

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Praktické aplikace Automatické sekundární regulace
napětí (ASRU)**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.
Autor: Bc. Pavel Kuřil**

2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel KUŘIL**
Osobní číslo: **E14N0016K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Praktické aplikace Automatické sekundární regulace napětí (ASRU)**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

Diplomová práce "Praktické aplikace Automatické sekundární regulace napětí (ASRU)" bude zaměřena na tyto body:

1. Uveďte fyzikální princip regulace napětí a jalového výkonu.
2. Zhodnoťte hlavní přínosy instalace ASRU a na příkladech uveďte její technickou realizaci.
3. Proveďte rozbor čtyř základních technických forem využívání ASRU v elektrizační soustavě České republiky.
4. Konkrétní vybrané případy propočítejte, vyhodnoťte vhodnost použitých způsobů provedení a uveďte podněty pro další technologický rozvoj ASRU.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Skripta k předmětu Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie
2. Přednášky a podklady k předmětu "Měření a regulace"
3. Internetové podklady
4. Ostatní literaturu dle uvážení a pokynů udá konzultant

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na fyzikální princip regulace napětí a jalového výkonu, popis systému „Automatické regulace napětí a jalového výkonu“ a jeho realizaci v pilotním uzlu Vítkov. Dále je zde uveden průběh testování generátoru při jeho certifikaci a stručná analýza průběhů napětí a jalových výkonů v pilotním uzlu Vítkov během anomálního stavu soustavy, který se odehrál dne 25. července 2006.

Klíčová slova

Jalový výkon, napětí, regulace napětí a jalového výkonu, TRN, ARN, ASRU, SRU, SRQ, pilotní uzel, přenosová soustava, synchronní generátor, blokový transformátor, certifikace, anomální stav, Kodex PS.

Abstract

This study is focused on the physical principle of voltage regulation and reactive power, system description Automatic voltage regulation and reactive power and its implementation in the pilot node Vítkov. Dale a course of testing the generator at its certification and a brief analysis of voltage and reactive power in the pilot node Vítkov during the anomalous status of the system which took place on 25 July 2006.

Key words

Reactive power, voltage, voltage regulation and reactive power, TRN, ARN, ASRU, SRU, SRQ, pilot node, transmission system, synchronous generator, unit transformer, certification, anomalous, Grid Code.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 13. 5. 2016

Pavel Kuřil

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení.

Dále děkuji mému konzultantovi Ing. Richardu Habrychovi, Ph.D., za četné rady a náměty, které mi před i po dobu tvorby této diplomové práce vždy ochotně poskytoval.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD.....	15
1 FYZIKÁLNÍ PRINCIP REGULACE NAPĚTÍ A JALOVÉHO VÝKONU.....	16
1.1 PROVOZ REGULAČNÍCH SOUSTAV.....	16
1.2 STATICKÁ CHARAKTERISTIKA ZDROJŮ.....	16
1.3 STATICKÁ CHARAKTERISTIKA ZÁTĚŽE.....	18
1.4 PRINCIP REGULACE NAPĚTÍ V ES.....	20
1.5 PRINCIP REGULACE NAPĚTÍ ALTERNÁTORU.....	21
1.6 PROVOZNÍ DIAGRAM SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU.....	24
1.7 OSTATNÍ ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÁ NA REGULACI NAPĚTÍ V ES.....	27
2 REGULACE NAPĚTÍ A JALOVÉHO VÝKONU V ES.....	31
2.1 TERCIÁRNÍ REGULACE NAPĚTÍ.....	31
2.2 AUTOMATICKÁ SEKUNDÁRNÍ REGULACE NAPĚTÍ.....	32
2.2.1 Automatická regulace napětí.....	34
2.2.1.1 Komunikace.....	35
2.2.1.2 Topologie rozvodny.....	35
2.2.1.3 Výběr měřeného napětí.....	35
2.2.1.4 Určení napěťové citlivosti uzlu.....	36
2.2.1.5 Zadávání napětí.....	36
2.2.1.6 Logika regulace.....	36
2.2.1.7 Meze jalového výkonu.....	38
2.2.1.8 Výpočet celkového potřebného jalového výkonu.....	38
2.2.1.9 Rozdělení jalového výkonu na jednotlivé generátory.....	38
2.2.1.10 Rezervy jalového výkonu.....	36
2.2.1.11 Převod na impulsy pro PRN.....	39
2.2.1.12 Zápis do periferií a archivace.....	39
2.2.2 Sekundární regulace jalového výkonu.....	39
2.2.3 Primární regulace napětí.....	39
2.3 HLAVNÍ PŘÍNOSY INSTALACE ASRU.....	43
3 TECHNICKÁ REALIZACE ASRU.....	45
3.1 AUTOMATICKÁ REGULACE NAPĚTÍ A JALOVÉHO VÝKONU V ČSKÉ REPUBLICE.....	45
3.2 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ FORMY ASRU.....	46
3.3 AUTOMATICKÁ REGULACE NAPĚTÍ A JALOVÉHO VÝKONU V PILOTNÍM UZLU VÍTKOV.....	50
3.3.1 Popis zařízení.....	52
3.3.1.1 Transformovna Vítkov.....	52
3.3.1.2 Elektrárna Tisová II.....	52
3.3.1.3 Paroplynová elektrárna Vřesová.....	52

3.3.2 Testování sekundární regulace U/Q generátoru TG12 PPC Vřesová.....	53
3.3.2.1 Požadavky ČEPS na poskytovatele podpůrné služby Sekundární regulace U/Q.....	54
3.3.2.2 Test při vyjmutí bloku ze systému ASRU.....	56
3.3.2.3 Test při zařazení bloku do systému ASRU.....	60
3.3.2.4 Test bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu.....	64
3.3.2.5 Test ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu.....	69
3.3.2.6 Test ASRU při změně ve vnější síti.....	81
3.3.2.7 Vyhodnocení testování.....	87
3.4 ANOMÁLNÍ STAVY ES.....	88
3.4.1 Průběh anomálního stavu v PU Vítkov dne 25. července 2006.....	90
ZÁVĚR.....	94
POUŽITÁ LITERATURA.....	97

Seznam symbolů a zkratk

C (F).....	Kapacita
e (-).....	Regulační odchylka
E_V (U).....	Ekvivalentní vnitřní napětí synchronního stroje
f (Hz).....	Kmitočet
I (A).....	Elektrický proud
I_b (A).....	Budicí proud
I_{b0} (A).....	Budicí proud naprázdno
$I_{\tilde{e}}$ (A).....	Činný proud
I_f (A).....	Proud rotoru generátoru
I_{fmax} (A).....	Maximální proud rotoru generátoru
I_j (A).....	Jalový proud
I_n (A).....	Jmenovitý proud
I_t (A).....	Proud statoru generátoru
I_{tmax} (A).....	Maximální proud statoru generátoru
k (-).....	Koeficient zesílení
k_i (-).....	Koeficient měření napětí na přípojnicích
k_j (-).....	Koeficient měření napětí na vedeních
k_Q (-).....	Koeficient citlivosti
k_{Qij} (-).....	Koeficient citlivosti změny napětí v pilotním uzlu i na změnu jalového výkonu v pilotním uzlu j
k_r (-).....	Koeficient regulace
k_s (-).....	Koeficient stabilizace
k_U (-).....	Koeficient zesílení
p (-).....	Převod transformátoru
P (W).....	Činný výkon
P_{akt} (W).....	Činný výkon aktuální
P_i (W).....	Činný výkon i -tého generátoru
P_n (W).....	Jmenovitý činný výkon
P_{min} (W).....	Minimální činný výkon
P_{Ni} (W).....	Jmenovitý činný výkon i -tého generátoru
P_{VS} (W).....	Činný výkon rozvodny vlastní spotřeby
Q (VAr).....	Jalový výkon

ΔQ (VAr).....	Změna jalového výkonu
Q_{cAV} (VAr).....	Průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny c
Q_{cAVMAX} (VAr).....	Maximální průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny c
Q_{cAVMIN} (VAr).....	Minimální průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny c
Q_g (VAr).....	Jalový výkon generátoru
Q_{hAV} (VAr).....	Průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny h
Q_{hAVMAX} (VAr).....	Maximální průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny h
Q_{hAVMIN} (VAr).....	Minimální průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny h
ΔQ_j (VAr).....	Změna jalového výkonu v pilotním uzlu j
ΔQ_k (VAr).....	Jalové ztráty nakrátko
Q_{kAV} (VAr).....	Průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny k
Q_{kAVMAX} (VAr).....	Maximální průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny k
Q_{kAVMIN} (VAr).....	Minimální průměrná hodnota jalového výkonu bloku elektrárny k
Q_{kiMAX} (VAr).....	Maximální mez jalového výkonu
Q_{kiMIN} (VAr).....	Minimální mez jalového výkonu
Q_k (VAr).....	Jalový výkon kompenzační
Q_k (VAr).....	Jalový výkon bloku elektrárny k
Q_{kalt} (VAr).....	Jalový výkon alternátoru k
ΔQ_{kalt} (VAr).....	Změna jalového výkonu alternátoru k
Q_{ki} (VAr).....	Jalový výkon bloku elektrárny k a generátoru i
Q_{kiMAX} (VAr).....	Maximální jalový výkon bloku elektrárny k a generátoru i
Q_{kiMIN} (VAr).....	Minimální jalový výkon bloku elektrárny k a generátoru i
Q_l (VAr).....	Jalový výkon bloku elektrárny l
Q_{li} (VAr).....	Jalový výkon bloku elektrárny l a generátoru i
Q_M (VAr).....	Magnetizační ztráty
$Q_{měř}$ (VAr).....	Měřený jalový výkon
Q_{Mi} (VAr).....	Minimální jalový výkon i -tého generátoru
Q_{MMi} (VAr).....	Minimální jalový výkon při jmenovitém činném výkonu i -tého generátoru
Q_{MMi} (VAr).....	Minimální jalový výkon při minimálním činném výkonu i -tého generátoru
Q_R (VAr).....	Rozptylové ztráty
Q_{Xi} (VAr).....	Maximální jalový výkon i -tého generátoru

Q_{XMi} (VAr).....	Maximální jalový výkon při minimálním činném výkonu i-tého generátoru
Q_{XNi} (VAr).....	Maximální jalový výkon při jmenovitém činném výkonu i-tého generátoru
Q_{VS} (VAr).....	Jalový výkon rozvodny vlastní spotřeby
Q_{zad} (VAr).....	Zadaný jalový výkon
ΔQ_0 (VAr).....	Jalové ztráty naprázdno
$U_{pdol} Q_{MAX}^{P \min}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti přebuzení při dolní hladině napětí v pilotním uzlu a minimálním činném výkonu generátoru
$U_{pdol} Q_{MAX}^{Pn}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti přebuzení při dolní hladině napětí v pilotním uzlu a jmenovitém činném výkonu generátoru
$U_{pdol} Q_{MIN}^{P \min}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti podbuzení při dolní hladině napětí v pilotním uzlu a minimálním činném výkonu generátoru
$U_{pdol} Q_{MIN}^{Pn}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti podbuzení při dolní hladině napětí v pilotním uzlu a jmenovitém činném výkonu generátoru
$U_{phor} Q_{MAX}^{P \min}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti přebuzení při horní hladině napětí v pilotním uzlu a minimálním činném výkonu generátoru
$U_{phor} Q_{MAX}^{Pn}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti přebuzení při horní hladině napětí v pilotním uzlu a jmenovitém činném výkonu generátoru
$U_{phor} Q_{MAXmez}^{Pn}$ (VAr).....	Mezní jalový výkon v oblasti přebuzení při horní hladině napětí v pilotním uzlu a jmenovitém činném výkonu generátoru
$U_{phor} Q_{MIN}^{P \min}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti podbuzení při horní hladině napětí v pilotním uzlu a minimálním činném výkonu generátoru
$U_{phor} Q_{MIN}^{Pn}$ (VAr).....	Jalový výkon v oblasti podbuzení při horní hladině napětí v pilotním uzlu a jmenovitém činném výkonu generátoru
$U_{phor} Q_{MINmez}^{Pn}$ (VAr).....	Mezní jalový výkon v oblasti podbuzení při horní hladině napětí v pilotním uzlu a jmenovitém činném výkonu generátoru
S (VA).....	Zdánlivý výkon
S_N (VA).....	Jmenovitý zdánlivý výkon
T_I (s).....	Doba impulsu
T_{PER} (s).....	Časová odchylka s periodou
T_p (s).....	Periodicita
t_{reg} (s).....	Doba regulace

u (-).....	Akční veličina
U (V).....	Napětí
U_{dol} (V).....	Dolní hladina napětí
U_{dl} (V).....	Dolní hladina napětí
U_g (V).....	Napětí generátoru
U_{hor} (V).....	Horní hladina napětí
U_{hl} (V).....	Horní hladina napětí
ΔU_i (V).....	Změna napětí v pilotním uzlu i
$U_{měř}$ (V).....	Měřené napětí
U_n (V).....	Jmenovité napětí
U_p (V).....	Napětí v pilotním uzlu
U_{pdol} (V).....	Dolní hladina napětí pilotního uzlu
U_{phor} (V).....	Horní hladina napětí pilotního uzlu
U_{pzd} (V).....	Zadané napětí v pilotním uzlu
U_R (V).....	Napětí z regulátoru
U_S (V).....	Napětí sítě
$U_{stř}$ (V).....	Střídavé napětí
U_{VS} (V).....	Napětí rozvodny vlastní spotřeby
U_{zad} (V).....	Zadané napětí
v (-).....	Poruchová veličina
w (-).....	Žádaná regulační veličina
X (Ω).....	Reaktance
X_d (Ω).....	Synchronní reaktance synchronního stroje
X_t (Ω).....	Reaktance transformátoru
X_v (Ω).....	Vazební reaktance
y (-).....	Regulovaná veličina
Z (Ω).....	Impedance
ϑ ($^\circ$).....	Zátěžný úhel
φ ($^\circ$).....	Úhel účinníku
$\cos \varphi$ (-).....	Účinník
$\cos \varphi_{IND}$ (-).....	Účinník induktivního charakteru
$\cos \varphi_{KAP}$ (-).....	Účinník kapacitního charakteru
ω ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).....	Úhlová rychlost

Použité zkratky:

ARN.....	Automatická regulace napětí
ASRU.....	Automatická sekundární regulace napětí
B.....	Buzení
BS.....	Budicí souprava
ČEPS.....	Česká energetická přenosová soustava
DS.....	Distribuční soustava
ES.....	Elektrizační soustava
G.....	Generátor
GS.....	Generátor synchronní
HRT.....	Hladinový regulátor napětí transformátoru
PLC.....	Programovatelný logický automat
PPC.....	Paroplynový cyklus
PpS.....	Podpůrné služby
PRN.....	Primární regulace napětí
PS.....	Přenosová soustava
PTP.....	Přístrojový transformátor napětí
PTP.....	Přístrojový transformátor proudu
PU.....	Pilotní uzel
PVE.....	Přečerpávací vodní elektrárny
R.....	Regulátor
ŘS.....	Řídicí systém
ŘSÚD.....	Řídicí systém ústředního dispečinku
S.....	Soustava
SK.....	Synchronní kompenzátor
SRU.....	Skupinová regulace napětí
SRQ.....	Sekundární regulace jalového výkonu
SRUQ.....	Sekundární regulace napětí a jalového výkonu
T.....	Transformátor
TG.....	Turbogenerátor
TRN.....	Terciární regulace napětí
vn.....	Vysoké napětí
vvn.....	Velmi vysoké napětí

Úvod

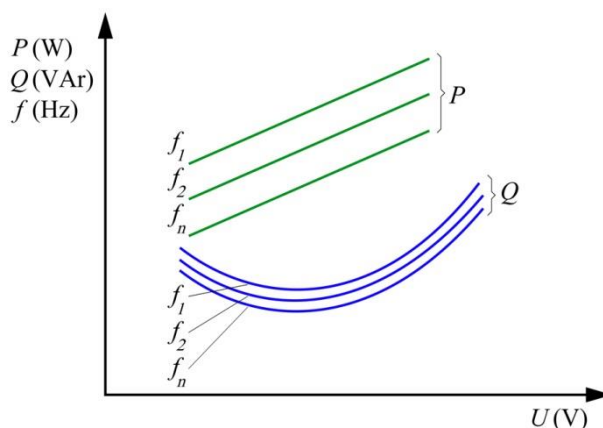
Jedním ze základních faktorů kvality a spolehlivosti ekonomiky přenosu a distribuce elektrické energie je regulace napětí a jalového výkonu. Jalový výkon v elektrizační soustavě je spojen se značnými úbytky napětí a jalovými ztrátami, ale je zároveň potřebný pro vytváření magnetických polí v elektrických strojích. Úkolem provozovatelů přenosových a distribučních sítí je zabezpečit okamžitou rezervu jalového výkonu za účelem zajištění fungování energetického systému. Efektivnějším využíváním těchto rezerv se dosahuje optimálních hodnot ztrát, zajišťuje se odběratelům kvalitnější dodávka elektrické energie, lépe se předchází napěťovým kolapsům, šetří se mechanismy regulátorů odboček transformátorů a eliminuje se negativní zpětný vliv u některých obnovitelných zdrojů energie. Toky jalového výkonu v elektrizační soustavě musí mít provozovatel pod kontrolou, resp. provozovatel se snaží o to, aby v daném okamžiku v soustavě protékalo tolik jalového výkonu, kolik soustava v daném okamžiku potřebuje. Provozovatel má k dispozici především jalový výkon dodávaný ze synchronních generátorů elektráren a tepláren, který je druhotným produktem při výrobě činného výkonu. V současné době lze výrobu jalového výkonu ze synchronních generátorů regulovat velice přesně, a to díky modernějším budicím soupravám. Provozovatel má k dispozici i jiné zdroje jalového výkonu. Systém, který umožňuje efektivní regulaci napětí a jalového výkonu, se nazývá „Automatická regulace napětí a jalového výkonu“. Tomuto systému se věnuji ve své diplomové práci.

1 Fyzikální princip regulace napětí a jalového výkonu

1.1 Provoz regulačních soustav

Nejdůležitějšími regulačními parametry v elektrizační soustavě (ES) jsou napětí a frekvence. Zatímco frekvence je globálním parametrem v ES, napětí je parametrem lokálním, neboť může mít v jednotlivých místech sítě různou hodnotu (dovolená odchylka $\pm 5\%$). [1] [2]

Regulace je spojena s dodávkou činného a jalového výkonu. Z charakteristik (obr. 1.1) je patrné, že při změně frekvence f (při určitém napětí U) se značně změní činný výkon P , zatímco jalový výkon Q se příliš nemění. Naopak při změně napětí se značně mění jalový výkon oproti činnému výkonu. V ES tedy platí, že činný výkon je v silné fyzikální vazbě s frekvencí a jalový výkon s napětím. Tyto vazby umožňují jak funkčně, tak technicky od sebe oddělit řízení obou výkonů. [1] [2] [3]

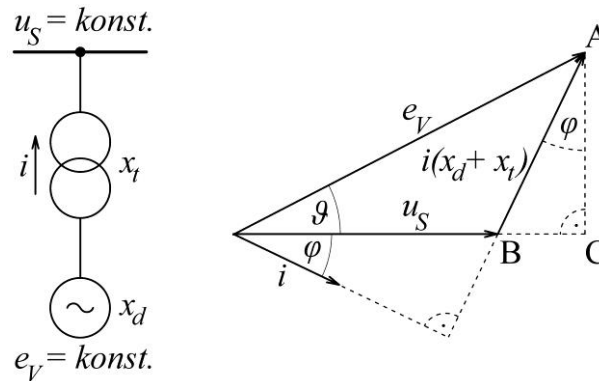


Obr. 1.1 Regulace frekvence a napětí [2]

1.2 Statická charakteristika zdrojů

U neregulované elektrizační soustavy při změně jalového zatížení nebo při změnách či kolísání výroby jalového výkonu dochází ke změně napětí podle statických charakteristik zdrojů a zátěží. Tyto statické charakteristiky $[Q = f(U)]$ jsou v ES platné pouze pro omezenou oblast. [1] [2]

Zdroji jalového výkonu v ES jsou synchronní generátory, synchronní kompenzátory, synchronní motory (v přebuzeném stavu), kondenzátorové baterie a nezátížená vedení vvn. [1] [2]

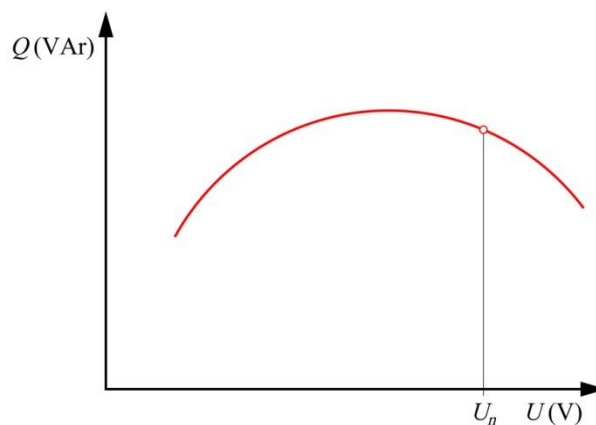


Obr. 1.2 Fázorový diagram synchronního generátoru s hladkým rotorem v přebuzeném stavu [1]

Závislost jalového výkonu synchronního generátoru na napětí sítě při konstantním buzení se odvozuje ze vztahu pro jalový výkon:

$$q = \frac{e_V \cdot u_S}{x_d + x_t} \cos \vartheta - \frac{u_S^2}{x_d + x_t} \quad (1.1)$$

a z fázorového diagramu (obr. 1.2).



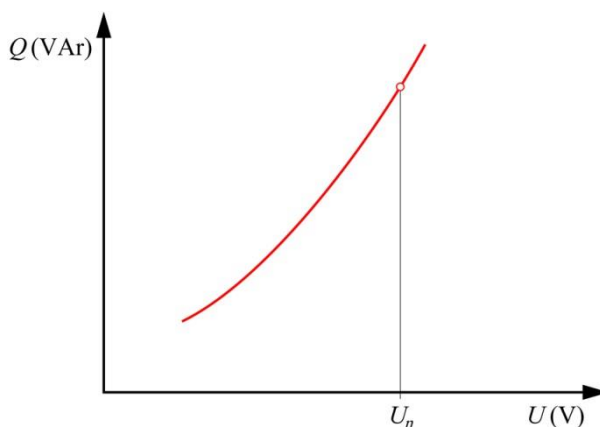
Obr. 1.3 Statická charakteristika synchronního generátoru při konstantním buzení [1]

Obdobnou statickou charakteristiku (obr. 1.3) mají i synchronní kompenzátory a přebuzené synchronní motory. [1]

Pro statické kondenzátorové baterie (kompenzační výkon) a vedení vvn (nabíjecí výkon) platí:

$$Q = \omega C U^2, \quad (1.2)$$

kde ω je úhlová rychlost a C je kapacita kondenzátorové baterie nebo kapacita nezatíženého vedení vvn. Jejich statická charakteristika (obr. 1.4) je od synchronních strojů (rotační zdroje) odlišná a pro provoz v ES nevhodná, neboť při poklesu napětí klesá i dodávaný kompenzační či nabíjecí jalový výkon, zatímco provoz ES by potřeboval zvýšit dodávané výkony. Z hlediska regulace napětí v ES je tedy příznivější charakteristika synchronních strojů, neboť při poklesu napětí dodávají zdroje zvýšený jalový výkon. [1] [2]

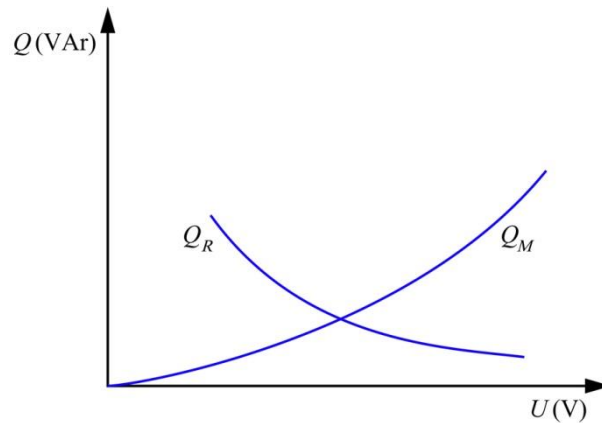
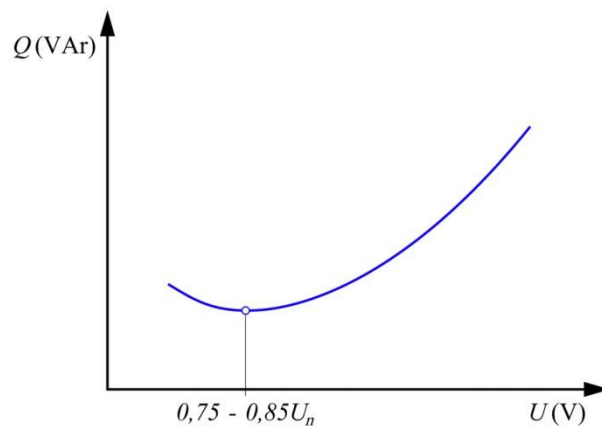


Obr. 1.4 Statická charakteristika statických zdrojů [1]

1.3 Statická charakteristika zátěže

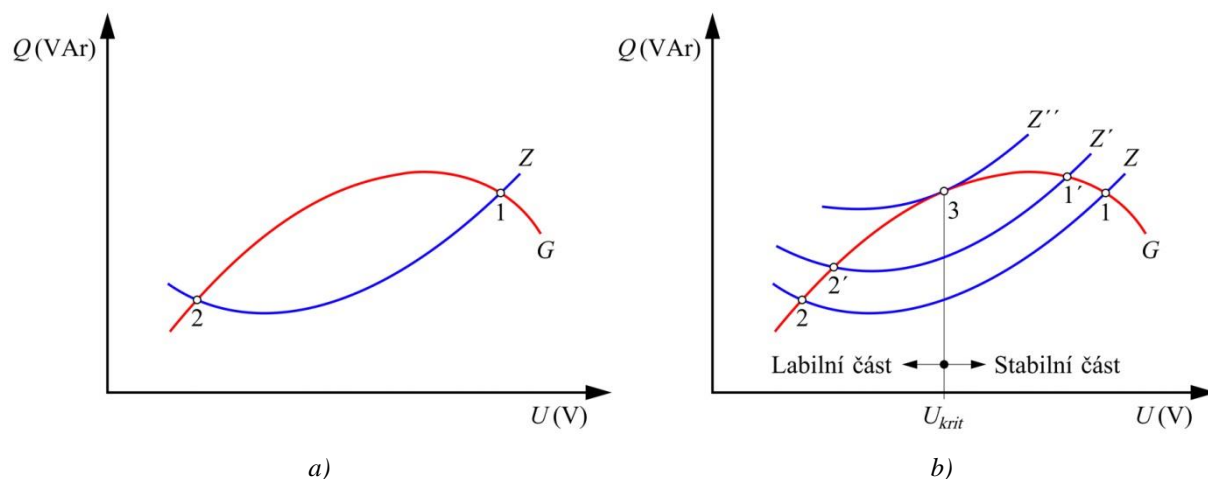
Zátěž, resp. spotřebiče jalového výkonu v ES představují transformátory (60 až 70 %), asynchronní a synchronní motory (20 %), kompenzační tlumivky a vedení vvn. [1] [2]

Statická charakteristika zátěže (obr. 1.6) je ovlivněna magnetizačními a rozptylovými ztrátami (obr. 1.5). Magnetizační ztráty Q_M představují ztracenou energii potřebnou k přemagnetování feromagnetického materiálu při střídavém magnetování a tvoří cca 70 % odběru jalového výkonu transformátorů, asynchronních a synchronních motorů. Tyto ztráty jsou značně závislé na napětí. Rozptylové ztráty Q_R , které vznikají vlivem rozptylových toků, potom tvoří cca 30 % odběru jalového výkonu. U magnetizačních ztrát snížení napětí například o 1 % odpovídá snížení odběru jalového výkonu o 2 až 3 %. Naopak u rozptylových ztrát odpovídá snížení napětí o 1 % zvýšení odběru jalového výkonu o 2 %. [1] [2]

Obr. 1.5 Závislost magnetizačních ztrát Q_M a rozptylových ztrát Q_R na napětí [2]

Obr. 1.6 Statická charakteristika zátěže [1]

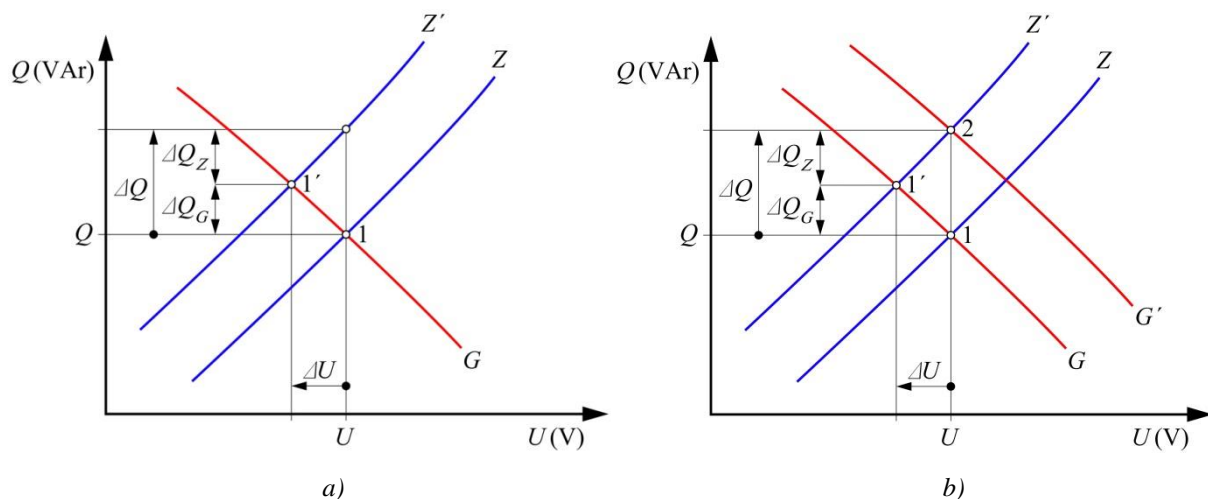
Ustálený stabilní provozní stav ES je dán průsečíkem „1“ (obr. 1.7a) statické charakteristiky zdrojů (G) a zátěže (Z). Při snížení napětí (obr. 1.7b) navýšením jalové zátěže (charakteristika Z') se adekvátně zvyšuje dodávaný jalový výkon zdrojů. Nový ustálený provozní stav ES bude v bodě „1'“. Naopak v bodech „2“ a „2'“ by další snížení napětí způsobilo deficit dodávaného jalového výkonu, který by vedl k následnému lavinovitému poklesu napětí. Bod „3“ představuje kritickou hodnotu spotřeby jalového výkonu, kdy jakákoliv odchylka by znamenala zhroucení napětí (lavina napětí) v ES. [1] [2]



Obr. 1.7 Statické charakteristiky zdrojů (G) a zátěží (Z) [1]

1.4 Princip regulace napětí v ES

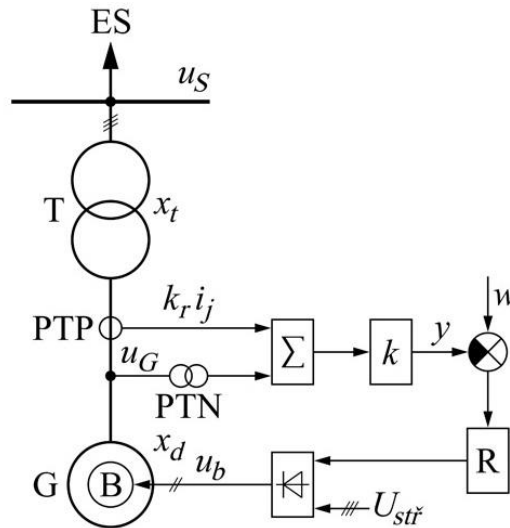
Pokud se například připojením dalších spotřebičů v ES zvýší zátěž, dojde i ke zvýšení jalového zatížení o hodnotu ΔQ . Na obr. 1.8a je tato změna vyjádřena charakteristikou zátěže Z' . Tím se posune pracovní bod do nové polohy $1'$ a zároveň dojde ke snížení napětí o hodnotu ΔU . Zvýšení jalového zatížení ΔQ je zčásti pokryto zdrojem jalového výkonu ΔQ_G a zčásti samoregulačním efektem zátěže, kdy se při poklesu napětí sníží požadavky jalové zátěže ΔQ_Z .



