



Dynamická stabilita – kritérium mixu v ČR

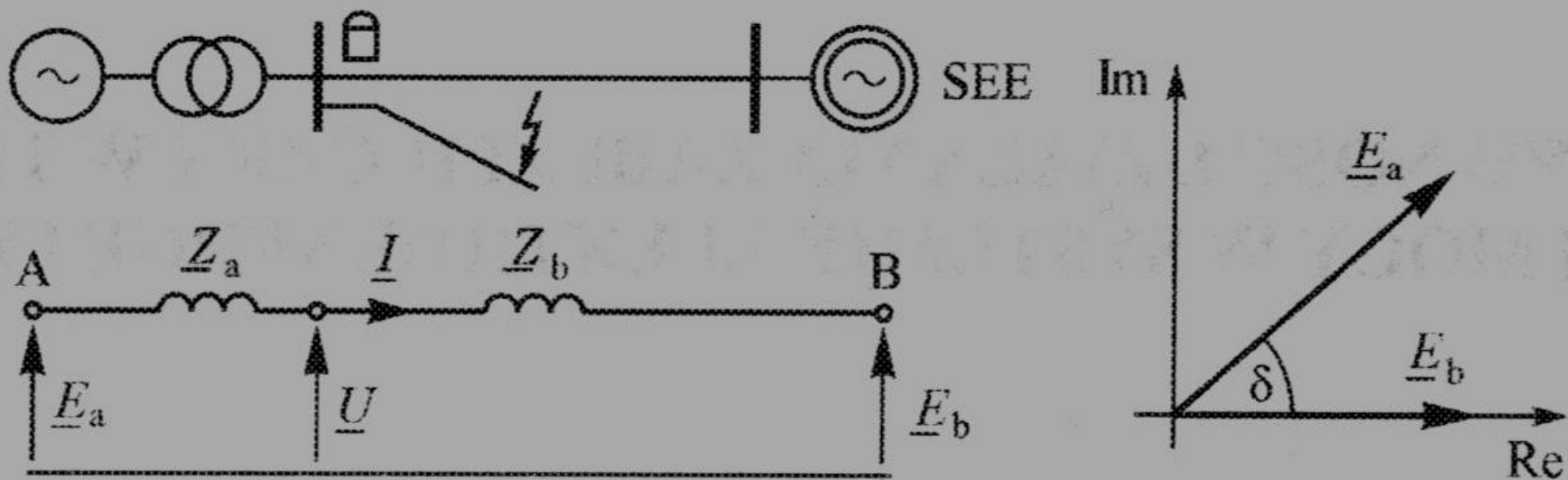
Jaroslav Pospíšil – Protection & Consulting, s.r.o.

Nařízení komise EU 2016/631, ze dne 14.dubna 2016, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky připojení výroben k elektrizační soustavě obsahuje u výroben elektrické energie nové pojmy jako *výrobní moduly* a u nesynchronního výrobního modulu je vlastnost tzv.,umělá setrvačnost“.

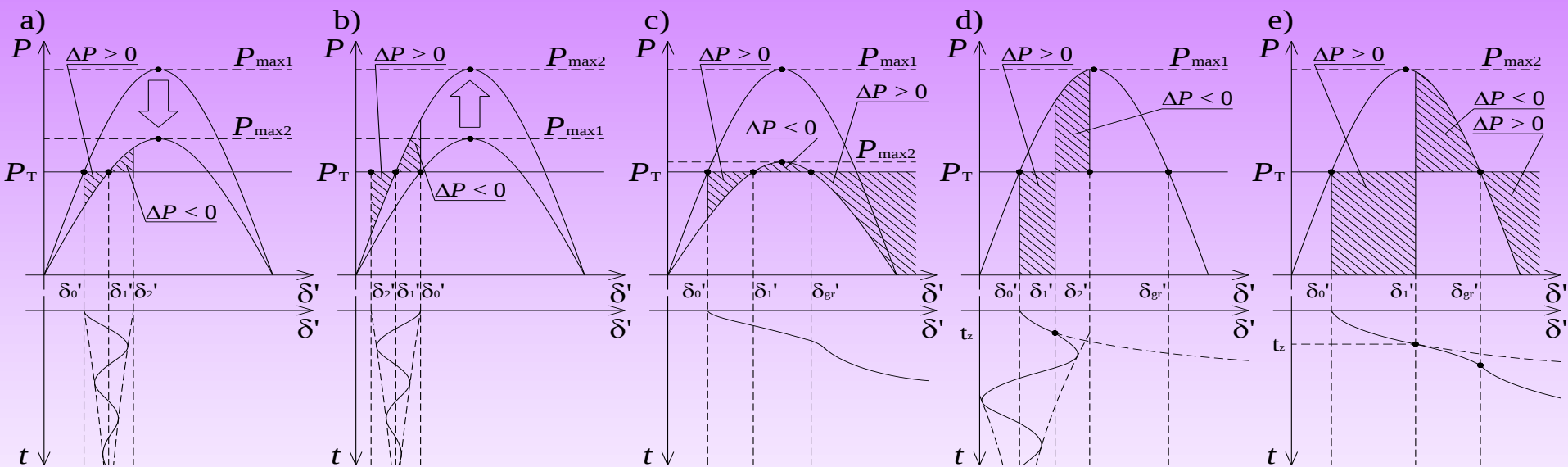
Synchronní výrobní moduly mají *inherentní schopnost* odolávat odchylkám frekvence nebo je zpomalovat, což je vlastnost, kterou *mnohé technologie obnovitelných zdrojů energie nemají*. Měla by proto být přijata *protiopatření, aby nedocházelo k větším změnám frekvence při intenzivní výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů energie*. Další rozvoj využívání obnovitelných zdrojů energie, které nepřispívají přirozeně k setrvačnosti, by mohla usnadnit umělá setrvačnost.

