

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

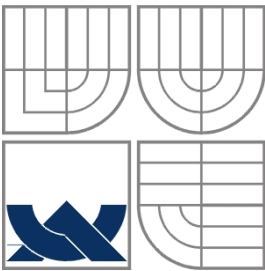
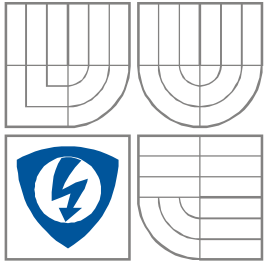
ZÁLOŽNÍ ZDROJ (UPS)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL JUNEK

BRNO 2009

	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
	FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ZÁLOŽNÍ ZDROJ (UPS)

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Junek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Michal Junek
Ročník: 3

ID: 80553
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Záložní zdroj (UPS)

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte jednoduchý měnič pro náhradní zdroj, který by sloužil jako záloha ke krátkodobému napájení počítače. Předpokládaný maximální výstupní výkon je 200 VA, výstupní napětí 230 V, 50 Hz. Zdrojem energie má být olověný akumulátor 12 V. Měnič realizujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] <http://www.circuitsToday.com/100-watt-inverter-circuit>
- [2] www.mgeups.com/techinfo/techpap/articles/0248-e.pdf

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

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.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Junek
Bytem: Petrovice 78, Lanškroun, 563 01
Narozen/a (datum a místo): 5. února 1984 v Ústí nad Orlicí

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací
technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Záložní zdroj (UPS)

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

Ústav: Ústav biomedicínského inženýrství

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 5. června 2009

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na problematiku kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie z rozvodné sítě. Jsou zde popsána možná řešení, která dokáží omezit, případně zcela odstranit jevy související s nekvalitní dodávkou elektrické energie. Práce je namířena převážně na systémy nepřerušovaného napájení (UPS), které jsou pro tuto problematiku hojně využívány. Tyto systémy jsou zde popsány hlavně z hlediska normalizace, topologie, výběru a z hlediska omezení jednotlivých rušivých faktorů. Dále se tato práce zaměřuje na problematiku návrhu měniče napětí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Náhradní zdroje, měnič, akumulátor, topologie UPS

ABSTRACT

This thesis is intent on quality and safety of electrical energy supply from distribution network. There are describe solutions to reduce or to remove the low quality phenomena of electrical energy supply. The thesis is mainly intent on uninterruptible power systems (UPS) as frequently using systems. There are desciribe systems normalization, topology, choosing and limiting disturbing factors. This thesis is intent on designing AC inverter.

KEYWORDS

Uninterruptible power supply, inverter, accumulator, UPS topology

JUNEK, M. Záložní zdroj (UPS). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2009. 36 s., 18 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Záložní zdroj (UPS) jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce 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 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Obsah:

i. Seznam obrázků	7
ii. Seznam tabulek	7
1. Úvod	8
1.1. Dodávka elektrické energie	8
1.2. Kvalita a spolehlivost dodávky elektrické energie	8
2. Záložní zdroje energie	9
2.1. UPS - zdroje nepřerušovaného napájení (<i>Uninterruptible Power Systems</i>)	9
2.1.1. Vývoj a normalizace UPS systémů	9
2.1.2. Dělení UPS systémů	11
2.1.2.1. Pasivní záloha (VFD)	12
2.1.2.2. Interaktivní vedení (VI)	13
2.1.2.3. Dvojitá přeměna (VFI)	14
2.1.3. Omezení sítěového rušení	15
2.1.4. Výběr vhodného UPS	16
2.1.5. Zdroje energie pro UPS	18
2.2. Další způsoby zálohování energie	20
2.2.1. Zdvojený přívod z napájecí sítě	20
2.2.2. Generátorová soustrojí	20
2.2.3. Akumulátorové baterie	21
3. Návrh měniče pro UPS	22
3.1. Princip navrhnutého měniče	22
3.2. Funkce jednotlivých částí měniče	24
3.2.1. Řídící obvod	24
3.2.2. Úprava řídicího signálu	24
3.2.3. Výkonová část	24
3.2.4. Ochranné prvky	25
3.3. Volba prvků výkonové části měniče	25
3.4. Ztráty výkonové části obvodu	26
4.5. Soupis použitých součástek	27
4. Zkušební zapojení	28
4.1. Zapojení řídicí části obvodu	28
4.2. Zapojení výkonové části obvodu	30
5. Závěr	33
Použitá literatura	35
Použitá literatura	35
Seznam příloh	36

i. Seznam obrázků

- Obr. 1. Schéma principu činnosti tzv. on-line UPS
- Obr. 2. Schéma principu činnosti tzv. off-line UPS
- Obr. 3. Schéma principu činnosti pasivně zálohovaného UPS
- Obr. 4. Schéma principu činnosti interaktivního UPS
- Obr. 5. Schéma principu činnosti UPS s dvojí konverzí
- Obr. 6. Schéma měniče napětí 12V/230V 200VA
- Obr. 7. vstupní a výstupní průběhy signálů CD4001
- Obr. 8. Zkušební zapojení řídicí části obvodu měniče
- Obr. 9. Výstupní řídicí signály Q a Q/
- Obr. 10. Výstupní řídicí signál Q a signál oscilátoru OSC
- Obr. 11. Upravené řídicí signály z výstupů J a K hradel NOR
- Obr. 12. Průběh signálů spínacích tranzistorů na elektrodě S
- Obr. 13. Zkušební zapojení výkonové části obvodu měniče
- Obr. 14. Průběh napětí na výstupních svorkách transformátoru
- Obr. 15. Průběh napětí na zátěži
- Obr. 16. Zapojení experimentálního obvodu měniče

ii. Seznam tabulek

- Tabulka č.1 - měrné ztráty záložních zdrojů energie
- Tabulka č.2 - Srovnání vybraných parametrů jednotlivých typů baterií

1. Úvod

V současné době je většina zařízení, která jsou využívána naší poměrně vyspělou společností, závislá na dodávce energie. Tato závislost je natolik vysoká, že bez zásobování energií by naše společnost nemohla prakticky existovat. Z hlediska spotřebitele se jedná především o energii elektrickou.

1.1. Dodávka elektrické energie

Charakteristiky elektrické energie dodávané veřejnou rozvodnou sítí specifikuje norma ČSN EN 50160 (33 0122):2000.

Tato norma stanovuje obecně platná pravidla pro kvalitu dodávané energie, avšak v jistých případech může dojít k situaci, že tato pravidla splněna nejsou. Jako příklad lze použít situaci při které dojde ke kolísání napětí, zde norma stanovuje toleranci $U_N \pm 10\%$ pro 95% průměrných efektivních hodnot určených z měřících intervalů 10 minut v průběhu každého týdne, a každá z těchto efektivních hodnot z měřících intervalů musí být v rozsahu $U_N +10\% / -15\%$. Navíc v případech napájení ve vzdálených oblastech s dlouhými vedeními může být napětí i mimo tento rozsah. Je tedy zřejmé, že norma připouští i neurčitý počet stavů, které mohou být mimo tuto toleranci.

1.2. Kvalita a spolehlivost dodávky elektrické energie

Dodavatel elektrické energie by měl odběrateli zaručit kvalitní a spolehlivou dodávku elektrické energie. Kvalita dodávky elektrické energie z rozvodné sítě má totiž velký vliv na správnou funkčnost elektronických zařízení a její zhoršení tak může mít vážné důsledky. Pro zařízení informační techniky, která jsou v dnešní době využívána snad ve všech oblastech lidského působení, je nekvalitní a nespolehlivá dodávka elektrické energie zcela nepřijatelná. Nejen že může dojít k znehodnocení práce ztrátou dat, ale v horším případě, např. při přepětí sítě, může dojít i ke zničení obvodových částí počítače. V nemocnicích je riziko ohrožení života pacientů závislých na podpůrných přístrojích. V průmyslu hrozí výpadky technologických linek, při kterých může dojít ke zničení drahého materiálu, v případně složitějších technologiích k dlouhodobému oživování procesu. Nekvalitní dodávka elektrické energie tak může způsobit nemalé škody, případně i újmy na zdraví. Vzhledem k tomu, že může nastat i stav, kdy se parametry sítě mohou dostat mimo stanovené meze, tak hrozí riziko vzniku výše uvedených nepříjemných situací. Z toho důvodu je nutné dále zvyšovat kvalitu a spolehlivost dodávky elektrické energie z rozvodné sítě pomocí záložních zdrojů energie.

2. Záložní zdroje energie

Hlavním úkolem záložních zdrojů energie je zálohování rozvodné sítě. Schopnosti záložních zdrojů energie a odolnost proti různým typům rušení závisí na typu a topologii zapojení.

2.1. UPS - zdroje nepřerušovaného napájení (*Uninterruptible Power Systems*)

Tyto zdroje zajišťují pro vybrané spotřebiče nepřetržitou dodávku elektrické energie. Ve své základní variantě dokáží v případě jakékoli poruchy rozvodné sítě překlenout krátkodobý výpadek elektrické energie a u dlouhodobého výpadku zajišťují napájení po dobu nezbytnou k přechodu na záložní zdroj energie, případně poskytují čas potřebný pro bezpečné odpojení zálohovaného zařízení.

Principiálně se každý systém UPS skládá ze čtyř hlavních částí:

- **baterie** - zásobník energie sloužící pro zálohování napájecí sítě (používají se gelové plynotěsné bezúdržbové baterie s životností tří až deseti let)
- **střídač** - měnič pro přeměnu stejnosměrného napětí z baterie, popř. usměrňovače, na napětí střídavé dodávané zátěži
- **usměrňovač / nabíječ** - měnič sloužící k usměrňování střídavého napětí sítě na stejnosměrné napětí pro napájení střídače a v případě potřeby k dobíjení baterií
- **řízení** - řídicí logika včetně komunikačního rozhraní

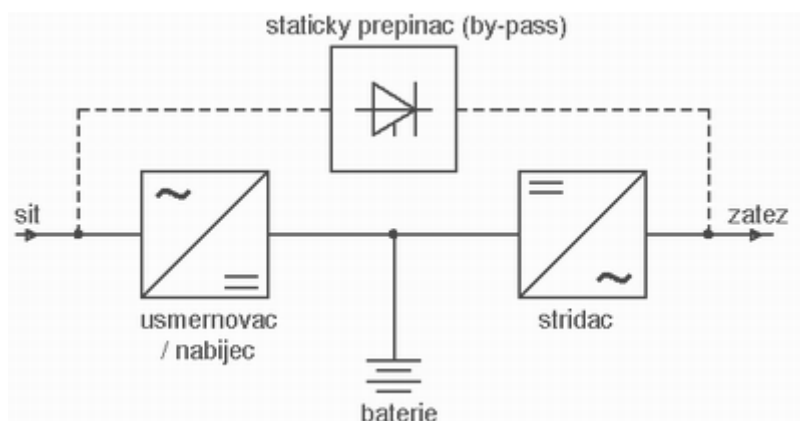
Při výpadku síťového napětí (vstup UPS bez napájení) zátěž začne přes střídač odebírat energii z baterií. Zálohované zařízení je tedy i nadále pod napětím. Napájení z baterií trvá tak dlouho, dokud není obnoveno napájení sítě, nebo do té doby, než dojde k vyčerpání kapacity baterií. Nastane-li jiná porucha (např. přepětí v síti), tak většina současných UPS dovede tento poruchový stav zvládnout a špičky napětí odfiltruje.

