

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



Sestava zdroje napětí a pulzního regulátoru

Bakalářská práce

Martin Zuzák

školitel: Ing. Ladislav Ptáček

České Budějovice 2012

Bibliografické údaje

Zuzák M. 2012: Sestava zdroje napětí a pulzního regulátoru

[Compilation of source voltage and pulse regulation. Bc. Thesis, in Czech.] – 42 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o zdroji napětí a proudu pro modelovou železnici. Teoretická část je soustředěna na vysvětlení základních principů činnosti zdrojů. Velký důraz je kladen na porovnání pulsní regulace s lineární.

V praktické části je navrhnout a sestaven funkční zdroj napětí s pulsní regulací. Jsou proměřeny a zaznamenány výstupní parametry zdroje.

klíčová slova: zdroj napětí a proudu, PWM regulace, lineární regulace, transformátor, usměrňovač

Annotation

This bachelor thesis deals with voltage source for a model railway. Its theoretical part focuses on explaining the basic principles of current and voltage sources. It especially focuses on comparison of pulsion and linear regulation.

In practical part, the working design of pulsion regulation voltage source is proposed. The output characteristics of the source are measured and logged.

key words: voltage and current source, PWM control, linear control, transformer, rectifier

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 26. 4. 2012

.....

Martin Zuzák

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Ladislavovi Ptáčkovi za vedení a cenné rady, které mi pomohly při psaní a praktické realizaci bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Františkovi Havlovi za fotografie zdroje a cenné připomínky k práci.

Obsah

Úvod	6
Cíle práce	7
1 Teorie napájecích zdrojů	8
1.1 Zdroje elektrochemické	8
1.1.1 Rozdělení elektrochemických článků	8
1.2 Zdroje elektromechanické	11
1.3 Zdroje elektronické	11
1.4 Základní blokové schéma lineárního zdroje	12
1.5 Transformátor	13
1.5.1 Elektromagnetická indukce	13
1.5.2 Indukční zákon	13
1.5.3 Princip činnosti transformátoru	14
1.5.4 Převod transformátoru	15
1.5.5 Transformátory rozdělujeme:	15
1.5.6 Konstrukční provedení síťových transformátorů	16
1.6 Usměrňovače	16
1.6.1 Rozdělení usměrňovačů:	16
1.6.2 Jednocestný usměrňovač	17
1.6.3 Jednocestný usměrňovač s vyhlazovacím kondenzátorem	18
1.6.4 Dvoucestný usměrňovač	19
1.6.5 Můstkový usměrňovač	20
1.6.6 Násobič napětí	21
1.7 Filtry	22
1.8 Klasická lineární regulace	23
1.8.1 Stabilizátory napětí	24
1.8.2 Parametrické stabilizátory	25
1.8.3 Činitel stabilizace	27
1.9 Pulzně šířková modulace	28
1.9.1 Výhody PWM regulace	29
1.9.2 Nevýhody PWM regulace	29
1.9.3 Použití PWM regulace	30
1.10 Porovnání lineární regulace s pulzní regulací	30
2 Konstrukce zdroje	32
2.1 Výběr vhodných komponent	32
2.2 Schéma zapojení zdroje	33
2.3 Časový průběh výstupního napětí	36
2.4 Technické údaje	38
3 Závěr	40
4 Seznam použité literatury	41
5 Seznam příloh	42

Úvod

Problematika napájecích zdrojů se pro konstruktéra elektrických zařízení může zdát jako okrajová záležitost. Zakoupení potřebného zdroje pouze podle výstupních paramerů není optimální. Stále se ukazuje, že volba vhodného zdroje pro konkrétní zařízení musí být velice obezřetná. Zvyšují se nároky na extrémní přesnost, stabilitu (dlouhodobou, teplotní), malé rozměry a v dnešní době stále větší nároky na ekonomiku provozu. Ať už proto, že se neustále zvyšují ceny energie na světových trzích, nebo kvůli stále uvědomělejšímu ekologickému přístupu k naší planetě (čím méně spotřebované energie = méně vypuštěných skleníkových plynů do atmosféry). Roste také počet zařízení napájených z akumulátorů. Proto se stále objevují nové a účinnější druhy elektronických obvodů.

Omezený rozsah této bakalářské práce nedovoluje popsat většinu napájecích zdrojů. V práci jsem se pokusil podat základní přehled zdrojů, spolu s uvedením základních rozdílů klasických zdrojů s lineární regulací v porovnání s pulzní regulací. Práce si neklade za cíl o podrobné vysvětlení dané problematiky. Čtenář by měl po přečtení práce pochopit základní souvislosti a vytvořit si přehled o napájecích zdrojích. Dále bude schopen navrhnout si jednoduchý zdroj pro modelovou železnici.

Výstupem této práce je funkční zdroj napětí s pulzní regulací. Praktická část této práce se věnuje návrhu a praktické realizaci zdroje napětí, který se skládá ze tří samostatných výstupů. První dva dodávají stejnosměrný proud, s nezávisle regulovatelným napětím (0 až 12) V s maximálním proudovým zatížením 2 A. Určeny jsou primárně pro pohon stejnosměrných motorů. Třetí výstup dodává střídavé napětí, pevně nastavené na 16 V s maximálním proudovým zatížením 1,5 A. Všechny vývody mají ochranu proti zkratu.

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je návrh a kompletní realizace napájecí jednotky využívající pulzní regulaci.

První část práce se zabývá zdroji napětí a proudu z teoretického pohledu. Jsou zde popsány využívané způsoby regulace a usměrnění, výstupní průběhy napětí různých typů zdrojů a způsoby měření. Část je psána se zaměřením na možnosti pulzní regulace v porovnání s lineární regulací.

Druhá část práce se věnuje návrhu a praktické realizaci zdroje napětí, který se skládá ze tří samostatných výstupů. První dva dodávají stejnosměrný proud, s nezávisle regulovatelným napětím s rozsahem (0 až 12) V a s maximálním proudovým zatížením 2 A. Určeny jsou primárně pro pohon stejnosměrných motorů. Třetí výstup dodává střídavé napětí, pevně nastavené na 18 V s maximálním proudovým zatížením 1,5 A. Všechny vývody mají ochranu proti zkratu.

V poslední třetí části práce jsou shrnuty dosažené výsledky sestaveného zdroje. Jsou proměřeny a spočítány vstupní a výstupní charakteristiky. Je změřeno napětí a proud nakrátko i naprázdno, spočtena účinnost, určeny primární ztráty (v železe a ve vinutí). Dále je změřena zatěžovací charakteristika a míra zvlnění. Byla ověřena funkčnost ochrany proti zkratu.

1 Teorie napájecích zdrojů

Napájecí zdroje rozdělujeme:

- zdroje elektrochemické
- zdroje elektromechanické
- zdroje elektronické

1.1 Zdroje elektrochemické

"Elektrochemické zdroje proudu jsou zařízení na přeměnu chemické energie v elektrickou. Během vybíjení v nich dochází k chemické reakci, jejíž energie se uvolňuje v podobě energie stejnosměrného elektrického proudu. Elektrochemické články tuto energii přeměňují přímo bez mezistupňů. Elektrochemický zdroj proudu se skládá z jednoho nebo několika jednotlivých článků, které se nazývají galvanické články. Každý článek poskytuje napětí obvykle od 0.5 do 4 V. Pro větší napětí se tyto články spojují do série v galvanickou baterii"[4].

1.1.1 Rozdělení elektrochemických článků

1.1.1.1 Primární

Jsou na jedno použití (jen jednou nabitě) např. galvanické články.

Voltův článek

Vytvořil ho Alessandro Volta okolo roku 1800, tento článek se skládá z měděné anody, zinkové katody a vodného roztoku kyseliny sírové jako elektrolytu. Tento galvanický článek má napětí mezi elektrodami 1,1 V a lze jej sestavit i z jiné dvojice kovů [16].

Zinko-uhlíkové suché články

Zápornou katodu tvoří zinkový kalíšek. Kladná anoda je tvořena uhlíkovou tyčinkou a elektrolytem je zde vodný roztok chloridu amonného, nebo zinečného zahuštěného škrobem. Elektrolyt se zde nenachází v kapalně formě, ale je nasáknut do kladné elektrody (práškové směsi uhlíku a burelu). Odtud označení suché články. Dražší

články mají ochranný ocelový nebo plastový plášť, který lépe zabraňuje úniku elektrolytu z článku.

Alkalické suché články

Zápornou elektrodu zde tvoří slisovaný zinkový prášek ve středu baterie, který je obklopen směsí práškového uhlíku tvořící kladnou elektrodu, to vše je obaleno v ocelovém pouzdře.

1.1.1.2 Sekundární

Jejich výhodou je, že se dají opakovaně nabíjet, např. olověné akumulátory.

Olověné akumulátory

Olověné desky jsou pokryté PbO_2 . Záporná elektroda je tvořena z čistého olova. Elektrolyt je zředěná H_2SO_4 . Vzdálenost mezi deskami je co nejmenší (malý vnitřní odpor). Mezi deskami jsou tenké mikroporézní destičky z umělých hmot. Při vybíjení akumulátoru z H_2SO_4 a Pb vzniká síran olovnatý PbSO_4 a voda. PbSO_4 se usazuje na deskách. Díky této chemické reakci baterie je schopna dodávat do obvodu téměř nekonečný velký zatěžovací proud (po určitou dobu). Při nabíjení akumulátoru probíhají chemické procesy opačným směrem než u vybíjení.

Olověné akumulátory se nejvíce používají jako autobaterie. Běžná autobaterie má životnost 4 až 6 roků (životnost asi 350 nabíjecích cyklů). Ale například speciální záložní akumulátory v elektrárnách vydrží až 10-15 let (životnost až 1000 cyklů je dosažena speciální konstrukcí). Dobu "života" lze zvýšit pečlivou údržbou a vhodným provozem (např. při delším odstavení připojit baterii na tzv. udržovací proud) [16].