Dynamická stabilita

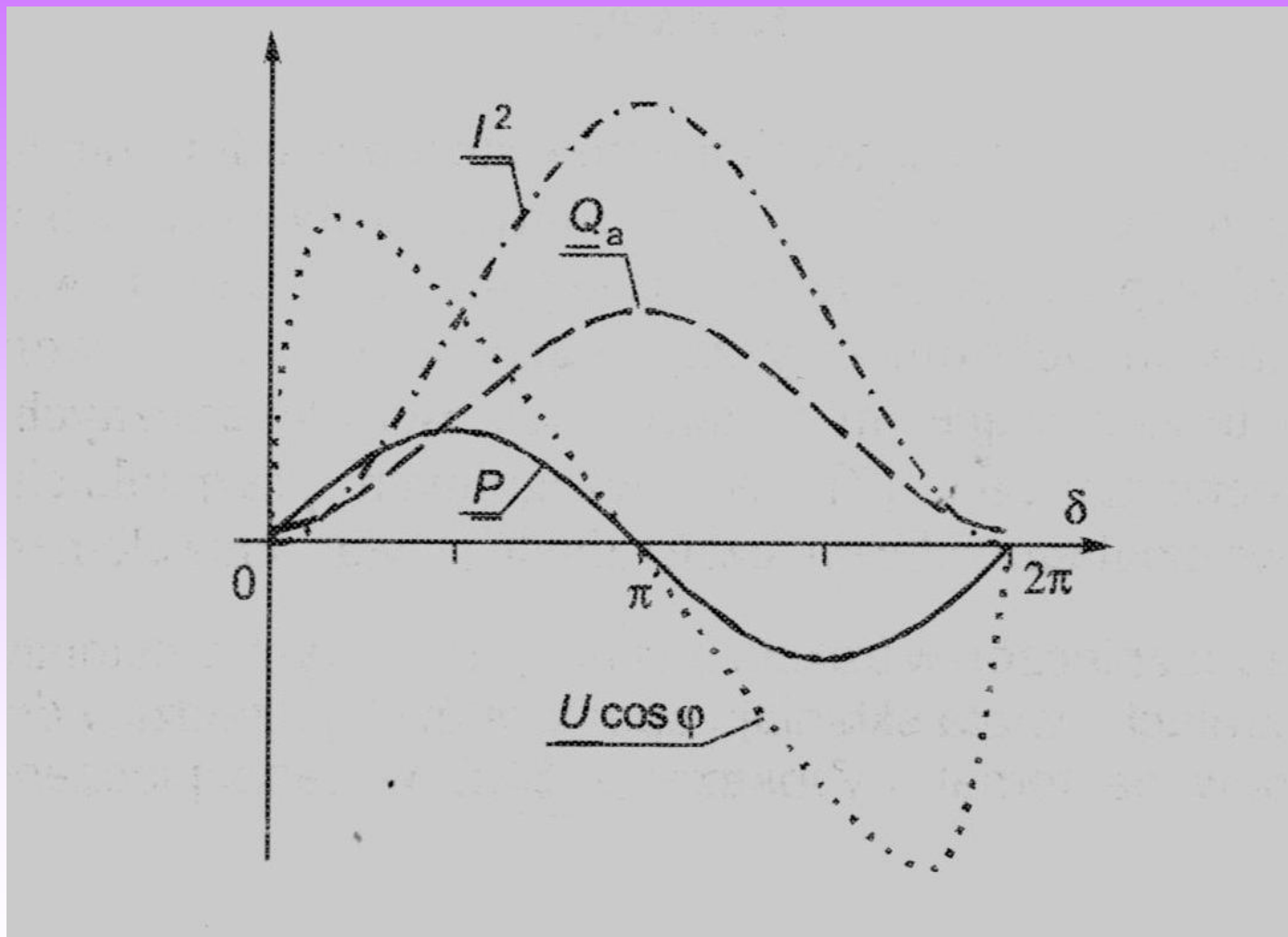
Kývání v energetickém systému - náhradní výpočetní schéma



Příklad výkonových charakteristik $P(\delta')$ a průběhy změny zát. úhlu δ' při: a) zvýšení reaktance sítě (X_z), b) snížení X_z , c) výrazné zvýšení X_z , d) rychlé vypnutí trojfázového zkratu v síti e) pozvolné vypnutí trojfázového zkratu



Závislosti elektrických veličin na zátěžném úhlu



Vliv obnovitelných zdrojů na parametr **setrvačnosti** / **inercie** / výrobních modulů v energetickém systému, **dynamická stabilita** elektrizační soustavy

Analýza roční změny setrvačnosti synchronních modulů v energetickém systému.

Rostoucí podíl obnovitelných zdrojů způsobuje snížení **sumárního momentu setrvačnosti rotujících hmot**, což má dopad na realizaci **procesu primární regulace frekvence v elektrizační soustavě / ES /**. Současně je zapotřebí odpovídající koordinace nastavení **frekvenčních relé s kritériem df/dt / RoCoF – rate of change of frequency /**, jsou znázorněny **autokorelace koeficientu df/dt** v průběhu roku 2015 v kontinentální Evropě / KE / . Vysvětlení pojmu „**umělá setrvačnost**“ u nesynchronního výrobního modulu.

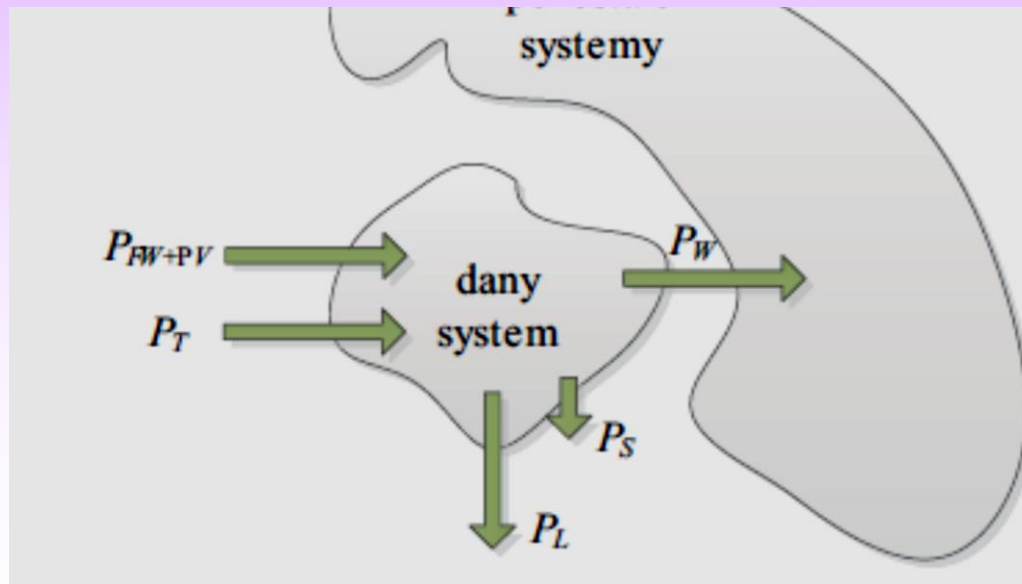
Analýza roční proměnnosti rotační setrvačné hmotnosti v kontinentální energetické soustavě Evropa při respektování rozvoje a provozu OZE

Frekvenční odezva každého napájecího energetického systému pro skokovou změnu výroby je inerciální „povahy“. Tato odpověď je díky okamžitému přenosu energie rotujícími hmotami synchronních generátorů, pokud se objeví rozdíl tím *vzniká odezva „inerciální“ frekvence* a je způsobeno například náhlým poklesem výrobní kapacity v zemích kont. Evropy. Taková situace může mít v budoucnu významný vliv na provádění procesu řízení frekvence a související systémové služby provozovateli přenosové **soustavy**.

Technologie OZE, které vykazují největší negativní vliv na snížení setrvačnosti v ES, které představují významný podíl na výrobě elektrické energie v Evropě, jsou větrné a fotovoltaické.

Ve světě vzniklo mnoho studií o dopadu výrobní struktury elektrické energie na problematiku setrvačnosti v SE, zejména u větrných turbín a větrné farem.

