



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

ZÁLOŽNÍ ZDROJ

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Mrázek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Sekora

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské inženýrství a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Bc. Petr Mrázek

ID: 137239

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Záložní zdroj

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Prostudujte principy existujících systémů záložních zdrojů. 2) Rozeberte vlastnosti zdrojů energie pro UPS. 3) Porovnejte jejich vlastnosti s ohledem na jejich použití. 4) Srovnajte účinnost UPS s ohledem na tvar jejich výstupního napětí. 5) Navrhněte záložní zdroj pro EKG monitorovací systém. Návrh musí obsahovat schéma zapojení, výpočet obvodů a rozpisku součástek. 6) Dílčí části otestujte na funkčním vzorku. Výsledky diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MARKIEWITZ, H., KLAJNA, A. Resilience Improving Reliability with standby Power Supplies 6/2003.

[2] ČSN 50091-1, ČSN 50091-1-1, ČSN 50091-1-2, ČSN 50091-1-2.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 17.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

Konzultant: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá nepřetržitými napájecími zdroji (UPS) a s nimi spojenou problematikou záložního napájení při neočekávaných výpadcích elektřiny. Začátek práce se věnuje omezením dodávek elektřiny, jejich příčinám a následkům. Dále pak pokračuje stručnou historií UPS a následně také rozlišením jednotlivých architektur záložních zdrojů. Nechybí ani popis energetických zdrojů jakými jsou akumulátory, setrvačníky nebo palivové články. Část práce popisuje zabezpečení dodávky elektřiny ve zdravotnických zařízeních, včetně požadavků na nouzové zdroje energie. V závěru práce je věnován prostor návrhu vlastního záložního zdroje, včetně jednotlivých schémat a popisu řešení při realizaci dílčích částí navrženého záložního zdroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Akumulátor, baterie, distribuční soustava, elektrocentrála, elektřina, měnič, motorgenerátor, nabíječka, nepřetržitý napájecí zdroj, palivový článek, přenosová soustava, sekundární článek, setrvačnick, UPS, záložní zdroj.

ABSTRACT

The thesis deals with Uninterruptible Power Supply (UPS) and associated problems of backup power in case of unexpected outages of electricity. Start of work is dedicated to limitation of the electricity supplies, as well as their causes and consequences. Furthermore, brief history of UPS and subsequently distinguish between UPS's architectures. There is also a description of the energy sources such as batteries, flywheels or fuel cells. Part of thesis describes security of electricity supply in health care facilities, including requirements for emergency power. The own design of UPS is described in the end.

KEYWORDS

Backup power, battery, battery charger, distribution system, electricity, flywheel, fuel cell, generator, inverter, motor generator, secondary cell, transmission system, uninterrupted power supply, UPS.

Bibliografická citace

MRÁZEK, Petr. *Záložní zdroj*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Sekora.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Záložní zdroj jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009Sb.

V Brně dne 13. května 2019

.....

Petr Mrázek

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Sekorovi a konzultantu doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této diplomové práce.

V Brně dne 13. května 2019

.....

Petr Mrázek

Obsah

Úvod	9
1 Přerušení přenosu a distribuce elektřiny	10
1.1 Omezení přenosu a distribuce elektřiny v ČR	10
1.2 Příčiny a následky omezení dodávek elektřiny	13
1.3 Opatření eliminující dopady rozsáhlého výpadku elektrické energie	16
2 Nepřetržitý napájecí zdroj – UPS.....	18
2.1 Historie záložních zdrojů a jejich použití.....	18
2.2 Architektury UPS	21
2.2.1 Pasivní záloha (Passive standby)	22
2.2.2 Interakce se sítí (Line interactive)	23
2.2.3 Dvojitá konverze (Double conversion)	24
2.3 Účinnost záložních zdrojů	26
2.4 Doba zálohování.....	27
3 Energetické zdroje užívané v UPS	29
3.1 Sekundární články – akumulátorové baterie	29
3.2 Palivové články	31
3.3 Setrvačníky	33
3.4 Motor generátor se spalovacím motorem.....	35
4 Zabezpečení dodávky elektřiny ve zdravotnických zařízeních	38
4.1 Záložní zdroje napájení	38
4.2 Elektrické rozvody	39
4.2.1 Elektrická instalace ve zdravotnických prostorech	40
4.2.2 Požadavky na nouzové zdroje elektrické energie	41
4.2.3 Barevné značení zásuvkových obvodů	43
5 Návrh a realizace záložního zdroje (UPS)	45
5.1 Řídící obvod záložního zdroje.....	46
5.1.1 Řídící obvod UPS.....	47
5.1.2 Popis funkce řízení	48
5.2 Nabíječka akumulátoru se spínaným zdrojem	49
5.2.1 Úrovně napětí při jednotlivých fázích nabíjení	49
5.2.2 Popis konstrukce nabíječky a spínaného zdroje	50

5.3	Energetický zdroj UPS – olověný akumulátor	53
5.3.1	Základní vlastnosti a charakteristiky olověného akumulátoru	54
5.3.2	Staniční akumulátory a jejich konstrukce	56
5.3.3	Znaky plného nabití akumulátoru	58
5.3.4	Provozní závady olověného akumulátoru a jejich možná řešení	59
5.4	Spínaný zdroj a tvary výstupního napětí	61
5.4.1	Tvary výstupního napětí	61
5.4.2	DC/DC měnič	63
5.4.3	Čtyř-kvadrantový spínač	70
5.4.4	Realizace navrženého měniče a čtyř-kvadrantového spínače	72
5.5	Opticko-akustický alarm	75
	Závěr	79
	Literatura	81
	Seznam obrázků	88
	Seznam tabulek	89
	Seznam grafů	89
	Seznam příloh	89
	Seznam zkratk	90

Úvod

Na letištích, v nemocnicích, telefonních ústřednách, bankách... všude tam jsou vyžadovány nepřetržité dodávky energie, jejíž výpadek by mohl narušit nejen infrastrukturu a poškodit průmysl, ale zejména by mohlo dojít k ohrožení lidských životů. Ne vždy se v běžném životě setkáváme s takto kritickými okamžiky, kdy by šlo v případě výpadku proudu o ohrožení zdraví nebo dokonce lidského života. Pokud se však zaměříme na kritické provozy, jako jsou právě nemocnice nebo řízení letového provozu, je pohled na výpadek proudu, byť jen krátkodobý, poněkud odlišný. I několik sekund bez dodávky elektrické energie může znamenat rozdíl mezi životem a smrtí pacienta na operačním sále nebo ohrožení posádky a cestujících dopravního letadla i samotného stroje.

Navzdory snahám o minimalizaci výpadků v dodávkách energie a zkvalitňování rozvodných sítí, jsou to právě záložní systémy, které mohou zaručit nepřetržitý provoz klíčového elektrického zařízení. I přesto, že se dodávky energie řídí jasně stanovenými pravidly a dodávaná elektřina má své předepsané parametry, zůstává hrozba výpadků elektrického proudu v důsledku nárazového přetížení elektrické sítě, dodávek energie z elektráren na obnovitelné zdroje a vlivem extrémního počasí reálná.

Tato práce pojednává zejména o záložních zdrojích, které mají zmíněné hrozby eliminovat a snížit možné riziko výpadku elektrického napájení z rozvodné sítě na minimum. Postupně popisuje jednotlivé typy používaných záložních zdrojů a aspekty jejich využití v praxi.

Nejprve jsou v práci rozebrány důvody a příčiny vzniku přerušení dodávek elektrické energie prostřednictvím přenosových a distribučních soustav. Dále jsou zkoumána možná opatření eliminující možnost vzniku těchto stavů. Práce se samozřejmě zabývá především již zmiňovanému záložnímu zdroji, jednotlivým v současné době používaným topologiím a energetickým zdrojům. Opomenuta nejsou ani zabezpečení dodávky elektřiny ve zdravotnických zařízeních včetně popisu záložních zdrojů napájení, elektrických rozvodů a jejich barevnému značení. Realizaci záložního zdroje se pak věnuje samostatná kapitola zahrnující popis jednotlivých komponent tohoto zařízení a navržených schémat (schémata a části katalogových listů jsou pro přehlednost obsažena i v samostatných přílohách).

1 Přerušení přenosu a distribuce elektřiny

Téměř nepřetržitou dodávku elektrické energie vnímá řada z nás jako naprostou samozřejmost a její výpadek neseme nelibě. S výpadky dodávky se s jistou pravidelností setkáváme v podzimních a zimních měsících při bouřkách, sněhových kalamitách a vůbec při přetíženích, která se mohou s vyšším odběrem elektrické energie právě v těchto ročních obdobích objevit. V posledních letech ovlivňuje přenos a distribuci elektřiny rovněž její výroba z elektráren na výrobu energie z tzv. obnovitelných zdrojů. Tento výrobní proces je však citlivější nejen na kvalitu dodávané elektřiny, ale zejména na rovnoměrnou produkci.

Přestože se ztráty a rizika při výpadku proudu drobných odběratelů nerovnajít ztrátám a rizikům u větších odběratelů elektrické energie, může i pro ně znamenat výpadek dodávky elektřiny poškození či ztrátu dat nebo jiných materiálních hodnot. O něco hůře je na tom infrastruktura – telefonní ústředny, řízení letového provozu, zabezpečení signalizace na železničních tratích a v neposlední řadě nelze nezmínit obor bankovníctví a zdravotnictví. Pro všechny odběratele z výše jmenovaných oblastí představuje jakkoliv dlouhý výpadek závažná omezení a komplikace. Při delších výpadech dodávky energie je situace ještě kritičtější.

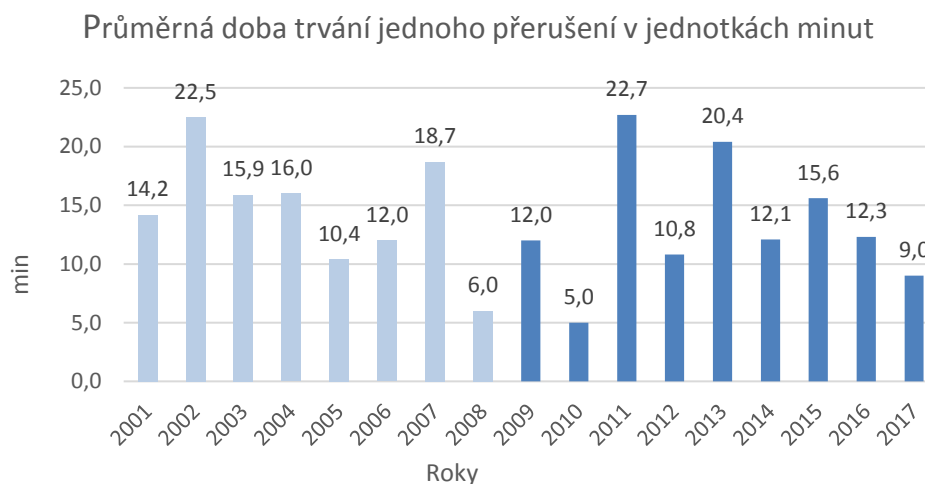
1.1 Omezení přenosu a distribuce elektřiny v ČR

Přenos a distribuce elektřiny v České republice je regulována vyhláškou č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Pro tuto kapitolu je podstatná definice přerušení přenosu a distribuce elektřiny z §2 vyhlášky, která tuto situaci popisuje jako „stav v odběrném nebo předávacím místě účastníka trhu s elektřinou, při kterém není přenosová nebo distribuční soustava schopna dopravovat do tohoto místa elektřinu“. Přenosovou soustavou se zde rozumí vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400, 220 a 110 kV sloužící k zajištění přenosu elektřiny na území ČR.

Jedním z ukazatelů úrovně kvality přenosové soustavy je nepřetržitost přenosu. Průměrné doby trvání jednoho přerušení (v minutách) se za posledních 17 let pohybují v rozmezí od 5 minut (rok 2010) až po 22,7 minut (rok 2011). Faktorů ovlivňujících tuto průměrnou dobu je bezpočet a je třeba se vždy dívat na tato data v kontextu událostí daného roku. V letech s mimořádnými přírodními jevy (v naší oblasti nejčastěji povodně, vichřice apod.) jsou tyto hodnoty přerušení pochopitelně vyšší.

Z následujícího grafu vyplývá, že průměrná doba trvání jednoho přerušení byla za sledované období největší v roce 2011 (v některých grafech uváděn rok 2013 s hodnotou 28,3 min) a naopak nejmenší v roce předcházejícím, tj. v 2010. V roce 2017 (poslední zveřejněná data) byla celková doba trvání přerušení přenosu elektřiny 36

minut při 4 výpadcích. Zároveň jsou patrné poměrně velké výkyvy v průměrných délkách trvání přerušení v jednotlivých letech.



Graf 1. Průměrná doba trvání jednoho přerušení [17]

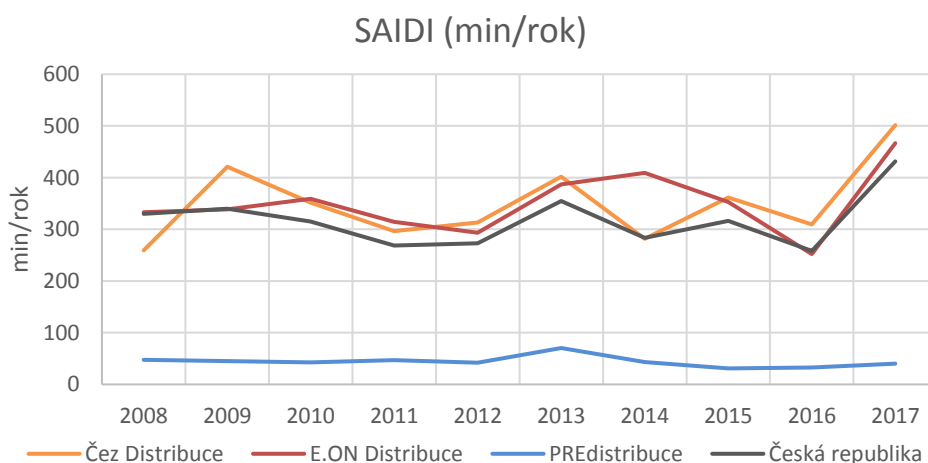
Dalšími ukazateli úrovně kvality, tentokrát v distribučních soustavách, jsou SAIFI – průměrný počet přerušení distribuce u zákazníků v hodnoceném období, SAIDI – průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období a CAIDI – průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období. Jedná se o parametry vycházející z procesu dopravy elektřiny distribuční soustavou koncovým uživatelům. V České republice působí 3 distribuční společnosti, které spravují určitou oblast republiky. PREDistribuce – pražská energetika dodává pouze elektřinu a řadí se mezi její největší dodavatele. Patří jí především oblast Prahy a část středních Čech, kde se dělí o distribuci se skupinou ČEZ, jež je největším výrobcem a distributorem elektřiny v ČR. „ČEZu“ patří kromě zmíněných středních Čech, také Čechy západní, severní, východní a severní Morava. Společnosti E.ON pak zbývá oblast jižních Čech a jižní Moravy. PREDistribuce má z této trojice nejmenší distribuční pokrytí, ČEZ naopak opanoval většinu trhu. Bez ohledu na množství distribuované elektřiny musí všichni její dodavatelé spolehlivě zajišťovat dodávky elektřiny a při jejím výpadku, ať už je způsoben čímkoliv, co nejdříve dodávky obnovit. K omezení výpadků by měly sloužit pravidelné revize distribuční sítě. [10], [17]

Hodnoty jednotlivých jmenovaných ukazatelů zanesených v tabulce 1 jsou vypočítávány pouze z dlouhodobých přerušení distribuce, od chvíle zjištění závady v přenosové nebo distribuční síti a jsou prováděny v souladu s vyhláškou o kvalitě dodávek elektřiny vycházející z výroční zprávy Energetického regulačního úřadu za rok 2017. [17]

Tabulka 1. Nepřetržitost distribuce elektřiny v roce 2017 [17]

Nepřetržitost distribuce elektřiny v roce 2017				
Ukazatel	ČEZ Distribuce	E.ON Distribuce	PREdistribuce	Česká republika
SAIFI [přerušení/rok]	3,41	2,34	0,57	2,76
SAIDI [min/rok]	501,47	466,68	40,34	431,45
CAIDI [min]	146,88	199,17	70,21	156,18

Dle údajů ERÚ bylo nejvyšších hodnot ukazatele nepřetržitosti SAIDI dosaženo v roce 2017 (od začátku sledování). Naopak nejmenší hodnoty vykazoval předcházející rok. Za nárůst nejen tohoto ukazatele (SAIDI) mohl zejména orkán Herwart, který na podzim roku 2017 způsobil množství poruch. [17]



Graf 2. Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v letech 2008 - 2017 [17]

Za poslední zveřejněný rok – 2017 byl koncový uživatel v závislosti na distributorovi bez dodávky elektřiny (SAIDI – ČR) v průměru 7 hodin a 11 minut (V roce 2016 to bylo v průměru 4 hodiny a 18 min). [17]

V České republice nejsou dlouhodobější výpadky v přenosu a dodávkách elektřiny příliš časté. Přesto každý výpadek znamená určitou ztrátu a je v zájmu všech účastníků ji v nejvyšší možné míře minimalizovat.

1.2 Příčiny a následky omezení dodávek elektřiny

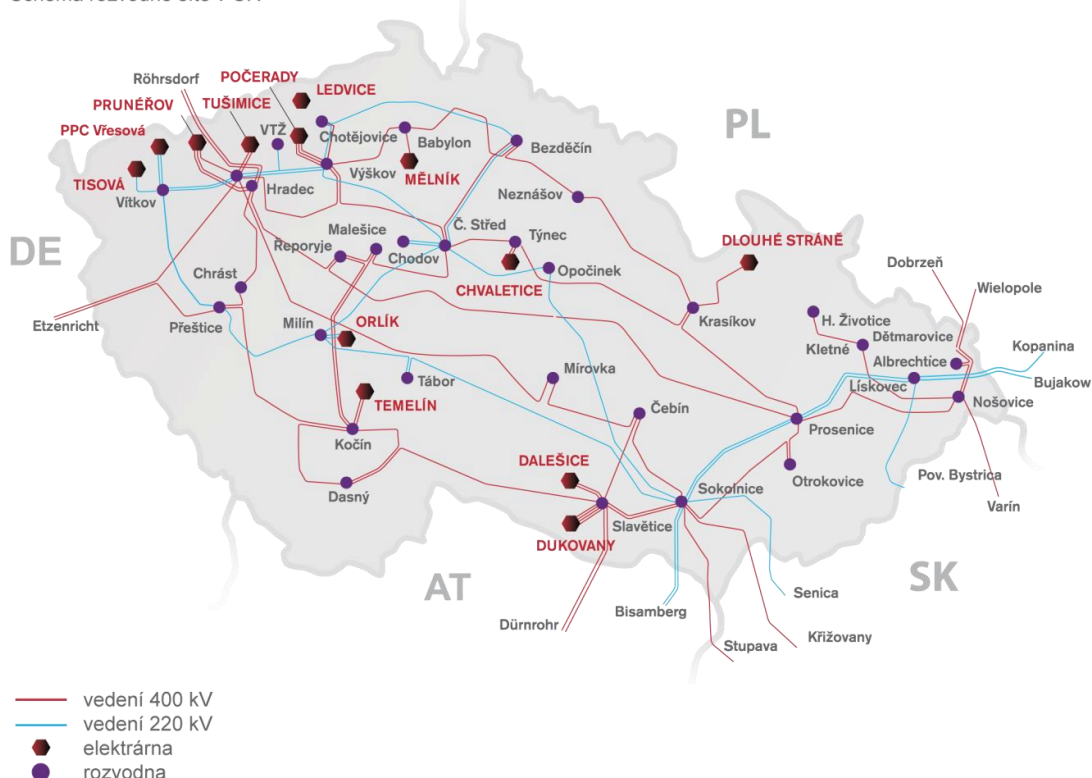
Přesto, že jsou přenosové a distribuční soustavy konstruovány s ohledem na bezproblémový a bezpečný provoz schopný vyrovnat se s technickými poruchami zaviněnými různými přírodními vlivy i chybami obsluhy, stále mají své slabiny ve formě vícenásobných vyřazení kritických prvků.

Pro tyto případy, během kterých by mohlo dojít vlivem mnohonásobných chyb k výraznému omezení funkce energetické sítě, musí být již dopředu vyhodnocena všechna rizika, na jejichž základě je vytvořen krizový scénář.

Výroba a dodávka elektřiny má na rozdíl od jiných druhů energie svá specifika. V počátcích elektrifikace a využívání tohoto zdroje energie vznikalo menší množství lokálních elektráren budovaných s určitým konkrétním záměrem využití elektřiny takřka v místě spotřeby či blízkém okolí. Nedlouho na to byla zahájena výstavba rozvodných systémů, která pokračovala až do 80. let 20. století.

Zatímco produkty vyráběné z fosilních paliv, jakými jsou ropa a zemní plyn, je možné poměrně jednoduše transportovat na větší vzdálenosti a v případě zahrnutí do krizových plánů také skladovat v dostatečné míře, u elektřiny nic takového zatím možné není. V okamžiku vzniku nerovnováhy výroby a spotřeby elektřiny dochází během několika málo chvil k rozpadu soustavy.

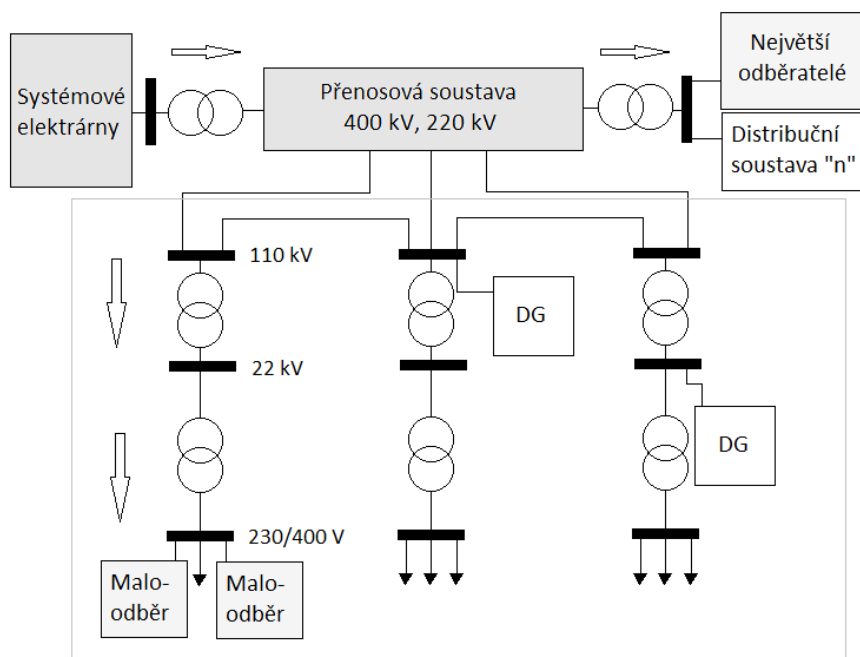
Schéma rozvodné sítě v ČR



Obrázek 1. Schéma rozvodné sítě v ČR [7]

S ohledem na omezené možnosti skladování elektrické energie vzniká poměrně velký problém, který mnohdy představuje značné škody a ztráty na majetku, hospodářství a lidských životech. Proto je otázka řešení této hrozby velmi aktuální v kontextu častějších výkyvů přírodních jevů a v posledních letech také množících se teroristických útoků. Z tohoto hlediska je právě nejzranitelnější elektrizační soustava, zejména stožáry vedení 400 kV a transformátory 400/110 kV. Soustava 220 kV budovaná do 70. let minulého století dnes plní záložní funkci v případě poruch na vedení 400 kV. Obě zmiňované soustavy spadají do tzv. páteřní sítě sloužící k rozvodu elektrické energie z velkých elektráren po území České republiky a k propojení s evropskou elektroenergetickou soustavou. [2], [7]

Jakékoliv snížení či dokonce omezení rizika je velmi žádoucí nejen v ČR, ale v celé Evropské unii a hrozba dlouhodobého výpadku tak dala vzniknout vládním vyšetřovacím skupinám, které by měly na základě svých závěrů vytvořit nová doporučení vedoucí k eliminaci rizik v energetickém průmyslu.

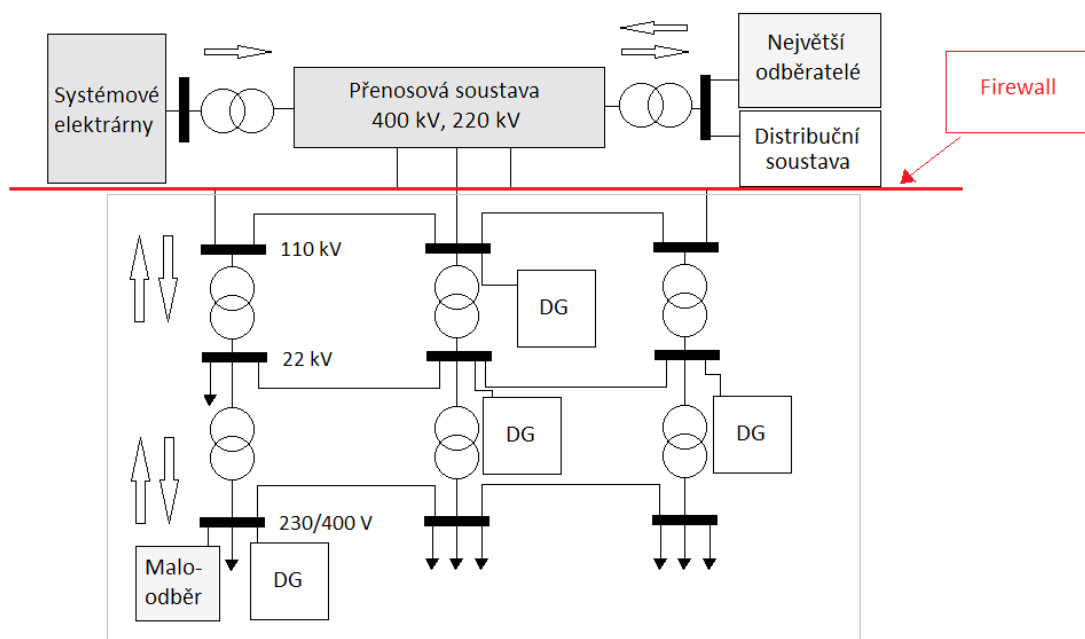


Obrázek 2. Současná pasivní distribuční soustava [2]

Elektrická soustava je standardně dimenzována podle kritéria „N-1“, což představuje schopnost udržet normální parametry chodu i po výpadku libovolného prvku (transformátor, vedení apod.). Pokud by však došlo k více poruchám najednou v klíčových místech přenosové soustavy, znamenalo by to s největší pravděpodobností výrazné narušení dodávek elektřiny a s tím spojené obtíže. S hrozbou teroristických útoků a jiných organizovaných útoků je třeba počítat v ČR stejně jako v jiných zemích EU. Největší nebezpečí přesto zůstává ve formě povodní, vichřic, orkánů, sněhových kalamit a tvorby námraz. [2], [9]

Určitým východiskem by mohlo být nahrazení současných pasivních distribučních sítí, neschopných zajistit zásobování z místních zdrojů bez absence připojení k přenosové soustavě, sítěmi aktivními, které by mohly snížit riziko dopadu poruchy na desetinu. Při současném stavu může snadno dojít kvůli většímu množství poruch najednou k destrukci celé sítě.

Právě použití aktivních sítí fungujících na principu firewallu umožní odvrátit či minimálně snížit dopady rozsáhlejší poruchy přenosové soustavy. Smyslem je uzpůsobit síť tak, aby při poruše mohla přejít na ostrovní provoz regionálních distribučních sítí. Touto technologickou platformou nazvanou „smart grids“ (chytré sítě) se již zabývají nejen v USA, ale také v EU, kde pro ni připravují legislativní cestu. Kromě ochrany obyvatelstva a majetku má toto řešení také ekonomický aspekt. Vybudování aktivních sítí je v konečném důsledku také méně náročným řešením oproti plošnému zálohování objektovými zdroji elektřiny.



Obrázek 3. Aktivní distribuční soustava [2]

Přerušení a omezení dodávky energie jsou jedněmi z nežádoucích stavů energetického systému, které je třeba akutně řešit. Je však nutno podotknout, že energetická krize nevzniká bezprostředně po přerušení dodávky energie, ale stupňuje se s prohlubující časovou prodlevou mezi výpadkem a opětovným obnovením dodávky. Těmto stavům je samozřejmě snaha předcházet a zachovat kontinuitu dodávky i během havarijních stavů elektrizační soustavy. Opatření, která by měla zvýšit spolehlivost chodu celé soustavy a snížit dopad škod, se věnuje projekt s názvem „Zvýšení odolnosti

distribuční soustavy proti důsledkům dlouhodobého výpadku přenosové soustavy ČR s cílem zvýšení bezpečnosti obyvatel“.

K rozsáhlému výpadku dodávky elektřiny může dojít postupně následkem déle trvající energetické nedostatečnosti nebo náhlou technickou poruchou na zařízení či chybou obsluhy. Zpravidla dochází k tomuto stavu, způsobeného nevyrovnanou hladinou mezi poptávkou a nabídkou elektřiny, eskalací náhle vzniklých událostí v elektrizační soustavě. Vzniklý problém je umocněn závislostí distribuční soustavy na rozpadu soustavy přenosové. „Zodolnění“ distribuční soustavy a přechod na ostrovní provoz však vyžaduje určité úpravy na těchto sítích a jejích energetických zdrojích pomocí řídicích a komunikačních systémů doplněných vhodným jištěním.

Na základě takto provedených změn je možné zajistit v režimu ostrovního provozu dodávku elektřiny subjektům kritické infrastruktury. V případě ČR lze hovořit o dvou krajních případech vzniku ostrovních provozů. Prvním z nich je odpojení vnitrostátní soustavy od evropské elektrizační soustavy a pokrytí poptávky vlastní výrobou. Druhý případ je odpojení tepláren od elektrizační soustavy, přičemž se její chod uzpůsobí k zajištění vlastní spotřeby. Aby se z blackoutu mohl stát grayout, zajišťující nezbytné množství elektrické energie dodávané nejen objektům kritické infrastruktury ale i domácnostem (alespoň v omezené míře), je třeba pro případ krize umožnit vznik veřejných ostrovních provozů založených na produkci elektřiny z místních zdrojů, nejčastěji právě tepláren. Ty (podobně i elektrárny) by se oddělily od systému s nedostatečným výkonem a kolísajícím kmitočtem a přešly by do vlastního lokálního ostrova tak velkého, aby umožňoval plynulou dodávku elektřiny uvnitř něj. Odběrná místa uvnitř ostrova by byla vybavena elektronickými (statickými) elektroměry doplněnými o zařízení omezující proudovou hodnotu vstupního jističe na technologické minimum. Toto opatření by umožnilo bezpečně řídit daný ostrov dle krizového plánu vytvořeného pro konkrétní území. Základy pro vytvoření požadavků a norem pro využívání ostrovního provozu je možno nalézt již v Pravidlech provozování distribučních soustav. [2]

1.3 Opatření eliminující dopady rozsáhlého výpadku elektrické energie

Výpadek dodávky elektrické energie většího rozsahu při poruše přenosové, respektive distribuční soustavy – blackout byl již částečně popsán v kapitole výše spolu s možností zmírnění jeho následků, které mohou mít velmi vážný dopad na průmysl, ekonomiku, zdraví a někdy také na lidské životy. Hrozba blackoutu je stále poměrně reálná a je jednou z „nočních můr“ současné společnosti na elektřině tak závislé.