Alkalické akumulátory

V současné době se zejména používají tyto typy alkalických akumulátorů:

Ni-Cd

Dříve hodně využívaný akumulátor má lepší odolnost vůči úplnému vybití. Bohužel má menší kapacitu než Ni-Mh [17].

Li-Ion

Vzhledem ke svým vlastnostem našel tento akumulátor použití ve spotřebitelské elektronice (mobily, aku nářadí, laptopy atd.) Jedná se o moderní typ akumulátoru s poměrně vysokou kapacitou na jednotku objemu. Nominální napětí 3,7 V. Akumulátor nemá paměťový efekt (nemá vliv na životnost baterie doba nabíjení ani vybíjení). Akumulátor je schopen 500 až 2000 nabíjecích cyklů. Se zvyšujícím počtem nabití a vybití ztrácí kapacitu (stárne) [16,17].

Li-Pol

Jsou to nové druhy elektrochemických článků, které se úspěšně používají v mobilních telefonech, kamerách, fotoaparátech, noteboocích a dalších přenosných zařízeních. Tato technologie byla vyvinuta z Lithium iontových článků a tudíž jmenovité napětí jednoho článku je také 3,7 V. Výhodou je vysoká kapacita, velká výkonnost a velmi malé samovybíjení. Díky svým vlastnostem se stále více prosazují, jsou neustále vyvíjeny, přičemž je zvyšována jejich kapacita a výkonnost a brzy zcela nahradí starší typy akumulátorů. Nevýhodou těchto akumulátorů je velká citlivost na nabíjecí napětí, když se překročí, nevratně se poškodí. Funkčnost těchto akumulátorů je, co se týče provozních teplot, množství cyklů, vybíjecích a nabíjecích napětí, obdobná jako u akumulátorů Li-Ion [13].

Nové trendy v elektrochemických zdrojích

V současné době se vývoj elektrochemických zdrojů neustále zrychluje. Zvyšuje se kapacita a životnost. Nové trendy v akumulátorech zastává např. Li-air.

Lithium-vzduchové baterie zástávají slibnou cestu v dalším rozšíření akumulátorů do běžného použití. Li-air akumulátory jsou tvořeny katalytickou katodou (dodává kyslík), dále elektrolytem a lithiovou anodou. Tyto akumulátory mají oproti Li-ion a Li-Pol 5x až 10x větší účinnost. Počítá se s nimi především v automobilovém průmyslu. Dojezd auta poháněném elektromotorem by s touto baterií byl cca 800 km. S takovou kapacitou by se už dalo konkurovat automobilům se spalovacími motory [14,15].

1.2 Zdroje elektromechanické

Elektromechanické zdroje proudu jsou zařízení, které přeměňují pohybovou energii na elektrickou. Jejich fyzikální princip je založen na principu elektromagnetické indukce. V zásadě se vždy jedná o pohyb vodiče v elektromagnetickém poli, kde se pohybová energie přeměňuje na elektrickou. Základní elektromechanické zdroje jsou dynamo, generátory a alternátory. Za zvláštní elektromechanické zdroje, můžeme považovat piezoelektrické generátory, které pracují na principu piezoelektrického jevu tj. schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování.

1.3 Zdroje elektronické

Elektronické zdroje napětí a proudu (měniče) jsou zařízení, které čerpají energii z elektrické sítě. Mění střídavé napětí ze sítě na požadovanou hodnotu.

Elektronické zdroje dělíme na:

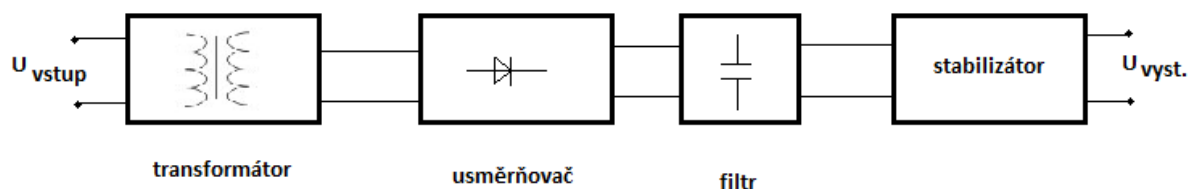
- 1) lineární zdroje
- 2) spínané zdroje

V poslední době se stále častěji na nejrůznější aplikace v elektronice upřednostňují spínané zdroje před lineárními. Spínané zdroje mají větší účinnost než lineární zdroje. To se jeví velice užitečné například u napájení z baterií (elektrochemické články = omezený výkon). Spínané zdroje mají kompaktnější tvar a menší váhu. U spínaných zdrojů pracuje transformátor s řádově vyšší frekvencí než u lineárního zdroje. To umožňuje použít menší transformátor a tato vlastnost se projeví na hmotnosti zdroje, velikosti a ceně. Naproti tomu lineární zdroje jsou jednodušší na návrh. Spínané zdroje jsou složitější na návrh a použité součástky. Vlastnosti uvedených zdrojů nám popisuje následující tabulka č.1 [1].

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 [ms]
Doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
Cena	Přibližně konstantní	Roste s výkonem

tab. č.1. Porovnání lineárních a spínaných zdrojů[1].

1.4 Základní blokové schéma lineárního zdroje



obr.č.2. Základní blokové schéma lineárního zdroje

Princip činnosti:

Transformátor transformuje napětí na požadovanou hodnotu. Usměrňovač mění (usměrňuje) střídavý proud na stejnosměrný. Ve filtru je potlačeno zvlnění. Stabilizátor zajišťuje stálou hodnotu napětí na výstupu bez ohledu na připojenou zátěž.

1.5 Transformátor

Pro pochopení základní činnosti transformátoru je nutné znát základní pojmy.

1.5.1 Elektromagnetická indukce

Faraday hledal důkazy za jakých podmínek může být magnetické pole příčinou elektrického proudu a zjistil že časovými změnami magnetického pole, které svými indukčními čarami obepíná vodič, se naindukuje ve vodiči elektrický potenciál. Časové změny magnetického pole mohou být způsobeny jeho vznikem nebo zánikem, zesílením nebo zeslabením. Mezi dvěma body vodiče se indukuje napětí. Abychom mohli Faradayova zákona užívat k výpočtům, potřebujeme stanovit vhodnou míru magnetického pole procházejícího smyčkou (elektromagnetický indukční tok) podle vzorce (1)

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1)$$

v němž se integruje přes uvažovanou plochu.

Φ_B = magnetický indukční tok [Wb]

B = magnetická indukce [T]

S = plocha [m^2]

Je-li

pole B kolmé k uvažované ploše a je-li na ní homogenní, zjednoduší

se rovnice (1) na

$$\Phi_B = B \cdot S \quad (2)$$

1.5.2 Indukční zákon

"Velikost elektromotorického napětí indukovaného ve vodivé smyčce je rovna rychlosti změny magnetického indukčního toku procházejícího touto smyčkou" [7].

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3)$$

ε = elektromotorické napětí [V]

Φ_B = magnetický indukční tok [Wb]

t = čas [s]

Magnetická indukce B je vektorová veličina. Je dána počtem magnetických indukčních čar (magnetickým tokem φ na jednotku plochy S). Hlavní jednotkou magnetické indukce B je 1 T (tesla).[4]

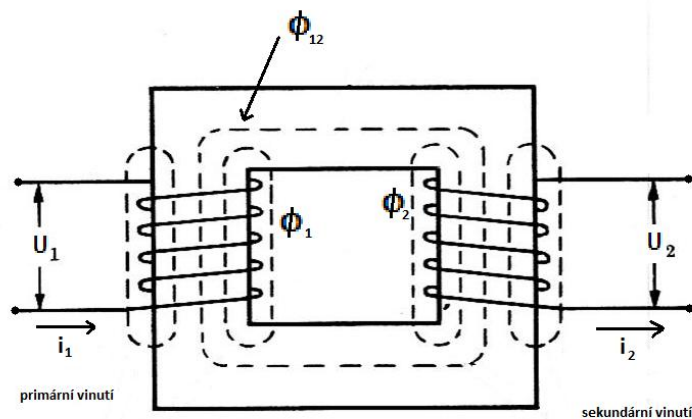
Na principu elektromagnetické indukce pracuje transformátor.

Transformátor má dvě základní funkce:

- 1) Galvanicky odděluje obvod. Tato vlastnost je využívána z hlediska bezpečnosti (oddělovací transformátor).
- 2) Transformuje (mění) napětí a proud na požadovanou velikost (měnič napětí a proudu) [4].

1.5.3 Princip činnosti transformátoru

Pro vysvětlení činnosti transformátoru jsem zvolil jednofázový model.



obr.č.3 Model jednofázového transformátoru

$\Phi_1\Phi_2$ - rozptylové magnetické toky (zanedbatelně malé)

Φ_{12} - společný magnetický tok

Na obr.č.3 vidíme primární cívku navinutou na společném magnetickém jádře se sekundární cívkou. Společné magnetické jádro slouží jako vodič pro magnetický tok. Jelikož železo má velikou permeabilitu, tak magnetický tok prochází s velikou účinností jádrem.

Do primárního vinutí přivedeme střídavé napětí (v naší zemi s frekvencí 50 Hz a s amplitudou 230 V)

Vlivem měnící se polarity střídavého proudu se mění magnetické pole vybuzené tímto proudem. Podle zákona elektromagnetické indukce se s časovou změnou magnetického toku spřaženého s vodivou smyčkou, ve smyčce indukuje elektrické napětí. Tento zákon nám popisuje rovnice (4)

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4)$$

ε = elektromotorické napětí [V]

Φ_B = magnetický indukční tok [Wb]

t = čas [s]

1.5.4 Převod transformátoru

$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (5)$$

N_{12} = počet závitů vinutí

U_1 = vstupní napětí

U_2 = výstupní napětí

I_1 = vstupní proud

I_2 = výstupní proud

1.5.5 Transformátory rozdělujeme:

a) Podle počtu fází:

- jednofázové
- trojfázové
- vícefázové

b) Podle dodávaného výkonu:

- malé (do výkonu cca 5 kVA)
- výkonové (nad 5 kVA)

c) Podle druhu chlazení:

- vzduchové
- olejové

d) Ostatní transformátory

- oddělovací
- impulzní
- měřicí

[11]

1.5.6 Konstrukční provedení síťových transformátorů

„Síťové transformátory malých výkonů, jednofázové nebo třífázové, jsou výlučně napájeny z rozvodné sítě napětím o kmitočtu 50 Hz. Rozvodná síť je pro transformátory i spotřebiče zdrojem o vnitřním odporu jen několik desetin ohmu, má přípustné kolísání jmenovitého napětí 230 V +/- 5 %.“[4]

Pro primární i sekundární vinutí se používá měď nebo hliník. Hliník má přibližně o 60 % větší měrný odpor. Proto se musí o 60% zvětšit i průřez vodiče. Transformátor s hliníkovým vinutím bude sice větší ale zároveň lehčí a levnější. Podle požadovaných vlastností transformátorů volíme průřez vodiče.