Koncepce setrvačnosti energetického systému



rovnováhy lze psát následovně :

$$PT - PL - PW + PFW + PV - PS = 0$$

rovnice 1

$$PT - PL - PW + PFW + PV - PS = \Delta P$$

rovnice 2

kde:

PT - celkový mechanický výkon turbín synchronní generátorů,

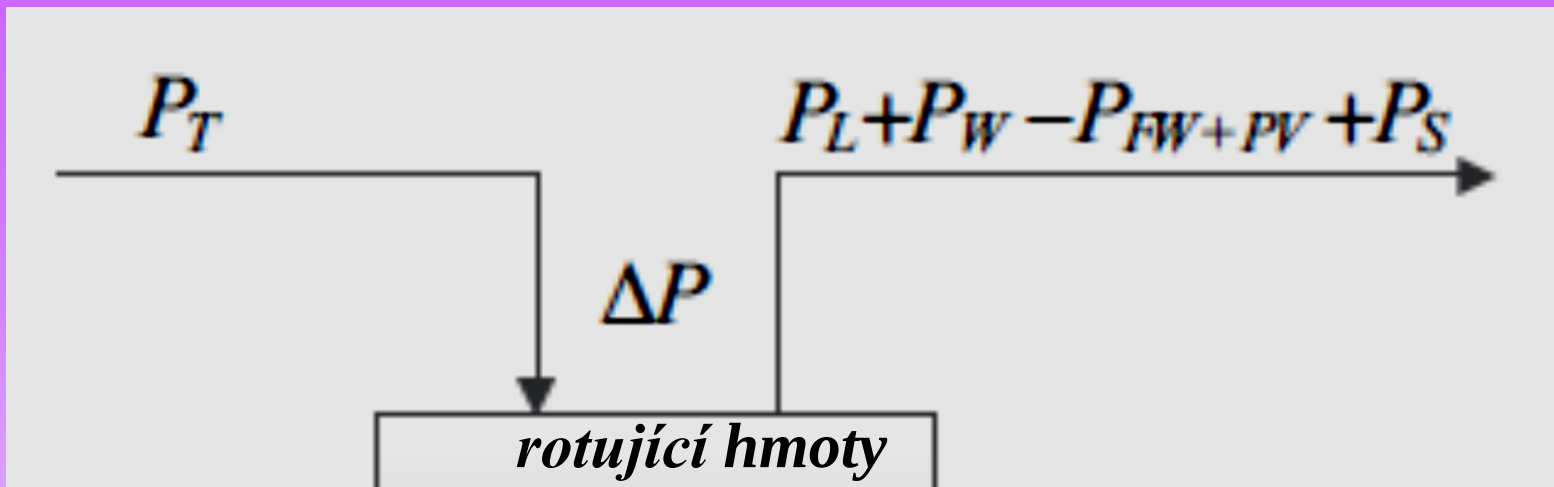
PL - celkový činný odběr v SE,

PW – činný výkon mezi systémy,

PFW + PV - celkový výkon vyrobený v OZE (***VET a FVE***),

PS - celkové ztráty činné energie v SE,

ΔP - rozdíl mezi výkonem generovaným a spotřebovaným v SE.



Rozdíl mezi výkonem generovaným a spotřebovaným v SE, který je shodný skokové změně výkonu lze vyjádřit následující rovnicí

$$\Delta P = \sum_{i \in G} \Delta P_i = \sum_{i \in G} \frac{2H_i S_{ni} \omega_i}{\omega_{ni}^2} \frac{d\omega_i}{dt}$$

rovnice 3

H_i – tzv. stálá *inercie* / setrvačnost / i - generátoru (s),
 S_{ni} – jmenovitý zdánlivý výkon i - generátoru (MVA),
 ω_i – úhlová rychlost i - generátoru (rad/s),
 ω_{ni} – jmenovitá úhlová rychlost i - generátoru (rad/s).

a za předpokladu, že *kývání* všech rotorů generátorů je *koherentní* / pevné - soudržné / se získá vztah

ve *frekvenčním tvaru* (v p.j. , vyjádřeno v Hertz za sekundu)

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_n^2 \Delta P}{2f \sum_{i \in G} H_i S_{ni}} \cong \frac{f_n \Delta P}{2 \sum_{i \in G} H_i S_{ni}} = \frac{f_n \Delta P}{2H_Q \sum_{i \in G} S_{ni}}, \quad f_n \approx f$$

rovnice 5

H_Q - náhradní stálá inercie / setrvačnost / energetického systému / SE

$$H_Q = \frac{\sum_{i \in G} H_i S_{ni}}{\sum_{i \in G} S_{ni}}$$

RoCoF (*rychlost změny frekvence*) je přímo úměrná změně výkonu ΔP a napřímo úměrná náhradní stálé inerci / setrvačnosti / a celkovému jmenovitému výkonu S_{ni} synchronních generátorů přímo připojených do ES.

Souvislost mezi přírůstkem/ztrátou výkonu a odpovídající odezvou přírůstkem/poklesem frekvence je vyjádřena pomocí setrvačného členu, při respektování setrvačnosti rotorů generujících točivých strojů a frekvenční závislosti spotřeby.

$$G_Q(s) = \frac{k_Q}{1 + sT_Q}$$

Časová odezva přenosové funkce v rovnici (5) je následující :

$$\Delta f(t) = \Delta P(t)k_Q \left(1 - e^{-\frac{t}{T_Q}} \right)$$

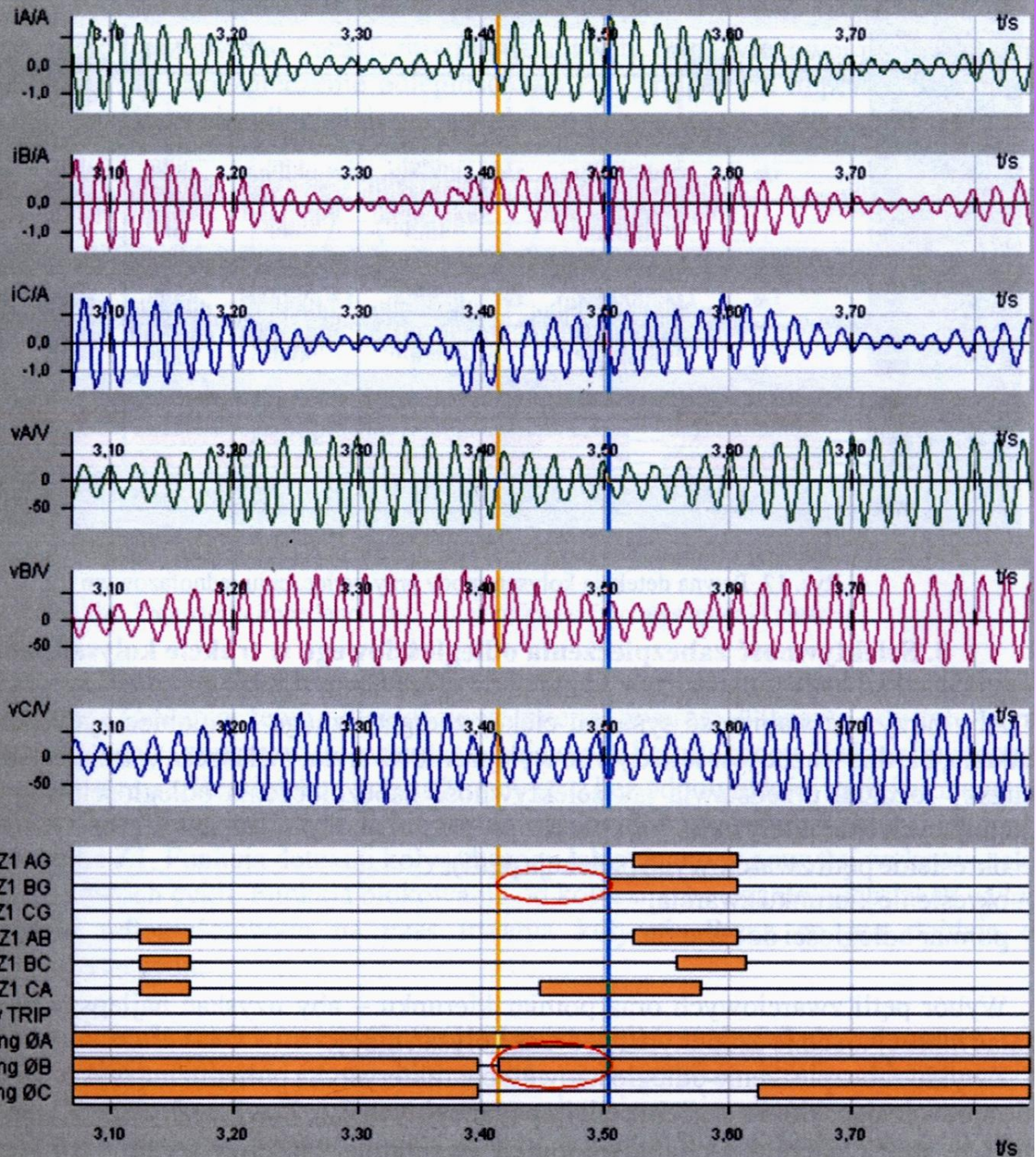
Tabulka II. Přijaté hodnoty pro jednotlivé výrobní technologie v Kontinentální Evropě