V posledních letech dochází také v Evropě (včetně ČR) k několika kritickým situacím, mnohdy způsobenými povětrnostními podmínkami (orkány Kyrill 2007, Emma

2008 a Herwart 2017). Chytré sítě, jež by mohly následky těchto stavů eliminovat, však nejsou doménou pouze Spojených států. V České republice vzniklo řešení vyplývající z výsledku projektu 2A-1TP1/065, na němž se kromě několika firem podílelo i Ministerstvo průmyslu a obchodu. Navržený systém by měl být schopen dopady blackoutu eliminovat a snížit možné škody. Řešení vychází z myšlenky řízené dodávky elektřiny pro vybrané spotřebitele a spotřebiče, jež je nutno zásobovat elektrickou energií v podstatě neustále (banky, nemocnice, vodárny, ústředny,...) a současné odpojení spotřebitelů, kteří nejsou na dodávce elektřiny životně závislí. Během testů tohoto zařízení, které bylo odzkoušeno v reálném provozu v září 2011, se potvrdila schopnost přepojit elektrickou síť tak, aby vytvořila samostatný ostrov, jenž je schopen svými zdroji pokrýt nejkritičtější odběrná místa (zahrnutá v krizovém plánu) a dokonce navíc zásobovat v omezené míře domácnosti automaticky převedené na nižší spotřebu (tj. jsou napájena jen čerpadla, topení, komunikační prostředky,...).

K otestování funkčnosti projektu byla využita čistička odpadních vod v Českých Budějovicích, kde byly nainstalovány veškeré potřebné technické prostředky. Při detekci poruchy, která byla samozřejmě simulovaná, došlo během 0,2 s prostřednictvím rozpadové automatiky k odpojení čistírny od sítě a převedení napájení elektřinou z místní bioplynové stanice na ostrovní provoz. Současně byla odpojena zařízení s nižší prioritou, aby stanice dokázala energií zásobit kritické systémy. Díky tomu je možné omezit spotřebu zbytných spotřebičů na nezbytně nutnou dobu a zachovat téměř plynulý chod, bez celkového výpadku. Jednou z hlavních rolí ostrovních provozů hrají i „chytré“ elektroměry, regulující spotřebu zákazníka, čímž udržují ostrovní režim v chodu a předchází rozpadu vytvořené ostrovní sítě.

Kromě výše uvedeného projektu 2A-1TP1/065, vznikly v minulých letech také projekty 2A-2TP1/003 – „Výzkum možnosti posílení startů ze tmy pro zvýšení spolehlivosti a odolnosti provozu elektrizační soustavy ČR“ a VD20072008A05 – „Systémové řešení nouzového zásobování elektřinou v případě krizových stavů“ (projekt řešen pod dohledem Ministerstva vnitra). Smyslem těchto projektů bylo minimalizovat dopady výpadku hlavních energetických zdrojů na obyvatelstvo a zachovat jeho alespoň částečnou „funkčnost“ využitím lokálních energetických zdrojů (nejčastěji tepláren, vodáren, bioplynových stanic, atd.) za spolupráce provozovatelů distribučních sítí schopných regulovat maximální odběr konečných spotřebitelů. [3], [5]

Přes všechny snahy o snižování množství výpadků dodávek elektřiny způsobených chybou přenosových či distribučních soustav, zůstává riziko přerušení stále vysoké a nejúčinnějším řešením chránícím před negativy setrvává nepřetržitý napájecí zdroj, chránící používané zařízení před poškozením nebo neočekávaným vypnutím. Záložnímu zdroji (UPS) se věnuje následující kapitola.

2 Nepřetržitý napájecí zdroj – UPS

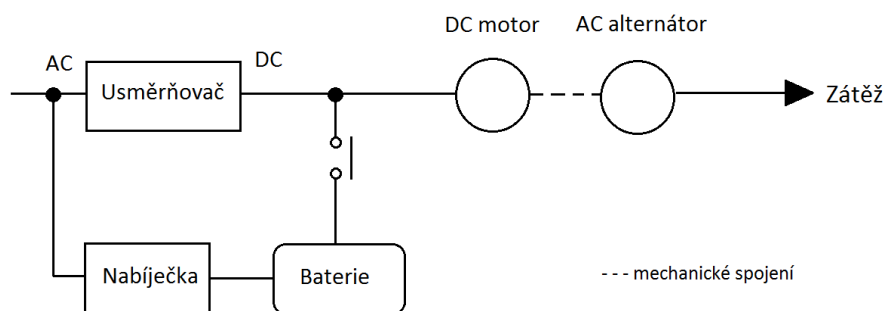
Hlavním smyslem nepřetržitého napájecího zdroje (UPS) je napájet požadované zařízení, u kterého by byť jen dočasné přerušení dodávky elektrické energie způsobilo problémy či rizika pro jeho uživatele či došlo přímo k poškození tohoto zařízení. V menším měřítku se může jednat např. o počítačový systém, který musí být po přerušení napájení v činnosti dostatečně dlouho na to, aby si sám, případně prostřednictvím uživatele dokončil rozdělanou činnost a vyhnul se riziku ztráty dat. Ve větším měřítku se může jednat o zálohu datového nebo řídicího centra či operačního sálu.

Zároveň UPS nabízí v mnoha případech ochranu citlivé elektroniky před kolísáním kvality dodávek elektrické energie a to ať už se jedná o přepětí nebo naopak pokles napětí v rozvodné síti. Tento zdroj tak uživateli poskytne nejen drahocenný čas „navíc“ po výpadku elektrické energie dodávané ze sítě, ale zároveň ochrání elektroniku před vážným poškozením.

2.1 Historie záložních zdrojů a jejich použití

S narůstající spotřebou elektrické energie a naší závislosti na ní, narůstala ruku v ruce potřeba spolehlivosti napájecích zdrojů pro používaná elektrická zařízení. Poptávka po nepřetržitých napájecích zdrojích nebyla zpočátku nikterak velká a byla vedena především uživateli, hledajícími bezpečnou a čistou dodávku elektřiny, z řad technických oborů.

V 50. letech minulého století, kdy se na trhu objevily první nepřetržité zdroje napájení (UPS) – tehdy rotační konstrukce, byl vývoj těchto zařízení podmíněn především armádními požadavky na nepřetržitý chod komunikačních a radiolokátorových prostředků. Nejspíš tak došlo pouze k navázání na předchozí pokusy s nepřetržitými zdroji napájení započaté během Druhé světové války.



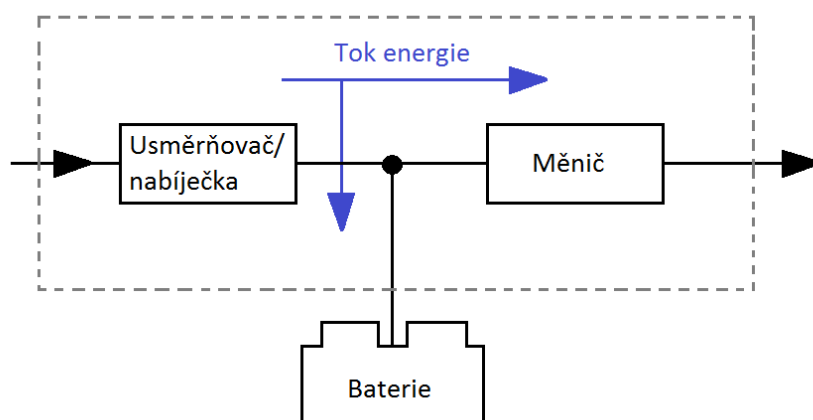
Obrázek 4. Schéma zapojení DC motoru se záložní baterií [46]

V té době bylo zkoušeno a testováno několik různých možností zapojení nepřetržitého zdroje napájení. Jednou z možností byla dodávka elektrické energie přes usměrňovač do DC motoru, který následně poháněl generátor střídavého proudu. Při ztrátě energie ze sítě převzala úlohu zdroje baterie, která poháněla generátor, čímž zajistila nepřetržité napájení.

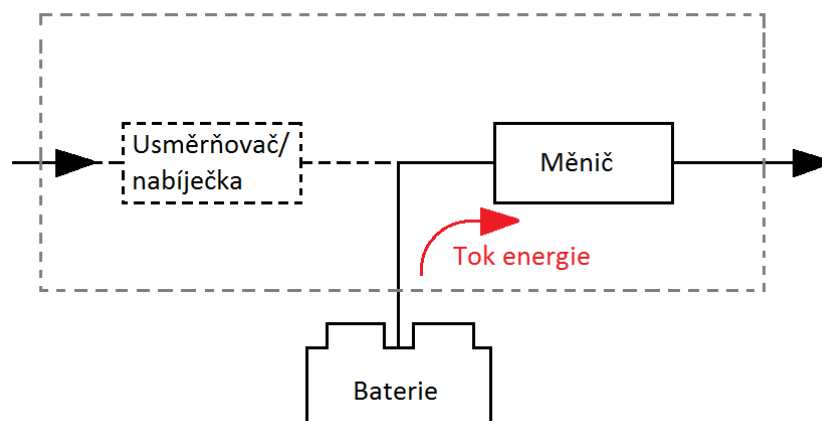
Kromě selenovových (a rtuťových) usměrňovačů napájení užívaných v počátcích v systémech UPS, se s příchodem nových možností na začátku 60. let začaly využívat usměrňovače z křemíku a germánia. Ty již kromě kompaktnějších rozměrů nabízely i větší účinnost. Nahrazení rtuťového usměrňovače řízeným křemíkovým (tyristorem) znamenalo další krok směrem ke zrodu statických UPS.

Nutno podotknout, že až se zlepšením kvality výroby samotných tyristorů s postupem let, mohly statické systémy díky svým vlastnostem vystřídat na čelní pozici do té doby používanější rotační systémy. Pro úplnost je třeba dodat alespoň několik klíčových parametrů, ve kterých právě statické systémy vykazovaly lepší hodnoty. Účinnost narostla z průměrných 86 % u rotačních systémů na 88 % u statických. Použití tyristoru znamenalo zmenšení zařízení o 20 %. Nezanedbatelné nejsou ani nižší hladiny intenzity zvuku, které spadly z 94 dBA na o něco snesitelnějších 72 dBA (Hluk je zapříčiněn systémy běžících ventilátorů, ochlazujících UPS při průchodu velkého proudu filtry a při vznikajícím teplu během samotného nabíjení akumulátoru. Případně je hluk způsoben usměrňovačem napětí, vytvářejícím slyšitelný charakteristický hluk na frekvencích střídavého napětí (v Evropě 50 Hz) při nabíjení akumulátoru.).

Nejpodstatnějším přínosem však byla vyšší spolehlivost a s tím spojené nižší náklady na údržbu. Na schématech níže jsou zobrazeny záložní zdroje v různých režimech – při normálním provozu a při výpadku proudu.



Obrázek 5. UPS při normálním provozním režimu [46]



Obrázek 6. Nouzový režim na baterii [46]

Při normálním provozu ze sítě je energie dodávána přes usměrňovač/nabíječku do měniče a dále do zařízení. Pokud dojde ke ztrátě energie dodávané ze sítě, přebírá úlohu hlavního napájecího zdroje baterie a přes usměrňovač/nabíječku v ten okamžik energie neprochází. [46]

V polovině 70. let došlo k dalšímu zefektivnění a zkvalitnění použitelnosti UPS. Díky použití staticky spínaných by-pass systémů bylo možno zajistit hladký nepřerušovaný přechod na dodávku energie z rozvodné sítě při poruše UPS (v závislosti na topologii UPS, která takové přepnutí umožňuje). Kdykoliv tedy z nějakého důvodu pokleslo výstupní napětí záložního zdroje, bylo možno přepnout na hlavní napájení. Kromě zvýšení spolehlivosti, vyřešil by-pass systém problém s úbytkem napětí způsobeným zátěží při spouštění motoru. [24], [46]

Statické a rotační systémy se dále vyvíjely v podstatě současně. U rotačních systémů byly nahrazovány elektromechanické relé logickými obvody, docházelo postupně k vylepšování ovládacích prvků a dalších komponentů – usměrňovačů, alternátorů, měničů (invertorů) a motorů. Pozdější konstrukce statických systémů inklinovaly k využívání měničů s pulsní šířkovou modulací se spínáním tyristorů nebo tranzistorů. Vyšší frekvence spínání snížila velikost a hmotnost indukčních prvků. Postupně docházelo rovněž k úbytku ovládacích prvků, které byly nahrazeny menším množstvím tlačítek a kontrol. Všechny tyto změny na záložních zdrojích měly za cíl zvýšit jejich účinnost při snaze o zmenšení velikosti prostoru, který by zabíraly a samozřejmě také snížit náročnost obsluhy i samotné instalace, což v konečném součtu znamenalo nejen uživatelsky příjemnější zařízení, ale ve své podstatě se stalo také jednodušším.

Na přelomu 80. a 90. let se staly běžnou součástí nových UPS bezúdržbové olověné baterie, které měly zpřístupnit používání záložních systémů širšímu spektru uživatelů díky své provozní nenáročnosti a cenové dostupnosti. Bylo tak možné mít UPS

v menším měřítku a v přímém dosahu (stolního) počítače. Někteří výrobci počítačů měli dokonce snahu začlenit zařízení UPS přímo do svých vlastních skříní.

Instalace UPS zajišťuje nejen kontinuitu napájení, ale eliminuje i rušení způsobené neustálým spínáním těžkých strojů. Ačkoliv hlavní podíl trhu patřil počítačům a komunikačním zařízením, postupně se využití UPS rozšiřovalo na další oblasti. Jednou z nich byla automatizovaná výroba, při které bylo nutné zajistit pro stroje kvalitní dodávku energie. Počátkem 90. let narůstala poptávka po záložních zdrojích, které by napájely rovněž stolní počítače nebo textové editory. S přibývajícím množstvím stolních počítačů a možností jejich uplatnění v různých databázích, lékařských ordinacích, bankách a dalších pracovištích, rostla i poptávka po záložních zdrojích k těmto počítačům. [46]

2.2 Architektury UPS

V současnosti jsou systémy UPS běžně používány v nejrůznějších podobách a aplikacích. S narůstající oblibou spotřebitelů docházelo k rozmachu záložních zdrojů a rozšiřující škále nabízených modelů. Dostupné jsou jak jednofázové (200 VA až 50 kVA), tak třífázové (10 kVA až 4000 kVA). Účinnost systémů UPS je poměrně vysoká, v závislosti na typu se ztráty energie pohybují v rozmezí 3 – 10 %. V jejich rozdělení však panoval po dlouhou dobu poněkud chaos, což znesnadňovalo orientaci uživatelů mezi jednotlivými typy těchto zařízení a dokonce vytvářelo prostor pro nekalé obchodní praktiky. Zatímco v 70. letech byl běžně používaný termín pro tehdejší UPS „on-line“, v letech 80. k ní navíc přibyl protiklad „off-line“. Ani jeden z termínů nevystihoval použitou architekturu, šlo spíše o vzájemné odlišení než korektní popis.

Přesnějším rozdělení architektur UPS a zklidnění tohoto trhu napomohl až vznik normy IEC 62043-3, respektive EN 50091-3 na přelomu tisíciletí. Norma rozlišuje tři třídy UPS vycházejících ze závislostí výstupních napětí a frekvencí na vstupních parametrech. V praxi se častěji používá klasifikace dle vnitřní struktury. [24], [35]

VFD – Voltage and Frequency Dependent (výstupní napětí a frekvence závislá na elektrické síti) běžněji označovaná jako pasivní záloha (passive standby).

VI – Voltage Independent (výstupní napětí nezávislé na elektrické síti) známější pod označením interakce se sítí (line interactive).

VFI – Voltage and Frequency Independent (výstupní napětí a frekvence nezávislá na elektrické síti) je dvojitá konverze (double conversion).

Tabulka 2. Klasifikace a vlastnosti standardních tříd UPS [35]

Klasifikace EN 50091-3	VFD	VI	VFI
	Pasivní záloha	Interakce se sítí	Dvojitá konverze
Provozní náklady	nejnižší	střední	nejvyšší
Regulace napětí	žádná	omezená	Ano
Regulace frekvence	žádná	žádná	Ano
Doba přepnutí	krátká	nulová	nulová

Tabulka 3. Základní poruchy - klasifikace UPS [35]

UPS Klasifikace						
Základní problém		Čas	IEC 62040-3			UPS řešení
1.	Výpadek napájení	> 10 ms	VFD	VI	VFI	Třída 3
2.	Zborcení (sag)	< 16 ms				
3.	Výkonová špička	< 16 ms				
4.	Podpětí	Spojité	-			Třída 2
5.	Přepětí	Spojité	-			
6.	Spínací přenos	Nespojitý	-	-		Třída 1
7.	Výkonová špička	< 4 ms	-	-		
8.	Frekvenční změna	Nespojitý	-	-		
9.	Napěťový „burst“	Periodický	-	-		
10.	Harmonické zkreslení	Spojité		-		

Tabulky výše přehledným způsobem ukazují rozdělení jednotlivých tříd běžně používaných UPS systémů a jejich hlavních vlastností, kterými se od sebe odlišují. [35]

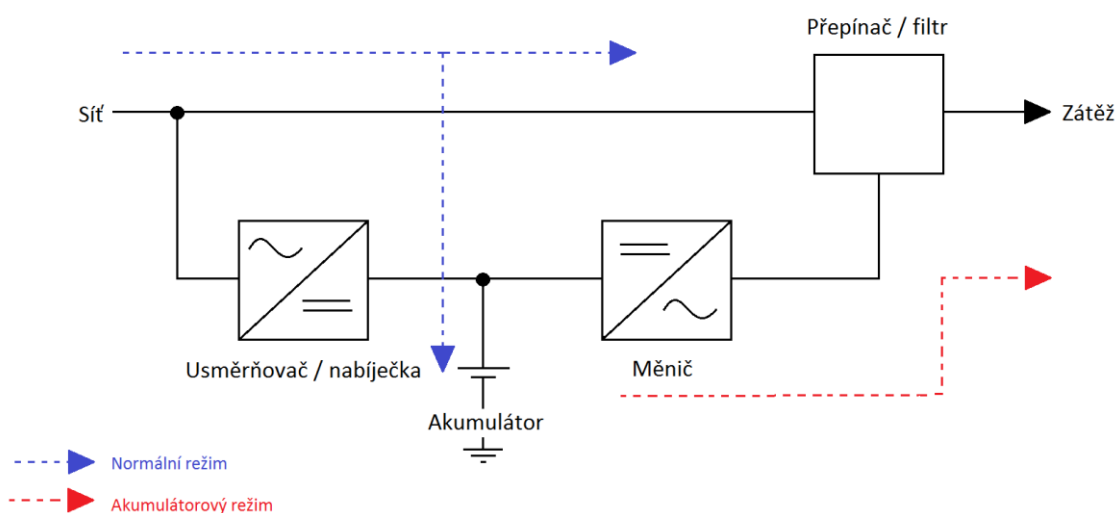
2.2.1 Pasivní záloha (Passive standby)

UPS architektury pasivní zálohy patří k těm nejdostupnějším a nejjednodušším typům záložních zdrojů, což je ostatně patrné i z předcházející tabulky 2. Pracují ve dvou provozních režimech. Při běžném provozu je napájení zajištěno z elektrické sítě přes filtr případně přes kompenzátor. Průchod napětí může být do určité (velmi omezené) míry regulován, stejně tak je možné eliminovat část poruch. Nabíjecí proud pro baterii poskytuje usměrňovač.

Při přechodu na akumulátorový režim prochází energie z baterie přes měnič. Přechod z „normální“ na „akumulátorovou“ energii nastává v okamžiku poklesu

napájecího napětí ze sítě či při jejím úplném výpadku. Zpravidla se jedná o dobu kratší než 10 ms. Napájení z baterie trvá tak dlouho, dokud nedojde k ukončení důležitého procesu, většinou bezpečného ukončení systému, případně až do doby obnovení napájení ze sítě či vybití akumulátorů. Nedá se obecně říci, jak dlouhý může být standardní běh na záložní baterie, protože to závisí na typu použitého akumulátoru, typu a množství článků a jejich celkové kapacitě.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, jedná se o nejjednodušší ze standardních topologií UPS. Vedle řady výhod, mezi které patří kompaktnost, jednoduchost, pořizovací a provozní náklady, existuje rovněž řada negativ. Není téměř možné regulovat výstupní napětí natož výstupní frekvenci. Dalším negativem je absence izolace zátěže (tj. napájeného zařízení) od vstupního distribučního systému. Zároveň dochází k prodlevě při přepnutí mezi normálním stavem a chodem na baterii, což neumožňuje bezpečné použití např. pro náročnější IT systémy (počítačová centra), telefonní ústředny apod. Tato architektura je obdobou off-line konfigurace a je vhodná pro napájení zařízení o výkonu nepřesahujícím 2kVA. [24], [35]



Obrázek 7. UPS typu Pasivní záloha

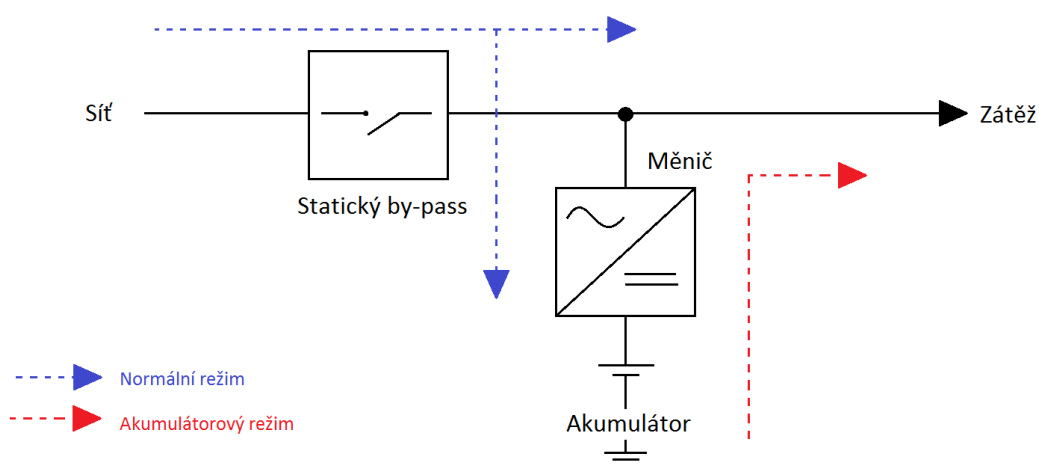
2.2.2 Interakce se sítí (Line interactive)

U následující topologie je měnič připojen paralelně a je obousměrný, díky čemuž je v interakci ze sítě. Když není přerušeno napájení ze sítě a je nabíjena baterie, funguje měnič jako usměrňovač. Line interactive UPS má tři provozní režimy. V normálním režimu je zátěž napájena upraveným výstupním napětím prostřednictvím paralelně připojeného statického přepínače. Práce měniče spočívá v nabíjení baterie a úpravě výstupního napětí. Výstupní frekvence se rovná frekvenci sítě.

V akumulátorovém režimu, tzn. od chvíle přerušení dodávky energie ze sítě či poklesu vstupního napětí, je zátěž napájena energií z baterie prostřednictvím měniče. Statický spínač sepne a zabrání tak zpětnému toku energie z měniče odpojením vstupního napájecího napětí.

UPS typu Interakce se sítí nabízí od předchozí architektury ještě třetí režim – by-pass, tzv. přemostění (obchvat), který umožňuje napájení (zátěže) požadovaného zařízení přímo prostřednictvím síťového napětí v případě poruchy UPS či při provádění servisního zásahu.

Tato topologie je méně nákladnou oproti topologii s dvojitou konverzí avšak má i své nevýhody. Jednou z nich je nemožnost měnit frekvenci nezávisle na frekvenci sítě. Ochrana vůči přepětí v síti je rovněž nedostatečná. Podobně jako u pasivní zálohy chybí izolace zátěže od vstupního rozvodného systému. [24], [35]



Obrázek 8. UPS typu Interakce se sítí

2.2.3 Dvojitá konverze (Double conversion)

Poslední ze tří základních topologií UPS je dvojitá konverze. Stejně jako u předchozí interakce se sítí nabízí tři provozní režimy. Oproti ní však prochází energie ze sítě do zátěže přes sériově napojený měnič.

V normálním režimu prochází proud do zátěže (napájeného zařízení) přes kombinaci usměrňovače/nabíječky – invertoru a postupně se mění ze střídavého na stejnosměrný a znovu zpět na střídavý proud. Název topologie dvojitá konverze plyne právě odtud.

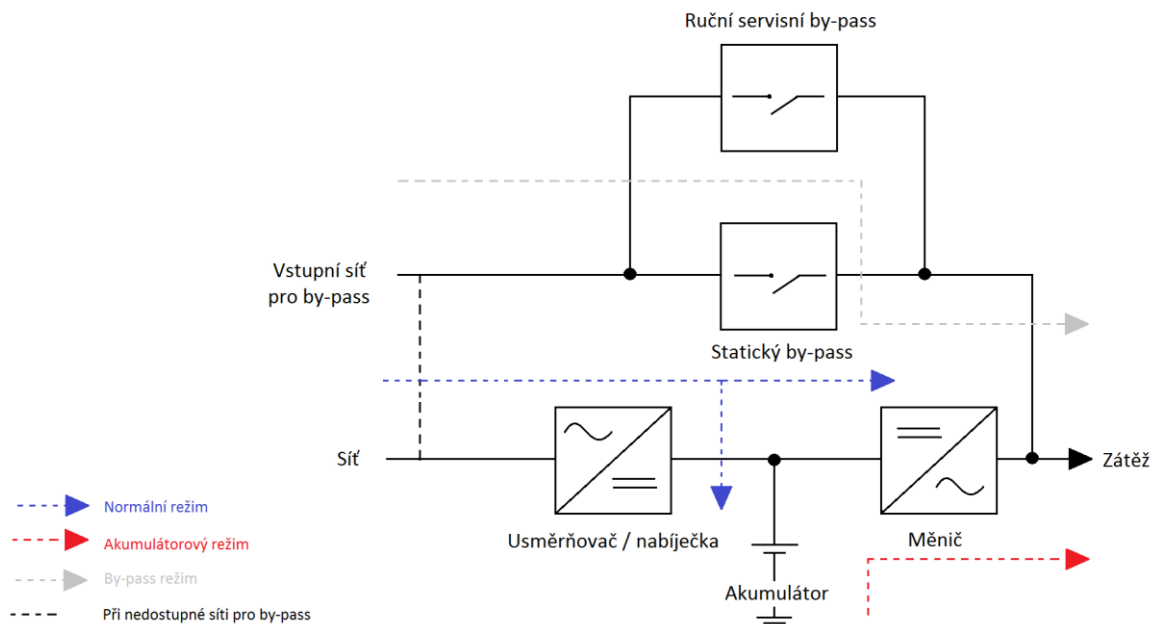
Při provozu na akumulátor je opět jako u předchozích architektur energie do zátěže dodávána přes měnič z baterie. Tato topologie je ideální pro citlivé zátěže,

protože zajišťuje nulovou dobu přepnutí. Návrat do normálního režimu nastává v okamžiku dokončení zálohování systému či obnovení počátečních podmínek před přerušením napájení ze sítě.

V by-pass režimu, tzn. při přetížení, poruše UPS či vybití akumulátoru, připojuje statický spínač zátěž přímo do sítě. Servisní by-pass se spíná ručně a slouží při údržbě UPS.

Oproti předchozím architekturám UPS je dvojitá konverze o něco méně účinná a vyžaduje vyšší provozní náklady. Naproti tomu poskytuje velmi dobrou izolaci zátěže od vstupního rozvodného systému, tedy chrání před přepětím či napěťovými špičkami v síti. Přepnutí do akumulátorového i by-pass režimu probíhá bez přerušení. Dvojitá konverze umožňuje přesně regulovat výstupní napětí i přes odlišné hodnoty vstupního napětí. Nezanedbatelnou výhodou je rovněž přesná regulace výstupní frekvence.

Topologie využívající dvojitou konverzi poskytuje ze tří výše zmíněných topologií nejúčinnější ochranu zátěže, krom toho umožňuje regulovat výstupní napětí i frekvenci nezávisle na vstupních parametrech. Přepínání mezi režimy, zejména mezi normálním a by-pass režimem, umožňuje tato konfigurace zcela bez přerušení pomocí statického spínače. Všechny zmiňované výhody předurčují tuto konfiguraci k ochraně kritických aplikací středních a vysokých výkonů (od 10 kVA). [24], [35]



Obrázek 9. UPS typu dvojitá konverze

UPS typu dvojitá konverze díky mnoha svým výhodám patří k nejprodávanějším typům UPS v kategorii středních a vysokých výkonů. I přes nedostatky ostatních

architektur je třeba zmínit, že výběr architektury se odvíjí jak od požadavků připojené zátěže (napájeného zařízení), tak od účelu, pro který bude používána. Lze tedy říci, že aplikace dvojité konverze nemusí být v daném případě (při zohlednění např. ekonomických požadavků) vždy nejlepší volbou. [24]

2.3 Účinnost záložních zdrojů

Každá ze jmenovaných topologií má svá pozitiva a negativa, která jsou dána vlastnostmi jednotlivých zařízení vycházejících z těchto architektur. Jedním z důležitých parametrů záložních zdrojů je jejich účinnost. Pokud UPS pracuje s nižší energetickou účinností, spotřebuje více energie (kterou přemění v teplo) a tím více je třeba takový zdroj chladit. Navíc vyšší pracovní teplota negativně působí na životnost použitých součástek, čímž nejen klesá životnost zařízení jako celku, ale rovněž jeho celková účinnost.

Naopak čím pracuje účinněji, tím méně tepla vytváří a tím lépe využívá drahocennou energii (zejména v případě bateriového napájení). Právě tento fakt je třeba brát v úvahu jak při výběru hotového zálohovacího zařízení, tak při jeho návrhu.

Během posledních několika let docházelo k postupnému zvyšování účinnosti záložních zdrojů a tím i snižování energetických ztrát. V 80. letech minulého století dosahovala účinnost nejlepších zařízení 75 až 80 %. Za další dekádu se jejich efektivita zvedla v průměru o 10 % a na přelomu tisíciletí se efektivita zvedla dokonce na 94 %. Další nárůst už přece jen nedosahoval strmosti nárůstu jako v letech předešlých. Přesto bylo díky novým technologiím a optimalizaci jednotlivých součástí dosaženo 97% až 99% účinnosti. Do jisté míry se na tom podepsal také tlak způsobený nárůstem cen energií a požadavky trhu na cenově přijatelnější a efektivnější provoz záložních zdrojů. [34]

Energetickou účinnost nejvíce ovlivňují dva faktory. Provozní režim, ve kterém záložní zdroj pracuje, a jeho samotná konstrukce. Záložní zdroje s architekturou pasivní zálohy nebo interakce se sítí dosahují vyšší účinnosti (98 %) oproti topologii s dvojitou konverzí (93 %). Na trhu se v poslední době častěji objevují systémy, které dokáží výhody těchto obou skupin kombinovat. Jedná se o UPS nejnovějších generací umožňující tzv. multi-modový provoz (někdy označovaný jako „eco-mode“ či režim s vysokou účinností). Princip spočívá v přepínání mezi jednotlivými režimy.

