

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁRSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

Připojení malého zdroje elektrické energie  
Connection of small scale source

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Aleš Zahradník**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

**Připojení malého zdroje elektrické energie**  
Connection of small scale source

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- o Obnovitelné zdroje energie.
- o Generátory.
- o Měníče.
- o Systém chránění.
- o Podmínky pro připojení do elektrizační soustavy.
- o Provozní parametry konkrétního zdroje.
- o Praktická úloha.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- o Doležal a kol.: Jaderné a klasické elektrárny, ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04936-5
- o Karel Chmelík: Asynchronní a synchronní elektrické stroje, VŠB-TU Ostrava 2001, ISBN 80-7078-857-7
- o Medvec, Z.: Ochrany a automatiky v rozvodu (Učební texty pro magisterské kombinované studium). Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007.
- o ČSN 33 3051: Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Praha: Český normalizační institut, 1992
- o Brauner J., Šindler Z.: Elektrická část elektráren, VŠB Ostrava 1987
- o Dočekal A., Bouček S.: Elektrárny II, ČVUT Praha 1995
- o Firemní podklady
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

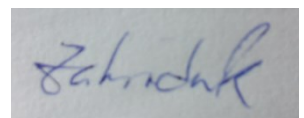
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Připojení malého zdroje elektrické energie vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.



V Ostravě dne 29.4.2016

.....

*Zahradník*

## **Abstrakt**

Tato práce řeší problematiku připojení malých zdrojů energie do sítě. Cílem této práce je popsat samotné zdroje energie, od monočlánků přes generátory až po menší elektrárny, dále jejich možnosti připojení, ochran i řízení. Práce také pojednává o následcích takového připojení, tedy vzniklé přechodné jevy a průběhy po ustálení. Této části se také věnuje praktická část práce, která bude probíhat na synchronním generátoru.

## **Klíčová slova**

Synchronní stroj, synchronní generátor, zdroj, obnovitelný zdroj, měnič, ochrana

## **Abstract**

This document is about connection of small scale source. Purpose of this work is to present various small sources of energy, from batteries and generators to smaller power plants, their connection capabilities, safety measures and controlling. This work also maps the consequences of connection to the grid, transient phase and state of circuit after transient phase. These phases are also main part of practical part of my work, which will be demonstrated on synchronous generator.

## **Key words**

synchronous machine, synchronous generator, source, renewable source, converter, protection

Obsah	Strana
Úvod	1
1 Obnovitelné zdroje energie	2
1.1 Obecný popis	2
1.2 Solární energie	2
1.2.1 Popis	2
1.2.2 Absorbéry	2
1.2.3 Aktivní sluneční soustava	3
1.2.4 Fotovoltaické solární systémy	3
1.2.5 Připojení k síti	4
1.2.6 Využití	5
1.3 Větrná energie	5
1.3.1 Popis	5
1.3.2 Odporové větrné motory	5
1.3.3 Vztlkové větrné motory	6
1.3.4 Provedení	6
1.3.5 Vlivy na síť	8
2 Generátory	9
2.1 Obecný popis	9
2.2 Asynchronní stroje	9
2.2.1 Obecný popis	9
2.2.2 Matematické vyjádření hlavních veličin	9
2.2.3 Grafická závislost mezi momentem a skluzem (i otáčkách)	11
2.2.4 Náhradní schéma asynchronního stroje	11
2.3 Synchronní stroje	12
2.3.1 Obecný popis	12
2.3.2 Konstrukce	12
2.3.3 Princip	13
2.3.4 Náhradní schéma	14
3 Měniče	15
3.1 Obecný popis	15
3.2 Řízené tyristorové usměrňovače	15
3.3 Pulzní měnič	17
3.4 Měnič kmitočtu	17
3.5 Pulzně šířková modulace	18
4 Systém chránění	19
5 Praktická část	21
5.1 Provozní parametry	21
5.2 Postup měření	23
5.3 Schéma	23
5.4 Vyhodnocení	24
Závěr	33
Literatura	34
Přílohy	35



## Seznam symbolů a zkratek

D	Dioda
$R_p$	Odpor reprezentující odpor vzniklý technickými nedokonalostmi PN přechodu.
$R_s$	Odpor reprezentující odpor materiálu a proudových sběrnic.
$I_{FV}$	Proud vzniklý po ozáření oblasti PN přechodu.
U	Napětí
I	Proud
$I_{SC}$	Proud nakrátko
$U_{OC}$	Napětí naprázdno
$I_{mp}$	Proud maximálního výkonu
$U_{mp}$	Napětí maximálního výkonu
s	Skluž
n	Otáčky
$n_s$	Synchronní otáčky
f	Frekvence
p	počet pólových dvojic
$\varphi$	fázový posun mezi napětí a proudem
P	Výkon
$P_p$	Příkon
$s_z$	Skluž zvratu
$M_{max}$	Maximální moment
$P_N$	Jmenovitý výkon
$n_N$	Jmenovité otáčky
$R_1$	Činný odpor jedné fáze statorového vinutí
$X_{\sigma 1}$	Rozptylová reaktance statorového vinutí
$R_{FC}$	Příčný odpor
$X_{\mu}$	Příčná reaktance
$X_{\sigma 2}$	Rozptylová reaktance rotorového vinutí
$R_{21}$	Činný odpor jedné fáze rotorového vinutí
$I_1$	Proud statoru
$I_2$	Proud rotoru
$U_1$	Svorkové napětí statoru
$I_0$	Proud příčnou větví
$U_{i1}$	Indukované napětí v rotoru
Z	Zátěž
q	Počet pulzů napětí v jedné periodě
pwm	Pulzně šířková modulace
S	Zdánlivý výkon
$U_n$	Jmenovité napětí
$I_n$	Jmenovitý proud

## Seznam ilustrací

Obr.	Strana
Obr. 1. Náhradní schéma FV	3
Obr. 2. Zatěžovací a výkonová charakteristika FV	4
Obr. 3. Princip Savoniova větrného motoru	6
Obr. 4. Zjednodušené schéma strojovny	7
Obr. 5. mechanická charakteristika asynchronního motoru	11
Obr. 6. Náhradní schéma asynchronního stroje	11
Obr. 7. Typy podle konstrukce	13
Obr. 8. Náhradní schéma synchronního stroje	14
Obr. 9. Základní rozdělení měničů	15
Obr. 10. Řídící charakteristika	16
Obr. 11. Můstkové zapojení a průběh napětí usměrňovače	16
Obr. 12. Schéma pulzního měniče a průběh napětí	17
Obr. 13. Blokové schéma měniče kmitočtu	17
Obr. 14. Schéma a průběhy pro pwm	18
Obr. 15. Ovládací panel UniGENu	19
Obr. 16. Znázornění vektorového skoku	20
Obr. 17. Snímek z UniGENu pro generátor	20
Obr. 18. Štítek generátoru STC-2	21
Obr. 19. Štítek motoru M2BA 100 LC 4	22
Obr. 20. Fotodokumentace soustrojí motor-generátor	22
Obr. 21. Schéma zapojení	23
Obr. 22. Průběhy naprázdno	24
Obr. 23. Harmonické ve fázi 1	24
Obr. 24. Harmonické ve fázi 2	25
Obr. 25. Harmonické ve fázi 3	25
Obr. 26. Průběhy síť	26
Obr. 27. Harmonické ve fázi 1	26
Obr. 28. Harmonické ve fázi 2	27
Obr. 29. Harmonické ve fázi 3	27
Obr. 30. Průběhy 2A	28
Obr. 31. Harmonické ve fázi 1	28
Obr. 32. Harmonické ve fázi 2	29
Obr. 33. Harmonické ve fázi 3	29

## Seznam tabulek

<b>Tabulka</b>	<b>Strana</b>
Tab. 1. Vyhodnocení naprázdno	30
Tab. 2. Vyhodnocení síť	31
Tab. 3. Vyhodnocení 2A	32

## Úvod

Malými zdroji energie v této práci chápeme jako zdroje do 1MW. Můžeme do ní tedy zahrnout obnovitelné zdroje, stejně jako synchronní i asynchronní motory, potažmo galvanické články a mnoho dalších. Teoretická část práce je rozdělena do čtyř hlavních bodů, to jsou obnovitelné zdroje, generátory, měniče a systém chránění. Každá z těchto sekcí slouží jako malý úvod a představení samotného tématu, kvůli velkému rozsahu tedy práce nezasahuje do přehnaných detailů. Poslední částí této práce je pak samotná praktická úloha, kde budeme připojovat synchronní stroj k síti. V té se práce věnuje hlavně harmonickým složkám a jejich vyhodnocování, dále zahrnuje systém ochran i provozní parametry daného zdroje.

## 1. Obnovitelné zdroje energie

### 1.1 Obecný popis

Obnovitelnými zdroji energie chápeme zdroje takové, které se buď sami obnovují, jako třeba vítr který vzniká rozdíly tlaku v atmosféře nebo na ty, které nelze za rozumný časový úsek vyčerpat, jako třeba u sluneční kdy není třeba počítat se zánikem jeho zdroje v dohledné budoucnosti. Stejně tak je možné do nich zahrnout i energii vody, kterou lze využít díky síle gravitace a přirozených atmosférických jevů. Energii biomasy zase získáváme z biologického odpadu, který je nedílnou součástí života všech živočichů, a tedy jsou jeho zásoby neomezené. Definice obnovitelných zdrojů podle českého zákona zní: *"Obnovitelné přírodní zdroje energie mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka."* V dohledné době ale nelze těmito zdroji nahradit klasické fosilní paliva, které dominují výrobě energie. Jejich potenciál je ale velký a tedy se dá očekávat vzrůstající podíl jejich využití oproti výrobě z fosilních paliv. Kvůli tématu práce ale o zdrojích z fosilních paliv nebude tento dokument pojednávat, protože u jejich využití ve velkých elektrárnách nemůže být řeč o malých zdrojích energie.

### 1.2. Solární energie

#### 1.2.1 Popis

Solární energii je možno dělit podle způsobu výroby, tedy na energii získanou ze slunečních kolektorů, z absorberů, z pasivního využití, ze slunečních elektráren, z fotovoltaických článků a z fotovoltaických elektráren. Získaná energie se dále může použít k výrobě tepelné nebo elektrické energie. K výrobě tepelné energie se používají kolektory, a to ploché, trubkové nebo teplovzdušné. K výrobě elektrické energie pak slouží fotovoltaické články a princip solárně-termické přeměny, hojně využívaný v elektrárnách. Pro efektivní výrobu energie je třeba najít i vhodné umístění, tedy nějaké místo s minimem stínu po celou denní dobu. Pro úplnost je nutné zmínit i pasivní solární systémy, těmi chápeme například zateplení domu nebo vhodně postavený objekt tak, aby co nejlépe využil sluneční záření. Jejich výhodou je, že nepotřebují žádné další zařízení.

#### 1.2.2 Absorbéry

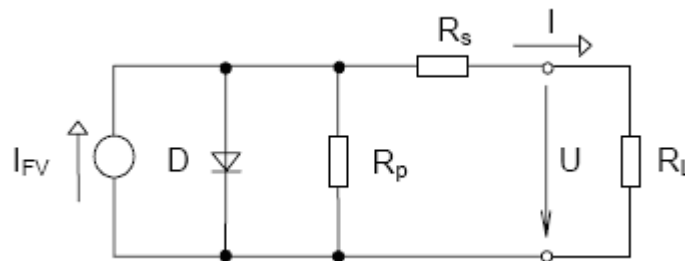
Zařízení pro výrobu tepelné energie, instalují se hlavně jako absorpční střechy nebo jako absorpční fasády, kde chrání daný objekt před povětrnostními vlivy a tím nahrazuje samotné střechy, popřípadě fasády. Jejich výhodou je nízká cena a velký povrch plochy, na kterou dopadá záření, avšak mají poměrně malou účinnost. Čím vyšší teplota ohřívané látky, tím nižší účinnost ohřevu. Spolu s pasivními systémy tvoří hybridní systémy, kdy se používá kombinace obou prvků.