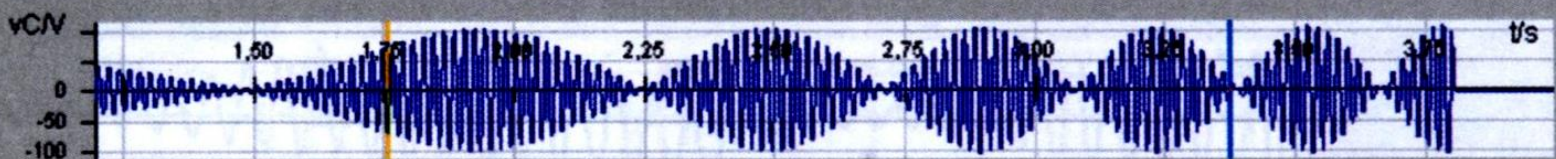
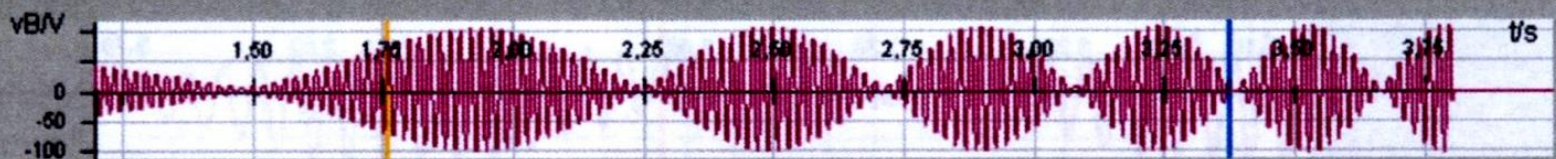
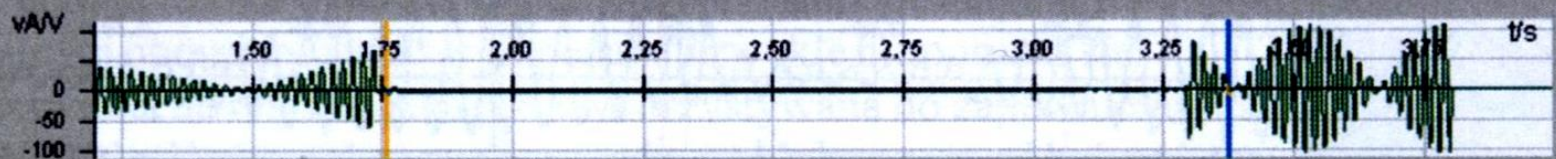
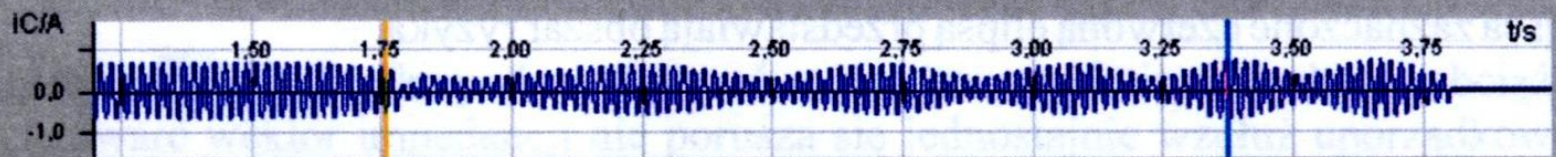
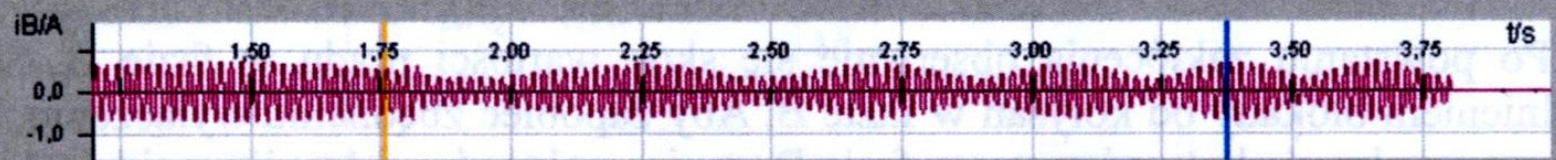
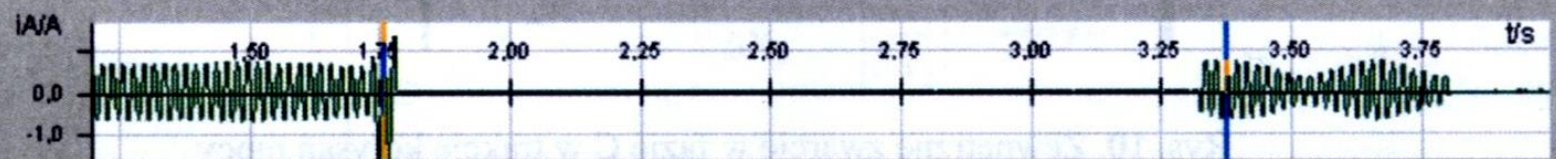
<i>Technologie</i>	<i>setrvačnost</i> <i>H_i (s)</i>	<i>koefficient</i> <i>zat. (-)</i>	<i>účinník</i> <i>cos (-)</i>
Biomasa	2,00	0,70	0,85
<i>Hnědé uhlí</i>	<i>3,70</i>	<i>0,85</i>	<i>0,85</i>
Koksárenský plyn	4,00	0,75	0,85
Zemní plyn	3,50	0,70	0,85
Černé uhlí	4.25	0.75	0.85
Těžký topný olej	3,50	0,70	0,85
Bituminózní břidlice	3,50	0,70	0,85
Rašelina	3,50	0,70	0,85
Geotermální	3,50	0,70	0,85
<i>Přečerpávací vodní</i>	<i>6,35</i>	<i>0,80</i>	<i>0,85</i>
Průtočné vodní	3,00	0,60	0,85
Akumulační –vodní	3,50	0,80	0,85
Plovoucí	0	-	-
<i>Jaderné</i>	<i>7,00</i>	<i>0,90</i>	<i>0,85</i>
Ostatní	2,00	0,75	0,85
<i>Ostatní OZE</i>	<i>2,00</i>	<i>0,70</i>	<i>0,85</i>
<i>Fotovoltaika</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>Odpad /spalovny /</i>	<i>2,00</i>	<i>0,70</i>	<i>0,85</i>
<i>Větrné –mořské</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>Vítr</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-----</i>

