

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Záložní zdroje napájení

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik FRIČL**
Osobní číslo: **E14B0091P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Záložní zdroje napájení**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište zařízení a technologie, které se používají v systémech záložního napájení
2. Detailněji specifikujte zdroje nepřerušitelného napájení UPS, např. z hlediska topologie, způsobu zapojení.
3. Porovnejte jednotlivé druhy záložních zdrojů z hlediska nákladů, výkonů, spolehlivosti, rychlosti připojení, provozní doby apod.
4. Navrhněte systém záložního napájení pro konkrétní případ z praxe.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

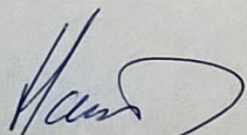
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

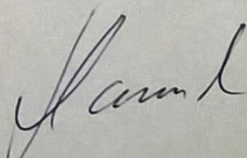
Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá záložními zdroji energie, zejména zdroji nepřetržitého napájení UPS. Práce popisuje historii záložních zdrojů, zásobníky energie pro záložní zdroje a jejich rozdělení. Praktická část se zabývá návrhem záložního zdroje pro kotelnu Etylenové jednotky v chemických závodech Chempark Záluží, obsahuje návrh UPS, dieselaagregátu a přívodních vodičů.

Klíčová slova

Záložní zdroje napájení, zásobníky elektrické energie, UPS, dieselaagregát, topologie, VFD, VFI, VI.

Abstract

This bachelor thesis deals with backup power sources, especially UPS power supplies. The thesis describes the history of backup sources, energy storage for backup sources and their distribution. The practical part deals with the design of a backup source for the boiler room of the Ethylene Unit in Chempark Záluží, it contains the design of UPS, diesel generator and supply conductors.

Key words

Backup power sources, electrical energy storage, UPS, diesel generator, VFD, VFI, VI.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

Podpis

V Plzni dne 30.5.2017

Patrik Fričl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych rád poděkoval pracovníkům firmy Inelsev s.r.o. za jejich praktické rady k této práci.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 ZÁLOŽNÍ ZDROJE NAPÁJENÍ	11
1.1 HISTORIE.....	11
1.2 NORMY PRO ZÁLOŽNÍ ZDROJE.....	12
1.3 DRUHY DODÁVKY PODLE DŮLEŽITOSTI.....	13
1.4 PROBLÉMY KVALITY NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	14
1.5 ZÁSObNÍKY ENERGIE PRO ZÁLOŽNÍ ZDROJE NAPÁJENÍ.....	16
2 ROZDĚLENÍ ZÁLOŽNÍCH ZDROJŮ NAPÁJENÍ	20
2.1 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU UCHOVÁNÍ A PŘEMĚNY ENERGIE.....	20
2.2 ROZDĚLENÍ PODLE VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ.....	21
2.3 ROZDĚLENÍ PODLE TOPOLOGIE.....	22
2.4 ROZDĚLENÍ PODLE USPOŘÁDÁNÍ ZÁLOŽNÍCH ZDROJŮ.....	28
3 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ ZÁLOŽNÍCH ZDROJŮ	30
3.1 POROVNÁNÍ TOPOLOGIÍ STATICKÝCH UPS.....	30
3.2 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ ROTAČNÍHO ZDROJE UPS A STATICKÝCH ZDROJŮ UPS.....	32
4 NÁVRH ZÁLOŽNÍHO ZDROJE PRO PŘÍPAD Z PRAXE	34
4.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PRO VOLBU UPS.....	34
4.2 PODKLADY OD ZADAVATELE.....	37
4.3 NÁVRH UPS.....	38
4.4 NÁVRH DIESELAGREGÁTU.....	41
4.5 NÁVRH PŘÍVODNÍHO KABELU PRO DIESELAGREGÁT.....	43
5 ZÁVĚR	47
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	48
PŘÍLOHY	50

Seznam symbolů a zkratk

AGM.....	absorbed glass mat
HSFW.....	vysokorychlostní setrvačnick (high speed flywheel)
HTS.....	vysokoteplotní supravodič (high temperature superconductor)
IGBT.....	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (insulated gate bipolar transistor)
LSFW.....	nízkorychlostní setrvačnick (low speed flywheel)
LTS.....	low temperature superconductor
p.....	faktor využití
PWM.....	pulzně šířková modulace (pulse width modulation)
SMES.....	supravodivý magnetický zásobník energie (superconducting magnetic energy storage)
THD.....	činitel harmonického zkreslení (total harmonic distortion)
T _k	kritická teplota supravodiče [K]
UPS.....	zdroj nepřerušitelného napájení (uninterruptible power supply)
VFD.....	napětově a frekvenčně závislé (voltage and frequency dependent)
VFI.....	napětově a frekvenčně nezávislé (voltage and frequency independent)
VI.....	napětově nezávislé (voltage independent)
W.....	deformační index
β.....	činitel soudobosti
η.....	účinnost [%]

Úvod

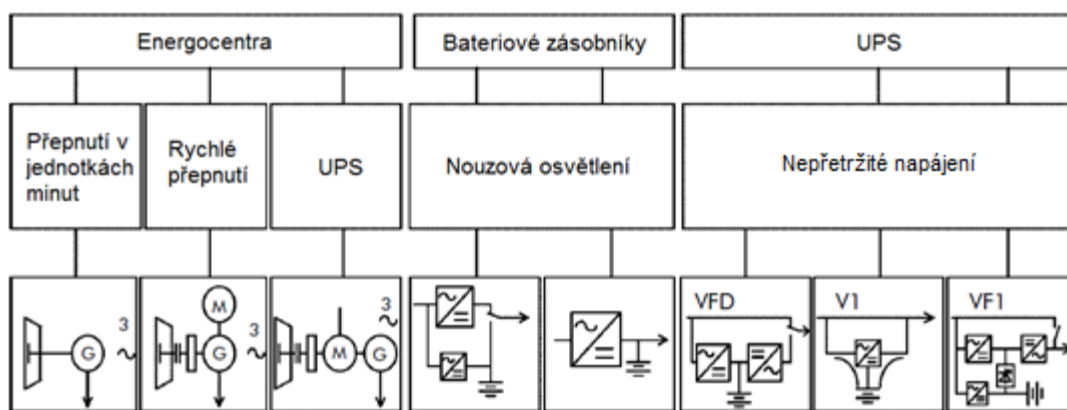
Tato bakalářská práce se zabývá záložními zdroji napájení. Podnětem tématu bakalářské práce byl projekt návrhu systému záložní napájení pro kotelnu Etylenové jednotky v areálu Chempark Záluží, který vypracovává firma Inelsev s.r.o.

Práce je zaměřena převážně na zdroje nepřetržitého napájení UPS. Teoretická část popisuje princip a historii záložních zdrojů, dále jejich rozdělení a porovnání různých typů UPS.

Praktická část se zabývá návrhem systému záložního napájení pro kotelnu Etylenové jednotky v areálu Chempark Záluží. Návrh obsahuje volbu UPS, dieselagregátu a přívodních kabelů mezi dieselagregátem a rozvaděči.

1 Záložní zdroje napájení

Záložní zdroj napájení je zařízení, jehož hlavní funkcí je dodávat elektrickou energii v případě přerušení napájení z primární sítě. Záložní zdroje jsou využívány pro ochranu zařízení citlivých na kvalitu napájení, dat, ale i k ochraně lidského zdraví a života. Jako záložní zdroj můžeme brát zdvojený přívod elektrické energie, akumulátorové zásobníky, energocentrum nebo UPS. Jednoduché rozdělení je vidět na obrázku 1. V mé bakalářské práci se právě zaměřím na záložní zdroje označovány jako UPS, tato zkratka vznikla z anglického uninterruptible power supply [1] [2]. Norma ČSN EN 62040-1 definuje UPS jako: „kombinaci měničů, spínačů a zásobníků energie (například akumulátorových baterií), vytvářející napájecí systém pro udržení nepřetržité dodávky energie do zátěže v případě poruchy vstupního napájení“ [3].



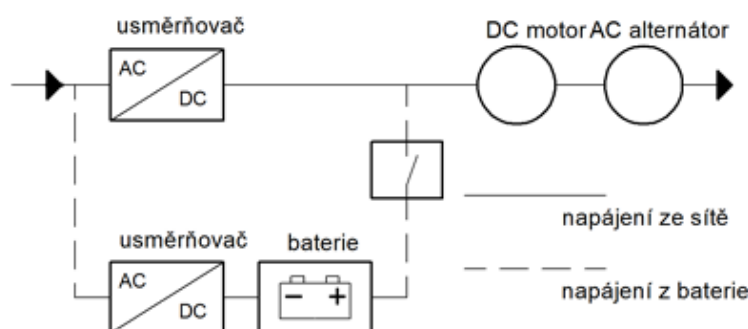
Obrázek 1 - Typy záložního napájení [2].

UPS zajišťuje nepřetržitost napájení bez ohledu na zhoršení kvality napájecího napětí nebo přerušení dodávky elektrické energie z primární sítě. Krátkodobé přerušování dodávky ale i zhoršení kvality napájecího napětí, mohou mít závažné následky. Proto musí záložní zdroje napájení poskytnout napětí bez kolísání frekvence, elektrického šumu, harmonických napětí, napětových špiček, podpětí a přepětí. Pokud některý z těchto problémů v elektrické síti vznikne lze očekávat selhání zařízení. V případě podpětí nebo přerušování napájení, poskytuje UPS nezbytnou byť časově omezenou zálohu z uložené energie [4].

1.1 Historie

Problém spolehlivosti dodávky elektřiny je mnoholetou záležitostí. Se zvyšujícím se využitím elektrické energie a rostoucí závislostí společnosti na elektrických zařízeních, se zvýšila i potřeba spolehlivosti dodávky.

První zdroj nepřerušitelného napájení (tehdy znám jako zdroj „bez pauzy“) byl zdroj rotačního charakteru a jeho autor si objevení tohoto zařízení uvědomil až v průběhu 50. let 20. století. Funkci tohoto zařízení popisují John Platts a John St. Aubyn v jejich knize *Uninterruptible Power Supplies* [5]. V této době byla poptávka na zařízení hlavně z oblasti vojenské a to pro komunikaci a radary. Nejvyužívanější bylo zařízení znázorněné na obrázku 2. Pro vojenské účely během druhé světové války pokračoval rozvoj tohoto zařízení s cílem dosáhnout co největší spolehlivosti, zvýšení efektivity a zjednodušení údržby. Na obrázku 1 je vidět, že za běžného provozu byla elektřina přivedena na usměrňovač, ze kterého byl napájen stejnosměrný motor, který poháněl generátor. Při ztrátě napájení se staly zdrojem energie baterie, které umožňovaly generátoru dodávat nepřetržité napájení. Vzhledem k tomu, že napětí baterií mohlo klesat z hodnoty 2,25 V až na 1,9 V na článek, byl používán setrvačnick jako přechodný zdroj energie s cílem zajistit dobrou regulaci chodu stejnosměrného regulátoru otáček.



Obrázek 2 - Schéma prvního záložního zdroje [5].

První výkonové usměrňovače se využívaly technologie na bázi selenu a rtuti. Pro účely UPS byl selen jasnou volbou. Na začátku šedesátých let začaly být dostupné usměrňovače, ve kterých byly použity technologie využívající křemík a germanium, tyto usměrňovače dosahovaly vyšší účinnosti a menších rozměrů. O pár let později s příchodem tyristorů (tehdy známých jako řízený usměrňovač) přišel na řadu do té doby technologicky nemožný statický měnič. Vynález statického měniče vedl ke vzniku statického zařízení UPS. První tyristory trpěly občasnými výpadky, ale s postupem času dosáhly statické systémy UPS výsadního postavení na trhu a odsunuly rotační systémy [5].

1.2 Normy pro záložní zdroje

Požadavky na zdroje nepřerušovaného napájení jsou uvedeny v souboru mezinárodních norem IEC 62040, které jsou v Evropě zaváděny v souboru norem

EN 62040 a u nás v souboru norem ČSN EN 62040. Tento soubor je rozdělen na čtyři části [6]. Normy jsou popsány pomocí anotací na webových stránka Normy.biz [7].

Norma **ČSN EN 62040-1 Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS) – Část 1: Všeobecné a bezpečnostní požadavky pro UPS**, tato část IEC 62040 se aplikuje na zdroje nepřerušovaného napájení (UPS) s akumulátorem elektrické energie ve stejnosměrném meziobvodu. Primární funkcí UPS pokrytého touto normou, je zajistit nepřetržitost střídavého napájení. UPS může také sloužit pro zlepšení jakosti dodávaného výkonu, a to jeho udržováním ve stanovených mezích.

Norma **ČSN EN 62040-2 Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS) - Část 2: Požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC)**.

Norma **ČSN EN 62040-3 ed. 2 Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS) - Část 3: Metoda stanovení požadavků na funkci a na zkoušení**, tato část souboru norem platí pro pohyblivé, stacionární a pevné elektronické systémy nepřerušovaného napájení (UPS), které poskytují jedno nebo třífázové výstupní napětí pevného kmitočtu nepřesahující 1 000 V, které zahrnují akumulátor většinou připojený přes DC meziobvod. Tato norma specifikuje funkci a zkušební požadavky na kompletní UPS a na jednotlivé funkční jednotky UPS. Jednotlivé funkční jednotky UPS jsou řešeny v publikacích IEC uvedených v bibliografii. Primární funkcí UPS, na které se vztahuje tato norma, je zajištění nepřetržitého zdroje energie.

