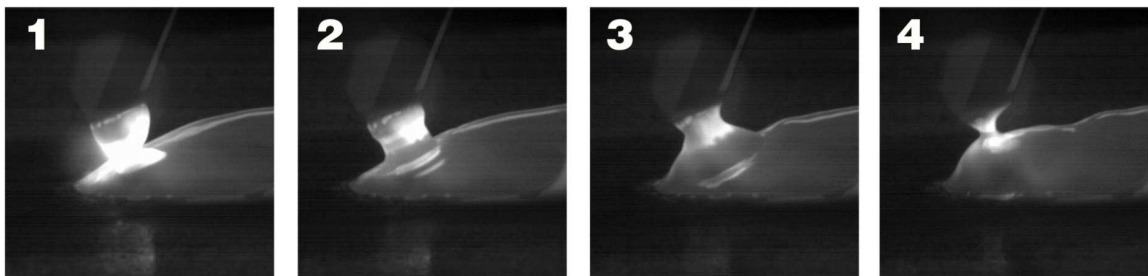
Obrázek 8.2 Snímek ovládacího panelu s barevným displejem

TYP STROJE	GALAXY 300	GALAXY 400	GALAXY 500
Napájecí napětí +/- 15 % (50-60Hz)	3 x 400 V	3 x 400 V	3 x 400 V
Pojistky	16 A	20 A	32 A
Proud činný	16,0 A	16,5 A	27,8 A
Proud max.	18,3 A	28,2 A	35,0 A
Příkon, 100%	11,1 kVA	11,4 kVA	19,3 kVA
Příkon, max.	12,7 kVA	19,5 kVA	24,2 kVA
Příkon naprázdno	40 VA	40 VA	40 VA
Účinnost	0,84	0,82	0,90
Účinnost	0,90	0,90	0,90
Proudový rozsah	15 - 300 A	15 - 400 A	15 - 500 A
Zatěžovatel 20°C (MIG/MAG)	300 A/100%	310 A/100%	475 A/100%
Zatěžovatel 20°C (MIG/MAG)	-	400 A/60%	500 A/80%
Zatěžovatel 40°C (MIG/MAG)	270 A/100%	280 A/100%	420 A/100%
Zatěžovatel 40°C (MIG/MAG)	300 A/80%	350 A/60%	450 A/60%
Zatěžovatel 40°C (MIG/MAG)	-	400 A/40%	500 A/55%
Napětí naprázdno	80 V	80 V	78 - 95 V
¹ Třída aplikace	S	S	S
² Třída ochrany	IP23	IP23	IP23
Norma	IEC60974 -1, - 2, - 5 EN/IEC60974 -10 (Třída A)	IEC60974 -1, - 2, - 5 EN/IEC60974 -10 (Třída A)	IEC60974 -1, - 2, - 5 EN/IEC60974 -10 (Třída A)
Rozměry C-L (v x š x d,cm)	90,6 x 52,4 x 92,5	90,6 x 52,4 x 92,5	90,6 x 52,4 x 92,5
Rozměry C-W (v x š x d,cm)	105,1 x 52,4 x 92,5	105,1 x 52,4 x 92,5	105,1 x 52,4 x 92,5
Rozměry S-W (v x š x d,cm)	114,4 x 52,4 x 103,1	114,4 x 52,4 x 103,1	114,4 x 52,4 x 103,1
Hmotnost C-L/C-W/S-W, kg	58/69/85	58/69/85	60/71/87

