

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziky

**Svařovací invertor a měření jeho
parametrů**

Bakalářská práce

Autor: Petr Syrůček
Studijní program: (33) B1701 Fyzika
Studijní obor: Fyzikálně – technická měření a výpočetní technika
Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Hubeňák, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. RNDr. Josefa Hubeňáka, CSc. samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne 10. května 2016

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. RNDr. Josefu Hubeňákovi, CSc. za podnětné a cenné rady, které mi při zpracování bakalářské práce poskytl.

Anotace

SYRŮČEK, Petr. *Svařovací invertor a měření jeho parametrů*. Hradec Králové: Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, 2016. Bakalářská práce

Předmětem této bakalářské práce je popis principu spínaných zdrojů, dále vlastnosti výkonových spínacích tranzistorů, vlastnosti kritických součástek (tlumivek, kondenzátorů, diod). Uvést principy elektronické ochrany invertoru. Zvolit vhodný typ invertoru a podrobně analyzovat schéma zapojení. Navrhnout vhodná a proveditelná měření s ohledem na bezpečnost práce. V praktické části provedu navržená měření a analyzuji výsledky. V příloze pak předložím úplnou dokumentaci.

Klíčová slova:

svařovací zdroje, invertor, princip spínaných zdrojů, vlastnosti kritických součástek

Annotation

SYRŮČEK, Petr. *Welding inverter and measurement of its parameters*. Hradec Králové: Faculty of science, University of Hradec Králové, 2016. Bachelor Thesis.

The object of this work is a description of the principle of switching power supplies, as well as features for power switching transistors, characteristics of critical components (inductors, capacitors, diodes). Introduce principles of electronic inverter protection. Select the appropriate type of inverter and analyze in detail diagram. Propose appropriate and feasible measurement with regard to safety. In the practical part I implement the proposed measure and analyze the results. In the Annex, I will submit a complete dossier.

Keywords

welding machines, inverter, principle of switching power supplies, characteristics of critical components

Obsah

Úvod.....	8
1 Spínané zdroje	9
1.1 Základní zapojení	10
1.2 Základní zapojení spínaných zdrojů.....	11
1.2.1 Propustné zapojení	11
1.2.2 Akumulační zapojení.....	13
1.2.3 Kombinované zapojení.....	14
1.2.4 Dvojčinné zapojení.....	15
1.2.5 Můstková zapojení	17
2 Výkonové spínací tranzistory	21
2.1 IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor)	21
2.2 Inteligentní výkonové součástky Smart-Power-FET	23
2.3 Vlastnosti výkonových tranzistorů MOSFET.....	23
3 Moderní inverterové zdroje	25
3.1 Inverterové svařovací zdroje MIG/MAG.....	26
3.2 Analogové řízení	27
3.3 Konstrukce inverterových modulů.....	31
4 Kritické součástky	32
4.1 Tyristory	32
4.2 Tlumivky	33
4.3 Kondenzátory	34
4.3.1 Princip činnosti kondenzátoru	35
4.3.2 Použití kondenzátorů.....	36
4.4 Diody	38
4.4.1 Druhy diod.....	39

5	Elektronická ochrana invertoru – principy	44
5.1	Ochrana PFC	44
6	Analýza invertoru KITin 1900 HF	45
6.1	Blokový diagram a elektrické schéma zapojení	46
6.1.1	Blokové schéma KITin 1900 HF	49
6.1.2	Řídící část	50
6.1.3	Výkonová část	51
6.2	Elektronické obvody a jejich měření	52
6.2.1	Měřicí body	53
6.3	Funkční zkouška	57
7	Revize a kalibrace svařovacího invertorového stroje	59
7.1	Přístroje potřebné k testování	59
7.2	Revize	59
7.2.1	Měřicí metody	61
7.3	Kalibrace, Verifikace a Validace	64
	Závěr	70
	Seznam použité literatury	71
	Seznam zkratk a symbolů	73
	Seznam tabulek	74
	Seznam ilustrací	75
	Seznam příloh	77
	Příloha č. 1	78
	Příloha č. 2	79

Úvod

Cílem mé bakalářské práce je popsat princip spínaných zdrojů, dále vlastnosti výkonových spínacích tranzistorů, vlastnosti kritických součástek jako jsou například tlumivky, kondenzátory, diody apod.

Dále uvedu principy elektronické ochrany invertoru. Zvolím vhodný typ invertoru a podrobně zanalyzuji schéma zapojení. Navrhnou vhodná a proveditelná měření s ohledem na bezpečnost práce.

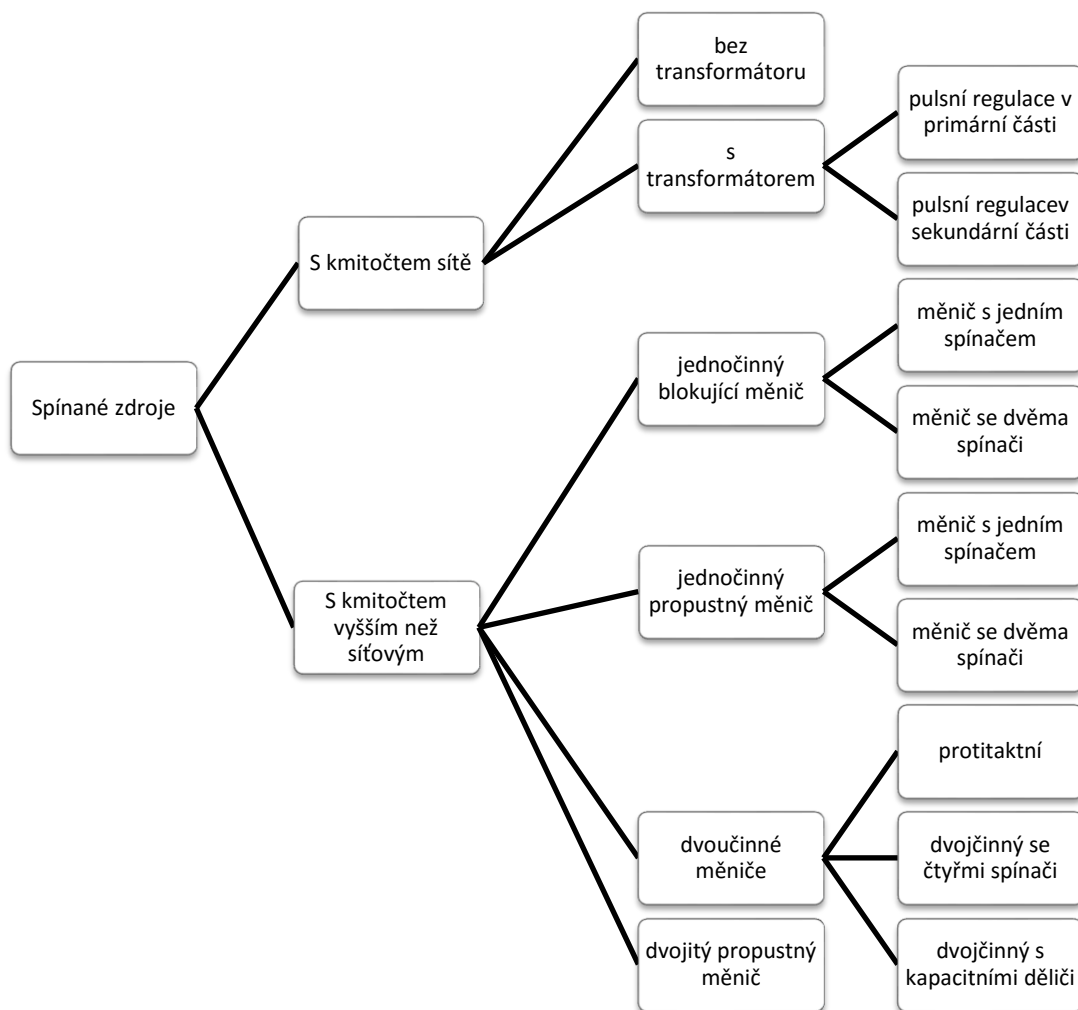
Popularita spínaných zdrojů v poslední době velmi roste a stávají se převažující skupinou zdrojů na trhu. Umožňují vytvářet kompaktní přístroje s malou hmotností a objemem a s velkou účinností. Klasický stabilizovaný zdroj má malou účinnost (cca 30 %), velkou hmotnost i rozměry.

Hlavní těžiště mé práce se nachází ve druhé polovině dokumentu, která je zaměřena na praktickou část, ve které provedu navržená měření a analyzuji výsledky. V příloze pak předložím úplnou dokumentaci.

1 Spínané zdroje

V poslední době se spínané zdroje stávají stále více populární a tím pádem na trhu i více žádané. Dokáží vytvářet kompaktní přístroje s malou hmotností a objemem s celkem vysokou účinností. Ovšem návrh spínaných zdrojů je mnohem více komplikovaný oproti například zdrojům lineárním, především proto, že spínané zdroje jsou velmi náročné na výběr součástek.[11]

Vývoj spínaných zdrojů začal v šedesátých letech dvacátého století. Díky svým pozitivním vlastnostem jsou dnes nejrozšířenějšími typy napáječů. Dle způsobu činnosti jsou průmyslově vyráběny tři typy a to: Akumulační, značené také jako blokuující či nepropustné; propustné; dvojčinné.[12]

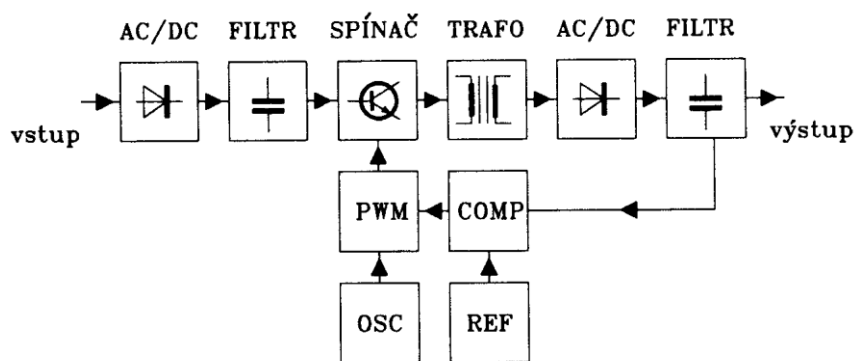


Obrázek 1: schéma - spínané zdroje

Zdroj:[8]

1.1 Základní zapojení

Spínaný zdroj je sestaven z několika základních částí, které je možno pozorovat na Obrázku 1. Ovšem není pravidlem, že toto schéma spínaného zdroje musí vždy obsahovat všechny znázorněné části (např. výstupní filtr) a naopak velmi často se stává, že spínaný zdroj obsahuje i komponenty v obrázku 1 neuvedené (např. vstupní usměrňovač). Velmi důležitou podmínkou činnosti spínaných zdrojů je jejich stejnosměrné napětí na vstupu vedení, jež musí mít co nejmenší střídavou složku, a to kvůli svému nízkému kmitočtu 50 Hz, které snadno prochází přes celý filtr až na výstup.[11]



Obrázek 2: Blokové schéma spínaného zdroje

Zdroj:[11]

Jsou zde tedy dvě možnosti základního zapojení. V prvním případě je vstupní napětí stejnosměrné a s obvykle velmi malým vnitřním odporem, pak není příliš vysoká náročnost na vstupní filtr. Nebo v případě druhém je vstupní napětí střídavé a po jeho usměrnění vstupním usměrňovačem je třeba důkladně vyhladit jeho zbytkové vlnění vstupním filtrem. Z čehož vyplývá, že prvky usměrňovač a vstupní filtr musí být dostatečně účinné na síťovém kmitočtu 50 Hz, což navádí k užití prakticky libovolných usměrňovacích diod, které budou mít vhodné parametry. Ovšem značné nároky budou kladeny na filtrační člen (RC, LC), jehož účinnost bude dostatečná na takto nízkém kmitočtu.[11]

Transformace velikosti napětí probíhá na transformátoru nebo na indukčnosti. Je tedy nutno usměrnit výstupní střídavé napětí a znovu vyfiltrovat obsah jeho střídavé složky. V důsledku tohoto jsou pak vzhledem ke vstupním obvodům kladeny vysoké požadavky na diody, které musí vykazovat usměrňovací

efekt na pracovním kmitočtu. Oproti tomu pak nejsou kladeny vysoké požadavky na výstupní filtr, jelikož ten pracuje na vysokém kmitočtu a jeho filtrační účinky jsou pak vynikající.[11]

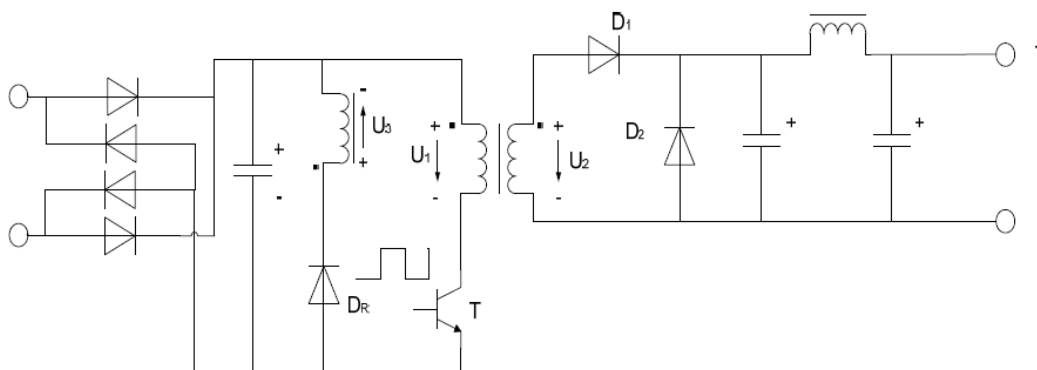
Všechny spínané zdroje jsou řízeny zpětnou vazbou, která má za úkol snímat velikost výstupního napětí, případně výstupního nebo i vstupního proudu a díky řídicí logice, pak řídí spínání spínacích tranzistorů.[11]

1.2 Základní zapojení spínaných zdrojů

Zapojení spínaných zdrojů jsou všeobecně komplikovaná a pro jejich znalost je nutnost znát i vnitřní zapojení specializovaných integrovaných obvodů, které jsou v těchto zdrojích užívány. Nicméně odhlédneme-li od oblasti obvodů zpětnovazebních stabilizací, lze spínané zdroje rozdělit podle jejich zapojení a funkce do několika základních skupin. Jednotlivá zapojení se obvykle rozlišují podle způsobu přenosu energie z primárních obvodů do obvodů sekundárních[11]

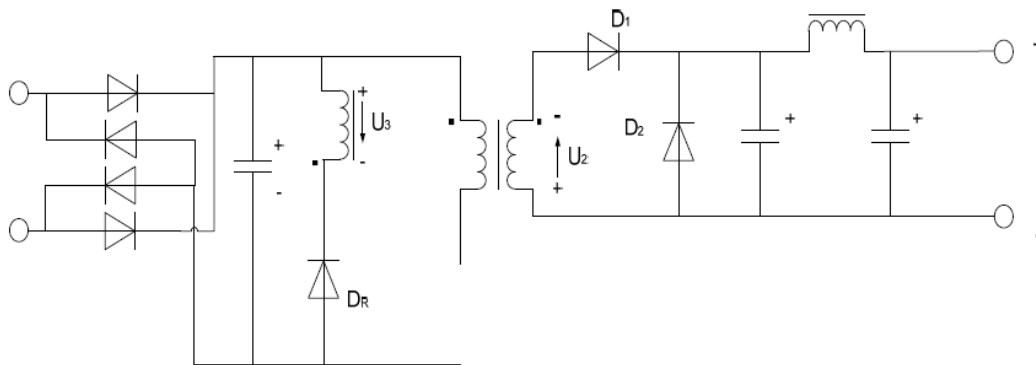
1.2.1 Propustné zapojení

Je známo také pod názvem FORWARD a je charakterizováno přímým přenosem energie přes transformátor, tj. teče-li proud primárním vinutím (v okamžiku sepnutí spínače), teče současně i sekundárním vinutím. Je to určeno vzájemnou polaritou primárního a sekundárního vinutí a polaritou výstupní diody.[11]



Obrázek 3: Propustné zapojení - tranzistor sepnut

Zdroj:[11]



Obrázek 4: Propustné zapojení - rozeprtý tranzistor

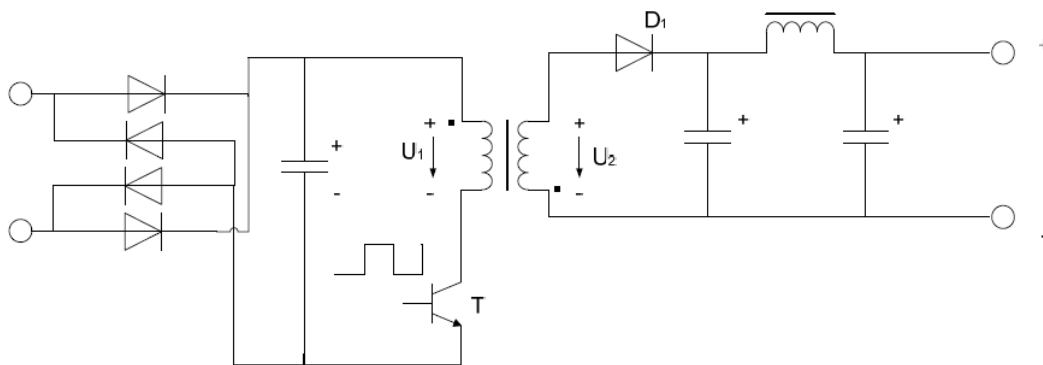
Zdroj:[11]

Tečka u jednotlivých vinutí označuje začátek vinutí. Buď jsou obě vinuta souhlasně a obě tečky jsou nahoře, pak kladné polaritě vstupního napětí transformátoru odpovídá kladná polarita výstupního napětí, nebo je jedna z teček dole a druhá nahoře – tím je označeno, že vinutí jsou vinuta opačně a tedy kladnému napětí odpovídá záporné napětí na výstupu. Tedy při průchodu proudem vinutím primárním může protékat proud vinutím sekundárním. Proto je nezbytné užití rekuperační diody s pomocným třetím vinutím. Přes nevýhodu dalšího vinutí a diody je toto zapojení užíváno pro absenci problémů se stejnosměrným sycením jádra transformátoru. Střída spínání však může být maximálně 50 [%] a doba sepnutí t_1 musí být menší než doba rozeprtí t_2 . V okamžiku, kdy je sepnut tranzistor T (Obrázek č. 3), začne lineárně narůstat proud, tekoucí vinutím 1 a na tomto vinutí je napětí U_1 v naznačené polaritě. Protože sekundární vinutí je svým smyslem vinutí polarizováno shodně s vinutím primárním, je indukované napětí takové polarity, že je může dioda D_1 usměrnit. Současně je indukováno napětí v kladné polaritě i na vinutí 3 o velikosti U_3 . Toto napětí nemůže vyvolat průchod proudem vlivem polarizace diody D_R (rekuperační). Teprve v okamžiku, kdy je rozeprt tranzistor T (Obrázek č. 4), indukuje pokles proudem vinutím 1 napětí do vinutí jak 2, tak i 3 a to v naznačené polaritě. Napětí U_3 je v tomto okamžiku takové polarity, že dioda D_R je vodivá. Dioda D_2 umožňuje průtok výstupního proudem z tlumivky do zátěže během doby t_2 , tj. v době rozeprtého tranzistoru T, kdy diodou D_1 proud neteče. Pokud je indukované napětí v pomocném (rekuperačním) vinutí tak velké, že převyšuje napětí (minimálně o úbytek na rekuperační diodě) na kondenzátoru napájecího zdroje, je tento kondenzátor při

rozepnutém tranzistoru dobíjen a část energie je tak vrácena zpět do napájecího zdroje. Tím je zvyšována účinnost zapojení a je omezoáno riziko průrazu tranzistoru indukovaným napětím při vypínání indukční zátěže.[11]

1.2.2 Akumulační zapojení

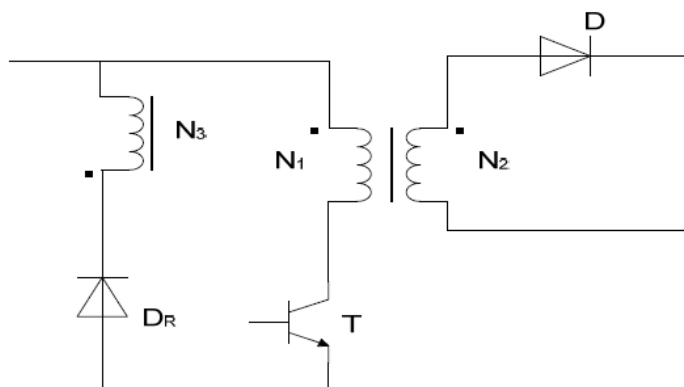
Je známo také pod názvem FLYBACK. Akumulační zapojení spínaného zdroje je uvedeno na obrázku (Obrázek č. 5). Užívá se pro rozsah výkonů přibližně v rozsahu 20 až 50 [W], jeho účinnost bývá okolo 80 [%] a doporučuje se, aby střída spínání spínacího prvku nepřesáhla 40 [%], aby bylo možno dosáhnout uvedené účinnosti. Pracovní kmitočet těchto spínaných zdrojů bývá podle kvality tranzistoru, diod a transformátorů v rozmezí od 50 [kHz] do 500 [kHz].[11]



Obrázek 5: Akumulační zapojení

Zdroj:[11]

Teče-li vstupním vinutím proud, je sekundární vinutí vzhledem k polaritě výstupní diody polarizováno tak, že proud neteče. Veškerá energie je uložena v magnetickém poli transformátoru a teprve po ukončení proudu primárním vinutím začíná protékat proud vinutím sekundárním. Primární vinutí, na němž je napětí U_1 , je vinuto opačným směrem než vinutí sekundární s napětím U_2 . I kumulující zapojení lze doplnit rekuperační diodou a rekuperačním vinutím (Obrázek č. 6), ale jejich použití není u tohoto zapojení nezbytné, pouze zlepšuje účinnost využitím té části energie, která je po rozepnutí tranzistoru akumulována v magnetickém poli transformátoru a není z nějakých důvodů přenesena do výstupních obvodů. Proto, teče-li proud primárním vinutím při sepnutí tranzistoru T, nemůže současně téci proud vinutím sekundárním. Dioda je polarizována závěrně.[11]

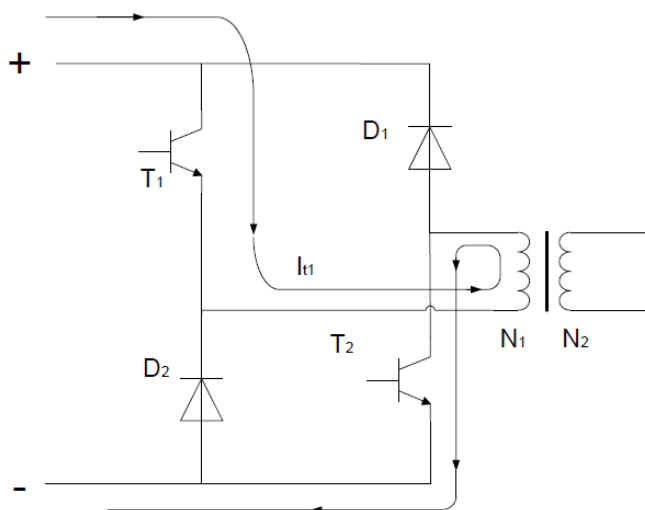


Obrázek 6: Rekuperační zapojení

Zdroj:[11]

1.2.3 Kombinované zapojení

Vzhledem k tomu, že nutnost rekuperačního vinutí komplikuje realizaci transformátoru, je vhodné zkombinovat dva tranzistory a dvě diody podle obrázku (Obrázek č. 7).

