



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# IMPLEMENTACE POSTUPŮ A VYHODNOCENÍ DAT ZE ZKOUŠEK SOULADU VÝROBNÍCH MODULŮ KATEGORIE A1 A A2

METHODOLOGY AND DATA EVALUATION OF CONFORMANCE TESTS OF A1 AND A2 POWER GENERATING  
MODULES

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Bláha

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Morávek, Ph.D.

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Michal Bláha

**ID:** 203195

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Implementace postupů a vyhodnocení dat ze zkoušek souladu výrobních modulů kategorie A1 a A2**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Rešerše aktuálních požadavků pro zkoušky souladu výrobních modulů
2. Popis uspořádání pracoviště a postupů pro provedení zkoušek
3. Tvorba skriptů v program Matlab pro analýzu a vyhodnocení naměřených dat
4. Vytvoření výstupního protokolu/technické zprávy s výsledným posouzením souladu testovaného výrobního modulu

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 24.5.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Morávek, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Úvodní část diplomové práce obsahuje základní poznatky problematiky výrobních modulů a popis jednotlivých kategorií podle nařízení komise EU 2016/631, které se připojují do elektrizační soustavy v ČR. V souvislosti s tímto rozřazením a se zadáním této práce, jsou dále popsány jednotlivá pravidla pro připojování a provozování výrobních modulů kategorie A1 a A2. Práce se dále zabývá ověřováním souladu a shody výrobních modulů s platnou legislativou. Zásady ověřování výrobních jednotek se řídí nově navrhovanou normou EN 50 549-10. Přínos práce spočívá zejména v přípravě na vytvoření certifikovaného pracoviště, které se bude zabývat zakázkovým měřením výrobních jednotek. Tato příprava nevychází pouze z vytvořeného testovacího manuálu, ale z dalších dvou důležitých částí, jako vytvoření vyhodnocovacích skriptů a výstupního protokolu. Skripty budou sloužit pro zpracování naměřených dat u jednotlivých zkoušek a poskytnou vhodný grafický výstup jednotky, který bude umístěn do výstupního protokolu. Tento protokol tak bude komplexním oficiálním výstupem měření zkoušené jednotky.

## **Klíčová slova**

Výrobní modul, Synchronní a nesynchronní VM, Výrobní energie, Pravidla provozování distribučních soustav, Provozovatel distribuční soustavy, RfG, Flicker, RoCoF, Nařízení komise EU 2016/631, EN 50 549-10, Výstupní protokol, Střídač.

## **Abstract**

The introductory part of the diploma thesis contains basic knowledge of the issue of Power Generating Module (particularly local) and a description of individual categories according to the EU Commission Regulation 2016/631, which are connected to the electricity system in the Czechia. In connection with this classification and the assignment of this work, the individual rules for connecting and operating Power Generating Module of categories A1 and A2 are further described. The work also deals with verifying the compliance and conformity of production modules with applicable legislation. The principles of verification of production units follow the newly proposed standard EN 50 549-10. The benefit of the work lies mainly in the preparation for the creation of a certified workplace, which will deal with custom measurement of production units. This preparation is based not only on the created test manual, but on two other important parts, such as the creation of evaluation scripts and the output protocol. The scripts will be used to process the measured data for individual tests and will provide a suitable graphical output of the unit, which will be placed in the output protocol. This protocol will thus be a comprehensive official measurement output of the tested unit.

## **Keywords**

Power Generating Module, Synchronous and asynchronous PGM, Generation Unit, Distribution System Operating Rules, Distribution System Operator, RfG, Flicker, RoCoF. EU Commission Regulation 2016/631, EN 50 549-10, Output protocol, Inverter.

## **Bibliografická citace**

BLÁHA, Michal. *Implementace postupů a vyhodnocení dat ze zkoušek souladu výrobních modulů kategorie A1 a A2* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142395>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jan Morávek

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Michal Bláha</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>203195</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Diplomová práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2021/22</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Implementace postupů a vyhodnocení dat ze zkoušek souladu výrobních modulů kategorie A1 a A2</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 17. prosince 2021

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Morávkovi Ph.D. za metodické, odborné a další cenné rady při zpracování diplomové práce. Rovněž děkuji i pánům Ing. Martinu Vojtkovi Ph.D. a Ing. Michalu Vránovi za pomoc a za poskytnutí důležitých materiálů.

V Brně dne: 20. prosince 2021

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>2. SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>9</b>
<b>3. SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2. ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA ČR</b> .....	<b>12</b>
<b>3. ZPĚTNÉ VLIVY OZE NA ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVU</b> .....	<b>17</b>
3.1 ZMĚNA NAPĚTÍ V MÍSTĚ PŘIPOJENÍ .....	17
3.2 FLIKR .....	21
3.3 PROUDY HARMONICKÝCH A MEZIHARMONICKÝCH .....	24
3.4 OVLIVNĚNÍ HDO .....	25
<b>4. VÝROBNÍ MODUL</b> .....	<b>27</b>
4.1 SYNCHRONNÍ A NESYNCHRONNÍ VM.....	27
4.2 DĚLENÍ VM PODLE RFG.....	28
<b>5. PRAVIDLA PRO PROVOZOVÁNÍ VM DO ES</b> .....	<b>31</b>
5.1 PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ .....	31
5.1.1 Zvýšení napětí .....	31
5.1.2 Nesymetrie napětí v sítích nn .....	32
5.1.3 Změny napětí při spínání VM.....	32
5.2 OCHRANY VM .....	33
5.2.1 Nastavení ochran pro VM kategorie A1.....	33
5.2.2 Nastavení ochran pro VM kategorie A2.....	35
5.3 CHOVÁNÍ VM V ES.....	36
5.3.1 Článek RfG 13.1a – Frekvenční rozsahy a časové limity pro VM.....	36
5.3.2 Článek Rfg 13.1b – Hodnota rychlosti změny frekvence.....	36
5.3.3 Článek 13.2 – Omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci.....	37
5.3.4 Článek 13.4 a 13.5 – Dovolené snížení činného výkonu při klesající frekvenci soustavy ..	38
5.3.5 Článek 13.6 – Logické rozhraní pro přerušování dodávky činného výkonu .....	39
5.3.6 Článek 13.7 – Podmínky pro automatické připojení k soustavě .....	39
5.3.7 Článek 14.2 – Rozhraní pro snížení činného výkonu .....	40
5.3.8 Článek 14.3 – Překlenutí poklesu napětí.....	40
5.3.9 Článek 14.4 – Opětovné připojení po poruše.....	42
5.3.10 Statické řízení napětí .....	42
5.3.11 Frekvenční odezva činného výkonu u akumulčních zařízení .....	45
<b>6. OVĚŘOVÁNÍ SOULADU VM S PPDS – PŘÍLOHA 4</b> .....	<b>47</b>
6.1 VÝKONOVÉ SPECIFIKACE VM .....	51
6.2 TESTOVÁNÍ PROVOZNÍHO ROZSAHU VM .....	51
6.2.1 Testování frekvence.....	51
6.2.2 Ověření rozsahu napětí.....	53
6.3 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI VŮČI ZMĚNÁM FREKVENCE.....	54
6.4 PŘEKLENUTÍ PORUCHY .....	55
6.5 ODEZVA ČINNÉHO VÝKONU NA ODCHYLKU FREKVENCE .....	57
6.5.1 Nadfrekvenční oblast .....	57
6.5.2 Podfrekvence u systému s akumulací energie .....	60
6.6 OVĚŘENÍ REGULACE JALOVÉHO VÝKONU VM.....	62
6.6.1 Ověření regulace jalového výkonu u VM při jmenovité hodnotě napětí .....	62
6.6.2 Ověření schopnosti regulace jalového výkonu u VM při proměnlivé hodnotě napětí. ....	63
6.6.3 Ověření schopnosti řízení napětí u VM - $Q(U)$ funkce.....	64
6.7 TESTOVÁNÍ OCHRAN .....	64
6.7.1 Napěťová a frekvenční ochrana .....	65
6.7.2 Napěťová ochrana 1. stupně .....	69

6.7.3	<i>Ochrana RoCoF</i> .....	70
6.8	PŘIPOJENÍ A SPUŠTĚNÍ VM.....	72
6.9	REAKCE ČINNÉHO VÝKONU VM NA ZMĚNU NASTAVENÍ .....	74
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>77</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	<b>79</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>82</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>85</b>



## 2. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Původní podoba ES, převzato z [4].	13
Obrázek 2.2 ES založená na principu Smart Grids, převzato z [4].	16
Obrázek 3.1 Vliv zátěže a OZE na úbytek napětí v síti, převzato a upraveno z [13].	18
Obrázek 3.2 Ukázka problematiky řízení napětí u složitějších ES, převzato a upraveno z [13].	18
Obrázek 3.3 Napěťový profil modelové radiální distribuční sítě napájené z rozvodny 110 kV s rozptýlenou výrobnou na konci sítě s měnicí se dodávkou jalového výkonu. Induktivní (oranžově) až po kapacitní (červeně), převzato z [10].	20
Obrázek 3.4 Schéma zapojení a principu regulátoru toku výkonu, převzato z [18].	23
Obrázek 5.1 Frekvenční odezva činného výkonu u nesynchronního VM při nadfrekvenci, převzato a upraveno z [32].	37
Obrázek 5.2 Maximální dovolené snížení činného výkonu s klesající frekvencí, převzato a upraveno z [32] a [33].	38
Obrázek 5.3 Časový průběh napětí v místě připojení nesynchronního zdroje, převzato z [11].	41
Obrázek 5.4 Časový průběh napětí v místě připojení synchronního zdroje, převzato z [11].	42
Obrázek 5.5 Požadavky na regulaci jalového výkonu při jmenovitém napětí na hladině nn, převzato z [11].	43
Obrázek 5.6 Požadavky na regulaci jalového výkonu při napětí odlišném od jmenovitého, převzato z [11].	43
Obrázek 5.7 Požadavky na regulaci jalového výkonu na hladině vn, převzato z [11].	44
Obrázek 5.8 Ukázková křivka Q(U) regulace, převzato a upraveno [35].	44
Obrázek 5.9 Ukázková křivka P(U) regulace s typicky používanými hodnotami, převzato z [35].	45
Obrázek 5.10 Frekvenční odezva činného výkonu při detekci podfrekvencí u akumulárního zařízení, převzato z [11].	46
Obrázek 6.1 Schéma zapojení laboratorního pracoviště pro testování FV střídačů.	48
Obrázek 6.2 Zjednodušené schéma využití vytvořených dokumentů.	50
Obrázek 6.3 Ukázkový průběh frekvence pro ověření odolnosti zařízení vůči poruchám v síti, převzato z [36].	54
Obrázek 6.4 Vyobrazení dovolených odchylek průběhu podpětí při vzniku poruchy, převzato a upraveno [36].	56
Obrázek 6.5 Vzorové schéma zapojení pro ověřování překlenutí poruchy, převzato a upraveno z [36].	57
Obrázek 6.6 Ukázková vzorová testovací sekvence, převzato z [36].	59
Obrázek 6.7 Předpokládaný průběh činného výkonu v souvislosti s rostoucí frekvencí při nastavení deaktivací prahové frekvence $f_{stop}$ , převzato z [36].	59
Obrázek 6.8 Ukázková doba odezvy střídače a počátku pro měření jednodominutových průměrných hodnot činného výkonu, převzato a upraveno z [36].	60
Obrázek 6.9 Předpokládaný průběh činného výkonu v souvislosti s klesající frekvencí u VM s akumulárním systémem, převzato z [36].	62
Obrázek 6.10 Vzorová ukázková testovací rampy pro měření napěťových a frekvenčních ochranných, převzato a upraveno z [36].	65
Obrázek 6.11 Vzorová ukázková impulsní rampy pro měření napěťových a frekvenčních ochranných. Symbol > představuje 1 stupeň ochranných, zatímco symbol >> představuje 2 stupeň ochranných, převzato a upraveno z [36].	66
Obrázek 6.12 Vzorová ukázková skokového signálu sloužícího k ověření doby spuštění, provozu a vybavení ochranných, převzato a upraveno z [36].	67
Obrázek 6.13 Vzorová ukázková signálu nečinnosti sloužícího k ověření jedné doby resetování a jedné k ověření správného provozu ochranných (nevybavení), převzato a upraveno z [36].	68
Obrázek 6.14 Testovací signály (celkem tři) pro ověření správnosti napěťové ochranných s dobou měření 10 minut, převzato a upraveno z [36].	70
Obrázek 6.15 Ukázková sekvence frekvenčních skoků sloužících k ověření přesnosti ochranných ROCOF, převzato a upraveno z [36].	71
Obrázek 6.16 Ukázková chybně převedených/poškozených dat z HIOKI - 3390.	72
Obrázek 6.17 Ukázková průběhu testování přesnosti ustálení činného výkonu VM, převzato a upraveno z [36].	74
Obrázek 6.18 Ukázková testování rychlosti změny činného výkonu VM pro krok od 0,9 p.j. po 0,1 p.j., převzato a upraveno z [36].	75
Obrázek 6.19 Ukázková testování rychlosti změny činného výkonu pro krok od 0,7 p.j. po 0,5 p.j., převzato a upraveno z [36].	75

### 3. SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Limitní hodnoty krátkodobého a dlouhodobého vjemu flikru [15].....	22
Tabulka 3.2 Vztažné proudy harmonických pro výpočet maximální emise výroben připojených do sítí nn, převzato z [3].....	25
Tabulka 3.3 Limity pro minimální přípustné hodnoty napětí signálu HDO, převzato z [21] .....	26
Tabulka 3.4 Limitní hodnoty výkonu pro posouzení vlivu VM na systém HDO, převzato z [21] .....	26
Tabulka 4.1 Limit prahových hodnot pro výrobní moduly typu B, C a D, převzato z [29].....	28
Tabulka 4.2 Přehled požadavků a rozdělení VM pro ČR [11].....	29
Tabulka 4.3 Přehled RfG podmínek pro VM kategorie A1 a A2 [11].....	30
Tabulka 5.1 Dovolené hodnoty velikosti a změny napětí v jednotlivých napěťových hladinách. ....	31
Tabulka 5.2 Typické hodnoty činitele největšího spínacího rázu, vytvořeno z [11].....	33
Tabulka 5.3 Typ ochran a jejich nastavení VM kategorie A1, převzato z [11] .....	34
Tabulka 5.4 Typ ochran a jejich nastavení pro VM kategorie A2, převzato z [11] .....	35
Tabulka 5.5 Minimální doba provozu VM kategorie A1, A2, B1, B2, C a D v ČR, převzato z [11] .....	36
Tabulka 5.6 Parametry FRT křivky pro nesynchronní VM kategorie A1 a A2, převzato z [11].....	40
Tabulka 5.7 Parametry FRT křivky pro synchronní VM kategorie A1 a A2, převzato z [11].....	41
Tabulka 6.1 Přehled použitého vybavení.....	49
Tabulka 6.2 Základní parametry testovaných střídačů.....	49
Tabulka 6.3 Příklad nastavení časového průběhu frekvence pro ověření odolnosti zařízení vůči poruchám v síti, převzato a upraveno z [36]. ....	55
Tabulka 6.4 Přehled nastavení pro nadfrekvenční oblast. Tyto parametry slouží pro ověření shody s normami [32] a [33], převzato a upraveno z [36]. ....	58
Tabulka 6.5 Dovolené rozsahy pro vytváření nadfrekvenční testovací sekvence a zvolené hodnoty pro ověření PPDS – příloha 4, převzato a upraveno z [36].....	58
Tabulka 6.6 Přehled nastavení pro podfrekvenční testování. Tyto nastavení slouží pro ověření shody s normami [32] a [33], převzato a upraveno z [36].....	61
Tabulka 6.7 Dovolené rozsahy pro vytváření podfrekvenční testovací sekvence, převzato a upraveno z [36].....	61

# 1. ÚVOD

V současné době je neustále kladen důraz na zvyšování podílu výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů (dále jen OZE). K tomuto jevu přispívá nejenom ekologický trend ve společnosti, ale rovněž i snaha o snížení dovozu primární energie, zejména dovoz fosilních paliv jako ropa a zemní plyn. Dalším, neméně důležitým faktorem je i vliv bankovního sektoru, který poskytuje úvěry na stavbu nových zdrojů a s ohledem na současný trend silně upřednostňuje právě nízkoemisní projekty. V roce 2021 do tohoto trendu nejvíce promluvalo i zvyšování cen zemního plynu na burze, kde ceny za zemní plyn dosahovaly nárůstu o více než 300 %, čímž došlo nejenom v ČR, ale i v ostatních zemích EU k razantnímu zdražování elektrické energie, jelikož cena elektrické energie v ČR je úzce spjatá s plynovými elektrárnami v Německu.

Kvůli všem zmíněným faktorům jsou výrobci elektrické energie nuceni budovat nové zdroje elektrické energie, které jsou buď nízkoemisní, či dokonce bezemisní a které jsou nejlépe nezávislé na dodávkách komodit ze zahraničí. Do této kategorie spadají právě OZE jako např. větrné, fotovoltaické či vodní elektrárny, a právě tyto elektrárny jsou připojeny pomocí výrobních modulů do distribuční sítě, čímž ovlivňují své okolí. Toto ovlivnění sítě se pojí zejména se vznikem negativních vlivů jako vznik přepětí, flikru a harmonických proudů.

Pro budoucí rozvoj OZE se v ČR uvažuje především o fotovoltaické elektrárnách (FVE), které jsou stále více a více zastoupeny v energetickém výrobním mixu [1]. Tento trend je dán zejména zeměpisnými podmínkami, jelikož v ČR nejsou obecně tak příhodné podmínky např. pro větrnou energii a jednak i se současným stavem, kdy např. pro vodní energetiku již není mnoho příhodných míst, jelikož většina řek a jiných vodních zdrojů jsou již využívány.

Rostoucí počet nových instalací tak na jednu stranu pomáhá k plnění závazků vůči EU a snižuje vlastníkový výdaje za elektrickou energii. Nicméně jak již bylo zmíněno, pojí se to i se vznikem komplikací. Aby jednotlivé OZE, respektive výrobní moduly (VM), negativně neovlivňovali místo jejich připojení, či aby dokonce zlepšovali propustnost a říditelnost sítě, musejí splňovat určitá pravidla. Z tohoto důvodů vzniklo hned několik legislativních dokumentů jako Nařízení komise EU 2016/631, popisující základní podmínky pro generátory, nebo normy ČSN EN 50 549-1 a 2. Z těchto a dalších dokumentů byly vytvořeny Pravidla provozování distribučních soustav – příloha 4 (PPDS), které stanovují požadavky pro paralelní připojení jednotlivých VM či výroben.

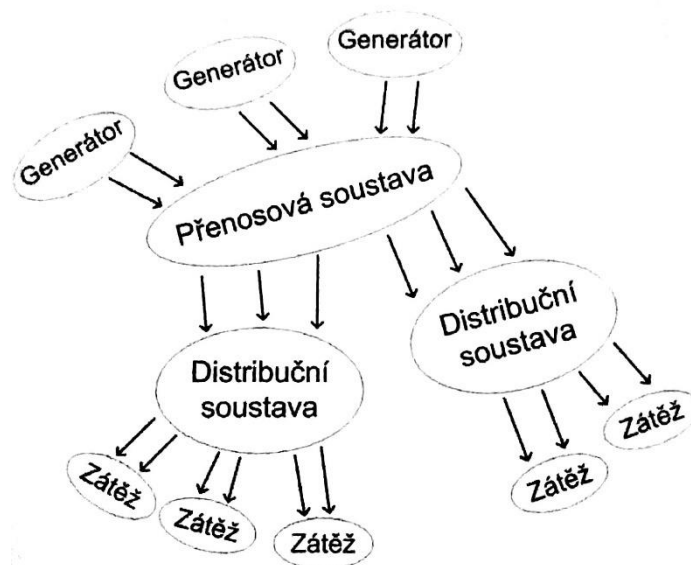
## 2. ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA ČR

V první řadě je třeba definovat pojem elektrizační soustava (dále jen ES), jelikož právě s tímto pojmem souvisí zejména i jednotlivé kategorie výrobní modulů (VM), či výroben elektřiny (VE). Tyto kategorie určují, mj., do jaké části ES je možné VM připojit. Tato práce se zabývá nejnižší kategorií, a to kategorií A, která je dále rozdělena na podkategorie A1 a A2. Toto rozdělení je podrobněji popsáno v kapitole 4.2. ES je soubor všech propojených zařízení, které obecně souvisí s elektrickou energií. Tyto zařízení lze pak rozdělit podle jejich vlastností a účelu do celkem 6 kategorií, které zahrnují [2]:

- Výrobní – Všechny zdroje, které generují ele. energii
- Transformaci – Transformátory nebo jiné prvky, které mění parametry ele. energie
- Přenos – Např. vedení na hladině zvn. Zajišťuje přenos velkých výkonů na velké vzdálenosti
- Distribuci – Přerozděluje ele. energii ke koncovým odběratelům
- Spotřeba – Všechna zařízení, které využívají ele. energii pro přeměnu do jiného druhu energie.
- Doplnkové – Měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací a informační prvky

Všechny tyto části mají jeden společný cíl, a to “propojit” spotřebitele (zákazníka) s elektrickou energií, jelikož vznik ES byl zapříčiněn zejména poptávkou po elektrické energii. Jedná se tedy o komplex, který vznikl pro výrobu a zajištění dodávek elektrické energie pro koncové zákazníky.

ES ČR byla historicky navrhována a rozvíjena tak, aby byla schopná provozu při transportu velkého množství elektrické energie. Tato energie se následně přerozdělovala na menší toky, které byly přivedeny ke koncovým spotřebitelům. Koncepce výroby elektrické energie, v tomto systému, byla taková, že se na výrobě podílely centralizované (systémové) elektrárny s velkým výkonem (uhelné, jaderné atd.). Tyto elektrárny byly připojeny na přenosovou část, přenosovou soustavu (PS), ES, která byla a stále je navržena pro obousměrný tok energie, což je možné, mj., i díky okružnímu zapojení PS. Na PS je napojena distribuční část (DS) ES, která byla navržena zejména pro jednosměrný tok energie, tzn., že distribuční část zprostředkovávala přenos energie od PS, či menších elektráren, ke koncovým spotřebitelům, nikoliv obráceně. Z tohoto pohledu byla DS považována za tzv. pasivní systém, viz obrázek 2.1. Díky VM nižších kategorií, které se ve většině případů připojují do DS, se DS stávají aktivními [3].



Obrázek 2.1 Původní podoba ES, převzato z [4].

Důvodů, proč VM nižších kategorií nejsou připojeny do PS, ale jsou připojeny rozptýleně do DS je více. Jedním z nich je, že VM těchto kategorií jsou převážně tvořeny OZE, což jsou zdroje s výkonem většinou nepřesahujícím 10 MW [3]. U takto malých výkonů není připojení do PS ekonomicky obhajitelné, jelikož náklady na vysokonapěťové transformátory, spínače a ostatní zařízení nejsou v porovnání s cenou VM zanedbatelné. Druhým důvodem je vzdálenost propojení mezi PS a jednotlivými VM, které jsou konstruovány decentralizovaně. Ve většině případů se bude jednat o velké vzdálenosti, z čehož by vyplývala nutnost stavby nových vedení. Oproti PS je však DS mnohem více rozvětvená a z toho důvodu pokrývá i větší část území ČR, a proto je připojení VM do DS mnohem snadnější než v případě s PS [5]. Výkon těchto zdrojů tedy proudí do DS, která se díky tomu stává aktivní, a to z pohledu výroby, ale i spotřeby [3]. Jedním z úskalí této změny je možnost vzniku přetoku výkonu. Přetok výkonu je pojem, který označuje výkon, který není spotřebován v úrovni generování, či na nižší hladině napětí, ale který se přenáší do vyšší napěťové hladiny [6]. Tento přetok společně s dalšími vlivy jako nesymetrie napětí atd., následně negativně ovlivňuje PS. Tyto vlivy musí řešit PPS. Tato problematika, a především způsob financování nápravných opatření je velice aktuální téma, jelikož PPS je povinen držet kvalitu PS v určitých mezích, ale zdroj těchto negativních vlivů je často v podřazené DS.

Přetok výkonu není tím jediným negativním vlivem, které mohou VM v DS způsobit. Důležitým aspektem VM, které využívají OZE, je především horší předvídatelnost výroby. V tomto ohledu se jedná zejména o větrné elektrárny (VTE), kde rychlost větru může být v některých oblastech velice proměnlivá. VTE jsou navíc zdroje, které většinou disponují velkým instalovaným výkonem. Této skutečnosti nepřidává ani fakt, že VTE jsou často stavěny ve větším počtu v blízkém okolí. Z tohoto důvodu jsou pak zdroje vyvedeny do jednoho uzlu sítě. Jedná se o tzv. větrné parky. Takovéto parky už neplní klasickou roli tzv. rozptýlených zdrojů, jejichž vyrobená energie má být v nejlepším případě spotřebována poblíž místa výroby. Pokud k velkému instalovanému výkonu je připočten i vliv proměnlivosti výkonu, kvůli hůře předikované výrobě, jedná se obecně o nestabilní zdroje, které způsobují častou změnu velikosti i směru výkonových toků v ES, což jen dále zhoršuje možnost řízení ES s ohledem na

přetížení. V případě fotovoltaických elektráren je situace principiálně podobná, ale tyto elektrárny nedosahují tak velkých instalovaných výkonů a rovněž jsou vázány na denní cyklus, což z nich dělá příznivější zdroj z hlediska řízení ES [7].

K tomuto problému nepřispívá ani skutečnost, že výstavba nových zdrojů (např. v podobě VTE) mnohonásobně převyšuje budování nových přenosových tras, či zvýšení jejich přenosových kapacit, pomocí obměny prvků trasy. Pokud navíc dochází k budování velkého počtu zdrojů s obrovským celkovým instalovaným výkonem koncentrovaně v jednom místě, kde se navíc nenachází významná spotřeba (např. sever Německa), celý problém se ještě více prohloubí. Řešením takovéto situace je např. budování nových vedení, které by zvýšily přenosovou schopnost soustavy, čímž by zároveň zvýšily i spolehlivost dodávky. Bohužel výstavba nových vedení je v mnoha zemích (včetně ČR) velice složitá a někdy i téměř nereálná procedura, která je ovlivněna ekologickou, vlastnickou a politickou stránkou. Z tohoto důvodu se zavádí nové technologie a principy řízení ES, díky kterým jsme schopni lépe řídit výkonové toky v soustavě. Jedním ze způsobů, které nám pomáhají s výkonovými toky, je tzv. systém FACTS (Flexible AC Transmission System) neboli střídavý přenosový systém obsahující regulátory statické a regulátory, které jsou založené na výkonové elektronice za účelem zlepšit říditelnost a zvýšit přenosovou schopnost systému [7].

Opačným úhlem pohledu této problematiky je fakt, že VM na principu OZE vznikly zejména díky myšlence, vyrábět a poskytovat elektrickou energii pro koncové zákazníky, která jim bude elektricky blíže, což zapříčiní nižší ztráty při přenosu energie a zároveň umožní využívat lokální zdroje energie (voda, vítr atd.). Obecně má tato problematika jak pozitivní, tak i negativní vliv [3] a i když je jedním z hlavních cílů snížit ztráty při přenosu, tak dosažení této změny není vždy tak jednoduché, jelikož DS je z hlediska přenosu elektrické energie méně efektivní nežli PS. Z tohoto důvodu se mohou ztráty při připojení VM do DS v síti naopak teoreticky zvyšovat, jelikož přes méně efektivní DS může v určitých případech protékat více elektrické energie do vyšších napěťových soustav. Ovšem jedná se pouze o obecnou úvahu, která pracuje se scénářem, kdy je VM velmi elektricky vzdálen od místa spotřeby. Ztráty při přenosu tedy vždy záleží na poloze VM a jednotlivých spotřebičů. Pro minimalizování ztrát je žádoucí, aby byl VM co nejbližší spotřebě. Nejlepší možný scénář je, když je energie z VM spotřebována přímo v místě připojení, což zapříčiní snížení přenosových ztrát vlivem lokální výroby a spotřeby [8]. Samozřejmě fakt, že VM je připojen v místě spotřeby automaticky neznamená, že spotřeba bude vždy nenulová, a tudíž bude spotřebovávat hlavně energii generovanou VM. Pro rodinný dům je spotřeba ve všední den v pracovních hodinách obvykle velice nízká (ne-li nulová), a tak by vyrobená energie byla spotřebována dále v ES, čímž dochází k ovlivnění místa připojení, viz kapitola 3.1. Jednoduchým a častým řešením je využití úložného prostoru jako jsou např. baterie, které by přebytečnou energii uložily pro pozdější použití.

Z předchozích odstavců je patrný vliv VM, potažmo OZE na ES. VM nám tedy vytváří jakýsi tlak na současnou ES, která k tomuto účelu nebyla navrhnutá. Nicméně s neustálým rozvojem VM, zejména nižších kategorií, nebo-li zdrojů rozptýlené výroby, je nutné tomuto tlaku čelit. Jedním z řešení je nová koncepce struktury sítě a jejího řízení. Tato koncepce musí pracovat jednak s variabilitou zdrojů a rovněž i s různorodostí dodávky a odběru. Jedná se o tzv. systémy POPQMS (Power Operation and Power Quality Management System).

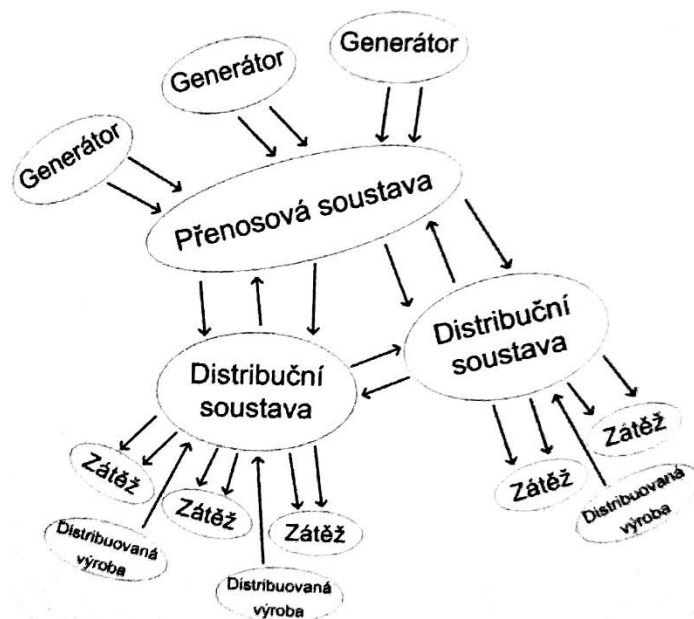
V češtině bývá označován za tzv. inteligentní rozvodný systém, který je schopný splňovat požadavky jako [4]:

- Měřit aktuální parametry dané topologie sítě
- Měřit kvalitu elektrické energie v regulované části sítě
- Vytvářet provozní strategii při zachování bezpečnosti provozu a dodávky ele. energie v lokální oblasti
- Vyhodnocení a optimalizace technicko-ekonomických ukazatelů
- Predicke odběrů a dodávky
- Eliminace podpětí a přepětí pomocí regulace P a Q
- Odstranění poruch v lokální síti

DS nicméně prochází neustále obnovou. Pro sběr dat a měření v DS se sice stále používají elektroměry, u kterých je nutné vizuálně odečítat hodnotu. Tento odečet probíhá většinou jednou za rok a není výjimkou, že je nutná přítomnost zákazníka, jelikož některé objekty nemají volný přístup k elektroměru. Novým způsobem, který je aktuálně v malé míře zaváděn do DS, je tzv. Smart metering. Tento pojem označuje měřící soustavu, ve které je měření realizováno tzv. smartmetry s dálkovým odečtem dat a přenosem povelů. Tyto data jsou odesílána do datových koncentrátorů nebo do nadřazené datové centrály. Data pak slouží k další analýze či k další distribuci pro dispečerského řízení, díky čemuž tento systém zlepšuje jednak kvalitu ele. energie, ale i spolehlivost a bezpečnost dodávek ele. energie [9]. Rovněž dává PDS důležitá data o aktuálním stavu sítě na hladině nn, jelikož tato hladina není měřena ani u distribučních transformátorů.

Pozn.: V případě poruchy je PDS vždy odkázán na hlášení zákazníků, protože jinak nemá o jednotlivých nn vývodech žádné informace.

Smart metering je tedy jakýmsi předstupněm technologie Smart grids. Koncepce Smart grids umožňuje nejenom splnění požadavků pro systémy POPQMS, ale poskytuje rovněž oboustrannou komunikaci mezi PDS a zákazníkem, čímž se tento systém snaží max. využít ele. energii za co nejvýhodnější cenu. Princip oproti klasickým sítím je zobrazen na obrázku 2.2. Jedná se tedy o systém, který dohlíží na spuštění spotřebičů v nízkém tarifu či v případě zvýšené lokální výroby. Díky tomu se přebytek lokálních zdrojů či přebytek z DS v nízkém tarifu spotřebovává a omezuje se tím výkonová špička. Tato koncepce si rovněž klade za cíl i snížení emisí CO<sub>2</sub>, díky efektivnějšímu provozu. Nicméně technologie Smart grids nemá zatím velké zastoupení v současné DS [7].



Obrázek 2.2 ES založená na principu Smart Grids, převzato z [4]

Další rozvoj VM využívajících OZE tedy úzce souvisí i s rozvojem řízení provozu (především výkonových toků), a to kvůli zajištění větší efektivity a dodržení kvality elektrické energie nejenom v místě připojení, ale i pro ostatní zákazníky v dané lince.



### 3. ZPĚTNÉ VLIVY OZE NA ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVU

Jak již bylo zmíněné v kapitole 2, tak VM nižších kategorií bývají připojeny do DS. Toto připojení se však neobejde bez ovlivnění místa připojení. Mezi nejdůležitější vlivy na DS patří změna napětí, kolísání napětí (flickr), vznik harmonických, útlum signálu HDO a další [10].

#### 3.1 Změna napětí v místě připojení

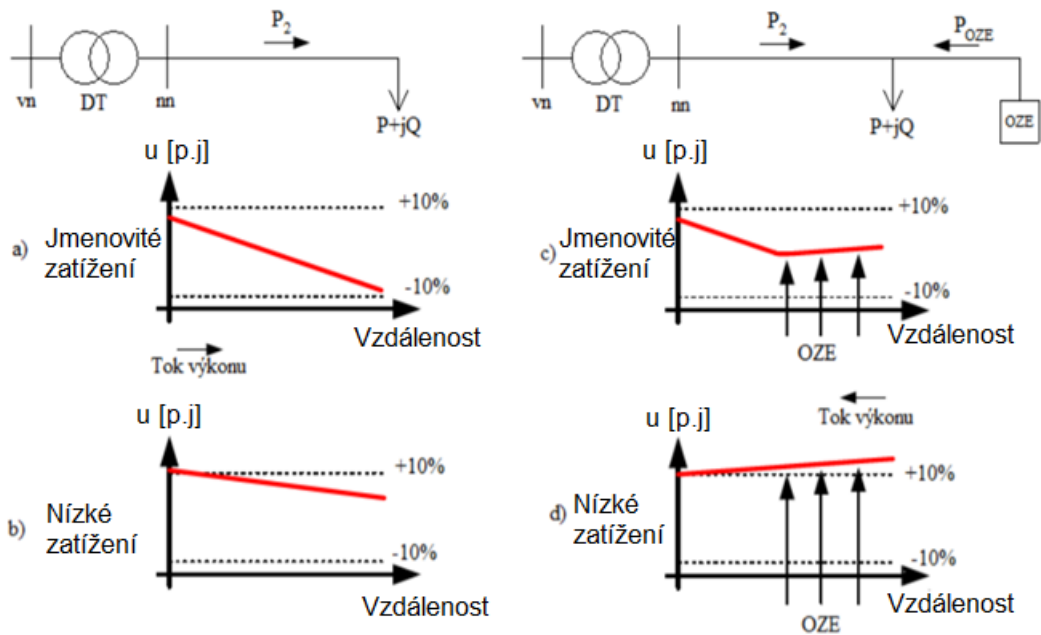
Připojení jakéhokoliv zdroje do sítě má za následek zvýšení napětí v místě jeho připojení. Tento stav má za následek zvyšování napětí nejenom pro vlastní spotřebu, ale i pro okolní zákazníky [8]. Dovolená změna napětí při připojení zdroje oproti předchozímu stavu udává [11] a [12]. Hodnoty těchto změn jsou definovány podle napěťové hladiny, do které je zdroj připojen. Pro sítě na hladině nn je povolena změna  $\Delta u_{nn} \leq 3\%$  a pro sítě na hladině vn a sítě o 110 kV je povolena změna  $\Delta u_{vn,110} \leq 2\%$ .

Zvýšení napětí v místě připojení je důležitý aspekt i z hlediska kvality elektrické energie. PDS je totiž zavázán dodržovat stanovenou kvalitu elektrické energie v určitých mezích. Podle [12] jsou tyto meze rovny odchylce  $\pm 10\% * U_n$  pro normální provoz v nn síti. Tato hodnota musí být dodržena během každého týdne v 95 % měřicích intervalů (po 10 minutách). Celkově však musí být hodnoty napětí v intervalu  $+10\% * U_n$  a  $-15\% * U_n$ , a to po celou dobu měření. Podobným principem se řídí i sítě vn (teoreticky možnost připojit VM kat. A2). Zde se ale nejedná o odchylku od jmenovitého napětí, ale od dohodnutého napětí. Oproti sítím nn je zde dovolená odchylka  $\pm 10\% * U_c$  v 99 % měřicích intervalů v týdnu. Pro zbylé 1 % je pak dovolená přípustná odchylka  $\pm 15\% * U_c$ . Podrobněji v [12].

Změna napětí v místě připojení zdroje do DS obecně závisí na několika parametrech, a to na velikosti zkratového výkonu DS, velikost dodávaného výkonu zdroje a jeho účinník (respektive hodnota jalového výkonu), impedance mezi místem připojení zdroje a místem odběru a v neposlední řadě i na charakteru odběru. Obecně lze tedy říct, že připojení zdroje do DS navýší napětí v místě připojení o hodnotu, která se rovná úbytku napětí mezi místem připojení a místem spotřeby. Tento úbytek závisí jednak na velikosti výkonu, který zdroj dodává, ale i na velikosti impedance či na vzdálenosti mezi zdrojem a místem spotřeby [10].

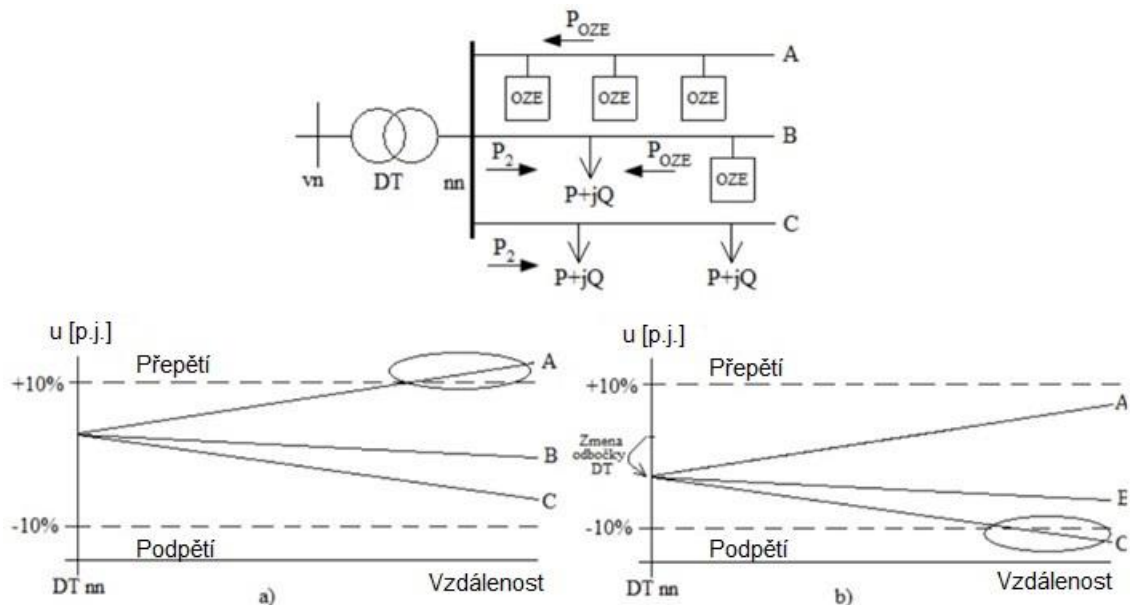
Vliv vzdálenosti na hodnotu napětí v síti demonstruje obrázek 3.1, na kterém je znázorněna zjednodušená soustava bez OZE (za a) a za b)) a soustava s OZE na konci vedení. Na jednotlivých grafech jsou rovněž vyznačeny i meze napětí, které jsou závazné pro PDS. Bod a) a b) demonstruje vliv změny zatížení na konci vedení. Tento způsob zapojení je z pohledu návrhu sítě ideální, jelikož lze velice jednoduše vypočítat zatížení (popř. i stav bez zatížení), které společně s impedancí vedení ovlivňuje úbytek napětí na vedení. Bod c) a d) znázorňují vliv OZE na průběh napětí v dané síti. V případě bodu c) je vidět příznivý dopad OZE na průběh napětí, jelikož OZE se podílí na dodávce elektrické energie a tím je pokles napětí v místě připojení nižší než v bodě a). Naopak oproti tomu v případě, kdy je zatížení mnohem nižší než výroba OZE, dochází ke změně toku výkonu do nadřazené soustavy (již zmíněný přetok výkonu). Tato změna negativně ovlivňuje i průběh napětí v síti. Jak je vidět v bodě d), tak zde

OZE způsobil zvýšení napětí nad dovolenou mez. Jednoduchým řešením této situace bylo manuální přepnutí odbočky distribučního transformátoru.