Obrázek 8.3 Technická data zdroje Sigma Galaxy

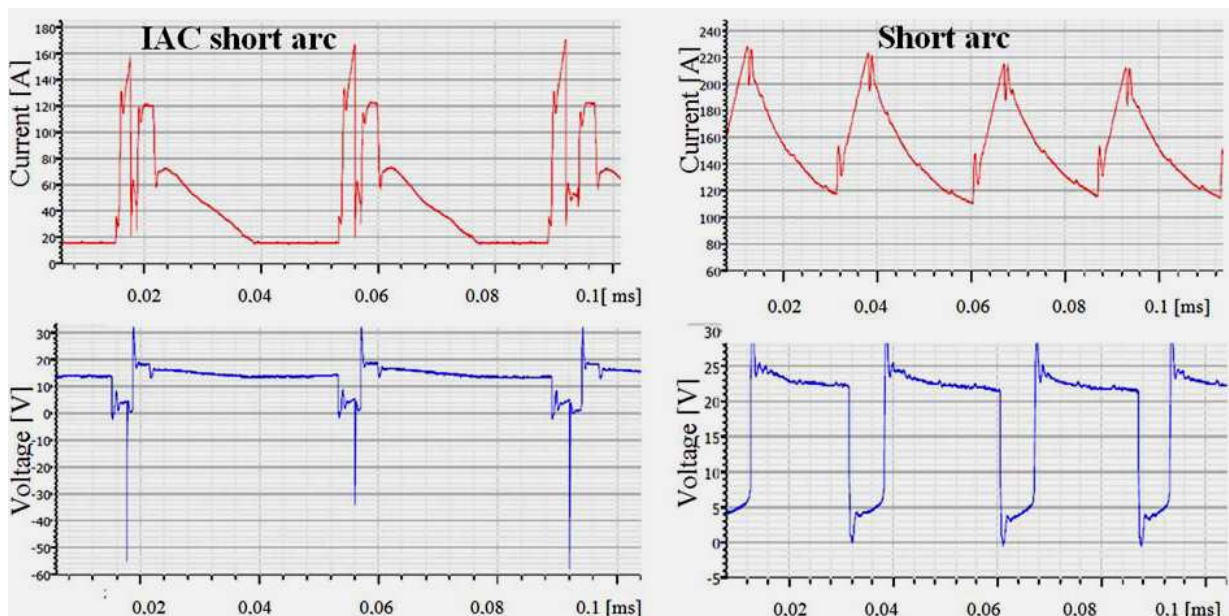
8.2. Funkce Intelligent Arc Control – IAC.

Funkce inteligentní řízení oblouku IAC umožňuje použití zcela nové technologie inteligentního a adaptivního způsobu řízení postupu svařování zkratovým obloukem, během kterého automaticky reaguje na veškeré změny v oblasti roztaveného svarového kovu.



Obrázek 8.4 Průběh oddělení kapky v IAC režimu

IAC versus standardní zkratový proces



Obrázek 8.5 Referenční průběhy proudu a napětí ve zkratovém a IAC režimu

8.3. Měření průběhu proudu ve zkratovém a IAC režimu.

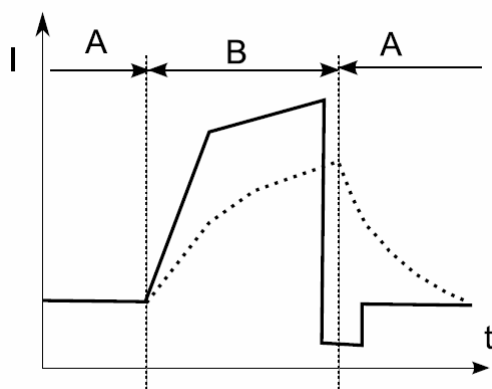
Použité přístroje:

- digitální osciloskop RIGOL DS1102CA v.č. – DS1AC133800341
- měřící sonda
- oddělovací transformátor OT230.012 v.č. - 96886
- notebook HP Compaq PC 6320 v.č. – CNU716FWR
- svařovací zdroj Sigma Galaxy 400 v.č. - 14030521

Použitý software: Ultrascope For DS1000CA Series.