Při standardních podmínkách provozu pracuje záložní zdroj v ekonomickém režimu. Stabilizuje napětí v bezpečných mezích. Pokud dojde k výkyvu hodnot vstupního napětí natolik, aby to mohlo ohrozit zařízení napájené pomocí UPS, dojde k automatickému přepnutí do režimu dvojité konverze. V případě úplného výpadku napájení nebo trvalé nepravidelnosti napájení použije zařízení pro dodávku energie akumulátor. V tomto režimu pracuje až do okamžiku obnovení napájení ze sítě. O vyšší efektivitě lze mluvit taktéž v souvislosti s většími moduly UPS, protože na rozdíl od těch

menších je energie spotřebovávána ovládací elektronikou a pomocnými komponenty vzhledem k celkovému příkonu procentuálně menší. (UPS modul s výkonem kolem 500 kW bude energeticky účinnější, než modul s výkonem 5kW při stejné konstrukci.) [13], [34]

2.4 Doba zálohování

Než se začne řešit otázka, jak dlouho bude schopen záložní zdroj zálohovat požadované zařízení, je nutno určit, která zařízení budou napájena a jaké jsou jejich požadavky. Podle toho vybrat topologii, typ energetického zdroje a jeho jmenovitý výkon. Většina elektronických zařízení není v praxi zatěžována na jmenovitý výkon, ale na výkon o něco nižší. Tento rozdíl představuje jakousi rezervu, kterou je možno využít, pokud zařízení pracuje ve vyšších než jmenovitých parametrech nebo když dojde k jeho rozšíření. V praxi se často doporučuje instalovat UPS o výkonu o 50 až 80 % větším, než je současná známá velikost zátěže. Tento postup je vhodný zejména u záložních zdrojů, u kterých se do budoucna předpokládá jakékoliv rozšíření. Požadavkům na rozšiřování velikosti zátěže se nejlépe přizpůsobují tzv. modulární UPS. Tyto zdroje jsou konstruovány jako stavebnice z jednotlivých modulů. Lze je nakonfigurovat dle potřeby a případně kdykoliv rozšířit.

Z vyplývajících energetických požadavků (nároků napájeného zařízení) je možno stanovit dobu zálohování. Tj. dobu chodu UPS napájené vlastním energetickým zdrojem po výpadku napájení z elektrorozvodné sítě. Standardní doba zálohování záložních zdrojů s akumulátorovou baterií je obvykle 5 až 10 minut. Tento časový interval se používá pro záložní zdroje napájející jak třeba kancelářskou techniku, tak zdravotnickou techniku, která po uplynutí tohoto relativně krátkého okamžiku, bude dále napájena prostřednictvím hlavního nouzového zdroje napájení (obvykle diesel generátoru). Doba zálohování se dá samozřejmě navýšit. Buď výběrem energetického zdroje s vyšší kapacitou, nebo dodatečným připojením přídatné baterie (umožňuje-li to UPS). Doba, po kterou bude UPS s plně nabitou baterií zálohovat dané zařízení, lze vypočítat ze vztahu:

$$T = \frac{10 \cdot C}{P} \quad [\text{hod.}] \quad (1)$$

kde T je doba zálohování v hodinách, C je kapacita akumulátoru v Ah a P [W] je příkon zařízení.

Ze znalosti odebíraného proudu zátěží (v ampérech) a požadované doby zálohování (v hodinách) lze součinem těchto hodnot získat hrubý odhad potřebné kapacity akumulátoru. Jedná se samozřejmě o nepřesný výsledek, neboť nelze

opomenout samotnou spotřebu záložního zdroje (řídící, signalizační obvod, apod.). Dále třeba vzít v potaz celkovou účinnost UPS (závislá na typu měniči, použité topologii...).

V úvahu je však třeba brát také fakt, že skutečná kapacita baterie postupně klesá s jejím zvyšujícím se stářím a počtem nabíjecích cyklů, které za léta své působnosti absolvovala. Životnost gelových plynatěsných bezúdržbových akumulátorů (běžně používaných v UPS) se pohybuje od 3 do 10 let. [32], [72]

3 Energetické zdroje užívané v UPS

Podobně jako jsou pro určitý účel konstruovány různé architektury UPS, liší se vhodnost použití energetických zdrojů v závislosti na délce předpokládaného výpadku proudu. Většina výpadků je krátkodobých a pohybuje se v rozmezí sekund. K těmto druhům výpadků může dojít např. vlivem působení atmosférických výbojů. Zároveň však dochází např. z důvodu poškození zařízení v síti k dlouhodobějším výpadkům v řádech minut, hodin, ale třeba i dní. Ať už se jedná o krátkou nebo delší dobu překlenutí absence dodávky energie ze sítě, zůstávají základní požadavky na zdroj shodné. Jedná se zejména o nízkou úroveň samovybíjení, účinnou akumulaci energie, rychlé dobíjení, rychlé uvolňování energie, nízké provozní náklady a vysokou spolehlivost. [35]

Pro statické systémy UPS je běžné uskladňování energie v sekundárních bateriích. Kromě baterií existují i další možnosti akumulace energie. Jednou z nich je použití supravodivých akumulátorů se supravodivou cívkou v kapalném heliu nabíjenou v případě UPS přes usměrňovač. Uváděná denní ztráta cirkulace proudu je 0,3 kWh. Při poklesu síťového napětí je takovýto akumulátor schopen po nezbytně nutnou dobu dodávat výkon až 1 MW. O něco větší supravodivé akumulátory SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) vykazaly během experimentálního použití a milionu nabíjecích cyklů účinnost přes 95 %. [70]

Další možnosti akumulace energie nabízí setrvačníky, superkondenzátory případně zásobníky stlačeného vzduchu – CAES (Compressed Air Energy Storage). Energetické zdroje doplňují fosilní paliva přeměněná na elektrickou energii ve spalovacích motorech (generátorových soustrojích). [35], [39]

3.1 Sekundární články – akumulátorové baterie

Ač se od sebe UPS liší použitými architekturami, výběrem součástek a celkovým zpracováním pod taktovkou různých výrobců, jedno zůstává společné – baterie. Volba jejich typu je nejčastěji na straně dodavatelů zařízení. Parametry baterie jsou však klíčové zejména pro koncového uživatele, který si záložní zdroj může vybírat právě na základě použitých akumulátorů a jejich pozdějších nároků na údržbu, životnost a s tím i spojené servisní náklady. Baterie jsou přitom jednou z nejdůležitějších a zároveň i nejméně spolehlivých komponent celé sestavy UPS. Jejich náchylnost k poruše vychází z použité výrobní technologie. Akumulátor tvoří ve většině případů uzavřený blok, uvnitř jehož vnější schránky probíhá neustálá elektrochemická reakce ovlivňovaná řadou vnějších faktorů. V současnosti jsou nejpoužívanějšími akumulátory uzavřené olověné baterie s gelovým separátorem. K dosažení požadovaného výstupního napětí jsou baterie sériově propojovány do větších celků. [14], [35]

Kromě výše popsaných olověných baterií (obvykle stacionárních), u nichž není podstatným parametrem hmotnost a jejich pořizovací náklady jsou nižší než u ostatních typů akumulátorů, jsou v tabulce níže zobrazeny i další běžně používané typy.

Tabulka 4. Hlavní typy sekundárních baterií a některé jejich vlastnosti [35]

	Olověný	NiCd	NiMH	Li-ion
Cena	nízká	střední	vysoká	Velmi vysoká
Koncentrace energie [Wh/kg]	30	50	75	100
Napětí na článek [V]	2.27	1.25	1.25	3.6
Počet nabíjecích cyklů	200 - 2000	1500	500	300 - 500
Samovybíjení	malé	střední	velké	malé
Min. doba dobíjení [h]	8 - 16	1.5	2 - 3	3 - 6
Nebezpečí pro životní prostředí	velké	velké	malé	velké

Sekundární baterie se používají nejen v systémech UPS, ale také u některých dieselelektrických agregátů či jako samostatné jednotky pro napájení nouzového osvětlení, bezpečnostních, telekomunikačních a počítačových zařízení. Baterie jsou používány především k napájení zatížení (napájeného zařízení) využívající stejnosměrný proud nebo zatížení umožňující napájení oběma typy proudů – třeba právě zmiňované osvětlení. Pro nabíjení zátěží vyžadující střídavý proud jsou baterie připojeny k DC/AC měniči.

Existují dvě základní konstrukční filozofie zapojení akumulátorů. V prvním je zátěž napájena z elektrické sítě do doby jejího výpadku a poté dochází k přepnutí na záložní zdroj napájení – baterii. V tom druhém je zátěž napájena z baterie, která je neustále dobíjena z elektrické sítě kdykoliv je to možné.

Kapacita baterie musí být dostatečně velká, aby mohla pokrýt dobu, po kterou není k dispozici napájení ze sítě či zajistila potřebný „čas navíc“ k dokončení rozběhlých procesů a umožnila je bezpečně ukončit. Příkladem výše zmíněného použití může být UPS používaná pro osobní počítače. V případě výpadku napájení ze sítě dokáže baterie v UPS dodávat potřebnou energii počítači obvykle do 10 min, tedy doby dostatečně dlouhé na to, aby bylo možno bezpečně uzavřít používané programy, ukončit systém a vypnout zařízení. Tento proces se může odehrát prostřednictvím uživatele, který po akustickém upozornění UPS sám ukončí rozdělané úlohy nebo přímo pomocí UPS, je-li pro tuto činnost navržena.

Obecně platí, že doba nabíjení baterie je mnohem delší než lhůta, kterou poskytne při vybíjení. Systém by však měl být navržen tak, aby plně vybitá baterie mohla být opět dobita do 6 hodin. [35]

3.2 Palivové články

O palivových článcích, jež byly objeveny už v roce 1839 Williamem Grovem, se často hovoří jako o „technologii budoucnosti“. Většího uplatnění se palivovým článkům dostalo v 60. letech 20. Století, když je NASA použila k napájení vesmírných modulů Apollo a Gemini.

Zjednodušeně řečeno je možné palivové články přirovnat ke generátorům. S tím rozdílem, že se obejdou bez pohyblivých částí a produkovaného hluku (jako je tomu u jednotek se spalovacími motory), protože je energie chemickou reakcí uvolňována ve formě elektronů. Tento proces výroby energie je taktéž účinnější (u spalovacího motoru je účinnost uváděna mezi 25 – 50 % ve srovnání s palivovými články dosahujícími až 70 %). [45], [48], [53], [65], [71]

V dnešní době je možné si zvolit z nejrůznějších nabízených řešení podle potřeby koncového uživatele. Klíčovými vlastnostmi systémů využívajících palivových článků je minimální nutnost údržby, tichý a bezpečný provoz umožňující instalaci uvnitř budov. V kontrastu se spalovacími motory, produkující výfukové plyny, které je třeba odvádět, je odpadním produktem palivového článku pouze teplo a vodní pára, což představuje významné snížení emisí.

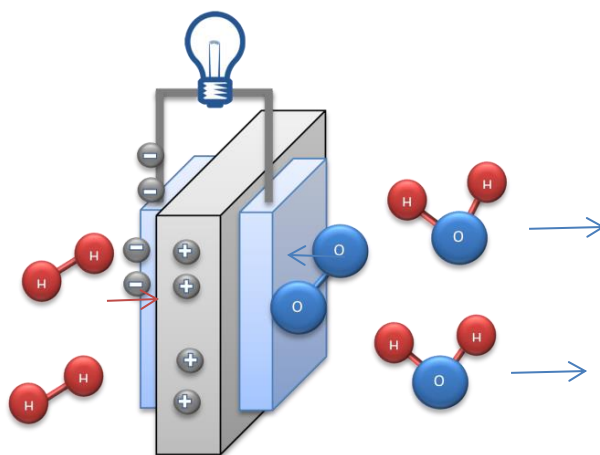
Právě výčet těchto kladů může mít zásadní vliv při rozhodování jaký energetický zdroj pro záložní systém zvolit. Byť jsou generátory se spalovacími motory z hlediska vynaložených nákladů poměrně efektivními zdroji (a zatím ve většině případů levnější variantou), může je právě limitovat zmiňovaná hlučnost a vypouštěné emise, které mohou být nežádoucím vedlejším efektem, se kterým se koncový uživatel nechce nebo nemůže vlivem nejrůznějších okolností vyrovnat. Dopadem úředních zásahů a vzniku nových vyhlášek omezujících provoz spalovacích motorů ve městech mohou být dodatečné úpravy (katalyzátory, zvukové pláště, apod.) vyžadující „ekologické“ a legální použití těchto zařízení poměrně nákladnou záležitostí přibližující se konečnou cenou instalaci palivových článků. [53], [55]

Ačkoliv se jednotlivé typy palivových článků navzájem liší použitým materiálem elektrod, elektrolytem, palivem, pracovní teplotou a dalšími částmi, jejich princip se dá popsat na základním vodíko-kyslíkovém palivovém článku, jehož podstata spočívá v přeměně chemické energie vodíku a kyslíku na energii elektrickou, přičemž odpadními produkty jsou voda (vodní pára) a teplo, které lze dále zužitkovat. K přeměně dochází katalytickou reakcí na elektrodách, přičemž principiálně se jedná o opak reakce elektrolýzy vody. [42], [44], [71]

Elektrolyt musí být iontově vodivý, nepropouštějící elektrony, tedy být dielektrikem pro elektrický proud. Po přivedení vodíku k anodě dochází k jeho štěpení na protony a elektrony. Zatímco protony projdou elektrolytem ke katodě, uvolněné elektrony prochází vnějším vedením, přičemž produkují elektrický proud. Současně je ke katodě přiváděn kyslík reagující s prošlými protony a elektrony za vzniku vody. [42]

V palivových článcích jsou přeměňovány zejména plyny bohaté na vodík (metan, propan, čpavek) případně biopaliva (bioplyn – obsahující především metan a oxid uhličitý).

Výkon palivových článků se pohybuje v rozmezí od několika wattů pro napájení drobnější elektroniky přes stacionární jednotky s výkonem v řádech kilowattů až po megawatty. Palivové články nejsou instalovány samostatně, ale jako součást energetického systému obsahujícího dále zařízení na úpravu paliva (tzv. reformer), měnič a jednotku pracující se vznikajícím teplem při přeměně chemické energie na elektrickou. [44]



Obrázek 10. Princip palivového článku

Dle využití lze palivové články rozdělit do čtyř skupin. První skupinou jsou **přenosné palivové články**, které jsou např. využívány jako zdroje energie pro fotoaparáty, notebooky (palivový článek společnosti Antig), záložní zdroje pro stolní počítače apod. Jedná se o tzv. nízkoteplotní palivové články – membránové či přímé etanolové palivové články (PEM FC, DMFC), jejichž jmenovitý výkon je v řádech desítek wattů. U PEMFC – Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell je elektrolytem iontoměničová polymerní membrána, která je dobrým protonovým vodičem, avšak pouze za předpokladu, že je dostatečně hydratována. Problém s korozí tohoto typu palivového článku je minimalizován tím, že jedinou obsaženou kapalinou je voda. Ta se však nesmí odpařovat vyšší rychlostí, než je rychlost její produkce, aby byla zachována efektivita článku. Palivem je čistý vodík, v případě DMFC – Direct Methanol Fuel Cell,

který je častěji využíván v přenosných aplikacích, je palivem metanol. Katalyzátorem bývá Pt případně Pt/Rh. [11], [43]



Obrázek 11. Palivový článek typu PEM(FC) [54]

Stacionární palivové články jsou využívány jako zdroje elektrické a tepelné energie s širokým rozsahem výkonů v závislosti na požadované aplikaci. Pro zajištění tepla a elektřiny v budovách (velikosti rodinných domů) či jako záložní zdroj jsou používány články s výkonem v řádu jednotek kilowattů. Palivové články určené k zásobování energií větší komplexy (nemocnice, administrativní a telekomunikační budovy) dosahují výkonu v řádech desítek až stovek kW. Tyto články mají nižší proudové hustoty (větší rozměry), ale dosahují vyššího napětí (vyšší účinnost). Využívány jsou všechny typy článků mimo alkalických a přímých metanolových. Jako palivo slouží obvykle zemní, případně degazační (důlní) plyn. [43], [73]

Poslední skupinou jsou **speciální palivové články**, které byly dříve uplatňovány především v kosmickém výzkumu (vesmírný program SKYLAB (NASA) využíval alkalických článků v extrémních podmínkách více než 15 let). Do této skupiny patří alkalické palivové články (AFC – Alkaline Fuel Cell) spotřebovávající čistý vodík. Elektrolytem udržovaným v porézním materiálu (azbestu) je 85 % KOH pro palivové články pracující ve vyšších teplotách (cca 250°C) nebo 35 až 50 % pro články s nižšími teplotami (do 120°C). [11], [43]

3.3 Setrvačníky

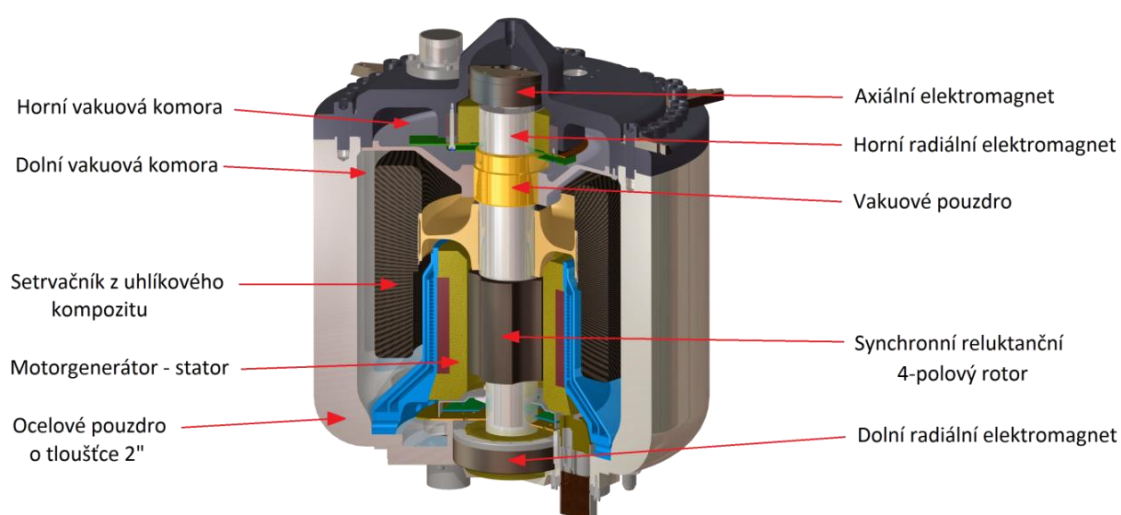
V případě výpadku hlavního napájení může překlenout dobu potřebnou k naběhnutí spalovacího motoru či přímo napomoci jeho startu setrvačnick. Setrvačnick je rotační zařízení fungující na principu akumulátoru absorbující kinetickou energii (na rozdíl od baterie akumulující chemickou energii), kterou zpět přeměňuje na elektrickou energii napájející zátěž (požadované zařízení). Setrvačnick je udržován v nabitém stavu (v pohybu) hlavním napájením, tj. napájením ze sítě. Při jejím selhání je

dodávána energie ze setrvačníku s určitým napětím a frekvencí, které je nutno upravit na vhodné výstupní napětí a frekvenci pomocí měniče. Vzhledem k tomu, že množství uložené energie je úměrné druhé mocnině rychlosti otáčení, může být použito asi 50 % z rozsahu otáček. [35]

Upotřebení setrvačnicků jako akumulátorů však není ničím novým. Kinetická energie setrvačníku byla v dřívějších dobách využívána k překonání mrtvých dob klikového mechanismu parních strojů. V 50. letech minulého století vyrobila švýcarská firma Maschinenfabrik Oerlikon dokonce několik vozů městské hromadné dopravy na elektrický pohon, přičemž byl elektrický motor napájen generátorem pomocí roztočeného setrvačníku. Princip Gyrobusu, jak byl tento dopravní prostředek nazýván, spočíval ve sběru elektřiny na zastávce pomocí tyčových sběračů, prostřednictvím kterých byl napájen třífázový asynchronní motor roztácející jedenapůltunový setrvačnick sloužící k akumulaci energie o velikosti přes 9 kWh. Při výjezdu ze zastávky došlo k přepnutí motoru do generátorického režimu, na nějž ujelo vozidlo až 6 km. [21], [69]

První generace průmyslově použitelných setrvačnicků, jež se dodnes prodávají, byla představena v polovině 90. let. Používaly relativně malou rychlost otáčení masivního ocelového disku. [20]

Setrvačnický implementované v záložních systémech můžeme podle velikosti otáček rozdělit do dvou skupin. Vysokorychlostní setrvačnický jsou vyráběny z kompozitních materiálů - skleněných nebo uhlíkových vláken. Rotor setrvačníku se otáčí ve vakuu, a aby bylo zabráněno nežádoucímu mechanickému tření, využívá se magnetických ložisek. Rozsah otáček vysokorychlostních setrvačnicků se pohybuje v rozmezí 10 000 až 100 000 otáček/min. Jejich výkon dosahuje hodnot přes 250 kW a akumulovaná energie dosahuje 8 MW. [9], [35]



Obrázek 12. Vysokorychlostní setrvačnick [20]

Nízkorychlostní setrvačníky se od těch vysokorychlostních neodlišují pouze tím, že pracují v nižších otáčkách - obvykle do 6000 až 10 000 otáček/min, ale liší se také použitou konstrukcí. Setrvačníky jsou konstruovány z oceli a k zachování dostatečného momentu setrvačnosti využívají své vyšší hmotnosti. Použití vakua, jako tomu bylo u vysokorychlostních setrvačnicků, není nezbytně nutné, přesto se pro snížení ztrát způsobeným třením využívá plynů s nižší hustotou případně částečného vakua. Setrvačníky s nižšími otáčkami jsou často součástí kombinovaných systémů s motor-generátory (kombinace elektrického generátoru a spalovacího motoru označovaná také jako gen-set nebo pouze generátor či agregát). Při výpadku napájení z hlavní sítě tak dodává setrvačnick energii do chvíle obnovení dodávky elektřiny z hlavní sítě (výpadek v řádu sekund) nebo do startu záložního napájecího systému (generátoru). Ten je obvykle připraven pokračovat v napájení zátěže od 5 do 20 s, což je dostatečná doba vzhledem k tomu, že setrvačnick je schopen překlenout až 30 s výpadek (v závislosti na dané konstrukci). [18], [35]



Obrázek 13. Energetický modul se setrvačnickem GTR 200 od Kinetic Traction Systems [57]

3.4 Motor generátor se spalovacím motorem

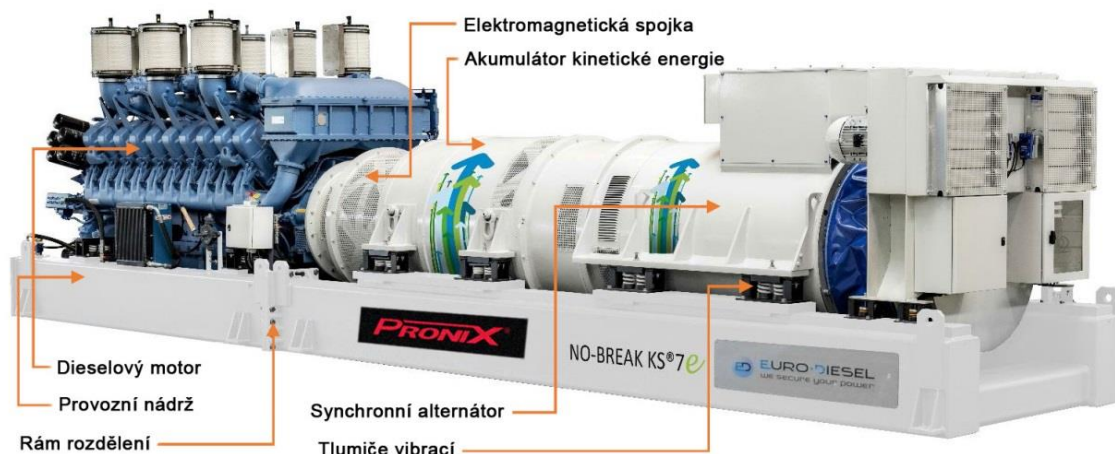
Generátorová soustrojí se obvykle skládají z jednoho nebo více spalovacích motorů (vznětových či zážehových), které jsou zdrojem mechanické energie, z generátorů přeměňujících mechanickou energii v elektrickou, z řídicích a regulačních systémů a rozvaděče. Běžně jsou tato soustrojí označována jako agregáty či elektrocentrály. Jejich konstrukce umožňuje stacionární i mobilní aplikaci. Výhoda tohoto zdroje napájení spočívá v možnosti dlouhotrvající dodávky energie požadovaných zátěží, tedy nejen v řádech hodin, ale i dnů v závislosti na konstrukci a množství dostupného paliva pro spalovací motor (standardně je k dispozici palivo pro 8 až 10 hodin provozu). Ve vazbě na použití se jejich výkon pohybuje v rozsahu od několika kW až po MW. [18], [35], [74]

Své uplatnění mají „elektrocentrály“ všude kde není k dispozici napájení ze sítě – na lodích, v datových a komunikačních centrech, v nemocnicích, na letištích, při práci

v terénu, zkrátka všude kde je elektrická energie zapotřebí a její absence by mohla nejen nepříznivě ovlivnit výrobu, či ovlivnit pracovní komfort, ale zejména v místech, kde absence dodávky elektrické energie může ohrozit zdraví a lidský život. [18], [35]

Elektrocentrály mohou pracovat ve dvou provozních režimech a podle nich jsou rozděleny do skupin I a II. První skupina je uvedena do provozu v okamžiku výpadku napájení. Start spalovacího motoru je zajištěn energií ze sekundárních baterií, tím však dochází k prodlevě mezi výpadkem napájení ze sítě a schopností elektrocentrály přebrat jeho funkci. U menších jednotek se jedná o dobu do 15 s v případě těch větších až 180 s. K přepnutí na dodávku napájení poskytované elektrocentrálou může docházet manuálně anebo, což je běžnější, automaticky. Aby bylo docíleno co nejkratšího náběhu elektrocentrály do provozu, jsou u některých jednotek motory zahřívány i po dobu nečinnosti.

Do druhé skupiny patří jednotky, které jsou schopny poskytnout zátěži energii do 2 s, případně k přerušení napájení nedojde vůbec. Nulovou přenosovou dobu mezi výpadkem sítě a opětovnou dodávkou energie ze záložního zdroje zajistí setrvačnick mechanicky připojený ke generátoru. V normálním režimu je setrvačnick a generátor poháněn elektromotorem energií ze sítě. Při výpadku hlavního zdroje napájení spojí elektromagnetická spojka setrvačnick se spalovacím motorem, který od toho okamžiku pohání generátor. K tomuto procesu dochází automaticky a přenosová doba energie je nulová.



Obrázek 14. UPS s motorgenerátorem [12]

Motorgenerátory mohou sloužit jako energetická úložiště, s trochou nadsázky limitovaná pouze velikostí nádrží a zásobami paliva. Ve vhodném uspořádání – s dostatečně dimenzovaným spalovacím motorem a generátorem, uzpůsobeným na potřebné zatížení, mohou plnit funkci spolehlivých nepřetržitých zdrojů. Jejich použití sebou nese i určitá negativa a omezení, se kterými je nutno při návrhu záložního systému počítat. Spalovací motor je limitován palivem a je tedy nutno mít jeho dostatečné

zásoby. Spalovací motory jsou rovněž dost hlučné (hladina intenzity zvuku je v rozmezí 70 až 95 dB) a potřebují přívod čerstvého vzduchu nezbytného pro funkci motoru a současně vyžadují odvod výfukových plynů. [35]

4 Zabezpečení dodávky elektřiny ve zdravotnických zařízeních

V dnešní době je jen těžko představitelný, ne-li zcela nemožný provoz zdravotnických zařízení, zejména pak nemocnic bez dodávek elektrické energie. Na těchto dodávkách nejsou závislé jen servery a počítače, ale veškerá zdravotnická technika, jejíž nefunkčnost by ohrozila nejen zdraví, ale i samotný život pacientů. Z těchto důvodů jsou zdravotnické prostory napájeny obvykle ze tří nezávislých zdrojů – distribuční sítě zajišťující napájení za běžných podmínek, dieselaagregátu, představující bezpečnostní zdroj a doplňující bezpečnostní zdroj – UPS. [59]

4.1 Záložní zdroje napájení

Nepřerušitelný napájecí zdroj (UPS) je proto již několik let běžnou součástí těchto zařízení. Postupem času vznikla řada norem, které právě použití UPS ošetřují a definují časové prodlevy v dodávkách energie. Např. napájení operačního sálu a přilehlých prostor je možné dle norem přerušit na půl sekundy. V praxi se vzhledem k použití citlivé elektroniky předpokládá, že napájení bude nepřetržité. Kromě pokrytí výpadku energie (a to nejen operačního sálu), umožňuje UPS také filtraci poklesů napětí vyskytujících se v síti.

UPS používaná v nemocnicích a zdravotnických zařízeních jsou zejména typu double conversion (dvojitá konverze) a line interactive (interakce se sítí). Podle starší terminologie by se hovořilo o UPS typu on-line, tzn., že zátěž je trvale napájena z měniče, jenž je součástí UPS a vylučuje tak prodlevu při přepínání ze síťového na bateriový (zálohovací) režim (na rozdíl od off-line systému). Zdroje typu on-line navíc umožňují filtraci sítě, která je rovněž podstatná (v závislosti na typu zátěže – napájeného zařízení).

Pro nemocnici je samozřejmě podstatné, aby byla soběstačná v dodávkách energie i pro delší dobu (při déle trvajících výpadcích – vichřice, povodně, sněhové kalamity), a proto je podstatné pro tyto možné podmínky dostatečně dimenzovat energetický zdroj v UPS (baterie, palivové články, „elektrocentrály“ apod.). [41]

Samozřejmě musí být počítáno s možným výpadkem hlavního záložního zdroje, případně jeho krátkodobým vyřazením během servisních úkonů. Pro tyto případy existuje možnost připojení mobilních agregátů (v závislosti na navrženém záložním napájení) případně přídatnými zdroji napájení.

Jedněmi z těchto přídatných zdrojů mohou být akumulátory (hlavním zdrojem v nemocnicích bývá obvykle diesellový agregát, jehož schopnost dodávat elektrickou energii je obvykle omezena pouze množstvím uskladněného paliva v nádržích). Kromě toho slouží akumulátory jako zdroje energie centrálního systému nouzového osvětlení (případně v samostatných nouzových svítidlech) a jak již bylo několikrát zmíněno v předešlém textu, také jako součást UPS.

