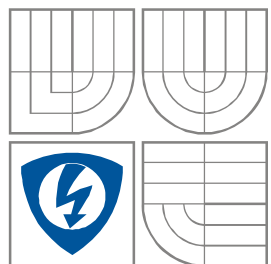


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TEORETICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ
ELEKTROTECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL
ELECTICAL ENGINEERING

ZDOJE PRO ELEKTRICKÝ OHRADNÍK SOURCES FOR ELECTRIC FENCE

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT
BACHELOR'S PROJECT

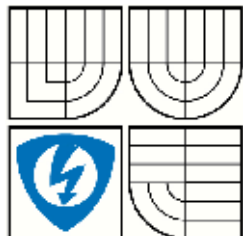
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Vojtěch Surovec

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Elektronika a sdělovací technika

Student: Vojtěch Surovec

ID: 98612

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Zdroje pro elektrický ohradník

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zdroj pro elektrický ohradník má dodávat vn impulz do 10 kV s energií do 11 J. Prostudujte vlastnosti a použití komerčně dostupných zdrojů, seznámte se s principy impulzních zdrojů a jejich obvodovou realizací.

Navrhněte a realizujte sestavu zdroje pro ohradníky, umožňující zálohované napájení 230 VAC / 12 VDC. Zdroj má obsahovat kontrolní obvody pro zajištění spolehlivé funkce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ČSN EN 60335-2-76

[2] KREJČEŘÍK, A. Napájecí zdroje I, II, III. Praha: BEN – technická literatura, 1999.

[3] Ohradníky s.r.o., dostupné na [www: http://ohradniky.cz/](http://ohradniky.cz/)

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. Část teoretickou a praktickou. V části teoretické se seznamujeme s vlastnostmi a použitím komerčně dostupných zdrojů, s principy impulsních (spínaných) zdrojů a jejich obvodovou realizací. V praktické části se nachází návrh a realizace zdroje pro ohrazení, umožňující zálohované napájení 230 VAC / 12 VDC. Zdroj má obsahovat kontrolní obvody pro zajištění spolehlivé funkce.

Klíčová slova

Spínané zdroje, elektrické ohrazení, zálohované napájení

Abstract

Bachelor's project is divided to two parts. The First part is focused theoretically and the second part is focused practically. In the theoretically part we met the standards of properties and application commercially available sources as well as of principle pulse (switch-mode) sources and circuit realization. In practically part is suggestion of circuit design and realization of source for electric fence, enabling backed up power 230 VAC / 12 VDC. The source have to contain control circuit for reliable function.

Keywords

Switch-mode sources, electric fence, source backup

Bibliografická citace mé práce:

SUROVEC, V. *Zdroje pro elektrický ohradník*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 44 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „**Zdroje pro elektrický ohradník**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu **Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.** za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 5. června

.....
podpis autora

Obsah

1	ÚVOD.....	7
2	SPÍNANÉ ZDROJE	8
2.1	POROVNÁNÍ S LINEÁRNÍMI REGULÁTORY	8
2.2	ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ	9
2.2.1	<i>Snižování napětí</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Zvyšování napětí.....</i>	<i>11</i>
2.2.3	<i>Inverze napětí.....</i>	<i>12</i>
2.3	ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ.....	13
2.3.1	<i>Propustné zapojení.....</i>	<i>13</i>
2.3.2	<i>Akumulační zapojení</i>	<i>15</i>
2.3.3	<i>Kombinované zapojení</i>	<i>16</i>
2.3.4	<i>Dvojčinné zapojení.....</i>	<i>17</i>
2.3.5	<i>Místková zapojení.....</i>	<i>18</i>
3	KOMERČNĚ PRODÁVANÉ ZDROJE	21
3.1	PRINCIP ZDROJŮ PRO ELEKTRICKÉ OHRADNÍKY	21
3.1.1	<i>Impulsové napájení</i>	<i>21</i>
3.1.2	<i>Stálé napájení.....</i>	<i>21</i>
3.1.3	<i>Napájení při změně odporu</i>	<i>21</i>
3.2	PRINCIP NAPÁJENÍ ZDROJŮ PRO EO	22
3.2.1	<i>Síťové napájení.....</i>	<i>22</i>
3.2.2	<i>Akumulátorové napájení.....</i>	<i>22</i>
3.2.3	<i>Kombinované napájení.....</i>	<i>22</i>
3.2.4	<i>Napájení z alternativních zdrojů</i>	<i>23</i>
3.3	MODERNÍ VIRTUÁLNÍ PLOTY	23
3.3.1	<i>Princip obojku.....</i>	<i>23</i>
4	VLASTNÍ NÁVRH	24
4.1	POPIS BLOKOVÉHO SCHÉMATU	24
4.2	PRAKTICKÁ REALIZACE	24
4.2.1	<i>Měnič 230 V/400 V.....</i>	<i>25</i>
4.2.2	<i>Měnič 12 V/400 V.....</i>	<i>27</i>
4.2.3	<i>Zdroj vysokonapěťových impulsů</i>	<i>28</i>
4.2.4	<i>Kontrola (Alarm).....</i>	<i>29</i>
4.3	EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ	29
5	ZÁVĚR.....	31
6	POUŽITÁ LITERATURA A ODKAZY NA ZDROJE.....	32
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	33
8	SEZNAM TABULEK	33
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	34
10	PŘÍLOHA.....	35

1 Úvod

Cílem této práce je návrh a realizace sestavy zdroje pro elektrické ohradníky, umožňující zálohované napájení 230 VAC / 12 VDC. Zdroj má obsahovat také kontrolní obvody pro zajištění spolehlivé funkce.

Impulsní (nebo-li spínané) zdroje se od zdrojů lineárních liší především způsobem využívání výkonového regulačního členu. Protože ve spínaném zdroji je výkonový člen zatěžován impulsně (je s určitou periodou spínán a rozpínán), dá se tím dosáhnout podstatně vyššího výkonu, než v lineárním zdroji při použití stejného výkonového prvku.

V dnešní době jsou hojně využívány nejen kvůli své vysoké účinnosti, malým rozměrům a hmotnosti, ale také kvůli širokému pásmu kmitočtů, na kterých jsou schopny pracovat. I když je výroba těchto zdrojů náročnější, než výroba zdrojů lineárních, začínají mít na trhu majoritní postavení. V sériové průmyslové výrobě se objevují velmi často, ale pro amatérské konstrukce jsou spíš výjimkou kvůli své náročnosti a amatéři využívají zdroje lineární.

Spínané zdroje začínají nahrazovat zdroje s běžným transformátorem. Jsou to elektronické napájecí zdroje, které nejdříve vstupní napětí usměrnění a vyhladí, potom převedou na impulsy vysoké frekvence, transformují je na požadované napětí a následně znovu usměrní a vyhladí, čím se získá výsledné výstupní napětí.

Díky pulsně šířkové modulaci PWM (Pulse Width Modulation), na jejichž principu pracují, mají spínané zdroje také nižší ztráty a jsou proto i vhodnější k využití při napájení z akumulacních článků. Dále se zde využívá toho, že dokážou zpracovat napětí na vyšším kmitočtu než je kmitočet zdroje, ze kterého je napětí odebíráno.

Se spínanými zdroji se setkáváme téměř kdekoli, a proto není překvapující, že se používají i na zdroje pro elektrické ohradníky. Zdroje pro elektrické ohradníky jsou v dnešní době hojně využívány, jak v odvětví chovatelském, k ochraně a vymezení prostoru pro dobytek na pastvinách a k bezpečnému ohraničení divokých šelem a ostatní zvěře v zoo. Ale také v odvětví pěstitelském, při pěstování surovin k ochraně před škůdci.

Elektrické ohradníky pracují na principu šoku. Účelem není zvířatům ublížit, ale udržet je ve vytyčeném prostoru nebo je chránit před predátory. Zvíře, které se dostane do kontaktu s elektrickým ohradníkem, po pár pokusech zjistí, že onen drát nebo dráty mu způsobují nepříjemnou bolest, nikoliv však nebezpečnou. Po této zkušenosti se zvíře instinktivně začne drátům vyhýbat.

Hlavní těžiště práce se nachází v druhé polovině dokumentu, která je zaměřena na praktickou realizaci zdroje. První polovina obsahuje teoretické znalosti potřebné k realizaci samotného zdroje.

2 Spínané zdroje

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. Praktický návrh spínaných zdrojů je však mnohem komplikovanější, než u zdrojů lineárních a náročnost na výběr součástek jejich návrh dále komplikuje [1].

2.1 Porovnání s lineárními regulátory

Rozdíl mezi spínaným a lineárním zdrojem (se spojitou regulací) je hlavně ve způsobu používání výkonového regulačního členu. Ve spínaných zdrojích je výkonový člen zatěžován impulsně. Je střídavě spínán a rozpínán. Využívají se výhody impulsního režimu daného prvku. V impulsním režimu může být odebíraný impulsní výkon podstatně větší, než jaký je možné odebírat v lineárním režimu s použitím stejného výkonového prvku [2].

Spínané zdroje samozřejmě mají svoje výhody, ale také nevýhody. Jejich největší výhodou je velká účinnost, nízká hmotnost a malé rozměry. Již okolo 20 [W] se dá počítat s nasazením spínaných zdrojů. Díky tomu, že spínané zdroje pracují na vysokých kmitočtech, je zde snadná filtrace zbytků střídavé složky. Bohužel se tato vlastnost dá využít až při podstatně vyšším kmitočtu, než je kmitočet sítě 50 [Hz]. Proto se už nepoužívají spínané zdroje s tyristory, které pracují na kmitočtech 50 [Hz] nebo o něco větších.

Nevýhodou spínaných zdrojů je však kvůli jejich vysokému pracovnímu kmitočtu cena jednotlivých součástek, které musí bezproblémově a spolehlivě pracovat na tak vysokém kmitočtu (mezní kmitočty tranzistorů a diod, rozptylové kapacity transformátorů a stejnosměrné odpory elektrolytických kondenzátorů). Čím „levnější“ součástky koupíme, tím bude horší výkonová hranice efektivního využití spínaných zdrojů.

Srovnání spínaných stabilizátorů s lineárními je přehledně uvedeno níže v tabulce (**Tabulka č.1**). Účinnost spínaných zdrojů se běžně pohybuje v rozmezí od 70 do 80 % a to i v případě velmi špatných spínaných zdrojů od 60 do 65 %. Obdobné lineární stabilizátory podobných parametrů by stěží mohly dosáhnout účinnosti lepší než 50 %, obvykle se jejich účinnost pohybuje okolo 30 %.

Podstatné zlepšení účinnosti se dosahuje v okolí pracovních kmitočtů 20 kHz, avšak dnešní součástky umožňují i konstrukci spínaných zdrojů, které pracují na kmitočtech 100 kHz až 1 MHz s účinností až 8 krát lepší, než jejich obdobná lineární zapojení s podobnými vlastnostmi. Další parametry mohou být přinejmenším porovnatelné. S rostoucím kmitočtem (a tedy rostoucí kvalitou) součástek se dále poměr parametrů mění ve prospěch spínaných zdrojů.

Tabulka č.1 Porovnání lineárních a spínaných zdrojů

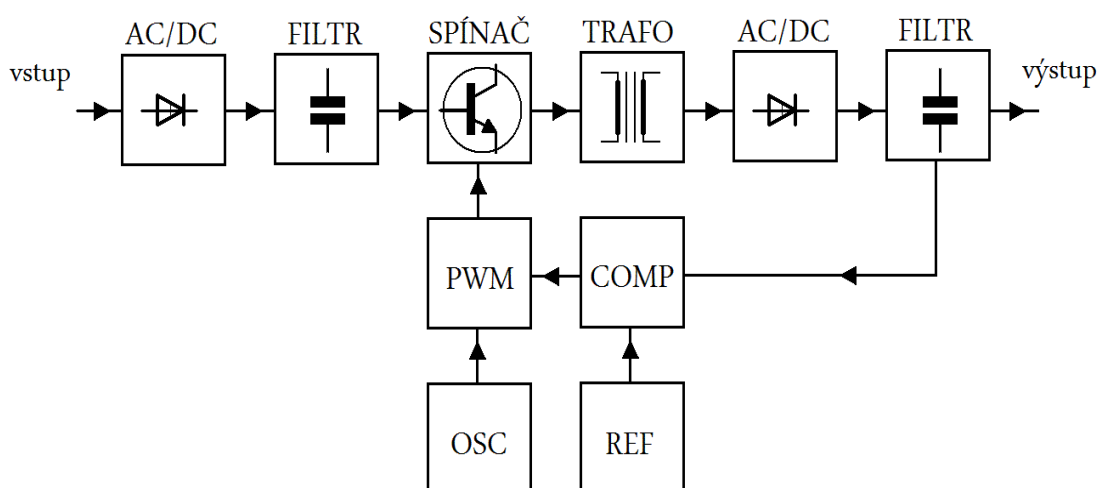
Parametr	Spínaný zdroj	Lineární zdroj
Účinnost	75 [%]	30 [%]
Velikost	0,2 [W/cm ³]	0,05 [W/cm ³]
Váha	100 [W/kg]	20 [W/kg]
Výstupní zvlnění	50 [mV]	5 [mV]
Šumové napětí	200 [mV]	50 [mV]
Odezva na skok	1 [ms]	20 [μs]
Doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
Cena	přibližně konstantní	roste s výkonem

2.2 Základní zapojení

Spínaný zdroj se skládá z několika základních částí, znázorněných na obrázku (Obrázek č.1). Důležitou podmínkou činnosti spínaných zdrojů je jejich stejnosměrné napětí na vstupu vedení, které musí mít co nejmenší střídavou složku, protože kvůli svému nízkému kmitočtu (50 [Hz]) často prochází přes celý filtr až na výstup.

Máme tedy dvě základní možnosti zapojení, jedno je se vstupním napětím stejnosměrným a druhé se střídavým. Když je na vstupu stejnosměrné napětí, tak bývá velmi malý vnitřní odpor a pak není vysoká náročnost na vstupní filtr. Pokud bude na vstupu napětí střídavé, tak po jeho usměrnění na vstupním usměrňovači je potřebné, aby se důkladně vyhladilo zbytkové napětí vstupním filtrem.

Oba tyto prvky, jak usměrňovač, tak vstupní filtr, musí být dostatečně účinné na síťovém kmitočtu 50 Hz, což vede na užití prakticky libovolných usměrňovacích diod (vhodných parametrů), ale na značné nároky na filtrační člen (RC, LC), který i na takto nízkém kmitočtu musí být dostatečně účinný [1].



