

Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie

<b>ČEZ Distribuce, E.ON CZ, E.ON distribuce, ČEPS, ZSE</b>	<b>Generátorové systémy větrných turbín – Část 21: Měření a vyhodnocení charakteristik kvality elektrické energie větrných turbín připojených k elektrické rozvodné soustavě</b>	<b>PNE 33 3160-1</b>
<p>Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, a.s., ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Česká republika, s.r.o., E.ON Distribuce, a.s., a ZSE Bratislava,a.s.</p> <p>Tato norma stanoví metodiku měření a vyhodnocování charakteristik kvality elektrické energie VE připojených k elektrické rozvodné soustavě.</p>		

Návaznost: IEC 61400-21	Účinnost od: 2009-01-01
-------------------------	-------------------------

## Obsah

	Strana
Úvod .....	6
<b>1</b> Rozsah použití .....	6
<b>2</b> Citované normativní dokumenty .....	7
<b>3</b> Definice .....	7
<b>4</b> Značky a jednotky .....	10
<b>5</b> Zkratky .....	12
<b>6</b> Parametry charakteristiky kvality elektrické energie větrné turbíny .....	12
<b>6.1</b> Všeobecně .....	12
<b>6.2</b> Specifikace větrné turbíny .....	12
<b>6.3</b> Kolísání napětí .....	12
<b>6.3.1</b> Trvalý provoz .....	12
<b>6.3.2</b> Spínací operace .....	13
<b>6.4</b> Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu .....	13
<b>6.5</b> Reakce na poklesy napětí .....	14
<b>6.6</b> Činný výkon .....	14
<b>6.6.1</b> Maximální měřený výkon .....	14
<b>6.6.2</b> Omezení lineárního růstu .....	14
<b>6.6.3</b> Řízení žádané hodnoty .....	15
<b>6.7</b> Jalový výkon .....	15
<b>6.7.1</b> Dosažitelný jalový výkon .....	15
<b>6.7.2</b> Řízení žádané hodnoty .....	15
<b>6.8</b> Ochrana elektrické rozvodné soustavy .....	16
<b>6.9</b> Doba opětovného připojení .....	16
<b>7</b> Zkušební postupy .....	16
<b>7.1</b> Všeobecně .....	16
<b>7.1.1</b> Platnost zkoušky .....	17
<b>7.1.2</b> Zkušební podmínky .....	17
<b>7.1.3</b> Zkušební vybavení .....	18
<b>7.2</b> Specifikace větrné turbíny .....	19
<b>7.3</b> Kolísání napětí .....	19
<b>7.3.1</b> Všeobecně .....	19
<b>7.3.2</b> Fiktivní elektrická rozvodná soustava .....	19
<b>7.3.3</b> Trvalý provoz .....	20
<b>7.3.4</b> Spínací operace .....	23
<b>7.4</b> Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu .....	24
<b>7.5</b> Reakce (odezva) na dočasný pokles napětí .....	25
<b>7.6</b> Činný výkon .....	26
<b>7.6.1</b> Maximální měřený výkon .....	26
<b>7.6.2</b> Omezení lineárního růstu .....	26
<b>7.7</b> Jalový výkon .....	27
<b>7.7.1</b> Dosažitelný jalový výkon .....	27