### 1.2.3 Aktivní sluneční soustava

Tento druh soustavy slouží k výrobě tepelné energie. Skládá se z aktivního sběrače, tedy kolektoru, akumulátoru tepla, čerpadla, potrubí slunečního okruhu a armatur. Samotná výroba začíná kolektorem, na který dopadá sluneční záření a to se následně mění na tepelnou energii. Tu je třeba dopravit do akumulátoru pomocí vhodně zvolené látky, např. nemrznoucí kapaliny, kde je následně tepelná energie skladována pro použití. Přenos dané látky je realizován potrubím a čerpadlem. Potrubí by mělo být co nejkratší a dobře tepelně izolované, kvůli zachování co největší efektivity. Kvůli bezpečnosti je třeba oddělit okruh aktivní sluneční soustavy a okruh vytápění domu, důvodem je jedovatost nemrznoucí kapaliny. Samotné řešení takového oddělení je realizováno vložением výměníků obou okruhů do společného vodního akumulátoru.

### 1.2.4 Fotovoltaické solární systémy

Tyto systémy slouží k výrobě elektrické energie, využívají přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Pro současné použití se fotovoltaické články zhotovují hlavně z křemíku. Princip přeměny sluneční energie na elektrickou spočívá ve fotoelektrickém jevu. Při dopadu slunečního záření daná látka absorbuje elektromagnetické záření, čímž jsou uvolňovány elektrony. Samotná absorpce je způsobena reakcí fotonů s elektrony a jádry. Při uvolňování elektronů vzniká pár elektron - díra, pro fungování je nutné, aby nedošlo k rekombinaci a také je nutné, aby bylo možné odvést náboj. Toho se docílí použitím vhodného polovodiče, většinou křemíku, kde jsou díry i elektrony odděleny PN přechodem. Výstupní účinnost je dána intenzitou záření a také úhlem dopadu na plochu. Ztráty jsou určeny odporem vzniklým nedokonalostmi provedení a také odporem materiálu a proudových sběrnic. Vliv na výsledný výkon má také teplota, při rostoucí teplotě se účinnost zvyšuje, ale při výrazném zvýšení teploty, například při nedostatečném chlazení při dlouhotrvajícím intenzivním slunečním zářením, dochází ke změně elektrických vlastností a ty pak vedou k poklesu napětí pod optimální hodnotu.



Obr. 1. Náhradní schéma FV

$D$  – Dioda, skrz kterou protéká část generovaného proudu zpět.

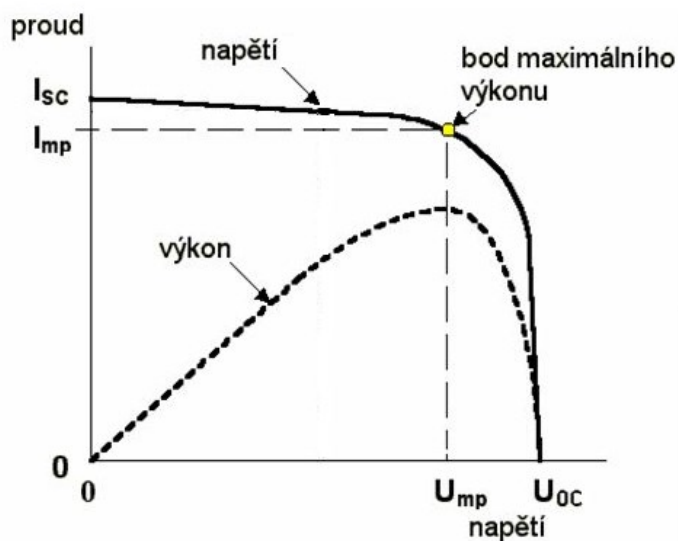
$R_p$  – Odpor reprezentující odpor vzniklý technickými nedokonalostmi PN přechodu.

$R_s$  – Odpor reprezentující odpor materiálu a proudových sběrnic.

$I_{FV}$  – Proud vzniklý po ozáření oblasti PN přechodu.

$U$  – Výstupní napětí

$I$  – Výstupní proud



Obr. 2. Zatěžovací a výkonová charakteristika FV

$I_{sc}$  – Proud nakrátko

$U_{oc}$  – Napětí naprázdno

$I_{mp}$  – Proud maximálního výkonu

$U_{mp}$  – Napětí maximálního výkonu

### 1.2.5 Připojení k síti

Připojení fotovoltaických článků síti může být buď částečné, tedy hybridní, nebo úplné, tzv. grid-on. Hybridní připojení je kombinací ostrovního systému a síťové elektrárny. Výhodou tohoto systému je úplná využitelnost vyrobené elektrické energie pro daný objekt, s tím že energie poslaná do sítě není zbytečně velká. V případě systému připojeného k síti je výhodou, že veškerá vyrobená energie se zpracuje. Pro využití pro domácí potřebu, např. spotřebiče, a pro odesílání energie do sítě, je třeba elektrickou energii převést ze stejnosměrného průběhu na střídavý, protože výstup z fotovoltaických článků je jen stejnosměrný. Toho docílíme měniči (invertory). Jsou dva nejběžnější způsoby zapojení a to zapojení pro využití Zeleného bonusu (hybridní), a využití Výkupního tarifu. Zelený bonus je nejvhodnější když hlavní část vyrobené energie spotřebovává daný objekt, zapojení pro Výkupní tarif je nejvhodnější kdy veškerou energii dodáváme do sítě. Zapojení záleží na uživateli, ale kvůli ekonomickým důvodům je nejvhodnější zapojení podle výše zmíněných způsobů.

## 1.2.6 Využití

Zisk ze sluneční energie je značně proměnlivý, závisí na ročním období, počasí i teplotě, dále musí být solární systém postaven na vhodné místo a namířen správným směrem. Zisk se značně liší v závislosti na ročním období, například v zimě nestačí pokrýt požadovanou spotřebu a zase v létě tvoří přebytky. Solární systém je třeba navrhnout na míru podmínkám daného místa, to nám určuje způsob využití, dimenzování i umístění kolektorů. Je nutné znát počet hodin slunečního svitu a intenzitu slunečního záření. Tyto údaje jsou závislé na atmosférickém znečištění, tudíž bude rozdíl například mezi městem a venkovem. Dále je nutné zjistit průběžné venkovní teploty v roce a meteorologické vlivy kvůli tepelným ztrátám. Dalšími parametry jsou orientace a sklon, nejlepších výkonů dosahuje orientace na jih až jihozápad se sklonem 30°-60°. Je možné zařídít automatické natáčení ploch podle potřeby, ale takový systém znamená vlastní spotřebu a náročnější údržbu. Hlavní slovo ve volbě umístění by mělo mít stínění, cílem je ho úplně eliminovat aby se dosáhlo nejvyšší účinnosti. Při zjištění výše uvedených parametrů už jsme schopni vypočítat množství vyrobené energie za rok.

## 1.3 Větrná energie

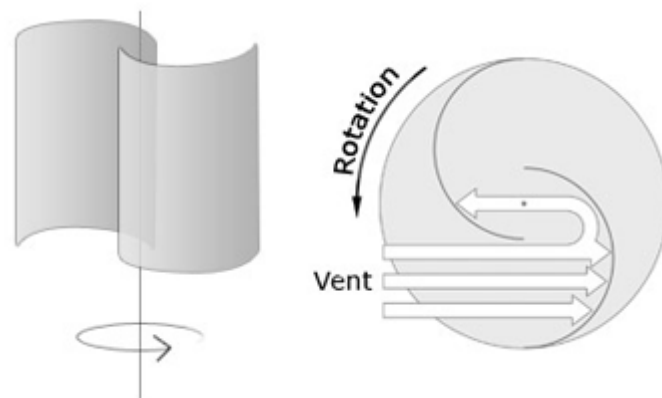
### 1.3.1 Popis

K výrobě elektrické energie pomocí větru je třeba větrná elektrárna, její základ se skládá z motoru s rotorovou hlavou, převodovky, generátoru, ložisek a betonového základu. Samotné motory lze dělit na odporové a vztakové, pro generování elektrické energie se používají vztakové. Tento způsob výroby energie je třeba umístit na prostor s co možná nejstálým větrem s potřebnou silou, aby se zajistila co možná nejefektivnější výroba elektrické energie. Při stavbě je nutné brát zřetel na vzdálenost od obydlených oblastí, aby provoz elektráren nepřesahoval povolenou hladinu hluku u obydlí. Je třeba posoudit, jestli elektrárny nenarušují ráz prostředí a také zhodnotit průběžné povětrnostní podmínky na místě potenciální stavby. Pro výstavbu se nejvíce hodí nadmořská výška 600 metrů a výše, až na výjimky je ale nejvíce vhodných lokalit v ČR součástí chráněných krajinných oblastí.

### 1.3.2 Odporové větrné motory

Princip tohoto způsobu tkví v nastavení plochy s co největším aerodynamickým odporem proti větru, proto tvar polokoule. Na jedné polovině tedy vzniká velký aerodynamický odpor a na straně druhé, kdy je lopatka polohována obráceně oproti první, se staví proti větru tvar s dobrými aerodynamickými vlastnostmi. Tento rozdíl způsobuje rotační pohyb a na hřídeli vzniká kroutící moment. Tyto motory mají poměrně malou účinnost, řádově asi 15-23%, proto je jejich použití minimální. Odporové motory ale skrývají i několik výhod, mezi ně patří velmi jednoduchá konstrukce, nezávislost na směru větru, přímý přenos kroutícího momentu na hřídel a využití síly větru i při malé rychlosti.





Obr. 3. Princip Savoniiova větrného motoru

Savoniův motor je speciální druh odporového větrného motoru, od klasického odporového motoru se liší tím, že lopatky jsou přes sebe z části přeloženy. Tím se docílí zefektivnění funkčnosti kvůli odvedení části větru, která by jinak přišla nazmar, na druhou lopatku.

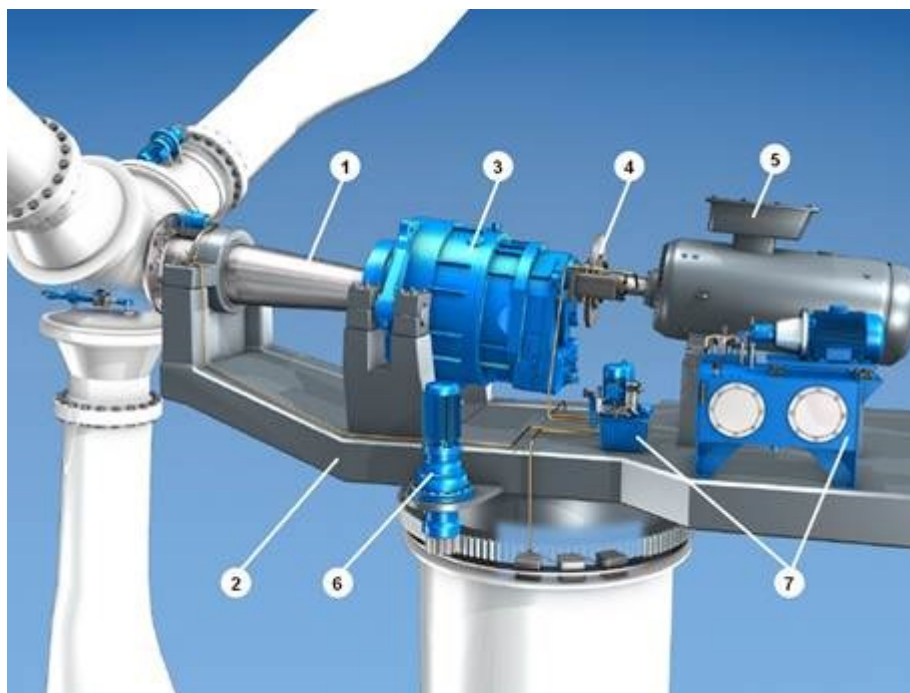
### 1.3.3 Vztlakové větrné motory

Momentálně nejpoužívanější způsob výroby elektrické energie za pomoci větrné energie. Přeměňuje kinetickou energii větru na mechanickou práci, a tu následně na elektrickou energii. Pro správnou funkci se rotor musí natáčet tak, aby udržoval polohu kolmo proti větru, tím se docílí nejvyšší účinnosti výroby elektrické energie. Provedení se vyrábí jedno až čtyřlísté, v praxi je ale nejčastější třílísté provedení. Účinnost vztlakových motorů může dosáhnout kolem 35-45%, což vysoce převyšuje odporové motory. Jejich nevýhoda ale tkví ve vysoké rozběhové rychlosti, která činí kolem pěti metrů za sekundu.