Variabilita parametru {RoCoF} v 2015 :

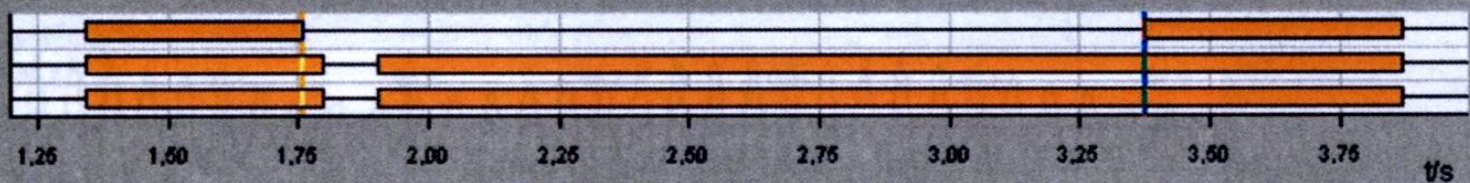
Protože odchylka setrvačnosti je malá (4-5 s), variabilita RoCoF je určena hlavně součtem jmenovitých výkonů výrobních jednotek, které jsou zdrojem setrvačnosti. *Nejmenší je hodnota* $\text{RoCoF} = -0,0323 \text{ Hz/s}$. pozorováno 20. ledna 2015, 17: 00-18: 00, při maximální výrobě z konvenčních zdrojů ($\text{PK i} = 360 \text{ GW}$, $\text{SK i} = 543 \text{ GVA}$).

V 2015, kromě *tepelných elektráren a jaderných, byl velký podíl i plynových elektráren a vodních přečerpávacích*. *Maximální hodnota* $\text{RoCoF} = -0,0703 \text{ Hz/s}$ nastalo 6. září 2015 (neděle), mezi 03: 00-04: 00 hod.. V této hodině došlo k minimu konvenční výroby ($\text{PK i} = 156 \text{ GW}$, $\text{Si K} = 543 \text{ GVA}$), při relativně nízké výrobě z vody. Rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou je asi dvojnásobek.