<b>7.7.2</b>	Řízení žádané hodnoty .....	27
<b>7.8</b>	Ochrana elektrické rozvodné soustavy .....	28
<b>7.9</b>	Doba opětovného připojení .....	29
<b>8</b>	Vyhodnocení kvality elektrické energie .....	29
<b>8.1</b>	Všeobecně .....	29
<b>8.2</b>	Kolísání napětí .....	29
<b>8.2.1</b>	Trvalý provoz .....	30
<b>8.2.2</b>	Spínací operace .....	30
<b>8.3</b>	Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu .....	31
<b>Příloha A</b>	(informativní) Vzorový formát zprávy .....	33
<b>Příloha B</b>	(informativní) Kolísání napětí a flickr .....	41
<b>Příloha C</b>	(informativní) Měření činného výkonu, jalového výkonu a napětí .....	48
<b>Příloha D</b>	(informativní) Příklad připojení větrného parku 16 MW .....	50
<b>Bibliografie</b>	.....	57
Obrázek 1	– Nastavení žádané hodnoty činného výkonu .....	15
Obrázek 2	– Nastavení žádané hodnoty jalového výkonu .....	16
Obrázek 3	– Předpokládané prvky měřicího systému .....	18
Obrázek 4	– Fiktivní elektrická rozvodná soustava pro simulaci fiktivního napětí .....	19
Obrázek 5	– Systém se zkratovým emulátorem pro zkoušení reakce větrné turbíny na dočasný pokles napětí .....	25
Obrázek 6	– Tolerance poklesu napětí .....	26
Obrázek B.1	– Postupy měření a vyhodnocení flickru při trvalém provozu větrné turbíny .....	41
Obrázek B.2	– Postupy měření a vyhodnocení změn napětí a flickru při spínacích operacích u větrné turbíny .....	42
Obrázek B.3	– Koeficient flickru jako funkce rychlosti větru .....	43
Obrázek D.1	– Síť vn větrného parku .....	51
Obrázek D.2	– Přiřazení výroben k vývodům .....	52
Tabulka 1	– Specifikace poklesů napětí. Uvedené velikosti, doba trvání a tvar jsou pro pokles napětí vyskytující se když není zkoušená větrná turbína připojena .....	14
Tabulka 2	– Specifikace požadavků na měřicí vybavení .....	18
Tabulka 3	– Určení exponentů podle IEC 61000-3-6 .....	32
Tabulka B.1	– Počet měření $N_{m,i}$ a četnost výskytu $f_{m,i}$ a $f_{y,i}$ pro každý soubor rychlosti větru v rozsahu od rychlosti větru pro připojení do 15 m/s .....	44
Tabulka B.2	– Váhový činitel $w_i$ pro každý soubor rychlosti větru .....	44
Tabulka B.3	– Celkový součet váhového činitele vynásobený počtem měření pro všechny soubory rychlosti větru .....	45
Tabulka B.4	– Váhové součtové rozdělení koeficientů flickru $Pr(c < x)$ pro každé rozdělení rychlosti větru .....	45
Tabulka B.5	– Výsledný koeficient flickru v trvalém provozu .....	46
Tabulka B.6	– Pravděpodobnosti a percentily pro různé rychlosti větru .....	46
Tabulka D.1	– Hodnoty zkratových proudů $I_{k3}^i$ vztahované ke jmenovitému proudu generátoru .....	50
Tabulka D.2	– Zvýšení napětí na přípojnici P2 .....	53
Tabulka D.3	– Přípustné vztahné a harmonické proudy .....	55

**Citované normy**

- ČSN EN 60034-1 (35 0000) Točivé elektrické stroje – Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti
- ČSN EN 60044-1 (35 1358) Přístrojové transformátory – Část 1: Transformátory proudu
- ČSN EN 60044-2 (35 1358) Přístrojové transformátory – Část 2: Induktivní transformátory napětí
- ČSN IEC 50(161) (33 4201) Mezinárodní elektrotechnický slovník (IEV) – Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita
- ČSN IEC 60050-415 (33 0050) Mezinárodní elektrotechnický slovník (IEV) – Kapitola 415: Větrné elektrárny
- ČSN EN 61000-4-7 ed.2 (33 3432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-7: Zkušební a měřicí technika – Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich
- ČSN EN 61000-4-15 (33 3432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-7: Zkušební a měřicí technika – Oddíl 15: Měřič blikání – Specifikace funkce a dimenzování
- ČSN EN 61400-12-1 (33 3160) Větrné elektrárny – Část 12-1: Měření výkonů větrných elektráren
- ČSN EN 61800-3 (35 1720) Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí – Část 3: EMC-norma výrobku zahrnující specifické zkušební metody

**Obdobné mezinárodní normy**

IEC 61400-21:2008 Wind turbine generator systems – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines  
*(Generátorové systémy větrných turbín – Část 21: Měření a vyhodnocení charakteristik kvality elektrické energie větrných turbín připojených k elektrické rozvodné soustavě)*

**Porovnání s mezinárodní normou**

Obsah normy je identický s IEC 61400-21:2008 a navíc obsahuje normativní přílohu.