### 1.3.4 Provedení

Elektrárna se skládá ze 4 hlavních částí, rotoru, gondoly, stožáru a základu. Rotor je otočná část v čele gondoly, která je upevněná na hřídeli. Na rotor se připevňují vrtulové listy, o které se opírá vítr a tím tvoří kroutící moment. Délka listů je závislá na požadovaném výkonu a celkové optimalizaci celého soustrojí. Uchycení listů k rotorové hlavě je provedeno pevnostními šrouby kvůli odolnosti, přidává se i hydraulika nebo servomotory k natáčení listů, oba způsoby jsou si rovnocenné. Listy by také měly obsahovat bleskosvody, blesky by bez nich nevratně poškodily listy a ty by pak musely být draze nahrazovány novými.

Další hlavní částí je gondola, ta skrývá celou strojovnu větrné elektrárny, která je zjednodušeně popsána na obrázku číslo 4. Mimo hlavní soustrojí výroby elektrické energie také obsahuje brzdy a hydraulický systém, popřípadě servomotory sloužící k natáčení celé gondoly.



**Obr. 4. Zjednodušené schéma strojovny**

- 1 – Hřídel propojující roto a převodovku
- 2 – Nosný rám
- 3 – Převodovka
- 4 – Spojení mezi převodovkou a generátorem
- 5 – Generátor
- 6 – Systém natáčení gondoly
- 7 – Hydraulické systémy

Pro převod získané kinetické energie z rotoru na energii elektrickou se používají buď synchronní, nebo asynchronní generátory. Jejich podrobný popis lze najít v kapitole číslo 3. Volba generátoru leží čistě na výrobcu, podle jeho konceptu a použité technologie. Asynchronní generátor je jednodušší, spolehlivější, má jednoduchý rozběh, připojení na síť i regulaci výkonu, ale má malé rozpětí otáček. Synchronní generátor lze provozovat pouze při synchronních otáčkách turbíny, proto je třeba energii usměrnit a pak zpětně převést na frekvenci sítě pomocí invertoru.

Nedílnou součástí elektrárny tvoří také stožár. Jeho výška se pohybuje v rozmezí 40 až 110m. Nejčastější provedení v Evropě je tubusové z oceli, montuje se z dvacetimetrových segmentů, které se na místě svařují. Vyskytují se i provedení z betonu vyztužené ocelovými lany, a také příhradové stožáry, které se hodí nejvíce pro velmi vysoké stožáry. Poslední z hlavních částí elektrárny tvoří betonový základ. Ještě před zahájením stavby je nutné provést důkladný geologický průzkum. Následuje výkop, postavení konstrukce a zabetonování. Vzhledem k celkové hmotnosti a výšce celé elektrárny musí být betonový základ postaven na pevném povrchu, aby nedošlo k vychýlení.

### 1.3.5 Vlivy na síť

Samotná podstata větrné energie zabraňuje po většinu času efektivní výrobu energie, vítr je nepravidelný, lze velmi špatně předvídat a má proměnlivou intenzitu. Z toho vyplývá, že lze elektrárnu efektivně používat jen zhruba 10-20% času v roce, aspoň co se ČR týče. Kvůli těmto nepravidlostem musí provozovatel doplnit rozvod záložními a rychle startujícími zdroji, aby vyrovnal změny na větrných zdrojích. Větrná elektrárna je schopna provozu od 5 metrů za sekundu až do 25 metrů za sekundu, při jiných rychlostech větru se elektrárna vypíná a tedy neplní svoji funkci výroby energie.

Vlivy větrných elektráren na distribuční síť lze dělit na lokální a systémové. Pro co nejefektivnější provoz se musí tyto vlivy co nejvíce minimalizovat. Nežádoucí vlivy vznikají hlavně připojením generátoru k síti, každý takový připojený zdroj pak síť ovlivňuje. Cílem je udržet tyto vlivy v rámci zákonem stanovených mezí. Lokální vlivy hrají významnou roli hlavně při připojení větrných elektráren o velkém výkonu, mezi ně patří přetěžování sítě, kolísání napětí, zvýšení zkratových poměrů nebo rušení způsobené výkonovou elektronikou, tzn. vyšší harmonické složky, popřípadě dlouhodobý flicker. V případě zapojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko může při rychlé změně rychlosti otáčení rotoru v momentě připojení k soustavě dojít k deformaci průběhů proudu a napětí. V případě s kroužkovou kotvou se proudový ráz potlačuje přepínáním zapojení hvězda-trojúhelník.

Systémové vlivy ovlivňují přenosovou schopnost vedení na mezinárodní úrovni. Vyskytují se hlavně při zapojení velkého množství větrných elektráren do sítě. V rámci těchto vlivů se sledují následující parametry, začlenění větrných elektráren do pokrývání diagramu zatížení, chování elektráren při blízkých zkratech v přenosové soustavě a při velkých poruchách a dopad na stabilitu elektrizační soustavy.

Pro správné fungování připojených elektráren je třeba znát jejich vlastnosti při zkratu, při změně frekvence a změně účinníku. Zkraty mohou být velmi nebezpečné pro připojené zařízení a proto je třeba je co nejrychleji odpojit a tím minimalizovat zkratové poměry, tento způsob ale není vhodný pro větší počet připojených elektráren, protože jejich odpojením taky ztratíme veškerý výkon který dodávaly. V případě změny frekvence nad 52Hz je požadováno odpojit elektrárnu od sítě, při frekvenci pod 49,5Hz je požadováno zapojení do sítě při co nejvyšší výrobě.

## 2 Generátory

### 2.1 Obecný popis

Elektrickým generátorem chápeme stroj, který dokáže převést mechanickou energii na elektrickou. Nejčastěji se jedná o točivé stroje, stejnosměrné nebo střídavé, synchronní nebo asynchronní. Jejich hlavní části jsou stator, rotor, hřídel a kostra. Pro výrobu elektrické energie je vhodnější generátor střídavého proudu, pro připojení do sítě je často proveden třífázově. Generátory mohou fungovat i v motorickém režimu, kdy se přeměna energie prohodí, mezi těmito režimy lze volně přecházet.

### 2.2 Asynchronní stroje

#### 2.2.1 Obecný popis

Je to točivý elektrický stroj, skládající se z rotoru a statoru, pracuje se střídavým proudem a může sloužit jako generátor nebo jako motor. Stator je pevná část stroje, je složena z nosné kostry motoru, ložiskových štítů, příruby, patek, svazku statorových plechů se statorovým vinutím vloženým do drážek. Rotor je otočná část stroje připevněná na hřídel s nalisovanými rotorovými plechy s drážkami, do kterých jsou vloženy tyče rotorové klece nebo vodiče rotorového vinutí. Rotor může být proveden dvěma způsoby, a to kotvou nakrátko (klecová kotva), nebo kroužkovou kotvou. Klecová kotva má v drážkách založeny neizolované tyče, které jsou na obou koncích spojeny zkratovacími kruhy. Výsledek má vzhled klece, odtud pojmenování. Kroužková kotva má v drážkách plechů vloženo vinutí z izolovaných vodičů, které je zapojeno do hvězdy nebo trojúhelníka. Vinutí je vyvedeno na tři kroužky, na které dosedají kartáče. U větších motorů se přidává i odklápění kartáčů se zkratovačem kroužků.

Základem činnosti je elektromagnetická indukce. V motorickém režimu se přivádí na stator trojfázový střídavý proud, který vytváří točivé magnetické pole. Tím se indukuje napětí v rotoru a vzniklý proud vytváří magnetický tok spřažený se statorem. Tento magnetický tok vyvolá silové působení na rotor a tím ho roztočí ve směru točivého pole. Důležitá veličina u asynchronního motoru je skluz, vyjadřuje míru rozdílu mezi otáčkami pole a otáčkami rotoru. Kdyby byl skluz nulový a otáčky by byly synchronní, znamenalo by to, že z pohledu otáčení pole statoru by se pole rotoru nepohybovalo a tím by nemohla vzniknout požadovaná síla.

#### 2.2.2 Matematické vyjádření hlavních veličin

Skluz je definován jako:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 [\%]$$

$n_s$  = synchronní otáčky

$n$  = otáčky rotoru

Podle skluzu se dá také určit v jakém stavu zrovna stroj pracuje.

$s < 0 \rightarrow$  generátor

$0 < s < 1 \rightarrow$  motor

$s > 1 \rightarrow$  brzda

Synchronní otáčky se definují jako:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

f = frekvence

p = počet pólových dvojic

Otáčky rotoru se definují jako:

$$n = n_s \cdot (1 - s) [\text{min}^{-1}]$$

Příkon asynchronního motoru je definován jako:

$$P_p = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi [W]$$

U = sdružená hodnota napětí

I = sdružená hodnota proudu

$\varphi$  = fázový posun mezi napětí a proudem

Účinnost asynchronního motoru je definována jako:

$$\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100 [\%]$$

P = mechanický výkon na hřídeli

Jmenovitý točivý moment na hřídeli asynchronního stroje:

$$M_N = \frac{P_N}{\frac{2\pi \cdot n_N}{60}} [N \cdot m]$$

$P_N$  = jmenovitý výkon

$n_N$  = jmenovité otáčky

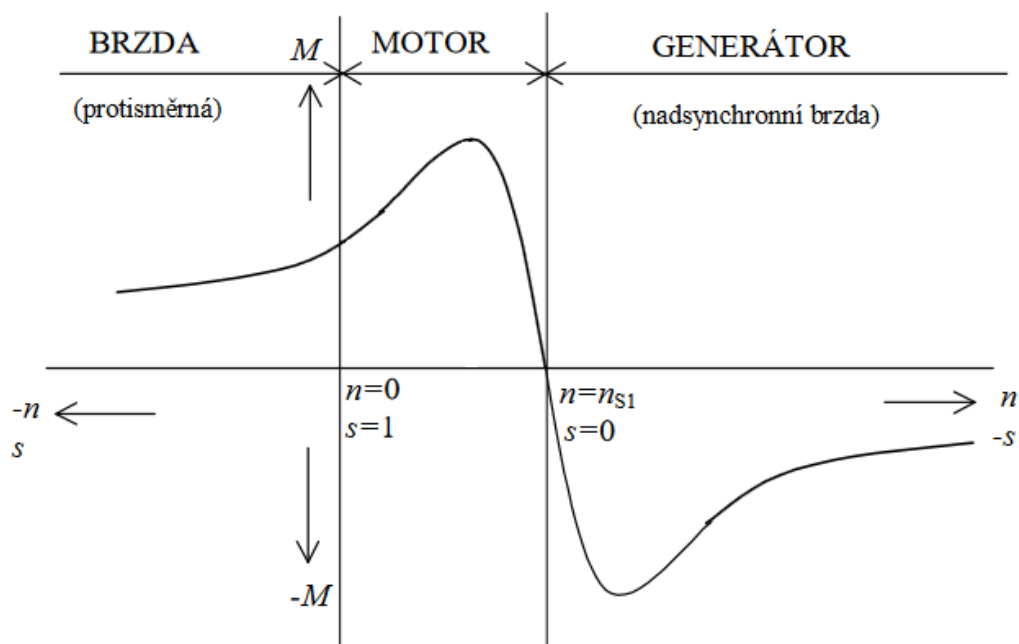
Moment asynchronního motoru (Klossův vztah):