Nedílnou součástí většiny systémů UPS je obtok (tzv. by-pass). Po dobu poruchy UPS případně jejího krátkodobého přetížení, automaticky přemostí silové obvody systému a zátěž je napájena přímo ze sítě. Některé UPS středních a velkých výkonů (5 kVA výše), bývají dále vybaveny i tzv. manuálním (údržbovým) obtokem pro případ odstávky a údržby. Jeho funkce je stejná jako u automatického obtoku, avšak realizuje se manuálně.

2.1.1. Vývoj a normalizace UPS systémů

UPS systémy se začaly využívat z důvodu potřeby nepřetržitého a kvalitního napájení velkých počítačů. Postupem času, s nástupem mini a mikropočítačů, telekomunikační techniky a průmyslových procesů, bylo nutné tyto systémy přizpůsobit potřebám rychle se vyvíjejícího trhu. V systémech docházelo k uplatňování technických novinek a k rozšiřování výkonů až do současné podoby, kdy jsou na trhu běžně k dispozici jednofázové UPS systémy s jmenovitými výkony od 200 VA do 50 kVA a třífázové od 10 kVA po 4000 kVA.

- **UPS on-line** bylo označení pro první systémy UPS, které se na trhu začaly objevovat v sedmdesátých letech minulého století. Architektura systému UPS on-line je znázorněna na obrázku č.1.

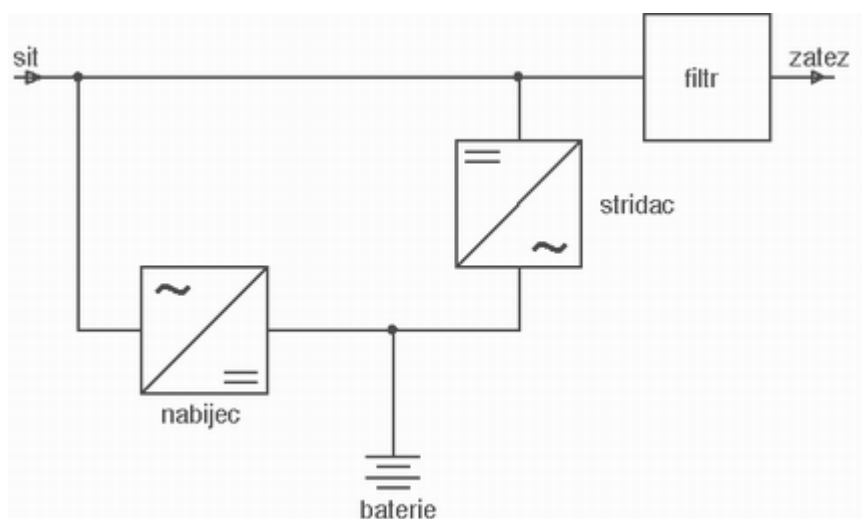


Obr. 1. Schéma principu činnosti tzv. on-line UPS [1]

Usměrňovač na vstupu odebírá a usměrňuje síťové napětí pro dobíjení baterie a pro napájení střídače. Ten dodává elektrický proud ve stálé kvalitě (frekvence, napětí s minimálními odchylkami). Akumulátory zabezpečují nezávislý provoz v případě výpadku sítě. Zapojení dále obsahuje obtok, tzv. „statický by-pass“, kterým lze bez přerušení přenést zatížení na síť.

Označení „on-line“, však doslova znamená „na síti“, což není pro tuto architekturu výstižné. Zátěž je totiž napájena ze střídače, nikoliv přímo ze sítě. Tento název se však poměrně rychle vžil. Týkalo se to hlavně zdrojů UPS s vysokým výkonem (10 kVA).

- **UPS off-line** jsou systémy, které se na trhu objevili v osmdesátých letech minulého století. Vyznačují se odlišnou architekturou oproti UPS on-line. Architekturu UPS off-line znázorňuje obrázek č.2.



Obr. 2. Schéma principu činnosti tzv. off-line UPS [1]

Střídač není připojen k síti sériově, nýbrž paralelně jako pasivní záloha. Nepracuje stále, ale pouze tehdy, když parametry sítě jsou mimo tolerance. Zapojení doplňují filtry, jejichž funkce není jasně definována a jsou mylně chápány jako regulátory napětí. Tato architektura nemá statický by-pass, důsledkem čehož jsou přepínací časy pro některé aplikace příliš dlouhé.

I v tomto případě označení „off-line“ („nenapájené ze sítě“), nevystihuje skutečnou situaci této architektury. Zátěž je totiž napájena přímo ze sítě, zatímco střídač pracuje jen v případech poruchy napájení sítě. Název se však opět v průběhu používání vžil. Typickým příkladem jsou UPS s nižším výkonem (2 kVA).

- **UPS line interactive** se objevili v devadesátých letech minulého století a vyznačovali se zabudovanými reverzačními střídači.

Existence množství různých variant architektur způsobovala dvojmyslnost a dokonce i podvody, což mělo za následek poškození zájmů uživatelů. Například některé UPS byly nazvány „in-line“ a v některých případech byl použit výraz „on-line“ velmi zavádějícím způsobem. Jasná pravidla nastolila až nová norma charakterizující systémy nepřetržitého napájení UPS s označením ENV 50091-3 respektive IEC 62040-3.

2.1.2. Dělení UPS systémů

Na základě nové normy EN 50091-3 charakterizující UPS systémy rozlišujeme tři třídy UPS. Rozdělení vyjadřuje vztah UPS vzhledem k napájené síti, tedy závislosti výstupního napětí a výstupní frekvence na parametrech vstupu:

- **VFD** (*voltage frequency dependent*) - výstupní napětí a frekvence závislé na dodávce hlavního napáječe
- **VI** (*voltage independent*) - výstupní napětí nezávislé na dodávce hlavního napáječe
- **VFI** (*voltage frequency dependent*) - výstupní napětí a frekvence nezávislé na dodávce hlavního napáječe

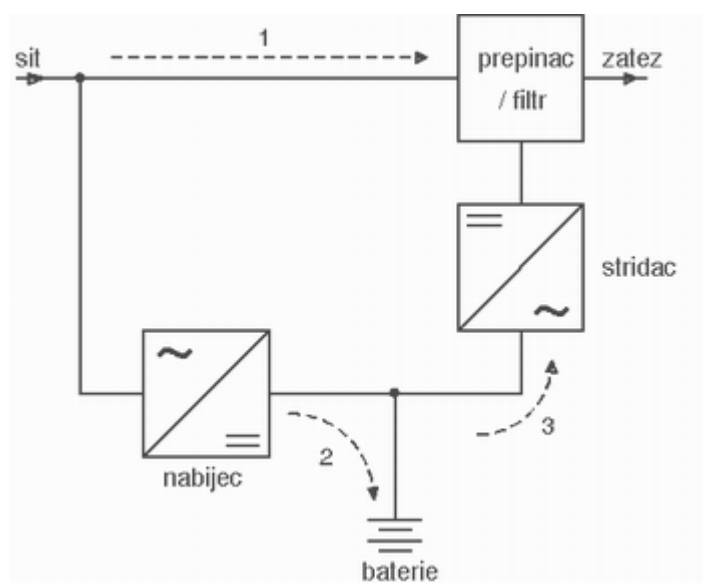
V praxi je však více využíváno rozdělení podle vnitřní struktury které souvisí s tímto rozdělením:

- **pasivní záloha** (*passive standby*)
- **interaktivní vedení** (*line interactive*)
- **dvojitá konverze** (*double conversion*)

2.1.2.1. Pasivní záloha (VFD)

Tato architektura UPS obsahuje paralelně připojený střídač zálohující síť, odtud název pasivní záloha. Je to obdoba konfigurace off-line. Vyznačuje se dvěma pracovními režimy:

- Při normálním (síťovém) režimu je zátěž trvale napájena přes přepínač z napájecí sítě (1), případně přes filtr odstraňující určité poruchy, popřípadě může zajišťovat i regulaci napětí. Filtr není normou blíže specifikován. V tomto režimu je v případě potřeby dodáván přes usměrňovač proud k dobíjení baterie (2).
- Je-li napětí z napájecí sítě mimo specifikované tolerance nebo při výpadku napájení, přechází systém do režimu uskladněné energie. Pomocí spínače s krátkou dobou dochází k přepnutí a energie je zátěži dodávána přes střídač z baterie (3).



Obr. 3. Schéma principu činnosti pasivně zálohovaného UPS [1]

Nevýhody:

- doba přepnutí, je sice krátká avšak není nulová.
- chybí izolace zátěže od rušení v napájecí síti
- postrádá jakoukoli regulaci napětí a frekvence, ta závisí na frekvenci sítě

Výhody:

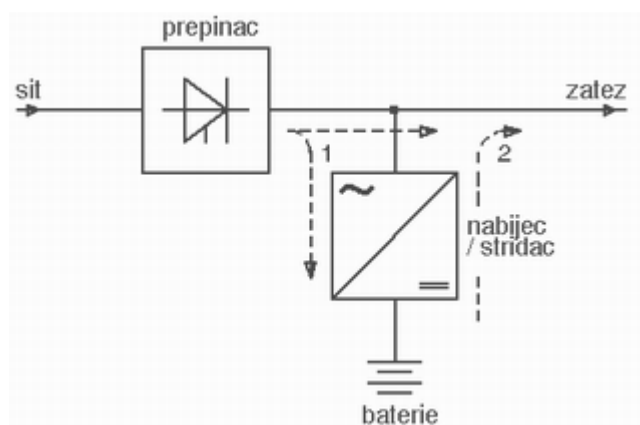
- jednoduchost zapojení
- malé rozměry
- nízká cena

S přihlédnutím k nedostatkům se tento typ UPS lze použít pouze pro nižší výkony (<2kV.A) a u aplikací, které jsou bez obtíží schopny překlenout výpadek napětí v trvání jednotek milisekund. Tato architektura tvoří kompromis mezi přijatelnou úrovní ochrany před vlivem poruch a vynaloženými náklady.