Obr. 1.8 Princip regulace napětí v ES [1]

Kvůli udržení napěťové hladiny v ES se provede regulace například změnou odbočky transformátoru nebo zvýšením výkonu zdroje. Pokud se zvýšením zdroje (G') nahradí celé zvýšení jalového zatížení ΔQ , kdy $\Delta Q_Z = 0$ VAr, vznikne nový pracovní bod 2 (obr. 1.8b). [1] [2]

1.5 Princip regulace napětí synchronního generátoru



Obr. 1.9 Blokové schéma připojení regulátoru R ke zdroji buzení B [1]

Synchronní generátor může být do ES zapojen přímo nebo přes blokový transformátor. Nejčastěji se vyskytuje druhá varianta (obr 1.9). V tom případě platí:

$$u_G = x_t i_j + u_S. \quad (1.3)$$

Do regulátoru buzení R jsou zavedeny přes přístrojový transformátor napětí (PTN) a přístrojový transformátor proudu (PTP) okamžité hodnoty napětí u_G a jalového proudu i_j . Napětí alternátoru je upravováno koeficientem k_r v závislosti na jalovém proudu. Při zanedbání regulační odchylky ($e = 0$) platí:

$$e = w - y = w - (u_G \pm k_r i_j)k = 0, \quad (1.4)$$

kde w je žádaná regulační veličina, výraz $(u_G \pm k_r i_j)$ je regulovaná veličina a k je hodnota zesílení. Pro žádanou regulační veličinu w potom platí:

$$w = (u_G \pm k_r i_j)k = (x_t i_j + u_S \pm k_r i_j)k = k u_S + i_j (x_t \pm k_r)k. \quad (1.5)$$

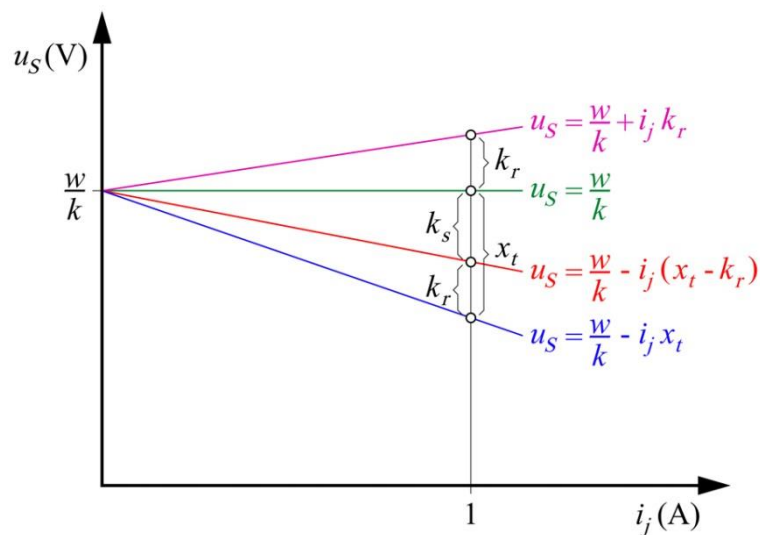
Odkud pro napětí sítě u_S platí:

$$u_S = \frac{w}{k} - i_j (x_t \pm k_r). \quad (1.6)$$

Rovnice (1.6) je regulační rovnice ustáleného stavu odpovídající dané hodnotě napětí sítě u_S a dodávanému jalovému proudu i_j . Stabilizaci regulace představuje v rovnici člen $i_j(x_t \pm k_r)$. Výsledná hodnota stabilizace k_s je součtem či rozdílem výrazu v závorce ($x_t \pm k_r$). Bude-li údaj o jalovém proudu se zápornou zpětnou vazbou ($k_r > 0$), bude mít regulační rovnice tvar:

$$u_S = \frac{w}{k} - i_j(x_t - k_r). \quad (1.7)$$

Koeficient $k_r > 0$ snižuje stabilizační účinek blokového transformátoru (kompaundace). Volbou vhodné hodnoty koeficientu k_r se upravuje výsledná hodnota stabilizace k_s (obr 1.10). [1] [2]

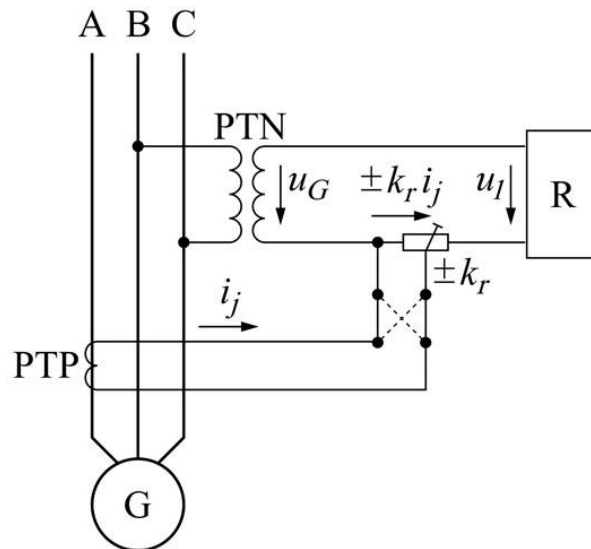


Obr. 1.10 Statické charakteristiky [1]

Pracuje-li alternátor do ES přímo ($x_t = 0$) nebo přes blokový transformátor s malou hodnotou x_t , zavádí se kladná stabilizující zpětná vazba ($k_r < 0$). V tomto případě má regulační rovnice tvar:

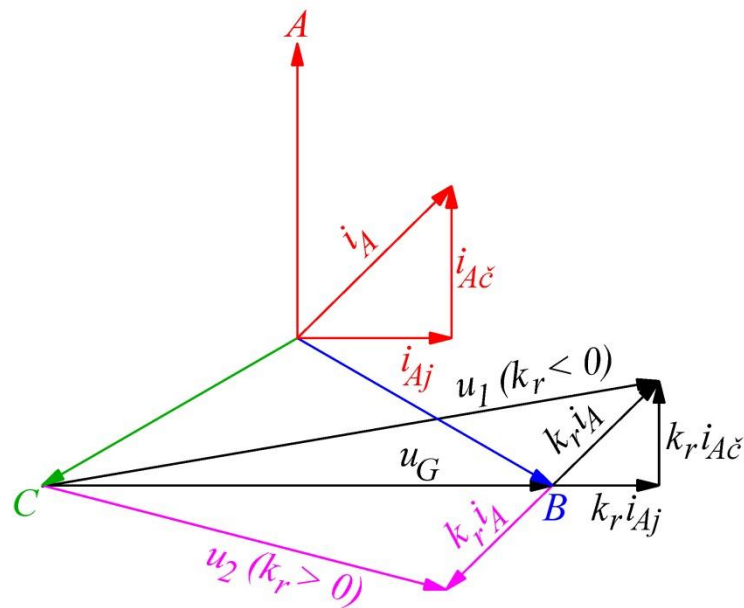
$$u_S = \frac{w}{k} - i_j k_r. \quad (1.8)$$

Koeficient stabilizace k_r je součet fázorů sruženého napětí na svorkách alternátoru u_G a proudu zbývající fáze (obr. 1.11). V případě, že $k_r < 0$, je na vstupu do regulátoru R vyšší napětí u_1 (obr. 1.12). Regulátor začne alternátor odbuzovat, neboť pro regulátor to znamená, jako by se zvýšilo napětí na svorkách alternátoru. [1] [2]



Obr. 1.11 Zapojení regulátoru napětí se stabilizací při jalovém zatížení [1]

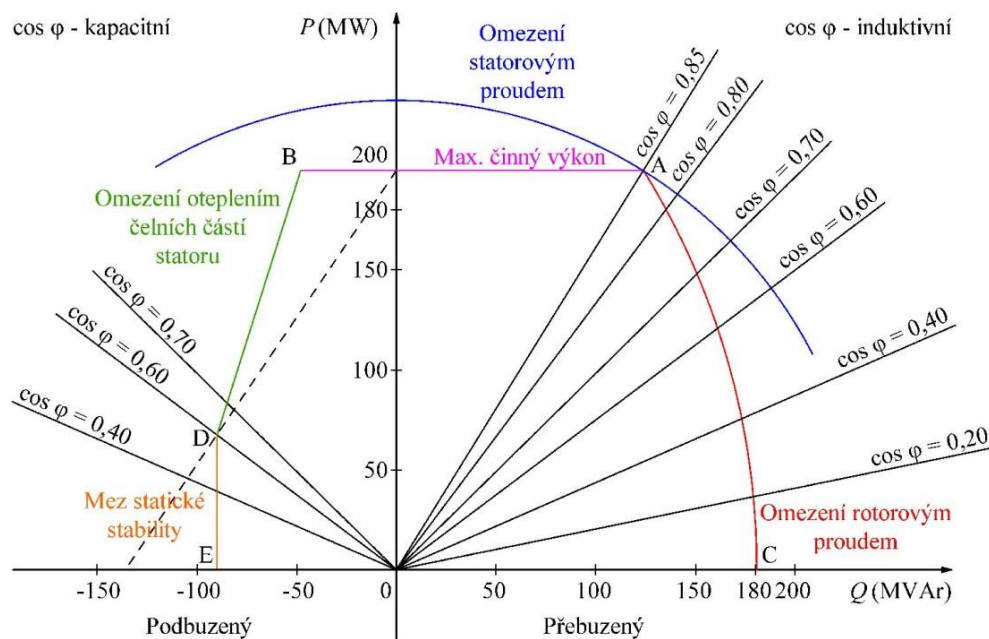
V opačném případě, kdy je koeficient stabilizace $k_r > 0$, je na vstupu do regulátoru menší napětí u_2 . V takovém případě začne regulátor alternátor přibuzovat. [1] [2]



Obr. 1.12 Fázorový diagram [1]

1.6 Provozní diagram synchronního generátoru

Synchronní generátory mohou vyrábět nebo spotřebovávat jalový výkon v závislosti na režimu práce. Vyráběný jalový výkon je závislý od vyráběného činného výkonu, účinníku $\cos \varphi$, dovolených proudů statoru a rotoru. Závislost vyráběného jalového výkonu od činného výkonu je na obr. 1.13. [4]



Obr. 1.13 Provozní PQ diagram synchronního generátoru [11]

V podbuzeném stavu (při kapacitní zátěži) synchronní generátor spotřebovává jalový výkon. Chod generátoru je v tomto stavu omezen zejména oteplením čelních částí statoru způsobenou jednak změnou vzájemného prostorového rozložení rozptylového magnetického toku čel vinutí statoru a rozptylového magnetického toku čel vinutí rotoru a jednak změnou velikosti magnetického pole rotorového vnutí při účinníku blízkém k jedné, kdy je poměrně velký zátěžný úhel. V důsledku vzájemného posunutí se rozptylový tok reakce kotvy uzavírá prostorem obruče rotoru v místech mezi rotorovými póly (v málo nasyceném prostoru rozptylovým tokem rotoru). Tento rozptylový magnetický tok statoru silně vzrůstá, takže oteplení, které je úměrné druhé mocnině magnetické indukce, může dosáhnout nebezpečných hodnot. V tomto stavu je budicí proud poměrně malý. Křivka omezení oteplením čelních částí statoru se sestřejuje na základě přímých měření tohoto oteplení. [1] [2] [5]

V podbuzeném stavu je chod generátoru omezen zároveň i statickou stabilitou stroje, resp. vypadnutím stroje ze synchronismu při větším kapacitním zatížení. Křivka statické stabi-

lity je dána potřebnou rezervou generátoru pro zátěžný úhel ϑ , která je ovlivněna dynamikou soustrojí, buzení a regulátoru. Maximální zátěžný úhel je dán především regulací buzení. Po překročení meze statické stability stroje vypadne generátor ze synchronismu. U generátoru bez regulace nebo s výrazným pásmem necitlivosti je mez statické stability $\vartheta_{max} < 60^\circ$. Generátory s rychlou regulací lze provozovat i s mezí $\vartheta_{max} > 90^\circ$. U hydrogenerátorů je mez menší vzhledem k účinnému reluktančního momentu stroje. [1] [2] [3] [4]

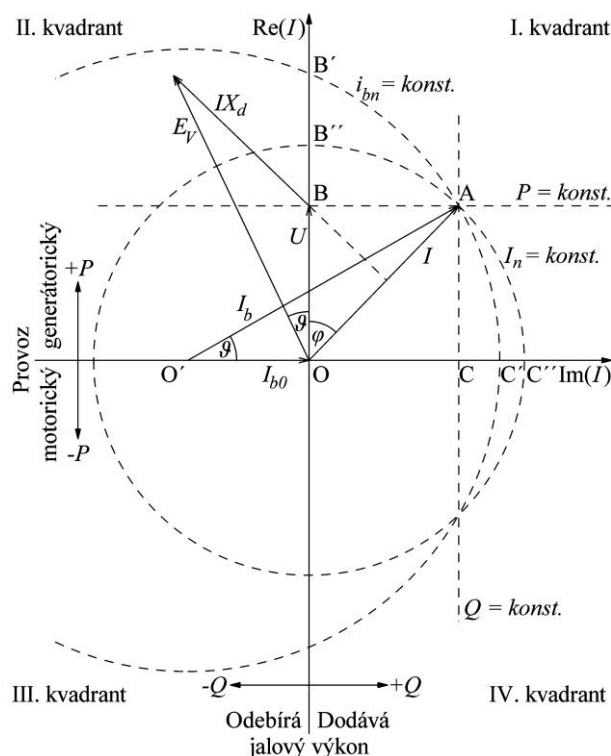
Mezní křivka statické stability se sestrojí tak, že se určí hodnota vnitřního napětí synchronního generátoru e_V pro určité zatížení ze vztahu:

$$p = \frac{e_V \cdot u_S}{x_d + x_t} \sin \vartheta \quad (1.9)$$

a dosadí do vztahu (1.1), takže pro určitý zátěžný úhel $\vartheta = \vartheta_{max}$ bude platit maximální dovolené jalové zatížení [1]:

$$q = p \cdot \cotg \vartheta_{max} - \frac{u_S^2}{x_d + x_t}. \quad (1.10)$$

V přebuzeném stavu dodává generátor jalový výkon. V tomto stavu je generátor omezen jmenovitou hodnotou budicího proudu a jmenovitou hodnotou statorového proudu, resp. tepelnými parametry odpovídající jmenovitému chodu. Mezní zatížení generátoru z hlediska oteplení vinutí rotoru a statoru lze získat pomocí fázorového diagramu (obr. 1.14). Ve fázorovém diagramu je úsečka $|OA|$ úměrná proudu statoru a úsečka $|O'A|$ je úměrná proudu rotoru. Kružnice se středem v bodě „O“ vymezuje mezní provozní stavy generátoru při proměnném účinníku s ohledem na oteplení statorového vinutí a kružnice se středem v bodě „O'“ vymezuje průběh téže veličiny s ohledem na oteplení rotorového vinutí. Mezní křivka dovolených provozních stavů generátoru je dána křivkou s body B', A a C'. Maximální činný výkon je omezen velikostí zdánlivého výkonu S_N a maximální jalový výkon je omezen velikostí jmenovitého budicího proudu (přibližně 80 % S_N). [2]



Obr. 1.14 Proudový fázorový diagram synchronního generátoru [11]

Z provozního diagramu je vidět, že se zvyšující se výrobou jalového výkonu klesá růst výroby činného výkonu. Při velikosti činného výkonu $P_G = 0$ je velikost jalového výkonu $Q_G \approx (0,7 \text{ až } 0,85) S_N$. Z toho je vidět, že snížení činného výkonu nepřináší podstatné zvýšení jalového výkonu, zejména při omezení budicím proudem. [4]

Synchronní generátory podle legislativy propojených evropských soustav by měly být schopny v přebuzeném stavu dodávat činný výkon v rozmezí účinníku $\cos \varphi_{IND} = 0,85$ a v podbuzeném stavu $\cos \varphi_{KAP} = 0,95$ při frekvenci v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz a při dovoleném rozsahu jmenovitého napětí buď $\pm 5\%$ U_N na svorkách generátoru, nebo $400 \text{ kV} \pm 5\%$, $220 \text{ kV} \pm 10\%$ a $110 \text{ kV} \pm 10\%$ na straně vvn blokového transformátoru. [3]

Při řízení výroby jalového výkonu lze celý pracovní prostor generátoru v provozním diagramu využívat jen zcela výjimečně, neboť běžná výroba není projektována pouze na výrobu jalového výkonu. [3]

Výroba jalového výkonu může být u synchronních generátorů omezena [3]:

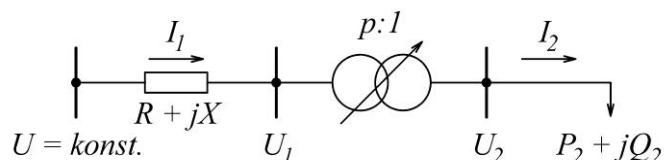
- napětím na svorkách generátoru, a to s doporučenou hodnotou $\pm 5\%$ U_N ,
- napětím vlastní spotřeby,
- napětím na účelové spotřebě areálu připojené průmyslové elektroenergetické soustavy,
- závislostí na elektrické soustavě, do které se generátor připojuje,
- aktuálním technickým stavem generátoru,

- absencí měření jalového výkonu generátoru do záporných hodnot (např. u starších tep-
láren),
- rozhodnutím odpovědného správce zařízení během provozu generátoru nebo při certi-
fikaci podpůrné služby regulace jalového výkonu,
- společným blokovým transformátorem s transformátorem vlastní spotřeby v jednom
stroji, kdy při čerpání jalového výkonu to znamená značné omezení.

Nastavení využívání výroby nebo čerpání jalového výkonu musí být provedeno tak, aby se za běžného provozu nedostaly do činnosti hlídače a omezovače generátoru. [3]

1.7 Ostatní zařízení používaná na regulaci napětí v ES

Regulace napětí v ES se uskutečňuje také transformátory či autotransformátory. V České republice se používají transformátory s regulací odboček pod zatížením (8 až 16 přepínatelných odboček po 2 až 2,5 % U_N) a transformátory s odbočkami (± 5 % U_N nebo i $\pm 2,5$ % U_N). První uvedené transformátory se používají v sítích 400/110 kV, 220/110 kV a 110/22 kV. Druhé uvedené transformátory se používají v distribučních sítích vn. [3]



Obr. 1.15 Transformátor s regulací v jednoduchém přenosu [4]

Funkci regulace transformátoru v přenosové soustavě vysvětlím podle jednoduchého schématu (obr. 1.15), kde je transformátor s převodem p , napájecí vedení s podélnou impedancí $\mathbf{Z} = jX$ (činnou složku R zanedbám, neboť platí: $jX \gg R$) a odběr elektrické energie spotřebitelů je vyjádřen výrazem $P_2 + jQ_2$. Příčná admitance je vynechána. Pro úbytek napětí na vedení ΔU podle schématu na obr. 1.16 platí:

$$\Delta U = XI_{j1} = X \frac{I_{j2}}{p} = X \frac{Q_2}{pU_2}. \quad (1.11)$$

Pro napětí na konci vedení U_1 platí vztah:

$$U_1 = U - \Delta U = U - X \frac{Q_2}{pU_2}. \quad (1.12)$$

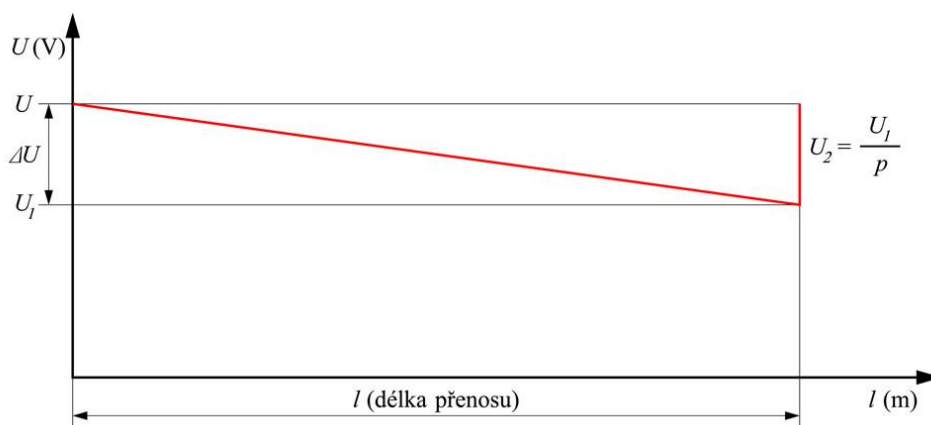
Úpravou potom získám kvadratickou rovnici:

$$pU_2^2 - UU_2 + X \frac{Q_2}{p} = 0 \quad (1.13)$$

a řešením je upravený vztah:

$$U_2 = \frac{U \pm \sqrt{U^2 - 4XQ_2}}{2p}. \quad (1.14)$$

Z výsledného vztahu je vidět, že pokud je například potřeba zvýšit napětí U_2 na sekundární straně transformátoru, a tím vyregulovat úbytek napětí na vedení ΔU (obr. 1.16), musí se snížit převod transformátoru p a naopak. Regulací transformátoru úbytek na vedení nelze odstranit, neboť příčinou tohoto úbytku je jalový výkon Q_2 , takže například snížením převodu se zvýší proud I_1 , a tím i úbytek napětí a jalové ztráty na vedení. [4]



Obr. 1.16 Napěťové poměry podle přenosu [4]

Transformátory (většinou 400/110 kV a 220/110 kV) jsou většinou vybavovány hladinovými regulátory (HRT). Těmito regulátory se udržuje konstantní napětí na sekundární straně s časovou konstantou. Časová konstanta zajišťuje selektivitu hladinové regulace transformátorů. To znamená, že transformátory na vyšších napěťových hladinách regulují nejrychleji, čímž

se předejde hromadným regulacím transformátorů na nižších napěťových hladinách. HRT jsou blokovány od ochran při podpětí na primární straně transformátoru, aby nedošlo k nežádoucí regulaci. Hodnota podpětí, resp. blokovacího napětí je určena stabilitou daného uzlu. [6]

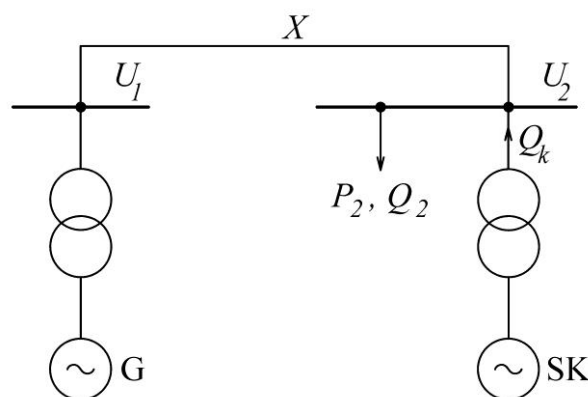
Transformátory jsou také spotřebiči jalového výkonu (jalové ztráty). Tyto ztráty závisí od zatížení transformátoru. Pro jalové ztráty transformátoru ΔQ platí vztah:

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + \Delta Q_k \left(\frac{S}{S_N} \right)^2, \quad (1.15)$$

kde ΔQ_0 jsou jalové ztráty naprázdno, ΔQ_k jsou jalové ztráty nakrátko (8 až 11 % S_N), S je zatížení transformátoru a S_N je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru. [4]

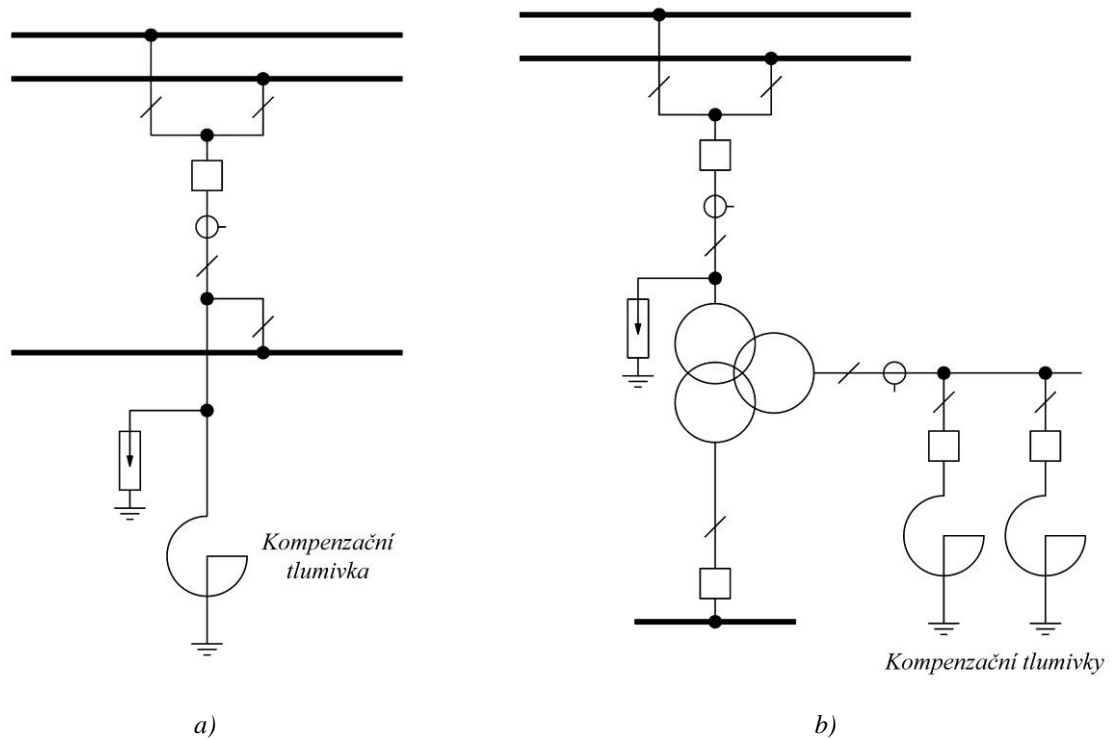
I venkovní vedení může být spotřebičem, ale také zdrojem jalového výkonu. Při přenosu většího výkonu, než je přirozený výkon vedení, se vedení stává spotřebičem jalového výkonu. Pokud je přenášený výkon menší než přirozený výkon vedení, je nabíjecí výkon vedení větší než jalové ztráty vedení, čímž se venkovní vedení stává zdrojem jalového výkonu. Kabelová vedení, která mají kapacitu vyšší než venkovní vedení, mají také větší nabíjecí výkon, resp. lépe přispívají k výrobě jalového výkonu. [4]

Jak již bylo uvedeno, přenos jalového výkonu po vedení způsobuje úbytek napětí. Tomu se lze vyhnout přímou výrobou jalového výkonu Q_k v místě zatížení (kompenzace). Pro výrobu či regulaci jalového výkonu v místě zátěže (obr. 1.17) lze použít synchronních kompenzátorů (SK) nebo kondenzátorových baterií zapojených paralelně k zátěži. Další možností vedoucí ke snížení úbytku na vedení je úprava podélné reaktance vedení X zapojením sériových kondenzátorů. [4]



Obr. 1.17 Regulace jalového výkonu synchronním kompenzátořem SK [4]

Pro kompenzaci přebytečného jalového výkonu při odlehčení sítě vvn, resp. ve stavu na-prázdko, se používají kompenzační tlumivky. Tlumivky se připojují buď přímo na přípojnicí v rozvodně, nebo přes terciální vinutí transformátoru (*obr. 1.18*). Obě zapojení mají své výhody i nevýhody. [4]

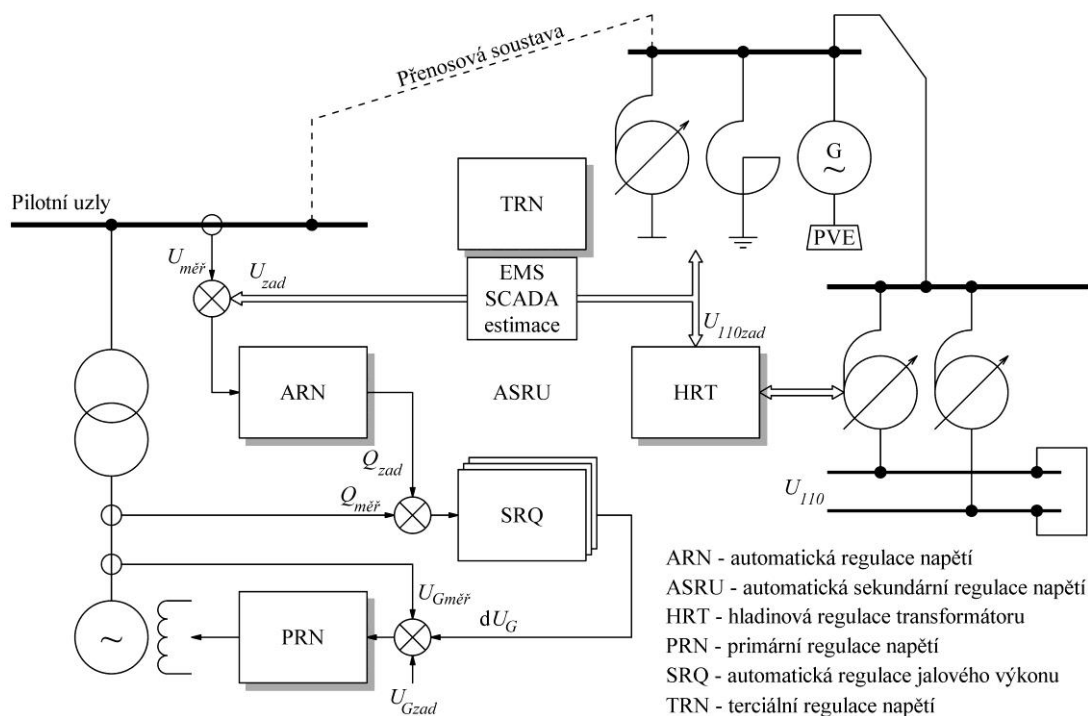


Obr. 1.18 Připojení kompenzační tlumivky do sítě a) Připojení přímo na síť b) Připojení k terciálnímu vinutí transformátoru [4]

2 Regulace napětí a jalového výkonu v ES

Regulace napětí a jalového výkonu má v PS České republiky třístupňovou hierarchii řízení:

- terciární regulace napětí (na úrovni celé regulované soustavy),
- automatická sekundární regulace napětí (na úrovni jednoho uzlu soustavy),
- primární regulace napětí (na úrovni jednoho bloku výroby).