$$M = \frac{2 \cdot M_{max}}{\frac{s}{s_z} + \frac{s_z}{s}} [N \cdot m]$$

$s_z$  = skluz zvratu

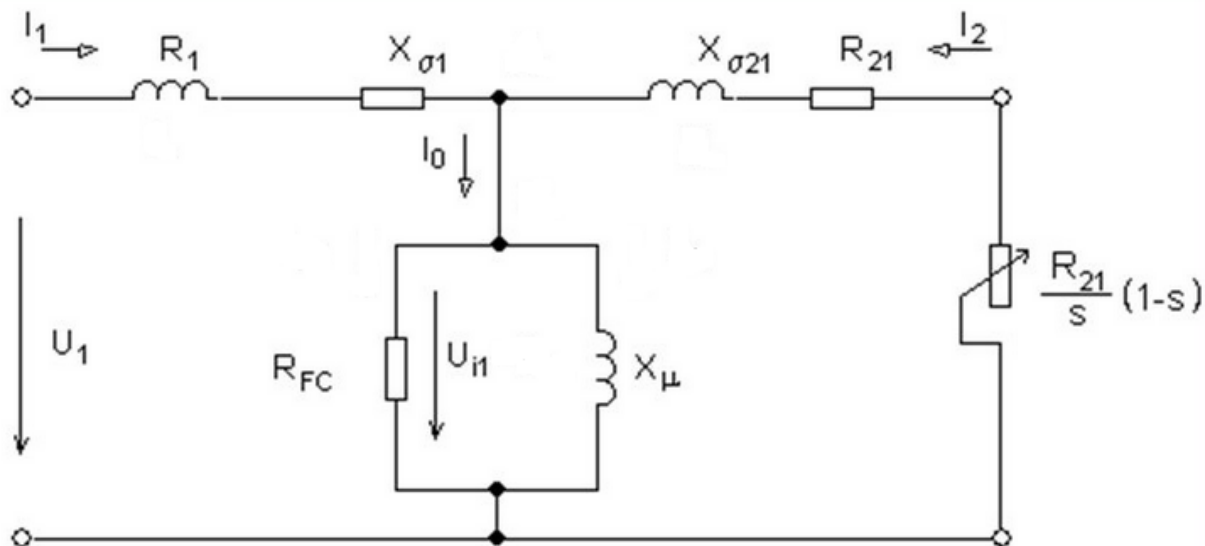
$M_{max}$  = maximální moment

### 2.2.3 Grafická závislost mezi momentem a skluzem (i otáčkách)



obr. 5. Mechanická charakteristika asynchronního motoru

### 3.2.4 Náhradní schéma asynchronního stroje:



obr. 6. Náhradní schéma asynchronního stroje

$R_1$  = činný odpor jedné fáze statorového vinutí

$X_{\sigma 1}$  = Rozptylová reaktance statorového vinutí

$R_{FC}$  = Příčný odpor

$X_{\mu}$  = Příčná reaktance

$X_{\sigma 2}$  = Rozptylová reaktance rotorového vinutí

$R_{21}$  = činný odpor jedné fáze rotorového vinutí

$I_1$  = Proud statoru

$I_2$  = Proud rotoru

$U_1$  = Svorkové napětí statoru

$I_0$  = proud příčnou větví

$U_{i1}$  = indukované napětí v rotoru

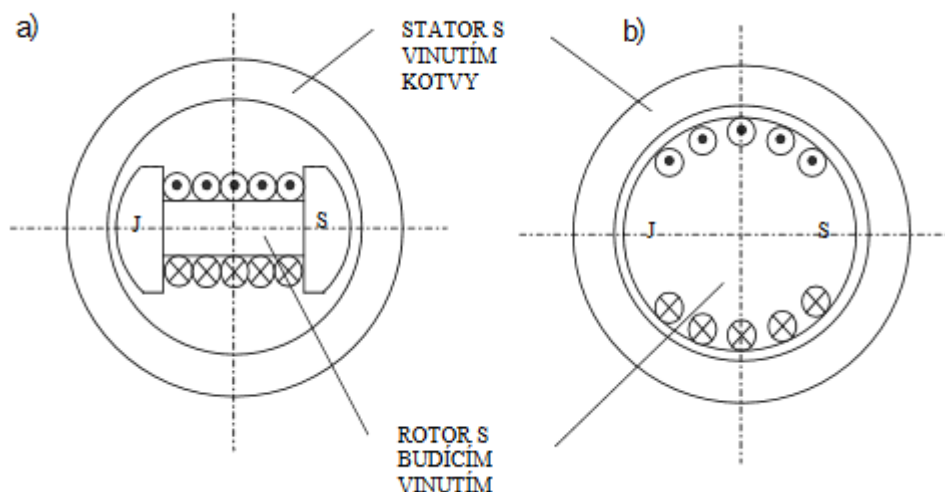
## 2.3 Synchronní stroje:

### 2.3.1 Obecný popis

Synchronní stroje tvoří hlavní prostředek výroby energie dnešní doby. Jinak nazývané alternátory, se zapojují většinou trojfázově a jsou poháněny vodou, párou nebo plynem. Ze způsobu pohánění se odvíjí typ turbíny, a to na pomaloběžné (voda) a rychloběžné (pára, plyn). Rychloběžné, jinak zvané i turboalternátory, se otáčejí rychlostí 3000 otáček za minutu. Hydroalternátory naopak pracují s mnohem menšími otáčkami, tedy do 500 otáček za minutu. Synchronní stroj lze použít i jako motor, například jako synchronní kompenzátor. Ten se využívá na kompenzaci jalové složky. Využití je ale mnohem širší, používá se jako pohonná jednotka pro čerpadla, ventilátory, servomotory a mnoho dalších.

### 2.3.2 Konstrukce

Stator synchronního stroje je téměř totožný jako u stroje asynchronního, obsahuje trojfázové vinutí, které je uloženo v drážkách. Rotor obsahuje budící vinutí, které se napájí stejnosměrným proudem. Napájení je provedeno přes kroužky nebo kartáče. Podle konstrukčního řešení stroje se dělí na stroje s vyniklými póly, neboli hydrostroje a stroje s hladkým rotorem, neboli turbostroje. U synchronních strojů lze buzení nahradit permanentními magnety. Chlazení bývá provedeno vzduchově, v případě velkých výkonů i vodíkově nebo vodou.



obr. 7. Typy podle konstrukce

- a) stroj s vyniklými póly
- b) stroj s hladkým rotorem

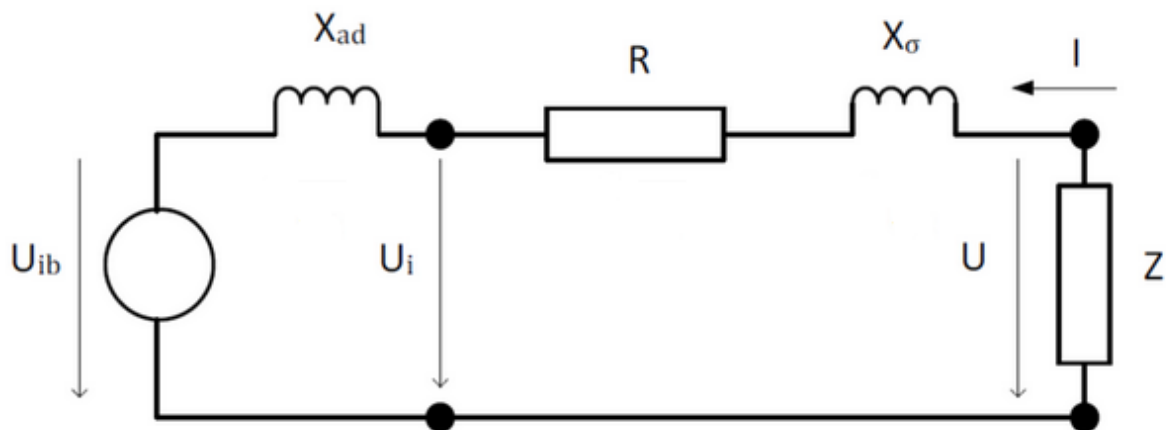
### 2.3.3 Princip

Rotorové vinutí je napájeno stejnosměrným budícím proudem, který vybudí stejnosměrné magnetické pole, které se následně uzavře přes stator. Hřídel otáčí s nabuzeným rotorem, což způsobuje natočení magnetického pole vůči statorovému vinutí, to způsobuje indukci střídavého napětí v cívkách statoru. Napětí jsou od sebe posunuta o  $120^\circ$ . Po připojení trojfázové zátěže, statorovým vinutím začne protékat proud sinusového průběhu. Tím se vytvoří točivé magnetické pole, které má stejnou rychlost jako pole rotoru. Proto se u synchronních strojů neuvažuje skluz, žádný nemá. Pokud by se vlivem zatížení do skluzu dostal, stroj by se zastavil. Vlivem zatížení je ale rotor natočen oproti poli statoru o úhel  $\beta$ . Pro generátor se určuje kladný úhel (předbíhání), pro motor platí záporný úhel. Orientace je závislá na metodě pohonu, pokud se přivádí energie na hřídel, jde o generátor.

Rozběh lze realizovat několika způsoby, a to asynchronním rozběhem, rozběhem s pomocným motorem a řízeným rozběhem. U asynchronního rozběhu obsahuje stroj navíc tlumící klecové vinutí. Motor se v tomto případě rozbíhá jako asynchronní motor nakrátko. Budící vinutí je v průběhu rozběhu odpojeno, po naběhnutí na požadované otáčky se nabudí a motor se vtáhne do synchronismu. U typu s pomocným motorem se na hřídel připojí další pohon, například stejnosměrný generátor nebo asynchronní motor, nejedná se však o velmi používaný druh rozběhu. Řízený rozběh je pak realizován napájením z měniče kmitočtu.



### 2.3.4 Náhradní schéma



Obr. 8. Náhradní schéma synchronního stroje

$X_{ad}$  = reaktance respektující reakci kotvy

$R$  = činný odpor jedné fáze statorového vinutí

$X_{\sigma}$  = rozptylová reaktance

$Z$  = zátěž

$U_{ib}$  = indukované napětí na kotvě

$U_i$  = vnitřní indukované napětí na kotvě

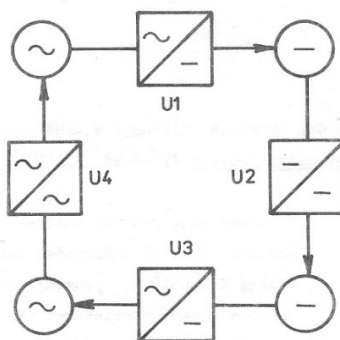
$U$  = svorkové napětí

$I$  = proud kotvy

### 3 Měniče

#### 3.1 Obecný popis

Měniče v našem případě slouží k různým změnám elektrické energie, může jít o změnu střídavého napětí na stejnosměrné i obráceně, lze také měnit frekvenci i hodnoty proudů a napětí. Základní rozdělení měničů je pro názornost uvedeno Obr. 9.



- U1 - Usměrňovač
- U2 - Stejnosměrný měnič napětí
- U3 - Střídač
- U4 - Střídavý měnič napětí  
(nebo kmitočtu)

Obr. 9. Základní rozdělení měničů

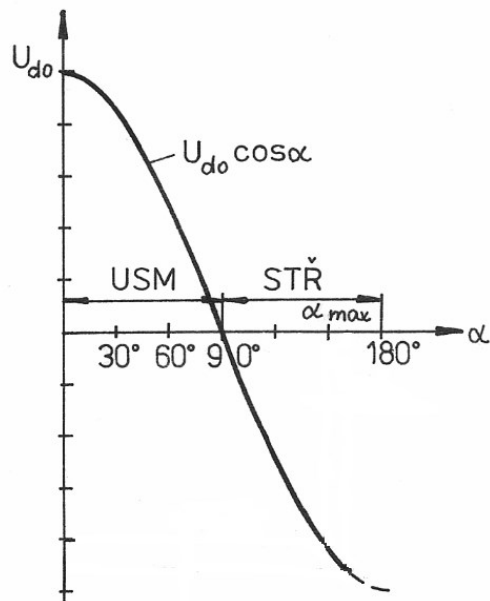
Měničů je široká škála, ale v rámci tématu práce probereme jen některé z nich, např. řízené tyristorové měniče, pulsní měniče a měniče kmitočtu.

#### 3.2 Řízené tyristorové usměrňovače

Slouží k přeměně střídavého napětí na stejnosměrné. Řízení tyristoru umožňuje měnit čas otevření a tím regulovat tvar výstupu. Napětí měniče je zvlněné a to způsobuje zvlnění proudu v kotevním obvodu motoru. Pokud však i přes zmíněné zvlnění průběh proudu neprotne nulu lze měnič nahradit napěťovým zdrojem s odporem R a indukčností L. Vnitřní napětí  $U_d$  je tvořen střední hodnotou usměrněného napětí naprázdno s úhlem řízení  $\alpha$ .