2.1.2.2. Interaktivní vedení (VI)

Tato architektura UPS obsahuje oboustranný měnič, ten díky reverznímu provozu pracuje v interakci se sítí. Vyznačuje se třemi pracovními režimy:

- V normálním (síťovém) režimu (1) je zátěž trvale napájena z napájecí sítě přes síťovým přizpůsobovací člen, což může být např. transformátor s automatickým přepojováním odboček. Tím se zajistí rozšíření tolerančních mezí síťového napětí a tedy i úspory kapacity baterie. Paralelně zapojený měnič slouží v případě potřeby jakou usměrňovač k nabíjení baterie nebo v jistých typech (např. Delta UPS) jako střídač k úpravě výstupního napětí. Výstupní frekvence je stejná jako frekvence napájecí sítě.
- K přechodu na režim uskladněné energie (2) dojde automaticky, když se napájení sítě dostane mimo specifikované parametry nebo v případě výpadku sítě. V tomto pracovním režimu je zátěži dodávána energie z baterie přes měnič v režimu střídače.
- Za předpokladu, že je síťové napájení v tolerovaných mezích, lze využít obtokový režim (3), takzvaný servisní by-pass. Při němž dochází k přímému napájení zátěže ze síťového napájení. Tento režim je využíván v případě poruchy UPS nebo při údržbě.



Obr. 4. Schéma principu činnosti interaktivního UPS [1]

Nevýhody:

- nemožnost regulace výstupní frekvence, ta je závislá na frekvenci sítě
- ochrana proti přepětí je slabá
- chybí skutečná izolace od rozvodné sítě
- stupeň úpravy výstupního napětí je omezen, neboť se jedná o paralelní zapojení
- nízká účinnost při napájení nelineárních zátěží

Výhody:

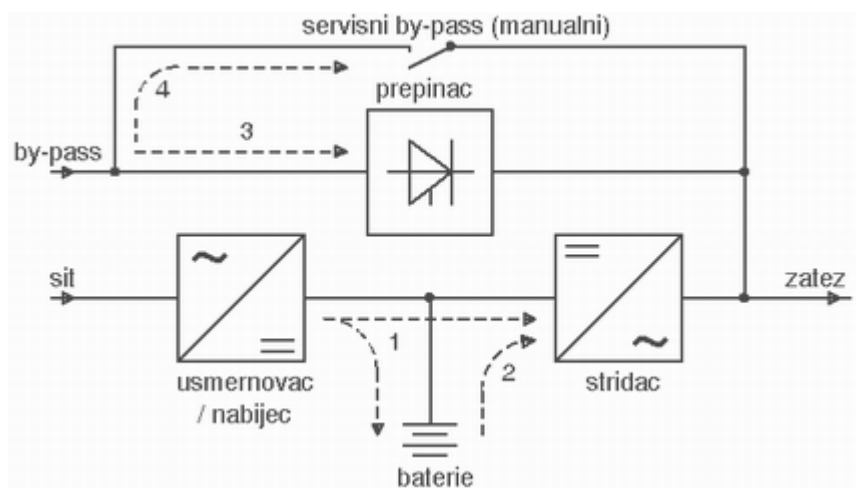
- nižší cena oproti zapojení dvojité konverze

Tato architektura je z důvodu nemožnosti regulace frekvence nevhodná pro citlivé zátěže se středním a vysokým výkonem.

2.1.2.3. Dvojitá přeměna (VFI)

Výkon do zátěže je trvale dodáván přes sériově vložený střídač. Obdobu konfigurace on-line. Vyznačuje se třemi pracovními režimy:

- V normálním (síťovém) režimu (1), kdy je síťové napájení v daných tolerančních mezích, dodávána energie ze sítě do stejnosměrného meziobvodu. Ten se skládá z kombinace usměrňovače a střídače tvořících dvojitou konverzi ze střídavého na stejnosměrný a zpět na střídavý proud. Přes usměrňovač je dále v případě potřeby dobíjen akumulátor.
- Do režimu uskladněné energie (2) dochází pokud parametry síťového napájení jsou mimo stanovené tolerance. Usměrňovač je mimo provoz a energie je dodávána zátěži přes střídač z baterie. Toto zapojení zaručuje nulovou dobu přechodu.
- Obtokový režim (3) – statický by-pass slouží k připojení zátěže přímo k napájecí síti v případě vzniku poruchy UPS, přetížení nebo při vybití baterie. Pro servisní účely bývá obvod vybaven obtokem pro zabezpečení údržby (servisní by-pass), který je ovládán ručním spínačem (4).



Obr. 5. Schéma principu činnosti UPS s dvojitou konverzí [1]

Výhody:

- nulová doba přechodu mezi zdroji energie,
- velmi dobrá izolace od napájecí sítě (eliminace přepětí a napětových špiček),
- přesná regulace napětí (široká tolerance vstupního napětí),
- dobrá regulace frekvence, mimo obtokového režimu,
- nepřerušovaný přechod do obtokového režimu

Nevýhody:

- vyšší cena,
- nižší účinnost oproti předešlým typům

Díky svým výhodám je tento systém vhodný pro napájení náročnějších spotřebičů s vysokými požadavky na kvalitu napájecího napětí. Nyní je takto řešena velká část zálohovacích zdrojů zejména středních a vyšších výkonů (do 10kVA).

2.1.3. Omezení síťového rušení

Systémy UPS pomáhají chránit a zálohovat vybraná zařízení nejen v případech výpadku dodávky elektrické energie z rozvodné sítě, ale i proti následujícím druhům síťových rušení, která jsou v rozvodné síti obsažena:

- **Výpadek napětí**

Stav, kdy nulové napětí na vstupu trvá déle než dva cykly. Může být způsobeno vypnutím pojistky, selháním v dodávce elektrické energie nebo poruchou v rozvodné síti. Tato anomálie může vést k poškození nebo ztrátě dat, poškození souborů nebo i k poškození hardware.

- **Krátkodobý pokles napětí**

Mezi krátkodobé poklesy napětí počítáme stavy, kdy dojde na krátkou dobu k poklesu napětí o 15 až 20% pod nominální hodnotu. Možnou příčinou je zapínání vysoce výkonných zařízení, roztáčení silných elektromotorů a spínání výkonných rozvodů (vnitřních nebo v rozvodné síti).

- **Napět'ové špičky**

Jedná se o krátkodobé překročení nominálního napětí o více než 10%. Běžnou příčinou je vypnutí vysoce výkonných elektrických zařízení. Tato anomálie může způsobovat pamět'ové výpadky u počítačových systémů, chyby v datech, blikající světla a výpadek zařízení.

- **Podpětí**

Relativně dlouhodobý stav v rozvodné síti. Jako případ, kdy dochází k podpětí v síti můžeme jmenovat období energetických špiček v zimě, kdy elektrárenské společnosti nemohou pokrýt poptávku po elektrické energii a musí snížit napětí, aby omezily maximální odběr. V případě, že k tomu dojde, můžeme na počítačích zaznamenat poškození dat nebo i jejich ztrátu a chyby v hardware.

- **Přepětí**

Relativně dlouhodobý stav v rozvodné síti. Jako příklad může naopak sloužit případ malé poptávky po elektrické energii. Přepětí může způsobovat přehřívání, možnost poškození hardware, příp. zatuhnutí počítače.

- **Napět'ové rázy**

Stav, kdy dojde k napět'ové špičce cca 20000V s dobou trvání 10 až 100 mikrosekund. Běžně jsou způsobovány přeskokem jisker při spínání a elektrostatickými výboji. Tyto změny se v elektrické rozvodné síti mohou projevit několikrát denně, když dodavatel řeší problémy v rozvodné síti. U digitální techniky se mohou následky této anomálie projevit vymazáním paměti, chybami v datech a poškozením komponent.

▪ **Indukovaný šum**

Vzniká jako radiofrekvenční interference (RFI) a elektromagnetická interference (EMI) a způsobuje nežádoucí efekty v obvodech zejména výpočetních systémů. Zdroji tohoto problému jsou elektromotory, relé, regulační systémy elektromotorů, přenosy vysílání, mikrovlnné záření a vzdálené elektromagnetické bouře. RFI, EMI a další problémy s čistým průběhem napětí mohou způsobit chyby v datech, ztrátu dat, vymazání paměti, zatuhnutí klávesnice a systému.

▪ **Kolísání frekvence**

Odchyšky od standardní frekvence 50Hz. Odchyšky mohou být způsobeny nepravidelnou činností záložních generátorů proudu nebo citlivostí zdroje elektrické energie na zátěž. Výsledkem působení na citlivá elektrická zařízení může být poškození dat, poškození pevných disků, zatuhnutí klávesnice a chyby v programech.

▪ **Harmonické zkreslení**

Harmonické zkreslení normálního sinusového průběhu napětí je obecně způsobováno nelineární zátěží v síti. Spínané zdroje, motory s regulací otáček, kopírky a faxy, jsou příklady nelineární zátěže. Harmonické zkreslení může způsobovat chyby v komunikaci, přehřívání a možnost poškození hardware.

Účinnost stupně ochrany závisí na použité topologii zvoleného systému UPS:

- **VFD třída** je používána u nejjednodušších UPS. Je schopná omezit první tři druhy rušení sítě.
- **VI třída** se používá pro zátěže vyžadující vyšší úroveň stability. Chrání proti prvním pěti druhům rušení sítě.
- **VFI třída** je využívána pro nejnáročnější zátěže vyžadující velmi vysokou kvalitu dodávané energie. Chrání zátěž proti všem devíti typům rušení sítě.

2.1.4. Výběr vhodného UPS

Při výběru UPS pro konkrétní aplikaci hrají důležitou roli následující kritéria:

- výstupní výkon UPS,
- doba zálohování,
- kvalita napájecí sítě v místě použití UPS,
- kvalita výstupního napětí UPS,
- charakter připojené zátěže,
- komunikace s UPS,
- rozšiřitelnost UPS,
- spolehlivost UPS

Kritériem při výběru bývá i cena. Ta však úzce souvisí technickými požadavky, které od systému UPS vyžadujeme. Při konečném rozhodování by cena měla hrát až poslední roli. Jedním z důvodů je fakt, že při dostatečně dlouhém výpadku energie se mohou ztráty vyšplhat až na úroveň srovnatelnou s náklady na pořízení takového zařízení.