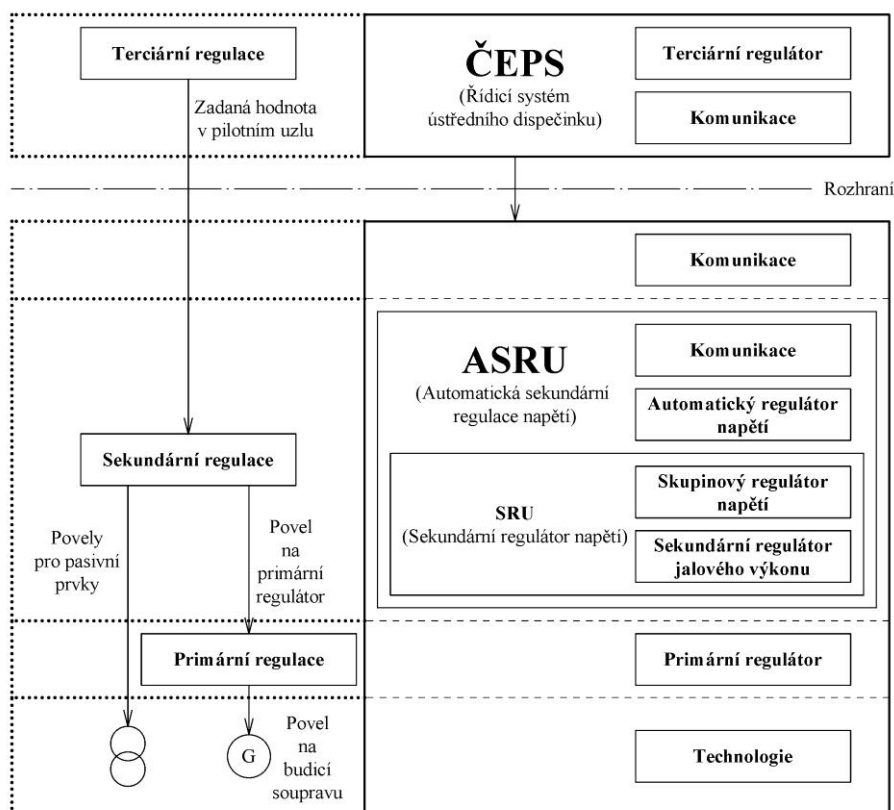


Obr. 2.1 Členění úloh regulace [10]

2.1 Terciární regulace napětí

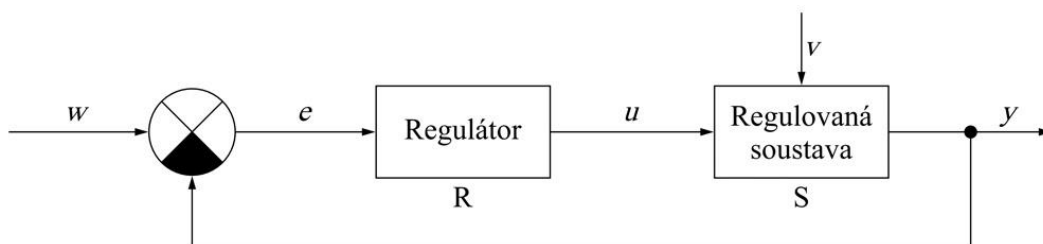
Optimální provoz celého systému regulace napětí a jalového výkonu, resp. koordinaci kvůli bezpečnému a ekonomickému provozu, zajišťuje terciární regulace napětí (TRN). Jedná se o centralizovanou službu celého systému regulace (obr 2.2). Základním kritériem je hospodárnost v regulované soustavě. Pro regulaci v pilotních uzlech jsou stanoveny podmínky, které jsou při terciární regulaci respektovány. TRN udržuje optimální stav regulované sítě prostřednictvím zadaných hodnot napětí pro automatické regulátory napětí (ARN) v pilotních uzlech, optimální skladbou kompenzačních prostředků a také změnou převodu vybraných

transformátorů, které mají významný vliv na rozdělení toku jalového výkonu mezi jednotlivými napěťovými úrovněmi. [7] [8]



Obr. 2.2 Schéma regulace napětí [9]

2.2 Automatická sekundární regulace napětí



w - žádaná veličina u - akční veličina R - regulátor (funkce ASRU)
 y - regulovaná veličina v - poruchová veličina S - regulovaná soustava
 e - regulační odchylka

Obr. 2.3 Blokové schéma regulace se zápornou zpětnou vazbou ASRU [3]

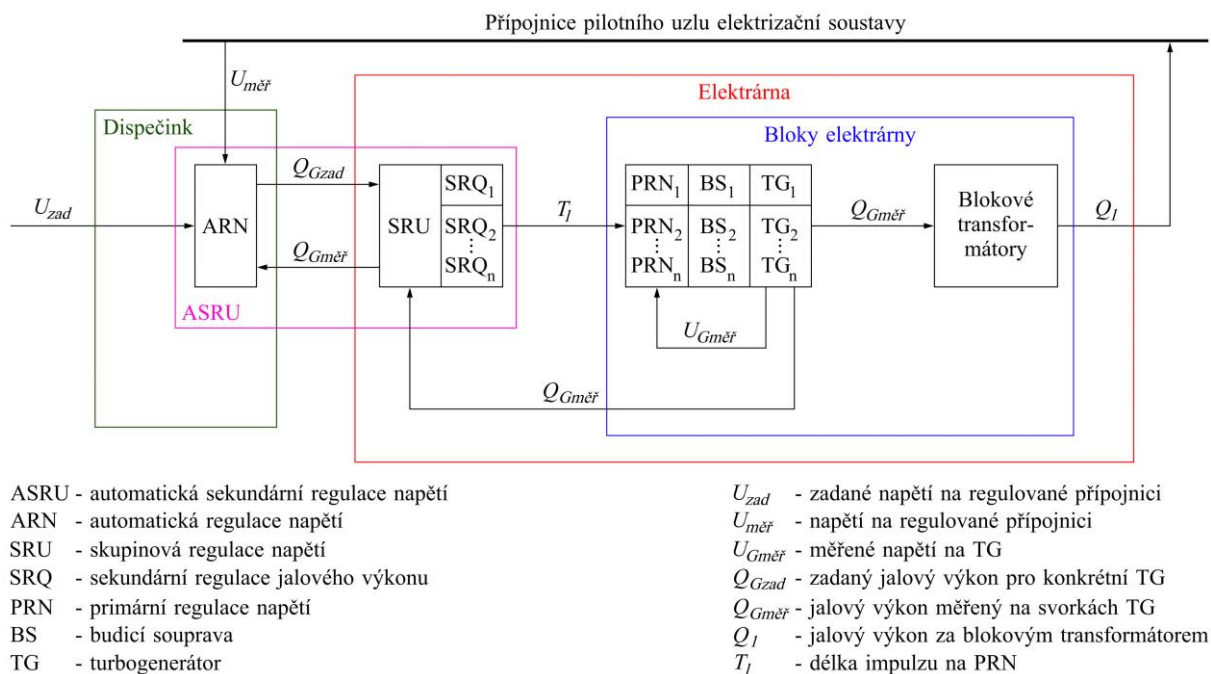
System automatické sekundární regulace napětí (ASRU) je technologický proces, který obnovuje rovnováhu spotřeby a výroby jalového výkonu v pilotním uzlu právě na úrovni za-

daného napětí v tomto sledovaném místě. Pracuje na principu regulace se zápornou zpětnou vazbou (obr. 2.3), což je jeho hlavní výhoda. ASRU je složena z:

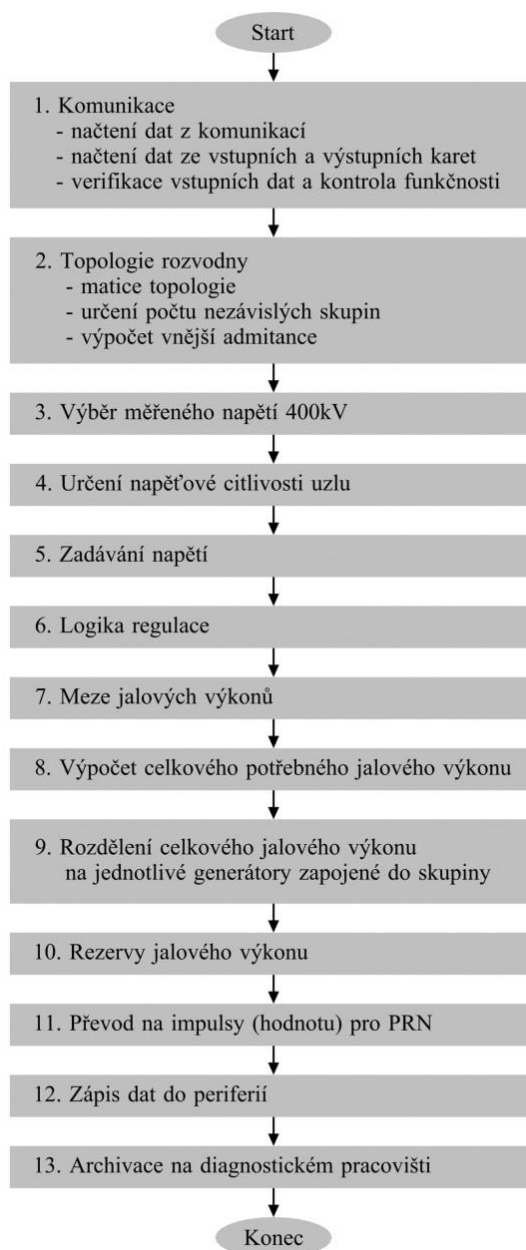
- Automatické regulace napětí (ARN),
- Skupinové regulace napětí (SRU),
- Sekundární regulace jalového výkonu (SRQ),
- Hladinové regulace transformátoru (HRT).

Automatická regulace napětí (ARN) vypočítává celkovou změnu jalového výkonu na základě vyhodnocené aktuální regulační odchylky, která je nutná pro její eliminaci. Podle momentální regulační rezervy rozdělí požadavky na jednotlivé SRU, které jsou pro regulaci v daném pilotním uzlu (převážně přípojnice rozvodny) k dispozici. SRU v elektrárně dále rozdělí přidělený požadavek podle rezervy na jednotlivé SRQ generátorů. SRQ generátorů pak generují velikost impulsu na mechanismus změny zadané hodnoty napětí primární regulace napětí (PRN), která změní velikost jalového výkonu. Tato změna vstupuje přes blokový transformátor zpět do pilotního uzlu. [9]

Regulační proces musí být aperiodický nebo maximálně s jedním překmitem. Výsledná doba regulace nesmí být větší než dvě minuty. [8]



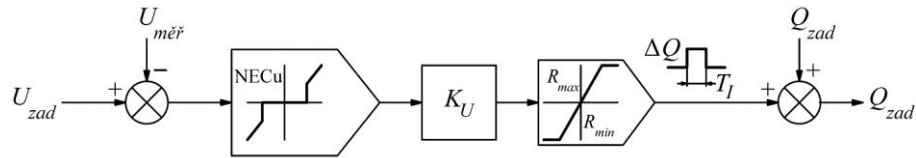
Obr. 2.4 Blokové schéma systému ASRU [8]



Obr. 2.5 Vývojový algoritmus ASRU [9]

2.2.1 Automatická regulace napětí

Na vstupu do regulátoru ARN (obr 2.6) je dálkově nebo místně zadaná hodnota napětí, která se porovnává s měřenou hodnotou napětí v pilotním uzlu. Výsledná regulační odchylka se násobí koeficientem zesílení k_U , která odpovídá přibližně citlivostnímu koeficientu k_Q daného pilotního uzlu. Na výstupu regulátoru je potom požadovaná změna ΔQ přerozdělena a přičtena k zadané hodnotě Q_{zad} . ARN má pulzní charakter a vyhodnocuje odchylku s periodou T_{PER} . [10]



Obr. 2.6 Blokové schéma zjednodušeného modelu ARN [10]

2.2.1.1 Komunikace

Komunikační funkce zajišťují přenos aktuálních dat mezi jednotlivými ARN, SRU a periferiemi. Na začátku každého cyklu PLC (programovatelný logický automat) se načítají aktuální data z komunikací a periférií na všech stanicích ASRU. Poté se provádí ověření vstupních dat dle reálných mezí dané hodnoty, předpokládané správné změny dané hodnoty a podle chování na vyvolanou reakci systému. [9]

2.2.1.2 Topologie rozvodny

Pro informaci o vodivé cestě mezi přípojnici rozvodny pilotního uzlu se provádí výpočet matice $MATPR = (x, y)$. Tato matice je diagonálně souměrná. Informaci o vodivé cestě mezi místy x a y poskytuje matice $MATTO = (x, y)$. Dále se určuje počet nezávislých skupin (propojení jedné nebo více přípojníc s měřením napětí a jednoho nebo více zdrojů). Pro každou skupinu se zajišťuje seznam připojených zdrojů a seznam propojených přípojníc. Seznam připojených zdrojů do skupiny se určuje jako logický součin příslušného prvku matice a blokovacích podmínek. Seznam propojených přípojníc ve skupině se určuje dle příslušného prvku matice přípojníc $MATPR$. Poté se určuje vnější admitance součtem všech admitancí vedení zapojených ve skupině. [9]

2.2.1.3 Výběr měřeného napětí

V každé smyčce dochází k přečtení měřených napětí a vyhodnocení, zda je měřené napětí v mezích. Pokud je měřené napětí odlišné od celkového průměru o více než 5 kV, tak je toto měřené napětí eliminováno. Ze zbývajících měřených napětí je vypočten vážený průměr napětí podle vztahu:

$$U_{ARN} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i U_i + \sum_{j=1}^n k_j U_j}{\sum_{i=1}^n k_i + \sum_{j=1}^n k_j}, \quad (2.1)$$

kde pro koeficient k_i (měření napětí na přípojnicích) platí $k_i = 1$ a pro koeficient k_j (měření na vedeních) platí $k_j = 0,5$. [9]

2.2.1.4 Určení napěťové citlivosti uzlu

Pro výpočet potřebného jalového výkonu se vypočítává koeficient citlivosti uzlu k_Q ($\Delta Q/\Delta U$), a tedy potřebná změna dodávky jalového výkonu pro udržení žádaného napětí v pilotním uzlu. Tento koeficient se určuje na základě znalosti vazební reaktance X_v . Ta se vypočítává ze znalosti topologie sledovaného pilotního uzlu. Přesněji se tento koeficient určuje sestavením Jakobihovy matice z modelu zahrnujícího širší oblast přenosové soustavy. Pro ověření výpočtů se koeficient určí oběma způsoby a měřením se provádí ověření při aktuální konfiguraci. Citlivostní koeficient se pohybuje pro síť 400 kV v rozmezí 30 až 50 MVar/kV a pro síť 220 kV 10 až 25 MVar/kV. [9] [10]

2.2.1.5 Zadávání napětí

Napětí pro skupinu se zadává dálkově z terciární regulace ÚED ČEPS nebo ručně (operátorem). Pokud je automatická sekundární regulace napětí vypnuta, je zadané napětí rovné měřenému. [9]

2.2.1.6 Logika regulace

Z nadřazeného řídicího systému ústředního dispečinku (ŘSÚD) je přenášena především informace o zadané hodnotě napětí i -té smyčky. Dále jsou to informace o „akceptování nabídky ARN na dálkové zadávání napětí z ŘSÚD (log 0 – není akceptováno, log 1 – je akceptováno)“ a o „blokování ARN (log 0 – ARN neblokováno, log 1 – ARN blokováno)“. Tyto veličiny logiky jsou přenášeny povinně. [9]

ARN stanovuje skutečnou hodnotu napětí i -té smyčky, která se používá jako hodnota pro výpočet regulační odchylky. Je zajištěno, aby nová zadaná hodnota napětí i -té smyčky přijatá z ŘSÚD (nebo obsluhou místně) nevybočovala z předepsaných napěťových mezí. Hodnoty, které vybočují z předepsaných napěťových mezí, jsou ignorovány. Stanovená skutečná hodnota napětí i -té smyčky je přenášena do ŘSÚD. Zároveň pro kontrolu je zpětně přenášena do ŘSÚD i nová zadaná hodnota napětí i -té smyčky. [8] [9]

ARN zprostředkovává informace o všech generátorech, které jsou nebo mohou být do systému ASRU připojeny, a přenáší je do ŘSÚD. Jedná se zejména o informace, kdy do ASRU zařazený generátor dosáhl v daném čase dolní nebo horní nastavené regulační meze jalového výkonu nebo svorkového napětí generátoru, případně napětí na vlastní spotřebě, a že generátor je v dané minutě schopen regulovat v opačném směru, než působí dané omezení. Tyto veličiny slouží pro hodnocení podpůrných služeb (PpS). Dále ARN zprostředkovává například informace o vyřazení generátoru ze sekundární regulace z důvodu poruchy nebo vyřazení „místně“. [9]

ARN je vybavena vlastní autodiagnostikou, která potvrzuje (přenáší informaci o stavu do ŘSÚD), že ARN je v i -té smyčce funkční, resp. zda ARN reguluje či nereguluje (tato veličina slouží pro systém hodnocení PpS). Příčinou nefunkčnosti může být nevěrohodnost dat, porucha komunikace, vnitřní porucha ARN atd. [9]

Aktuální vypočtené meze přebuzení i -tého generátoru Q_{Xi} a meze podbuzení i -tého generátoru Q_{Mi} (MVar), automatické sekundární regulace jalového výkonu (SRQ) i -tého generátoru v závislosti na aktuálním činném výkonu generátoru jsou generovány na ŘSÚD i v ARN (nejsou přenášeny mezi ŘSÚD a ARN). Závislost na činném výkonu je lineární a spojitá a počítá se dle vztahů [9]:

$$Q_{Xi} = \frac{(P_{Ni} - P_i)(Q_{XMi} - Q_{XNi})}{(P_{Ni} - P_{Mi}) + Q_{XNi}}, \quad (2.2)$$

$$Q_{Mi} = \frac{(P_{Ni} - P_i)(Q_{MMi} - Q_{MNi})}{(P_{Ni} - P_{Mi}) + Q_{XNi}}, \quad (2.3)$$

kde jednotlivé parametry jsou [9]:

P_i – nezávislá proměnná činného výkonu i -tého generátoru (MW),

P_{Ni} – jmenovitý činný výkon i -tého generátoru (MW),

P_{Mi} – minimální činný výkon i -tého generátoru (MW),

Q_{XNi} – maximální jalový výkon při jmenovitém činném výkonu i -tého generátoru (MVar),

Q_{XMi} – maximální jalový výkon při minimálním činném výkonu i -tého generátoru (MVar),

Q_{MNi} – minimální jalový výkon při jmenovitém činném výkonu i -tého generátoru (MVar),

Q_{MMi} – minimální jalový výkon při minimálním činném výkonu i -tého generátoru (MVar).

Vypočtené meze Q_{Xi} a Q_{Mi} jsou platnými aktuálními regulačními mezemi v rámci automatické sekundární regulace napětí a dále slouží pro systém hodnocení podpůrných služeb (PpS). V případě dosažení aktuálních mezí jalového výkonu Q_{Xi} a Q_{Mi} i -tého generátoru, při-

padně napětí na svorkách i -tého generátoru nebo napětí vlastní spotřeby, ARN dále nevysílá akční požadavek na změnu zadané hodnoty primárního regulátoru napětí generátoru ve směru, ve kterém působí dané omezení. ARN není naprogramována tak, aby při dosažení meze samočinně měnila jalový výkon generátoru opačným směrem, a aby při eventuálním dosažení nastavené meze pro ASRU omezovala činnost primární regulace napětí, která zajišťuje povolený rozsah dle provozního diagramu generátoru. Důvodem je zabránění dlouhodobým oscilacím jalového výkonu na generátoru a zajištění stability elektrizačního systému. [9]

2.2.1.7 Meze jalového výkonu

Pro každou skupinu připojených generátorů se zjišťuje součet jalových a činných výkonů. Mezní jalový výkon generátoru v přebuzení se určuje jako minimum z jednotlivých mezních výkonů v přebuzení zmenšené o konstantu bezpečnosti v přebuzení. Mezní jalový výkon generátoru v podbuzení se určuje jako maximum z jednotlivých mezních výkonů v podbuzení zvětšené o konstantu bezpečnosti v přebuzení. [9]

2.2.1.8 Výpočet celkového potřebného jalového výkonu

Pro každou aktivní skupinu s regulační odchylkou napětí větší než necitlivost regulace se vypočítává celkový potřebný jalový výkon. [9]

2.2.1.9 Rozdělení jalového výkonu na jednotlivé generátory

Pro každou aktivní skupinu s regulační odchylkou napětí větší než necitlivost regulace se provádí rozdělení celkového potřebného jalového výkonu na jednotlivé generátory zapojené do skupiny [6]. Rozdělování se provádí podle kritéria stejné poměrné odchylky od středu regulačního pásma jalového výkonu generátoru. [9]

2.2.1.10 Rezervy jalového výkonu

Pro každou aktivní skupinu se vypočítává rezerva jalového výkonu v přebuzení a podbuzení. [9]

2.2.1.11 Převod na impulsy pro PRN

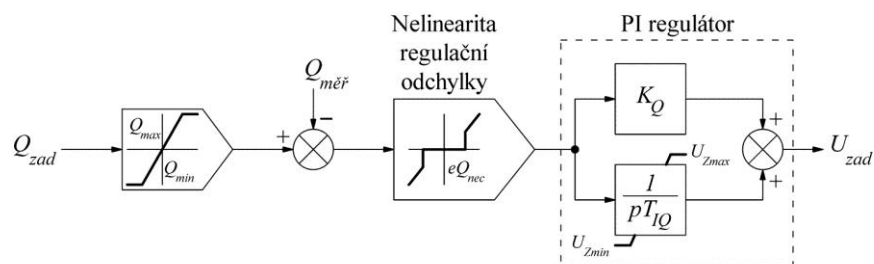
Zadaný jalový výkon pro daný generátor se převádí podle propojení na hodnotu napětí na svorkách generátoru nebo impulsy „přibudit/odbudit“. [9]

2.2.1.12 Zápis do periferií a archivace

Na konci každého cyklu PLC (programovatelný logický automat) se zasílají aktuální data do periferií na všech stanicích ASRU. Všechna data mohou být dle potřeby archivována na discích. [9]

2.2.2 Sekundární regulace jalového výkonu

Sekundární regulace jalového výkonu generátoru (SRQ) realizuje povely automatické sekundární regulace napětí (ASRU) pomocí vstupů do primárního regulátoru napětí generátoru (PRN). Na vstupu regulátoru (*obr. 2.7*) je žádaná hodnota jalového výkonu Q_{zad} z nadřazeného automatického regulátoru napětí (ARN). Žádaná hodnota se porovnává s měřenou hodnotou jalového výkonu $Q_{měř}$, a pokud výsledná regulační odchylka překročí necitlivost, je zpracována v PI regulátoru. Na výstupu z regulátoru je požadovaná hodnota napětí generátoru U_{zad} . SRQ pracuje jako impulsní regulátor, tzn. že požadavek na velikost změny zadané hodnoty napětí měří časem (délkou impulsu T_I). [8] [10]

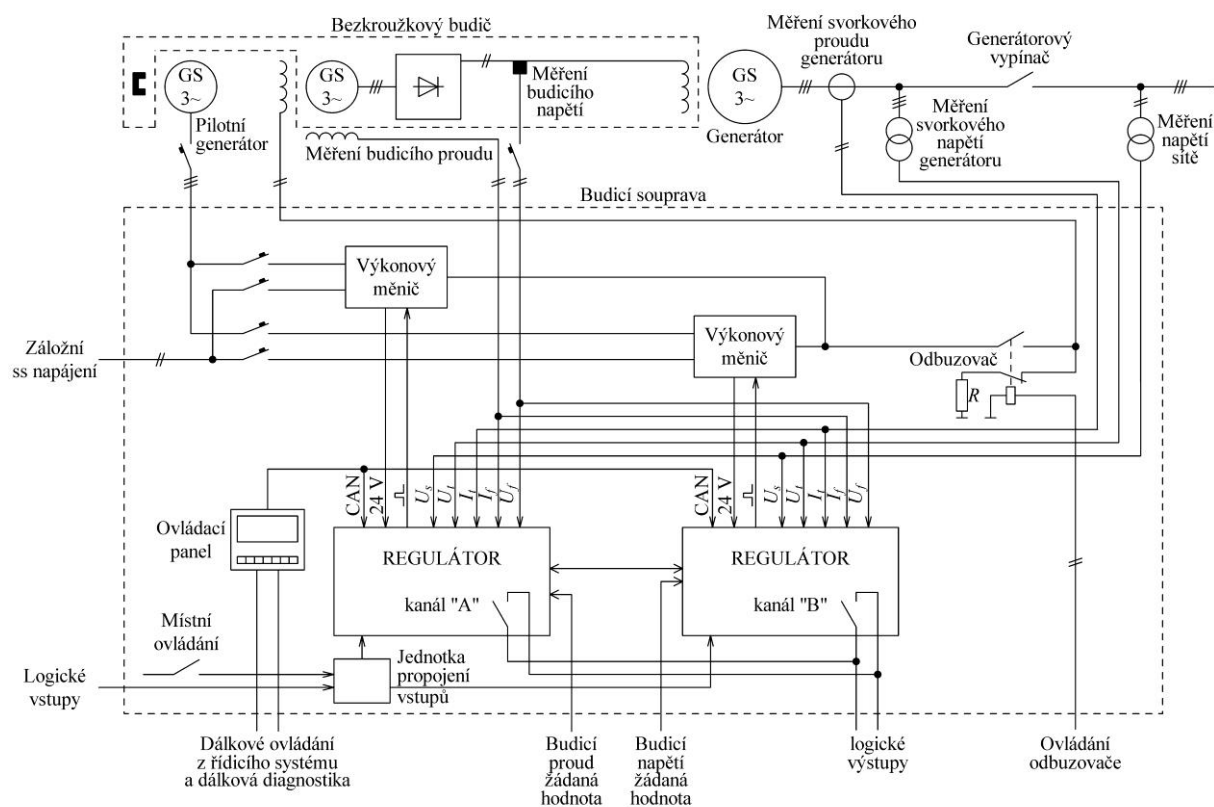


Obr. 2.7 Blokové schéma modelu sekundární regulace jalového výkonu [10]

2.2.3 Primární regulace napětí

Primární regulace napětí (PRN) je součástí budících obvodů generátorů (*obr. 2.8*). Jejím hlavním úkolem je udržovat žádané napětí na svorkách generátoru. PRN umožňuje regulaci

jalového výkonu nebo účinníku s dálkově nebo místně zadávanou (žádanou) hodnotou. Její regulační působnost je pouze lokální a přímo ovlivňuje stabilitu celého systému při daných omezujících provozních mezích jmenovitým proudem statoru, rotoru nebo oteplením při podbuzení atd. Doba odezvy na regulační odchylku je několik sekund (1 až 2 sekundy). Kompandace pomocí nastavené statiky generátoru definuje vazbu mezi změnami napětí generátoru a jím generovaného jalového výkonu. Funkce je analogická funkci primárního regulátoru kmitočtu. Používané budicí soupravy nemají při zařazení do systému ASRU žádný omezující vliv na činnost tohoto systému. Blokové transformátory používané v České republice většinou nemají regulaci odboček pod zatížením. V těchto případech působí z hlediska systému ASRU jako pasivní prvky s tím, že ovlivňují velikost použitelných regulačních rozsahů jalového výkonu (nevhodná volba omezí čerpání regulačního jalového výkonu). [3] [4] [8]



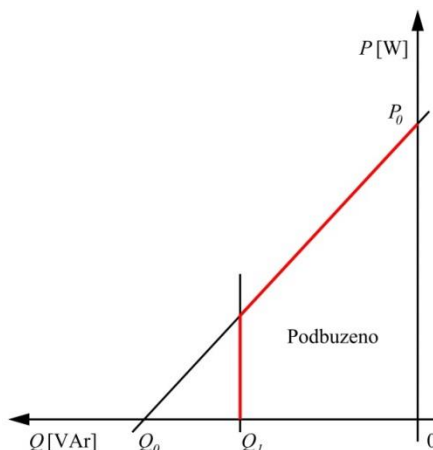
Obr. 2.8 Blokové schéma budicí soupravy (dvoukanalové) [11]

PRN je vybavena především omezovačem statorového proudu, omezovačem budicího (rotorového) proudu, hlídačem meze podbuzení, omezovačem přesycení (U/f), omezovačem svorkového napětí generátoru a stabilizačními obvody pro tlumení kyvů v síti. [3] [11]