Magnetické jádro se skládá od sebe vzájemně izolovaných plechů různých tvarů EI,C,M. Aby byla zaručená vysoká permeabilita magnetického obvodu, používají se plechy s vysokým obsahem křemíku [4].

1.6 Usměrňovače

Usměrňovače slouží k usměrnění (přeměně) střídavého napětí na stejnosměrné.

1.6.1 Rozdělení usměrňovačů:

a) podle počtu fází zpracovávaného signálu:

- jednofázové
- třífázové

b) podle říditelnosti:

- neřízené,
- řízené (např. s tyristory či moderními výkonovými unipolárními tranzistory).

c) podle počtu pulzů výstupního signálu v rámci jedné periody vstupního signálu:

- jednocestné (vysoká napětí, malé proudy, velké zvlnění),
- dvoucestné (nízká napětí, velké proudy, malé zvlnění)
- můstkové (střední napětí, velké proudy, malé zvlnění)

d) podle charakteru zátěže:

- s odporovou zátěží
- s kapacitní zátěží
- s induktivní zátěží
- se zátěží charakteru obecné impedance.

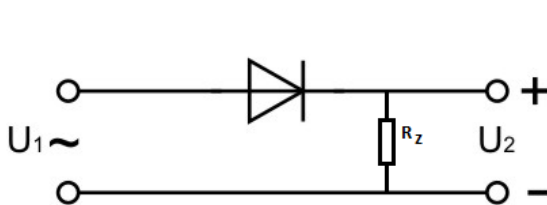
d) podle kmitočtu vstupního signálu:

- s kmitočtem 50 Hz
- s jiným kmitočtem (100 Hz, 400 Hz).

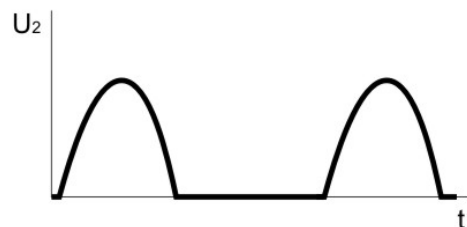
e) další typy obvodů, řazených mezi usměrňovače:

- zdvojovače napětí
- násobiče napětí (velmi vysoká napětí, velmi malé proudy, velké zvlnění) [11,5]

1.6.2 Jednocestný usměrňovač



obr.č.4 Jednocestní usměrňovač.[6]



obr.č.5. Výstupní charakteristika.[6]

Harmonicky proměnné napětí U_1 na výstupním vinutí transformátoru může obvodem v sériovém spojení diody a odporu jako zátěží protlačit proud pouze v propustném směru diody. Na zátěži se tedy využije pouze jedné periody střídavého napětí. Proud, který prochází zátěží bude mít obdobný časový průběh a platí pro něj:

$$i = \frac{U_{Rz}}{R_z} \quad (6)$$

Střední hodnota U_{stred} je dána vztahem:

$$U_{stred} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_{Rz} dt = \frac{1}{2p} \int_0^p U_{Rzmax} \sin \omega t dt = \frac{U_{Rzmax}}{p} \quad (7)$$

Pomocí efektivní hodnoty lze vyjádřit napětí na zátěži:

$$U_{stred} = \frac{U_{max}}{\Pi} = \frac{\sqrt{2}}{\Pi} u = 0,45u \quad (8)$$

V půlperiodě, kdy dioda nevede proud, objeví se na ní závěrné napětí o velikosti:

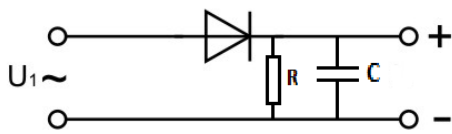
$$U_{zav} = \sqrt{2}u \quad (9)$$

Výhodou jednocestného usměřovače je jeho jednoduchost. Nevýhodou je, že snižuje účinnost celého zdroje, přesycuje transformátor stejnosměrným proudem (transformátor se zahřívá). Výstupní napětí je pulzního charakteru [4].

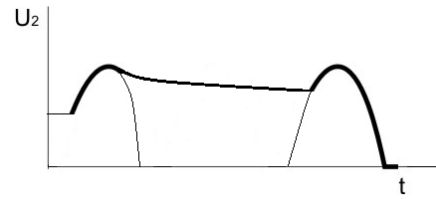
Podle obr.č. 5 Jednocestní usměřovač propouští pouze kladné půlvlny. Kdyby jsme diodu zapojili obráceně, propouštěla by pouze záporné půlvlny.

1.6.3 Jednocestný usměřovač s vyhlazovacím kondenzátorem

Když diodou prochází půlvlna, tak se zároveň paralelně připojený kondenzátor nabíjí na maximální amplitudu. Ve chvíli kdy je dioda v závěrném směru, kondenzátor se vybíjí přes zátěž.



obr.č.6 Jednocestní usměrňovač s vyhlazovacím kondenzátorem[6]



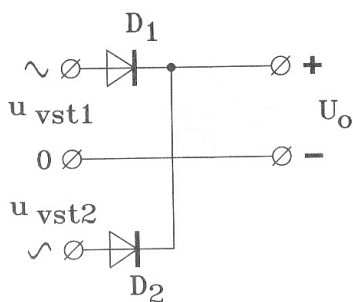
obr.č.7 Výstupní charakteristika [6]

kondenzátor	C(F)	U	tolerance(%)
CK100 μ /50V	100 μ	50	10
CK1PO/100V	1p	100	20
CK1N8/500V	1N8	500	10

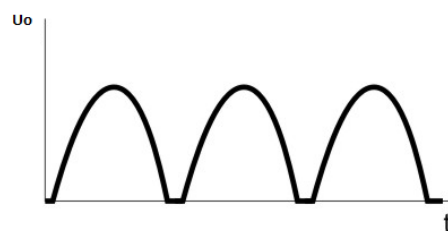
tabulka č. 3 Příklady reálných kondenzátorů

1.6.4 Dvoucestný usměrňovač

U dvoucestného usměrňovače využíváme dvou diod, které jsou zapojeny na koncích sekundárního vinutí transformátoru. Na střed sekundárního vinutí transformátoru a spojené katody nebo anody diod je připojena zátěž a vyhlazovací kondenzátor. Při kladné půlvlně propouští dioda D1. Dioda D2 je zavřená, protože na její anodě je záporné napětí. Při druhé půlvlně se otevírá dioda D2 a Dioda D1 je zavřená a nepropouští. Dvoucestné usměrňovače zdvojují kmitočet. Schéma a výstupní charakteristika jsou převzaty a upraveny z [1]



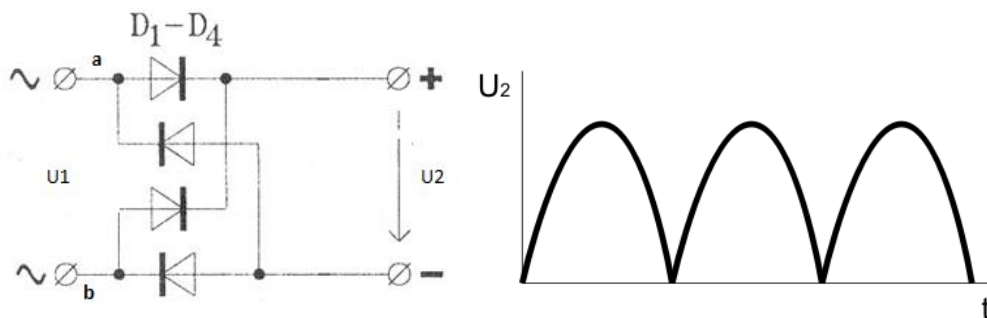
obr.č.8. Dvoucestný usměrňovač[1]



obr.č.9. Výstupní charakteristika[6]

1.6.5 Můstkový usměrňovač

Na obr.č.10 převzatého a upraveného z[1] je uvedeno schéma můstkového usměrňovače. Do série se zátěží jsou u můstkového zapojení vždy zapojeny dvě diody. Je-li polarita napětí u taková, že svorka a transformátoru je vzhledem ke svorce b kladná, potom jsou polovány v přímém směru diody D1 a D4 a uzavírá se přes ně proud procházející zátěží. Při opačné polaritě vedou diody D2 a D3. Výhodou můstkového usměrňovače je, že oproti klasickému dvoucestnému usměrňovači nerozděluje sekundární vinutí transformátoru. To vylučuje stejnosměrnou magnetizaci jeho jádra. Zvlnění je dáno stejným vztahem, jako u dvoucestního usměrňovače, graficky na obr.č.9 [1][4].



obr.č.10 Můstkový usměrňovač[1] obr.č.11 Výstupní charakteristika

Střední hodnota U_{stred} usměrněného napětí je vyjádřena vztahem (10)

$$U_{stred} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{Rzmax} \sin \Omega t \, dt = \frac{1}{\Pi} \int_0^{\Pi} U_{Rzmax} \sin \Omega t \, dt = U_{Rzmax} \frac{2}{\Pi} \tag{10}$$

Příklady používaných můstků:

můstek	U(V)	I(A)
B380C1000DIL	380	1
B250C4000	250/600	4
B250C35000	250/600	35

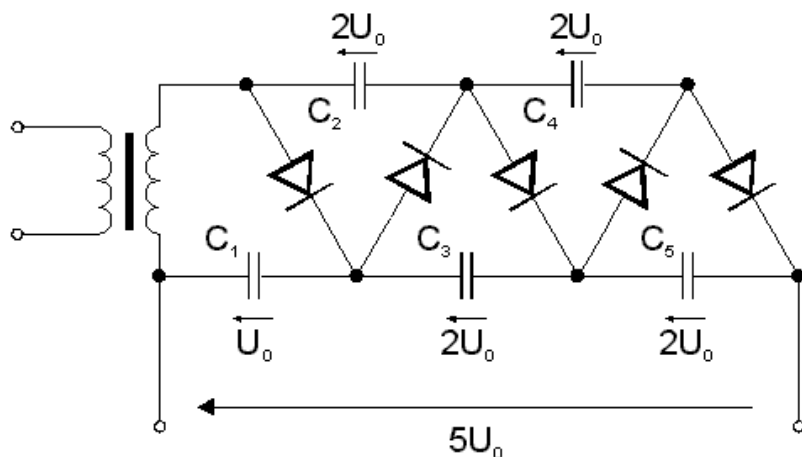
tabulka č.4 příklady reálných můstků

1.6.6 Násobič napětí

Násobiče používáme k získání n-násobně vyššího napětí na jejich výstupu, než je napětí na vstupu.