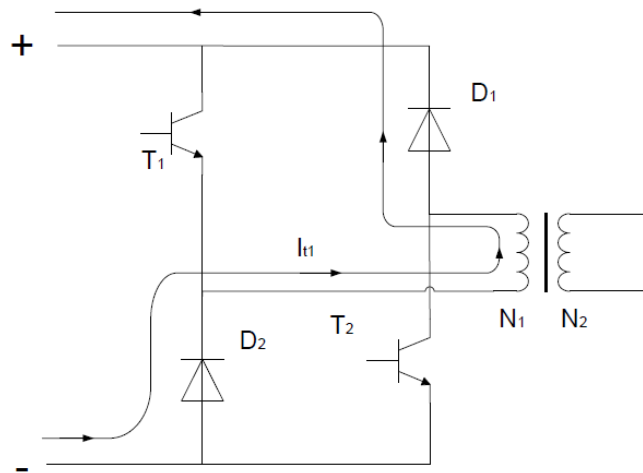


Obrázek 7: Kombinovaná zapojení - sepnuté tranzistory po dobu t_1

Zdroj:[11]

Jestliže sepneme oba tranzistory současně, pak protéká proud z kladné stejnosměrné svorky přes tranzistor T_1 , primární vinutí transformátoru a druhým tranzistorem T_2 . Po rozeptnutí obou tranzistorů současně má proud primární indukčnosti snahu pokračovat ve stejné velikosti a stejném směru. Protéká tedy z

horní svorky primárního vinutí transformátoru přes diodu D_1 , zdroj, diodu D_2 na spodní primární vinutí transformátoru (Obrázek č. 8). Polarita zapojení výstupní usměrňovací diody pak udává, zda se jedná o zapojení propustné, nebo kumulující.[11]

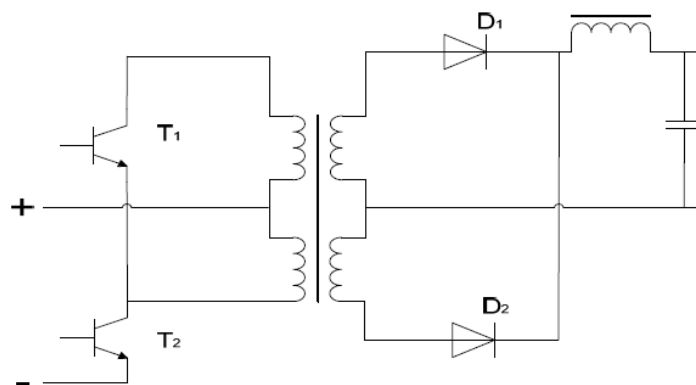


Obrázek 8: Kombinované zapojení - rozepruté tranzistory po dobu t_2

Zdroj:[11]

1.2.4 Dvojčinné zapojení

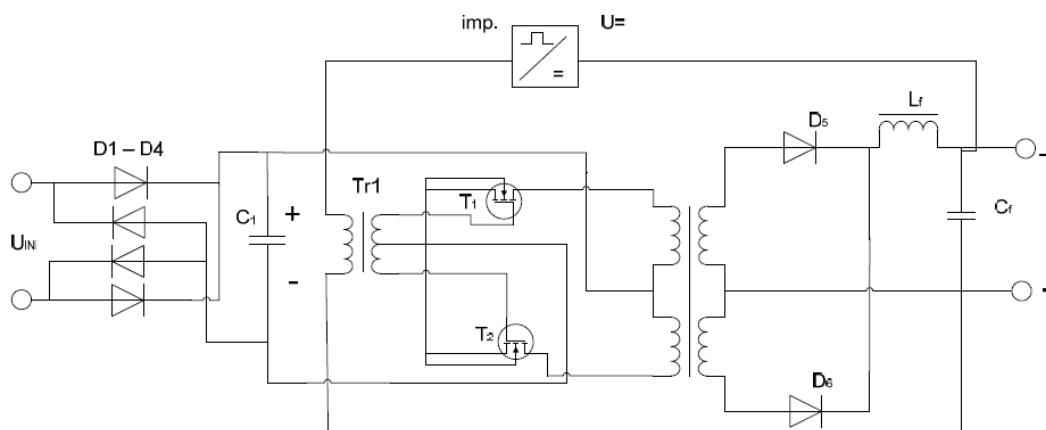
Je známo také pod názvem PUSH-PULL. Do primárního vinutí je spínán proud obou polarit pomocí dvou spínacích prvků, které pracují v inverzním zapojení. Obvykle i výstupní usměrňovače jsou dvoucestné, takže se vlastně jedná o dvojčinnou verzi propustného zapojení. V dnešní době je naprostá většina spínaných zdrojů tohoto principu, modifikovaného způsobem buzení primárního vinutí oběma spínači. Základní součástí je symetrické primární vinutí transformátoru (Obrázek č. 9), kde každá jeho polovina je buzena samostatným tranzistorem. Výhodou je nepřítomnost stejnosměrné složky sycení jádra transformátoru. S výhodou se na sekundární straně užívá dvoucestné zapojení usměrňovače (dvoucestný nebo měnič). Potom výkon je přenášen přímo v každé půlperiodě jednou z diod a akumulovaně druhou. Účinnost takových zapojení je velmi vysoká a pohybuje se nad 80 [%]. Další výhodou je možnost širokého rozsahu regulace.[11]



Obrázek 9: Dvojčinné zapojení

Zdroj:[11]

Pracovní frekvence, na kterých mohou zdroje tohoto typu pracovat, se pohybují cca do 200 [kHz], kde omezujícím faktorem je mezní kmitočet užitých tranzistorů (jejich vypínací doba) a zejména vhodný materiál jádra transformátoru.[11]



Obrázek 10: Schéma zapojení spínaného zdroje typu PUSH-PULL

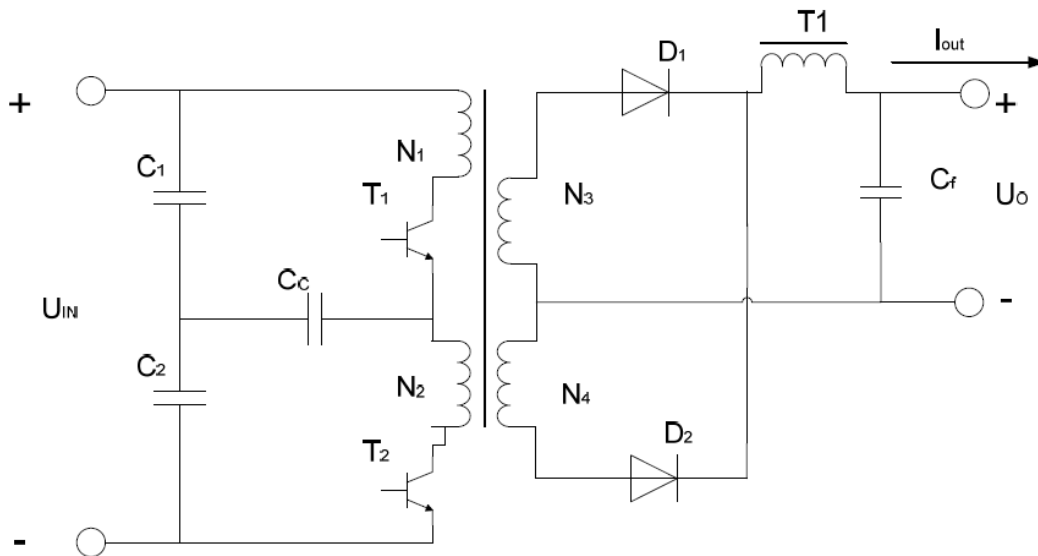
Zdroj:[11]

1.2.5 Můstková zapojení

Můstkových zapojení je celá řada podle uspořádání jednotlivých prvků v mostu. Nejčastěji užívané jsou tzv. polomosty.

1. Polomost

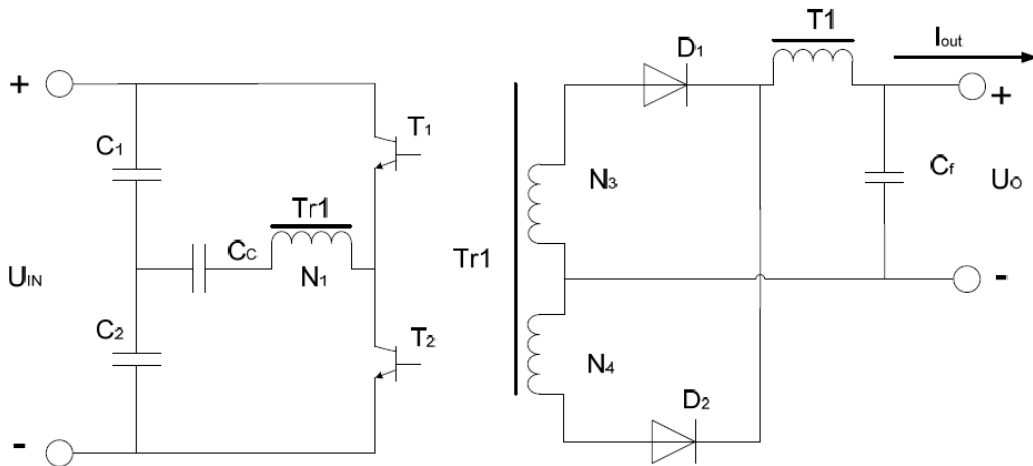
Polovina mostu je tvořena dvěma spínacími tranzistory a druhá polovina dvěma kondenzátory.



Obrázek 11: Dvoucestný polomost

Zdroj:[11]

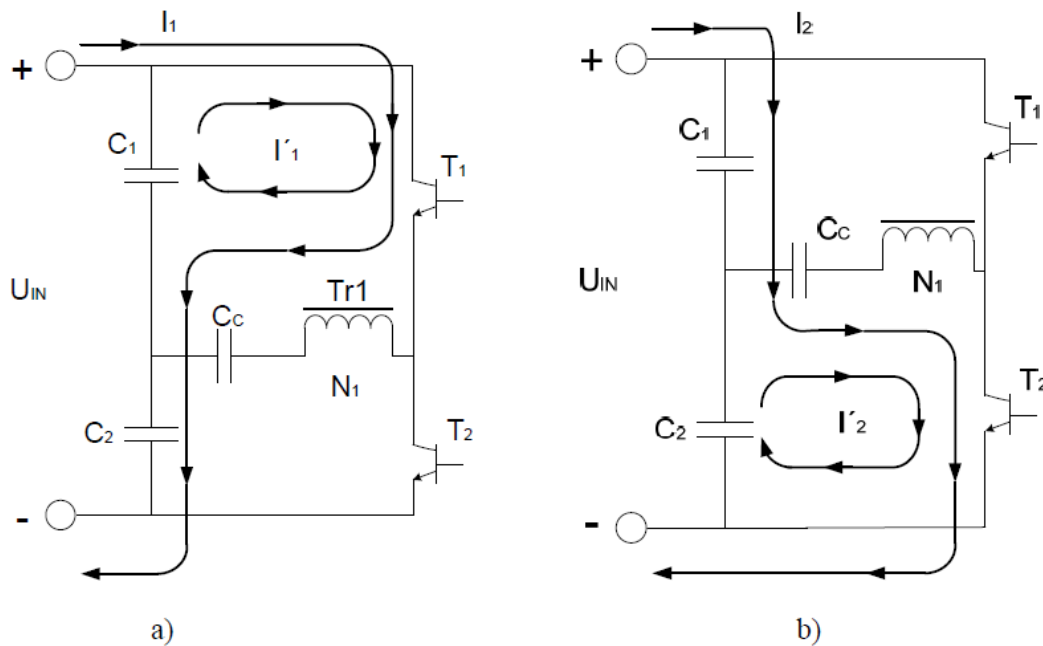
Dvoucestný polomost, který vidíme na obrázku (Obrázek č. 11), kdy každý tranzistor má vlastní primární vinutí transformátoru a v diagonále mostu je bipolární elektrolytický kondenzátor s velkou kapacitou C_c . Kapacita kondenzátoru C_c musí být poměrně vysoká, aby jeho přebíjením z jedné polaroty na druhou nedocházelo k nadměrným ztrátám. Navíc na kondenzátor C_c se vyskytuje napětí obou polarit, takže nelze užít běžný elektrolytický kondenzátor. Výhoda polomostu je obecně v tom, že část impulsního proudu, který by jinak musel pokrývat zdroj stejnosměrného napětí U_{IN} , je kryta pomocí nabíjecích a vybíjecích proudů kondenzátorů C_1 a C_2 . Oba tranzistory jsou buzeny v protifázi opět se střídou maximálně do 80 [%].[11]



Obrázek 12: Polomost s jedním primárním vinutím

Zdroj:[11]

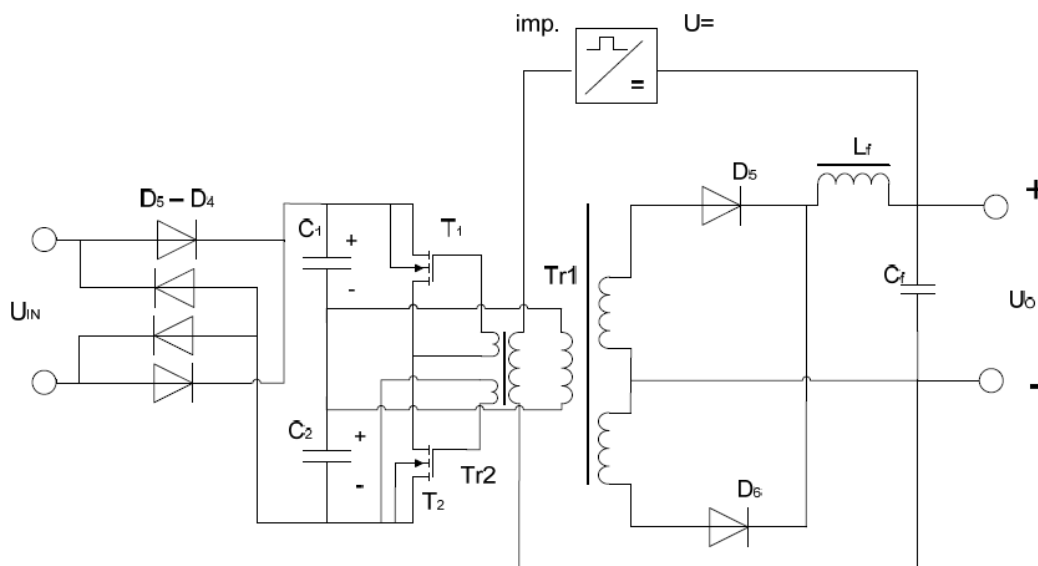
Potřeba dvou primárních vinutí transformátoru je nepříjemná a lze se jí zbavit modifikací předcházejících zapojení, kdy jedno primární vinutí (N_1) transformátoru $Tr1$ zapojíme do úhlopříčky mostu spolu s kondenzátorem C_c (Obrázek č. 12). Toto jedno vinutí je potom při střídavém spínání tranzistorů T_1 a T_2 protékáno proudem I_1 zleva doprava a proudem I_2 zprava doleva (Obrázek č. 13).[11]



Obrázek 13: Polomost: a) sepnut T_1 , b) sepnut T_2

Zdroj:[11]

Především u tohoto zapojení je patrné, že se střída nemůže pohybovat až do 100 [%], protože by vzhledem k tolerancím součástek mohlo dojít k tomu, že po jistou dobu by byly sepnuty oba tranzistory T_1 a T_2 a došlo by přes ně ke zkratu zdroje a je jen otázkou dimenzování, zda by neshořely dříve tranzistory, nebo napájecí zdroj s napětím U_{IN} . [11]

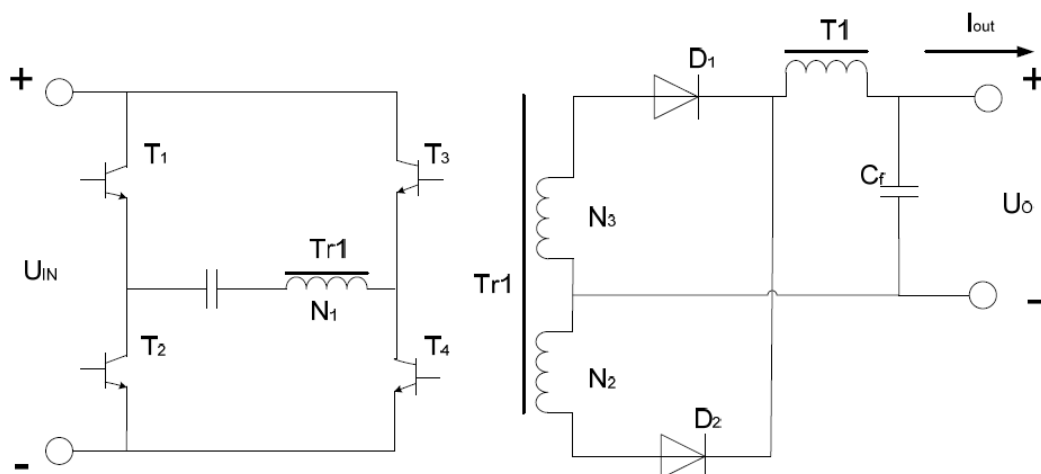


Obrázek 14: Kompletní zapojení polomostu

Zdroj:[11]

2. Plný most

Zapojení, které je označováno jako plný most (Obrázek č. 15), se skládá ze čtyř shodných tranzistorů, po jednom v každé větvi. [11]



Obrázek 15: Plný most

Zapojení se užívá pro nejvyšší výkony do 1 [kW], kdy proudy z kondenzátorů polomostu již nestačí a je nutno plný výkon odebírat ze skutečně tvrdého zdroje. Nevýhodou plného mostu je komplikovanější buzení jednotlivých tranzistorů, kdy spínají současně tranzistory T1 a T4 a ve druhé půlperiodě T2 a T3. Na místě jednotlivých tranzistorů lze užít tranzistory MOS s indukovaným kanálem, případně tranzistory JFET. V případě použití bipolárních tranzistorů se často užívají Darlingtonovy dvojice v jednom pouzdře pro snížení nároků na ovládací příkon obvodu. Tranzistory ve všech zapojeních jsou ohrožovány indukčními špičkami, vznikajícími při vypínání indukční zátěže (primár transformátoru) a je nutno je jednak dostatečně dimenzovat napěťově, jednak užít ochranné obvody (D, ZD, C členy).[11]

2 Výkonové spínací tranzistory

V této kapitole se budeme především zabývat vlastnostmi výkonových spínacích tranzistorů.