Výstupní výkon UPS

Základním parametrem při výběru UPS je určení výstupního výkonu. Jedná se o zdánlivý výkon, který je dán součinem efektivních hodnot napětí a proudu $P=U \cdot I$, jehož jednotkou jsou voltampéry [VA]. V praxi se doporučuje volit výstupní výkon alespoň o 50 % vyšší než je velikost požadované zátěže. Jedním z důvodů je fakt, že většina zařízení není zatěžována uváděným jmenovitým výkonem. Je tedy dobré mít jistou rezervu. Dalším důvodem je např. nutnost rozšíření již stávajícího zálohovaného zařízení o novou část, což má za následek nárůst potřebného výkonu. Takový nárůst pak lze pokrýt z vytvořené rezervy. Také je vhodné přihlídnout ke skutečnosti, že ne všechna zařízení je nutné pomocí UPS zálohovat. Proto bych předem měli vytipovat a vybrat jen ta konkrétní zařízení, kterých se zálohování nezbytně týká a podle toho zvolit vhodný typ zdroje a jeho jmenovitý výkon.

Doba zálohování

Je doba chodu, při výpadku rozvodné sítě, po kterou je systém UPS napájen z vlastních baterií při jeho jmenovité zátěži. Běžně se tato doba pohybuje okolo pěti až deseti minut. Je-li požadavek na delší dobu zálohování je třeba použít přídavné baterie. Velmi výhodné je rozdělit zařízení do několika skupin podle jejich charakteru, např. na ta která je možné bezpečně odpojit ihned po výpadku sítě, na zařízení u kterých musejí být provedeny jisté kroky pro bezpečné ukončení jejich provozu, a na zařízení která je nutné napájet co možná nejdéle. Díky tomuto rozdělení můžeme jednotlivá zařízení strukturovaně odpojovat, čímž šetříme kapacitu baterií, prostor který zabírají a hlavně finanční prostředky. Baterie totiž bývají nejdražší, nejchoulostivější, nejtěžší a také ekologicky nejproblémovější částí UPS.

Kvalita napájecí sítě

V jednotlivých oblastech se může kvalita napájecí sítě značně různit. Volba konkrétního UPS systému by měla být prováděna individuálně a samozřejmě i s přihlédnutím na typ zálohovaného zařízení. V místech s kvalitním napájením a pro méně náročná zařízení, která dokáží překlenout výpadky dodávek energie po dobu 4 ms, je postačující architektura pasivní zálohy případně interakce se sítí. Oproti tomu v místech s častým kolísáním napětí a poruchami sítě a pro náročnější spotřebiče jako jsou např. IT zařízení, zdravotnická zařízení, technika pro řízení výroby, atd., je nutné použít zdroje s architekturou dvojité přeměny.

Kvalita výstupního napětí UPS

Posouzení systému z hlediska tvaru výstupního napětí. Pro náročná zařízení s nutností čistě sinusového napětí je vhodná architektura dvojité konverze. Pro méně náročná zařízení kde postačuje napájení modifikovaně sinusovým napětím se využívají zdroje s architekturou pasivní zálohy nebo interakce se sítí.

Charakter zátěže

Zátěže mohou být obecně dvojího typu. Prvním jsou zátěže lineární, u kterých nedochází k fázovému posuvu mezi proudem a napětím, mají sinusový průběh. Druhým typem jsou zátěže nelineární, u kterých průběh odebíraného proudu nemá sinusový tvar. Důležitým parametrem zátěže je její účinník. Jeho velikost bývá v rozmezí 0,5 – 1,0 a vyjadřuje poměr mezi činným a zdánlivým výkonem, $P_F=P_W/P$.

Kromě dělení zátěží na lineární a nelineární, lze provést i dělení na trojfázové nebo jednofázové.

Komunikace s UPS

Komunikace UPS může být jak vizuální (diody, LCD displeje) nebo akustická (např. při přechodu na bateriový režim), dále je většina moderních UPS vybavena rozhraním pro komunikaci s výpočetní technikou. Může tak po síti poskytovat varování o přechodu na záložní režim, informovat o zbývajícím době zálohování a případném chystaném shutdownu, který proběhne před vypršením této doby, aby byla bezpečně odpojena zálohovaná zařízení.

Rozšiřitelnost UPS

Při výběru UPS je vhodné zamýšlet se i nad možností potřeby následného rozšíření systému. Může totiž nastat situace, že zálohované zařízení rozšíříme a tím pádem dojde i k navýšení potřebného výkonu. Pro tyto účely, lze s výhodou použít tzv. modulární UPS. Jejich výhodou spočívá v tom, že jsou konstruovány na principu stavebnice jednotlivých elektronických a bateriových modulů. Uživatel si tak může sám nakonfigurovat požadovaný výkon a dobu zálohování s tím, že v případě potřeby si další moduly snadno doplní.

Spolehlivost UPS

Při koupi každý uživatel automaticky předpokládá, že jeho UPS bude spolehlivě a bez poruchy pracovat. U každého zařízení a tedy i u UPS však může dojít k poruše, protože toto zařízení se skládá z mnoha součástí s konkrétní spolehlivostí. Pokud poruchový stav nastane, je hlavním kritériem doba nutná k uvedení systému opět do normálního provozu. Při výběru je tedy vhodné volit UPS s vysokou provozní spolehlivostí. Zde lze opět s výhodou využít již zmíněné modulární UPS, jenž se vyznačují mimořádně krátkou dobou opravy v případě poruchy. Jedná se o dobu pouze několika minut nutnou k výměně vadného modulu za náhradní. Výměnu lze navíc provádět za plného provozu UPS. Modulární koncepce se využívá pouze u menších UPS, protože pro větší je z konstrukčních důvodů obtížně realizovatelná. U velkých UPS se vyšší spolehlivosti dosahuje paralelním uspořádáním zdrojů s rezervou. Soustava bývá navržena tak, aby i při výpadku jednoho z paralelních UPS bylo napájení zátěže nadále zajištěno v plném rozsahu.

2.1.5. Zdroje energie pro UPS

Energie je v UPS systémech nejčastěji uchovávána v sekundárních bateriích. Kromě nich však lze využít jako zdroj energie i další nově vyvinuté alternativní systémy. Hlavním rozdílem, mezi bateriemi a těmito systémy, je doba dodávky uchované energie. Tyto systémy, je oproti bateriím, možno využít pouze pro krátké časové intervaly jednotek až desítek sekund, pro pokrytí velmi krátkých přerušení napájení a poklesů napětí.

Akumulátorové baterie (SB)

Baterie bývá většinou zvolena výrobcem zřízení. Ten by měl uživateli sdělit typ použité baterie a její nároky na údržbu. Nejčastěji se používají gelové plynotěsné bezúdržbové

baterie s životností tři až deseti let. Tam kde není důležitá hmotnost jsou použity olověné vzhledem ke své nízké ceně.

Setrvačníky

Poskytují energii pro překlenutí období mezi výpadkem napájení ze sítě a obnovením napájení nebo spuštěním vhodného záložního zdroje, nejčastěji motorgenerátoru. Setrvačníky lze rozdělit do dvou skupin:

- **Vysokootáčkové (HSFW)**

Jsou vyrobeny ze skla nebo z uhlíkových vláken. Z důvodu omezení třecích sil rotují na magnetických ložiskách ve vakuu. Rotační rychlosti od 10000 do 100000 otáček za minutu.

- **Nízkootáčkové (LSFW)**

Z důvodu nižší rychlosti, ve srovnání s vysokorychlostními setrvačníky, vyžadují vyšší moment setrvačnosti, tím pádem i vyšší hmotnosti. Jsou vyrobeny z oceli. Pracují v částečném vakuu nebo plynu malé hustoty, aby se omezily třecí síly. Rozsah otáček je do 6000 za minutu. Používají se jako systémy kombinované s motorgenerátory. Poskytují energii po dobu 1 – 30 sekund nutnou pro překlenutí doby potřebné ke spuštění motorgenerátoru, která se pohybuje mezi 5 – 20 sekundami.

Super-kondenzátory (SC)

Jedná se o kondenzátory s extrémně vysokou kapacitou, které používají jako elektrodový materiál aktivní uhlík, aktivovaná uhlíková vlákna nebo RuO₂. V obvodech slouží jako zdroje stejnosměrného napětí a poskytují energii během krátkodobých výpadků a poklesů napětí rozvodné sítě. V kombinaci s akumulátorovými UPS snižují bateriové cykly a tím prodlužují životnost baterií.

Supravodivé magnetické systémy (SMES)

Tyto systémy uchovávají energii v magnetickém poli velké cívky se stejnosměrným proudem. Magnetické pole je tvořeno v uzavřené cívce cirkulujícím stejnosměrným proudem, jehož průchod je opakovaně otevírán a uzavírán polovodičovými spínačem. Díky vysoké indukčnosti se cívka chová jako zdroj proudu, kterým lze nabít kondenzátor jehož stejnosměrným napětím lze napájet invertor.

Komerčně jsou využívány supravodivé systémy nízké teploty chlazené tekutým héliem. Běžně jsou používány pro krátká období 0,1 – 1 sekundy a mohou dosahovat výkonů jednoho až sta MW.

Energie stlačeného vzduchu (CAES)

Je-li dostupná elektrická energie, tak je kompresorem udržován vzduchový zásobník pod tlakem. V případě výpadku je energie stlačeného vzduchu použita k pohánění vzduchových turbin elektrických generátorů. Pro záložní zdroje jsou systémy vybaveny vzduchovými nádržemi. Jsou-li systémy CAES využívány pro pokrytí špičkového zatížení, tak se často jako zásobníky stlačeného vzduchu využívají přírodní dutiny (např. doly ve skále

nebo vodonosné vrstvy). Výkon dosažitelný těmito systémy se pohybuje od desítek po stovky kVA.

Vzhledem k tomu, že UPS systémy pracují většinu doby v zálohovém režimu, tak u zdrojů energie nastává problém s měrnými ztrátami na Wh. Ty jsou u krátkodobých zdrojů energie dosti značné, viz. srovnání v tabulce č.1. Jediné super-kondenzátory mají měrné ztráty srovnatelné se sekundárními bateriemi. Další nevýhodou je fakt, že krátkodobé zdroje energie jsou stále ještě ve vývojové fázi, takže náklady na jejich pořízení jsou stále relativně vysoké.

Typ záložního zdroje	Měrné ztráty / Wh	Samovybíjení čas
Supravodivé magnetické systémy (SMES)	35 W	1,7 min
Nízkootáčkové setrvačníky (LSFW)	2,2 W	30 min
Vysokootáčkové setrvačníky (HSFW)	1,2 W	50 min
Superkondenzátory (SC)	0,026 W	1,6 dne
Akumulátorové baterie (SB)	0,023 W	až několik měsíců

Tabulka č.1 - měrné ztráty záložních zdrojů energie [2]

2.2. Další způsoby zálohování energie

Kromě systémů UPS je možné zálohování dodávky energie rozvodné sítě i následujícími způsoby.