Princip činnosti

Předpokládejme nezatížený násobič, kondenzátory se nabíjejí na maximální hodnotu, na začátku byly nenabitě. V čase $t=0$ bude na horním konci sekundárního vinutí transformátoru kladné napětí (první půlvlna). Tímto kladným napětím se otevírá první dioda a kondenzátor C_1 se nabíjí na U_0 . Ve druhé půlvlně je kladné napětí na dolním vývodu transformátoru a v sérii jsou zapojeny dva stejné zdroje transformátor a nabitý kondenzátor. Tímto dvojnásobným napětím se otevírá druhá dioda a nabíjí se druhý kondenzátor C_2 na $2U_0$. V další půlvlně jsou v sérii zapojeny tři zdroje. Sekundární vinutí transformátoru a nabitý kondenzátor C_2 opačnou polaritou C_1 . Tímto napětím se otevírá dioda D_3 a nabíjí C_3 na $2U_0$. Stejným způsobem se nabíjejí další kondenzátory na hodnotu $2U_0$. Zátěž se připojuje na sériově zapojené kondenzátory v dolní větvi (liché násobky) nebo v horní větvi (sudé násobky) [5].



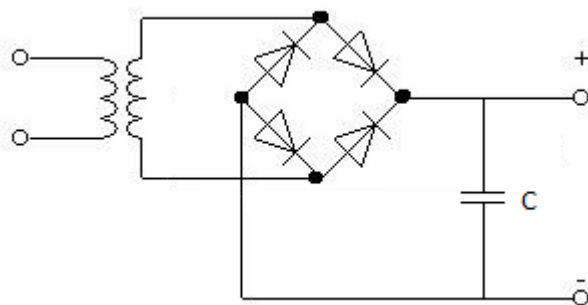
obr.č.11. Násobič napětí[8]

použití:

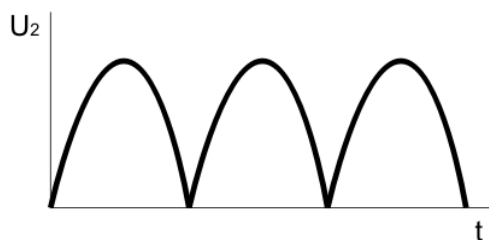
Používá se místo transformátoru na kterém by jsme chtěli na sekundárním vinutí vysoké napětí a malé proudy. Takový transformátor by měl na sekundárním vinutí hodně tenký drát a hodně závitů. To je patrné z přenosové funkce transformátoru [11].

1.7 Filtry

Z usměřovače vychází silně zvlněné napětí. Abychom docílili částečného vyhlazení napětí používáme filtry. Používají se kapacitní filtry. Zapojují se podle obr.č.12.

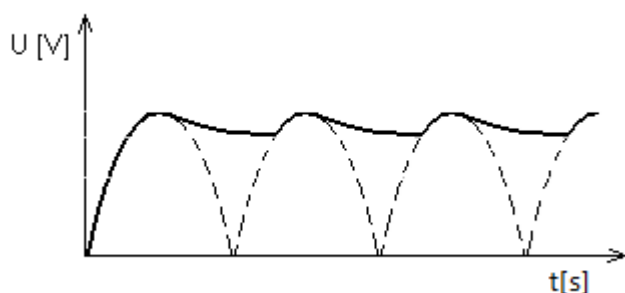


obr.č.12 Zapojení můstkového usměřovače s filtračním kondenzátorem



obr.č.13 Výstupní charakteristika z můstkového usměrňovače

Jsou kladeny nároky na vysokou kapacitu (elektrolytické kondenzátory). Je výhodné používat dvoucestné usměrňovače, protože ty zdvojují kmitočet a výsledný kondenzátor může mít menší rozměry, než při standartní frekvenci 50 Hz. Kondenzátor se v první polovině půlvlny nabíjí (hromadí náboj Q). Po té při snižování amplitudy se kondenzátor exponenciálně vybíjí (vypouští nahromaděný náboj Q zpět do obvodu). Tímto principem vyhlazuje průběh napětí. Princip nám ukazuje obr.č.14.



obr.č.14 Výstupní charakteristika můstkového usměrňovače při použití filtračního kondenzátoru

Většinou se používá jeden elektrolytický kondenzátor. Také se používá LC filtr. Tlumivka omezuje nabíjecí proud a proto chrání diody v můstku před velikými nabíjecími proudy. Nevýhodou LC filtru je, že potřebujeme vyšší vstupní napětí než u jednoho kondenzátoru.

1.8 Klasická lineární regulace

Obecně se dá říci o klasické lineární regulaci (spojité regulaci) že dosahuje velmi dobrých výstupních parametrů z kvalitativního hlediska, tj. minimální zvlnění

výstupního napětí i při nespojitém impulsním charakteru zátěže, neprodukuje parazitní rušivé signály.

1.8.1 Stabilizátory napětí

Jsou elektronické obvody, jejichž hlavní funkcí je udržovat na výstupu stálé napětí. To je dáno změnami napětí na vstupu zdroje, měnící se velikosti odebíraného proudu zátěží, změnou teploty součástek zdroje, stářím součástek, impulsním charakterem zátěže. Stabilizátory do jisté míry i potlačují zvlnění zdroje (chovají se jako filtry). Stabilizátory se zapojují mezi transformátor a zátěž. V ideálním případě má stabilizátor činitel stabilizace roven nekonečnu a vnitřní odpor roven nule[4].

Stabilizátory rozdělujeme:

a) podle druhu stabilizované obvodové veličiny:

- stabilizátory napětí
- stabilizátory proudu.

b) podle principu používaného ke stabilizaci:

- parametrické stabilizátory
- lineární stabilizátory

[11]

Požadavky kladené na stabilizátory:

- minimální zvlnění, zachování konstantního napětí na zátěži

činitel stabilizace:

$$\frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} = K$$

(11)

U_1 – vstupní napětí na stabilizátoru

U_2 – výstupní napětí na stabilizátoru

ΔU_1 – změna vstupního napětí

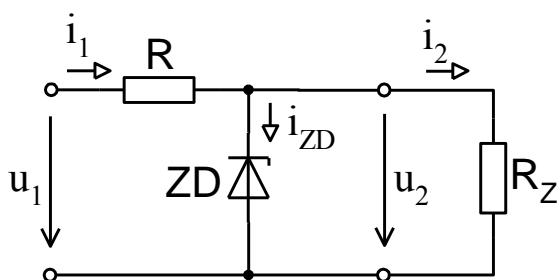
ΔU_2 – změna výstupního napětí

1.8.2 Parametrické stabilizátory

Parametrické stabilizátory jsou takové obvody, které obsahují obvodové prvky, u nichž je veliký rozdíl mezi statickým odporem a dynamickým odporem v pracovním bodě. Pokud je odpor dynamický menší než odpor statický potom hovoříme o parametrickém stabilizátoru napětí (stabilizátory se Zenerovou diodou případně s klasickou diodou). Pokud je odpor dynamický větší než odpor statický, jde pak o stabilizátor proudu (obvody s tranzistory). Parametrické stabilizátory napětí využívají ke stabilizaci vhodný tvar převodní charakteristiky nelineárního prvku [11].