V dřívějších letech, když se o výkonových spínačích hovořilo, šlo především o diody, tyristory, triaky a bipolární výkonové tranzistory. Vypadalo to, že vývoj křemíkových výkonových polovodičových prvků dosáhl závěrečného stádia. Ovšem od roku 1980 se situace od základu změnila. V této době se na trhu objevily nové výkonové spínací prvky, a to výkonové tranzistory MOS. V prvních letech po svém objevení způsobily ve výkonové elektronice výrazné změny. Vykázaly vlastnosti dosud u výkonových spínačů nepředstavitelné a přinesly nové, lepší, spolehlivější a levnější systémové řešení.[3]

V dnešní době rozeznáváme několik typů tranzistorů. V první řadě se jedná o základní **výkonové tranzistory MOSFET, IGBT tranzistory, nízkovýkonové tranzistory MOSFET a Inteligentní výkonové součástky Smart-Power-FET**. Podrobně se vybraným součástkám budeme věnovat v následujících podkapitolách. [3]

Nízkovýkonové tranzistory MOSFET, zde se jedná o součástky s malým ztrátovým výkonem (do 2 W) v pouzdrech jako jsou To-18, TO-92, SOT-23, SOT-223 a další. Svou konstrukcí mohou být laterální, jako jsou například vysokofrekvenční tranzistory MOSFET. [3]

Dle polarity napětí kolektor-emitor rozlišujeme **tranzistory s kanálem typu N** (kladný kolektor, kladné řídicí napětí hradla), **s kanálem typu P** (záporný kolektor, záporné řídicí napětí hradla), jež dle chování při spínání dělíme dále na **obohacovací typ**, který se bez napětí na hradle nevede a **ochuzovací typ**, který je naopak vodivý i bez napětí na hradle. [3]

2.1 IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor)

IGBT nebo COM-FET (Conductivity modulated FET) nebo GEM-FET (Gain Enhanced MOS-FET) je označení pro tranzistory s kombinací polem řízeného a bipolárního tranzistoru. Pro použití v oblasti napětí více jak 600 V mají

výkonové tranzistory MOSFET již příliš vysoký odpor a z tohoto důvodu je často nutné zapojovat více tranzistorů paralelně. Tím se ovšem navržený obvod prodražuje, a proto bylo nutné najít jiné řešení, které by tyto nevýhody odstranilo a přitom zachovávalo výhody polem řízených součástek MOS. Výsledkem hledání byl tranzistor IGBT.[13]

Dalším důvodem, který nutil výrobce výkonových součástek k vývoji nových prvků, byla nemožnost řízeného vypnutí tyristoru a možnost práce pouze při frekvencích do stovek hertzů. Zejména ve střídačích a pulsních měničích se začaly využívat výkonové bipolární tranzistory ve spínacím režimu pro proudy řádově stovek ampérů a napětí do 1000 V. Kromě možnosti řízení vypnutí a možnosti práce při frekvencích do 20 kHz se však vyznačovaly malým proudovým zesilovacím činitelem (asi 10 až 20), což vyžadovalo složité řešení řídicích obvodů. Tato nevýhoda byla odstraněna díky vyvinutí výkonového tranzistoru řízeného polem (FET-Field Effect Transistor). Značnou nevýhodou obou uvedených prvků však byla možnost mnohem nižšího proudového a napěťového namáhání oproti tyristoru. V oblasti výkonových měničů menších výkonů (asi do 1000 A a do 1000 V) jsou ale v současnosti výkonové FET často využívány a jeví se pro tuto oblast jako nejperspektivnější součástka i do budoucna.[13]

V současnosti je ve výkonových měničích nejpoužívanějším prvkem IGBT Bipolární tranzistor s izolovanou řídicí elektrodou. IGBT ovládl oblast střídačů pro nízké napětí, ale vlivem neustále rostoucích parametrů těchto prvků se rychle rozšiřuje pole jejich využití i v měničích pro napětí nad 1000 V například v běžně trakčních pohonech vozidel MHD, ale i v trakčních pohonech drážních vozidel s napětím 3000V. Díky výborným frekvenčním vlastnostem IGBT a díky neustálému vývoji směřujícímu ke zvyšování proudových a napěťových hladin lze v současnosti tento prvek považovat za velmi perspektivní pro výkonovou elektroniku.[13]

IGBT tranzistor se díky svým současným vlastnostem ukázal být ideálním spínacím prvkem pro vysoká napětí. Počáteční problémy s náchylností k „zaseknutí“ podobnému funkci tyristoru při vysokých prouděch a teplotách a vypínání kolektorového proudu s dozníváním byly z větší části odstraněny.[13]

2.2 Inteligentní výkonové součástky Smart-Power-FET

Inteligentní výkonové součástky Smart-Power-FET jsou vyráběny jako kombinace logických obvodů CMOS nebo bipolárních a spínač MOS, kde se většinou jedná o výkonový tranzistor MOSFET s kanálem typu N a jen zřídka s kanálem P. Tyto součástky jsou označovány jako součástky z nové generace výkonových spínačů. Odpovídají vývojovým trendům stejně jako například řídicí systémy s inteligentními periferiemi. Inteligentní výkonové spínače SMART-FET v sobě zahrnují spoustu výhod, kterými jsou především **vysoká spolehlivost** ve srovnání s obvody z diskretních součástek, dále pak **ochranné funkce** jako je zjištění přepětí a podpětí, proudové přetížení a zkrat v přívodu nebo zátěži, ve stavu naprázdno – přerušení přívodů nebo zátěže a nadměrného zvýšení teploty součástky. Další výhodou představuje **zabudovaná nábojová pumpa** pro provoz spínače s uzemněnou zátěží. **Omezení záporných napěťových špiček** při spínání indukivní zátěže. **Ochrana vstupů a výstupů** proti poškození elektrostatickým nábojem. **Kompatibilita vstupů či výstupů** s logickými obvody CMOS a TTL a konečně **zpětné hlášení stavů** stavovými signálem.[3]

2.3 Vlastnosti výkonových tranzistorů MOSFET

Vertikální tranzistory MOSFET mají, bez ohledu na konkrétní výrobní technologii, podobnou strukturu a elektrické vlastnosti. V normálním režimu mohou blokovat vysoká provozní napětí a spínat velké výkony. V inverzním režimu je chování součástky určeno superpozicí charakteristiky diody v propustném směru a výstupní charakteristiky tranzistoru závislé na napětí hradla.[3]

Parametry tranzistorů udávané v příručkách od výrobců lze rozdělit do dvou kategorií. První kategorií jsou **mezní hodnoty** a dále pak **charakteristické hodnoty** statických a dynamických parametrů tranzistoru a inverzní diody. Nalezneme v nich také diagramy s dalšími informacemi o různých závislostech

parametrů. Mezní a charakteristické hodnoty se liší tím, že mezní hodnoty musí být respektovány v pracovních podmínkách součástky určených uživatelem, zatímco charakteristické hodnoty jsou součástí dány a uživatel je nemůže ovlivnit.[3]

K mezním hodnotám patří:

- Maximální napětí kolektor-emitor U_{DS} ,
- Stejnoseměrný proud kolektoru I_D ,
- Impulzní proud kolektoru I_{Dpulz} ,
- Lavinový proud I_{AR} ,
- Lavinová energie E_{AS} ,
- Napětí hradlo-emitor U_{GS} ,
- Maximální ztrátový výkon P_D ,
- Rozsah provozní a skladovací teploty T_j a T_{stg} . [3]

Udané mezní hodnoty nesmí být v žádném případě překročeny, jelikož by to způsobilo zničení tranzistoru i tehdy, když ostatní parametry svých mezních hodnot nedosáhnou nebo jsou i daleko pod nimi.[3]

Mezi statické charakteristické hodnoty patří:

- Průrazné napětí kolektor – emitor $U_{(BR)DSS}$,
- Prahové napětí hradla), $U_{GS(th)}$,
- Zbytkový proud kolektoru I_{DSS} ,
- Svodový proud hradla I_{GSS} ,
- A odpor mezi kolektorem a emitorem v sepnutém stavu $R_{DS(on)}$. [3]

3 Moderní invertorové zdroje

Zdroje pro obloukové svařování jsou elektrické stroje, na jejichž výstupních svorkách je vhodné napětí pro svařovací oblouk při požadovaném průtoku proudu. Naprostá většina zdrojů musí být regulovatelná. Výjimku mohou tvořit pouze zdroje pro jednoúčelová svařovací zařízení. Požadavek regulovatelnosti zdrojů (výsledkem je regulace tepelné energie) je dán technologickými potřebami obloukového svařování.[5][4]

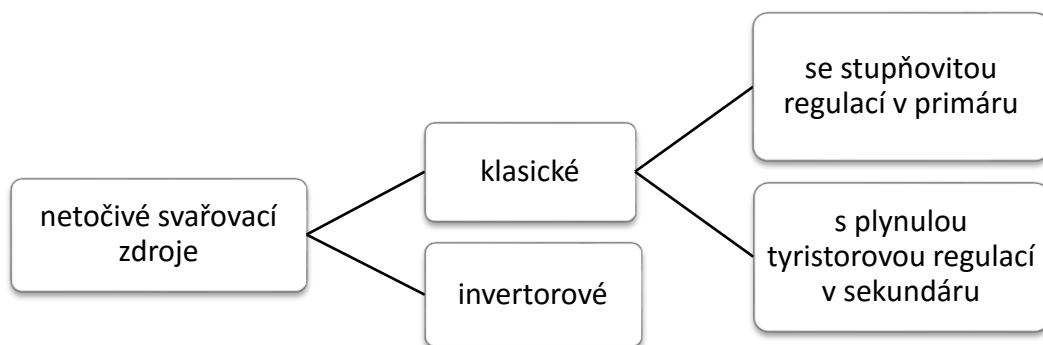
Svařovací zdroje lze dělit na elektrické stroje:

- a) točivé
- b) netočivé

Mezi *točivé stroje* patří známé „triodyny“. V současné době se vyrábí svařovací motorové centrály osazené alternátory s řízenými tyristorovými usměrňovači.[5][4]

Netočivé zdroje svařování tvoří rozhodující skupinu a lze je dělit:

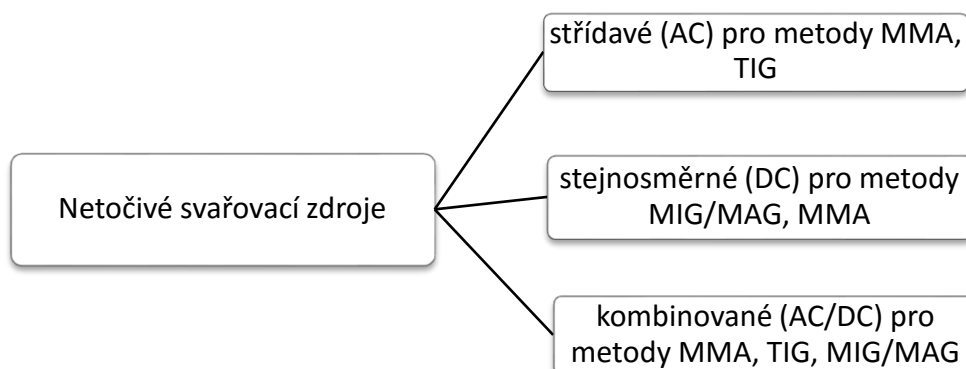
- podle regulace:



Obrázek 16: Netočivé svařovací zdroje - regulace

Zdroj:[5][8]

podle výstupního napětí:



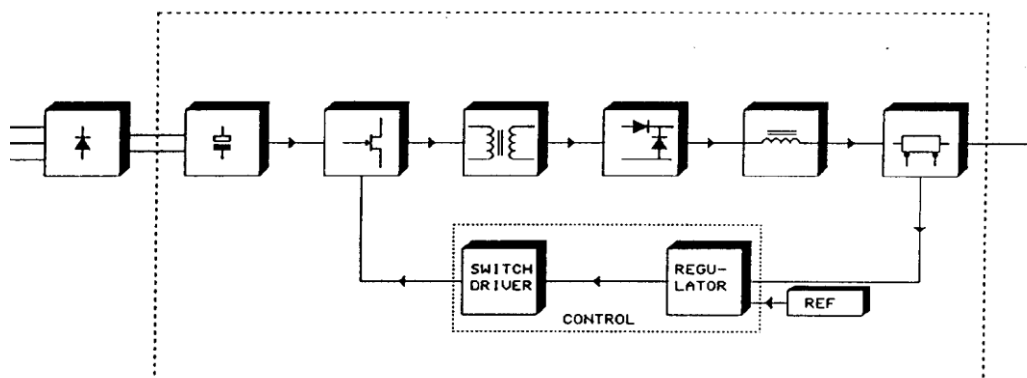
Obrázek 17: Netočivé svařovací zdroje - výstupní napětí

Zdroj:[5][8]

3.1 Invertorové svařovací zdroje MIG/MAG

Pojem *invertorový zdroj* používá široká svářecí obec, protože první typy těchto zdrojů měly na krytech nápis „INVERTOR“. Správněji bychom měli říkat, že se jedná o spínaný zdroj, kde k transformaci se nepoužívá kmitočtu 50 Hz, ale kmitočtu řádově 1000x většího (25kHz – 125kHz).[5][4]

Invertorový modul obsahuje následující části: (viz. blokové schéma obr. 1) vstupní usměrňovač, kapacitní filtr, spínací modul transistorů, výstupní usměrňovač, tlumivku, bočník a blok řízení invertorového modulu. Protože k transformaci dochází při podstatně vyšším kmitočtu, je rozměr transformátoru o mnoho menší pro srovnatelný přenosový výkon. V konstrukci transformátoru a tlumivky invertoru se používají feritová jádra, vinutí cívek je zpravidla provedeno páskovou mědí.[5][4]



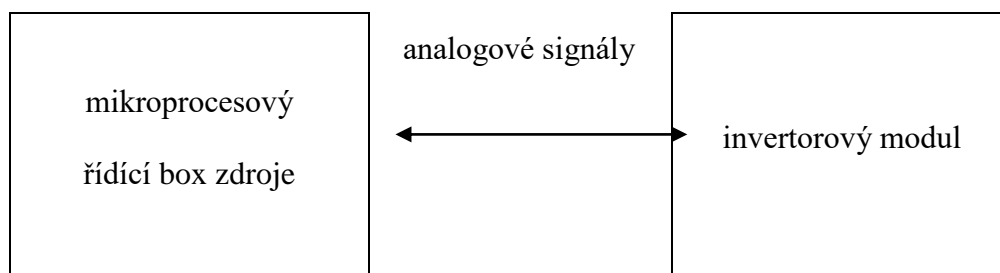
Obrázek 18: Blokové schéma

Zdroj:[5][7]

Řízení inverterového modulu je na schématu obr. 1 označeno blokem „CONTROL“. Řízení svařovacího výkonu je prováděno tzv. šířkovou modulací spínacího kmitočtu. Zjednodušeně řečeno pro menší výkon spínací tranzistory sepnuty kratší dobu pro větší výkon jsou sepnuty delší dobu při konstantní frekvenci zapínání tranzistorů.[5][4]

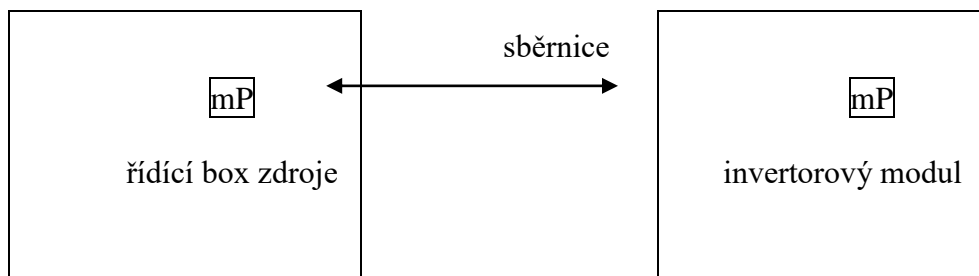
3.2 Analogové řízení

V současné době je naprostá většina řídicích obvodů inverterových modulů osazena analogovými obvody. To znamená, že i v případech je-li MIG/MAG zdroj osazen elektronickým mikroprocesorovým řídicím systémem je inverterový modul řízen analogovým signálem. Viz obr. 19.[5]



Obrázek 19: Analogové řízení inverterového modulu

Zdroj:[5]

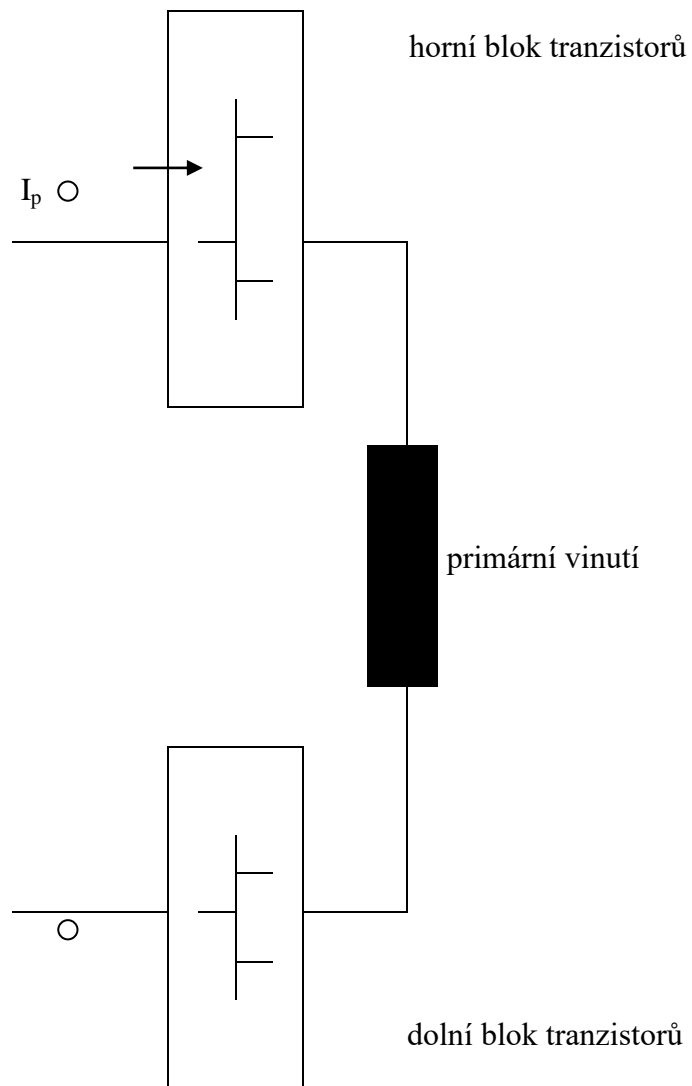


Obrázek 20: Blokové zapojení digitálního řízení invertorového modulu

Zdroj:[5]