Centrální systém nouzového osvětlení, (stejně tak samostatná nouzová svítidla) nahrazující standardní osvětlení místností, je podstatnou součástí zdravotnických zařízení (zejména nemocnic) a umožňuje nejen bezpečný pohyb pacientů a veškerého personálu, ale zejména umožňuje pokračovat zdravotníkům v práci. Přesto je nutno podotknout, že z hlediska bezpečnosti nejsou prvořadou prioritou na rozdíl od zajištění napájení důležitějších zařízení, jejichž výpadek by pacienta mohl vážně ohrozit na zdraví nebo dokonce na životě. V případě operačních svítidel určených k osvětlení těla pacienta (která jsou zabezpečena proti výpadku), však musí být dbáno na to, aby byla zachována jejich funkce i po výpadku sítě a sama nemohla být příčinou vzniku jakéhokoliv ohrožení. Výhodou centrálně napájených nouzových svítidel je obecně jejich vyšší svítivost a nutnost údržby pouze jediného – centrálního nouzového zdroje elektrické energie. Naopak mezi nevýhody patří kromě vysoké pořizovací ceny také fakt, že při přerušení tohoto okruhu, který sám musí být z požáru odolných kabelů, dojde k přerušení toku energie do všech svítidel najednou. Oproti tomu nabízí svítidla s vlastními akumulátory větší variabilitu, nižší pořizovací cenu a není nutné k nim instalovat speciální ohnivzdornou kabelovou trasu. [28], [29], [38]

Přídavné zdroje napájení umožňují tři provozní režimy. Ve spouštěcím režimu bývají zapnuty elektronické řízení a kontrola. Měnič je vypnut a baterie je udržována v nabitém stavu. Při výpadku napájení ze sítě dojde ke spuštění přídavného zdroje napájení a k jeho připojení do 0,5 s. Oproti tomu je měnič ve **spřaženém režimu** připojen, což umožní zrychlit proces připojení přídavného zdroje napájení po výpadku sítě (v řádu milisekund). V **trvalém režimu** jsou napájena operační svítidla a potřebná zdravotnická technika. Výpadek sítě nezpůsobí v tomto režimu přerušení. Současně by měl přídavný zdroj napájení umožnit odesílat informace o svém stavu (napájení ze sítě/z akumulátoru, poruchy měniče, akumulátoru apod.) na potřebné stanoviště. [28]

4.2 Elektrické rozvody

Ve zdravotnických pracovištích je nutno zajistit kontinuální napájení techniky, potřebné zejména pro diagnostiku a terapii pacientů. Aby byly zajištěny požadavky na dodávku elektřiny, došlo postupem času k zavedení standardů ošetřujících tuto oblast. Rozvody elektřiny zdravotnických objektů jsou prováděny v souladu s normou ČSN 33 2140 Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely, ČSN 33 2000-7-710 v souladu s IEC 60364-7-710 a také ČSN EN 60601-1 Zdravotnické elektrické přístroje. [8], [62]

Konkrétní požadavky (více v Požadavky na nouzové zdroje elektrické energie) však mohou být rozdílné a musí odrážet skutečnou realitu daného pracoviště a tím i potřeb zdravotnického personálu. Současně je třeba vzít v úvahu zdravotnické pracoviště jako místo s vyšším možným rizikem úrazu vzhledem k množství instalované

techniky, většího pohybu osob a použití nejrůznějších plynů či kapalin (obvykle hořlavých). Základní požadavky jsou v podstatě dvojí; zajištění ochrany proti přímému elektrickému nebezpečí, tedy úrazu elektrickým proudem a ohrožení způsobené přerušením dodávky elektrické energie, požárem, výbuchem, statickou elektřinou nebo elektromagnetickým rušením. [8]

4.2.1 Elektrická instalace ve zdravotnických prostorech

Elektrická instalace ve zdravotnických prostorech podléhá několika normám a musí splňovat příslušné požadavky na bezpečnost jejího provozu a provozu zdravotnických elektrických přístrojů k této instalaci připojených. Vzhledem k tomu, že k těmto přístrojům mohou být připojeni pacienti, kteří jsou na těchto přístrojích doslova životně závislí, je třeba zajistit dostatečnou míru bezpečnosti a stálosti dodávky elektrické energie. Na základě technických požadavků zařízení ve spolupráci s obsluhujícím personálem musí být správně klasifikován zdravotnický prostor. Kromě zajištění správné funkčnosti techniky může vhodná elektrická instalace chránit před úrazem elektrickým proudem. Podle stanoveného účelu využití jsou zdravotnické prostory rozděleny do několika skupin (0, 1, 2). Síť napájející zdravotnické prostory musí být schopna automatického přepínání mezi vybranými obvody základního napájení a nouzových zdrojů.

Při použití bezpečného malého napětí (SELV) nebo ochranného malého napětí (PELV) u elektrických rozvodů zdravotnických prostorů spadajících do skupin 1 a 2 nesmí jmenovité napájecí napětí překročit hodnotu střídavého proudu 25 V nebo stejnosměrného 60 V. Ochrana izolací živých částí odpovídá 412.1 a ochrana kryty či přepážkami 421.2 dle IEC 60364-4-41. Je-li nutné v prostorech daných skupin použít proudové chrániče, je možno v závislosti na velikosti poruchového proudu instalovat pouze chrániče typu A nebo B.

Síť TN instalovaná v prostorech spadajících do skupiny 1 musí být osazena proudovými chrániči se jmenovitým reziduálním vybavovacím proudem do 30 mA u koncových obvodů nepřesahujících 32 A. Pro prostory skupiny 2 musí být ochrana automatickým odpojením od zdroje použita pouze pro obvody napájející rentgenové přístroje, elektrický operační stůl a přístroje se jmenovitým příkonem vyšším než 5 kVA.

Síť TT je provozována se stejnými požadavky jako síť typu TN. V prostorech skupiny 1 a 2 jsou použity proudové chrániče.

Síť IT, tvořena ochranným oddělovacím transformátorem, monitorovacím zařízením hlídající izolační stav a signalizačním zařízením, musí být použita pro koncové

obvody napájející zdravotnickou techniku určenou k podpoře života, chirurgickým aplikacím či jiným přístrojům v pacientově okolí. Tento typ sítě je používán všude tam, kde nesmí vlivem poruchy dojít k přerušení dodávky elektrické energie, přičemž je stav sítě neustále monitorován. Základní součástí je především ochranný oddělovací transformátor, na něhož jsou kladeny požadavky v souladu s normou ČSN EN 61558-2-15. Sekundární střídavé napětí 250 V by nemělo být u jednofázových transformátorů překročeno. Hranici nesmí překročit ani unikající proud výstupního vinutí a proud unikající krytem (0,5 mA). Zdravotnická IT síť je opatřena opticko-akustickým výstražným systémem s možností testování hlídače izolačního stavu. Normální provozní stav indikuje zelená kontrolka. Žlutá značí snížení izolačního stavu pod stanovenou hodnotu a na rozdíl od akustické signalizace téhož problému, nelze až do odstranění poruchy vypnout. Indikace bývá zpravidla umístěna v operačních sálech, sesternách, případně kdekoli tak, aby mohl být stav sítě neustále kontrolován. První závadu je nutno odstranit co nejdříve, aby bylo opět zajištěno spolehlivé napájení zdravotnické techniky. Objevení místa poruchy a jeho přesná lokalizace však může být v některých případech poměrně náročné. [15], [58]

Ochranné pospojování musí být provedeno v každém zdravotnickém prostoru skupiny 1 a 2. Vodiče doplňujícího ochranného pospojování zajišťující vyrovnání potenciálů musí být instalovány mezi ochrannými vodiči, vnějšími vodivými částmi, kovovým krytem, stíněním proti elektrickým rušivým polím, svodovou sítí elektrostaticky rušivým polím. Odpor ochranných vodičů, včetně odporu spojení mezi ochrannými kontakty zásuvek a ochrannými svorkami upevněných zařízení nebo jinými vodivými částmi a přípojnici doplňujícího pospojování nesmí v prostorech skupiny 2 přesáhnout 0,2 Ω . [15]

4.2.2 Požadavky na nouzové zdroje elektrické energie

Při výpadku základního zdroje napájení musí hlavní nouzový zdroj naběhnout a být schopen zásobovat elektřinou důležité obvody do 120 s a současně napájet požadované zařízení až do obnovení dodávek ze základního zdroje. O distribuci elektřiny se starají rozvaděče napájející důležité obvody přívodem jak ze základního zdroje, tak z hlavního nouzového zdroje elektrické energie.

Přepnutí mezi přívodem elektřiny z hlavního a nouzového zdroje napájení musí probíhat automaticky (oběma směry). Pokud dojde k výpadku z hlavního zdroje, systém je přepnut na záložní zdroj a signalizace upozorní obsluhu o změně stavu. Obvody, včetně jednotlivých částí, se značí jednotným způsobem a to v celém zdravotnickém zařízení, aby nemohlo dojít k záměně (viz podkapitola Barevné značení zásuvkových

obvodů). Rovněž nesmí dojít při přepnutí na záložní zdroj ke snížení úrovně ochrany před nebezpečím dotykového napětí.

Návrh elektrických rozvodů by měl umožnit při déletrvajícím výpadku hlavního zdroje napájení, či při výkonové rezervě hlavního nouzového zdroje napájet také méně důležité obvody. [50]

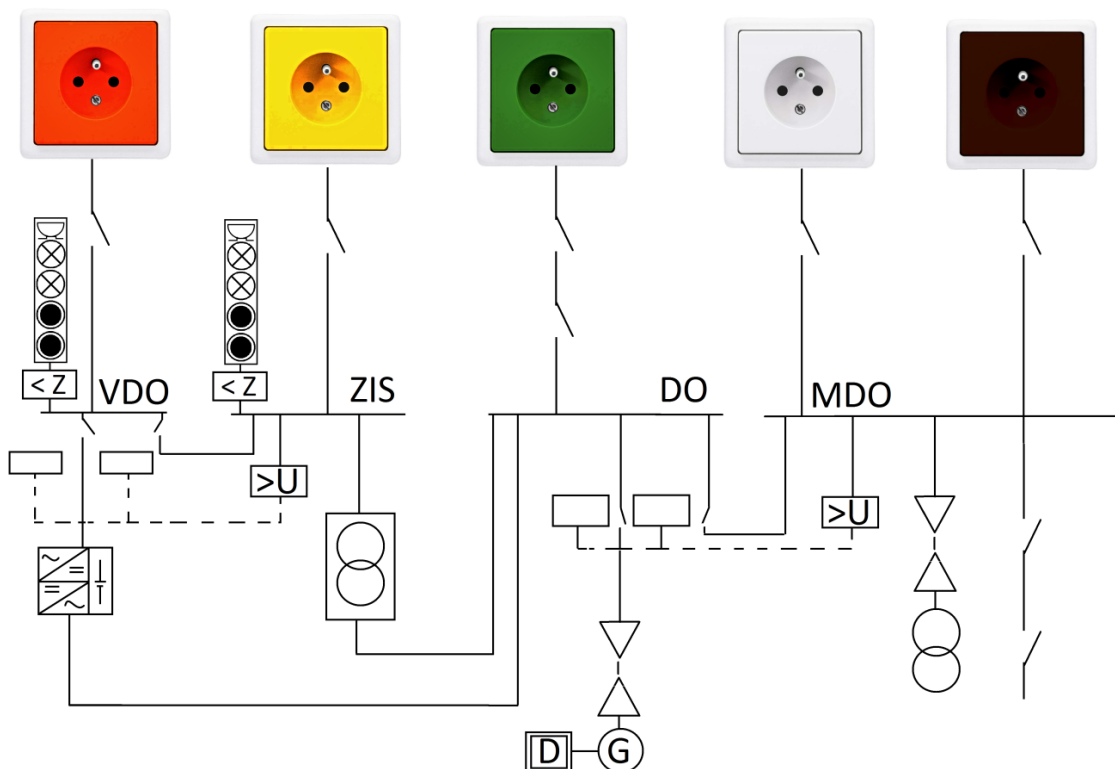
Požadavky na speciální nouzový zdroj elektrické energie typu E1 v sobě zahrnují nutnost zajištění napájení důležitých obvodů do 15 s od výpadku základního či hlavního nouzového zdroje elektřiny. K těmto obvodům jsou připojovány obvykle zdravotnické přístroje podporující nebo udržující základní životní funkce, přičemž u nich může být přerušeno napájení, avšak pouze na dobu kratší, než je prodleva mezi výpadkem základního a obnovení dodávky hlavního nouzového zdroje. Ke zdroji typu E1 lze, pokud je dostatečně dimenzován, připojit při déle trvajícím výpadku i méně důležité přístroje a nahradit tak dočasně hlavní nouzový zdroj typu GE. Při provozu ze zdrojů E1 nesmí dojít ke snížení úrovně ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. Samozřejmostí je pak jednotné značení těchto obvodů, aby při zapojování nemohlo dojít k záměně.

Požadavky na speciální nouzový zdroj elektrické energie typu E2 vyžadují zajištění napájení operačního svítidla do 0,5 s od výpadku základního nebo hlavního nouzového zdroje. Každý operační sál nebo jiná srovnatelná místnost musí mít alespoň jedno z operačních svítidel připojené k nouzovému zdroji typu E2. Podobně jako u zdroje typu E1 ani zde nesmí dojít ke snížení úrovně ochrany před nebezpečným dotykovým napětím.

Společné požadavky na speciální nouzové zdroje elektrické energie typu E1 a E2 – oba typy zdrojů musí být dimenzovány natolik dostatečně, aby mohly po dobu 3 hodin dodávat elektrickou energii. Pro oba typy rovněž platí nutnost automaticky převzít napájení při ztrátě napětí v libovolné části napájecích obvodů a zpět jej předat při jeho obnovení z hlavního, případně nouzového zdroje. Napájecí vedení musí být nejen chráněno před mechanickým poškozením, ale také musí být všechny živé části zdrojů typu E1 a E2 prostorově odděleny od živých částí jiných obvodů. Pokud se nejedná o zdroje (akumulátory) zabudované přímo do přístrojů, musí být umístěny spolu s nabíječkami (zajišťujícími automatické dobíjení akumulátorů) mimo „lékařské“ prostory v blízkosti rozvaděčů napájecích důležité obvody nebo obvody zásobující energií operační svítidla. Obsluha zdravotnické techniky, napájené ze speciálních nouzových zdrojů, musí být o tomto stavu informována optickou signalizací. Nabíječky zajišťující dobíjení speciálních nouzových zdrojů musí být napájeny prostřednictvím důležitých obvodů (je-li zdravotnické zařízení vybaveno hlavním nouzovým zdrojem). Rovněž by měly být schopny po 3 hodinovém kontinuálním vybíjení baterie do 6 hodin opět uvést nabíjením zdroj do plného provozu. [50]

4.2.3 Barevné značení zásuvkových obvodů

Vzhledem k různým požadavkům využití zdravotnické techniky a jiných přístrojů ve zdravotnických zařízeních je nutno zajistit adekvátní napájení. Aby nemohlo dojít k záměně a současně bylo možno rychle a správně dané zařízení připojit k požadovanému zdroji, vzniklo barevné kódování zásuvkových vývodů podléhající normě ČSN 33 2140. [8]



Obrázek 15. Barevné značení zásuvkových obvodů

Méně důležité obvody (MDO), značeny písmenem **M** a bílou (RAL 9010) barvou zásuvek, poskytují pouze základní ochranu před úrazem elektrickým proudem. Napájeny jsou ze základního zdroje s jističem 30 mA. MDO neposkytují záložní napájení při výpadku napájení ze základního zdroje; nejsou tak primárně určeny pro napájení zdravotnické techniky, ale běžných spotřebičů na sesternách nebo pokojích.

Důležité obvody (DO), značeny písmenem **D** a zelenou (RAL 6018) barvou zásuvek, jsou určeny k připojení elektrických zdravotnických přístrojů a jiných důležitých zařízení, které během krátkého výpadku napájení svou nečinností neohrozí pacientův život. Běžně jsou napájeny ze základního zdroje. Při výpadku tohoto napájení vlivem poruchy nebo odpojení od vnější sítě jsou zálohovány hlavním nouzovým zdrojem

energie, v případě nemocnic nejčastěji dieselaagregátem s automatickým startem a plným náběhem do 2 minut.

Velmi důležité obvody (VDO), značeny písmenem **V** a oranžovou (RAL 2004) barvou zásuvek, jsou určeny k napájení elektrických zdravotnických přístrojů zajišťující zdraví a život pacientů. Tyto obvody jsou izolované a krom napájení ze základního zdroje umožňují nepřerušovaný přechod na záložní napájení (bezpečnostní zdroj) pomocí UPS (doplňující bezpečnostní zdroj), které zajišťují energii připojenému zařízení do okamžiku plného náběhu agregátu. Vzhledem k tomu, že na rozdíl od agregátu je kapacita baterií v UPS limitovaná, je omezeno také množství zařízení, které je možno připojit k tomuto obvodu.

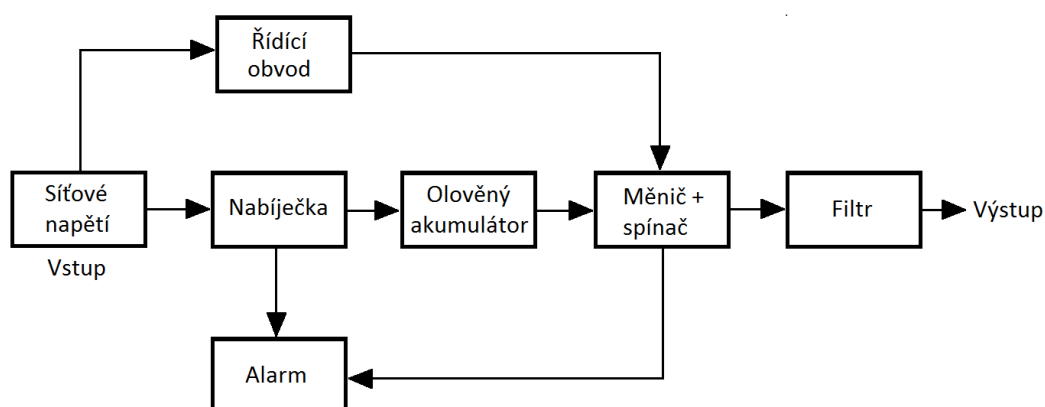
Zdravotnická IT síť (ZIS), značena písmenem **Z** a žlutou (RAL 1018) barvou zásuvek, je izolovaná zdravotnická síť chránící před úrazem elektrickým proudem. Slouží k připojení pouze zdravotnických elektrických přístrojů. Podobně jako DO jsou napojeny kromě k základnímu zdroji elektrické energie také k nouzovému napájení (dieselaagregátu). Kromě zálohy umožňují navíc chod zařízení při jedné závadě na jeho izolaci, což je důležité ve chvílích, kdyby tato porucha způsobila nemožnost použití zařízení, potažmo tím dokonce ohrozila pacientův život. Při porušení izolace se rozezná opticko-akustický signál, jenž na poruchu upozorní. Na rozdíl od VDO nejsou určeny k napájení životně důležitých přístrojů podporující nebo nahrazující životní funkce.

Kromě čtyř nejběžněji používaných značení – bílé, zelené, oranžové a žluté, je možné se setkat také s barvou modrou a hnědou (RAL 8014) se značením písmeny **MF**. Obvody s tímto značením nejsou příliš časté a tak se nemusí ve zdravotnickém zařízení vůbec vyskytovat (v zásadě patří také mezi méně důležité obvody). Vzhledem k tomu, že do hnědých zásuvek jsou připojovány přístroje, které mohou být v kontaktu přímo s pacientem, jsou opatřeny proudovým chráničem. Problém vyvstává s tím, že tyto zásuvky se mohou vyskytovat také v modré variantě, které obvykle slouží k napájení výpočetní techniky zálohované pomocí UPS. [1], [8], [62]

5 Návrh a realizace záložního zdroje (UPS)

V této kapitole je popsán návrh a částečná realizace vlastního záložního zdroje (UPS). Záložní zdroj by měl být schopen během výpadku hlavního síťového napájení zásobovat připojený monitorovací systém, a to až do znovuobnovení dodávky napájení z elektrické sítě nebo do doby náběhu hlavního nouzového zdroje napájení. UPS by měla po dobu provozu dodávat 60 W, přičemž energetickým zdrojem je 12 V akumulátor s kapacitou 5 Ah. Maximální doba zálohování připojeného monitoru v nouzovém režimu je přibližně 50 min. (Výpočet délky doby zálohování při popsané konfiguraci vychází ze vztahu (1)).

Navržený záložní zdroj se skládá z několika dílčích částí. Jedná se o řídicí obvod, nabíječku akumulátoru, olověný akumulátor, měnič se spínačem a alarm upozorňující na změny stavu záložního zdroje. Vstupem je síťové napětí 230 V se sinusovým průběhem, na výstupu je 230 V s modifikovaným sinusovým průběhem.



Obrázek 16. Blokové schéma návrhu UPS

Řídicí obvod

Řídicí obvod zajišťuje přepínání mezi jednotlivými provozními režimy – normální stav (energie ze sítě), nouzový stav (energie z akumulátoru) a pokles napětí na akumulátoru.

Nabíječka

Nabíječka olověných akumulátorů s integrovaným obvodem se schopností kontrolovat stav baterie v každém nabíjecím cyklu. Tím je zajištěno optimální nabití akumulátoru při zachování dlouhé životnosti baterie.

Olověný akumulátor

Energetickým zdrojem realizovaného záložního zdroje je 12 V olověná akumulátorová baterie s kapacitou 5 Ah.

Měnič

DC/DC Měnič slouží ke změně napětí – zvyšuje vstupní nízké stejnosměrné napětí (DC) z akumulátoru (12 V) na vyšší stejnosměrné (DC), které odpovídá špičkovému napětí 325 V, tj. 230 V efektivnímu napětí.

Spínač

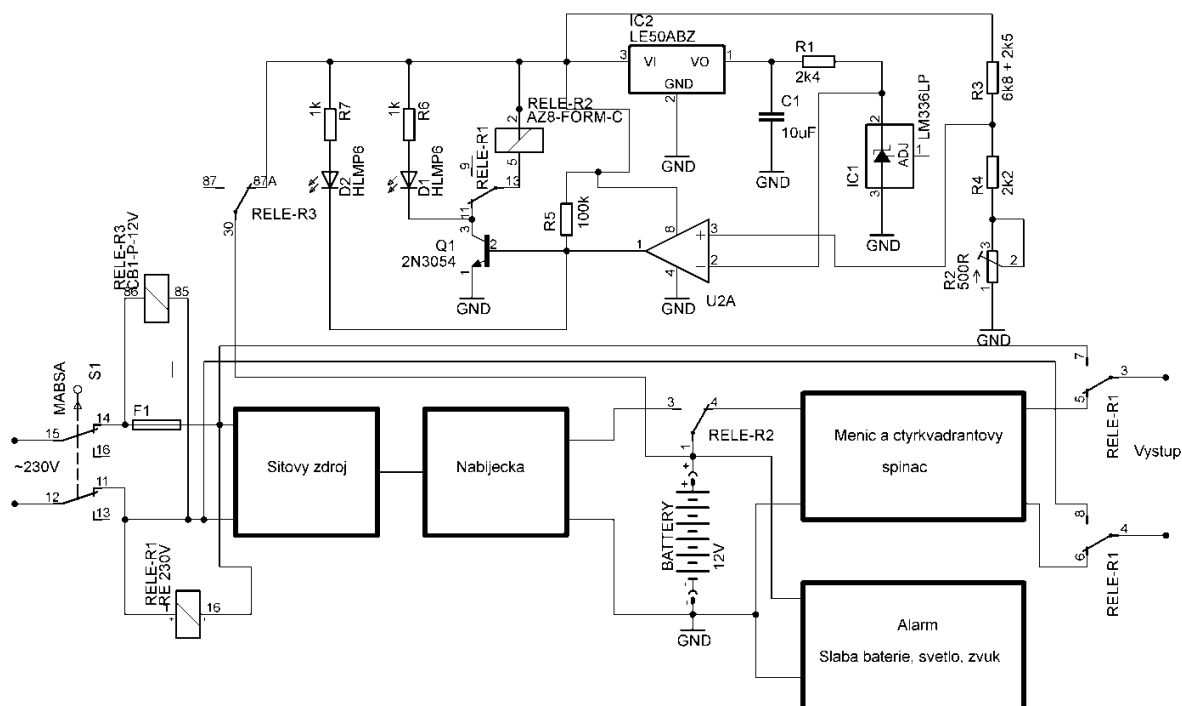
Čtyř-kvadrantový spínač je společně s DC/DC měničem součástí spínaného zdroje vytvářející ze stejnosměrného napětí střídavé, poté co je DC/DC měničem upraveno ze 12 V na 325 V.

Alarm

Opticko-akustický alarm slouží k upozornění obsluhy na změnu stavu UPS.

5.1 Řídící obvod záložního zdroje

Pro správnou činnost záložního zdroje je nezbytně nutný řídicí obvod, který zajistí přepínání mezi jednotlivými provozními režimy. Záložní zdroj monitorovacího systému je navržen tak, aby pracoval ve dvou, respektive třech stavech, které mohou během jeho používání nastat.



Obrázek 17. Schéma záložního zdroje se zjednodušenými bloky

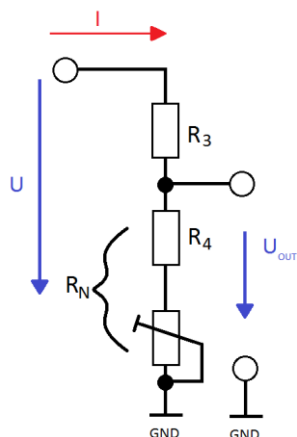
5.1.1 Řídicí obvod UPS

O uvedení záložního zdroje do provozu informuje připojení s prosvětlením. Na vstupu zdroje je umístěna tavná zpožděná pojistka (zpoždění kvůli proudovému nárazu při zapnutí). Při pohledu na navržené schéma s jednotlivými bloky, akumulátorem, řídicím obvodem a dalšími komponenty zajišťující správný chod UPS jsou patrné kontakty, které jsou při jednotlivých stavech různě spínány pomocí použitých relé R1, R2 a R3. Vhodnými relé jsou například miniaturní průmyslová relé řady 55 společnosti Finder. Podmínkou je, aby kontakty, které přepínají akumulátor, byly schopny sepnout proud okolo 5 A.

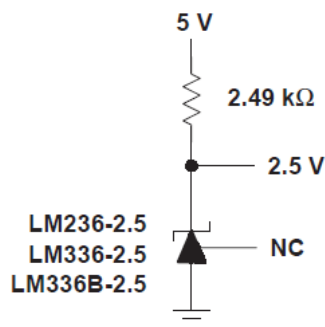
V obvodu je dále použit lineární regulátor napětí LE50AB, napěťová reference LM336 a komparátor LM393. Vstupní napětí pro komparátor snižuje z 11,4 (hodnota napětí vybitého akumulátoru) na 2,5 V napěťový dělič pomocí rezistorů R2 až R4. Pokud napětí na akumulátoru poklesne pod stanovenou mez (dojde k jeho vybití), sepne komparátor relé R1 a odpovídající signalizaci. Napěťový dělič, tak jak je zobrazen na obr. 17, lze obecně vypočítat takto:

$$U_{OUT} = U \cdot \frac{R_N}{R_N + R_3} \quad [V] \quad (2)$$

Kde U_{OUT} [V] je výstupní napětí, U [V] je napětí vybitého akumulátoru, R_3 [Ω] je odpor prvního rezistoru, R_N [Ω] je odpor druhého rezistoru R_4 společně s trimrem R_2 (obr. 18).



Obrázek 18. Napěťový dělič



Obrázek 19. Napěťová reference [67]

Hodnoty použitých rezistorů (R1 a R5) a kondenzátoru (C1) u napěťové reference LM336 a lineárního regulátoru napětí LE50ABZ vychází z dovolených mezí napětí a proudů uvedených v příslušných datových listech jednotlivých komponent a z typických zapojení zde uvedených (př. Obr 19). [63], [66], [67]

Pro signalizaci nouzových stavů slouží LED diody (D1 a D2). D2 je červená LED dioda L-HLMP-EG30 v čířém pouzdru velikosti 5mm. D1 je oranžová LED dioda HLMP-EL30-PS000 v čířém pouzdru velikosti 5mm. Vzhledem k omezené velikosti proudu průchozího diodami jsou na jejich vstupu umístěny dva rezistory (R6 a R7) o hodnotě 1 kΩ.

Popis funkce řízení, tj. popis chování záložního zdroje při normálním provozním režimu, při nouzovém a při vybitém akumulátoru, je uveden dále.

5.1.2 Popis funkce řízení

V následujících řádcích jsou popsány stavy, se kterými se uživatel navrženého záložního zdroje může setkat.

Pro lepší orientaci v řídicím obvodu jsou polohy kontaktů jednotlivých relé při různých stavech přehledně zaznamenány v tabulce a blíže popsány v textu pod ní.

Tabulka 5. Poloha kontaktů jednotlivých relé

Jednotlivé stavy	Sepnuté kontakty jednotlivých relé		
	Relé R1	Relé R2	Relé R3
Normální stav (Energie ze sítě)	7-3,8-4,9-13	3-1	87-30
Nouzový stav (Energie z akumulátoru)	5-3,6-4,11-13	4-1	87A-30
Pokles napětí na akumulátoru	5-3,6-4,9-13	3-1	87-30

První stav je normální stav představující běžnou dodávku elektrické energie ze sítě (střídavého napětí 230 V s konstantním kmitočtem 50 Hz a amplitudou sinusového průběhu vlny), během které je touto energií napájena připojená zátěž (monitor EKG). Baterie je nabíjena automatickou nabíječkou, přičemž sama nedodává žádnou energii zátěži (kontakt relé R2 v poloze 3).

Druhý stav je stavem nouzovým, vzniklým přerušením dodávky elektrické energie ze sítě, ke které je UPS sama připojena. Baterie není nabíjena a naopak sama, je-li v pořádku, tzn., dosahuje hodnot správného napětí, zásobuje energií přiloženou zátěž prostřednictvím měniče (s výstupem střídavého napětí 230 V s konstantním kmitočtem 50 Hz a amplitudou modifikované sinusovky). Řídicí obvod, ovládaný prostřednictvím relé R3, je v provozu, až po vypadnutí dodávky elektrické energie ze sítě. Spínání

jednotlivých kontaktů při nouzovém režimu je následující. Přes cívku relé R1 neprotéká proud, načež dojde k přepnutí z kontaktu 11-13 na kontakt 9-13 a ve výstupní části z kontaktu 7-3 na kontakt 5-3 a z 8-4 na 6-4 (v přiloženém schématu znázorněn tento stav). Cívkou relé R2, kterou prochází stejnosměrný proud, je ovládáno přepínání akumulátoru v režimech pro nabíjení (poloha kontaktu 3-1) nebo pro vybíjení – napájení zátěže (poloha kontaktu 4-1). Tento stav je uživateli záložního zdroje indikován LED diodou D1.

Třetí stav, indikovaný LED diodou D2, nastává ve chvíli, kdy by použitý komparátor typu LM393 zjistil pokles stanoveného napětí na akumulátoru vůči napěťové referenci (LM336), sepnul by tranzistor (IRF510) a odpojil baterii od napájení zátěže pomocí relé R1 sepnutím na polohu 9-13 (z polohy 11-13) a relé R2 by přepnul na polohu 3-1 (z polohy 4-1). Touto kombinací je zajištěna ochrana akumulátoru před extrémním vybitím (pod dovolenou mez 11,4 V) a jeho následným poškozením.

5.2 Nabíječka akumulátoru se spínaným zdrojem

Nedílnou součástí záložního zdroje je inteligentní nabíječka olověných akumulátorů, která je vybavena speciálním integrovaným obvodem UC3906 se schopností kontrolovat stav baterie v každém nabíjecím cyklu a zajistit tak optimální nabití akumulátoru na patřičnou mez tak, aby byla plně využita jeho kapacita při zachování dlouhé životnosti baterie.

Obvod UC3906, vyráběný firmou Texas Instruments, umožňuje zajistit optimální nabíjecí cyklus olověných akumulátorů (včetně hermeticky uzavřených bezúdržbových akumulátorů). Použitý obvod zajišťuje kontrolu nabíjecího proudu a napětí, stejně také stavu výstupu z nabíječky, aby bylo zabráněno možnému poškození při zkratu a proudovém přetížení. Uživatel může jednotlivé stavy sledovat prostřednictvím 4 monitorovacích výstupů – Power indicate, Over-charger terminace, Over-charger indicate a State level control. UC3906 je vybaven (na rozdíl od některých běžných nabíječek) rovněž ochranou proti přebití akumulátoru (a tím i fakticky omezením plynování akumulátoru). [56]

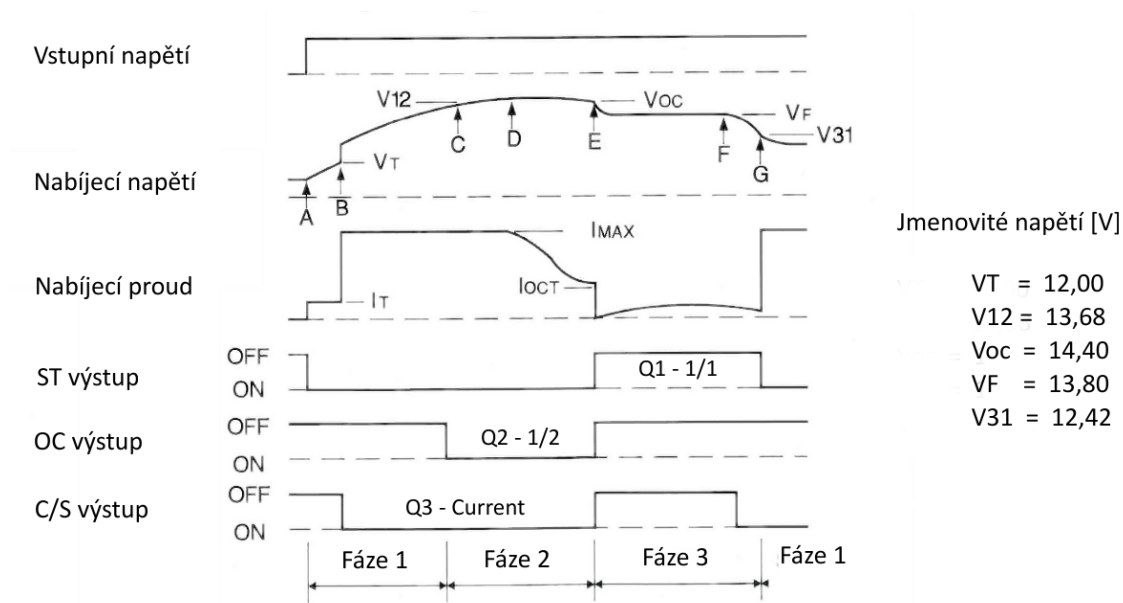
5.2.1 Úrovně napětí při jednotlivých fázích nabíjení

Nastavení obvodu umožňuje tři režimy nabíjení. Na začátku nabíjecího procesu obvod otestuje akumulátor a začne s nabíjením vybitých článků. První nabíjecí fáze zajišťuje nabíjení akumulátoru na 95% maximálního nabíjecího napětí V_{oc} .