Norma **ČSN EN 62040-4 Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS) - Část 4: Hlediska životního prostředí - požadavky a zprávy**, tato část souboru norem specifikuje proces a požadavky na deklarování environmentálních hledisek týkajících se zdrojů nepřerušovaného napájení (UPS) s cílem podpořit snižování jakéhokoliv nepříznivého dopadu na životní prostředí během celého životního cyklu UPS. Tato norma výrobku je harmonizována s příslušnými kmenovými a horizontálními environmentálními normami a obsahuje další podrobnosti týkající se UPS.

1.3 Druhy dodávky podle důležitosti

Žádná z norem pro záložní zdroje napájení neurčuje, který typ záložního zdroje má být použit pro dané zařízení. Požadavky na záložní zdroj napájení vychází ze zařazení zálohovaného zařízení do určitého stupně dodávky energie. Stupně důležitosti dodávky

energie určuje norma ČSN 34 1610, tato norma rozděluje zařízení dle důležitosti zálohování dodávky energie do tří skupin. Je možné, že v objektu bude více zařízení různých stupňů důležitosti dodávky energie. Náhradní zdroje se v takovýchto případech navrhuji s ohledem na nejvyšší stupeň důležitosti dodávky energie [8].

Dodávky 1. stupně důležitosti při přerušení dodávky elektrické energie pro odběry 1. stupně důležitosti může dojít k ohrožení lidského zdraví, zastavení chodu technologické procesu nebo velkým finančním ztrátám. Proto musí mít dodávky 1. stupně důležitosti vždy zálohu napájení nezávislou na primárním zdroji elektrické energie. Mezi dodávky 1. stupně důležitosti řadíme zdravotnická zařízení, čerpadla požární vody, výtahy určené k evakuaci osob, odvětrávání chráněných únikových cest. Rozhodnutí, že se jedná o dodávku 1. stupně důležitosti musí odběratel vždy doložit náležitým technicko-ekonomickým zdůvodněním.

Dodávky 2. stupně důležitosti mezi tyto dodávky řadíme odběry, kde při přerušení napájení může nastat k zastavení důležitých strojů. Při výpadku však nedochází k přerušení technologických procesů nebo ke zvýšení rizika ohrožení lidského zdraví. Do dodávek 2. stupně důležitosti řadíme mechanické dílny, obráběcí stroje nebo průmyslové provozy. U dodávky 2. stupně je ideální zajistit dodávku elektrické energie, ale nevyžaduje se nějakého zvláštního opatření či zařízení pro náhradní napájení.

Dodávky 3. stupně důležitosti jsou dodávky, u kterých nemusí být napájení nijak zálohováno, při přerušení dodávky elektrické energie nevznikne nebezpečí finančních ztrát ani zdravotní rizika. Do této kategorie zahrnujeme například bytové jednotky, školy, úřady atd [8] [9].

1.4 Problémy kvality napájecího napětí

Systémy UPS dokážou zařízení ochránit před všemi základními problémy kvality napájecího napětí. Jsou navrženy tak, aby vyhovovaly potřebám pro ochranu napájení počítačových sítí, datových center, telekomunikací, zdravotnictví nebo průmyslových zařízení. Takto popisuje firma Eaton své UPS [10].

Přerušení elektrického napájení je stav, kdy primární zdroj přestane dodávat elektrickou energii po dobu přerušení napájení větší než 10 ms, přerušení dodávky se podle normy ČSN EN 50160 dělí na krátké, které není delší než tři minuty a dlouhé, které trvá

déle než tři minuty. Přerušení napájení může být následek mnoha událostí: úderu blesku, zničení elektrického vedení, přetížení sítě a v neposlední řadě přírodní katastrofy. Následky jsou závislé na době trvání, nesprávná činnost HW, ztráta dat, výpadky SW, zastavení výroby.

Krátkodobý pokles napětí je náhlé snížení napětí v rozsahu 10 - 100 % v trvání od 10 ms. Norma ČSN EN 50160 udává horní hranici přechodného napětí 1 minutu. Příčinou jsou převážně zkratové poruchy v síti, spouštění zařízení velkých výkonů, selhání bezpečnostních zařízení, blesky nebo nižší výkon zdroje než příkon připojených zařízení. Následkem mohou být nesprávná činnost a poškození HW, ztráta počítačových dat, výpadky SW.

Krátkodobé zvýšení napětí je velmi krátké zvýšení napětí nad 110 % jmenovité hodnoty. Stejně jako u krátkodobého poklesu napětí udává norma horní hranici krátkodobého zvýšení napětí 1 minutu. Krátkodobé zvýšení napětí v sítích nízkého napětí může být následkem úderu blesku, který dokáže do sítě přivést napětí vyšší než 6 kV. Napěťové špičky mohou vést k trvalému poškození zařízení, ztrátě dat, zrychlenému stárnutí nebo selhání izolace.

Podpětí je dlouhodobé snížení napětí, kde doba trvání může být řádově minuty, hodiny až dny. Podpětí může být důsledkem připojení zařízení velkých výkonů, snížením napětí v síti za účelem úspory energie ve špičce nebo přetížením zdrojů elektrické energie. Podpětí může mít za následek nesprávnou funkci HW a podle velikosti podpětí může docházet k nahodilému resetování HW a ztrátě počítačových dat.

Přepětí nastává, pokud je hodnota napětí 110 % hodnoty referenčního napětí a doba trvání jsou stejně jako u podpětí hodiny až dny. Přepětí je vyvoláno rychlým snížením výkonu zátěže, při vypnutí strojů a zařízení velkých výkonů. Může vést k přehřívání a předčasnému stárnutí izolace i zařízení.

Přechodné jevy jsou jevy, při nichž nastává velký nárůst rušení po dobu přechodového jevu, doba trvání je kratší než u špiček, obecně v rozmezí nanosekund. Přechodné jevy nastávají při skokovém připnutí a odepnutí zátěže jako jsou výtahy nebo svařovací automaty. Následkem je nesprávná činnost HW a SW.

Indukovaný šum je rušení elektromagnetického nebo elektrostatického původu v prostoru a ve vodičích. Může být následkem spínání výkonových polovodičových prvků, elektrostatického vybíjení, blesků nebo svařování. Indukovaný šum má za důsledky poruchy funkce a činnosti zařízení.

Kolísání frekvence jsou případy, kdy se frekvence mění více než +/- 5 % od jmenovité hodnoty. Většinou je důsledkem regulace motorgenerátorů. Může mít za následek ztrátu počítačových dat a rušení komunikace mezi zařízeními.

Harmonická napětí se superponují na sinusový průběh základní harmonické frekvence sítě. Vyšší harmonické jsou důsledkem nelineárních zařízení v síti, jako jsou spínané zdroje, obloukové pece nebo magnetická jádra elektrických strojů. Důsledky jsou předimenzování HW, přehřívání, rezonance s kondenzátory a poškození zařízení [10] [11] [12].

1.5 Zásobníky energie pro záložní zdroje napájení

Zásobníky elektrické energie jsou nedílnou součástí záložních zdrojů. V dnešní době jsou zásobníky nejslabší stránkou UPS, ať už z pohledu spolehlivosti, tak z pohledu životnosti. Pro každou UPS je podstatné z čeho bude dodávat energii do zátěže. Záložní zdroje jsou velmi často popisovány jejich výkonem. Velmi důležitá je ale i doba, po kterou tento výkon dokáže záložní zdroj dodat a tedy práce vykonaná záložním zdrojem.

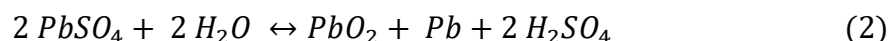
$$W = Pt \quad [J, W, s] \quad (1)$$

Přerušení napětí ze sítě se dělí na krátkodobé (kratší než 3 minuty) a dlouhodobé, které mohou trvat i několik dní. Z tohoto rozdělení vyplývají i nároky na záložní zdroje a jejich zásobníky energie. Zásobníky energie pro záložní zdroje by měly mít tyto vlastnosti:

- vysoká hustota akumulace energie,
- nízké samovolné vybíjení,
- rychlé nabíjení,
- nízké provozní náklady,
- vysoká spolehlivost,
- rychle dodaný výkon [2].

Akumulátorové baterie dnes patří mezi nejpoužívanější zásobníky energie pro záložní zdroje. Akumulátorových baterií je mnoho druhů podle principu a materiálu. V následujících řádcích popíši princip dvou nejznámějších olověných a lithium-iontových a jedné méně známé ale velmi využívané v oblasti UPS a to akumulátorové baterie s vázaným elektrolytem [13].

Nejpoužívanějším sekundárním zdrojem je olověný akumulátor. Používaný je z důvodu nízké ceny, vysoké spolehlivosti a dobrého výkonu. Tento typ akumulátoru tvoří dvě elektrody z olova a elektrolyt z kyseliny sírové, takto je vytvořený jeden článek. Články se řadí do série a vytváří akumulátorovou baterii. Princip olověného akumulátoru popisuje chemická rovnice (2), ve které šipka vpravo značí průběh při nabíjení a vlevo při vybíjení [14].



Lithiový akumulátor je tvořen kladnou elektrodou z kovového oxidu, zápornou elektrodou vyrobenou z uhlíku a elektrolytem z lithiové soli v organickém rozpouštědle. Princip lithiové baterie spočívá v pohybu iontů mezi elektrodami. Při nabíjení je pohyb iontů od kladné elektrody k záporné, zatímco při vybíjení je to naopak [15].

Akumulátor s vázaným elektrolytem v takovýchto akumulátorech není elektrolyt mezi elektrodami v tekuté formě, ale je nasáklý ve tkanině ze skelných vláken. Proto se tento typ akumulátoru označuje zkratkou AGM (absorbed glass mat). Skelná vlákna v akumulátoru nazýváme separátor, protože odděluje kladné a záporné elektrody [13].

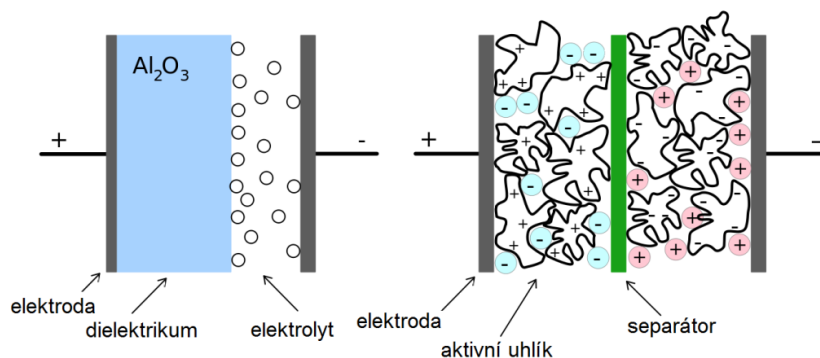
Setrvačníky akumulují kinetickou energii, většinou jsou ve tvaru plného nebo dutého válce. U setrvačnicků se využívá jejich momentu setrvačnosti. Setrvačnick je na společné hřídeli s generátorem, který vytváří elektrickou energii. Tato energie je však vzhledem ke klesajícím otáčkám frekvenčně proměnná. Pro stabilizaci elektrické energie se používá elektronický invertor. Setrvačnický se dělí podle konstrukce na vysokorychlostní (HSFW) a nízkorychlostní (LSFW). Vysokorychlostní setrvačnický jsou vyrobeny z vyztužených plastů nebo uhlíkových vláken a jsou přibližně 5x lehčí než ocel. HSFW setrvačnický pracují v rozsahu 10 000 až 100 000 otáček za minutu, s ohledem na velké namáhání je rotor generátoru permanentní magnet a celé soustrojí rotuje ve vakuu. Nízkorychlostní jsou konstruovány z oceli, pracují do 6 000 otáček za minutu a je potřeba mnohem větší

moment setrvačnosti. Soustrojí mohou být uložena ve vakuu nebo plynu nízké hustoty [16].

Superkapacitory jsou kondenzátory s mnohonásobně větší kapacitou, než mají běžné elektrolytické kondenzátory a to při zachování běžných vlastností kondenzátoru. Energie kapacitoru je přímo úměrná jeho kapacitě.

$$W = \frac{1}{2}CU^2 \quad [J,F,V] \quad (3)$$

Porovnání konstrukcí kondenzátoru a superkapacitoru je vidět na obrázku 3. Konstrukci superkapacitoru tvoří dvě elektrody z hliníkové folie, na níž je nanesen uhlíkový prášek. Tento prášek je tvořen ze zrněk aktivního uhlíku, zrnka mají plochu až 2000 m² na 1 gram prášku. Mezera mezi elektrodami je vyplněna elektrolytem a samotné elektrody jsou odděleny polypropylenovou folií. Díky výše zmíněné ploše zrn uhlíku a velmi malé vzdálenosti mezi nimi (řádově 10⁻¹⁰ m) dosahují superkapacitory kapacit v řádech faradů. Malá vzdálenost mezi uhlíkovými zrnky omezuje provozní napětí na cca 2,5 V a tím snižuje vnitřní odpor superkapacitoru. Díky nízkému odporu lze superkapacitor rychle nabíjet a zároveň rychle vybíjet. Energie uložená v superkapacitorech je řádově 10x větší než energie obyčejných elektrolytických kondenzátorů. Výhodou superkapacitorů je velmi nízký pokles kapacity max. 20 % i po více než 500 000 cyklech nabití a vybití [15][17].



Obrázek 3 – Konstrukce elektrolytického kondenzátoru (vlevo) a superkapacitoru (vpravo) [15].