Obrázek 3.1 Vliv zátěže a OZE na úbytek napětí v síti, převzato a upraveno z [13]

Obrázek 3.1 nicméně popisoval jednoduchou síť, kde lze problémy s průběhem napětí řešit např. manuálním přepnutím odbočky. Horší a častější případy v síti nastávají při připojení více zdrojů, zvláště pak v případech, kdy jsou zdroje soustředěny do jednoho místa, či do jedné linky, která je napájena stejným transformátorem jako zbylé linky, kde naopak převládá zatížení. Tuto situaci demonstruje obrázek 3.2.



Obrázek 3.2 Ukázka problematiky řízení napětí u složitějších ES, převzato a upraveno z [13]

V případě komplikovanější a méně přehledné sítě je celá problematika složitější a nelze ji vyřešit pomocí přepnutí odbočky distribučního transformátoru. Důvod, který nám udává, že nelze přepínat odbočky je znázorněn na obrázku 3.2 v bodě a), který reprezentuje výchozí stav, u kterého došlo k překročení horní meze ve vývodu A. Při změně odbočky DT se sice zlepší situace ve vývodu A, ale dojde k překročení dolní meze u vývodu C.

Zde se již ukazuje problematika řízení napětí při připojení OZE do DS. Řešením tohoto problému může být řízení výkonových toků. V současné době se k řízení výkonových toků používají více a více zařízení, které jsou označovány zkratkou FACTS. Jedná se o střídavý přenosový systém, ve kterém se nachází regulatory statické a regulatory založené na výkonové elektronice. Jejich hlavní účel spočívá v regulaci napětí, jalových výkonů a výkonových toků, díky čemuž pozitivně ovlivňují stabilitu sítě. Jedná se o velice perspektivní zařízení, u kterých se předpokládá čím dál tím větší role pro ES. Jejich hlavní výhodou je [7]:

- Rychlá odezva na požadované parametry
- Jsou schopny reagovat na časté změny na výstupu
- Mají velkou škálu regulovatelnosti na výstupu.

Všechny tyto zařízení pracují obecně na principech:

- Paralelní kompenzace – Slouží ke zvýšení či snížení napětí v místě připojení
- Sériová kompenzace – Slouží ke snížení celkové reaktance linky
- Paralelní vstřikování – Pomocí dodávky jalového proudu zlepšují uzlová napětí v síti
- Sériové vstřikování – Ovlivňují nejenom přenosovou kapacitu vedení, ale i zlepšení provozních parametrů linky

Typickými zástupci FACTS jsou např. SVC, STATCOM, SSSC či UPFC. Jednotlivé zařízení se pak liší jak z pohledu zapojení, tak i z pohledu řízení kondenzátoru či tlumivky pomocí dalších součástek, jakými jsou např. IGBT transistor a IGCT tyristor [7]. VM jsou připojovány paralelně do sítě stejně, jako každý jiný velký či malý zdroj. Velikost jalového proudu, potažmo jalového výkonu si autonomně řídí u nižších kategorií VM sám. Díky této schopnosti ovlivňuje velikosti dodávky nebo odběru jalového výkonu do uzlu ES. Dodávaný jalový výkon má vliv na velikosti napětí v místě připojení VM. Tento vliv lze demonstrovat na jednoduché matematické rovnici, při uvažování určitých zjednodušení, jakými jsou např. neuvažování příčných admitancí všech prvků soustavy.

Pozn.: Toto zjednodušení lze provést na napěťových hladinách nn a vn, jelikož proudy v příčném směru jsou zanedbatelné oproti proudům ve směru podélném. Příčné proudy tedy nemají velký vliv na úbytky napětí či na ztráty výkonů [2].

Vztah pro úbytek napětí je vyjádřen pomocí 2. Kirchhoffova zákona:

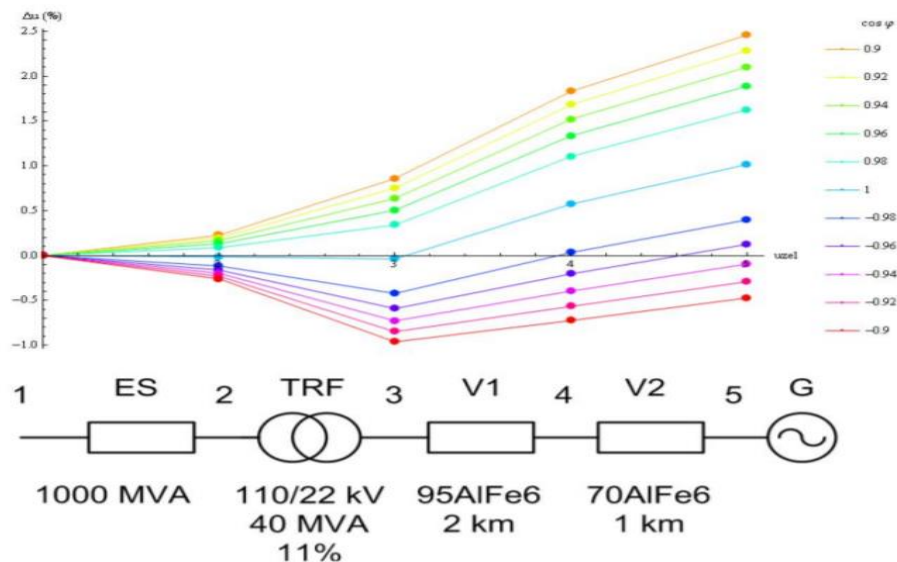
$$\overline{\Delta U} = \overline{Z} * \overline{I} = (R + j * X) * (I_c \mp I_j) , \quad (3.1)$$

Tuto rovnici lze dále rozepsat na reálnou a imaginární složku.

$$\overline{\Delta U} = (R * I_{\xi} \pm X * I_j) + j * (X * I_{\xi} \mp R * I_j) , \quad (3.2)$$

Zdvojená znaménka v rovnicích (3.1) a (3.2) symbolizují odběr induktivního (horní znaménko) a kapacitního (dolní znaménko) odběru. Z rovnice (3.2) je patrný vliv hodnoty impedance vedení a charakter výkonu, dodávaného do DS. Hodnota impedance vedení je nicméně neměnná, jelikož nelze obecně předpokládat rekonstrukci v blízkém časovém horizontu, a proto má na velikosti napětí, v místě připojení VM, zásadní vliv právě jalový a činný výkon. Nicméně z pohledu výrobce je téměř nepřipustné měnit za normálních okolností hodnotu dodávaného činného výkonu, jelikož by si tím výrobce snižoval finanční zisky. Z tohoto pohledu je tedy nejdůležitější hodnota a charakter dodávaného jalového výkonu.

V praxi je u VM jalový výkon často interpretován pomocí účinníku  $\cos\varphi$ . Tento údaj nám udává jednak poměr mezi P a Q a zároveň i charakter jalového výkonu (induktivní/kapacitní). Podle [11] musí výrobní moduly typu A1 a A2 pracovat s účinníkem  $\cos\varphi$  v rozsahu 0,9 induktivní až 0,9 kapacitního charakteru. Tento rozsah platí pro výrobu činného výkonu, který je větší nebo roven 20 % jmenovitého výkonu VM [11]. Jak ovlivňuje hodnota účinníku, nebo-li množství a charakter dodávaného jalového výkonu, připojeného VM do ES úbytek napětí v ES je znázorněno na obrázku 2.2, kde je generátor připojen na napěťovou hladinu 22 kV. Chování jednotlivých křivek, které jsou zde zobrazeny, se řídí předchozí rovnicí. Obecně platí, že čím větší je induktivní složka výkonu zdroje, tak tím více se projevuje i vliv jednotlivých prvků sítě na velikost úbytku napětí. Naopak při zvětšující se kapacitní složce výkonu zdroje se úbytek projevuje zápornými hodnotami [10].



Obrázek 3.3 Napěťový profil modelové radiální distribuční sítě napájené z rozvodny 110 kV s rozptýlenou výrobou na konci sítě s měnicí se dodávkou jalového výkonu. Induktivní (oranžově) až kapacitní (červeně), převzato z [10].

VM pomáhají s udržováním napětí v místě jejich připojení. Jedná se o tzv. statickou podporu sítě. Tato podpora je v práci více rozebrána v kapitole 5.3 Chování

VM v síti. Tento typ podpory vznikl, mj., k tomu, aby nedocházelo k překročení napěťových mezí, ke kterým je PDS vázán [14].

### 3.2 Flikr

Neméně důležitým zpětným vlivem je i tzv. flikr (anglicky flicker). Tento pojem definuje norma ČSN EN 50160, jako zrakový vjem nestálosti vnímání, který je vyvolaný světelným podnětem, jehož jas či spektrum kolísá v čase [12]. Tento vjem je ale považován za subjektivní [11]. Norma [12] rovněž zavádí pojem míra vjemu flikru. Tato míra se rozděluje na:

- Krátkodobou míru vjemu flikru  $P_{st}$  – Měřena po dobu deseti minut
- Dlouhodobou míru vjemu flikru  $P_{lt}$  – Je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot  $P_{st}$

Výpočet  $P_{st}$  obecně vychází ze změny napětí ku sdruženému napětí v přípojném bodě. Při rozeptání této úvahy do podoby s činným a jalovým výkonem dostaneme závislost pro symetrickou změnu napětí jako [15]:

$$d = \frac{\Delta P_A}{S_{kv}} * \cos\psi + \frac{\Delta Q_A}{S_{kv}} * \sin\psi, \quad (3.3)$$

- Kde:  $d$  Relativní změna napětí  
 $\Delta P_A$  Změna činného výkonu  
 $\Delta Q_A$  Změna jalového výkonu  
 $S_{kv}$  Zkratový výkon sítě  
 $\Psi$  Úhel impedance sítě

Výpočet úhlu impedance sítě:

$$\Psi = \arctan\left(\frac{X_V}{R_V}\right), \quad (3.4)$$

- Kde:  $X_V$  Reaktance sítě v přípojném bodě  
 $R_V$  Reaktance sítě v přípojném bodě

Míra krátkodobého vjemu flikru je pak dána vztahem:

$$P_{st} = \frac{d}{d_{ref}} * P_{ref}, \quad (3.5)$$

- Kde:  $d_{ref}$  Relativní změna napětí v procentech podle křivky mezního flikru ( $P_{ref} = 1$ )

Jak již bylo zmíněno výše, tak míra vjemu dlouhodobého flikru je určena z dvanácti hodnot  $P_{st}$ :

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{n=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}}, \quad (3.6)$$

Krátkodobá míra vjemu flikru musí být za normálních provozních podmínek pod hranicí  $P_{st} \leq 1$  (někdy nazývána jako práh dráždivosti) [16], jelikož vyšší hodnota způsobí kolísání světelného toku, které je u 50 % pokusných osob pocíťováno jako rušivé [15].

Další hodnoty míry vjemu flikru jsou uvedeny v tabulce 3.1 pro jednotlivé napěťové úrovně.

Tabulka 3.1 Limitní hodnoty krátkodobého a dlouhodobého vjemu flikru [15]

Hladina napětí	$P_{lt}$	$P_{st}$
nn	0,8	1
vn	0,7	0,9
110 kV	0,6	0,8

Za kolísání jasu či světelného toku v síti jsou zodpovědné rychlé změny napětí. Ty jsou z pohledu OZE vyvolány např. proměnlivým výkonem, který je např. u VTE závislý na rychlosti větru a u FVE na slunečním svitu v dané oblasti. U VTE dochází ke změně výkonu i v momentu, kdy list vrtule přejde přes zákryt stožáru [5]. Obecně se tedy jedná o rychlé změny činných a jalových výkonů, které podle rovnice (3.3) ovlivňují hodnotu napětí. Změny nemusí být vyvolány jen OZE, ale i jednotlivými spotřebiči s velkým odběrem, který krátkodobě zajistí pokles napětí. Zvlášť významný vliv může mít odběr v případech, kdy je odběr připojen přes velkou impedanci. Mezi spotřebiče, které jsou častým zdrojem kolísání napětí, patří např. [4] a [15]:

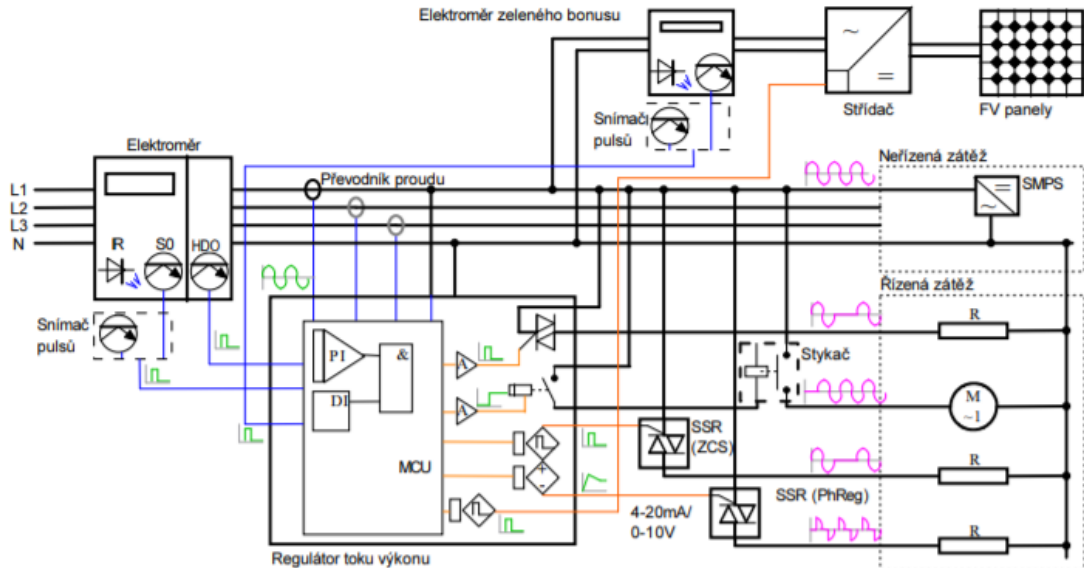
- Obloukové pece
- Svářecí agregáty
- Spouštění asynchronních motorů
- Řízené měniče pro napájení pohonů

V dnešní době se na kolísání napětí podílejí i tzv. regulátory toku výkonu. Tyto regulátory byly vyvinuty zejména k tomu, aby zefektivnili provoz OZE, které jsou určeny pro osobní spotřebu. Zvýšení efektivity je dáno rozdílnou cenou vyrobené nebo dodané elektrické energie. V praxi je cena za vyrobenou energii (prodanou do sítě) mnohem nižší než za dodanou (odkoupenou ze sítě). Pokud k tomuto poznatku přidáme i fakt, že spotřeba domácností obvykle nekoreluje s výkonem OZE [17], vznikne nám důvod pro řízení optimálního využití, jelikož u menších objektů je dalším důvodem, proč se vůbec zabývat regulací toku výkonu, i dodržení pravidel poskytnuté dotace od NZÚ, zejména dodržení procentuální spotřeby vyrobené energie přímo v domácnosti. Regulátor toku výkonu zajišťuje regulaci pomocí dvou možností, a to [18]:

- Snížením výkonu OZE – Pokud je VM schopen komunikace s regulátorem
- Zvýšením zátěže – Přidáním dodatečné zátěže v podobě např. baterií či elektrického bojleru

Princip fungování regulátoru je znázorněn na obrázku 3.2. Regulátor měří výkonové toky mezi objektem a DS a na základě toho vyhodnocuje, zda a jakou dodatečnou zátěž má připojit. V případech, kdy by se zvýšil osvit FV panelů, by došlo i ke zvýšení výkonu celého OZE. V objektu by ale nedocházelo k využití veškeré vyrobené energie. Nejhorší možný scénář z ekonomického pohledu a z pohledu efektivního využití OZE v místě připojení je ten, že by byl přebytek energie jednoduše prodán do DS. Jak již bylo zmíněno výše, tak cena za vyrobenou a dodanou energii je

značně odlišná, a proto v případě instalace regulátoru dochází k zapnutí přídavné zátěže, aby byla energie využita v místě výroby, což se jeví jako mnohem ekonomičtější možnost.



Obrázek 3.4 Schéma zapojení a principu regulátoru toku výkonu, převzato z [18]

Z tohoto pohledu jsou regulátory efektivním řešením, jak využít potenciál OZE, potažmo obecně VM, co nejvíce v místě výroby. Nicméně z hlediska účinků na DS je důležitým, jakým principem dochází k řízení (připínání) zátěží. Mezi dva základní principy se řadí SSR (Solid State Relays) a triakové řízení. A je to právě způsob přepínání dodatečné zátěže pomocí SSR, které nám způsobuje vznik kolísání napětí. Druhý způsob sice nezpůsobuje tak výrazné kolísání napětí, ale zatěžuje DS harmonickými a vysokofrekvenčním rušením [17]. Podrobněji o harmonickém rušení kapitola 3.3 Proudů harmonických a neharmonických.

Jako vhodnou ochranou proti kolísání napětí se jeví hned několik způsobů. Prvním z nich je zvýšení zkratového výkonu sítě nebo-li zmenšením impedance připojení. Zvětšení zkratového výkonu má rovněž pozitivní vliv i na velikosti napětí, vyvolaného činnými a jalovými toky, viz. kapitola 3.1 Změna napětí v místě připojení. Změnu zkratového výkonu lze provést např. [4]:

- Zvětšením průřezu napájecího vedení
- Zmenšením impedance vedení pomocí sériové kompenzace
- Připojením do vyšší napěťové hladiny
- Připojením generátoru či synchronního kompenzátoru

Druhou možností je řešit kolísání napětí přímo u zdrojů, které jsou za vznik kolísání zodpovědné [4]:

- Rozběh velkých motorů – Pro měkčí rozběh lze použít např. zařízení soft start
- Obloukové pece – Použití DC obloukových pecí nebo použitím reaktorů, které působí proti změně
- Svářečí agregáty – Použití DC svařovacího agregátu, změna tvaru svářečího pulsu či změnou taktu svařování

V neposlední řadě je možné využít, pro omezení kolísání napětí, již zmíněných zařízení pod označením FACTS. Více o tomto způsobu je uvedeno v [4].

Z pohledu regulátorů toků výkonů je pro omezení flikru zásadní dodržet zejména hodnotu výkonu přepínané zátěže. Tato hodnota vyplývá, mj., i z velikosti zkratového výkonu sítě (impedance sítě). Čím nižší je impedance, tím menší vliv má připínání zátěží na DS. Ve stávajících instalacích se ovšem často stává, že zátěže (např. bojler), které regulátor spíná, mají výkon od 1 kW do 3,7 kW a vyšší, což způsobuje významné výkyvy v síti [17].

### 3.3 Proud harmonických a mezipharmonických

Tyto proudy vznikají zejména činností zařízení, ve kterých je umístěna spínací polovodičová technika. Jedná se o zařízení jako střídače, měniče frekvence, či jiné spínané zdroje a součástky [19]. Z pohledu VM se jedná o tzv. nesynchronní VM, jelikož synchronní VM není nutné posuzovat z hlediska harmonických proudů [15]. Rozdíl mezi harmonickým a mezipharmonickým proudem je ten, že harmonický proud má kmitočet, který je celočíselným násobkem základního kmitočtu sítě. Oproti tomu mezipharmonický proud má kmitočet jakýkoliv vyjma celočíselných násobků základního kmitočtu sítě. Důvodem, proč se zabývat problematikou harmonických proudů je např. [19]:

- Dodatečné tepelné účinky na kabely, transformátory, motory, kondenzátory atd.
- Rušivé účinky na ostatní elektronické přístroje v ES, které mohou mít zvýšenou citlivost na úroveň harmonické

Z těchto důvodů se určují tzv. kompatibilní úrovně, pro jednotlivé harmonické složky. Pro hladinu nn, do které se připojují kategorie VM A1 a A2 a které jsou řešené v rámci této práce, jsou určeny mezní vtažné proudy, které jsou uvedeny v tabulce 3.2.



Tabulka 3.2 Vztažné proudy harmonických pro výpočet maximální emise výroben připojených do sítí nn, převzato z [3]

Řád harmonické $v (-)$	Mezní vztažný proud $i_{vnn} (A/MVA)$	Řád harmonické $v (-)$	Mezní vztažný proud $i_{vnn} (A/MVA)$
3	3	$25 < v < 40$ liché	$0,15 \cdot 25/v$
5	1,5	sudé	
7	1	$v < 178^{1)}$	$4,5/v$
9	0,7	<sup>1)</sup> Celočíselné a neceločíselné násobky v v pásmu šířky 200 Hz od střední frekvence. Měřeno podle ČSN EN 61000-4-7	
11	0,5		
13	0,4		
17	0,3		
19	0,25		
23	0,2		
25	0,15		

### 3.4 Ovlivnění HDO

HDO neboli hromadné dálkové ovládání je systém, obsahující vysílače, přijímače, přenosné cesty a další zařízení, které slouží k přepínání mezi nízkým tarifem (NT) a vysokým tarifem (VT), čímž dochází i k zapínání a vypínání spotřebičů [20]. Jedná se tedy o řízení spotřeby v závislosti na výrobě elektrické energie. Tento systém pracuje na principu superpozice napětí, kdy využívá tónový kmitočet, s jehož pomocí vytváří napěťové impulsy tónového kmitočtu [21] [22]. V ČR se běžně jedná o hodnoty 183,3 Hz, 283,3 Hz nebo 216,6 Hz [23]. Tyto impulsy jsou pak v přijímačích HDO rozpoznány a v případě, že se jedná o povel pro daní přijímač, tak dojde k reakci. Aby tento systém spolehlivě fungoval, je nutné, aby byl vysílač HDO dimenzován podle zatížení sítě, do které je signál vysílán [21] [15].

Z pohledu VM, zejména u OZE, u kterých závisí především na vlastní fyzikální podstatě (rychlost větru atd.) dochází k ovlivnění systému HDO, a to celkem třemi způsoby [21]:

- Zvýšení zatížení vysílačů HDO – kvůli vlastní impedanci VM a impedanci potenciálních zákazníků, které by bylo možné v budoucnu připojit v důsledku zvýšené kapacity zdrojů
- Snížení signálu HDO v místě připojení VM
- Emisí rušivých kmitočtů do sítí (zejména u nesynchronních VM bez filtračních obvodů harmonických)

Působení VM lze obecně rozdělit na dva směry, a to pro synchronní VM, které způsobují zvýšení zatížení vysílačů, jelikož tyto zdroje představují pro vysílač HDO induktivní zatížení a nesynchronní VM, které pokud nejsou vybaveny filtry

harmonických, tak nezpůsobují nepřijatelné zpětné vlivy na systém HDO. Nicméně podle [21] nesmí produkovat rušivá napětí na kmitočtu HDO nebo v jeho blízkosti. V případě vybavení nesynchronních VM filtračními obvody harmonických se jedná o závažnější ovlivnění HDO a proto je nutné je společně se synchronními VM posuzovat z hlediska ovlivnění systému HDO. U sítí nn, vn a 110 kV smí VM snížit úroveň signálu HDO maximálně o 5 % při dodržení minimální přípustné hodnoty signálu HDO, viz tabulka 3.3.

Tabulka 3.3 Limity pro minimální přípustné hodnoty napětí signálu HDO, převzato z [21]

Minimální úroveň řídicího napětí $U_{r,min}$ vztažená k funkčnímu (náběhovému) napětí přijímače $U_f = 100\%$	
Úroveň napětí sítě (kV)	Kmitočet $f_r = 183,3 - 283,3$ Hz
0,4	150 % $U_f$
vn	190 % $U_f$
110	200 % $U_f$

Existují rovněž i výjimky, kdy toto posouzení není nezbytné. Tyto výjimky jsou definovány výkonem VM v přípojném bodě a výkonem v síťové oblasti, viz tabulka 3.4.

Tabulka 3.4 Limitní hodnoty výkonu pro posouzení vlivu VM na systém HDO, převzato z [21]

Úroveň napětí sítě (kV)	Celkový výkon výrobních zařízení	
	V přípojném bodu	V síťové oblasti
0,4	5 kVA FVE 20 kVA	10 kVA FVE 40 kVA
vn	0,5 MVA	1 MVA
110	5 MVA	10 MVA

Pozn.: V případě, že daný VM nesplňuje podmínky pro připojení z ohledem na rušení, je nutné navrhnout nápravná opatření podle [21].

## 4. VÝROBNÍ MODUL

Výrobní modul (dále jen VM) či Power Generating Module (PGM) je pojem, který vznikl v souladu s nařízením komise EU 2016/631, ze dne 14.4.2016 [24]. Toto nařízení je z hlediska VM a připojení VM k síti klíčové, a proto budou některé části v práci detailněji popsány v následujících kapitolách. V případech, kdy rozměry OZE přesahují buďto vzdálenostně anebo zejména výkonově možnosti VM, použije se více VM, které se připojují k ES v jednom, či ve více místech. Tento celek je označován, pod již zmíněnou zkratkou VE. VE obecně označuje energetické zařízení, které přeměňují různé formy energie na elektrickou energii, a které jsou složeny z jednoho nebo z více VM [14] [11].

VM se dělí pomocí dvou kritérií. Prvním kritériem je, zda je VM synchronní nebo nesynchronní.

### 4.1 Synchronní a nesynchronní VM

Synchronní VM, nebo-li Synchronous Power Generating Module (SPGM), je nedělitelný soubor zařízení, které zajišťují, že frekvence generovaného napětí je společně s rychlostí generátoru a s frekvencí síťového napětí neustále v konstantním poměru. Pracuje tedy synchronizovaně s elektrickou sítí. Obecně se dá říct, že se jedná o jednu či více synchronních jednotek pro výrobu elektrické energie, které jsou přímo připojeny k přenosové, distribuční nebo k ostrovní síti [25]. Synchronní VM má inherentní (neoddělitelnou) schopnost odolávat či zpomalovat odchylky frekvence, čímž pomáhá zlepšovat stabilitu elektrické sítě, do které je synchronní VM připojen, jelikož zvyšuje moment setrvačnosti rotujících hmot v dané elektrizační soustavě, což vede k lepší primární regulaci frekvence [24].

Nesynchronní VM modul, nebo-li Power Park Module (PPM), je soubor zařízení, které jsou buď nesynchronně připojeny k síti nebo jsou připojeny prostřednictvím výkonové elektroniky. Tato jednotka (nebo více jednotek) musí být rovněž připojena k přenosové, distribuční, ostrovní nebo k HVDC síti [26]. Při připojení přes výkonovou elektroniku je výkon dodáván do sítě prostřednictvím měničů (běžné u FV systémů). Z tohoto pohledu se jedná o netočivý zdroj, jelikož tyto zdroje snižují celkový moment setrvačnosti rotujících hmot v síti, čímž způsobují snížení celkové setrvačnosti sítě [24]. Z tohoto důvodu byl díky nařízením komise EU 2016/631, ze dne 14.4.2016 zaveden pojem umělá setrvačnost. Umělá setrvačnost je schopnost nesynchronního VM nahradit účinek setrvačnosti rotujících hmot v soustavě [27]. Jedná se vlastně o řešení, které zvýší setrvačnost sítě pomocí rychlé výměny činného výkonu se sítí na základě zvýšení nebo snížení frekvence. Jedním ze způsobů, jak dosáhnout umělé setrvačnosti, je možnost využití rotujících hmot, které jsou připojeny odděleně přes výkonovou elektroniku (typicky pro větrné elektrárny). Dalším a rychlým řešením se jeví využití bateriového uložení, či superkapacitorů. Všechny prvky, které vytváří umělou setrvačnost ovšem nejsou trvalá. Pouze další synchronní generátor způsobí trvalé navýšení setrvačnosti v dané síti [28].

Druhým kritériem, podle kterého se dělí výrobní moduly, je jejich jmenovitý výkon. Jednotlivé kategorie jsou zmíněny v nařízením EU 2016/631. Toto nařízení je známé také pod názvem Requirement for Generation (RfG).

## 4.2 Dělení VM podle RfG

Z pohledu jmenovitého výkonu, či maximální kapacity výroby, jsou VM rozděleny podle RfG do čtyř základních kategorií, které jsou označeny písmeny A, B, C a D. Hodnoty, které limitují danou kategorii, se liší v závislosti na místě, na kterém jsou VM provozovány. Pro Evropu se jedná o celkem pět synchronně propojených oblastí, viz tabulka 4.1. Kategorie A není v tabulce uvedena, ale její limitní hodnota minima je 0,8 kW a vyšší [29].

Tabulka 4.1 Limit prahových hodnot pro výrobní moduly typu B, C a D, převzato z [29]

Synchronně propojené oblasti	Limit prahové hodnoty maximální kapacity, od které je výrobní modul výrobním module typu B	Limit prahové hodnoty maximální kapacity, od které je výrobní modul výrobním module typu C	Limit prahové hodnoty maximální kapacity, od které je výrobní modul výrobním module typu D
Kontinentální Evropa	1 MW	50 MW	75 MW
Velká Británie	1 MW	50 MW	75 MW
Severská	1,5 MW	10 MW	30 MW
Irsko a Severní Irsko	0,1 MW	5 MW	10 MW
Pobaltí	0,5 MW	10 MW	15 MW

Pro jednotlivé kategorie je nařízením RfG rovněž určena i hladina napětí, do které mohou být připojeny. Pro kategorie A, B a C musí být napětí v místě připojení nižší než 110 kV. U kategorie D je napětí v místě připojení buď 110 kV, a nebo vyšší [29].

V ČR jsou kategorie A a B rozděleny na dvě podkategorie, a to na podkategorii A1, A2, B1 a B2. Tyto kategorie jsou společně s dalšími informacemi uvedeny v tabulce č. 4.2. Nutnost tohoto rozdělení vyplývá především ze zákona č. 458/2000 Sb, (Energetický zákon) [30] a z vyhlášky MPO č. 79/2010 [31]. Rozdělení do všech již zmíněných kategorií slouží zejména k identifikaci článků RfG, které musí daná kategorie splňovat, viz tabulka č. 4.3 [11].

Tabulka 4.2 Přehled požadavků a rozdělení VM pro ČR [11]

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkat.	Hranice PDS	Nejvýznamnější požadavky RfG
A	800 W	A1	$800 \text{ W} \leq P_i \leq 11 \text{ kW}$	čl. 13 pro VM A.
		A2	$11 \text{ kW} \leq P_i < 100 \text{ kW}$	čl. 13, pro VM A. čl. 14.2, 14.3, 14.4, 14.5 pro VM B. čl. 20 pro nesynchronní VM kategorie B.
B	1 MW	B1	$100 \text{ kW} \leq P_i < 1 \text{ MW}$	čl. 14 pro VM B. čl. 17 pro synchronní VM B. čl. 20 pro nesynchronní VM kategorie B.
		B2	$1 \text{ MW} \leq P_i < 30 \text{ MW}$	čl. 14 pro VM B. čl. 17 pro synchronní VM B. čl. 15.2, 15.3, 15.4, 15.5a, 15.5b, 15.5c, 15.6a, 15.6b, 15.6c pro VM C. čl. 18 pro synchronní VM C. čl. 21 pro nesynchronní VM kategorie C.
C	50 MW	C	$30 \text{ MW} \leq P_i < 75 \text{ MW}$	čl. 15, čl. 18 a čl. 21
D	75 MW	D	$75 \text{ MW} \leq P_i$	čl. 16, čl. 19 a čl. 22

Přehled názvů jednotlivých článků, které jsou zmíněné v tabulce 4.2, je uveden níže v tabulce 4.3. Jelikož se tato práce zabývá VM kategorie A1 a A2, tabulka obsahuje pouze články, které musí tyto kategorie splňovat.

Tabulka 4.3 Přehled RfG podmínek pro VM kategorie A1 a A2 [11]

Článek Rfg	Požadavky RfG	Kategorie modulu	
		A1	A2
13.1a	Frekvenční rozsahy a časové limity pro VM	X	X
13.1b	Hodnota rychlosti změny frekvence (RoCoF)	X	X
13.2	Omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci (LFSM-O)	X	X
13.4; 13.5	Dovolené snížení činného výkonu při klesající frekvenci soustavy	X	X
13.6	Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu	X	X
13.7	Podmínky pro automatické připojení k soustavě	X	X
14.2	Rozhraní pro Snížení činného výkonu		X
14.3	Překlenutí poklesu napětí (FRT)	X	X
14.4	Opětovné připojení po poruše		X
20.2a	Dodávka jalového výkonu u nesynchronních VM		X
20.3	Obnova činného výkonu po poruše		X

Pozn.: Přehled všech článků a zbylých třech kategorií (B, C a D) je zobrazen v tabulkové příloze A – RfG pro VM.

Podmínky, které jsou definovány tabulkou 4.3 a které musí VM kategorie A1 a A2 splňovat, jsou rozebrány níže v kapitole 5.3 Chování VM v síti.

## 5. PRAVIDLA PRO PROVOZOVÁNÍ VM DO ES

Podmínky připojení VM, respektive VE do ES jsou dány zejména PPDS přílohou 4, která vychází z platných norem, předpisů a z nařízení EU 2016/631. PPDS tedy vytváří pravidla a podmínky pro plánování, zřizování a úpravy VE, které se připojují do hladin nn, vn nebo 110 kV. Do takovýchto VE se řadí např. [11]:

- Vodní elektrárny
- Větrné
- Fotočlánkové
- Kogenerační jednotky

Výjimku tvoří pouze VM, které slouží k výrobě záložní elektrické energie a jsou provozovány do ES po dobu kratší než 5 minut v každém kalendářním roce.

### 5.1 Podmínky pro připojení

#### 5.1.1 Zvýšení napětí

Podle [11] nesmí za normálních provozních podmínek dojít ke zvýšení napětí v místě připojení VE, či jednotlivých VM o určitou mez, viz tabulka 5.1. Tato mez určuje maximální přírůstek napětí v místě připojení oproti stavu bez připojení VE. I při dodržení této maximální meze je nutné ověřit, zda nebyly překročeny i maximální odchylky tolerance jmenovitého, či dohodnutého napětí oproti povoleným hodnotám, které jsou dány zejména dokumentem [12].

Tabulka 5.1 Dovolené hodnoty velikosti a změny napětí v jednotlivých napěťových hladinách.

Hlad. napětí	Max. dovolená změna napětí po připojení VE, či VM	Max. dovolená změna napětí po připojení VE, či VM při mimořádném zapojení sítě	Dovolené odchylky napětí po 95 % (pro nn) a po 99 % (pro vn) času týdne	Dovolené odchylky napětí po celou dobu týdne
nn	3 %	–	$U_n \pm 10 \%$	$U_n + 10 \% / -15 \%$
vn	2 %	5 %	$U_c \pm 10 \%$	$U_c \pm 15 \%$

Podle normy [12] je možné vycházet i z hodnot zkratových výkonů sítě a poměrného zkratového výkonu VE. Třetím možným řešením, kterým lze ověřit podmínku připojení týkající se hodnoty napětí, je využít hodnotu maximálního připojitelného výkonu, díky kterému zjistíme i výsledné ovlivnění napětí v místě připojení.

### 5.1.2 Nesymetrie napětí v sítích nn

Nesymetrie napětí vzniká zejména v sítích nn, a to z důvodu, že právě v této hladině jsou často používány VM, které jsou navrženy jako jednofázové. U VM malých výkonů se jedná o technologicky a ekonomicky výhodnější koncept, než třífázové řešení.

Nicméně právě toto řešení způsobuje nesymetrii v místě připojení, jelikož veškerý výkon VM je dodáván pouze do jedné fáze ES, což vede ke zvýšení napětí v místě připojení, ale pouze v jedné fázi. Tato nesymetrie vede i ke vzniku zpětné složky napětí, která musí být podle PNE 33 3430-0 pod 0,7 %. Celková povolená nesymetrie v síti nn je do 2 %. K posouzení připojitelnosti VM je možnost využít vztah [11]:

$$\Delta u_{AN} \approx 6 * \frac{S_{Amax}}{S_{kV}} * \cos(\psi_{kV} - \phi_e), \quad (5.1)$$

Kde:  $S_{Amax}$  Maximální zdánlivý výkon VM  
 $S_{kV}$  Zkratový výkon ve společném napájecím bodu  
 $\Psi_{kV}$  Fázový úhel zkratové impedance  
 $\Phi_e$  Fázový úhel VM

Důležitým aspektem tohoto vztahu je skutečnost, že VM zvýší v připojené fázi napětí o šestnásobnou hodnotu, než při třífázové dodávce stejného výkonu. I z tohoto důvodu se jednofázové VM provozují pouze u malých výkonů v síti nn [29].

### 5.1.3 Změny napětí při spínání VM

Poslední podmínkou jsou tzv. změny napětí, které jsou vyvolány spínáním a odpínáním VM. V případě normálních provozních podmínek v síti se neuvažují nepřijatelné zpětné vlivy za podmínky, že největší změna hodnoty napětí v přípojném bodě nepřekročí pro hladinu nn 3 % a pro hladinu vn 2 %. Toto neuvažování je nicméně spjata i s dobou spínání, která nesmí být častější než jednou za 1,5 minuty [11].

Zmíněné změny napětí lze nicméně zvýšit, a to v případech, kdy nedochází k častému spínání a kdy je toto zvýšení odsouhlaseno od PDS, který pak posuzuje výjimku na základě parametrů místa připojení a typu zdroje. Při spínání nesmí být opět porušeny ani limity napětí v přípojném bodě, viz tabulka . Maximální změnu napětí lze vypočítat podle vztahu [11]:

$$\Delta u_{max} = k_{i,max} * \frac{S_{nE}}{S_{kV}}, \quad (5.2)$$

Kde:  $S_{nE}$  Jmenovitý zdánlivý výkon jednotlivé VE (či VM)  
 $S_{kV}$  Zkratový výkon ve společném napájecím bodu  
 $k_{i,max}$  Činitel označující největší spínací ráz

Činitel největšího spínacího rázu lze pak vypočítat jako:

$$k_{i,max} = \frac{I_a}{I_{nG}}, \quad (5.3)$$

Kde:  $I_a$  Zapínací ráz v průběhu spínacího pochodu  
 $I_{nG}$  Jmenovitý proud generátoru či zařízení



Činitel největšího spínacího rázu má různé hodnoty, které se liší v závislosti na použitém zdroje elektrické energie. Typické hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2 Typické hodnoty činitele největšího spínacího rázu, vytvořeno z [11]

$k_{i,max} = 1$	Synchronní generátor s jemnou synchronizací a střídače
$k_{i,max} = 4$	Asynchronní generátor, který je připojován při 95 % – 105 % synchronních otáček, při neznalosti přesnějších údajů o omezení proudu.
$k_{i,max} = I_a/I_{nG}$	Asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě
$k_{i,max} = 8$	Pokud není znám zapínací ráz $I_a$

Speciální výjimkou jsou v tomto ohledu větrné elektrárny, které mají tzv. činitel spínání závislý na síti. Tento činitel musí prokazovat výrobce a je dán nejenom výší, ale i časovým průběhem proudu v průběhu přechodného děje a je udáván jako funkce úhlu impedance sítě pro každé jednotlivé zařízení ve zkušebním protokolu. Z pohledu minimalizace vlivu na ES je nutné zamezit současnému spínání více generátorů v jednom předávacím místě, což je typický případ větrných parků. Technicky je tato problematika řešena časově odstupňovaným spínáním [11].

## 5.2 Ochrany VM

Ochrany VM jsou zařízení, které slouží jednak k zajištění ochrany vlastní výroby (chránění drahých technologií atd.) před nepříznivými vlivy a jednak k chránění osob před nebezpečným dotykem. Koncepce a nastavení nových ochrany ve VM vychází z filozofie okamžitého odpojení výroben při poruchách v ES. Tato filozofie byla přijata v období nízkého počtu VM v ES, kdy nemělo okamžité odpojení VM od ES téměř žádný vliv na kvalitu ele. Energie V rostoucím trendu zavádění lokálních VM do ES, potažmo DS je tato filozofie nedostačující, jelikož při stále se zvětšujícím se počtu VM v DS, je jejich hromadné odpojení v jednom momentu nežádoucí. Nová koncepce tedy vychází z předpokladů, kdy se VM mohou odpojit od DS jen ve výjimečných případech [11].

### 5.2.1 Nastavení ochrany pro VM kategorie A1

VM kategorie A1 spadá zařízení, které jsou provozovány paralelně s DS na hladině nn s fázovými proudy do 16 A na každou fázi. Pro tuto oblast jsou pak definovány jednotlivé typy ochrany společně s jejich nastavením podle [11], viz tabulka 5.3.

Tabulka 5.3 Typ ochran a jejich nastavení VM kategorie A1, převzato z [11]

Parametr	Maximální vypínací čas (s)	Nastavení pro vypnutí
Nadpětí 1. stupně	3	230 V + 10 %
Nadpětí 2. stupně	1	230 V + 15 %
Nadpětí 3. stupně	0,1	230 V + 20 %
Podpětí	1,5	230 V – 15 %
Nadfrekvence	0,5	52 Hz
Podfrekvence	0,5	47,5 Hz

Pozn.: Hodnota, při které zareaguje ochrana na nadpětí 1. stupně je získána z 10 minutového klouzavého průměru efektivní hodnoty napětí. Pro porovnání s vypínací hranicí stačí výpočet průměrné hodnoty napětí nejméně jednou za 3 sekundy. Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana může být pouze jednofázová, ale podpětíová a nadpětíová ochrana musí být třífázová. Výjimka je udělena pouze pro jednofázové a dvoufázové VM do výkonu 3,7 kVA/fázi [11].