Postup měření:

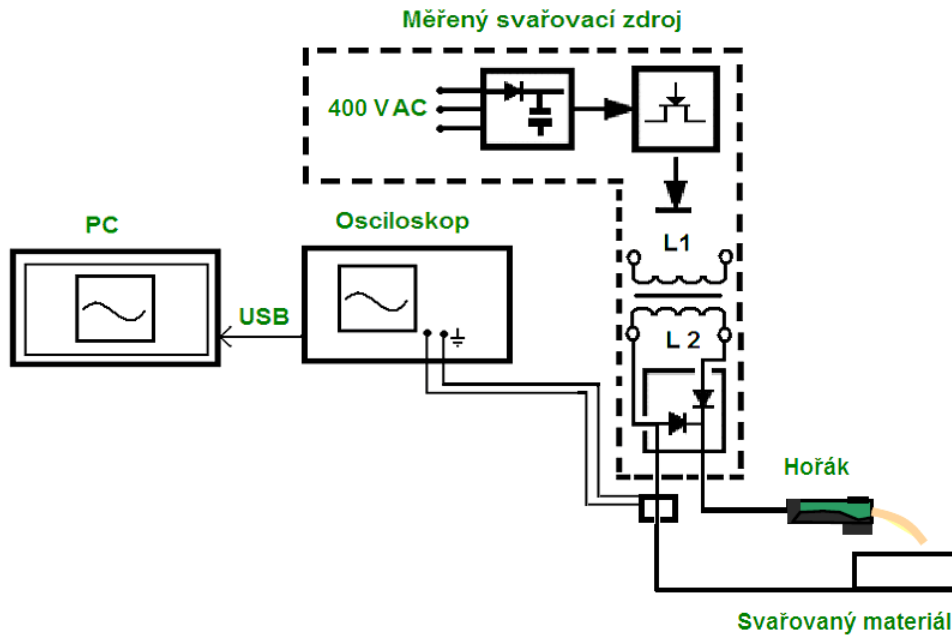
Na svařovací zdroj byla připojena měřící proudová sonda a bylo provedeno měření v průběhu svařování. Postupně byly nastaveny režimy IAC a zkratový režim a to při různém nastavení svařovacího proudu od 60 A do 150 A. Cílem měření bylo potvrdit pravdivost referenčních průběhů prezentovaných v předchozí části. Měření napětí nebylo provedeno z důvodu nedostatečné citlivosti osciloskopu.