Supravodivé zásobníky energie jsou často označovány zkratkou SMES z anglického výrazu Superconducting magnetic energy storage. SMES využívá toho, že u kovů i jiných látek s klesající teplotou klesá i jejich elektrický odpor. V roce 1911 zjistil nizozemský fyzik Kammerlingh Onnes, že při ochlazení těchto látek na velmi nízkou konkrétní teplotu

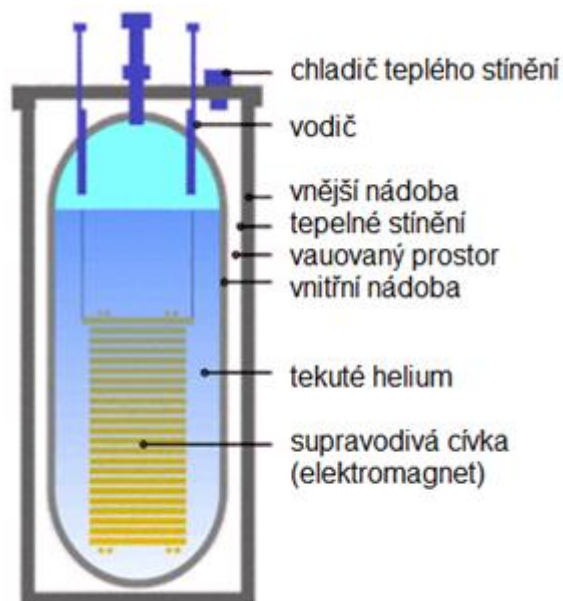
(kritickou teplotu supravodiče T_k) elektrický odpor zcela zmizí. Jev byl nazván supravodivostí a látky s touto vlastností supravodiče.

Supravodivé zásobníky se rozdělují podle hodnoty kritické teploty na nízkoteplotní LTS a vysokoteplotní HTS. Supravodivost nízkoteplotních supravodičů je vykazována pod teplotou 4,2 K, což je teplota varu kapalného helia, u vysokoteplotních vodičů stačí dosáhnout teploty 77 K, tato teplota je zároveň teplotou varu kapalného dusíku.

Pro energii naakumulovanou v cívce protékající proudem platí:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad [J,H,A] \quad (4)$$

Malé supravodivé zásobníky energie pracují se supravodivou cívkou, která je ponořena do kapalného helia a nabíjena přes usměrňovač, schéma je zobrazeno na obrázku 4. Ztráty v tomto systému jsou 0,3 kW za 24 hodin a schopnost reagovat na pokles napětí v síti je 0,2 mikrosekundy [15] [18].



Obrázek 4 – Malý supravodivý zásobník energie [18].

2 Rozdělení záložních zdrojů napájení

Záložní zdroje napájení se dají rozdělit podle mnoha faktorů. V této kapitole popíší druhy záložních zdrojů energie podle způsobu uchování a přeměny energie, výstupního napětí, topologie zdroje a podle jejich uspořádání.

2.1 Rozdělení podle způsobu uchování a přeměny energie

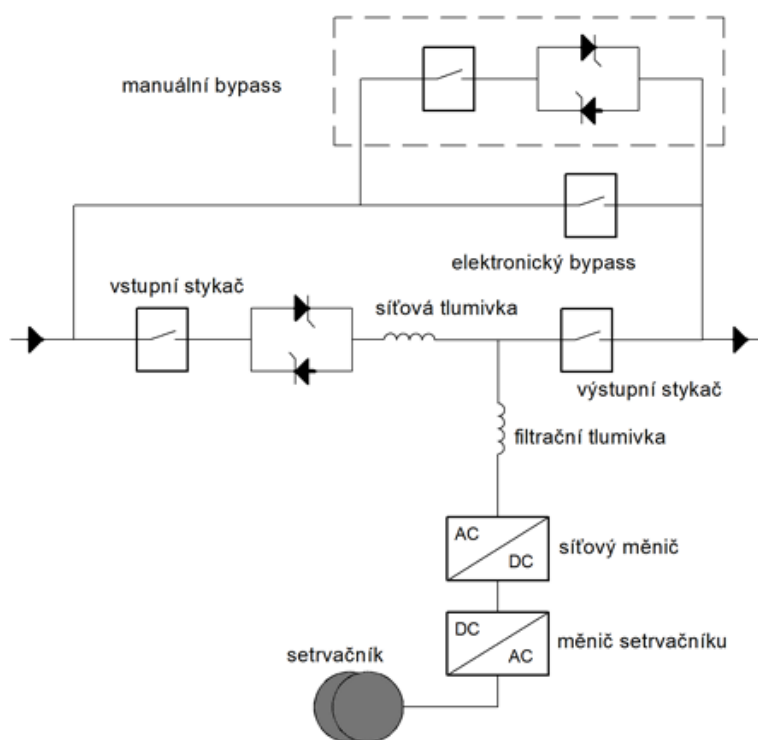
Záložní zdroje napájení se rozdělují na statické a rotační. Takové rozdělení může mít dva pohledy. Některé zdroje rozdělují záložní zdroje na statické a rotační podle způsobu uchování energie, druhé rozdělení je podle způsobu přeměny energie. V této práci popíší principy z obou pohledů

Statické záložní zdroje napájení k přeměně elektrické energie používají polovodičové součástky a k uchování energie akumulátory. Hlavními částmi statických záložních zdrojů napájení jsou vstupní usměrňovač, stejnosměrná část s odbočkou pro nabíjení baterií nebo kondenzátorů. Na konci stejnosměrného vedení je připojený napěťový střídač, který přeměňuje stejnosměrné napětí na střídavé sinusové napětí, které napájí zátěž [4] [19]. Statické záložní zdroje napájení se dělí podle vnitřní topologie, tímto rozdělením se zabývám v kapitole 2.3.

Firma APC udává rozmezí statických UPS od desítek kW do 1,6 MW [19]. Takto výkonnou UPS jsem ale nenašel. Firma Caterpillar má ve svém portfoliu statickou UPS s uložením energie do setrvačnicku o výkonu 1000 kVA, která ale při 100% zátěži vydrží pouze 15 sekund [20].

Rotační záložní zdroje napájení dle způsobu přeměny energie obecně zahrnují alternátor, diesellový motor a jednotku pro uchování energie. Rotační náhradní zdroje mají oproti statickým UPS výhodu v podobě dlouhodobé dodávky energie, provoz může být v řádech hodin, dnů nebo i delší. Jsou také dostupné v široké nabídce výkonů od několika desítek kW až po jednotky MW. Rotační zdroje se také používají pro speciální aplikace tam, kde není k dispozici žádná energetická síť, jako jsou námořní aplikace, nebo kde existuje krátkodobá vysoká spotřeba, jako jsou např. hlavní televizní sportovní přenosy. Pro start záložního motorgenerátoru se využívá energie ze zásobníků, které mohou být ve formě akumulátorů, superkapacitorů nebo setrvačnicků [16].

Rotační záložní zdroje napájení dle způsobu uchování energie záložní zdroje s energií uloženou v setrvačnicku popisuje Ing. Karel Kuchta z firmy Zeppelin pomocí blokového schématu obrázek 5. Pokud je napětí v distribuční síti ve stanovených normách, je zátěž napájena přímo ze sítě a společně se zařízením je přes síťový a setrvačnickový měnič napájen setrvačnick. V okamžiku přerušení napájení z distribuční sítě přechází setrvačnick do generátorického režimu a bez jakéhokoliv přerušení napájí zátěž. Setrvačnicku v režimu zdroje postupně klesají otáčky, aby na výstupu bylo stále napětí $3 \times 400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ mění síťový IGBT měnič s PWM modulací svůj pracovní režim. Maximálně do dvou sekund od přerušení napětí v distribuční síti startuje dieselaagregát, který s dostatečnou rezervou dosáhne provozních otáček a přebírá roli zdroje energie. Během 1 až 2 minut dochází k opětovnému rozběhu setrvačnicku na jmenovité otáčky a tím k doplnění jeho energie [21].



Obrázek 5 – Rotační UPS CAT 250 [21].

2.2 Rozdělení podle výstupního napětí

Náhradní zdroje se stejnosměrným napětím na výstupu jsou koncipovány jako zdroje online, tyto zdroje nemají prodlevu při přechodu z bezporuchového stavu do stavu náhradního zdroje. V bezporuchovém stavu jsou spotřebiče napájeny z primární sítě přes

usměrňovač, při přerušení napětí se zdrojem elektrické energie stávají akumulátorové baterie. Tento způsob zálohování je určen pro spotřebiče požadující napájení stejnosměrným napětím. Doba zálohování u těchto typů náhradních zdrojů se pohybuje v desítkách minut až několika hodin [22].

Nejčastější výstupní napětí u stejnosměrných záložních zdrojů:

- 12 V (použití pro aplikace v zabezpečovací technice nebo radiových sítí),
- 24 V (využívají aplikace v průmyslové automatizaci nebo nouzová osvětlení),
- 48 V (pro oblast telekomunikací),
- 60 V (částečně v energetice),
- 110 V, 220 V (v energetice) [23].

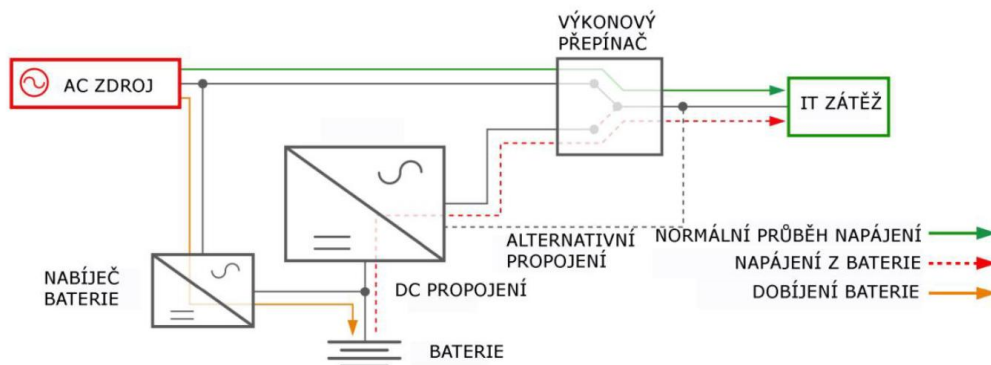
Zdroje střídavého napětí mohou pracovat v různých režimech, záleží na topologii záložního zdroje. Rozdělení záložních zdrojů podle topologie se zabývá v kapitole 2.3. Střídavé zdroje mají tři hlavní části. Usměrňovač, který je na vstupu a usměrňuje napětí pro zásobník zdroje, kterým je většinou baterie. Zásobník energie při výpadku sítě napájí výstupní člen, kterým je střídač, ten slouží k přeměně stejnosměrného napětí na napětí střídavé. Dalšími částmi střídavých zdrojů jsou přepětové ochrany, frekvenční filtry a přepínače, které přepínají mezi primární sítí a zásobníkem energie při výpadku.

2.3 Rozdělení podle topologie

Vnitřní stavba záložního zdroje energie neboli topologie určuje vlastnosti samotné UPS. Velmi rozšířený je například názor, že existují pouze dva typy systémů UPS, a to offline a online. Tyto dva běžně používané termíny však nepopisují mnoho z dostupných systémů UPS správně. Mnohá nedorozumění týkající se systémů UPS lze odstranit správným označením různých typů topologií UPS [24].

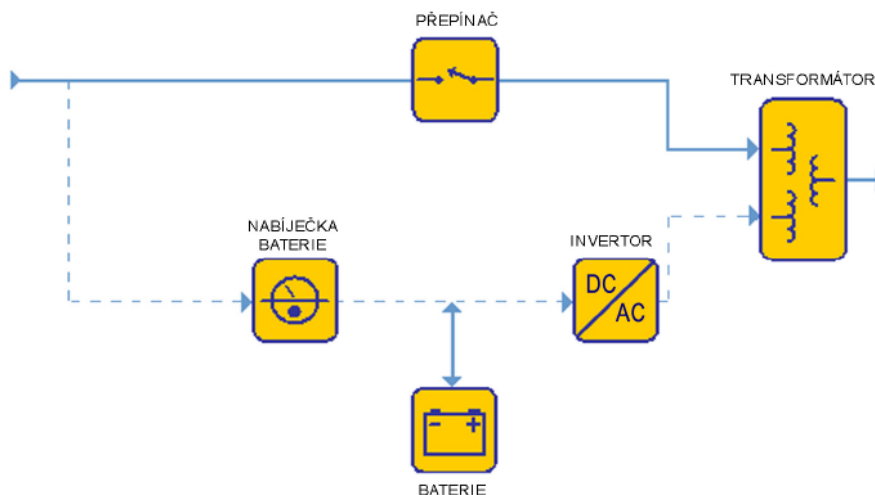
Offline systém UPS někdy také nazýván standby systémem a označován zkratkou VFD (voltage and frequency dependent), má dva pracovní režimy. V bezporuchovém stavu je zdrojem filtrované napětí ze sítě a usměrňovač dobíjí akumulátor. Blokové schéma popisující offline UPS je na obrázku 6. Při výpadku napětí z primární sítě nebo při poklesu napětí pod stanovenou mez (zpravidla při 230 V +10 % / -15 %), se zdrojem stává akumulátor, který přes střídač napájí spotřebič. Doba přepnutí přepínače bývá okolo 4 až 8 milisekund. Po obnovení energie z primární sítě, se přepínač vrací do původní polohy a

akumulátor se začne nabíjet. Tento systém se využívá v sítích, kde je málo pravděpodobný vznik podpětí. Offline systém se používá u spotřebičů, kterým nevadí přerušování napětí v jednotkách milisekund jako například záložní osvětlení nebo osobní počítače. Offline systémy jsou nejjednodušší, mají vysokou účinnost, malé rozměry, ale mají špatnou ochranu před rušením z primární sítě. V případě častého kolísání amplitudy napětí se vyčerpává kapacita akumulátoru, která může chybět při přerušování napětí. Doba zálohování bývá v řádu desítek minut, záleží na zatížení [22] [24] [25].