Obrázek č.1 Blokové schéma spínaného zdroje

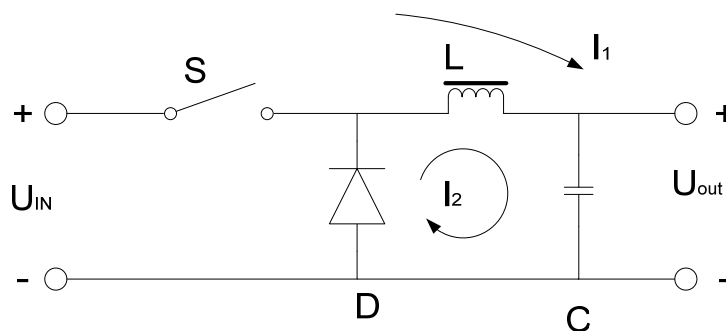
Pro transformaci vstupního napětí je nutné, aby bylo převedeno na střídavý tvar, u spínaných zdrojů se to převádí pomocí vysokofrekvenčních spínaných tranzistorů, které při kmitočtech 20 [kHz] až 1 [MHz] vytvoří střídavý obdélníkový průběh.

Vlastní transformace velikosti napětí probíhá buď na indukčnosti, nebo na transformátoru. Výstupní střídavé napětí je nutno usměrnit a opět vyfiltrovat obsah jeho střídavé složky. Přitom naopak vzhledem ke vstupním obvodům jsou vysoké požadavky kladeny na diody, které musí vykazovat usměrňovací efekt na pracovním kmitočtu (malá kapacita přechodu, malá spínací a zejména vypínací doba). Na výstupní filtr již zdaleka nejsou kladeny takové požadavky, protože pracuje na vysokém kmitočtu a jeho filtrační účinky na tomto kmitočtu jsou vynikající.

Všechny spínané zdroje jsou řízeny zpětnou vazbou, která snímá velikost výstupního (výstupních) napětí, případně výstupního (nebo i vstupního) proudu pomocí řídicí logiky spínání spínacích tranzistorů [1].

2.2.1 Snižování napětí

Na obrázku (**Obrázek č.2**) je indukčnost zapojena do série se spínacím prvkem. Indukčnost je zapojena jako část integračního LC článku. Výstupní kondenzátor C je dobíjen proudem I_1 a na kondenzátoru po sepnutí spínače S roste napětí a to tím pomaleji, čím je větší kapacita C a indukčnost L .



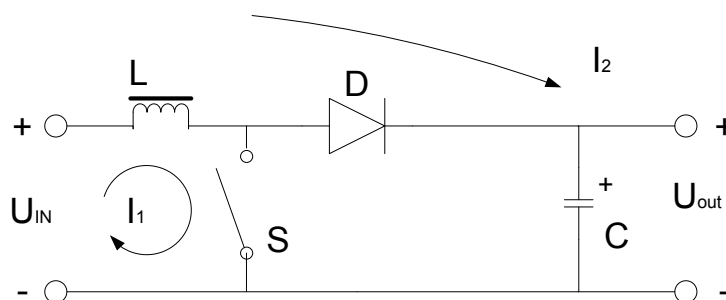
Obrázek č.2 Snižování napětí

Po rozepnutí spínače S se snaží indukčnost L udržet směr a velikost svého proudu. Energie, akumulovaná během první etapy (v době sepnutého spínače S) se mění na dobíjecí proud I_2 kondenzátoru C . Aby však proud I_2 mohl v tomto obvodu protékat, je třeba dosud popsané součástky doplnit diodou D , uzavírající proudový obvod proudu I_2 . Z daného popisu principu činnosti tohoto obvodu plyne, že během první části (sepnutí S) napětí na výstupu roste, kdežto během druhé části (spínač S rozepnut) výstupní napětí klesá.

Je-li však spínání a rozspínání spínače S dostatečně rychlé, je výstupní zvlnění napětí U_{out} o stejném kmitočtu a je možno dobře filtrovat. Dále z uvedeného plyne, že výstupní napětí U_{out} může být maximálně tak velké, jako je napětí vstupní U_{in} . Budeme-li prodlužovat dobu t_1 , kdy je S sepnut, výstupní napětí poroste stejně jako v případě, kdy budeme dobu t_2 zkracovat. Chceme-li výstupní napětí snížit, pak snížíme dobu t_1 , případně zvýšíme dobu t_2 . V anglosaské literatuře tento princip najdeme pod označením Step-Down nebo BUCK.

2.2.2 Zvyšování napětí

Na obrázku (Obrázek č.3) je ukázáno další zapojení stejných stavebních prvků spínaného zdroje, tentokrát je indukčnost opět v sérii, ale spínač je paralelně připojen k zemi. Během doby t_1 (sepnutý spínač S) se výstupní kondenzátor vybíjí do zátěže a aby se nevybíjel i přes sepnutý S, je oddělen diodou D, která je při sepnutém spínači S polarizována v závěrném směru a nevede. Ze zdroje stejnosměrného napětí U_{IN} teče proud I_1 přes indukčnost L a spínač S a energie se akumuluje v magnetickém poli indukčnosti o velikosti $A = \frac{1}{2} * L * I_2$, proud I_1 indukčností narůstá až do okamžiku, kdy je spínač S rozepnut. V tom okamžiku indukčnost chce opět udržet směr a velikost proudu I_1 a vzniká na ní indukované napětí.



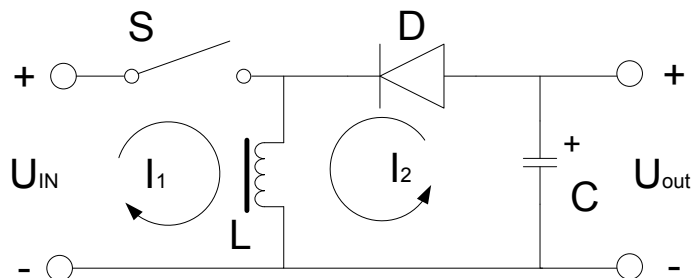
Obrázek č.3 Zvyšování napětí

Toto napětí se sčítá s napětím napájecího zdroje U_{IN} a obě tato napětí v sérii prohánějí proud I_2 do výstupního kondenzátoru C (a zatěžovacího odporu, je-li připojen). Protože velikost indukovaného napětí U_{ind} závisí na hodnotě indukčnosti cívky L, na velikosti původního proudu I_1 a na rychlosti rozepnutí spínače S (dt), pak toto napětí není amplitudově omezeno a může být teoreticky libovolně vysoké. Po sečtení s napětím U_{IN} je tedy výstupní napětí U_{out} vždy vyšší, jak U_{IN} . V anglosaské literatuře se tento typ obvodu uvádí pod názvy Step-Up nebo BOOST.

Vliv dob sepnutí (t_1) a rozepnutí (t_2) u tohoto zapojení již není tak jednoznačný, jako u zapojení předcházejícího. S rostoucí dobou t_1 sice roste velikost proudu I_1 (a při $dI_1 / dt = konst.$ Roste i velikost napětí U_{ind}), ale současně klesá i napětí U_{out} dlouhým vybíjením kondenzátoru C. Naopak s rostoucí dobou t_2 je sice kondenzátor C déle dobíjen, ale pouze v tom případě, že velikost $U_{IN} + U_{ind}$ je větší než $U_{out} + U_F$, kde U_F je napětí na diodě v propustném směru, je-li vodivá. Tato podmínka nemusí být vždy splněna. Návrh spínaného zdroje tohoto typu je tedy značně komplikovanější. Je snadno patrné, že tento obvod nemůže být navržen tak, aby výstupní napětí bylo nižší, než napětí vstupní.

2.2.3 Inverze napětí

Třetím využívaným zapojením je na Obrázek č.4, kde je spínač S opět v sérii, ale paralelně je tentokrát cívka s indukčností L . V době t_1 (sepnutý spínač S) roste proud ze zdroje U_{in} přes spínač S a indukčnost L tak dlouho, jak dlouho je sepnut S.



Obrázek č.4 Inverze napětí

Po rozepnutí spínače S má indukčnost snahu pokračovat ve směru a velikosti proudu I_1 proudem I_2 , který se bude uzavírat přes nabíjený kondenzátor C a diodu D, tím na kondenzátoru C poroste napětí, ale v polaritě plus = dole, mínus = nahoře. Výstupní napětí U_{out} má tedy opačnou polaritu vzhledem ke společné svorce, než napětí vstupní U_{IN} . Dioda D je polarizována tak, aby nedocházelo během doby t_1 k přebíjení kondenzátoru C na kladnou polaritu ze zdroje U_{IN} . Doby spínání spínače S opět nejsou interpolovatelné jednoznačně.

Při růstu doby t_1 (sepnutí S) sice roste velikost akumulované energie v magnetickém poli indukčnosti, ale o to více klesá výstupní napětí vybíjením kondenzátoru C do zátěže. Z principu činnosti tohoto obvodu však vyplývá, že výstupní napětí U_{out} může být jak menší, tak i větší, než je napětí vstupní U_{IN} .

2.3 Základní zapojení spínaných zdrojů

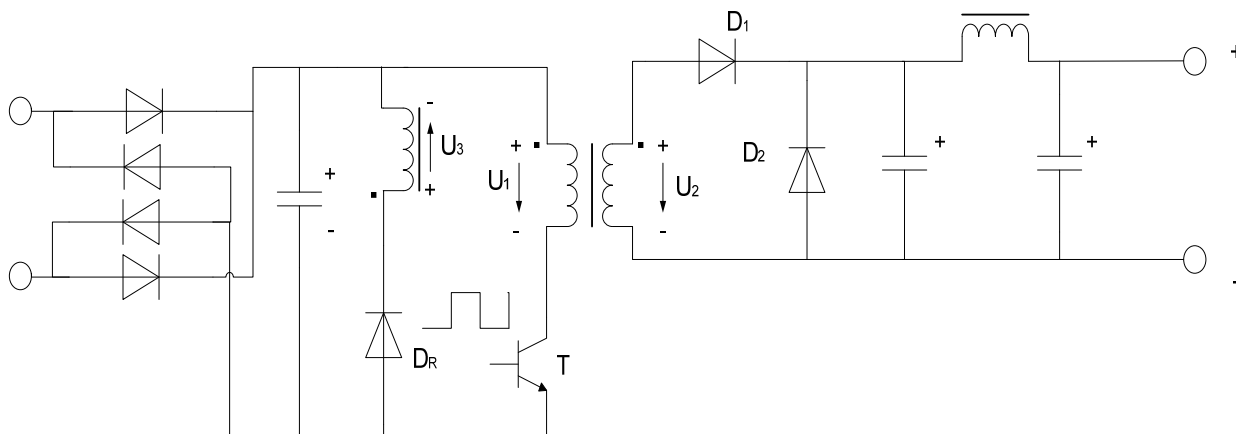
Zapojení spínaných zdrojů jsou všeobecně komplikovaná a pro jejich znalost je nutnost znát i vnitřní zapojení specializovaných integrovaných obvodů, které jsou v těchto zdrojích užívány. Nicméně odhlédneme-li od oblasti obvodů zpětnovazebních stabilizací, lze spínané zdroje rozdělit podle jejich zapojení a funkce do několika základních skupin. Jednotlivá zapojení se obvykle rozlišují podle způsobu přenosu energie z primárních obvodů do obvodů sekundárních [1].

Tabulka č. 2 Oblasti užití jednotlivých typů měničů

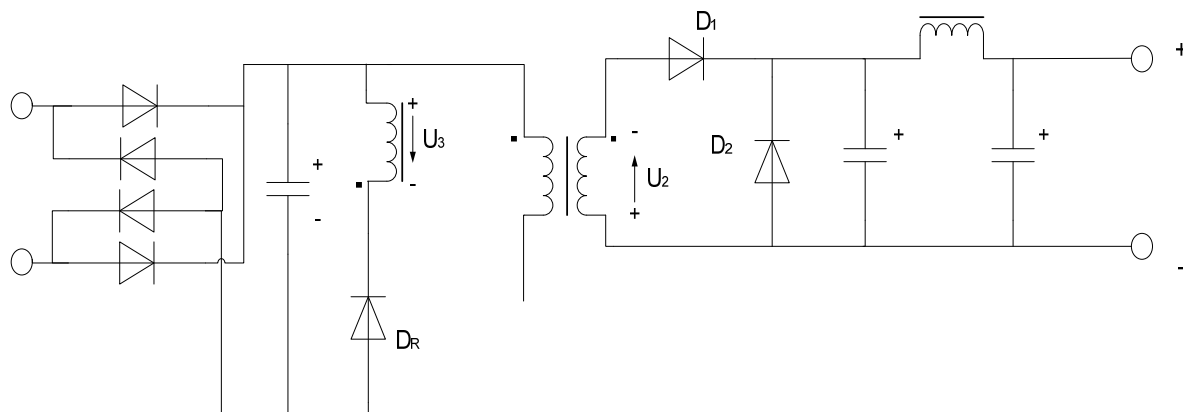
typ zapojení	rozsah výkonů	aplikace
měníče DC/DC	do 5 [W]	získání jiné hodnoty napětí, než poskytuje hlavní zdroj přístroje
měníče s transformátorem	do 10 [W]	Získávají stejnosměrných napětí do 30 [V] jako náhrada za bateriové napájení
blokovací oscilátory	do 20 [W]	Získávají střídavých napětí ze stejnosměrného napětí akumulátoru
akumulující měniče	do 50 [W]	Jednoduché spínané zdroje ze síťového napětí
propustné měniče	do 100 [W]	Jednoduché spínané zdroje ze síťového napětí
dvojčinné polomosty	do 200 [W]	Většina spínaných zdrojů v PC
dvojčinné plné mosty	do 500 [W]	Řízení motorů

2.3.1 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.



Obrázek č.5 Propustné zapojení – tranzistor sepnut



Obrázek č.6 Propustné zapojení – rozeprnutý tranzistor

Tečka u jednotlivých vinutí označuje začátek vinutí. Bud' 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 proudu vinutím primárním může protékat proud vinutím sekundárním. Proto je nezbytné užití rekuperační diody s pomocným třetím vinutím.

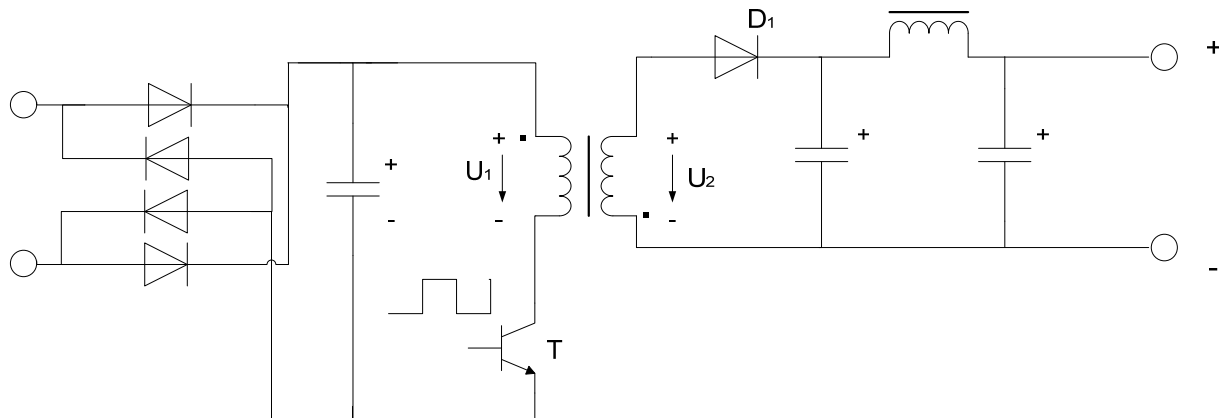
Přes nevýhodu dalšího vinutí a diody je toto zapojení užívané pro absenci problémů se stejnosměrným syčením jádra transformátoru. Střída spínání však může být maximálně 50 [%] a doba sepnutí t_1 musí být menší než doba rozeprnutí t_2 .