**Vypracování normy**

Zpracovatel: ÚJV Řež a.s., divize Energoprojekt Praha, IČ 46356088, Ing. Jaroslav Mezera  
 EGC České Budějovice, Ing. Karel Procházka, CSc

## Úvod

Účelem této Části IEC 61400 je stanovit jednotnou metodiku, která zajistí shodnost a správnost předkládaní, zkoušení a vyhodnocení charakteristik kvality elektrické energie větrných turbín (WT) připojených k elektrické rozvodné soustavě. Norma byla zpracována s předpokladem, že ji bude moci použít:

- výrobce WT snažící se dodržet přesně stanovené charakteristiky kvality elektrické energie;
- kupující WT při specifikaci těchto charakteristik kvality elektrické energie;
- provozovatel WT pro možnost ověřit, že určené nebo požadované charakteristiky kvality jsou splněny;
- projektant nebo realizátor WT, jenž musí být schopen přesně a přímo určit vliv WT na kvalitu napětí aby zjistil, zda je zapojení navrženo tak, že respektuje požadavky na kvalitu napětí;
- orgán povolující provoz nebo organizace provádějící zkoušky jednotlivých komponent při vyhodnocování charakteristik kvality elektrické energie určitého typu větrné turbíny;
- projektant nebo realizátor elektrizační soustavy, jenž musí být schopen určit pro danou WT nezbytné připojení k elektrické rozvodné soustavě.

Tato norma poskytuje doporučení pro přípravu měření a vyhodnocení charakteristik kvality elektrické energie WT připojených k elektrické rozvodné soustavě. Norma bude prospěšná pro organizace zúčastněné na výrobě, plánování instalace, získávání příslušných povolení, provozu, využívání, zkoušení a regulaci WT. Všechny tyto organizace mají použít techniky měření a analýzy doporučené v této normě aby se zajistilo, že kontinuální vývoj a provozování WT jsou realizovány v atmosféře stejné a správné komunikace.

Tato norma uvádí postupy měření a analýzy u nichž se předpokládá, že poskytnou shodné výsledky, které mohou ostatní opakovat.

## 1 Rozsah použití

Tato Část IEC 61400 obsahuje:

- definici a specifikaci veličin stanovených pro charakterizování kvality elektrické energie větrné turbíny připojené k elektrické rozvodné soustavě.
- postupy měření pro kvantifikaci těchto charakteristik.
- Postupy pro vyhodnocování vyhovění požadavkům na kvalitu elektrické energie, včetně odhadu kvality elektrické energie předpokládané pro daný typ větrné turbíny při jejím umístění v konkrétním místě, případně ve skupinách.

Postupy měření platí pro samostatné větrné turbíny při připojení na třífázovou rozvodnou soustavu. Postupy měření platí pro libovolnou velikost větrné turbíny, ačkoliv tato norma požaduje pouze zkoušení a stanovení charakteristik podle této normy u typů větrných turbín určených pro PCC (Připojný bod V) v sítích vn nebo vvn.

Měřené charakteristiky platí pouze pro konkrétní sestavu a provozní režim určené větrné turbíny. Jiné sestavy, včetně změněných parametrů řízení, které způsobí, že se větrná turbína chová z hlediska kvality elektrické energie jinak, vyžadují samostatné vyhodnocení.

Postupy měření jsou pokud možno navrženy jako nezávislé na umístění, takže charakteristiky kvality elektrické energie měřené například v místě zkoušky lze považovat za platné i pro jiná umístění.

Postupy pro určení vyhovění požadavkům na kvalitu elektrické energie platí pro větrné turbíny v PCC v elektrizačních soustavách vn nebo vvn majících trvale kmitočty v toleranci  $\pm 1$  Hz a dostatečnou kapacitu pro regulaci činného a jalového výkonu. V ostatních případech se zásady pro určení vyhovění požadavkům na kvalitu elektrické energie mohou rovněž použít jako návod.

Tato norma je určena pro zkoušení větrných turbín, ačkoliv obsahuje informace jež mohou být využity pro zkoušení větrných farem.