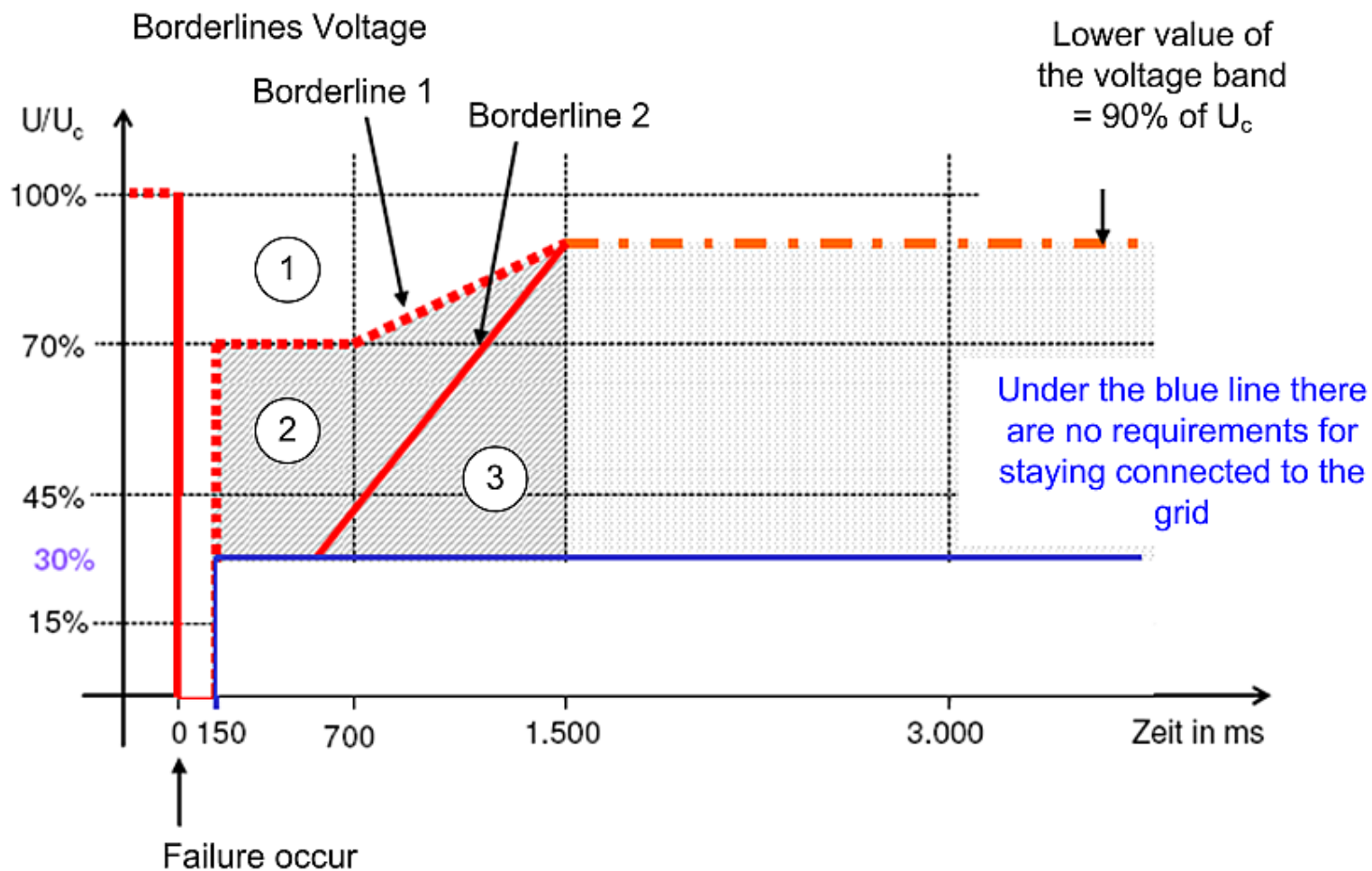




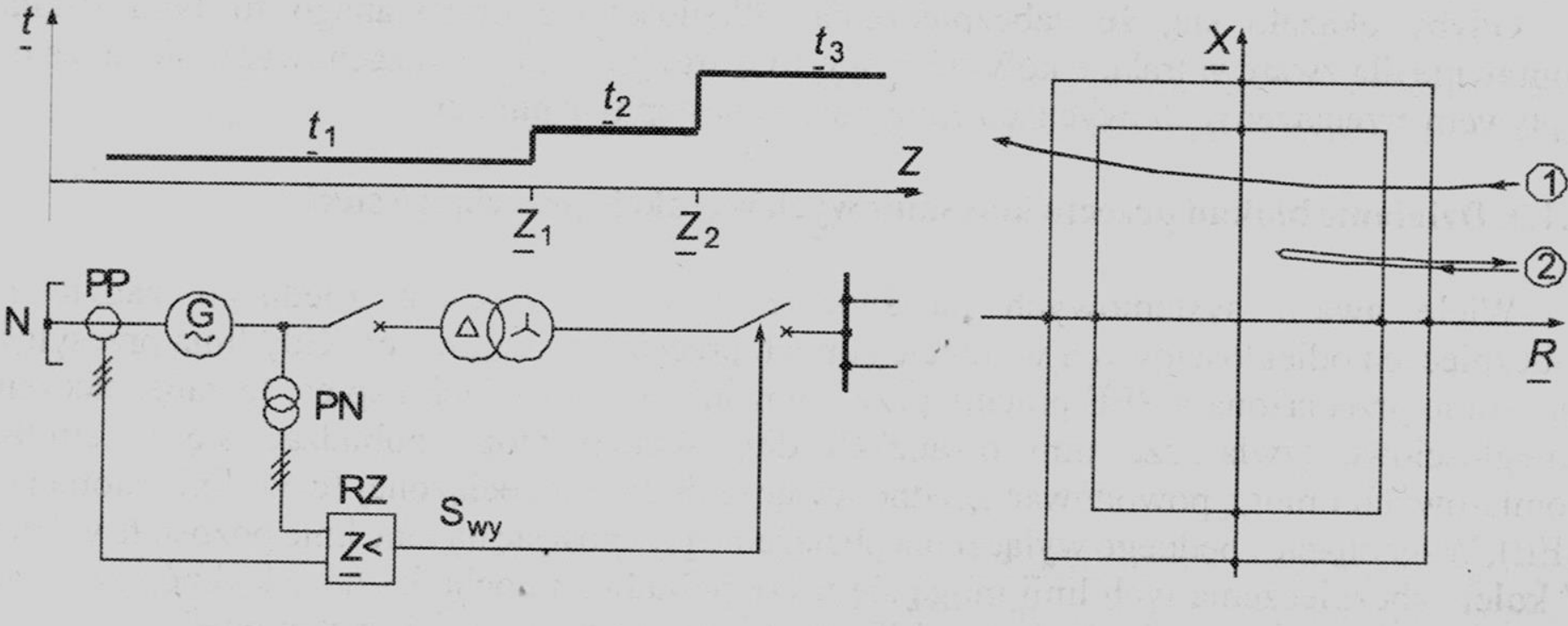
68 P/Swing ØA
68 P/Swing ØB
68 P/Swing ØC

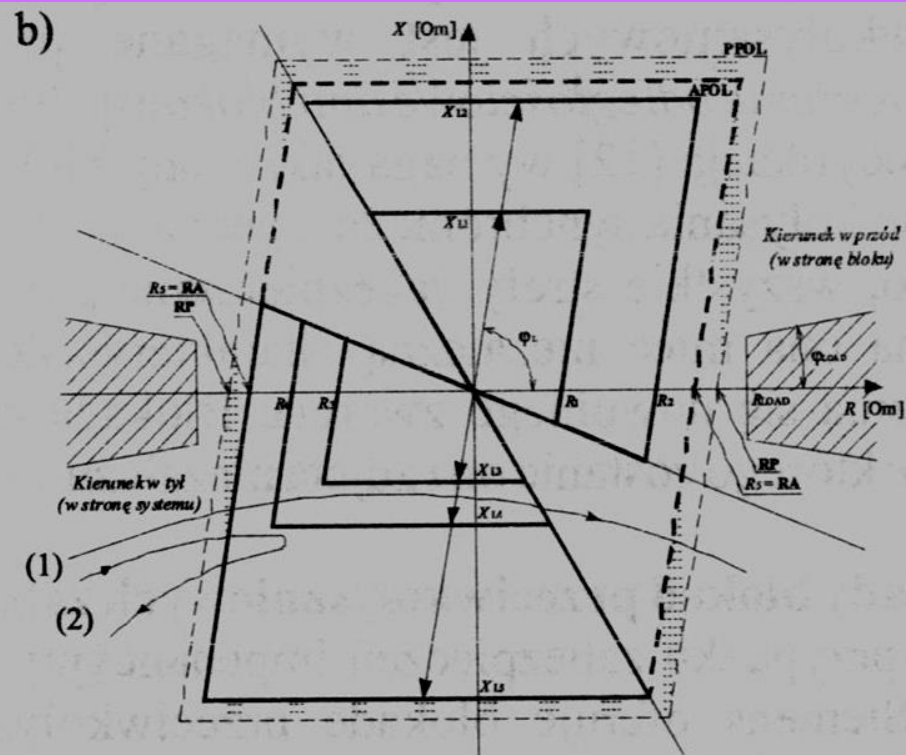
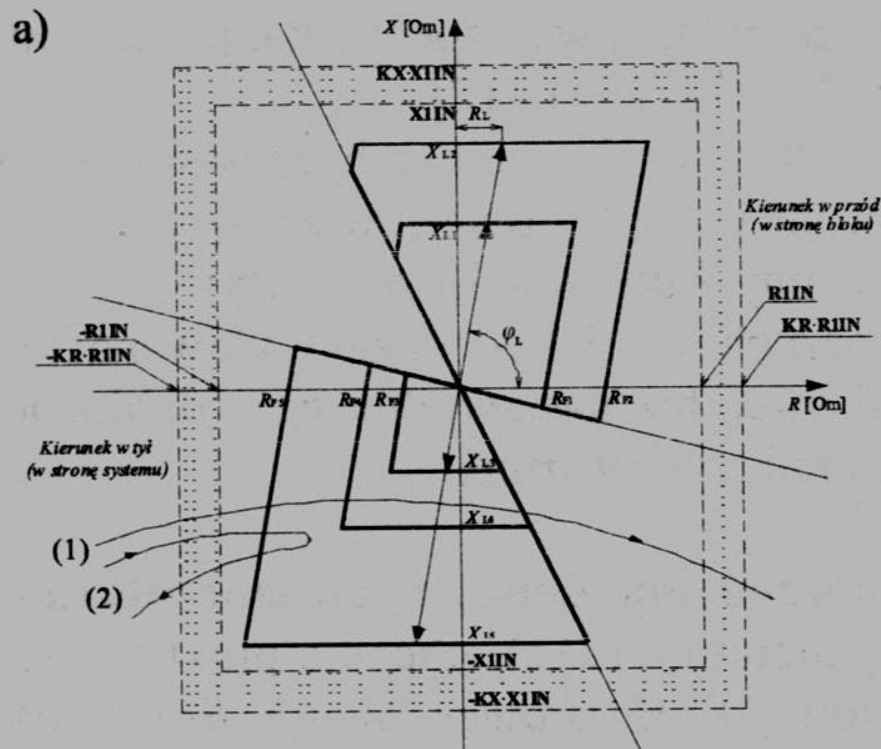


Požadavky pro “Typ 2”:



Distanční ochrana generátoru - 21e





Popudové charakteristiky distančných ochran bloku - funkce 21s a/ REL531 fy ABB , b/ 7SA522 fy Siemens