2.2.1. Zdvojený přívod z napájecí sítě

K tomuto způsobu zálohy sítě se přistupuje v případech, kdy jsou kladeny vysoké požadavky na dodávku elektrické energie. Jedná se zejména o nepřetržité výrobní provozy s vysokou energetickou náročností, jako jsou továrny na výrobu papíru, oceli, atd.), jejichž zálohování by bylo velmi obtížné zabezpečit jiným způsobem. V případě výpadku sítě by tak vznikly vysoké finanční ztráty, případně i poškození zařízení.

Zálohování je realizováno dvěma na sobě vzájemně nezávislými přívody elektrické energie tak, že v případě výpadku jednoho vedení nesmí dojít k přerušení dodávky energie druhým vedením. Tento požadavek však nemůže být často splněn, aniž by nebylo použito velmi dlouhých a drahých vedení. Při použití tohoto typu zálohy jsou doporučovány i další systémy pro zálohu napájení, neboť toto opatření nesnižuje počet a závažnost poruch v distribuční síti. Mohou se tak objevovat například poklesy napětí jako následky poruch šířících se z poměrně rozsáhlých oblastí, kterými mohou být ovlivněny obě vedení.

2.2.2. Generátorová soustrojí

Tato zařízení bývají využívána pro relativně dlouhodobé provozy, řádově hodiny až dny, nebo jsou uzpůsobena pro provoz nepřetržitý. Dále se používají ve speciálních aplikacích tam, kde není dostupná žádná rozvodná síť nebo v případně krátkodobé vysoké spotřeby. Běžně jsou dostupná v široké výkonové škále od desítek kW až po několik MW.

Generátorová soustrojí bývají obvykle složena z dieselmotoru jako zdroje mechanické energie, generátoru sloužícího pro přeměnu mechanické energie v elektrickou, akceleratorů, řídicích a regulačních systému a rozvoden. V principu lze tato generátorová soustrojí rozdělit na dvě skupiny:

- Spouštění dieselmotoru v době poruchy s využitím energie z pomocných baterií. Spínání generátorového soustrojí probíhá u nejjednoduššího uspořádání manuálně, častěji je však použito spínání automatické. Nevýhodou je nenulový čas spouštění, který se u automatického sepnutí pohybuje mezi 6 až 15 vteřinami u malých jednotek a okolo 180 vteřin u velkých. Pro snížení doby spouštění mohou být generátorová soustrojí v pohotovostním stavu zahřívána na provozní teplotu.
- Spouštění vysokorychlostním setrvačником mechanicky spojeným s generátorem. Je-li dostupné napájení z rozvodné sítě, tak je elektrickým motorem poháněn setrvačnik a generátor. Dojde-li k výpadku, elektromagnetická spojka spojí rotující setrvačnik s motorem, který následně pohání generátor. Spuštění proběhne automaticky během 0,5 až 2 vteřin, v závislosti na koncepci může být doba spuštění i nulová.

Nevýhodou generátorových soustrojí bývá jejich vysoká hlučnost, hmotnost a prostor který zabírají. Dále je potřeba mít zabezpečenu dostatečně velkou zásobu pohonných hmot. Vzhledem k těmto skutečnostem bývají většinou tato strojí umístěna v oddělených prostorách vzdálených od obytných budov.

2.2.3. Akumulátorové baterie

Baterie jsou používány pro napájení stejnosměrných zátěží a v případě potřeby, rozšířením o střídač, také zátěží střídavých. Jejich využití není pouze v elektronických systémech UPS nebo u určitých typů generátorových ústrojí pro spuštění dieselmotoru (jak bylo již uvedeno). Hojně se také využívají samostatně v zařízeních jednotek nouzového osvětlení, dále nacházejí využití v bezpečnostních zařízeních a počítačové a telekomunikační technice.

Baterie musí být volena s takovou kapacitou, aby zaručila dodávku elektrické energie do doby obnovení dodávky z hlavního napájení, nebo aby pokryla dobu nutnou k provedení požadované funkce, např. evakuace osob. Systémy by měly být navrhovány tak, aby u zcela vybité baterie došlo k znovunabití za dobu max. 6 hodin. Porovnání vybraných parametrů jednotlivých typů baterií je v tabulce číslo 2.

Nevýhodou bateriových systémů bývá velmi nízký pracovní cyklus. Důvodem je fakt, že doby nabíjení baterií vysoce překračují doby vybíjení.

	Uzavřené Pb	NiCd	NiMH	Li ion
Cena	Nízká	Střední	Vysoká	Velmi vysoká
Hustota energie (Wh/kg)	30	50	75	100
Napětí	2,27	1,25	1,25	3,6
Proud zátěže	Nízký	Velmi vysoký	Mírný	Vysoký
Počet cyklů nabití / vybití	200-2000	1500	500	300-500
Samovybíjení	Nízké	Mírné	Vysoké	Nízké
Min. dostupný čas (hod)	8-16	1,5	2-3	3-6
Požadavek na využití	180 dní	30 dní	90 dní	Žádný
Vliv na životní prostředí	Vysoké	Vysoké	Nízké	Vysoké

Tabulka č.2 - Srovnání vybraných parametrů jednotlivých typů baterií [2]

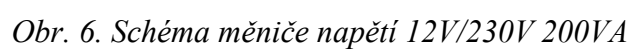
3. Návrh měniče pro UPS

Navrhovaný měnič by měl sloužit ke krátkodobému napájení zátěže o napětí 230V a kmitočtu 50Hz z akumulátorové baterie s napětím 12V. Předpokládaný výstupní výkon měniče je 200VA.

3.1. Princip navrhnutého měniče

Navrhnutý měnič pracuje na principu protifázového buzení dvou sekundárních vinutí transformátoru, což na výstupu transformátoru indukuje střídavé napětí 230V/50Hz. Buzení sekundárního vinutí je zajištěno spínačem, v našem případě je jako spínač použit MOSFET tranzistor s kanálem typu N. Každé vinutí je tedy buzeno jedním MOSFET tranzistorem, který je řízen signálem generovaným řídicím obvodem. Řídicí signály jsou obdélníkového průběhu a vzájemně jsou vůči sobě v protifázi.

Nevýhodou tohoto řešení je řízení spínačů signálem obdélníkového průběhu, což má za následek, že výsledné výstupní napětí má také obdélníkový průběh. To by mohlo být problémem v případě připojení náročnější zátěže, která by vyžadovala napájení sinusovým napětím. Možným kompromisním řešením je vytvoření výstupního průběhu více podobného sinusovému, takzvaný modifikovaný sinus. Tzn. že na výstupní napětí má kladný puls, následuje pauza 0V, záporný puls, opět následuje pauza 0V, a takto se průběh opakuje. V případě této alternativy musí být řídicí signál z obdélníkového signálu upraven pomocným obvodem na modifikovaný sinusový signál (viz. obrázek č. 6).



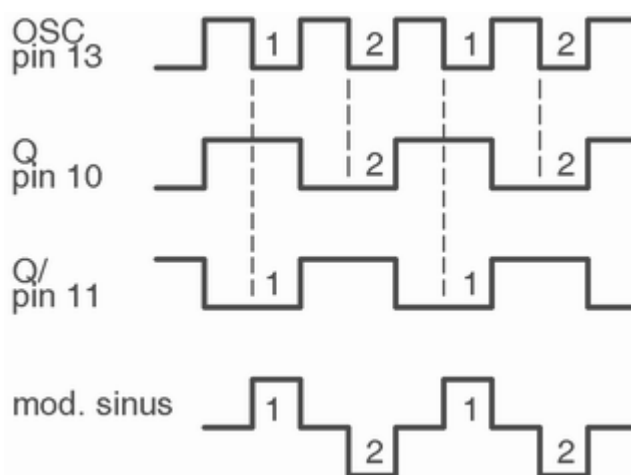
3.2. Funkce jednotlivých částí měniče

3.2.1. Řídící obvod

Řízení měniče zajišťuje integrovaný obvod CD4047. Tento integrovaný obvod je zapojený jako astabilní multivibrátor generující dva signály obdélníkového průběhu Q a Q/ se střídou 1:1, které jsou vzájemně v protifázi. Dále je generován signál výstupního oscilátoru OSC. Vnější obvod připojený mezi svorky 1, 2 a 3 složený z kombinace odporu a kondenzátoru slouží k nastavení výstupní frekvence IO. Výstupní protifázové signály Q a Q/ mají poloviční frekvenci než-li je frekvence oscilátoru. Výstupní frekvenci signálu 50Hz odpovídají hodnoty $R=47k\Omega$ a $C=0,1\mu F$. V sérii s odporem je výhodné zapojení trimru pro přesné doladění frekvence, v tomto případě bychom volili $R=39k\Omega$ a trimr pro doladění o velikosti $22k\Omega$.

3.2.2. Úprava řídicího signálu

K úpravě řídicího signálu je použit integrovaný obvod CD4001 obsahující čtyři hradla NOR. Na vstupy A a B prvního NOR hradla přivedeme signál Q a signál oscilátoru OSC z multivibrátoru. Obdobně připojíme i signál Q/ a signál oscilátoru na vstupní svorky C a D druhého NOR hradla. Na výstupech J a K obou NOR hradel obdržíme signál vzniklý po negovaném logickém součtu. Tento nově vzniklý signál už nemá obdélníkový průběh, ale má tvar modifikovaného sinu. Vše je názorně zakresleno na obrázku číslo 6. Vstupy zbývajících dvou nevyužitých hradel propojíme se zemí. Důvodem je omezení možného vzniku napětíových špiček.



Obr. 7. vstupní a výstupní průběhy signálů CD4001

3.2.3. Výkonová část

Výkonová část měniče se skládá ze dvou výkonových MOSFET tranzistorů IRFZ44 s kanálem typu N a transformátoru se dvěma sekundárními vinutími 2x9V na jejichž střed je přivedeno napětí z baterie. Druhá část každého vinutí je připojena vždy k jednomu tranzistoru. Tranzistory jsou řízeny upraveným výstupním signálem z multivibrátoru. Řídící signály jsou vzájemně v protifázi, dochází k protifázovému spínání tranzistorů, čímž je zaručeno sepnutí vždy jen jednoho z nich. Průchod proudu je tedy pouze jedním vinutím. Opakováním tohoto spínání se na primárním vinutí tranzistoru indukují výsledné střídavé napětí 230V/50Hz tvaru modifikované sinusoidy.

3.2.4. Ochranné prvky

Napájení obvodu:

Obvod je chráněn hned na vstupu proti maximálnímu odběru proudu pojistkou o velikosti 30A. Na vstup obvodu by mohla být připojena i tlumivka pro případné zamezení nežádoucího rušení obvodu.