POZNÁMKA 1 Tato norma používá následující termíny pro napětí soustavy:

- nízké napětí (LV) označuje  $U_n \leq 1$  kV,
- střední (vysoké) napětí (MV) označuje  $1 \text{ kV} < U_n \leq 35$  kV
- velmi vysoké napětí (HV) označuje  $U_n > 35$  kV.

## 2 Citované normativní dokumenty

Dále uvedené normativní dokumenty tvoří prostřednictvím odkazů v textu ustanovení této Části IEC 61400. U datovaných odkazů neplatí následné změny ani revize jakékoliv z těchto publikací. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání referenčního dokumentu (včetně změn). Účastníkům dohody vycházející z této Části IEC 61400 se však doporučuje prověřit možnost použití nejnovějších vydání níže uvedených normativních dokumentů. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání referenčního dokumentu. Členové IEC a ISO udržují seznamy aktuálně platných mezinárodních norem.

IEC 60034-1 Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance  
(*Točivé elektrické stroje – Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti*)

IEC 60044-1 Instrument transformers – Part 1: Current transformers  
(*Přístrojové transformátory – Část 1: Transformátory proudu*)

IEC 60044-2 Instrument transformers - Part 2: Inductive voltage transformers  
(*Přístrojové transformátory – Část 2: Induktivní transformátory napětí*)

IEC 60050(161) International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility  
(*Mezinárodní elektrotechnický slovník (IEV) – Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita*)

IEC 60050(415) International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 415: Wind turbine generator systems  
(*Mezinárodní elektrotechnický slovník (IEV) – Kapitola 415: Větrné elektrárny*)

IEC 61000-4-7 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, Ed. 2, 2002-08  
(*Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4: Zkušební a měřicí technika – Oddíl 7: Všeobecná směrnice o měření a měřících přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich, 2. vydání, 2002-08*)

IEC 61000-4-15 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications  
(*Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4: Zkušební a měřicí technika – Oddíl 15: Měřič blikání – Specifikace funkce a dimenzování*)

IEC 61400-12-1 Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines  
(*Větrné elektrárny – Část 12-1: Měření výkonu větrných elektráren*)

IEC 61800-3 Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC product standard including specific test methods  
(*Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí – Část 3: EMC – norma výrobku zahrnující specifické zkušební metody*)

IEC 62008 Performance characteristics and calibration methods for digital data acquisition systems and relevant software  
(*Funkční vlastnosti a kalibrační metody systémů sběru digitálních dat a odpovídajícího programového vybavení*)

## 3 Definice

Pro účely této Části 61400 platí následující definice.

### 3.1

**trvalý provoz (u větrných turbín)** (*continuous operation (for wind turbines)*)  
normální provoz větrné turbíny s výjimkou operací spouštění a odstavení

**3.2****rychlost větru pro připojení (u větrných turbín) (*cut-in wind speed (for wind turbines)*)**

nejnižší rychlost větru ve výšce náboje rotoru, při které větrná turbína začíná vyrábět elektrickou energii [IEV 415-03-05]

**3.3****koeficient flikru při trvalém provozu (u větrných turbín) (*flicker coefficient for continuous operation (for wind turbines)*)**

normalizované měřítko emise flikru při trvalém provozu větrné turbíny

$$c(\psi_k) = P_{st, fic} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n}$$

kde

$P_{st, fic}$  je emise blikání od větrné turbíny do fiktivní elektrické rozvodné soustavy;

$S_n$  je štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny;

$S_{k, fic}$  je zkratový zdánlivý výkon fiktivní elektrické rozvodné soustavy.

POZNÁMKA Koeficient blikání při trvalém provozu je stejný pro krátké (10 minut) i dlouhé období (2 h).