Omezovač statorového proudu I_t chrání generátor před přetěžováním statorového vinutí, které může nastat při maximálních výkonech v hluboce přebuzeném nebo podbuzeném stavu. Omezovač je realizován jako integrální regulátor s časovým zpožděním. Časové zpoždění zásahu omezovače je závislé na velikosti převýšení proudu I_t nad nastavenou mez I_{tmax} . Po překročení meze statorového proudu generátoru I_{tmax} a následném časovém zpoždění je statorový proud generátoru I_t omezovačem omezen na hodnotu I_{tmax} . Omezovač statorového proudu generátoru působí jak v přebuzeném stavu (induktivní oblast pracovního diagramu generátoru) a to tak, že je generátor odbuzován, tak i v podbuzeném stavu (kapacitní oblast pracovního diagramu generátoru), kdy je naopak generátor přibuzován. Přesahuje-li z nějakého důvodu činná složka proudu mez omezení statorového proudu, udržuje omezovač pracovní bod generátoru na nulovém jalovém výkonu (minimální hodnota statorového proudu dosažitelná regulací budicího proudu). [11]

Omezovač rotorového (budicího) proudu I_f chrání generátor před tepelným namáháním rotorového vinutí, které nastává v důsledku překročení maximální hodnoty budicího proudu. Omezovač je vybaven časovačem, protože na pozvolné tepelné namáhání rotoru není nutné reagovat okamžitě. Toto zpoždění dává regulátoru možnost krátkodobě pracovat i v přetížení, popřípadě umožnit maximální buzení po krátký čas v případě blízkého zkratu. Díky přetížitelnosti může regulátor zajistit i správné chování (udržení konstantního napětí na svorkách generátoru) při velkém poklesu napětí v síti v důsledku zvýšení požadavků na jalový výkon. Je proveden jako integrální regulátor s omezením do záporné polarity. Časové zpoždění zásahu omezovače je závislé na velikosti převýšení budicího proudu I_f nad nastavenou mez (I_{fmax}). Omezovač po překročení meze budicího proudu I_{fmax} a následném časovém zpoždění budicí proud I_f omezí na hodnotu I_{fmax} . [11]

Hlídač meze podbuzení plní ochrannou funkci při podbuzení stroje, aby nebyly překročeny meze statické stability a oteplení čelních částí statoru. Tento hlídač koriguje jalový výkon zvýšením napětí na svorkách generátoru tak, aby se při překročení mezní charakteristiky pracovní bod dostal zpět na mezní charakteristiku ještě předtím, než nepřípustný provozní stav povede k vypnutí generátoru ochranou proti podbuzení. Hlídač meze podbuzení je realizován jako proporcionálně integrální regulátor, jehož výstupní parametr je přičítán k žádané hodnotě napětí generátoru. Mez podbuzení je modelována podle obr. 2.9. Hodnoty P_0 , Q_0 , Q_1 určují vzdálenosti průsečíků mezních přímek s příslušnými osami a jsou do programů regulátorů zadávány v procentech zdánlivého jmenovitého výkonu. Stabilizační zpětná vazba od budicího proudu generátoru je adaptivní v závislosti na velikosti činného výkonu. [11]



Obr. 2.9 Nastavení meze hlídače meze podbuzení [11]

Omezovač přesycení neboli omezovač poměru napětí a frekvence (U/f) chrání generátor před přesycením magnetického obvodu. Je proveden jako integrální regulátor, jehož funkce je zpožděna v závislosti na převýšení skutečné hodnoty (U/f) nad nastavenou hodnotu $(U/f)_{max}$. Pokud se překročí nastavená hodnota poměru $(U/f)_{max}$ (o 10 %) a uplyne doba zpoždění zásahu omezovače, sníží omezovač buzení generátoru, aby platilo $(U/f) = (U/f)_{max}$. [11]

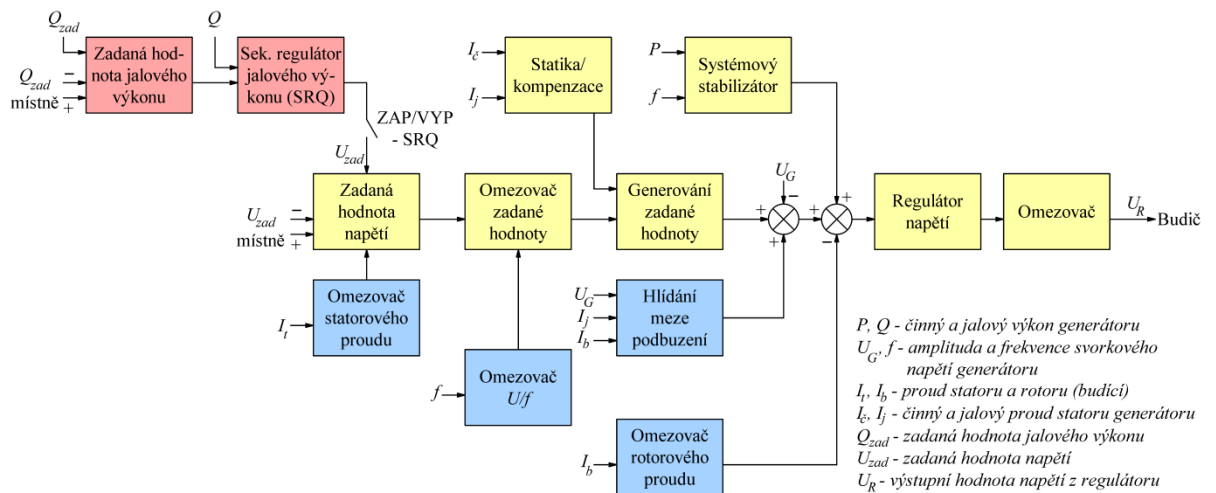
Omezovač svorkového napětí generátoru je realizován jako integrální regulátor. Při překročení nastavené hladiny napětí omezovač napětí udržuje i při dalším růstu žádané hodnoty svorkového napětí generátoru na této mezi. [11]

Stabilizační obvody pro tlumení kyvů v síti (systémové stabilizátory) slouží k tlumení kývání elektrických veličin. Jedná se jednak o elektromechanické kyvy, ke kterým dochází při nerovnováze činných a jalových výkonů, a jednak o tzv. systémové kyvy, ke kterým může docházet v rozsáhlých propojených soustavách. [12]

PRN je vybavena obvody pro kompenzaci úbytku napětí na blokovém transformátoru pomocí statiky od jalového proudu. [11]

Dalšími funkcemi PRN jsou i srovnávání napětí generátoru s napětím sítě před přířazováním, fázování (ovládání otáček soustrojí a zapínání generátorového vypínače), regulace na jalový výkon rovný nule (před odpojením generátoru od sítě pro minimalizaci proudu přes generátorový vypínač), režim rychlého odbuzení generátoru a budiče atd. [11]

PRN dále umožňuje impulsní řízení žádané hodnoty napětí na svorkách generátoru a také umožňuje přenos měřených, řízených a řídicích veličin do jiných zařízení prostřednictvím digitální komunikace. [3]



Obr. 2.10 Zjednodušené schéma možného uspořádání regulátoru buzení [10]

2.3 Hlavní přínosy instalace ASRU

System ASRU předchází napěťovým nestabilitám v ES, efektivně využívá regulační jalový výkon elektráren, eliminuje nežádoucí tranzit jalového výkonu a tím snižuje ztráty v ES.

Vlivem neustálého vyrovnávání bilance jalového výkonu v pilotních uzlech ES stabilizuje systém ASRU napětí v distribuční soustavě, a tedy zvyšuje kvalitu dodávky elektrické energie konečnému odběrateli.

Dochází k rychlé eliminaci napěťových změn v regulované soustavě dříve, než tyto změny vyvolají automatickou nebo ruční změnu odboček transformátorů, a tím se prodlužuje jejich životnost.

System ASRU umožňuje udržovat nastavenou toleranci toku jalového výkonu na určeném vedení nebo transformátoru, a proto se nepřekračují dohodnuté hodnoty tolerance toků jalového výkonu přenosovou nebo distribuční soustavou.

Vzhledem k efektivnímu povelování generátorů zapojených do jedné skupiny regulace se eliminuje jejich nežádoucí vzájemné přetahování.

System ASRU umožňuje zapojení závodních elektráren a kompenzačních prostředků velkoodběratelů do regulačního procesu ve prospěch regulované soustavy a tím se eliminuje zpětné působení. System také umožňuje efektivnější zapojení elektráren z obnovitelných zdrojů do regulované soustavy, které jinak působí negativně na napětí v distribuční soustavě.

Poskytuje se vyšší úroveň diagnostiky technologií zapojených do systému regulace, což umožňuje rychlejší detekci možných technických problémů.

Došlo i ke snížení nároků na dispečera regulované distribuční sítě, neboť ASRU pracuje jako plně automatický proces, který vyžaduje pouze minimální součinnost dispečera regulované soustavy nebo operátora v elektrárně. [10]

3 Technická realizace ASRU

3.1 Automatická regulace napětí a jalového výkonu v České republice

System Automatické sekundární regulace napětí ASRU se v posledních dvaceti letech postupně zavedl v přenosové a částečně i distribuční soustavě ČR. System umožňuje dosažení stabilizace napěťových poměrů při všech provozních stavech a kontroly toků jalového výkonu v ES. Přenos jalového výkonu v ES se vyznačuje velkými úbytky napětí a jalovými ztrátami. Příčinou je velká reaktance vedení a transformátorů. Pokud je v jednom uzlu ES velký jalový výkon, neznamena to, že je zabezpečené potřebné napětí i v ostatních uzlech ES. Je tedy potřebné dodržet bilanci jalových výkonů nejen v ES, ale také v každém uzlu (pilotním uzlu) ES zvlášť. Pilotní uzel je základním bodem systému ASRU, neboť se jedná o jediné místo v ES, kde je možné bezpečně měnit hladinu napětí změnou dodávaného jalového výkonu. Regulovat hladinu napětí lze také za blokovým transformátorem elektrárny, ale tato regulace není tak stabilní a efektivní. Navíc by se výpočty zadaných napětí s ohledem na optimální rozložení jalových výkonů v ES složitě vypočítávaly. Rovněž regulace například v odběrovém uzlu větších odběratelů by byla složitější a méně efektivní. V pilotním uzlu je možné dlouhodobě udržovat zadané napětí i při velkých změnách toku jalového výkonu v ES. Mezi požadavky na pilotní uzel zapojený do systému ASRU patří to, aby byla do pilotního uzlu zapojena výroba elektrické energie, neboť potom není nutné sledovat omezovací podmínky dané rozvodnami mezi výrobcem a pilotním uzlem. Kvůli lepší stabilizaci pilotního uzlu je i výhodnější, aby do pilotního uzlu byl zapojen i větší odběratel elektrické energie. Je také možné zřídit v jedné rozvodně více pilotních uzlů. Takové zřízení více pilotních uzlů v jedné rozvodně závisí na počtu přípojníc, na počtu samostatně připojených zdrojů jalového výkonu atd. [13]

Změna napětí závisí nejen na velikosti změny dodávky jalového výkonu, ale také na aktuálním zapojení určitého pilotního uzlu. Změnou napětí v příslušné části ES se dosáhne změny napětí v tomto pilotním uzlu a uzlech elektricky blízkých. Náchylnost určitého pilotního uzlu ES ke změně napětí vyjadřuje koeficient citlivosti pilotního uzlu k_Q . Velikost koeficientu citlivosti pilotního uzlu je závislá na napěťové hladině a zatížení pilotního uzlu. Zatížení pilotního uzlu je dáno hodnotou a charakterem jeho zatížení (ohmické, induktivní a kapacitní). Platí:

$$\Delta U_i = k_{Qij} \cdot \Delta Q_j, \quad (3.1)$$

kde ΔU_i je změna napětí v pilotním uzlu i , k_{Qij} je koeficient citlivosti změny napětí v pilotním uzlu i na změnu jalového výkonu v pilotním uzlu j a ΔQ_j je změna jalového výkonu v uzlu j . Ze vztahu vyplývá, že k dosažení změny napětí v libovolném pilotním uzlu sledované soustavy je potřeba provést změnu dodávky jalového výkonu, vypočtené velikosti v některém z pilotních uzlů této soustavy. V pilotním uzlu s vyšším koeficientem pro dosažení větší změny napětí postačuje menší změna dodávky jalového výkonu a naopak. Znamená to, že menší zdroj dodávky jalového výkonu připojený v napěťově citlivém pilotním uzlu bude znamenat stejný nebo i větší přínos pro regulaci jalového výkonu jako větší zdroj připojený v pilotním uzlu s menší citlivostí. Hodnota koeficientu citlivosti pilotního uzlu je tedy důležitá pro rozhodování o instalaci konkrétního systému ASRU. [13]

Praktické poznatky systému ASRU se získávaly postupně. První aplikace systému regulace napětí a jalového výkonu byly instalovány již v tehdejší Československu na vodní elektrárně Lipno a v pilotním uzlu v uzlové oblasti 110 kV rozvodny Neznášov. Na vodní elektrárně Lipno systém po určitou dobu úspěšně pracoval. Naopak v UO 110 kV Neznášov se regulace nepodařila zprovoznit z důvodů koncepčních, technických a organizačních (výzkumný úkol). [14]

V roce 1996 byly realizovány první dva systémy ASRU v přenosové soustavě ČR, a to v pilotním uzlu rozvodny Hradec u Kadaně a Výškov. V PS ČR je v současné době zřízeno deset pilotních uzlů se systémem ASRU. Jsou to rozvodny:

Hradec u Kadaně, Výškov, Mělník (Babylon 400 kV), Týnec, Krasíkov, Slavětice, Kočín, Chotějovice, Milín (220 kV) a Vítkov (220 kV).

Vzhledem k nedostupnosti či obtížné dostupnosti materiálů ohledně jednotlivých pilotních uzlů se v dalších částech diplomové práce budu podrobněji věnovat pilotnímu uzlu transformovny Vítkov a především do něho zapojených generátorů z paroplynové elektrárny Vřesová a elektrárny Tisová II, neboť jsem zaměstnancem paroplynové elektrárny Vřesová, a proto mám možnost se blíže seznámit se systémem ASRU instalovaným v pilotním uzlu Vítkov.

3.2 Základní technické formy ASRU

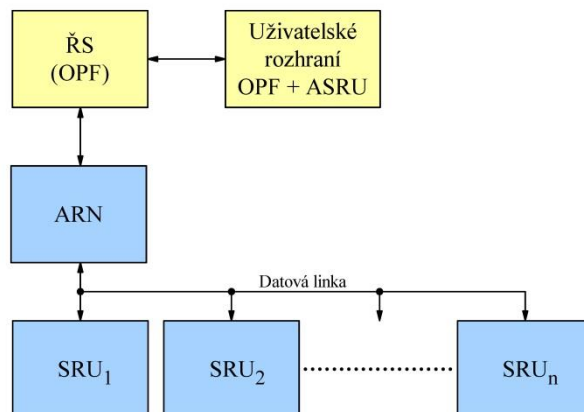
Obecně existují čtyři technické varianty systému ASRU [15]:

- Centralizovaná varianta ASRU – stanice ARN na dispečinku
- Decentralizovaná varianta ASRU – stanice ARN mimo dispečink

- Varianta bez samostatné stanice ARN – integrace TRN a ARN v rámci ŘS dispečinku
- Varianta bez ASRU – zrušení ASRU

a) Popis decentralizované varianty systému ASRU [15]:

- Stanice ARN je umístěna na dispečinku a je komunikačně spojena s ŘS dispečinku.
- Stanice ARN zajišťuje oboustrannou komunikaci se všemi podřízenými stanicemi SRU.
- Předávání zadaného napětí z ŘS do ARN přímo na dispečinku, a to jak přímo z TRN, tak i dispečerem z uživatelského rozhraní ŘS (společné pro TRN i ASRU).
- Systém ASRU pracuje s uzavřenou zpětnou vazbou přes ŘS dispečinku s nastavitelným intervalem mezi dvěma regulačními zásahy (20 až 30 sekund).
- Stanice ARN a SRU mají vlastní diagnostická pracoviště.
- Vyhodnocování ocenění PpS lze provádět jak na dispečinku, tak i na výrobnách (kontrolní výpočet).

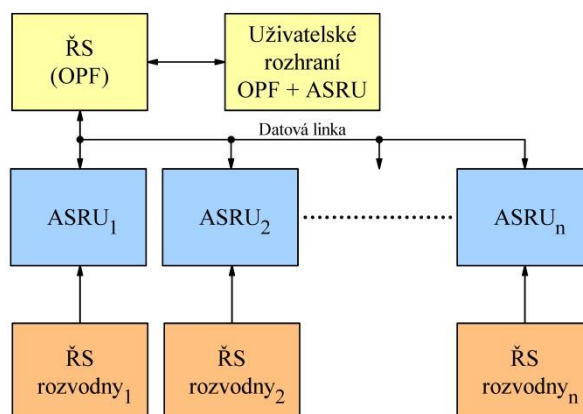


Obr. 3.1 Centralizovaná varianta systému ASRU [15]

b) Popis decentralizované varianty systému ASRU [15]:

- Integrace funkcí ARN a SRU do jedné stanice ASRU.
- ŘS zajišťuje oboustrannou komunikaci se všemi stanicemi ASRU.
- Předávání zadaného napětí z ŘS do ASRU vzdálenou komunikací z dispečinku na výrobně, a to jak přímo z TRN, tak i dispečerem z uživatelského rozhraní ŘS (společné pro TRN i ASRU).
- Systém ASRU pracuje s uzavřenou lokální zpětnou vazbou s nastavitelným intervalem mezi dvěma regulačními zásahy (8 až 15 sekund).

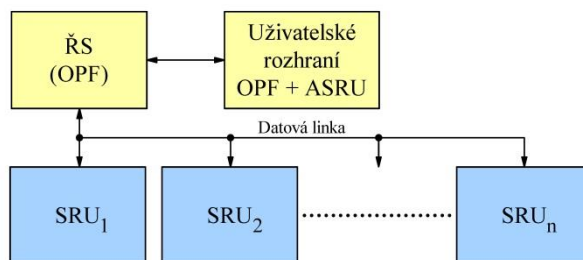
- Stanice ASRU má zajištěn sběr dat z místních ŘS systémů rozvodny (pilotního uzlu).
- Stanice ASRU má vlastní diagnostická pracoviště.
- Vyhodnocování ocenění PpS lze provádět pouze na výrobnách (bez kontrolního výpočtu).



Obr. 3.2 Decentralizovaná varianta systému ASRU [15]

c) Popis varianty bez samostatné stanice ARN – integrace TRN a ARN v rámci ŘS dispečinku systému ASRU [15]:

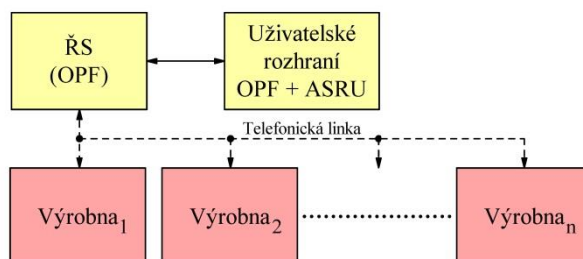
- Předávání zadaného jalového výkonu z ŘS do SRU na výrobnách na základě výpočtu provedeného TRN. Dispečer nemá možnost měnit zadané napětí (může pouze zablokovat výpočet TRN).
- ŘS zajišťuje oboustrannou komunikaci se všemi stanicemi SRU.
- Systém neprovádí regulaci napětí (zadané napětí v pilotních uzlech nezná), pouze upravuje dodávku jalových výkonů generátorů podle kritérií specifikovaných při výpočtech TRN.
- Systém pracuje s nepravidelnou vzdálenou zpětnou vazbou s intervalem mezi dvěma regulačními zásahy daným splněním technickoekonomických kritérií TRN (počet regulačních zásahů za sledované období není striktně dán).
- Stanice SRU má vlastní diagnostická pracoviště.
- Vyhodnocování ocenění PpS lze provádět pouze na výrobnách (bez kontrolního výpočtu).



Obr. 3.3 Varianta bez samostatné stanice ARN – integrace TRN a ARN v rámci ŘS dispečinku systému ASRU [15]

d) Popis varianty bez systému ASRU – zrušení systému ASRU [15]:

- Provozování TRN a telefonické kontaktování obsluh na výrobnách pro požadavek změny jalového výkonu.
- TRN bude prakticky jako konzultační program pro dispečera DS.



Obr. 3.4 Varianta bez systému ASRU – zrušení systému ASRU [15]

U centralizované varianty systému získává stanice ARN vstupní data o soustavě z řídicího systému dispečinku. V případě problému u vzájemné spolupráce obou systémů se činnost ASRU automaticky zablokuje do doby odstranění problému. Nelze tedy regulovat bez řídicího systému dispečinku. V případě vyřazení nebo problémů TRN postačuje pro zajištění provozu ASRU zadání napětí od dispečera z jeho uživatelského rozhraní. Kvalita napětí v soustavě bude dodržena, ale nedosáhne se optimalizace toků jalového výkonu.

U decentralizované varianty systému získává stanice ASRU (ARN + SRU) vstupní data z řídicího systému rozvodny pilotního uzlu. Pokud se vyskytne problém u vzájemné spolupráce s řídicím systémem dispečinku, přepne se stanice ASRU do lokálního režimu. V takovém režimu provádí potom změnu zadaného napětí operátor na výrobně dle telefonického požadavku dispečera nebo provozního předpisu. Lze tedy regulovat bez řídicího systému dispečinku. V případě vyřazení nebo problémů TRN postačuje pro zajištění provozu ASRU zadání napětí od dispečera nebo operátora na výrobně. U této varianty pracuje systém ASRU s kratší

zpětnou vazbou než u centralizované varianty, kde se zpětná vazba uzavírá přes řídicí systém dispečinku. Oproti centralizované variantě může u této soustavy vytvořený lokální ASRU nahradit kompenzátor nutný pro udržení požadovaného účinníku. Tato varianta je realizována v rámci přenosové sítě (ČEPS).

Varianta bez samostatné stanice ARN není schopná samostatné regulace, a v případě vyřazení nebo poruchy řídicího systému dispečinku se předá řízení operátorům na výrobě. Nelze tedy regulovat bez řídicího systému dispečinku. V případě problémů TRN se systém zablokuje. Tato varianta není vybavena kontrolními mechanismy jako zmíněné předchozí varianty. Má omezenou schopnost minimalizovat technické ztráty v soustavě. Systém je sice schopen s určitou systémovou nepřesností nastavit požadovanou dodávku jalového výkonu, ale do dalšího schváleného výpočtu TRN nereaguje na přechodové děje v soustavě. Má velmi omezenou schopnost minimalizovat kolísání napětí v soustavě a velmi omezenou schopnost spolupráce při eliminaci anomálních stavů v soustavě. Tato varianta má smysl využití u menších výroben s jedním generátorem a kvalitním řídicím systémem zapojeným do distribuční sítě, jejichž provoz nemá zásadní vliv na hladinu napětí v regulované soustavě. Podobný systém je částečně nainstalován v přenosové soustavě v Belgii.

Varianta bez systému ASRU není automatizovaným systémem, takže ji nelze porovnávat s předchozími variantami.

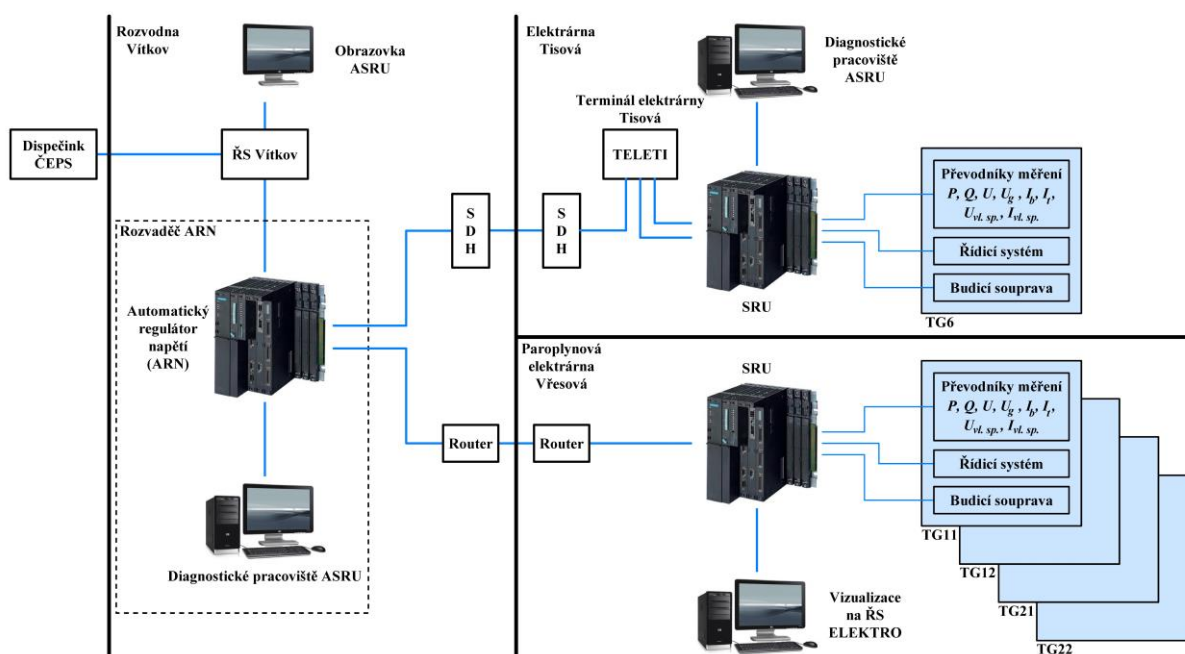
3.3 Automatická regulace napětí a jalového výkonu v pilotním uzlu Vítkov

Prvotním cílem realizace systému ASRU v elektrárně Tisová a paroplynové elektrárny (PPC) Vřesová bylo vytvořit dispečerský nástroj, který by umožňoval udržovat zadané napětí na přípojnicích 220 kV pilotního uzlu transformovny Vítkov změnou dodávky jalového výkonu. Dalšími cíli bylo [16]:

- Průběžně vyhodnocovat činnost primárních regulátorů včetně sledování jejich kývání, které by mělo nepříznivé důsledky na provoz přenosové sítě.
- Eliminovat vzájemné přetahování generátorů pracujících do pilotního uzlu rovnoměrným rozdělením dodávky jalového výkonu mezi tyto generátory.
- Okamžitě upravovat napětí vlastní spotřeby elektrárny do stanovených mezí po jeho vybočení.
- Snížení zátěže pracovníků automatizací regulace napětí a jalového výkonu atd.

Systém ASRU je v pilotním uzlu Vítkov realizován pomocí automatického regulátoru napětí (ARN) a sekundárního regulátoru napětí (SRU). ARN reaguje na odchylku skutečného napětí od zadané hodnoty v pilotním uzlu Vítkov a stanovuje potřebný jalový výkon, který je nutný k její eliminaci. Hodnota požadovaného výkonu je podle aktuální regulační rezervy rozdělena na SRU elektráren Tisová a Vřesová, které poskytují podpůrnou službu „Sekundární regulace U/Q (SRUQ)“. SRU na výrobně rozdělí svůj požadavek podle dané rezervy na jednotlivé sekundární regulátory jalového výkonu (SRQ) generátorů. SRQ generátorů pak generuje velikost impulsu na mechanismus změny zadané hodnoty napětí pro primární regulátor (budicí souprava TG), který změní velikost jalového výkonu. Tato změna vstupuje přes blokový transformátor zpět do soustavy (obr. 2.2).

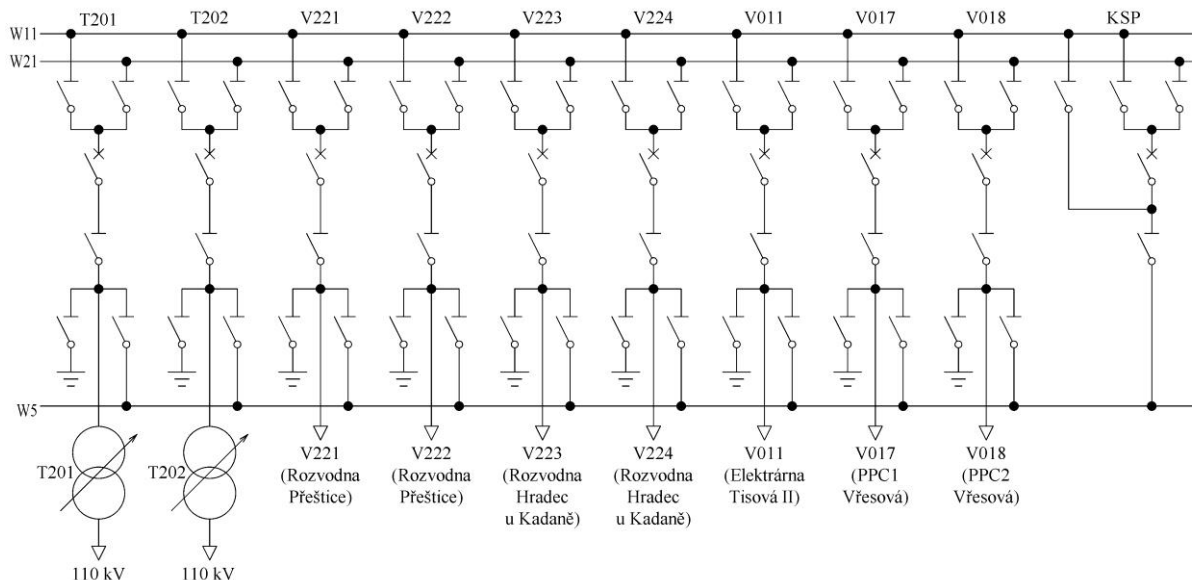
V pilotním uzlu Vítkov je umístěn regulátor ARN (obr. 3.5). Je zde připojen na řídicí systém rozvodny Vítkov. Diagnostické pracoviště systému ASRU je implementováno v rozvaděči ARN. Ovládání ARN je součástí ovládacích obrazovek rozvodny Vítkov. Regulátory SRU jsou v elektrárně Tisová a v paroplynové elektrárně Vřesová. Komunikace mezi ARN a SRU je provedena po linkách Ethernet. Z důvodů otevřenosti HW a SW jsou regulátory ARN a SRU navrženy s nejpoužívanějším PLC v Evropě – Siemens Simatic a na nejnovějším typu S7-400.