Na počátku druhé fáze vzroste napětí na svorkách z V_{12} na maximální napětí V_{oc} , přičemž nabíječka pracuje jako zdroj stálého napětí V_{oc} .

Další fáze začíná, když se začne zmenšovat nabíjecí proud a dojde k poklesu nabíjecího proudu na 1/10 proudu maximálního. Smyslem této třetí a současně poslední fáze je vyrovnávání samovolného vybíjení, které je jednak způsobeno samotnou konstrukcí olověných článků, ale třeba také nižšími teplotami prostředí, ve kterých jsou akumulátory následně používány. Při poklesu napětí pod hodnotu V_F začne nabíječka akumulátor dobíjet proudem o velikosti vybíjecího proudu, aby tak kompenzovala vzniklé ztráty na napětí.

Pokud by došlo k připojení zátěže a vybíjecí proud by překročil hodnotu udržovacího proudu a došlo by k poklesu napětí až na V_{31} , přejde nabíječka opět do první fáze.



Obrázek 20. Úrovně napětí charakterizující změny režimu nabíječky [56]

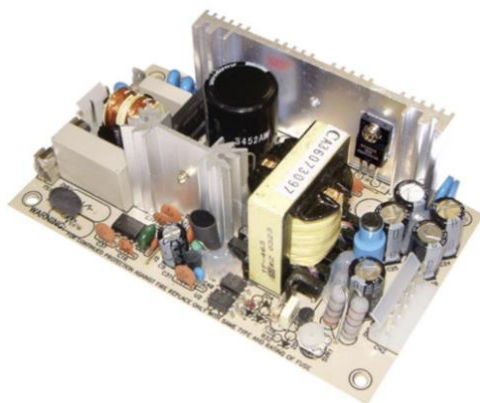
Na obr. 20 jsou zobrazeny charakteristiky a hodnoty nabíjecích napětí a proudů na výstupu z nabíječky v jednotlivých fázích nabíjení. Kromě těchto charakteristik jsou zakresleny také změny výstupů z obvodu UC3906 – ST (1/1), OC (1/2), CS (Current). Výpočty jednotlivých hodnot napětí vychází z katalogového listu UC3906. [56]

5.2.2 Popis konstrukce nabíječky a spínaného zdroje

Napájení je zajištěno spínaným zdrojem MEAN WELL PS-65-15 s výkonem 63 W, s regulovatelným výstupním napětím (od 14,25 do 16,5 V) a výstupním proudem 4,2 A.

Vstupní napětí dodávané ze sítě je 230V/50Hz (rovněž regulovatelné) se studeným startem 40A. Spínaný zdroj obsahuje také ochranu před přetížením, zkratem a přepětím. [61]

Aby nedocházelo k velkému zahřívání použitých součástek, byl vybrán právě model PS-65-15, jehož výstupní napětí nepřekročí 16,5 V, i když by vstup nabíječky zvládl více (až do hodnoty 40 V).



Výstupní napětí: 15V
 Regulace výstupního napětí: 14,25..16,5V
 Výstupní proud: 4,2A
 Skutečný výkon: 63W

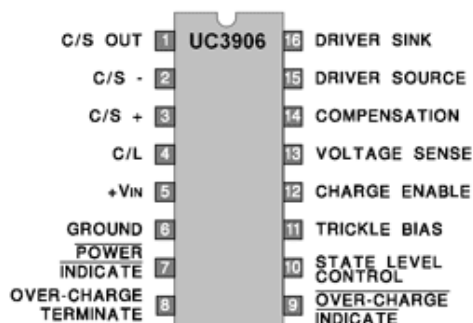
Vstupní napětí AC: 90..264V
 Odběr při 230V AC: 0,72A
 Účinnost: 79%
 Studený start: 40A

Integrované ochrany: Přetížení, zkrat, přepětí

Pracovní teplota: -10..60°C
 Hmotnost: 0,21kg
 Rozměry: 127 x 76 x 42mm

Obrázek 21. Spínaný zdroj Mean Well PS-65-15 [61]

Srdcem samotné nabíječky je řídicí obvod UC3906 umístěn v pouzdře DIL16. Mezi základní parametry patří: napájecí napětí $+V_{IN}$ (max. 40 V), napájecí proud I_{NAP} (1,8 – 2,7 mA), výstupní proud (PIN16) - max. 25 mA, ztrátový výkon P_{MAX} (1000 mW), pracovní teplota od 55°C až +150°C



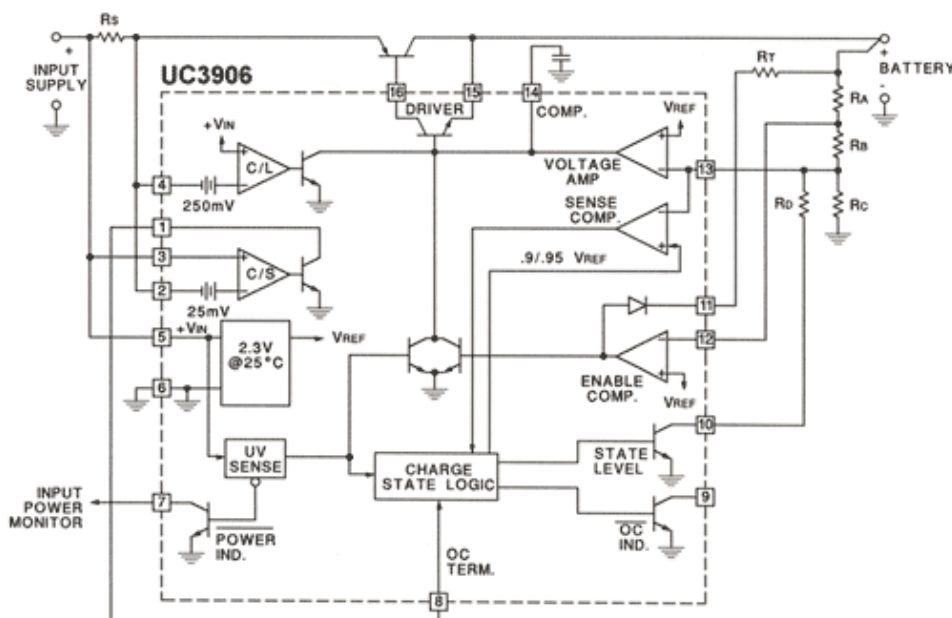
Obrázek 22. Obvod UC3906 [56]

Velikost použitých rezistorů a dalších součástek je vypočítána tak, aby bylo dosaženo správné velikosti jednotlivých charakteristik. Vzorce, podle kterých bylo počítáno, a také samotné výpočty (pro akumulátor s kapacitou 5 Ah) jsou zaznamenány v tabulce (příčemž maximální proud I_{MAX} je 1/10 kapacity akumulátoru). [56]

Tabulka 6. Výpočet hodnot odporů a ostatních parametrů [56]

Výpočet hodnot rezistorů (odporů) a ostatních parametrů			
$I_D = 50 \mu A$ až $100 \mu A$	$50 \mu A$	$V_{12} = 0,95 \times V_{OC}$	$0,95 \cdot 14,4$
$R_C = 2,3V / I_D$	$2,3/50 \cdot 10^{-6}$	$V_{31} = 0,90 \times V_F$	$0,9 \cdot 13,8$
$R_A + R_B = R_{SUM} = (V_F - 2,3V) / I_D$	$(13,8 - 2,3) / 50 \cdot 10^{-6}$	$I_{OCT} = I_{MAX} / 10$	$0,5/10$
$R_D = 2,3V \times R_{SUM} / (V_{OC} - V_F)$	$2,3 \cdot 230000 / (14,4 - 13,8)$	$V_{12} = 0,95 \times V_{REF} \times [1 + (R_A/R_C) + (R_A/R_D)]$	-
$R_A = (R_{SUM} + R_X) \times (1 - 2,3V/V_T)$	$(230000 + 43719) \cdot (1 - 2,3/10)$	$V_F = V_{REF} \times [1 + (R_A/R_C)]$	-
$R_X = R_C \times R_D / (R_C + R_D)$	$46000 \cdot 881667 / (46000 + 881667)$	$V_{21} = 0,9 \times V_F$	$0,9 \cdot 13,8$
$R_B = R_{SUM} - R_A$	$230000 - 210764$	$I_{MAX} = 0,25V/R_{SM}$	$0,25/0,5$
$R_S = 0,25V / I_{MAX}$	$0,25 / 0,5$	$R_T = (V_{IN} - V_T - 2,5V) / I_T$	$(15 - 10 - 2,5)/0,025$

Vlastní zapojení nabíječky vychází z typického zapojení výrobce obvodu UC3906 uvedeném v katalogovém listu od Texas Instruments. [56]

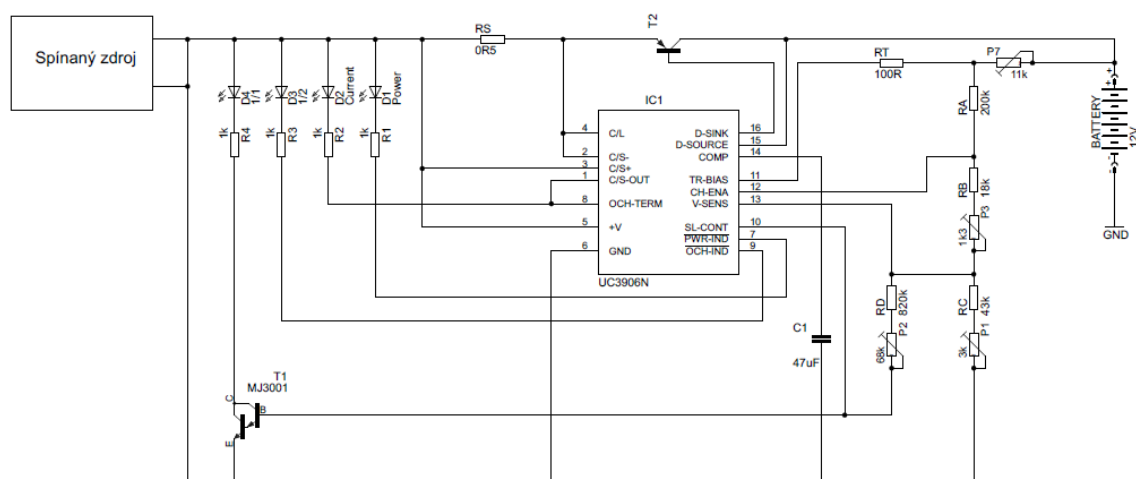


Obrázek 23. Doporučené zapojení obvodu UC3906 [56]

Obvod je dále vybaven čtyřmi signalizačními diodami - D1 (Power), D2 (Current), D3 (1/2) a D4 (1/1) pro kontrolu stavu nabíječky. D1 představuje zelenou LED diodu L-HLMP-3990 v průhledném pouzdře o velikosti 5 mm, D2 červenou LED diodu L-HLMP-3750 v průhledném pouzdře o velikosti 5 mm, D3 a D4 jsou žluté LED diody L-HLMP-3850 v průhledném pouzdře o velikosti 5 mm. Vzhledem k omezené velikosti průchozího proudu diodami jsou na vstupu umístěny rezistory (R1 až R4) o hodnotě 1 k Ω .

Další, již nezobrazenou, součástí nabíječky jsou chladicí prvky – chladič, případně doplněný malým ventilátorem, který by žebra chladičů ofukoval a zajišťoval tak lepší tepelnou výměnu. Pro tuto konkrétní aplikaci však není ventilátor nezbytně nutný vzhledem k malým nabíjecím proudům.

Schéma nabíječky je zobrazeno níže a vychází v podstatě z doporučeného zapojení výrobce obvodu UC3906. Spínaný zdroj jako celistvý a v podstatě hotový prvek je zobrazen pouze popsáním blokem. Schéma nabíječky nahrazuje blok Nabíječka ve schématu záložního zdroje a jeho řízení.



Obrázek 24. Schéma nabíječky záložního zdroje

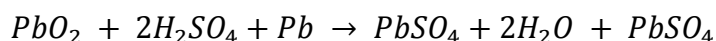
5.3 Energetický zdroj UPS – olověný akumulátor

Energetickým zdrojem realizovaného záložního zdroje (UPS) je 12 V olověná akumulátorová baterie složená ze šesti článků se jmenovitou hodnotou napětí 2 V na jeden článek. Kapacita použitého akumulátoru je 5 Ah. V následujícím textu je blíže popsán princip skladování energie a přiblížena konstrukce s bližšími specifiky způsobu provozu a údržby používání olověného akumulátoru jako součástí záložního zdroje.

5.3.1 Základní vlastnosti a charakteristiky olověného akumulátoru

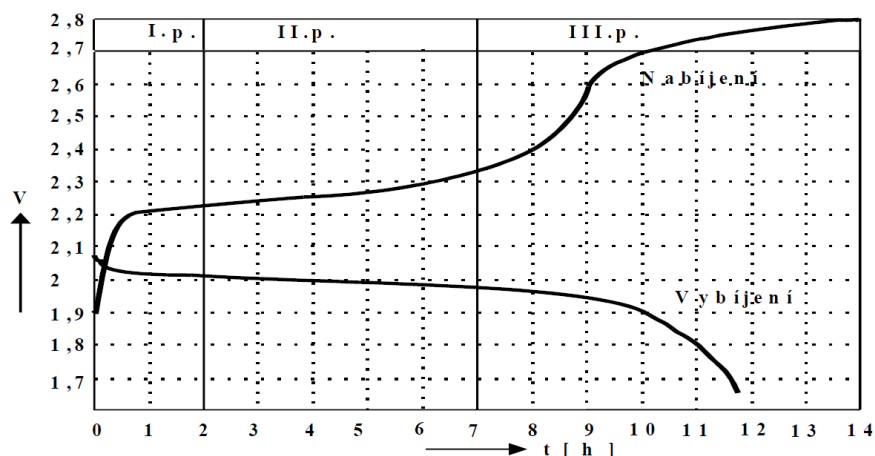
Díky své přijatelné ceně, dostupnosti a univerzálnosti využití je dnes olověný akumulátor nejběžněji používaným sekundárním chemickým zdrojem elektrické energie. Tato energie, kterou je nutno nejprve dodat z vnějšku k nabití akumulátoru, se v jednotlivých člancích akumuluje ve formě chemické energie. Hlavními součástmi olověného akumulátoru jsou kladné a záporné elektrody a vodou zředěná kyselina sírová – elektrolyt (hustota 1,24 až 1,28 g/cm³).

Při vybíjení uvolňují záporné elektrody elektrony a reagují se zápornými ionty kyseliny sírové za vzniku sulfátu olovnatého. Elektrony putují vnějším uzavřeným elektrickým obvodem od záporných elektrod směrem ke kladným při současné redukci oxidu olovičitého na vodu a síran olovičitý. Celková chemická reakce během vybíjení vypadá takto:



U téměř vybitého akumulátoru mají články koncentraci kyseliny jen 12 až 28 %, což odpovídá napětí 1,96 až 2,03 V. Nabíjení akumulátoru probíhá opačným sledem událostí. Během nabíjení je hustota kyseliny sírové v elektrodách větší, než v samotném elektrolytu. V nabitých člancích se koncentrace kyseliny pohybuje kolem 28 až 40 %. Stav akumulátoru (nabití/vybití) může prozradit právě třeba hustota elektrolytu. Nutno podotknout, že vliv na hustotu elektrolytu má také okolní teplota, které je akumulátor vystaven. S růstem teploty zvětšuje elektrolyt svůj objem a hustota elektrolytu klesá o 0,01 g/cm³ na každých +15 °C. S poklesem teploty dochází k opačnému procesu, proto je nutno mít tuto skutečnost na zřeteli a v případě měření při významně odlišné teplotě, než je stanovených 25°C, tuto výslednou hodnotu správně interpretovat.

Při nabíjení a vzrůstajícím napětí dochází též k plynování elektrod, tedy jevu, který značí ukončení rozkladu síranu olova a počínající elektrolýzu vody – rozpadu na vodík a kyslík (výbušná směs). Z důvodu možného nahromadění těchto plynů a z toho vyplývajícího rizika exploze je nezbytné při větším množství nabíjených akumulátorů dostatečně odvětrávat prostory, v nichž se akumulátory vyskytují a zejména tomuto jevu předcházet vhodným nabíjecím cyklem (omezením přebíjení akumulátoru) s optimálními proudovými hodnotami.



Obrázek 25. Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru [23]

Na obr. 25 jsou znázorněny tři pásma, kterými křivky prochází. V případě nabíjecí křivky je zaznamenán prudký nárůst v prvním pásmu při začátku nabíjení doprovázený tvorbou kyseliny v pórech olověných desek a tím i zvyšování hustoty elektrolytu. V druhém pásmu dochází k přeměně síranu olovnatého, přičemž napětí dosahuje hodnoty až 2,35 V na článek. Stoupne-li však napětí ještě o něco výše (nad 2,4 V), začne se kromě síranu rozkládat i voda za vzniku kyslíku a vodíku, což je nežádoucí stav, neboť dochází k plynování akumulátoru. Pokud by došlo k rozložení všeho síranu a zvýšení napětí článku ke kritické mezi 2,8 V, přestane se napětí zvyšovat a všechna energie se vynaloží na rozklad vody za masivního „plynování“. [4], [23]

V případě opačného procesu – vybíjení existuje předepsaná hodnota akumulátoru, při které je vybíjení požadováno za ukončené – konečné vybíjecí napětí. Hodnota tohoto napětí závisí na více faktorech; na intenzitě vybíjecího proudu a vnitřním elektrickém odporu akumulátoru. Při vybíjení je třeba dávat pozor na to, aby nebylo z baterie odebíráno více, než je její jmenovitá kapacita.

Schopnost akumulátoru dodávat elektrickou energii o určité velikosti definuje jeho kapacita. Teoretická kapacita akumulátoru udávaná v jednotkách Ah je samozřejmě o něco větší, než skutečně využitelná kapacita, která je navíc ovlivňována vnější teplotou a velikostí vybíjecího proudu. Při narůstajících velikostech vybíjecích proudů by neklesala jen využitelná kapacita akumulátoru, ale také doba, po kterou by byl akumulátor vybíjen. Jak již bylo zmíněno, kapacita je ovlivněna i samotnou teplotou. Při vyšších teplotách (nad 20°C) mírně kapacita akumulátoru narůstá, ovšem na druhou stranu dochází ke snížení jeho životnosti a to až o 50 % při trvale zvýšené teplotě (o 10°C). Na životnost akumulátoru má vliv konstrukce elektrod, provoz a v neposlední řadě použitá nabíječka. Životnost se u trvale dobíjených akumulátorů udává v rocích. Pokles kapacity na 80 % jmenovité hodnoty bývá považován za konec životnosti.

Pokud by došlo k dlouhodobému uskladnění akumulátoru, je nutno mít na paměti, že baterie se uskladňují plně nabitě, čisté, suché a hlavně v suchém prostředí

nad bodem mrazu s tím, že jsou buďto dobíjeny jednou měsíčně anebo trvale na napětí 2,33 V na článek. Protože v akumulátorech s elektrolytem dochází neustále k chemickým reakcím, je skladování spíše nouzovou záležitostí, neboť do celkové životnosti akumulátoru se započítá i toto uskladnění. [4]

5.3.2 Staniční akumulátory a jejich konstrukce

Staniční akumulátory, vyráběné s kapacitou od 1 Ah do 10 000 Ah, slouží obvykle k nepřetržitému dobíjení požadované zátěže prostřednictvím elektrické energie uložené v akumulátorových bateriích při výpadku hlavního napájení z elektrorozvodné sítě. Při této aplikaci tak za svůj život prodělají jen omezené množství cyklů a odhadovaná životnost je při zachování správných podmínek provozu a skladování několik let. Protože jsou určeny k napájení kritických zátěží, tj. zařízení, jejichž nečinnost by mohla mít negativní dopad na infrastrukturu, průmysl nebo ohrozit zdraví či lidský život, je velmi důležité aby dosahovaly nejen dlouhé životnosti, ale také vysoké provozní spolehlivosti. [4]

Na základě vlastností elektrolytu (zejména skupenství a hustoty) lze rozdělit olověné staniční akumulátory do několika základních skupin.

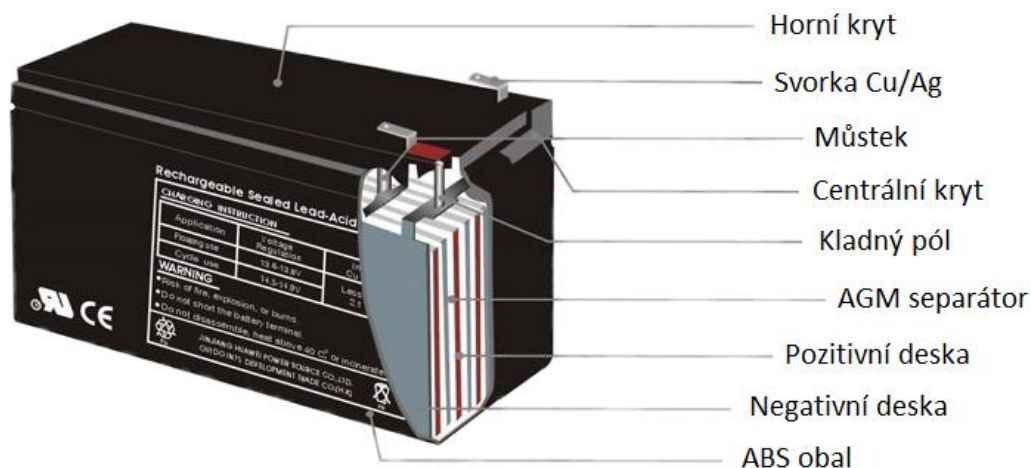


Obrázek 26. Akumulátory PowerSafe [49]

Akumulátory uzavřené větrané (se zaplavenými elektrodami) patří mezi nejjednodušší a poměrně často dostupné typy akumulátorů s elektrodami ponořenými do tekutého elektrolytu. Specifikum těchto typů akumulátorů je plnicí prostor nad elektrodami, ve kterém je v ideálním případě udržována rovnoměrná hladina elektrolytu občasným doléváním vody (bez dalších chemických látek, tj. destilovaná apod.) v takových intervalech, aby nedošlo k přílišnému poklesu hladiny a tím i

poškozením akumulátoru. Tento typ obsahuje kromě plnicího prostoru také prostor plynovací, určený k hromadění plynů vznikajících elektrolýzou vody během nabíjení. Akumulátory mohou být dodávány ve dvou provedeních – suchém a mokré. Suché provedení neobsahuje elektrolyt, což znamená, že baterie není určena k okamžitému provozu, ale k uskladnění, neboť absence elektrolytu znamená omezení chemických reakcí v akumulátoru a výrazně prodlužuje dobu skladování a hlavně životnost akumulátoru při zajištění vhodných skladovacích podmínek (suché prostředí s teplotou nad bodem mrazu a nepřekračující 30°C). Mokré provedení je naopak určeno k „okamžité spotřebě“. Obsahuje elektrolyt a není vhodné k dlouhodobému skladování. [4]

Akumulátory řízené ventilem nazývané také rekombinační či hermetizované, běžně značené podle anglického pojmenování valve regulated lead acid jako VRLA, postupně nahrazují předchozí typ akumulátorů díky větší variabilitě svého použití a jednodušší údržbě. Oproti typu se zaplavenými elektrodami s tekutým elektrolytem mohou pracovat takřka v libovolné poloze bez rizika vytečení elektrolytu, navíc je obal konstruován tak, aby umožňoval jednoduchou manipulaci, transport a byl dostatečně odolný vůči vibracím a drobným nárazům. Aby byla omezena elektrolýza vody, jsou elektrody tohoto typu vyráběny z olova negovaného vápníkem, čímž se zvýší přepětí vodíku na olovu a dojde k výraznému omezení (nikoliv úplného zastavení) negativního jevu rozkladu vody na vodík a kyslík. K tvorbě plynů uvnitř akumulátorů dochází samozřejmě stále, a proto jsou pouzdra akumulátorů opatřeny ventily udržující stálý přetlak v člancích mezi hodnotami 0,07 až 0,43 kPa. Tyto ventily jsou bezpečnostní a není možno s nimi za běžných podmínek manipulovat (došlo by k porušení činnosti akumulátoru). Stupeň nabití je proto možné kontrolovat pouze měřením napětí akumulátoru. Hodnota napětí pro trvalé dobíjení je na jeden článek 2,23 až 2,30 V. V cyklickém provozu, tj. při opakovaném nabíjení a vybíjení, nesmí hodnota nabíjecího napětí překročit 2,40 až 2,47 V na článek. Jednotlivé hodnoty se liší dle výrobce a jejich překročení může nejen významně ovlivnit životnost akumulátoru, ale přímo jej poškodit. VRLA akumulátory lze ještě dále dělit do dvou podskupin – AGM (absorbed glass mat) a gelové. [4]



Obrázek 27. Konstrukce malé ventilem řízené baterie (AGM) [52]

Akumulátory AGM mají nižší vnitřní elektrický odpor a lze je, na rozdíl od gelových akumulátorů, zatěžovat vyššími vybíjecími proudy. Elektrolyt, o hustotě od 1,27 až 1,29 g/cm³, je u tohoto typu nasáknut v tlustších separátorech ze skleněných mikrovláken a v aktivních hmotách elektrod. Difúzi kyslíku od kladných k záporným elektrodám umožňují póry mezi skleněnými vlákny. Záporné elektrody nejsou nikdy plně nabitě, takže malé množství vodíku vznikajícího při nabíjení může být s kyslíkem přeměňováno opět na vodu. Omezení plynování je dosaženo tím, že se kyslík váže na aktivní hmotu záporných elektrod za vzniku oxidu olovnatého, který následně reaguje s ionty kyseliny sírové za vzniku síranu olovnatého. Při správném skladování a vhodných nabíjecích cyklech dosahují životnosti od 5 do 12 let. **Akumulátory gelové** dokážou při správném užívání vydržet mnohem déle, než předchozí typ AGM. A to 15 až 18 let. Elektrolyt těchto akumulátorů je tvořen gelem. Přesněji se jedná o tixotropní gel SiO₂ ztužující elektrolyt. V tomto gelu se během nabíjení vytváří drobné kanálky, kterými kyslík difunduje z kladných k záporným elektrodám. U gelových akumulátorů je také třeba dávat pozor na vnější teplotu, neboť jsou citlivé na její zvýšení.

Toto rozdělení akumulátorů není rozhodně jediné možné a správné. Dělení se dá provádět např. dle konstrukce kladných elektrod na akumulátory s elektrodami velkopovrchovými, trubkovými, tyčovými, mřížovými a pak je dále členit na jednotlivé podskupiny. [4]

5.3.3 Znaky plného nabití akumulátoru

Pro optimální délku nabíjecího cyklu, maximální možnou využitelnost kapacity akumulátoru a předejití provozním závadám je třeba vycházet z tzv. znaků plného nabití, které se mírně liší v závislosti na typu akumulátoru.

Znaky plného nabití pozorujeme u akumulátorů se zaplavenými elektrodami provozovanými cyklicky při nabíjení konstantním proudem a nárůstem napětí na takovou mez, při které je hodnota napětí nejvyšší a nemění se ani po dalších dvou až čtyřech hodinách. Taktéž při nabíjení konstantním napětím, kdy je proud na počátku nabíjení vysoký a postupně klesá, až se ustálí na hodnotě, která se ani po další čtyři nebo šest hodin nemění. Po stejnou dobu nedochází ani ke změně hustoty elektrolytu, která během nabíjení dosáhla maximální hodnoty a na konci cyklu dochází k rovnoměrnému plynování elektrod na jednotlivých člancích akumulátoru.

U téhož typu akumulátoru v provozu trvalého dobíjení jsou za znaky plného nabití považovány tyto stavy; pokles proudu trvalého dobíjení na minimální hodnotu a vzestup hustoty elektrolytu na nejvyšší hodnotu nemění se 16 až 24 hodin během dalšího dobíjení. Jednotlivé články baterie jsou nabitý rovnoměrně a velikost napětí se nemění ani dalším dobíjením.

Znaky plného nabití u akumulátorů řízených ventilem při cyklickém nabíjení se projevují poklesem nabíjecího proudu na minimální hodnotu nemění se další dvě až čtyři hodiny a vzestupem napětí nabitého článku na 2,40 až 2,47 V (dle výrobce baterie a v závislosti na okolní teplotě).

Při trvalém dobíjení konstantním napětím (2,23 až 2,30 V na článek) ventilem řízených akumulátorů dochází k poklesu proudu na minimální mez nemění se při dalším dobíjení po dobu 16 hodin. [4]

5.3.4 Provozní závady olověného akumulátoru a jejich možná řešení

Provozování olověného akumulátorů má svá specifika, podobně jako je mají jiné zdroje elektrické energie. Během života takového akumulátoru může dojít vlivem nevhodné manipulace nebo špatně zvolených nabíjecích cyklů k mnoha různým poškozením, která mohou nejen omezit správnou funkčnost, ale především významně zkrátit životnost baterie.

K poškození akumulátoru typu VRLA může dojít například tím, že budou dobíjeny velkými proudy. Tento typ dobíjení lze naopak čas od času tolerovat u akumulátorů se zaplavenými elektrodami, i když i zde se můžou projevit negativní dopady, a proto tento postup není doporučován.

Nabíjení velkými proudy se projevuje nejen vyšší teplotou elektrolytu, ale také zvýšenou elektrolýzou vody v něm. Kromě zrychlení nežádoucích chemických reakcí klesá účinnost nabíjení a dochází k poškození povrchové vrstvy aktivní hmoty kladných elektrod. Předcházet tomuto stavu se dá třeba tím, že bude takovéto nabíjení dokončeno při dosažení napětí 2,4 až 2,45 V na článek, i když nebude baterie nabitá do plné kapacity. Na druhou stranu je třeba se vyvarovat také neúplnému nabití.

Neúplné nabíjení je proces nabíjení, který byl ukončen dříve, než mohlo dojít k plnému nabití akumulátoru. Pokud by k tomuto jevu docházelo opakovaně, může nastat nevratná sulfatace, zvláště v kombinaci s opakovaným hlubokým vybíjením. Předcházet neúplnému nabíjení lze uskutečněním alespoň jednoho nabíjecího cyklu s proudem rovnajícím se 1/10 kapacity akumulátoru (tzn. 10 % z nominální hodnoty akumulátoru v Ah) až do 2,4 V na článek a poté proudem polovičním, tj. 5 % až do plného nabití. Pokud je naopak akumulátor dobíjen i tehdy, když dosáhl znaků plného nabití, jedná se o přebíjení.