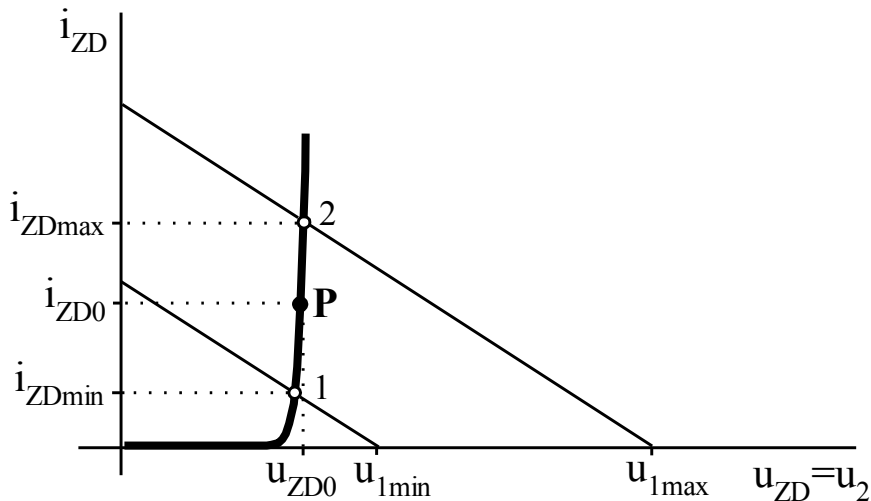
1.8.2.1 Stabilizátor napětí se Zenerovou diodou

Tento stabilizátor používá ke stabilizaci napětí závěrně polarizovanou diodu. U diody při překročení určitého napětí dochází k neobyčejně vysokému nárůstu proudu, který prochází diodou. Toto napětí se nazývá Zenerovo napětí. Základní zapojení stabilizátoru ukazuje obr.č.12[11]



obr.č.12 Stabilizátor napětí se Zenerovou diodou[11]

Stabilizátor napětí se Zenerovou diodou lze označit jako klasický. Zenerova dioda je v závěrném směru. Princip činnosti tohoto stabilizátoru nám ukazuje ampér-voltová charakteristika na obr.č.13

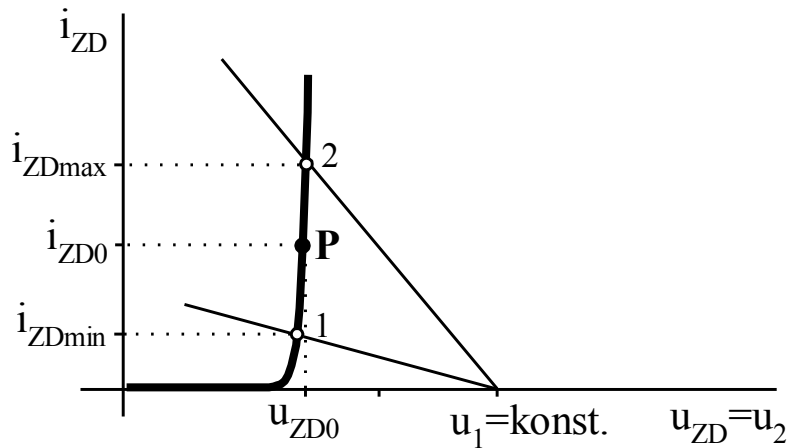


obr.č.13.[11] A-V charakteristika Zenerovy diody při $i_2 = konst.$ [11]

„Do zátěže teče konstantní proud i_2 . Vstupní napětí u_1 má takovou velikost, že napětí na diodě u_{zdo} a proud diodou i_{zdo} vymezují pracovní bod P. Vlivem změn vstupního nestabilizovaného napětí u_1 se však poloha pracovního bodu P posouvá. Vstupní napětí se může měnit jen v mezích u_{1min} až u_{1max} . (Pokud) překročí vstupní napětí některou z těchto dvou hodnot, obvod nedokáže stabilizovat.

Když jsou změny pracovního bodu P způsobeny změnou proudu i_2 (změnou proudu na zátěži) a napětí u_1 je konstantní. Zvětší-li se proud i_2 , pak dojde ke zmenšení proudu diodou, protože vstupní napětí na diodě se nemění (zanedbatelně). Obvod se tak chová jako zdroj napětí. Můžou nastat 2 krajní případy označené body 1 a 2 na charakteristice obr.č.14. Pracovní bod P může překročit bod 1(když začne zátěž odebírat příliš veliký proud), anebo může překročit bod 2 (v momentě odpojení zátěže).

Při praktickém provozu se mohou měnit jak vstupní napětí, tak proud do zátěže a obě tyto změny mohou přispět ke změnám polohy pracovního bodu P. Aby měla činnost stabilizátoru smysl, musí být zajištěno, aby nenastaly výše zmiňované mezní případy, které by vedly ke znehodnocení funkce obvodu či zničení diody“ [11].



obr.č.14 AV charakteristika Zenerovy diody při. $u_1 = konst$ [11]

1.8.3 Činitel stabilizace

Činitel stabilizace ideálního stabilizátoru se blíží nekonečnu. Vnitřní odpor ideálního stabilizátoru se blíží nule.

činitel stabilizace napětí: $S_U = \frac{\Delta u_1 / u_1}{\Delta u_2 / u_2} = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \cdot \frac{u_2}{u_1} [-]$, $i_2 = konst.$ (12)

kde u_1 a u_2 jsou střední hodnoty vstupního a výstupního napětí (obě zvlněné). Symboly Δu_1 a Δu_2 označují změny (zvlnění) těchto napětí. Činitel stabilizace vyjadřuje, kolikrát stabilizátor zmenšuje relativní kolísání vstupního napětí. Čím je hodnota činitele stabilizace větší, tím více snižuje zvlnění [11].

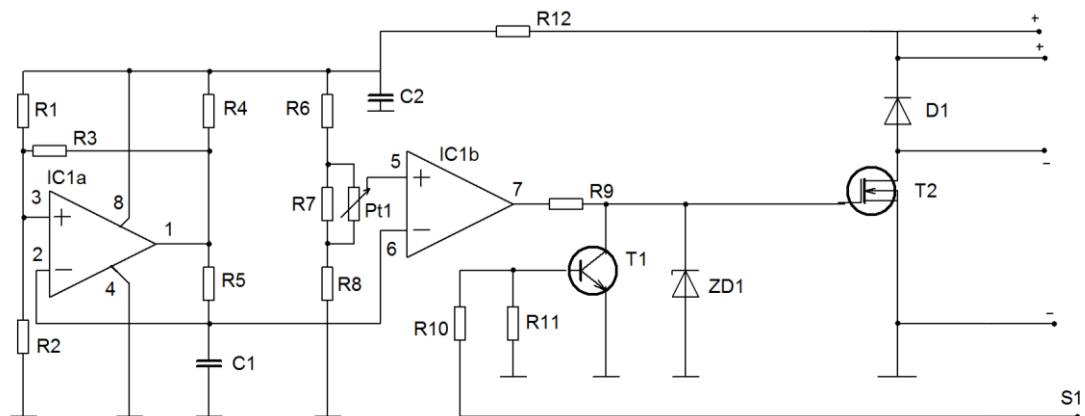
Zenerova dioda	$U_{zn}(V)$	$U_{zmax}(mA)$	$P_{max}(W)$
B2X83V005.1	5,1	98	0,5
B2X85V005.1	5,1	255	1,3
1SMB59366BT36	30	100	3

tabulka č.5 Příklady reálných Zenerových diod

1.9 Pulzně šířková modulace

PWM regulace pracuje na principu změny šířky pulzu obr.č. 17, který odebírá zátěž. Velikost napětí zůstává konstantní. Velikost procházejícího proudu zůstává konstantní. Mění se pouze aktivní doba průchodu proudu zátěží. Proto při použití např. u stejnosměrných motorů se nemění moment motoru, ale pouze rychlost otáčení.

U pulzně šířkové regulace (PWM) je regulovaný obvod spínán tranzistorem s určitou frekvencí. Nemění se velikost napětí ani velikost procházejícího proudu ale čas, po který proud aktivně prochází zátěží a proto se změnou frekvence spínání řídíme množství proudu protékajícího zátěží. Tranzistor je buď rozepnut (vede zanedbatelně malý proud, způsobeném minoritními nosiči), nebo je sepnut (prochází proud se zanedbatelnou ztrátou). Z principu PWM regulace vyplývá, že neměníme velikost napětí. Díky této vlastnosti mají zdroje s PWM regulací vysokou účinnost než u lineární regulace, kde se přebytečný výkon přemění na tepelné ztráty v proměněném odporu [4,11,2].



obr.č.15 Jeden z principů realizace pulzně šířkové modulace[11].

Princip činnosti PWM regulace na obr.č.15 je vysvětlen v kapitole 3.6

1.9.1 Výhody PWM regulace

a) Velká energetická účinnost

„Jednoduché, ekonomicky velmi výhodné spínací regulátory běžně dosahují účinnosti přes 60 %. Moderní, komplexně řešené varianty spínacích zdrojů mají účinnost 80 - 90 %. To jsou výsledky nedosažitelné klasickou lineární regulací.

b) Velké výstupní výkony

Klasická regulace naráží na značné problémy již v oblasti výstupních výkonů řádu desítek W. Tuto oblast lze zvládnout s impulsní regulací velmi jednoduše. Moderní zdroje bez větších problémů zvládají výkony stovek W. Mimořádnou předností impulsních zdrojů je právě možnost získat výstupní proudy řádů desítek až stovek A.

c) Modifikovatelnost regulátorů

Modifikovatelnost základních variant impulsních měničů i řídicích obvodů umožňuje realizovat i dosti neobvyklé funkce. Příkladem může být získání inverzní polarity výstupního napětí U_s vůči vstupnímu U_N , vzestupná transformace $U_s > U_N$, současná stabilizace několika výstupních hladin jedním regulátorem...

d) Výhodné konstrukční parametry

Nízká hmotnost na jednotku výkonu, malé rozměry“[4].

1.9.2 Nevýhody PWM regulace

a) Zvlnění výstupního napětí

„Z principu impulsní regulace vyplývá, že zvlnění výstupního napětí má nutně dynamický charakter. Je to především v nespojitosti regulace v průběhu periody T_c (zásahy výkonového spínače v časově omezených intervalech T_a) na jedné straně a setrvačného charakteru výstupního filtru na druhé straně. Proto zvlnění výstupního napětí je v každém případě větší, než na jaké jsme zvyklí u běžných stabilizátorů. Jeho podstatná složka má opakovací kmitočet závislý na době trvání pracovního cyklu, fop

>> 50 Hz. Na úrovni a průběhu zvlnění se podstatně podílí konkrétní způsob regulace a především jakost výstupního filtru.

b) Dynamické parametry

Jistou slabinou impulsně regulovaných zdrojů jsou jejich dynamické parametry. Kritická je zejména odezva výstupního napětí na velkou skokovou změnu zatěžovacího proudu z $I_z \text{ min}$ na $I_z \text{ max}$ a opačně. Vznikající překmity (podkmity) jsou důsledkem:

- principu nespojitosti regulace
- nelinearity regulace v mezních oblastech
- časového zpoždění vyplývajícího z akumulárního charakteru filtru

Princip impulsní regulace je tedy více vhodný pro napájení zařízení s konstantní z nebo málo relativně pomalu proměnnou zátěží.

c) Kmitočtové rušení

Jedním z podstatných problémů impulsní regulace je parazitní širokopásmové rušení, které je důsledkem pracovního režimu. Značné výkonové impulsy s velkou strmostí hran, související s ekonomickým pracovním kmitočtem regulace, jsou základním důvodem vzniku intenzivního rušícího signálu, který se šíří všemi způsoby. Odrušení zdrojů je složitá záležitost. Je většinou nutné stínit všechny kritické obvody jak elektrostaticky tak elektromagneticky a také celý zdroj“ [4].