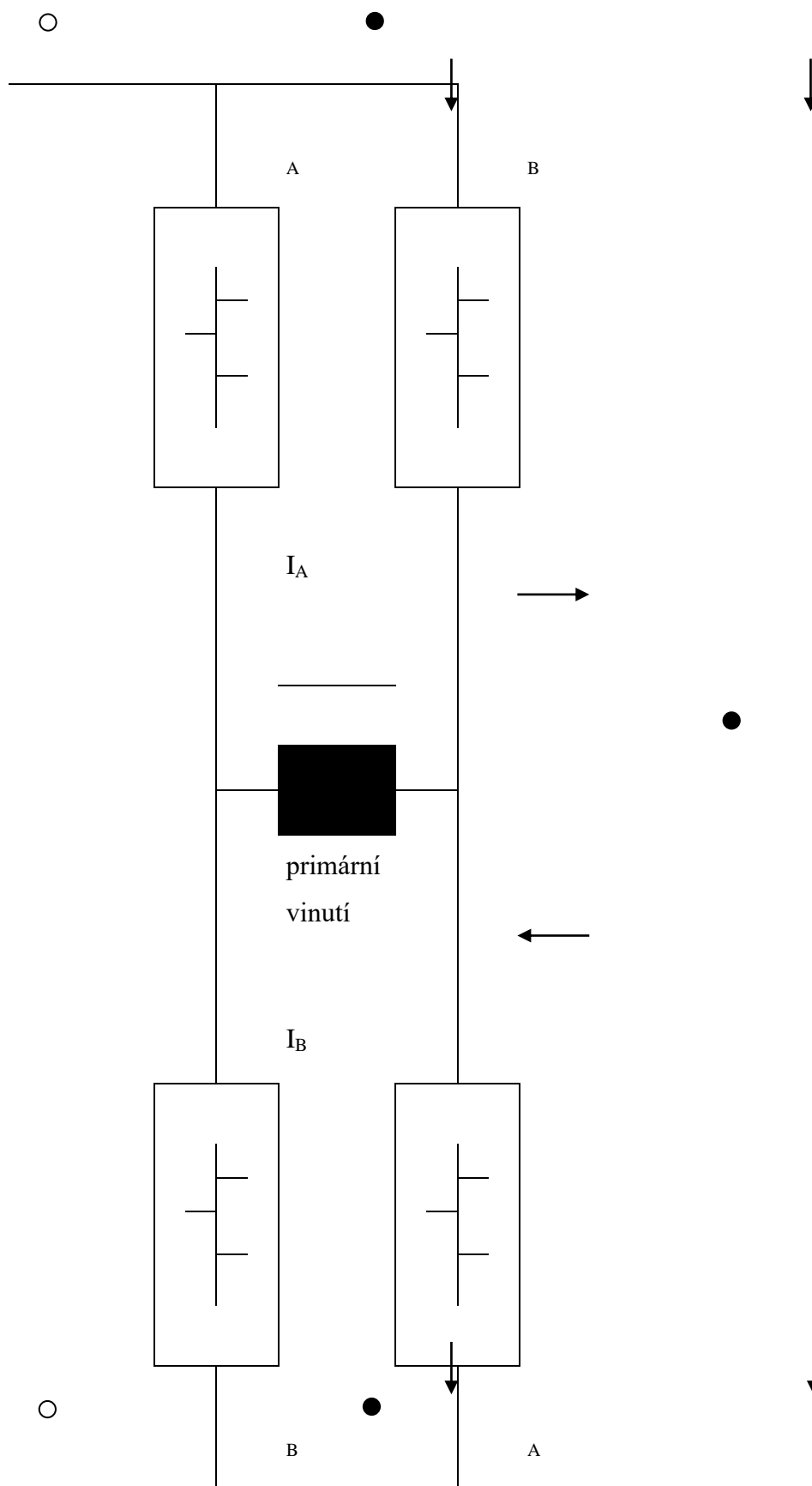
DSP (digital signal processing) takto je označováno, digitální řízení invertorového modulu. Tento systém umožní dynamickou změnu charakteristiky zdroje přímo během svařování. [5]

Spínání primárního vinutí je možné dvěma způsoby, v tzv. blokovacím zapojení (obr. 20) nebo střídačové zapojení (angl. H bridge).[5]



Obrázek 21: Blokovací zapojení

Zdroj:[5]



Obrázek22: Střídačové zapojení

Zdroj:[5]

Střídačové zapojení má vyšší účinnost a s dalšími obvody umožňuje udržovat konstantní svařovací parametry při kolísání sítě v rozsahu $\pm 15\%$, obvyklá hodnota je $\pm 10\%$. [5]

3.3 Konstrukce inverterových modulů

Jednotlivé díly včetně elektronických částí nejsou kryty proti prachu. Prach zejména při jeho navlhnutí snižuje izolační podmínky, což způsobuje zhruba 30% závad.[5]

V další části je tzv. modulární konstrukce uzavřená. Elektronické komponenty jsou uzavřeny prachotěsně v hliníkové schránce s krytím IP54. Tato konstrukce omezuje poruchovost způsobovanou zanedbanou nebo vůbec žádnou údržbou. Stabilita izolačních podmínek je zabezpečena novými technologiemi „lakování“.[5]

Výhody inverterového modulu oproti klasickým zdrojům s regulací v primáru:

- ✓ nižší zvlnění
- ✓ změna výstupní charakteristiky v širokém rozsahu
- ✓ možnost omezení zkratového proudu při zkratovém přenosu
- ✓ možnost použití inverterový modul pro technologii MIG/MAG i TIG, MMA, zpravidla jednoduchou úpravou
- ✓ impulsní přenos MIG/MAG technologie

Nevýhody inverterového modulu

- ✓ nižší odolnost proti průmyslovému přepětí
- ✓ pořizovací cena
- ✓ možné vyšší náklady na opravu
- ✓ problematické připojení k elektrocentrálám

Inverterová technologie ve svařovacích zdrojích jednoznačně zvýšila užité vlastnosti zdrojů. Tento fakt se projevil v oblasti TIG svařování a svařování obalenou elektrodou.[5]

4 Kritické součástky

V této kapitole se budeme věnovat kritickým součástkám a to především tyristorům, tlumivkám, kondenzátorům a diodám.

V prvé řadě nesmíme opomenout, že prvek, který vůbec zahájil novou éru v koncepci výkonových měničů elektrické energie, byl výkonový tyristor. Výkonové tyristory se i v současnosti využívají zejména v řízených usměrňovačích a střídavých měničích napětí. Jsou k dispozici pro proudy řádově v hodnotách kiloampérů a napětí řádově v hodnotách kilovoltů.

Další velmi rozšířenou součástkou je výkonová dioda. Byla využívána v usměrňovací technice již od 50. Let dvacátého století. V dnešní době jsou k dispozici výkonové diody s napětíovými a proudovými hladinami obdobnými jako u tyristorů[14]

4.1 Tyristory

Pod pojmem tyristor obecně chápeme výkonový polovodičový spínací prvek, který může pracovat v propustném, blokovacím a závěrném stavu. Nejdůležitější změnou mezi jednotlivými stavy je změna ze stavu blokovacího do propustného, která se ovládá řídicím signálem, nejčastěji proudem přiváděným do řídicí elektrody. Zbývající dvě elektrody nesou označení dle polarity přivedeného vnějšího napětí anoda a katoda.[1][2]

Pokud je tyristor polarizován do závěrného směru tj. katoda je na vyšším potenciálu než anoda, tyristorem neprochází proud a chování tyristoru v závěrném směru je shodné s diodou polarizovanou vnějším napětím do závěrného směru. Pokud je tyristor polarizován vnějším napětím do propustného směru a není-li na řídicí elektrodu přiveden signál, tyristor se nachází v blokovacím stavu a neprochází jím proud na rozdíl od diody. Teprve přivedením signálu na řídicí elektrodu tyristorová struktura spíná a chová se jako dioda polarizovaná do přímého směru. To znamená, že strukturou prochází značný proud vyvolávající na ni jen minimální úbytek napětí (až 2 V).[1][2]

Šířky jednotlivých vrstev polovodiče jsou různé, oblast anody a katody je tvořena silně dotovaným polovodičem. Nejdelší, střední oblast mezi prvním a druhým přechodem je velmi slabě dotována aktivními příměsemi, což znamená, že její měrný odpor je velký, ve srovnání s ostatními vrstvami. To vede k tomu, že oblast prostorového náboje prvního přechodu je situována ve druhé vrstvě, podobně jako oblast prostorového náboje druhého přechodu. Protože koncentrace aktivních příměsí ve třetí a čtvrté polovodičové vrstvě se liší jen málo, zasahuje oblast prostorového náboje třetího přechodu přibližně souměrně do obou polovodičů. [1][2]

4.2 Tlumivky

Tlumivka, vyjma některých nízko výkonových aplikací, je neodmyslitelnou součástí každého spínaného napájecího zdroje. Vlastnosti této součástky přitom do značné míry spoluurčují některé významné parametry zdroje, jako jsou pracovní kmitočet, účinnost a rozměry.[2]

Na tlumivku je kladena celá řada požadavků, jejichž důležitost se podle typu zapojení spínaného zdroje může případ od případu značně lišit. Většinou jsou však požadovány tyto vlastnosti:

- Nezávislost indukčnosti na protékajícím stejnosměrném proudu
- Nezávislost indukčnosti na kmitočtu
- Schopnost akumulování požadovaného množství magnetické energie
- Nízké ztráty na pracovním kmitočtu
- Malé rozměry

Dle převažujícího požadavku se pro tlumivky spínaných zdrojů nejčastěji používají jádra:

- Feritová
- Železoprachová
- Slitinová prášková[2]

Filtrační tlumivky jsou určeny pro sériové zapojení se spotřebiči nebo pro paralelní zapojení s kondenzátory do laděných obvodů. Tím filtrují harmonické proudy a komutační frekvence vznikající na různých zařízeních připojených na síť. [2]

Pro filtrační tlumivky, jimiž protéká proud sestávající z velké stejnosměrné a podstatně menší střídavé složky, je nejlepší technickoekonomickou volbou standardní železoprachový materiál. V případech, kdy je požadována co nejlepší filtrační funkce i na kmitočtech přes 100 kHz, je možno použít vylepšený železoprachový materiál. Nejlepších vlastností lze dosáhnout se slitinovými jádry HF či MPP, ovšem ani zdaleka se nejedná o ekonomickou variantu.[2]

Pro pracovní tlumivky či transformátory, které jsou protékány proudem se značným podílem střídavé složky tzn. stejnosměrná složka může být i nulová, jsou železoprachové materiály dobrou volbou pouze do kmitočtů několika málo desítek kHz. Pro vyšší kmitočty je nutno sáhnout po kvalitnějším materiálu. Z ekonomických důvodů zde budou asi nevhodnější jádra KOLL Mu, která jsou levnější než stejně dobrá jádra HF. Pro špičkové aplikace, kde cena není rozhodujícím kritériem, jsou nejlepší volbou jádra MPP.[2]

V naprosté většině případu si vývojář plně vystačí se dvěma typy jader, a to s KOOL Mu, kde se jedná o pracovní tlumivku a s běžným železoprachem, který představuje filtrační tlumivku nebo pracovní tlumivku pro nižší kmitočty.[2]

4.3 Kondenzátory

Kondenzátor je součástka umějící uchovat elektrický náboj mezi dvěma elektrodami a dielektrikem (izolačním materiálem), ze kterého se skládá.

Elektrolytické kondenzátory, kde jako dielektrikum je použit oxid hliníku a vyznačují se vysokou kapacitou. Díky své konstrukci je bohužel nutné přísně dodržovat polaritu při zapojení, ale již se vyrábí i bipolární elektrolytické kondenzátory, které lze použít i do elektronických obvodů s elektrickým střídavým proudem. [14]

Elektrolytické kondenzátory se vyskytují prakticky v každém elektronickém zařízení, včetně vybavení raketoplánu nebo splachovací automatiky pisoáru. Jelikož se jedná o pasivní součástku, jejíž vlastnosti jsou podmíněny jistými elektrochemickými procesy, lze považovat elektrolytický kondenzátor jako takový za díl s podstatně zvýšeným činitelem poruchovosti, daleko vyšším než například v porovnání s rezistorem či síťovou zástrčkou. Spolehlivost a životnost tohoto druhu kondenzátorů je přímo podmíněna čistotou surovin použitých při výrobě a technologické kázni, nepřímo pak jejich pracovními podmínkami jako je teplota okolí, mechanické namáhání, elektrické zatížení a další. Tyto součástky jsou velmi často využívány a tak je zde velmi vhodné říci něco o jejich principech, provedení a správného používání.[14]

Dalším druhem kondenzátorů představují keramické kondenzátory, kde jako dielektrikum je použita „keramika“. Keramické kondenzátory jsou malé s velkou kapacitou (velikosti elektrolytických nedosahují), ale zato mají malý ztrátový uhel a proto se hodí do vysokofrekvenční techniky, např. do přijímačů a vysílačů elektromagnetického vlnění (např. TV, radia), oscilátory a další.[14]

Vše, co v této práci bude uvedeno, se vztahuje pouze na hliníkové elektrolytické kondenzátory. Elektrolytické kondenzátory jiných provedení jako například tantalové nebo s polovodivým elektrolytem, pracují na jiných principech, využívají jiných materiálů, mají odlišné vlastnosti i použití.[14]

4.3.1 Princip činnosti kondenzátoru

Klasické hliníkové elektrolytické kondenzátory se od jiných druhů kondenzátorů liší tím, že jednu z elektrod (katodu) netvoří kovová elektroda, ale vodivý elektrolyt. Je to chemikálie, jejíž přesné složení každý výrobce poměrně úzkostlivě tají, a tak jediné, co o ní víme je, že na vzduchu a k ostatním anorganickým i organickým látkám zvláště za horka je poměrně žíravá, lepkavá, při případném výbuchu kondenzátoru a potřísnění oděvu zapáchá.[14]

Elektrolyt musí být co nejvíce elektricky vodivý, v rozsahu pracovních teplot kondenzátoru nesmí zamrznat ani vřít, z hlediska chemického nesmí reagovat s materiály uvnitř kondenzátoru (s vývody, s hliníkem, s Al_2O_3 , pryží, plasty a materiálem separátoru). Musí umožňovat elektrolytickou oxidaci hliníku.

Elektrolyty bývají směsí vody, etylénglykolu, vyšších alkoholů, solí a různých aditiv. Gelové elektrolyty obsahují obdobné složky. [14]

Protější elektrodou (anodou) je hliníková fólie, která je pro zvětšení svého povrchu elektrochemicky naleptána a rovněž elektrochemickým způsobem vytvořena izolační vrstvička Al_2O_3 , která tvoří vlastní dielektrikum. Katodová fólie (hliníková nebo cínová) tvoří jen velkoplošný přívod proudu pro elektrolyt, jenž je nasáknut ve speciálním papíru o velké nasákavosti a tvoří tedy jakýsi zásobník a zabraňuje zkratu mezi fóliemi a navíc zajišťuje minimální napěťovou bezpečnost kondenzátoru. Na čistotě materiálu kovových fólií, kvalitě nasákavého separátoru a koneckonců i na kvalitě uzávěru kondenzátoru závisí jeho výsledná kvalita a hlavně životnost.[14]

Celek (obě fólie se separátorem) je svinut do svitku a podmíněně neprodyšně uzavřen v hliníkovém, popřípadě i plastovém pouzdře. V pouzdře může být umístěno i několik svitků, vytváří se tak vícenásobný kondenzátor. Běžně se vyráběly sdružené dvou až pětinasobné kondenzátory pro elektronkové přístroje, kde každý kondenzátor má různou kapacitu dle účelu použití, záporné póly všech jsou propojeny. Rovněž se vyrábí dvojité kondenzátory pro symetrické zdroje polovodičových zesilovačů, kde jsou svitky uvnitř již vhodně propojeny.[14]

4.3.2 Použití kondenzátorů

Elektrolytické kondenzátory je nutno provozovat vždy při stejnosměrném napětí a s vyznačenou polaritou. Kondenzátorem může procházet střídavý proud jisté velikosti například při filtraci zvlnění ve zdrojích, výkonové vazební kondenzátory, jsou definovány výrobcem v katalogovém listu, který je ke každému serióznímu výrobku dostupný. Součet pracovního ss napětí a superponovaného střídavého napětí za žádných okolností nesmí překročit jmenovité provozní napětí kondenzátoru. Zvláště dobrý pozor je třeba dávat u kondenzátorů v usměrňovačích na sekundární straně měničů, pracujících na vysokých kmitočtech, kde se na výstupu objevují při činnosti měniče napěťové špičky. Ty totiž velmi často svou velikostí

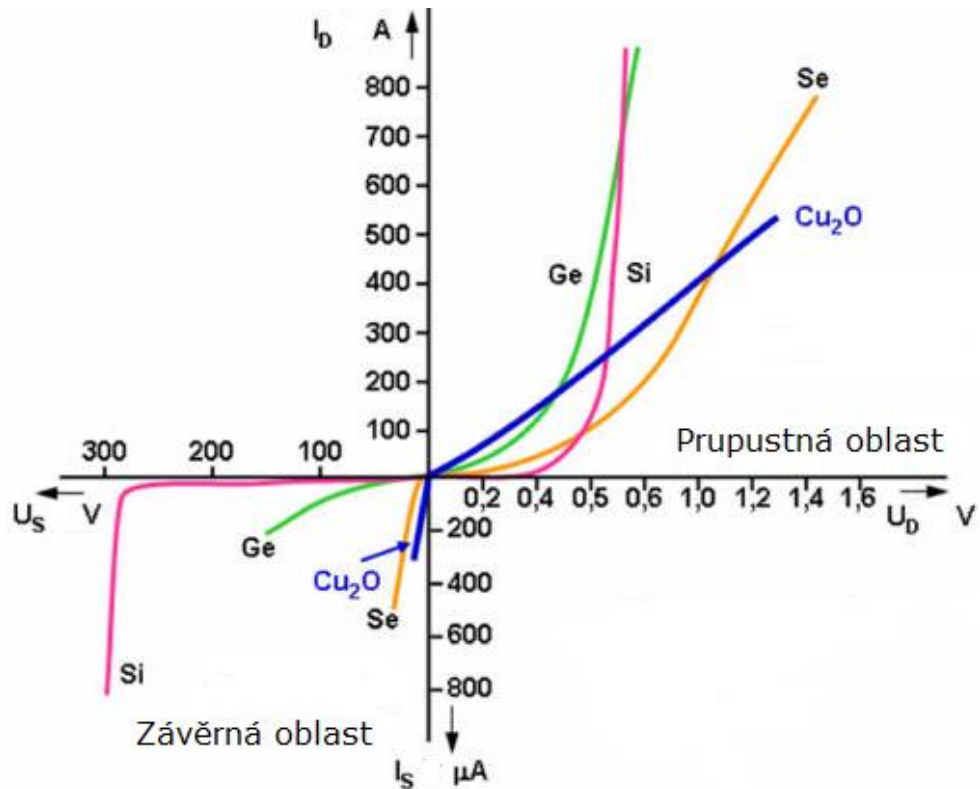
několikanásobně přesahují povolené napětí kondenzátoru, kondenzátory se velmi zahřívají, klesá jejich pracovní napětí a nezřídka při odlehčeném měniči vybuchují, zdánlivě bez příčiny. Je nutno ale podotknout, že tyto a další podobné nežádoucí projevy elektrolytických kondenzátorů se vyskytují převážně jen u špatně navržené, z nekvalitního a levného materiálu vyrobené čínské elektroniky.[14]

Důležitou podmínkou správné a dlouhodobé činnosti elektrolytického kondenzátoru je okolní teplota. Dá se říci, že ze všech ostatních pracovních podmínek má na spolehlivost a životnost kondenzátoru největší vliv. Nebudeme se zde zabývat složitými výpočty životnosti, uveďme jen, že při každém snížení pracovní teploty kondenzátoru o 7- 10°C stoupá jeho životnost přibližně na dvojnásobek. Proto je velice vhodné kondenzátory montovat na takové místo a takovým způsobem, aby nemohlo dojít k jeho zbytečnému ohřívání. Pokud montujeme kondenzátory na desku plošných spojů, pak tedy co nejdále od chladičů polovodičů, výkonových odporů a dalších teplo produkujících prvků. Při montáži velkých průmyslových kondenzátorů na šasi zesilovače je podložíme jakýmkoli dostupným izolačním materiálem, špatně vedoucím teplo. To je důležité zvláště tehdy, jsou-li k šasi přístroje přišroubovány i chladiče výkonových polovodičových prvků, případně i výkonný transformátor. Při upevňování je třeba pamatovat na to, že kovový obal je buď spojen s elektrolytem, nebo se záporným pólem, jen výjimečně bývá kovové pouzdro od svitku zcela izolováno. Většina moderních kondenzátorů je opatřena povrchovou izolací ze smršťovací fólie. Při upevňování větších kondenzátorů plechovými sponami a příchytkami je nutno zkontrolovat, zda upevňovací prvek neprořizl některou ostrou hranou povrchovou izolací. Kondenzátor musí být umístěn tak, aby nebyla narušena funkce tlakové pojistky, dobrý konstruktér jej umístí tak, aby případná havárie nezpůsobila v přístroji větší škody. Je třeba si uvědomit, že při narušení těsnosti (aktivace přetlakové pojistky) uniká z kondenzátoru velmi dobře vodivá, někdy vroucí kapalina, která způsobuje svody a zkraty na deskách plošných spojů. Nejsou-li učiněna dostatečná konstrukční opatření, dokáže tekutina např. v miniaturizovaných spínaných zdrojích spolehlivě přemostit bezpečnostní zónu mezi primární a sekundární částí. [14]

Kondenzátory bývají z provozu obvykle vyřazovány pro některé typické závady. Mezi ně patří zkraty průrazem dielektrika apod., přerušení často způsobené nekvalitním spojením elektrod s vývody, poklesem kapacity pod použitelnou mez, zhoršení ESR či $\tan \alpha$ často vlivem vysychání. Obvyklý zkrat je zvláště u nekvalitních výrobků s nekvalitním těsněním pouzdra postupný únik elektrolytu a samozřejmě ztráta kapacity. Mnohé nekvalitní kondenzátory jsou vyráběny jednak v záporné toleranci kapacity, jednak s dosti špatným (vysokým) ESR. Vlivem stárnutí se rychle, již během jednoho roku, dostávají za obvyklou mez použitelnosti, která u značkových a kvalitních výrobků činí i 5 a více let. Další vadou, většinou vratnou, je odformování kondenzátorů při dlouhodobé nečinnosti.[14]

4.4 Diody

Dioda je elektronická polovodičová součástka využívající polovodičový efekt v dotovaných materiálech. Dle základního materiálu dělíme diody na křemíkové a germaniové. Dle materiálu jsou určeny i definující parametry diod. Základní parametr je prahové napětí. To je určeno z použitého materiálu. Křemík 0,65V a germanium 0,45V. Plocha přechodu určuje výkon diody. Pozor na barevné značení u stejně velkých (plastových) diod. Plastové diody jsou značeny barevným proužkem, určující i polaritu diody. U kovových diod je typové označení zpravidla natištěno a polaritu určuje tvar. U výkonových diod je určující parametr i doteková chladicí plocha a její polarita.[9][13]



Obrázek 23: VA charakteristika různých typů diod

Zdroj:[9]

Podíváme-li se na VA charakteristiku na obrázku 22, tak jasně vidíme chování jednotlivých technologií diod v obou směrech, v závěrném i propustném. Je zřejmé, že různé diody mají různé prahové napětí, při kterém se v propustném směru otevřou. Například si vezmeme na paškál Si diodu. Podle grafu v propustné oblasti vidíme, že se začíná otevírat přibližně při 0,4 V a při 0,5 V je již zcela otevřená - proud prudce stoupá do závratných velikostí. Naopak v závěrné oblasti je patrný nárůst proudu (průraz) až okolo 300 V. Při měření VA charakteristik se uvažuje, jako kdyby dioda byla sama osobě spotřebič, v praxi není možné provozovat každou diodu v takovém režimu. Navíc graf na obrázku 22 je ilustrativní pro více technologií, ale každý typ diody má odlišné krajní hodnoty proudu a napětí.[9]

4.4.1 Druhy diod

V dnešní době se můžeme setkat s mnoha různými druhy diod. Některé z nich si přiblížíme v této kapitole.