Tabulka 5.3 je tvořena ze základních nastaveních pro jednotlivé ochrany. V praxi je nutné toto nastavení koordinovat podle požadavků PDS, který může ve výjimečných případech vyžadovat jiné nastavení ochran v určité části DS.

### 5.2.2 Nastavení ochran pro VM kategorie A2

VM kategorie A2 se řadí k výrobnám s fázovým proudem větším než 16 A. Tabulka 5.4 shrnuje základní nastavení nejenom pro kategorii A2, ale i pro zbylé vyšší kategorie.

Tabulka 5.4 Typ ochran a jejich nastavení pro VM kategorie A2, převzato z [11]

Parametr	Rozsah nastavení	Doporučené nastavení ochrany <sup>(2)</sup>	
		Nastavení pro vypnutí	Maximální vypínací čas (s)
Nadpětí 1. stupně $U >$	$1,00 - 1,30 U_n$	$1,15 U_n^{(1)}$	$\leq 60$
Nadpětí 2. stupně $U >>$	$1,00 - 1,30 U_n$	$1,20 U_n$	5
Nadpětí 3. stupně $U >>>$	$1,00 - 1,30 U_n$	$1,25 U_n$	0,1
Podpětí 1. stupně $U <$	$0,10 - 1,00 U_n$	$0,70 U_n$	0 – 2,7
Podpětí 2. stupně $U <<$	$0,10 - 1,00 U_n$	$0,3 U_n (0,45 U_n)^{(3)}$	$\geq 0,15$
Nadfrekvence $f >$	50 – 52 Hz	51,5 Hz	$\leq 0,1$
Podfrekvence $f <$	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz <sup>(4)</sup>	$\leq 0,1$
Směr jalového výkonu a podpětí <sup>(5)</sup>	$0,70 - 1,00 U_n$	$0,85 U_n$	$t_l = 0,5 \text{ s}$

(1) Pro nadpětí 1. stupně se opět použije hodnota klouzavého průměru za období 10 minut. Podrobněji viz výše nastavení ochran kategorie A1.

(2) Vypínací časy je nutné korigovat podle parametrů FRT křivek.

(3) Tento napěťový stupeň se uplatní např. při blízkých zkratech. Hodnota  $0,45 U_n$  je dána pro napěťovou hladinu  $v_n$ .

(4) Nastavení je závislé na výkonu výroby a na kmitočtovém charakteru výkonu.

(5) Ochrana se používá u VM s instalovaným výkonem nad 30 kVA, pokud neurčí PDS jinak.

Kategorie A2 se většinou připojuje do hladiny  $nn$ , ale může dojít i k situaci, kdy je zapojena do hladiny  $v_n$ . V tomto případě je nastavení ochran a jejich časové zpoždění vázáno koncepcí chránění DS, způsobu provozu opětovného zapnutí a samotným výkonem VM, a proto jednotlivé nastavení ochran a jejich časové zpoždění udává PDS. Na hladině  $v_n$  je měření napětí vztaženo ke sdruženému napětí [11].

## 5.3 Chování VM v ES

Způsob, jakým se VM mají chovat v ES je obecně definován podle [29]. Tyto požadavky vznikly, mj., kvůli trendu připojování čím dál většího počtu VM s nižším výkonem do ES. Dokument [29] rovněž shrnuje problematiku a podmínky provozu VM ve všech členských státech EU, čímž dochází k relativnímu zjednodušení, neboť nejdůležitější aspekty dané problematiky, jsou shrnuty v jediném platném dokumentu. Dovolené hodnoty, odchylky atd. jsou nicméně určeny převážně v obecných, nastavitelných mezích, které si může jednotlivý PPS, případně PDS v koordinaci s PPS, upravit podle vlastností své sítě. Tyto úpravy však musí respektovat dovolené max. a min. meze, či jiné možnosti vyplývající právě z [29]. Další důležité dokumenty, kterými se chování VM v síti řídí jsou [11] a norma ČSN EN 50549-1 pro nn a ČSN EN 50549-2 pro vn.

Jednotlivé požadavky, které budou v kapitolách níže, nemusí plnit již stávající VM až na určité výjimky popsané v [29].

### 5.3.1 Článek RfG 13.1a – Frekvenční rozsahy a časové limity pro VM

Článek 13.1a definuje minimální doby pro určité frekvenční rozsahy, ve kterých nesmí dojít k odpojení VM od ES. Pro ČR jsou hodnoty pro jednotlivé rozsahy frekvence stanoveny v [11].

Tabulka 5.5 Minimální doba provozu VM kategorie A1, A2, B1, B2, C a D v ČR, převzato z [11]

Rozsah frekvence	Minimální doba provozu
47,5 Hz – 48,5 Hz	30 min
48,5 Hz – 49 Hz	90 min
49 Hz – 51 Hz	Neomezeně
51 Hz – 51,5 Hz	30 min

Jak pro hladinu nn [32], tak pro hladinu vn [33], jsou v normách uvedeny i rozsahy 47 Hz až 47,5 Hz a 51,5 Hz až 52 Hz. Tyto rozsahy jsou obecně nepovinné a jejich vyžadování se označuje za přísnější nastavení. Normy obecně neuvádí povinnou minimální dobu provozu v těchto oblastech, ale pouze tímto vytváří hranici, od které by se potenciálně označovalo povinné dodržování těchto mezí, pokud by to tak PPS vyžadoval, za přísné, či tvrdé vůči VM.

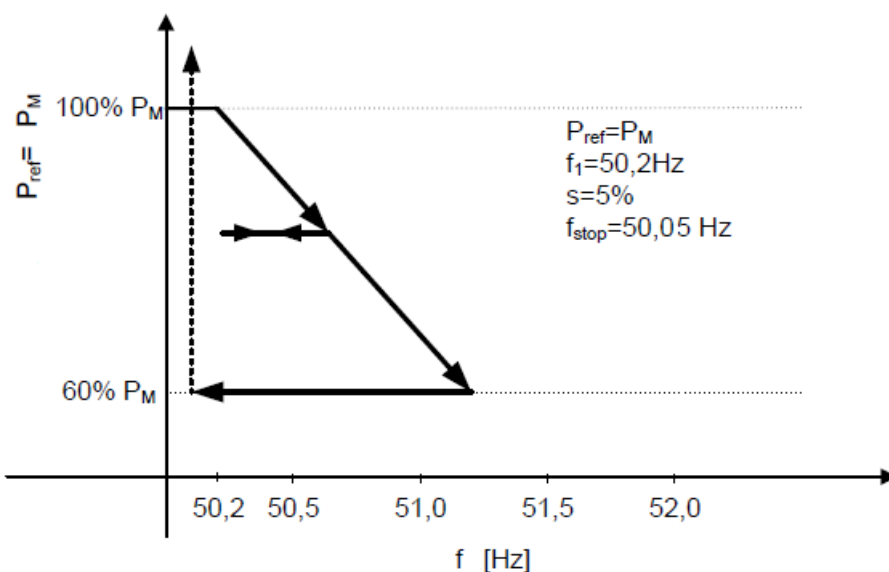
### 5.3.2 Článek RfG 13.1b – Hodnota rychlosti změny frekvence

Hodnota rychlosti změny frekvence, nebo-li RoCoF (Rate of Change of Frequency), udává prahovou rychlost změny frekvence, kdy nesmí dojít k odpojení VM od ES. Do této hodnoty musí být VM schopný normálního provozu. Tuto prahovou hodnotu určuje PPS [29]. Pro ČR je hodnota RoCoF, nebo-li hodnota odolnosti VM proti změně frekvence, definována jako  $\pm 2$  Hz/s. Ověření souladu s touto mezí je prováděno pomocí derivace střední hodnoty frekvence měřené v časovém intervalu 500 ms [11], [32] a [33].

### 5.3.3 Článek 13.2 – Omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci

VM musí být schopen se aktivně podílet na vyrovnání odchylky frekvence při vzniku nadfrekvence prostřednictvím snižování svého činného výkonu [11]. Tato funkce, označována i jako LFSM-O (Limited Frequency Sensitive Mode – Overfrequency), se tak podílí na procesu obnovy frekvence v ES. Význam této funkce spočívá i ve snaze co nejvíce pomoci snížit frekvenci tak, aby nedocházelo k odpojení VM od ES prostřednictvím ochran, což je jednak z pohledu řízení ES, tak i z pohledu majitele velice důležitá vlastnost.

Důležitými údaji pro funkci LFSM-O jsou hodnoty prahové frekvence  $f_1$ , které musí být v rozmezí 50,2 Hz až 50,5 Hz (pro ČR 50,2 Hz [11]), nastavení statiky s frekvenční odezvou, která musí být v rozmezí 2 % až 12 % [29] (pro ČR 5 % [11]). V případě ČR je definována i tzv. deaktivací prahová frekvence  $f_{stop}$ , která musí být v rozmezí 50 Hz až  $f_1$  (pro ČR 50,05 Hz [11]). Tato frekvence udává mez, od které může dojít k deaktivaci LFSM-O. Všechny výše zmíněné hodnoty musí být u VM přenastavitelné. Přesnost měření frekvence u VM musí být max.  $\pm 10$  mHz. Funkce LFSM-O musí být aktivována v co nejkratší době při překročení  $f_1$ , nejpozději však do 2 vteřin. Princip funkce je znázorněn na obrázku 5.1. Při překročení frekvence  $f_1$  (50,2 Hz) musí VM snižovat svůj činný výkon podle závislosti na obrázku 5.2. Tuto závislost rovněž popisuje i rovnice (5.4). V případě, kdy dojde k poklesu frekvence, ale nedojde k poklesu pod  $f_{stop}$ , musí zůstat generovaný činný výkon VM na stejné úrovni. Teprve po dosažení zmíněné hranice může obnovit maximální dodávaný výkon s rychlostí maximálně 10 % z  $P_m$  za minutu (z nulového výkonu tedy zvyšuje svoji dodávku min. 10 minut) [32].



Obrázek 5.1 Frekvenční odezva činného výkonu u nesyndronního VM při nadfrekvenci, převzato a upraveno z [32]

Pozn.: Při dosažení minimální hodnoty činného výkonu VM při nadfrekvenci, musí VM udržovat tuto hodnotu výkonu, pokud PDS nepožaduje odpojení VM od ES, ale např. u FV elektráren se uvažuje, že VM umí snížit činný výkon na nulu [32].

Pro výpočet max. výkonu VM při určité frekvenci se použije rovnice [32]:

$$\Delta P = \frac{1}{s} * \frac{(f_1 - f)}{f_n} * P_{ref}, \quad (5.4)$$

Kde:  $s$  – Statika frekvenční odezvy

$f_1$  – Prahová hodnota, při které dojde ke spuštění frekvenční odezvy činného výkonu

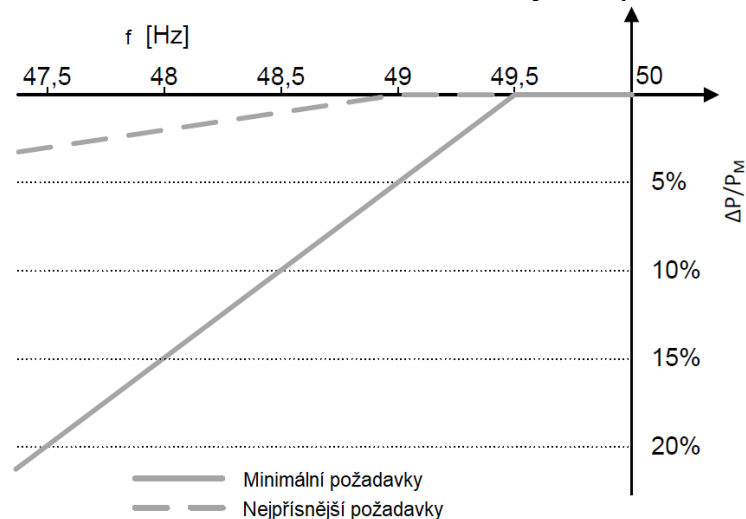
$f$  – Aktuální frekvence

$f_n$  – Jmenovitá frekvence

$P_{ref}$  – Referenční činný výkon. Pro synchr. VM je  $P_{ref}$  roven maximální kapacitě  $P_{max}$ . Pro nesynchr. VM je  $P_{ref}$  roven disponibilnímu činnému výkonu  $P_M$  v okamžiku dosažení prahové hodnoty  $f_1$ .

### 5.3.4 Článek 13.4 a 13.5 – Dovolené snížení činného výkonu při klesající frekvenci soustavy

Při snížení frekvence pod 49,5 Hz musí VM vykazovat určitou odolnost vůči dalšímu snížení tak, že jeho činný dodávaný výkon nebude s klesající frekvencí klesat více, než 10 % z maximální kapacity (dodávané při 50 Hz) při poklesu frekvence o další 1 Hz. Druhá mez je tzv. maximální nejpřísnější mez, kterou lze po VM podle [32] vyžadovat. Tato mez začíná poklesem frekvence pod 49 Hz a její sklon je dán poklesem 2 % z maximální kapacity (dodávané při 50 Hz) při poklesu frekvence o další 1 Hz [29]. Podle [29], [32] a [33] si každý PPS volí přípustnou mez právě z tohoto rozsahu, který je znázorněn na obrázku 5.2. V ČR se podle [11] a podle [34] připouští snížení maximálního výkonu o 2 % z  $P_{max}/\text{Hz}$  při poklesu pod frekvenci 49 Hz. Tato snížení platí při jmenovitých podmínkách okolního prostředí stanovené výrobcem zařízení. V případě, že VM není schopný tento požadavek plnit, může mít výjimku pouze po předložení technické studie [34]. Nastavení v ČR reflektuje požadavek, aby VM co nejméně snižovali svůj činný výkon při podfrekvenci, čímž zmenšují svůj vlastní vliv na další možné snížení frekvence vlivem snížení činného výkonu právě z VM.



Obrázek 5.2 Maximální dovolené snížení činného výkonu s klesající frekvencí, převzato a upraveno z [32] a [33]

### 5.3.5 Článek 13.6 – Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu

Z důvodu řízení DS je nezbytné, aby každý VM byl vybaven logickým rozhráním, které po obdržení pokynu (např. prostřednictvím HDO) vyšle signál k přerušení dodávky činného výkonu na odpínací prvek. Tento proces musí proběhnout do 5 vteřin od přijetí pokynu k vypnutí. Odpínací prvek musí být rovněž zapojen takovým způsobem, aby i po odpojení VM z paralelního provozu s DS umožnil automatické dálkové řízení [11].

VM kategorie A2 a vyšší musí být vybaveny logickým rozhráním, které nejenom umožňuje předchozí ovládání, ale musí umožnit začlenění VM do systémů dálkového řízení PDS. Pro VM kategorii A2 se jedná o [11]:

- Řízení spínače s oddělovací funkcí (VYP/ZAP)
- Omezení dodávaného činného výkonu
- Řízení jalového výkonu a napětí
- Rozhraní pro přenos dat

Vlastnosti tohoto rozhraní a další vybavení může příslušný PDS dále specifikovat. V současné době se pro kategorii A2 nicméně vyžaduje pouze příprava takového rozhraní [11].

### 5.3.6 Článek 13.7 – Podmínky pro automatické připojení k soustavě

Automatické připojení VM k soustavě je povoleno, pokud PDS nezakázal opětovné připojení z důvodu řízení činného výkonu, který VM obdržel např. prostřednictvím signálu HDO, viz kapitola 5.3.5. Pro všechny kategorie VM mimo kategorie D platí následující kritéria, za kterých se může VM automaticky opětovně připojit do DS [11]:

- 1) Napětí a frekvence jsou po dobu 300 vteřin v mezích
  - i) Napětí v rozsahu 85 % až 110 % jmenovité hodnoty
  - ii) Frekvence v rozsahu 47,5 Hz až 50,05 Hz
- 2) Postupné najetí na výkon od nulové hodnoty s gradientem max. 10 % z  $P_n$  za minutu (k připojení celého výkonu dojde nejdříve za 10 minut)

Pokud nejsou VM schopny postupného najetí z bodu 2), lze tyto zdroje připojit do DS po době, kterou stanoví příslušný PDS. Tato hodnota se pohybuje v intervalu od 0 až do 20 minut, přičemž neustále probíhá kontrola mezi napětí a frekvence podle bodu 1. Synchronizace VM musí být plně automatizována. Automatické připojení je potřebné v případech, kdy z důvodu odchylek napětí či frekvence dojde k odpojení zdroje od sítě [11].

### 5.3.7 Článek 14.2 – Rozhraní pro snížení činného výkonu

VM kategorie A2 a B1 s i bez akumulačního zařízení musí být schopna provozu i se sníženým činným výkonem a musí být rovněž vybavena rozhraním, viz kapitola 5.3.5, které umožní PDS snížit dodávaný činný výkon, a to až po hodnotu 0 %. I při tomto omezení by měla výrobná zůstat připojena k síti. Přípustná odchylka skutečného činného výkonu od požadované hodnoty je  $\pm 5\%$ . Toto omezení volí PDS v případě, že může dojít k [11]:

- „Potenciálnímu ohrožení bezpečného provozu systému (např. při předcházení stavu nouze a při stavech nouze)“
- „Stavu blackoutu nebo stavu obnovy“
- „Nutné provozní práce, popř. nebezpečí přetížení v síti PDS“
- „Nebezpečí vzniku ostrovního provozu“
- „Ohrožení statické nebo dynamické stability“
- „Vzrůst frekvence ohrožující systém“
- „Údržba nebo provádění stavebních prací na zařízení DS nebo v jeho blízkosti“

K řízení je PDS oprávněn prostřednictvím [30].

### 5.3.8 Článek 14.3 – Překlenutí poklesu napětí

Překlenutí poklesu napětí je vlastnost, kdy nedojde k odpojení VM od sítě v případě poruch, při kterých dochází k poklesům napětí (typicky zkraty). Jedná se tedy o tzv. dynamickou podporu sítě, kdy je snaha, aby právě v případě poklesů napětí v síti nedocházelo k odpojení výkonů. Křivka, která znázorňuje průběh poklesu napětí, se nazývá FRT křivka (Fault Ride Through). V případech, kdy napětí leží na nebo nad definovanou křivkou, nesmí dojít k odpojení VM od sítě. Pokud je napětí pod křivkou, může se VM od sítě odpojit [32] a [33].

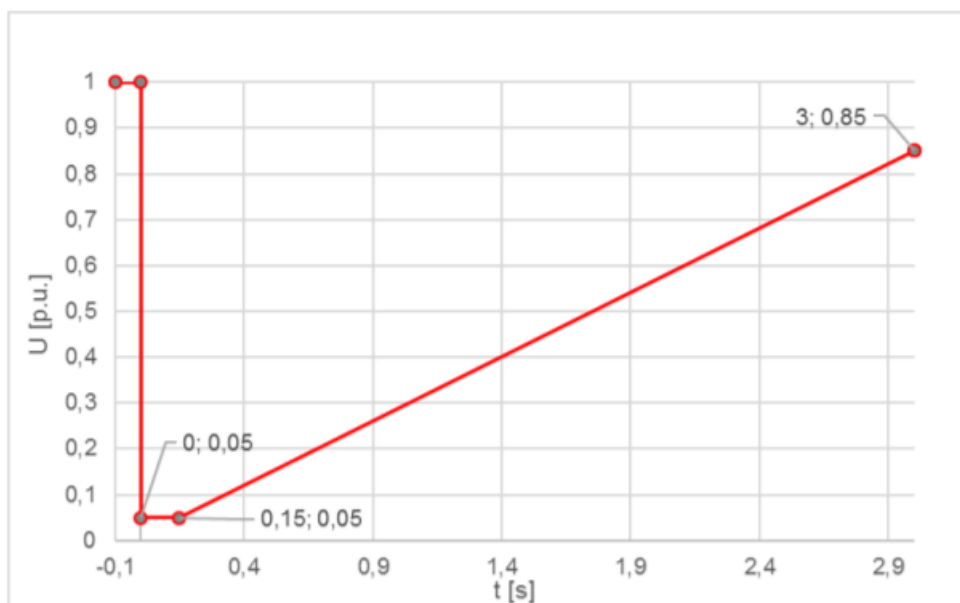
Pozn.: U VM v síti nn se hodnotí nejmenší fázové napětí. V případech, kdy není vyveden střední vodič, se vychází z nejmenšího sdruženého napětí stejně jako na hladině vn a 110 kV [32].

U nesynchronní modulů je křivka definována celkem třemi body. Pro ČR je toto nastavení dáno hodnotami, které jsou vypsány v tabulce 5.6. Grafické zobrazení je znázorněno na obrázku 5.3.

Tabulka 5.6 Parametry FRT křivky pro nesynchronní VM kategorie A1 a A2, převzato z [11]

t (s)	U (p.j.)
0	0,05
0,15	0,05
3	0,85



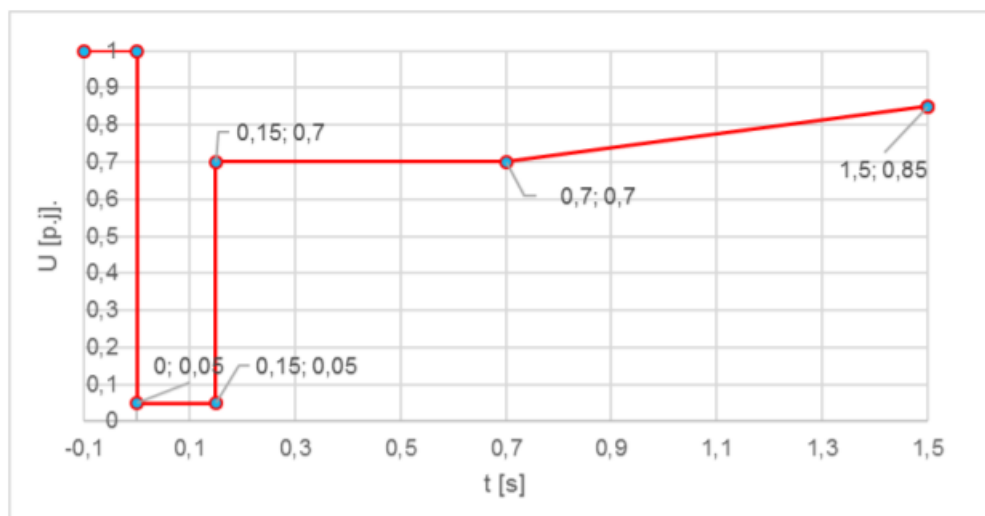


Obrázek 5.3 Časový průběh napětí v místě připojení nesynchronního zdroje, převzato z [11]

Synchronní VM jsou definovány FRT křivkou, která je složena z celkem pěti bodů. Pro ČR je toto nastavení dáno hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce 5.7. Grafické znázornění je možné vidět na obrázku 5.4.

Tabulka 5.7 Parametry FRT křivky pro synchronní VM kategorie A1 a A2, převzato z [11]

t (s)	U (p.j.)
0	0,05
0,15	0,05
0,15	0,7
0,7	0,7
1,5	0,85



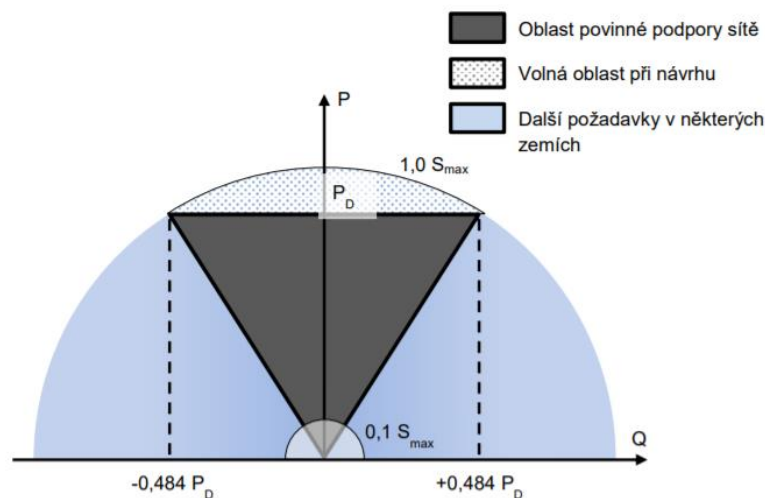
Obrázek 5.4 Časový průběh napětí v místě připojení synchronního zdroje, převzato z [11]

### 5.3.9 Článek 14.4 – Opětovné připojení po poruše

Opětovné připojení po poruše je vyžadováno, z pohledu řešených kategorií, pouze pro nesynchronní VM kategorie A2. Tato kategorie se musí po poruše v síti, která zapříčinila jeho odpojení, opět připojit a obnovit činný výkon na jeho hodnotu před vznikem poruchy s dovolenou odchylkou  $\pm 5\%$  do 1 vteřiny po dosažení 85 % napětí v místě připojení. V případě, že VM dodával během poruchy převážně jalový výkon, tak k obnovení činného výkonu dojde až po dosažení 95 % hodnoty napětí v místě připojení. Toto připojení musí být provedeno opět do 1 vteřiny [29].

### 5.3.10 Statické řízení napětí

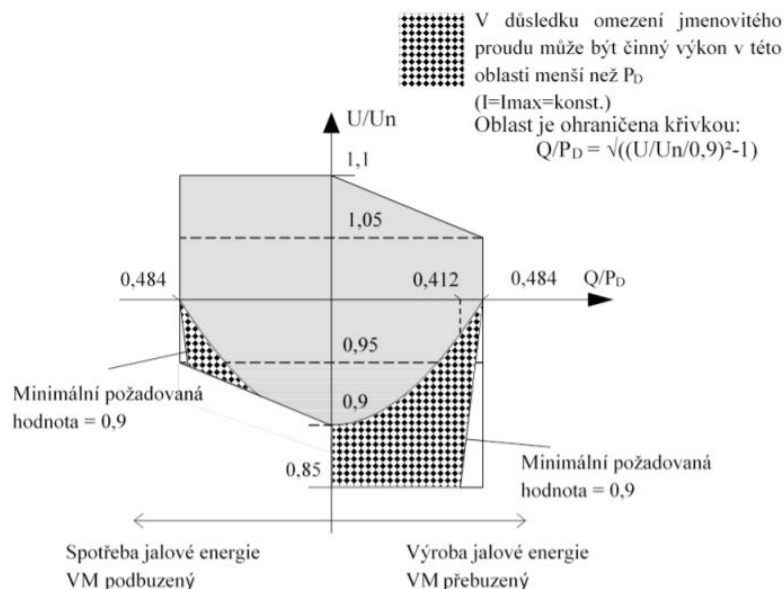
Principy, které využívá statické řízení napětí, udržují napětí ve smluvně stanovených mezích při pomalých změnách napětí v normálním provozu. VM a výrobní musí být schopny se podílet na podpoře normálního provozu sítě. K tomuto úkonu využívají generování, či spotřebu jalového výkonu v rozsahu účinníku mezi 0,9 kapacitním a 0,9 induktivním charakterem [11]. Na hladině nn při jmenovitém napětí je oblast povinné podpory sítě zobrazena na obrázku 5.5.



Obrázek 5.5 Požadavky na regulaci jalového výkonu při jmenovitém napětí na hladině nn, převzato z [11]

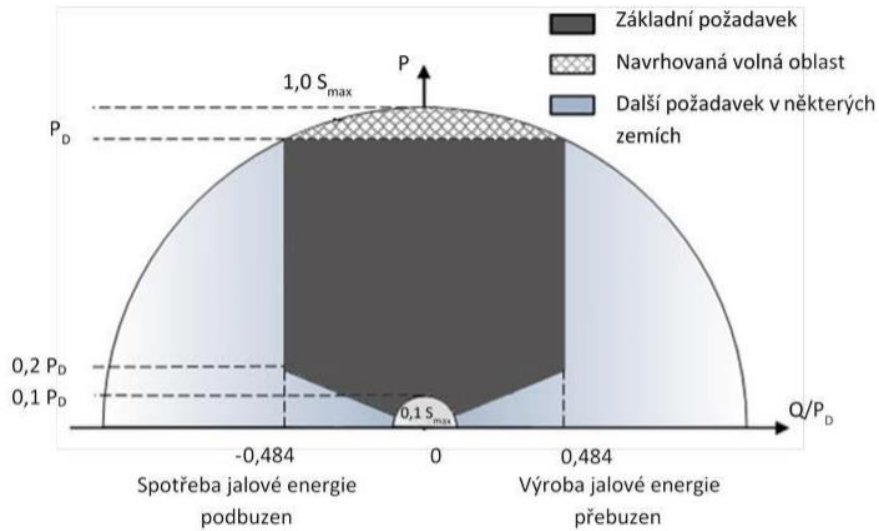
Pozn.: Pod obrázek. Kružnice s poloměrem  $0,1 S_{\max}$  označuje oblast, od které musí být zajištěno řízení jalového výkonu s přesností  $\pm 2 \% S_{\max}$ . Uvnitř polokružnice je nicméně dovolena odchylka větší než  $2 \%$ . V případě, že VM či výrobná má vyšší min. regulační úroveň výroby než je  $0,1 S_{\max}$ , pak je tato min. úroveň použita jako nový poloměr místo  $0,1 S_{\max}$  [32].

V případě, že je napětí odlišné od jmenovitého napětí, ale zároveň je toto napětí v rozsahu, který umožňuje trvalý provoz jsou meze pro minimální požadavky znázorněny na obrázku 5.6 .



Obrázek 5.6 Požadavky na regulaci jalového výkonu při napětí odlišném od jmenovitého, převzato z [11]

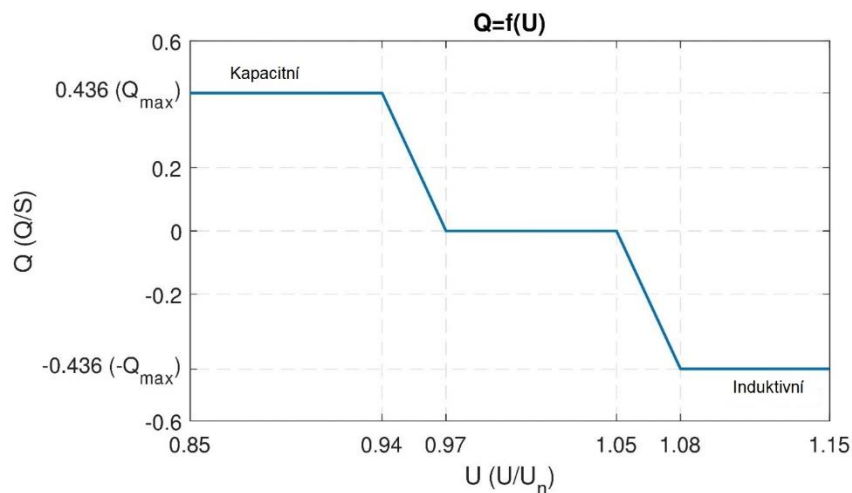
V případě, kdy je VM kategorie A2 zapojen do sítě vn, jsou požadavky na regulaci jalového výkonu zobrazeny na obrázku 5.7.



Obrázek 5.7 Požadavky na regulaci jalového výkonu na hladině vn, převzato z [11]

Pozn.: Norma [33] určuje základní nastavení v užším rozsahu, nicméně pro ČR je podle PPDS přílohy 4 zvoleno přísnější nastavení.

K řízení napětí, jak už bylo zmíněno výše, využívá VM řízení jalového výkonu. Tato vlastnost je označována jako  $Q(U)$  charakteristika a je definována celkem čtyřmi body. Tyto body označují meze napětí, od kterých musí VM regulovat svůj činný výkon a měnit jeho charakter z kapacitního až po induktivního. Nastavení bodů musí být přenastavitelné, jelikož vždy záleží na konkrétních podmínkách připojení (vzhledem ke kolísání napětí atd.). Typicky používané hodnoty jsou ukázány na obrázku 5.8 společně s křivkou  $Q(U)$  charakteristiky.

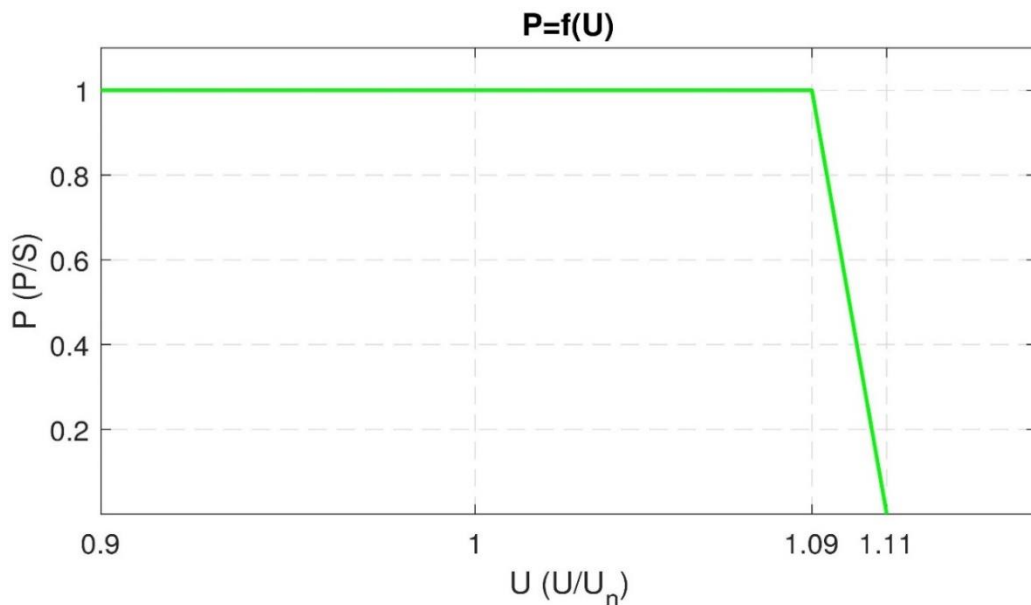


Obrázek 5.8 Ukázková křivka  $Q(U)$  regulace, převzato a upraveno [35]

Pozn.: Při skokové změně napětí musí nesynchronní VM dosáhnout 90 % změny jalového výkonu do doby stanovené příslušným PDS. Tato doba se nachází v intervalu od jedné až do pěti vteřin. Hodnota jalového výkonu se následně musí ustálit do doby

stanovené opět příslušným PDS v rozpětí 5 až 60 sekund s přípustnou odchylkou v ustáleném stavu nejvýše 5 % max. jalového výkonu [11].

V případech, kdy  $Q(U)$  regulace již není dostatečná, tzn., že napětí stále roste i po překročení maximální jalové regulace, je nutné použít tzv.  $P(U)$  regulaci. Princip této regulace je zobrazen na obrázku 5.9, kdy jednotlivé hodnoty určuje opět PDS podle lokálních podmínek připojení VM. Na obrázku 5.9 jsou nicméně znázorněny typicky používané hodnoty. Obecně je cílem této charakteristiky působení až po vyčerpání možnosti  $Q(U)$  regulace, aby si VM nesnižoval dodávaný výkon do sítě, a tím si i nesnižoval svůj ekonomický zisk. V případě vyčerpání  $Q(U)$  regulace a stále rostoucího napětí je ale potřeba snižovat svůj činný výkon tak, aby VM pomáhal se snížením napětí v místě jeho připojení, čímž se snaží zabránit vlastnímu odpojení od sítě prostřednictvím nadpěťových ochran.

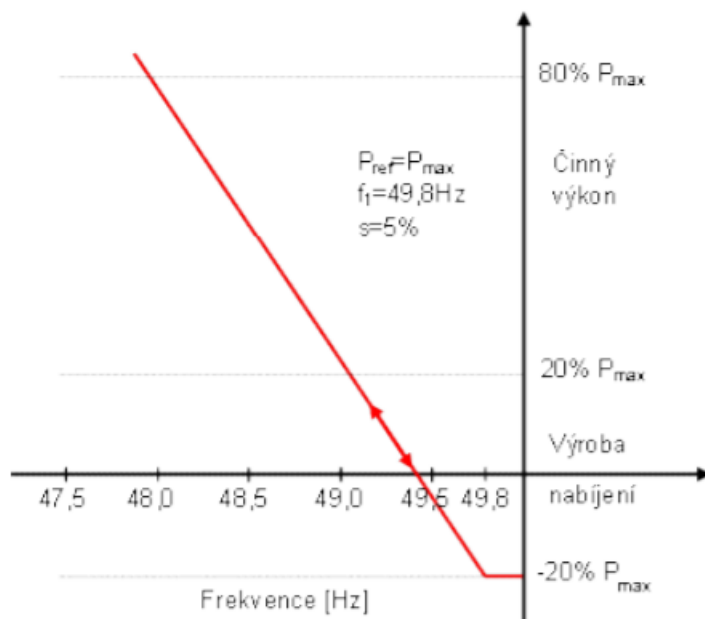


Obrázek 5.9 Ukázková křivka  $P(U)$  regulace s typicky používanými hodnotami, převzato z [35]

### 5.3.11 Frekvenční odezva činného výkonu u akumulčních zařízení

V případech, kdy je dostupné akumulční zařízení ve výrobně či u VM, je nutné, aby tato akumulace byla využita jako zdroj činného výkonu do sítě, čímž přispívá ke zmírnění poklesu frekvence. Akumulční zařízení musí být schopné této podpory jak v režimu dodávky energie, tak i v režimu nabíjení. Zařízení tedy musí být schopno přechodu mezi těmito stavy.

Mezní hodnota frekvence, při které dojde k aktivaci frekvenční odezvy, je programovatelná hodnota v minimálním rozmezí 49,8 Hz až 49,5 Hz včetně. Statika frekvenční odezvy musí být rovněž programovatelná, a to v minimálním rozmezí 0,1 % až do 12 %. Akumulční zařízení má dovolenou maximální dobu vlastního zpoždění do 2 sekund a s odezvou maximálně 30 sekund. Při aktivaci frekvenční odezvy je nutné používat aktuální hodnotu frekvence a reagovat na její růst nebo snížení podle předem nastavené statiky s přesností  $\pm 10\%$  z jmenovitého výkonu. Pokud není nastavení této odezvy definováno PPS, funkce musí být zablokována. Princip fungování frekvenční odezvy činného výkonu u akumulčních zařízení je zobrazen na obrázku 5.10.



Obrázek 5.10 Frekvenční odezva činného výkonu při detekci podfrekvencu u akumulárního zařízení, převzato z [11]

## 6. OVĚŘOVÁNÍ SOULADU VM S PPDS – PŘÍLOHA 4

Pro ověření souladu VM s normami [32], [33] a nebo [11] je nutné provést značné množství dílčích zkoušek, jejichž specifikace je popsána v navrhované normě EN 50549-10. Tato norma je pro potřeby této práce klíčová. Společně s obsaženými informacemi norma dále udává i povinné poznatky a výsledky, které musí být obsaženy ve výstupním protokolu, který bude sloužit jako důkaz o souladu s PPDS – příloha 4, popřípadě s normami [32] a [33].

Norma [36] rovněž používá minimální povinné hodnoty, které udávají právě normy [32] a [33], ale v případě ČR, respektive [11], jsou u některých kritérií vyžadovány náročnější požadavky nežli ve zmiňovaných normách, a proto budou použity hodnoty odpovídající českým standardům a povinnostem. Podmínky, které musí VM splňovat, se odvíjí zejména od:

- Jmenovitého výkonu
- Technologie výrobní jednotky (synchronní nebo nesynchronní)
- Druh primárního zdroje energie (vítr, slunce atd.)

Norma [36] popisuje hned několik možností testování (např. testování v terénu, test simulovaného vstupu atd.), ale s ohledem na vybavení laboratorní pracoviště, viz obrázek 6.1, které bude sloužit pro testování VM, jsou důležité podmínky pro testování systému (zařízení), který generuje elektrickou energii do DS. Pro toto testování je nutné dodržet následující podmínky [36]:

- Test se provádí na zařízení, které slouží k výrobě (generování) elektrické energie. Toto zařízení je subsystémem celé generátorové jednotky. Typicky u FV systému, kdy celá generátorová jednotka je složena z FV panelu, střídače, baterie a s dalším pomocným zařízením.
- Zařízení musí být vybráno tak, aby výsledky testu odpovídaly testování celé generátorové jednotce (v případě DP je testován vždy kompletní zařízení – střídač)
- Jmenovitá frekvence na výstupu zkoušeného zařízení musí odpovídat jmenovitému napětí v DS, do které je VM připojen.
- Napětí na výstupu zkoušeného zařízení musí být v souladu s napěťovou hladinou DS, do které je VM připojen.
- V případě zařízení, které je připojeno do DS na hladinu vn, musí výrobce uvést výstupní hranice napětí pro zkoušené zařízení.
- Primární zdroj energie je nahrazen alternativním primárním zdrojem, který napodobuje vlastnosti primárního zdroje, které jsou relevantní pro testování (Typicky u FV, VE atd.).
- Zkoušeným zařízením se rozumí i pomocné systémy výroby, které jsou nezbytné ke správnému generování elektrické energie (např. pomocné systémy střídače u FV).