V okamžiku, kdy je sepnut tranzistor T (**Obrázek č.5**), začne lineárně narůstat proud, tekoucí vinutím 1 a na tomto vinutí je napětí U_1 v naznačené polaritě. Protože sekundární vynutí 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 proudu vlivem polarizace diody D_R (rekuperační). Teprve v okamžiku, kdy je rozeprnut tranzistor T (**Obrázek č.6**), indukuje pokles proudu 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 proudu z tlumivky do zátěže během doby t_2 , tj. v době rozeprnutého 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 rozeprnutém tranzistoru dobíjen a část energie je tak vracena zpět do napájecího zdroje. Tím je zvyšována účinnost zapojení a je omezováno riziko průrazu tranzistoru indukovaným napětím při vypínání indukční zátěže.

2.3.2 Akumulační zapojení

Je známo také pod názvem FLYBACK. Akumulační zapojení spínaného zdroje je uvedeno na obrázku (**Obrázek č. 7**). 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].

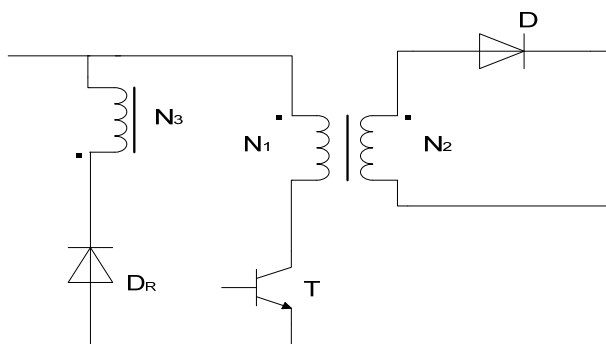


Obrázek č. 7 Akumulační zapojení

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. 8**), ale jejich požití není u tohoto zapojení nezbytné, pouze zlepšuje účinnost využitím té části energie, která je po rozeptnutí tranzistoru akumulována v magnetickém poli transformátoru a není z nějakých důvodů přenesena do výstupních obvodů.

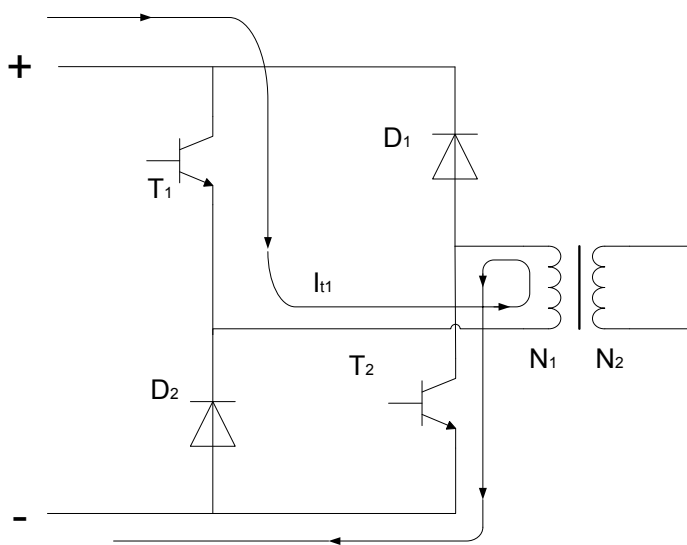
Proto, teče-li proud primárním vinutím při sepnutí tranzistoru T, nemůže současně téci proud vinutím sekundárním. Dioda je polarizována závěrně.



Obrázek č. 8 Rekuperační zapojení

2.3.3 Kombinované zapojení

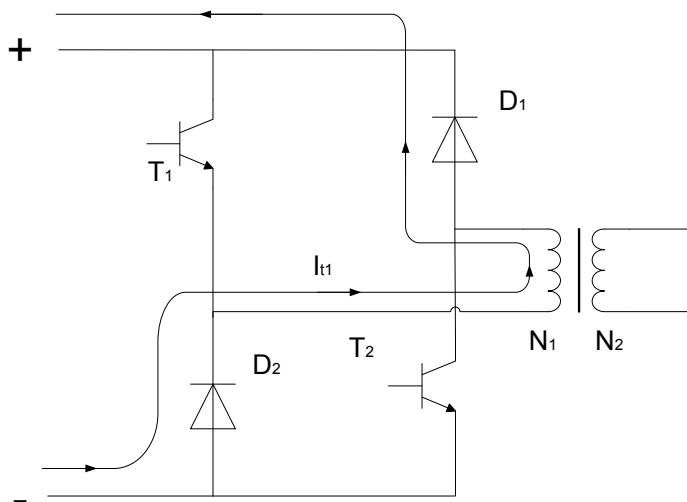
Vzhledem k tomu, že nutnost rekuperačního vinutí komplikuje realizaci transformátoru, je vhodné zkombinovat dva tranzistory a dvě diody podle obrázku (**Obrázek č.9**).



Obrázek č.9 Kombinovaná zapojení – sepnuté tranzistory po dobu t_1

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 rozepnutí obou tranzistorů současně má proud primární indukčností 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.10**). Polarita zapojení výstupní usměrňovací diody pak udává, zda se jedná o zapojení propustné, nebo kumulující.



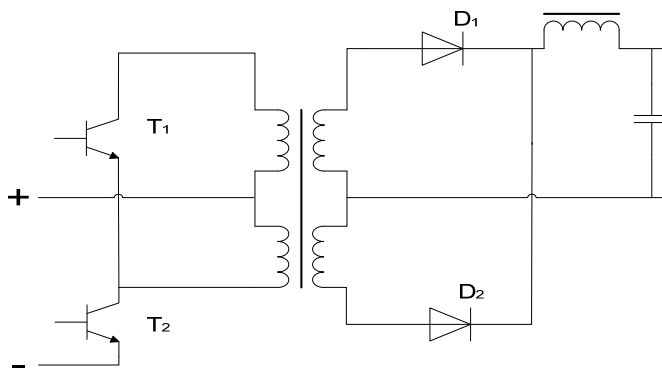
Obrázek č.10 Kombinované zapojení – rozepnuté tranzistory po dobu t_2

2.3.4 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.

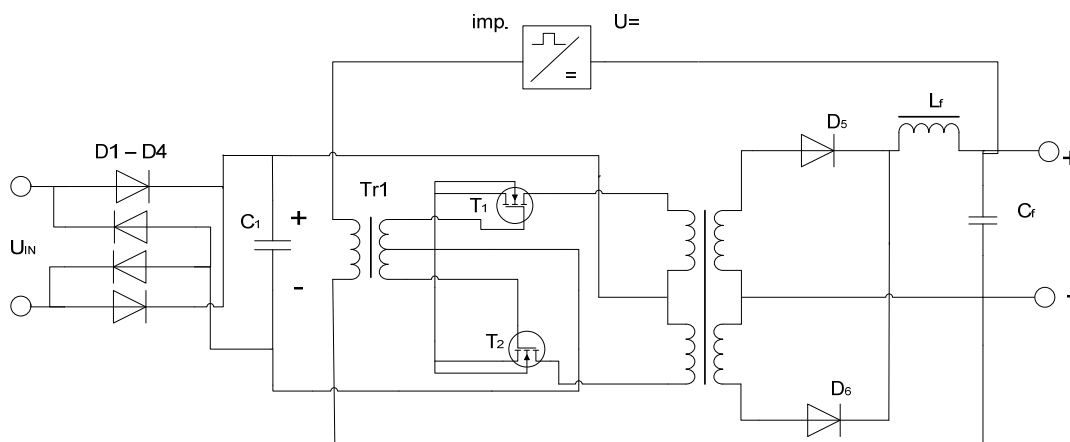
Základní součástí je symetrické primární vinutí transformátoru (**Obrázek č.11**), kde každá jeho polovina je buzena samostatným tranzistorem. Výhodou je nepřítomnost stejnosměrné složky sycení jádra transformátoru.

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.



Obrázek č.11 Dvoučinné zapojení

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.



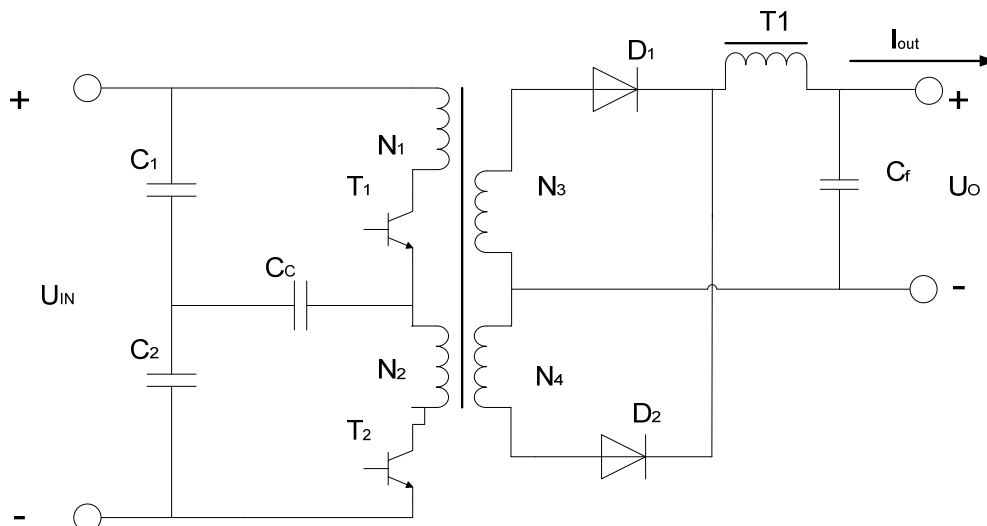
Obrázek č.12 Celkové schéma zapojení spínaného zdroje typu PUSH-PULL

2.3.5 Můstková zapojení

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

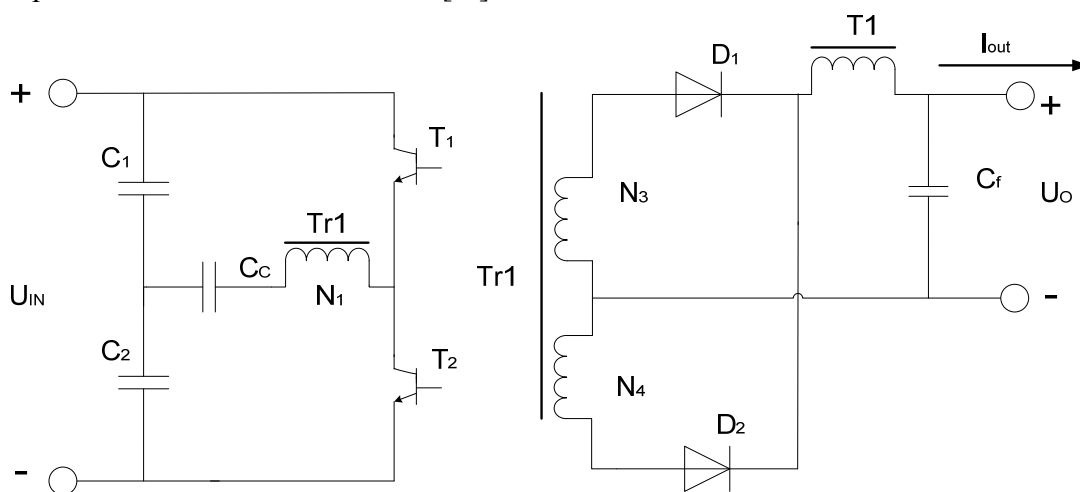
2.3.5.1 Polomost

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



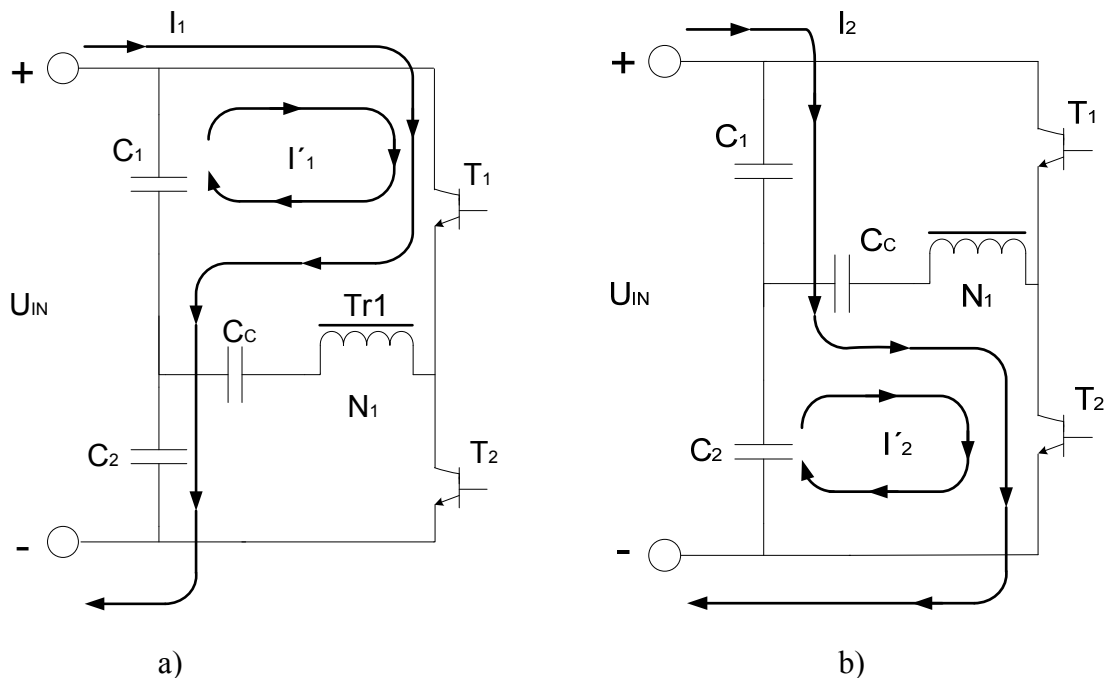
Obrázek č.13 Dvoucestný polomost

Dvoucestný polomost, který vidíme na obrázku (**Obrázek č.13**), 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 polarity na druhou nedocházelo k nadměrným ztrátám. Navíc na kondenzátoru 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 [%].