A SYSTEM OF FAST VALVING FOR THE 1000 MW TURBINE IN NUCLEAR POWER PLANT TEMELÍN

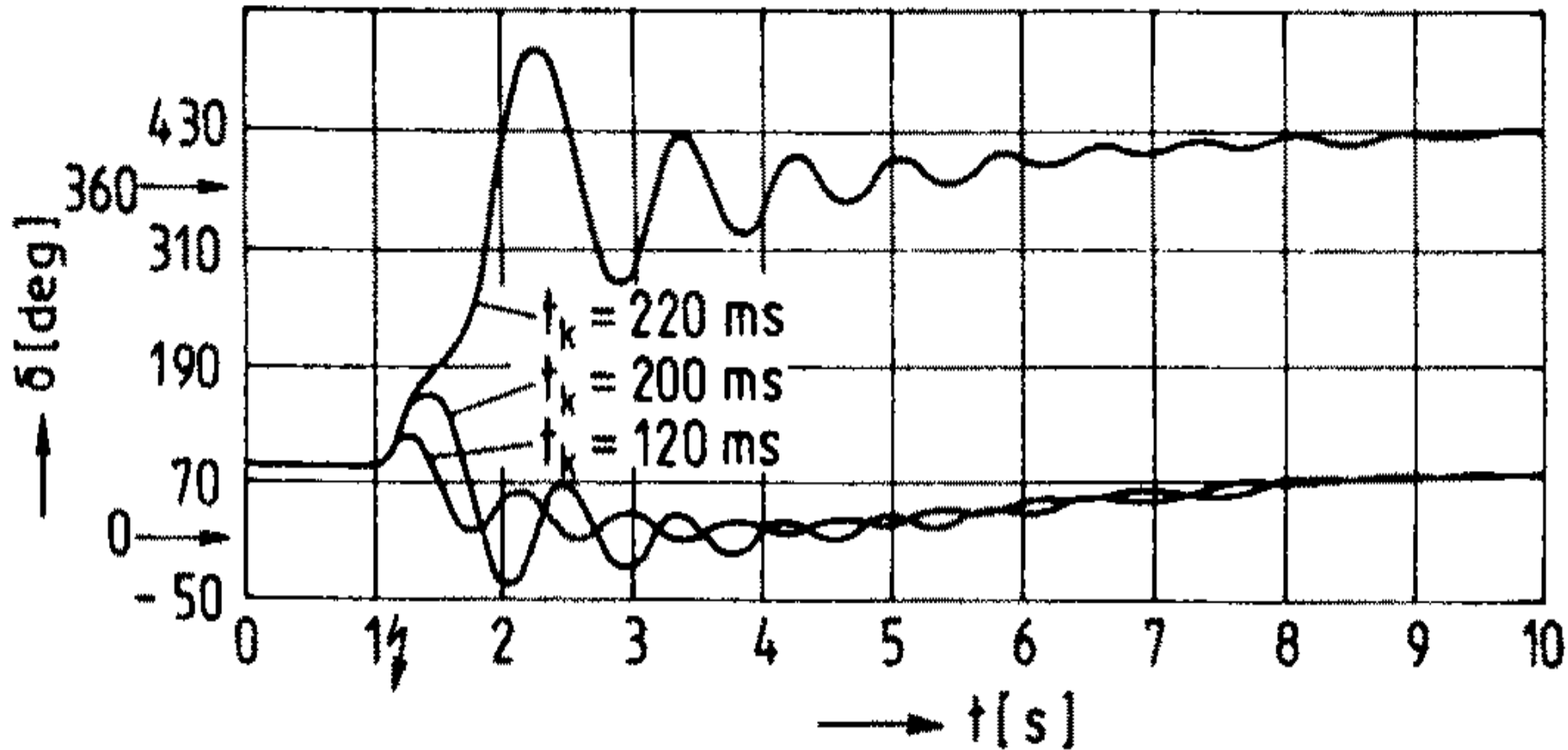
Jaroslav Pospíšil

EGÚ – Protection & Consulting, LtD, CZECH REPUBLIC

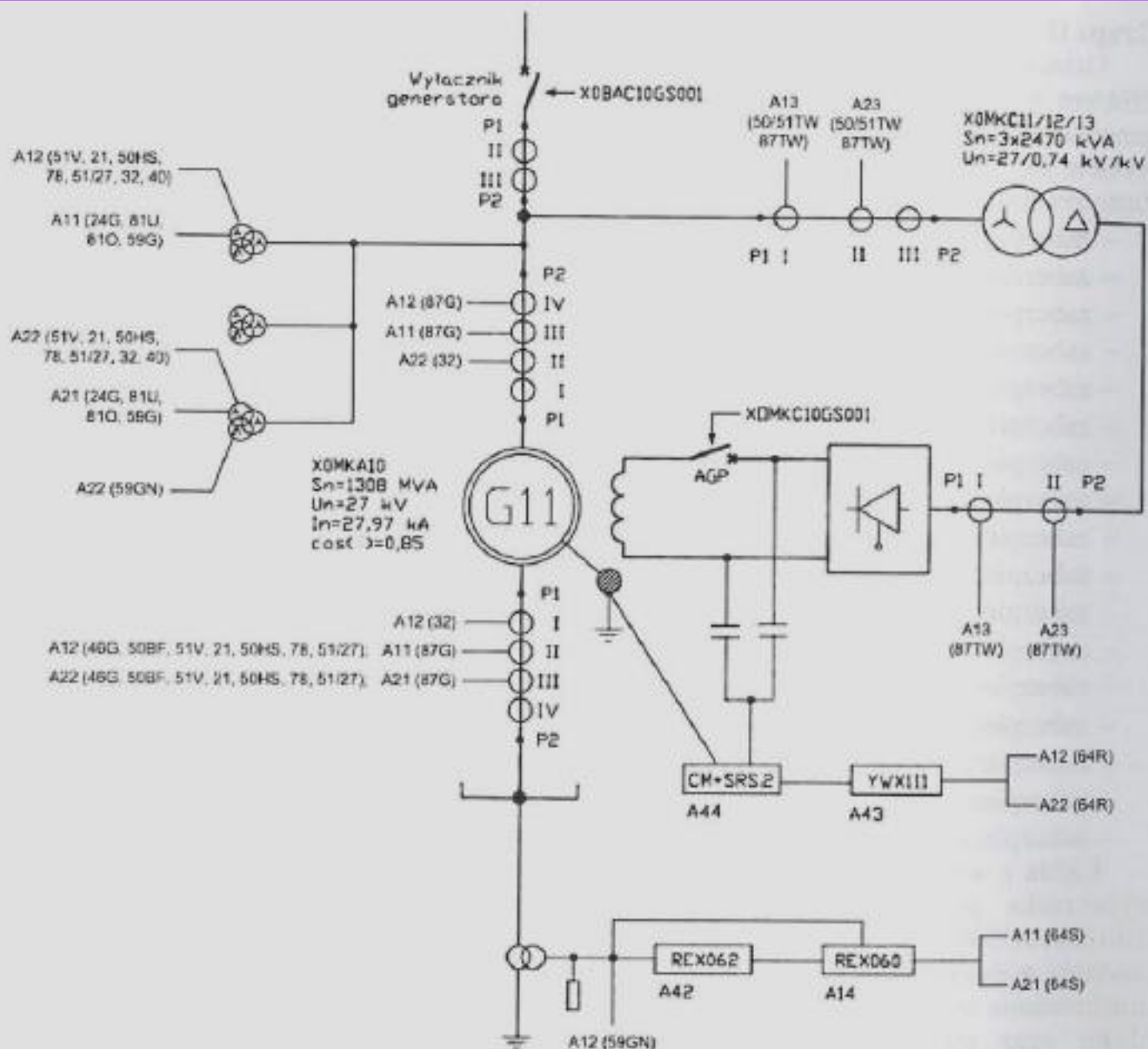
Summary

A system of fast valving is being applied on the 1000 MW turbine in nuclear power plant Temelín for preventing the generator outage at near three-phase short-circuits and when the power circuit-breakers on HV side fail.

The starting of fast valving is derived from the electric protection of 400 kV lines, from the 1000 MW generator protection as well as from the protection of busbars.