Obr. 3.5 Schéma systému ASRU pilotního uzlu Vítkov

3.3.1 Popis zařízení

3.3.1.1 Transformovna Vítkov



Obr. 3.6 Blokové schéma vývodů 220 kV a kombinovaného spínače přípojnic (KSP) v PU Vítkov

Transformovna (rozvodna) Vítkov má pro napětí 220 kV dvě hlavní přípojnice W11 a W21 a pomocnou přípojnicí W5. Příčné spojení obou přípojnic umožňuje kombinovaný spínač přípojnic (KSP). Podélné dělení přípojnic není umožněno (obr. 3.6). Sousedními transformovnami jsou Hradec u Kadaně a Přeštice. [16]

3.2.1.2 Elektrárna Tisová II

Elektrárna Tisová II pro vývod 220 kV má jeden blok s generátorem 125 MVA (TG6). Vývod je vyveden přes blokový transformátor (T51) 242/13,8 kV, 125 MVA bez regulace pod zatížením do transformovny Vítkov vedením V011. Přes odbočkový transformátor (T54) je napájena vlastní spotřeba (R6.11). Blokový i odbočkový transformátor mají regulaci provedenou odbočkami ($\pm 5\% U_N$). [16]

3.3.1.3 Paroplynová elektrárna Vřesová

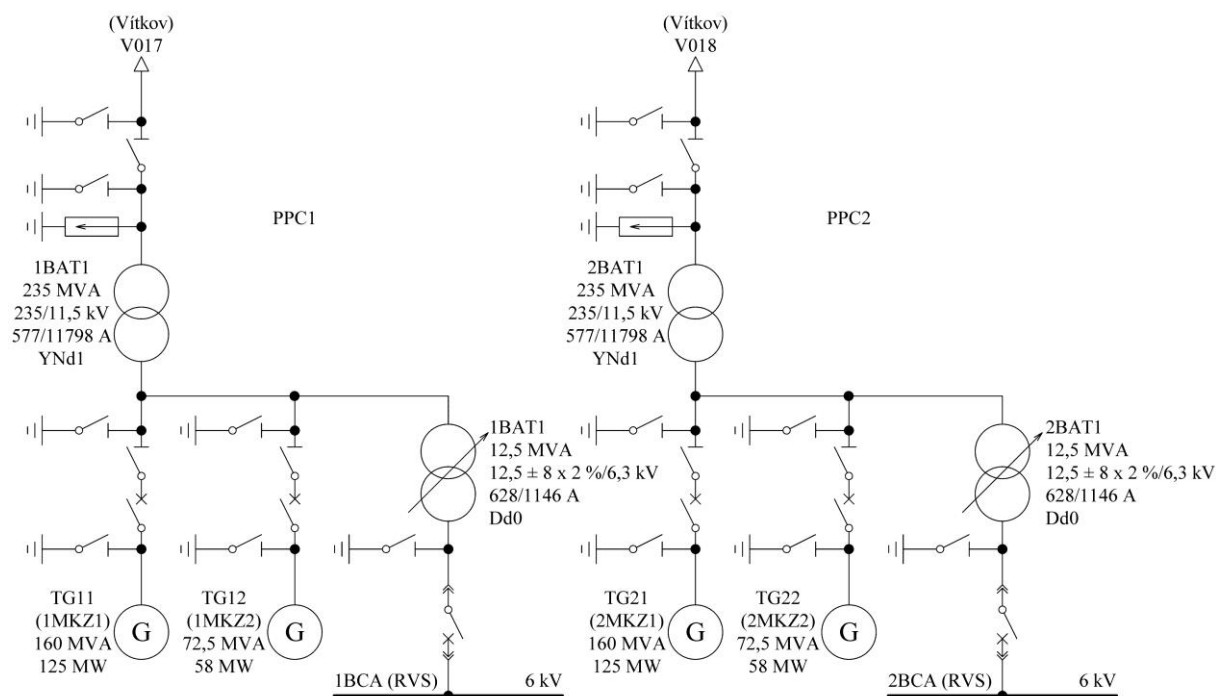
Paroplynová elektrárna (PPC) Vřesová má k dispozici pro napětí 220 kV dva generátory (TG11 a TG12) 160 MVA s plynovou turbínou a dva generátory (TG21 a TG22) 72,5 MVA

s parní turbínou. Generátory jsou rozděleny do dvojbloků (PPC1 a PPC2). Jeden blok má vždy jeden generátor s plynovou turbínou a jeden generátor s parní turbínou. Vývody bloků jsou vyvedeny přes blokové transformátory (1BAT1 a 2BAT2) 235/11,5 kV, 235 MVA bez regulace pod zatížením vedením V017 a V018 do transformovny Vítkov. Vlastní spotřeba bloků paroplynové elektrárny (1BCA a 2BCA) je napájena z odbočkových transformátorů (1BBT1 a 2BBT1) 11,5/6,3 kV, 12,5 MVA s regulací pod zatížením (16 přepínatelných odboček po 2 % U_N). Vlastní spotřeba (6 kV) obou bloků PPC má další možnosti napájení po přerušení napájení z odbočkových transformátorů. Jednou z nich je napájení (záskok) z trojvinutového transformátoru (7BCT1) 110/6,3/6,3 kV, 25/12,5/12,5 MVA s regulací pod zatížením (16 přepínatelných odboček po 2 % U_N), který je napojen z rozvodny R1 (110 kV). Nouzově (záložní napájení) je možné vlastní spotřebu obou bloků napájet z distribuční rozvodny R9.1 (6 kV) sousední elektrárny (Teplárna).

Zapojení generátorů do dvojbloku a následné vyvedení výkonu je ekonomicky výhodné, ale pro činnost systému ASRU nejméně vhodné. Při tomto zapojení dvou rozdílných generátorů dochází ke vzájemnému ovlivňování. Při dodávce jalového výkonu cca 60 až 70 % změny dodávky jalového výkonu jednoho generátoru kompenzuje změna generátoru druhého a teprve rozdíl se objevuje na vývodu bloku. Tento stav se nezmění ani při optimálním nastavení statistik generátorů. Buzení pouze jednoho ze strojů nemá praktický význam a ani se neprovádí (ve vztahu na cílenou změnu napěťových poměrů ve Vítkově). Bylo třeba navrhnout koordinovanou regulaci obou generátorů, a to i v případech, kdy z hlediska plnění kritéria poměrného čerpání rezervy toto nebylo potřeba. Je tedy nutné oba generátory povelovat současně a neprovádět regulaci v případě, že jeden stroj je do systému ASRU zařazen a druhý nikoliv (například z důvodu zkoušek atd.).

3.3.2 Testování sekundární regulace U/Q generátoru TG12 PPC Vřesová

Pro ukázkou jsem vybral testování skutečného rozsahu jalového výkonu generátoru TG12 (parní turbína), který je součástí dvojbloku PPC2 Vřesová s generátorem TG11 (plynová turbína). Důvodem mého výběru bylo to, že pracuji v paroplynové elektrárně Vřesová a na testování jsem se podílel. Měření bylo součástí testu (Sekundární regulace U/Q – SRUQ), kterým se ověřilo plnění požadavků nabízené podpůrné služby (PpS). Pro udělení certifikátu je nutné regulační rozsah generátoru ověřit pěti testy, které jsou dány Kodexem přenosové soustavy. Zjednodušené schéma zapojení generátorů TG11 a TG12 (PPC 1) je na *obr. 3.7*.



Obr. 3.7 Zjednodušené schéma zapojení generátorů paroplynové elektrárny Vřesová

3.3.2.1 Požadavky ČEPS na poskytovatele podpůrné služby Sekundární regulace U/Q

Certifikovaná podpůrná služba „Sekundární regulace U/Q (SRUQ)“ bloku musí mít tyto vlastnosti [14]:

1. Zapínání a vypínání bloku do ASRU z místa obsluhy bloku nebo centrálního elektrovelínu.
2. Přenos (obousměrný) vybraných veličin a binárních signálů na rozvodnu pilotního uzlu.
3. Přenos (obousměrný) vybraných veličin a binárních signálů na dispečink ČEPS, je-li systém ASRU instalován v elektrárně.
4. Schopnost generátoru dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníků $\cos \varphi = 0,85$ (dodávka jalového výkonu, chod generátoru v přebuzeném stavu) a $\cos \varphi = 0,95$ (odběr jalového výkonu, chod generátoru v podbuzeném stavu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru $\pm 5 \% U_n$. Kontrola podle typových hodnot, štítkových hodnot generátoru.
5. Srovnání měřených hodnot použitých pro automatickou regulaci napětí (ARN), podpůrnou službu (PpS), řídicí systém bloku a hodnot certifikačního měření. Certifikační vypracuje srovnávací tabulku hodnot použitých veličin Q_g a U_g s veličinou měřenou externím

měřidlem pracujícím s třídou přesnosti min. 0,2. Srovnání se provede za stejných podmínek pro všechny případy. Maximální vzájemný rozdíl je $Q_g \leq 2 \% P_n$, $U_g \leq 1 \% U_n$. Certifikátor vydá upozornění písemně v případě nesplnění tohoto kritéria.

Podpůrnou službu „Sekundární regulace U/Q (SRUQ)“ mohou poskytovat provozovatelé elektrárenských bloků s výkonem 50 MW a více, které jsou připojeny do přenosové soustavy. Provozovatelé musí splňovat podmínky Kodexu PS. Dalšími kritérii poskytování podpůrné služby je regulační rozsah jalového výkonu, dostupnost a lokalita zdroje. [6]

Dostupnost je doba, po kterou generátor reguluje v rámci automatické sekundární regulace napětí při využití celého smluvně dohodnutého (certifikovaného) rozsahu jalového výkonu a zároveň spolupracuje s prostředky terciární regulace napětí a jalového výkonu.

Konkrétní parametry této podpůrné služby jsou smluvně dohodnuty mezi provozovatelem a ČEPS na základě provedeného měření. [17]

Ke zkouškám jsem zjistil, že cílem certifikačního měření je ověření schopnosti elektrárenského bloku připojeného do přenosové soustavy poskytovat podpůrnou službu. Není cílem detailně změřit jeho chování. Testy ale musí zachytit a ověřit vlastnosti a parametry, které jsou podmínkou pro poskytování podpůrné služby. [17]

Ze zkoušek jsem zjistil, že vybraný generátor TG12, který je součástí elektrárenského bloku (PPC1) tohoto generátoru, splňuje výše uvedené požadavky. Provozovatel může tedy požádat certifikátora, resp. certifikační organizaci o certifikační otestování vybraného elektrárenského bloku a následné vydání certifikátu platného po dobu čtyř roků.

Před provedením testů certifikační organizace provádí přípravu certifikačního měření. Jsou dohodnuty mezi provozovatelem testovaného bloku a provozovatelem PS (ČEPS) všechny časové a věcné údaje, které jsou pro certifikaci nutné.

Certifikační měření obsahuje pět testů:

- Test při vyjmutí bloku ze systému ASRU (TEST SRUQ-OFF)
- Test při zařazení bloku do systému ASRU (TEST SRUQ-ON)
- Test bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu (TEST SRUQ- ΔU -blok)
- Test ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu (TEST SRUQ- ΔU -ASRU)
- Test ASRU při změně ve vnější síti (TEST SRUQ-sít')

3.3.2.2 „Test při vyjmutí bloku ze systému ASRU“

Prvním testem je „Test při vyjmutí bloku ze systému ASRU“, kdy se zjišťuje, zda je blok schopen dodávat jalový výkon v základním požadovaném regulačním rozsahu jalového výkonu stanoveným Kodexem přenosové soustavy (PS) a stanovuje se regulační rozsah jalového výkonu. V dané lokalitě přenosové soustavy může být potřeba regulačního výkonu odlišná, takže základní regulační rozsah jalového výkonu může být modifikován, resp. zúžen nebo rozšířen. Příčinou modifikace mohou být i zvláštní technologické důvody. „Test při vyjmutí bloku ze systému ASRU“ probíhá tak, že při nastavené úrovni napětí v pilotním uzlu operátor z elektrovelína zahájí měření rozsahu jalového výkonu. Operátor plynule mění velikost jalového výkonu v přebuzeném nebo podbuzeném směru, dokud se nenalezne mezní hodnota, při které dojde k vyčerpání regulačního rozsahu jalového výkonu nebo k překročení omezujících podmínek daných technologií včetně místních řídicích systémů nebo místními provozními předpisy. Testovaný blok musí při těchto mezních hodnotách pracovat trvale.

a) Počáteční podmínky „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“

Kodex PS určuje při testování podmínky, které jsou uvedeny v tabulce 3.1. V případě testování mnou vybraného generátoru TG12 paroplynové elektrárny Vřesová je ostatními elektrárnami pracujícími do stejného pilotního uzlu myšlena pouze elektrárna Tisová II s generátorem TG6. Pilotním uzlem je transformovna Vítkov. Blokování hladinových regulátorů se týkalo transformátorů T201 a T202 (220/110 kV) v pilotním uzlu rozvodny Vítkov.

Další podmínkou je to, že testovaný blok je při měření ve zcela normálním provozu sfázován s přenosovou soustavou. U bloků bez hladinové regulace transformátoru (HRT) pod zatížením na transformátoru vlastní spotřeby se v průběhu zkoušky nebude přepínat odbočka. Poslední uvedená podmínka v případě testování vybraného generátoru TG12 není nutná, neboť odbočkový transformátor pro napájení vlastní spotřeby je vybaven hladinovým regulátorem napětí.

Tab. 3.1 Počáteční podmínky provozu bloku při „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“ dané Kodexem PS [17]

Testovaná elektrárna pracující do pilotního uzlu	Blok zařazen do systému ASRU	Ne
	Ostatní bloky zařazené do systému ASRU	Dle plánovaného provozu
	Primární regulace f a P testovaného bloku	Může být zapnuta
	Primární regulace f a P ostatních bloků	Zapnutá
	Sekundární regulace P testovaného bloku	Vypnutá
	Sekundární regulace P ostatních bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
	Činný výkon testovaného bloku	Ustálen na příslušné hladině výkonu
Netestované elektrárny pracující do stejného pilotního uzlu jako testovaná elektrárna	Elektrárny zařazené do systému ASRU	Dle plánovaného provozu
	Primární regulace f a P bloků	Může být zapnuta
	Sekundární regulace P netestovaných bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
Systém ASRU pro pilotní uzel		Aktivní
HRT na transformátoru PS/DS v pilotním uzlu		Blokován

b) Měřené veličiny a přesnost při „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“

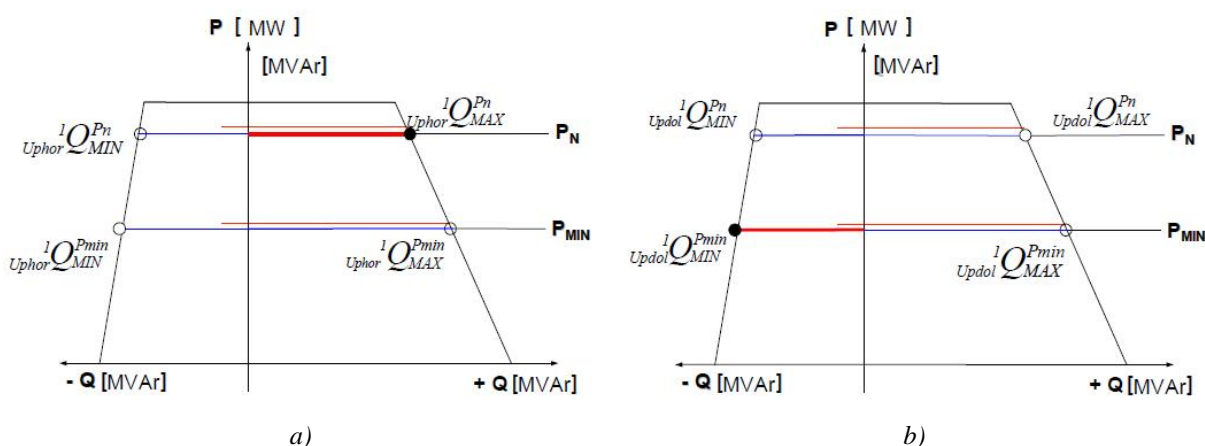
Pro vlastní měření bylo nutné dodržet pravidla, která stanovuje Kodex PS. Veličiny, které se mají měřit, jsou uvedeny v tabulce 3.2. Všechny naměřené veličiny se zaznamenávají při dosažení omezující podmínky.

Tab. 3.2 Měřené veličiny a přesnost měření při „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“ dané Kodexem PS [17]

Měřená veličina	Přesnost převodníku (resp. převodníku + čidla)	Poznámka
Jalový výkon bloku Q (MVar)	max. třída přesnosti 0,5, časová konstanta převodníku max. 0,5 s	
Napětí v pilotním uzlu U_p (kV)	max. třída přesnosti 0,5, časová konstanta převodníku max. 0,5 s	Povolené meze napětí (400 kV \pm 5 %, 220 kV \pm 10 %)
Napětí na svorkách generátoru U_g (kV)		
Napětí na přípojnici vlastní spotřeby U_{VS} (kV)		
Činný výkon na přípojnici vlastní spotřeby P_{VS} (MW)	max. třída přesnosti 1, časová konstanta převodníku max. 1 s	
Jalový výkon na přípojnici vlastní spotřeby Q_{VS} (MVar)		

c) Vlastní měření „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“

Měření regulačního rozsahu jalového výkonu testovaného bloku při „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“ se dle Kodexu PS provádí na hladině jmenovitého činného výkonu generátoru P_n a minimálního výkonu generátoru P_{min} . Na obou hladinách činného výkonu se provádí měření na horní hladině napětí U_{phor} a dolní hladině napětí U_{pdol} (obr. 3.8). Obě hladiny napětí určuje provozovatel přenosové soustavy. Obě hladiny by se měly lišit o více jak 1 % U_n . Test, který jsem si vybral, zahrnuje čtyři měření.



Obr. 3.8 Naměřené hodnoty PQ diagramu bloku při a) U_{phor} , b) U_{pdol} [17]

Zadané hodnoty prvního testu generátoru TG12 byly tyto:

$$P_n = 58 \text{ MW}, P_{min} = 23 \text{ MW}, U_{phor} = 239 \text{ kV} \text{ a } U_{pdol} = 236 \text{ kV}.$$

Před měřením jsem vypočítal hodnoty mezních jalových výkonů s uvažováním rezervy 2,5 % P_n vybraného generátoru TG12 (viz obr. 3.9):

a) v oblasti přebuzení:

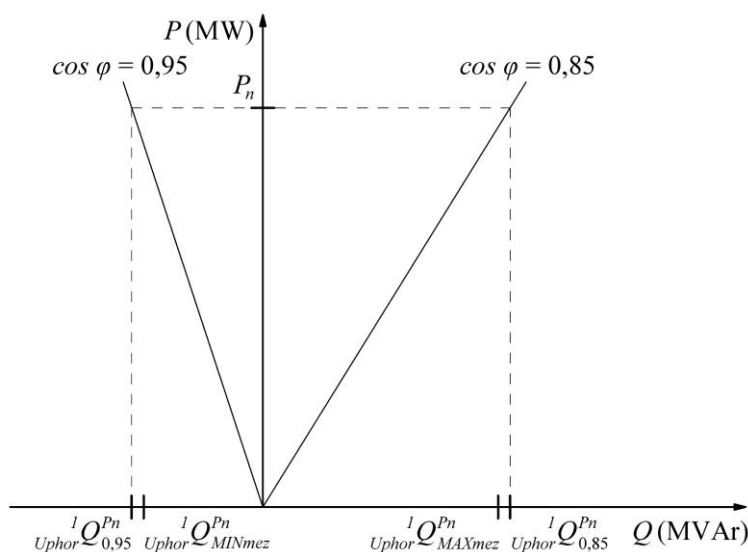
$$U_{phor} Q_{0,85}^{P_n} = P_n \operatorname{tg}(\arccos(0,85)) = 58 \cdot 0,62 = 36 \text{ MVar} \quad (3.2)$$

$$U_{phor} Q_{MAXmez}^{P_n} = U_{phor} Q_{0,85}^{P_n} - 0,025 P_n = 36 - 0,025 \cdot 58 = 34,6 \text{ MVar} \quad (3.3)$$

b) v oblasti podbuzení:

$$U_{phor} Q_{0,95}^{P_n} = P_n \operatorname{tg}(\arccos(0,95)) = -58 \cdot 0,329 = -19,0 \text{ MVar} \quad (3.4)$$

$$U_{phor} Q_{MINmez}^{P_n} = U_{phor} Q_{0,95}^{P_n} + 0,025 P_n = -19,0 + 0,025 \cdot 58 = -17,6 \text{ MVar} \quad (3.5)$$



Obr. 3.9 Vypočítané mezní hodnoty jalového výkonu ${}^1Q_{Uphor}^{Pn_MAXmez}$ a ${}^1Q_{Uphor}^{Pn_MINmez}$ [17]

Kodex PS při tomto testu zmiňuje čtyři požadavky, které cituji v přesném znění [17]:

1. Požadavek (SRUQ) – A:

Během měření nesmějí parametry technologických veličin bloku (tlaky, teploty, namáhání, napětí, proudy atd.) přestoupit meze dovolené provozními předpisy pro bezpečný provoz zařízení. Nesmí dojít k působení omezovačů (kromě přídatných automatik primárního regulátoru buzení) nebo ochran, které by měly za následek přerušení zkoušky nebo provozu bloku.

2. Požadavek (SRUQ) – A1:

Naměřené a vypočítané hodnoty musí odpovídat vztahu:

$${}^1Q_{Uphor}^{Pn_MAX} > {}^1Q_{Uphor}^{Pn_MAXmez} \quad \text{a} \quad {}^1Q_{Uphor}^{Pn_MIN} < {}^1Q_{Uphor}^{Pn_MINmez}$$

V případě, že tento vztah není splněn, je nutné uvést důvody ve zprávě o měření (SRUQ). Pokud jsou důvody nesplnění podmínky (SRUQ) – A1 akceptovatelné, potom nesplnění podmínky lze tolerovat bez negativního vlivu na výsledek prováděné certifikace bloku.

d) Vyhodnocení

Výsledky měření podle počátečních podmínek (viz tab. 3.1) jsem uvedl v tabulce 3.3 a z nich vyplývá, že požadavek (SRUQ) – A byl splněn. Druhý požadavek (SRUQ) – A1 splněn nebyl, neboť naměřená mezní hodnota v oblasti přebuzení není větší než mezní hodnota vypočítaná a naměřená hodnota v oblasti podbuzení není menší než hodnota vypočítaná:

$30 < 34,6$ a $-17,6 < -10$.

Důvodem bylo při testu omezení řídicím systémem testovaného bloku. Z výsledku měření a po mé úvaze uvádím, že zapojení testovaného generátoru TG12 do dvojbloku s generátorem TG11 může ovlivnit hodnoty dosažených mezí, zvláště v případě, že omezující podmínkou je napětí na svorkách generátoru U_g .

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty měření „Testu při vyjmutí bloku ze systému ASRU“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Podmínka dosažení mezní hodnoty jalového výkonu
${}^1_{Uphor}Q_{MAX}^{Pn}$	30 MVar	Dosažení meze napětí generátoru (12,02 kV)
${}^1_{Uphor}Q_{MIN}^{Pn}$	-10 MVar	Působení hlídače meze podbuzení
${}^1_{Uphor}Q_{MAX}^{Pmin}$	15 MVar	Dosažení meze napětí generátoru (12,02 kV)
${}^1_{Uphor}Q_{MIN}^{Pmin}$	-19 MVar	Působení hlídače meze podbuzení
${}^1_{Updol}Q_{MAX}^{Pn}$	53 MVar	Dosažení meze budicího proudu (667 A)
${}^1_{Updol}Q_{MIN}^{Pn}$	-13 MVar	Dosažení meze proudu statoru (3635 A)
${}^1_{Updol}Q_{MAX}^{Pmin}$	54 MVar	Dosažení meze jalového výkonu v ŘS (50 MVar)
${}^1_{Updol}Q_{MIN}^{Pmin}$	-19 MVar	Dosažení meze jalového výkonu v ŘS (-18 MVar)

3.3.2.3 „Test při zařazení bloku do systému ASRU“

Druhým testem je „Test při zařazení bloku do systému ASRU“. Cílem tohoto testu je stanovit skutečný regulovaný rozsah jalového výkonu daného bloku pro certifikaci nabízené podpůrné služby „Sekundární regulace U/Q (SRUQ)“ pro účely kvantitativního ohodnocení. Při testování daný blok reaguje prostřednictvím svého SRQ na odchylky jalového výkonu způsobených ostatními bloky nebo bloky ostatních elektráren pracujících do stejného pilotního uzlu. Testovaný blok automaticky vyrovná tyto vzniklé odchylky. Za mezní hodnotu se považuje hodnota jalového výkonu, při které dojde k vyčerpání regulačního rozsahu jalového výkonu nebo k překročení omezujících podmínek daných technologií včetně místních řídicích systémů, místními provozními předpisy a nastavených mezí v systému ASRU.

a) Počáteční podmínky „Testu při zařazení bloku do systému ASRU“

Podmínkou je, že testovaný blok je zařazen do systému ASRU, resp. regulační meze nastavené v rámci systému ASRU jsou pro testovaný blok aktivní. Při tomto testu je nutná spolupráce s ostatními zdroji jalového výkonu buď v rámci elektrárny s testovaným blokem, nebo

i ostatních elektráren vyvedených do stejného pilotního uzlu. Počáteční podmínky pro tento test jsou uvedeny v tabulce 3.4. Ostatními elektrárnami pracujícími do stejného pilotního uzlu a pilotním uzlem jsou myšleny jako v případě prvního testu elektrárna Tisová II a transformovna Vítkov. Blokování hladinových regulátorů se týká stejných transformátorů jako u prvního testu.

Tab. 3.4 Počáteční podmínky provozu bloku při prvním „Testu při zařazení bloku do systému ASRU“ dané Kodexem PS [17]

Testovaná elektrárna pracující do pilotního uzlu	Blok zařazen do systému ASRU	Ano
	Ostatní bloky zařazené do systému ASRU	Ne
	Primární regulace f a P testovaného bloku	Může být zapnuta
	Primární regulace f a P ostatních bloků	Zapnutá
	Sekundární regulace P testovaného bloku	Vypnutá
	Sekundární regulace P ostatních bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
	Činný výkon testovaného bloku	Ustálen na příslušné hladině výkonu
Netestované elektrárny pracující do stejného pilotního uzlu jako testovaná elektrárna	Elektrárny zařazené do systému ASRU	Ne
	Primární regulace f a P bloků	Může být zapnuta
	Sekundární regulace P netestovaných bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
Systém ASRU pro pilotní uzel		Aktivní
HRT na transformátoru PS/DS v pilotním uzlu		Blokován

I při tomto testu je testovaný blok v normálním provozu a sfázován s přenosovou soustavou. Pokud blok nemá odbočkový transformátor vybavený hladinovým regulátorem transformátoru (HRT), nepřepíná se odbočka.

b) Měřené veličiny a přesnost při „Testu při zařazení bloku do systému ASRU“

Veličiny, které se mají měřit, a jejich přesnost podle Kodexu PS byly shodné jako u prvního testu, a proto je zde již neuvádím (viz tab. 3.2).

c) Vlastní měření „Testu při zařazení bloku do systému ASRU“

U tohoto testu uvádím, že se rovněž provádí čtyři měření jako u prvního testu. Měří se na hladině jmenovitého činného výkonu generátoru P_n a minimálního výkonu generátoru P_{min} . Na obou hladinách činného výkonu se provádí měření, a to na horní hladině napětí U_{phor} a dolní hladině napětí U_{pdol} . Obě hladiny napětí určuje provozovatel přenosové soustavy. Obě hladiny by se měly lišit o více jak 1 % U_n .

Test probíhá tak, že operátoři bloků vyjmutých z ASRU plynule a koordinovaně mění hodnotu jalového výkonu do směru oblasti přebuzení nebo oblasti podbuzení. Takto vzniklou disproporci jalového výkonu by měl automaticky vyrovnat testovaný blok až do výše svého regulačního rozsahu. Pokud je hodnota jalového výkonu testovaného bloku blízká mezní hodnotě, lze malé změny jalového výkonu dosáhnout i malou změnou zadané hodnoty U_{pzad} .

Zadané hodnoty druhého testu generátoru TG12 byly tyto:

$$P_n = 58 \text{ MW}, P_{min} = 23 \text{ MW}, U_{phor} = 239 \text{ kV} \text{ a } U_{pdol} = 236 \text{ kV}.$$

Kodex PS při tomto testu zmiňuje čtyři požadavky, které cituji v přesném znění [17]:

1. Požadavek (SRUQ) – B:

Během měření nesmějí parametry technologických veličin bloku (tlaky, teploty, namáhání, napětí, proudy atd.) přestoupit meze dovolené provozními předpisy pro bezpečný provoz zařízení. Nesmí dojít k působení omezovačů (kromě přídavných automatik primárního regulátoru buzení) nebo ochran, které by měly za následek přerušení zkoušky nebo provozu bloku.

2. Požadavek (SRUQ) – C:

Musí platit:

$$| {}^2_{U_{phor}} Q_{MAX}^{P_n} - {}^1_{U_{phor}} Q_{MAX}^{P_n} | \leq 10 \text{ MVar.} \quad (3.6)$$

3. Požadavek (SRUQ) – D:

Musí platit:

$$| {}^2_{U_{pdol}} Q_{MIN}^{P_n} - {}^1_{U_{pdol}} Q_{MIN}^{P_n} | \leq 10 \text{ MVar.} \quad (3.7)$$

4. Požadavek (SRUQ) – E:

Musí platit:

$$| {}^2_{U_{pdol}} Q_{MIN}^{P_{min}} - {}^1_{U_{pdol}} Q_{MIN}^{P_{min}} | \leq 10 \text{ MVar.} \quad (3.8)$$

Pokud se při realizaci testu prokáže, že některý z uvedených požadavků C až E není splněn, je nutné provést analýzu neplnění a příčiny uvést ve zprávě z měření. Nesplnění podmínek způsobené objektivními příčinami lze tolerovat bez negativního vlivu na prováděnou certifikaci.

d) Vyhodnocení

Mé vyhodnocení příslušného testu je následující a shrnul jsem ho do tabulky 3.5.