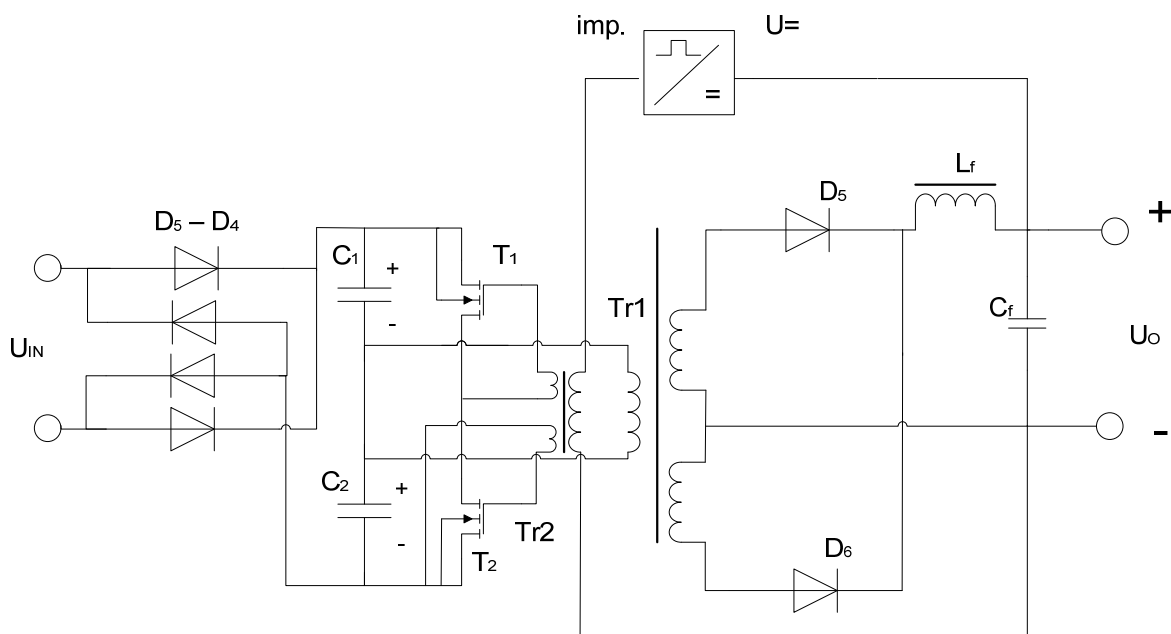
Obrázek č.14 Polomost s jedním primárním vinutím

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.14**). 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.15**).



Obrázek č.15 Polomost: a) sepnut T_1 , b) sepnut T_2

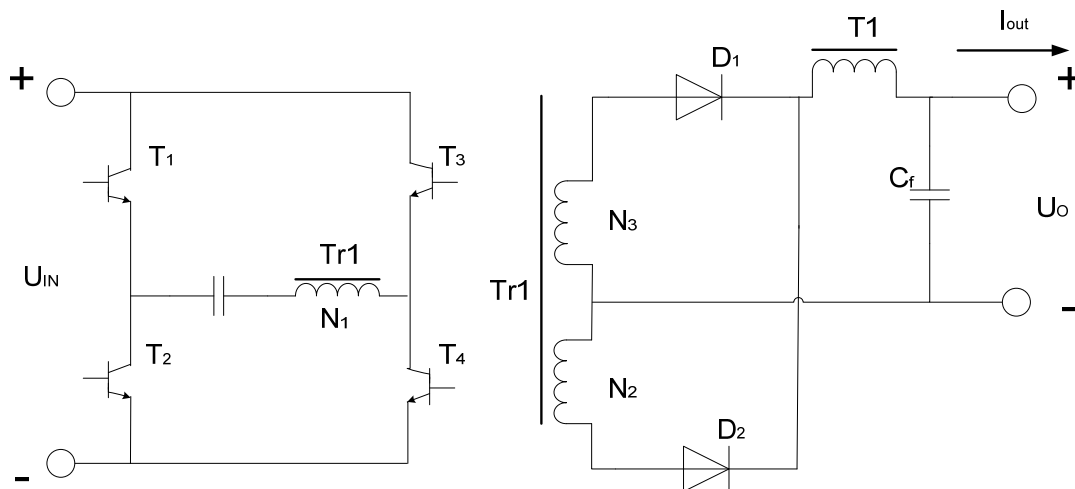
Především u tohoto zapojení je patrné, že se střída nemůže pohybovat až do 100 [%], protože by vzhledem k tolerancím součástek mohlo dojít k tomu, že po jistou dobu by byly sepnuty oba tranzistory T_1 a T_2 a došlo by přes ně ke zkratu zdroje a je jen otázkou dimenzování, zda by neshořely dříve tranzistory,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



Obrázek č.16 kompletní zapojení polomostu

2.3.5.2 Plný most

Zapojení, které je označováno jako plný most (**Obrázek č.17**), se skládá ze čtyř shodných tranzistorů, po jednom v každé větvi.



Obrázek č.17 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 ovládající 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).

3 Komerčně prodávané zdroje

Na světovém i tuzemském trhu je velké množství prodávaných zdrojů pro elektrické ohradníky. Vybíjecí energie těchto zdrojů se pohybuje od setin Joulů až po desítky. Další rozdíl je v napájení těchto zdrojů. Mohou být napájeny ze sítě, akumulátorem nebo kombinované.

Norma ČSN 33 2000-4-41 čl.411.2N3.3 poznámka 1 uvádí, že normalizační komise mohou stanovit vyšší hodnoty nahromaděného náboje a ustáleného proudu u částí speciálně upravených k tomu, aby podnítily reakci na bolest /např. ohradníky/. [3] Nutno však respektovat práh komorové fibrilace podle IEC 479-1. V [4] se uvádí, že energie ohradníkového zdroje pro koně nesmí být vyšší než 5 J. Napětí výstupu má být 6 kV. Dále se uvádí např. 1 J pro malá plemena psů a koček, 11 kV a 3 J pro skot a ovce, bojová plemena psů, jako požadavek normy ČSN EN 60335-2-76, hodnoty se zjišťují při zatížení 500 Ω . [5]

3.1 Princip zdrojů pro elektrické ohradníky

Elektrický proud teče ze zdroje napětí do ohradníku. Když se zvíře dotkne oplocení, elektrický proud projde tělem zvířete do půdy a dále prostřednictvím zemnicích tyčí zpět do oplocení. Zvíře zažije malý elektrický šok, protože je pro něj nepříjemné, pokud jeho tělem prochází elektrina. [6]

3.1.1 Impulsové napájení

Elektrický proud teče ze zdroje do ohradníku jen impulsově s určitou periodou (nejčastěji 1 s). Zvíře, které se dotkne oplocení, dostane při tomto impulsu elektrický šok. Výhody jsou ve snadné údržbě, možnosti napájení i z akumulátoru, nevýhody možnost neefektivit elektrického oplocení v době mezi pulsy (však jen minimální). Toto zapojení je nejvíce používané.

3.1.2 Stálé napájení

Elektrický proud teče ze zdroje do ohradníku stále. Jakmile se zvíře dotkne oplocení dostane elektrický šok. Výhodou je stálé připojení ohrady pod napětím, ale nevýhodou je, že je nelze použít s kombinací při napájení z akumulátoru pro svoji vysokou spotřebu elektrické energie.

3.1.3 Napájení při změně odporu

Elektrický proud teče ze zdroje jen v případě větší změny odporu. Jakmile se zvíře dotkne oplocení, odpor se změní, do oplocení začne protékat proud a zvíře dostane elektrický šok. Výhodou je malá spotřeba elektrické energie, nejlepší kompatibilita s napájením z akumulátoru, ale značnou nevýhodou je přesné nastavení velikosti odporu oplocení a jeho nežádoucí změny (spadlá větev, prorůstající tráva, atd.)

3.2 Princip napájení zdrojů pro EO

Pro napájení zdrojů elektrických ohradníků se používá síťové napájení 230 V_{AC}, akumulátorové 12 V_{DC} a 9 V_{DC} nebo napájení z alternativních zdrojů. Způsob napájení se volí podle provozu zdroje (principy uvedené výše) a podle toho, v jakých lokalitách se daný zdroj bude nacházet.

3.2.1 Síťové napájení

Toto napájení se používá jen tam, kde je přivedena elektrická energie a není nezbytně nutné, aby zdroj musel mít nepřetržitý provoz, protože může dojít k výpadku elektrické energie. Popisované napájení je nejrozšířenější díky své stálosti, dostupnosti a poměru cena - výkon. Ukázka zdroje viz (Obrázek č.18).



Obrázek č.18 Zdroj síťově napájen [7]

3.2.2 Akumulátorové napájení

Napájení akumulátorem (popř. akumulátory) se používá v místech, kde není dostupné síťové napájení. Vysoko v horách nebo na pastvinách, které jsou vzdáleny od obydlených lokalit. Jejich velká výhoda je přenosnost, ale nevýhodou je, že pokud se akumulátor vybije, musí být nahrazen při opětovném nabíjení. Ukázka zdroje viz (Obrázek č.19).



Obrázek č.19 Zdroj akumulátorově napájen [7]

3.2.3 Kombinované napájení

Kombinované napájení se může používat v obou výše uvedených případech. Především se využívá tam, kde je nutné zajistit nepřetržitý provoz. Když nastane výpadek elektrické energie, zdroj se automaticky nebo mechanicky (podle toho jak je konstruován) přepne na napájení z akumulátoru a provoz pokračuje nepřetržitě dál. Ukázka zdroje viz (Obrázek č.20).



Obrázek č.20 Zdroj kombinovaně napájen [8]

3.2.4 Napájení z alternativních zdrojů

V dnešní době se i hojně využívají i alternativní zdroje a to nejvíce sluneční energie. Například při kombinaci s akumulátorovým napájením. Přes den napájí solární články a přes noc baterie. V malé míře se používají větrné i vodní energie a to s využitím malých elektráren. Ukázka zdroje viz (Obrázek č.21).



Obrázek č.21 Zdroj napájen z alternativních zdrojů [7]

3.3 Moderní virtuální ploty

Australští výzkumníci sestrojili obojek, který zvířatům vymezí plochu, kde se mohou pást. Zařízení by mělo nahradit drahé oplocení a elektrické ohradníky. Zařízení v obojku je napojeno na GPS a v případě, že zvíře neuposlechne varování, vyše elektrický šok. [9]

3.3.1 Princip obojku

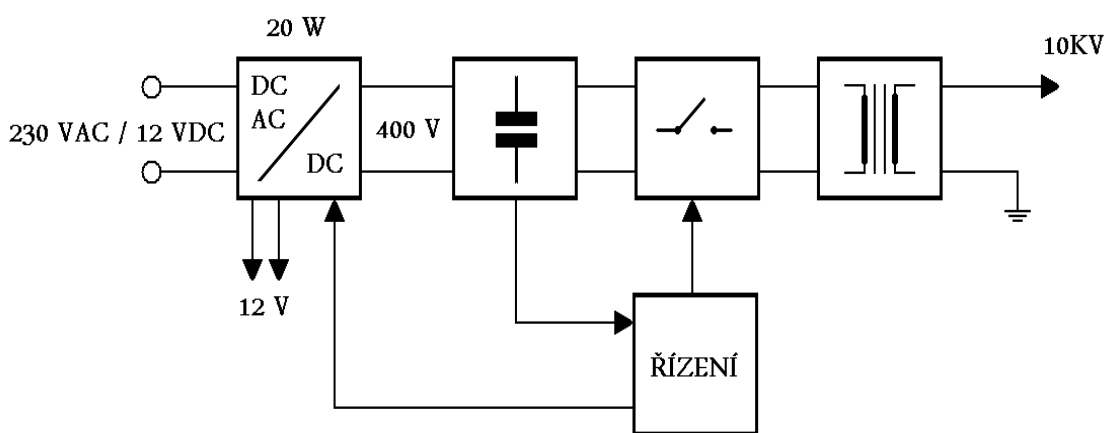
Princip je založen na satelitní navigaci GPS. Každá kráva má na krku obojek, který je vybaven GPS navigační jednotkou. Ta sleduje aktuální polohu zvířete. Když se kráva začne přibližovat hranici virtuálního plotu, reproduktor umístěný v obojku začne vydávat bzučivý zvuk.

Obojek přesně lokalizuje zvíře a jeho chování (pohyb) určuje častým odečítáním GPS dat. Pokud se zvíře otočí a vydá se směrem od hranice plotu, varovný zvuk ustane. Při neuposlechnutí a překročení této hranice, začne přístroj vydávat slabé elektrické impulsy. Rána, kterou obojek v takovém případě zvířeti dá, představuje 250 miliwattů. To není o mnoho více, než kolik nám dává statická elektřina.

4 Vlastní návrh

4.1 Popis blokového schématu

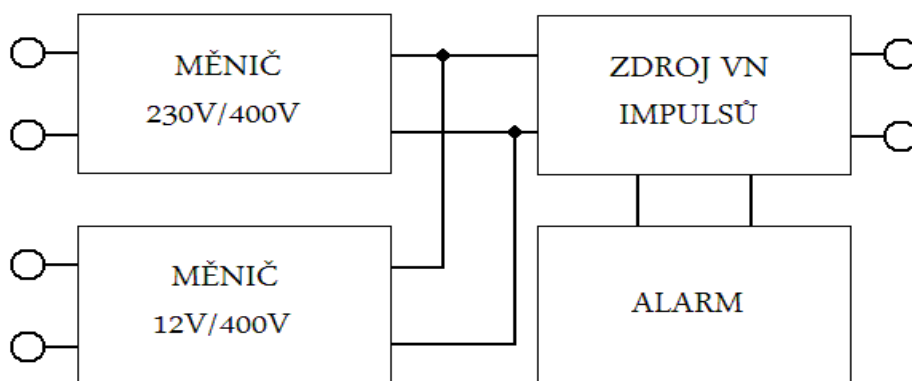
Při vlastním návrhu blokového schématu zdroje pro elektrické ohradníky (Obrázek č.22), jsem musel dbát na zadané parametry a to na výstupní napětí 10 kV. Vstupní napájení jsem zvolil 230 V_{AC} nebo 12 V_{DC}, jde tedy o napájení kombinované. Vstupní napětí se transformuje přes 20 W měnič na napětí zhruba 400 V. Proto zde musím zvolit vhodný kapacitor. Přes řízený spínač se napětí dostane na druhý měnič, který nám napětí přetransformuje na požadovaných 10 kV. Napětí kolem 400 V jsem zvolil proto, aby transformátor nemuselo nabývat velkých rozměrů.



Obrázek č.22 Navržené blokové schéma

4.2 Praktická realizace

Celý vysokonapěťový zdroj se skládá ze čtyř částí (Obrázek č.23). Každá část je vyrobena na samostatném plošném spoji, které jsou umístěny vedle sebe a propojeny kabely. Protože se jedná o prototyp, není navržena žádná ochranná krabice, ve které by bylo vše umístěno.



Obrázek č.23 Ukázka propojení

4.2.1 Měnič 230 V/400 V

Schéma zapojení je v příloze (Obrázek č.26) spolu s výkresem DPS (Obrázek č.27 a Obrázek č.28).