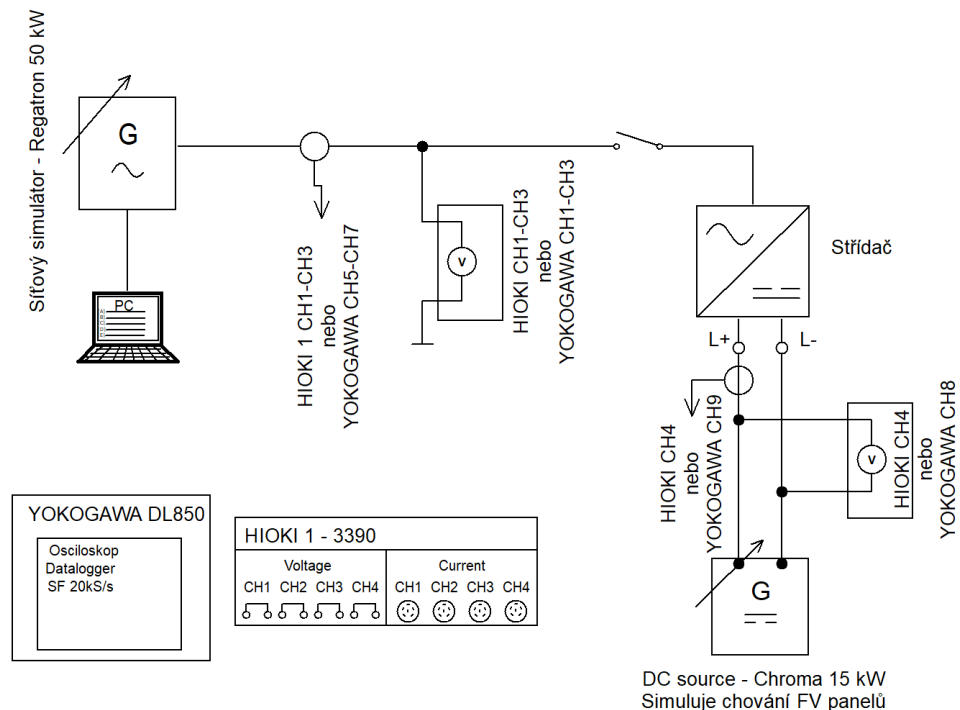
Do takových to testů spadají typicky:

- FV střídače testované na stejnosměrném zdroji, který napodobuje charakteristiku FV panelu
- Generátor větrné turbíny, který je testován s alternativním mechanickým zdrojem na zkušební stoličce.
- Bateriový měnič, který je testován na baterii napodobující obousměrný stejnosměrný zdroj

Podle norem [32], [33] a rovněž podle podmínek [11] je u některých parametřů přidána povinnost jejich možné rekonfigurace. U těchto parametřů je možné provést testování buď pro jedno konkrétní nastavení daného parametru a nebo testováním vícenásobného nastavení, kterým ověřujeme celkovou funkci zařízení. Pokud neexistuje dohoda o testování mezi zájemcem a ověřovatelem, pak se v případě potřeby vícenásobného nastavení provádí testování pro každý parametr, a to jednou pro jeho minimální hodnotu a jednou pro jeho maximální hodnotu [36].

Pozn.: Vícenásobné nastavení se používá např. pro důkaz o shodě s konkrétními technickými požadavky jednotlivých PDS nebo členských států, a to v případě, že dané konkrétní nastavení nebylo samo o sobě zkušeno [36].

Vzhledem k vybavení laboratorního pracoviště a k účelům DP, která je orientována především na testování střídačů (nesynchronní VM), jsou dále rozebrány jednotlivé druhy testování s přihlédnutím na požadavky pro nesynchronní VM kategorie A1 a A2. Z tohoto důvodu je pro testování primární zdroj nahrazen stejnosměrným zdrojem (v případě jiných systémů je nutné postupovat podle [36]), který simuluje chování FV panelu, a zkušební zařízení (střídač) je připojen k simulátoru sítě [36], viz obrázek 6.1.



Obrázek 6.1 Schéma zapojení laboratorního pracoviště pro testování FV střídačů.



Přehled použitého vybavení a parametry dvou střídačů, na kterých byly zkoušeny vytvořené testovací sekvence, jsou uvedeny v tabulkách 6.1 a 6.2.

Tabulka 6.1 Přehled použitého vybavení

Power analysator HIOKI – 3390
Osciloskop YOKOGAWA DL850
DC source – Chroma 15 kW
Full 4-Quadrant Grid Simulator – Regatron TC.ACS.50.528.4WR.S.LC
SW pro řízení Grid Simulator – Regatron, pomocí PC

Tabulka 6.2 Základní parametry testovaných střídačů

	Střídač 1	Střídač 2
Jmenovitý výkon / Zdánlivý výkon	6 kW / 6,3 kVA	11 kW / 11 kVA
Rozsah napětí MPPT	265 – 800 V	200 – 650 V
Max. vstupní proud	12/12 A	26/13 A

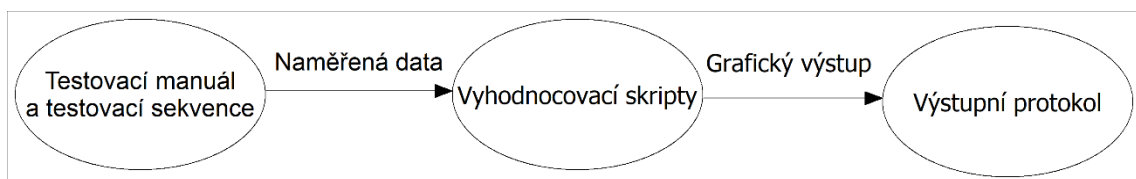
Pro potřeby DP bylo nezbytné vytvořit celkem tři základní dokumenty (části), viz obrázek 6.2. Prvním z nich je TM - Testovací manuál. Jak již bylo zmíněno, tak samotné ověření je složeno z několika dílčích testů. Jelikož se jedná o velké množství hodnot, podmínek a jiných údajů, bylo nutné tyto informace seskupit do jednoho dokumentu, který by mohl sloužit jako návod pro testování. Tuto funkci zastává právě TM, který obsahuje, mj., zásady testování a přehled všech zkoušek, které jsou pro střídače kategorie A1 a A2. Tento manuál rovněž obsahuje grafické ukázky vytvořených testovacích sekvencí v softwaru, určeného k ovládání simulátoru sítě Regatron. Kvůli značnému rozsahu (cca 50 stránek) však nebylo možné přidat tento dokument do příloh DP. Testovací manuál je tak přiložen k práci formou externí přílohy v kroužkové vazbě.

Pomocí manuálu tak byly provedeny některé testy, za účelem získání relevantních dat, které následně byly využity pro vyladění správné funkce vyhodnocovacích skriptů. Tyto data byly získány při měření celkem dvou střídačů, jejichž parametry jsou uvedeny v tabulce 6.2. Nicméně data nejsou dostupné pro všechny dílčí testy, jelikož během měření docházelo často ke komplikacím typu:

- Problémy s přenastavením ochran střídače – nebylo možné ověřit např. frekvenční provozní rozsahy jednotky
- Neovlivitelná záměna testované jednotky za druhou jednotku – tato záměna byla využita pro získání dalších dat z již provedených zkoušek na první jednotce

- Chybnou reakcí některé z jednotek – u jedné z jednotek docházelo např. po několika minutách k selhání správného nastavení max. bodu výkonu pro dva DC zdroje, které simulovaly chování FV panelů, a které byly připojeny na dva vstupy střídače, aby nedošlo k proudovému přetížení. Jednotka pak způsobila opakované skoky výkonů DC zdrojů (a tím i své dodávky do sítě), a to od nastavených hodnot vždy až do nulových hodnot.

Společně s těmito komplikacemi (existují i další) je nutné zmínit i časovou náročnost u většiny testů, která vyplývá zejména z doby pro automatické připojení střídače a ustálení jeho výkonu. Výsledná hodnota byla zvolena jako 20 minut, za kterou je považován chod střídače za ustálený. Hodnota vznikla jednak z min. doby pro automatické připojení (5 min), tak i z doby potřebné pro zvýšení svého činného výkonu s rampou max. 10 % Pn/min (minimum je tedy 10 minut). U obou složek je nicméně předepsáno pouze minimum, nikoliv maximum, a proto slouží zbylých 5 minut jako určitá rezerva. Pokud je tato doba vynásobena celkovým počtem testů (cca 24, viz příloha C), tak i se zanedbáním povinného opakování u některých dílčích testů, je potřebná doba jen pro ustálení VM cca 8 hodin. Tuto dobu lze zkrátit např. při přenastavení právě již zmíněných složek, ze kterých se výsledná hodnota skládá. Nicméně i zde může dojít ke vzniku nových technických komplikací, neboť některé typy střídačů neumožňují změny bez komunikace s výrobcem, či dokonce bez uploadnutí nového firmwaru do střídače. Další časová náročnost vyplývá z již samotných testů, neboť např. pro ověření provozních frekvenčních rozsahů je doba testu, i se zanedbáním již zmíněných 20 minut, rovna přibližně 61 minutám (min. však 60 min.). Všechny již zmíněné okolnosti tak vedly společně s nepříliš prozkoumanou oblastí, jakou je ověřování VM, k tomu, že nebylo možné absolvovat všechny jednotlivé dílčí testy za vyhrazenou dobu pro DP. Data, které nebylo možné u některých testů získat, byly vytvořeny umělým přepsáním specifických hodnot, které jsou klíčové pro vytvořené skripty (souvisí např. s automatickým umístěním pomocné vyhodnocovací křivky). Tyto hodnoty korespondují s příslušnými testovacími sekvencemi a průběhy, které se nijak neliší od hodnot, které by byly získány z daného testu. Dílčí testy a další podrobnosti o nich jsou popsány v následujících kapitolách.



Obrázek 6.2 Zjednodušené schéma využití vytvořených dokumentů

Dalším a velice důležitým krokem bylo vytvoření vyhodnocovacích skriptů v programu Matlab, které slouží jak ke zpracování dat z jednotlivých zkoušek, tak pro vytvoření grafického výstupu, který má za cíl jednoznačně určit, zda střídač v dané zkoušce vyhověl či nevyhověl. Skripty jsou koncipovány tak, aby umožnily budoucí zpracování i pro jiné výrobce střídačů. Pro tento účel stačí pouze měnit parametry střídačů (např. jmenovitý výkon jednotky) v úvodní části skriptu. Všechny vytvořené skripty jsou k nahlédnutí v příloze B.

Posledním a klíčovým krokem je samotná formulace potenciálních výsledků určitého střídače. Pro tento účel byl vytvořen VP, který umožňuje zobrazit jak grafické,

tak i další povinné výsledky z měření v přijatelné podobě a v uceleném celku. Tento protokol se dá považovat za dokument, který poskytuje důkaz jak o provedeném měření, tak i o schopnostech daného střídače. Protokol je přiložen k DP v příloze C.

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé oblasti testování společně s hodnotami pro ověření souladu s [11], dále i s odkazy na příslušné přílohy, které se vážou k probírané kapitole, ale z důvodu rozsahu nemohly být vloženy přímo do jednotlivých kapitol.

## 6.1 Výkonové specifikace VM

Jedná se o test, který slouží pouze k ověření, zda je daný střídač schopen pracovat při jeho výkonových parametrech udávaných výrobcem. Ověřuje se při max. činném výkonu, a to jak pro nulový jalový výkon, tak i pro max. podbuzený a max. přebuzený jalový výkon. Pro tento test není vytvořena testovací sekvence v TM, jelikož se uvažuje s využitím funkce Basic Waveform Generator s jmenovitou hodnotou napětí 230 V a frekvencí 50 Hz.

Pro tento test nebylo rovněž nutné vytvořit ani vyhodnocovací skript, jelikož ve výstupním protokolu se pouze uvádí, zda střídač vyhověl, či nikoliv. Podrobněji viz TM kap. 1.

## 6.2 Testování provozního rozsahu VM

Do této kategorie zkoušek patří ověřování rozsahů frekvence a napětí u zkoušeného zařízení. Měření lze obecně provést buď na úplném zařízení, jako v tomto případě a nebo na částech, které mohou být ovlivněny frekvencí odlišnou od jmenovité frekvence sítě. Stejně tak je tomu i pro ověření napěťového rozsahu, kde je možné měřit buď na úplném zařízení nebo na jeho částech, které mohou být ovlivněny napětím odlišným od jmenovitého napětí [36]. Nicméně jak již bylo zmíněno, tak u DP byla měřena vždy kompletní jednotka, tedy samotný střídač.

### 6.2.1 Testování frekvence

Při testování je nutné nejprve pracovat s hodnotou zdánlivého výkonu zařízení, které je udáno výrobcem a s nulovým jalovým výkonem (účinník roven jedné). Tohoto stavu je docíleno pomocí testovací sekvence, uvedené v TM kap. 2, která využívá již zmíněnou dobu 20 minut, která se jeví jako dostatečná pro automatické připojení a ustálení výkonu jednotky. Tato dodávka musí být stabilní s maximální přípustnou chybou  $\pm 2\%$  oproti nastavené hodnotě. Pokud existují nějaké funkce, které brání VM pracovat v provozním rozsahu frekvencí, musí být tyto funkce deaktivovány. Jedná se zejména o nastavení frekvenčních ochran, které se mohou výrobce od výrobce lišit, a proto je nutné tyto parametry zkontrolovat.

Během testu se provádí měření:

- Frekvence
- Efektivní hodnoty napětí
- Efektivní hodnoty proudu
- Činného výkonu

Pozn.: Tyto hodnoty se je nutné zaznamenat jako průměrné hodnoty za dobu 200 ms. Jelikož je přístroj HIOKI 3390 nastaven pro uložení hodnot vždy po 50 ms, výsledné hodnoty tak vznikly zprůměrováním čtyř po sobě jdoucích hodnot. Obdobný postup je volen pro všechny zkoušky mimo testování překlenutí poruchy (kap. 6.4) a ověření napěťové ochrany 1. Stupně (kap. 6.7.2), kde je nutné pracovat s 10 min. klouzavým průměrem napětí.

Při posuzování shody s minimálními požadavky dle [32] a [33] se musí provést alespoň 2 měření pro každou z následujících frekvencí:

- 47,5 Hz po dobu 5 min
- 51,5 Hz po dobu 5 min

Pro ČR však [11] udávají jinou hodnotu horní meze frekvence, než v případě minimálních požadavků ve výše zmíněných normách. Nicméně podle [11] má právo PDS (či PPS) požadovat i jiné nastavení pro ochrany, a proto lze předpokládat, že v době platnosti normy [36] bude možnost ochrany konfigurovat. V současné době se jedná spíše o výjimku, neboť i jeden ze zkoušených střídačů tuto možnost neumožňoval a u druhého se tato změna pojila se značnými komplikacemi. V souvislosti s pravomocemi PDS je doporučeno tento krok nejprve konzultovat s příslušným PDS, podle lokality umístění jednotky. Nicméně obecně lze pro ověření souladu s [11] provést nejméně 2 měření s frekvencemi:

- 47,5 Hz po dobu 30 min
- 52 Hz po dobu 30 min

Jelikož je jak max. hodnota nadfrekvence, tak i doba zkoušky větší než v případě norem [32] a [33], není již nutné provést měření pro posouzení shody s min. požadavky podle těchto norem.

Ověření se považuje za úspěšné, pokud se generátor při těchto mezních frekvencích neodpojí od sítě. U podfrekvenčního stavu může rovněž dojít ke snížení výkonu zařízení. Podle [11] může dojít o snížení max. 2 %/Hz ze svého výkonu při dosažení podfrekvence 49 Hz (viz obrázek 5.2).

Úskalím této zkoušky je i nadfrekvenční oblast, kdy by mělo docházet k tomu, že střídače snižují svůj výkon v reakci na odchylku frekvence, čímž může dojít ke komplikaci u vyhodnocení. Pokud by např. střídač snížil svůj činný výkon více, než podle nastavené statiky pro ČR, tak by mohlo dojít ke snížení výkonu až na nulovou hodnotu. Jen podle naměřených hodnot by tak nebylo možné zjistit, zda střídač nevyhověl frekvenčním rozsahům a nebo zda jen nesprávně snížil svůj výkon na nulovou hodnotu. Bez zajištění komunikace se střídačem, která by musela být univerzální i pro jiné výrobce, neboť se uvažuje s vytvořením certifikovaného pracoviště, je tak prozatím jedinou možností přítomnost zkoušejícího, a to alespoň v období, kdy probíhá právě nadfrekvenční část testovací sekvence.

Výsledek testování je pak po použití skriptu (příloha B.1) grafický výstup, který je znázorněn ve VP (příloha C) v odstavci 5.2.1. Podle grafického výstupu je možné rozhodnout, že testovaný střídač vyhověl požadavkům např. podle [11].

Pozn.: Pokud by nebylo možné provést z ekonomických či technických důvodů tento typ testů, je možné ověřit shodu prostřednictvím dokumentace a [36].

## 6.2.2 Ověření rozsahu napětí

Zkouška se provádí při:

- Nastavené hodnotě zdánlivého výkonu zařízení, které je udáno výrobcem (tato hodnota musí být v průběhu testu neměnná).
- S libovolným účínkem či požadovanou hodnotou jalového výkonu v normálním provozním rozsahu
- Jmenovité frekvenci

Během testu je nutné na výstupních svorkách měřit:

- Frekvenci
- Efektivní hodnotu napětí
- Činný výkon a jalový výkon

Pozn.: Hodnoty se opět zapisují jako průměrné hodnoty za dobu 200 ms, viz kap. 6.2.1.

Pro ověření se provádí alespoň 2 měření u každé limitní hodnoty napětí (max. a min.). Pro ověření shody s [32] se použijí referenční hodnoty:

- $U \leq 85 \% U_n$
- $U \geq 110 \% U_n$

Pro ověření shody s [33] (hladina vn) se použijí referenční hodnoty:

- $U \leq 90 \% U_n$
- $U \geq 110 \% U_n$

Na začátku testu je nutné provozovat zařízení na jmenovitém napětí. Test je pak proveden následujícím cyklem [36]:

- Snížení na minimální úroveň napětí. Setrvání na této hodnotě po dobu min. 10 minut.
- Zvýšení na jmenovitou hodnotu napětí. Setrvání na této hodnotě po dobu min. 5 minut a max. 10 minut.
- Zvýšení na maximální úroveň napětí. Setrvání na této hodnotě po dobu min. 10 minut.
- Snížení napětí na jmenovitou hodnotu napětí.

Pro ověření souladu [11] na hladině nn platí stejné napěťové limity, jako v případě [32], ale není zde specifikována přesná doba, jelikož podle [11] musí být jednotka schopna pracovat nepřetržitě. Z důvodu chybějící testovací doby se pro ověření souladu s [11] zvolila testovací doba odpovídající potřebám již zmíněné normy, a to 10 minut pro každou z úrovní. Podrobněji viz TM kap. 3.

Ověření se považuje za úspěšné, pokud se zařízení neodpojí při dosažení svých provozních limitů napětí. Výsledek skriptu v příloze B.2 je možné vidět v příloze C, odstavce VP 5.2.2. Podle zobrazeného chování je možné usoudit, že střídač nevyhověl

požadavkům pro ověření napět'ových limitů, neboť docházelo k opětovnému odpojování a přifázování střídače.

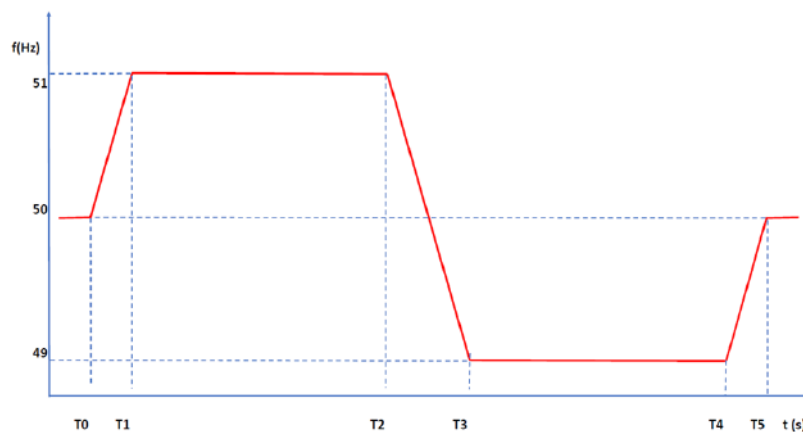
### 6.3 Testování odolnosti vůči změnám frekvence

Toto ověření lze sice opět provést buď na úplném zařízení, a nebo na jeho částech, které mohou být postiženy kolísáním frekvence nebo rozdílnou frekvencí od jmenovité hodnoty v rámci frekvenčních limitů zařízení, ale v rámci DP byl proveden test na kompletním zařízení. Během testu byly měřeny hodnoty:

- Frekvence
- Efektivní hodnoty napětí
- Efektivní hodnoty proudu
- Činný výkon

Pozn.: Opět průměrné hodnoty za 200 ms.

Zařízení musí být před zahájením testu v provozu a musí dodávat 80 % až 100 % svého jmenovitého výkonu s účinníkem 1. Simulátor sítě musí lineárně zvyšovat a snižovat frekvenci v průběhu času způsobem, který je znázorněn na obrázku 6.3. Při změně frekvence musí být nová frekvence udržována alespoň po dobu 3 vteřin. Jednotlivé časy, za který dojde k lineární změně frekvence, jsou pak určeny prostřednictvím požadované schopnosti RoCoF. Tyto časy jsou vypsány jak v tabulce 6.3, tak i v TM kap. 4. Pro potřeby testu je žádoucí, aby ochranná funkce RoCoF byla buď deaktivována a nebo přenastavena tak, aby nehrozilo ovlivnění výsledků, jelikož má tento test ověřit, zda zařízení zůstane připojeno v případě poruchy v síti do maximální možné hodnoty, kterou udává právě RoCoF [36]. Pro ČR a pro nesynchronní VM je její hodnota stanovena na  $\pm 2$  Hz/s [11].



Obrázek 6.3 Ukázkový průběh frekvence pro ověření odolnosti zařízení vůči poruchám v síti, převzato z [36].

Tabulka 6.3 Příklad nastavení časového průběhu frekvence pro ověření odolnosti zařízení vůči poruchám v síti, převzato a upraveno z [36].

Krok	Čas (s)	Frekvence (Hz)	Požadovaná odolnost (Hz/s)
T0	0	50	-
T1	0,5	51	2
T2	$\geq 3$	51	-
T3	1	49	2
T4	$\geq 3$	49	-
T5	0,5	50	2

Za úspěšný test se považuje případ, kdy zkoušené zařízení nebo jeho části zůstávají stále připojeny k síti.

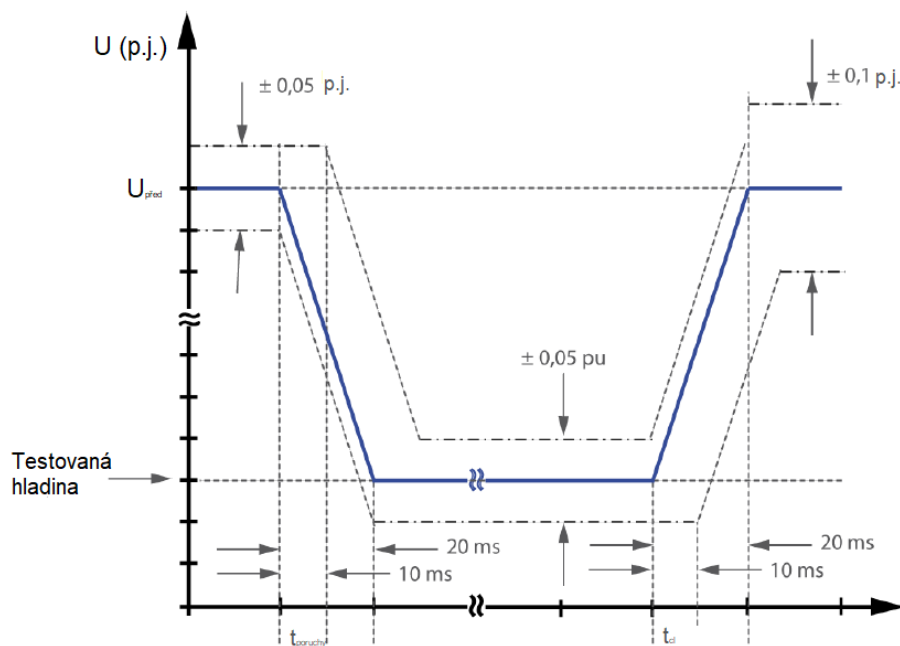
Jelikož nebylo možné přenastavit, či deaktivovat ochrannou funkci RoCoF, tak v příloze C v odstavci 5.3.1 VP je ukázán pouze výsledek skriptu za použití jiných naměřených dat. Obrázek tak byl vložen do VP zejména z důvodu prostorového návrhu VP.

## 6.4 Překlenutí poruchy

U testování překlenutí podpětí při poruše, už není možné i v případech testování FV systémů, zkusit pouze část střídače. Testování se provádí při dvou úrovních výkonu, a to [36]:

- Mezi 10 %  $P_n$  a 50 %  $P_n$ , či nad min. regulační hladinou, pokud je min. regulační hladina zařízení vyšší než 50 %  $P_n$ .
- Nad 90 %  $P_n$

Velikost napětí v této zkoušce může být ovlivněno zkoušeným zařízením. Aby se zmírnil vliv zkoušeného zařízení na velikost napětí, je nutné nastavit úroveň zkratu v rozsahu 3 až 30 násobku jmenovitého výkonu výrobní jednotky. Charakteristický průběh zkušebního napětí a jeho dovolené odchylky při změně jeho velikosti, jsou znázorněny na obrázku 6.4. Tyto odchylky se ověřuje při stavu naprázdno, tedy při odpojeném zařízením, které bude testováno [36].



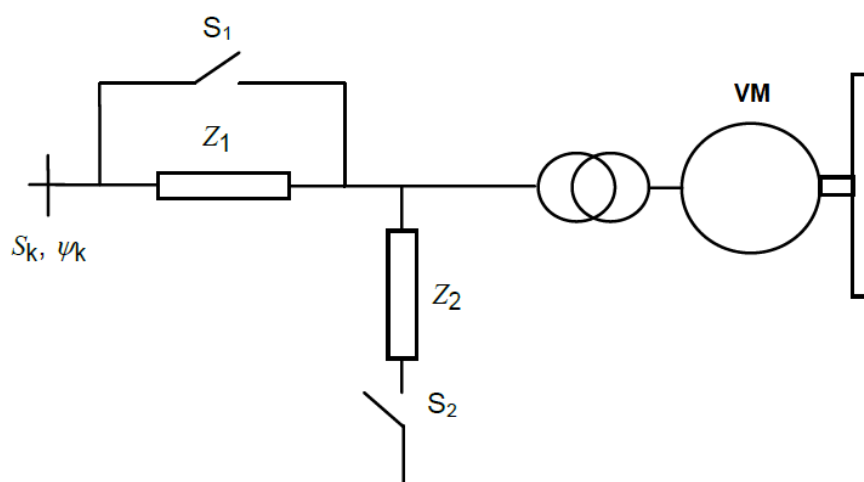
Obrázek 6.4 Vyobrazení dovolených odchylek průběhu podpětí při vzniku poruchy, převzato a upraveno [36].

Pozn.:  $U_{\text{před}}$  – Napětí před vznikem poruchy

Samotné nastavení testované hladiny společně s dobou, po kterou musí zůstat VM připojen, je zobrazeno na FRT křivkách pro synchronní VM, viz obrázek 5.4, a pro nesynchronní VM, viz obrázek 5.3. V případě, kdy zařízení není schopné splnit hodnoty určené [11], např. z důvodu potenciálního poškození zařízení, je nutné, aby výrobce určil nebo dodal nové hodnoty společně s časovým diagramem napětí, který má být ověřeno. Každé odlišné (nové) nastavení charakteristického průběhu zkušebního napětí zobrazeného na obrázku 6.4, je nutné zdokumentovat při stavu naprázdno [36].

Vzorové schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 6.5, kde impedance  $Z_1$  slouží k omezení účinků zkratu pro nadřazenou síť (síťový simulátor). Velikost této impedance by měla být volena tak, aby jednak neohrožovala nadřazenou síť, ale aby i neovlivňovala přechodový jev při podpěťové události. Velikost impedance  $Z_2$  se volí s ohledem na velikost a průběh napětí při odpojení VM. Toto napětí musí respektovat jak dovolené tolerance vyplývající z obrázku 6.4, tak i jednotlivé body FRT křivek (obrázek 5.3 a 5.4). Část schématu, která byla v tomto odstavci popsána, je zastoupena již ve funkcích simulátoru sítě, a proto není důvod pro jakýkoliv zásah do testovacího schématu uvedeném na obrázku 6.1. Jedinou změnou je pouze měřící zařízení, kterým tentokrát byl osciloskop YOKOGAWA DL 850, jelikož se jedná o dynamickou zkoušku. Dosud používané HIOKI 3390 má totiž nejmenší dobu záznamu 50 ms, což je pro tento typ testu nedostatečné.





Obrázek 6.5 Vzorové schéma zapojení pro ověřování překlenutí poruchy, převzato a upraveno z [36].

U každého testu se zaznamenává hodnota napětí a proudu se vzorkováním alespoň 10 kHz. Měření, a tedy i testovací sekvence, začíná alespoň 5 vteřin před vyskytnutím poruchy a probíhá, dokud neodezní vliv změny napětí způsobeného poruchou, nejméně však po dobu 10 vteřin po odstranění závady. V případě FV systému se provádí dvě po sobě jdoucí zkoušky tak, že jedna z nich je provedena při téměř max. stejnosměrném vstupním napětí a druhá blízko hodnotě min. stejnosměrného vstupního napětí. Tyto napětí jsou určeny podle rozsahu MPPT [36].

Pro úspěšné absolvování zkoušky je nutné provést dva úspěšné a po sobě jdoucí testy. Do VP je pak nutné vložit, jak je možné i vidět v příloze C v článku 5.3.2 VP, charakteristický průběh zkušebního napětí simulátoru sítě bez připojeného střídače, u kterého je nutné ověřit dovolené tolerance uvedené na obrázku 6.4 (tyto tolerance již vykresluje skript určený pro tuto zkoušku). Dále je nutné zaznamenat průměrnou hodnotu činného a jalového proudu před poruchou a po odeznění poruchy. Test se považuje za úspěšný, pokud zůstane střídač připojen.

## 6.5 Odezva činného výkonu na odchylku frekvence

Cílem tohoto testování je ukázat, zda střídače reagují na změnu frekvence podle platných požadavků na P(f) regulaci.

### 6.5.1 Nadfrekvenční oblast

Testy je možné provést dvěma způsoby, a to:

- Pro konkrétní nastavení dodané PDS nebo podle PPDS – příloha 4, viz kap. 5.3.4.
- Pro tři možné nastavení uvedených v tabulce 6.4. Tento způsob slouží pro ověření shody s normou [32] popřípadě s normou [33]

Tabulka 6.4 Přehled nastavení pro nadfrekvenční oblast. Tyto parametry slouží pro ověření shody s normami [32] a [33], převzato a upraveno z [36].

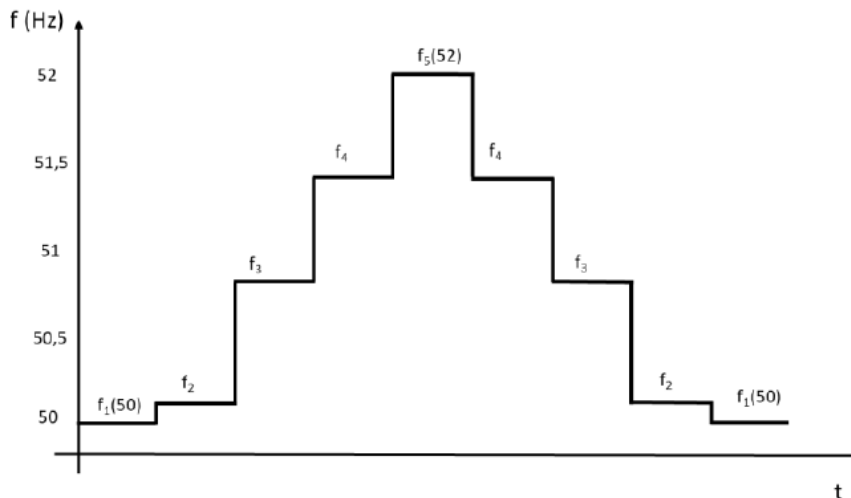
	Nastavení A	Nastavení B	Nastavení C
Prahová frekvence	50,2 Hz	50,5 Hz	50,2 Hz
Statika	5 %	2 %	12 %
Hodnota výkonu zařízení při zkoušce	100 % / 50 % <sup>(1)</sup>	60 % <sup>(1)</sup>	40 % <sup>(1)</sup>
Nastavené zpoždění	0 s	0 s	2 s
Nastavení prahové frekvence pro deaktivaci funkce	Ne	Ano	Ano

(1) Nebo jinou minimální úroveň regulace VM. Vybírá se vždy nižší hodnota.

Samotný proces zvyšování frekvence je nutné provést pomocí 5 frekvenčních bodů. Přesné hodnoty těchto bodů se volí s ohledem na dovolené rozsahy, které jsou uvedeny v tabulce 6.5. Nárůst či pokles frekvence nesmí být proveden rychlostí změny menší než 1 Hz/s (je nutné brát ale v potaz i odolnost střídače při vyšších hodnotách).

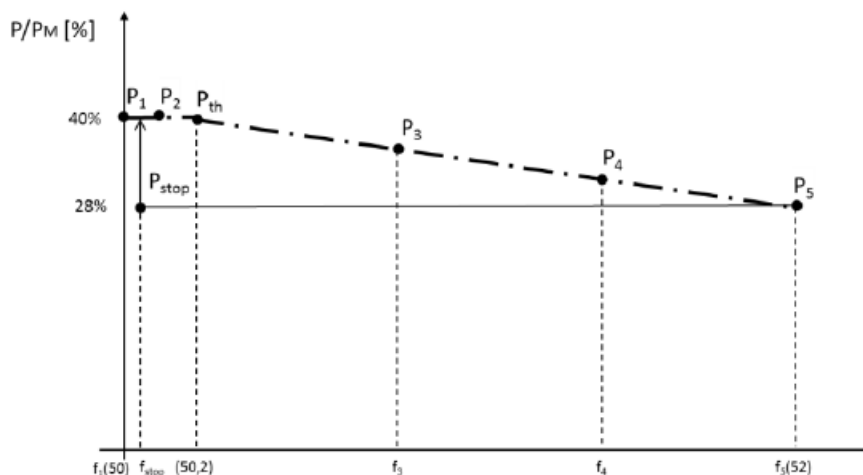
Tabulka 6.5 Dovolené rozsahy pro vytváření nadfrekvenční testovací sekvence a zvolené hodnoty pro ověření PPDS – příloha 4, převzato a upraveno z [36].

Frekvenční bod		Zvolené hodnoty (viz TM kap. 6)
f <sub>1</sub>	50 Hz	50 Hz
f <sub>2</sub>	50 Hz < f <sub>2</sub> < Prahová frekvence	50,1 Hz
f <sub>3</sub>	Prahová frekvence	50,2 Hz
f <sub>4</sub>	f <sub>3</sub> < f <sub>4</sub> < 52 Hz	51 Hz
f <sub>5</sub>	52 Hz	52 Hz



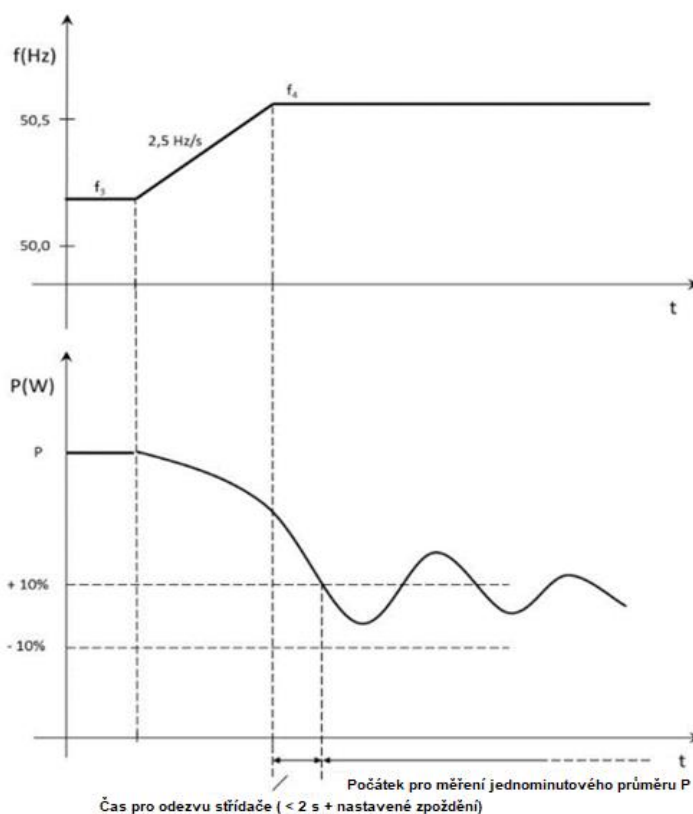
Obrázek 6.6 Ukázka vzorové testovací sekvence, převzato z [36].

Průběh, kterým by měl střídač reagovat na zvyšování frekvence je znázorněn na obrázku 6.7. Obrázek znázorňuje reakci jak pro synchronní, tak pro nesynchronní VM. Hlavním rozdílem je pouze to, že u synchronního VM je  $P_m$  (někdy také  $P_{ref}$ ) roven maximálnímu možnému výkonu zařízení  $P_{max}$ . U nesynchronních VM je  $P_m$  hodnota činného výkonu, který VM dodával těsně před vznikem nadfrekvence. Jedná se tedy o tzv. disponibilní výkon jednotky.



Obrázek 6.7 Předpokládaný průběh činného výkonu v souvislosti s rostoucí frekvencí při nastavení deaktivační prahové frekvence  $f_{stop}$ , převzato z [36].

Při testování je nezbytné měřit frekvenci a činný výkon. Činný výkon je měřen jako jednodominutový průměr od doby, kdy střídač dosáhne snížením svého výkonu hranice, které je rovna  $\pm 10\%$  od ustálené hodnoty činného výkonu (viz obrázek 6.8), který je stanoven pomocí rovnice 5.4.



Obrázek 6.8 Ukázka doby odezvy střídače a počátku pro měření jednominutových průměrných hodnot činného výkonu, převzato a upraveno z [36]

Pro úspěšné ověření je důležité provést i vyhodnocení, zda odezva střídače byla kratší než 2 vteřiny plus nastavené časové zpoždění (pokud nějaké bylo nastaveno). Tento krok je tak nutné ověřit pro dvě zvolené hodnoty z tabulky 6.5, a to pro hodnotu 51 Hz a 52 Hz, jelikož k aktivaci funkce dochází až při dosažení hodnoty 50,2 Hz. Odezvu pro následný pokles frekvence z 52 Hz na 51 Hz není pro ověření souladu s [11] potřeba, jelikož pro ČR je požadováno, aby střídač neměnil svůj činný výkon (tzn. nezvyšoval jej při snížení hodnoty frekvence) do doby, než frekvence poklesne pod  $f_{\text{stop}}$ , která je rovna hodnotě 50,05 Hz. Ve VP v čl. 5.4 v příloze C jsou tak uvedeny celkem tři grafické výstupy, které musí střídač úspěšně absolvovat.

### 6.5.2 Podfrekvence u systému s akumulací energie

Toto testování se provádí z důvodu ověření, že se systémy s akumulací energie podílejí na podpoře frekvence při vzniku podfrekvence. Test lze provést opět buď:

- Pro konkrétní nastavení dodané PDS nebo podle PPDS – příloha 4 viz kap. 5.3.11.
- Pro nastavení všech tří možných nastavení uvedených v tabulce 6.6. Tento způsob slouží pro ověření shody s [32], případně [33].

Tabulka 6.6 Přehled nastavení pro podfrekvenční testování. Tyto nastavení slouží pro ověření shody s normami [32] a [33], převzato a upraveno z [36]

	Nastavení A	Nastavení B	Nastavení C
Prahová frekvence	49,8 Hz	49,5 Hz	49,8 Hz
Statika	5 %	2 %	12 %
Hodnota výkonu zřízení při zkoušce	-50 % / 0 % <sup>(1)</sup>	0 % <sup>(1)</sup>	50 % <sup>(1)</sup>
Nastavené zpoždění	0 s	0 s	2 s
Nastavení prahové frekvence pro deaktivaci funkce	Ne		

(1) Nebo minimální úroveň regulace VM. Vybírá se vždy nižší hodnota.

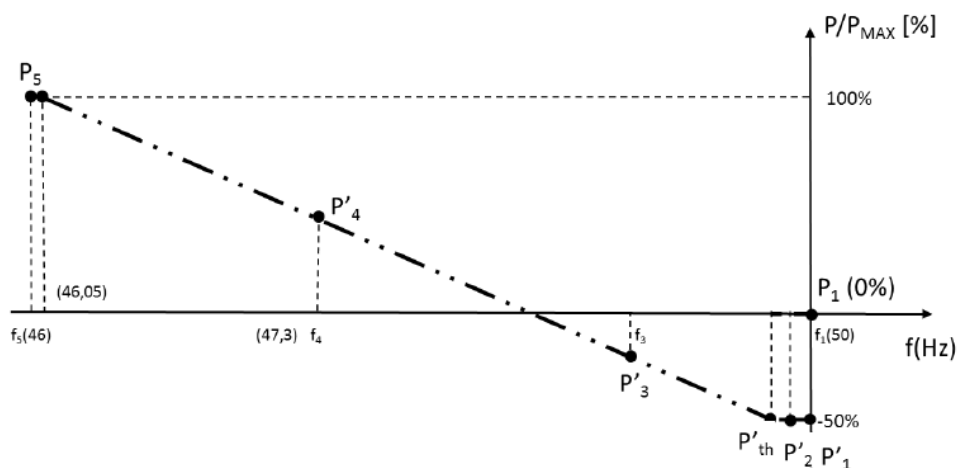
Samotný proces snižování frekvence je, stejně jako v předchozím případě, popsán celkem 5 frekvenčními body. Přesné hodnoty těchto bodů se volí s ohledem na dovolené rozsahy, které jsou uvedeny v tabulce 6.7. Pro každý z těchto bodů je uvažována dovolená odchylka  $\pm 10$  mHz. Po aktivaci musí být výkon regulován s přesností  $\pm 10$  % jmenovitého činného výkonu. Ověření přesnosti se vyhodnocuje průměrnou hodnotou po dobu jedné minuty.