Přebíjení nastává například v režimu trvalého dobíjení tehdy, kdy je akumulátoru dodáváno více energie, než kolik se rovnají jeho ztráty (např. samovybíjením apod.). Přebíjení urychluje korozi olověných kolektorů kladných elektrod, zvyšuje elektrolyzu vody (plynování), snižuje hladinu elektrolytu atd. Nastavením nabíjení na správnou hodnotu a nabíjení do znaků plného nabití se tento negativní jev výrazně omezí.

Hluboké vybití, které bylo zmíněno v souvislosti s neúplným nabíjením, se projevuje malou hustotou elektrolytu, způsobenou úbytkem aniontů SO_4^{2-} z elektrolytu důsledkem jejich reakce s aktivními hmotami elektrod. Dochází k němu tehdy, pokud je akumulátor vybíjen pod konečné vybíjecí napětí stanované výrobcem baterie (tomuto jevu předchází u realizovaného záložního zdroje řídicí obvod pomocí komparátoru s tranzistorem). Taktéž lze hlubokému vybití předcházet upravením provozního režimu tak, aby byl z akumulátoru odebírán proud maximálně z 80% jeho skutečně dosahované kapacity. Kromě záměrného hlubokého vybíjení může docházet za určitých podmínek k vysokému samovybíjení.

Vysoké samovybíjení se od běžného „fyzilogického“ samovybíjení akumulátoru liší mnohem větší ztrátou kapacity během daného časového úseku a často bývá způsobeno vnějšími vlivy prostředí, ve kterých je akumulátor používán nebo uskladněn, nečistotami v doplňované vodě, v elektrolytu, ale třeba také samotným stářím baterie. Řadu faktorů z výše jmenovaných lze omezit už jen tím, že uživatel bude postupovat při použití a uskladnění dle doporučení výrobce, tzn., že do akumulátorů, do kterých je nutno elektrolyt doplňovat, bude doplňován ve správném množství a čistotě (destilovaná voda, nikoliv voda se zbytky chemikálií apod.). Akumulátor bude uskladňován v čistém a suchém prostředí při vhodných teplotách.

Vysoké nebo naopak **nízké teploty** akumulátoru příliš neprospívají. Při vyšších teplotách dochází k urychlování chemických reakcí, jejichž následkem se sice může o něco málo zvednout kapacita akumulátorů, ale současně dochází k nárůstu samovybíjení, úbytkům vody v elektrolytu (u VRLA k jeho vysychání) a v konečném

důsledku ke snižování životnosti (o 25 až 75 %). Nižší teploty snižují kapacitu (baterie nelze dobíjet do plné kapacity) a zároveň zvyšují vnitřní elektrický odpor. Při teplotách okolo bodu mrznutí elektrolytu jsou baterie nepoužitelné. Optimální teplota pro staniční akumulátory se pohybuje kolem 20 °C.

Mechanické poškození akumulátoru je při správné obsluze takřka vyloučeno, přesto i k němu může dojít, a to nejčastěji při transportu, nevhodném uskladnění nebo při provozu. Obaly akumulátorů jsou obvykle vyráběny z plastů a mají o něco tenčí provedení než dřívější pryžové zpracování. Při poškození obalu akumulátoru typu VRLA nemusí dojít ihned ke ztrátě funkčnosti, ale vlivem narušení uzavřeného systému pro rekombinaci kyslíku na záporných elektrodách končí jejich životnost zkoncentrováním elektrolytu a v podstatě vyschnutím akumulátoru. Předcházet je třeba rovněž nadměrným vibracím a otřesům. [4]

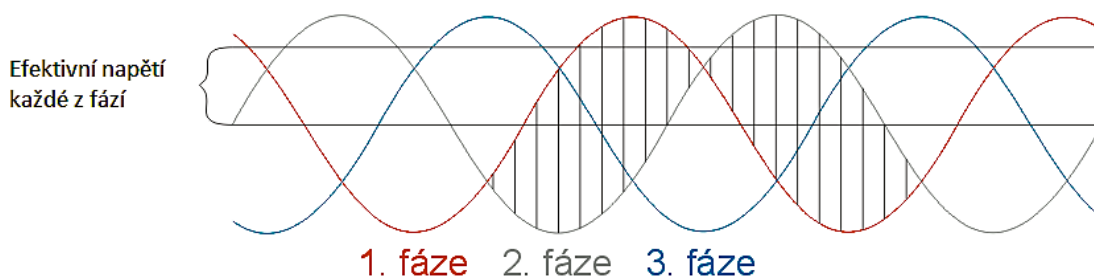
Všechny výše jmenované stavy zkracují životnost akumulátoru a omezují plnou využitelnost akumulátorů a je nutno jim předcházet, aby byla životnost akumulátoru a jeho využitelná kapacita po tuto dobu co nejvyšší.

5.4 Spínaný zdroj a tvary výstupního napětí

Vzhledem k faktu, že napájení zátěže je obstaráváno 12V akumulátorem, je nutno toto nízké stejnosměrné napětí nejprve upravit na střídavé s patřičným průběhem vhodným k napájení konkrétní zátěže (v tomto případě EKG monitorovací systém). K tomuto účelu je určen právě spínaný zdroj skládající se ze dvou zařízení; z DC/DC měniče a čtyř-kvadrantového spínače vytvářejícího modifikovanou sinusovkou.

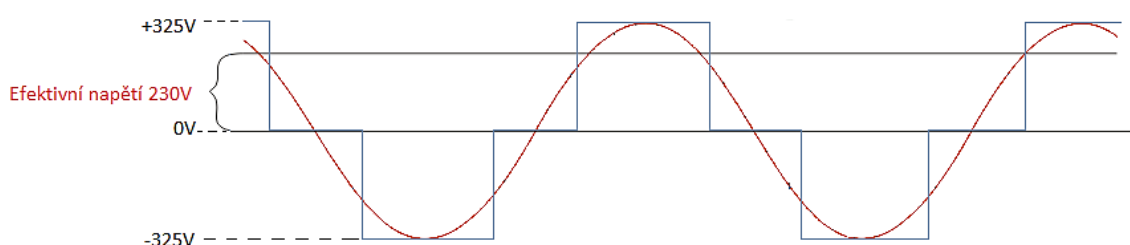
5.4.1 Tvary výstupního napětí

Tvar výstupního napětí elektrické sítě odpovídá sinusovému průběhu, avšak jednotlivé parametry (kmitočet sítě, velikost napětí) se v rámci jednotlivých zemí (USA 110V/60Hz, EU 230V/50Hz) liší. V České republice se parametry a jednotlivé charakteristiky napětí ve veřejných distribučních soustavách nízkého a vysokého napětí řídí technickou normou PNE 33 3430-7 – Parametry kvality elektrické energie (dle ČSN EN 50160 ed.3 nahrazující předchozí normy ČSN EN 50160 a ČSN EN 50160 ed.2). Zmíněná norma se věnuje popisu vlastností dodávané elektřiny koncovým spotřebitelům. V tomto případě se jedná o popis střídavého napětí s konstantním kmitočtem a amplitudou sinusového průběhu vlny. Velikost normalizovaného jmenovitého napětí je pro veřejnou síť nízkého napětí 230 V, přičemž odchylka napětí nemá přesáhnout 10 %. Jmenovitý kmitočet tohoto napětí je 50 Hz s odchylkou 1 %. [47]



Obrázek 28. Napětí v trojfázové soustavě [16]

Parametrům rozvodné sítě jsou uzpůsobena i všechna zařízení, které jsou v dané zemi (v tomto případě ČR) schválena k provozu. K tomuto faktu je třeba přihlížet i při návrhu záložního zdroje. Ne všechna zařízení však vyžadují napájení přímo napětím s čistým sinusovým průběhem a toho se dá využít, neboť vytvoření čistě sinusového průběhu je složitější a tím i finančně nákladnější. Čistou sinusovku tak může za jistých okolností nahradit modifikovaná, neboť má stejnou efektivní hodnotu (230 V), tj. hodnotu střídavého napětí rovnající se hodnotě stejnosměrného napětí, které by při přiložení na odporovou zátěž dávalo stejný průměrný výkon. Spínaný zdroj s modifikovanou sinusovkou může být součástí UPS určené k napájení většiny spotřebičů, kromě kapacitních nebo těch, které vyžadují z nějakého důvodu čistý sinus.



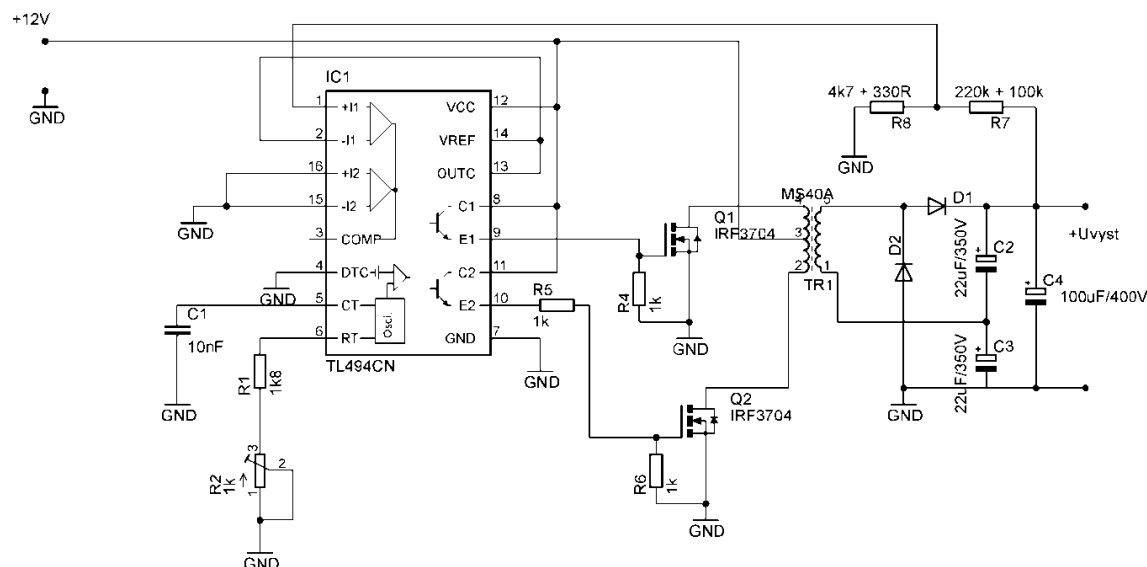
Obrázek 29. Výstupní napětí měniče s modifikovanou sinusovkou

Výhodou modifikované sinusovky je právě fakt, že má nejen stejně velkou efektivní hodnotu napětí jako klasická sinusovka, ale také stejně velkou špičkovou hodnotu. Modifikovaná sinusovka je právě z těchto zmíněných důvodů často využívána. Nejjednodušší způsob jejího generování je pomocí dvou polomůstků s fázovým posunem 25 %. Dochází ke spínání napětí tak, aby byla zajištěna správná funkce.

5.4.2 DC/DC měnič

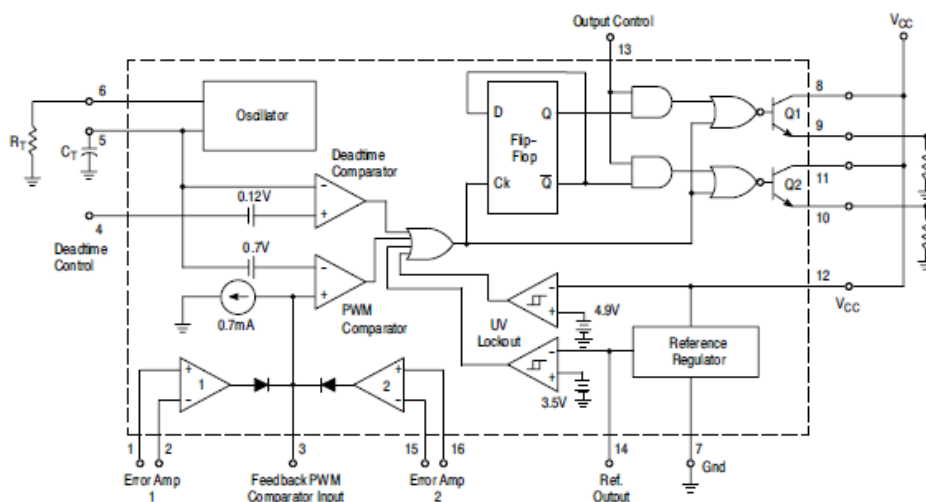
Jelikož by byl spínaný zdroj s čistým sinusovým průběhem mnohem obtížněji realizovatelný (taktéž dražší) a naopak výstupní obdélníkový tvar napětí by rovněž nebyl vhodným k napájení EKG monitoru, je volba spínaného zdroje s modifikovanou sinusovkou rozumným kompromisem. Spínaný zdroj s modifikovanou sinusovkou je složen z měniče a čtyř-kvadrantového spínače.

Měnič je zařízení určené ke změně napětí pracující s poměrně vysokou účinností (přes 80 %). Jeho výhodou je velmi malá klidová spotřeba a především schopnost stabilizace výstupního napětí. V tomto konkrétním případě se jedná o dvojčinný měnič („push-pull“) využívající dvou primárních vinutí transformátoru, na která je střídavě pomocí spínacích tranzistorů připojováno napájecí napětí. Měnič zvyšuje vstupní nízké stejnosměrné napětí (DC) z akumulátoru (12 V) na vyšší stejnosměrné (DC), které odpovídá špičkovému napětí 325 V, tj. 230 V efektivnímu napětí. Výhodou dvojčinných měničů je střídavé sycení jádra (odpadá stejnosměrné sycení jádra). Jednočinné měniče s transformátory umožňují pouze stejnosměrné sycení jádra. Dvojčinného zapojení je užíváno při vyšších výstupních výkonech. Navržený DC/DC měnič je konstruován na odebíraný výkon 60 W (tato hodnota vychází z požadavků napájeného monitoru EKG). Nevýhodou dvojčinného zapojení je nutnost dvojnásobného počtu závitů u primárního vinutí. [30]



Obrázek 30. DC/DC měnič

Součástí DC/DC měniče je **řídící obvod TL494** vyráběný v různých modifikacích firmou Texas Instruments (nebo ON Semiconductor). Obvod v sobě zahrnuje několik podstatných částí zajišťujících požadovanou funkci měniče.



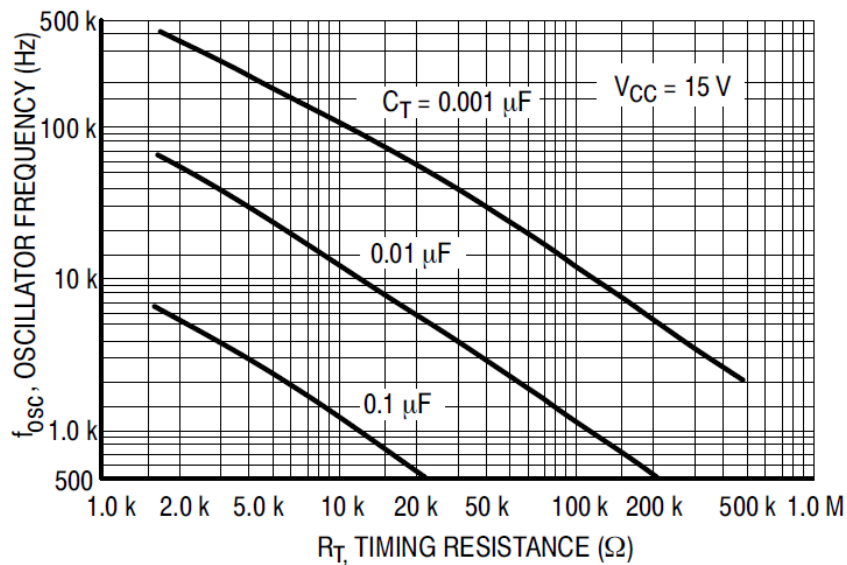
Obrázek 31. Reprezentativní blokové schéma [40]

TL494 obsahuje dva chybové zesilovače, přičemž jeden se stará o omezení proudu a druhý o stabilizaci napětí. Ve druhém případě se jedná o podpětovou ochranu, která reaguje na pokles vstupního napětí, tzn. nadměrný vstupní proud. Hlídní velikosti vstupního proudu může a nemusí být použito. (V případě realizovaného měniče tato funkce využita není, protože pokles napětí na akumulátoru je hlídán jinou částí záložního zdroje.) Změny napětí na vstupu chybového zesilovače ovlivňují dobu sepnutí spínacích tranzistorů ovládajících proud impulsovým transformátorem a tato pulsně šířková modulace (PWM) slouží ke stabilizaci amplitudy výstupního napětí. Jde o to, že při jmenovité hodnotě výstupního napětí musí být výstupní napětí z děliče rovno referenčnímu napětí v obvodu.

Oscilátor je frekvenčně programovatelný pomocí dvou externích komponent, rezistoru R_T a kondenzátoru C_T . Požadovaná frekvence je 50 000 Hz, tj. 50 kHz (s touto hodnotou je dále pracováno u transformátoru.)

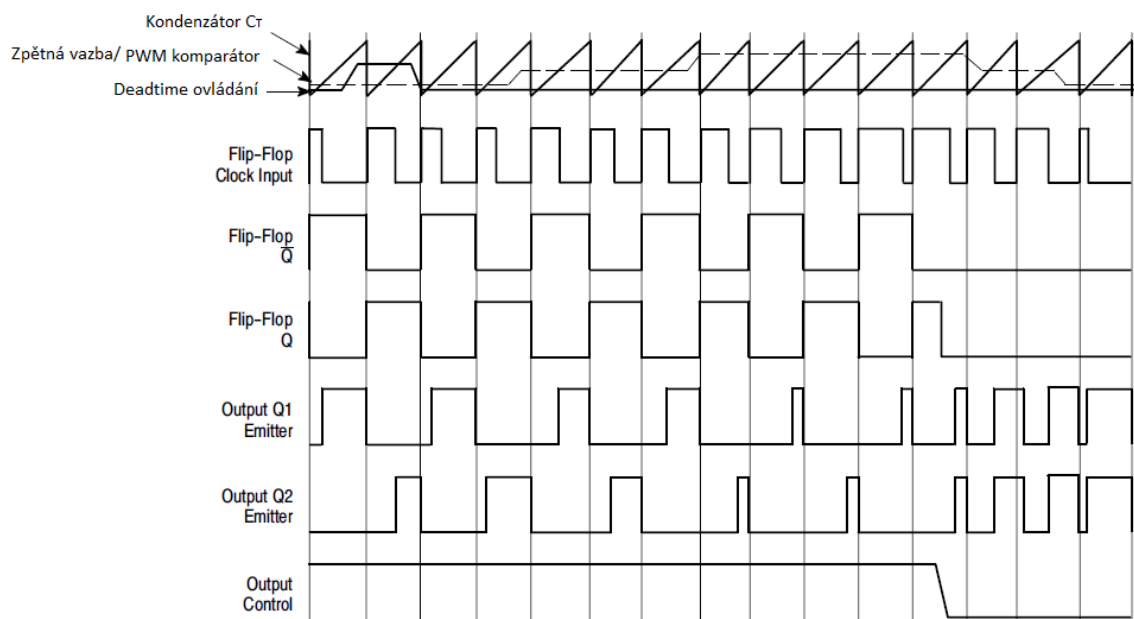
$$f_{osc} = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad [\text{Hz}] \quad (3)$$

kde f_{osc} [Hz] je frekvence oscilátoru nastavená na 50 kHz a hodnoty jednotlivých komponent jsou zpětně dopočítány. Při volbě kondenzátoru C_1 [10 nF] (kondenzátor vzhledem k menšímu množství řad volíme jako první) je požadovaná hodnota odporu 2200 Ω . Tato hodnota lze nastavit pomocí rezistoru R_1 [1,8 k Ω] a následným přesným doladěním pomocí trimru R_2 [1 k Ω]. Závislost frekvence na odporu R_T (ve schématu měniče pak jako sečtená hodnota rezistorů $R_1 + R_2$) zobrazena na obr. 32.



Obrázek 32. Frekvence oscilátoru versus nastavení odporu [40]

Krom toho obsahuje IO TL494 generátor, spínací tranzistory (pokud nestačí maximální proud vnitřních spínacích tranzistorů, lze použít externí, řízené vnitřními spínacími tranzistory obvodu) a umožňuje nastavení variabilní délky mrtvé doby („Deadtime“), tj. doby, po kterou nedojde k sepnutí a vydání impulsu. IO také obstarává ovládání výstupu pro dvojčinné zapojení („push-pull“) a je schopen pracovat v teplotním rozsahu 0 až 70°C. [31], [40]



Obrázek 33. Časování obvodu TL494 [40]

Při výpočtu hodnot rezistorů R7 a R8 v obr. 30 je třeba vycházet z následujících hodnot. Hodnota referenčního napětí u integrovaného obvodu je 5 V. Velikost proudu protékajícího zátěží při výkonu 60 W a napětí 325 V je přibližně 0,2 A. Příčný proud napětovým děličem I_d zvolíme 1 mA. Při těchto parametrech je pak R7 podle Ohmova zákona 320 k Ω (220k + 100k) a hodnota R8 5 k Ω (4,7k + 330R).

Kondenzátory, zakreslené ve schématu měniče, slouží jako akumulární prvky. Po dobu impulsu se kondenzátory nabíjí, po dobu mezery vybíjí. Konečná hodnota napětí, na kterou smí poklesnout je:

$$U_C = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R_Z \cdot C}} \quad [V] \quad (4)$$

kde U_C [V] je hodnota na kterou napětí smí poklesnout (162,4 V), U_0 [V] je polovina napětí (162,5 V), na kterou se kondenzátor nabil (zvoleno kolísání o 0,1 V), t [s] je doba vybití kondenzátoru (10^{-5} s), C [F] je kapacita kondenzátoru a R_Z je zatěžovací odpor (rezistor). Výpočet zatěžovacího odporu vychází z Ohmova zákona jako podíl napětí 325 V a průchozího proudu 0,2 A, což představuje 1625 Ω . Úpravou rovnice (4) získáme hodnotu kapacity kondenzátoru:

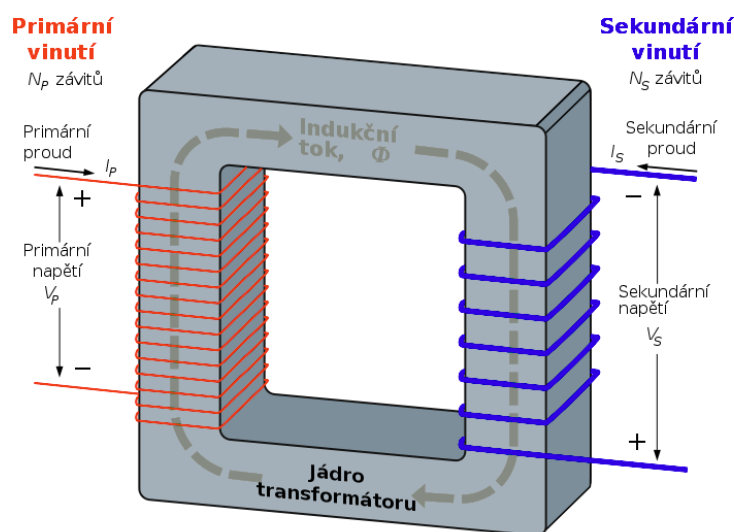
$$C = \frac{t}{R_Z \cdot \ln\left(\frac{U_0}{U_C}\right)} \quad [F] \quad (5)$$

Dále jsou v měniči použity dva unipolární (polem řízené) tranzistory (IRF510, případně lze použít také tranzistory IRFU420,...), které mají spínací funkci (tranzistor se nezavře, pokud by bylo napětí větší, než prahové). Pro usměrnění proudu slouží dvě superrychlé diody UF4007 (lze použít také 1N4937).

Dalším podstatným prvkem měniče je **impulsní transformátor**. Transformátor je elektrické zařízení umožňující přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do druhého pomocí vzájemné elektromagnetické indukce.

Skládá se z primárního a sekundárního vinutí, jádra a izolace. Primárním vinutím musí procházet střídavý nebo pulsující proud, který vytváří indukční tok v magnetickém obvodu jádra. Tento tok indukuje elektrického napětí v sekundárním vinutí. [19], [27]

Jádra jsou vyráběna různých tvarů, velikostí a z různých materiálů v závislosti na požadovaných vlastnostech transformátoru. Při výběru jádra je hleděno na velikost přenášeného výkonu a pracovního kmitočtu (od 20 do 100 kHz).



Obrázek 34. Základní princip transformátoru [68]

Rozměr jádra pro daný výkon se zmenšuje s vyšším kmitočtem. Materiálem, použitým pro výrobu jádra transformátorů pracujících s vyššími pracovními kmitočty, je ferit. Pro transformátor navrženého měniče bylo vybráno feritové jádro tvaru „E“ a o velikosti 55, tj. jádro E55 (viz tabulka 7). [27]

Tabulka 7. Parametry vybraných feritových E jader

Parametry	E32/7,8	E32/12	E42/15	E42/20	E55
S_j	0,624	0,96	1,8	2,4	3,57
S_0	1,3416	1,3416	2,5375	2,5375	3,895
P_T	50	83	189	276	490
f	50000	50000	50000	50000	50000
B_m	0,198	0,194	0,196	0,19	0,189
σ	3,35	3,6	2,6	2,9	2,3
η_T	1	1	1	1	1
k_z	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
K_m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$S_j \cdot S_0$	0,44	0,70	2,18	2,95	6,63
a	3,2	3,2	4,2	4,2	5,52
b	1,31	1,31	2,13	2,13	2,85
c	0,78	1,2	1,5	2	2,1
d	2,36	2,36	2,95	2,95	3,75
e	0,86	0,86	1,45	1,45	1,9

Parametry	E32/7,8	E32/12	E42/15	E42/20	E55
f	0,8	0,8	1,2	1,2	1,7
R ₁	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
R ₂	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
U ₁ [V]	12	12	12	12	12
ΔB[T]	0,235	0,246	0,204	0,216	0,19
N _p	32,73	20,33	13,07	9,26	7,08
N _s	886,52	550,47	354,03	250,77	191,66

V tabulce jsou známy, případně dopočítané parametry feritových jader. Průřez jádra a okénka vychází ze vztahu:

$$S_j \cdot S_o = \frac{P_T \cdot 10^2}{2 \cdot f \cdot B_m \cdot \sigma \cdot \eta_T \cdot k_z \cdot k_m} \quad [\text{cm}^2] \quad (6)$$

kde S_j [cm²] je průřez jádra, S_o [cm²] průřez okénka, P_T [VA] výkon transformátoru, f [Hz] kmitočet, B_m [T] maximální indukce, σ [A/m²] hustota proudu ve vinutí, η_T účinnost transformátoru, k_z činitel plnění jádra železem, k_m činitel plnění okénka mědí. [33]

$$N \geq \frac{U_1 \cdot \frac{T}{2}}{\Delta B \cdot S_j} \quad [\text{počet závitů}] \quad (7)$$

Pro výpočet počtu závitů primárního N_p a sekundárního N_s vinutí byl použit vzorec (5), kde N je počet závitů, U_1 [V] je velikost vstupního napětí, S_j [cm²] průřez jádra, T časová perioda (dosazována frekvence $f = 1/T$) a ΔB [T] je změna indukce.

Kromě předešlých vztahů je nutno dopočítat potřebnou velikost okénka pro primární a sekundární vinutí, přičemž primární vinutí je dvojnásobné (viz schéma měniče). Pro výpočet primárního a sekundárního vinutí je třeba nejprve znát velikost procházejícího proudu, aby bylo možno určit průměr drátu a následně také prostor, který toto vinutí zabere. Tuto hodnotu lze získat ze vztahu:

$$I = \frac{P}{U} \quad [\text{A}] \quad (8)$$

kde I [A] je procházející proud, P [W] výkon a U [V] napětí. Hodnoty jednotlivých proudů a tím i průměrů drátů (holých i s izolací) lze například vyčíst z tabulky vlastností smaltovaných vodičů. [19]

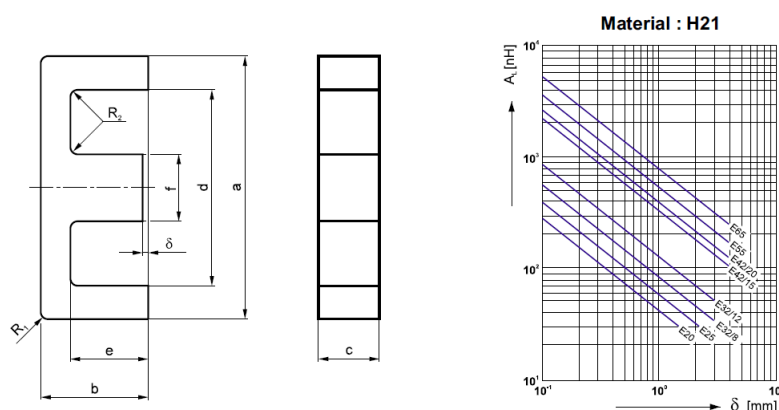
Tabulka 8. Hodnoty vodičů v primárním a sekundárním vinutí

	Primární vinutí	Sekundární vinutí
Výkon [W]	60	60
Napětí [V]	12	230
Proud [A]	5	0,260
Průměr drátu [mm]	1,6	0,375
Průřez drátu [mm ²]	2,0106	0,100

Pro primární vinutí je třeba okénko velikosti:

$$S_{v1} = N_P \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{l}{a_v} \quad [\text{cm}^2] \quad (9)$$

kde S_{v1} [cm²] je velikost okénka pro primární vinutí, N_P počet závitů primárního vinutí, l je průměr vodiče, a_v činitel plnění (obvyklá hodnota je 0,3). [19]



Obrázek 35. Parametry feritového E jádra [51]

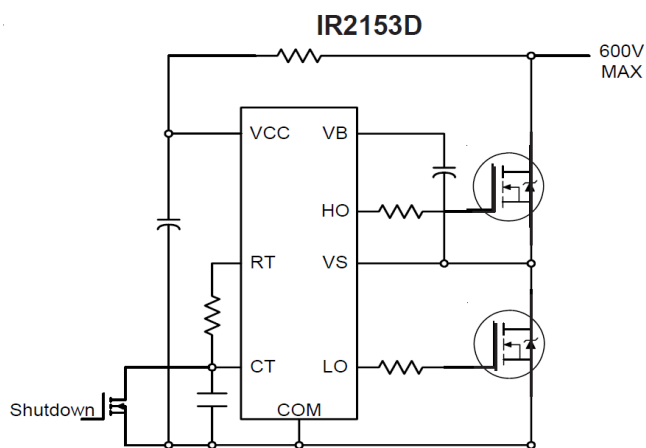
Parametry a , b , c , d , e , f , R_1 , R_2 [mm] označují rozměry feritového E jádra. (Hodnoty A_L [nH] magnetické vodivosti a δ [mm] rozměry vzduchové mezery jsou zaneseny v grafu obrázku.)

Na základě těchto výpočtů se optimální volbou jeví použití jádra E42/15 nebo E42/20. Vzhledem k tomu, že tato jádra nebyla dostupná, bylo pro realizaci zvoleno feritové jádro E55 (vyznačeno barevně), které bylo k dispozici.

Samotné vinutí je zhotoveno z lakovaných měděných drátů. Jednotlivě namotané vrstvy vinutí na cívkovém tělísku jsou prokládány izolační vrstvou (mylarová nebo polyesterová folie či páska). Rovněž samotný povrch cívky je izolován. Celý transformátor může a často také bývá lakován pro zlepšení přenosu vedení tepla z vinutí do okolí, přičemž vrstva laku současně slouží jako ochrana před vzdušnou vlhkostí.