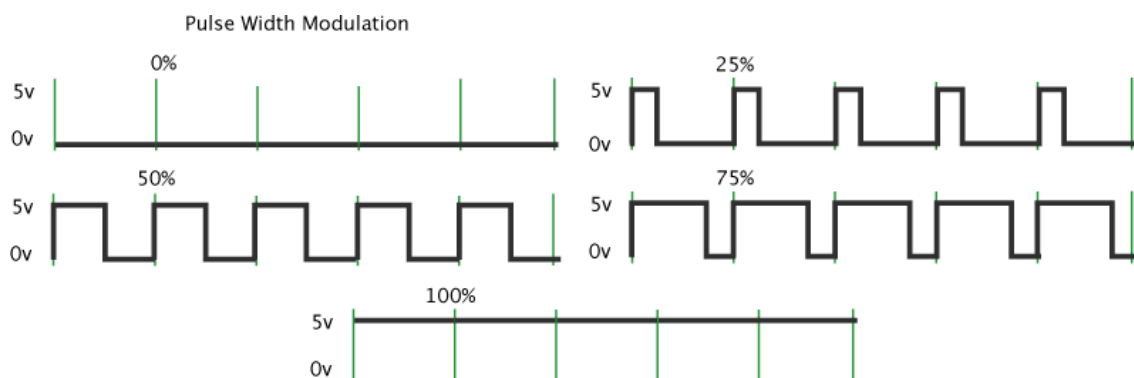
1.9.3 Použití PWM regulace

Pomocí PWM regulace se regulují různé stejnosměrné motory, osvětlení a používá se k regulaci vytápění elektřinou.

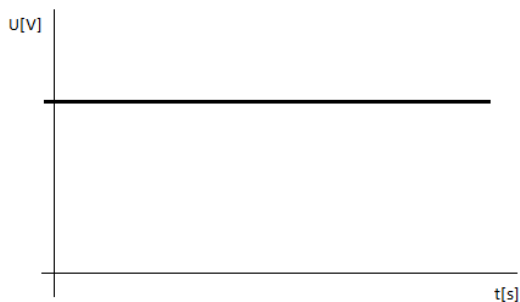
1.10 Porovnání lineární regulace s pulzní regulací

Můžeme říci, že u klasické lineární regulace používáme tranzistor jako proměnný odpor. Naproti tomu u pulzní regulace tranzistor pracuje jako spínač (dva stavy zapnuto nebo vypnuto). Z tohoto principu činnosti vyplývá, že spojitá regulace má vysoké ztráty způsobené změnou odporu tranzistoru. Když chceme do zátěže dodávat menší výkon, jednoduše zmenšíme vodivost kanálu tranzistoru. Tím se zvýší odpor procházejícího

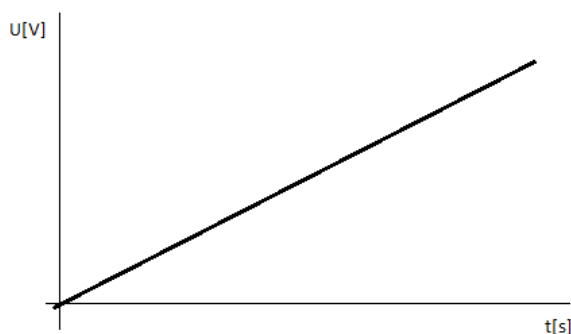
proudu. Přebytečný výkon se přemění na teplo a vyzáří se do prostoru. Účinnost lineární regulace se pohybuje okolo 50 %. Výstupní charakteristiku má na obr.č.18,19. Z ní je patrný lineární průběh. Pulzní regulace využívá dvoustavové logiky (zapnuto nebo vypnuto), tj. tranzistor je buďto plně otevřen nebo úplně uzavřen. Když je plně otevřen prochází proud s malými ztrátami (nesrovnatelně menšími než u spojitě regulace). Když je tranzistor rozepnut nevede žádný proud (kromě zanedbatelně malého proudu způsobeném minoritními nosiči). Regulace dosahujeme řízením aktivní doby, kdy prochází proud zátěží viz obr.č.17. Napětí se proto nesnižuje ani velikost proudu, jen čas, po který prochází proud zátěží. Výhody a nevýhody shrnuje tabulka na obr.č.20 [1,2,4,11,12].



obr.č.17 Výstupní charakteristiky z PWM regulátoru[12]



obr.č.18 Výstupní charakteristika ideálního neregulovatelného stabilizátoru



obr.č.19 Výstupní charakteristika ideálního regulovatelného stabilizátoru

Lineární regulace	PWM regulace
malá účinnost (50%)	vysoká účinnost (97%)
lineární charakteristika	pulzní charakteristika
nevytváří rušivé signály	vytváří šumy
minimální zvlnění výst. signálu	nemá stabilizační účinek
neperspektivní	perspektivní

tabulka č.5 Shrnutí parametrů lineární a pulsní regulace[1,2,3,11,12].

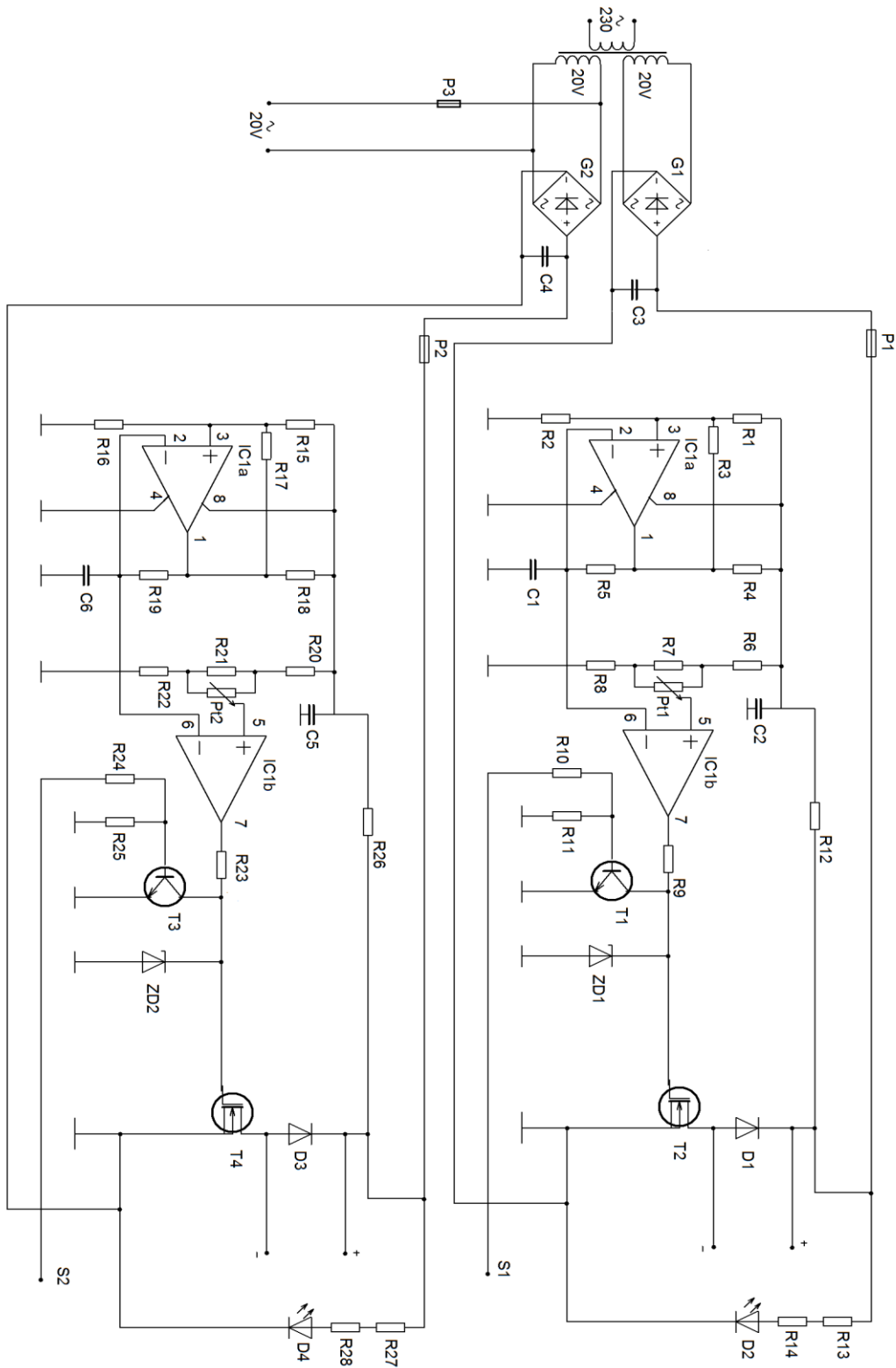
2 Konstrukce zdroje

Zdroj je zapojen podle obr.č.20. Protože účel použití zdroje nevyžaduje striktně přesné výstupní parametry, volil jsem všechny zatěžovací parametry níže uvedených komponent s dostatečnou rezervou. Tím odpadají nutné výpočty parametrů dílčích komponent.