Tabulka 6.7 Dovolené rozsahy pro vytváření podfrekvenční testovací sekvence, převzato a upraveno z [36]

Frekvenční bod	
$f_1$	50 Hz
$f_2$	Prahová frekvence $< f_2 < 50$ Hz
$f_3$	Prahová frekvence
$f_4$	$46 < f_4 < f_3$
$f_5$	46 Hz

Pozn.: Je nutné opět provést i testování v opačném pořadí, tedy od  $f_5$  až po  $f_1$ .

Vzorový průběh, kterým by měl VM s akumulacím systémem reagovat na snižování frekvence, je znázorněn na obrázku 6.9. Tento průběh odpovídá hodnotám z nastavení A.



Obrázek 6.9 Předpokládaný průběh činného výkonu v souvislosti s klesající frekvencí u VM s akumulacním systémem, převzato z [36]

Oba testy, nadfrekvenční i podfrekvenční, jsou považovány za úspěšné, pokud [36]:

- Každý bod kopíruje požadovanou křivku činného výkonu s tolerancí  $\pm 10$  %. Hodnota činného výkonu se vyhodnocuje průměrnou hodnotou za 1 minutu.
- Čas reakce VM je menší než 2 vteřiny. V případě nastavení zpoždění ověřte, zda je čas reakce v toleranci  $\pm 250$  ms od nastavené doby zpoždění.

Pozn.: Další specifické výjimky jsou popsány v [36].

Tato zkouška není ve VP zpracována, jelikož zapojení laboratorního pracoviště nedisponovalo s akumulacními zařízeními vhodnými (zejména výkonnostně) pro tento typ zkoušky. V TM, kapitola 7, jsou pouze uvedeny obecné údaje a požadavky pro tento typ testu, které mohou být dále využity v případě, kdy dojde k dovybavení laboratorního pracoviště.

## 6.6 Ověření regulace jalového výkonu VM

Cílem tohoto testování je ověřit jednotlivé požadavky na chování VM při změnách napětí společně s ověřením schopnosti VM regulovat svůj jalový výkon při jmenovité hodnotě napětí.

### 6.6.1 Ověření regulace jalového výkonu u VM při jmenovité hodnotě napětí

Cílem tohoto testování je ověření maximální možné kapacity přebuzeného a podbuzeného jalového výkonu u střídače. Jedná se tedy o ověření limitů, které byly popsány na obrázcích 5.5 a 5.7, a které vychází z [11].

Testování se provádí pro max. podbuzený a max. přebuzený jalový výkon od 0 % činného výkonu až po max. hodnotu činného výkonu s krokem 10 %.

Pozn.: V případech, kdy má VM min. technický činný výkon, zkouška probíhá právě od tohoto minima a pokračuje na dalším násobku 10 % z max. činného výkonu. Zvyšování od této úrovně už dále probíhá s krokem 10 % z max. činného výkonu. Tento princip je uplatněn i u omezení max. činného výkonu VM (poslední hodnota měření je

$P_{\max}$ ). V případě testování synchronních VM se podbuzená max. hodnota jalového výkonu zohledňuje i s nastavením ochran a nastavením omezovače AVR [36].

Pro ověření je nutné měřit jalový a činný výkon pro min. 5 úrovní činného výkonu. Samotné měření se provede při dosažení a stabilizování nastavené hodnoty s nekolísajícím napětím více než 3 %. Testovací postup [36]:

- Nastavení činného výkonu od min. technického činného výkonu nebo od nulového činného výkonu při nulovém jalovém výkonu.
- Při dosažení stabilního stavu činného výkonu se změní jalový výkon na max. přebuzenou hodnotu jalového výkonu, která odpovídá aktuálnímu činnému výkonu střídače.
- Po ustálení jalového a činného výkonu dojde k odečtu měřených hodnot, které jsou následně zapsány do skriptu určeného pro tuto zkoušku
- Po úspěšném měření se nastaví střídač na max. podbuzenou hodnotu jalového výkonu, která odpovídá aktuálnímu činnému výkonu střídače.
- Opět dojde k odečtu hodnot jalového výkonu po ustálení systému.
- Po úspěšném měření se nastaví jalový výkon na nulovou hodnotu.
- Zvýšení úrovně činného výkonu na další měřicí bod. Opakování postupu (mimo prvního bodu měření).

Test je považován za úspěšný, pokud je VM schopen plnit dodávku jalového výkonu podle křivky na obrázku 5.5 pro hladinu nn nebo podle obrázku 5.7 pro hladinu vn. VP (příloha C) pak v odstavci 5.5.1.3 obsahuje naměřené hodnoty, uvedené v tabulkách a grafický výstup, ve kterém jsou vyznačeny jednotlivé naměřené body společně s povolenou pracovní oblastí střídače.

Pozn.: Pro tento test není v TM vytvořena testovací sekvence, neboť stačí využít pouze Basic Waveform Generator.

### **6.6.2 Ověření schopnosti regulace jalového výkonu u VM při proměnlivé hodnotě napětí.**

Pro ověření schopnosti regulovat svůj jalový výkon s ohledem na rozsah napětí, se vyhodnocuje tzv. PQ diagram při různých hodnotách napětí (viz obrázek 5.6). Měření se provádí jmenovitým výkonu a pro max. přebuzený a max. podbuzený jalový výkon střídače. Hladina napětí je volena tak, aby výsledné hodnoty deklarovaly požadovanou charakteristiku, popsanou na obrázku 5.6 [36]. Během testu se měří:

- Efektivní hodnota napětí
- Činný a jalový výkon

Test je považován za úspěšný, pokud testované zařízení splňuje stejné nebo vyšší požadavky na něj kladené.

Pozn.: Ve VP (příloha C) v odstavci 5.5.1.6 je možné vidět výsledek střídače, který nevyhověl.

### 6.6.3 Ověření schopnosti řízení napětí u VM - Q(U) funkce

Cílem tohoto měření je ověřit odezvu Q(U) regulace VM, která se podílí na statické podpoře napětí v ES. Charakteristika, popsána na obrázku 5.8, je pouze ilustrační a její důležité body lze přenastavovat (povinná vlastnost střídače). Zkouška se provádí jednou při jmenovitém výkonu zařízení a podruhé při výkonu 10 %  $P_n$ . Pokud má střídač min. regulační úroveň vyšší než 10 %  $P_n$ , použije se právě tento min. možný výkon. Postup měření je popsán kroky [36]:

- Provozování VM na jmenovitém výkonu při jmenovitém napětí sítě.
- Spustit záznam hodnot (U, I, P a Q) . Měřeno jako průměrné hodnoty za dobu 200 ms.
- Zvyšování napětí s krokem 1 %  $U_n$ . Před dalším zvýšením vždy počkat alespoň 30 vteřin.
- Opakování zvyšování napětí a měření s krokem napětí 1 %  $U_n$  do hodnoty napětí 110 %  $U_n$ .
- Snižování napětí s krokem 1 %  $U_n$ . Před dalším zvýšením vždy počkat alespoň 30 vteřin.
- Opakování snižování napětí a měření s krokem napětí 1 %  $U_n$  do hodnoty napětí 85 %  $U_n$ .
- Zvyšování napětí s krokem 1 %  $U_n$ . Před dalším zvýšením vždy počkat alespoň 30 vteřin.
- Opakování zvyšování napětí a měření s krokem napětí 1 %  $U_n$  do hodnoty jmenovitého napětí.
- Opakování předchozích kroků s činným výkonem nastaveným na hodnotu 10 %  $S_{max}$ .

Tento postup nebylo možné přesně dodržet, jelikož SW pro ovládání simulátoru sítě umožňuje max. 30 dílčích kroků v sekvenci, a proto byly vytvořeny celkem dvě sekvence, z nichž první ověřuje chování v nadpěťové oblasti a druhá v podpěťové oblasti (došlo tedy k rozpůlení výše uvedeného postupu). Výsledkem měření jsou tak dva soubory s naměřenými daty, které jsou následně zpracovány skriptem.

Test se považuje za úspěšný, pokud jsou naměřené 30 vteřinové intervaly (průměrné hodnoty s dobou 200 ms) jalového výkonu během ustáleného stavu v tolerančním pásmu  $\pm 2\%$   $S_{max}$  a  $\pm 1\%$   $U_n$  nastavené Q(U) charakteristiky. VP opět ukazuje výsledek střídače, který nevyhověl.

Pozn.: Oba grafické výstupy v odstavci 5.5.2.4 v příloze C jsou totožné, protože kvůli časové náročnosti nebyl proveden test s 10 %  $P_n$ . Obrázek totiž sloužil k vyladění vzhledu VP.

## 6.7 Testování ochran

Testování ochran je jednou z nejdůležitějších dílčích zkoušek, jelikož tyto ochrany chrání VM před jeho poškozením. Testují se jednotlivé ochranné funkce, které mohou

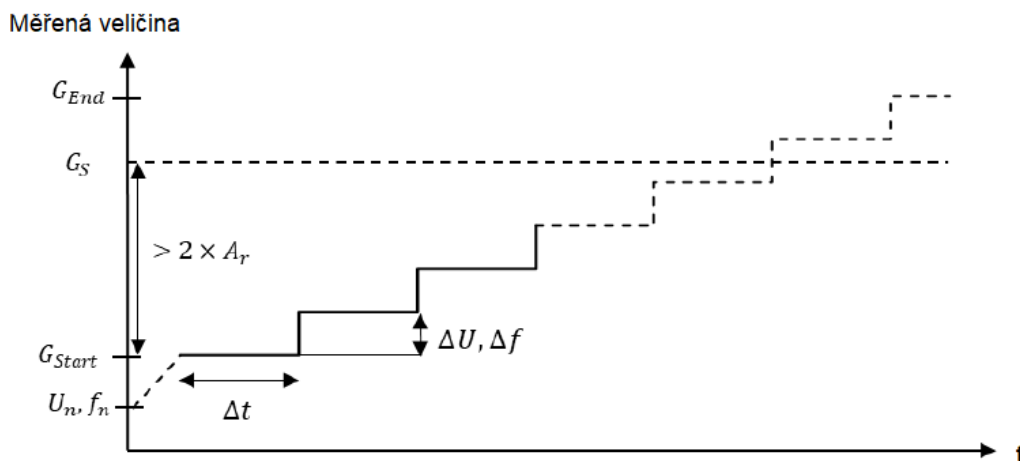


být nastaveny buď podle hodnot udaných v [11], viz tabulka 5.3, a nebo podle nastavení, které vyžaduje příslušný PDS.

### 6.7.1 Napěťová a frekvenční ochrana

Testování napěťové (kromě ochrany 1. stupně) nebo frekvenční ochrany je založeno na napěťové nebo na frekvenční rampě (podle toho, která ochrana je testována). Ukázka této rampy je zobrazena na obrázku 6.10. Posuzovaná veličina se snižuje nebo zvyšuje podle kritérií [36]:

- Počáteční hodnoty napětí/frekvence ( $G_{start}$ ) musí být pod/nad nastavenou hodnotou ( $G_s$ ) alespoň o dvojnásobek požadované přesnosti ( $A_r$ )
- Změna napětí/frekvence se nastavuje v krocích ( $\Delta U$  a  $\Delta f$ ), které jsou menší než polovina požadované přesnosti ( $A_r$ ) ve směru k nastavené hodnotě, dokud dotyčná ochrana nezačne reagovat.
- Čas setrvání na jednotlivých krocích musí být nejméně po dobu, která se rovná nastavené hodnotě časového zpoždění plus 200 ms, kdy se již neočekává žádná další operace v podobě zareagování ochrany (vypnutí).



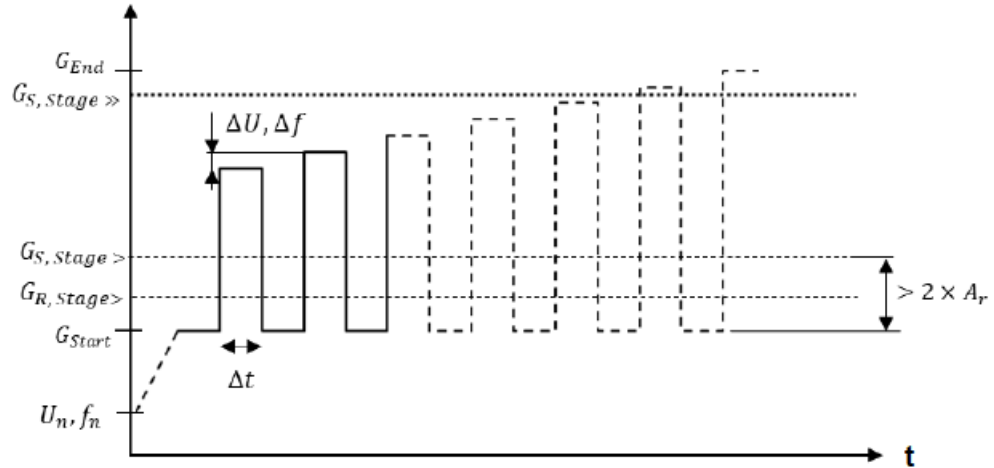
Obrázek 6.10 Vzorová ukázka testovací rampy pro měření napěťových a frekvenčních ochran, převzato a upraveno z [36].

Podle normy [32] se vyžaduje přesnost měření napětí s tolerancí  $\pm 1\%$  z  $U_n$  a přesnost měření frekvence s tolerancí  $\pm 0,05$  Hz. Při uvažování výše zmíněných kritérií lze odvodit velikost počátečních hodnot napětí a frekvence a velikost jejich kroku. Pro obě veličiny tedy platí [36]:

- $U_{start} \leq G_s - 2\% U_n$  a krok  $\Delta U = 0,5\% U_n$
- $F_{start} \leq G_s - 0,1$  Hz a krok  $\Delta f = 0,025$  Hz

Pozn.: Při testování napěťové ochrany druhého stupně může dojít k vypnutí, které je způsobené prvním stupněm ochrany (viz tabulka 5.3). Řešením je buď dočasně deaktivovat první stupeň a nebo využít tzv. impulsní rampu, která je zobrazena na obrázku 6.11.

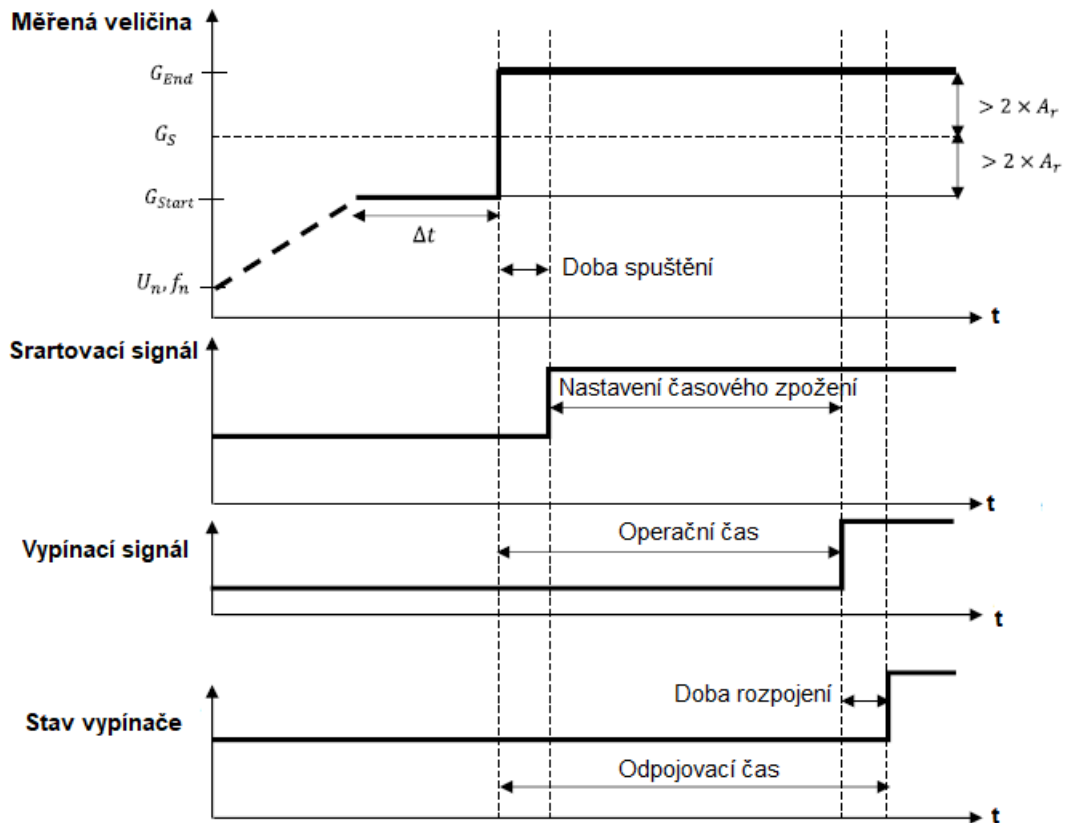
### Měřená veličina



Obrázek 6.11 Vzorová ukázka impulsní rampy pro měření napěťových a frekvenčních ochran. Symbol  $>$  představuje 1 stupeň ochran, zatímco symbol  $>>$  představuje 2 stupeň ochran, převzato a upraveno z [36].

Testování, popsané obrázkem 6.10, respektive i 6.11, ověřovalo přesnost reakce jednotlivých ochran. Další typ zkoušky je zaměřen na zjištění doby spuštění, provozu a vybavení ochrany. Tyto doby jsou testovány skokovým signálem, který je zobrazen na obrázku 6.12. Na skokovém signálu dochází opět ke snižování nebo snižování posuzované veličiny podle kritérií, jako:

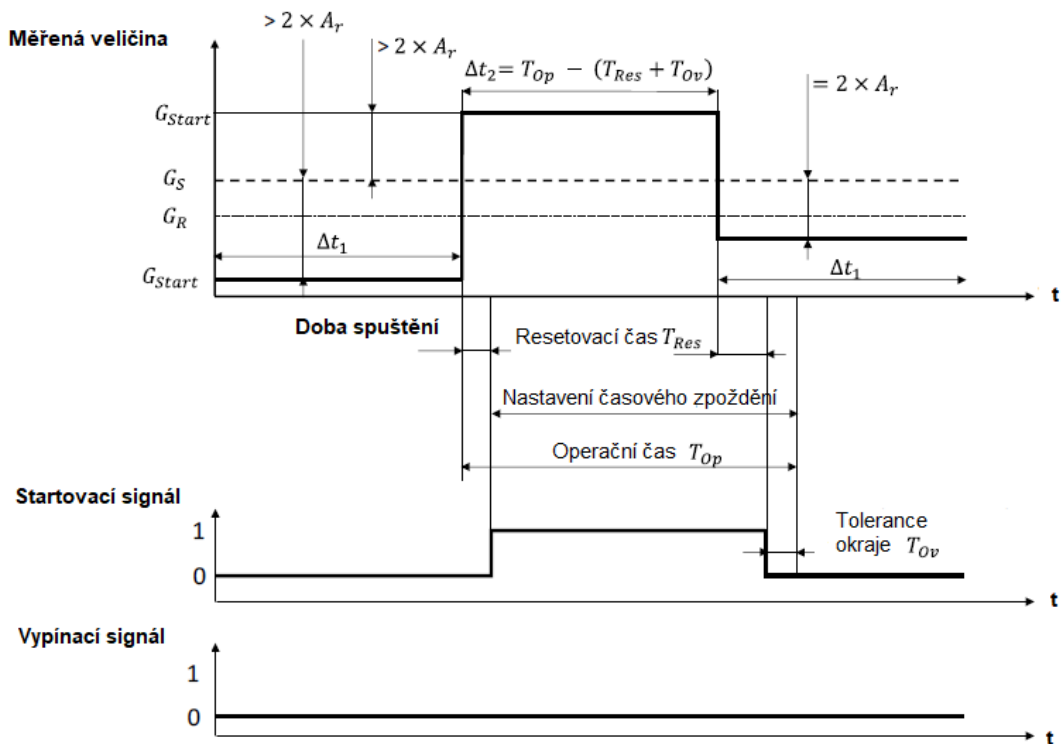
- Počáteční hodnoty napětí/frekvence ( $G_{start}$ ) musí být pod/nad nastavenou hodnotou ( $G_s$ ) alespoň o dvojnásobek požadované přesnosti ( $A_r$ ). Toto nastavení musí být použito min. po dobu rovné nastavení časového zpoždění plus 200 ms.
- Signál je poté náhle změněn, a to o min. dvojnásobek požadované přesnosti ( $A_r$ ) nad/pod nastavenou hodnotu. Tento signál přetrvává do doby vybavení ochrany.



Obrázek 6.12 Vzorová ukázka skokového signálu sloužícího k ověření doby spuštění, provozu a vybavení ochrany, převzato a upraveno z [36].

Posledním důležitým údajem je i doba resetování a správné nevybavení ochrany v případech, kdy posuzovaná veličina udá svojí velikostí popud ochraně, ale rovněž tato veličina změní svoji velikost na přijatelnou hodnotu během nastaveného zpoždění ochrany. V takovém to případě nesmí dojít k vybavení ochrany a musí dojít k vyresetování ochrany. Tento proces se ověřuje pomocí tzv. signálem nečinnosti, který je zobrazen na obrázku 6.13. Při signálu nečinnosti dochází opět ke zvyšování nebo snižování posuzované veličiny podle kritérií, jako:

- Počáteční hodnoty napětí/frekvence ( $G_{start}$ ) musí být pod/nad nastavenou hodnotou ( $G_s$ ) alespoň o dvojnásobek požadované přesnosti ( $A_r$ ). Toto nastavení musí být použito min. po dobu rovné nastavení časového zpoždění plus 200 ms.
- Signál je poté náhle změněn, a to o min. dvojnásobek požadované přesnosti ( $A_r$ ) nad/pod nastavenou hodnotu. Tento signál musí být udržován po dobu  $\Delta t_2$ , která se vypočte pomocí veličin jako operační doba ( $T_{op}$ ), max. požadovaný resetovací čas ( $T_{res}$ ) a doby tolerance okraje ( $T_{ov}$ ).



Obrázek 6.13 Vzorová ukázka signálu nečinnosti sloužícího k ověření jednak doby resetování a jednak k ověření správného provozu ochrany (nevybavení), převzato a upraveno z [36].

Pozn.: Norma [32] vyžaduje, aby doba resetování byla kratší než 50 ms. S uvažováním doby tolerance okraje je výsledná doba  $\Delta t_2$  rovna operačnímu času mínus 60 ms. Nastavené hodnoty signálu vychází ze čtyřnásobku (viz obrázek 6.10) požadované přesnosti sledované veličiny.

Zkouška se považuje za úspěšnou pokud:

- U zkoušek s rampovým signálem, je-li u všech zkoušek dosaženo činnosti ochrany při sledované veličině, která se nachází mezi nastavenou hodnotou a požadovanou přesností.
- U testů se skokovým signálem, je-li u všech zkoušek vypínací doba stejná nebo nižší než nastavené časové zpoždění plus počáteční čas spuštění.
- U testů se signálem nečinnosti nedojde k vybavení relé.

Z technických důvodů, jako chybějící interní komunikace se střídačem, která by poskytovala údaj, zda střídač správně vyhodnotil tzv. startovací signál (viz obrázek 6.13) a zda po následném snížení zkoumané hodnoty opět došlo k vyresetování hodnoty, nebylo provedeno testování právě na již zmíněný obrázek 6.13 a 6.12. Se současnými postupy při měření, by se pouze prokázalo, zda střídač vybavil, či nikoliv, což bez možnosti zaznamenání času, kdy došlo k vyhodnocení (respektive k aktivaci startovacího signálu) neposkytuje plnohodnotné informace o provedených zkouškách. V TM, kap. 11 a 12, a ve VP v odstavcích 5.7.3.2 (příloha C), jsou tedy uvedeny testovací sekvence a jednotlivé výstupy pro ověření přesnosti vybavení ochran, a to jak pro podpět'ový/podfrekvenční stav, tak pro nadpět'ový/nadfrekvenční.

### 6.7.2 Napět'ová ochrana 1. stupně

Tato ochrana vyhodnocuje tzv. klouzavý průměr napětí po dobu 10 minut. Ochrana působí teprve, když dojde k překročení tohoto průměru o alespoň 10 % nad jmenovitou hodnotu napětí. Pro plnohodnotné zvládnutí testu je nutné ověřit celkem tři skokové signály (tři testovací sekvence). Tyto signály jsou zobrazeny na obrázku 6.14. Napětí se u jednotlivých skokových signálů zvyšuje tak, že [36]:

- U prvního signálu je napětí nastaveno na jmenovitou hodnotu a udržováno po dobu 600 vteřin. Po této době je napětí nastaveno na úroveň vypínací odchylky (+ 10 %  $U_n$ ) plus dvojnásobná požadovaná přesnost  $A_r$  ( $2 \cdot 1\% U_n$ ). Toto napětí je dále udržováno a ochrana musí dát povel k vybavení do 600 sekund. Tento signál slouží k ověření přesnosti měření a maximálního nastaveného času.
- U druhého signálu je napětí nastaveno na jmenovitou hodnotu po dobu 600 vteřin. Poté se napětí nastaví na úroveň vypínací odchylky (+ 10 %  $U_n$ ) minus dvojnásobná požadovaná přesnost  $A_r$  ( $2 \cdot 1\% U_n$ ) po dobu 600,2 vteřin. Zařízení se nesmí odpojit. Tento signál slouží rovněž k ověření přesnosti měření.
- U třetího signálu je napětí nastaveno na hodnotu úrovně vypínací odchylky minus čtyřnásobek požadované přesnosti  $A_r$ . Toto nastavení je udržováno po dobu 600 vteřin. Napětí je poté nastaveno na úroveň vypínací odchylky plus čtyřnásobek požadované přesnosti. Zařízení musí být odpojeno do 300 vteřin. Tento test slouží k ověření správného výpočtu 10 minutového klouzavého průměru.

Pozn.: U prvního a druhého signálu je důležité dodržet, že střídač bude před samotným zvýšením provozován se jmenovitou hodnotou napětí alespoň po dobu 600 vteřin. Některé střídače totiž mohou mít nastavení, které vždy po novém připojení uvažují s nejhorsím možným předcházejícím průběhem, a proto nepočítají klouzavý průměr (předchozích 10 min., kdy nebyl připojen) z hodnoty jmenovitého napětí, ale z nejméně nepříznivého, tedy z hodnoty  $1,10 U_n$ .

Během testování je nezbytné měřit efektivní hodnotu napětí a činný výkon. Ověření se považuje za úspěšné pokud:

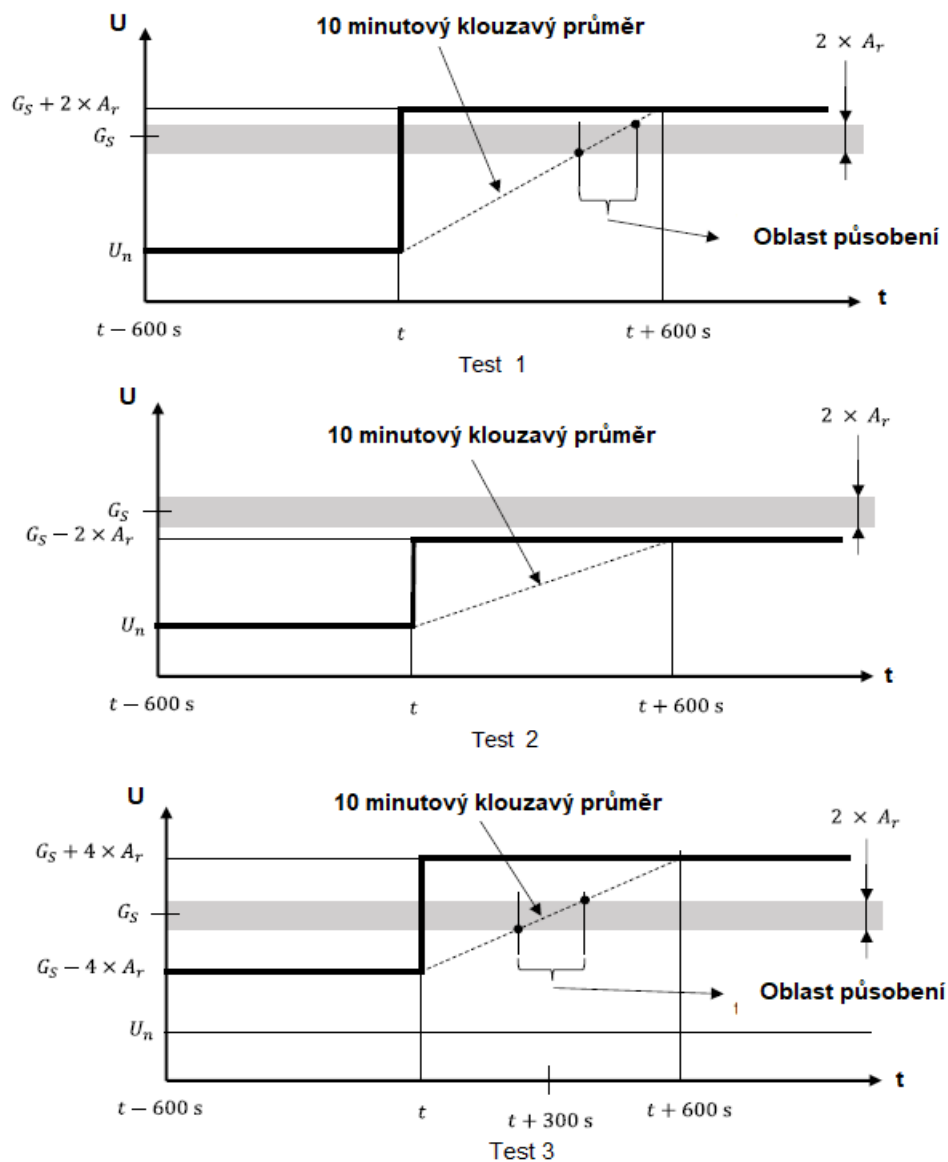
- Nedošlo k vybavení během testování druhého signálu
- U prvního a třetího signálu došlo k vybavení, a to mezi časy  $t_1$  a  $t_2$

Časy  $t_1$  a  $t_2$  jsou vypočteny pomocí vztahů [36]:

$$t_1 = \frac{(G_s - A_r) - G_{start}}{G_{end} - G_{start}} * 600, \quad (6.1)$$

$$t_2 = \frac{(G_s + A_r) - G_{start}}{G_{end} - G_{start}} * 600, \quad (6.2)$$

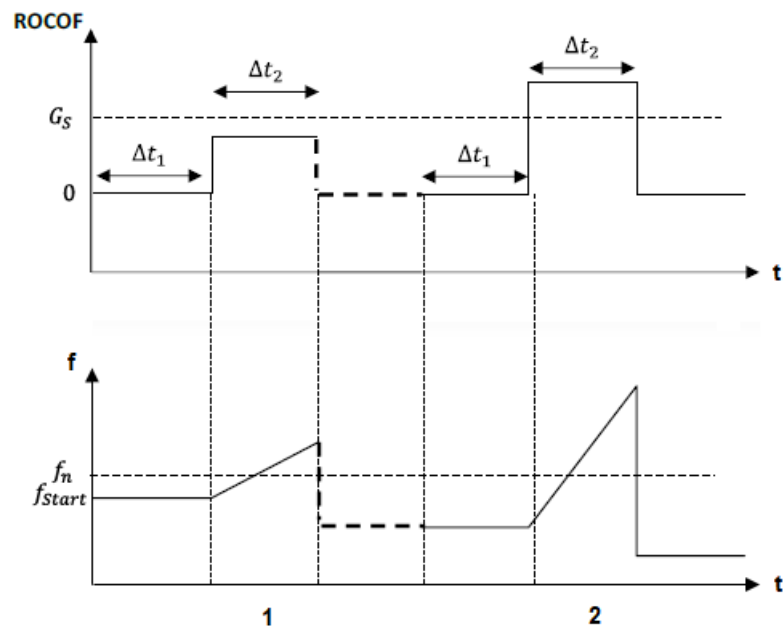
Ve VP (příloha C) v odstavcích 5.7.3.3 je toto rozmezí, které je definováno právě časy  $t_1$  a  $t_2$ , vyznačeno pro snazší vyhodnocení.



Obrázek 6.14 Testovací signály (celkem tři) pro ověření správnosti napěťové ochrany s dobou měření 10 minut, převzato a upraveno z [36].

### 6.7.3 Ochrana RoCoF

Testování ochrany pro přesnost nastavení RoCoF se provádí pomocí sekvence dvou skoků při různých hodnotách výsledné frekvence daného skoku, viz obázek 6.15, kde první skoková změna je menší než hodnota odolnosti RoCoF a druhá je naopak vyšší (podle [11] je vyžadována hodnota RoCoF 2 Hz/s pro nesynchronní VM). Testování se provádí jak pro pozitivní, tak pro negativní změnu frekvence. Testy se provádí ve frekvenčním pásmu kolem jmenovité frekvence. Čas změny (skoku) frekvence může trvat až 1 vteřinu, ale z důvodu možnosti reakce nadfrekvenčních nebo podfrekvenčních ochran lze tuto dobu upravit, aby byla výsledná frekvence v užším rozsahu. Min. doba změny frekvence zůstává ale 200 ms [36].



Obrázek 6.15 Ukázka sekvence frekvenčních skoků sloužících k ověření přesnosti ochrany ROCOF, převzato a upraveno z [36].

Při testování je měřena frekvence a činný výkon střídače. Za úspěšné testování je považováno, když:

- U testované zařízení dojde v případě druhého frekvenčního skoku (jak pozitivního, tak negativního) k vybavení ochrany. Vypínací doba je stejná nebo nižší než čas spuštění plus nastavené časové zpoždění.
- U testovaného zařízení nedojde v případě prvního frekvenčního skoku (jak pozitivního, tak negativního) k vybavení ochrany.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.3, tak z důvodu nedostupnosti přenastavení, či jenom zobrazení nastavené hodnoty RoCoF nebyl tento test úspěšně proveden, jelikož oba střídače zůstaly připojeny. Z testování však nicméně nejsou dostupná data, jelikož při následném zpracování skriptů bylo zjištěno, že data z této zkoušky byly poškozeny (nebo došlo ke špatnému kódování či jinému tech. problému přenosu dat) a od cca poloviny naměřených hodnot došlo k chybě, která je zobrazena na obrázku 6.16. Z tohoto důvodu nebyl schopen Matlab importovat soubor s naměřenými daty. Částečným řešením by bylo zbylou polovinu dat odstranit, nicméně jedná se právě o tu polovinu dat, která je svým přínosem nejvýznamnější pro tento typ testu.

10525	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.71E+00,250.65E+00,250.58E+00,0.0000E+03,0.26E+00,0.27E+00,0.27E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10526	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.69E+00,250.65E+00,250.61E+00,0.0000E+03,0.25E+00,0.26E+00,0.26E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10527	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.72E+00,250.65E+00,250.61E+00,0.0000E+03,0.26E+00,0.26E+00,0.27E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10528	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.70E+00,250.64E+00,250.60E+00,0.0000E+03,0.26E+00,0.27E+00,0.27E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10529	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.70E+00,250.65E+00,250.59E+00,0.0000E+03,0.26E+00,0.27E+00,0.27E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10530	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.72E+00,250.63E+00,250.60E+00,0.0000E+03,0.25E+00,0.26E+00,0.26E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10531	2022/03/23,15:25:06,00000000,250.74E+00,250.61E+00,250.60E+00,0.0000E+03,0.25E+00,0.26E+00,0.26E+00,0.00E+00,0.00E+00,
10532	•9]Ě@QÄÑ-ĐG÷\$UÚ†Mí@laLeCaŞ! Á.ą-ič"Y"l-l#u dÁ2A1l.ŌhaPL 5€XŘE... řdÁ.▲Ě1S\$[!f]e" -Fā]MR-ō'ÁW]ŘŌ]Š\$]~"†"o9š=Ř]ač*Pē:
10533	lš°l:řř&PŇ@č ,ŠK'āwxZ#XFđúú]Ō+stô÷°@...]:řĀ*±Çxeōē0ÇđcđüčđŽH4...APŇl\$-l;llā,vlsřĚll@š4LĚ@llc'řNšq0@c]Už8ll<Ō5
10534	" . §Š'ĆŮ†±Ā' 'LŌég]ew"s'0]T]1lzeYÚll.ěŭ]āR*a01wb@ 'ř'd<l;N_l/o Atll]ě0-"SNiičö
10535	\$%#mř)ç(š>*Ō'Ů(ČĚ]TDFcp-ňbKĚđĚv+Lft.ôPYĚ=d% l]pLš. @dl]Y\7GZ_š]ě7M†n=ll]A°5Ě *z÷T«Ÿe'žzxyĚóŌŤXT-ěllĚZĚU...4-né)đllē
10536	lls"llk/lĚllviaČ™FC,ollE@ll" šĚšAxNāēllZž†sūuŠĀ"s...ugšŘTŽ_ĀR"2
10537	íČŮY%ĀllM<ā
10538	1Ld"ēgZlVOLuđ'ĀhctBQčY llBL[H]PĀĚ#čö•l'"Jxll]Ů&đčv3úll[sxseqŌo>÷:šNŮč*UžRll°0@#%<llQšŮč™ž'üzll'łŮ,NČ'9ll"đriO C%oμll'č\ll
10539	μ]6llārll@ll t-ll]Ňđ,,D,,Y"ll,bMol; 7tŮžšžnŽll]tJ-
10540	đĚŤāš# vaHNĚllē; ll2llfč"ř"ŌlNjřTfXčĀ'-:ll]ARll•H N.'K]llĚčĚē]ÇBk /
10541	,#kAéqççμ«ūž:7llĀmZŮŸll,?"ll×Āšö»'o2†llNĠĀ†Q]řft]A]†' ; ll] "A3ž0 A.▲llā,Ōxtll]đđČ7 ,ll, xll]lōřll]ž]Blw×3
10542	SŮ]đĚŮ+bl °.▲A.~,"U°R™*ČĚFK{5_đ"r'Ā@řllySa(GĚ]l]šŘ
10543	,,ftýéll>sl
10544	ZL"žllyTēllkGOBYll[š°:forŋ-Z Ů:ll]řμllĐŮll:řđŮEblřšžēāŌllš0šŮ—ňDřsd llēll8llđo>řřŮk†-NĀžĚb]mlz]řVČ"ĚH" Ā°č
10545	řĚ],47Ůāň
10546	š
10547	řŘ."llŌll<džtē"

Obrázek 6.16 Ukázka chybně převedených/poškozených dat z HIOKI - 3390

## 6.8 Připojení a spuštění VM

Účelem je ověřit, že střídač, který je zapojen paralelně k síti, má pouze omezený vliv na danou síť. Střídač se smí připojit k síti pokud platí, že napětí soustavy je v rozsahu 85 % až 110 %  $U_n$  a frekvence soustavy je v rozsahu 47,5 Hz až 50,05 Hz. Oba tyto rozsahy musí být splněny po dobu alespoň 300 vteřin (podrobněji kapitola 5.3.6). Při splnění těchto rozsahů se může VM připojit, ale musí respektovat i max. dovolené zvýšení dodávaného činného výkonu, která je podle [11] dána křivkou 10 %  $P_n$  za minutu. Pro testování je nutné buď vycházet ze stavu, kdy je střídač odpojen od simulátoru sítě, nebo po simulování vybavení ochrany.

Jak již vyplývá z uvedených dovolených rozsahů napětí a frekvence, je nutné ověřit všechny (celkem čtyři) hranice pro připojení střídače. První z nich je testovací sekvence pro ověření podfrekvenčního limitu. Test vychází z následujícího postupu:

- Nastavení hodnoty frekvence na úroveň 47,45 Hz.
- Při této hodnotě nesmí dojít k připojení střídače po uplynutí 300 vteřin (v případě ověřování shody s normou [32] nebo s [33] jde o alespoň 60 vteřin).
- Následně je přenastavena frekvence na hodnotu 47,55 Hz.
- Po uplynutí 300 vteřin je dovoleno připojení VM k síti (v případě ověřování shody s normou [32] nebo s [33] jde o alespoň 20 vteřin, obdobně i pro další ověřování).

Téměř totožný postup je využit i pro ověření nadfrekvenčního limitu:

- Nyní je nutné zajistit buď odpojení VM od sítě, nebo simulovat vybavení ochran.
- Nastavit hodnotu frekvence na úroveň 50,1 Hz.
- Během této úrovně nesmí dojít po uplynutí 300 vteřin k připojení VM k síti.
- Následně se nastaví frekvence na úroveň 50 Hz.



- Po uplynutí 300 vteřin je dovoleno připojení VM k síti.