Usměrňovací diody jsou navrhovány a konstruovány tak, aby vykazovaly v přímém směru minimální hodnotu diferenciálního odporu i při vysokých hodnotách proudu I_F a v závěrném směru co největší hodnotu odporu. U výkonových diod se kromě běžných parametrů udává i maximální hodnota špičkového opakovatelného napětí U_{RRM} , při kterém lze ještě diodu provozovat. Přitom je třeba si uvědomit, že vždy platí $U_{RRM} < U_{R(BR)}$. [13], [15]

Zenerovy diody jsou navrhovány a konstruovány tak, aby závěrná část VA charakteristiky měla ostře vyjádřené průrazné napětí $U_{R(BR)}$. Pracovní oblast těchto diod leží v oblasti elektrického nedestruktivního průrazu, kdy se při velkých změnách proudu mění hodnota Zenerova napětí U_Z jen velmi málo. S ohledem na skutečnost, že vodivost polovodičů je silně závislá na teplotě, zahrnujeme její vliv na chování součástek pomocí *teplotního součinitele*, definovaného vztahem:

$$K_Z = \frac{\Delta U}{\Delta \theta} * \frac{100}{U} \quad [%; K^{-1}]$$

Rovnice 1

Teplotní součinitel pro oblast závěrných napětí může být jak kladný, tak záporný, resp. roven nule. Lze zhruba říci, že tam, kde převládá Zenerův mechanismus průrazu, tj. pro $U_Z < 6 \text{ V}$ je $K_Z < 0$. [13][15]

Pracovní oblastí Zenerových diod rozumíme VA charakteristiku v závěrném směru. Z průběhu VA charakteristiky Zenerovy diody je zřejmé, že diferenciální odpor v její pracovní oblasti je velmi malý. [13][15]

Zenerova dioda je křemíková plošná dioda se slitinovým nebo difuzním přechodem, jejíž závěrná část charakteristiky se vyznačuje ostrým zlomem při Zenerově napětí. Charakteristika v přímém směru je shodná s charakteristikou běžné polovodičové diody. Prahové napětí je 0,70 až 0,72 V. Pracovní oblast leží v oblasti elektrického nedestruktivního průrazu, nesmí však překročit maximální ztrátový výkon P_Z . [13][15]

Zenerův jev se uplatňuje pouze na velmi tenkých přechodech, příslušné napětí diod je do 6 V.

Vysokofrekvenční a spínací diody se používají v zapojeních, která pracují na vysokých kmitočtech nebo v impulzním režimu. Proto musí vykazovat velmi krátkou hodnotu zotavovací doby $t_{rr} < 500$ ns, z čehož vyplývá hodnota bariérové kapacity C_b řádově pF. S ohledem na rozsah přenášených kmitočtů je třeba, aby tyto diody vykazovaly malou hodnotu kapacity přechodu PN v nepřímém směru a zároveň nízkou hodnotu difúzního napětí. Uvedené podmínky musí být splněny v případě požadavku detekce, resp. usměrnění VF signálu o malé hodnotě amplitudy. [15]

Difúzní napětí

Difúzní neboli kontaktní napětí vzniká vyrovnáním Fermiho energetických hladin při PN přechodu. Pokud dojde ke spojení kontaktů polovodiče typu P (pozitivní) a typu N (negativní), elektrony a díry začnou difundovat z míst, kde mají vyšší energii do míst s nižší energií, neboli elektrony difundují z N do P, díry z P do N. Tím se polovodič P nabíjí záporně, zatímco polovodič N kladně. Tak vzniká napětí, které se ustálí na hodnotě U_d (difúzní napětí). Jeho hodnota je tím vyšší, čím vyšší je difúze majoritních nosičů a je dáno poměrem koncentrací majoritních a minoritních nosičů na odpovídající hranici oblasti prostorového náboje. Je teplotně závislé (s teplotou klesá, protože vnitřní koncentrace se zvyšuje).[16]

Stabilizační diody využívají tunelového nebo lavinového průrazu v závěrném směru. Dynamický odpor závisí na stabilizovaném napětí. Teplotní koeficient u tunelového průrazu je záporný (snižuje se šířka zakázaného pásma), u lavinového průrazu kladný (zmenšuje se počet nosičů). Teplotní koeficient může být nulový – mezi oběma typy průrazů. Při přechodu lavinový průraz – šum – šumové diody, při vyšším napětí klesá. [15]

Dalším druhem diod jsou **kapacitní diody**, které rozlišujeme na varikapy a varaktory. **Varikapy**, kde je provozní napětí omezeno z jedné strany malým napětím v přímém směru a z druhé strany průrazným napětím přechodu. Rozsah pracovních napětí bývá od -1 V od -30 V. Těmto hodnotám odpovídá rozsah

kapacit od 20 až 100 pF do 2,5 až 10 pF. Poměr maximální a minimální kapacity se pohybuje v rozmezí 2,5 až 6, u speciálních až 20. Pro výrobu se používá nejčastěji křemík, pro vysokofrekvenční varikaply Ge nebo GaAs. Varikap mění hodnotu kapacity v závislosti na ss napětí. Přiváděné amplitudy vf signálu jsou relativně malé, takže změna kapacity je prakticky lineární. Používají se místo ladících kondenzátorů v rozhlasových a televizních přijímačích a lze je zapojovat v oscilátorech pro doladování. [13][15]

Varaktory pracují s velkým signálem, takže dochází k velké změně kapacity. Vzhledem k nelinearitě vznikají vyšší harmonické složky. Stejnoseměrné předpětí se zpravidla nepřivádí. Vyrábějí se i planárně-epitaxní technologií. Rozsah kmitočtů 30 MHz až 10 GHz. V současné době se užívají pro parametrické zesilovače, násobiče kmitočtu, pro ladění Gunnových a tranzistorových oscilátorů. Varaktor musí mít malý tepelný odpor. Varaktor lze provozovat i jako varikap (obráceně to neplatí). [13][15]

Schottkyho dioda je součástka, která využívá usměrňovací vlastnost přechodu MN (kov-polovodič). Velkou výhodou tohoto přechodu je, že v něm nedochází k injekci minoritních nosičů náboje. Vedení proudu je realizováno pouze majoritními nosiči, což přináší řadu výhod. Schottkyho přechody mají v přímém směru menší úbytky napětí než přechod PN. Z polovodiče N přecházejí do kovu tzv. horké elektrony z vrcholu energetické bariéry, které v kovu ztrácejí přebytek své energie. To předurčuje Schottkyho diody pro zpracování signálů s vysokými kmitočty. Pro výrobu Schottkyho diod se nejčastěji používá křemík nebo GaAs. Základ struktury tvoří destička silně dotovaného polovodiče N^+ . Na ní se epitaxi nanese vrstva typu N. Kontakt mezi kovem a polovodičem se vytváří napařováním. Epitaxní slabě dotovaná vrstva zajišťuje diodě dobré závěrné vlastnosti, silně dotovaná vrstva pak dobrý ohmický kontakt a malý sériový odpor. Schottkyho diody se používají v aplikacích pro velmi vysoké frekvence, kde nahrazují hrotové diody, proti nimž mají lepší mechanickou pevnost, reprodukovatelnost při výrobě, menší šum a vyšší závěrné napětí. Vzhledem k rychlým spínacím časům a malému napětí v průchozím směru jsou Schottkyho diody užívány ve spínačích s dobou sepnutí jednotky ns i menší, jako ochranné prvky a jako součástky rychlých logických integrovaných obvodů. Malé napětí

v přímém směru umožňuje využívat Schottkyho diod ve výkonové technice jako usměrňovače a spínače s větší energetickou účinností, menšími rozměry a hmotností než klasické diody. Jedním z nedostatků je menší závěrné napětí (průrazné napětí 10 až 150 V).[13]

5 Elektronická ochrana invertoru – principy

Stabilizované zdroje mají velmi malý vnitřní odpor. Při zkratu by mohlo dojít k poškození některých součástek ve zdroji. Proto jsou zdroje většinou vybaveny proudovou ochranou. Nejjednodušší je při zkratu odpojit usměrňovač, pokud tuto funkci plní tyristor a po odstranění zkratu opět začít pracovat normálně.[5]

Způsobů jak ochrany řešit je mnoho. V nejjednodušším případě se mezi tyristor a zátěž zapojí malý rezistor. Pokud na něm vznikne určitý úbytek napětí tak sepne tranzistor, který propojí řídicí elektrodu na katodu tyristoru, čímž ho rozpojí. Po nějaké době tranzistor rozepne a tyristor opět začne spínat. Pokud zkrat trvá, tak se celý děj opakuje.[5]

5.1 Ochrana PFC

PFC modul, který také obsahuje vstupní usměrňovač, slouží ke zvětšení stejnosměrného napětí z 310V na 380V cílem je eliminace napěťových špiček, které se projevují na přívodu. PFC okamžitě reaguje na měnící se venkovní síť, čímž je zdroj odolnější vůči jejím výkyvům.[5]

6 Analýza invertoru KITin 1900 HF

Svářecí stroje **KITin 1900 HF** používají nejnovější inverterovou technologii, kde je použita vysokofrekvenční střední část. Díky tomu je možné použít značně menší transformátor, co do velikosti i váhy, než u standardního stroje. Dalšími velmi důležitými faktory, jež tyto systémy využívají, jsou např. lepší efektivita a lepší kvalita sváření vyplývající z reakce systému.[7]

Ve skutečnosti je použitý celkově kontrolovaný jednofázový inverter, který ovládá svářecí proud daleko rychleji a efektivněji. Například v režimu TIG (lift) okamžitě zapálí elektrický oblouk ihned po lehkém dotyku a dále pak při svařování MMA je svařovací výkon velice stabilní a výkonný. Další možnost zapalování oblouku je metodou TIG HF, jež zabezpečuje vysokofrekvenční HF zapalování. Inverter pracuje díky 60 kHz pracovnímu kmitočtu, IGBT technologii a druhu invertoru.[7]



Obrázek 24: KITin 1900 HF

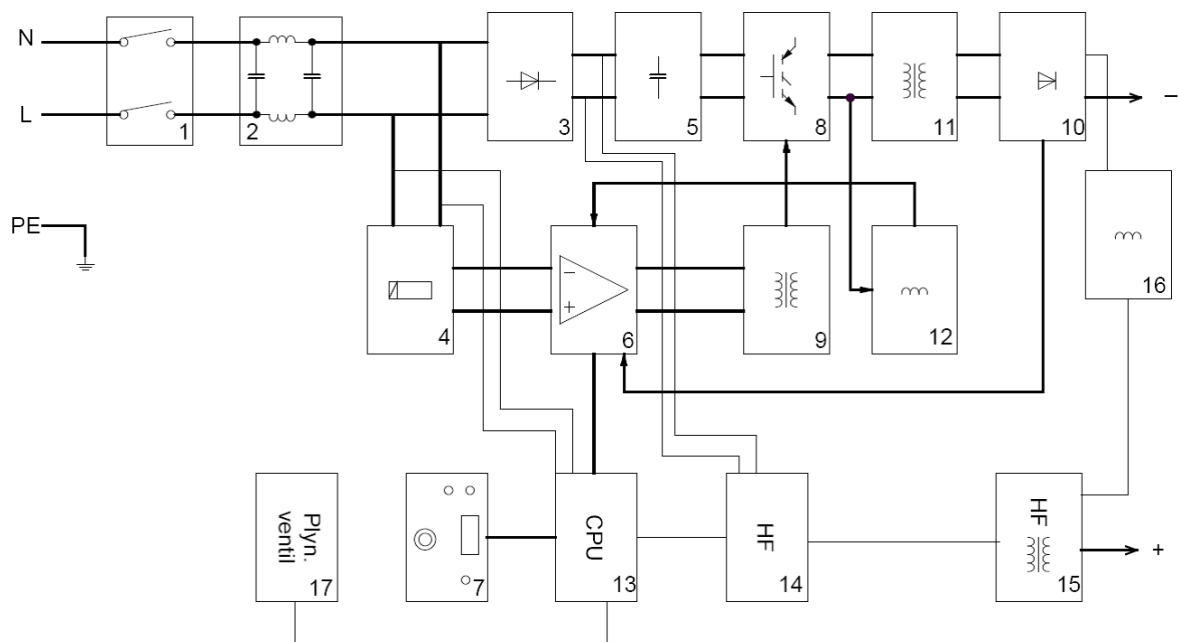
Zdroj:[7]

Technické údaje KITin 1900 HF

Tabulka 1: Technické údaje

Technická data	KITin 1900 HF
Vstupní napětí 50Hz	1x230V
Rozsah svářecího proudu	10-180A
Napětí na prázdkno	85V
Zatěžovatel 40%	180A
Zatěžovatel 60%	150A
Zatěžovatel 100%	110A
Jištění	20A
Krytí	IP 23S
Rozměry DxŠxV	330x120x215
Hmotnost	7,1 Kg

6.1 Blokový diagram a elektrické schéma zapojení



Obrázek 25: Blokový diagram

Zdroj: [7]

Tabulka 2: Popis blokového diagramu invertoru

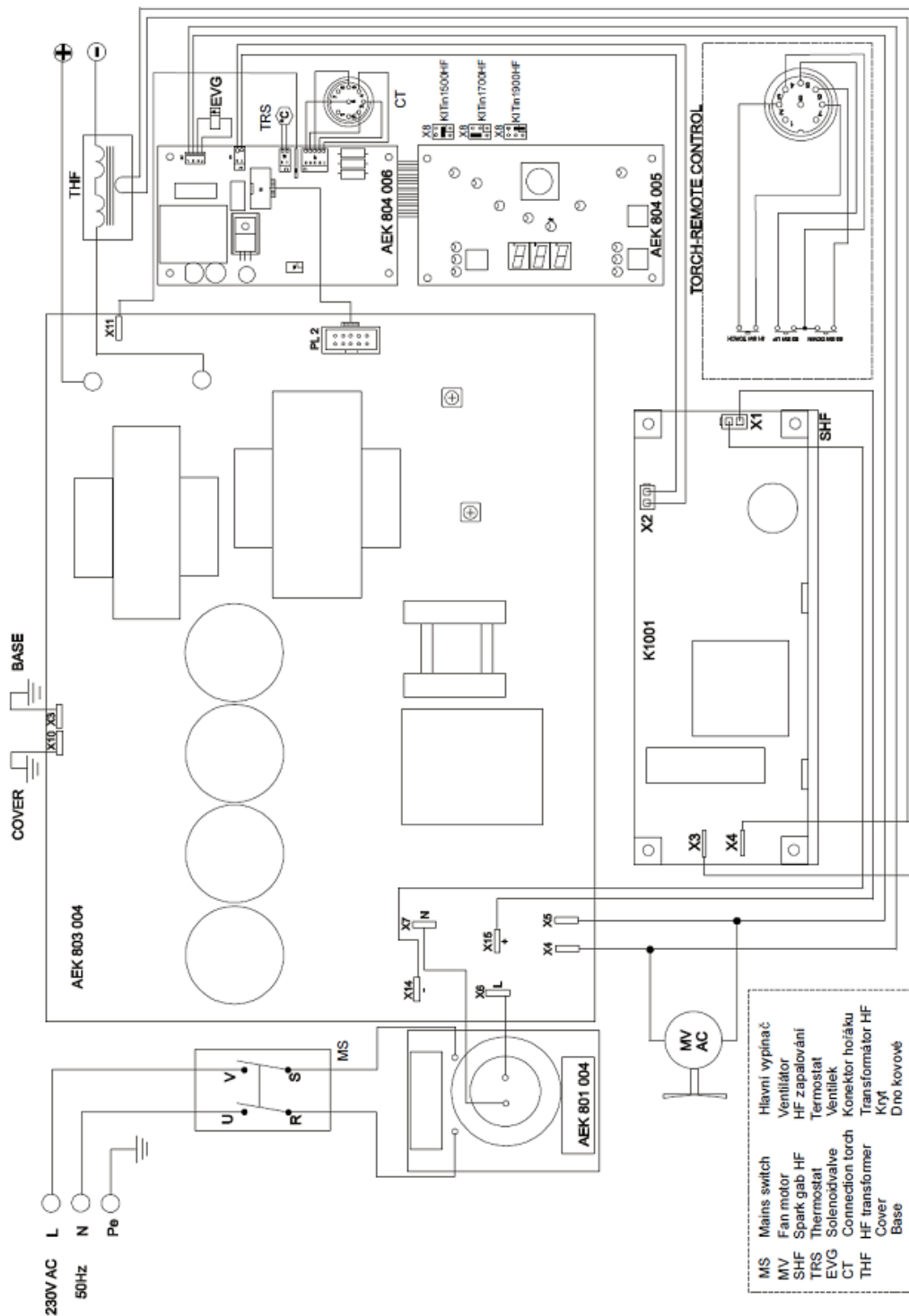
Pozice	Popis	Pozice	Popis
1	Hlavní síťový přívod	10	Výstupní usměrňovač
2	Odrušovací filtr	11	Hlavní transformátor
3	Primární usměrňovač	12	Měřicí transformátor
4	Zdroj 24V DC a ochranný obvod	13	Procesorová PCB
5	Elektrolytické kondenzátory	14	HF zapalování
6	Regulační a řídicí odvody	15	HF transformátor
7	Číselný kontrolní panel	16	Tlumivka
8	Invertor	17	Plynový ventil

Následující body dávají všeobecný popis každé položky v blokovém diagramu viz Obrázek 25:

1. **Hlavní vypínač.** Má za úkol zapínat a vypínat stroj. Je umístěn na zadním panelu u vstupu přívodního kabelu.
2. **Vstupní odrušovací filtr.** Je to pasivní komponent s dvojitým úkolem. Zamezuje výstupu rušivé frekvence ze stroje, jak požadují normy EEC a zároveň poskytuje stroji ochranu vůči rušení působenému jinými elektrickými zařízeními připojenými ke stejné síti.
3. **Primární usměrňovač.** Je to jednofázový můstek, který usměrňuje elektrické napětí z hlavního přívodu.
4. **Zdrojový obvod a ochranný obvod elektrolytických kondenzátorů.** Dodává nezbytné stejnosměrné napětí (24 V) nutné pro napájení PCB. Ochranný obvod potřebný pro počáteční nabíjení elektrolytických kondenzátorů. Nenabitý kondenzátor má v prvním okamžiku nabíjení přechodný účinek úplného zkratu, proto se vytváří počáteční velký proud až 30 A, který škodí nejen kondenzátorům, ale může také poškodit přechody primárního můstku. Za účelem omezení tohoto proudu se vkládá do napájecího obvodu odpor, který sníží proud na přijatelnou hodnotu. Po daném čase (asi 50 milisekund) je tento odpor zkratován kontakty relé.
5. **Elektrolytické kondenzátory.** Výstupní napětí z primárního můstku je vyhlazeno elektrolytickými kondenzátory (v tomto případě tři paralelně).