Blokující měnič 230 VAC/400 VDC využívá obvodu UC3844 (IC1). Kmitočet je nastaven na cca 100 kHz. Transformátor měniče má dvě sekundární vinutí – 400 V a pomocné 15 V. Výstup 15 V pracuje v propustném režimu střídače, výstup 400 V v režimu blokujícím. Jako výkonový spínač slouží MOSFET Q1 (800 V/4 A), který je chráněn proti přepětovým špičkám při rozeznutí kombinací D1, D3 a D5. Špičkový proud tranzistorem Q1 omezuje snímací rezistor R3 na 250 mA. Výkon zdroje je proto přibližně 20 W pro minimální napájecí napětí, což stačí pro dobíjení kondenzátoru 70 μ F/400V za méně než 0,5 s.

Transformátor měniče má navíc další pomocné vinutí 15 V, které slouží k napájení IC1. Pro rozběh měniče je kondenzátor C7 nabit přes R7 a R13. Protože napájení měniče může přesáhnout 20 V, což je maximální povolené napětí U_{GS} pro Q1, je zařazena ochranná dioda D2.

Zdroj je vybaven ochranou před nadproudem pojistkou F1 (T 120 mA). Napájecí stejnosměrné napětí 300-360 VDC pro měnič je získáno usměrněním síťového napětí přes můstek B1 a filtrační kondenzátor C1. Součástky C9, symetrická tlumivka L1 a C22 tvoří filtr snižující pronikání rušení z měniče do napájení.

Pro transformátor měniče bylo opět zvoleno feritové jádro RM10, materiál CF138, označení LjRM14 CF138 (dodavatel [10]) s konstantou indukčnosti $A_L = 4200 \text{ nH/z}^2$. Zvolený materiál i velikost jádra odpovídá požadovanému výkonu a kmitočtu, provedené kostry zaručuje dobré vinutí. Pro vinutí byl použit vodič TEX-E ([11]- trojnásobně izolovaný vodič), který nevyžaduje žádnou další izolaci (proklad) jednotlivých vinutí. Skutečná tloušťka vodičů TEX-E je o 0,2 mm větší než průřez jádra.

4.2.1.1 Výpočet TR1(230 V/400 V)

Zvolil jsem si jádro RM10, CF138 s parametry: $A_L = 4200 \text{ nH/z}^2$

$$L_e = 44 \text{ mm}$$

$$S_e = 98 \text{ mm}^2$$

Ostatní hodnoty:

$$f = 100 \text{ KHz}$$

$$P = 20 \text{ W}$$

$$E = 2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

$$U_{pmin} = 290 \text{ V}$$

$$U_{pom} = 15 \text{ V}$$

$$B_{max} = 0,4 \text{ T}$$

$$H_{max} = 300 \text{ H/m}$$

Postup výpočtů:

Maximální proud transformátoru

$$I_{\max} = \frac{UT}{L} \quad \text{kde } \begin{array}{ll} U & (\text{V}) \text{ napětí} \\ L & (\text{H}) \text{ indukčnost} \\ T & (\text{s}) \text{ délka periody impulsu} \end{array} \quad (4.1)$$

nebo

$$I_{\max} = \frac{H_{\max} L_e}{N} \quad \text{kde } \begin{array}{ll} H_{\max} & (\text{A/m}) \text{ maximální intenzita mag. pole} \\ L_e & (\text{m}) \text{ efektivní délka siločáry} \\ N & (-) \text{ počet závitů} \end{array} \quad (4.2)$$

Indukčnost cívky

$$L = A_L N^2 \quad \text{kde } \begin{array}{ll} A_L & (\text{H}) \text{ konstanta indukčnosti} \\ N & (-) \text{ počet závitů} \end{array} \quad (4.3)$$

Sloučením rovnic (4.1), (4.2), (4.3) a převedením na výpočet N, dostáváme tvar

$$\frac{UT}{A_L N^2} = \frac{H_{\max} L_e}{N} \Rightarrow N = \frac{UT}{A_L H_{\max} L_e} \quad (4.4)$$

Dosazením daných hodnot do rovnice (4.4), vypočteme počet závitů na primárním vedení TR1.

$$N_p = \frac{U_{p\min} T}{A_L H_{\max} L_e} = \frac{290 \cdot 10^{-5}}{4200 \cdot 10^{-9} \cdot 300 \cdot 44 \cdot 10^{-3}} = 53 \text{ z}$$

Pro výpočet sekundárních vedení použijeme rovnici

$$N_{s1} = \frac{U_2}{U_{1\min}} N_p \quad \text{po dosazení } \frac{400}{290} 53 = 75 \text{ z} \quad (4.5)$$

Pro výpočet indukčnosti na primární vinutí dosadíme do rovnice (4.3) konkrétní hodnoty.

$$L = A_L N^2 \quad \text{po dosazení } L_p = 4200 \cdot 10^{-9} \cdot 53^2 = 11,8 \text{ mH}$$

Tabulka č.3 Základní parametry TR1(230 V/400 V)

vinutí	vývody	počet závitů	Indukčnost vyp.	Ø vodiče TEX-E
primární	1 – 2	53 z	11,8 mH	0,2 mm paralelně
sekundární	10 – 12	75 z	23,6 mH	0,2 mm
pom.sekundární 1	4 - 6	3 z	37,8 µH	0,2 mm
pom.sekundární 2	7 - 8	3 z	37,8 µH	0,2 mm

4.2.2 Měnič 12 V/400 V

Schéma zapojení je v příloze (*Obrázek č.29*) spolu s výkresem DPS (*Obrázek č.30* a *Obrázek č.31*).

Blokující měnič 12/400 VDC využívá obvodu UC3845 (IC1). Kmitočet je nastaven na cca 120 kHz. Funkce zapojení je totožná s předešlým popisem v kapitole 4.2.1 s některými rozdíly.

Jako výkonový spínač slouží MOSFET Q1 (60 V/16 A), který je chráněn proti přepětovým špičkám při rozepnutí kombinací D1 a D15. Špičkový proud tranzistorem Q1 omezuje snímací rezistor R3 na 6,5 A.

Konstantní výstupní napětí zajišťuje zpětná vazba, kterou tvoří napěťová reference VR1 spolu s pomocnými součástkami a optron OK1. K dosažení stability zpětnovazební smyčky slouží C16, C17 a C2. Měnič je blokován vstupem STBY přes optron OK2 v okamžiku VN impulzu.

Výstup 15 V slouží po usměrnění k napájení stabilizátoru 12 V (IC2). Napětí 12 VDC je určeno k napájení pomocných obvodů a má společný záporný pól s napěťovou hladinou 400 VDC. Výstup 400 VDC je opatřen ochranou R12, D6 a D8 – chrání měnič před špičkami přepětí z VN transformátoru.

Zdroj je vybaven ochranou před podpětím – vybitím akumulátoru (reference VR2, Q2). Zapíná se při vstupním napětí asi 11,5 V a vypíná při poklesu pod 11 V. Zapnutí napájení měniče je indikováno LED1. Transil D5 spolu s pojistkou F1 (T 2A) chrání napájecí vstup měniče před přepětím a prepólováním. Součástky C15, L1 a C14 tvoří filtr snižující pronikání rušení z měniče do napájení.

Transformátor měniče má jádro shodné s měničem 4.2.1 (feritové jádro RM10, materiál CF138, označení LjRM14 CF138).

4.2.2.1 Výpočet TR1(12 V/400 V)

Zvolil jsem si jádro RM10, CF138 s parametry: $A_L = 4200 \text{ nH/z}^2$
 $L_e = 44 \text{ mm}$
 $S_e = 98 \text{ mm}^2$

Ostatní hodnoty:

$f = 120 \text{ KHz}$
 $P = 20 \text{ W}$
 $U_{pmin} = 12 \text{ V}$
 $U_{pom} = 15 \text{ V}$
 $B_{max} = 0,4 \text{ T}$
 $H_{max} = 300 \text{ H/m}$

Výpočet transformátoru TR1 je zde stejný jako v kapitole 4.2.1, jen jsou použity jiné vstupní hodnoty.

Tabulka č. 4 Základní parametry TR1 (12 V/400 V)

vinutí	vývody	počet závitů	Indukčnost vyp.	Ø vodiče TEX-E
primární	4 - 6	2 z	16,8 μH	4×0,8 mm bifilárně
sekundární	10 – 12	75 z	23,6 mH	0,2 mm
pom.sekundární	7 - 8	4 z	67,2 μH	0,2 mm

4.2.3 Zdroj vysokonapěťových impulsů

Schéma zapojení je v příloze (Obrázek č.32) spolu s výkresem DPS (Obrázek č.33 a Obrázek č.34).

Výkonovým spínačem vytvářejícím výstupní impulsy zdroje VN je triak T1. Uvedený typ TIC236N byl zvolen s ohledem na pracovní přepětí, vysoký impulsní proud a vysokou strmost proudu po zapnutí. Pro dokonalé sepnutí je nutný vysoký zapínací proud hradla triaku s dostatečně strmou hranou. K tomu slouží pomocný tyristor T2, který vybíjí do hradla náboj kondenzátoru C20.

Spouštěcí impulsy pro tyristor/triak vytváří astabilní klopný obvod tvořený časovačem IC1 (CMOS 555). Impuls trvá přibližně 60 ms (R13, C11) s periodou asi 1 s (R14, C11). V okamžiku vybíjení kondenzátoru do VN transformátoru je činnost měniče blokována přes signál STBY na pinu 7 K1.

Pro transformátor bylo zvoleno feritové jádro typ ETD, materiál CF138, označení LjETD5922 CF138 (dodavatel [10]) s $A_L = 5950 \text{ nH/z}^2$. ETD jádro umožňuje díky kulatému sloupku vytvořit mechanicky pevné vinutí s dobrou odolností proti poškození mechanickými rázy během impulsu. Pomocné vinutí 22-21 TR1 s nastavitelným děličem R9-R4 slouží ke snímání napětí úměrného napětí VN impulsu. Toto napětí je usměrněno přes D1 a dále vedeno ke zpracování na měřicí obvod přes K2.

4.2.3.1 Výpočet TR1(400 V/VN)

Zvolil jsem si jádro ETD5922, CF138 s parametry: $A_L = 5950 \text{ nH/z}^2$
 $L_e = 134 \text{ mH}$
 $S_e = 368 \text{ mm}^2$

Ostatní hodnoty: $U_{pmin} = 400 \text{ V}$

Tabulkač. 5 Základní parametry TR1 (400 V/VN)

vinutí	vývody	počet závitů	Indukčnost vyp.	Ø vodiče TEX-E
primární	7 - 20	38 z	8,59 mH	2×0,8 mm bifilárně
sekundární	16 - 19	1000 z	5,95 H	0,2 mm
pom.sekundární	22 – 21	3 z	53,55 µH	0,2 mm

4.2.4 Kontrola (Alarm)

Schéma zapojení je v příloze (*Obrázek č.35*) spolu s výkresem DPS (*Obrázek č.36* a *Obrázek č.37*).

LED slouží k indikaci provozních stavů a signálů zdroje:

- LED1 zdroj je v provozu (pomocné napájení OK)
- LED2 identifikován dotek s ohradou
- LED3 indikace VN impuls
- LED4 chyba napájení
- LED5 chyba VN pulsů
- LED6 chyba zemnění

Multivibrátor IC1 pracuje jako měnič pro pomocné napájecí napětí měřidla. Pracuje s kmitočtem kolem 100 kHz a vytváří výstupní napětí asi 9 V, oddělené galvanicky od ostatních obvodů. Vzorkovací zesilovač IC2 vzorkuje napětí z pomocného vinutí VN transformátoru v okamžiku výstupního VN impulsu. Jako paměťový kondenzátor slouží C_8 . Měřidlo (3 ½ místné LCD panelové měřidlo, např. typ HD-3438 od [12]) indikuje špičkovou hodnotu VN výstupního napětí v přepočtu 10 mV/kV, nastavení pomocí R_4 na zdroji VN impulsů.

4.3 Experimentální ověření

Na realizovaném vzorku zdroje jsem provedl měření dosahovaných parametrů VN impulsu. K tomu bylo použito osciloskopu s vysokonapětěvou a proudovou sondou. Při zatížení VN výstupu zdroje odporem 1 k Ω byla naměřena doba trvání asi 50 μ s a dosahovaná špičková hodnota napětí je 8 kV viz *Obrázek č.24*. Pro kontrolu byl měřen i proud primárem vn transformátoru, zelená křivka v *Obrázek č.24*. Ve špičce proud dosahuje hodnoty 128 A, proto musí být pro spínání použit odpovídající triak.

Jestliže zdroj necháme bez zátěže, je nárůst výstupního napětí velmi strmý. Pro ochranu před průrazem izolace vinutí musí být pro tento případ výstup zdroje opatřen ochranným jiskřištěm. Z naměřených průběhů (*Obrázek č.25*) je vidět velmi úzký napěťový impuls, čemuž odpovídá průraz jiskřiště (jiskrový výboj). Napětí prudce stoupá a při přeskoku výboje prudce klesne, doba trvání impulsu je přibližně 1,5 μ s. V tomto případě nedojde k předání akumulované energie do zátěže a dochází k oscilacím, jak dokazuje průběh proudu primárem transformátoru. Energie se v tomto případě umoří v teplo.

Naměřené průběhy potvrzují správnost návrhu elektrické konstrukce zdroje, impulzy mají požadovanou velikost i dobu trvání.



Obrázek č.24 Výstupní napětí (žlutá) a proud primárem (zelená), při zátěži 1 kΩ



Obrázek č.25 Výstupní napětí (žlutá) a proud primárem (zelená), zdroj bez zátěže (naprázdno)

5 Závěr

V rámci této práce bylo teoreticky se seznámit s problematikou spínaných zdrojů, jejich obvodovou realizací a funkčním zapojením. Dále jsem prostudoval komerčně prodávané zdroje, způsoby napájení, jejich funkce a principy. S těmito poznatky jsem uskutečnil vlastní návrh zdroje pro elektrické ohradníky.

Než jsem přistoupil k praktické realizaci samotného zdroje, tak jsem navržené obvody nejprve simuloval v programu OrCAD, abych se přesvědčil o správné funkčnosti obvodů. Poté jsem v programu Eagle Layout editor navrhl desky plošných spojů. Po všech mechanických pracích (osvit, leptání, vrtání, osazování a pájení) jsem přistoupil k závěrečnému oživení zdroje. Hlavními požadavky jsou výstupní napětí 10 kV s energií volitelně až do 11 J, těchto parametrů jsem dosáhl, viz naměřené hodnoty v odstavci 4.3.

Tato práce mi byla přínosem nejen v tom, že jsem si rozšířil své teoretické znalosti, ale i praktické zkušenosti. Osvojil a prohloubil práci z výše uvedenými programy, ale také jsem se blíže seznámil s vysokonapěťovými obvody. Nejen jak fungují, ale i s jejich bezpečnostními prvky.