5.4.3 Čtyř-kvadrantový spínač

Čtyř-kvadrantový spínač je druhá část spínaného zdroje vytvářející ze stejnosměrného napětí střídavé, poté co je DC/DC měničem upraveno ze 12 na 325 V. Schéma čtyř-kvadrantového spínače včetně hodnot jednotlivých komponent bylo částečně převzato z odkazu [60] uvedeného v seznamu literatury a částečně z typických zapojení jednotlivých součástek, zejména pak ze zapojení obvodu IR2153 zobrazeném v katalogovém listu výrobce International Rectifier. [25]



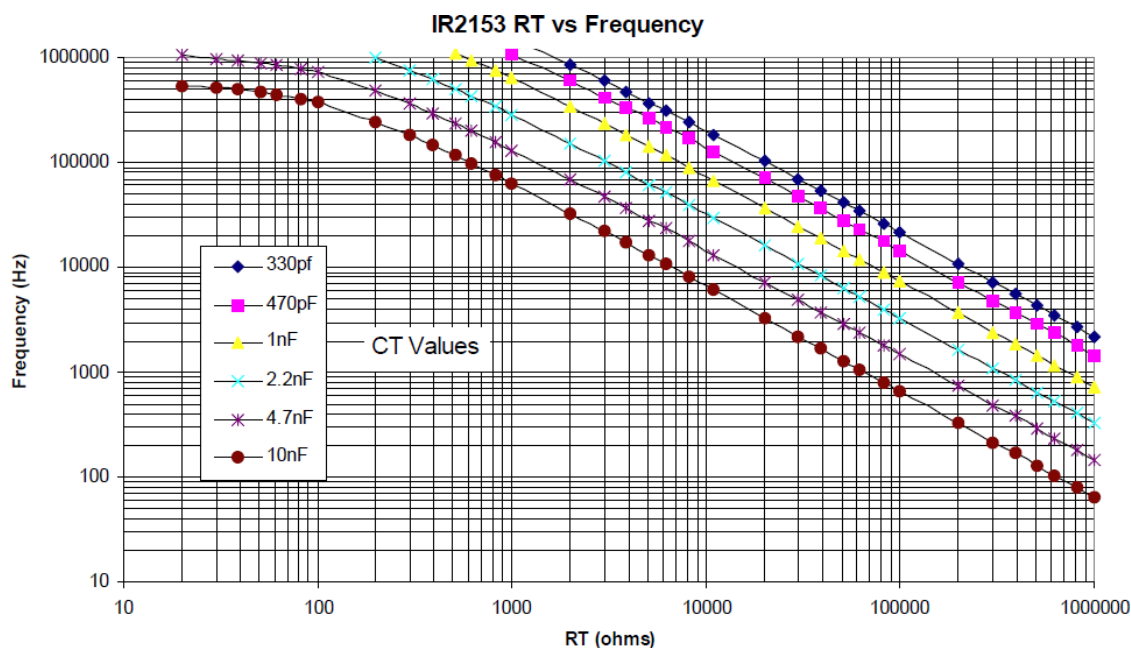
Obrázek 36. Typické zapojení obvodu IR2153 podle katalogového listu výrobce [25]

Spínač je tvořen čtyřmi unipolárními tranzistory MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) typu IRF510, dvěma dvou-kvadrantovými spínači IR2153 (budiči MOSFETů), několika rezistory a kondenzátory nutnými pro nastavování požadovaných funkcí integrovaných obvodů.

Pomocí připojeného kondenzátoru C_T a rezistoru R_T je nastavována pracovní frekvence. Výrobce mimo jiného stanoví minimální možné hodnoty ($C_T = 330 \text{ pF}$ a $R_T = 10 \text{ k}\Omega$) těchto prvků.

$$f_{sw} = \frac{1}{1,38 \cdot C_T \cdot (R_T + 75\Omega)} \quad [\text{Hz}] \quad (10)$$

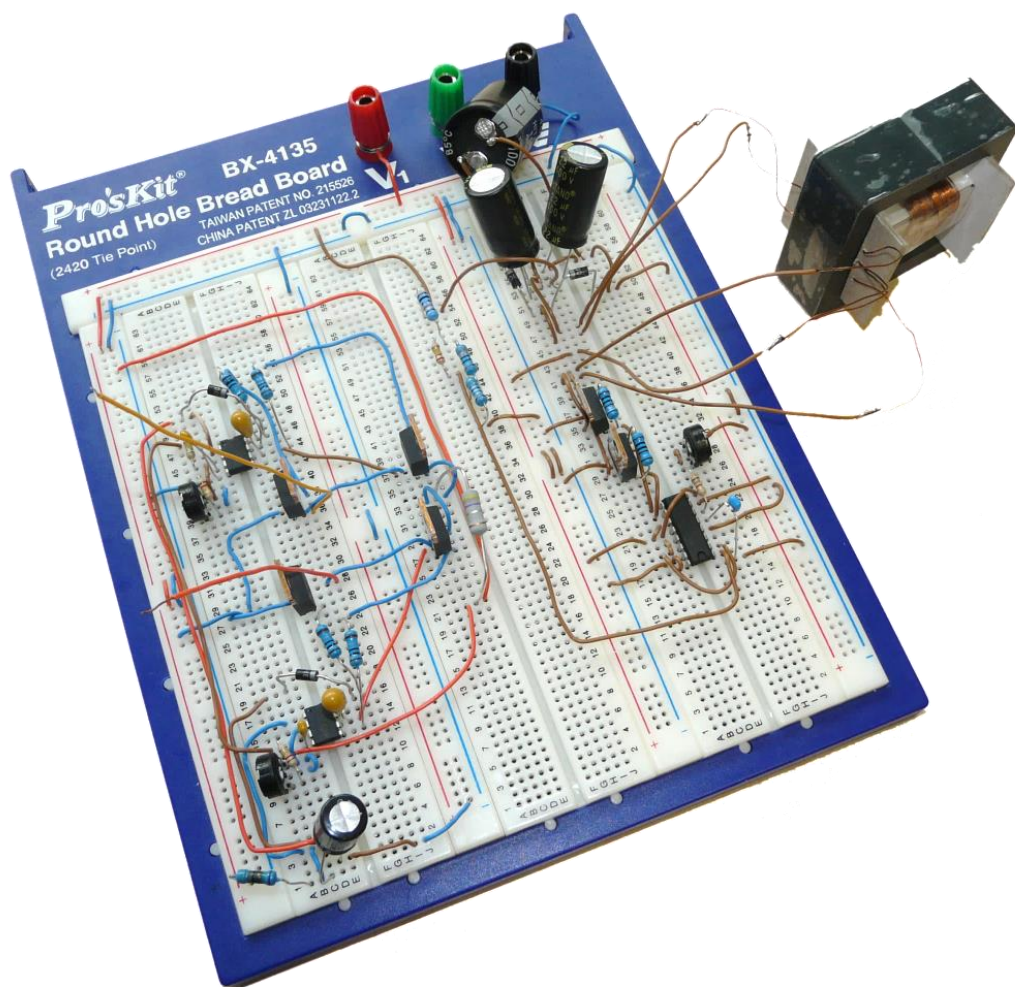
kde f_{sw} je frekvence spínání [Hz], R_T [Ω] hodnota rezistoru, C_T [F] hodnota kondenzátoru. Hodnoty jednotlivých prvků je třeba nastavit nejen podle požadovaných výstupních parametrů (frekvence), ale také dle dostupných řad jednotlivých částí (rezistorů a kondenzátorů).



Obrázek 37. Průběhy pro nastavení pracovní frekvence [25]

Tyto obvody v sobě zahrnují integrovaný budič polomůstku, podpěťovou ochranu a vlastní oscilátor. Oscilátor v prvním IR2153 slouží jako fázový zpožďovač závislý na druhém IO. Ve druhém pracuje oscilátor jako řídicí zdroj frekvence 50 Hz. V okamžiku nulového výstupního napětí musí dojít k sepnutí dvou tranzistorů v mostu a zablokování výstupu. Při nenulovém výstupním napětí dochází ke spínání obdélníkových signálů s fázovým posunem, čímž vzniká právě modifikovaný sinus. Vstupní stejnosměrné napětí 325 V vytvořené DC/DC měničem je tak upraveno na výstupní střídavé napětí s efektivní hodnotou 230 V a střídou 25 %. [25]

Popis funkce obvodu je následující. Pomocí prvku P2 (trimru), rezistoru R8 a kondenzátoru C2 se na vývodu RT druhého IO (IC2) nastavuje frekvence. Pomocí prvku P1, rezistoru R1 a kondenzátoru C se na vývodu RT prvního IO (IC1) nastavuje správná střída, tj. poměr doby trvání délky impulsu a doby trvání celé periody. Jako usměrňovací prvky slouží superrychlé diody UF4007. Ochranu před zkratem zajišťuje pomalá tavná pojistka na vstupu spínače (napětí přiváděného z měniče). Po vstupu následuje tlumivka se Schottkyho diodou, které dohromady představují odrušovací filtr. Schéma spínače je zobrazeno níže (rovněž součástí přílohy). [60]



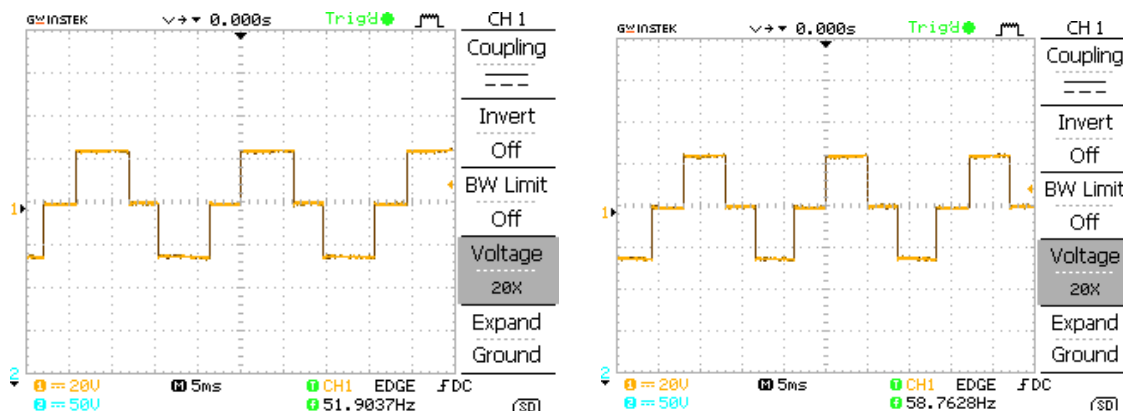
Obrázek 39. Ukázka realizace měniče se spínačem na nepájivém poli

Na obr. 39 je zachyceno nepájivé pole, na kterém je sestaven spínač (vlevo) a měnič (vpravo). Mimo desku lze vidět impulsní transformátor (vpravo vedle měniče). Většinu součástek nebylo nutno při realizaci měnit či nahrazovat. Realizovaný měnič se od toho navrženého liší jinými hodnotami rezistorů R7 a R8 představující dělič napětí. Při změně vstupního napětí na 32 V by se jednalo o snížení na hodnotu odporů 27 k Ω , respektive 5,1 k Ω . Dále došlo k poklesu počtu závitů sekundárního vinutí impulsního transformátoru ze 191 na 19. Snížení počtu vinutí taktéž výrazně usnadnilo navíjení cívky a tedy i výrobu transformátoru. Izolační vrstvu mezi vinutími obstarala běžná lepicí páska (řešení postačující pro použití při nízkém napětí a malému počtu závitů cívky).

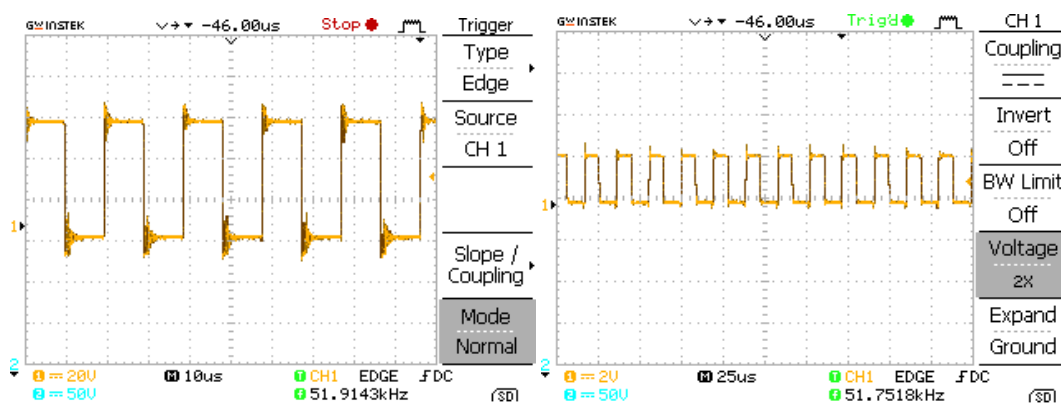
U spínače nebylo na rozdíl od měniče nutno provádět žádné další změny. Postaven byl dle navrženého schématu, protože snížení vstupního napětí z 325 V na desetinu (nebo i ještě o nižší hodnotu) nemá na funkci spínání vliv.

Po sestavení obou částí bylo možno otestovat a hlavně zobrazit skutečný výstup realizovaného spínače na obrazovce osciloskopu. Pomocí nastavovacích prvků (trimrů) P1

a P2 lze přesně měnit frekvenci a střidu dle potřeby. Průběh spínání zaznamenaný osciloskopem je možno vidět na obr. 40. Na něm je zobrazena tzv. modifikovaná sinusovka vhodná k napájení spotřebičů s odporovou zátěží (svítidla) či se spínanými napájecími zdroji (monitory, osobní počítače, apod.). Pro EKG monitor se spínaným zdrojem je tento průběh vhodný a zcela dostačující.



Obrázek 40. Průběh modifikované sinusovky při testování čtyř-kvadrantového spínače



Obrázek 41. Budící impuls na tranzistoru Q1 a průběh na sekundárním vinutí (vpravo)

V následujících dvou tabulkách (9 a 10) jsou seznamy součástek nutných pro stavbu DC/DC měniče a čtyř-kvadrantového spínače. Jednotlivé položky uvedené v seznamech vychází z navržených schémat těchto zařízení. (Použit lze i jiné vhodné typy součástek.)

Tabulka 9. Seznam součástek pro konstrukci měniče

DC/DC měnič			
Položka ve schématu	Popis	Hodnota	Počet kusů
D1, D2	Dioda - rychlá	UF4007	2
IC1	Integrovaný obvod	TL494	1
C1	Kondenzátor keramický	10 nF	1
C2, C3	Kondenzátor tantalový	22uF/350V	2
C4	Kondenzátor tantalový	100uF/400V	1
R1, R3, R4, R5	Rezistor metalizovaný	1 k Ω	2
R6	Rezistor metalizovaný	1k8	1
R8	Rezistor metalizovaný	4,7k	1
R8	Rezistor metalizovaný	330 Ω	1
R7	Rezistor metalizovaný	220k Ω	1
R7	Rezistor metalizovaný	100k Ω	1
R2	Trimr uhlíkový	1 k Ω	1
T1, T2	Unipolární tranzistor	IRF510	2

Tabulka 10. Seznam součástek pro konstrukci čtyř-kvadrantového spínače

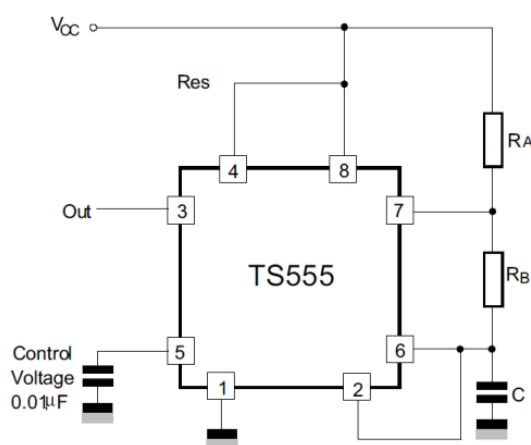
Čtyř-kvadrantový spínač			
Položka ve schématu	Popis	Hodnota	Počet kusů
D5, D8, D9	Dioda - rychlá	UF4007	3
IC1, IC2	Integrovaný obvod	IR2153	2
C2	Kondenzátor keramický	100 nF	2
C1, C5	Kondenzátor tantalový	22 uF/25 V	2
C6	Kondenzátor tantalový	1000 uF/16 V	1
R2, R3, R6, R7	Rezistor metalizovaný	10 Ω	4
R4	Rezistor metalizovaný	47 Ω	1
R1, R8	Rezistor metalizovaný	120 K Ω	2
R9	Rezistor metalizovaný	150 K Ω	1
P2	Trimr uhlíkový	47 k Ω	1
P1	Trimr uhlíkový	100 k Ω	1
Q1 – Q4	Unipolární tranzistor	IRF740	4

5.5 Opticko-akustický alarm

Poslední, nikoliv však opomíjenou částí záložního zdroje je opticko-akustický alarm. Účelem této části navrženého záložního zdroje je upozornit obsluhu na změnu

stavu UPS. Podstatnou součástí varovné signalizace je integrovaný obvod 555 původně vyvinutý jako časovač („timer“) americkou firmou Signetics. IO uvedený na trh na počátku 70. let minulého století, umožňuje vzhledem ke své univerzálnosti širokou škálu aplikací.

Nejčastěji je obvod 555 používán jako multivibrátor pracující jako časovací nebo zpožďovací spínač, oscilátor nebo klopný obvod. Skládá se z napěťového děliče, dvou komparátorů, paměťového klopného obvodu, výkonového koncového stupně a spínacího tranzistoru.



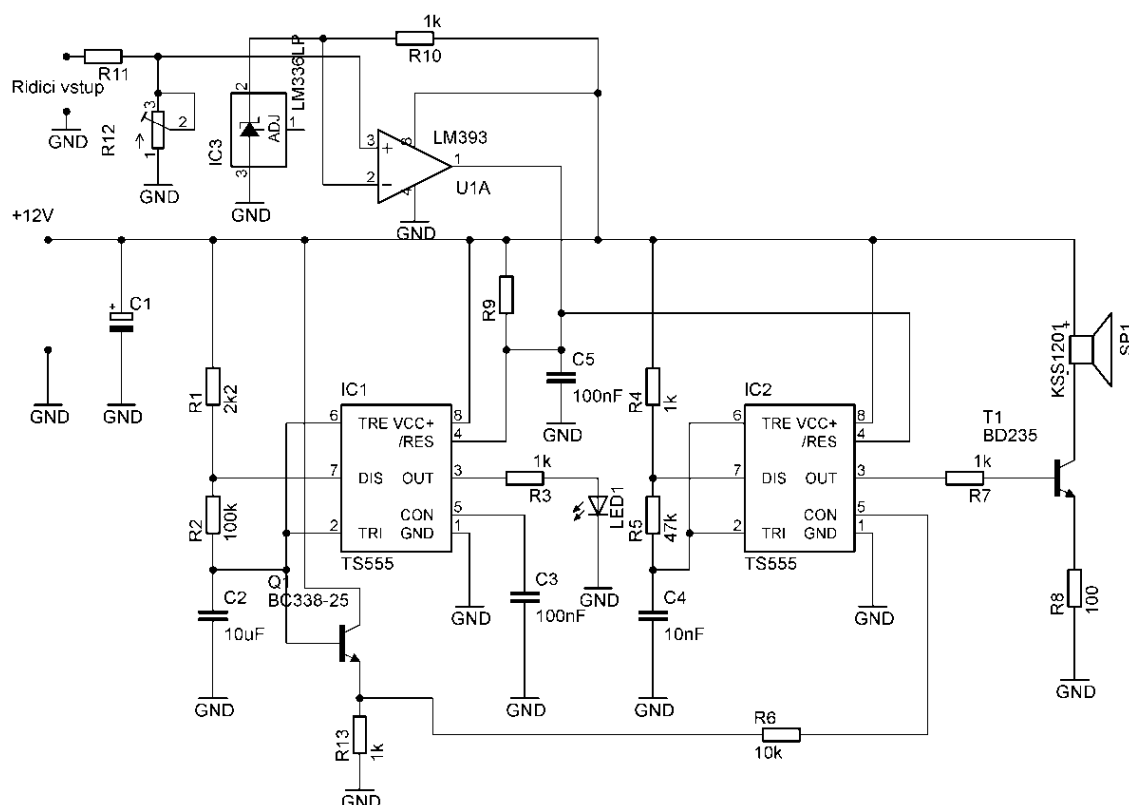
Obrázek 42. Typické zapojení výrobce TS555 - astabilní [64]

Napájecí napětí IO je obvykle mezi 4,5 až 15 V (v záložním zdroji 12 V). Rozsah pracovní teploty od 0 až do 70°C. Pro návrh byl upřednostněn typ TS555 s provedením CMOS (Complementar-Metal-Oxide-Semiconductor). Mezi nejdůležitější vlastnosti CMOS patří vysoká odolnost proti šumu a nízká spotřeba, která je u zařízení napájeného akumulátorem podstatným parametrem prodlužujícím dobu zálohování. Navržený obvod obsahuje dva tyto časovače vyrábějící impulsy. Jedná se o impulsní generátory pracující astabilně.

Výstupní stavy astabilního generátoru nejsou stabilní a bez vnějšího zásahu se střídají na výstupu (Monostabilní má jeden stabilní stav, který po spuštění na určitou dobu opustí.). Astabilní multivibrátory pak mohou působit jako impulsní nebo tónové generátory právě jako v případě signalizační části realizovaného záložního zdroje. [22], [64]

Alarm je navržen s kolísavým tónem pro výraznější upozornění obsluhy záložního zdroje. Tento tón je tvořen obdélníky PWM, které způsobují oproti kolísavému tónu sinusovky mnohem ostřejší a „řezavější“ zvuk (tj. barva tohoto zvuku je ovlivněna tvarem). Efektu sirény je dosaženo tím, že časovač generuje obdélníky tvořící slyšitelný tón o frekvenci 3 kHz kmitočtově modulovaný přibližně trojúhelníkovým napětím o kmitočtu 1 Hz. Pokud je vstup Reset na úrovni nuly, tak obvody nepracují (komparátor

sepne a nulovací vstupy jsou na nule). Pokud záložní zdroj přestane být napájen energií z elektrické sítě a přejde na nouzový (bateriový) provoz, barevná dioda se rozblíká s frekvencí 1 Hz. Když dojde ke změně stavu na komparátoru, tj. dojde k poklesu napětí na akumulátoru pod stanovenou mez a blíží se konec zálohování monitoru pomocí bateriového napájení, rozezná se alarm.



Obrázek 43. Opticko-akustický alarm

Nastavení těchto výstupních kmitočtů se provádí pomocí rezistorů R_A , R_B a kondenzátoru C (viz obr. 42), který se přes tyto rezistory nabíjí. Výpočet pracovní frekvence vychází ze vztahu:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B) \cdot C} \quad [\text{Hz}] \quad (11)$$

kde f [Hz] je frekvence, T je perioda, R_A [Ω] a R_B [Ω] jsou hodnoty rezistorů a C [F] je použitý kondenzátor (tak jako ve schématu typického zapojení výrobce). [22]

Tabulka 11. Vypočítané hodnoty rezistorů a kondenzátorů

IC1 (IO TS555)		IC2 (IO TS555)	
R_A [Ω]	R2 [100 k Ω]	R_A [Ω]	R5 [47 k Ω]
R_B [Ω]	R1 [2,2 k Ω]	R_B [Ω]	R4 [1 k Ω]
C [F]	C2 [10 uF]	C [F]	C4 [10 nF]

Pracovní frekvence 3 kHz a 1 Hz jsou zaokrouhleným výsledkem hodnot vypočítaných ze vzorce (11). Tato skutečnost je ovlivněna dostupností řad jednotlivých komponent (kondenzátorů a rezistorů). Na samotnou funkci zařízení to má však zanedbatelný vliv.

Opticko-akustický alarm kromě dvou časovačů 555, popsaných rezistorů a kondenzátorů obsahuje další podstatnou součástku, kterou je komparátor LM393 připojený na napěťovou referenci LM336 a řídicí vstup. Tato část rozhoduje právě o tom, zda dojde ke spuštění alarmu, či nikoliv. Jak již bylo dříve zmíněno, v okamžiku poklesu vstupního napětí na komparátoru vůči referenci (hodnota napětí na řídicím vstupu 11,4 V, tj. 1,9 V na článek akumulátoru) se rozezní alarm. Protože je rozsah referenčního napětí u LM336 menší (2,39 až 2,59 V) než požadovaný (11,4 V), je třeba velikost napětí upravit.

Rovněž musí dojít ke snížení napětí u vstupu komparátoru LM393 pomocí děliče napětí (rezistory R11 a R12). Výpočet děliče napětí vychází ze vztahu (2). Dále je v návrhu schématu použito několik rezistorů s hodnotou 1 k Ω , aby omezily velikost protékajícího proudu připojenými součástkami (např. žlutou LED diodou HLMP v průhledném pouzdře). Přesné hodnoty povolených mezí napětí a proudů jsou uvedeny v příslušných datových listech jednotlivých součástek. [66], [67]

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zpracovat zadané téma věnující se záložnímu zdroji (UPS). Vysvětlit vlastnosti zdrojů elektrické energie v těchto zařízeních a popsat jednotlivé typy záložních zdrojů. UPS se dnes běžně vyskytují jako příslušenství stolních počítačů ve firmách a v domácnostech. Dlouhou řadu let jsou součástí systému zálohování datových a komunikačních center, nemocnic či letového dispečinku. Záložní zdroje našly uplatnění všude tam, kde je nutné zásobovat energií požadované zařízení, které by svou nefunkčností v důsledku výpadku elektřiny mohlo způsobit nějakou škodu na majetku, zdraví či dokonce lidských životech.

Příčiny a důsledky výpadků elektřiny a z toho plynoucí omezení přenosových a distribučních sítí byly popsány na začátku práce a otevřely tak téma záložních zdrojů. Výpadkům napájení stále ještě účinně zabránit nelze, ale lze se před nimi poměrně účinně chránit. Vedle tzv. chytrých sítí, kterým se však práce věnuje jen velmi okrajově, jsou to systémy UPS chránící uživatele elektrických zařízení před negativními důsledky přerušení přenosu či distribuce elektřiny. Historie záložních zdrojů je dlouhá několik desetiletí a její kořeny sahají až k experimentům započatých během druhé světové války. Během let postupně vznikalo několik různých topologií záložních zdrojů a s rozšiřující se nabídkou zařízení na trhu docházelo k matoucím popisům a zařazením do nesprávných kategorií. Přesné rozdělení, včetně blokových schémat a popisu jednotlivých architektur v práci, bylo proto náročné. Samotná topologie však určuje jen to, jakým způsobem bude UPS zátěž napájet. Jak dlouho a hlavně prostřednictvím jakého zdroje tomu tak bude, je věcí další. Z popsaných zdrojů převažují pro zálohování zařízení nižších výkonů sekundární články, tj. akumulátory (zejména olověné). Pro zálohování zařízení vyšších výkonů jsou nejčastěji užívány motorgenerátory díky poměrně snadné obsluze a dlouhé době provozu omezené de facto jen množstvím zásob paliva. Nelze však říci, že by setrvačníky, palivové články nebo jiné z v práci jmenovaných zdrojů nebyly užívány. V budoucnu budou mít palivové články jistě tendenci postupně nahrazovat běžné akumulátorové baterie. Vzhledem k určení navrženého záložního zdroje nešlo opomenout ani zabezpečení dodávky elektřiny ve zdravotnických zařízeních. Proto byly alespoň v krátkosti nastíněny požadavky na nouzové zdroje elektrické energie, ve stručnosti popsána elektrická instalace ve zdravotnických prostorech a barevné značení zásuvkových vývodů.

Celá teoretická část předcházela a hlavně směřovala k návrhu a realizaci vlastního záložního zdroje. Ten měl pomocí akumulátorové baterie napájet požadovanou zátěž. Zátěží, pro kterou byl záložní zdroj konstruován, byl EKG monitorovací systém. Protože je EKG monitor napájen spínaným zdrojem, který nevyžaduje přesný sinusový průběh, je výstupem UPS tzv. modifikovaná sinusovka. Vzhledem k těmto požadavkům nebylo nutné použití filtrů pro vyhlazení průběhu

na výstupu. Výhodou modifikovaného průběhu je relativní jednoduchost a hlavně cena realizace zařízení schopného takový průběh vyrobit. Z těchto důvodů na trhu převažuje množství měničů elektrického napětí s modifikovaným průběhem nad těmi s čistým sinusovým. Návrh UPS však představoval skloubení několika dílčích komponent do jednoho celku. Kromě DC/DC měniče to byl čtyř-kvadrantový spínač vytvářející již zmiňovaný modifikovaný sinus, nabíječka s akumulátorem, opticko-akustický alarm a hlavně řídicí část.

Pro dílčí realizaci byl vybrán měnič a čtyř-kvadrantový spínač. Smyslem bylo otestovat funkčnost návrhu a hlavně zobrazit skutečný výstup realizovaného spínače a zkontrolovat, zda zařízení vyrábí modifikovanou sinusovku podle předpokladů, což je rozhodující pro použitelnost této UPS k daným účelům. Měnič se spínačem byl realizován na nepájivém poli, což významně urychlilo jeho stavbu a přitom nijak neomezilo funkčnost. Z důvodů bezpečnosti bylo výstupní napětí měniče sníženo na 32 V. To k posouzení funkčnosti čtyř-kvadrantového spínače stačilo, protože jeho funkčnost na spínaném napětí nezávisí. Jeho řídicí část je v každém případě napájena napětím 12 V. Navíc bylo možno ověřit, že postup zvolený pro výpočet měniče s obvodem TL494 je správný.

Literatura

- [1] Barevné značení zásuvek jednotlivých rozvodů. ČVUT. *POPULAR: populárně naučný portál* [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://popular.fbmi.cvut.cz/elektrotechnika/Stranky/Barevne-znaceni-zasuvek-jednotlivych-rozvodu.aspx>
- [2] BENEŠ, Ivan. *Blackout: resilient power : informační příručka* [online]. Praha: Cityplan, 2008, 20 s. [cit. 2014-10-28]. ISBN 978-80-254-3816-9.
- [3] BENEŠ, Ivan. Unikátní opatření proti blackoutu úspěšně vyzkoušeno v praxi. *112* [online]. 2011, X, č. 11 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/hasicien/docDetail.aspx?docid=21690944&docType=ART&chnum=6>
- [4] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi: od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-865-3403-0.
- [5] CIESLAR. Ostrovní provoz - řešení budoucnosti. *All for Power* [online]. 2012, č. 4 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/ostrovni_provoz.pdf
- [6] Česká republika. Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. In: *184/2005*. 2005, č. 540.
- [7] Činnosti: Technická infrastruktura. ČEPS, a.s. *Čeps* [online]. [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/default.aspx>
- [8] ČVUT. *Elektrické rozvody v místnostech pro lékařské účely*. Praha, 10 s. Dostupné z: <http://www.fbmi.cvut.cz/e/zis/1840.pdf>
- [9] DELATTRE, Frank. Setrvačníky: Alternativa zajištění napájení. *CONTROL ENGINEERING: ČESKO* [online]. 2010, č. 9 [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/setrvacniky-alternativa-zajisteni-napajeni/>
- [10] Distribuce energie: Distribuce elektřiny. *Dodavatele energie* [online]. 2012 [cit. 2014-10-27]. Dostupné z: <http://www.dodavatele-energie.cz/distribuce-energie-/distribuce-elektriny.html>
- [11] DLOUHÝ, Petr a Luděk JANÍK. Vodík: Palivové články. *Česká vodíková technologická platforma* [online]. 2007 [cit. 2014-12-03]. Dostupné

z: <http://www.hytep.cz/cz/vodik/informace-o-vodiku/vyuziti-vodiku/497-palivove-clanky>

[12] Dynamické UPS. PRONIX S.R.O. *Pronix* [online]. 2015 [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: http://www.pronix.cz/dynamicke_UPS.html

[13] EATON ELECTRIC. Novinky: Princip nové multi-modové technologie UPS. *ETM: Elektrotechnika online* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/novinky/521-princip-nove-multi-modove-technologie-ups>

[14] EGART, Milan. Porucha baterie – úder na srdce záložních systémů. *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. 2003, č. 10 [cit. 2014-11-13]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/porucha-baterie-%E2%80%93-uder-na-srdce-zaloznich-systemu-25571.html>

[15] Elektrické instalace v zdravotnických prostorech. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/elektricke-instalace-v-zdravotnickych-prostorech>

[16] Elektrické napětí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A9_nap%C4%9Bt%C3%AD

[17] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zprávy o kvalitě*. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/zpravy-o-kvalite>

[18] Engine-generator. In: *Wikipedia: The free encyclopedia* [online]. 12.11.2014 [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Engine-generator>

[19] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 243 s. ISBN 80-860-5691-0.