Řídící obvod:

Řídící obvod se skládá z integrovaných obvodů technologie CMOS, které mohou být napájeny až 18V. Nicméně je výhodné mezi vstup řídicího obvodu a zem připojit Zenerovu diodu, které omezí velikost napětí v řídicí části obvodu na 10V. Tím je zaručena konstantní velikost napájecího napětí integrovaných obvodů a tím i vyšší stálost nastavených parametrů, jako je například frekvence. Řídící obvod je dále chráněn proti vzniku možných napěťových špiček na jeho vstupu spojením odporu a kondenzátoru. Velikost odporu je zvolena v řádu desítek až stovek $k\Omega$, elektrolytický kondenzátor je v řádu stovek μF .

Výkonová část:

Nedokonalost transformátoru má za následek vznik napěťových špiček vlivem rozptylových indukčností transformátoru. Z tohoto důvodu je potřeba mezi elektrodou D a zem každého tranzistoru připojit ochranný obvod tvořený ze sériové kombinace odporu a kondenzátoru, který má za úkol nebezpečné špičky napětí odfiltrvat. Prvky tohoto obvodu musejí být voleny tak, aby kondenzátor byl schopen zachytit co možná nejvíce energie těchto špiček, které mohou mít i 100V, a odpor tuto energii vstřebal a vyzářil. V odporu tedy dochází k nemalé výkonové ztrátě, měl by tedy být použit výkonový odpor který je na takové ztráty konstruován. Hodnota kondenzátoru bývá zpravidla v jednotkách až desítkách nF, odpor řádově jednotky až desítky Ω s výkonovou ztrátou alespoň 2W.

Dále je mezi střed vinutí transformátoru a zem připojen elektrolytický kondenzátor s velikostí řádově tisíců μF . Pro omezení rychlých napěťových špiček je výhodné paralelně k němu připojit ještě jeden rychlejší fóliový kondenzátor řádově stovky μF .

3.3. Volba prvků výkonové části měniče

Výběr tranzistorů:

Důležitým faktorem při výběru výkonového tranzistoru pro spínání vysokých proudů navrhovaného měniče je odpor přechodu R_{DS} mezi elektrodami D a S. Použitý tranzistor by měl mít tento odpor co možná nejnižší, protože průchodem vysokého proudu na tomto odporu vzniká dosti značná výkonová ztráta (viz. níže). Dále je důležité zvolit takový tranzistor, jehož maximální velikost spínaného proudu I_D a napětí U_{DS} bude vyšší než-li spínaný proud a napětí v obvodu navrhovaného měniče.

Vybraný tranzistor IRFZ44 lze použít pro spínání napětí U_{DS} o velikosti až 55V a proudu I_D o velikosti až 50A, což je pro navrhovaný měnič dostačující. Tento tranzistor se dále vyznačuje nízkou hodnotou odporu přechodu R_{DS} , ta je $22m\Omega$ při napětí $V_{GS} = 10V$ a proudu $I_D = 25A$. Navíc je v tomto typu tranzistoru mezi elektrodou D a S integrována ochranná dioda. K jeho výběru dále přispívá i dosti příznivá cena a dostupnost.

Výběr vhodného transformátoru:

Nejprve je potřeba určit velikost sekundárních vinutí. Navrhovaný měnič je napájen z olověné baterie, jejíž napětí v plně nabitém stavu dosahuje až 13,8V. Od tohoto napětí je dále potřeba odečíst napěťovou ztrátu tranzistorů, která se v závislosti na teplotě přechodu DS pohybuje přibližně od 0,5V do 1V, pro tento výpočet budeme uvažovat 0,65V (viz. níže). Po odečtení tedy získáváme napětí okolo 13V. V závislosti na tvrdosti baterie toto napětí při připojení zátěže ještě poklesne. Sekundární vinutí bychom teoreticky mohli volit na hodnotu napětí 13V. To však není možné vzhledem k tomu, že navrhovaný měnič vytváří na výstupu napětí tvaru modifikovaného sinu. Pro vytvoření špičkového napětí stejného jakou u sinusového průběhu je tedy zapotřebí, aby napětí na transformátoru bylo 1,41x vyšší, než-li je napětí potřebné pro obdélníkový průběh. Volíme tedy transformátor se sekundárním vinutím 1,41x nižším, než-li je napětí které je na sekundární vinutí přiváděno:

$$U_{SEK} = \frac{U_{BAT} - U_{ztr}}{\sqrt{2}} = \frac{13,8 - 0,65}{1,41} = 9,32V \quad (1)$$

Potřebujeme tedy transformátor, který bude mít dvě sekundární vinutí, každé na 9V.

Transformátor musí být dimenzovaný na maximální požadované zatížení měniče. V našem případě je požadován výstupní výkon 200VA, k němu bychom však měli při návrhu připočítat výkonovou rezervu sloužící pro kompenzaci výkonových ztrát (viz. níže), které v obvodu vznikají. Při výpočtu tedy budeme vycházet z hodnoty požadovaného výstupního výkonu alespoň 240VA.

Pro navrhovaný měnič tedy volíme síťový transformátor konstruovaný na zatížení alespoň 240VA se dvěma sekundárními vinutími 2x9V. Takový transformátor pravděpodobně nebude snadno k dostání, avšak sehnat ho lze. Případně je možné zakoupit sériově vyráběný snadněji dostupný toroidní transformátor se sekundárními vinutími 2x12V a z každého vinutí část odvinout tak, abychom získali požadovaných 2x9V.

3.4. Ztráty výkonové části obvodu

Jedná se zejména o ztráty v přechodech tranzistorů, ztráty rozptylových indukčností transformátoru a ztráty vzniklé odporem vinutí transformátoru, které jsou závislé na velikosti procházejícího proudu.

$$\text{Proud procházející tranzistorem: } I_D = \frac{P_{OUT}}{U_{SEK}} = \frac{240}{9} = 26,7 \text{ A} \quad (2)$$

Ztráty v tranzistoru IRFZ44 vlivem R_{DS}

Maximální udávaná velikost odporu $R_{DS} = 22 \text{ m}\Omega$. Tento odpor je však závislý na teplotě a s teplotou se zvyšuje. Vlivem spínání proudu takovéto velikosti dochází k zahřívání přechodu vlivem ztrátového výkonu. Tranzistory je tedy potřeba vhodným způsobem chladit. To je možné například přišroubováním chladiče na oba výkonové tranzistory přes slídové podložky a izolační průchodky, nebo použitím samostatného chladiče pro každý tranzistor. Pokud tranzistory uchládíme na teplotu okolo 50°C , čemuž odpovídá udávaná hodnota odporu $R_{DS} = 24,4 \text{ m}\Omega$ (viz. příloha katalogový list), tak lze uvažovat následující velikost ztrát:

$$\text{Ztráta napětí na tranzistoru:} \quad U_{ztr} = I_D \cdot R_{DS} = 26,7 \cdot 24,4 \cdot 10^{-3} = 0,65 \text{ V} \quad (3)$$

$$\text{Ztráta výkonu na tranzistoru:} \quad P_{ztr} = U_{ztr} \cdot I_D = 0,65 \cdot 26,7 = 17,4 \text{ VA} \quad (4)$$

Ztráty rozptylových indukčností a odporu vinutí transformátoru

Ztráty rozptylových indukčností transformátoru jsou závislé na konkrétním typu transformátoru a jeho konstrukčních parametrech.

Ztráty vzniklé odporem vinutí transformátoru jsou závislá na tloušťce použitého vodiče, jeho odporu a délce vinutí. Pro měděný drát tloušťky 1mm bývá odpor $17,8 \text{ m}\Omega/\text{m}$. To by při délce vinutí 10m způsobilo výkonovou ztrátu téměř 13VA.

Obecně bývá účinnost toroidních transformátorů 95% i vyšší, takže námi navržená rezerva by měla ztráty vykompenzovat.

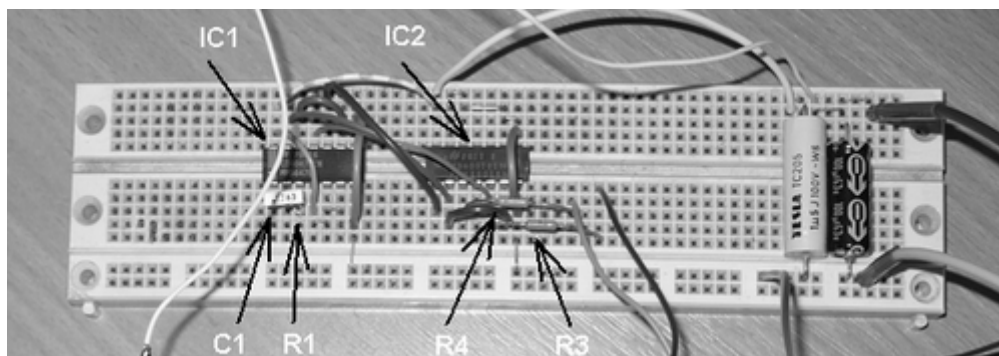
4.5. Soupis použitých součástek

IC1	CD4047B – IO monostabilního/astabilního multivibrátoru
IC2	CD4001B – IO obsahující 4x 2vstupové hradlo NOR
C1	100nF/63V – fóliový kondenzátor
C2	100uF/16V – elektrolytický kondenzátor
C3, C4	2,2nF/100V – fóliový kondenzátor
C5	3300uF/16V – elektrolytický kondenzátor
D1	1N5347B – Zenerova dioda 10V/5W
F1	30A – pojistka
Q1, Q2	IRFZ44 – tranzistor MOSFET N-kanál
R1	47k Ω – odpor
R2, R3, R4	100k Ω – odpor
R5, R6	12 Ω /5W – odpor
S1	spínač
TR1	2x9V/230V 300VA – toroidní transformátor (úprava odvinutím z 2x12V)

4. Zkušební zapojení

4.1. Zapojení řídicí části obvodu

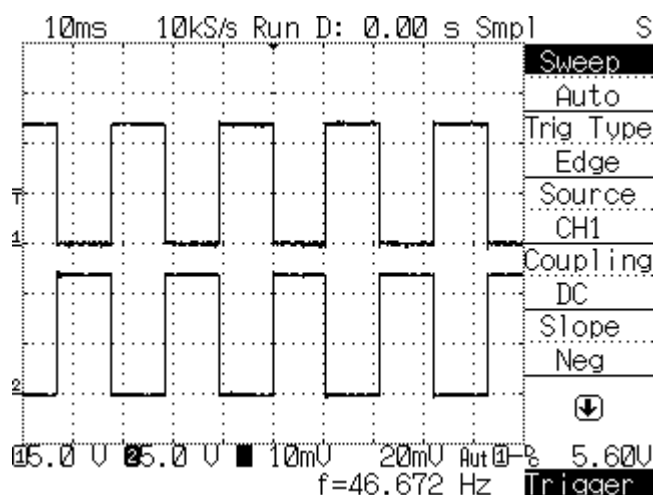
Pro ověření teoretických předpokladů a funkčnosti zapojení řídicího obvodu jsme provedli proměření v nepájivém poli dle schématu na obrázku č.6. Z tohoto zapojení byly pomocí osciloskopu sejmuty průběhy výstupních signálů.