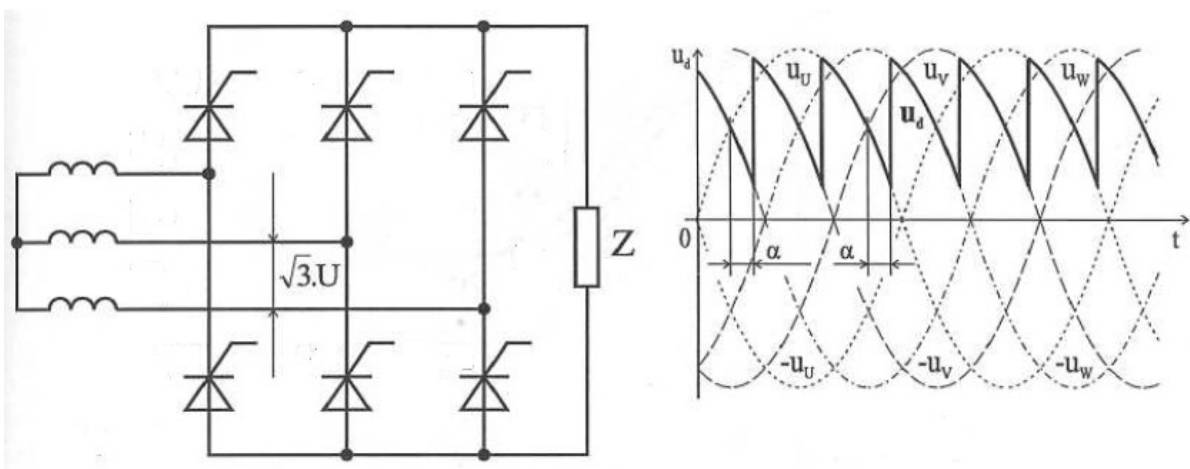
$$U_d = \frac{q}{2\pi} \int_{\alpha + \frac{2\pi}{q}}^{\alpha + \frac{2\pi}{q} + \frac{2\pi}{q}} U_{max} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q}\right) d(\omega t)$$

q = počet pulzů napětí v jedné periodě



Obr. 10. Řídicí charakteristika

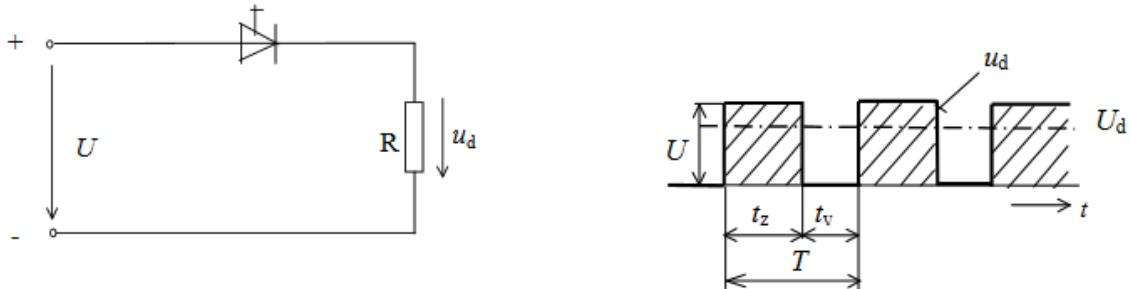
Nejčastější zapojení je trojfázové můstkové, vytváří napětí stejné polaroty ze šesti průběhů napětí, toho je docíleno otočením záporných půlvln o 180°. Při řídicím úhlu 0 je dosaženo největší efektivity, tedy nejmenšího zvlnění.



Obr. 11. Můstkové zapojení a průběh napětí usměrňovače

### 3.3 Pulzní měnič

Slouží ke změně velikosti střední hodnoty stejnosměrného napětí nebo řízení výkonu. Pracují s periodicky spínaným polovodičovým spínačem. Měnič lze řídit s konstantním kmitočtem spínání, dvouhodnotově (max. proud a min. proud), nebo s konstantní dobou sepnutí.

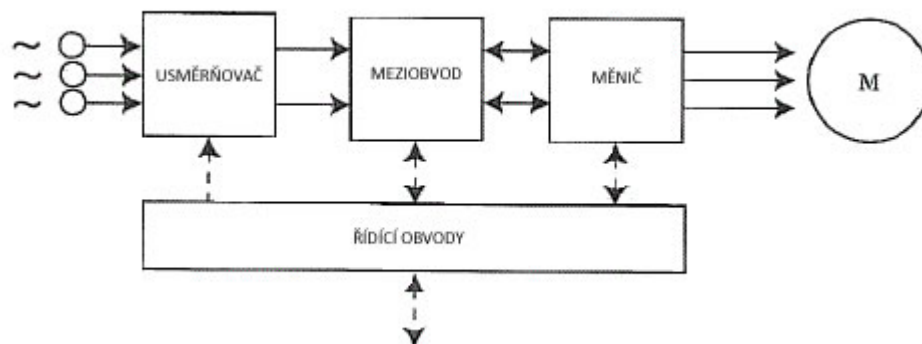


Obr. 12. Schéma pulzního měniče a průběh napětí

Při sepnutí tyristoru začne obvodem protékat proud a na zátěži  $R$  se objeví napětí  $U_d$ . Při rozepnutí bude napětí na zátěži nulové. Čas sepnutí  $t_z$  i doba rozepnutí  $t_v$  přímo ovlivňuje velikost střední hodnoty napětí  $U_d$ . Průběh se opakuje periodicky o periodě  $T$ . Měnič lze využít například v řízení otáček nebo dopravě.

### 3.4 Měnič kmitočtu

Slouží ke změně frekvence napětí nebo proudu na jiné frekvence. Smyslem takového měniče je například měnit frekvenci kvůli plynulému řízení otáček asynchronního motoru. Měnič frekvence lze rozdělit na čtyři základní součásti. Součásti jsou usměrňovač, meziobvod, střídač a řídicí mikropočítač. Usměrňovače lze rozdělit na řízené a neřízené, jejich princip byl popsán výše. Meziobvod má za cíl upravit výsledné napětí z usměrňovače, například odstranit zvlnění filtry, nebo naopak udělat ze stejnosměrného napětí proměnné. Ve střídači se napětí nebo proud přetváří na průběh o požadované frekvenci, některé dokáží i měnit amplitudu napětí i proudu. Mikropočítač přijímá informace a řídí polovodičové prvky. To znamená například dobu sepnutí a rozepnutí. Případně zajišťuje i uživatelské rozhraní pro vstupní příkazy obsluhy, nebo ochrany zařízení.

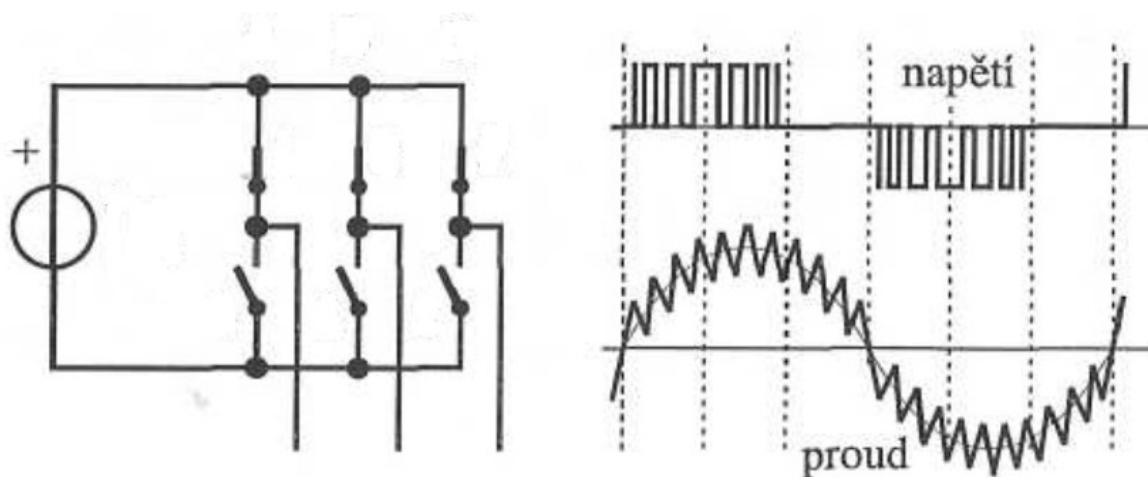


Obr. 13. Blokové schéma měniče kmitočtu

### 3.5 Pulzně šířková modulace

Jedná se o nejčastější způsob řízení napěťových střídačů. Užívá se taky pro přenos analogového signálu pomocí diskretních hodnot. Umožňují změnu kmitočtu a základní harmonické výstupního napětí přímo ve střídači. Mění se šířka pulzu a tím se mění i tvar výstupní veličiny. Měníče lze dělit podle způsobu spínání, a to na sinusově řízené, synchronní nebo asynchronní. Pro zpětné dekódování signálu lze použít dolnofrekvenční propust'.

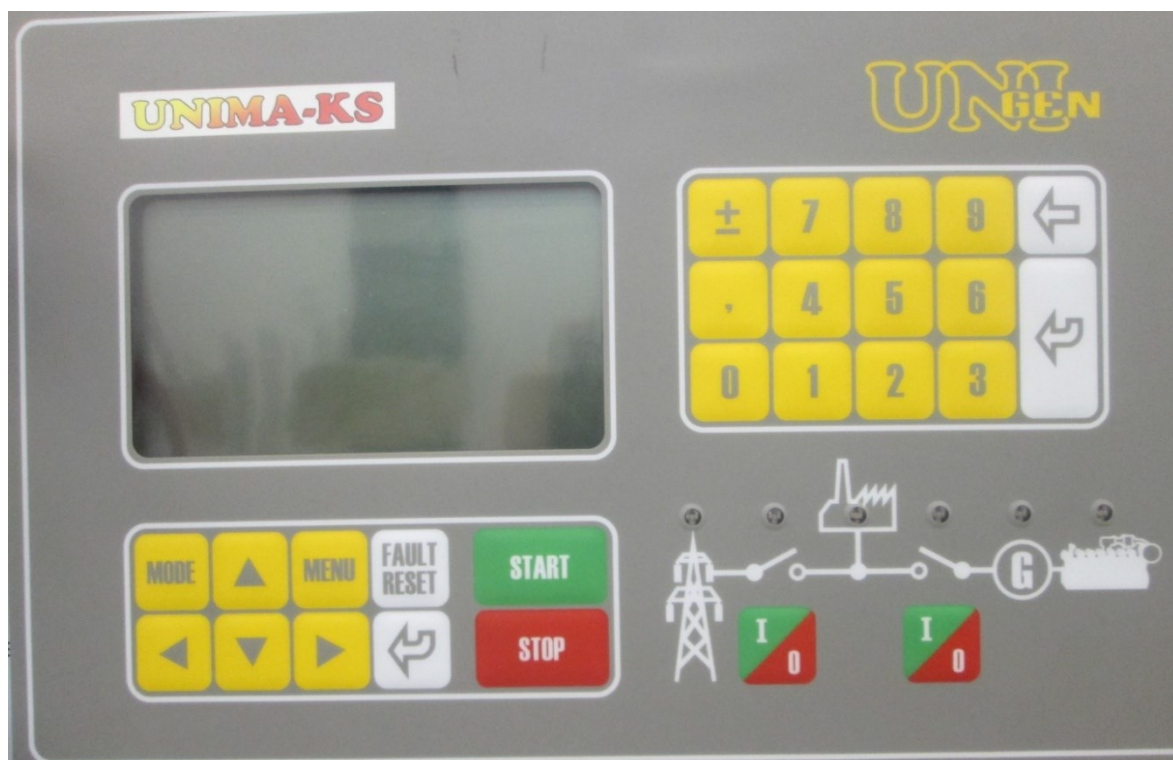
Amplituda signálu je určena délkou každého pulzu, čím déle trvá pulz, tím větší bude amplituda napětí podle obrázku Obr. 14. Obrázek znázorňuje schéma trojfázového zapojení a sdružené hodnoty.