Obrázek 8.6 Průběh proudu při zkratovém a IAC procesu



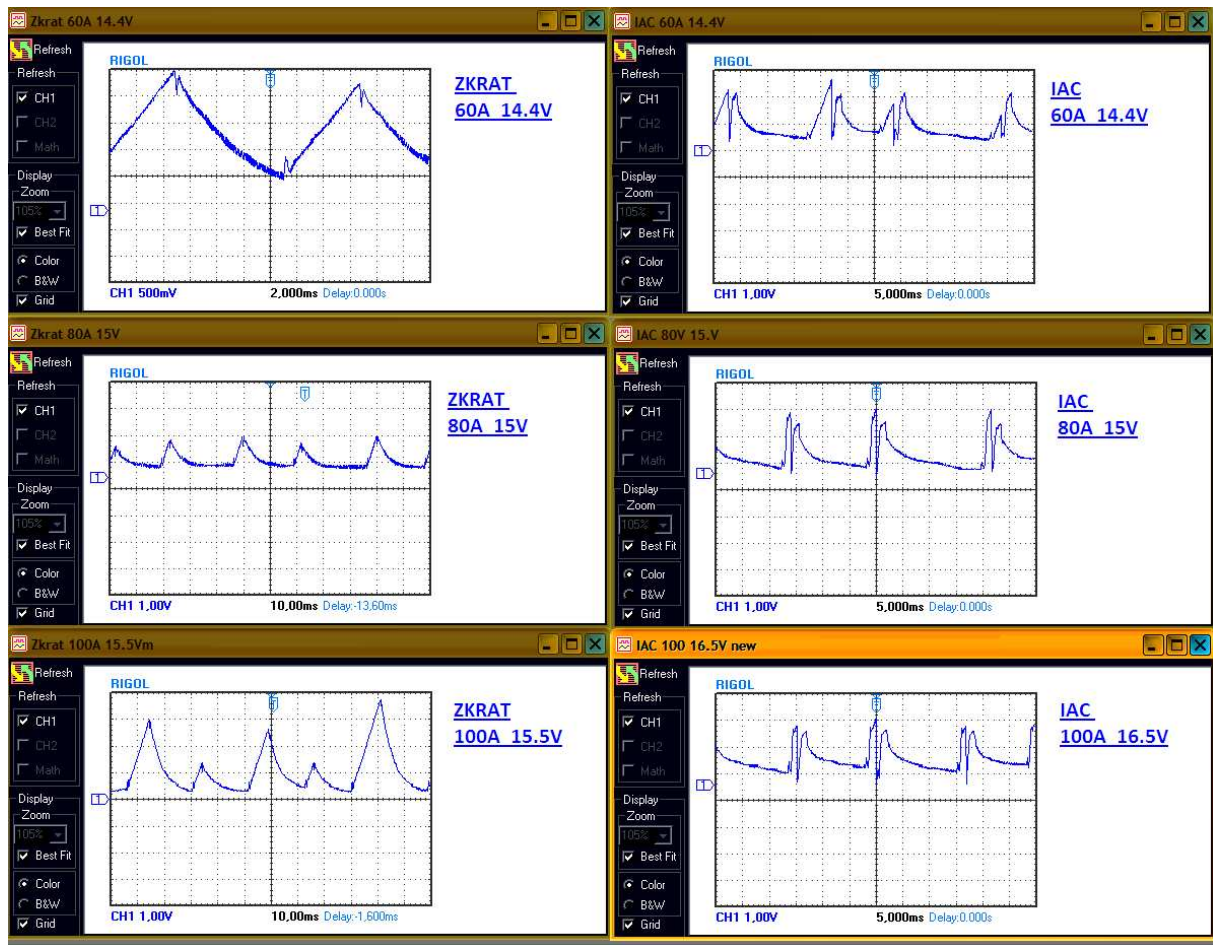
Na obrázku 8.6 je znázorněn průběh proudu, A- fáze oblouku B – fáze zkratu. Přerušovaný průběh reprezentuje tradiční MIG proces, plný průběh reprezentuje proces IAC.



Obrázek 8.7 Schéma zapojení pracoviště



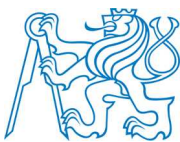
Obrázek 8.8 Snímek z průběhů měření proudu



Obrázek 8.9 Naměřené průběhy proudů při zkratovém a IAC režimu

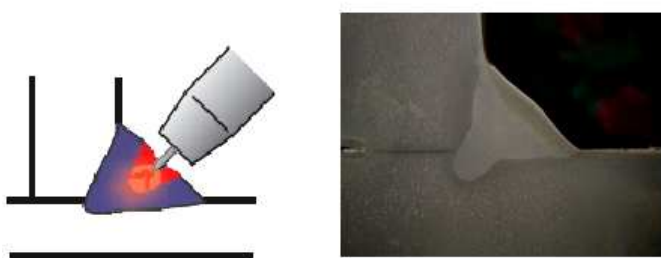


Obrázek 8.10 Na snímku je znázorněno vyvažování mezery s použitím režimu IAC



8.4. Funkce PowerArc.

Další inovativní proces svařování je založen na kombinaci krátkého oblouku a sprchového přenosu. Tento režim zajišťuje hluboký průvar. Dochází k 30% navýšení podávací rychlosti a tím i k zvýšení produktivity. Výsledkem je kvalitní svár bez rozstřiku a s odolností proti deformacím.