6 Použitá literatura a odkazy na zdroje

- [1] KREJČÍŘÍK A. *Napájecí zdroje I.*, nakladatelství BEN, Praha, 1997, 2.vydání, 341 str., ISBN: 80-86056-02-3
- [2] Webarchiv Národní knihovny ČR. *Spinané zdroje* [online] c2007, poslední revize 2. května 2007 [cit. 2008-11-19]. <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1876-Spinane-zdroje.html>>
- [3] ČSN 33 2000-4-41 – *Bibliografická citace. Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení Část 4: Bezpečnost - Kapitola 41: Ochrana před úrazem elektrickým proudem.* Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [4] iiSEL informační systém. *Bezpečnost a spolehlivost el. zařízení* [online] c2009, poslední revize 30.května 2009 [cit. 2009-12-05]. <<http://www.in-el.cz/>>
- [5] ČSN EN 60335-2-76 – *Bibliografická citace. Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely - Bezpečnost - Část 2-76: Zvláštní požadavky na zdroje energie pro elektrické ohradníky* Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [6] Sdružení Minářová & Sedlák. *Elektrické ohradníky* [online] c2008, poslední revize 26.března 2008 [cit. 2008-10-12]. <<http://www.elektricke-ohradniky.cz/>>
- [7] Sdružení Minářová & Sedlák. *Zdroje* [online] c2008, poslední revize 26.března 2008 [cit. 2008-10-12]. <<http://www.elektricke-ohradniky.cz/zdroje/>>
- [8] Kamir & Co. *Ohradníky kombinované AKO* [online] c2008, poslední revize 13.ledna 2009 [cit. 2008-10-12] <<http://www.kamir.cz/m2-cz-ohradniky-napajene-z-baterie-12-v-nebo-s-adapterem-ze-site-230-v>>
- [9] Objective Source E-Learning. *Virtuální ploty* [online] c2007, poslední revize 18.června.2007 [cit. 2008-11-13] <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=2726&akce=show2&dev=1>>
- [10] SEMIC Trade, s.r.o *Elektronické součástky* [online] c2007, poslední revize 6.února 2009 [cit. 2009-02-05]. <<http://www.semic.cz/>>
- [11] FUKURAWA ELECTRIC. *Trojnásobně izolované vodiče* [online] c2007, poslední revize 30.května.2008 [cit. 2009-04-05]. <http://www.furukawa.co.jp/makisen/eng/index_f.htm>
- [12] GM Electronic. *Katalog elektronických součástek 2006* [online] c2006, poslední revize 13.března.2009 [cit. 2009-02-05]

7 Seznam obrázků

OBRÁZEK Č. 1 BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNANÉHO ZDROJE	9
OBRÁZEK Č. 2 SNIŽOVÁNÍ NAPĚTÍ	10
OBRÁZEK Č. 3 ZVYŠOVÁNÍ NAPĚTÍ	11
OBRÁZEK Č. 4 INVERZE NAPĚTÍ	12
OBRÁZEK Č. 5 PROPUSTNÉ ZAPOJENÍ – TRANZISTOR SEPNUT	13
OBRÁZEK Č. 6 PROPUSTNÉ ZAPOJENÍ – ROZEPNUTÝ TRANZISTOR	14
OBRÁZEK Č. 7 AKUMULAČNÍ ZAPOJENÍ	15
OBRÁZEK Č. 8 REKUPERAČNÍ ZAPOJENÍ	15
OBRÁZEK Č. 9 KOMBINOVANÁ ZAPOJENÍ – SEPNUTÉ TRANZISTORY PO DOBU T_1	16
OBRÁZEK Č. 10 KOMBINOVANÉ ZAPOJENÍ – ROZEPNUTÉ TRANZISTORY PO DOBU T_2	16
OBRÁZEK Č. 11 DVOUČINNÉ ZAPOJENÍ	17
OBRÁZEK Č. 12 CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ SPÍNANÉHO ZDROJE TYPU PUSH-PULL	17
OBRÁZEK Č. 13 DVOUCESTNÝ POLOMOST	18
OBRÁZEK Č. 14 POLOMOST S JEDNÍM PRIMÁRNÍM VINUTÍM	18
OBRÁZEK Č. 15 POLOMOST: A) SEPNUT T_1 , B) SEPNUT T_2	19
OBRÁZEK Č. 16 KOMPLETNÍ ZAPOJENÍ POLOMOSTU	19
OBRÁZEK Č. 17 PLNÝ MOST	20
OBRÁZEK Č. 18 ZDROJ SÍŤOVÉ NAPÁJEN [7]	22
OBRÁZEK Č. 19 ZDROJ AKUMULÁTOROVÉ NAPÁJEN [7]	22
OBRÁZEK Č. 20 ZDROJ KOMBINOVANĚ NAPÁJEN [8]	22
OBRÁZEK Č. 21 ZDROJ NAPÁJEN Z ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ [7]	23
OBRÁZEK Č. 22 NAVRŽENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA	24
OBRÁZEK Č. 23 UKÁZKA PROPOJENÍ	24
OBRÁZEK Č. 24 VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ (ŽLUTÁ) A PROUD PRIMÁREM (ZELENÁ), PŘI ZÁTĚŽI $1\text{ k}\Omega$	30
OBRÁZEK Č. 25 VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ (ŽLUTÁ) A PROUD PRIMÁREM (ZELENÁ), ZDROJ BEZ ZÁTĚŽE (NAPRÁZDNO)	30
OBRÁZEK Č. 26 SCHÉMA ZAPOJENÍ, ZDROJ 230 VAC-400 VDC	35
OBRÁZEK Č. 27 DPS ZDROJE 230 VAC-400 VDC ZE STRANY SOUČÁSTEK, ROZMĚRY DESKY 64x124 MM	36
OBRÁZEK Č. 28 DPS ZDROJE 230 VAC-400 VDC ZE STRANY SPOJŮ, ROZMĚRY DESKY 64x124 MM	36
OBRÁZEK Č. 29 SCHÉMA ZAPOJENÍ, ZDROJ 12 VDC-400 VDC	37
OBRÁZEK Č. 30 DPS ZDROJE 12 VDC-400 VDC ZE STRANY SOUČÁSTEK, ROZMĚRY DESKY 64x116 MM	38
OBRÁZEK Č. 31 DPS ZDROJE 12 VDC-400 VDC ZE STRANY SPOJŮ, ROZMĚRY DESKY 64x116 MM	38
OBRÁZEK Č. 32 SCHÉMA ZAPOJENÍ, ZDROJ VYSOKONAPĚŤOVÝCH PULZŮ	39
OBRÁZEK Č. 33 DPS ZDROJE VN IMPULZŮ ZE STRANY SOUČÁSTEK, ROZMĚRY DESKY 88x108 MM	40
OBRÁZEK Č. 34 DPS ZDROJE VN IMPULZŮ ZE STRANY SPOJŮ, ROZMĚRY DESKY 88x108 MM	40
OBRÁZEK Č. 35 SCHÉMA ZAPOJENÍ KONTROLY	41
OBRÁZEK Č. 36 DPS KONTROLY ZE STRANY SOUČÁSTEK, ROZMĚRY DESKY 44x110 MM	42
OBRÁZEK Č. 37 DPS KONTROLY ZE STRANY SPOJŮ, ROZMĚRY DESKY 44x110 MM	42
OBRÁZEK Č. 38 REALIZOVANÉ MODULY ZDROJE PRO OHRADNÍK	43
OBRÁZEK Č. 39 MĚŘENÍ PARAMETRŮ VN IMPULZNÍHO ZDROJE	44

8 Seznam tabulek

TABULKA Č. 1 POROVNÁNÍ LINEÁRNÍCH A SPÍNANÝCH ZDROJŮ	9
TABULKA Č. 2 OBLASTI UŽITÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ MĚNIČŮ	13
TABULKA Č. 3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY TR1 (230 V/400 V)	26
TABULKA Č. 4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY TR1 (12 V/400 V)	27
TABULKA Č. 5 ZÁKLADNÍ PARAMETRY TR1 (400 V/VN)	28

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

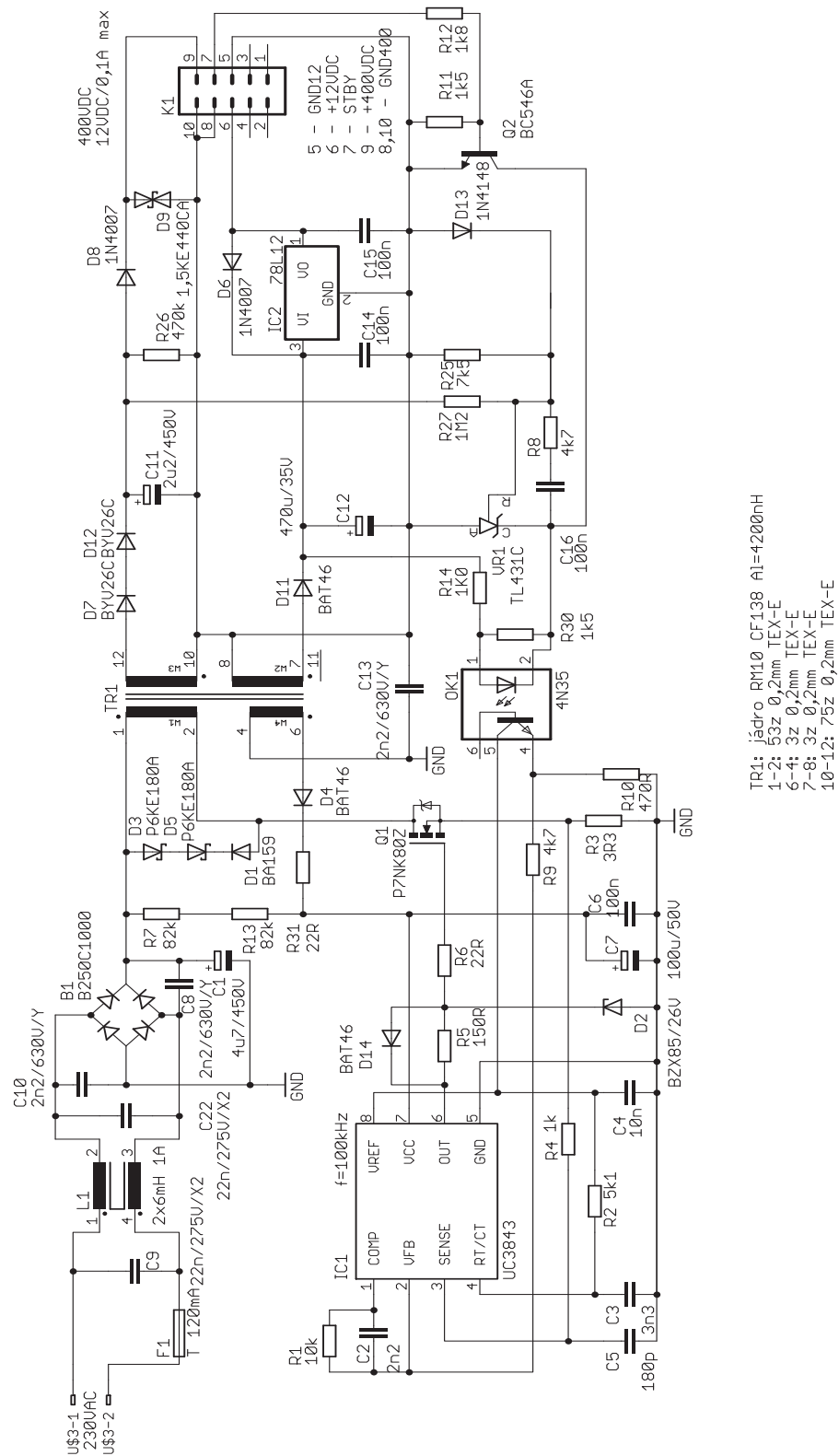
Zkratky

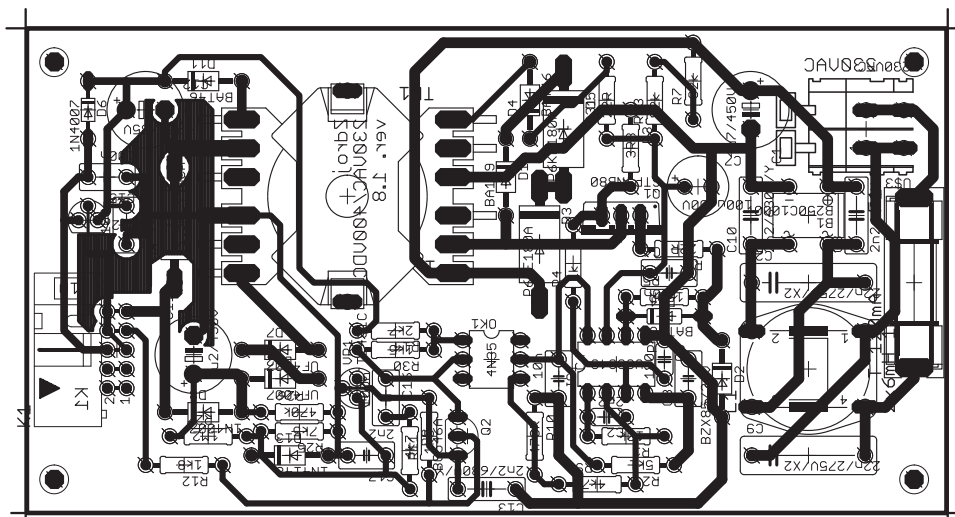
PWM	pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
EO	elektrický ohradník
GPS	globální polohový systém (Global Positioning System)
VN	vysoké napětí
GND	elektrická zem

Symboly

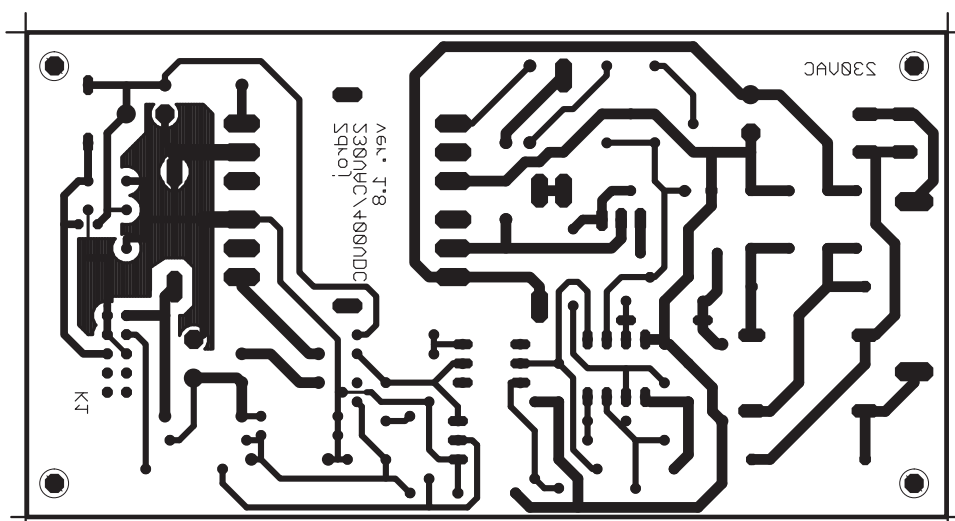
t	čas	(s)
A_L	konstanta indukčnosti	(H)
B_{max}	maximální indukce magnetického pole	(T)
C	kapacita	(F)
E	energie	(J)
F	kmitočet	(Hz)
H_{max}	maximální intenzita magnetického pole	(A/m)
I	proud	(A)
L	indukčnost	(H)
L_e	efektivní délka siločáry	(m)
N	počet závitů	(-)
P	výkon	(W)
T	perioda kmitů	(s)
U	napětí	(V)
ε_r	relativní permitivita dielektrika	(-)
η	účinnost	(%)
δ_{max}	maximální člen plnění	(-)