[20] Flywheel UPS Technology. *POWERTHRU: Clean Flywheel Energy Storage* [online]. © 2014 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: http://www.powerthru.com/flywheel_ups_technology.html

[21] Gyrobus. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 27.8.2014 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gyrobus>

[22] HÁJEK, Jan. *Časovač 555: praktická spojení s jedním časovačem*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 127 s. ISBN 80-901-9841-4.

- [23] HAMMERBAUER, Jiří. *Olověné akumulátory* [online]. 20 s. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [24] HÚSEK, Dušan. Architektura UPS – normalizace a praxe. *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. 2000, č. 10 [cit. 2014-10-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/architektura-ups-%E2%80%93-normalizace-a-praxe-23834.html>
- [25] INTERNATIONAL RECTIFIER. *IR2153(D)(S)&(PbF): SELF-OSCILLATING HALF-BRIDGE DRIVER* [online]. 2006, 9 s. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2153.pdf>
- [26] Item Details: GHP 500 W fuel cell UPS systems GreenHub Powerbox. *Rakuten: Global Market* [online]. [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://global.rakuten.com/en/store/overspec/item/hfct_fcups-500/
- [27] KOPECKÝ, Ladislav. *Návrh induktoru a vysokofrekvenčního transformátoru* [online]. 6 s. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://free-energy.xf.cz/teorie/dc-dc/induktor-vf-trafo.pdf>
- [28] KOŠTÁL, Josef. Akumulátorové zdroje napájení v lékařských objektech. *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. 2005, č. 10 [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/akumulatorove-zdroje-napajeni-v-lekarskych-objektech-26467.html>
- [29] KOŠTÁL, Josef. Napájení operačních svítidel. *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. 2011, č. 2 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/napajeni-operacnich-svitidel-42914.html>
- [30] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *DC/DC měniče*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-045-8.
- [31] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *NAPÁJECÍ ZDROJE II.: Integrované obvody ve spínaných zdrojích*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-03-1.
- [32] KUČHTA, Karel. Jak si počínat při výběru UPS. *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/jak-si-pocinat-pri-vyberu-ups--15061>
- [33] KUZMĚNKO, Michajil Ivanovič a Arkadij Rafajilovič SIVAKOV. *Tranzistorové měniče*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.

- [34] LEOFFLER, Chris. Jaká je spolehlivost a účinnost současných UPS?. *COMPUTERWORD* [online]. 2010 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://computerworld.cz/technologie/jaka-je-spolehlivost-a-ucinnost-soucasnych-ups-7728>
- [35] MARKIEWICZ, Henryk a Antoni KLAJN. EUROPEAN COPPER INSTITUTE, Wroclaw University of Technology and Copper Development Association. *Resilience: Improving Reliability with Standby Power Supplies* [online]. 2003 [cit. 2014-11-07]. Dostupné z: <http://admin.copperalliance.eu/docs/librariesprovider5/power-quality-and-utilisation-guide/431-improving-reliability-with-standby-power-supply.pdf?sfvrsn=4&sfvrsn=4>
- [36] Média: Energetický slovník. ČEPS, a.s. *Čeps* [online]. 2014 [cit. 2014-10-28]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/MEDIA/Stranky/Energeticky-slovník.aspx>
- [37] New Generation of the EFOY Pro Fuel Cell Generator. *Vitec power* [online]. 15.10.2013 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.vitecpower.com/cs/8745-new-generation-efoy-pro-fuel-cell-generator-3/>
- [38] Nouzové osvětlení – srovnání systémů s centrálním zdrojem a s decentralizovanými akumulátory. *Světlo: Časopis pro světlo a osvětlování* [online]. 2009, č. 05 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39779
- [39] Novinky: Elektřina schovaná pod zemí. *FUTURE MOTION: Energie zítřka* [online]. 2009 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: <http://futuremotion.cz/cs/novinka/elektrina-schovana-pod-zemi-2632.html>
- [40] ON SEMICONDUCTOR. *TL494, NCV494* [online]. 2005, 13 s. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/TL494-D.PDF
- [41] Operační sál bez proudu – nemyslitelné. In: *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33488
- [42] Palivové články – Charakteristika, složení, palivo, uplatnění. ENVIROS, s. r. o. *ENVIROS* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: http://www.enviros.cz/palivove_clanky/1_palivove_clanky.html
- [43] Palivové články a jejich praktické využití. ENVIROS, s. r. o. *ENVIROS* [online]. [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://www.enviros.cz/palivove_clanky/3_vyuziti_palivovych_clanku.html

- [44] Palivové články jako perspektivní technologie. ENVIROS, s. r. o. *ENVIROS* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: http://www.enviros.cz/palivove_clanky/palivove_clanky.html
- [45] PAZDERA, Josef. Že by konečně „rodinný“ vysoce účinný palivový článek?. *OSEL: Objective Source E- Learning* [online]. 2012 [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=6283>
- [46] PLATTS, John a John St. AUBYN. *Uninterruptible power supplies*. London, United Kingdom: Peter Pergrinus Ltd., 1992. ISBN 0 86341 263 7.
- [47] PNE 33 3430-7. *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti*. 3. vyd. 2008. Dostupné z: <http://www.csres.cz/Upload/PNE%2033%203430-7%203.vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf>
- [48] PORŠ, Zdeněk. ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ, a.s. Divize jaderné bezpečnosti a energetiky. *Palivové články* [online]. 2002, 77 s. [cit. cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [49] PowerSafe SBS Batteries. *EnerSys* [online]. 2015 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.enersys.com/PowerSafe_SBS_Batteries.aspx
- [50] Požadavky na nouzové zdroje elektrické energie v místnostech pro lékařské účely. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/pozadavky-na-nouzove-zdroje-elektricke-energie-v-mistnostech-pro-lekarske-ucely-3>
- [51] PRAMET ŠUMPERK. *Konstrukční katalog feritů FONOX Pramet Šumperk* [online]. 59 s. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: http://www.c-a-v.com/e107_files/downloads/fonox.pdf
- [52] Product: Best Quality VRLA 12-200 12V 200AH Valve Regulated Lead Acid Battery for sale. 2015. *Alibaba.com: Global trade starts here* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-detail/Best-Quality-VRLA-12-200-12V_1205251262.html
- [53] Products: FUEL CELLS. *UPS SYSTEMS PLC.: EXPERTISE IN STANDBY POWER* [online]. © 1993 - 2014 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://www.upssystems.co.uk/standby-power-products/fuel-cells/>
- [54] Products: Horizon Fuel Cell Technologies products. *Horizon: Fuel Cell Technologies* [online]. 2014 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/horizon-fuel-cell-technologies-62133.html>

[55] Products: TODAY'S AVAILABLE COMMERCIAL FUEL CELL SYSTEMS. *UPS SYSTEMS PLC.: EXPERTISE IN STANDBY POWER* [online]. 1993 - 2014 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://www.upssystems.co.uk/standby-power-products/fuel-cells/todays-available-commercial-fuel-cell-systems/>

[56] Pruduct: UC3906. *Texas Instruments* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/uc3906>

[57] Products & Services: Kinetic Traction Systems - Energy Storage and Voltage Support Systems for Rail Traction Systems. *Railway Technology* [online]. 2014 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://www.railway-technology.com/contractors/electrification/kinetic-traction-systems/kinetic-traction-systems2.html>

[58] SMÉKAL, Roman. Bezpečná elektroinstalace ve zdravotnictví. *Elektrotechnický magazín* [online]. 2010, 11-12, s. 38-39 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/etm/starsi/75-rocnik-2010/583-etm-11-12-2010>

[59] SMÉKAL, Roman. Zabezpečení dodávky elektřiny ve zdravotnictví a bezpečnost zdravotnických prostorů. *Elektro* [online]. 2012, č. 4, s. 44-45 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.ghvtrading.cz/download.php?>

[60] Spínaný měnič 12V / 230V 150W s modifikovanou sinusovkou. *DANYK* [online]. 2012 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://danyk.cz/menic230_6.html

[61] Spínaný zdroj MEAN WELL PS-65-15. *GM Electronic: elektronika, kterou znáte...* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/spinany-zdroj-mean-well-ps-65-15-p751-366>

[62] STEINBAUER, Miloslav. UTEE FEKT VUT. *Bezpečnost zařízení: Zdravotnická elektrická zařízení*. Brno, 2013, 23 s.

[63] STMICROELECTRONICS. *LE00AB/C SERIES: Very low drop voltage regulators with inhibit* [online]. 2005, 28 s. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/094/le50abz-datasheet-1.pdf>

[64] STMICROELECTRONICS. *TS555: Low-power single CMOS timer* [online]. 2014, 21 s. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000893.pdf>

[65] STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STAVEBNÍ V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. *Spalovací motory*. Dostupné z: http://www.spsstavcb.cz/download2/633_1172_cs_motory.pdf

- [66] TEXAS INSTRUMENTS. *LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators* [online]. 2015, 19 s. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf>
- [67] TEXAS INSTRUMENTS. *LM136-2.5/LM236-2.5/LM336-2.5V Reference Diode*. 2011, 12 s. [cit. 2015-04-28] Dostupné z: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm336-2.5-n.pdf>
- [68] Transformátor. 2015. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A1tor>
- [69] TŮMA, Jan. Hledá se kýbl na elektřinu. *VTM.E15* [online]. [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: vtm.e15.cz/clanek/hleda-se-kybl-na-elektrinu
- [70] TŮMA, Jan. Průlom do skladování elektřiny?. *Technický portál* [online]. 2006: Business Media CZ, s.r.o. [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/prulom-do-skladovani-elektriny_16046.html
- [71] UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ. *Palivové články*. Zlín, 3 s. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_15.pdf
- [72] UPSNAVOD. 2010. In: *Wiki.merenienergie.cz* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://wiki.merenienergie.cz/index.php/UPSNAVOD#Ur.C4.8Den.C3.AD_kapacity_aku_mul.C3.A1toru
- [73] VYORALOVÁ, Zuzana. ČVUT. *ENERGETICKÉ SYSTÉMY: Zásobování energetickým plynem Centrální zásobování teplem* [online]. 2011 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://15124.fa.cvut.cz/?download=_/predmet.tzi2/energeticke-systemy.pdf
- [74] Záložní elektrocentrály s plynovými motory. *Elektro: časopis pro elektroniku* [online]. 2014, č. 10, 44 - 45 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2014/10/Elektro_10_2014_output/web/flipviewerxpress.html?pn=46&keyword=blackout

Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma rozvodné sítě v ČR [7].....	13
Obrázek 2. Současná pasivní distribuční soustava [2]	14
Obrázek 3. Aktivní distribuční soustava [2].....	15
Obrázek 4. Schéma zapojení DC motoru se záložní baterií [46]	18
Obrázek 5. UPS při normálním provozním režimu [46]	19
Obrázek 6. Nouzový režim na baterii [46].....	20
Obrázek 7. UPS typu Pasivní záloha	23
Obrázek 8. UPS typu Interakce se sítí	24
Obrázek 9. UPS typu dvojitá konverze	25
Obrázek 10. Princip palivového článku	32
Obrázek 11. Palivový článek typu PEM(FC) [54]	33
Obrázek 12. Vysokorychlostní setrvačnick [20]	34
Obrázek 13. Energetický modul se setrvačnickem GTR 200 od Kinetic Traction Systems [57]	35
Obrázek 14. UPS s motorgenerátorem [12].....	36
Obrázek 15. Barevné značení zásuvkových obvodů	43
Obrázek 16. Blokové schéma návrhu UPS	45
Obrázek 17. Schéma záložního zdroje se zjednodušenými bloky	46
Obrázek 18. Napěťový dělič	Obrázek 19. Napěťová reference [67].....
Obrázek 20. Úrovně napětí charakterizující změny režimu nabíječky [56].....	50
Obrázek 21. Spínaný zdroj Mean Well PS-65-15 [61]	51
Obrázek 22. Obvod UC3906 [56].....	51
Obrázek 23. Doporučené zapojení obvodu UC3906 [56].....	52
Obrázek 24. Schéma nabíječky záložního zdroje	53
Obrázek 25. Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru [23].....	55
Obrázek 26. Akumulátory PowerSafe [49].....	56
Obrázek 27. Konstrukce malé ventilu řízené baterie (AGM) [52]	58
Obrázek 28. Napětí v trojfázové soustavě [16]	62
Obrázek 29. Výstupní napětí měniče s modifikovanou sinusovkou	62
Obrázek 30. DC/DC měnič	63
Obrázek 31. Reprezentativní blokové schéma [40]	64
Obrázek 32. Frekvence oscilátoru versus nastavení odporu [40]	65
Obrázek 33. Časování obvodu TL494 [40]	65
Obrázek 34. Základní princip transformátoru [68]	67
Obrázek 35. Parametry feritového E jádra [51]	69
Obrázek 36. Typické zapojení obvodu IR2153 podle katalogového listu výrobce [25]	70
Obrázek 37. Průběhy pro nastavení pracovní frekvence [25].....	71
Obrázek 38. Čtyř-kvadrantový spínač	72
Obrázek 39. Ukázka realizace měniče se spínačem na nepájivém poli	73
Obrázek 40. Průběh modifikované sinusovky při testování čtyř-kvadrantového spínače.....	74
Obrázek 41. Budicí impuls na tranzistoru Q1 a průběh na sekundárním vinutí (vpravo).....	74
Obrázek 42. Typické zapojení výrobce TS555 - astabilní [64]	76
Obrázek 43. Opticko-akustický alarm	77

Seznam tabulek

Tabulka 1. Nepřetržitost distribuce elektřiny v roce 2017 [17]	12
Tabulka 2. Klasifikace a vlastnosti standardních tříd UPS [35]	22
Tabulka 3. Základní poruchy - klasifikace UPS [35]	22
Tabulka 4. Hlavní typy sekundárních baterií a některé jejich vlastnosti [35]	30
Tabulka 5. Poloha kontaktů jednotlivých relé.....	48
Tabulka 6. Výpočet hodnot odporů a ostatních parametrů [56]	52
Tabulka 7. Parametry vybraných feritových E jader	67
Tabulka 8. Hodnoty vodičů v primárním a sekundárním vinutí.....	69
Tabulka 9. Seznam součástí pro konstrukci měniče.....	75
Tabulka 10. Seznam součástí pro konstrukci čtyř-kvadrantového spínače	75
Tabulka 11. Vypočítané hodnoty rezistorů a kondenzátorů.....	77

Seznam grafů

Graf 1. Průměrná doba trvání jednoho přerušení [17]	11
Graf 2. Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v letech 2008 - 2017 [17]	12

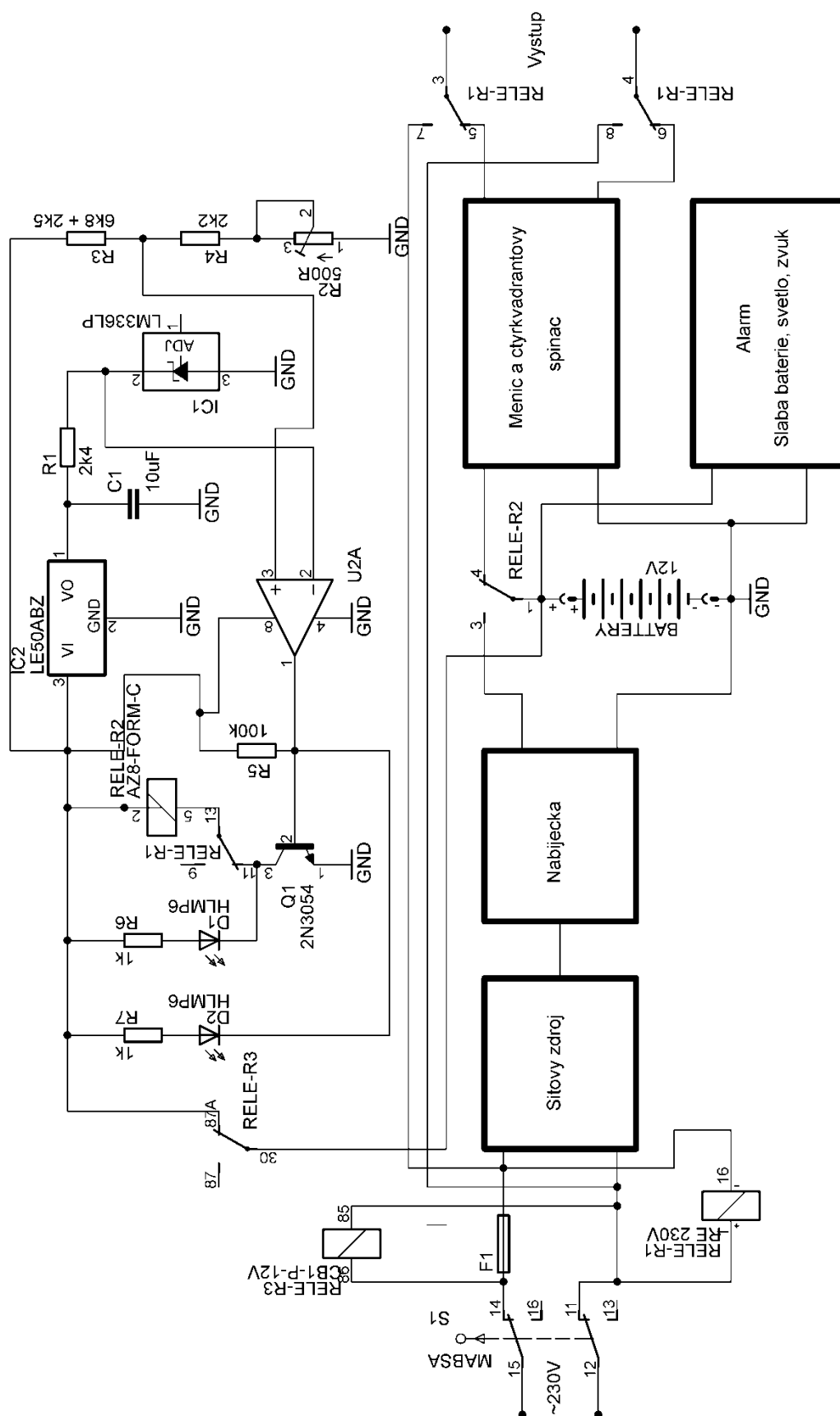
Seznam příloh

Příloha 1. Elektrické schéma zapojení řízení UPS.....	91
Příloha 2. Elektrické schéma zapojení nabíjecího obvodu	92
Příloha 3. Elektrické schéma zapojení DC/DC měniče	93
Příloha 4. Elektrické schéma zapojení čtyř-kvadrantového spínače	94
Příloha 5. Elektrické schéma zapojení opticko-akustického alarmu	95

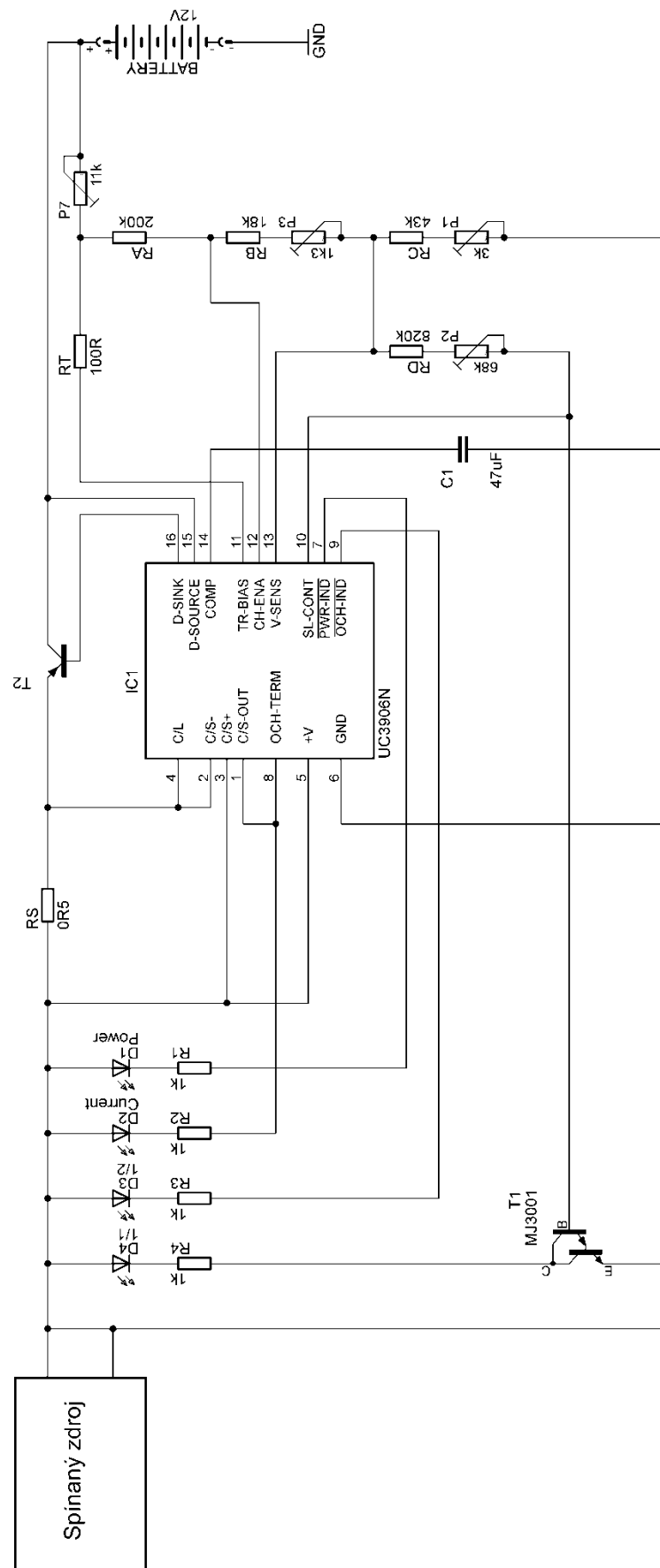
Seznam zkratek

AFC	– Alkaline Fuel Cell
AGM	– Absorbed glass mat
CAES	– Compressed Air Energy Storage
CMOS	– Complementar-Metal-Oxide-Semiconductor
D	– Diesel
DC	– Direct Current (stejnoseměrný proud)
DG	– Diesel Generátor
DO	– Důležité obvody
DMFC	– Direct Methanol Fuel Cell
ERÚ	– Energetický regulační úřad
G	– Generátor
IO	– Integrovaný Obvod
LED	– Light-Emmiting diode (dioda emitující světlo nebo také Elektroluminiscenční dioda)
MDO	– Méně důležité obvody
NASA	– National Aeronautics and Space Administration (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku)
PELV	– Protective Extra Low Voltage (Ochranné malé napětí)
PEMFC	– Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell
PWM	– Pulse Width Modulation (Pulzně šířková modulace)
RAL	– Reichs Ausschuss für Lieferbedingungen (standard pro stupnici barevných odstínů)
SAIDI	– System Average Interruption Duration Index (průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období)
SAIFI	– System Average Interruption Frequency Index (průměrný počet přerušení distribuce u zákazníků v hodnoceném období)
SELV	– Safety Extra Low Voltage (Bezpečné malé napětí)
UPS	– Uninterruptible Power Supply (Nepřerušitelný napájecí zdroj)
VDO	– Velmi důležité obvody
VRLA	– Valve Regulated Lead Acid (Olověný akumulátor řízený ventilem)
ZIS	– Zdravotnická IT síť

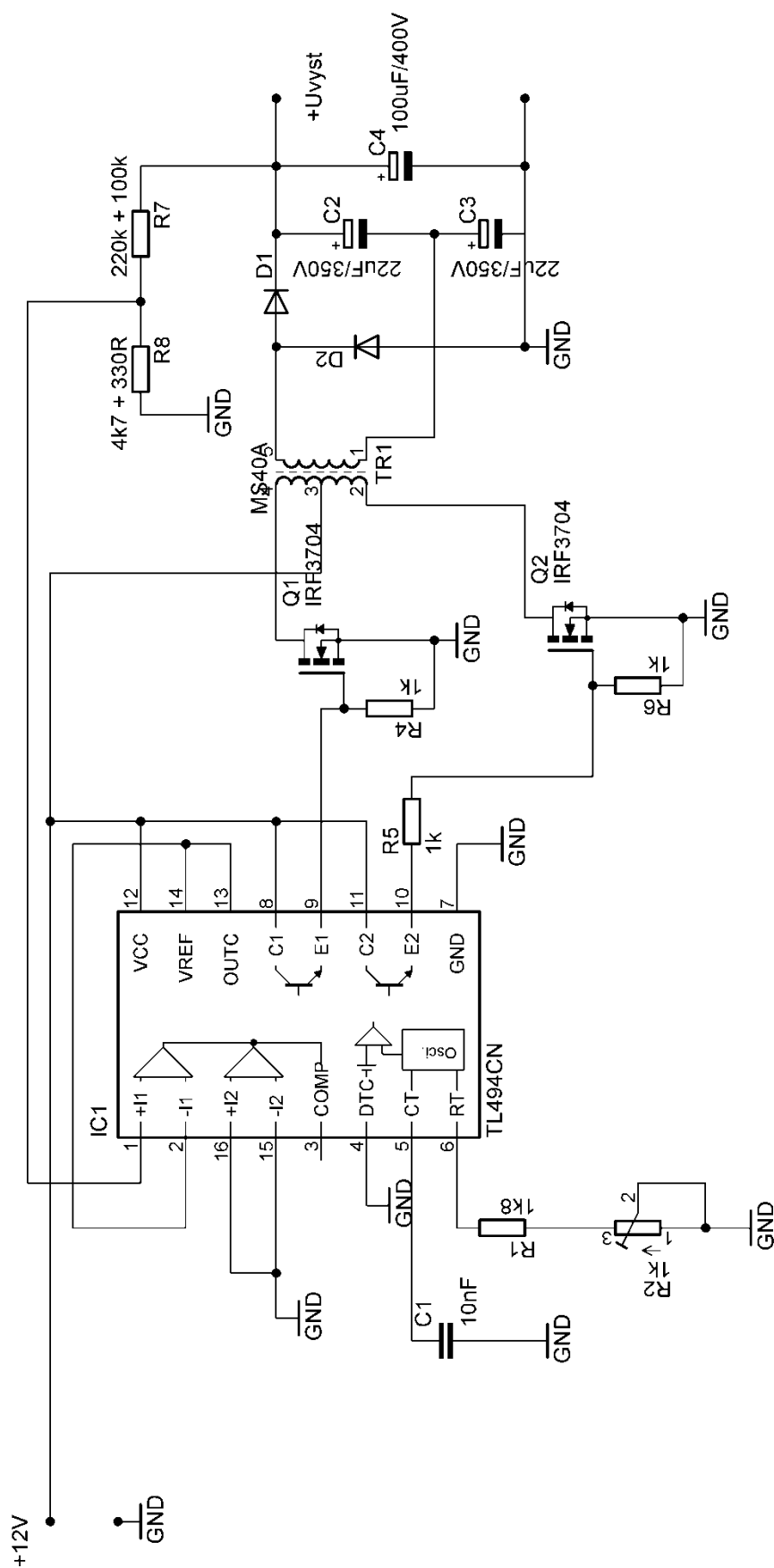
Příloha 1. Elektrické schéma zapojení řízení UPS



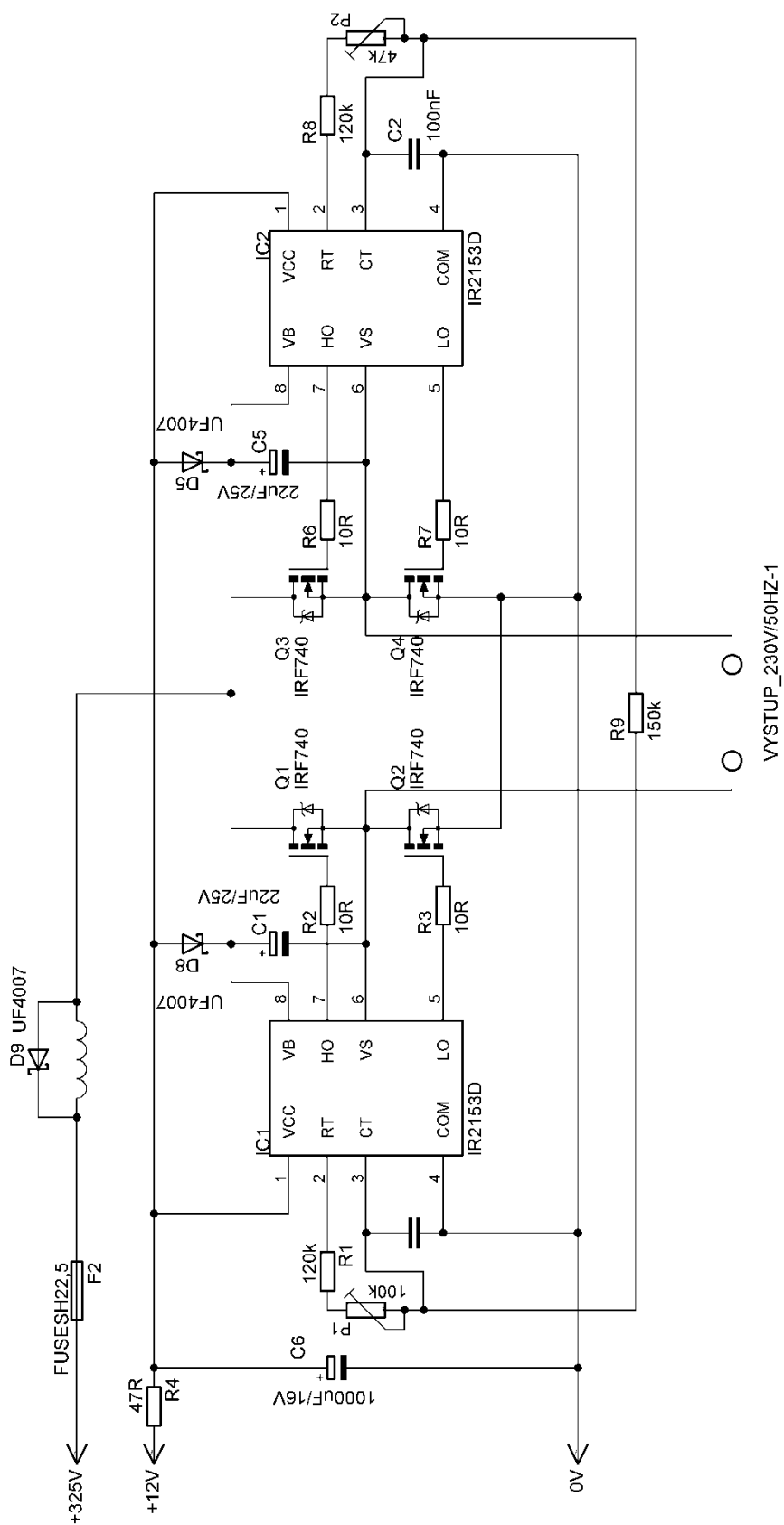
Příloha 2. Elektrické schéma zapojení nabíjecího obvodu



Příloha 3. Elektrické schéma zapojení DC/DC měniče



Příloha 4. Elektrické schéma zapojení čtyř-kvadrantového spínače



Příloha 5. Elektrické schéma zapojení opticko-akustického alarmu