Jelikož norma [36] udává, že u jednoho z výše zkoušených stavů je nutné ověřit i správný nárůst činného výkonu, a proto je nezbytné nechat střídač připojený tak dlouho, dokud nedodává alespoň 80 %  $P_n$ . Z měření se ověřuje, zda nepřekročil dovolenou max. hranici zvyšování činného výkonu, tedy 10 %  $P_n$  za minutu. Pro tyto účely byl vybrán právě nadfrekvenční limit, jelikož při snížení frekvence je nastavena nová hodnota frekvence rovna jmenovité frekvenci. V TM, kapitola 15, je zobrazena testovací sekvence, která s tímto ověřením uvažuje prostřednictvím zvýšené doby, po kterou je střídač vystaven jmenovité frekvenci (cca 18 min.)

Podobným způsobem, jako výše zmíněné limity jsou testovány i limity napětí. Pro nadpěťový limit pak platí:

- Napětí se nastaví na hodnotu 84 %  $U_n$ .
- Během této úrovně nesmí dojít po uplynutí 300 vteřin k připojení VM k síti.
- Následně se nastaví napětí na hodnotu 86 %  $U_n$ .
- Po uplynutí 300 vteřin je dovoleno připojení VM k síti.

Nyní je nutné opět zajistit buď odpojení VM od sítě, nebo simulovat vybavení ochran. Pro nadpěťový limit je pak postup i rozsah napětí následující:

- Napětí se nastaví na hodnotu 111 %  $U_n$ .
- Během této úrovně nesmí dojít po uplynutí 300 vteřin k připojení VM k síti
- Následně se nastaví napětí na hodnotu 109 %  $U_n$ .
- Po uplynutí 300 vteřin je dovoleno připojení VM k síti.

Pozn.: Jednotlivé nastavení vychází z nastavení, které je popsáno v [11]. Při jiném nastavení ochran, které může vyžadovat PDS, je nutné upravit nastavení testovacích hodnot na hodnoty nastavené u ochran.

Během testování je nutné měřit nejenom velikost efektivního napětí a frekvenci, ale i činný výkon se vzorkovací frekvencí 1 vteřiny.

Pozn.: Všechny výše zkoušené stavy musí být udržovány alespoň 2 minuty.

Zkouška je považována za úspěšnou pokud:

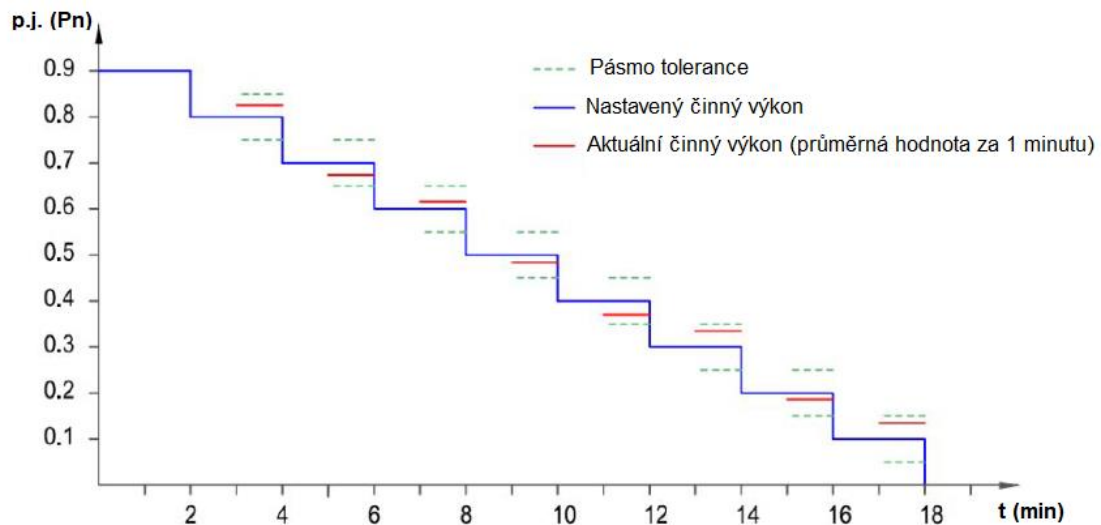
- VM nezahájí proces připojení k síti, pokud se nachází mimo své napěťové a frekvenční pásmo.
- VM se nepřipojí před vypršením čekací (pozorovací) doby, i když se nachází v povoleném pásmu hodnot napětí i frekvence.
- Rychlost zvyšování činného výkonu je max. 10 %  $P_n$  za minutu u jednoho z vybraných testů.

Pozn.: U synchronních VM je nutné dodržet určité rozdíly napětí, frekvence a fázového úhlu při připojení VM k síti. Nicméně hodnoty nesmí překročit limity stanovené výrobcem. Pokud tyto hodnoty nejsou stanoveny, dá se použít typických hodnot, které udávají rozdíl pro napětí  $\pm 10$  %  $U_n$ , frekvenci 500 mHz a rozdíl fázového úhlu  $\pm 10^\circ$ .

## 6.9 Reakce činného výkonu VM na změnu nastavení

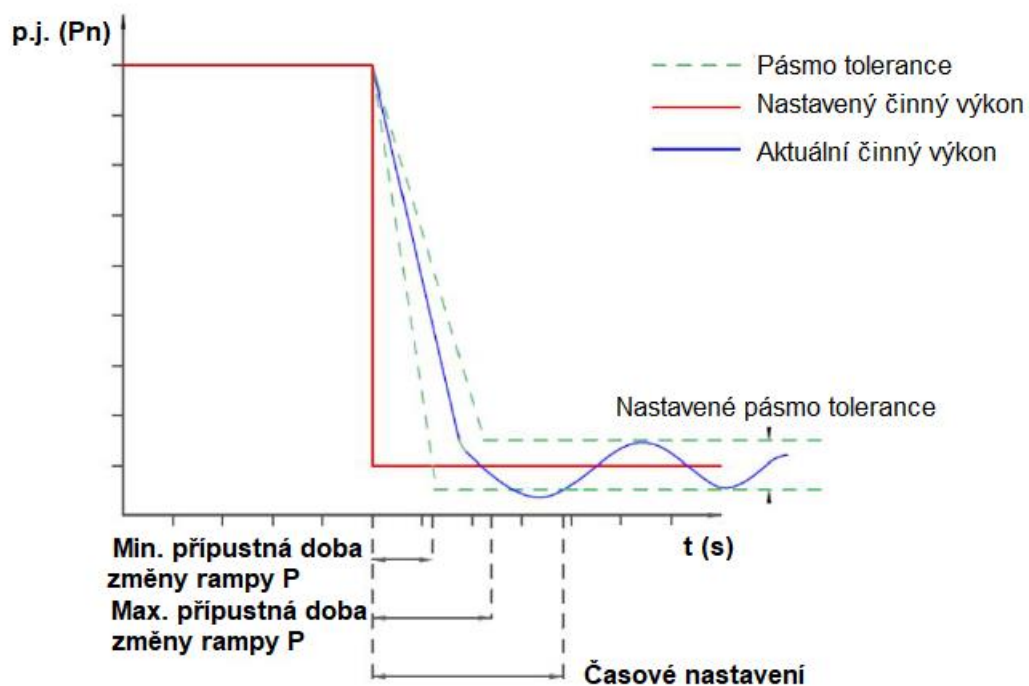
Cílem testování je ověřit schopnost VM snížit svůj činný výkon na žádanou hodnotu. Během testování je nutné měřit činný výkon se vzorkovací rychlostí alespoň 1 vteřiny. Ověřujeme jednak přesnost ustálení na žádané hodnotě, tak i rychlost, za kterou VM změní svůj činný výkon [36].

Přesnost ustálení činného výkonu se provádí snižováním činného výkonu z 0,9 p.j. až po 0,1 p.j. s krokem 0,1 p.j. (pokud to není možné z konstrukčních důvodů, lze využít rozsah 0,7 p.j. po 0,5 p.j. s krokem 0,1 p.j.). Pro každý krok se po uplynutí jedné minuty provede výpočet jedno minutového průměru činného výkonu, který musí být v toleranci  $\pm 5\%$   $P_n$  oproti požadované hodnotě [36]. Vizuální příklad pro vytvoření testovací sekvence je znázorněn na obrázku 6.16.

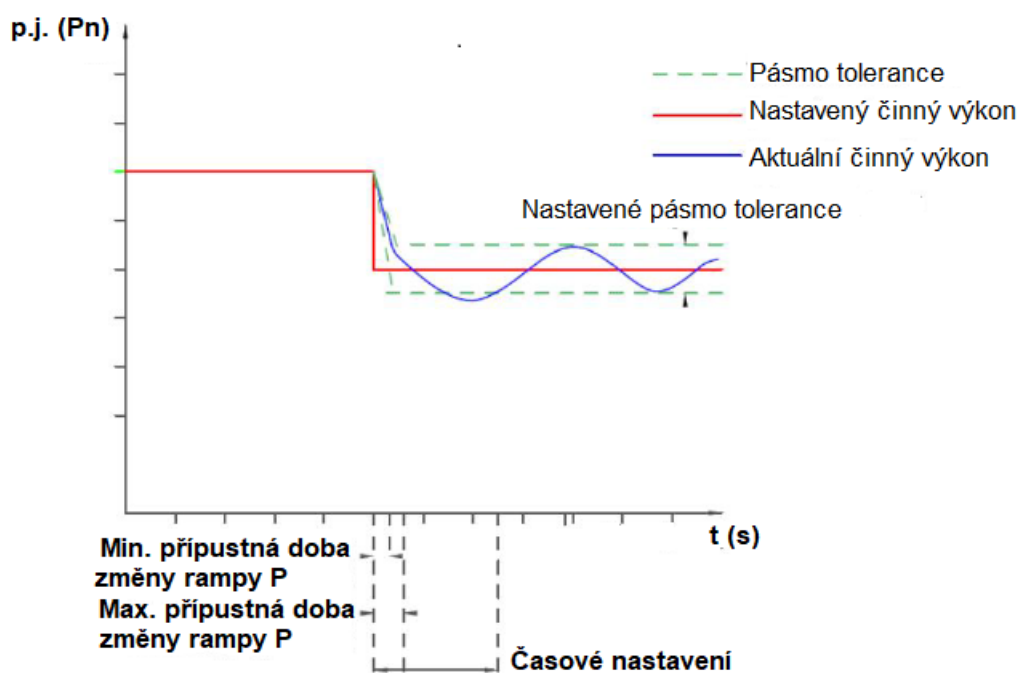


Obrázek 6.17 Ukázka průběhu testování přesnosti ustálení činného výkonu VM, převzato a upraveno z [36].

Další částí této oblasti je i rychlost ustálení VM na nově zadaný činný výkon. Tento test se provádí buď se skokem z činného výkonu 0,9 p.j. na hodnotu 0,1 p.j. (obrázek 6.17), a nebo skokem z činného výkonu 0,7 p.j. na hodnotu 0,5 p.j. (obrázek 6.18), a to v případech, kdy VM není schopen takové změny (např. z důvodu poškození), což je deklarováno výrobcem. Doba rampy (skoku na požadovanou hodnotu) musí být provedeny v povoleném rozsahu, a to od 0,33 p.j. za sekundu do 0,66 p.j. za sekundu. Doba potřebná k ustálení je doba, od vydaného příkazu ke snížení činného výkonu do doby, než se cílová hodnota nachází v dovoleném tolerančním pásmu  $\pm 5\%$   $P_n$  [36]. Dovolená hodnota této doby je posuzována na základě požadavků PDS nebo podle výrobce VM.



Obrázek 6.18 Ukázka testování rychlosti změny činného výkonu VM pro krok od 0,9 p.j. po 0,1 p.j., převzato a upraveno z [36].



Obrázek 6.19 Ukázka testování rychlosti změny činného výkonu pro krok od 0,7 p.j. po 0,5 p.j., převzato a upraveno z [36].

Zkouška se považuje za úspěšnou pokud:

- Všechny průměrné hodnoty se neodchýlily od nastavené hodnoty s tolerancí  $\pm 5 \% P_n$ .
- Doba ustálení má hodnotu definovanou příslušným PDS či výrobcem.
- Doba rampy nepřekračuje hodnotu 0,33 p.j. za sekundu do 0,66 p.j. za sekundu (lze použít opět jinou hodnotu v souvislosti s PDS či výrobcem).

Tento test je zpracován pouze v TM, jelikož jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 6, tak testovací pracoviště v současnosti není vybaveno pro testování celého rozsahu pro kategorie A2 (zejména výkonové omezení). TM tak v kapitole 16 poskytuje informace pro budoucí vytvoření testovacích sekvencí a dalších nezbytných kroků, jako vyhodnocovací skripty apod.

## 7. ZÁVĚR

Ať už bude vývoj cen za fosilní paliva jakýkoliv, lze předpokládat, že zájem o nové OZE, zejména FV, bude neklesající, a to jak z důvodu snížení vlastních nákladů za elektrickou energii, tak i z důvodu snížení závislosti jednotlivých domácností, či států na okolní geopolitickou situaci ve světě. Jedná se tak o další popud pro vytvoření certifikovaného pracoviště, které bude schopné ověřovat jednotlivé značky FV střídačů.

Úvodní část práce obsahuje soupis aktuálních požadavků, zejména podle pravidel provozování distribučních soustav, které jsou na VM moduly kladeny, a to jednak z důvodu zlepšení propustnosti elektrizační soustavy a zlepšení kvality elektrické energie. Díky dodržení těchto požadavků se VM podílí na řízení ES, čímž i samotná instalace VM pak může v některých případech způsobit, že daná část sítě (linka) se naopak zpřístupní i pro další zapojení nových VM.

Kontrolování těchto požadavků je do budoucna nezbytnou součástí, jelikož zvyšující se počet VM v DS má za následek i významnější ovlivňování kvality a dodávky elektrické energie (flickr, nesymetrie atd.). Z tohoto důvodu budou nejspíše nuceni nejenom PDS (či PPS), ale i samotní výrobci prokazovat shodu, či soulad střídačů, a to podle nově navrhované normy EN 50 549-10 s těmito požadavky tak, aby jim byl umožněn provoz (či prodej) VM v dané zemi a v dané DS.

Samotné ověřování je časově velice náročný proces, který se skládá z částí jako přenastavování (či konzultace s výrobcem), testování, měření, zpracování dat a vystavení výstupního protokolu. Práce si kládla za cíl vypracovat a co nejvíce zautomatizovat části jako zpracování dat a vystavení výstupního protokolu, čímž se zvedne zejména efektivita celého ověřovacího procesu a tím dojde i ke snížení samotných nákladů pro ověření střídače. Aby bylo možné tyto kroky uskutečnit, bylo v první řadě nezbytné vytvořit testovací manuál, který má za úkol sjednotit dílčí požadavky z jednotlivých dokumentů, jako ČSN EN 50 549-1 a 2, nařízení komise EU 2016/631 a PPDS – příloha 4 do jednoho celku společně s návrhem normy EN 50 549-10, zabývající se testovacími procedurami. Testovací manuál je přiložen k práci jako externí příloha. Z údajů z testovacího manuálu byly vytvořeny i testovací sekvence k jednotlivým dílčím testům, které jsou plně funkční. I když se tato část ověřování zdá, jako plně automatická, je nutné podotknout, že u některých testů (např. ověřování pracovního rozsahu frekvence), je žádoucí přítomnost zkoušející osoby, a to zejména pro oblast ověřování horního limitu frekvence (52 Hz), jelikož podle naměřených dat nelze s jistotou říci, zda se střídač v této oblasti odpojil a nebo pouze snížil svůj dodávaný výkon na nulovou hodnotu v rámci chybně provedené nebo nastavené  $P(f)$  regulaci. Sekvence lze rovněž ještě doladit, a to zejména sjednocením času prodlení u některých zkoušek. Tyto „estetické“ rozdíly, ač nepatrné, vznikly kvůli vytváření některých sekvencí v rozdílném období, tj. nebyly všechny vytvořeny přibližně ve stejné době (v jiných měsících).

Pro vyhodnocení naměřených dat bylo nezbytné vytvořit vyhodnocovací skripty, které jsou z důvodu přehlednosti, vytvořeny vždy pro každou dílčí zkoušku samostatně. Výčet všech těchto skriptů je zobrazen v příloze B. Tyto skripty mají za úkol vytvořit vhodný grafický výstup, který bude reflektovat, zda chování ověřovaného střídače vyhovuje požadavkům na něj kladených. Je nutné podotknout, že v současné době nebylo možné odměřit, a tudíž i vytvořit některé z dílčích skriptů, a to zejména z důvodu komplikací jako chybějící komunikace se střídačem, což se jeví jako nezbytné

např. pro kompletní ověření kap. 6.7.1. Další důvody, které značně komplikovaly postup, jsou popsány v kap. 6. Řešení těchto problémových oblastí je nicméně velmi časově a technicky náročné.

Finálním krokem jak pro tuto práci, tak i pro potenciálního zákazníka, je vytvořený výstupní protokol. Tento protokol, uvedený v příloze C, má za cíl jednak poskytnout grafický a textový výstup jednotky, společně s poznámkami zkoušejícího, tak i poskytnutí osvědčení o ověření souladu nebo shody s potřebnými dokumenty. Všechny zmíněné údaje a dokumenty tak mají za cíl připravit/pomocť s budoucí testovací procedurou, která bude sloužit pro zakázkové měření.

Řešená problematika je v současné době velice diskutované téma, jelikož v blízké budoucnosti nelze neustále připojovat další a další VM nižších i vyšších výkonů do ES (především do DS) aniž by PDS neměl jakékoli podložené informace o chování jednotlivých jednotek. V současné době totiž dochází k připojení (u kategorií A1) např. jen přiložením certifikátu VM, získaného od výrobce daného VM. Tento certifikát nicméně nemusí v praxi vždy stoprocentně garantovat správné chování daného VM. K tomuto nepřispívá ani skutečnost, že norma, která by specifikovala ověřování VM (již zmíněná EN 50 549-10), je v současné době pouze ve formě návrhu. PDS tak aktuálně nemají potřebný dokument, podle kterého by mohli ověřovat, zda VM skutečně splňuje všechny požadavky na něj kladené.

Samotné ověřování VM představuje důležitý milník, kterým je nutné se zabývat před zaváděním nových technologií a koncepcí, jako např. Smart Grids nebo masivnějším zaváděním elektromobility, využívající nabíjení z vlastní FVE, či jiných zdrojů OZE s decentralizovaným charakterem. Je to dáno zejména tím, že koncepce Smart Grids je založena na komunikaci a využití lokálních zdrojů a spotřebičů tak, aby byl co nejvíce využit potenciál OZE či nadbytek levné elektrické energie v síti a naopak. Tento děj se však opírá o různé mechanismy, jako jsou výpočetní algoritmy a predikce, ale zároveň i o skutečné chování lokálních zdrojů. Pro správný chod těchto systémů je tedy nezbytné, aby lokální zdroje skutečně plnily požadavky na ně kladené (např. rychlost odezvy regulace činného výkonu atd.). Význam problematiky, která je řešená v této práci tak nachází uplatnění nejenom pro jednotlivé PDS, či výrobce VM, ale i pro další navazující systémy.

## 8. BIBLIOGRAFIE

- [1] HASHEMI, Seyedmostafa a Jacob OSTERGAARD. *Methods and strategies for overvoltage prevention in low voltage distribution systems with PV* [online]. [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-rpg.2016.0277>
- [2] DOC. ING. BLAŽEK, Vladimír, CSc. a Ing. Petr SKALA. *Distribuce elektrické energie*.
- [3] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. 2011. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [4] TLUSTÝ, Josef. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [5] VÁNIŠOVÁ, Michaela. *Vliv OZE na elektrizační soustavu ČR*. Brno, 2010, 46 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Mastný Ph.D.
- [6] BC. REISKUP, Filip. *Potenciál nefrekvenčních podpůrných služeb pro provozovatele distribuční sítě*. Brno, 2020. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=209116](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=209116). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Ing. Michal Ptáček, Ph.D.
- [7] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [8] BC. NOVOTNÝ, Jan. *Dopad využívání OZE na elektrizační soustavu ČR*. Praha, 2014, 85 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Milan Kloubec.
- [9] Chytré měření: Smart Metering. In: *EG.D* [online]. [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/chytre-mereni>
- [10] NOSEK, Ondřej. *Dopad rozptýlené výroby na napěťové poměry v sítích nn*. Plzeň, 2012, 80 s. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie. Vedoucí práce Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
- [11] *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV - PŘÍLOHA 4: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. In: . ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, 2020. Dostupné také z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)
- [12] ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. 2011.

- [13] ING. TOPOLÁNEK, David, Ph.D. *Městské a průmyslové sítě* [online]. [cit. 2021-11-19]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [14] ING. TOPOLÁNEK, David, Ph.D. *Požadavky na výrobní moduly připojované do distribuční soustavy* [online]. [cit. 2021-11-19]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [15] *PNE 33 3430-0. VÝPOČETNÍ HODNOCENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ ODBĚRATELŮ A ZDROJŮ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV*. 4. vydání. 2009.
- [16] *PNE 33 3430-2. PARAMETRY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE - ČÁST 2: KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ*. 3. vydání. 2010.
- [17] MORÁVEK, Jan, Jiří DRÁPELA, Vojtěch WASSERBAUER a Petr MASTNÝ. *Power quality issues related to power flow control in systems with renewable energy micro sources* [online]. IEEE [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: doi:10.1109/EPE.2016.7521784
- [18] ING. MORÁVEK, Jan. *Procesy řízení v energetických systémech s alternativními zdroji energie*. Brno, 2017. Zkrácená verze Ph.D. thesis. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Mastný Ph.D.
- [19] *PNE 33 3430-1. Parametry kvality elektrické energie - Část 1: Harmonické a mezharmónické*. 3. vydání. 2009.
- [20] ČEZ DISTRIBUCE, A. S. *HROMADNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ (HDO)* [online]. In: ČEZ DISTRIBUCE, A. S. [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo>
- [21] *PNE 33 3430-6. Parametry kvality elektrické energie - Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání*. 3. vydání. 2011.
- [22] *PNE 38 2530. HROMADNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ: Automatiky, vysílače a přijímače*. 2. vydání. 2000.
- [23] MAJLING, Eduard. *HDO - smart grid fungující již půl století* [online]. In: . [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/hdo-smart-grid-fungujici-jiz-pul-stoleti>
- [24] POSPÍŠIL, Jaroslav. *Dynamická stabilita - kritérium mixu v ČR* [online]. 26 [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: [http://www.konference.org/vyvoj\\_odvetvi\\_energetiky\\_2020/prezentace\\_recniku/Pospisil.pdf](http://www.konference.org/vyvoj_odvetvi_energetiky_2020/prezentace_recniku/Pospisil.pdf)
- [25] *Synchronous Power Generating Module* [online]. [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/831-synchronous-power-generating-module>
- [26] *Power Park Module (PPM)* [online]. [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/830-power-park-module-ppm>
- [27] VOBOŘIL, David. *Severská elektrizační soustava v červnu zaznamenala rekordně nízkou setrvačnost* [online]. [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/severska-elektrizacni-soustava-cervnu-zaznamenala-rekordne-nizkou-setrvacnost>



- [28] ING. DOHNAL, Martin. *Provoz elektrizační soustavy s velkým počtem netočivých zdrojů elektrické energie*. Brno, 2017, 82 s. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=147589](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=147589). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D.
- [29] *NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2016/631 ze dne 14. dubna 2016, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě (Text s významem pro EHP)*. In: . Brusel: Úřední věstník Evropské unie, 2016, ročník 2016, číslo 631. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631&from=EN>
- [30] *Zákon č. 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. In: . ročník 2000, číslo 458. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [31] *Vyhláška č. 79/2010 Sb. vyhláška o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení*. In: . ročník 2010, číslo 79. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-79>
- [32] *ČSN EN 50549-1 Požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi - Část 1: Připojení k distribuční síti nn - Výrobní do typu B včetně*. 2019.
- [33] *ČSN EN 50549-2 Požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi - Část 2: Připojení k distribuční síti vysokého napětí - Výrobní do typu B včetně*. 2019.
- [34] RYCHLÝ, O. *Implementace NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2016/631: Kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě*. 2018.
- [35] ING. VOJTEK, Martin, Ph.D., Ing. Jan MORÁVEK, PH.D. a doc. Ing. Petr MASTNÝ, PH.D. *Provozní testování FV střídačů: Malé zdroje elektrické energie*. 2020.
- [36] *EN 50549-10 Požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi - Část 10: Testy prokazující shodu výroben*. 2021.

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
OZE	Obnovitelné zdroje energie
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
FV	Fotovoltaická výrobná
FVE	Fotovoltaická elektrárna
NZÚ	Nová zelené úsporám
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
VM	Výrobní modul
VE	Výrobná elektrárna
RfG	Podmínky pro připojení generátorů (Requirement for Generation)
ES	Elektrizační soustava
DS	Distribuční soustava
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PS	Přenosová soustava
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
VTE	Větrná elektrárna
FACTS	Flexible AC Transmission System
POPQMS	Power Operation and Power Quality Management System
HDO	Hromadné dálkové ovládání
DT	Distribuční transformátor
STATCOM	Static Synchronous Compensator
SSSC	Static Synchronous Series Compensator
UPFC	Unified Power Flow Controller
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IGCT	Integrated Gate Commutated Thyristor
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
SSR	Polovodičové relé (Solid State Relays)
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
NT	Nízký tarif
VT	Vysoký tarif
PGM	Power Generating Module
SPGM	Synchronous Power Generating Module
PPM	Power Park Module
HVDC	Vysoko napěťový stejnosměrný přenos elektrické energie (High Voltage Direct Current)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
RoCoF	Hodnota změny frekvence (Rate of Change of Frequency)
LFSM-O	Omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci (Limited Frequency Sensitive Mode – Overfrequency)

FRT	Překlenutí poklesu napětí (Fault Ride Through)
AVR	Automatický napěťový regulátor (Automatic Voltage Regulator)
THD	Celkové harmonické zkreslení (Total Harmonic Distortion)
TM	Testovací manuál
VP	Výstupní protokol
DP	Diplomová práce

Symboly:

$U$	Napětí	(V)
$t$	Čas	(s)
$f$	Frekvence	(Hz)
$I$	Proud	(A)
$I_{\check{c}}$	Činná složka proudu	(A)
$I_j$	Jalová složka proudu	(A)
$R$	Odpor	( $\Omega$ )
$R_V$	Odpor sítě v přípojném bodě	( $\Omega$ )
$X$	Reaktance	( $\Omega$ )
$X_V$	Reaktance sítě v přípojném bodě	( $\Omega$ )
$Z$	Impedance	( $\Omega$ )
$\Delta U$	Změna napětí	(V)
$P$	Činný výkon	(W)
$\Delta P$	Změna činného výkonu	(W)
$Q$	Jalový výkon	(VAr)
$\Delta Q$	Změna jalového výkonu	(VAr)
$S$	Zdánlivý výkon	(VA)
$S_{\max}$	Max. kapacita zdánlivého výkonu zařízení	(VA)
$\cos\varphi$	Účinník	(-)
$P_{st}$	Krátkodobá míra vjemu flikru	(-)
$P_{lt}$	Dlouhodobá míra vjemu flikru	(-)
$d$	Relativní změna napětí	(-)
$S_{kV}$	Zkratový výkon sítě	(VA)
$S_{kV}$	Zkratový výkon ve společném napájecím bodu	(VA)
$\Psi$	Úhel impedance sítě	( $^\circ$ )
$\Psi_{kV}$	Fázový úhel zkratové impedance	( $^\circ$ )
$\varphi_e$	Fázový úhel VM	( $^\circ$ )
$v$	Řád harmonické	(-)
$i_{vnn}$	Mezní vztažný proud	(A/MVA)
$U_{\check{r},\min}$	Minimální úroveň řídicího napětí	(V)
$U_f$	Funkční napětí přijmače	(V)
$U_n$	Jmenovité napětí	(V)
$U_c$	Dohodnuté napětí	(V)
$S_{nE}$	Jmenovitý zdánlivý výkon jednotlivé VE	(VA)
$k_{i,\max}$	Činitel označující největší spínací ráz	(-)
$I_a$	Zapínací ráz v průběhu spínacího proudu	(A)

$I_{nG}$	Jmenovitý proud VM (generátoru)	(A)
$f_{stop}$	Deaktivační prahová frekvence	(Hz)
$f_l$	Prahová frekvence	(Hz)
$s$	Statika	(-)
$P_m$	Skutečný (aktuální) činný výkon	(W)
$P_{ref}$	Referenční činný výkon	(W)
$f_n$	Jmenovitá frekvence	(Hz)
$P_{max}$	Max. kapacita činného výkonu u zařízení	(W)
$U_{před}$	Napětí před vznikem poruchy	(V)
$G_{start}$	Počáteční hodnoty napětí/frekvence	(V/Hz)
$G_s$	Nastavená hodnota napětí/frekvence	(V/Hz)
$G_{end}$	Koncová hodnota napětí/frekvence	(V/Hz)
$A_r$	Požadovaná přesnost	(V/Hz)
$\Delta t$	Změna času	(s)
$\Delta f$	Změna frekvence	(Hz)
$U_{start}$	Počáteční hodnota napětí	(V)
$f_{start}$	Počáteční hodnota frekvence	(Hz)
$T_{op}$	Operační čas	(s)
$T_{res}$	Resetovací čas	(s)
$T_{ov}$	Doba tolerance okraje	(s)

## **SEZNAM PŘÍLOH**

<b>PŘÍLOHA A - RFG PRO VM .....</b>	<b>86</b>
<b>PŘÍLOHA B - VYHODNOCOVACÍ SKRIPTY V PROGRAMU MATLAB .....</b>	<b>88</b>
<b>PŘÍLOHA C - VÝSTUPNÍ PROTOKOL .....</b>	<b>140</b>

## Příloha A - RfG pro VM

### A.1 Přehled RfG podmínek pro všechny kategorie VM

Článek Rfg	Požadavky Rfg	Typ výrobního modulu					
		A1	A2	B1	B2	C	D
13.1a	Frekvenční rozsahy a časové limity pro VM	X	X	X	X	X	X
13.1b	Hodnota rychlosti změny frekvence (RoCoF)	X	X	X	X	X	X
13.2	Omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci (LFSM-O)	X	X	X	X	X	X
13.4; 13.5	Dovolené Snížení činného výkonu při klesající frekvenci soustavy	X	X	X	X	X	X
13.6	Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu	X	X	X	X		
13.7	Podmínky pro automatické připojení k soustavě	X	X	X	X	X	
14.2	Rozhraní pro Snížení činného výkonu		X	X			
14.3	Překlenutí poklesu napětí (FRT)	X	X	X	X	X	
14.4	Opětovné připojení po poruše		X	X	X	X	X
14.5d	Komunikace a výměna informací			X	X	X	X
15.2a,b	Regulovatelnost činného výkonu			X	X	X	X
15.2c	Omezený frekvenčně závislý režim při podfrekvenci (LFSM-U)				X	X	X
15.2d	Frekvenčně závislý mód (FSM)					X	X
15.2g	Komunikace a výměna informací o režimu FSM					X	X
15.5a	Schopnost startu ze tmy				X	X	X
15.5b	Schopnost ostrovního provozu					X	X
15.5c	Rychlé opětovné přifázování					X	X
15.6a	Kritéria pro detekci ztráty úhlové stability nebo ztráty regulace					X	X
15.6b	Přístrojové vybavení			X	X	X	X
15.6c	Simulační modely				X	X	X
15.6e	Minimální a maximální limity rychlosti změn činného výkonu				X	X	X
16.2b	Minimální a maximální limity rychlosti změn činného výkonu						X
16.2c	Doby připojení VM k soustavě v případě přepětí a podpětí						X
16.3	Automatické odpojení na základě hodnoty napětí						X

## A.2 Pokračování přehledu RfG podmínek pro všechny kategorie VM

Článek Rfg	Požadavky RfG	Typ výrobního modulu					
		A1	A2	B1	B2	C	D
15.6b	Přístrojové vybavení			X	X	X	X
15.6c	Simulační modely				X	X	X
15.6e	Minimální a maximální limity rychlosti změn činného výkonu				X	X	X
16.2b	Minimální a maximální limity rychlosti změn činného výkonu						X
16.2c	Doby připojení VM k soustavě v případě přepětí a podpětí						X
16.3	Automatické odpojení na základě hodnoty napětí						X
16.4	Nastavení synchronizačních zařízení						X
17.2a	Dodávka jalového výkonu			X			
17.3	Obnova činného výkonu po poruše			X	X	X	X
18.2	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
20.2a	Dodávka jalového výkonu u nesynchronních VM		X	X			
20.2b,c	Rychlý poruchový proud v případě poruchy			X	X	X	X
20.3	Obnova činného výkonu po poruše		X	X	X	X	X
21.2	Umělá setrvačnost				X	X	X
21.3b,c	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
21.3d	Režimy regulace jalového výkonu				X	X	X
21.3e	Priorita příspěvků činného nebo jalového výkonu			X	X	X	X
21.3f	Tlumení výkonových oscilací				X	X	X

# Příloha B - Vyhodnocovací skripty v programu Matlab

## B.1 Ověření pracovního rozsahu frekvence

16.5.22 14:00 C:\Use...\Frekvencni\_provozni\_rozsahy.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pn=10000;

% Data=readtable('03220800.csv'); Bez výběru - pro testování skriptu.
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování množství dat
j=length(Data.FREQ1);

for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

%Průměrné hodnoty za dobu 200 ms
S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Vykon);
X_2=reshape(Vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4;

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)
xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [47,52.5], 'Ytick', [47:0.5:52.5], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
    0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

hold on
```



```
yyaxis right
plot(Cas_1, Vykon_1, 'LineWidth',1)
ylabel('P/Pn (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.05:1.1], 'units', 'norm');

%Vytvoření křivky určující max. dovolené snížení činného výkonu při podfrekvenci ↵
% podle PPDS,
% kde je max 2 % Pn/Hz od hodnoty 49 Hz. Pro 47,5 Hz se tedy jedná o max.
% dovolené snížení o 3% Pn.

yline(0.97, 'Color', 'magenta', 'LineWidth',1);

%Popis grafu
legend('Frekvence', 'Činný výkon', 'Max. dovolené snížení činného ↵
výkonu', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns',2);
title('Ověření frekvenčního rozsahu jednotky');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Frekvencni_provozni_rozsahy.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.2 Ověření pracovního rozsahu napětí

16.5.22 14:01 C:\Users\...\Napetove provozni rozsahy.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pn=10000;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování množství dat
j=length(Data.Urms1);

for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

%Průměrné hodnoty za dobu 200 ms
S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Vykon);
X_2=reshape(Vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Napeti_1, 'LineWidth',1)
xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

hold on

set(gca, 'Ylim', [0.8,1.2], 'Ytick', [0.8:0.05:1.2], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')
```

```
yyaxis right
plot(Cas_1, Vykon_1, 'LineWidth',1)
ylabel('P/Pn (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0,1.05], 'Ytick', [0:0.05:1.05], 'units', 'norm');

%Popis grafu
legend('Efektivní hodnota napětí', 'Činný  
výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Ověření napěťového rozsahu jednotky');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Napetove_provozni_rozsahy.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.3 Odolnost proti změnám frekvence

16.5.22 14:04 C:\...\Odolnost proti zmenam frekvence.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pn=10000;

% Data=readtable('03220800.csv'); Bez výběru - pro testování skriptu.
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování množství dat
j=length(Data.FREQ1);

for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

%Průměrné hodnoty za dobu 200 ms
S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Vykon);
X_2=reshape(Vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)
xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [47, 53], 'Ytick', [47:0.25:53], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
    'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

hold on
```

```
yyaxis right
plot(Cas_1, Vykon_1, 'LineWidth',1)
ylabel('P/Pn (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');

%Popis grafu
legend('Frekvence', 'Činný výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns',2);
title('Ověření odolnosti proti rychlým změnám frekvence');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Odolnost_proti_zmenam_frekvence.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.4 UVRT

16.5.22 14:06 C:\Us...\UVRT charakteristicky prubeh.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Definovani stridace
Pn=9000;
Un=230;
Vzorkovaci_frekvence=1000; %10 mikrosekund 1 ditek

%Výběr souboru bez připojeného střídače - otestování nastaveného průběhu
file=uiigetfile('*.MAT');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

A=load(file);

Urms1=A.CH01(:, [1])/Un;
Urms2=A.CH02(:, [1])/Un;
Urms3=A.CH03(:, [1])/Un;
Irms1=A.CH09(:, [1]);
Irms2=A.CH10(:, [1]);
Irms3=A.CH11(:, [1]);

j=length(Urms1);

for i=1:j
    if Urms1(i)<0.95 %0.95 s ohledem na možné kmitání hodnoty napětí
        Udaj_1=(i);
        break;
    end
end

for k=Udaj_1:Udaj_1+Vzorkovaci_frekvence*5 %5 sekund pro zobrazení křivky
    Napeti(k)=mean([Urms1(k),Urms2(k),Urms3(k)]);
    Proud(k)=Irms1(k)+Irms2(k)+Irms3(k);
    Cas(k)=k/Vzorkovaci_frekvence-Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence;
end

%Nastavení UVRT křivky podle PPDS
U=[1 1 1 0.05 0.05 0.85];
t=[-0.1 0 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence ↵
Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+0.15 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+3];

U_tol_1=[1+0.05 1+0.05 1+0.05 0.05+0.05 0.05+0.05 0.85+0.05];
t_tol_1=[-0.1 0 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+0.01 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+0.01 ↵
Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+0.15 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+3];

U_tol_2=[1-0.05 1-0.05 1-0.05 0.05-0.05 0.05-0.05 0.85-0.05];
t_tol_2=[-0.1 0 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence ↵
Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+0.15+0.01 Udaj_1/Vzorkovaci_frekvence+3+0.01];
```

```
%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(t,U,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','black')

hold on

plot(Cas,Napeti,'LineWidth',1,'LineStyle','-','Color','blue')

xlabel('t (s)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');
set(gca,'Xlim',[-0.1,3.4],'Xtick',[-0.1:0.2:3.5],'units','norm');
set(gca,'linewidth',\
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName','Arial')

hold on

plot(t_tol_1,U_tol_1,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(t_tol_2,U_tol_2,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

%Popis grafu
legend('UVRT křivka podle PPDS','Naměřený průběh napětí','Toleranční pásmo +- 0.05\
p.j.','Location','Southeast','NumColumns',2);
title('Charakteristický průběh zkušebního napětí s vyznačenými tolerancemi');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'UVRT_charakteristicky_prubeh.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.5 Odezva na odchylky frekvence – P(f)

16.5.22 14:08 C:\Users\mi...\Reakce na nadfrekvenci.m 1 of 6

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry stridace a P(f) funkce
Pn=9700;          %Jmenovitý výkon
Pd=9700;          %Disponibilní výkon
s=0.05;          %Statika 5%
f1=50.2;         %Prahová frekvence
fn=50;           %Jmenovitá frekvence
fstop=50.05;     %Deaktivační hodnota frekvence

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování množství dat
j=length(Data.FREQ1);

%Výchozí hodnoty pro následné zpracování
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Vykon(i)=Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i);
end

%Vyhledání oblasti druhého skoku na 51 Hz, u kterého dojde k aktivaci P(f) funkce a
%následný výpočet jednominutového průměru od poklesu činného výkonu na hodnotu P s
tolerancí +10%P;

% P_Pd=1+1/s*(f1-f)/fn;
Tolerance_1=0.68*Pd+0.068*Pd; %+10% Tolerance

for i=1:j
    if Frekvence(i)>50.95
        if Vykon(i)<Tolerance_1
            Udaj_1=(i);
            break;
        end
    end
end

for h=Udaj_1:i+1199
    Vykon_1(h-Udaj_1+1)=Vykon(h);
end

S_1=numel(Vykon_1);
```



```

X_1=reshape(Vykon_1(1:S_1 - mod(S_1, 1200)), 1200, []);
Y_1 = sum(X_1, 1).' / 1200;

%Vyhledání oblasti druhého skoku na 52 Hz, u kterého je již aktivní P(f) funkce a
%následný výpočet jedominutového průměru od poklesu činného výkonu na hodnotu P s
tolerancí +10%P;

% P_Pd=1+1/s*(f1-f)/fn;
Tolerance_2=0.28*Pd+0.028*Pd; %10% Tolerance

for k=1:j
    if Frekvence(k)>51.95
        if Vykon(k)<Tolerance_2
            Udaj_2=(k);
            break;
        end
    end
end

for t=Udaj_2:Udaj_2+1199
    Vykon_2(t-Udaj_2+1)=Vykon(t);
end

S_2=numel(Vykon_2);
X_2=reshape(Vykon_2(1:S_2 - mod(S_2, 1200)), 1200, []);
Y_2 = sum(X_2, 1).' / 1200;

%Skok zpět na 51 Hz, příkazy vychází ze sekvence, která je o 2410 dílků
%(120,5 sekund)později. Dále není potřeba ověřovat pokles výkonu na hranici
%tolerance, jelikož podle PPDS musí být nastavena hodnota fstop = jednotka
%nesmí zvyšovat svůj výkon dokud nedojde k poklesu frekvence pod hodnotu
%fstop.

for x=k+2410:j
    if Frekvence(x)<51.05
        Udaj_3=(x);
        break;
    end
end

for e=Udaj_3:j
    Vykon_3(e-Udaj_3+1)=Vykon(e);
    Frekvence_3(e-Udaj_3+1)=Frekvence(e);
end

S_3=numel(Vykon_3);
X_3=reshape(Vykon_3(1:S_3 - mod(S_3, 1200)), 1200, []);
Y_3 = sum(X_3, 1).' / 1200;