Obr. 14. Schéma a průběhy pro pwm

## 4 Systém chránění

Systém ochran realizované praktické úlohy je z velké části poskytnut systémem UniGEN, ale z části také 16-ti Ampérovými jističi v zásuvkách, ty jsou aktivní jen při zapnutí stolu. V rozhraní UniGENu lze nastavit síťové integrované ochrany, nastavení se dá provést buď přímo na ovládacím pultu, nebo pomocí servisního softwaru. Na ovládacím panelu lze nastavení ochran zamknout, to zamezí ukládání změn ze servisního softwaru. Zajišťuje také kompletní ovládání pro kogenerační jednotky.



Obr. 15. Ovládací panel UniGENu

První ochranou obsaženou v UniGENu je přepět'ová ochrana ( $\uparrow V$ ), aktivuje se při překročení efektivní hodnoty napětí nad povolenou mez. Tato ochrana chrání zařízení před poškozením, které by mohlo vzniknout důsledkem přepětí.

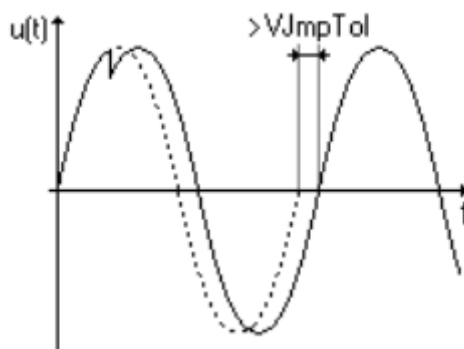
Následuje podpět'ová ochrana ( $\downarrow V$ ), ta se aktivuje při poklesu napětí pod definovanou mez. Ochrana chrání zařízení před poškozením, které by mohlo vzniknout působením nižší hodnoty napětí, týká se to především motorů a měničů.

Dále ochrana proti napět'ové nesymetrii ( $\downarrow V$ ), ta se spouští při větším rozdílu napětí mezi libovolnými dvěma fázemi nad povolenou mez.

Nadfrekvenční ochrana ( $\uparrow Hz$ ), aktivuje se při nárůstu frekvence nad povolenou mez.

Podfrekvenční ochrana ( $\downarrow Hz$ ), aktivuje se při poklesu frekvence pod povolenou mez.

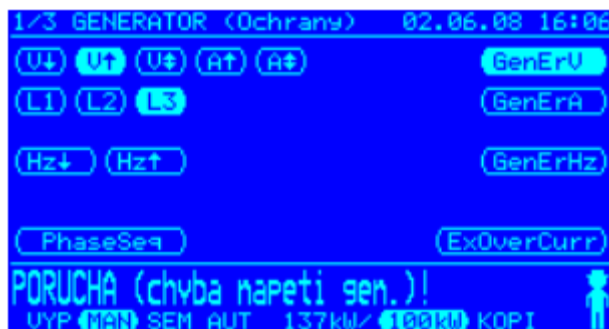
Ochrana vektorového skoku (VJmp), aktivuje se, když dojde k vektorovému skoku s úhlem větší než parametrově zadaný úhel.



Obr. 16. Znárodnění vektorového skoku

Ochrana sledu fází (PhaseSeq), aktivuje se, když je rozdíl mezi fázemi jiný než  $120^\circ$  s jistou uživatelem definovanou tolerancí.

Porušení kterékolik z výše uvedených ochranných podmínek povede k odpojení od sítě, popřípadě zamezí přifázování pokud ještě není připojen.



Obr. 17. Snímek z UniGENU pro generátor

Při rozblíknutí příslušné kontrolky zařízení indikuje překročení varovné meze, trvalé rozsvícení pak překročení havarijní meze. Příslušné ochrany jsou označeny v závorkách v seznamu výše, například na obrázku je zaznačeno překročení přepětové ochrany ve třetí fázi.

Ochrana sítě je provedena totožně, jako je tomu u generátoru.

## 5 Praktická část

Měření bylo postavené na úloze z předmětu Elektrárny, a to konkrétně na laboratorní úloze měření benzínového generátoru GESAN 2,2kW. Moje část spočívala v měření a následné analýze harmonických složek a zjištění jejich zkreslení. Měření probíhalo na soustavě asynchronního motoru 2,2kW a synchronního generátoru 230/400V, 2kW. Měření probíhalo v učebně EB015, na stole č.2. Součástí pracovního stolu byl frekvenční měnič ACS355, který realizoval napájení motoru. Dále jednotka UniGEN, která zajišťovala ovládání, fázování i ochrany. Generátor byl buzený regulátorem napětí UVR, který byl taktéž součástí zařízení stolu. Pro úspěšné připojení na síť se se generátor musí přifázovat, k tomu je třeba zajistit základní podmínky.

- Stejně napětí sítě i generátoru
- Stejně frekvence sítě i generátoru
- Minimální fázový posun mezi napětím sítě a napětím generátoru, ideálně nulový
- Dodržet stejný sled fází sítě a generátoru

UniGEN umožňuje fázování automatické i manuální.

### 5.1 Provozní parametry

pro synchronní generátor



Obr. 18. Štítek generátoru STC-2

$$P = 2\text{kW}$$

$$S = 2,5\text{kW}$$

$$n = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$U = 230/400$$

$$I_n = 3,6\text{A}$$

$$U_b = 40\text{V}$$



$$I_b = 1,8A$$

pro asynchronní motor



Obr. 19. Štítek motoru M2BA 100 LC 4

zapojení do Y při 50Hz

$$U_n = 400V$$

$$n = 1450 \text{ min}^{-1}$$

$$P = 2,2kW$$

$$I_n = 4,7A$$

$$\cos\varphi = 0,78$$

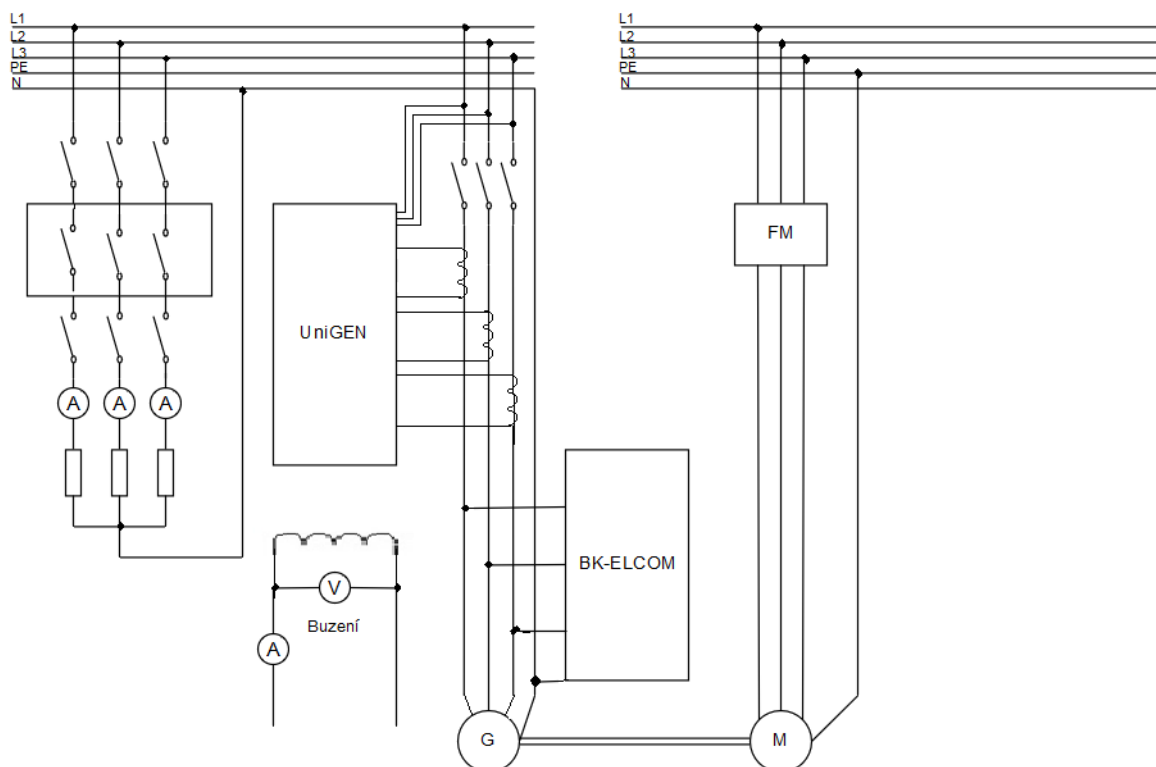


Obr. 20. Fotodokumentace soustrojí motor-generátor

## 5.2 Postup měření

Obvod zapojíme dle schématu, zapneme pracovní stůl a na ovládacím panelu UniGENu nastavíme automatické přifázování. Po přifázování změříme časové průběhy každé fáze pro různé zatížení soustavy pomocí programu BK-ELCOM, ze kterého následně vyexportujeme časové průběhy jednotlivých měření. Analýzu signálů provedeme pomocí programu plotXY. Tento program poskytne spektrální analýzu, i hodnoty jednotlivých harmonických složek, ze kterých se na závěr provede vyhodnocení.

## 5.3 Schéma

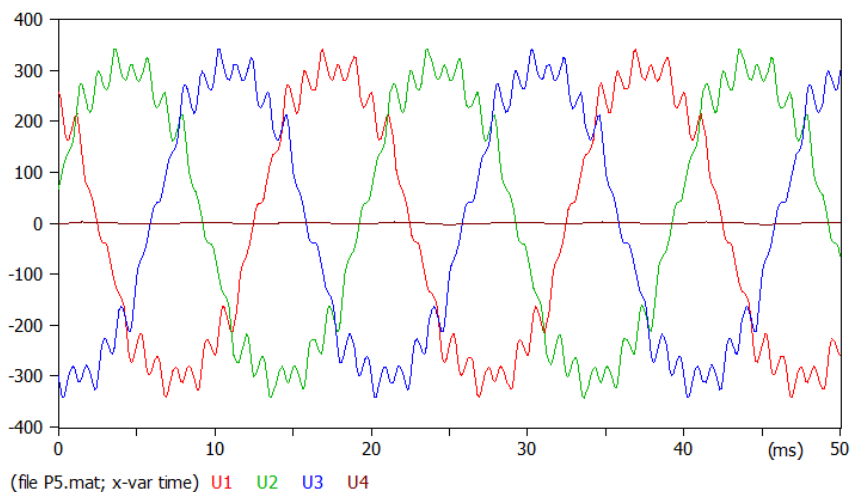


obr. 21. Schéma zapojení

## 5.4 Vyhodnocení

### Měření naprázdno

Ukázka průběhu napětí tří fází a vodiče N:



Obr. 22. Průběhy naprázdno

U1 = průběh napětí fáze 1

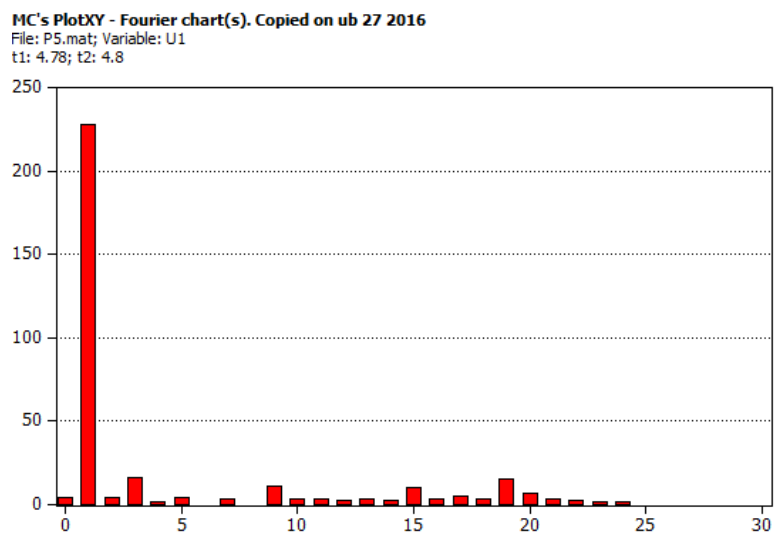
U2 = průběh napětí fáze 2

U3 = průběh napětí fáze 3

U4 = Průběh napětí vodiče N

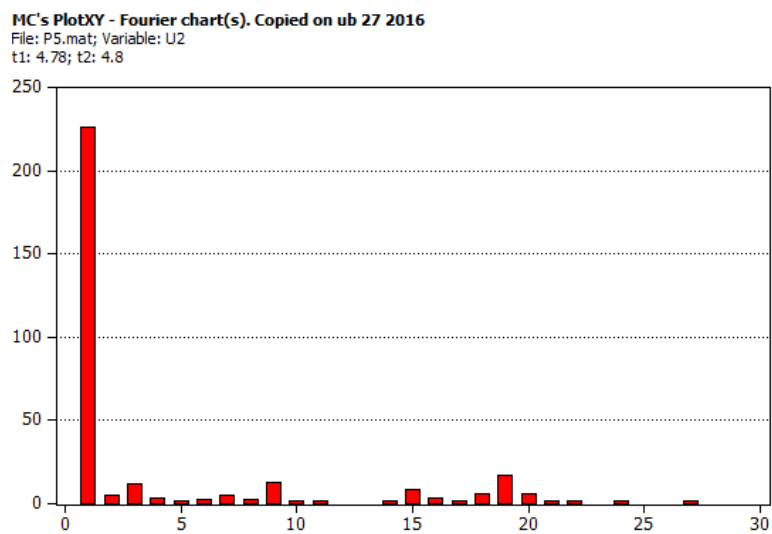
Spektrální rozklad měření naprázdno:

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 1:



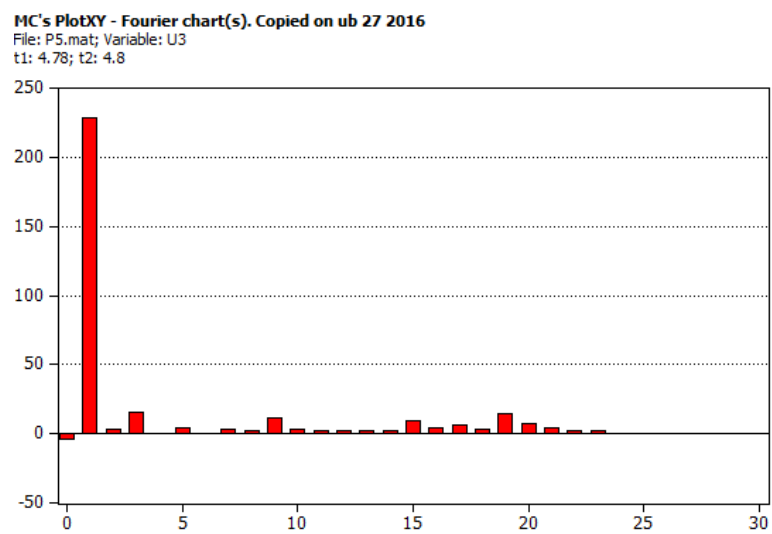
Obr. 23. Harmonické ve fázi 1

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 2:



Obr. 24. Harmonické ve fázi 2

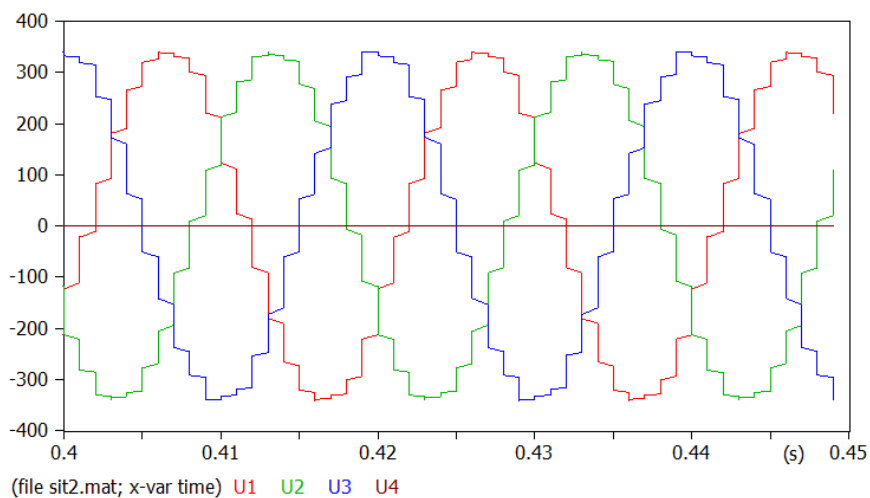
Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 3:



Obr. 25. Harmonické ve fázi 3

Měření po připojení na síť:

Ukázka průběhu napětí tří fází a vodiče N:



Obr. 26. Průběhy sítě

U1 = průběh napětí fáze 1

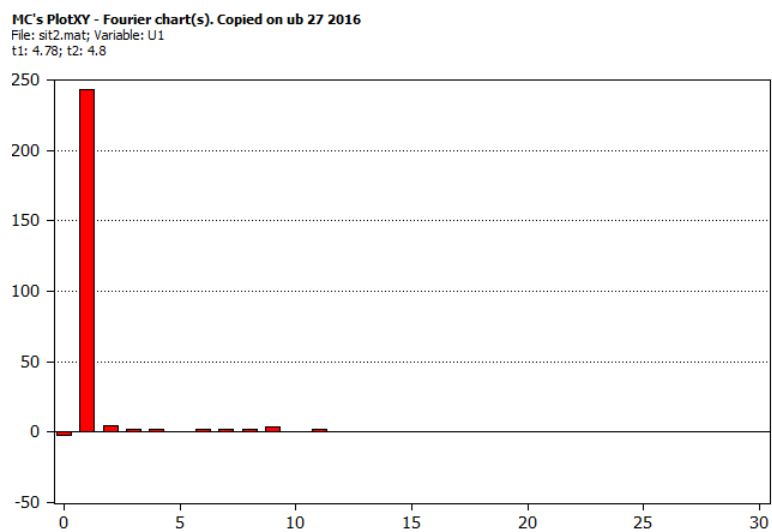
U2 = průběh napětí fáze 2

U3 = průběh napětí fáze 3

U4 = Průběh napětí vodiče N

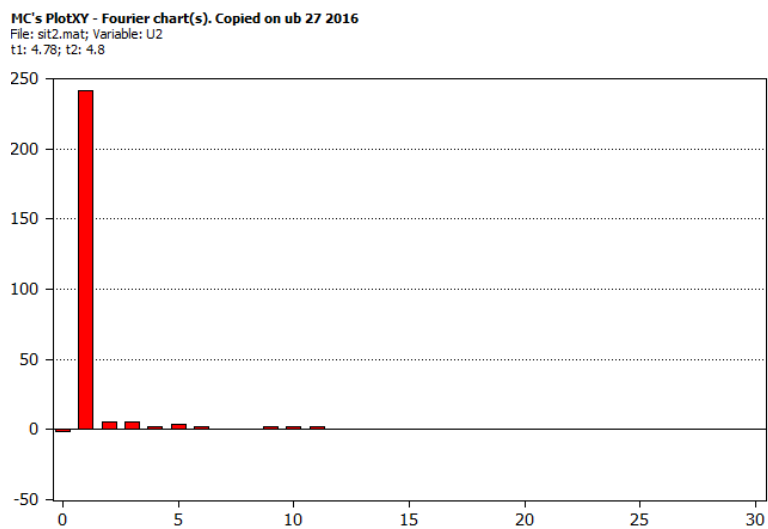
spektrální rozklad po připojení na síť:

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 1:



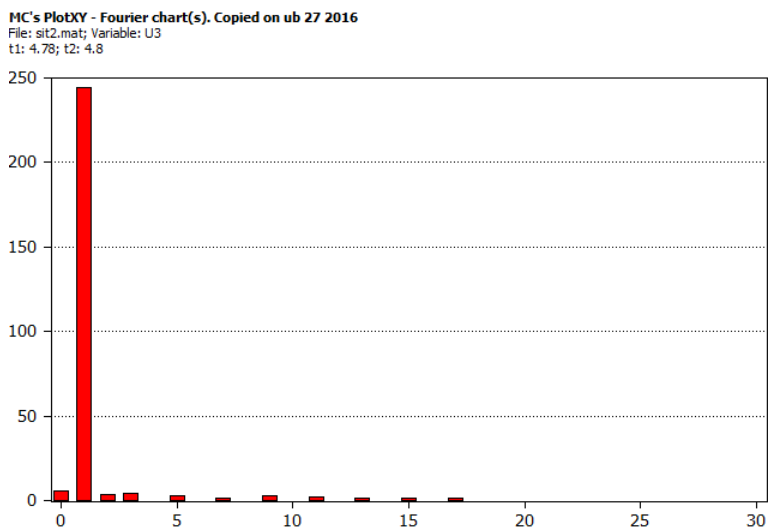
Obr. 27. Harmonické ve fázi 1

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 2:



Obr. 28. Harmonické ve fázi 2

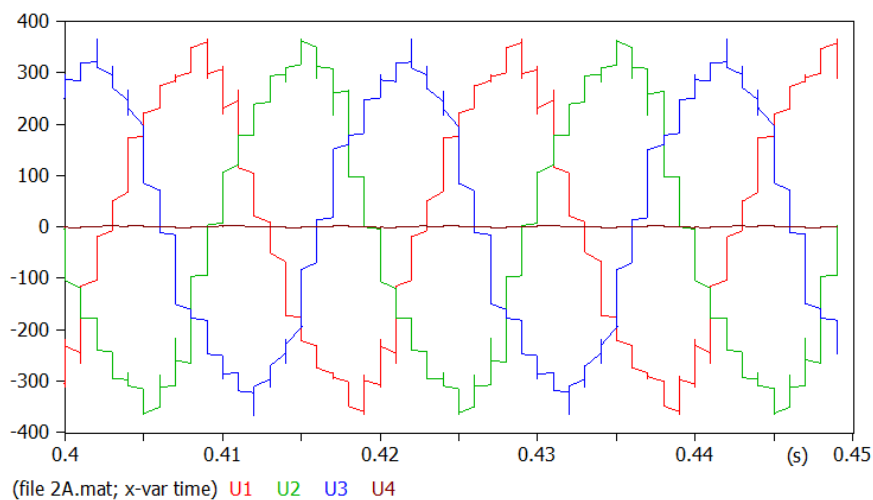
Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 3:



Obr. 29. Harmonické ve fázi 3

měření při zatížení 2A:

Ukázka průběhu napětí tří fází a vodiče N:



Obr. 30. Průběhy 2A

U1 = průběh napětí fáze 1

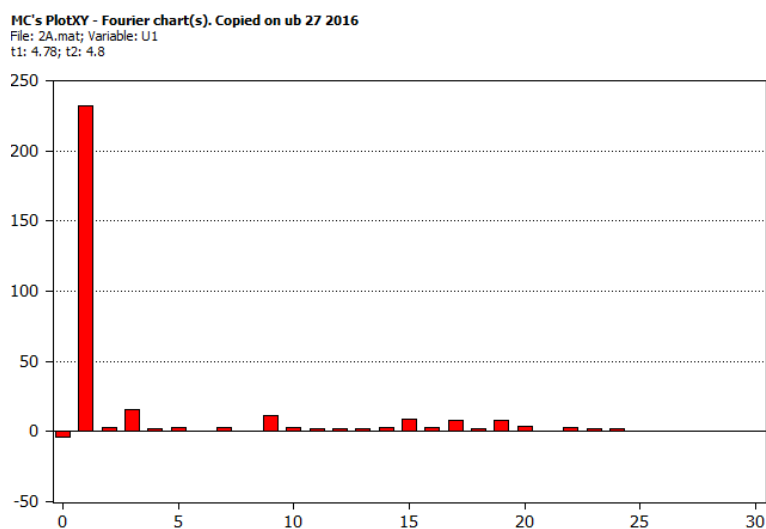
U2 = průběh napětí fáze 2

U3 = průběh napětí fáze 3

U4 = Průběh napětí vodiče N

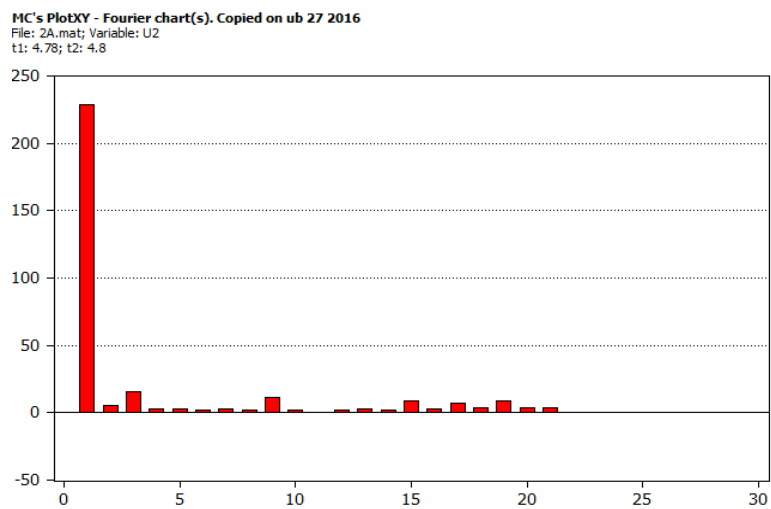
spektrální rozklad po zatížení 2A:

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 1:



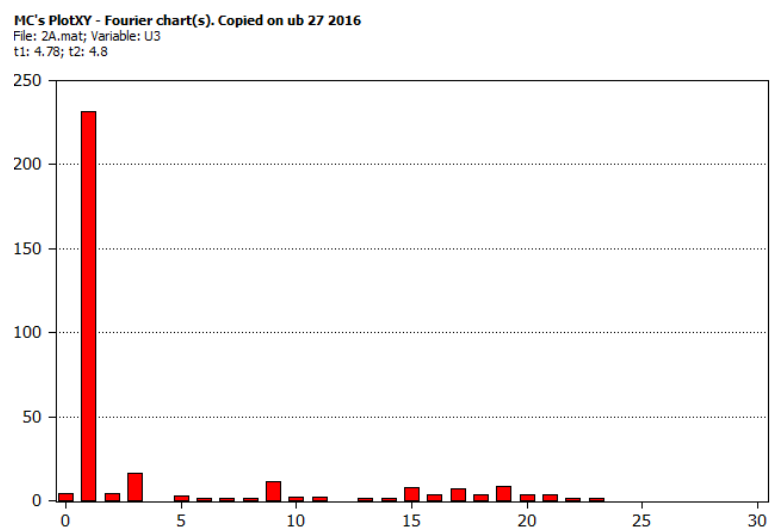
Obr. 31. Harmonické ve fázi 1

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 2:



Obr. 32 Harmonické ve fázi 2

Zobrazení amplitud harmonických složek fáze 3:



Obr. 33 Harmonické ve fázi 3



tab. 1 – hodnoty harmonických složek naprázdno

**Tab. 1. Vyhodnocení naprázdno**

č. harmonické	U podle normy	první fáze	druhá fáze	třetí fáze
	U [V]	U [V]	U [V]	U [V]
1	-	322,01	319,59	323,1
2	4,6	6,01	6,28	4,54
3	11,5	22,67	16,61	21,87
4	2,3	1,34	3,97	1,19
5	13,8	5,52	2,17	5,98
6	1,15	0,95	3,62	0,5
7	11,5	4,42	6,84	3,91
8	1,15	0,56	3,04	1,95
9	3,45	14,73	17,22	15,96
10	1,15	4,34	1,81	3,14
11	8,05	4,24	1,25	1,7
12	1,15	2,55	0,57	1,97
13	6,9	3,9	0,34	2,78
14	1,15	3,41	1,91	2,83
15	1,15	13,38	11,4	12,1
16	1,15	3,63	3,71	4,6
17	4,6	7,16	1,39	7,85
18	1,15	4,04	7,41	3,15
19	3,45	20,9	23,19	20,2
20	1,15	9,1	7,39	9,69
21	1,15	3,81	2,27	4,84
22	1,15	2,56	2,01	2,81
23	1,15	2,12	1,04	2,28
24	3,45	1,21	1,34	1,62
25	-	1,12	1,03	1,37
26	-	0,91	1,07	1,16
27	-	1,19	1,39	0,71
28	-	0,67	0,2	1,56
29	-	0,4	0,53	1,25
30	-	0,77	0,024	1,21
THD [%]		12,81	12,2	12,5

tab. 2 – hodnoty harmonických složek pro připojení na síť

**Tab. 2. Vyhodnocení síť**

č. harmonické	U podle normy	první fáze	druhá fáze	třetí fáze
	U [V]	U [V]	U [V]	U [V]
1	-	342,82	341,39	345,48
2	4,6	5,79	6,44	4,44
3	11,5	2,09	6,5	5,1
4	2,3	2,32	2,27	0,68
5	13,8	0,85	4,21	3,56
6	1,15	2,02	1,63	0,25
7	11,5	1,74	0,48	1,28
8	1,15	1,68	1,22	0,61
9	3,45	4,81	1,69	3,04
10	1,15	0,38	1,68	0,21
11	8,05	1,91	2,64	2,32
12	1,15	0,62	0,59	0,69
13	6,9	0,56	0,36	1,08
14	1,15	0,55	0,88	0,79
15	1,15	1,5	1,13	1,54
16	1,15	0,53	0,76	0,21
17	4,6	0,85	0,67	1,08
18	1,15	0,65	0,79	0,4
19	3,45	0,92	0,68	0,28
20	1,15	0,22	0,72	0,17
21	1,15	0,14	0,88	0,24
22	1,15	0,41	0,47	0,19
23	1,15	0,39	0,67	0,16
24	3,45	0,39	0,36	0,13
25	-	0,23	0,44	0,07
26	-	0,48	0,36	0,12
27	-	0,28	0,29	0,31
28	-	0,33	0,37	0,1
29	-	0,21	0,42	0,17
30	-	0,51	0,46	0,2
THD [%]		2,73	3,36	2,62

tab. 3 – hodnoty harmonických složek zatížení 2A

Tab. 3. Vyhodnocení 2A

č. harmonické	U podle normy	první fáze	druhá fáze	třetí fáze
	U [V]	U [V]	U [V]	U [V]
1	-	327,56	323,17	326,74
2	4,6	3,68	6,84	5,65
3	11,5	21,05	21,01	22,87
4	2,3	1,9	3,38	0,93
5	13,8	3,1	3,81	3,58
6	1,15	1,51	2,47	1,17
7	11,5	2,88	4,01	1,49
8	1,15	1,43	2,6	1,96
9	3,45	14,92	15,89	15,62
10	1,15	3,4	2,69	2,71
11	8,05	1,9	0,94	2,24
12	1,15	2,07	1,97	0,76
13	6,9	1,65	2,81	1,41
14	1,15	3,5	2,61	1,73
15	1,15	12,1	11,47	10,29
16	1,15	3,67	3,62	4,67
17	4,6	10,67	9,58	10
18	1,15	2,32	4,96	4,76
19	3,45	10,31	11,5	11,6
20	1,15	4,83	5,18	4,81
21	1,15	0,66	5,12	4,4
22	1,15	3,43	0,89	1,8
23	1,15	1,87	0,78	1,3
24	3,45	1,83	0,15	0,72
25	-	1,54	0,28	0,67
26	-	1,24	0,15	0,61
27	-	1,58	0,38	0,85
28	-	0,59	0,52	0,6
29	-	0,72	0,23	0,56
30	-	0,65	0,55	0,31
THD [%]		10,46	11,03	10,93

Příklad výpočtu

$$THD = 100 \cdot \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_{30}^2}{U_1^2 - U_2^2 - \dots - U_{30}^2}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{3,68^2 + 21,05^2 + \dots + 0,65^2}{327,56^2 - 3,68^2 - \dots - 0,65^2}} = 10,46\%$$

## Závěr

Tato práce měla za úkol prozkoumat problematiku připojování malých zdrojů energie k síti. V první části jsou probrány vybrané obnovitelné zdroje, jejich popis, princip, využití i samotné připojování. Obsaženy jsou akorát sluneční a větrné elektrárny, protože vliv ostatních na síť je buď minimální, nebo nesplňují kritéria malého zdroje, např. vodní elektrárny. Voda jako pohonná látka však nebyla opomenuta a její využití v turbínách je pokryto v kapitole Generátory. I přes to, že solární elektrárny jsou v dnešní době pořád poměrně drahá záležitost, státní dotace a různé programy firem umožňují neustálý rozvoj, který jí zajišťuje budoucnost na trhu, stejně jako výzkum zvyšující její efektivitu. Návrh kupní ceny je proměnlivá, záleží na umístění, druhu i tarifu, pohybuje se však od 10 do dvaceti let, což z ní dělá dlouhodobou a nejistou investici. V případě větrných elektráren je využití efektivnější, avšak většinou pro firmy a ne pro soukromé uživatele. Jejich nevýhoda ale spočívá ve velké nestálosti větru a tím i výkonu, také i ve velkém zkreslení výstupního napětí.

Druhá kapitola se věnuje generátorům, zpracovány jsou tu asynchronní i synchronní stroje. V samotné výrobě energie ve velké většině převládají synchronní generátory nad asynchronními. V obou částech jsou uvedeny popisy, princip i náhradní schémata. Samotné připojování je řešeno fázováním popsaném stručně v praktické části.

Třetí kapitola pojednává o měničích, jejich schopnost měnit potřebné veličiny jako napětí, proud nebo kmitočet na jiné, je dělá neodmyslitelnou součástí zdrojů. Využívány jsou například pro řízení stroje, nebo i pro úpravu výstupních veličin.

Čtvrtá kapitola pak zmiňuje systém ochrání, který byl využit pro měřicí úlohu. Většina ochrání byla integrována do systému UniGEN, proto je kapitola spíše stručnějším popisem konkrétních ochrání a jejich ovládání, popřípadě detekování v rámci zmiňovaného systému.

V poslední části se práce věnuje samotné praktické úloze, bylo zjištěno, že při chodu naprázdno i při zatížení generátor nesplňuje normu na maximální zkreslení harmonických složek THD. U chodu naprázdno THD tvoří průměrně 12,5%, u zatížení dvěma Ampéry pak 10,8%. Maximální povolená hodnota je 8%, jediný chod, který toto splňuje, je po připojení na síť a to se zkreslením 3%.

## Literatura

- [1] CHMELÍK, Karel. *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*. VŠB-TU Ostrava 2001. ISBN 80-7078-857-7.
- [2] MĚŘIČKA, Jiří, Václav HAMATA a Petr VOŽENÍLEK. *Elektrické stroje*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02109-2.
- [3] Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika – Teorie i praxe využití solární energie*, Vydavatelství ILSA, 2009.
- [4] Nieslanik, T.: *Analýza kvality napětí z obnovitelných zdrojů*, Bakalářská práce, Ostrava, 2010.
- [5] *Základy výkonové elektroniky*, VŠB-TU Ostrava 2004, Učební texty.
- [6] ČSN 33 0122: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Český normalizační institut, 2000
- [7] STÝKALA, Vítězslav. *fei1.vsb.cz* [online]. [cit. 2016-6-25]. Dostupný na [www: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FS/prednasky/sylab\\_TRANS1\\_bc%20FS.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_TRANS1_bc%20FS.pdf)
- [8] *Princip - Frekvenční měnič s pulzně šířkovou modulací* [online]. *Pohonnatechnika.cz* 2007-2016 [cit. 2016-6-25]. Dostupné z : <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/princip-frekvencniho-menice/princip-pwm-menice>
- [9] SOKOL, Zdeněk. *www.spse.dobruska.cz* [online]. [cit. 2016-4-25]. Dostupný na [www: http://www.spse.dobruska.cz/download/sokol/](http://www.spse.dobruska.cz/download/sokol/)
- [10] Běloušek, Radim. *Identifikace parametrů náhradního zapojení asynchronního motoru*, Bakalářská práce, VUT, Brno 2009
- [11] Mravec Rudolf; *Elektrické stroje a přístroje*, 1. *Elektrické stroje*; SNTL 1982

## **Přílohy**

Tabulky průběhů praktické části jsou přiloženy na cd.