**3.4****skokový činitel flikru (u větrných turbín) (*flicker step factor (for wind turbines)*)**

normalizované měřítko emise flikru vyvolaného samostatnou spínací operací u větrné elektrárny

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \frac{S_{k, fic}}{S_n} \cdot P_{st, fic} \cdot T_p^{0,31}$$

kde

$T_p$  je perioda měření, dostatečně dlouhá na to, aby se zjistilo ukončení přechodu při spínací operaci, i když se omezuje na vyloučení případného kolísání výkonu vlivem turbulence;

$P_{st, fic}$  je emise flikru od větrné turbíny do fiktivní elektrické rozvodné soustavy;

$S_n$  je štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny;

$S_{k, fic}$  je zkratový zdánlivý výkon fiktivní elektrické rozvodné soustavy.

**3.5****maximální měřený výkon (u větrných turbín) (*maximum measured power (for wind turbines)*)**

výkon (za dobu v níž se průměruje), který je zaznamenán během trvalého provozu větrné turbíny

**3.6****fázový úhel impedance sítě (*network impedance phase angle*)**

fázový úhel zkratové impedance sítě

$$\psi_k = \arctang(X_k/R_k)$$

kde

$X_k$  je zkratová reaktance sítě;

$R_k$  je zkratový odpor sítě.

**3.7****normální provoz (u větrných turbín) (*normal operation (for wind turbines)*)**

bezporuchový provoz vyhovující popisu v manuálu větrné elektrárny

**3.8****provozní režim (u větrných turbín) (*operational mode (for wind turbines)*)**

provoz podle nastavení řízení, například režim řízení napětí, režim řízení kmitočtu, režim řízení jalového výkonu, režim řízení činného výkonu, apod.



**3.9****výstupní výkon (u větrných turbín) (output power (for wind turbines))**

elektrický činný výkon dodávaný větrnou turbínou na jejích svorkách

[IEV 415-04-02, modifikováno]

**3.10****přípojný bod V (PCC) (point of common coupling (PCC))**

bod v rozvodné síti, elektricky nejbližší specifické zátěži, v němž jsou, nebo mohou být, připojeny další zátěže

POZNÁMKA 1 Těmito zátěžemi mohou být buď zařízení, vybavení či systémy, nebo jiné instalace odběratele..

POZNÁMKA 2 U některých aplikací se termín přípojný bod V omezuje na veřejné sítě.

[IEV 161-07-15, modifikováno]

**3.11****energetický sběrný systém (u větrných turbín) (power collection system (for wind turbines))**

elektrický systém, který soustřeďuje elektrickou energii z větrné turbíny a předává ji do elektrické rozvodné soustavy

[IEV 415-04-06, modifikováno]

**3.12****štítkový zdánlivý výkon (u větrných turbín) (rated apparent power (for wind turbines))**

zdánlivý výkon větrné turbíny když pracuje při štítkovém proudu a jmenovitém napětí i kmitočtu

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n$$

kde

 $U_n$  je jmenovité napětí; $I_n$  je štítkový proud.**3.13****štítkový proud (u větrných turbín) (rated current (for wind turbines))**

maximální trvalý elektrický výstupní proud pro jehož dosažení za normálních provozních podmínek je větrná turbína konstruována

**3.14****štítkový výkon (u větrných turbín) (rated power (for wind turbines))**

maximální trvalý elektrický výstupní výkon pro jehož dosažení za normálních provozních podmínek je větrná turbína konstruována

[IEV 415-04-03, modifikováno]

**3.15****štítková rychlost větru (u větrných turbín) (rated wind speed (for wind turbines))**

rychlost větru při kterém dosáhne větrná turbína štítkového výkonu

[IEV 415-03-04, modifikováno]

**3.16****zastavení (u větrných turbín) (standstill (for wind turbines))**

stav větrné turbíny, když je zastavena

[IEV 415-01-15, modifikováno]

**3.17****najetí (u větrných turbín) (start-up (for wind turbines))**

přechodný stav větrné turbíny mezi zastavením a vyráběním výkonu

**3.18**

**spínací operace (u větrných turbín)** (*switching operation (for wind turbines)*)  
najatí nebo přepínání mezi generátory

**3.19**

**intenzita turbulence (u větrných turbín)** (*turbulence intensity (for wind turbines)*)

poměr směrodatné odchylky rychlosti větru ke střední hodnotě rychlosti větru, určený v definovaném časovém úseku ze stejného souboru dat jako data o rychlosti větru