2.1 Výběr vhodných komponent

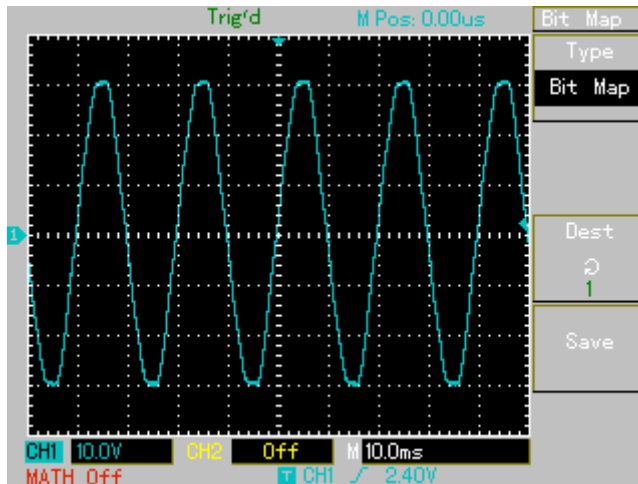
Zakoupil jsem transformátor od firmy BV elektronik s.r.o. typ EI-05581 07/47, jehož primární vinutí je dimenzováno na $U = 230 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$. Transformátor má dvě samostatná sekundární vinutí, které mají stejné parametry $U_{\text{výstup}} = 20 \text{ V}$ a maximální zatěžovací proud je $2,5 \text{ A}$. Zvolil jsem můstkový usměrňovač WW+ 8A 1000 V. Jako filtr jsem zakoupil kondenzátor $100 \mu\text{F}/50 \text{ V}$. Modul pulsní šířkové regulace je realizován stavebnicí od firmy Tipa: PWM výkonový regulátor (8-24) V schopný dodávat zatěžovací proud až 15 A .

2.2 Schéma zapojení zdroje



obr.č.24 schéma zapojení zdroje

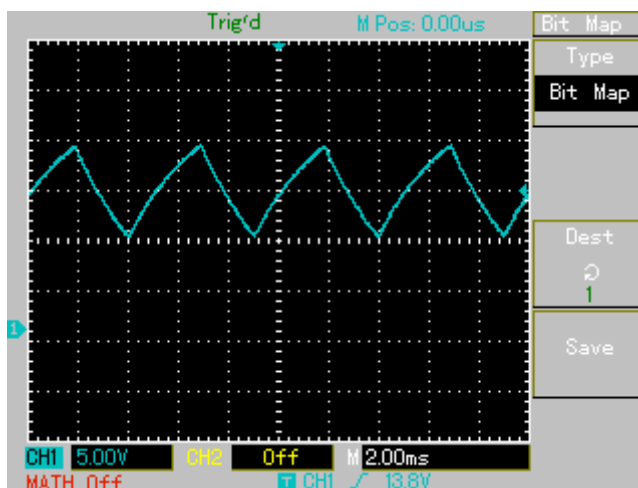
Transformátor mění napětí ze 230 V na 2x20 V s maximálním proudovým zatížením 2x2,5 A. Z transformátoru vychází sinusový signál viz obr.č.20



obr.č.20 Výstup z transformátoru

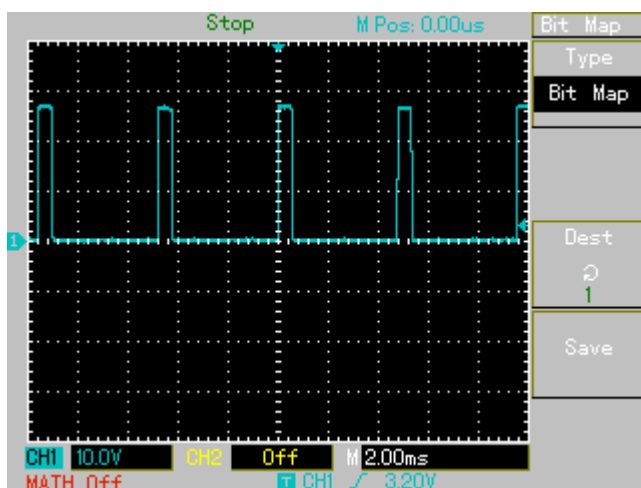
s amplitudou 21,86 V do usměrňovače. Z usměrňovače protéká signál přes paralelně zapojený filtrační kondenzátor do pulzní regulace.

Operační zesilovač IC1a je zapojen jako komparátor s hysterezí a spolu s odporem R5 a kondenzátorem C1 tvoří astabilní klopný obvod. Na kondenzátoru C1 je napětí přibližně trojúhelníkového tvaru s rozkmitem přibližně od 1/3 do 2/3 napájecího napětí viz obr.č.21

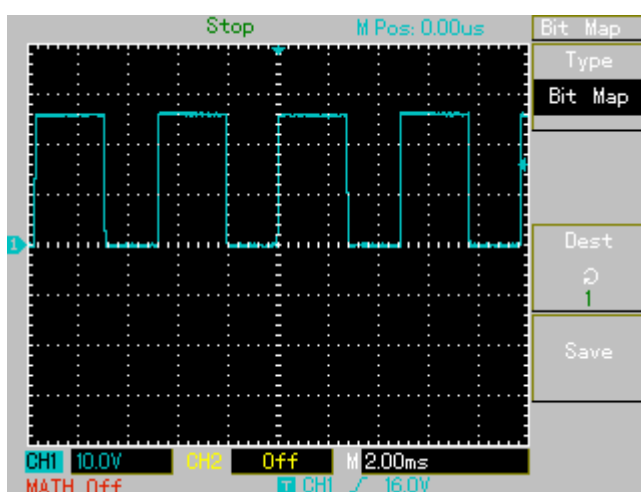


obr.č.21 Změřený průběh napětí na kondenzátoru C1

Toto napětí se pak porovnává druhým komparátorem IC1b s napětím na běžci potenciometru P1. Otáčením potenciometru se tak mění úroveň napětí pro překlápění komparátoru. Výstup IC1 na kterém jsou pravoúhlé impulsy s proměnným poměrem impuls mezer 0 až 100 %, je veden přes ochranný odpor na řídicí elektrodu T2 viz obr.č.22,23.



obr.č.22 Řídicí signál na T2 s mezerou přibližně 20%



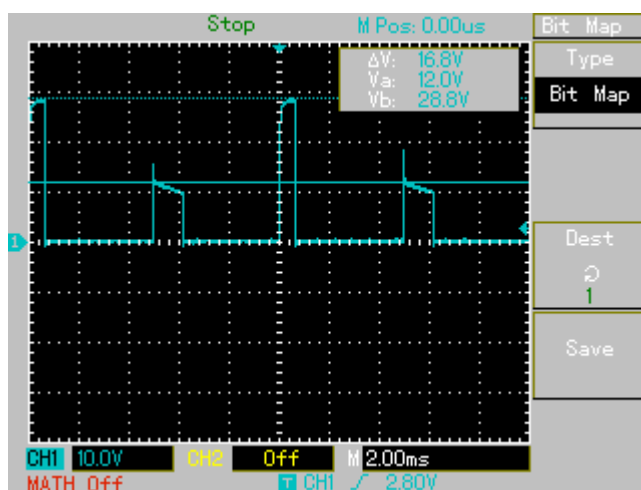
obr.č.23 Řídicí signál na T2 s mezerou přibližně 70%

ZD1 je zde na ochranu řídicí elektrody T2 při napájecím napětí 24 V. Vývod S slouží jako vypínač PWM regulátoru. Když na něj přivedeme kladné napětí, sepne se tranzistor T1 do propustného směru a zkratuje řídicí pulzy, které ovládají T2. Z tohoto principu činnosti plyne že pro správnou činnost regulace není vývod S potřeba (tranzistor T1), proto jsem ho do první tegulace nezapojil. R12 spolu s C2 tvoří filtrační

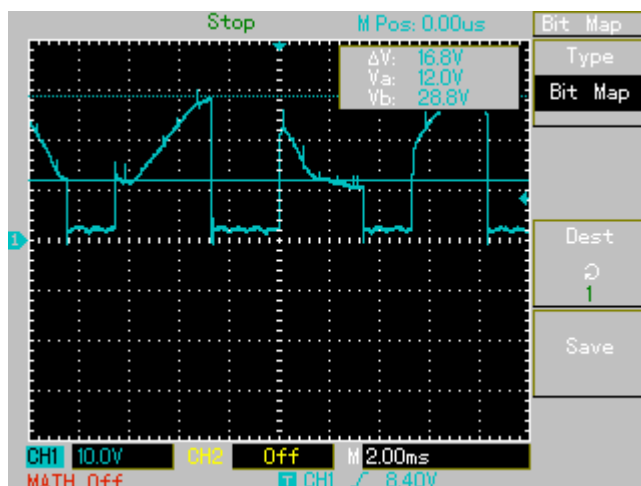
člen napájecího napětí proti rušivým vlivům vznikajících hlavně při větších proudech zátěží při použití jednoho napájecího napětí. T2 je na chladiči a s DSP je propojen dostatečně dimenzovanými vodiči. Uvedený regulátor je schopen pracovat s napájecím napětím cca 8 V- 24 V. Pro řízení zátěže s odběrem do 2 A není potřeba použít žádný chladič na T2 [18].

2.3 Časový průběh výstupního napětí

Časový průběh výstupního napětí byl změřen pro různé zátěže. Na obr.č.28 je ke zdroji připojena žárovka 12 V 5 W zapojená v sérii se stejnosměrným motůrkem na 4,5 V.