Obr. 8. Zkušební zapojení řídicí části obvodu měniče

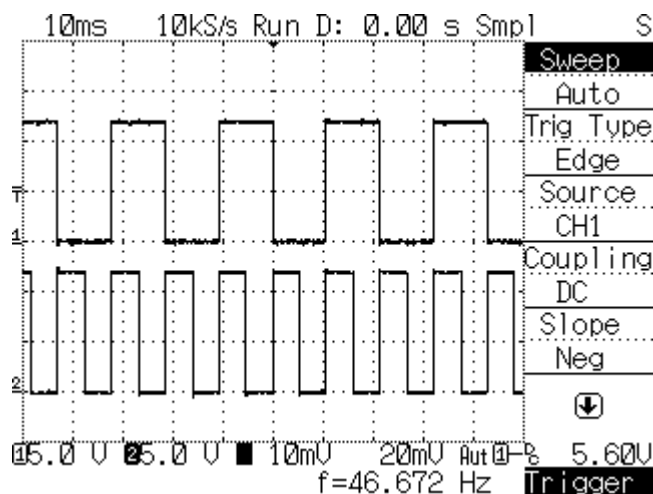
Výstupní signály integrovaného obvodu CD4047 (IC1)

Výstupní charakteristiky řídicích signálů Q (1. kanál) a Q/ (2. kanál). Zde je dobře patrný vzájemný fázový posuv mezi signálem Q a Q/ o 90°. Velikost napětí je 12V, protože ve zkušebním obvodu nebyla zapojena Zenerova dioda omezující napětí řídicího obvodu na 10V. Frekvence signálu není přesně 50Hz, což je zapříčiněno pravděpodobně tolerancí hodnot použitého rezistoru a kondenzátoru.



Obr. 9. Výstupní řídicí signály Q a Q/

Výstupy Q a OSC integrovaného obvodu CD4047 (IC1). Zde je patrná dvojnásobná frekvence výstupního signálu oscilátoru OSC (2. kanál) oproti obdélníkovému řídicímu signálu Q (1. kanál).

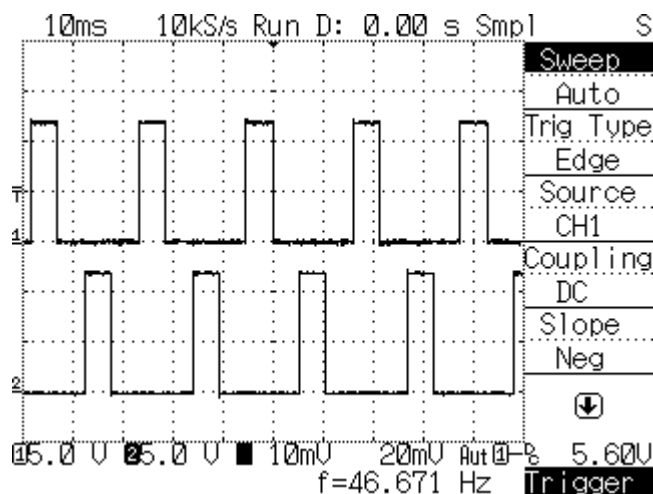


Obr. 10. Výstupní řídicí signál Q a signál oscilátoru OSC

Výstupní signály z integrovaného obvodu CD4001 (IC2)

Upravené řídicí signály z výstupů J a K hradel NOR:

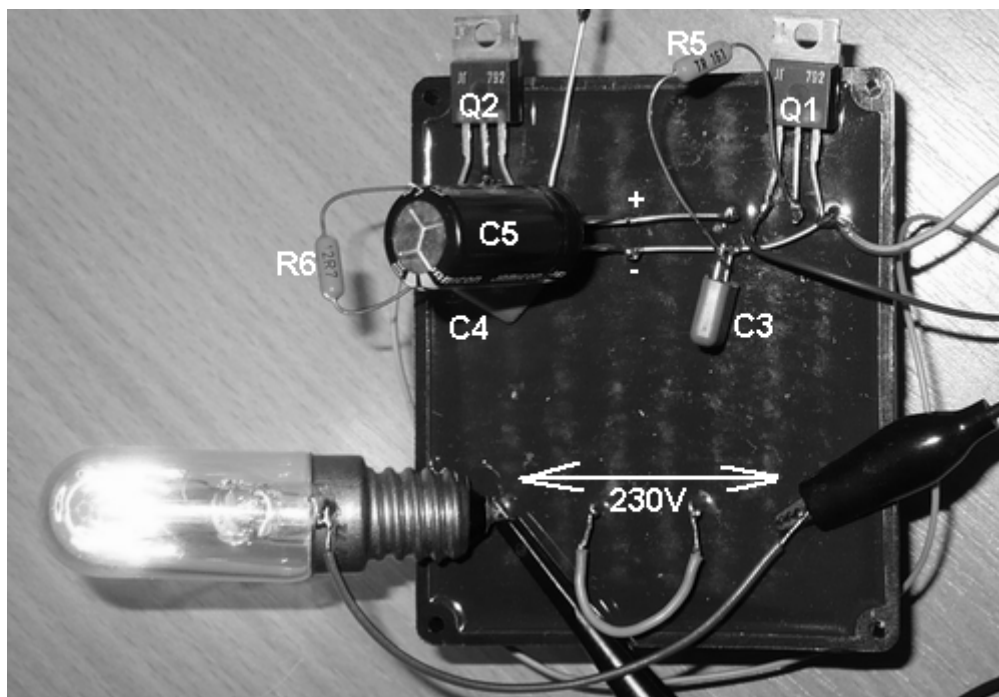
1. kanál - výstup J po logickém negovaném součtu signálů Q a OSC
2. kanál - výstup K po logickém negovaném součtu signálů Q/ a OSC



Obr. 11. Upravené řídicí signály z výstupů J a K hradel NOR

4.2. Zapojení výkonové části obvodu

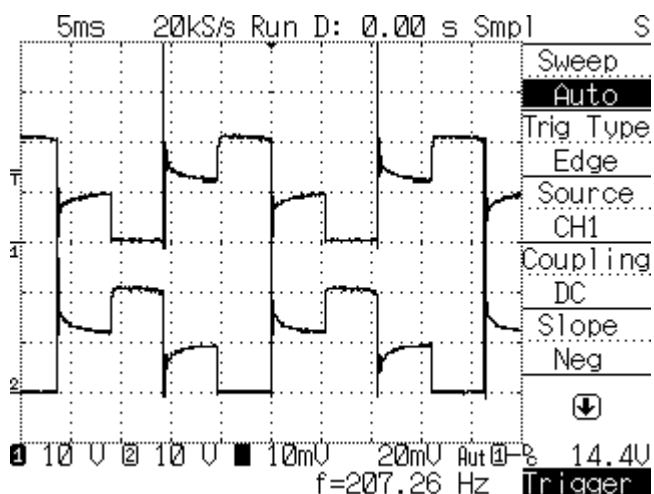
Simulace výkonové části obvodu navrhovaného měniče byla vzhledem k horší dostupnosti vhodného transformátoru provedena pouze experimentálně na síťovém transformátoru 2x9V/25VA. Pokusili jsme se tedy alespoň o částečnou simulaci obvodu z dostupných součástek. Jako zátěž byla použita žárovka 230V/15W.



Obr. 13. Zkušební zapojení výkonové části obvodu měniče

Průběh signálů spínacích tranzistorů na elektrodě S

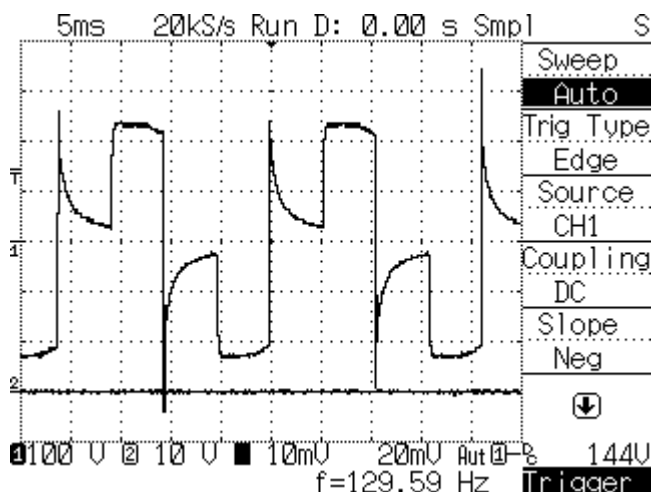
Z průběhu je patrný vznik napěťových špiček při spínání a rozpínání tranzistoru vlivem rozptylových indukčností v transformátoru.



Obr. 12. Průběh signálů spínacích tranzistorů na elektrodě S

Průběh napětí na výstupních svorkách transformátoru

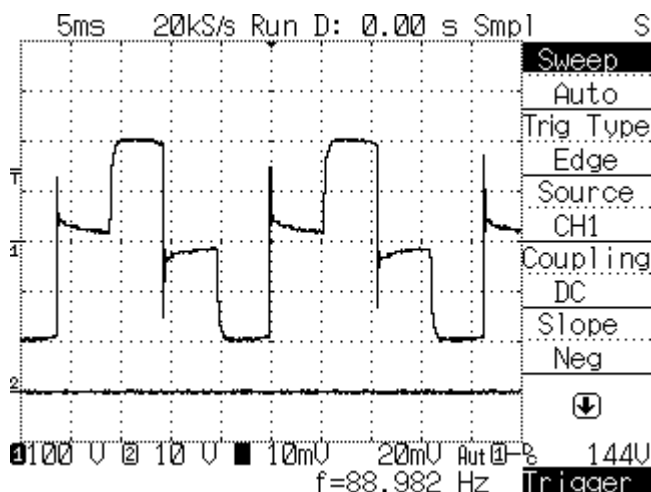
Na charakteristice výstupního napětí na svorkách primárního vinutí transformátoru je vidět dosažená hodnota výstupního napětí cca. 220V. To je způsobeno výkonovou ztrátou na tranzistorech, která je v tomto případě nežli v případě navrhovaném. V experimentálním zapojení jsme totiž použili tranzistory BUZ20 s 10x vyšší hodnotou R_{DS} , které jsme měli k dispozici, namísto navrhovaných IRFZ44. Dále jsou zde patrné napěťové špičky v dobách spínání tranzistorů, které by bylo vhodné ještě eliminovat lepší vplbou filtračních prvků.