6. **Regulační a řídicí obvody.** Tyto obvody řídí IGBT podle hodnoty nastavené potenciometrem. Obvod zmenší čas řízení tranzistorů, pokud je výstupní hodnota vysoká a naopak. Obvod obsahuje řídicí proud během zapalování oblouku (ARC FORCE) a ochranné obvody.
7. **Čelní kontrolní panel.** Toto PCB obsahuje en-kodér pro nastavování hodnot na displeji. Dále obsahuje displej a diody LED pro orientaci v jednotlivých režimech.
8. **Výkonový invertor.** Stejnoseměrné napětí je převáděné invertorem na pravoúhlý průběh o kmitočtu 60kHz.
9. **Řídicí transformátor.** Rozděluje řízení pro obě větve tranzistorů.
10. **Sekundární usměrňovač s termostatem.** Rychlé diody se začleněným tlumícím členem. Upravuje pravoúhlý průběh napětí z invertoru. Termostat je na 100°C.
11. **Hlavní transformátor.** Převádí napětí nutné pro svařování a dělá izolaci mezi hlavním napájením a svařovacím obvodem, jak požaduje norma.
12. **Měřicí transformátor.** Je zapojen na výstup invertoru a na primární vypnutí transformátoru. Je navržený k tomu, aby reguloval aktuální hodnoty nastavené potenciometrem, poměrem primárního a svařovacího proudu.
13. **Procesorová PCB.** Tato PCB obsahuje procesor, který ovládá celý invertor. Slouží jako D/A převodník pro nastavení proudu a nastavení jednotlivých svařovacích metod a nastavení všech hodnot pro přesné svařování.
14. **HF zapalování.** Elektronické vysokofrekvenční zapalování, které slouží pro bezdotykové zapálení oblouku v režimu TIG, aniž by se opotřebovala wolframová elektroda.
15. **HF transformátor.** Slouží k transformaci napětí nutné pro bezdotykové HF zapalování do svařovacího oblouku.
16. **Tlumivka.** Slouží ke snadnému udržení elektrického oblouku a má vliv na kvalitu výsledného sváru.
17. **Plynový ventil.** Slouží k propouštění a uzavírání plynu do svařovacího hořáku.

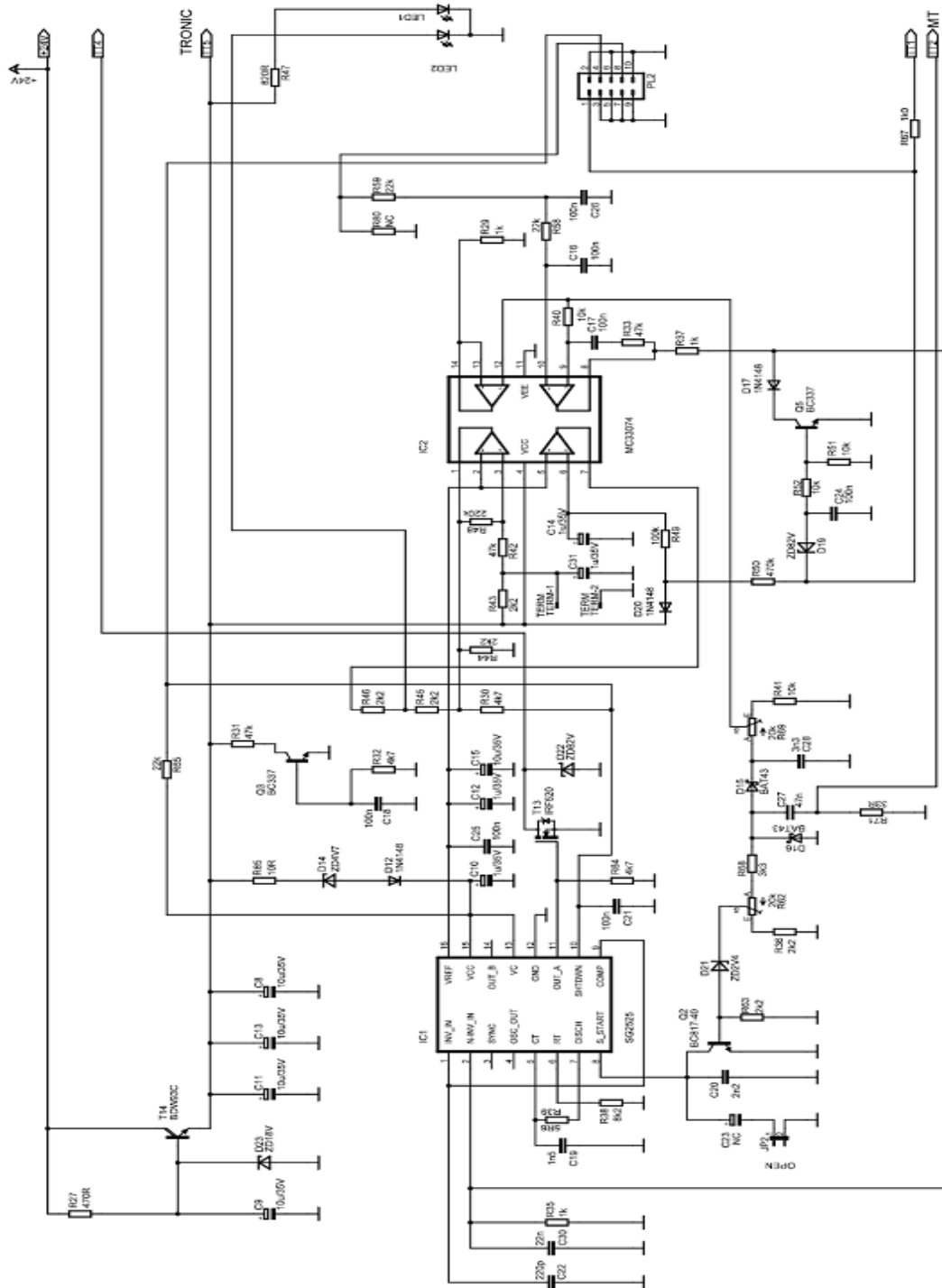
6.1.1 Blokové schéma KITin 1900 HF



Obrázek 26: Blokové schéma KITin 1900 HF

Zdroj: [7]

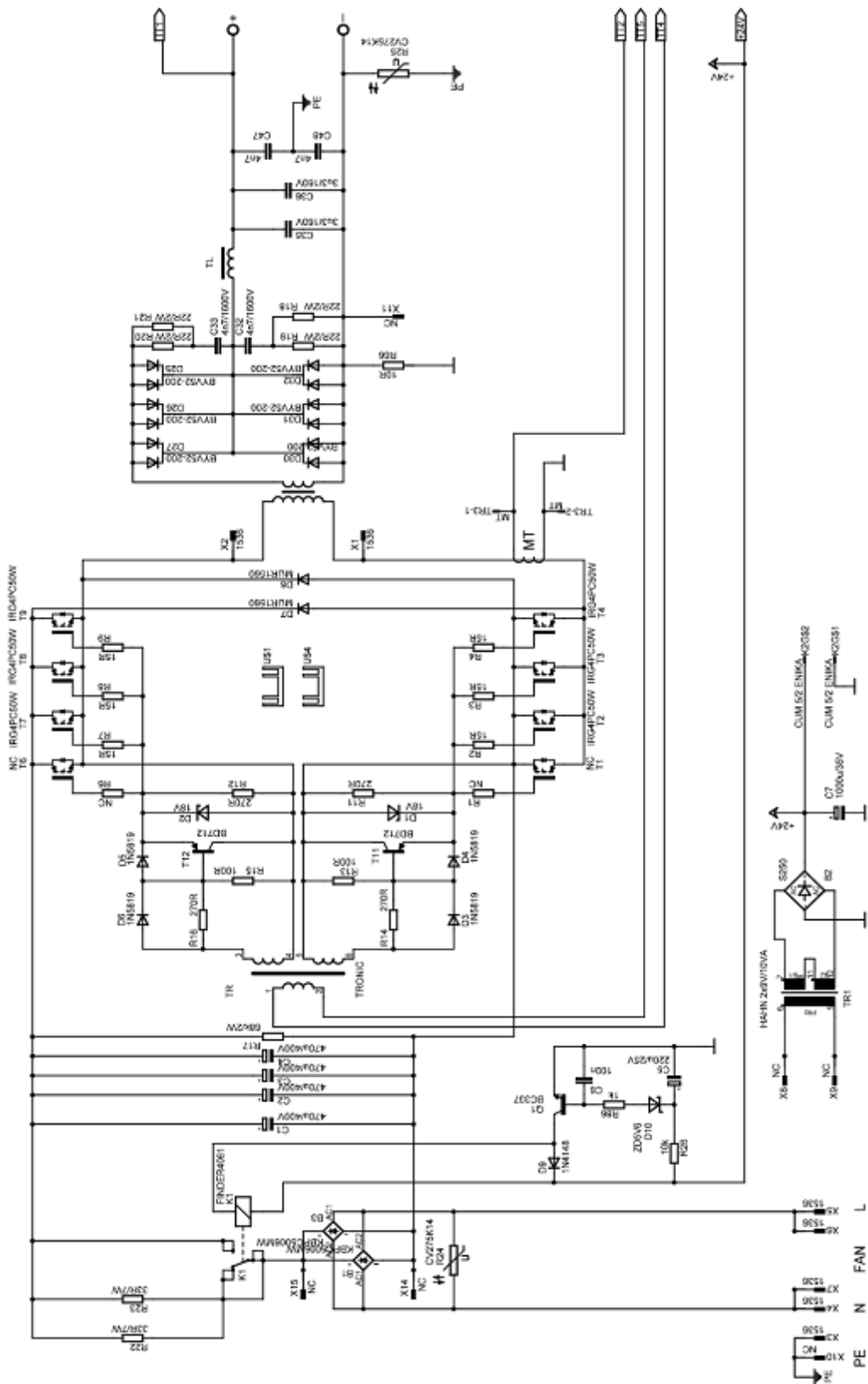
6.1.2 Řídící část



Obrázek 27: Řídící část KITin 1900 HF

Zdroj: [7]

6.1.3 Výkonová část

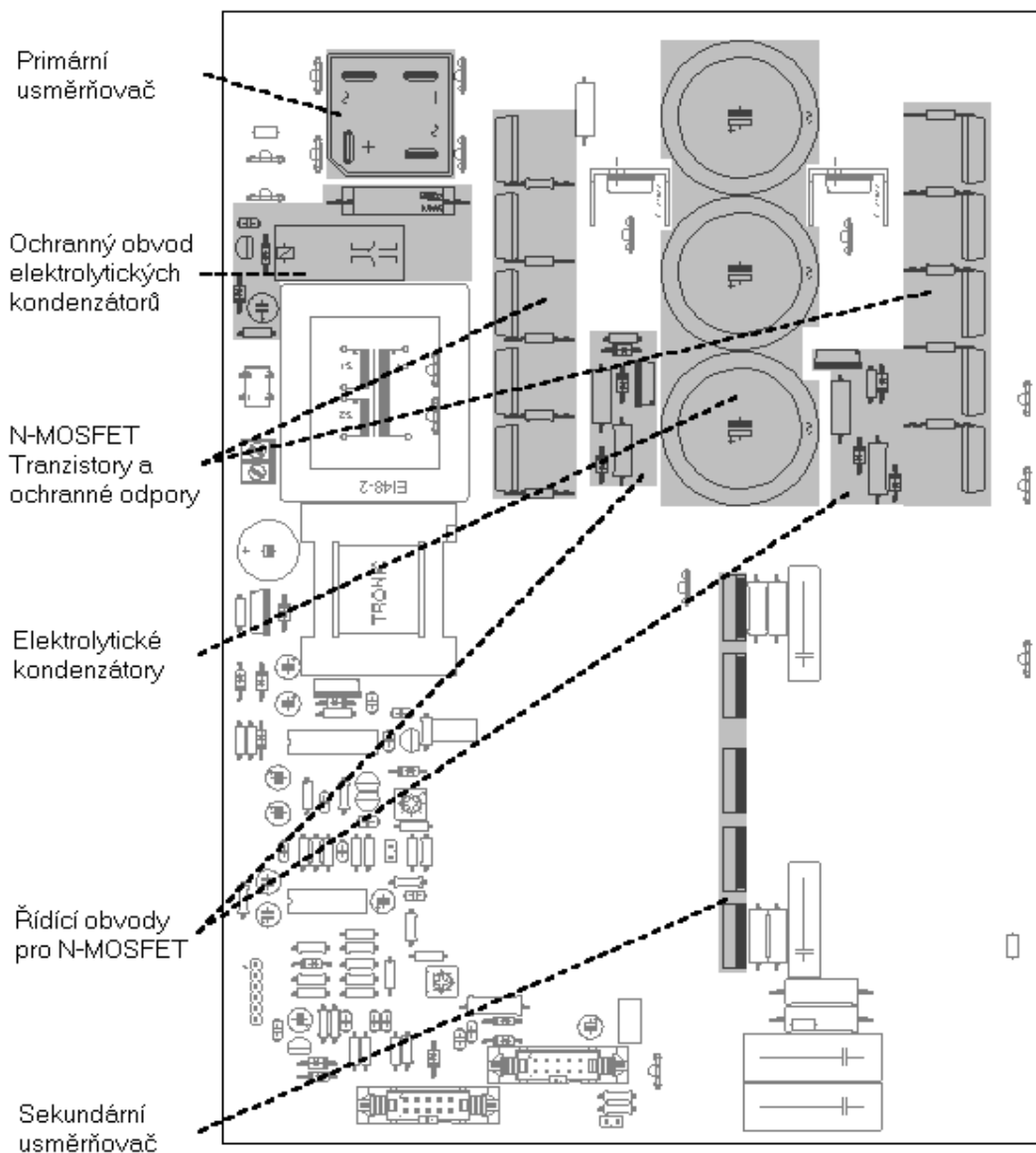


Obrázek 28: Elektrické schéma KITin 1900HF

6.2 Elektronické obvody a jejich měření

K vlastnímu měření a testování stroje byly použity následující přístroje.

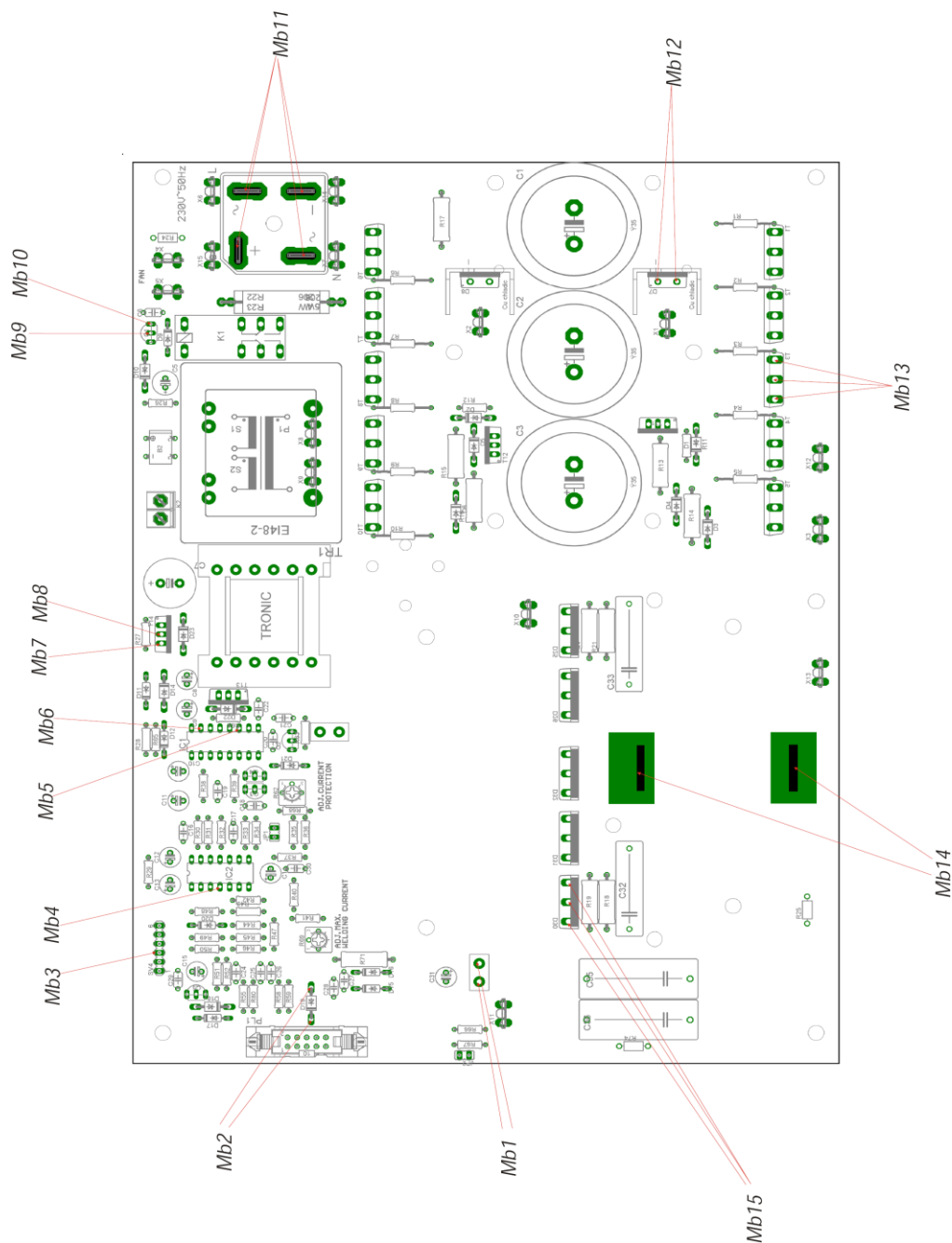
- Digitální multimetr: Fluke 115
- Digitální osciloskop: Rigol DS1102CA (2 Chanel 100Mhz 2GSa/s)



Obrázek 29: Elektronické obvody

6.2.1 Měřicí body

V následujícím obrázku vidíme pár důležitých měřicích bodů, bez kterých se při diagnostice neobejdeme. Dále v tabulce pod obrázkem jsou naměřené výsledky nového testovaného invertoru a stručný popis chování stroje při nesprávné hodnotě.