Obrázek 6 - Schéma offline systému UPS [25].

Offline systém UPS s ferorezonančním transformátorem byl v minulosti často používaný v oblasti výkonů 3 – 15 kVA. V systému je použit sycený transformátor se třemi vinutími, dvěma vstupními a jedním výstupním. V případě napájení ze sítě teče proud přes přepínač do transformátoru a poté do napájeného zařízení. Zároveň je k síti připojena nabíječka baterie, baterie a střídač v pohotovostním režimu. Jestliže dojde k výpadku primárního napájení, přepínač odpojí zátěž od sítě a zdrojem se stávají baterie. V obvodu se používá ferorezonanční transformátor, který umožňuje částečnou regulaci napětí. Topologie tohoto systému je znázorněna na obrázku 7.



Obrázek 7 - Schéma offline systému UPS s izolačním transformátorem [24].

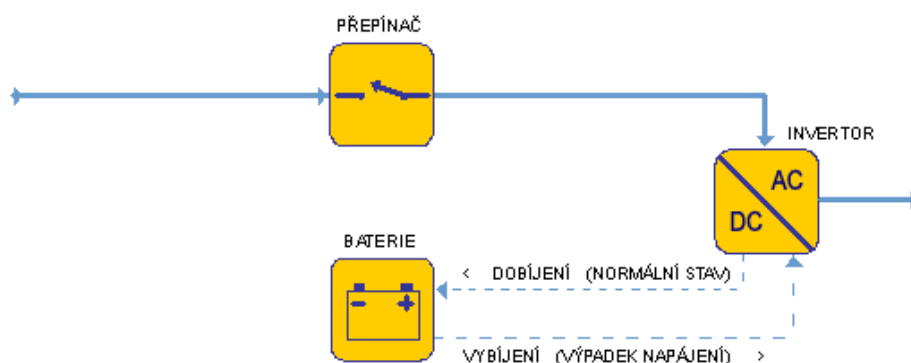
Transformátor nepropouští proudové špičky střídavého napájení, tato filtrace je srovnatelná s filtrací jednoduchých filtrů. Problémem je ale zkreslení napětí a přechodové špičky napětí, které ferorezonanční transformátor vytváří. Ferorezonanční transformátory, mají oproti běžným izolačním transformátorům mnohem větší rozměry a také velmi nízkou účinnost. Offline UPS s ferorezonančním transformátorem jsou obecně velké a těžké, další nevýhodou je, že byt' se podle návrhu jedná o offline systém UPS, vytváří tento typ UPS velké množství tepla, které vychází právě z nízké účinnosti ferorezonančního transformátoru [24][26].

V dnešní době využití offline systému UPS s ferorezonančním transformátorem velmi kleslo. Hlavním důvodem je nestabilita tohoto systému při napájení moderních počítačů. Dnes všechny velké servery a počítače používají napájecí zdroje s korekcí účinníku. Ke korekci účinníku se používají kondenzátory, které snižují indukční charakter napájených zařízení. Právě tento charakter mají ferorezonanční transformátory. Kombinací kompenzačních kondenzátorů a transformátorů s těžkým jádrem vzniká tzv. laděný obvod. V tomto obvodu může vzniknout rezonance, kdy se navzájem vyruší impedance kondenzátoru a transformátoru, při takovém stavu hrozí vznik velkých proudů, které mohou zničit napájené zařízení [24].

Lineinteraktivní systém UPS schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 8. Někdy označován zkratkou VI (voltage independent), je nejčastěji využívaný systém UPS pro výkony 0,5 až 5 kVA a to hlavně díky vysoké účinnosti a spolehlivosti, nízké ceně a rozměrům v tomto rozsahu výkonů. Střídač a zároveň usměrňovač je stále připojen k zátěži

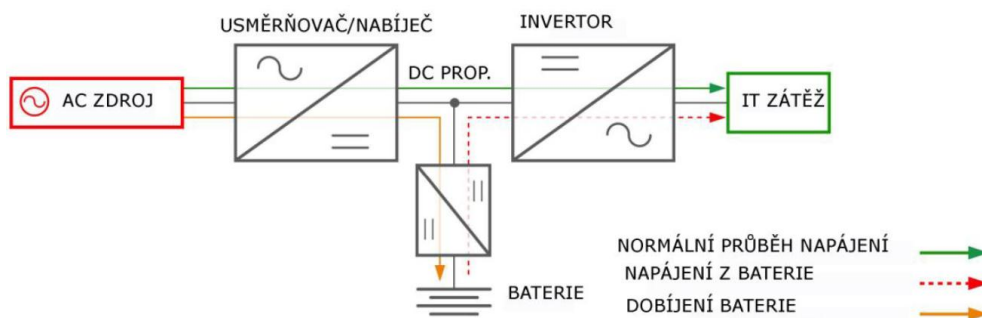
UPS. Ve stavu, kdy je neporušena primární síť střídač usměrňuje napětí a nabíjí baterii, v tomto stavu také poskytuje velmi dobrou možnost filtrace napětí a také chrání zařízení před možnými proudovými rázy mnohem lépe než offline systémy UPS. V případě přerušení sítě se přepínač rozepne a zdrojem elektrické energie se stává baterie, přechod do režimu napájení z baterie trvá typicky 5 ms [24][25].

Součástí lineinteraktivního uspořádání bývá často autotransformátor s odbočkami. Autotransformátor umožňuje nastavením odboček regulovat napětí, této funkce lze využít při poklesu napětí ze sítě a tím snížení počtu přechodů na napájení z baterie. Časté využívání baterií může vést ke snížení její životnosti. Střídač může být navržen tak, aby při poruše střídače samotného stále mohla vést elektrická energie ze sítě přímo do zátěže, v tomto případě sice UPS ztratí možnost filtrace napětí, ale zátěž je stále napájena [24].



Obrázek 8 - Schéma lineinteraktivního systému UPS [24].

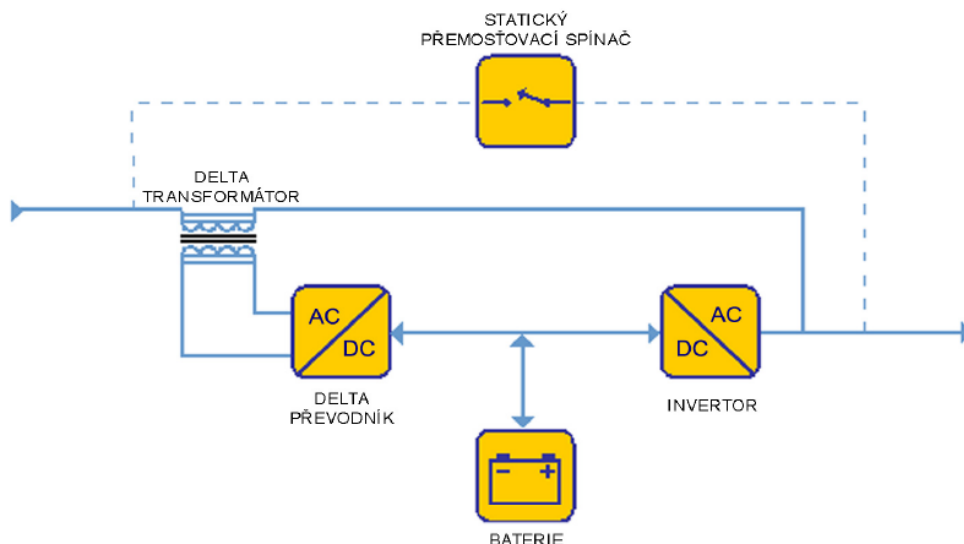
Online UPS systém s dvojitou konverzí zpracovává napětí nadvakrát, je nezávislá na napětí a frekvenci v síti a proto je označována jako VFI (voltage and frequency independent). Vstupní usměrňovač nejdříve usměrní napětí ze sítě, usměrněné napětí je využito na nabíjení baterií a je přivedeno na výstupní člen střídač (invertor), který převede napětí zpět na střídavé o požadované frekvenci a amplitudě. Tímto napětím je napájena zátěž. V případě, že napětí ze sítě nespĺňuje potřebné parametry, usměrňovač se vypne a energie je odebírána pouze z baterie. V tomto stavu UPS setrvává do doby, kdy napětí v síti dosáhne požadovaných parametrů nebo do doby, kdy než se baterie vybije [25]. Systém online UPS s dvojitou konverzí je nejčastěji používaný pro výkony nad 10 kVA. Blokové schéma systému s dvojitou konverzí je zobrazeno na obrázku 9.



Obrázek 9 - Schéma online systému UPS s dvojí konverzí [25].

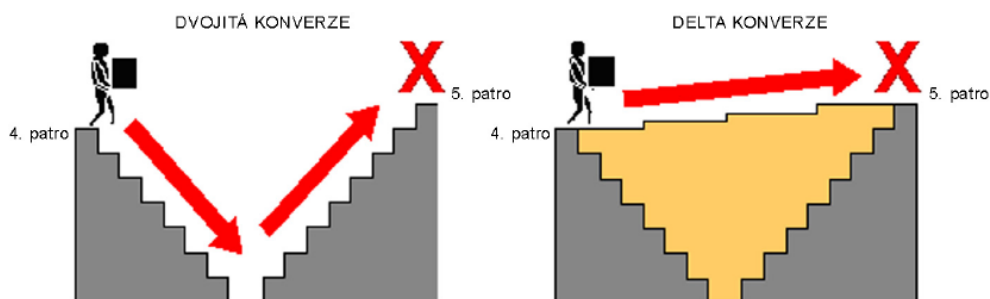
Schéma je velmi podobné jako u offline systému UPS, rozdíl je v tom, že zátěž je přímo ze sítě napájena jen v případě poruchy na UPS. Všechna energie jde v bezporuchovém stavu přes usměrňovač, baterii a střídač. To je výhodou i nevýhodou tohoto systému, výhoda online systému s dvojí konverzí je kvalitní výstupní napětí, které není závislé na kvalitě napětí ze sítě. Nevýhodou je ale vzhledem k zatížení všech částí UPS nižší účinnost a velké tepelné ztráty. Vzhledem k nízké účinnosti jsou relativně vyšší náklady na provoz než u ostatních typů UPS, neustálé využívání výkonových součástí také snižuje spolehlivost tohoto systému. Vstupní energie odebíraná velkou nabíječkou baterie je také často nelineární a může mít nepříznivý vliv na elektrické rozvody v budově nebo způsobovat problémy se záložními generátory [24].

Online systém s delta konverzí byl vyvinut tak, aby byly odstraněny slabé stránky systému s dvojí konverzí. Invertor dodává nepřetržitě energii pro zátěž podobně jako u UPS s dvojí konverzí. Rozdíl těchto systémů spočívá v delta převodníku, který také dodává energii do zátěže a tím snižuje zatížení invertoru. Schéma vnitřního uspořádání je vidět na obrázku 10. V případě přerušení napětí nebo podpětí se systém s delta konverzí chová úplně stejně jako systém s dvojí konverzí. Delta převodník plní dvě funkce. První funkcí je řízení charakteristik vstupního napětí. Delta převodník odebírá pouze sinusovou energii, tím minimalizuje harmonické kmity odražené do vedení. Zajišťuje tak optimální kompatibilitu mezi vedením a generátorem, zároveň tím snižuje tepelné ztráty a opotřebení rozvodné sítě. Druhá funkce spočívá v řízení vstupního proudu a regulaci dobíjení baterie. Za stabilního napětí v síti dokáže delta převodník dodávat na výstup energii s mnohem vyšší účinností než invertor u systému s dvojí konverzí [24].



Obrázek 10 - Schéma online systému UPS s delta konverzí [24].

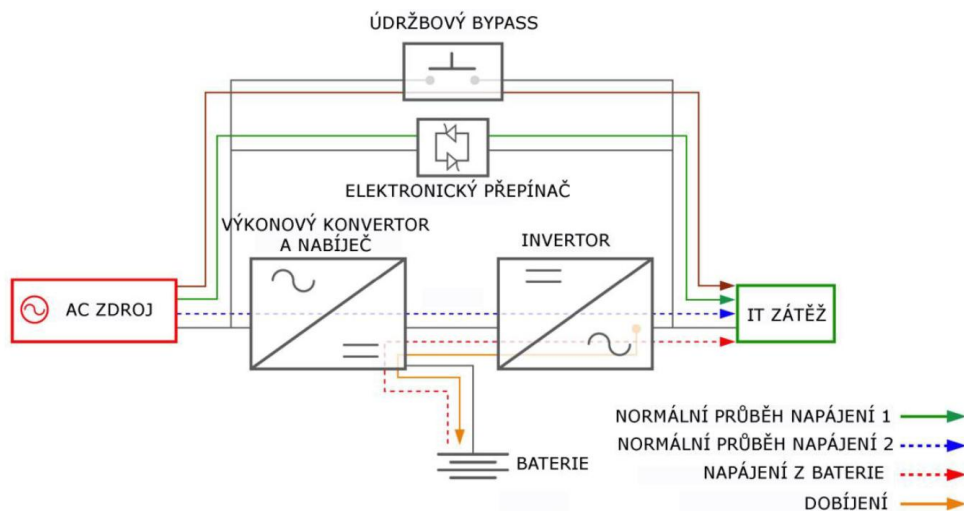
Rozdíl mezi systémem s delta konverzí a dvojitou konverzí je jednoduše vysvětlitelný na příkladu potřebné energie k vynesení balíku ze 4. do 5. patra, to znázorňuje obrázek 11. Technologie s dvojitou konverzí vede veškerou potřebnou energii přes baterii a invertor. Zatímco u systému s delta konverzí jde přes baterii a invertor pouze rozdíl mezi počátečním a koncovým bodem [24].