Rotor angle of the 1000 MW generator at a three-phase short-circuit behind the unit transformer with the short-circuit duration t_k as a parameter, under the influence of FV, *at the external reactance 0.15 p. u.* and with initiation time 0 ms



Rys. 6. Schemat ideowy połączenia obwodów generatora o mocy 1075 MW z urządzeniami zabezpieczeniowymi

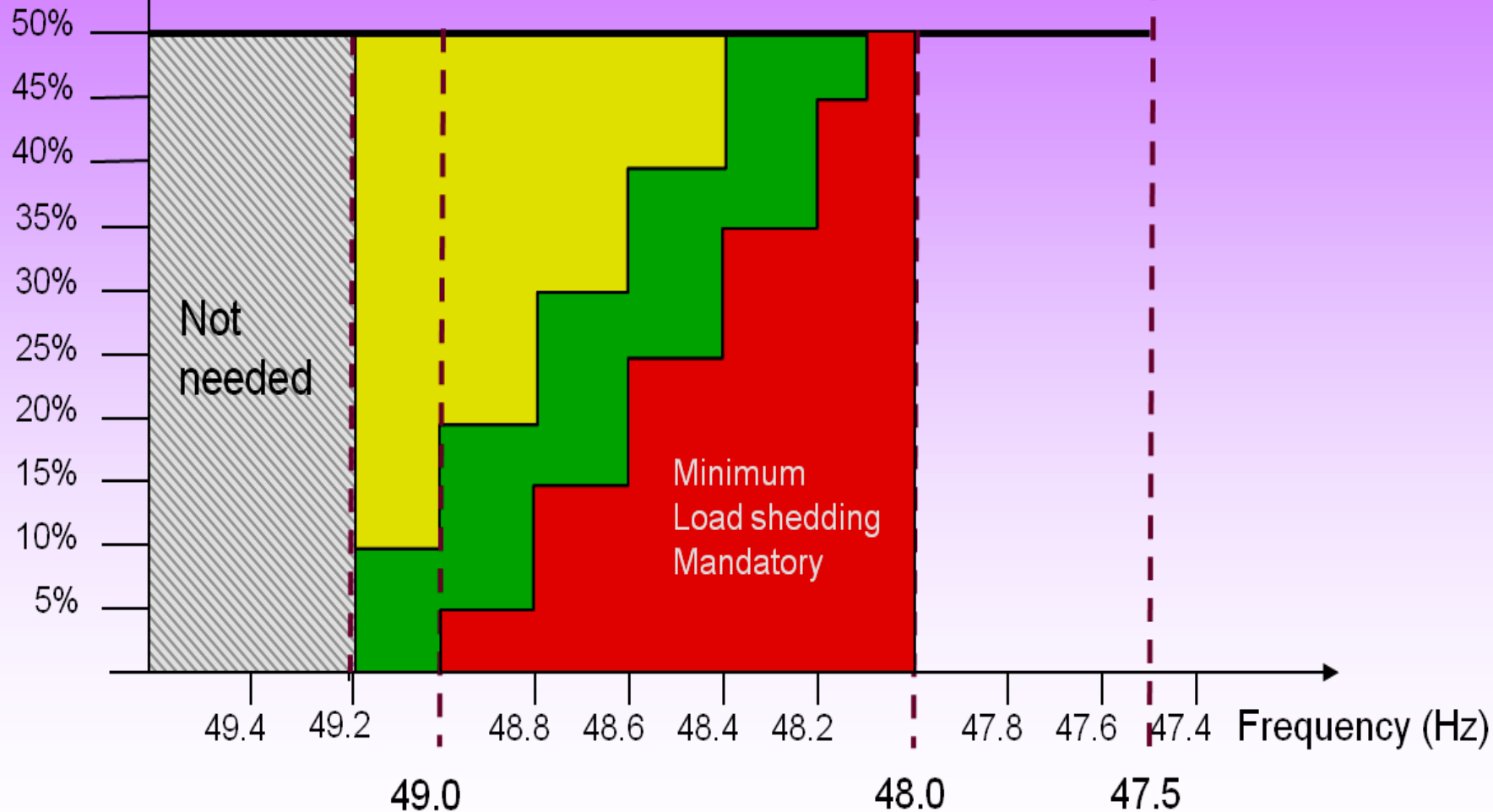
ROZSAH PLATNOSTI kodexu ENTSO_E

Zajištění bezpečného a spolehlivého provozu jak za normálního provozu, tak i při přechodových jevech v ES ČR, propojené s ES okolních evropských zemích vyžaduje sjednocení technických parametrů i požadavků na chování zdrojů. [K tomu slouží kodex ENTSO-E \(evropských provozovatelů přenosových soustav\)](#), který podle jmenovitých činných výkonů PnE výrobních jednotek definuje následující třídy A až D. Výkonové pásmo PnE jednotek typu A a B se podle požadavků vyplývajících z české legislativy, dále člení podle následující tabulky.

Typ zdroje	Limit RfG	Podkat.	Hranice PDS	Nejvýznamnější požadavky
A	800 W	A1	$\geq 800\text{ W}$	<i>dle NC RfG</i>
		A2	$\geq 11\text{ kW}$	• Komunikace s ŘS PDS • Snížení činného výkonu • Regulace U/Q s dálkovým zadáváním
B	1 MW	B1	$\geq 100\text{ kW}$	<i>dle NC RfG</i>
		B2	$\geq 1\text{ MW}$	• Zvýšení P při podfrekvenci • Rozšířený P-Q diagram
C	50 MW	C	$\geq 30\text{ MW}$	<i>dle NC RfG</i>
D	75 MW	D	$\geq 75\text{ MW}$	<i>dle NC RfG</i>

Požadavky ENTSO-E

Load
shedding
amount



Na závěr roku 2019 byla rozeslána doporučení společností *E.ON Distribuce, a.s.* pro výrobní OZE nad cca 1 MW na změny v nastavení frekvenčních ochran u stávajících zdrojů, kde se vychází z požadavků ČEPS a.s. – z nařízení EK č. 2016/631, ze dne 14.4.2016 a *ČEZ Distribuce, a.s./* , kde se u výrobních modulů A2, B1, B2, C, D, požaduje kontrola omezování činného výkonu / *pojem frekvenční stabilita* / a u nesynchronních výrobních modulů nad 100 kW posouzení frekvenčního odepínání v rozmezí 50,2 Hz až 51,5 Hz.

Doporučení společností E.ON Distribuce, a.s. a ČEZ Distribuce, a.s. pro výrobní OZE nad 1 MW

Požadavky na nastavení frekvenčních ochran v předávacím místě výroby (rozpadové místo)

Funkce	Rozsah nastavení	Doporučené nastavení ochrany	
Nadfrekvence $f >$	50 – 52 Hz	51,5 Hz	≤ 100 ms
Podfrekvence $f <$	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz	≤ 100 ms

Požadavky na frekvenční stabilitu výroby (za předávacím místem směrem k VM / výrobním zdrojům)

Při růstu frekvence požadujeme prověřit možnost nastavení frekvenčního odepínání Vaší výroby (pokud to vaše technologie umožňuje) takto:

- při vzrůstu kmitočtu na 50,2 Hz odpojit 10% výkonu (instalovaného)
- při vzrůstu kmitočtu na 50,5 Hz odpojit dalších 12% výkonu (instalovaného)
- při vzrůstu kmitočtu na 50,8 Hz odpojit dalších 12% výkonu (instalovaného)
- při vzrůstu kmitočtu na 51,1 Hz odpojit dalších 16% výkonu (instalovaného)
- při vzrůstu kmitočtu na 51,5 Hz odpojit zbylých 50% výkonu (instalovaného)

Při poklesu frekvence odpínat výrobu až při 47,5 Hz.

Děkuji za pozornost

email : pospisil@protection.cz

Mob. +420 603 228 510