F_3=numel(Frekvence_3);
G_3=reshape(Frekvence_3(1:F_3 - mod(F_3, 1200)), 1200, []);
H_3 = sum(G_3, 1).' / 1200;

```

```

%Definování bodů křivky podle PPDS

%P_Pd=1/s*(f1-f_krivka)/fn vzorec pro výpočet jednotlivých bodů křivky
f_krivka= [50 50.2 52 50.05];
P_krivka = [1 1 0.28 0.28];

f_krivka_horni_tolerance = [50.2 52.1];
P_krivka_horni_tolerance = [1.1 0.264];

f_krivka_dolni_tolerance = [50.2 51.8445];
P_krivka_dolni_tolerance = [0.9 0.306];

f_krivka_f_stop_1 = [51.8445 50.05];
P_krivka_f_stop_1 = [0.306 0.308];

f_krivka_f_stop_2 = [52.1 50.05];
P_krivka_f_stop_2 = [0.252 0.252];

%Graf
F=figure('Position',[150 150 1100 550]);

%Vyzobrazení křivky podle PPDS včetně tolerančních křivek
plot(f_krivka,P_krivka,'LineWidth',1,'LineStyle','-','Color','black')

xlabel('f (Hz)');
ylabel('P/Pd (p.j.)');

hold on

plot(f_krivka_horni_tolerance,P_krivka_horni_tolerance,'LineWidth',1,
'LineStyle','--','Color','black')

hold on

plot(f_krivka_dolni_tolerance,P_krivka_dolni_tolerance,'LineWidth',1,
'LineStyle','--','Color','black')

hold on

plot(f_krivka_f_stop_1,P_krivka_f_stop_1,'LineWidth',1,
'LineStyle','--','Color','black')

hold on

plot(f_krivka_f_stop_2,P_krivka_f_stop_2,'LineWidth',1,
'LineStyle','--','Color','black')

hold on

set(gca,'Xlim',[50,53],'Xtick',[50:0.1:53],'units','norm');
set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.05:1.1],'units','norm');
set(gca,'linewidth',1,
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontNa

```

```

me','Arial')

frekvence_pro_jednotlive_body_1 = [51 52];
vykony_pro_jednotlive_body_1 = [Y_1/Pd Y_2/Pd];

frekvence_pro_jednotlive_body_2 = [H_3];
vykony_pro_jednotlive_body_2 = [Y_3/Pd];

%Zobrazení vypočtených jednodominutových hodnot činného výkonu a frekvence

scatter(frekvence_pro_jednotlive_body_1, vykony_pro_jednotlive_body_1, 'x','blue')

hold on

scatter(frekvence_pro_jednotlive_body_2, vykony_pro_jednotlive_body_2, 'x','blue')

%Popis grafu
legend('P(f) funkce podle PPDS','Toleranční pásmo +-10% P','','','Jednodominutové
průměrné naměřené hodnoty','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Ověření P(f) funkce');

%Export grafu
filename = 'P_f_funkce.emf';
saveas(F, fullfile(filename));

hold off

%Reakce VM na změnu frekvence

for q=Udaj_1-100:Udaj_1+100
    delta_P(q-Udaj_1+101)=Vykon(q)/Pd;
    delta_f(q-Udaj_1+101)=Frekvence(q);
    cas(q-Udaj_1+101)=0.05*(q-Udaj_1+101);
end

%Graf
H=figure('Position',[150 150 1100 550]);

%V
plot(cas,delta_f,'LineWidth',1,'LineStyle','-','Color','blue')

xlabel('t (s)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca,'Xlim',[0,10.5],'Xtick',[0:0.5:10.5],'units','norm');
set(gca,'Ylim',[49.9,51.1],'Ytick',[49.9:0.1:51.1],'units','norm');
set(gca,'linewidth',4,
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName',
me','Arial')

hold on

```

```

yyaxis right
ylabel('P/Pn (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.05:1.1], 'units', 'norm');

plot(cas,delta_P, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '-')

xline(100*0.05+2, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'black');
yline(0.68, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '-', 'Color', 'green');
yline(0.68+0.068, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'green');
yline(0.68-0.068, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'green');

%Popis grafu
legend('Frekvence', 'Činný výkon', 'Časový limit pro reakci VM (2 vteřiny)', 'Hodnota vypočtená z P(f) funkce', 'Tolerance +10 % Pn', 'Tolerance -10 % Pn', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Ověření P(f) funkce - reakce VM na skokovou změnu frekvence na hodnotu 51 Hz');

%Export grafu
filename_1 = 'P_f_rekace_51.emf';
saveas(H, fullfile(filename_1));

hold off

%Reakce VM na změnu frekvence 52 Hz

for m=Udaj_2-100:Udaj_2+100
    delta_P_2(m-Udaj_2+101)=Vykon(m)/Pd;
    delta_f_2(m-Udaj_2+101)=Frekvence(m);
    cas_2(m-Udaj_2+101)=0.05*(m-Udaj_2+101);
end

%Graf
K=figure('Position', [150 150 1100 550]);

%V
plot(cas_2,delta_f_2, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '-')
xlabel('t (s)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Xlim', [0,10.5], 'Xtick', [0:0.5:10.5], 'units', 'norm');
set(gca, 'Ylim', [50.9,52.1], 'Ytick', [50.9:0.1:52.1], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial');

hold on

```

```
yyaxis right
ylabel('P/Pn (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.05:1.1], 'units', 'norm');

plot(cas_2,delta_P_2, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '-')

hold on

xline(100*0.05+2, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'black');
yline(0.28, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '-', 'Color', 'green');
yline(0.28+0.028, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'green');
yline(0.28-0.028, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'green');

%Popis grafu
legend('Frekvence', 'Činný výkon', 'Časový limit pro reakci VM (2 vteřiny)', 'Hodnota vypočtená z P(f) funkce', 'Tolerance +10 % Pn', 'Tolerance -10 % Pn', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns',2);
title('Ověření P(f) funkce - reakce VM na skokovou změnu frekvence na hodnotu 52 Hz');

%Export grafu
filename_2 = 'P_f_rekace_52.emf';
saveas(K, fullfile(filename_2));

hold off
```

## B.6 Regulace jalového výkonu při jmenovitém napětí

16.5.22 14:11 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\7 Ov... 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Sn=6000;
Pn=6000;
Un=230;
Sreg=0.1; %Minimální hodnota, od které je jednotka schopna regulovat jalový výkon

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Zde se zapisují naměřené hodnoty

Cinny_vykon = [1000 1500 2000 3000 4000 5000 6000]/Pn; %Hodnoty jsou poze
ilustrační, podle normy je zapotřebí alespoň 5 hodnot a volit krok 0.1 od
nejbližšího násobku 0.1 P
Jalovy_vykon = [100 200 300 400 500 600 700]/Pn; %Hodnoty jsou pouze ilustrační;

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

%Nadpětová oblast
scatter(Jalovy_vykon, Cinny_vykon, 'x')
xlabel('Q/Pd (p.j.)');
ylabel('P/Pd (p.j.)');

set(gca, 'Xlim', [-1,1], 'Xtick', [-1:0.1:1], 'units', 'norm');
set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 1,
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

hold on

%Definování křivky podle PPDS

Q=[0 -0.484 0.484 0];
P=[0 0.87507 0.87507 0];

plot(Q, P, 'LineWidth', 1, 'LineStyle', '-', 'Color', 'black')

hold on

Q_1=-1:0.0001:1;
P_1=sqrt(1-Q_1.^2);

Q_kruz_tolerance=-Sreg:0.0001:Sreg; %Promenou
P_kruz_tolerance=sqrt(0.1.^2-Q_kruz_tolerance.^2);

plot(Q_kruz_tolerance, P_kruz_tolerance, 'LineWidth', 1,
```

```
1,'LineStyle','--','Color','black')

hold on

%Tolerance křivky +- 2% Sn
Q_2=[-0.02 -0.504];
P_2=[0 0.86507];

Q_3=[0.02 -0.464];
P_3=[0 0.87507];

Q_4=[0.504 0.02];
P_4=[0.86507 0];

Q_5=[0.464 -0.02];
P_5=[0.87507 0];

plot(Q_1, P_1,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','red')

hold on

plot(Q_2, P_2,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_3, P_3,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_4, P_4,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_5, P_5,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

%Popis grafu
legend('Naměřené hodnoty','Oblast povinné podpory','Oblast s vyšší dov.
tolerancí','Výkonová kružnice v p.j.','Dovolená tolerance +- 2%
Sn','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Pracovní rozsah jalového výkonu jednotky při Un');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Pracovni_oblast_jaloveho_vykonu_pri_jmenovitem_napeti.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.7 Regulace jalového výkonu při proměnlivé hodnotě napětí

16.5.22 14:19 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\8 Ov... 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Sn=6000;
Pn=6000;
Un=230;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 1 vteřinu
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i));
    Jalovy_vykon(i)=(Data.Q1(i)+Data.Q2(i)+Data.Q3(i));
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 20)), 20, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 20;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 20)), 20, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 20;

S_3=numel(Jalovy_vykon);
X_3=reshape(Jalovy_vykon(1:S_3 - mod(S_3, 20)), 20, []);
Jalovy_vykon_1 = sum(X_3, 1).' / 20;

pomerny_vykon=Jalovy_vykon_1/Pn;

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

%Nadpěťová oblast
plot(pomerny_vykon, Napeti_1, 'LineWidth',1);
```



```

xlabel('Q/Pn (p.j.)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca,'Xlim',[-0.55,0.55],'Xtick',[-0.55:0.05:0.55],'units','norm');
set(gca,'Ylim',[0.80,1.15],'Ytick',[0.80:0.05:1.15],'units','norm');
set(gca,'linewidth',4
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName','Arial');

hold on

%Definování křivky podle PPDS
U_1=0.9:0.0001:1;
Q_1=sqrt((U_1/0.9).^(2)-1);
U_2=0.924:0.0001:1;
Q_2=-sqrt((U_2/0.9).^(2)-1);

Q_d_1=[0 -0.484 -0.484 -0.484 0 0.484 0.484 0.412 0 0 -0.484 -0.484];
U_d_1=[0.9 0.95 1 1.1 1.1 1.05 1 0.85 0.85 0.9 0.95 1];

Q_d_2=[-0.484 -0.458176];
U_d_2=[1 0.9462];

plot(Q_d_1, U_d_1,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_d_2, U_d_2,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_1, U_1,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_2, U_2,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

hold on

plot(Q_1, U_1,'LineWidth',1,'LineStyle','--','Color','green')

text(0.3,0.9,'(1)','Color','green','HorizontalAlignment','center');
text(-0.44,0.97,'(1)','Color','green','HorizontalAlignment','center');

%Doplňující popisky grafu
text(0.85,0.436,'0.436 (Qmax)','HorizontalAlignment','right');
text(0.85,-0.436,'0.436 (-Qmax)','HorizontalAlignment','right');

%Popis grafu
legend('Naměřené hodnoty - 1 sekundové průměry','Vyznačení pracovní oblasti jednotky','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Pracovní rozsah jalového výkonu jednotky');

```

```
%Export grafu  
figure = F;  
filename = 'Pracovni_oblast_jaloveho_vykonu_pri_promenlivem_napeti.emf';  
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.8 Q(U) regulace

16.5.22 14:21 C:\Users\miche\Deskto...\Q U regulace.m 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Sd=6000;
Un=230;

%Výběr prvního souboru - nadpětový sekvence Q(U) regulace
file_1=uigetfile('*.csv');
if isequal(file_1,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file_1)]);
end

Data_1=readtable(file_1);

%Výběr druhého souboru - podpětový sekvence Q(U) regulace
file_2=uigetfile('*.csv');
if isequal(file_2,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file_1)]);
end

Data_2=readtable(file_2);

%Definování délky dat
j_1=length(Data_1.Urms1);
j_2=length(Data_2.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 1 sekundu
for i=1:j_1
    Jalovy_vykon_1(i)=(Data_1.Q1(i)+Data_1.Q2(i)+Data_1.Q3(i))/Sd;
    Napeti_1(i)=mean([Data_1.Urms1(i),Data_1.Urms2(i),Data_1.Urms3(i)])/Un;
end

S_1=numel(Jalovy_vykon_1);
X_1=reshape(Jalovy_vykon_1(1:S_1 - mod(S_1, 20)), 20, []);
Jalovy_vykon_1_1 = sum(X_1, 1).' / 20;

S_2=numel(Napeti_1);
X_2=reshape(Napeti_1(1:S_2 - mod(S_2, 20)), 20, []);
Napeti_1_1 = sum(X_2, 1).' / 20;

%Průměrné hodnoty za 1 sekundu

for k=1:j_2
    Jalovy_vykon_2(k)=(Data_2.Q1(k)+Data_2.Q2(k)+Data_2.Q3(k))/Sd;
```

```

    Napeti_2(k)=mean([Data_2.Urms1(k),Data_2.Urms2(k),Data_2.Urms3(k)]/Un;
end

S_3=numel(Jalovy_vykon_2);
X_3=reshape(Jalovy_vykon_2(1:S_3 - mod(S_3, 20)), 20, []);
Jalovy_vykon_2_2 = sum(X_3, 1).' / 20;

S_4=numel(Napeti_2);
X_4=reshape(Napeti_2(1:S_4 - mod(S_4, 20)), 20, []);
Napeti_2_2 = sum(X_4, 1).' / 20;

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

%Nadpětová oblast
plot(Napeti_1_1, Jalovy_vykon_1_1, 'LineWidth',1, 'Color', 'blue')
xlabel('U/Un (p.j.)');
ylabel('Q/Sd (p.j.)');

set(gca, 'Xlim', [0.85,1.15], 'Xtick', [0.85:0.02:1.15], 'units', 'norm');
set(gca, 'Ylim', [-0.6,0.6], 'Ytick', [-0.6:0.1:0.6], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

hold on

%Podpětová oblast
plot(Napeti_2_2, Jalovy_vykon_2_2, 'LineWidth',1, 'Color', 'blue')

hold on

%Definování křivky podle PPDS
Q=[0.436 0.436 0 0 -0.436 -0.436];
U=[0.85 0.94 0.97 1.05 1.08 1.15];

plot(U, Q, 'LineWidth',1, 'LineStyle', '--', 'Color', 'black')

hold on

%Definování křivky podle PPDS s tolerancí +2% Sn
Q_pozitivni=[0.456 0.456 0.02 0.02 -0.416 -0.416];
plot(U, Q_pozitivni, 'LineWidth',1, 'Color', 'green')

hold on

%Definování křivky podle PPDS s tolerancí -2% Sn
Q_negativni=[0.416 0.416 -0.02 -0.02 -0.456 -0.456];
plot(U, Q_negativni, 'LineWidth',1, 'Color', 'green')

```

```
%Doplňující popis osy y
text(0.85,0.436,'0.436 (Qmax)', 'HorizontalAlignment','right');
text(0.85,-0.436,'0.436 (-Qmax)', 'HorizontalAlignment','right');

%Popis grafu
legend('Naměřené hodnoty - 1 sekundové průměry', '', 'Vzorová křivka podle
PPDS', 'Tolerance +- 2% Sn', 'Location','Southwest', 'NumColumns',2);
title('Q(U) regulace');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Q_U_regulace.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.9 Nadpět'ová ochrana

16.5.22 14:21 C:\User...\Nadpetova ochrana 2 stupne.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=10000; %Vykon, při kterém je zkouška provedena

%Nastavení ochrany
Nastaveni_ochrany = 1.15; %1.15 % Un
Ar = 0.01; %Nastavení přesnosti - defaultní z normy

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

% Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Napeti_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');
```

```
set(gca,'Ylim',[0.98,1.18],'Ytick',[0.98:0.01:1.18],'units','norm');
set(gca,'linewidth',4
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName','Arial')

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
yline(Nastaveni_ochrany-Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);
yline(Nastaveni_ochrany+Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);

x_pozice=0;
y_pozice=1.17;
text(x_pozice,y_pozice,'Oblast povinného vybavení
ochrany','Color','red','HorizontalAlignment','left');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Cinny_vykon_1,'LineWidth',1)

set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');

%Popis grafu
legend('Napeti','','','Činný výkon','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Ověření přesnosti vybavení nadpětové ochrany 2. stupně');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Nadpetova ochrana 2_stupne.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.10 Podpět'ová ochrana

16.5.22 14:22 C:\Users\miche\D...\Podpetova ochrana.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=10000;          %Vykon, při kterém je zkouška provedena

%Nastavení ochrany
Nastaveni_ochrany=0.85; %1.15 % Un
Ar=0.01;          %Nastavení přesnosti - defaultní z normy

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

% Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Ciny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Ciny_vykon);
X_2=reshape(Ciny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Ciny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Napeti_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0.81,1.02], 'Ytick', [0.81:0.01:1.02], 'units', 'norm');
```



```
set(gca,'linewidth',  
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName','Arial')  
  
%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen  
%oblast, kde se VM nemůže připojit)  
yline(Nastaveni_ochrany-Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);  
yline(Nastaveni_ochrany+Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);  
  
x_pozice=0;  
y_pozice=0.87;  
text(x_pozice,y_pozice,'Oblast povinného vybavení  
ochrany','Color','red','HorizontalAlignment','left');  
  
hold on  
  
yyaxis right  
ylabel('P/Pd (p.j.)');  
  
plot(Cas_1, Cinny_vykon_1,'LineWidth',1)  
  
set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');  
  
%Popis grafu  
legend('Napeti','','','Činný výkon','Location','Southwest','NumColumns',2);  
title('Ověření přesnosti vybavení podpětové ochrany');  
  
%Export grafu  
figure = F;  
filename = 'Podpetova_ochrana.emf';  
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.11 Nadfrekvenční ochrana

16.5.22 14:32 C:\Users\mic...\Nadfrekvencni ochrana.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=10000;           %Vykon, při kterém je zkouška provedena

%Nastavení ochrany
Nastaveni_ochrany=52; %1.15 % Un
Ar=0.05;           %Nastavení přesnosti - defaultní z normy

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
end

S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [49.8,52.2], 'Ytick', [49.8:0.1:52.2], 'units', 'norm');
```

```
set(gca,'linewidth',\
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName','Arial')

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
yline(Nastaveni_ochrany-Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);
yline(Nastaveni_ochrany+Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);

x_pozice=0;
y_pozice=52.1;
text(x_pozice,y_pozice,'Oblast povinného vybavení
ochrany','Color','red','HorizontalAlignment','left');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Ciny_vykon_1,'LineWidth',1)

set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');

%Popis grafu
legend('Frekvence','','','Činný výkon','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Ověření přesnosti nadfrekvencní ochrany');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Nadfrekvencni_ochrana.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.12 Podfrekvenční ochrana

16.5.22 14:33 C:\Users\mic...\Podfrekvencni ochrana.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=10000;          %Vykon, při kterém je zkouška provedena

%Nastavení ochrany
Nastaveni_ochrany=47.5; %1.15 % Un
Ar=0.05;          %Nastavení přesnosti - defaultní z normy

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

% Průměrné hodnoty za dobu 200 ms
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
end

S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [47.1,50.1], 'Ytick', [47.1:0.2:50.1], 'units', 'norm');
```

```
set(gca,'linewidth',  
0.05,'MinorGridLineStyle','-','GridLineStyle','-','xgrid','on','ygrid','on','FontName','Arial')  
  
%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen  
%oblast, kde se VM nemůže připojit)  
yline(Nastaveni_ochrany-Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);  
yline(Nastaveni_ochrany+Ar,'Color','red','LineWidth',1.5);  
  
x_pozice=0;  
y_pozice=47.7;  
  
text(x_pozice,y_pozice,'Oblast povinného vybavení  
ochrany','Color','red','HorizontalAlignment','left');  
  
hold on  
  
yyaxis right  
ylabel('P/Pd (p.j.)');  
  
plot(Cas_1, Cinny_vykon_1,'LineWidth',1)  
  
set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');  
  
%Popis grafu  
legend('Frekvence','','','Činný výkon','Location','Southwest','NumColumns',2);  
title('Ověření přesnosti podfrekvencní ochrany');  
  
%Export grafu  
figure = F;  
filename = 'Podfrekvencni ochrana.emf';  
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.13 Nadpět'ová ochrana 1. stupně– první signál

16.5.22 14:35 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\12 O... 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=10000;

%Nastavení sekvence
Gs=1.10;           %1.10% Un
Ar=0.01;           %Přesnost ochrany 1% Un
Gend=Gs+2*Ar;     %Konečná hodnota napětí
Gstart=1;         %Počáteční hodnota napětí po dobu 600 sekund

%Výpočet časového intervalu, ve kterém musí dojít k vybavení
t1=((Gs-Ar)-Gstart)/(Gend-Gstart)*600;
t2=((Gs+Ar)-Gstart)/(Gend-Gstart)*600;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Ciny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
    Cas(i)=Data.Time(i)-Data.Time(1);
end

%Výpočet 10 min. klouzavého průměru
for q=1:j+12000

    pomocna_matice(q)=1;

end

for v=12001:j+12000
    pomocna_matice(v)=Napeti(v-12000);
end

for z=12001:j+12000
    klouzavy_prumer(z-12000)=mean(pomocna_matice(z-12000:z));
end
```

```

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Napeti_1(k)>1.1
        Udaj_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udaj_pro_vycet_casu)), 4
600, 'second'), 'HH:MM:SS'));

%Čas pro vyznačení oblasti, ve které musí ochrana vybavit
Cas_t1=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udaj_pro_vycet_casu)), 4
t1, 'second'), 'HH:MM:SS'));
Cas_t2=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udaj_pro_vycet_casu)), 4
t2, 'second'), 'HH:MM:SS'));
Cas_t_prum=Cas_t1+(Cas_t2-Cas_t1)/2;

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas, klouzavy_prumer, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0.98,1.15], 'Ytick', [0.98:0.01:1.15], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

%Označení oblasti, ve které musí dojít k vybavení ochrany
xline(Cas_t1, 'Color', 'green', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')
xline(Cas_t2, 'Color', 'green', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')

%Označení hranice, na kterou je nastavena nadpětiová ochrana 1. stupně
yline(1.10, 'Color', 'black', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen

```

```
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
x_pov=duration(datestr(addtodate(datetime(Cas_t_prum),-55,'second'),'HH:MM:SS'));
y_pov= 1.145;

text(x_pov,y_pov,'Oblast povinného vybavení
ochrany','Color','green','HorizontalAlignment','right');

hold on

%Křivka označující uplynutí 10 min od nastavené hodnoty 1,1 Un
xline(Cas_pro_krivku,'Color','black','LineWidth',1.5);

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Cinny_vykon_1,'LineWidth',1)

set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');

%Popis grafu
legend('Napeti','','','Hranice 1.10 % Un','10 min. hranice od překročení 110 %
Un','Činný výkon','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Nadpětová ochrana 1. stupně - 1. signál');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Nadpetova_ochrana_1_stupne_1_signal.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```



## B.14 Nadpět'ová ochrana 1. stupně– druhý signál

16.5.22 14:37 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\12 O... 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=6000;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za dobu 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
    Cas(i)=Data.Time(i)-Data.Time(1);
end

%Výpočet 10 min. klouzavého průměru
for q=1:j+12000
    pomocna_matice(q)=1;
end

for v=12001:j+12000
    pomocna_matice(v)=Napeti(v-12000);
end

for z=12001:j+12000
    klouzavy_prumer(z-12000)=mean(pomocna_matice(z-12000:z));
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);
```

```

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Napeti_1(k)>1.06
        Udej_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udej_pro_vycet_casu)), 600, 'second'), 'HH:MM:SS'));

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas, klouzavy_prumer, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0.98,1.15], 'Ytick', [0.98:0.01:1.15], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

%Označení hranice, na kterou je nastavena nadpětiová ochrana 1. stupně
yline(1.10, 'Color', 'black', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
xline(Cas_pro_krivku, 'Color', 'black', 'LineWidth',1.5);

x_nedov_1=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),20, 'second'), 'HH:MM:SS'));
y_nedov_1= 1.14;

text(x_nedov_1,y_nedov_1, 'Oblast, kde nesmí dojít k vybavení', 'Color', 'red', 'HorizontalAlignment', 'left');

%Označení oblasti, kde se VM nemůže připojit
x_nedov_2=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),-20, 'second'), 'HH:MM:SS'));
y_nedov_2= 1.14;

text(x_nedov_2,y_nedov_2, 'Oblast, kde nesmí dojít k vybavení', 'Color', 'red', 'HorizontalAlignment', 'right');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Ciny_vykon_1, 'LineWidth',1)

```

```
%Popis grafu
legend('Napeti', 'Hranice 1.10 % Un', '10 min. hranice od 1.08 % Un', 'Činný
výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Nadpětová ochrana 1. stupně - 2. signál');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Nadpetova_ochrana_1_stupne_2_signal.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.15 Nadpět'ová ochrana 1. stupně– třetí signál

16.5.22 14:38 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\12 O... 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=6000;

%Nastavení sekvence
Gs=1.10;          %1.10% Un
Ar=0.01;          %Přesnost ochrany 1% Un
Gend=Gs+4*Ar;     %Konečná hodnota napětí
Gstart=Gs-4*Ar;  %Počáteční hodnota napětí po dobu 600 sekund

%Výpočet časového intervalu, ve kterém musí dojít k vybavení
t1=((Gs-Ar)-Gstart)/(Gend-Gstart)*600;
t2=((Gs+Ar)-Gstart)/(Gend-Gstart)*600;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
    Cas(i)=Data.Time(i)-Data.Time(1);
end

%Výpočet 10 min. klouzavého průměru
for q=1:j+12000
    pomocna_matice(q)=1;
end

for v=12001:j+12000
    pomocna_matice(v)=Napeti(v-12000);
end

for z=12001:j+12000
    Klouzavy_prumer(z-12000)=mean(pomocna_matice(z-12000:z));
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
```

```

Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Napeti_1(k)>1.1
        Udej_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udej_pro_vycet_casu)), 600, 'second'), 'HH:MM:SS'));

%Čas pro vyznačení oblasti, ve které musí ochrana vybavit
Cas_t1=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udej_pro_vycet_casu)), 600, 'second'), 'HH:MM:SS'));
Cas_t2=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udej_pro_vycet_casu)), 600, 'second'), 'HH:MM:SS'));

Cas_t_prum=(Cas_t1+(Cas_t2-Cas_t1))/2;

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas, Klouzavy_prumer, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0.98,1.15], 'Ytick', [0.98:0.01:1.15], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial');

%Označení oblasti, ve které musí dojít k vybavení ochrany
xline(Cas_t1, 'Color', 'green', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')
xline(Cas_t2, 'Color', 'green', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')

%Označení hranice, na kterou je nastavena nadpětová ochrana 1. stupně
yline(1.10, 'Color', 'black', 'LineWidth',1.5, 'LineStyle', '--')

%Označení hranice 600 sekund
xline(Cas_pro_krivku, 'Color', 'black', 'LineWidth',1.5);

```

```
%Označení oblasti, kde se VM nemůže připojit
x=duration(datestr(addtodate(datetime(Cas_t_prum),-80,'second'),'HH:MM:SS'));
y= 1.145;

text(x,y,'Oblast povinného vybavení
ochrany','Color','green','HorizontalAlignment','right');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Cinny_vykon_1,'LineWidth',1)

set(gca,'Ylim',[0,1.1],'Ytick',[0:0.1:1.1],'units','norm');

%Popis grafu
legend('Napeti','','','Hranice 1.10 % Un','10 min. hranice od překročení 1.10 %
Un','Činný výkon','Location','Southwest','NumColumns',2);
title('Nadpětová ochrana 1. stupně - 3. signál');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Nadpetova_ochrana_1_stupne_3_signal.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.16 RoCoF ochrana – pozitivní sekvence

16.5.22 14:45 C:\Users\miche\Des...\ROCOF\_pozitivni.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=6000;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.FREQ1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
end

S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [49,51], 'Ytick', [49:0.2:51], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
    'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial');
```

```
hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Ciny_vykon_1, 'LineWidth',1)

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');

%Popis grafu
legend('Frekvence', 'Činný výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Testování ochrany RoCoF - pozitivní sekvence ');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'RoCoF_pozitiv.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```



## B.17 RoCoF ochrana – negativní sekvence

16.5.22 14:42 C:\Users\miche\Des...\ROCOF negativni.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pd=6000;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.FREQ1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pd;
end

S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Cinny_vykon);
X_2=reshape(Cinny_vykon(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_2, 1).' / 4;

S_3=numel(Data.Time);
X_3=reshape(Data.Time(1:S_3 - mod(S_3, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_3, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [49,51], 'Ytick', [49:0.2:51], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial');
```

```
hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pd (p.j.)');

plot(Cas_1, Ciny_vykon_1, 'LineWidth',1)

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');

%Popis grafu
legend('Frekvence', 'Činný výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Testování ochrany RoCoF - negativní sekvence ');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'RoCoF_negativni.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.18 Ověření podmínek pro automatické připojení – nadfrekvence

16.5.22 14:47 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\14 O... 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Definovani stridace
Pn=10000;
Un=230;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.FREQ1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Data.Time);
X_2=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_2, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Průměrné hodnoty za 1 sekundu
S_3=numel(Cinny_vykon);
X_3=reshape(Cinny_vykon(1:S_3 - mod(S_1, 20)), 20, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_3, 1).' / 20;

S_4=numel(Data.Time);
X_4=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_4, 20)), 20, []);
Cas_2 = sum(X_4, 1).' / 20 - Data.Time(1);

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Frekvence_1(k)<50.05
        Udej_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udej_pro_vycet_casu)), ←
```

```

300, 'second'), 'HH:MM:SS'));

%Odečet času pro vytvoření pomocné rampy
for t=1:j/20
    if Cinny_vykon_1(t)>0.0001
        Udaj_pro_vytvoreni_rampy=(t);
        break;
    end
end

Cas_pro_rampu=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_2(Udaj_pro_vytvoreni_rampy)),
-2, 'second'), 'HH:MM:SS'));

%Grafy
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [49.8,50.2], 'Ytick', [49.8:0.05:50.2], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth',
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pn (p.j.)');

plot(Cas_2, Cinny_vykon_1, 'LineWidth',1)
set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');

hold on

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
xline(Cas_pro_krivku, 'LineWidth',2, 'Color', 'black');

x_pov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),10, 'second'), 'HH:MM:SS'));
y_pov= 50.19;

text(x_pov,y_pov, 'Oblast, kde se VM smí
připojit', 'Color', 'green', 'HorizontalAlignment', 'left');

%Označení oblasti, kde se VM nemůže připojit
x_nedov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),-10, 'second'), 'HH:MM:
SS'));
y_nedov= 50.19;

```

```
text(x_nedov,y_nedov,'Oblast, kde se VM nesmí  
připojit','Color','red','HorizontalAlignment','right');  
  
%Vytvoření rampy činného výkonu  
x=[Cas_pro_rampu duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_rampu),  
600,'second'),'HH:MM:SS'))];  
y=[0 1];  
  
plot(x,y,'LineWidth',2,'LineStyle','--','Color','black');  
  
%Popis grafu  
legend('Frekvence','Činný výkon','300 sek. v povoleném rozsahu','10%  
Pn/min','Location','Southwest','NumColumns',2);  
title('Ověření automatického připojení v nadfrekvenčním rozsahu a rampy činného  
výkonu');  
  
%Export grafu  
figure = F;  
filename = 'Automaticke_pripojeni_pri_nadfrekvenci.emf';  
saveas(figure, fullfile(filename));
```

## B.19 Ověření podmínek pro automatické připojení – podfrekvence

16.5.22 14:49 C:\Users\miche\Desktop\Testy-PC\14 O... 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Definovani stridace
Pn=10000;
Un=230;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.FREQ1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Frekvence(i)=mean([Data.FREQ1(i),Data.FREQ2(i),Data.FREQ3(i)]);
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

S_1=numel(Frekvence);
X_1=reshape(Frekvence(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Frekvence_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Data.Time);
X_2=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_2, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Průměrné hodnoty za 1 sekundu
S_3=numel(Cinny_vykon);
X_3=reshape(Cinny_vykon(1:S_3 - mod(S_1, 20)), 20, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_3, 1).' / 20;

S_4=numel(Data.Time);
X_4=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_4, 20)), 20, []);
Cas_2 = sum(X_4, 1).' / 20 - Data.Time(1);

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Frekvence_1(k)>47.5
        Udataj_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udataj_pro_vycet_casu)), ←
```

```

300,'second'),'HH:MM:SS'));

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1300 600];

plot(Cas_1, Frekvence_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('f (Hz)');

set(gca, 'Ylim', [47.4,47.6], 'Ytick', [47.4:0.05:47.6], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
xline(Cas_pro_krivku, 'Color', 'black', 'LineWidth', 2);
x_pov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),10, 'second'),'HH:MM:SS'));
y_pov= 47.592;

text(x_pov,y_pov, 'Oblast, kde se VM smí připojit', 'Color', 'green', 'HorizontalAlignment', 'left');

%Označení oblasti, kde se VM nemůže připojit
x_nedov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),-10, 'second'),'HH:MM:SS'));
y_nedov= 47.592;

text(x_nedov,y_nedov, 'Oblast, kde se VM nesmí připojit', 'Color', 'red', 'HorizontalAlignment', 'right');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pn (p.j.)');

plot(Cas_2, Ciny_vykon_1, 'LineWidth',1)

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');

%Popis grafu
legend('Frekvence', '300 sek. v povoleném rozsahu frekvence', 'Činný výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Ověření automatického připojení v podfrekvenčním rozsahu');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Automaticke_pripojeni_pri_podfrekvenci.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));

```

## B.20 Ověření podmínek pro automatické připojení – napětí

16.5.22 14:52 ... \Automaticke\_pripojeni\_pri\_nadpeti.m 1 of 3

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pn=6000;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování množství dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Data.Time);
X_2=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_2, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Průměrné hodnoty za 1 sekundu
S_3=numel(Cinny_vykon);
X_3=reshape(Cinny_vykon(1:S_3 - mod(S_1, 20)), 20, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_3, 1).' / 20;

S_4=numel(Data.Time);
X_4=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_4, 20)), 20, []);
Cas_2 = sum(X_4, 1).' / 20 - Data.Time(1);

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Napeti_1(k)<1.1
        Udaj_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end
end
```



```

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_1(Udaj_pro_vycet_casu)), 300, 'second'), 'HH:MM:SS'));

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Napeti_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0.99,1.13], 'Ytick', [0.99:0.01:1.13], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial')

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
xline(Cas_pro_krivku, 'Color', 'black', 'LineWidth',2);
x_pov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),10, 'second'), 'HH:MM:SS'));
y_pov= 1.12;

text(x_pov,y_pov, 'Oblast, kde se VM smí připojit', 'Color', 'green', 'HorizontalAlignment', 'left');

%Označení oblasti, kde se VM nemůže připojit
x_nedov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),-10, 'second'), 'HH:MM:SS'));
y_nedov= 1.12;

text(x_nedov,y_nedov, 'Oblast, kde se VM nesmí připojit', 'Color', 'red', 'HorizontalAlignment', 'right');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pn (p.j.)');

plot(Cas_2, Cinny_vykon_1, 'LineWidth',1)

set(gca, 'Ylim', [0,1.1], 'Ytick', [0:0.1:1.1], 'units', 'norm');

%Popis grafu
legend('Napeti', '300 sek. v povoleném rozsahu napeti', 'Činný výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns',2);
title('Ověření automatického připojení při nadpětí');

%Export grafu
figure = F;
filename = 'Automaticke_pripojeni_pri_nadpeti.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));

```

## B.21 Ověření podmínek pro automatické připojení – podpětí

16.5.22 14:55 ... \Automaticke\_pripojeni\_pri\_podpeti.m 1 of 2

```
clc;
clear;
close all;

%Parametry střídače
Un=230;
Pn=6000;

%Výběr souboru
file=uigetfile('*.csv');
if isequal(file,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    disp(['User selected', fullfile(path,file)]);
end

Data=readtable(file);

%Definování délky dat
j=length(Data.Urms1);

%Průměrné hodnoty za 200 ms
for i=1:j
    Napeti(i)=mean([Data.Urms1(i),Data.Urms2(i),Data.Urms3(i)])/Un;
    Cinny_vykon(i)=(Data.P1(i)+Data.P2(i)+Data.P3(i))/Pn;
end

S_1=numel(Napeti);
X_1=reshape(Napeti(1:S_1 - mod(S_1, 4)), 4, []);
Napeti_1 = sum(X_1, 1).' / 4;

S_2=numel(Data.Time);
X_2=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_2, 4)), 4, []);
Cas_1 = sum(X_2, 1).' / 4 - Data.Time(1);

%Průměrné hodnoty za 1 sekundu
S_3=numel(Cinny_vykon);
X_3=reshape(Cinny_vykon(1:S_3 - mod(S_1, 20)), 20, []);
Cinny_vykon_1 = sum(X_3, 1).' / 20;

S_4=numel(Data.Time);
X_4=reshape(Data.Time(1:S_2 - mod(S_4, 20)), 20, []);
Cas_2 = sum(X_4, 1).' / 20 - Data.Time(1);

%Odečet času pro vytvoření pomocné křivky
for k=1:j/4
    if Napeti_1(k)>0.85
        Udataj_pro_vycet_casu=k;
        break;
    end
end

Cas_pro_krivku=duration(datestr(addtodate(datetime(Cas_1(Udataj_pro_vycet_casu)), ←
```

```

300,'second'),'HH:MM:SS'));

%Graf
F=figure;
F.Position = [150 150 1100 550];

plot(Cas_1, Napeti_1, 'LineWidth',1)

xlabel('t (HH:MM:SS)');
ylabel('U/Un (p.j.)');

set(gca, 'Ylim', [0.78,0.91], 'Ytick', [0.78:0.01:0.91], 'units', 'norm');
set(gca, 'linewidth', 4,
0.05, 'MinorGridLineStyle', '-', 'GridLineStyle', '-', 'xgrid', 'on', 'ygrid', 'on', 'FontName', 'Arial');

%Označení oblasti, kde se VM může připojit (v případě potřeby ponechat jen
%oblast, kde se VM nemůže připojit)
xline(Cas_pro_krivku, 'Color', 'black', 'LineWidth', 2);
x_pov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),10, 'second'),'HH:MM:SS'));
y_pov= 0.9;

text(x_pov,y_pov, 'Oblast povoleného
připojení', 'Color', 'green', 'HorizontalAlignment', 'left');

%Označení oblasti, kde se VM nemůže připojit
x_nedov=duration(datestr(addtodate(datenum(Cas_pro_krivku),-10, 'second'),'HH:MM:SS'));
y_nedov= 0.9;

text(x_nedov,y_nedov, 'Zakázaná
oblast', 'Color', 'red', 'HorizontalAlignment', 'right');

hold on

yyaxis right
ylabel('P/Pn (p.j.)');

plot(Cas_2, Cinny_vykon_1, 'LineWidth',1)

%Popis grafu
legend('Napeti', '300 sek. v povoleném rozsahu napeti', 'Činný
výkon', 'Location', 'Southwest', 'NumColumns', 2);
title('Ověření automatického připojení při podpětí');

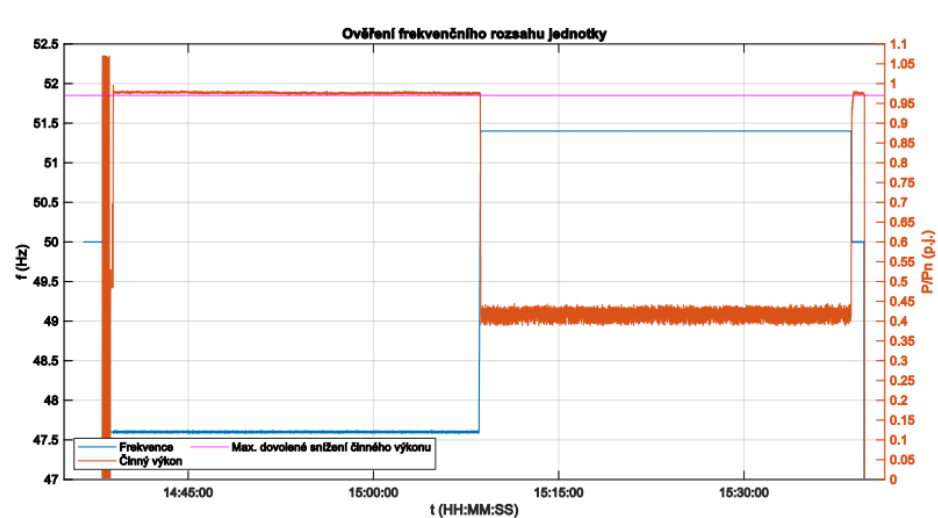
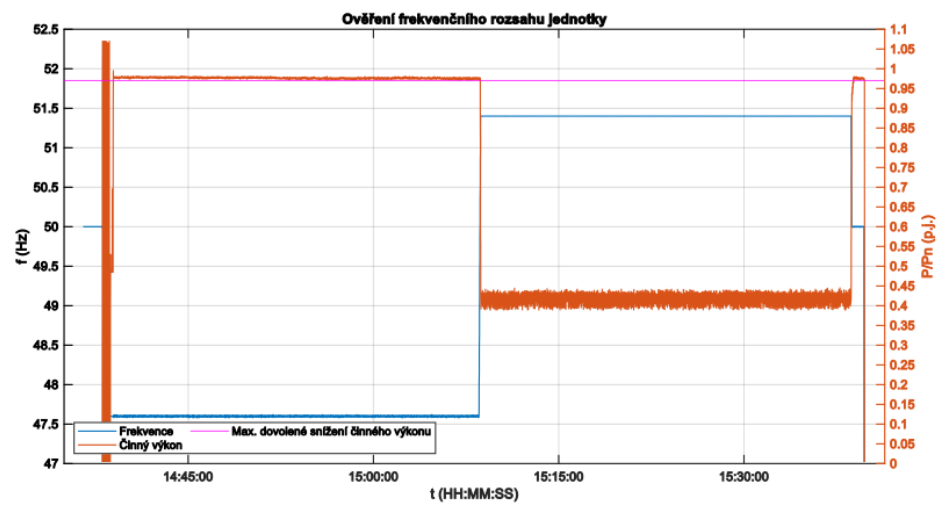
%Export grafu
figure = F;
filename = 'Automaticke_pripojeni_pri_podpeti.emf';
saveas(figure, fullfile(filename));