10 Příloha

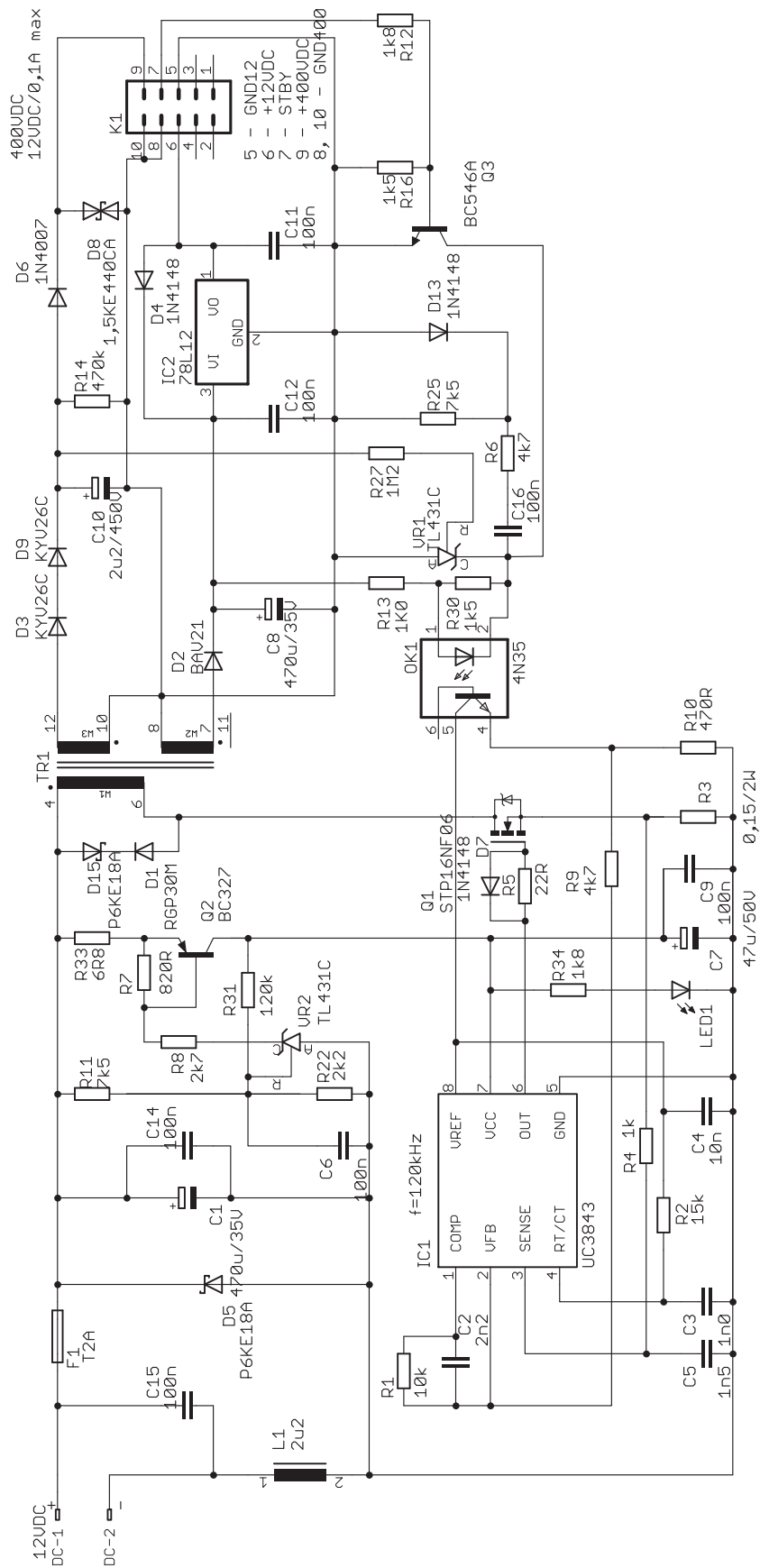




Obrázek č.27 DPS zdroje 230 VAC-400 VDC ze strany součástek, rozměry desky 64x124 mm

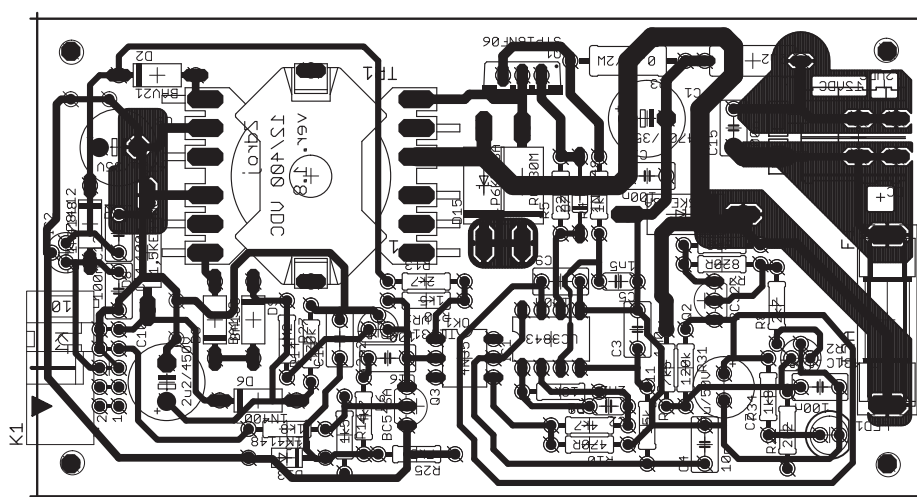


Obrázek č.28 DPS zdroje 230 VAC-400 VDC ze strany spojů, rozměry desky 64x124 mm

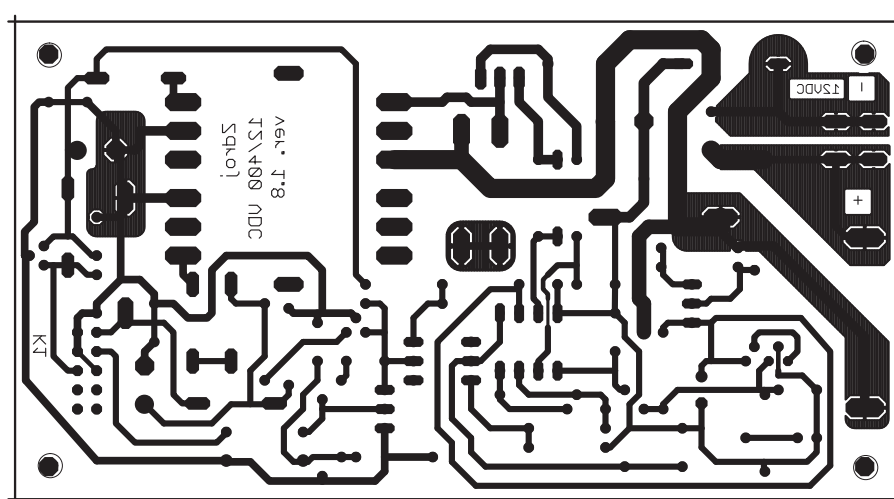


TR1: jádro RM10 CF138 Al=4200nH
 7-8: 3z 0.2mm TEX-E
 10-12: 80z 0.2mm TEX-E
 4-6: 2z 0.8mm TEX-E 3 vodice par.

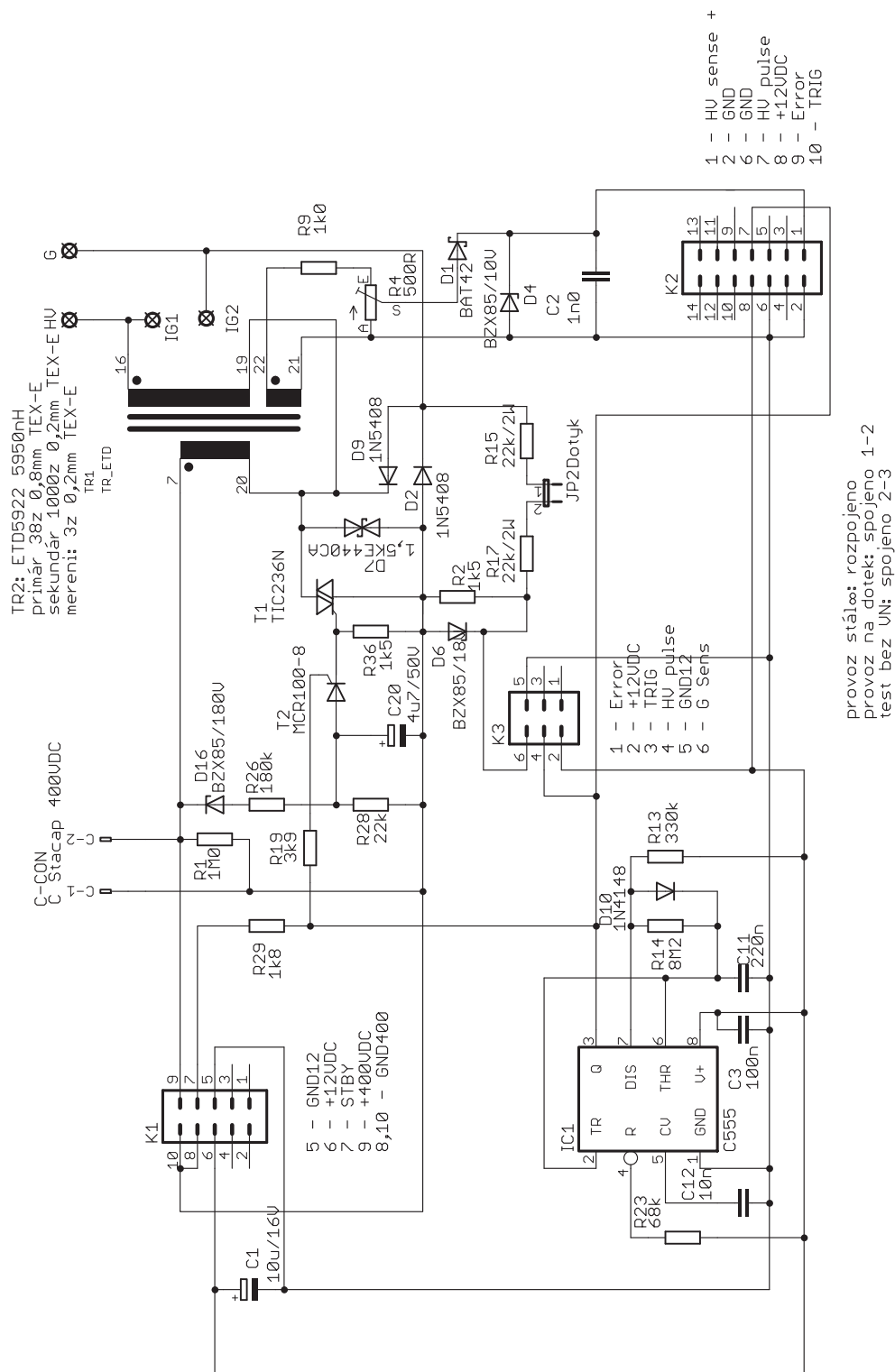
Obrázek č.29 Schéma zapojení, zdroj 12 VDC-400 VDC



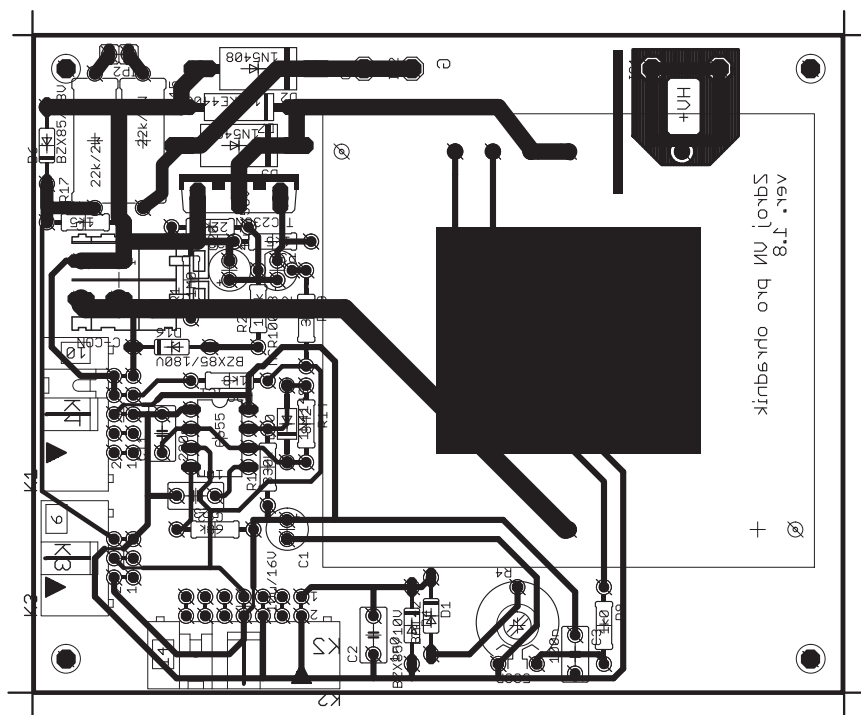
Obrázek č.30 DPS zdroje 12 VDC-400 VDC ze strany součástek, rozměry desky 64x116 mm



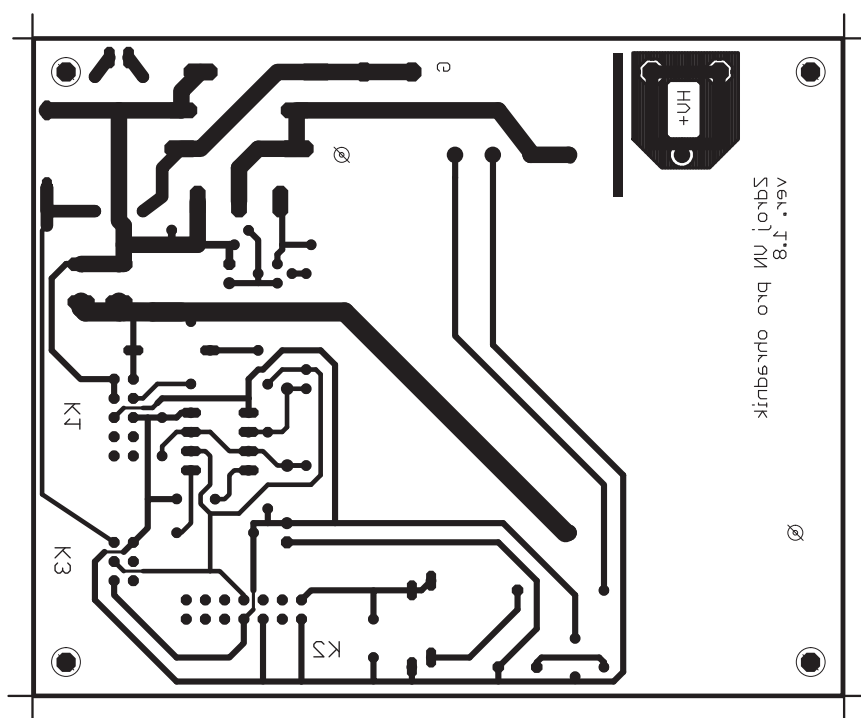
Obrázek č.31 DPS zdroje 12 VDC-400 VDC ze strany spojů, rozměry desky 64x116 mm