Obrázek 11 - Rozdíl mezi UPS s dvojitou konverzí a delta konverzí [24].

Multi-módové UPS využívají toho nejlepšího ze systému jednoduché a dvojitou konverze a poskytují výhody obou těchto systémů. Multi-módové UPS velmi rychle detekují změny v primární síti, systém na tyto změny automaticky reaguje a mění svůj režim. Pokud nejsou v napájecí síti žádné výkyvy z přijatelných mezí, multi-módová UPS pracuje jako offline UPS, dosahuje tak vysoké účinnosti, neopotřebovává invertor ani baterii a dokáže stabilizovat napětí v bezpečných mezích. Pokud se napětí v síti svými parametry odkloní od předem stanovených mezí, UPS se automaticky přepíná do systému s dvojitou konverzí a izoluje tak zátěž od případných přepětí nebo nadproudů, které by ji

mohly zničit. Při přerušení napětí přechází UPS do módu napájení z baterie a to do doby, kdy naběhne dieselagregát nebo do obnovení primárního napětí, systém po obnovení dodávky pracuje v módu dvojí konverze až do stabilizace napětí v síti. Vnitřní zapojení multi-módové UPS je znázorněno na obrázku 12. Multi-módová technologie poskytuje nejvyšší stupeň ochrany napájených zařízení a přitom nepracuje v režimu nižší účinnosti, pokud to podmínky nevyžadují [25].

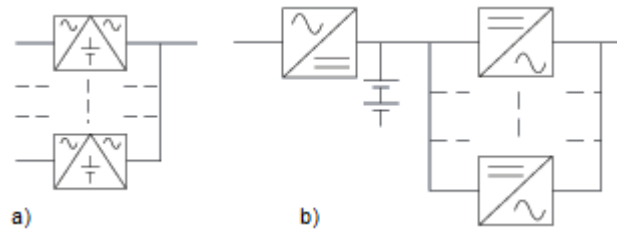


Obrázek 12 - Vnitřní zapojení multi-módové UPS [25].

2.4 Rozdělení podle uspořádání záložních zdrojů

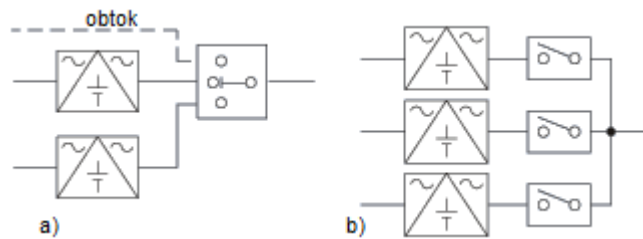
Samostatná UPS (single UPS) je tvořena pouze jednou jednotkou UPS. V obvodě záložního zdroje je UPS, která může být doplněna obtokem. Toto řešení je nejjednodušší, ale také nejméně spolehlivé, navíc při velkých výkonech je potřeba drahých výkonových invertorů.

Paralelní uspořádání UPS (parallel UPS) toto uspořádání je tvořeno více paralelně zapojenými UPS. Zdroje v tomto případě pracují najednou, tím je umožněno rozdělit potřebný výkon mezi větší počet méně výkonných UPS, rozdělením zvyšujeme i spolehlivost, protože při poruše jednoho zdroje fungují ostatní, které mohou pokrýt alespoň část dodávky. Paralelní uspořádání je zobrazeno na obrázku 13 a, kdy má každá UPS svůj usměrňovač, baterii a střídač. Druhou možností je částečně paralelní zapojení obrázek 13 b, kdy mají samostatné UPS společný usměrňovač s baterií a paralelně řazené střídače. V obou případech je stejně jako u samostatné UPS možnost doplnění o obtok.



Obrázek 13 - Paralelní řazení UPS [27].

Redundantní uspořádání UPS (redundant UPS) je podobně jako paralelní uspořádání UPS tvořeno více samostatnými zdroji. Hlavním rozdílem mezi redundantním a paralelním uspořádáním je v dimenzování UPS. V redundantním uspořádání je každá UPS dimenzována na jmenovitý výkon zátěže a dokáže tedy každá UPS napájet zátěž samostatně. Redundantní uspořádání funguje na principu, kdy při poruše jedné UPS přepne přepínač na jinou, viz obrázek 14 a. Druhou možností je kombinace paralelního a redundantního uspořádání, tato kombinace je vidět na obrázku 14 b. Výkon systému je dimenzován tak, aby součet výkonů všech UPS byl minimálně o výkon jedné UPS větší než výkon zátěže. Což poskytuje plynulý chod i při výpadku jedné UPS [27].



Obrázek 14 - Redundantní uspořádání UPS [27].

3 Porovnání parametrů záložních zdrojů

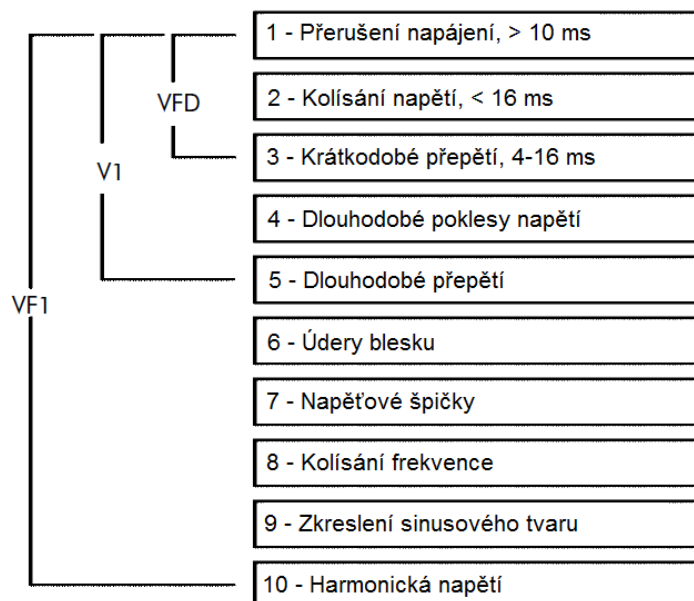
V oblasti záložních zdrojů energie je několik výrobců a distributorů. Každý z nich má nespočet druhů produktů, které se mohou více či méně lišit. Pro správný výběr záložního zdroje je důležité už od začátku vědět, do které kategorie sáhnout. V této kapitole porovnávám jednotlivé topologie statických UPS podle parametrů, které by měli kupujícího zajímat nejvíce. Dalším porovnáním je návratnost nákladů rotačního zdroje UPS a statických zdrojů UPS.

3.1 Porovnání topologií statických UPS

Rozdílné systémy UPS mají rozdílné charakteristické vlastnosti, jako například výkonový rozsah, účinnost, nebo ochrana zařízení před poruchami v síti viz obrázek 15. V tabulce 1 jsou tyto vlastnosti různých topologií porovnány.

Tabulka 1 - Porovnání topologií statických UPS [2][24].

	Praktický rozsah výkonů (kVA)	Cena na VA	Účinnost	Úprava napětí	Úprava frekvence	Doba připojení
Offline	0-0,5	Nízká	Velmi vysoká	Žádná	Ne	Krátká
Lineinterkativní	0,5-5	Střední	Velmi vysoká	Závisí na návrhu	Ne	Nulová
S izolačním transformátorem	3-15	Vysoká	Nízká - střední	Vysoká	Ne	Krátká
Online s dvojitou konverzí	5-5000	Střední	Nízká - střední	Vysoká	Ano	Nulová
Online s delta konverzí	5-5000	Střední	Vysoká	Vysoká	Ano	Nulová



Obrázek 15 – Ochrana jednotlivých topologií před poruchami v síti [2].

Při výběru systému UPS v praxi je důležité znát silné a slabé stránky jednotlivých systémů. Znalost jednotlivých systémů je velmi důležitá pro vhodný výběr UPS pro dané zařízení [24].

Offline systémy jsou nejlepší volbou pro osobní pracovní stanice. Výhody jsou nízká cena, vysoká účinnost a malé rozměry, naopak nevýhodou je použití baterií při každém poklesu napětí v síti, tím se tento systém stává nepraktický pro výkony na 2 kVA.

Lineinteraktivní vynikají vysokou spolehlivostí, účinností a dobrou úpravou vstupního napětí. Jsou použitelné do 5 kVA. Historicky je lineinteraktivní nejoblíbenějším systémem UPS a to díky jeho spolehlivosti. Tento systém je ideální pro stojanové či distribuční servery a pro prostředí s problematickým napájením.

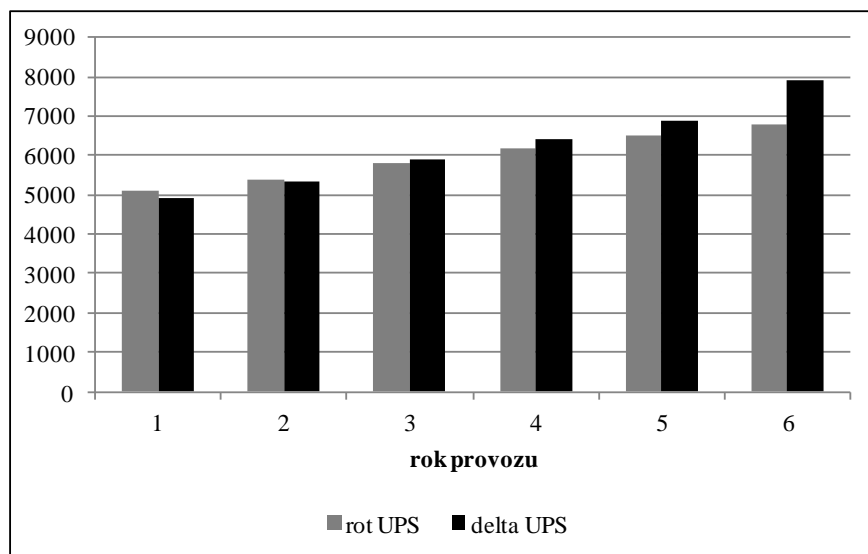
Offline s izolačním transformátorem v kombinaci s některými generátory je nestabilní. Použití je omezené kvůli nízké účinnosti a právě problémům se stabilitou. Velkou výhodou tohoto systému je vysoká úprava napětí.

Online s dvojitou konverzí vynikají úpravou napětí a výhodou snadného paralelního chodu, jsou vhodné pro výkony nad 5 kVA, pro nižší výkony mají nízkou účinnost.

Online s delta konverzí, podobně jako online s dvojitou konverzí nejsou vhodné pod 5 kVA, předností je vysoká účinnost a úprava napětí. Využívají se v rozsáhlých instalacích, kde díky vysoké účinnosti snižují náklady na provoz.

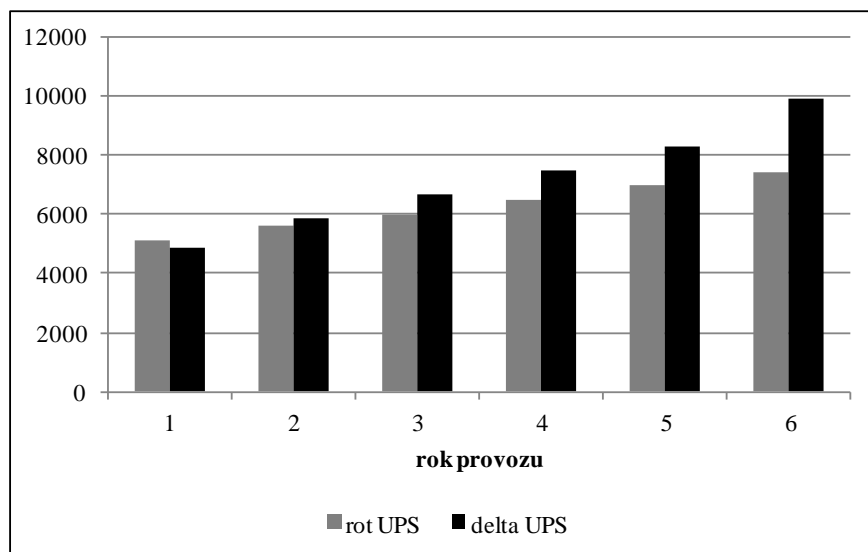
3.2 Porovnání nákladů rotačního zdroje UPS a statických zdrojů UPS

Graf ukazuje porovnání investičních (fixních) a provozních (variabilních) nákladů u rotačního zdroje UPS 250 kVA, který jako zásobník energie používá setrvačnický a bateriový zdroj UPS s delta konverzí při ceně elektrické energie 2,50 Kč za 1 kWh. Rentabilita řešení je po dvou letech provozu.