```

## Příloha C - Výstupní protokol

<b>Výstupní protokol</b> <b>Ověření souladu s PPDS - příloha 4 podle EN 50 549-10</b>	
<b>Údaje o zhotoviteli:</b>	
Název:	Vysoké učení technické v Brně, FEKT UEEN
Sídlo:	Technická 3082/12, 616 00 brno
Tel.:	+420 541 146 220
Email.:	<a href="mailto:fekt-ueen@vut.cz">fekt-ueen@vut.cz</a>
IČO:	
<b>Údaje o žadateli:</b>	
Název:	
Sídlo:	
Tel.:	
Email.:	<a href="mailto:fekt-ueen@vut.cz">fekt-ueen@vut.cz</a>
IČO:	
<b>Údaje o testovaném střídači:</b>	
Výrobce:	XXXXX
Model:	YYYYYY
Sériové číslo:	
Jmenovitý AC výkon:	
<b>Použité vybavení:</b>	
Power analyzator HIOKI - 3390	
Osciloskop YOKOGAWA DL850	
DC source - Chroma 15 kW	
Full 4-Quadrant Grid Simulator - Regatron TC.ACS.50.528.4WR.S.LC	
SW pro řízení Grid Simulator pomocí PC	

<b>5.1</b>	<b>Výkonová specifikace jednotky</b>	
<b>Vyhodnocení:</b>		
<b>Poznámky zkoušejícího:</b>		<b>Test provedl:</b>
		Ing. XXX YYY Ph.D.
		Vyhověl/Nevyhověl

5.2.1 Provozní rozsah frekvence	
Testované rozsahy:	
Testovaná hodnota frekvence	Min. doba testování
47,5 Hz	30 minut
52 Hz	30 minut
Grafické výstupy jednotky (celkem dvě měření):	
	
	
<b>Vyhodnocení:</b>	
Poznámky zkoušejícího:	Test provedl:
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.	Ing. XXX YYY Ph.D.
	Vyhověl/Nevyhověl

5.2.2 Provozní rozsah napětí	
Testované rozsahy:	
Testovaná hodnota napětí	Min. doba testování
0,85 p.j.	10 minut
1.10 p.j.	10 minut
Pozn.: Doba pro ověření dle PPDS - příloha 4 není nijak stanovena pro hladinu nn. Proto byla použita doba z ČSN EN 50 549-1.	
Grafický výstup jednotky:	
Vyhodnocení:	
Poznámky zkoušejícího:	Test provedl:
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.	Ing. XXX YYY Ph.D.
	Vyhověl/Nevyhověl

5.3.1 Odolnost proti změnám frekvence	
Testovaná hodnota odolnosti	± 2 Hz/s
Grafický výstup jednotky:	
<b>Vyhodnocení:</b>	
Poznámky zkoušejícího:	Test provedl:
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.	Ing. XXX YYY Ph.D.
	Vyhověl/Nevyhověl



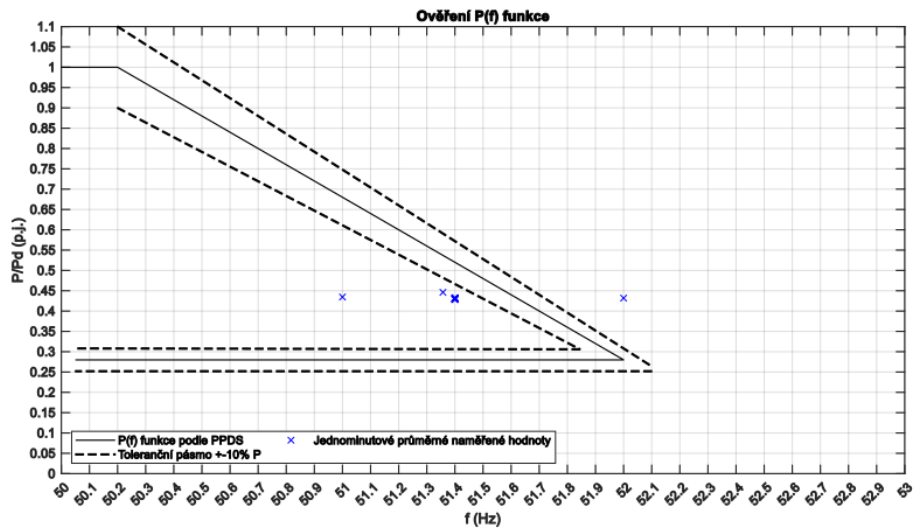
5.3.2 Schopnost překlenout poruchu - UVRT		
Nastavení UVRT křivky		Hodnota činného proudu před poruchou a po poruše:
Čas (s)	U (p.j.)	5,51/5,35/5,5 A a 5,51/5,35/5,5 A
0	1	Hodnota jalového proudu před poruchou a po poruše:
0	0.05	
0.15	0.05	5,51/5,35/5,5 A a 5,51/5,35/5,5 A
3	0.85	Vypnutí VM při zkoušce:
		Ano/Ne
Ukázka charakteristického průběhu napětí UVRT křivky bez připojeného střídače:		
<p style="text-align: center;">Charakteristický průběh zkušebního napětí s vyznačenými tolerancemi</p> <p style="text-align: center;"> <span style="color: blue;">—</span> Naměřený průběh napětí  <span style="color: black;">- - -</span> UVRT křivka podle PPDS  <span style="color: green;">- - -</span> Toleranční pásmo <math>\pm 0.05</math> p.j. </p>		
<b>Vyhodnocení:</b>		
Poznámky zkoušejícího:		Test provedl:
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.		Ing. XXX YYY Ph.D.
		Vyhověl/Nevyhověl

## 5.4 Odezva činného výkonu na frekvenční odchylky

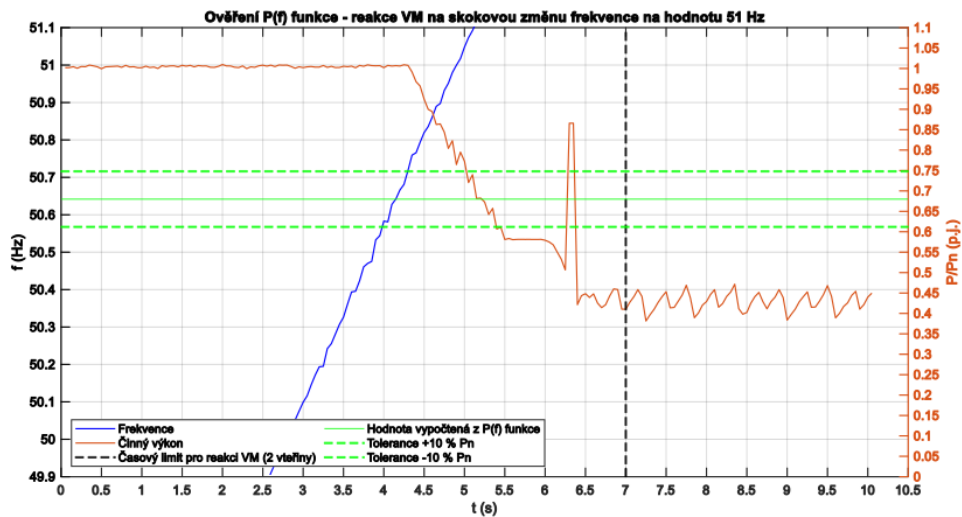
Nastavení P(f) funkce:

Prahová frekvence $f_1$ :	50,2 Hz	Statika:	5 %
Deaktivační frekvence $f_{stop}$ :	50,05 Hz	Nastavené zpoždění:	0 s
Referenční výkon:	6000 W		

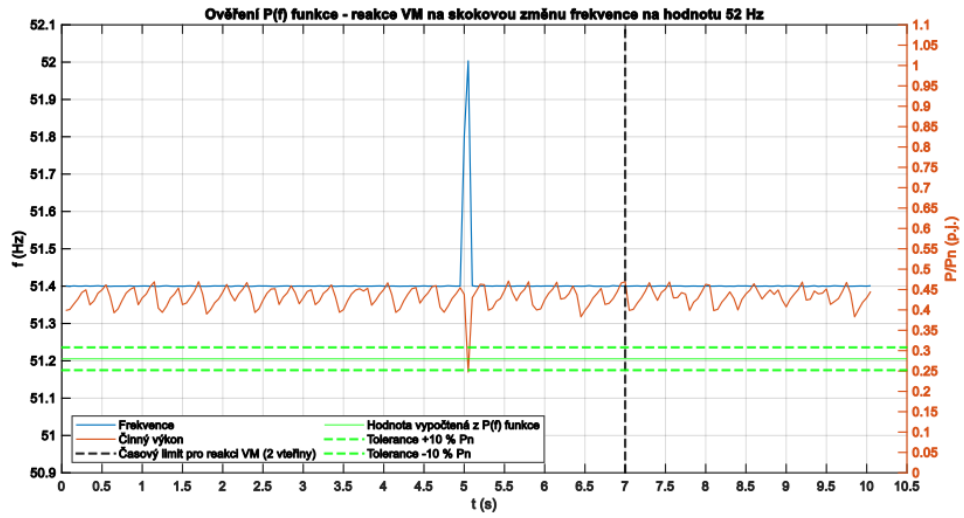
Grafický výstup jednotky:



Grafický výstup jednotky - ověření časové reakce:



**Grafický výstup jednotky - ověření časové reakce:**



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

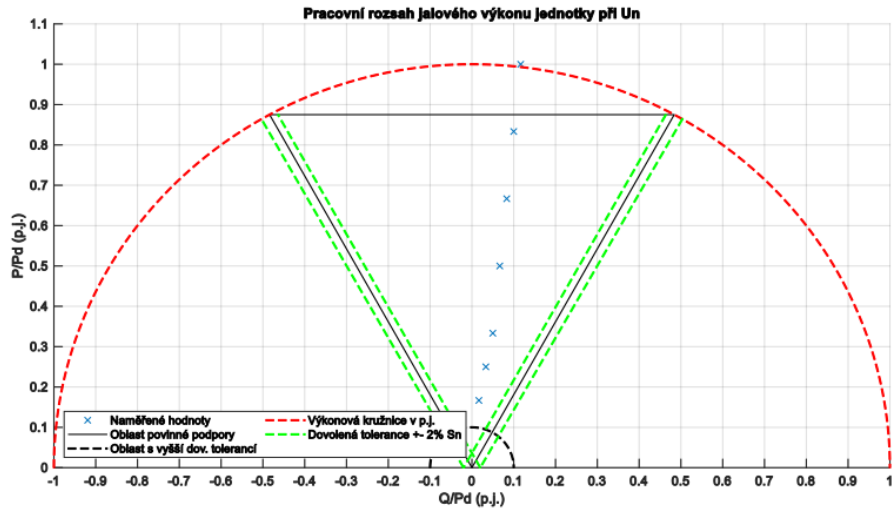
Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

<b>5.5.1.3</b>		<b>Ověření rozsahu jalového výkonu při jmenovité hodnotě napětí</b>					
<b>Tabulka pro zápis naměřených hodnot při nulovém jalovém výkonu:</b>							
<b>P<sub>n</sub> (%)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Q (kVAr)</b>	<b>cos(φ)</b>				
0							
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							
<b>Tabulka pro zápis naměřených hodnot při nenulovém jalovém výkonu</b>							
<b>P<sub>n</sub> (%)</b>	<b>Podbuzený</b>			<b>Přebuzený</b>			
	<b>P (kW)</b>	<b>Q (kVAr)</b>	<b>cos(φ)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Q (kVAr)</b>	<b>cos(φ)</b>	
0							
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							

**Grafický výstup jednotky:**



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

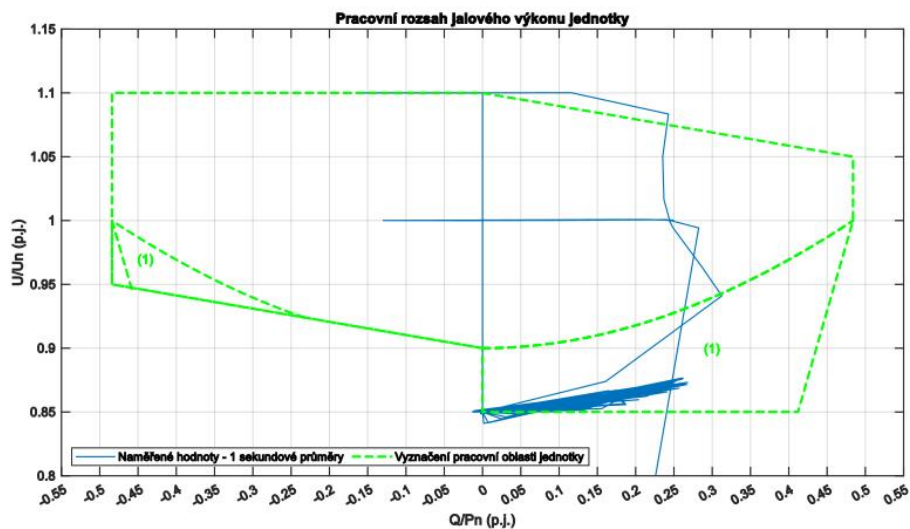
Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

### 5.5.1.6 Ověření rozsahu jalového výkonu při proměnlivé hodnotě napětí

Grafický výstup jednotky:



(1) V důsledku omezení jmenovitého proudu může být činný výkon v těchto oblastech menší než disponibilní výkon  $P_d$

#### Vyhodnocení:

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

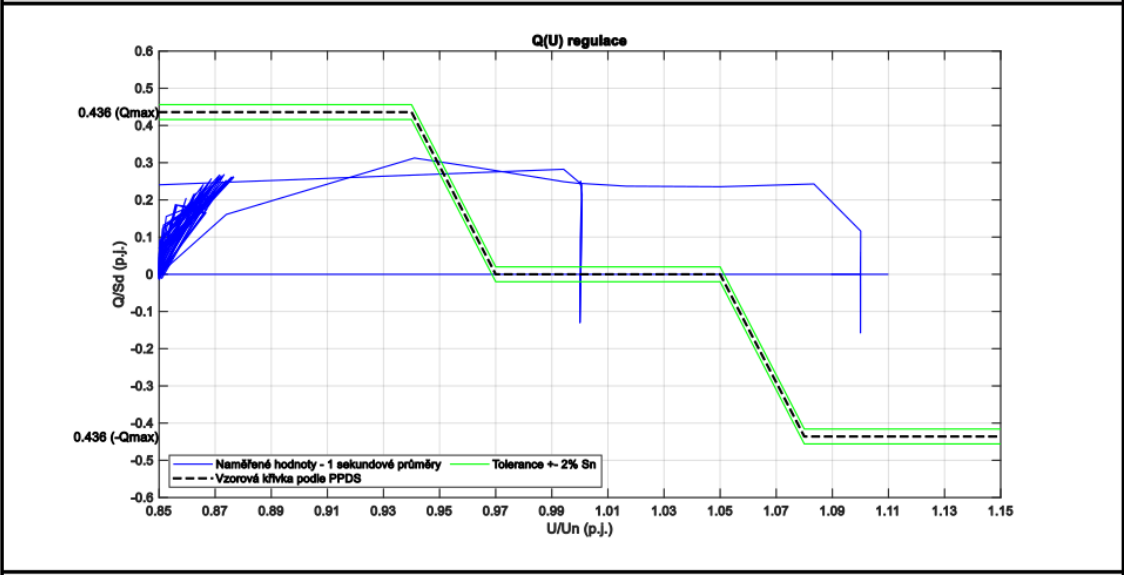
Vyhověl/Nevyhověl

### 5.5.2.4 Q(U) funkce jednotky

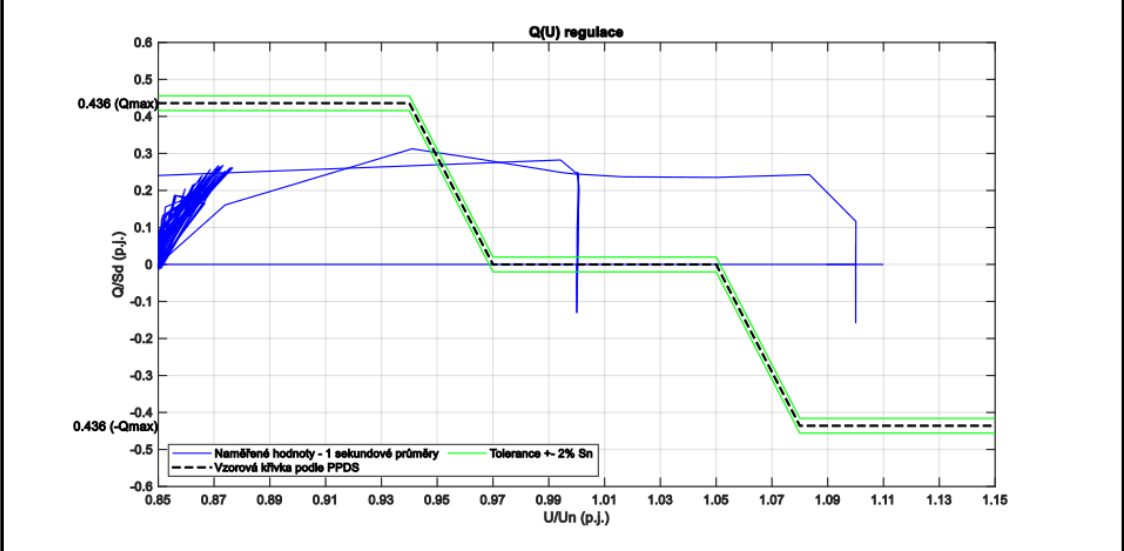
Nastavení Q(U) funkce:

Q (p.j.)	U (p.j.)
0,436 (přebuz.)	0,94
0	0,97
0	1,05
0,436 (podbuze.)	1,08

Grafický výstup jednotky při P<sub>n</sub>:



Grafický výstup jednotky při 10 % P<sub>n</sub>:



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího: Test provedl:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení. Ing. XXXX YYYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

<b>5.7.3.2 Nadpětová ochrana 2. stupně</b>			
<b>Nastavení ochrany:</b>			
Počáteční hodnota napětí	1.13 $U_n$	Max. odchylka napětí	$\pm 1 \% U_n$
Konečná hodnota napětí	1.16 $U_n$	Max. odchylka pro vypnutí	200 ms
Nastavení časového zpoždění ochrany	0 s		
<b>Grafický výstup jednotky:</b>			
<p style="text-align: center;"><b>Ověření přesnosti vybavení nadpětové ochrany 2. stupně</b></p>			
<b>Vyhodnocení:</b>			
Poznámky zkoušejícího:		Test provedl:	
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.		Ing. XXX YYY Ph.D.	
		Vyhověl/Nevyhověl	



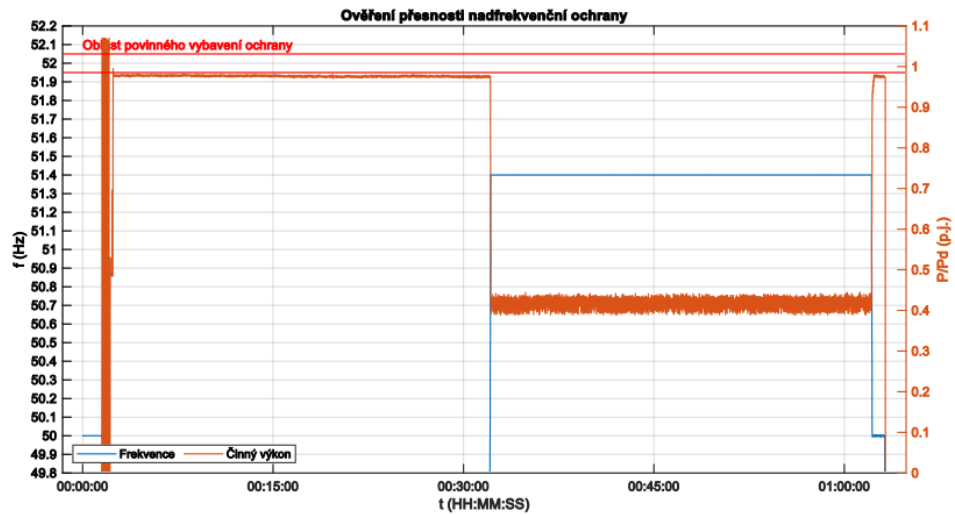
5.7.3.2 Podpěťová ochrana			
Nastavení ochrany:			
Počáteční hodnota napětí	0,865 U <sub>n</sub>	Max. odchylka napětí	± 1 % U <sub>n</sub>
Konečná hodnota napětí	0,84 U <sub>n</sub>	Max. odchylka pro vypnutí	200 ms
Grafický výstup jednotky:			
Vyhodnocení:			
Poznámky zkoušejícího:		Test provedl:	
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.		Ing. XXX YYY Ph.D.	
		Vyhověl/Nevyhověl	

### 5.7.3.2 Nadfrekvenční ochrana

Nastavení ochrany:

Počáteční hodnota frekvence	51.9 Hz	Max. odchylka napětí	± 0,05 Hz
Konečná hodnota frekvence	52.05 Hz	Max. odchylka pro vypnutí	200 ms
Nastavení časového zpoždění ochrany	0 s		

Grafický výstup jednotky:



Vyhodnocení:

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

Test provedl:

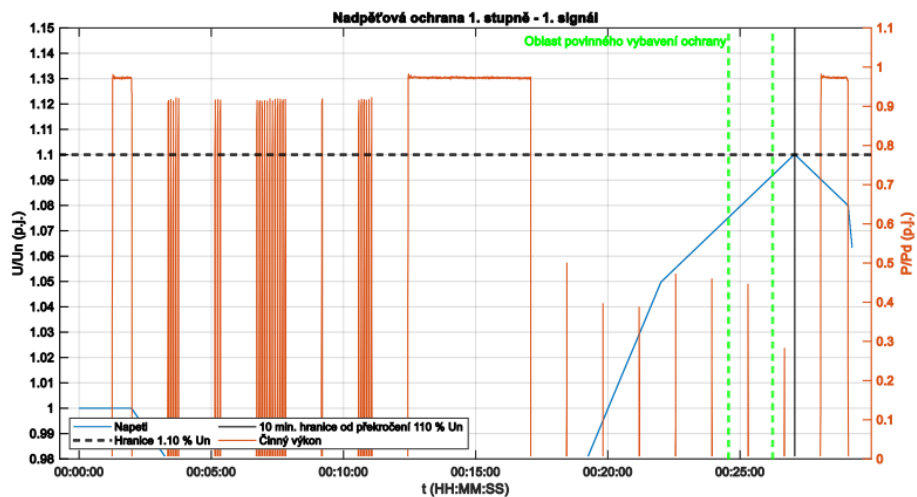
Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

5.7.3.2 Podfrekvenční ochrana			
Nastavení ochrany:			
Počáteční hodnota frekvence	47,6 Hz	Max. odchylka napětí	± 0,05 Hz
Konečná hodnota frekvence	47,45 Hz	Max. odchylka pro vypnutí	200 ms
Nastavení časového zpoždění ochrany	0 s		
Grafický výstup jednotky:			
<p>The graph displays two data series over time: Frequency (f) in Hz on the left y-axis (47.1 to 50.1) and Active Power (P/Pd) on the right y-axis (0 to 1.1). The x-axis represents time in HH:MM:SS (00:00:00 to 01:00:00). A blue line represents frequency, which starts at approximately 49.7 Hz, drops to 47.6 Hz at 00:30:00, and then to 47.45 Hz at 01:00:00. An orange line represents active power, which starts at 1.0, drops to 0.4 at 00:30:00, and remains at 0.4 until 01:00:00. A red horizontal line at 47.5 Hz is labeled 'Oblast povinného vybavení ochrany'.</p>			
Vyhodnocení:			
Poznámky zkoušejícího:		Test provedl:	
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.		Ing. XXX YYY Ph.D.	
		Vyhověl/Nevyhověl	

### 5.7.3.3 Nadpětová ochrana 1. stupně - 1. ověřovací signál

Grafický výstup jednotky:



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

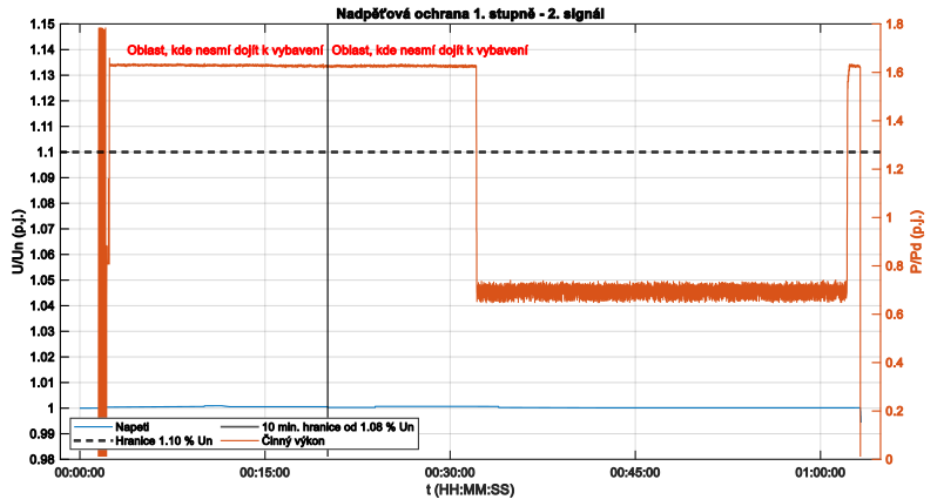
Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

### 5.7.3.3 Nadpěťová ochrana 1. stupně - 2. ověřovací signál

Grafický výstup jednotky:



#### Vyhodnocení:

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

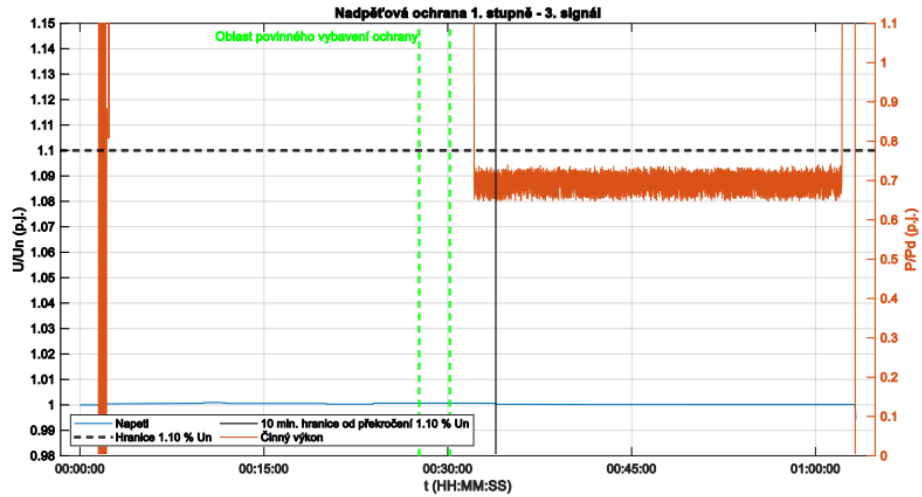
Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

### 5.7.3.3 Nadpěťová ochrana 1. stupně - 3. ověřovací signál

Grafický výstup jednotky:



#### Vyhodnocení:

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

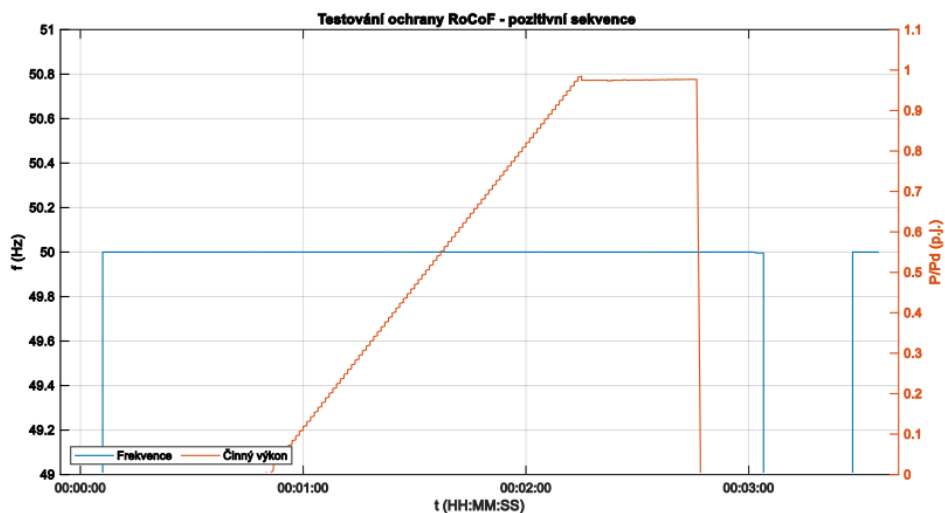
Vyhověl/Nevyhověl

### 5.7.3.4 Testování ochrany RoCoF - pozitivní

Nastavení ochrany:

Nastavení časového zpoždění ochrany	0 s	Max. odchylka pro vypnutí	200 ms
-------------------------------------	-----	---------------------------	--------

Grafický výstup jednotky:



**Vyhodnocení:**

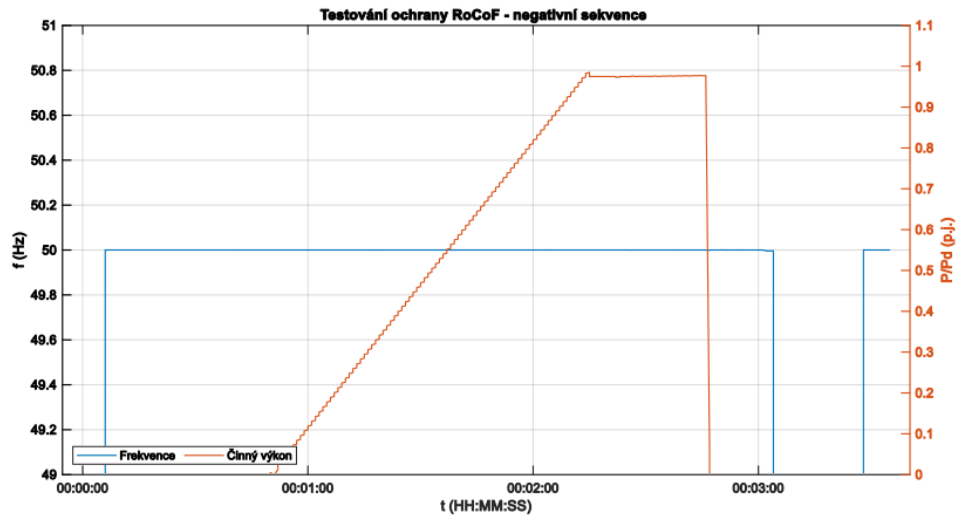
Vybavení ochrany při frekvenčním prvním skoku	Ano/Ne
Poznámky zkoušejícího:	Test provedl:
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.	Ing. XXX YYY Ph.D.
	Vyhověl/Nevyhověl

### 5.7.3.4 Testování ochrany RoCoF - negativní

Nastavení ochrany:

Nastavení časového zpoždění ochrany	0 s	Max. odchylka pro vypnutí	200 ms
-------------------------------------	-----	---------------------------	--------

Grafický výstup jednotky:



**Vyhodnocení:**

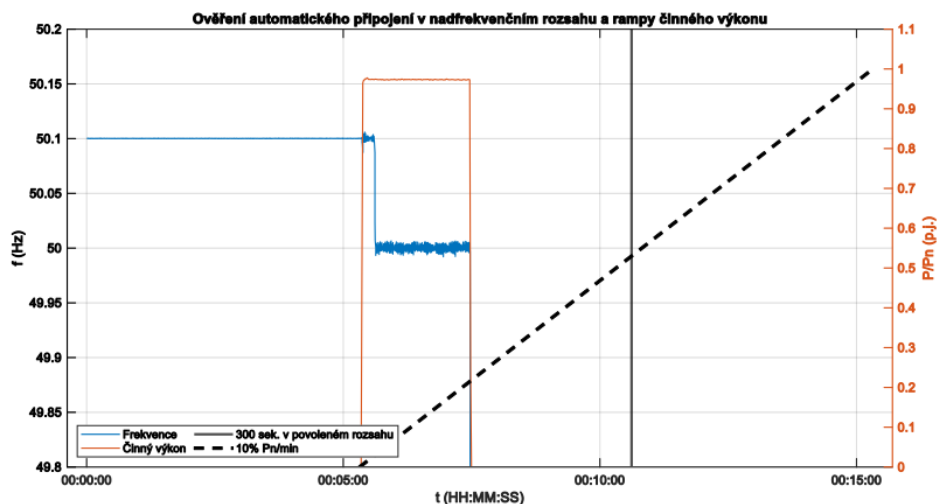
Vybavení ochrany při frekvenčním prvním skoku	Ano/Ne
Poznámky zkoušejícího:	Test provedl:
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.	Ing. XXX YYY Ph.D.
	Vyhověl/Nevyhověl



## 5.8

## Automatické připojení a spuštění jednotky - nadfrekvenční rozsah

Grafický výstup jednotky:



## Vyhodnocení:

Splnění max. rampy činného výkonu jednotky

Ano/Ne

Poznámky zkoušejícího:

Test provedl:

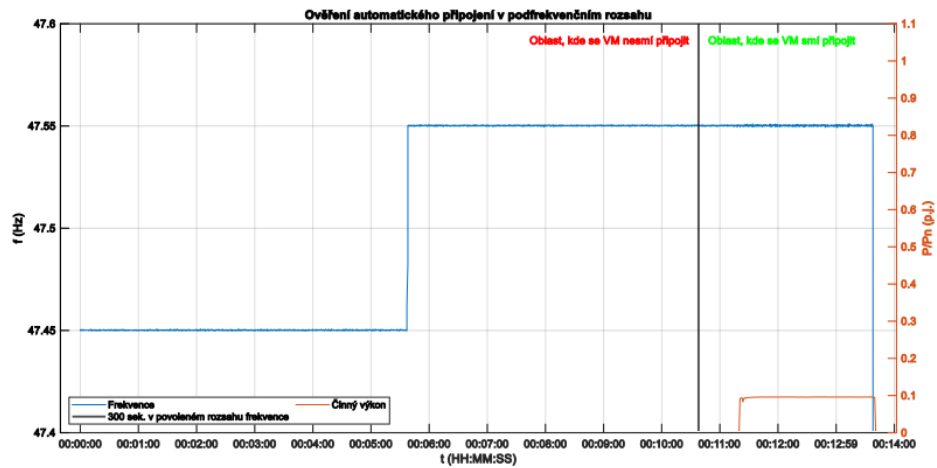
Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

## 5.8 Automatické připojení a spuštění jednotky - podfrekvenční rozsah

Grafický výstup jednotky:



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

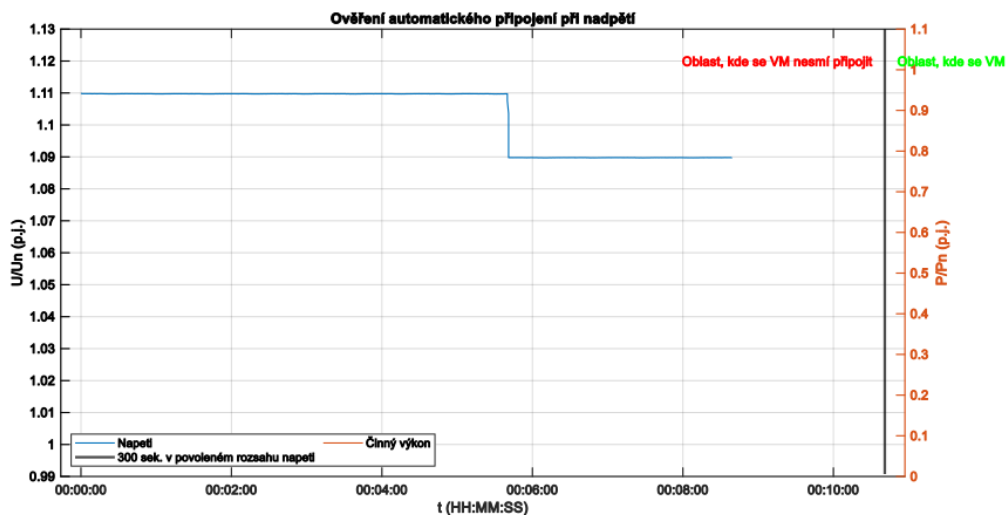
Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

## 5.8 Automatické připojení a spuštění jednotky - nadpěťový rozsah

Grafický výstup jednotky:



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochran či jejich přenastavení.

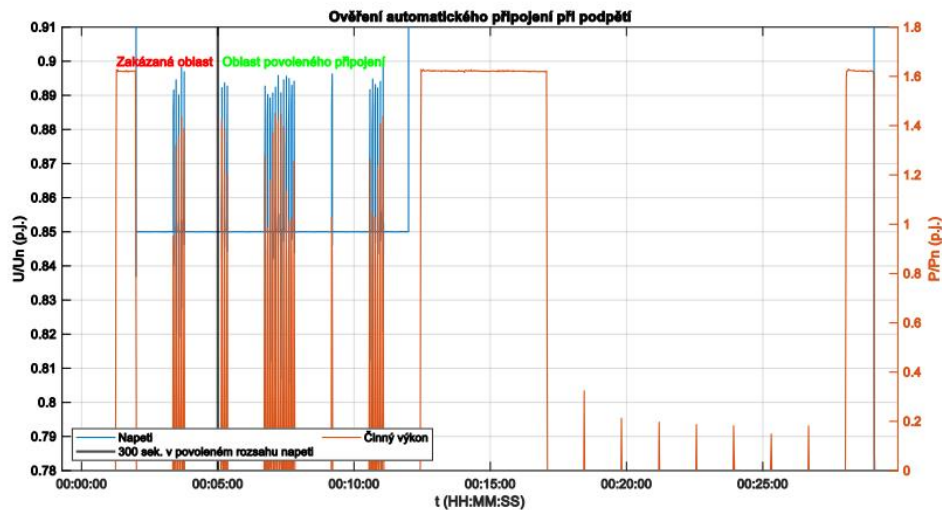
Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

## 5.8 Automatické připojení a spuštění jednotky - podpětový rozsah

Grafický výstup jednotky:



**Vyhodnocení:**

Poznámky zkoušejícího:

Např. deaktivace ochrany či jejich přenastavení.

Test provedl:

Ing. XXX YYY Ph.D.

Vyhověl/Nevyhověl

<b>Shrnutí výsledků</b>		
5.1	Výkonová specifikace jednotky	Vyhověl/Nevyhověl
5.2.1	Provozní rozsah frekvence	Vyhověl/Nevyhověl
5.2.2	Provozní rozsah napětí	Vyhověl/Nevyhověl
5.3.1	Odolnost proti změnám frekvence	Vyhověl/Nevyhověl
5.3.2	Schopnost překlenout poruchu - UVRT	Vyhověl/Nevyhověl
5.4	Odezva činného výkonu na frekvenční odchylky	Vyhověl/Nevyhověl
5.5.1.3	Ověření rozsahu jalového výkonu při jmenovité hodnotě napětí	Vyhověl/Nevyhověl
5.5.1.6	Ověření rozsahu jalového výkonu při proměnlivé hodnotě napětí	Vyhověl/Nevyhověl
5.5.2.4	Q(U) funkce	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.2	Nadpěťová ochrana 2. stupně	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.2	Podpěťová ochrana	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.2	Nadfrekvenční ochrana	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.2	Podfrekvenční ochrana	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.3	Nadpěťová ochrana 1. stupně - 1. signál	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.3	Nadpěťová ochrana 1. stupně - 2. signál	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.3	Nadpěťová ochrana 1. stupně - 3. signál	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.4	Testování ochrany RoCoF - pozitivní sekvence	Vyhověl/Nevyhověl
5.7.3.4	Testování ochrany RoCoF - negativní sekvence	Vyhověl/Nevyhověl
5.8	Automatické připojení a spuštění jednotky - nadfrekvenční oblast	Vyhověl/Nevyhověl
5.8	Automatické připojení a spuštění jednotky - podfrekvenční oblast	Vyhověl/Nevyhověl
5.8	Automatické připojení a spuštění jednotky - nadpěťový oblast	Vyhověl/Nevyhověl
5.8	Automatické připojení a spuštění jednotky - podpěťový oblast	Vyhověl/Nevyhověl
<b>Vyhodnocení:</b>		
Poznámky o průběhu testování jednotce:		
Zhodnocení chování jednotky atd.		
<b>Zkoušená jednotka YYYYYYY testovaná pro ověření souladu s PPDS-4: Vyhověla/nevyhověla všem podrobeným testům</b>		
		Za zhotovitele: Ing. XXX YYYY Ph.D.
		Razítko
Dne:	Podpis odpovědné osoby:	