[IEV 415-03-25]

**3.20**

**Součinitel změny napětí (u větrných turbín)** (*voltage change factor (for wind turbines)*)

normalizované měřítko pro změnu napětí vlivem spínací operace u větrné turbíny

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{fic,max} - U_{fic,min}}{U_n} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n}$$

kde

$U_{fic,min}$  a  $U_{fic,max}$  jsou minimální a maximální efektivní hodnota jedné periody fázového napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě při spínací operaci;

$U_n$  je jmenovité fázové napětí;

$S_n$  je štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny;

$S_{k, fic}$  je zkratový zdánlivý výkon fiktivní elektrické rozvodné soustavy.

POZNÁMKA Součinitel změny napětí  $k_u$  je obdoba  $k_i$ , což je poměr mezi zapínacím proudem a štítkovým proudem, i když je  $k_u$  funkcí fázového úhlu impedance sítě. Nejvyšší hodnota  $k_u$  se bude číselně blížit  $k_i$ .

**3.21**

**větrná turbína (WT)** (*wind turbine (WT)*)

systém přeměňující kinetickou energii větru na elektrickou energii

**3.22**

**svorky větrné turbíny** (*wind turbine terminals*)

bod, který je součástí WT a je určen dodavatelem WT, v němž lze WT připojit k energetickému sběrnému systému

**4 Značky a jednotky**

V této normě jsou použité následující značky a jednotky.

$\frac{\Delta U_{dyn}}{U_n}$  maximální přípustná změna napětí (%)

$\psi_k$  fázový úhel impedance sítě (stupně)

$\alpha_m(t)$  elektrický úhel základní složky měřeného napětí (stupně)

$\beta$  exponent příslušející sumaci harmonických

$c(\psi_k)$  koeficient flikru při trvalém provozu

$D$  relativní změna napětí (%)

$E_{Pti}$  dlouhodobá mez emise flikru

$E_{Psti}$  krátkodobá mez emise flikru

$f_{m,i}$  četnost výskytu hodnot koeficientu flikru v souboru rychlostí větru

$f_{over}$  stupeň ochrany při překročení kmitočtu (nadkmitočtu)

$f_{under}$  stupeň ochrany při poklesu kmitočtu (podkmitočtu)

$f_{y,i}$	četnost výskytu rychlostí větru v souboru rychlostí větru
$h$	řád harmonické
$I_{h,i}$	harmonické zkreslení proudu h-tého řádu u i-té větrné turbíny
$i_m(t)$	měřený okamžitý proud (A)
$I_n$	štítkový proud (A)
$k_f(\psi_k)$	skokový činitel flikru
$k_i$	poměr maximálního zapínacího proudu a štitkového proudu
$k_u(\psi_k)$	součinitel změny napětí
$L_{fic}$	indukčnost fiktivní elektrické rozvodné soustavy
$N_{10m}$	maximální počet jednoho typu spínacích operací během intervalu 10 minut
$N_{120m}$	maximální počet jednoho typu spínacích operací během intervalu 120 minut
$N_{bin}$	celkový počet souborů rychlosti větru mezi $v_{cut-in}$ a 15 m/s
$n_i$	převod transformátoru u i-té větrné turbíny
$N_m$	celkový počet měřených hodnot koeficientu flikru
$N_{m,i}$	počet měřených hodnot koeficientu flikru v i-tém souboru rychlosti větru
$N_{m,i,c<x}$	počet hodnot koeficientu flikru menších než x v i-tém souboru rychlosti větru
$N_{WT}$	počet větrných turbín
$P$	činný výkon (W)
$P_{0,2}$	maximální měřený činný výkon (0,2-sekundová-střední hodnota)
$P_{60}$	maximální měřený činný výkon (60-sekundová-střední hodnota)
$P_{600}$	maximální měřený činný výkon (600-sekundová-střední hodnota)
$P_{it}$	součinitel dlouhodobého rušení flikrem
$P_n$	štítkový činný výkon
$Pr(c<x)$	kumulované rozložení c
$P_{st}$	součinitel krátkodobého rušení flikrem
$P_{st, fic}$	součinitel krátkodobého rušení flikrem ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě
$Q$	jalový výkon (var)
$R_{fic}$	odpor fiktivní elektrické rozvodné soustavy ( $\Omega$ )
$S_k$	zkratový zdánlivý výkon elektrické rozvodné soustavy (VA)
$S_{k, fic}$	zkratový zdánlivý výkon fiktivní elektrické rozvodné soustavy (VA)
$S_n$	štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny (VA)
$THC$	celkové harmonické zkreslení proudu (% $I_n$ )
$U$	sdužené napětí (V)
$u_0(t)$	okamžité fázové napětí ideálního zdroje napětí (V)
$u_{fic}(t)$	okamžité fázové napětí simulované ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě (V)
$U_{fic, max}$	maximální fázové napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě (V)
$U_{fic, min}$	minimální fázové napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě (V)
$U_n$	jmenovité fázové napětí (V)
$U_{under}$	nastavení podpěťové ochrany
$U_{over}$	nastavení přepěťové ochrany