Obrázek 30: Označení měřicích bodů

Zdroj:[7]

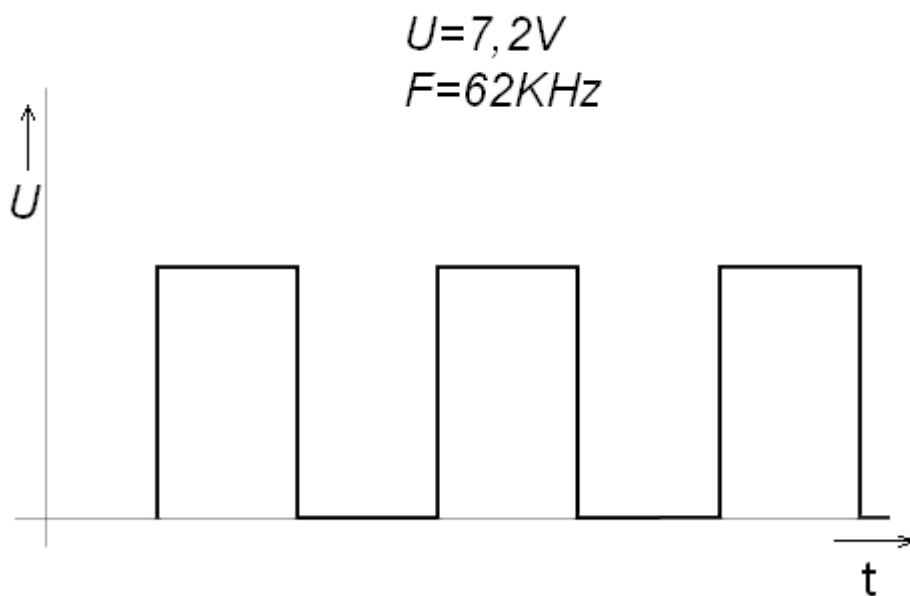
1. Výsledky naměřených bodů

Tabulka 3: Tabulka měřicích bodů

Měřicí bod č.	Popis bodu	Správná hodnota	Chování stroje při nesprávné hodnotě
1	Vývody termostatu	zkrat	Žlutá led, $U_o=0V$
2	Zenerova dioda řídicí U_o	Nesmí být ve zkratu ani přerušena	Nesprávné U_o
3	Napájení HOTSTARTU	24V	Nejde HOTSTART
4	Napájení operačního zesilovače MC 33074	17V	Zablokuje funkce řízení generátoru SG2525
5	Výstupní signál generátoru	7,2 a $f=62k$ Hz	Nejde buzení výkonových tranzistorů
6	Napájení generátoru SG2525	15V	Nejdou funkce generátoru
7	Stabilizátor pomocného napájení	e - 17V	Nefungují řídicí obvody
8	Stabilizátor pomocného napájení	c - 24V	Nefungují řídicí obvody
9	Tranzistor pomocného napájení	b - 18V	Nespíná relé
10	Tranzistor pomocného napájení	c - 24V	Nespíná relé
11	Vstupní můstek	Nesmí být ve zkratu a mít správné přechody	Vyhazuje jistič, nejde přívod do invertoru
12	Diody MUR	Přechod 0,4mV	Žlutá led
13	Výkonové tranzistory	Nesmí být ve zkratu	Žlutá led, vyhazuje jistič, $U_o=0V$
14	Tlumivka	Indukčnost 40mH	Špatně svařuje

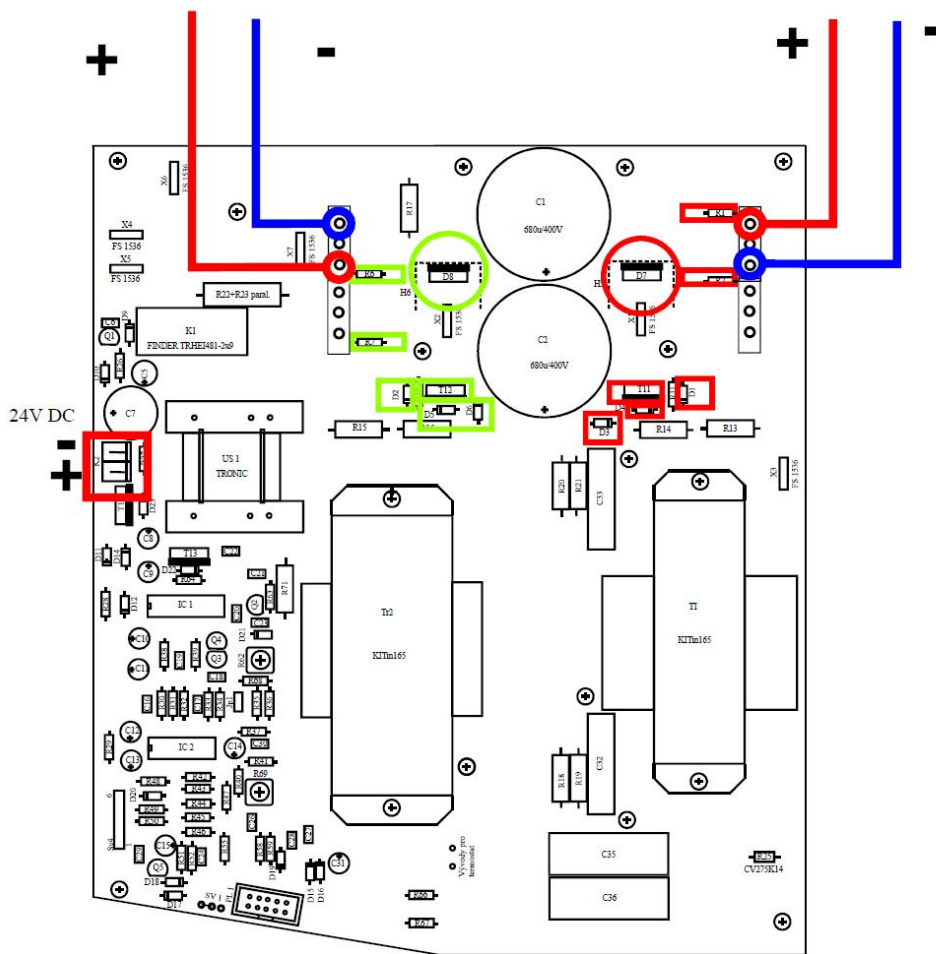
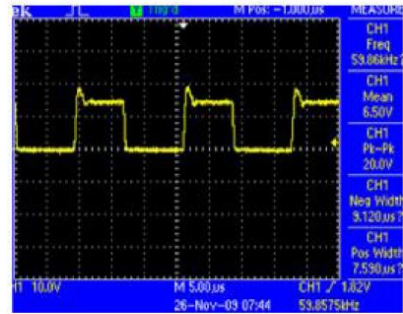
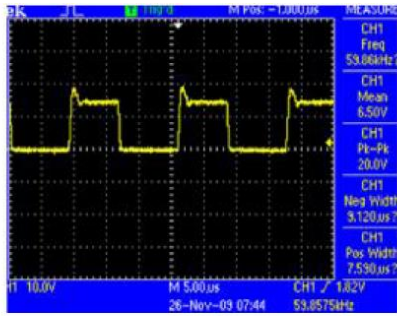
Zdroj:[7]

2. **Průběh generátoru pro buzení výkonových tranzistorů a průběhy výkonových tranzistorů**



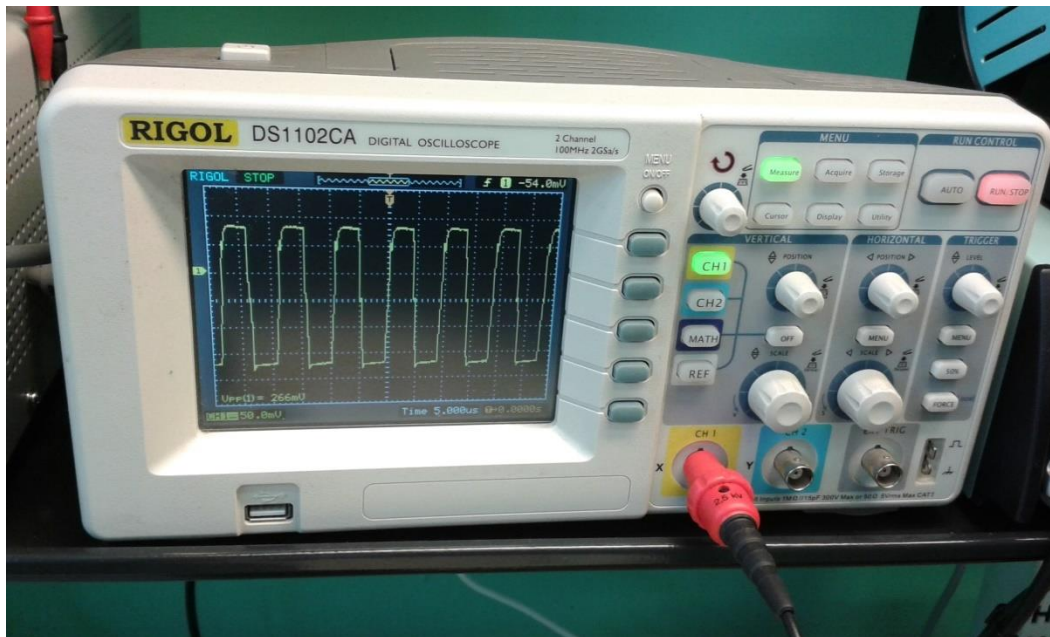
Obrázek 31: Průběh generátoru pro buzení výkonových tranzistorů

Zdroj:[7]



Obrázek 32: Průběhy na výkonových tranzistorech

Zdroj:[7]



Obrázek 33: Měření průběhu

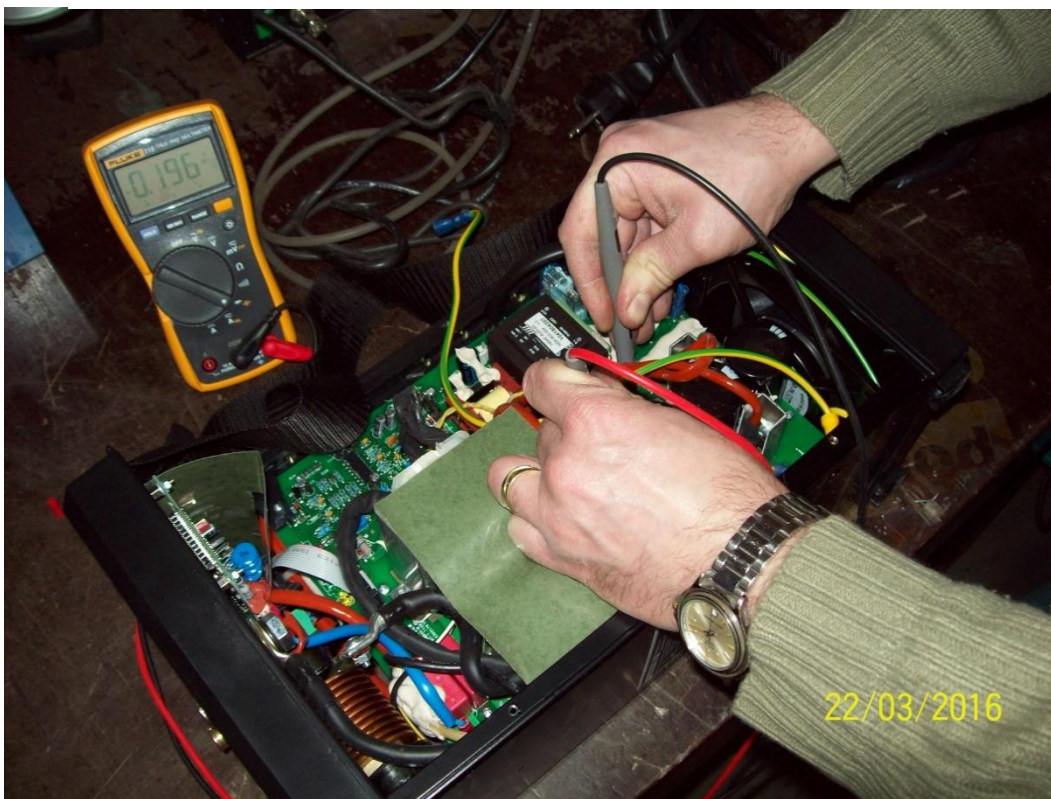
6.3 Funkční zkouška

Na závěr každého měření nebo každého zásahu do zdroje ať už velkého či malého je potřeba provést takzvanou funkční zkoušku to znamená:

- Provéřit správnou funkci všech ovládacích prvků.
- Provést změření odporů v nabíjecím obvodu (obrázek č. 34).
- Provést měření na zatěžovacím odporu.
- Porovnat naměřené hodnoty při zatěžovací zkoušce s hodnotami na měřicích přístrojích svařecího stroje.
- Provéřit stav normalizovaného svařování podle ČSN EN 60974-1.
- Použité měřicí přístroje musí být v přesnosti - třída 0,5 (+ - 0,5% z celé stupnice).[8]



Obrázek 34: Měření nabíjecího obvodu



Obrázek 35: Kontrolní měření polovodičů

7 Revize a kalibrace svařovacího invertorového stroje.

V této kapitole je upozorněno především na pravidelné prohlídky (revize), které jsou dnes už skoro nutností u každého svařovacího zdroje a to hlavně z důvodu bezpečnosti. Nutnost je především ve firmách. Dále kalibrace svařovacího zdroje, která při měření hlavně „napoví“ zda je zdroj v pořádku.

7.1 Přístroje potřebné k testování


K vlastnímu měření a testování stroje byly použity následující přístroje.

- Revexprofi s doplňkem P8050 (WELDtest)
- Digiohm40
- Kalibrační přístroj značky Migatronic

7.2 Revize

Účelem revize je ověřit, zda elektrické zařízení je v souladu se základními technickými a bezpečnostními ustanoveními příslušných norem a zahrnuje i ověření normálního provozního stavu zařízení. Cílem těchto pravidelných revizí je předcházet závadám, které mohou nastat a přerušit tak provoz nebo vyvolat poruchu zařízení. Při revizi se prohlídkou a měřením ověřuje stav zařízení z hlediska základních požadavků bezpečnosti, které jsou na něj kladeny, to znamená, zda je zajištěno, že osoby a majetek budou chráněny před nebezpečími, která mohou elektrická zařízení způsobovat. Na svařovacích zdrojích jsou prováděny pravidelné revize ve lhůtách stanovených výrobcem uváděných v dokumentaci. Z méh zkušeností vím, že tyto dokumentace nejsou vždy zpracovány s jednoznačnými údaji, nebo jsou zastaralé a nedá se z nich pravidelnost revize stanovit. Pokud nestanoví jiný právní předpis jinak, doporučuji provádět revize dle ČSN EN 60974-1 ed.3. Lhůty revizí se stanovují dle ČSN 331500. [8]

Protokol o pravidelné kontrole s vlastními naměřenými hodnotami viz
Obrázek 36.

Protokol o pravidelné kontrole svařovacího zařízení dle ČSN EN 60974-4		Celkové hodnocení: Vyhovuje																			
Provozovatel - uživatel zařízení: Alda- Konstrukt a.s. Smetanova 239 500 03 Hradec Králové p. Novák		IČO: 12345678 DIČ: CZ12345678																			
Zařízení ID: 2011201366																					
Název: Kuhreibet KITin 1900HF		Rok výroby: 2012																			
Inventární číslo: SV - 014		Jmenovitý proud: 16A																			
Výrobní číslo: 5011202153		Výst. napětí (Uo): 88V																			
Kategorie: ČSN EN 60974-4 – Svářečky		krytí IP: 23																			
Připojení: Vidlicí 230V		Délka přívodní šňůry (v metrech): 2,5																			
Třída ochrany: I																					
Umístění: dílna Hradec Králové																					
Použité přístroje a platnost kalibrace:																					
REVEXprofi	Výr. číslo: 7090101	Číslo kalib. listu: K14040337	Platnost do: 4.4.2017																		
Weld test	Výr. číslo: 9031120	Číslo kalib. listu: K14040337	Platnost do: 4.4.2017																		
Prohlídka: Provedena s výsledkem vyhovuje.		Poznámky:																			
Zkouška chodu: Provedena s výsledkem vyhovuje.		Poznámky:																			
Měření: Provedeno s výsledkem vyhovuje.		Poznámky:																			
<ul style="list-style-type: none"> > Odpor PE obvodu 200mA > Izolační odpor – napájecí / svařovací obvod > Izolační odpor – svařovací / ochranný obvod > Izolační odpor – napájecí / ochranný obvod > Proud ochranným vodičem > Rozdílový proud > Unikající proud svařovacího obvodu > Napětí naprázdno jmenovité > Napětí naprázdno vrcholové 		<table> <tr><td>Rpe200mA:</td><td>0,05 Ω</td></tr> <tr><td>Risoln-W:</td><td>---</td></tr> <tr><td>RisoW-PE:</td><td>---</td></tr> <tr><td>Risoln-PE:</td><td>---</td></tr> <tr><td>Ipe:</td><td>1,57 mA</td></tr> <tr><td>Idif:</td><td>---</td></tr> <tr><td>Id-W:</td><td>0,07 mA</td></tr> <tr><td>Uo-Vef:</td><td>84,60 V</td></tr> <tr><td>Uo-Vpp:</td><td>88,00 V</td></tr> </table>		Rpe200mA:	0,05 Ω	Risoln-W:	---	RisoW-PE:	---	Risoln-PE:	---	Ipe:	1,57 mA	Idif:	---	Id-W:	0,07 mA	Uo-Vef:	84,60 V	Uo-Vpp:	88,00 V
Rpe200mA:	0,05 Ω																				
Risoln-W:	---																				
RisoW-PE:	---																				
Risoln-PE:	---																				
Ipe:	1,57 mA																				
Idif:	---																				
Id-W:	0,07 mA																				
Uo-Vef:	84,60 V																				
Uo-Vpp:	88,00 V																				
Výsledek kontroly:																					
SVAŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ JE BEZ ZÁVAD A JE SCHOPNO DALŠÍHO BEZPEČNÉHO PROVOZU																					
Poznámky k celk. hodnocení: <i>Při kontrolním měření byla provedena kontrola svařovacích hodnot s výsledkem - vyhovuje.</i>																					
Pravidelná kontrola byla provedena dne: 22.3.2016																					
Řádný termín příští kontroly je nejpozději do: 22.3.2017																					
Dodavatel: Profiweld-servis,s.r.o. Vážní 531 500 03 Hradec Králové IČO: 28816111 DIČ: CZ28816111		Kontrolu provedl a protokol vystavil: Petr Syrucek Evidenční číslo: 4457/06/14/R-EZ-E4/A Tel.: 494900084 Email: petr.syrucek@pw-servis.cz																			
Se stavem zařízení byl uživatel seznámen dne: 22.3.2016																					
Podpis uživatele:		Razítko a podpis technika:																			

Obrázek 36: Protokol vlastního vyhotovení v programu firmy ILKO

7.2.1 Měřicí metody

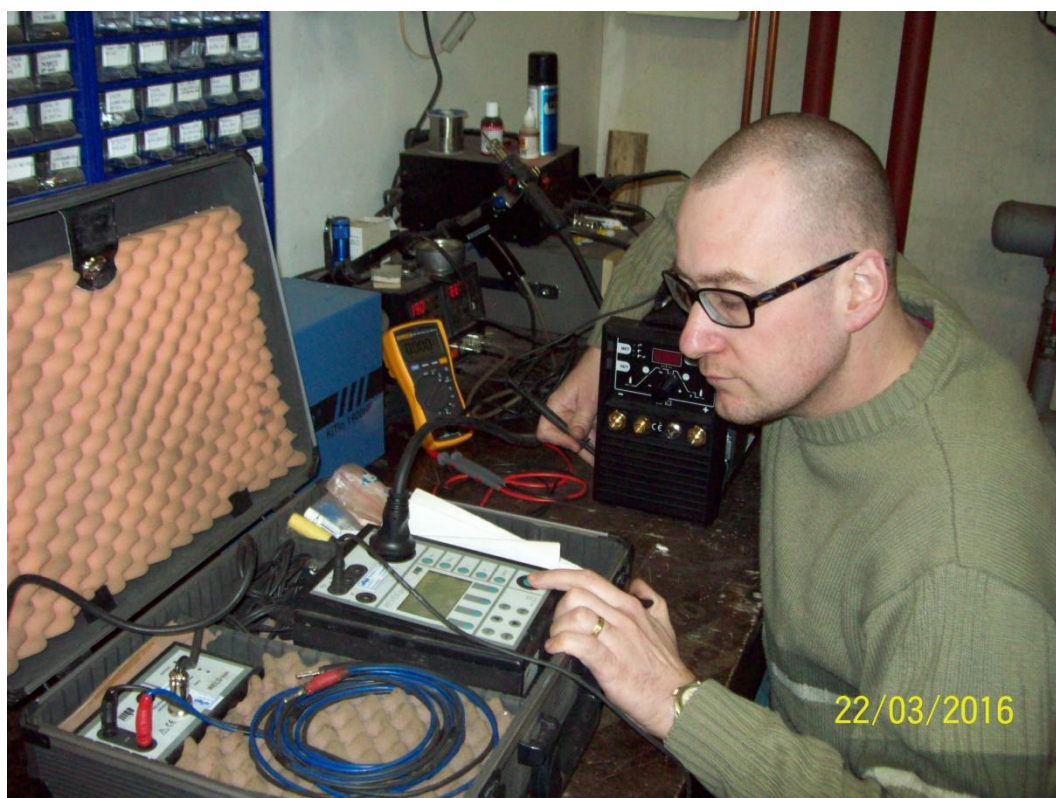
1. *Odpor ochranného vodiče*

Zdroj měřicího proudu se zapojí mezi dotyku přístupnou vodivou část spotřebiče a přípojné místo ochranného vodiče PE k elektrické instalaci. Měřicí přístroj vyhodnocuje odpor. [10]

Při délce síťového přívodu do 5 m nesmí maximální změřený odpor ochranného vodiče překročit 0,3 Ω . Na každých dalších 7,5 m je 0,1 Ω . Maximální dovolená hodnota odporu ochranného vodiče je 1 Ω . [10], [7]

2. *Izolační odpor*

Zdroj měřicího proudu se zapojí mezi spojené pracovní vodiče spotřebiče a přípojné místo PE vodiče k elektrické instalaci. V měřicím obvodu je zapojen ohmmetr, který vyhodnocuje izolační odpor. [10]



Obrázek 37: Měření všech izolačních stavů

3. Proud protékající ochranným vodičem

Spotřebič je připojen přes měřicí přístroj k napájecímu napětí a sepnutí síťového vypínače je uveden do provozu. Proud, který uniká ze síťové části přes izolace spotřebiče na jeho dotyku přístupné vodivé části, odtéká PE vodičem přes měřicí přístroj, kde je do obvodu ochr. vodiče „vražen“ miliampérmetr měřící velikost proudu. [10]

4. Dotykový proud

Spotřebič je připojen přes měřicí přístroj k napájecímu napětí a sepnutí síťového vypínače je uveden do provozu. Hrot měřicího vodiče se přiloží k měřené části spotřebiče a dotykový proud jím odtéká přes měřicí přístroj a jeho PE vodič do země. V měřicím obvodu je vražen miliampérmetr měřící velikost proudu a odpor $2\text{ k}\Omega$ simulující odpor lidského těla. [10]

5. Náhradní unikající proud

Zdroj měřicího proudu je připojen mezi spojené pracovní vodiče spotřebiče a přípojné místo ochranného vodiče PE k elektrické instalaci. V měřicím obvodu je zapojen miliampérmetr, který vyhodnocuje unikající proud. Vnitřní odpor měřicího obvodu má mít velikost $2\text{ k}\Omega$, což simuluje odpor lidského těla. [10],

Primární unikající proud. U strojů napojených vidlicí 32A včetně nesmí unikající proud překročit 5mA. U strojů napojených vidlicí větší než 32A nesmí unikající proud překročit 10mA. Výstupní obvod musí být ve stavu naprázdno a odrušovací kondenzátory nesmí být odpojeny. [10], [8]

Unikající proud ze svařovacího obvodu. Unikající proud mezi výstupy svařování a svorkou ochranného vodiče nesmí překročit 10 mA. [10], [8]

6. *Napětí naprázdno*

Napětí naprázdno měříme jmenovité (bez zátěže) a vrcholové (s umělou zátěží)

Před měřením musí být, pokud to je nezbytné, zařízení pro zapálení a stabilizaci oblouku odejmuto nebo přemostěno, případně musí stroj být přepnut do metody, která nevyvolá spuštění zařízení pro zapálení oblouku. Jmenovitá napětí naprázdno při všech možných nastaveních nesmí překročit DC 113V vrcholová hodnota, AC 113V vrcholová hodnota, 80V efektivní hodnota[10], [7]



Obrázek 38: Měření napětí naprázdno a při zatížení



Obrázek 39: Naměřené hodnoty napětí

7.3 Kalibrace, Verifikace a Validace

V některých procesech obloukového svařování, svářeč řídí proces díky své zkušenosti. Nicméně, např. v obloukovém svařování závisí kvalita sváru na přesném a opakovatelném nastavení parametrů, jako je proud, napětí, rychlost podávání drátu, posuv vozíku, průtok plynu, atd.