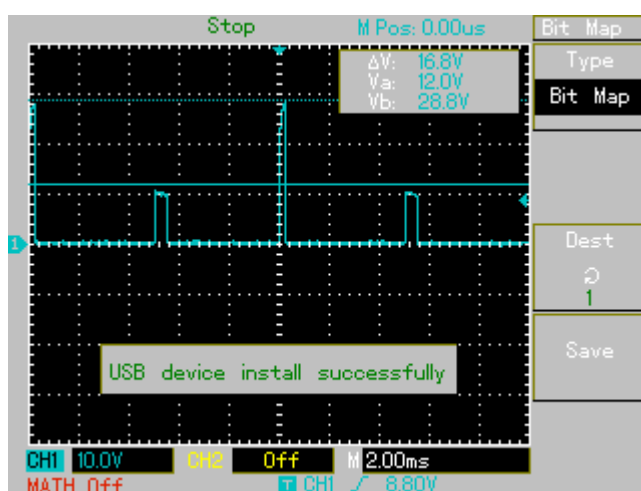
obr.č.28 Zátěž motor + žárovka $U_{ef} = 7,7V$ (38,5)%



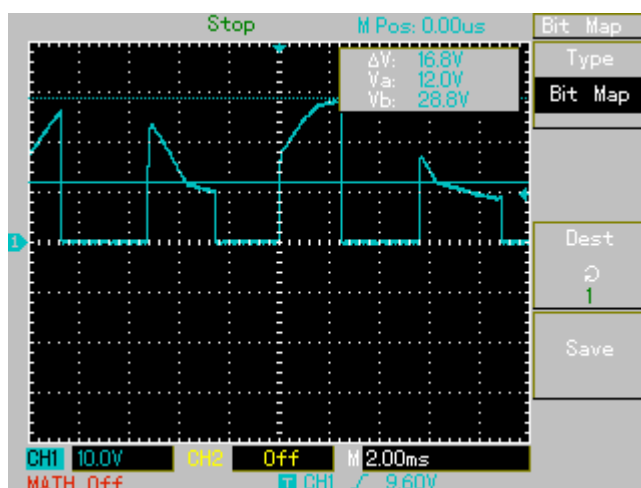
obr.č.29 Zátěž motor + žárovka $U_{ef} = 15,44V$ (77,2)%

Silně zvlněná charakteristika má dva důvody. Napětí z usměrňovače není stabilizované žádným stabilizátrem pouze filtračním kondenzátorem. Na rušivém signálu se také velikou měrou podílí indukční zátěž (motor), avšak pro naše použití v modelové železnici tento výstup plně vyhovuje. Díky setrvačnosti motorů, se zvlněná charakteristika neprojevuje.

Dále byl proměřen samostatný ohmický odpor (žárovka) viz obr.č.29,30. Je zde patrné dosažení menších rozdílů ve výchozí charakteristice. Po odpojení indukční zátěže už nejsou zřetelné vlivy rušení vlivem indukce. V obr.č 30 jsou vidět vyhlazené nabíjecí a vybíjecí hrany kondenzátoru.



obr.č.29 Zátěž 12 V žárovka $U_{ef} = 3,53 \text{ V } 17,65 \% U_{R1max}$



obr.č.30 Zátěž 12 V žárovka $U_{ef} = 13,3 \text{ V } 66,5 \% U_{R1max}$

2.4 Technické údaje

- napájecí napětí: 230V, 50Hz AC
- výstupní napětí 1: (0-20)V DC
- výstupní napětí 2: (0-20)V DC
- výstupní napětí 3: 20V AC
- výstupní proud 1: max. 2A DC
- výstupní proud 2: max. 2A DC
- výstupní proud 3: max. 1A AC

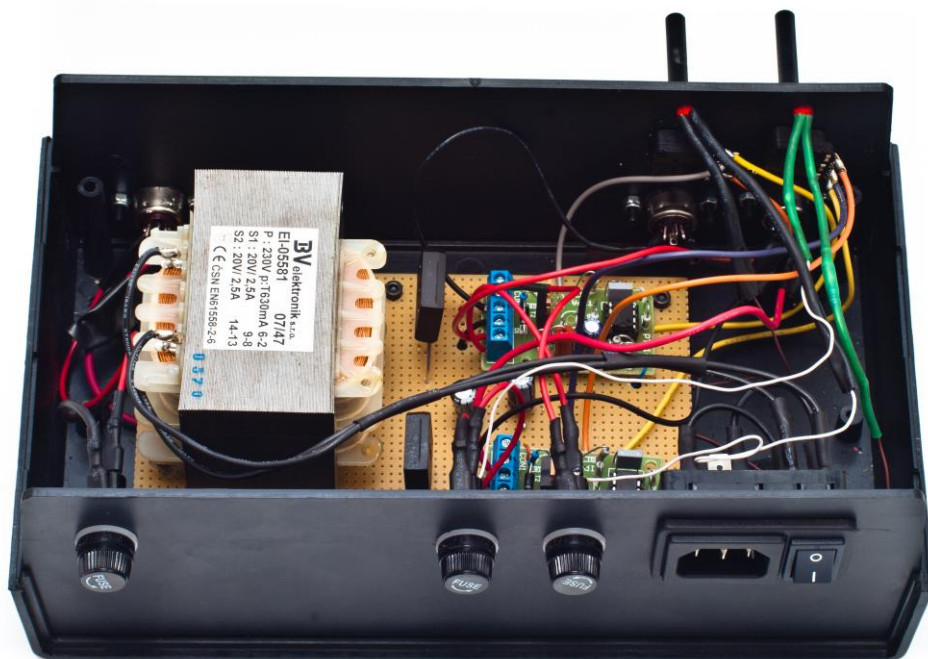
Zdroj je zabudován do plastové krabičky. Pro ukázkou jsou zde uvedeny tři fotografie kompletního zdroje.



obr.č.25 Přední strana zdroje.



obr.č.26 Zádňní strana zdroje.



obr.č.27 Vnitřní zapojení zdroje

3 Závěr

V teoretické části jsem se snažil vysvětlit základní principy zdroje. Vysvětlil jsem princip činnosti transformátoru, usměrňovače a jednoduchého stabilizátoru. Shrnujím výhody a nevýhody lineární regulace a pulsní regulace.

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a postavit funkční zdroj napětí pro modelovou železnici. Při návrhu zdroje jsem bral v potaz, že zdroj je určen jenom pro modelovou železnici tj. pro napájení stejnosměrných motůrků a k osvětlení železnice střídavým proudem. Proto nebylo nutné přesně propočítávat použité součástky zdroje. Jedná se o velice jednoduchý zdroj napětí s pulsní regulací, který se skládá pouze z transformátoru, dvou usměrňovačů, dvou kondenzátorů a dvou PWM regulátorů. Z PWM regulátorů vychází nepravidelný obdélkový signál viz obr.č.28-31. To je dáno skutečností, že jsem nepoužil žádný stabilizátor, který by výstup zdroje stabilizoval a vyhladil. Pro stejnosměrné motůrky tento výstup dostačuje. Činnost zdroje indikují červené led diody. Zdroj je umístěn v plastové krabici. Proti přetížení jsou obvody zdroje chráněny tavnými pojistkami. Protože účel použití zdroje nevyžaduje striktně přesné výstupní parametry, volil jsem všechny zatěžovací parametry jednotlivých komponent s dostatečnou rezervou. Tím odpadají nutné výpočty jejich parametrů.

Dalším cílem bylo změření parametrů hotového zdroje. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce číslo 6. Byl změřen časový průběh výstupního napětí na různých zátěžích (viz kapitola 4). Účinnost transformátoru, a jeho proud nakrátko nebyly určeny z důvodu nedostatečného vybavení. Napětí naprázdno na prvním sekundárním vinutí transformátoru je 21,96 V a na druhém 21,54 V.

Výstupní napětí U_{R1}	(0-20)V DC
Výstupní napětí U_{R2}	(0-20)V DC
Výstupní napětí U_3	20V AC
Výstupní proud I_{R1max}	2,5A
Výstupní proud I_{R2max}	2,5A
Výstupní proud I_{3max}	1A

tabulka č. 6 Výstupní parametry zdroje

4 Seznam použité literatury

- [1] Alexandr Krejčířík: Napájecí Zdroje I. - BEN technická literatura
- [2] Alexandr Krejčířík: Napájecí Zdroje II. - BEN technická literatura
- [3] Cetl, T.,Hrzina, P.,Papež, V.:Příklady konstrukčních řešení elektronických obvodů, Praha, ČVUT,2006
- [4] Ing. Jiří Hammerbauer: Elektronické napájecí zdroje a akumulátory.-Západočeská univerzita,1998
- [5]Alexander Krejčířík: Lineární napájecí zdroje - BEN technická literatura
- [6] <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/usmernovace.htm>
- [7] D.Halliday,R. Resnick,J. Walker: Vysokoškolská učebnice fyziky
- [8] <http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008082701>
- [9] <http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt036.htm>
- [10] <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=51>
- [11] Zaplatílek, K., Elektronické obvody, teorie obvodů
- [12] Hájek, Jan, Časovač 555, praktická zapojení – BEN technická literatura
- [13]<http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/lithium-polymerovy-akumulator-li-pol.htm>
- [14] <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/12/091230024401.htm>
- [15] <http://www.hybrid.cz/tagy/lithium-vzduchove-baterie>
- [16] <http://www.elektrochemie.zcu.cz/vyuka.php>
- [17] Šolc F., Žalud L.: *Robotika*. VUT Brno 2002
- [18] Popis zapojení PWM regulátoru od firmy TIP A

5 Seznam příloh

Příloha 1: Seznam součástí 43

Příloha 1: Seznam součástek

R1,2,3,5,11,15,16,19,25	100 k Ω
R4,18	10 k Ω
R6,20	8k2 Ω
R7,21	22 k Ω
R8,22	12 k Ω
R9,23,13,27	1 k Ω
R10,24	10 k Ω
R12,26	33 Ω
R14,28	600 Ω
2xC1	33n/25V
2xC2	100 μ /35V
D1,3	1N4007
ZD1,2	18V
T1,3	univ. NPN
T2,4	IRFZ44
2xIO	LM358
2xP1	Potenciometr 250 k Ω
2xDIL8	Patice
2xAK500/2	Svorky

2xAK500/3	Svorky
2xDPS PT016	Plošný spoj
3xPojistka	5A/250V
D2,4	Červená leddioda
G1,2	Usměrňující můstek 8A/1000V
3xzásuvka DIN 5	Konektor
3xvidlice DIN 5	Konektor
Krabice	148x90x250
Univerzální pole Cu	160x100
12xŠroub imbus	M3x12
12xMatice	M3
IEC konektor vidlice + vypínač	

Transformátor EI	
Primární vinutí	230V p:T630mA
Sekundární vinutí 1	20V/2,5A
Sekundární vinutí 2	20V/2,5A