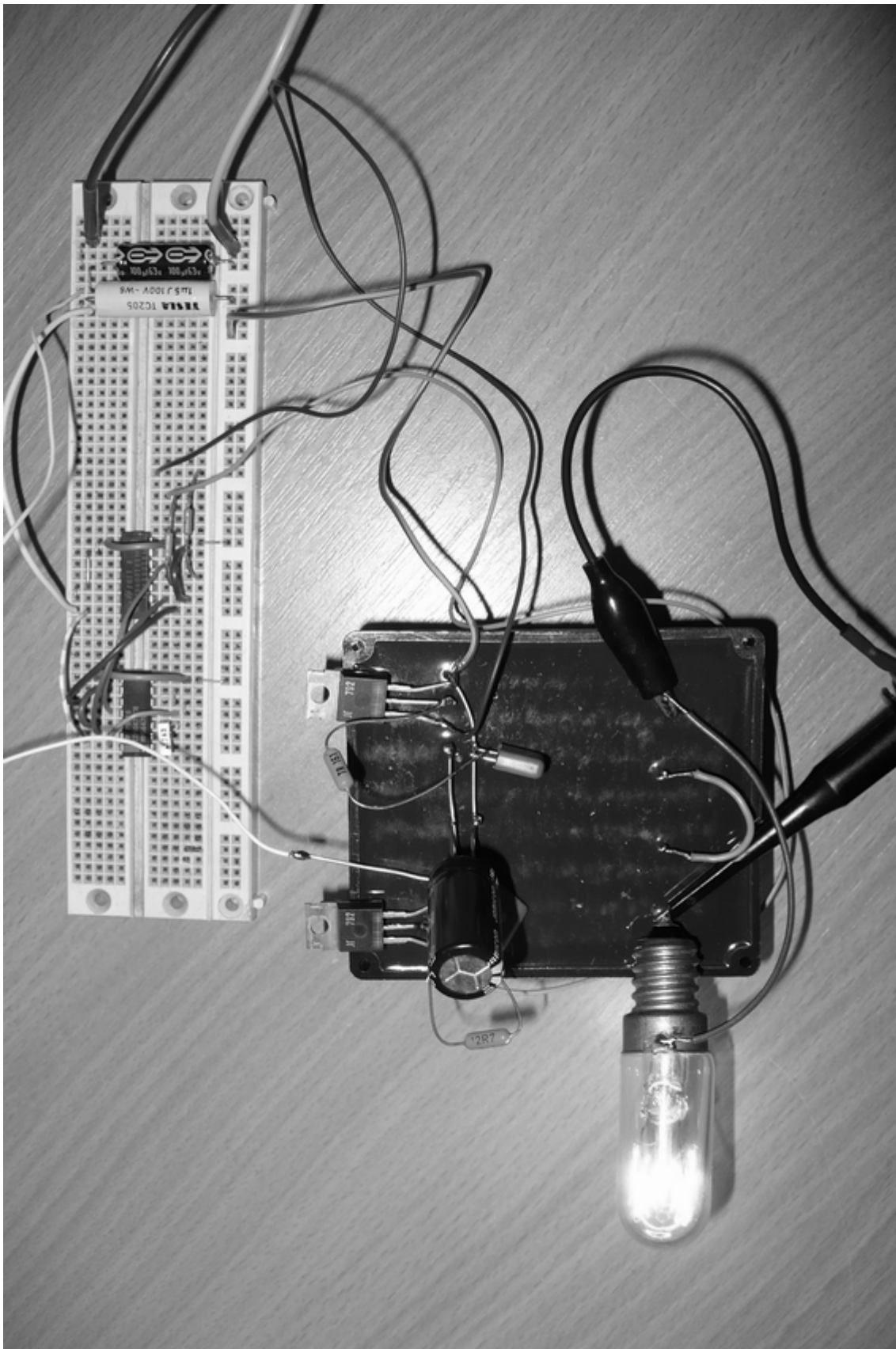
Obr. 14. Průběh napětí na výstupních svorkách transformátoru

Průběh napětí na zátěži

Zátěž byla tvořena žárovkou 230V/15W. Na připojené zátěži je patrný pokles výstupního napětí zhruba na hodnotu 200V. To je pravděpodobně způsobeno použitím alternativních součástek, které jsou méně vhodné pro konstrukci meniče.



Obr. 15. Průběh napětí na zátěži



Obr. 16. Zapojení experimentálního obvodu měniče

5. Závěr

Práce pojednává o problematice kvality dodávky elektrické energie z rozvodné sítě a zabývá se možnými způsoby řešení, které tyto nedostatky zmírňují, případně zcela odstraňují.

Ve velkých průmyslových podnicích s vysokou energetickou náročností výrobních procesů se uplatní zejména zdvojený přívod napájecí sítě, toto řešení však s sebou přináší velmi vysoké náklady na pořízení. Oproti tomu je zde výhoda téměř neomezené dodávky energie a dosti krátká doba přechodu.

Další možností je použití generátorů, které dokáží poskytovat dlouhodobě zálohovaní napájení. Náklady na jejich pořízení jsou středně vysoké, nevýhodou je prostor který zabírají a jejich vysoká hlučnost. Doba přechodu při výpadku je u některých typů zapojení téměř nulová.

Zálohování z baterií je využíváno zejména pro stejnosměrné zátěže. Uplatnění je například v zařízeních nouzového osvětlení. Při zálohování z baterií je doba přechodu téměř nulová. Další výhodou je i poměrně nízká pořizovací cena. Použité baterie by měly mít takovou kapacitu, aby dokázali pokrýt dobu potřebnou k porvedení funkce na který je systém navržen.

Zálohování náročnějších zařízení, jakou jsou například systémy informačních technologií je prováděno zdroji nepřerušitelného napájení UPS. Tyto systémy zde jsou podrobněji rozebrány z hlediska jejich normalizace, možných topologií a z hlediska stupně ochrany zálohovaného zařízení. Cena systémů UPS je ve srovnání s náklady ostatních možných způsobů zálohování střední až vysoká. To záleží na zvolené topologii, od níž se odvíjí i stupeň ochrany daného zařízení. Nejjednodušší a nejlevnější systémy pracují na principu pasivní zálohy a jsou vhodné k zálohování zařízení nižších výkonů, která dokáží bez obtíží přklenout výpadek v řádu milisekund. Tyto systémy nemají žádnou regulaci napětí ani frekvence. Systémy UPS pracující na principu interaktivního vedení mají nulovou dobu přechodu, omezenou schopnost regulace napětí a postrádají regulaci frekvence. Z tohoto důvodu je tato topologie nevhodná pro citlivé zátěže středních a vyšších výkonů. Posledním typem jsou UPS pracující s dvojitou přeměnou. Tyto systémy umožňují regulaci napětí i frekvence, dále mají nulovou dobu přechodu. Vzhledem k těmto výhodám je tento typ UPS využíván k zálohování zařízení náročných na kvalitu dodávky energie.

Dále se práce zaměřuje na návrh měniče napětí. Navržený měnič lze rozdělit na tři části. Je to část řídicí, jejíž obvod slouží ke generování řídicích signálů. Tato část je dosti univerzální a lze ji využít i k řízení měniče s odlišným výstupním výkonem. Druhou částí je část výkonová, která jejíž parametry určují výsledný výstupní výkon měniče. Je tedy důležité vhodně zvolit použité spínací kondenzátory a parametry transformátoru. U tranzistoru je důležitým parametrem odpor přechodu R_{DS} , určující výkonovou ztrátu na tranzistoru. Transformátor je nutné volit tak, aby byl dimenzován na požadovaný výkon, důležité je při návrhu uvažovat i ztrátové výkony, které v obvodu vznikají. Dále je u transformátoru nutná správná volba napětí sekundárního vinutí. Tyto parametry totiž ovlivňují velikost výsledného výstupního výkonu a průběh napětí měniče. Třetí částí jsou ochranné prvky, které mají za úkol eliminovat nežádoucí špičky napětí. Volba ochranných prvků je závislá na konkrétním použitém transformátoru a jeho konstrukci. Tyto prvky slouží ke konečnému doladění a odfiltrování nežádoucích složek z výstupního napětí.

Pro ověření měniče bylo realizováno zkušební zapojení obvodu. Řídící obvod byl zapojen podle navrženého schématu. Zapojení prokázalo jeho správnou funkčnost, výsledné výstupní signály byly téměř totožné s teoretickými uvažami. Z výstupních charakteristik je patrné, že výstupní napětí má tvar modifikované sinusoidy, takže úprava řídicího signálu splnila svůj smysl.

Realizace výkonové části obvodu dopadla značně hůře. Vzhledm k horší dostupnosti navrhovaného transformátoru jsme se rozhodli pro experimentální zapojení se slabším transformátorem o výkonu 25VA, který jsem měli k dispozici. Dále byly použity tranzistory BUZ20 s vyšší výkonovou ztrátou (přibližně 10ti násobnou), než-li byla u navrhovaných IRFZ44, taktéž jsem je měli k dispozici. Z charakteristik výstupu je patrné, že toto zapojení s alternativními součástkami není příliš vhodné pro realizaci měniče. Důvodem jsou jak vyšší výkonové ztráty, tak i pravděpodobně vyšší rozptylové indukčnostmi transformátoru.

Použitá literatura

- [1] BEAUDET, J.P., FIORINA, J.N., PINON, O. UPS topology and standards. MGE UPS SYSTEMS – 11/99. Dostupné na www: <<http://www.gruberpowers.com/pdf-files/MGE%20UPS%20Topologies.pdf>>
- [2] MARKIEWICZ, H., KLAJN, A., Improving Reliability with Standby Power Supplies. Wrocław University of Technology: June 2003. Dostupné na www: <http://www.cda.org.uk/megab2/elecapps/PQ_Guide/431-improving-reliability-with-standby-power-supply.pdf>
- [3] CEMEP – European Committee of Manufacturers and Power Electronics. Dostupné na www: <http://www.socomec-aron.com/Documentos/Varios/Guia_Europea_SAI-en.pdf>
- [4] ZACEK, J., Zdroje nepřerušovaného napájení – UPS. AUTOMA 2001/03. Dostupné na www: <<http://www.odbornecasopisy.cz>>
- [5] KUČATA, K., Jak si počínat při výběru UPS. AUTOMA 2001/03. Dostupné na www: <<http://www.odbornecasopisy.cz>>

Seznam příloh

Katalogové listy:

CD4047B – CMOS Low-Power Monostable/Astable Multivibrator	8 stran
CD4001B – CMOS NOR Gates	5 stran
IRFZ44N – N-MOSFET Transistor	8 stran