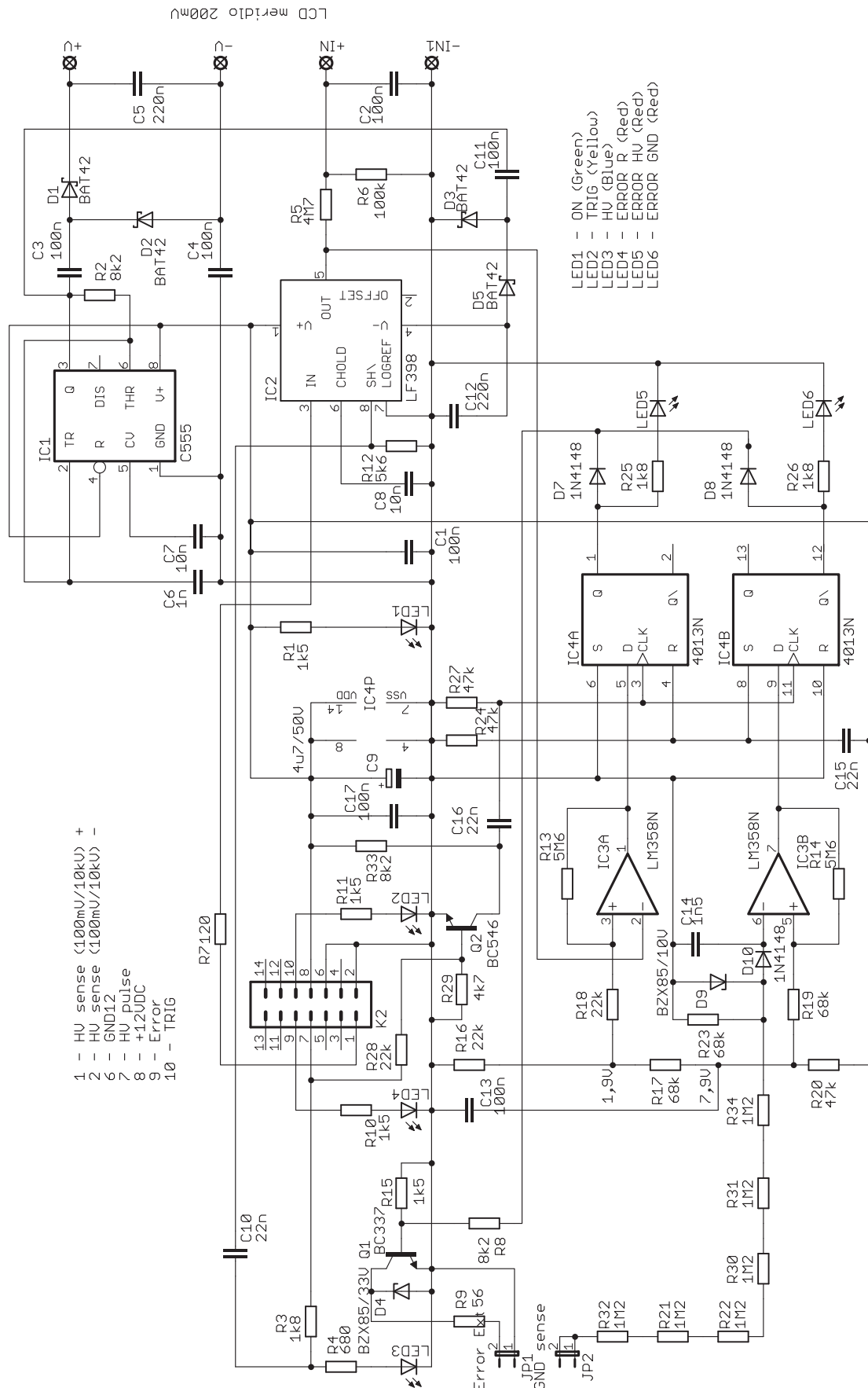
Obrázek č.32 Schéma zapojení, zdroj vysokonapěťových pulzů



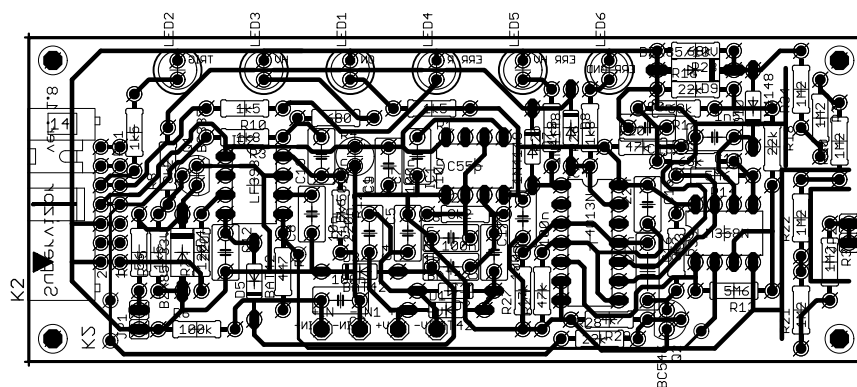
Obrázek č.33 DPS zdroje VN impulzů ze strany součástek, rozměry desky 88x108 mm



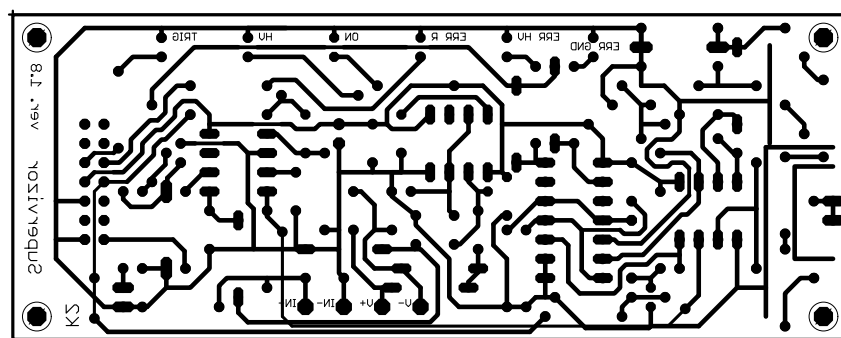
Obrázek č.34 DPS zdroje VN impulzů ze strany spojů, rozměry desky 88x108 mm



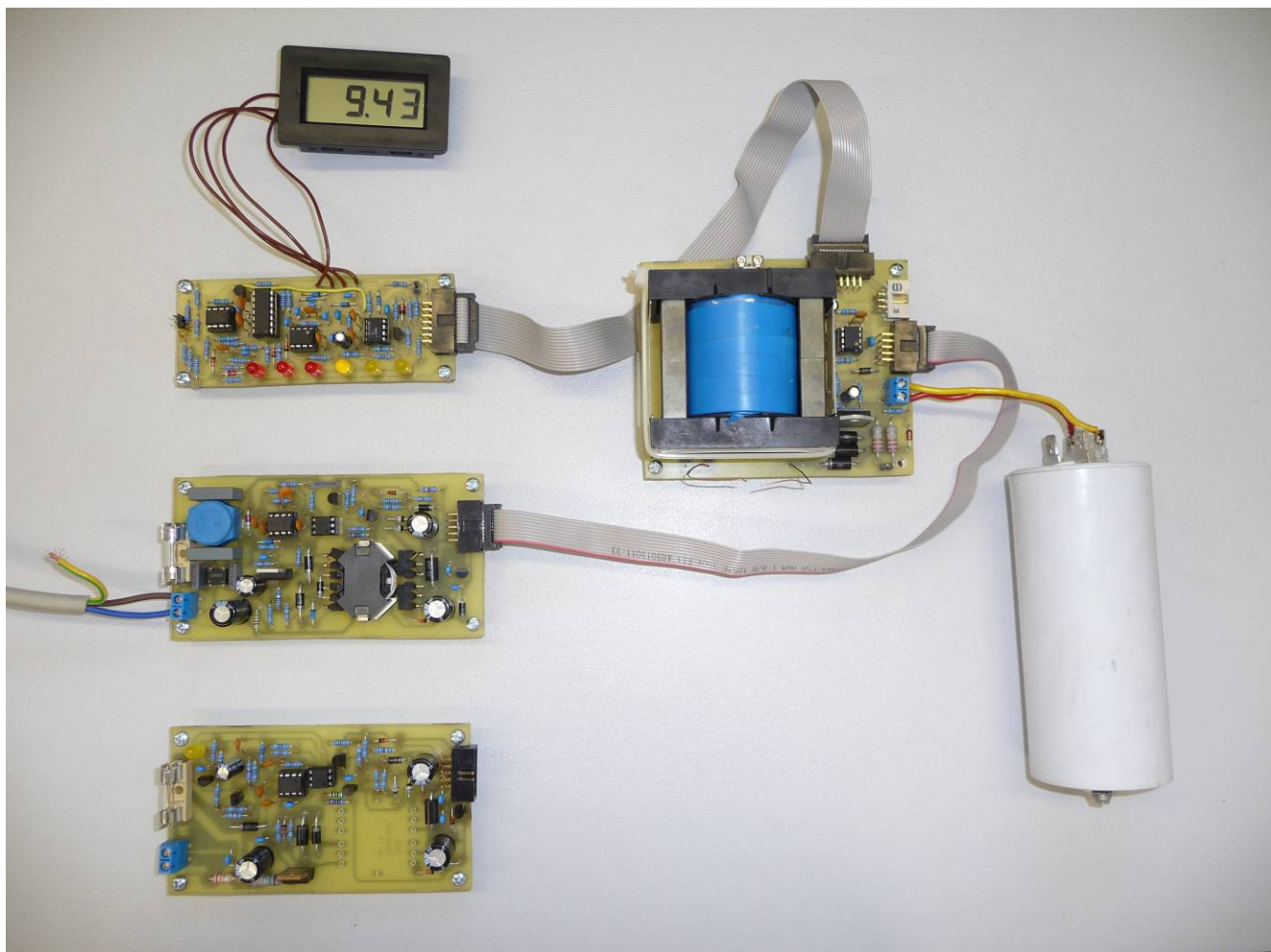
Obrázek č.35 Schéma zapojení kontroly



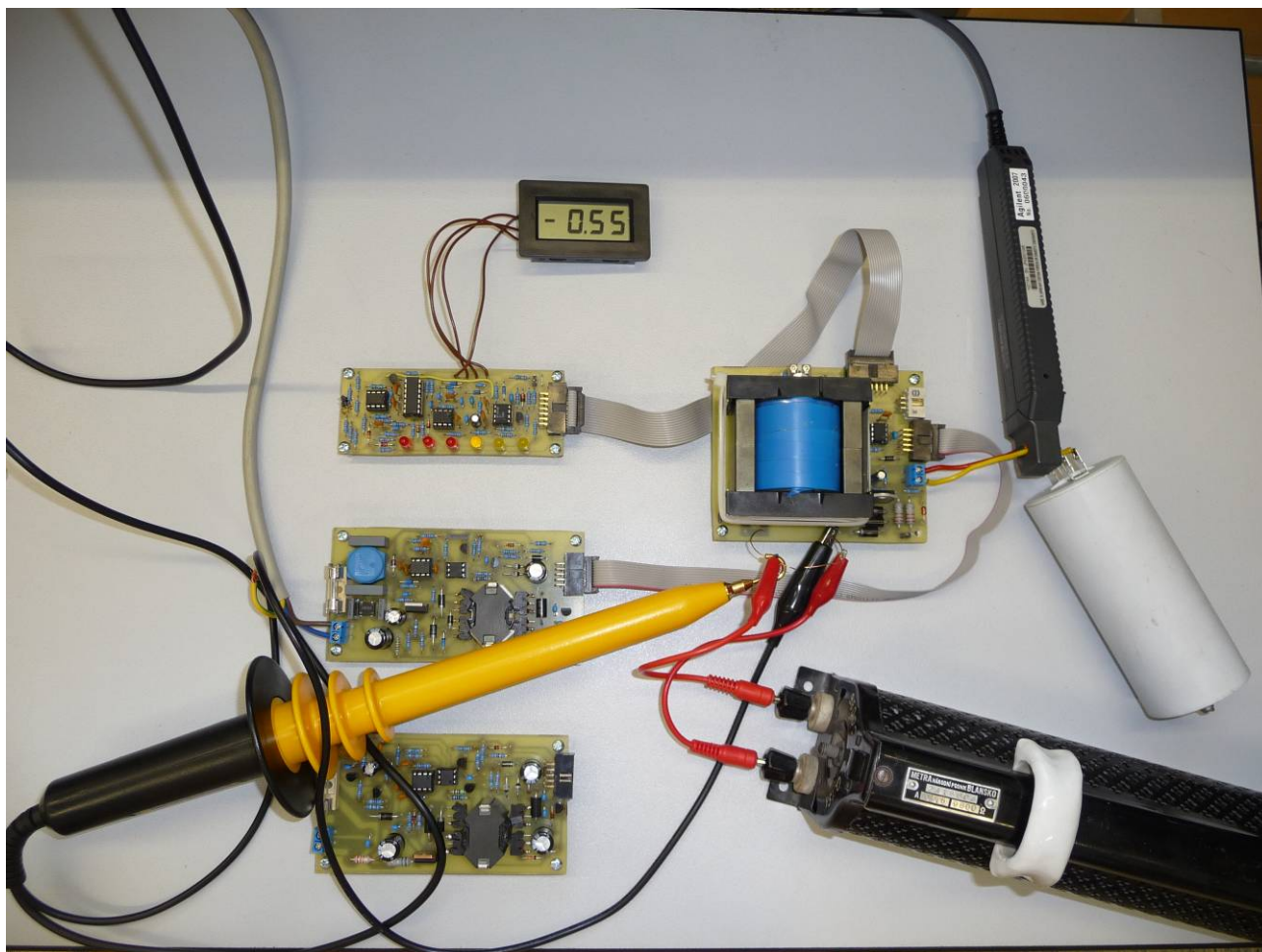
Obrázek č.36 DPS kontroly ze strany součástek, rozměry desky 44x110 mm



Obrázek č.37 DPS kontroly ze strany spojů, rozměry desky 44x110 mm



Obrázek č.38 Realizované moduly zdroje pro ohradník



Obrázek č.39 Měření parametrů VN impulzního zdroje