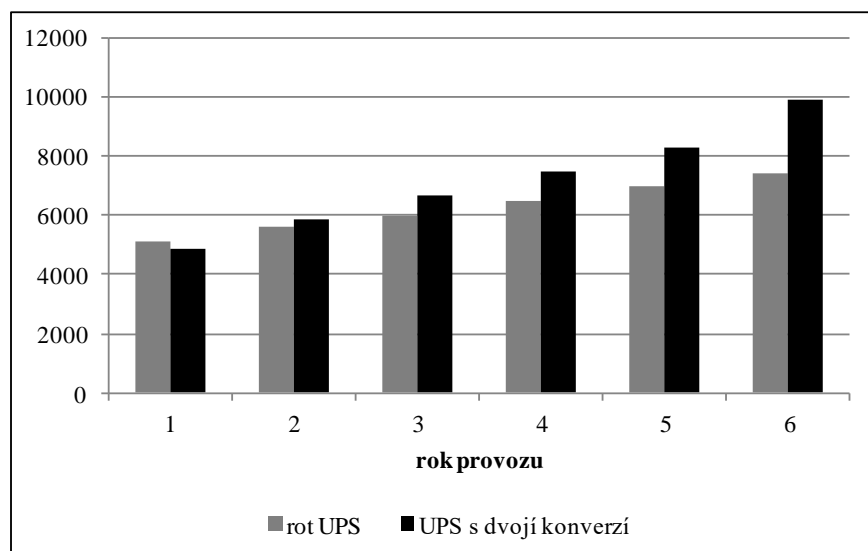
Obrázek 16 – Porovnání nákladů rotačního UPS a UPS s delta konverzí při ceně 2,50 Kč za 1 kWh [28].

Vliv zvýšení ceny elektrické energie na 5,- za kWh je patrný na dalším grafu. V tomto případě je návratnost investice zřejmá již v prvním roce provozu.



Obrázek 17 - Porovnání nákladů rotační UPS a UPS s delta konverzí při ceně 5 Kč za 1 kWh [28]

Poslední graf pak ukazuje porovnání nákladů u rotačního zdroje UPS 250 kVA a klasického bateriového zdroje UPS s dvojitou konverzí při ceně elektrické energie 2,50,- za 1 kWh. V tomto případě je nutné počítat s vyššími investičními náklady na případný dieselagregát, který musí mít při použití UPS s dvojitou konverzí v zájmu stability vyšší výkon, než u klasických UPS.



Obrázek 18 - Porovnání nákladů rotační UPS a UPS s dvojitou konverzí při ceně 2,50 Kč za 1 kWh [28].

4 Návrh záložního zdroje pro případ z praxe

V praktické části mé práce se zabývám návrhem záložního napájení pro novou kotelnu etylénové jednotky. Návrh záložního zdroje napájení se týká dvou totožných rozvaděčů, každý rozvaděč má mít svou UPS pro krátkodobé zálohování anebo pro dobu náběhu záložního dieselaagregátu, který po nastartování přebírá funkci zdroje energie pro oba rozvaděče.

4.1 Základní parametry pro volbu UPS

Pro správnou volbu UPS je potřeba vědět co nejpřesněji k čemu má UPS sloužit. V této kapitole vypíši základní parametry UPS, podle kterých se dá vybrat UPS, která odpovídá požadavkům zákazníka.

Výkon záložního zdroje závisí na velikosti činného a jalového výkonu, účinníku a harmonických odebíraných zátěží, kterou má zdroj napájet. Julian Wiatr [29] popisuje jak vypočítat potřebný výkon generátoru nebo UPS.

Výpočet požadovaného činného příkonu zátěže:

$$P_z = \beta \cdot \sum P_i \quad (5)$$

Kde: P_z – požadovaný činný příkon zátěže [kW]

β – činitel soudobosti, který respektuje skutečné zatížení spotřebičů a soudobost jejich chodu [-]

P_i – instalovaný činný příkon jednotlivých spotřebičů [kW].

Výpočet požadovaného jalového příkonu zátěže:

$$Q_z = \beta \cdot \sum Q_i \quad (6)$$

Kde: Q_z – požadovaný jalový příkon zátěže [kVar]

β – činitel soudobosti, který respektuje skutečné zatížení spotřebičů a soudobost jejich chodu [-]

Q_i – instalovaný jalový příkon jednotlivých spotřebičů [kVar].

Zjištění celkového účinníku zátěže $\cos \varphi_z$:

$$\cos \varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{P_z^2 + Q_z^2}} \quad (7)$$

Výpočet zdánlivého výkonu zátěže:

$$S_z = \sqrt{P_z^2 + Q_z^2} \quad (8)$$

kde: S_z – požadovaný zdánlivý příkon zátěže [kVA]

P_z – požadovaný činný příkon zátěže [kW]

Q_z – požadovaný jalový příkon zátěže [kVar].

Po vypočtení zdánlivého výkonu zátěže se volí záložní zdroj s vyšším výkonem. Následně se ověří, zda zdroj stačí i s ohledem na parametry zdroje.

Vzhledem k možné rozdílnosti zátěže a zdroje je potřeba vypočítat **faktor využití p** :

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{UPS}} \quad (9)$$

kde: $\cos \varphi_{UPS}$ je účinník záložního zdroje (G nebo UPS), kde u UPS se jedná o účinník vstupního obvodu, pokud je účinník zátěže větší než účinník generátoru a faktor využití vyjde větší než jedna, uvažujeme jej v dalších výpočtech jako roven jedné.

Důležité je vědět, jestli napájíme lineární nebo nelineární zátěž. V případě napájení nelineární zátěže je potřeba vypočítat **činitele harmonického zkreslení proudu $THD_{i\%}$** , někdy je tento parametr udán výrobcem zařízení, pokud ne lze jej vypočítat pomocí vzorce:

$$THD_{i\%} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} (I_k)^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (10)$$

Kde: I_k – efektivní hodnota k-té harmonické [A]

I_1 – efektivní hodnota základní harmonické [A]

k – řád harmonické.

Po určení činitele harmonického zkreslení proudu lze vypočítat **deformační index W** z rovnice:

$$W = \left(\frac{100}{100 + THD_{i\%}} \right)^2 \quad (11)$$

Minimální **činný výkon** zdroje potřebný k napájení dané zátěže se určí pomocí vzorce:

$$P_{Gmin} = \frac{P_z}{pW} \quad (12)$$

kde: P_{Gmin} – minimální činný výkon zdroje [kW]

P_z – požadovaný činný příkon zátěže [kW]

p – faktor využití viz rovnice [-]

W – deformační index viz rovnice [-].

Z minimálního činného výkonu lze vypočítat hodnotu minimálního **zdánlivého výkonu**:

$$S_{Gmin} = \frac{P_{Gmin}}{\cos \varphi_G} \quad (13)$$

Kde: S_{Gmin} – minimální zdánlivý výkon zdroje [kVA]

P_{Gmin} – minimální činný výkon zdroje [kW]

$\cos \varphi_G$ – účinník zdroje [-].

Topologie UPS určuje hlavně rychlost reakce na změnu napětí v síti a stupeň ochrany zálohovaného zařízení. Základní druhy jsou offline UPS (VFD), line interaktivní (VI) a online (VFI). Topologiím je věnována kapitola 2.3.

Doba zálohování je doba, kterou dokáže UPS napájet zálohované zařízení za předpokladu, že jsou zásobníky energie plně nabitě.

Typ zásobníku energie navazuje na dobu zálohování, při volbě by se měl brát ohled i na jiné faktory jako počet sepnutí, pracovní teplota, rychlost nabíjení a vybíjení. Zásobníkům energie se blíže věnuji v kapitole 1.4.

Přetížitelnost je udávána v procentech s určením doby, po kterou dokáže UPS zátěž napájet. Příklad 110 % po dobu 2 minut, 200 % po dobu 10 sekund.

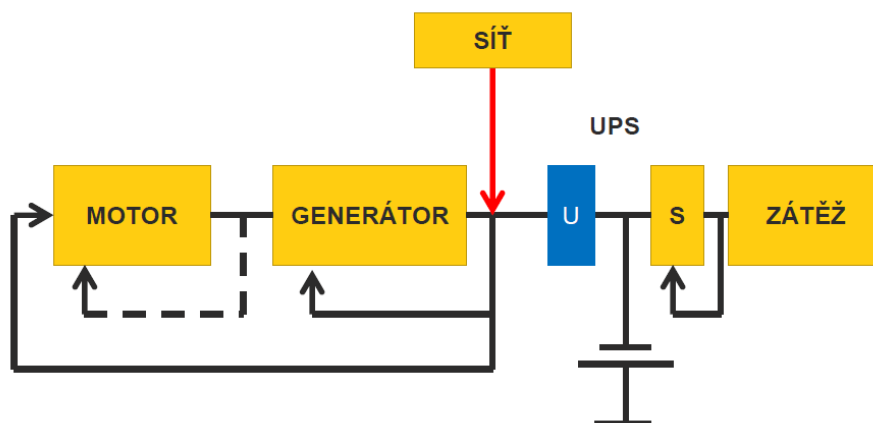
Komunikační rozhraní nedílnou součástí zálohování je komunikace mezi měřicími prvky a vyhodnocovacími PC. Propojení může sloužit i k ovládání či testování UPS.

Samozřejmě parametrů při volbě UPS je obrovské množství. Další, které by také měly být zohledněny, jsou to parametry jako: rozměr, provedení, počet fází, možnost paralelního chodu, možnost přemostění atd [30].

4.2 Podklady od zadavatele

Projekt záložního napájení je součástí rekonstrukce kotelny pro Etylenovou jednotku v Chemických závodech v Záluží u Litvínova. Jako podklady pro návrh záložního napájení byly použity platné předpisy a normy ČSN, standardy Unipetrolu RPA, prohlídka stávajícího stavu zařízení, stávající výkresová dokumentace, schéma zapojení viz přílohy 1 a 2, nové stavební dispozice a požadavky investora.

Z dokumentace poskytnuté zadavatelem je možné určit výkony vývodů, které mají být napájeny pomocí UPS a dieselaagregátu, vzhledem k požadavkům investora navrhuji použít často používaný systém záložního napájení, jehož blokové schéma je znázorněno na obrázku 19. Doba zálohování UPS je požadována na cca 10 minut, aby překlenula čas na start dieselaagregátu a jeho najetí na plný výkon, zároveň je od zadavatele požadavek na nulovou prodlevu napájení z UPS při výpadku primárního napájení. V souvislosti s nutnou manipulací při změně provozní konfigurace je požadavek na použití pouze jednoho dieselaagregátu, který bude zajišťovat záložní napájení rozvaděčů R05-K4 a R05-K5. V tabulce 2 jsou uvedeny odběry v jednotlivých rozvaděčích a jejich výkony [29]. Všechny zálohované odběry jsou lineárního charakteru a běží všechny najednou.



Obrázek 19 - Blokové schéma záložního systému napájení [29].

Tabulka 2 - Odběry rozvaděčů R05-K4 a R05-k5[29].

Rozvaděč	Odběr	Výkon (kVA / kW)	Rozvaděč	Odběr	Výkon (kVA / kW)
R05-K4	K4Q1	rezerva	R05-K5	K5Q1	rezerva
	K4Q2	rezerva		K5Q2	rezerva
	K4Q3	125 / 100		K5Q3	125 / 100
	K4Q4	400 / 340		K5Q4	400 / 340
	K4Q5	rezerva		K5Q5	rezerva
	K4Q6	100 / 85		K5Q6	100 / 85
	K4Q7	50 / 45		K5Q7	50 / 45
	K4Q8	60 / 54		K5Q8	60 / 54

4.3 Návrh UPS

Při návrhu UPS budu vycházet z postupu Juliana Wiatra popsaném v kapitole 4.1.

Činný příkon jednoho rozvaděče:

$$P_z = \beta \cdot \sum P_i = 1 \cdot (100 + 340 + 85 + 45 + 54) = 624 \text{ kW} \quad (14)$$

Jalový příkon vývodu K4Q3:

$$Q_3 = \sqrt{S_3^2 - P_3^2} = \sqrt{125^2 - 100^2} = 75 \text{ kVar} \quad (15)$$

Jalový příkon jednoho rozvaděče:

$$Q_z = \beta \cdot \sum Q_i = 1 \cdot (75 + 210,71 + 52,678 + 21,794 + 26,153) = 386,335 \text{ kVar} \quad (16)$$

Účinník zátěže:

$$\cos \varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{P_z^2 + Q_z^2}} = \frac{624}{\sqrt{624^2 + 386,335^2}} = 0,85 \quad (17)$$

Zdánlivý příkon jednoho rozvaděče:

$$S_z = \sqrt{P_z^2 + Q_z^2} = \sqrt{624^2 + 386,335^2} = 733,9 \text{ kVA} \quad (18)$$

Minimální výkon, kterého musí záložní zdroj dosahovat je 733,9 kVA. S ohledem na potřebný výkon jsem vybral dvě možnosti UPS NXL 800 od firmy Liebert a UPS SG série 3 od firmy General Electric o výkonu 500 kVA, v tomto případě jde o paralelní řazení dvou UPS. Po konzultaci s vedoucím projektantem firmy Inelsev Ing. Josefem Kytýrem jsme se převážně kvůli kompatibilitě s motorgenerátorem rozhodli pro verzi dvou paralelních UPS od firmy General Electric. Firma Zeppelin dodávající tuto UPS navrhla vzhledem k požadavkům na dobu zálohování baterie Sprinter XP6V2800.