Tab. 3.5 Naměřené hodnoty měření „Testu při zařazení bloku do systému ASRU“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Podmínka dosažení mezní hodnoty jalového výkonu
${}^2_{Uphor}Q_{MAX}^{Pn}$	29 MVar	Dosažení meze jalového výkonu bloku (26 MVar)
${}^2_{Uphor}Q_{MIN}^{Pn}$	-10 MVar	Dosažení meze jalového výkonu bloku (-10 MVar)
${}^2_{Uphor}Q_{MAX}^{Pmin}$	50 MVar	Dosažení meze napětí generátoru (12,02 kV)
${}^2_{Uphor}Q_{MIN}^{Pmin}$	-18 MVar	Dosažení meze jalového výkonu bloku (-18 MVar)
${}^2_{Updol}Q_{MAX}^{Pn}$	28 MVar	Dosažení meze jalového výkonu bloku (26 MVar)
${}^2_{Updol}Q_{MIN}^{Pn}$	-13 MVar	Dosažení meze jalového výkonu bloku (-10 MVar)
${}^2_{Updol}Q_{MAX}^{Pmin}$	50 MVar	Dosažení meze jalového výkonu v ŘS (50 MVar)
${}^2_{Updol}Q_{MIN}^{Pmin}$	-19 MVar	Dosažení meze jalového výkonu v ŘS (-18 MVar)

První požadavek (SRUQ) – B byl splněn. Další požadavky jsem vyhodnotil podle výpočtů hodnot z prvního testu a z druhého testu:

$$|{}^2_{Uphor}Q_{MAX}^{Pn} - {}^1_{Uphor}Q_{MAX}^{Pn}| = 29 - 30 = 1, \quad (3.9)$$

tím byl požadavek (SRUQ) – C splněn,

$$|{}^2_{Updol}Q_{MIN}^{Pn} - {}^1_{Updol}Q_{MIN}^{Pn}| = -13 - (-13) = 0, \quad (3.10)$$

tím byl požadavek (SRUQ) – D splněn,

$$|{}^2_{Updol}Q_{MIN}^{Pmin} - {}^1_{Updol}Q_{MIN}^{Pmin}| = -19 - (-19) = 0, \quad (3.11)$$

tím byl požadavek (SRUQ) – E splněn.

Výraznější rozdíl mezi hodnotami ${}_{U_{phor}}^1 Q_{MAX}^{P \min} = 15 \text{ MVAr}$ a ${}_{U_{phor}}^2 Q_{MAX}^{P \min} = 50 \text{ MVAr}$ byl způsoben ovlivněním hodnotou jalového výkonu druhého generátoru (TG11) dvojbloku.

3.3.2.4 „Test bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Třetí test je „Test bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“. Při tomto testu se zjišťuje, jak rychle a přesně reaguje daný blok na danou změnu napětí v pilotním uzlu. Test probíhá tak, že zadané napětí v pilotním uzlu skokově přechází z původní hodnoty na novou hodnotu a zpět na původní hodnotu. Daný blok na tyto skokové změny napětí musí reagovat změnou regulace dodávky jalového výkonu v rámci svého regulačního rozsahu.

a) Počáteční podmínky „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

U tohoto testu je rovněž podmínkou, aby byl testovaný blok zařazen do systému ASRU, resp. regulační meze nastavené v rámci systému ASRU jsou pro testovaný blok aktivní. Počáteční podmínky pro tento test jsem uvedl v tabulce 3.6.

Tab. 3.6 Počáteční podmínky provozu bloku při „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ dané Kodexem PS [17]

Testovaná elektrárna pracující do pilotního uzlu	Blok zařazen do systému ASRU	Ano
	Ostatní bloky zařazené do systému ASRU	Ne
	Primární regulace f a P testovaného bloku	Může být zapnuta
	Primární regulace f a P ostatních bloků	Zapnutá
	Sekundární regulace P testovaného bloku	Vypnutá
	Sekundární regulace P ostatních bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
	Činný výkon testovaného bloku	Ustálen na příslušné hladině výkonu
Netestované elektrárny pracující do stejného pilotního uzlu jako testovaná elektrárna	Elektrárny zařazené do systému ASRU	Ne
	Primární regulace f a P bloků	Může být zapnuta
	Sekundární regulace P netestovaných bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
Systém ASRU pro pilotní uzel		Aktivní
HRT na transformátoru PS/DS v pilotním uzlu		Blokován

Ostatními elektrárnami pracujícími do stejného pilotního uzlu a pilotním uzlem jsou myšleny, tak jako v případě prvního a druhého testu, elektrárna Tisová II a transformovna Vítkov. Blokování hladinových regulátorů se týká stejných transformátorů jako u prvního a druhého testu. I při tomto testu je testovaný blok v normálním provozu a sfázován s přenosovou soustavou. Pokud blok nemá odbočkový transformátor vybavený hladinovým regulátorem transformátoru (HRT), nepřepíná se odbočka.

b) Měřené veličiny a přesnost při „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Veličiny, které se mají měřit, a jejich přesnost jsou shodné jako u prvního a druhého testu. Měřené veličiny a jejich přesnost rovněž stanovuje Kodex PS. Veličiny, které se mají měřit, jsou uvedeny v tabulce 3.6.

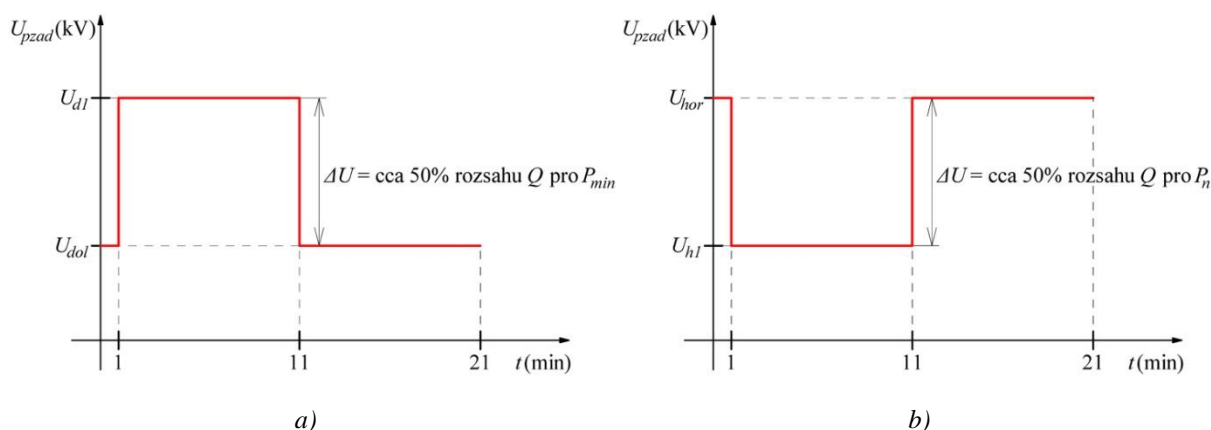
Tab. 3.6 Měřené veličiny a přesnost měření při „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ dané Kodexem PS [17]

Měřená veličina	Přesnost převodníku (resp. převodníku + čidla)	Periodicita	Poznámka
Jalový výkon bloku Q (MVar)	max. třída přesnosti 0,5, časová konstanta převodníku max. 0,5 s	$T_p \leq 1$ s	
Napětí v pilotním uzlu U_p (kV)	max. třída přesnosti 0,5, časová konstanta převodníku max. 0,5 s		Povolené meze napětí (400 kV \pm 5 %, 220 kV \pm 10 %)
Napětí na svorkách generátoru U_g (kV)			
Napětí na přípojnici vlastní spotřeby U_{VS} (kV)			
Činný výkon na přípojnici vlastní spotřeby P_{VS} (MW)			
Jalový výkon na přípojnici vlastní spotřeby Q_{VS} (MVar)	max. třída přesnosti 1, časová konstanta převodníku max. 1 s		

c) Vlastní měření při „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

U tohoto testu se prováděla dvě měření, kterých jsem se zúčastnil. První měření se provádí při minimální hladině činného výkonu testovaného bloku P_{min} , v oblasti podbuzení a dolní hladině napětí v pilotním uzlu U_{dol} , která je pro toto měření doporučena dispečinkem ČEPS. Zahájí se měření a po uplynutí jedné minuty operátor provede skokové zvýšení zadaného napětí v pilotním uzlu U_{pzd} tak, aby tato změna vyvolala u měřeného bloku zvýšení jalového výkonu o cca 50 % rozsahu jalového výkonu pro hladinu minimálního činného výkonu. Po

deseti minutách operátor vrátí zadané napětí na původní výchozí hodnotu U_{hor} . Druhé měření probíhá naopak v oblasti přebuzení, při jmenovitém činném výkonu P_n a při hodnotě horní hladiny napětí v pilotním uzlu U_{hor} , která se rovněž předem domluví s dispečinkem ČEPS. Při tomto měření naopak po jedné minutě od zahájení měření operátor provede skokové snížení zadaného napětí v pilotním uzlu tak, aby tato změna vyvolala u měřeného bloku snížení jalového výkonu o cca 50 % rozsahu jalového výkonu pro hladinu minimálního činného výkonu. Po deseti minutách operátor vrátí zadané napětí v pilotním uzlu na původní výchozí hodnotu U_{dol} (obr. 3.10).



Obr. 3.10 Zadané napětí v pilotním uzlu a) při podbuzení, b) při přebuzení [17]

Zadané hodnoty pro měření č. 1 generátoru TG12 byly tyto:

$P_{min} = 23 \text{ MW}$, $U_{dol} = 236 \text{ kV}$, $U_{d1} = 238 \text{ kV}$.

Zadané hodnoty pro měření č. 2 generátoru TG12 byly tyto:

$P_n = 58 \text{ MW}$, $U_{hor} = 239 \text{ kV}$, $U_{hl} = 237 \text{ kV}$.

Kodex PS při tomto testu zmiňuje čtyři požadavky, které cituji v přesném znění [12]:

1. Požadavek (SRUQ) – F:

Během měření nesmějí parametry technologických veličin bloku (tlaky, teploty, namáhání, napětí, proudy atd.) přestoupit meze dovolené provozními předpisy pro bezpečný provoz zařízení. Nesmí dojít k působení omezovačů (kromě přídavných automatik primárního regulátoru buzení) nebo ochran, které by měly za následek přerušování zkoušky nebo provozu bloku.

2. Požadavek (SRUQ) – G:

Regulační proces musí být aperiodický nebo maximálně s jedním překmitem. Musí platit, že doba regulace při skokové změně směrem nahoru $t_{reg+} \leq 2$ minuty a doba regulace při skokové změně směrem dolů $t_{reg-} \leq 2$ minuty.

3. Požadavek (SRUQ) – H:

Regulační proces všech bloků certifikované elektrárny musí být podobný. Doba regulačního procesu jednotlivých bloků se nesmí lišit o více než 60 s.

4. Požadavek (SRUQ) – I:

Regulační proces všech bloků elektráren, které jsou vyvedeny do jednoho pilotního uzlu a pracují pod jedním ARN, by měl být podobný. Doba regulačního procesu jednotlivých bloků by se neměla lišit o více než cca 60 s.

Předpokladem plnění a případné analýzy neplnění požadavku (SRUQ) – I je znalost výsledků certifikace „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ všech bloků pracujících do jednoho pilotního uzlu. Nesplněný požadavek (SRUQ) – I jde nad rámec prováděné certifikace a nemá vliv na její výsledky. Jeho neplnění však musí být analyzováno ve zprávě o měření (PpS) s uvedením předpokládané příčiny nesplnění.

d) Vyhodnocení

Výsledky měření testu jsem vyhodnotil a shrnul v tabulkách 3.7 a 3.8.

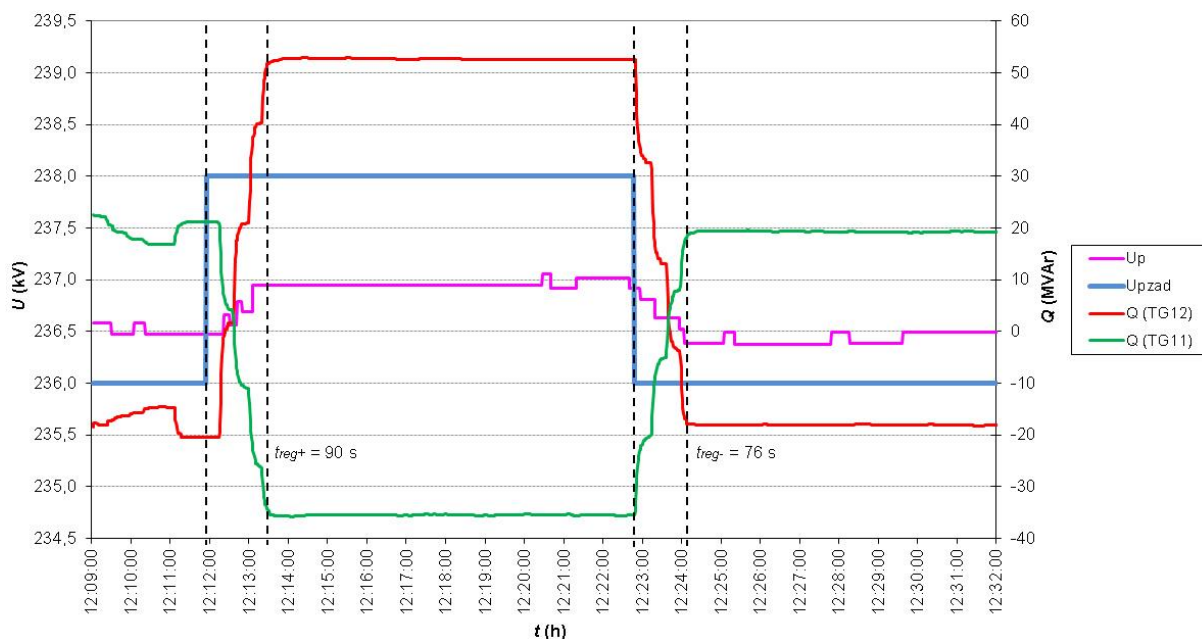
Tab. 3.7 Naměřené hodnoty měření č. 1 „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Poznámka
t_{reg+}	90 s	Změna z hladiny napětí $U_{dol} = 236$ kV do hladiny napětí $U_{dl} = 238$ kV
t_{reg-}	76 s	Změna z hladiny napětí $U_{dl} = 238$ kV do hladiny napětí $U_{dol} = 236$ kV

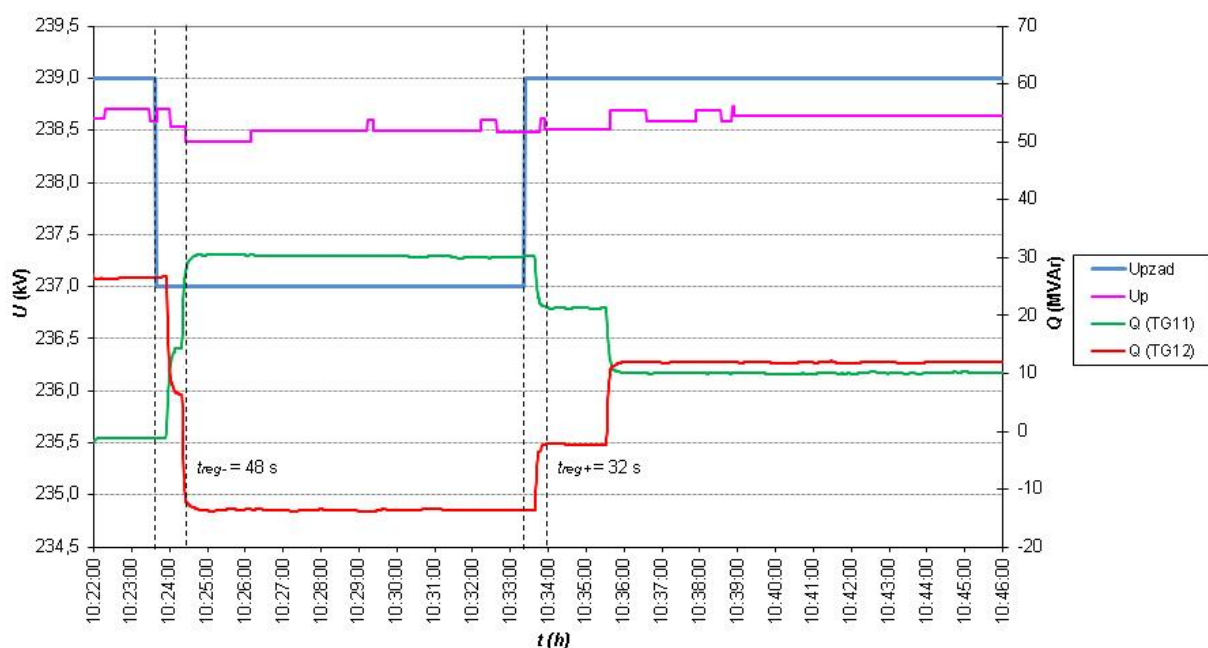
Tab. 3.8 Naměřené hodnoty měření č. 2 „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Poznámka
t_{reg-}	48 s	Změna z hladiny napětí $U_{hor} = 239$ kV do hladiny napětí $U_{hl} = 237$ kV
t_{reg+}	32 s	Změna z hladiny napětí $U_{hl} = 237$ kV do hladiny napětí $U_{hor} = 238$ kV

Podle Kodexu PS se pro tato měření sestavuje graf a určují se doby regulace při skokové změně směrem nahoru t_{reg+} a směrem dolů t_{reg-} od okamžiku změny zadaného napětí U_{pzd} do okamžiku, kdy se velikost napětí v pilotním uzlu U_p ustálí v tolerančním pásmu. Pro pilotní uzel Vítkov je toleranční pásmo $\pm 0,5$ kV. Graf měření č. 1 je na obr. 3.11 a graf měření č. 2 je na obr. 3.12.



Obr. 3.11 Graf měření č. 1 „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“



Obr. 3.12 Graf měření č. 2 „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Z výstupů a grafického znázornění mi vyšlo, že požadavky (SRUQ) – F, (SRUQ) – G, (SRUQ) – H byly splněny. U měření č. 2 nebyl splněn požadavek (SRUQ) – H. Požadavek (SRUQ) – I nebyl splněn u obou měření. Při testu se vyhodnotilo, že blok vyhovuje požadavku testu. Dostatečně rychle a přesně plní požadavky ASRU. V uvedených časech není eliminována odchylka, ale je vyčerpána rezerva jalového výkonu.

3.3.2.5 „Test ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Čtvrtým testem byl „Test ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“. Cílem testu je ověření dynamických vlastností celého systému ASRU v rámci celého pilotního uzlu. Ověřuje se dynamika systému ASRU buď při zařazení bloků i ostatních elektráren do stejného pilotního uzlu nebo pouze bloků testované elektrárny.

a) Počáteční podmínky „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Při tomto testu se spolupracuje i s ostatními zdroji jalového výkonu, které se účastní testu. Počáteční podmínky pro tento test jsou uvedeny v tabulce 3.8.

Tab. 3.8 Počáteční podmínky provozu bloku při „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ dané Kodexem PS [17]

Testovaná elektrárna pracující do pilotního uzlu	Většina bloků (pokud lze, pak všechny bloky) zařazena do systému ASRU	Ano
	Primární regulace f a P testovaného bloku	Může být zapnuta
	Primární regulace f a P ostatních bloků	Zapnutá
	Sekundární regulace P testovaného bloku	Vypnutá
	Sekundární regulace P ostatních bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
	Činný výkon testovaného bloku	Ustálen na příslušné hladině výkonu
Netestované elektrárny pracující do stejného pilotního uzlu jako testovaná elektrárna	Nadpoloviční většina bloků elektráren zařazena do systému ASRU	Ano
	Primární regulace f a P bloků	Může být zapnuta
	Sekundární regulace P netestovaných bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
Systém ASRU pro pilotní uzel		Aktivní
HRT na transformátoru PS/DS v pilotním uzlu		Blokován

Ostatními elektrárnami pracujícími do stejného pilotního uzlu a pilotním uzlem jsou myšleny, tak jako v případě předešlých testů, elektrárna Tisová II a transformovna Vítkov. Blokování hladinových regulátorů se týká stejných transformátorů jako u předešlých testů. Při tomto testu jsou všechny bloky zapojeny do systému ASRU v normálním provozu a sfázovány s

přenosovou soustavou. Pokud blok nemá odbočkový transformátor vybavený hladinovým regulátorem transformátoru (HRT), nepřepíná se odbočka.

b) Vlastní měření „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Postup měření byl z mého pohledu stejný jako u předešlého „Testu bloku při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“.

Pro posouzení rovnoměrnosti regulačního procesu se současně, v každém časovém intervalu i , zjišťuje pro každý alternátor 1 až k aktuální hodnota maximální a minimální meze jablového výkonu (Q_{kiMAX} ; Q_{kiMIN}). Celková doba měření činí přibližně 21 minut.

Zadané hodnoty pro měření č. 1 generátoru TG12 byly tyto:

$$P_{min} = 23 \text{ MW}, U_{dol} = 237 \text{ kV}, U_{dl} = 239 \text{ kV}.$$

Zadané hodnoty pro měření č. 2 generátoru TG12 byly tyto:

$$P_n = 58 \text{ MW}, U_{hor} = 239 \text{ kV}, U_{hl} = 237 \text{ kV}.$$

Kodex PS při tomto testu zmiňuje čtyři požadavky, které cituji v přesném znění [14]:

1. Požadavek (SRUQ) – J:

Během měření nesmějí parametry technologických veličin bloku (tlaky, teploty, namáhání, napětí, proudy atd.) přestoupit meze dovolené provozními předpisy pro bezpečný provoz zařízení. Nesmí dojít k působení omezovačů (kromě přídavných automatik primárního regulátoru buzení) nebo ochran, které by měly za následek přerušení zkoušky nebo provozu bloku.

2. Požadavek (SRUQ) – K:

Regulační proces musí být aperiodický nebo maximálně s jedním překmitem. Musí platit, že doba regulace při skokové změně směrem nahoru $t_{reg+} \leq 2$ minuty a doba regulace při skokové změně směrem dolů $t_{reg-} \leq 2$ minuty.

3. Požadavek (SRUQ) – L:

Regulační procesy $Q_1 \dots$ až Q_k musí být aperiodické nebo maximálně s jedním překmitem nejvýše však 10 MVar. Z naměřených hodnot $Q_{1i} \dots$ až Q_{ki} se vypočítají průměrné hodnoty v těchto časových úsecích:

$$Q_{kAV1} = avr\{Q_{ki}\}_{t=6}^{11 \text{ min}}, \quad (3.12)$$

$$Q_{kAV2} = avr\{Q_{ki}\}_{t=16}^{21 \text{ min}}, \quad (3.13)$$

$$Q_{kAV1MAX} = avr\{Q_{kiMAX}\}_{t=6}^{11 min}, \quad (3.14)$$

$$Q_{kAV2MAX} = avr\{Q_{kiMAX}\}_{t=16}^{21 min}, \quad (3.15)$$

$$Q_{kAV1MIN} = avr\{Q_{kiMIN}\}_{t=6}^{11 min}, \quad (3.16)$$

$$Q_{kAV2MIN} = avr\{Q_{kiMIN}\}_{t=16}^{21 min}, \quad (3.17)$$

kde k je počet bloků v ASRU.

Z výše uvedených vypočítaných průměrných hodnot všech k bloků pracujících do testovaného pilotního uzlu ($1 \dots c \dots h \dots$ až k) se vypočítají poměrné hodnoty.

Pro oblast přebuzení:

$$\left(\frac{Q_{kAV1}}{Q_{kAV1MAX}} \cdot 100 \right), \quad (3.18)$$

$$\left(\frac{Q_{kAV2}}{Q_{kAV2MAX}} \cdot 100 \right). \quad (3.19)$$

Pro oblast podbuzení:

$$\left(\frac{Q_{kAV1}}{Q_{kAV1MIN}} \cdot 100 \right), \quad (3.20)$$

$$\left(\frac{Q_{kAV2}}{Q_{kAV2MIN}} \cdot 100 \right). \quad (3.21)$$

Rovnoměrnost regulačního procesu je kontrolována (posuzována) požadavky (SRUQ) –

L a (SRUQ) – L1:

4. Požadavek (SRUQ) – L1:

Pro oblast přebuzení musí mezi všemi alternátory $1 \dots c \dots h \dots$ až k platit, že:

$$\left| \left(\frac{Q_{cAV1}}{Q_{cAV1MAX}} \cdot 100 \right) - \left(\frac{Q_{hAV1}}{Q_{hAV1MAX}} \cdot 100 \right) \right| \leq 5 (\%), \quad (3.22)$$

$$\left| \left(\frac{Q_{cAV2}}{Q_{cAV2MAX}} \cdot 100 \right) - \left(\frac{Q_{hAV2}}{Q_{hAV2MAX}} \cdot 100 \right) \right| \leq 5 (\%). \quad (3.23)$$

Pro oblast podbuzení musí mezi všemi alternátory $1 \dots c \dots h \dots$ až k platit podobně, že:

$$\left| \left(\frac{Q_{cAV1}}{Q_{cAV1MIN}} \cdot 100 \right) - \left(\frac{Q_{hAV1}}{Q_{hAV1MIN}} \cdot 100 \right) \right| \leq 5 (\%), \quad (3.24)$$

$$\left| \left(\frac{Q_{cAV2}}{Q_{cAV2MIN}} \cdot 100 \right) - \left(\frac{Q_{hAV2}}{Q_{hAV2MIN}} \cdot 100 \right) \right| \leq 5 (\%). \quad (3.25)$$

Plnění požadavku (SRUQ) – L1 má vliv na prováděnou certifikaci jen tehdy, když všechny alternátory ($1 \dots c \dots h \dots$ až k) v certifikovaném pilotním uzlu používají stejný algoritmus pro rozdělování změny jalového zatížení ΔQ_{kalt} , a to rovnoměrného rozdělení podle aktuální velikosti regulačního rozsahu jalového výkonu Q_{kalt} , zjištěného z DB nebo výpočtem v závislosti na okamžitém činném výkonu.

c) Vyhodnocení

Výsledné hodnoty měření č. 1 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ jsem uvedl v tabulce 3.9. Výsledné hodnoty měření č. 2 jsou v tabulce 3.10.

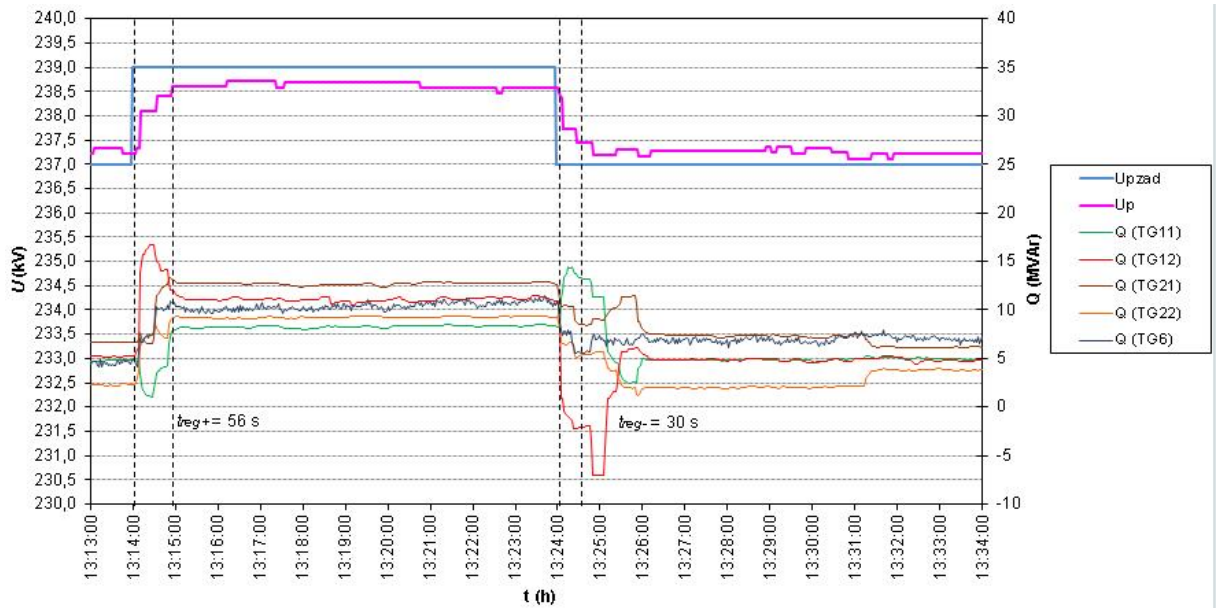
Tab. 3.9 Naměřené hodnoty měření č. 1 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Poznámka
t_{reg+}	56 s	Změna z hladiny napětí $U_{dol} = 237$ kV do hladiny napětí $U_{dl} = 239$ kV
t_{reg-}	30 s	Změna z hladiny napětí $U_{dl} = 239$ kV do hladiny napětí $U_{dol} = 237$ kV

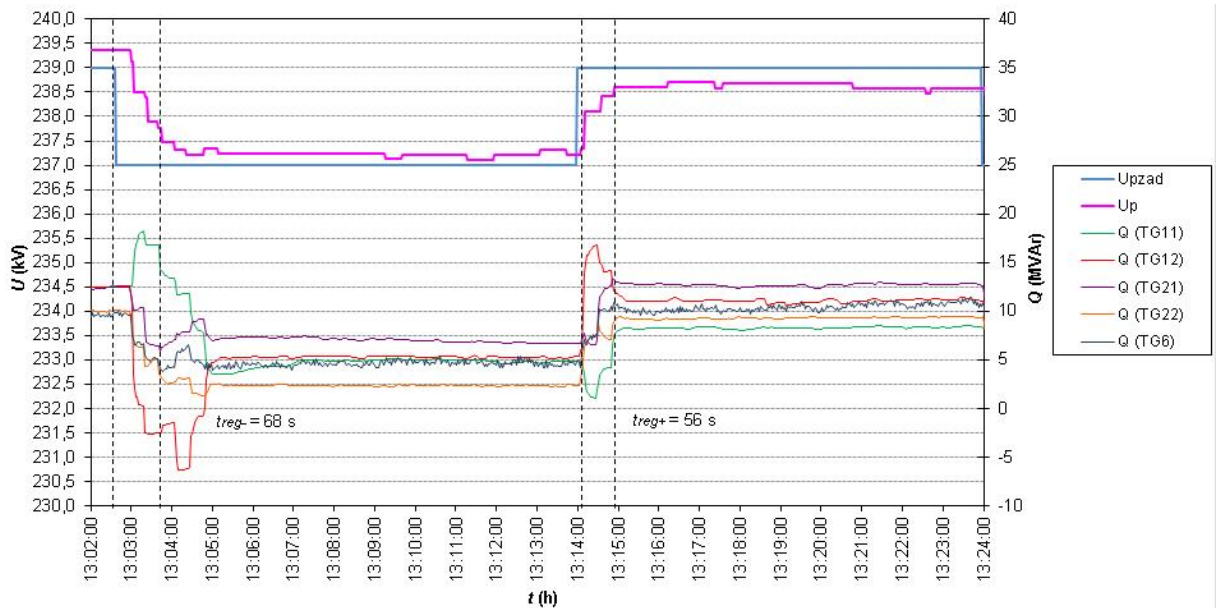
Tab. 3.10 Naměřené hodnoty měření č. 2 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Poznámka
t_{reg-}	68 s	Změna z hladiny napětí $U_{hor} = 239$ kV do hladiny napětí $U_{hl} = 237$ kV
t_{reg+}	56 s	Změna z hladiny napětí $U_{hl} = 237$ kV do hladiny napětí $U_{hor} = 239$ kV

Podle Kodexu PS se i pro tento test sestavují grafy a určují se doby regulace při skokových změnách zadaného napětí v pilotním uzlu. Grafy jednotlivých měření tohoto testu jsem pro názornost uvedl v obr. 3.13 a obr. 3.14.