Obrázek 8.11 Na snímku je znázorněn průvar v režimu PowerArc

V průběhu měření byly potvrzeny referenční průběhy jak zkratového tak i režimu IAC, jenž při proudu 60 A vykazoval výrazně větší stabilitu oblouku a rozstřík materiálu byl minimální. Celé měření jsem soustředil na tvar měřeného signálu, nikoli na hodnoty. Důvodem byla absence lineárního automatu, který by zajistil stále stejnou délku svařovacího oblouku. Jelikož nejsem příliš zručný svářeč, nedokázal jsem udržet naprosto stejnou délku oblouku.

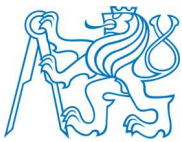


9. Závěr.

Závěrů vyvozených z mé diplomové práce je celá řada. První závěrem, který se nabízí, je konstatování, že firma Migatronic používá ve svých zdrojích vyráběných v současnosti jednu topologii, a to plně řízený fázově posunutý měnič. Ten pak operativně modifikuje použitím součástek nebo řídicích obvodů. Je zřejmé, že pulzní zdroje dnes již zcela nahradily transformátorové svařovací zdroje používané pro metodu TIG a MMA. Poslední z metod svařování, ve které se stále v hojném počtu používají skokově řízené transformátorové svařovací zdroje, je metoda MIG a MAG.

Další závěr mé práce se týká zpětného vlivu svařovacích zdrojů na rozvodnou síť, který nelze popírat, ale ani ignorovat. Vzhledem k masivnímu používání pulzních měničů ve svařovacích zdrojích je tento problém stále častěji zmiňován. Velký rozmach drobného podnikání přináší tyto zdroje do běžné zástavby, ve které není rozvodná síť již oddělena distribučním transformátorem jako v průmyslových zónách. Zde pak může docházet k rušení. Dále lze konstatovat, že měřený skokově řízený zdroj Automig 273 splňuje limity rušení, avšak zdroj LDH 160, který se již nevyrábí, tyto limity překračoval. Důvodem byla absence EMC filtru na vstupu zařízení. Dnes jsou již všechny zdroje těmito filtry vybaveny.

Domnívám se však, že s nárůstem výroby Migových zdrojů s pulzním měničem, dojde také ke snížení ceny a k postupnému vytlačení skokově řízených transformátorových zdrojů, které svou malou účinností nedovedou konkurovat pulzním zdrojům. V případě porovnávaných zdrojů Automig 223 a Omega 223i byl rozdíl více než 20 %. Je pravdou, že pulzní zdroje jsou náročnější na údržbu, také opravy pulzních zdrojů jsou finančně nákladnější, avšak široká možnost plynulé regulace a vybavenost novými svařovacími programy jako IAC a PowerArc u zdroje Sigma Galaxy 400 je přesvědčivý argument, který je příčinou jejich rozšíření.



10. Seznam použité literatury:

- [1] Svařování v otázkách a odpovědích Ing. Josef Jedlička Ing. Miroslav Hauner
- [2] Příručka svářeče – vydal AIR PRODUCTS spol. s.r.o.
- [3] webové stránky: <http://service.migatronic.com/> , <http://automig.cz/>
- [4] PTT tepelné trubice (martin.feld.cvut.cz/~kuba/tepelne)
- [5] webové stránky: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Střída_\(elektronika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Střída_(elektronika))
- [6] DC/DC Měniče Alexandr Krejčířík.
- [7] Výkonová Elektronika Prof. Ing. Jiří Pavelka, DrSc.
Prof. Ing. Zdeněk Čeřovský, DrSc., Doc. Ing. Jiří Lettl.CSc.
- [8] Bakalářská práce Pulsní měniče ve svařovacích zdrojích, Jan Švamberg.
- [9] Článek : Produktivní svařovací procesy Ing. Marek Pantůček, IWE
- [10] Propagační a školící materiály firmy Migatronic CZ.
- [11] Protokoly měření zpětných vlivů firmy Migatronic A/S.
- [12] webové stránky: http://www.danfoss.com/Czech_Republic/
- [13] webové stránky: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/prezentace.pdf>

PŘÍLOHY:

Přiložené CD obsahuje: Text diplomové práce: DP_Jan Švamberg_2014