Technický popis UPS GE SG s3 500 kVA

UPS SG Series je třífázový online inteligentní systém určený k centrálnímu zálohování. Zdroj je napěťově a frekvenčně nezávislý a dle IEC62040-3 je zařazen do kategorie VFI-SS-111, UPS je řešena systémem building block, základní bloky usměrňovač, střídač a by-pass jsou výkonově volitelné. Záložní zdroje řady SG Series pracují na principu dvojí konverze a splňují všechny mezinárodní normy týkající se provozu UPS. Hlavními přednostmi zdrojů řady SG Series jsou vysoká kvalita výstupního napětí bez jakéhokoliv zkreslení, vynikající stabilita a chování při dynamických změnách na zátěži a nulový čas přepnutí mezi síťovým a bateriovým provozem. Díky velmi nízkému vstupnímu THD (pro 100% zátěže 2% v celém výkonovém rozsahu <3%) jsou vhodné pro začlenění do spojení s motorgenerátorem [31].

Tabulka 3 - Technické parametry UPS GE SG s3 500 kVA [31].

Jmenovitý výstupní výkon	500 kVA / 450 kW
Účinnost při 100% / 75% zátěži	93,2 % / 92,7 %
Rozsah provozní teplot	0°C ÷ 40°C
Vstupní parametry:	
Vstupní napětí	500 V ± 10 %
Vstupní frekvence	50/60 Hz +/-10%
Účinník	0,99
THD vstupního proudu	2% při 100% zátěži, 3% při zátěži pod 90%
Výstupní parametry:	
Výstupní napětí	3x 500 V
THD výstupního napětí	max. 3%
Přetížení	150 % 1 min; 125 % 10 min; 60 % 30min
Rozměry:	
Šířka x hloubka x výška	2370 + 1300 x 950 x 1900 mm
Hmotnost	2470 + 1600 kg
Baterie pro jednu UPS	
Typ baterie	Sprinter XP6V2800, uzavřený akumulátor
Kapacita baterií	195Ah/6V
Počet baterií	4x62
Životnost	12 let dle Eurobat

Faktor využití:

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{UPSin}} = \frac{0,8}{0,9} = 0,888 \quad (19)$$

Minimální činný výkon UPS:

$$P_{UPSmin} = \frac{P_z}{p} = \frac{624}{0,88} = 702,7 \text{ kW} \quad (20)$$

Minimální zdánlivý výkon UPS:

$$S_{UPSmin} = \frac{P_{UPSmin}}{\cos \varphi_{UPSin}} = \frac{702,7}{0,99} = 709,8 \text{ kVA} \quad (21)$$

Ověření dostatečnosti výkonů zvolených UPS:

$$P_{UPS} \geq P_{UPSmin}$$

$$900 \text{ kW} \geq 702,7 \text{ kW} \quad (22)$$

$$S_{UPS} \geq S_{UPSmin}$$

$$1000 \text{ kVA} \geq 709,8 \text{ kVA} \quad (23)$$

4.4 Návrh dieselagregátu

Dieselagregát napájí oba rozvaděče, příkon jednoho rozvaděče představuje při přerušení sítě příkon dvou paralelních UPS, činný výkon paralelního spojení dvou UPS je minimálně 709,8 kVA. Z tohoto výkonu budu vycházet při volbě dieselagregátu.

Činný příkon obou rozvaděčů:

$$P_{roz} = 2 \cdot \frac{P_{UPS}}{\eta} = 2 \cdot \frac{709,8}{0,927} = 1531,4 \text{ kW} \quad (24)$$

Zdánlivý příkon obou rozvaděčů:

$$S_{roz} = 2 \cdot \frac{P_{UPS}}{\eta \cdot \cos \varphi_{UPSout}} = 2 \cdot \frac{709,8}{0,927 \cdot 0,99} = 1546,9 \text{ kVA} \quad (25)$$

Zdánlivý příkon rozvaděčů je 1531,4 kVA, vzhledem k potřebné komunikaci a kompatibilitě dieselagregátu s UPS jsem se rozhodl vybrat dieselagregát od firmy Caterpillar. Ta ve svém portfoliu nabízí dieselagregát CAT 3516A TA, který má dostatečný zdánlivý výkon 2000 kVA, ale činný výkon 1600 kW. Vzhledem k malé výkonové rezervě jsem se rozhodl nepoužít dieselagregát CAT 3516A TA. Ale k výběru dieselagregátu CAT 3516B HD, tento generátor dosahuje výkonu 2500 kVA / 2000 kW, technické parametry dieselagregátu CAT 3516B HD jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 - Technické parametry CAT 3516B HD [32].

Elektrický výkon	2 500 kVA
Činný elektrický výkon	2 000 kW
Pracovní frekvence	50 Hz
Pracovní napětí	500 V
Počet válců	V12
Spotřeba palice při 75% výkonu	409,7 l/hod
Účinnost	0,8
Technické údaje kontejneru:	
Vnější hlučnost	75 dB
Rozměry (d x š x v) v m	12 x 3,2 x 5,8
Hmotnost (bez paliva)	30 000 kg
Protipožární odolnost	30 minut
Objem nádrže	cca 1000 l

Faktor využití:

$$p = \frac{\cos \varphi_{\text{roz}}}{\cos \varphi_G} = \frac{0,99}{0,8} = 1,23 \quad (26)$$

Deformační index, jelikož UPS bude v normálních podmínkách využívat méně než 90 % svého výkonu je činitel harmonického zkreslení proudu 3 %.

$$W = \left(\frac{100}{100 + THD_{i\%}} \right)^2 = \left(\frac{100}{100 + 3} \right)^2 = 0,943 \quad (27)$$

Minimální činný výkon generátoru:

$$P_{Gmin} = \frac{P_{\text{roz}}}{p \cdot W} = \frac{1531,4}{1 \cdot 0,943} = 1624 \text{ kW} \quad (28)$$

Minimální zdánlivý výkon generátoru:

$$S_{Gmin} = \frac{P_{Gmin}}{\cos \varphi_G} = \frac{1624}{0,8} = 2030 \text{ kVA} \quad (29)$$

Ověření dostatečnosti výkonů zvoleného dieselařegátu:

$$P_G \geq P_{Gmin}$$

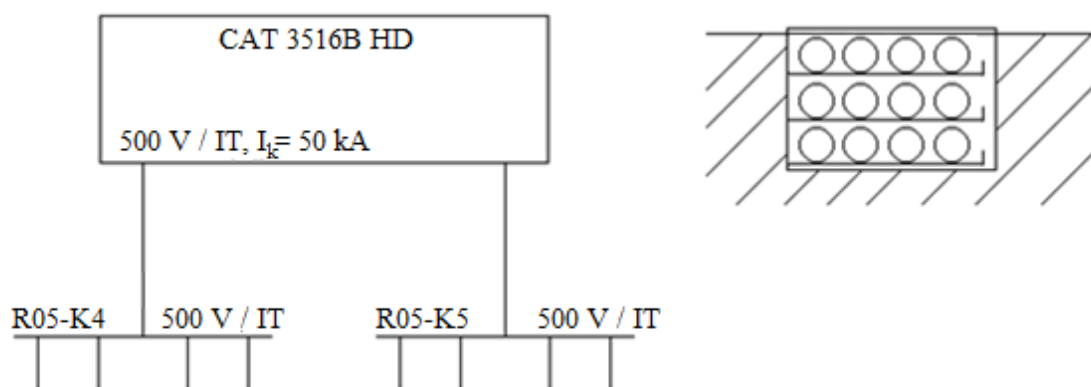
$$2000 \text{ kW} \geq 1624 \text{ kW} \quad (30)$$

$$S_G \geq S_{Gmin}$$

$$2500 \text{ kVA} \geq 2030 \text{ kVA} \quad (31)$$

4.5 Návrh přívodního kabelu pro dieselagregát

V této kapitole navrhnu průřez přívodních kabelů od dieselagregátu k rozvaděčům R05-K4 a R05-K5, délka kabelu je přibližně 150 m. Každá fáze bude připojena samostatným kabelem, kabely budou uloženy volně vedle sebe v kabelovém kanálu na kabelových perforovaných lávkách. Okolní teplota dosahuje v létě 35 °C. Blokové schéma uložení kabelů a propojení dieselagregátu s rozvaděči je zobrazeno na obrázku 20. Vzhledem ke zvýšenému výskytu možnosti chemického poškození kabelu, je investorem požadován kabel typu CHBU. V případě zkratu zareagují jistící prvky do 0,5 sekundy.



Obrázek 20 – Blokové schéma propojení a uložení kabelů.

U vodičů se požadují nízké pořizovací a provozní náklady, velká přenosová schopnost, odolnost proti vlivům okolí a v neposlední řadě bezpečnost vůči osobám a věcem. Nejdůležitější parametr vodiče je jeho průřez, musí být takový, aby se vedení nadměrně neoteplovalo, proto se vodič dimenzuje z hlediska dovoleného proudového zatížení (dovolené proudové teploty). Vodiče se kontrolují na mechanickou pevnost, tepelné účinky zkratových proudů a úbytek napětí, který nesmí překročit předepsanou mez. Průřez se vždy volí, podle parametru u které vyšel největší. V praxi se spočítá průřez na dovolené proudové zatížení a pak se kontroluje, jestli je dostačující i pro ostatní parametry.

Návrh z hlediska **dovoleného proudového zatížení**:

Proud protékající kabelem, dieselagregát napájí dva totožné rozvaděče, kabel tedy dimenzují na polovinu výkonu dieselagregátu:

$$I_p = \frac{\frac{P_G}{2}}{\cos \varphi_G \cdot \sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{1000}{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 500} = 1444 \text{ A} \quad (32)$$

Jmenovitý proud:

Součinitel pro okolní teplotu $k_1 = 0,91$, součinitel způsobu uložení $k_2 = 0,9$.

$$I_N > \frac{I_{kab}}{k_1 \cdot k_2} = \frac{1444}{0,91 \cdot 0,9} = 1763 \text{ A} \quad (33)$$

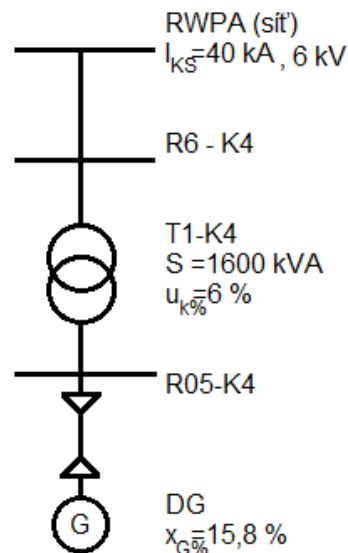
Pro takto velké proudové zatížení, je potřeba využít více paralelních vodičů. V katalogu kabelu 1-CHBU je maximální zatěžující proud pro průřez 240 mm^2 796 A. Pro jednu fázi navrhuji použít tři paralelní vodiče o průřezu 240 mm^2 .

Kontrola průřezu na proudové zatížení:

$$I_{DOV} \geq I_N$$

$$3 \cdot 796 \text{ A} \geq 1763 \text{ A} \quad (34)$$

Další důležitý parametr pro návrh vodiče jsou **tepelné účinky zkratového proudu**, zkrat předpokládám v jednom z napájených rozvaděčů R05-K4 nebo R05-K5, které jsou nejbližze vodiči. Náhradní schéma pro výpočet je na obrázku 21.



Obrázek 21 - Náhradní schéma pro výpočet tepelných účinků zkratového proudu

Výpočet reaktance sítě:

$$X_S = \frac{c \cdot U_{NS}}{\sqrt{3} \cdot I_{KS}} \cdot \left(\frac{U_N}{U_{NS}} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 40000} \cdot \left(\frac{500}{6000} \right)^2 = 0,00066 \Omega \quad (35)$$

Výpočet reaktance transformátoru:

$$X_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{NT}^2}{S_G} \cdot \left(\frac{U_N}{U_{NT}} \right)^2 = \frac{6}{100} \cdot \frac{6000^2}{1600000} \cdot \left(\frac{500}{6000} \right)^2 = 0,0094 \, \Omega \quad (36)$$

Efektivní hodnota střídavé složky zkratového proudu na počátku zkratu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot (X_S + X_T)} = \frac{1,1 \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot (0,00066 + 0,0094)} = 31,6 \, kA \quad (37)$$

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' = 1 \cdot 31,6 = 31,6 \, kA \quad (38)$$

Výpočet průřezu, koeficient pro dimenzování podle tepelných účinků zkratového proudu je pro kabel s jádrem z mědi a pryžovou izolací 135.

$$s \geq \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{31,6 \cdot \sqrt{0,5}}{135} = 165,51 \, mm^2 \quad (39)$$

Průřez 240 mm², který jsem vypočítal s ohledem na dovolené proudové zatížení je dostačující i při výpočtu pro oteplení vodiče zkratovým proudem. Zkrat však může vzniknout, pokud by byly rozvaděče napájené pouze z dieselagregátu při odpojené síti, výpočet provedu ještě jednou pro případ odpojené sítě při zkratu přímo v generátoru. Tuto variantu beru jako druhou možnost, vypočtené hodnoty budu označovat dolním indexem 2. Katalogová hodnota poměrné reaktance dieselagregátu je 15,8 %.