Co říkají příslušné konstrukční normy pro zařízení obloukového svařování ČSN EN 60974-1? Tato norma určuje referenční úrovně svařovacích strojů a poskytuje specifikace pro výkon i přesnost nastavení parametrů. V ručním svařování hraje klíčovou roli měření těchto parametrů a přizpůsobení výkonu zařízení tak, aby splňovaly požadavky na svar. Mechanizované metody postrádají kvalifikované možnosti přizpůsobivosti „ ručního svařování“ a vyžadují přesnou kontrolu nad všemi měřitelnými procesy svařování. Kontrola procesů svařovacích zařízení je tedy obzvláště důležitá. Výrobci reagují na tuto potřebu a vyrábí zařízení s přesností na výstupní kontroly a kalibrace, které překračují požadavky ČSN EN 60974-1. Kromě požadavků mechanizovaného svařování i některé manuální

metody svařování se staly přesnějšími na nastavení parametrů a postupy svařování a proto vyžadují přesné řízení výkonu zdroje s omezením svobodné volby svářeče. Zlepšení vybavení stroje, přijetí mechanizovaného svařování, zavedení programů zajištění jakosti a zvýšení pochopení faktorů.[8]

Validace – je ověření opakovatelnosti metody postupu, činnosti nebo nastavených parametrů (např. dat WPS, WPQR).

Verifikace – je ověření pravdivosti dat např. získaných z validací.

Kalibrace – nastavení, cejchování, metody, postupu, činnosti nebo parametrů na určitou úroveň, např. údajů voltmetru a ampérmetru svařovacího stroje srovnáním s etalonem.

Validace svařovacích strojů je ověření opakovatelnosti nastavených svařovacích parametrů, nikoli přesnost nastavení těchto parametrů. Validovat svařovací stroj jako takový nelze, je možné validovat svařovací metodu nebo parametry. Validace neřeší přesnost nastavení parametrů. Pokud validujeme, tak podle platných stupňů normy a podle toho, co říkají nároky na svařovací proces.

Verifikace, znamená ověřit, zda nastavené hodnoty dat (např. při validaci) jsou v toleranci přípustné daným měřicím systémem na svařovacím stroji. Pokud hodnoty těchto dat vybočují z tolerance dané normou, pak musíme kontrolovaný systém nebo stroj kalibrovat.

Kalibrace je seřízení a nastavení měřicího nebo nastavovacího systému stroje.[8]



Obrázek 40: Kalibrační přístroj

Na základě naměřených hodnot jsem vytvořil kalibrační list, který odpovídá všem normám.

Kalibrační/validační list:

číslo001/2016

(tabulka naměřených hodnot)

Datum vystavení: 16. březen 2016

Celkové hodnocení: **Vyhovuje**

Petr Syrůček

Zákazník:

Alda- Konstrukt a.s.

Smetanova 239, 500 03 Hradec Králové

IČO: 12345678

Typ svařovacího zdroje:

Kitin 1900 HF

Výrobní číslo:

15285091

Evidenční číslo:

16 994

Výrobce:

Kuhtreiber

Měřená veličina:

Svařovací proud,

Druh regulace:

Digitální- potenciometr

Rozsah regulace:

5-190A proud

Umístění zařízení:

svařovací dílna

Datum ukončení zkoušky:

16.03.2016

Použité měřicí přístroje:

SMP kalibrátor v.č.1181

Kalibrační listy č.

KL 1930

Pulzní otáčkoměr

Kalibrace provedena dne:

16.03.2016

Metoda kalibrace:

přímé porovnání

Podmínky měření:

Teplota vzduchu při kalibraci 21C

Relativní vlhkost:

70%

Výsledek kalibrace:

Kalibrovaný zdroj označen štítkem

s vyznačeným datem platnosti

kalibrace do 03.2017

Výsledky měření:

Jsou uvedeny v příloze kalibračního

listu viz tabulka

Tabulka naměřených hodnot

Typ: **KITin 1900**


v.č.: **15285091**

e.č.: **16 994**

Proud rozsah: **20-190A**

<u>Nastavená hodnota</u>	20	40	60	80	100	120	140	150
<u>Naměřená hodnota</u>	18	40	60	80	100	120	140	149
<u>Nastavená hodnota</u>	150	140	120	100	80	60	40	20
<u>Naměřená hodnota</u>	149	140	120	100	80	60	40	20

Kalibrační list v jiném provedení

VALIDATION											
						Certificate no.:		VAL-2016-4-18-001/2016			
						Customer ID no.:		Alda- Konstrukt a.s.			
						Serial no.:		001/2016			
						Filnavn:		001/2016_Alda- Konstrukt a.s._VALIDATION.pdf			
Name: Alda- Konstrukt a.s.						Machine address: Kuhreiber Kitin 1900HF					
Address: Smetanova 239						City: v.č. 5011202153 ev.č. SV - 014					
City: Hradec Králové						Ambient temperature:		26 °C		OK	
Brand		Type:				Nominal mains voltage:		230 Volt			
Meters		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		MIG TIG MMA		Measured mains voltage:		236 Volt		OK	
Wire feed unit brand: 0 Type/No.: 0						Mains voltage deviation:		2,61 %			
Voltage reading <input type="checkbox"/> AC <input checked="" type="checkbox"/> DC						Current reading <input type="checkbox"/> AC <input checked="" type="checkbox"/> DC					
Voltmeter full scale reading						100 Volt		Ammeter full scale reading		190 Ampere	
Permissible max. error at 2.5% FSD						2,5 Volt		Permissible max. error at 2.5% FSD		4,8 Ampere	
Setting	Indicated voltage	Actual voltage	Indication error volt	Deviation in % of max errors	Pass / Fail	Intentional voltage	Indicated current	Actual current	Indication error Ampere	Deviation in % of max errors	Pass / Fail
1	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	10,2 _{Min}	5	6	-1	-21,1	OK
2	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	12,0	50	49	1	21,1	OK
3	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	13,2	80	81	-1	-21,1	OK
4	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	15,6	140	142	-2	-42,1	OK
5	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	17,6 _{Max}	190	188	2	42,1	OK
6	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	17,6	190	188	2	42,1	OK
7	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	15,6	140	139	1	21,1	OK
8	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	13,2	80	81	-1	-21,1	OK
9	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	11,6	40	39	1	21,1	OK
10	0,0	0,0	0,0	0,0	OK	10,2 _{Min}	5	6	-1	-21,1	OK
Measurement of wire feed speed						<div style="text-align: center;"> <h3>STATUS</h3> <p>PASS = Specifications are kept</p> <p>FAIL = Specifications are not kept</p> </div> <div style="text-align: right; font-size: 2em; font-weight: bold;">OK</div>					
Setting	Indicated speed	Actual speed	Indication error m/min	Deviation in 1 %	Pass / Fail						
1	0,0	0,0	0,0	0,0	OK						
2	0,0	0,0	0,0	0,0	OK						
Traceability						Reference: ENV 50504					
Test method						Resistor type as described in EN 60974-1					
Conclusion						This welding equipment has been calibrated in accordance with above specifications and the measuring results are as stated. The tolerance demands in ENV 50504 (EN 3834 - EN 17662) are in accordance with the demands in EN60974-1					
Equipment specifications						Error reason					
Calibrator: Uncertainty: +/- 0,5% +/- 1 digit		No: 1181				Date for validation		22.3.2016			
Multi meter: Uncertainty: +/- 2,3 %		RE6810		No: 8068988		Recommended date for next validation		12 months		22.3.2017	
Termometer: Uncertainty: +/- 2,3 %		RE6810		No: 8068988		Approved by: Profiweld-servis s.r.o. Syrůček Petr					
Tachometer: 0		Type: 0		No: 0							

Obrázek 41: Kalibrační list vyhotovený v programu od firmy Migatronik

Závěr

Se spínanými zdroji se setkáváme téměř kdekoliv a ne jenom ve svařovací technice, ale i v domácnostech, kancelářích, ve venkovních prostorách a jinde.

Je zřejmé, že invertorové zdroje dnes již zcela nahradily transformátorové svařovací zdroje používané pro metodu TIG svařování a svařování obalovanou elektrodou.

Domnívám se však, že s nárůstem výroby invertorových zdrojů dojde ke snížení ceny a k postupnému vytlačení skokově řízených transformátorových zdrojů, které svou malou účinností nedovedou konkurovat invertorovým zdrojům.

Je pravdou, že invertorové zdroje jsou náročnější na údržbu, také opravy těchto zdrojů jsou finančně nákladnější, avšak široká možnost plynulé regulace je přesvědčivý argument, který je příčinou jejich rozšíření.

Tato práce mi byla přínosem nejen v tom, že jsem si rozšířil své znalosti, ale i praktické zkušenosti v této oblasti.

Seznam použité literatury

- [1] FAKTOR, Zdeněk. Transformátory a cívky. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-49-X.
- [2] FAKTOR, Zdeněk. Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-91-0.
- [3] STENGL, Jens Peer a Jenö TIHANYI. Výkonové tranzistory MOSFET. 1. čes. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-54-6.
- [4] JEDLIČKA, Josef a Miroslav HAUNER. Svařování v otázkách a odpovědích. 6., nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. Řada strojírenské literatury.
- [5] Service.migatronica [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://service.migatronica.com/>
- [6] PAVELKA, Jiří, Zdeněk ČEŘOVSKÝ a Jiří LETTL. Výkonová elektronika. Vyd. 3., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03626-6.
- [7] Kuhlreibe: service site [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.kuhlreiber.cz/servis.html>
- [8] *Vlastní zpracování: Profiweld-servis* [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.pw-servis.cz/servis>
- [9] *Polovodičové diody: VA charakteristika* [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://popular.fbmi.cvut.cz/elektrotechnika/Stranky/Polovodi%C4%8Dov%C3%A9%20diody%20-%20%C3%BAvod,%20VA%20charakteristika.aspx>
- [10] Dokumentace přístroje: revizní přístroje [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.illko.cz/revexprofi-ii-prislusenstvi>
- [11] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje I. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-02-3
- [12] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-031-8.

- [13] *Moderní výkonové polovodičové prvky a jejich aplikační možnosti: Ing. Jaroslav Novák, CSc.* [online]. ČVUT v Praze [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/moderni-vykonove-polovodicove-prvky-a-jejich-aplikacni-moznosti--14473?do=closeNewsletter>
- [14] *Kondenzátory* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.aldax.cz/index.php?act=prod&show=clanky&key=elyty>
- [15] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje III.: pasivní součástky v napájecích zdrojích a preregulátory - aktivní harmonické filtry*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-56-2.
- [16] FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-123-3.

Seznam zkratek a symbolů

HP	Označení svařovacího zdroje s pulzací.
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor.
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.
TIG	Tungsten Inert Gas Welding.
HF	Zdroj s vysokofrekvenčním zapalováním (High Frequency)
PFC	Power Factor Correction

Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické údaje	46
Tabulka 2: Popis blokového diagramu invertoru.....	47
Tabulka 3: Tabulka měřicích bodů	54

Seznam ilustrací

Obrázek 1: schéma - spínací zdroje	9
Obrázek 2: Blokové schéma spínacího zdroje	10
Obrázek 3: Propustné zapojení - tranzistor sepnut.....	11
Obrázek 4: Propustné zapojení - rozepnutý tranzistor	12
Obrázek 5: Akumulační zapojení.....	13
Obrázek 6: Rekuperační zapojení	14
Obrázek 7: Kombinovaná zapojení - sepnuté tranzistory po dobu t_1	14
Obrázek 8: Kombinované zapojení - rozepnuté tranzistory po dobu t_2	15
Obrázek 9: Dvoučinné zapojení.....	16
Obrázek 10: Schéma zapojení spínaného zdroje typu PUSH-PULL.....	16
Obrázek 11: Dvoucestný polomost	17
Obrázek 12: Polomost s jedním primárním vinutím.....	18
Obrázek 13: Polomost: a) sepnut T1, b) sepnut T2.....	18
Obrázek 14: Kompletní zapojení polomostu	19
Obrázek 15: Plný most.....	19
Obrázek 16: Netočivé svařovací zdroje - regulace	25
Obrázek 17: Netočivé svařovací zdroje - výstupní napětí	26
Obrázek 19: Analogové řízení invertorového modulu.....	27
Obrázek 18: Blokové schéma	27
Obrázek 20: Blokové zapojení digitálního řízení invertorového modulu..	28
Obrázek 21: Blokovací zapojení	29
Obrázek 22: Střídačové zapojení	30
Obrázek 23: VA charakteristika různých typů diod.....	39








Obrázek 24: KITin 1900 HF	45
Obrázek 25: Blokový diagram	46
Obrázek 26: Blokové schéma KITin 1900 HF.....	49
Obrázek 27: Řídící část KITin 1900 HF	50
Obrázek 28: Elektrické schéma KITin 1900HF	51
Obrázek 29: Elektronické obvody.....	52
Obrázek 30: Označení měřicích bodů	53
Obrázek 31: Průběh generátoru pro buzení výkonových tranzistorů.....	55
Obrázek 32: Průběhy na výkonových tranzistorech	56
Obrázek 33: Měření průběhu	57
Obrázek 34: Měření nabíjecích odporů.....	58
Obrázek 35: Kontrolní měření polovodičů	58
Obrázek 36: Protokol vlastního vyhotovení v programu firmy ILKO.....	60
Obrázek 37: Měření všech izolačních stavů	61
Obrázek 38: Měření napětí na prázdko a při zatížení	63
Obrázek 39: Naměřené hodnoty napětí.....	64
Obrázek 40: Kalibrační přístroj.....	66

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Fotografie štítku měřeného svařovacího zdroje

Příloha č. 2 - Stručný výtah z normy ČSN 33 1600

Příloha č. 1

KÜHTREIBER®		Kühtreiber, s.r.o. Tyršova 293, 675 22 Stařeč		CE	
	Type: KITin 1900HF	S.No.: 5011202153			
		EN 60974-1, -10			
	$U_0 = 88V$	10A/10,4V - 180A/17,2V			
	$U_1 = 230V$	$I_1 \text{ max} = 26A$		$I_{1 \text{ eff}} = 17,4A$	
	$U_0 = 88V$	10A/20,4V - 180A/27,2V			
	$U_1 = 230V$	$I_1 \text{ max} = 35,5A$		$I_{1 \text{ eff}} = 23,8A$	
WELDING MACHINE		I.C.L. F		IP23S	

22/03/2016

Příloha č. 2

PŠIS	Stručný výtah z normy 1/4	ČSN 33 1600 ed. 2
vydání: listopad 2009	počet stran: 28	33 1600

Revize a kontroly elektrických spotřebičů během používání

S účinností od 31. 12. 2010 se nahrazují ČSN 33 1600 z května 1994 a ČSN 33 1610 z března 2005, které do uvedeného data platí souběžně s touto normou.

Dle této normy se provádí:

- revize a kontroly nepřípevných elektrických spotřebičů během jejich používání a
- revize nepřípevných elektrických spotřebičů po opravách.

Tato norma se nevztahuje na el. spotřebiče, které jsou součástí pevného rozvodu, zdravotnické elektrické přístroje, elektrická zařízení do prostorů s nebezpečím výbuchu, strojní zařízení, svářečky a elektrická technická zařízení používaná při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem a při pracích s těmito činnostmi související. Nevztahuje se také na el. spotřebiče na napětí SELV a PELV, které se nepřipojují k síti nn.

Rozdělení elektrických spotřebičů dle užívání:

Skupina A - spotřebiče poskytované formou pronájmu dalšímu provozovateli nebo přímému uživateli
 Skupina B - spotřebiče používané ve venkovním prostoru (na stavbách, při zemědělských pracích atp.)
 Skupina C - spotřebiče používané při průmyslové a řemeslné činnosti ve vnitřních prostorách
 Skupina D - spotřebiče používané ve veřejně přístupných prostorách (školy, hotely, internetové kavárny atp.)
 Skupina E - spotřebiče používané při administrativní činnosti

Lhůty pravidelných revizí nepřípevných spotřebičů

Skupina	Třída ochrany	Nepřípevně spotřebiče držené v ruce a prodlužovací příklady	Ostatní nepřípevně spotřebiče
A	Před vydáním provozovateli nebo uživateli a dále podle skupiny jejich užívání		
B	I	3 měsíce	6 měsíců
	II a III	6 měsíců	
C	I	6 měsíců	24 měsíců
	II a III	12 měsíců	
D	I	12 měsíců	24 měsíců
	II a III		
E	I	12 měsíců	24 měsíců
	II a III		

Odpor ochranného vodiče 0,2 Ω při délce přívodu do 3 m
 + 0,1 Ω na každé další započaté 3 m délky přívodu (max. 1 Ω);

Izolační odpor

spotřebiče třídy ochrany I:
 spotřebiče držené v ruce: 2 MΩ
 ostatní spotřebiče: 1 MΩ
 tepelné spotřebiče nad 3,5 kW: 0,3 MΩ

spotřebiče třídy ochrany II:
 spotřebiče držené v ruce a prodlužovací příklady: 7 MΩ (světla 4 MΩ) ostatní spotřebiče: 2 MΩ

spotřebiče třídy ochrany III:
 spotřebiče držené v ruce: 0,25 MΩ
 ostatní spotřebiče: 0,25 MΩ

Měření unikajících proudů
 Při měření podle bodu a) nebo b) je nutné provést vždy dvě měření. Druhé měření se provede při záměně vodiče L s vodičem N a vyhodnocuje se vyšší naměřená hodnota.

a) měření proudu protékajícího ochranným vodičem max. 3,5 mA;
 Výjimky - tepelné spotřebiče nad 3,5 kW max. 1 mA na 1 kW;
 - zařízení informační techniky držené v ruce max. 0,75 mA;
 - zařízení informační techniky vybavené varovným návěstím a pospojováním.

b) měření dotykového proudu max. 0,5 mA;

c) měření náhradního unikajícího proudu
 Tuto metodu lze použít jen v případě, že izolační odpor byl změřen a byl vyhovující.
Spotřebiče třídy ochrany I max. 3,5 mA.
Spotřebiče třídy ochrany II max. 0,5 mA.

(pokračuje na straně 2/4)

UPOZORNĚNÍ: Tento výtah je určen pro rychlé seznámení se změnami, příslušnou normu však nenahrazuje!

Dodává: Ing. Jiří Váňa, PŠIS - Polabské školící a informační středisko, Palackého třída 413, Nymburk, tel.: 325 512 771