Obr. 3.13 Graf měření č. 1 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“



Obr. 3.14 Graf měření č. 2 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“

Vyhodnotil jsem a dopočítal jsem hodnoty v oblasti přebuzení (měření č. 1):

a) Změna zadaného napětí z hladiny $U_{dol} = 237$ kV do hladiny $U_{dl} = 239$ kV ($t = 6$ až 11 min):

1. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$Q_{6AV1} = 10,63$ MVar, $Q_{6AV1MAX} = 36,88$ MVar.

$$\left(\frac{Q_{6AV1}}{Q_{6AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{10,63}{36,88} \cdot 100 = 28,8 \%. \quad (3.26)$$

2. Generátor TG11 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{11AV1} = 8,3 \text{ MVAr}, Q_{11AV1MAX} = 37,3 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{11AV1}}{Q_{11AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{8,3}{37,3} \cdot 100 = 22,25 \%. \quad (3.27)$$

3. Generátor TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{12AV1} = 11,1 \text{ MVAr}, Q_{12AV1MAX} = 33,6 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{12AV1}}{Q_{12AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{11,1}{33,6} \cdot 100 = 33,04 \%. \quad (3.28)$$

4. Generátor TG21 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{21AV1} = 12,7 \text{ MVAr}, Q_{21AV1MAX} = 43,5 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{21AV1}}{Q_{21AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{12,7}{43,5} \cdot 100 = 29,2 \%. \quad (3.29)$$

5. Generátor TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{22AV1} = 9,3 \text{ MVAr}, Q_{22AV1MAX} = 35,6 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{22AV1}}{Q_{22AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{9,3}{35,6} \cdot 100 = 26,12 \%. \quad (3.30)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých bloků jsem postupně dosadil do vztahu 3.22 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 10,79 %, a to mezi TG11 a TG12 ($|22,25 \% - 33,04 \%| = 10,79 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Vzhledem ke způsobu zapojení do dvojbloků jsou uváděny i rozdíly podílů dvojbloků, protože hodnocení podle dvojbloků lépe koresponduje s algoritmem rozdělování změny jalového výkonu.

6. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{6AV1} = 10,63 \text{ MVAr}, Q_{6AV1MAX} = 36,88 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV1}}{Q_{6AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{10,63}{36,88} \cdot 100 = 28,8 \%. \quad (3.31)$$

7. Generátory TG11 a TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{11+12AV1} = 9,7 \text{ MVar}, Q_{11+12AV1MAX} = 35,45 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11+12AV1}}{Q_{11+12AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{9,7}{35,45} \cdot 100 = 27,3 \%. \quad (3.32)$$

8. Generátory TG21 a TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{21+22AV1} = 11,0 \text{ MVar}, Q_{21+22AV1MAX} = 39,5 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21+22AV1}}{Q_{21+22AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{11,0}{39,5} \cdot 100 = 27,81 \%. \quad (3.33)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých dvojbloků a bloku jsem postupně dosadil do vztahu 3.22 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 1,5 %, a to mezi TG6 a dvojblokem TG11 + TG12 ($|28,8 \% - 27,3 \%| = 1,5 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 splňuje.

b) Změna zadaného napětí z hladiny $U_{dl} = 239$ kV do hladiny $U_{dot} = 237$ kV

($t = 16$ až 21 min):

1. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{6AV2} = 7,02 \text{ MVar}, Q_{6AV2MAX} = 36,9 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV2}}{Q_{6AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{7,02}{36,9} \cdot 100 = 19,3 \%. \quad (3.34)$$

2. Generátor TG11 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{11AV2} = 4,9 \text{ MVar}, Q_{11AV2MAX} = 37,3 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11AV2}}{Q_{11AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{4,9}{37,3} \cdot 100 = 13,14 \%. \quad (3.35)$$

3. Generátor TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{12AV2} = 4,8 \text{ MVAr}, Q_{12AV2MAX} = 33,6 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{12AV2}}{Q_{12AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{4,8}{33,6} \cdot 100 = 14,29 \%. \quad (3.36)$$

4. Generátor TG21 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{21AV2} = 6,7 \text{ MVAr}, Q_{21AV2MAX} = 43,5 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{21AV2}}{Q_{21AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{6,7}{43,5} \cdot 100 = 15,4 \%. \quad (3.37)$$

5. Generátor TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{22AV1} = 3,0 \text{ MVAr}, Q_{22AV1MAX} = 37,2 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{22AV2}}{Q_{22AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{3,0}{37,2} \cdot 100 = 8,06 \%. \quad (3.38)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých bloků jsem postupně dosadil do vztahu 3.23 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 11,24 %, a to mezi TG6 a TG22 ($|19,3 \% - 8,06 \%| = 11,24 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Vzhledem ke způsobu zapojení do dvojbloků uvádím i rozdíly podílů dvojbloků, protože hodnocení podle dvojbloků lépe koresponduje s algoritmem rozdělování změny jalového výkonu.

6. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{6AV2} = 7,02 \text{ MVAr}, Q_{6AV2MAX} = 36,9 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV2}}{Q_{6AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{7,02}{36,9} \cdot 100 = 19,02 \%. \quad (3.39)$$

7. Generátory TG11 a TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{11+12AV2} = 4,85 \text{ MVAr}, Q_{11+12AV2MAX} = 35,45 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{11+12AV2}}{Q_{11+12AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{4,85}{35,45} \cdot 100 = 13,68 \% \quad (3.40)$$

8. Generátory TG21 a TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$Q_{21+22AV1} = 4,85$ MVar, $Q_{21+22AV1MAX} = 40,35$ MVar.

$$\left(\frac{Q_{21+22AV1}}{Q_{21+22AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{4,85}{40,35} \cdot 100 = 12,02 \% \quad (3.41)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých dvojbloků a bloku jsem postupně dosadil do vztahu 3.23 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 7,28 %, a to mezi TG6 a dvojblokem TG21 + TG22 ($|19,02 \% - 12,02 \%| = 7,28 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Požadavky (SRUQ) – J, (SRUQ) – K, (SRUQ) – L a (SRUQ) – L1 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ v oblasti přebuzení byly splněny.

Výsledky mého testu v oblasti podbuzení (měření č. 2):

a) Změna zadaného napětí z hladiny $U_{hor} = 239$ kV do hladiny $U_{hl} = 237$ kV ($t = 6$ až 11 min):

1. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$Q_{6AV1} = 4,73$ MVar, $Q_{6AV1MIN} = 36,88$ MVar.

$$\left(\frac{Q_{6AV1}}{Q_{6AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{4,73}{36,88} \cdot 100 = 12,83 \% \quad (3.42)$$

2. Generátor TG11 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$Q_{11AV1} = 4,9$ MVar, $Q_{11AV1MIN} = 34,42$ MVar.

$$\left(\frac{Q_{11AV1}}{Q_{11AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{4,9}{34,42} \cdot 100 = 12,24 \% \quad (3.43)$$

3. Generátor TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{12AV1} = 5,27 \text{ MVar}, Q_{12AV1MIN} = 38,8 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{12AV1}}{Q_{12AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{5,27}{38,8} \cdot 100 = 13,58 \%. \quad (3.44)$$

4. Generátor TG21 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{21AV1} = 6,94 \text{ MVar}, Q_{21AV1MIN} = 41,0 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21AV1}}{Q_{21AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{6,94}{41,0} \cdot 100 = 16,93 \%. \quad (3.45)$$

5. Generátor TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{22AV1} = 2,33 \text{ MVar}, Q_{22AV1MIN} = 35,6 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{22AV1}}{Q_{22AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{2,33}{35,6} \cdot 100 = 6,54 \%. \quad (3.46)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých bloků jsem postupně dosadil do vztahu 3.24 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 10,39 %, a to mezi TG21 a TG22 ($|16,93 \% - 6,54 \%| = 10,39 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Vzhledem ke způsobu zapojení do dvojbloků uvádím i rozdíly podílů dvojbloků, protože hodnocení podle dvojbloků lépe koresponduje s algoritmem rozdělování změny jalového výkonu.

6. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{6AV1} = 4,73 \text{ MVar}, Q_{6AV1MIN} = 36,88 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV1}}{Q_{6AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{4,73}{36,88} \cdot 100 = 12,83 \%. \quad (3.47)$$

7. Generátory TG11 a TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{11+12AV1} = 5,09 \text{ MVar}, Q_{11+12AV1MIN} = 36,6 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11+12AV1}}{Q_{11+12AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{5,09}{36,6} \cdot 100 = 13,9 \%. \quad (3.48)$$

8. Generátory TG21 a TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{21+22AV1} = 4,64 \text{ MVar}, Q_{21+22AV1MIN} = 38,37 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21+22AV1}}{Q_{21+22AV1MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{4,64}{38,37} \cdot 100 = 12,09 \%. \quad (3.49)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých dvojbloků a bloku jsem postupně dosadil do vztahu 3.24 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 1,81 %, a to mezi dvojblokem TG11 + TG12 a dvojblokem TG21 + TG22 ($|13,9 \% - 12,09 \%| = 1,81 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 splňuje.

b) Změna zadaného napětí z hladiny $U_{hl} = 237$ kV do hladiny $U_{hor} = 239$ kV

($t = 16$ až 21 min):

1. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{6AV2} = 10,63 \text{ MVar}, Q_{6AV2MIN} = 36,88 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV2}}{Q_{6AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{10,63}{36,88} \cdot 100 = 28,82 \%. \quad (3.50)$$

2. Generátor TG11 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{11AV2} = 8,3 \text{ MVar}, Q_{11AV2MIN} = 37,3 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11AV2}}{Q_{11AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{8,3}{37,3} \cdot 100 = 22,25 \%. \quad (3.51)$$

3. Generátor TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{12AV2} = 11,1 \text{ MVar}, Q_{12AV2MIN} = 33,6 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{12AV2}}{Q_{12AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{11,1}{33,6} \cdot 100 = 33,03 \%. \quad (3.52)$$

4. Generátor TG21 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{21AV2} = 12,7 \text{ MVar}, Q_{21AV2MIN} = 43,5 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21AV2}}{Q_{21AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{12,7}{43,5} \cdot 100 = 29,2 \%. \quad (3.53)$$

5. Generátor TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{22AV2} = 9,3 \text{ MVar}, Q_{22AV2MIN} = 35,6 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{22AV2}}{Q_{22AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{9,3}{35,6} \cdot 100 = 26,1 \%. \quad (3.54)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých bloků jsem postupně dosadil do vztahu 3.25 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je $10,78 \%$, a to mezi TG11 a TG12 ($|22,25 \% - 33,03 \%| = 10,78 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Vzhledem ke způsobu zapojení do dvojbloků jsou uváděny i rozdíly podílů dvojbloků, protože hodnocení podle dvojbloků lépe koresponduje s algoritmem rozdělování změny jalového výkonu.

6. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{6AV2} = 10,63 \text{ MVar}, Q_{6AV2MIN} = 36,88 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV2}}{Q_{6AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{10,63}{36,88} \cdot 100 = 28,82 \%. \quad (3.55)$$

7. Generátory TG11 a TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{11+12AV2} = 9,7 \text{ MVar}, Q_{11+12AV2MIN} = 35,45 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11+12AV2}}{Q_{11+12AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{9,7}{35,45} \cdot 100 = 27,36 \%. \quad (3.56)$$

8. Generátory TG21 a TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{21+22AV2} = 11,64 \text{ MVar}, Q_{21+22AV2MIN} = 39,55 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21+22AV2}}{Q_{21+22AV2MIN}} \cdot 100 \right) = \frac{11,64}{39,55} \cdot 100 = 29,43 \%. \quad (3.57)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých dvojbloků a bloku jsem postupně dosadil do vztahu 3.25 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 2,07 %, a to mezi dvojblokem TG11 + TG12 a dvojblokem TG21 + TG22 ($|27,36 \% - 29,43 \%| = 2,07 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 splňuje.

Tady mohu konstatovat, že požadavky (SRUQ) – J, (SRUQ) – K, (SRUQ) – L a (SRUQ) – L1 „Testu ASRU při změně zadaného napětí v pilotním uzlu“ v oblasti podbuzení byly splněny.

3.3.2.6 „Test ASRU při změně ve vnější síti“

Posledním pátým testem byl „Test při změně ve vnější síti“. U tohoto testu se ověřuje adaptace regulačního procesu systému ASRU na typické podmínky dané konkrétním uspořádáním části přenosové soustavy. Mělo by se testovat při dostatečně rychlých (skokových) změnách způsobených v daném pilotním uzlu, například přepnutím odboček transformátoru, vypnutím nebo zapnutím tlumivky, podbuzením nebo přebuzením generátoru, najetím vodní elektrárny atd.

a) Počáteční podmínky „Testu ASRU při změně ve vnější síti“

Při tomto testu se spolupracuje, tak jako v předešlém testu, i s ostatními zdroji jalového výkonu, které se účastní testu. Počáteční podmínky pro tento test jsem uvedl v tabulce 3.11. Ostatními elektrárnami pracujícími do stejného pilotního uzlu a pilotním uzlem jsou myšleny, tak jako v případě předešlých testů, elektrárna Tisová II a transformovna Vítkov. Blokování hladinových regulátorů se týká stejných transformátorů jako u předešlých testů. Při tomto testu jsou všechny bloky zapojené do systému ASRU v normálním provozu a sfázovány s přenosovou soustavou. Pokud blok nemá odbočkový transformátor vybavený hladinovým regulátorem transformátoru (HRT), nepřepíná se odbočka.

Tab. 3.11 Počáteční podmínky provozu bloku při „Testu ASRU při změně ve vnější síti“ dané Kodexem PS [17]

Testovaná elektrárna pracující do pilotního uzlu	Většina bloků (pokud lze, pak všechny bloky) zařazena do systému ASRU	Ano
	Primární regulace f a P testovaného bloku	Může být zapnuta
	Primární regulace f a P ostatních bloků	Zapnutá
	Sekundární regulace P testovaného bloku	Vypnutá
	Sekundární regulace P ostatních bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
	Činný výkon testovaného bloku	Ustálen na příslušné hladině výkonu
Netestované elektrárny pracující do stejného pilotního uzlu jako testovaná elektrárna	Nadpoloviční většina bloků elektráren zařazena do systému ASRU	Ano
	Primární regulace f a P bloků	Může být zapnuta
	Sekundární regulace P netestovaných bloků	Zapnutá. V průběhu testu však nesmí dojít k velkým změnám činného výkonu v pilotním uzlu, kam je testovaná elektrárna vyvedena
Systém ASRU pro pilotní uzel		Aktivní
HRT na transformátoru PS/DS v pilotním uzlu		Blokován

b) Vlastní měření „Testu ASRU při změně ve vnější síti“

Postup měření byl stejný jako u předešlého testu. Výjimkou byla změna zadané hodnoty zadaného napětí U_{pzad} . Místo zadané hodnoty napětí v pilotním uzlu U_{pzad} se v pilotním uzlu provede změna napětí, například přepnutím odboček transformátoru, vypnutím nebo zapnutím tlumivky, podbuzením nebo přebuzením generátoru, najetím vodní elektrárny atd. V případě testovaného generátoru TG12 byla změna v pilotním uzlu transformovny Vítkov vyvolána změnou odbočky transformátoru T402 v rozvodně Hradec u Kadaně.

Zadané hodnoty pro měření č. 1 generátoru TG12 byly tyto:

$$P_{akt} = 90 \text{ MW}, U_{dot} = 239 \text{ kV}.$$

Kodex PS při tomto testu zmiňuje čtyři požadavky, které jsou totožné jako v předešlém testu. Pouze označení požadavků je odlišné [14]:

1. Požadavek (SRUQ) – M: viz požadavek (SRUQ) – J
2. Požadavek (SRUQ) – N: viz požadavek (SRUQ) – K
3. Požadavek (SRUQ) – O: viz požadavek (SRUQ) – L
4. Požadavek (SRUQ) – O1: viz požadavek (SRUQ) – L1

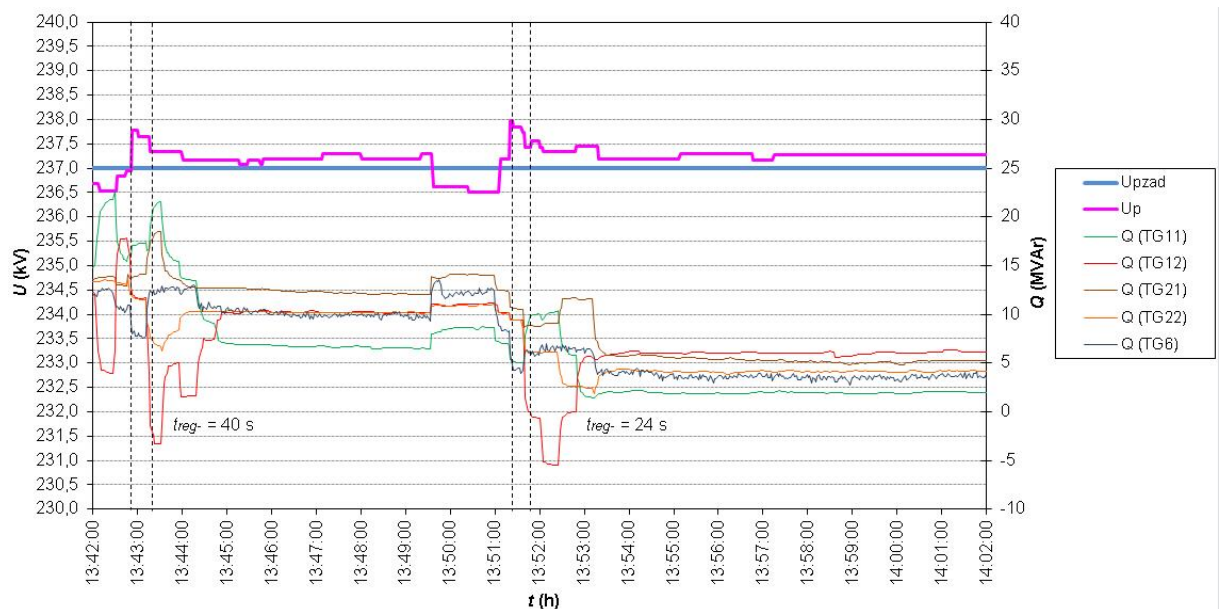
c) Vyhodnocení

Vyhodnotil jsem měření a výsledné hodnoty jsem uvedl v tabulce 3.11.

Tab. 3.11 Naměřené hodnoty měření „Testu ASRU při změně ve vnější síti“

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Poznámka
t_{reg-}	40 s	Změna o dvě odbočky transformátoru T402
t_{reg-}	24 s	Návrat na původní odbočku transformátoru T402

Sestrojil jsem graf a určil doby regulace při skokových změnách zadaného napětí v pilotním uzlu. Graf měření tohoto testu uvádím na obr. 3.15.



Obr. 3.15 Graf měření „Testu ASRU při změně ve vnější síti“

Z vyhodnocení měření mi vyplývá:

a) Změna o dvě odbočky transformátoru T402 ($t = 6$ až 11 min):

1. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{6AV1} = 6,75 \text{ MVar}, Q_{6AV1MAX} = 36,88 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV1}}{Q_{6AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{10,63}{36,88} \cdot 100 = 18,3 \%. \quad (3.58)$$

2. Generátor TG11 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{11AV1} = 5,26 \text{ MVar}, Q_{11AV1MAX} = 37,3 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11AV1}}{Q_{11AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{5,26}{37,3} \cdot 100 = 14,1 \%. \quad (3.59)$$

3. Generátor TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{12AV1} = 5,03 \text{ MVar}, Q_{12AV1MAX} = 33,6 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{12AV1}}{Q_{12AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{5,03}{33,6} \cdot 100 = 14,97 \%. \quad (3.60)$$

4. Generátor TG21 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{21AV1} = 6,6 \text{ MVar}, Q_{21AV1MAX} = 42,9 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21AV1}}{Q_{21AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{6,6}{42,9} \cdot 100 = 15,38 \%. \quad (3.61)$$

5. Generátor TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{22AV1} = 4,11 \text{ MVar}, Q_{22AV1MAX} = 37,7 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{22AV1}}{Q_{22AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{4,11}{37,7} \cdot 100 = 10,9 \%. \quad (3.62)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých bloků jsem postupně dosadil do vztahu 3.22 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 7,4 %, a to mezi TG6 a TG22 ($|18,3 \% - 10,9 \%| = 7,4 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Vzhledem ke způsobu zapojení do dvojbloků uvádím i rozdíly podílů dvojbloků, protože hodnocení podle dvojbloků lépe koresponduje s algoritmem rozdělování změny jalového výkonu.

6. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{6AV1} = 6,75 \text{ MVar}, Q_{6AV1MAX} = 36,88 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV1}}{Q_{6AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{6,75}{36,88} \cdot 100 = 18,3 \%. \quad (3.63)$$

7. Generátory TG11 a TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{11+12AV1} = 5,5 \text{ MVar}, Q_{11+12AV1MAX} = 35,45 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11+12AV1}}{Q_{11+12AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{5,5}{35,45} \cdot 100 = 15,51 \%. \quad (3.64)$$

8. Generátory TG21 a TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 6$ až 11 min:

$$Q_{21+22AV1} = 5,36 \text{ MVar}, Q_{21+22AV1MAX} = 40,3 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{21+22AV1}}{Q_{21+22AV1MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{5,36}{40,3} \cdot 100 = 13,3 \%. \quad (3.65)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých dvojbloků a bloku jsem postupně dosadil do vztahu 3.22 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 5 %, a to mezi TG6 a dvojblokem TG21 + TG22 ($|18,3 \% - 13,3 \%| = 5 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 splňuje.

b) Návrat na původní odbočku transformátoru T402 ($t = 16$ až 21 min):

1. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{6AV2} = 10,29 \text{ MVar}, Q_{6AV2MAX} = 36,88 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV2}}{Q_{6AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{10,29}{36,88} \cdot 100 = 27,9 \%. \quad (3.66)$$

2. Generátor TG11 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{11AV2} = 7,4 \text{ MVar}, Q_{11AV2MAX} = 37,3 \text{ MVar}.$$

$$\left(\frac{Q_{11AV2}}{Q_{11AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{7,4}{37,3} \cdot 100 = 19,84 \%. \quad (3.67)$$

3. Generátor TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{12AV2} = 9,4 \text{ MVAr}, Q_{12AV2MAX} = 33,6 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{12AV2}}{Q_{12AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{9,4}{33,6} \cdot 100 = 27,98 \%. \quad (3.68)$$

4. Generátor TG21 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{21AV2} = 12,4 \text{ MVAr}, Q_{21AV2MAX} = 47,3 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{21AV2}}{Q_{21AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{12,4}{47,3} \cdot 100 = 26,22 \%. \quad (3.69)$$

5. Generátor TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{22AV2} = 10,2 \text{ MVAr}, Q_{22AV2MAX} = 37,7 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{22AV2}}{Q_{22AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{10,2}{37,7} \cdot 100 = 27,06 \%. \quad (3.70)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých bloků jsem postupně dosadil do vztahu 3.25 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 8,14 %, a to mezi TG11 a TG12 ($|19,84 \% - 27,98 \%| = 8,14 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 nesplňuje.

Vzhledem ke způsobu zapojení do dvojbloků uvádím i rozdíly podílů dvojbloků, protože hodnocení podle dvojbloků lépe koresponduje s algoritmem rozdělování změny jalového výkonu.

6. Generátor TG6 (Elektrárna Tisová II):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{6AV2} = 10,29 \text{ MVAr}, Q_{6AV2MAX} = 36,88 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{6AV2}}{Q_{6AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{10,29}{36,88} \cdot 100 = 27,9 \%. \quad (3.71)$$

7. Generátory TG11 a TG12 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

$$Q_{11+12AV2} = 8,4 \text{ MVAr}, Q_{11+12AV2MAX} = 35,45 \text{ MVAr}.$$

$$\left(\frac{Q_{11+12AV2}}{Q_{11+12AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{8,4}{35,45} \cdot 100 = 23,69 \% \quad (3.72)$$

8. Generátory TG21 a TG22 (Paroplynová elektrárna Vřesová):

Průměrné hodnoty pro čas $t = 16$ až 21 min:

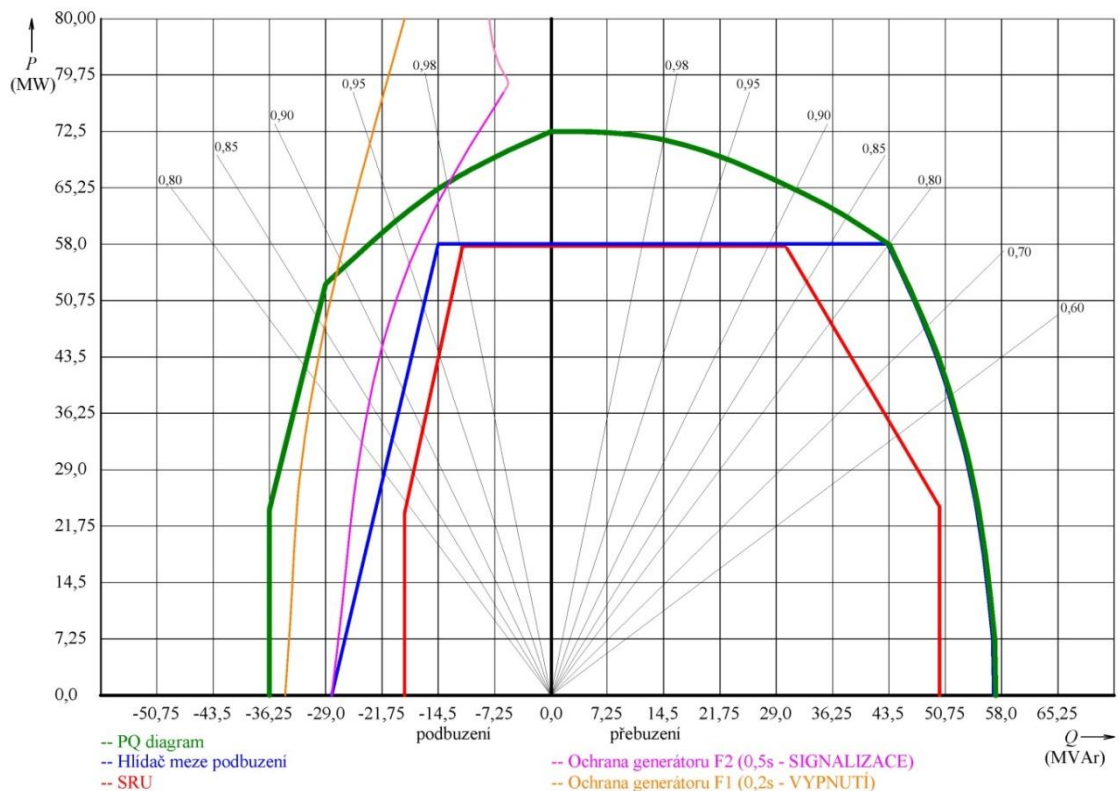
$Q_{21+22AV2} = 11,3$ MVar, $Q_{21+22AV2MAX} = 42,5$ MVar.

$$\left(\frac{Q_{21+22AV2}}{Q_{21+22AV2MAX}} \cdot 100 \right) = \frac{11,3}{42,5} \cdot 100 = 26,59 \% \quad (3.73)$$

Výsledné hodnoty jednotlivých dvojbloků a bloku jsem postupně dosadil do vztahu 3.25 a provedl vzájemné rozdíly podílů. Maximální rozdíl podílů při vzájemném hodnocení je 4,21 %, a to mezi TG6 a dvojblokem TG11 + TG12 ($27,9 \% - 23,69 \% = 4,21 \%$). Zjistil jsem, že výsledná max. hodnota rozdílu podílů požadavek (SRUQ) – L1 splňuje.

Požadavky (SRUQ) – M, (SRUQ) – N, (SRUQ) – O a (SRUQ) – O1 „Testu ASRU při změně ve vnější síti“ v oblasti přebuzení byly splněny.

3.3.2.7 Vyhodnocení testování



Obr. 3.16 PQ diagram generátoru TG12 s regulačním rozsahem SRU

Výsledkem měření jednotlivých testů bylo udělení certifikátu SRQ. Generátor TG12 vyhověl požadavkům na SRQ stanoveným v Kodexu PS. Při měření se ověřilo vzájemné ovlivňování testovaného generátoru druhým generátorem zapojeným do dvojbloku. Je tedy nutná koordinovaná regulace obou generátorů, a to i v případech, kdy z hlediska plnění kritéria poměrného čerpání rezervy toto není potřeba. Výsledný regulační rozsah SRU generátoru TG12 je na obrázku *obr. 3.16*.