Reaktance dieselagregátu:

$$X_G = \frac{x_G}{100} \cdot \frac{U_{NG}^2}{S_G} \cdot \left(\frac{U_N}{U_{NG}} \right)^2 = \frac{15,8}{100} \cdot \frac{525^2}{2500000} \cdot \left(\frac{500}{525} \right)^2 = 0,016 \, \Omega \quad (40)$$

Rázový zkratový proud:

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot X_G} = \frac{1,1 \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 0,016} = 19,8 \, kA \quad (41)$$

Ekvivalentní oteplovací proud, konstanta k_e je při času vypnutí zkratu 0,5 sekundy rovna 1:

$$I_{ke2} = k_e \cdot I_{k2}'' = 1 \cdot 19,8 = 19,8 \, kA \quad (42)$$

Výpočet průřezu:

$$s_2 \geq \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{19,8 \cdot \sqrt{0,5}}{135} = 103,71 \text{ mm}^2 \quad (43)$$

Potřebný průřez pro variantu odpojené sítě a zkratu v generátoru je menší, než při první variantě. Průřez 240 mm^2 je dostačující.

Návrh z hlediska **úbytku napětí**:

$$\Delta U_f = R_k \cdot l \cdot \frac{I_p}{3} \cdot \cos \varphi_z = 0,082 \cdot 0,15 \cdot \frac{1444}{3} \cdot 0,8 = 4,7 \text{ V} \quad (44)$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f}{U_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,7}{500} = 1,64 \% \quad (45)$$

Norma ČSN 33 2130 udává maximální úbytek napětí na vodiči 3 %. Úbytek napětí na navrhovaném kabelu je 1,64 % a kabel tedy splňuje požadavky normy [33].

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou záložních zdrojů napájení. Zjistit jak a podle čeho se záložní zdroje rozdělují, jaké mají vlastnosti a tyto zjištěné druhy porovnat. V neposlední řadě bylo cílem navrhnout systém záložního napájení pro kotelnu Etylenové jednotky v areálu Chempark Záluží.

V teoretické části je popsáno proč se záložní zdroje používají, že záložní zdroje chrání napájené zařízení nejen před přerušením napětí, ale i před ostatními sníženími kvality napájení jako jsou harmonická napětí, kolísání frekvence, podpětí či přepětí a další. V bakalářské práci jsou popsány nejčastější zásobníky elektrické energie pro záložní zdroje a normy týkající se záložních zdrojů. Práce obsahuje rozdělení záložních zdrojů, podle způsobu přeměny energie, výstupního napětí, uspořádání jednotlivých UPS a hlavně podle vnitřní topologie, která určuje většinu hlavních vlastností UPS. Dále jsou v práci porovnávány různé druhy záložních zdrojů podle nákladů, rychlosti reakce na přerušení napětí nebo kvality ochrany napájeného zařízení před nepříznivými vlivy v síti.

Praktická část je návrhem systému záložního napájení. Pro zajištění zvýšené spolehlivosti jsem zvolil kombinaci bateriových UPS a dieselagregátu. Základem pro návrh systému záložního napájení byly hodnoty příkonů jednotlivých odběrů napájených rozvaděčů. Z těchto výkonů jsem vypočítal minimální požadovaný výkon pro bateriovou UPS. Dle minimálního výkonu přicházely v úvahu dvě možnosti, s ohledem na kompatibilitu s dieselagregátem jsem se rozhodl pro zapojení dvou paralelních UPS SG s3 500 kVA. Návrh dále obsahuje výpočet minimálního výkonu dieselagregátu, v tomto případě se zátěží staly UPS, z jejichž příkonu se počítal minimální výkon dieselagregátu. První možností byl dieselagregát CAT 3516A TA, který nemá moc velkou výkonovou rezervu a v případě rozšíření odběrů by musela nastat výměna, z tohoto důvodu jsem zvolil dieselagregát CAT 3516B HD o výkonu 2500 kVA. V poslední části jsem provedl návrh vodiče s ohledem na dovolené proudové zatížení, tepelné účinky zkratového proudu a úbytek napětí. Podle těchto parametrů vychází nejlépe kabel 1-CHBU 3x240.

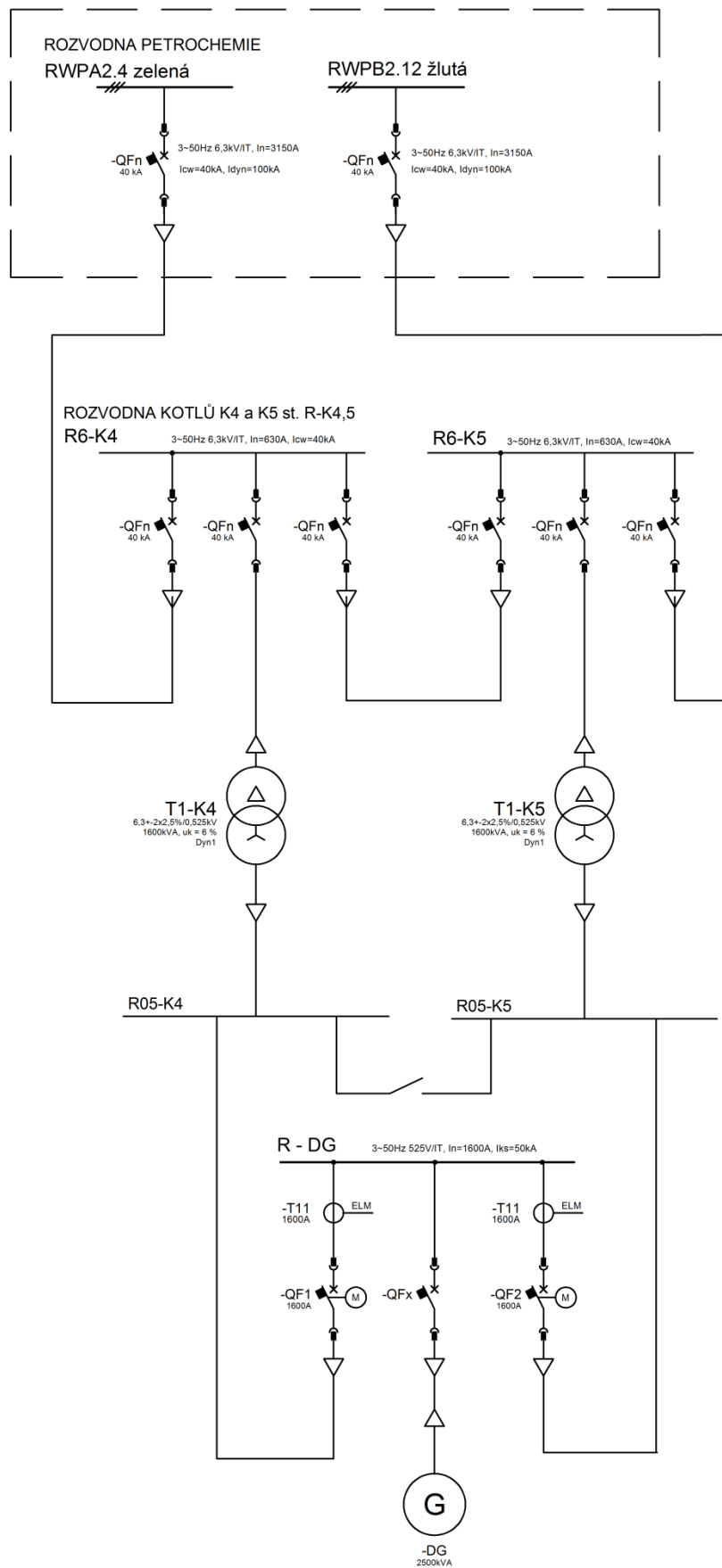
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] UPS - Co je UPS?. *UPS - UPS, motogenerátory, energocentra* [online]. Copyright © 2017 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.ups-cz.cz/co-je-ups>
- [2] *Resilience Improving Reliability with Standby Power Supplies* [online]. Brussels: European Copper Institute, 2003 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://admin.copperalliance.eu/docs/librariesprovider5/power-quality-and-utilisation-guide/431-improving-reliability-with-standby-power-supp.pdf?sfvrsn=4&sfvrsn=4>
- [3] ČSN EN 62040-1. *Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS) - Část 1: Všeobecné a bezpečnostní požadavky pro UPS*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [4] KARVE, Shri. Application Note – UPS Power System Design Parameters [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/sustenergy/application-note-ups-power-system-design-parameters>
- [5] PLATTS, John a St. Aubyn, John ST. AUBYN, JOHN. Uninterruptible power supplies [online]. 1. Londýn: Peter Peregrinus, 1992 [cit. 2017-05-24]. ISBN 978-0863412639. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=KRlbcPmRaaIC&pg=PA9&hl=cs&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false
- [6] ŠMÍD, Jaroslav. Aktualizace metod ověřování odolnosti zařízení proti krátkodobým poklesům a přerušením napětí podle mezinárodních norem [online]. In: . Tanvald: NELKO Tanvald, 2005 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~san50/Ceska/GACR/_VTI_CNF/aktualizace%20metod%20overovani%20odolnosti05.doc
- [7] Výsledky vyhledávání. Internetová prodejna norem [online]. Copyright © 2003 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/search/result?values%5Bnazev%5D=nep%C5%99eru%C5%A1ovan%C3%A9>
- [8] Požadavky na elektrický silnoproudý rozvod. Tzb-info [online]. Copyright © 2007 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/3980-pozadavky-na-elektricky-silnoproud-ry-rozvod>
- [9] ČSN 34 1610. *Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.
- [10] EATON. UPS handbook [online]. 2012 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: https://www.okbeint.is/vefmynd/UPS_handbook_rev_D_low_pdf.pdf
- [11] UPS Technology - vaše jistota energie. UPS Technology - vaše jistota energie [online]. Copyright © 2017 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.ups.cz/podpora/poruchy-site>
- [12] ČSN EN 50160. *Elektrotechnické předpisy ČSN. Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [13] MARCONI. Skoro vše o akumulátorech a nabíjení [online]. 2008 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [14] HAMMERBAUER, Jiří. Olověné akumulátory [online]. 2006 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [15] FLAJTINGR, Jiří. Zásobníky energie [online]. 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.spstrplz.cz/files/files/Media/PROJEKTY-OPVK/0038/zasobenergie.pdf>
- [16] GAVLAS, Josef. Zlepšování spolehlivosti pomocí záložních zdrojů energie [online]. 2003 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://copperalliance.eu/docs/librariesprovider3/kvalita-elektrick%C3%A9-energie4-3-1-pdf.pdf?Status=Master&sfvrsn=0>
- [17] BOUŠEK, Jaroslav. Superkapacity [online]. 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.stech.cz/Portals/0/Konference/2013/03-20%20Elektronika,%20%20Mikroelektronika,%20%20Inovace/06%20BOUSEK_SUPERCAP.pdf
- [18] Cesty k akumulaci elektrické energie. *ČEZ.cz* [online]. Copyright © 2017 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html
- [19] COTTULI, Carl. Comparison of Static and Rotary UPS [online]. 2011 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.apc.com/salestools/DBOY-78KRZE/DBOY-78KRZE_R2_EN.pdf
- [20] ČVUT DSpace [online]. Copyright © 2013 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65281/F3-DP-2016-Kalus-Jaroslav-priloha-CATERPILAR%20-%20FlyWheels.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [21] KUČHTA, Karel. *Energocentrum NZ²*. Praha: Phoenix Zeppelin, s.r.o, 2002.
- [22] VRÁNA, Václav a Stanislav KOCMAN. NÁHRADNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE [online]. 2010 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z:

- http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/nahradni%20zdroje.pdf
- [23] SKLENÁŘ, J.: Rozdělení UPS zdrojů z hlediska jejich konstrukce a provedení. UPS zdroje pro systémy střídavého zajištěného napájení: sborník přednášek, Trutnov : H.V.K.L. Propag team, 1997
- [24] RASMUSSEN, Neil. Různé typy systémů UPS [online]. 2010 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.apc.com/salestools/SADE-5TNM3Y/SADE-5TNM3Y_R7_CZ.pdf
- [25] LOEFFLER, Chris. Která UPS je ta správná pro dané použití? [online]. 2009 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://doczz.cz/doc/267467/kter%C3%A1-ups-je-ta-spr%C3%A1vn%C3%A1-pro-dan%C3%A9-pou%C5%A3it%C3%AD%3F>
- [26] Rozvody elektrické energie a pohony [online]. 2010 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/A5M14RPI/Prednaska%203-UPS%20site.pdf>
- [27] Zdroje nepřerušovaného napájení – UPS - Časopis Elektro - Odborné časopisy. Odborné časopisy [online]. Copyright © 2014 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zdroje-nepreperusovaneho-napajeni-ups--15062>
- [28] KUČHTA, Karel. *Problematika harmonického zkreslení při provozu záložních energocenter*. Praha: Pheonix Zeppelin, s.r.o, 2004.
- [29] WIATR, Julian. Emergency and uninterruptible power supplies for buildings and other structures— sizing the source power [online]. 2008 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.leonardo-energy.info/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/GEDE%202009/GEDE_EmergencyUninterruptiblePowerSupplies.pdf
- [30] UPS (Uninterruptible Power Supply) [online]. 2007 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/epo/ups.pdf
- [31] Technical Data Sheet Uninterruptible Power Supply [online]. 2007 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.digicom.com.cy/wp-content/uploads/2014/01/SG-400-500-S3-PP-Technical-Data-Sheet.pdf>
- [32] Technical data Diesel Generator Set CAT 3516BHD-2500 [online]. 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.avesco.ch/fileadmin/dateien/ESYS/Dokumente/Datenblaetter/2013_11_CAT/CAT_EN/CAT_3516BHD-2500_EN.pdf
- [33] ČSN EN 33 2130. *Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

Přílohy

Příloha 1: Jednopolové schéma sítě a generátoru



Příloha 2: Jednopolové schéma napájených rozvaděčů