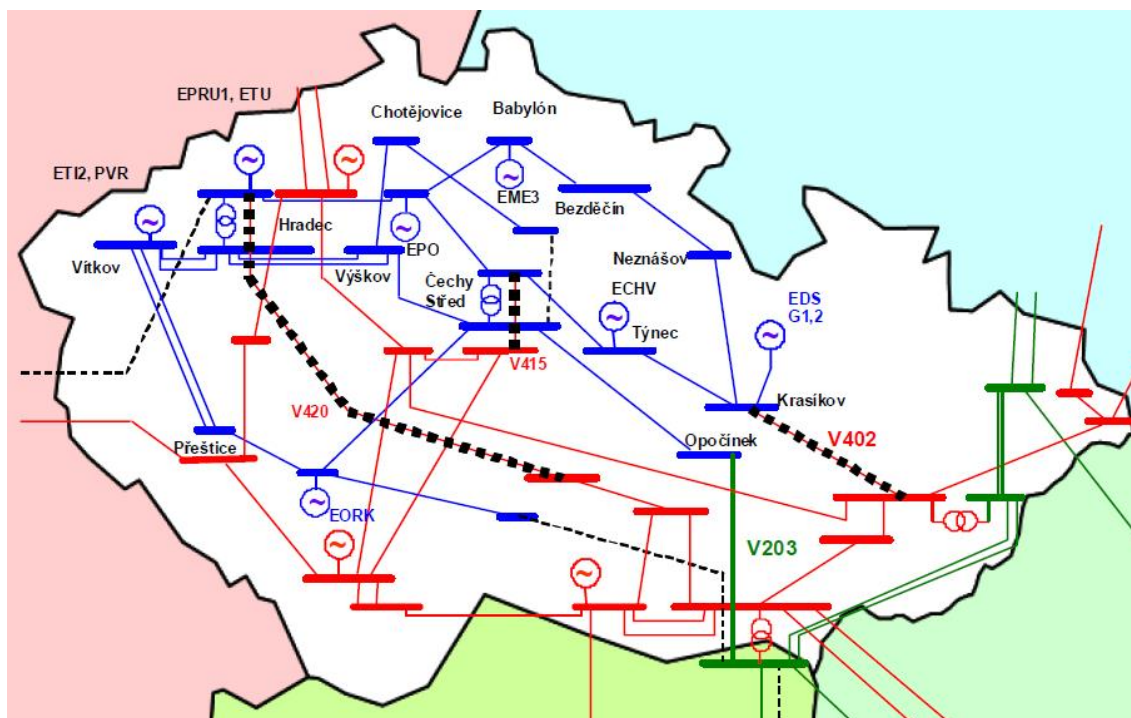
3.4 Anomální stavy ES

Anomální provozní stavy systému ASRU mohou vzniknout přeregulováním nebo nedoregulováním regulační odchylky. Pokud dojde k přeregulování napětí v pilotních uzlech, může potom dojít k tomu, že se rozkmitá regulace a následně se tím destabilizuje regulovaná soustava. Jednou z příčin přeregulování nebo nedoregulování regulační odchylky v pilotním uzlu může být technická závada, kdy např. primární regulátor generátoru neplní povely ze systému ASRU. Příčinou může být i chybné určení poměru dQ/dU , neboť požadavek na změnu dodávky jalového výkonu nebude správně vypočten dle aktuální potřeby soustavy. Další příčina může vzniknout tím, že je v regulované soustavě větší počet generátorů, které nejsou zařazeny do systému ASRU, neboť v takovém případě bude část regulačního jalového výkonu generátorů zařazených do systému ASRU spotřebována na eliminaci jejich reakce na probíhající regulační proces. Tím bude regulační proces méně kvalitní a také se tím sníží bezpečnost soustavy. Při vzniku anomálního provozního stavu může docházet i k tomu, že dojde ke spouštění záložních generátorů jalového výkonu, které mají nevhodně nastavené hodnoty dodávky jalového výkonu. U nové technologie se také mohou generovat negativní sekundární efekty. [13]

Z různých příčin může v pilotním uzlu také nastat extrémně velký počet regulací. Jednou z příčin může být úzké toleranční pásmo napětí, kdy je pro jeho udržení vyžadována neustálá regulace. Další příčinou může být neustálé přetahování mezi blízkými pilotními uzly. K velkému počtu regulací dochází především u hodně dynamické soustavy. Také během anomálního provozního stavu soustavy dochází k výrazně častým regulacím, neboť dochází k častějším změnám zadaného napětí. [13]

Pokud dojde k chybě zadaného napětí v pilotním uzlu, tak se systém ASRU pouze pokusí o realizaci chybného požadavku do úrovně svých reálných možností, neboť pro celkovou realizaci chybného požadavku nemá k dispozici reálnou dodávku jalového výkonu. Takovou

chybu lze rychle detekovat, neboť dojde k nárůstu velikosti přetoků jalového výkonu na blízkých vedeních pilotního uzlu. [13]



Obr. 3.17 Situace v přenosové soustavě dne 25. července 2006 [18]

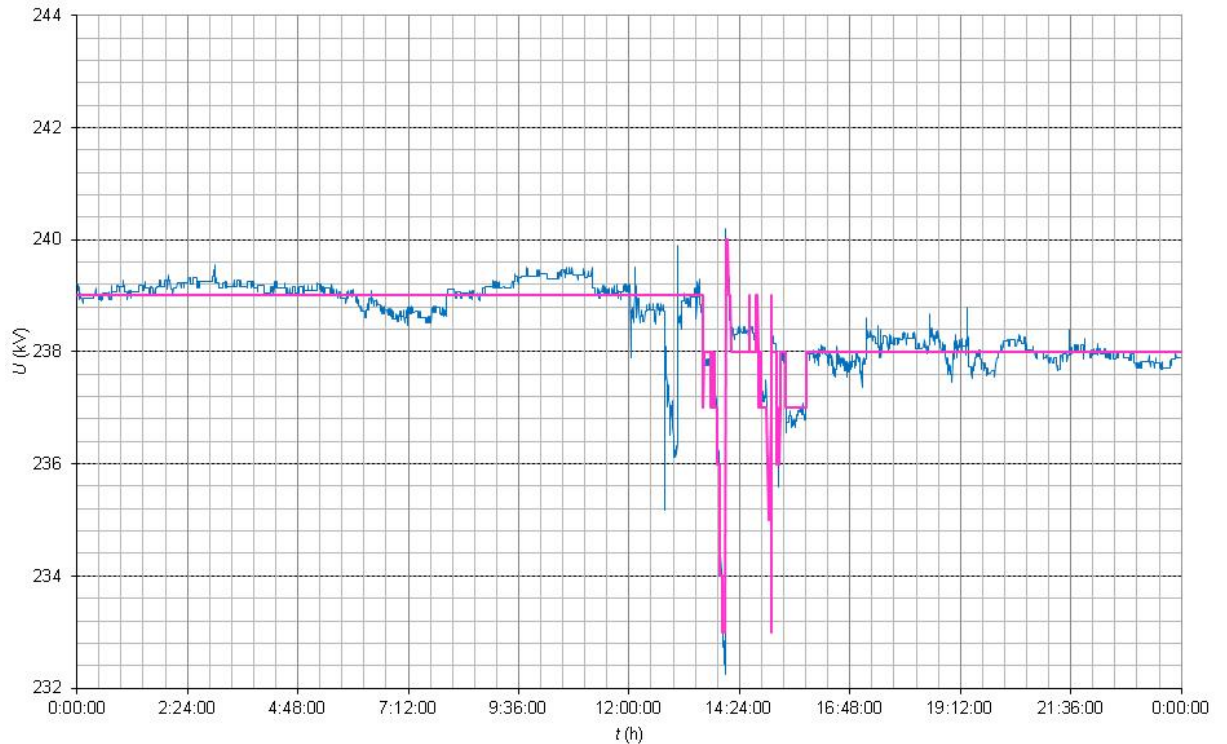
K výraznému anomálnímu provoznímu stavu regulované soustavy v ČR došlo např. dne 25. července 2006 (obr. 3.17). Toho dne panovaly extrémní klimatické podmínky po celé Evropě, takže byl zvýšený odběr elektrické energie (klimatizace, chladicí systémy atd.). Na začátku tohoto dne byla z důvodů oprav a revizí v přenosové soustavě ČR vypnuta vedení V207, V209, V244, V404 a V441. Dalšími příčinami tohoto stavu byla změna tranzitních toků přes přenosovou soustavu ČR způsobenou fungováním vnitřního evropského trhu a výpadky některých vedení v zahraničí. Tok činných výkonů přes ČR ze severu na jih se zmenšil přibližně o 300 MW a tok ve směru východ – západ se naopak zvětšil přibližně o 400 MW. V důsledku toho došlo k vypnutí přetíženého vedení V415 (Čechy střed – Chodov) v 11.10:49. Ve 12.01 došlo ochranou po jednofázovém zkratu (pád vodiče na zem) k vypnutí vedení V420 (Hradec u Kadaně západ – Mírovka). Z důvodu požáru vazební tlumivky (překročení jmenovité zatížitelnosti při vysoké teplotě okolí) dispečer ve 12.07 vypnul vedení V402 (Krasíkov – Prosenice). Zároveň ve stejnou dobu vypnula distanční ochrana z důvodů kyvů způsobených asynchronním chodem vedení V203 (Opočinec – Sokolnice). Tím přešla část přenosové soustavy do ostrovního provozu. Na obr. 3.17 je tato část označena modře. Ve 14.00 byl vyhlášen stav nouze a zároveň byly vyhlášeny regulační stupně 2, 3, 4 a 5 s cílem

snížit spotřebu. Odebíraný výkon v ES se postupně podařilo snížit cca o 600 MW. V tu dobu pracovalo naprázdno osm bloků elektráren, tj. asi čtvrtina české výrobní kapacity. Stav nouze byl odvolán ve 23.00 ještě téhož dne. [18]

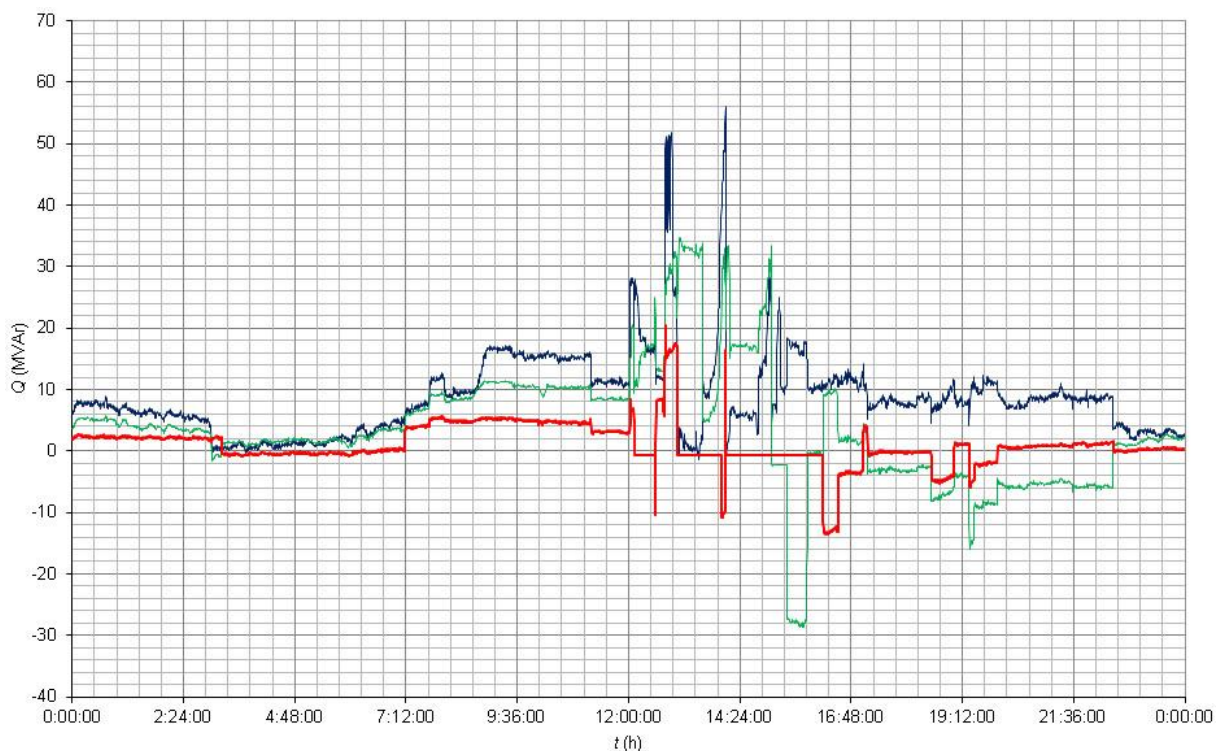
3.4.1 Průběh anomálního stavu v PU Vítkov dne 25. července 2006

Systémy ASRU se centrálně monitorují a průběžně se vyhodnocuje jejich činnost. Důležitou pomůckou při analyzování různých průběhů regulace systému ASRU jsou grafy, ze kterých lze zpětně dohledat příčiny a následky např. chybných kroků regulace. Z výsledků analýzy se vyvozují závěry, které napříště pomohou se podobných chybných stavů vyvarovat. U grafů je důležitá časová osa a osa hodnot měřené veličiny. Měly by být k dispozici grafy pro analýzu průběhů zadaného napětí pro pilotní uzel U_{pzad} , měřené hodnoty napětí v pilotním uzlu U_p , dodávky z jednotlivých generátorů, případně jiných zdrojů zařazených do systému ASRU a případně i další grafy, jako jsou grafy napětí vedení vycházejících z pilotního uzlu atd. Z grafů lze vyčíst, jak plnil systém ASRU požadavky, resp. zadané napětí v pilotním uzlu, zda jsou regulační procesy aperiodické nebo maximálně s jedním překmitem, zda doba regulace při skokové změně směrem nahoru nebo dolů nepřesáhla dvě minuty, zda je dodržena tolerance napětí pro daný pilotní uzel atd. Z grafů průběhů napětí v pilotních uzlech či vedení je vidět běžný provozní stav, jehož průběh nevykazuje mnoho regulačních kroků, a případně průběhy anomální, pro které je charakteristické větší množství regulačních kroků v kratším časovém intervalu.

V další části se zjednodušeně pokusím o analýzu v pilotním uzlu Vítkov. K dispozici jsem měl nejen grafy, ale také archivované údaje k tomuto dni. Po celý den byl mimo provoz druhý blok paroplynové elektrárny Vřesová (PPC2). Do systému ASRU byly zařazeny generátory TG6 elektrárny Tisová II a generátory TG11 a TG12 prvního bloku paroplynové elektrárny Vřesová (PPC1). V obou elektrárnách byly napájeny přes odbočkový transformátor rozvodny vlastní spotřeby. V grafu (*obr. 3.18*) je vidět průběh napětí v pilotním uzlu Vítkov U_p a zadané napětí U_{pzad} pro tento pilotní uzel. Do doby 12.01:00 byl provozní stav stabilní. Zadaná hodnota napětí U_{pzad} pro pilotní uzel Vítkov byla 239 kV a hodnota měřeného napětí v pilotním uzlu dosahovala průměrné hodnoty 239,1 kV. Minimální naměřená hodnota napětí U_p v pilotním uzlu Vítkov činila 238,460 kV a maximální naměřená hodnota napětí U_p činila 239,559 kV. Připomínám, že pro pilotní uzel Vítkov je toleranční pásmo $\pm 0,5$ kV. [19]



Obr. 3.18 Graf průběhu napětí v pilotním uzlu Vítkov dne 25. července 2006 (zadané napětí U_{pzad} – růžová linka a napětí v pilotním uzlu Vítkov U_p – modrá linka) [19]



Obr. 3.19 Graf dodávaného jalového výkonu dne 25. července 2006 (generátor TG6 – tmavě modrá linka, generátor TG11 – zelená linka a generátor TG12 – červená linka) [19]

V grafu (*obr. 3.18*) je vidět první výrazná změna hladiny napětí od 12.02:20, kdy se pravděpodobně projevil v pilotním uzlu Vítkov zkrat na vedení V420 (Hradec u Kadaně západ – Mírovka). Napětí pokleslo v tu dobu na hodnotu 237,904 kV. Tuto změnu napětí, resp. pokles napětí generátory automaticky eliminovaly zvýšenou dodávkou jalového výkonu. Graf dodávky jalového výkonu jednotlivých generátorů je na *obr. 3.19*. Z regulace SRU byl ve 12:07:02 vyřazen generátor TG6. Zbývající generátory TG11 a TG12 se ve stejný okamžik dostaly na mez přebuzení. Ve 12:07:07 byl odstaven z provozu generátor TG12. Do provozu byl zařazen až ve 12.34:22. V grafu (*obr. 3.19*) je toto uvedení do provozu patrné podle velmi krátké opačné reakce oproti reakci generátoru TG11. Ve 12.47:00 došlo k poklesu napětí v pilotním uzlu Vítkov na hodnotu 235,163 kV a zároveň se dostaly všechny generátory na mez přebuzení. Ve 13.03:17 do 14.00:22 byl opět odstaven generátor TG12. V grafu (*obr. 3.19*) jde vidět, že byl tento generátor na krátkou dobu uveden do provozu, nejdříve bez zařazení do SRU a potom po zařazení. Ve 14.06:02 byl tento generátor znovu odstaven. Generátor TG11, především v čase odstavení druhého generátoru TG12, se dostal na mez přebuzení. V době mezi 13:34:40 až 15.05:42 byl tento generátor vyřazen z regulace SRU a od 15.05:42 odstaven z provozu. V 15.24:27 byl opět generátor TG11 v provozu a v 16.11:56 se k němu přidává i generátor TG12. Oba generátory byly zařazené do regulace SRU v 16.30. Z grafu (*obr. 3.19*) je patrné, že po dobu bez regulace SRU se tyto generátory vzájemně ovlivňují a teprve od zařazení do regulace SRU pracují koordinovaně. U generátoru TG6, který byl vyřazen z regulace již ve 12.07:02, došlo k opakovanému zařazení do SRU, ale po dosažení meze přebuzení byl vždy z SRU vyřazen. Zařazen byl až ve 22.26. Vyřazení generátorů z regulace SRU bylo zapříčiněno většinou z důvodů neregulování ARN, které proběhlo v době od 13.34:40 do 14.04:26 a od 14.09:10 do 16.30:20. Zadávání napětí v ARN dálkově bylo přerušeno od 13.34:40 do 22.16:40. Při místním zadávání zadané hodnoty zařízení reguluje na hodnotu, která byla zadána obsluhou místně.

Anomální provozní stav, který nastal v tento den, prověřil systémy ASRU lépe než při zkouškách, neboť takový anomální stav nelze dost dobře při zkouškách systémů simulovat. Vyhodnocením tohoto anomálního stavu byl závěr, že je vhodné ponechat systém ASRU při anomálním stavu v činnosti, ale je potřeba zrušit automatické povelování zadaného napětí. Důvodem zrušení automatického povelování zadané hodnoty napětí je enormní zvýšení regulačních zásahů, neboť systém neustále mění zadanou hodnotu podle aktuálního optimálního rozložení jalových výkonů v soustavě, které se v daném anomálním stavu soustavy výrazně mění. V takové situaci systém ASRU už dost dobře nedokáže udržet soustavu v požadovaných mezích. V anomálních stavech soustavy je tedy výhodnější povelovat zada-

nou hodnotu napětí ručně dispečerem, neboť při takovém stavu soustavy není prioritou hospodárnost, ale udržet soustavu v technických mezích. Při postupném přecházení z anomálního stavu do normálního je systém ASRU přínosem pro jeho stabilizační činnost.

Závěr

Spotřebiče v elektrizační soustavě jsou navrhovány na jmenovitou hodnotu napětí. Odchylky napětí mají obvykle nepříznivé důsledky na tyto spotřebiče. Podpětí nebo přepětí snižuje především jejich životnost a dochází ke značnému zhoršení jejich provozních parametrů. Napětí je tedy ukazatelem kvality dodávané elektrické energie spotřebitelům. Platí, že v silné fyzikální vazbě s napětím je jalový výkon a kmitočet s činným výkonem. Opačně jsou tyto vazby minimální a lze je zanedbat. Tyto vlastnosti umožňují od sebe oddělit regulaci obou výkonů. Regulace kmitočtu a činného výkonu je v ES centrální záležitostí a regulace napětí a jalového výkonu je záležitostí převážně místní. Provozní vlastnosti ES z hlediska napětí jsou určovány napěťovými statickými charakteristikami (závislost jalového výkonu na napětí sítě) zdrojů a zátěže (spotřebiče). Zdroji jalového výkonu mohou být synchronní generátory či kompenzátory, statické kondenzátory a vedení. Pro provoz ES jsou charakteristiky statických kondenzátorů a vedení nevhodná, neboť s poklesem napětí klesá i dodávaný jalový výkon. Naopak z hlediska regulace napětí je charakteristika synchronních generátorů a synchronních kompenzátorů příznivá, neboť s poklesem napětí se dodávka jalového výkonu zvyšuje. Spotřebiči jalového výkonu jsou především transformátory, asynchronní motory, synchronní motory, kompenzační tlumivky a vedení. Ustálený stabilní stav je dán průsečíkem statické charakteristiky zdrojů a zátěže. K porušení stability může dojít u neregulované soustavy při zvýšení jalové spotřeby na kritickou hodnotu, kdy jakákoliv odchylka napětí by způsobila zhroucení napětí v dané oblasti ES. Je tedy nutné napětí regulovat. Napětí můžeme decentralizovaně (v uzlech) regulovat v ES změnou buzení synchronních generátorů či kompenzátorů, provozem statických kondenzátorů a regulací odboček transformátorů. Například při zvýšení požadavku zátěže na odběr jalového výkonu v uzlu ES dojde ke snížení napětí. Pokud chceme udržet napětí v uzlu, musíme provést regulaci zvýšením jalového výkonu zdroje nebo provést změnu odbočky transformátoru. V opačném případě proběhne regulace naopak. Provozovatel ES musí mít toky jalového výkonu a hladiny napětí v jednotlivých uzlech pod kontrolou. K regulaci jalového výkonu a napětí se nejlépe hodí svými vlastnostmi synchronní generátor. Synchronní kompenzátory představují náročné zařízení z pohledu investičních i provozních finančních prostředků a s jejich rozvojem se v přenosové soustavě do budoucna nepočítá. Statické kondenzátory se v naší přenosové soustavě nepoužívají. Do budoucna lze počítat i s jejich nasazením v lokalitách s výraznou spotřebou, kde nejsou blízké elektrárny. V naší ES

jsou blokové transformátory s regulací odboček pod zatížením výjimečné. Regulace blokových transformátorů je tedy doplňujícím prostředkem regulace napětí.

Významným prvkem stabilizace napětí v ES je jalový výkon vyráběný synchronním generátorem. Jalový výkon zároveň způsobuje ztráty v síti. Je tedy důležité pro ES jalový výkon efektivně využívat, resp. řídit toky jalových výkonů. Pro efektivní využívání v přenosové i distribuční soustavě vznikl systém (ASRU), který umožňuje dispečersky regulovat toky jalového výkonu v soustavě a stabilizovat napětí v jednotlivých uzlech soustavy. Úkolem systému je tedy průběžně vyrovnávat bilanci jalového výkonu na zadané hodnotě napětí v pilotních uzlech. Pracuje jako regulátor se zápornou zpětnou vazbou. Regulační veličinou je napětí měřené v daném pilotním uzlu. Pro udržení napětí v pilotním uzlu potřebuje systém zadanou hodnotu napětí, která může být zadána pevně, ručně a automaticky (vypočítaná optimalizačním programem). Pro regulaci je klíčovou informací regulační odchylka, která vznikne rozdílem zadané hodnoty napětí a měřené hodnoty napětí v pilotním uzlu. Regulátor tuto odchylku eliminuje. Systém ASRU se stal pro ES přínosem, neboť se soustava stala hospodárnější, kvalitnější a bezpečnější.

Regulace napětí a jalového výkonu má v přenosové soustavě ČR třístupňovou hierarchii řízení. Na úrovni celé regulované soustavy se jedná o terciární regulaci napětí (TRN), která umožňuje udržovat optimální provoz soustavy prostřednictvím zadané hodnoty napětí daného pilotního uzlu pro ASRU (ARN + SRU). Dále TRN určuje změnu převodu vybraných transformátorů v PS, optimalizuje skladbu kompenzačních prostředků atd. Na úrovni jednoho pilotního uzlu soustavy se nachází automatická sekundární regulace napětí (ASRU). ASRU se skládá z automatické regulace napětí (ARN) a skupinové regulace napětí (SRU), resp. sekundární regulace jalového výkonu (SRQ) v případě regulace jen jednoho generátoru. ARN reaguje na odchylku mezi zadanou hodnotou napětí a měřenou hodnotou napětí v pilotním uzlu a určuje potřebný jalový výkon pro eliminaci odchylky v pilotním uzlu. SRU požadavek od ARN přerozdělí na jednotlivé SRQ bloků, která pak generuje impulsy požadavku na mechanismus změny primární regulace napětí (PRN), která je na úrovni jednoho bloku výroby. Jedná se o decentralizovanou variantu systému ASRU.

Konstrukčně lze rozdělit systémy ASRU do tří, resp. čtyř skupin (varianty). Jedná se o centralizovanou variantu, která má stanici ARN na dispečinku, decentralizovanou variantu, která má ARN mimo dispečink, variantu bez samostatné stanice ARN, kde je ARN integrována s TRN, a variantu bez systému ASRU. Decentralizovaná varianta se používá převážně v PS ČR. Pracuje s krátkou lokální zpětnou vazbou, neboť se zpětná vazba neuzavírá přes ŘS dispečinku. Vstupní data získává její stanice ARN z ŘS rozvodny pilotního uzlu. Je zde mož-

nost lokálního režimu systému ASRU při problémech s ŘS dispečinku. Je možné, aby operátor zadával napětí na výrobně. U centralizované varianty její stanice ARN získává data z ŘS dispečinku. Výhodou jsou synchronizované povely, ale nevýhodou zablokování činnosti a problém s ŘS dispečinku. Zpětná vazba je delší než u decentralizované varianty. Tato varianta se používá v distribuční soustavě. Variantu bez samostatné stanice ARN nelze regulovat bez ŘS dispečinku. Zpětná vazba má nepravidelnou vzdálenost. Možné použití u lokálních distribučních soustav. Čtvrtá varianta bez ASRU se může přechodně použít do doby před instalací systému ASRU. Jedná se o telefonické kontaktování obsluh na výrobnách kvůli požadavku změny jalového výkonu.

Regulace napětí a jalového výkonu byla v minulosti pouze technickou záležitostí. Po vylčení přenosové soustavy do společnosti ČEPS, a. s., se muselo vyřešit financování ohledně dodávek činného a jalového výkonu s elektrárnami. Vznikly tak „Systémové a podpůrné služby“. Systémové služby zajišťují na úrovni PS udržování kvality energie, udržování výkonové rovnováhy v reálném čase, obnovení provozu a dispečerské řízení. Jsou placeny jako součást za elektrickou energii všemi spotřebiteli těchto služeb. Prostředkem pro zajištění systémových služeb jsou „Podpůrné služby“ (PpS). Jednou z placených podpůrných služeb je i „Sekundární regulace napětí a jalového výkonu“. Tuto službu mohou poskytovat provozovatelé elektráren, jejichž bloky mají instalovaný výkon 50 MW a více a jsou připojeny do přenosové soustavy. Provozovatelé, kteří mají zájem o tuto podpůrnou službu, musí splňovat podmínky dané Kodexem PS. Dále musí jejich elektrárenské bloky vyhovovat regulačním rozsahem jalového výkonu, disponibilitou a lokalitou zdroje. Každý provozovatel bloku, který má zájem o PpS, musí projít certifikačním měřením, aby bylo možné přesně určit meze čerpání jalového výkonu. Podrobné certifikační měření konkrétního generátoru jsem popsal v kapitole „Testování SRUQ generátoru TG12 PPC Vřesová“.

V poslední kapitole jsem popsal anomální stav soustavy, který se odehrál dne 25. července 2006. Tento den prověřil fungování v krizové situaci jak soustavu, tak i systém ASRU. Systém ASRU je přínosem při takových anomálních stavech v soustavě, především pro svoji stabilizační schopnost efektivně regulovat jalový výkon pro záchranu soustavy.

Použitá literatura

- [1] FEJT, Z., ČERMÁK, J. *Elektroenergetika*. Praha: Fakulta elektrotechnická, 1983.
- [2] NOHÁČ, K. *Výukový materiál k předmětu Elektrárny 2*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015.
- [3] HABRYCH, R. Řízení jalového výkonu synchronního generátoru. *Časopis Energetika*. Praha, 2014, 12/2014, s. 2–8, ISSN 0375-8842.
- [4] KOLCUN, M., GRIGER, V. *Riadenie prevádzky elektrizačných sústav*. Košice: Mercury-Smékal, 2003. ISBN 8089061761.
- [5] IBLER, Z., BERAN, M. *Elektrárny II*. Plzeň: Fakulta elektrotechnická, 1982.
- [6] Pravidla provozování přenosové soustavy. Kodex přenosové soustavy. *Část V. Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS*.
- [7] DOLEŽAL, J., WITNER, K. Regulace napětí a jalového výkonu – současnost a trendy. *Časopis Automa*. Děčín, 2001, 4/2001, s. 18–20, ISSN 1210-9592.
- [8] DVORSKÝ, E. *Výukový materiál k předmětu Měření a regulace*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015.
- [9] *PS91.3 – Technická zpráva SRU EVRE*. Brno: 2013.
- [10] MÁŠLO, K. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013. ISBN 978-80-260-4461-1.
- [11] *Pokyny pro skladování, montáž, provoz a údržbu budicí soupravy BRUSH S E M MBS120MI*. Plzeň: 2002.
- [12] Síťový simulátor MODES. Balík programů pro dynamickou simulaci elektrizační soustavy. *Modely budicích systémů*. ©2016. [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://modesinfo.com/documents/PocitAnalyzaESKap5-3.pdf>.
- [13] HABRYCH, R. Automatická sekundární regulace napětí. *Časopis Energetika*. Praha, 2015, 5/2015, s. 254–261, ISSN 0375-8842.
- [14] HABRYCH, R. *Systém regulace napětí a jalových výkonů v DS*. Plzeň, 2012. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [15] HABRYCH, R. *Varianty praktické realizace ASRU*. Vlastní poznámky autora.
- [16] Řízení napětí a jalových výkonů v elektrizační soustavě České republiky. *Sborník 2. ročník*. EGÚ Praha a. s. Praha – Běchovice, 1997.
- [17] Pravidla provozování přenosové soustavy. Kodex přenosové soustavy. *Část II. Podpůrné služby (PpS)*.

- [18] MÁŠLO, K. *Regulace frekvence – bilance činných výkonů v ostrovním provozu (OP)*. Přednáška k předmětu Řízení ES. ©2016. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z:
http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/res/PrednaskaOstrovn%C3%ADProvoz2_Maslo.pdf.
- [19] Archivní materiály pilotního uzlu Vítkov ze dne 25. července 2006.