$v_a$	roční střední rychlost větru (m/s)
$v_{\text{cut-in}}$	rychlost větru pro připojení (m/s)
$v_i$	střed i-tého souboru rychlosti větru
$w_i$	váhový činitel i-tého souboru rychlosti větru
$X_{\text{fic}}$	impedance fiktivní elektrické rozvodné soustavy ( $\Omega$ )
$Z_1$	impedance pro omezení vlivu zkratu na nadřazenou elektrickou rozvodnou soustavu ( $\Omega$ )
$Z_2$	impedance mezi fázemi nebo vůči zemi při zkratu ( $\Omega$ )

## 5 Zkratky

A/D převodník	analogově-digitální převodník
DFT	diskrétní Fourierova transformace
HV	velmi vysoké napětí
LV	nízké napětí
MV	střední (vysoké) napětí
PCC	přípojný bod V
RMS	efektivní hodnota
SCADA	dohlížecí řízení a sběr dat
THC	celkové harmonické zkreslení proudu
WT	větrná turbína

## 6 Parametry charakteristiky kvality elektrické energie větrné turbíny

### 6.1 Všeobecně

Tato kapitola uvádí veličiny, které musí být určeny pro charakterizování kvality elektrické energie u větrné elektrárny. Vzorový formát zprávy je uveden v příloze A.

Musí se použít konvence pro znaménka u generátoru, tj. kladný směr toku elektrické energie je definován z generátoru do elektrické rozvodné soustavy. Pokud je větrná turbína nahrazena rezistorem a tlumivkou, bude činná i jalová elektrická energie záporná.

### 6.2 Specifikace větrné turbíny

Musí být určeny štítkové údaje větrné turbíny (vztažené ke svorkám větrné turbíny), zahrnující  $P_n$ ,  $S_n$ ,  $U_n$  a  $I_n$ .

POZNÁMKA Štítkové údaje jsou použity v této normě pouze pro účely normalizování.

### 6.3 Kolísání napětí

Musí být charakterizována kolísání napětí (flickr a změny napětí) důležitá pro větrnou turbínu, jak je uvedeno v 6.3.1 a 6.3.2.

#### 6.3.1 Trvalý provoz

Koeficient flickru větrné turbíny při trvalém provozu  $c(\psi_k, v_a)$  musí být určen jako 99-tý percentil fázových úhlů impedance sítě  $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$  a  $85^\circ$  v tabulce s rozdělením pro čtyři různé rychlosti větru s roční střední rychlostí větru  $v_a = 6$  m/s, 7,5 m/s, 8,5 m/s a 10 m/s. 10 minutové střední hodnoty rychlosti větru musí být uvažovány podle Rayleighova rozdělení (viz poznámka). Roční střední rychlost větru se vztahuje k výšce náboje rotoru větrné turbíny.

Musí se určit charakteristiky pro větrnou turbínu pracující při jalovém výkonu co možná nejbližším nule, tj. je-li to možné musí být řízení žádané hodnoty jalového výkonu nastaveno na  $Q=0$ . Použije-li se jiný provozní režim, musí toto být jasně stanoveno.

POZNÁMKA Rayleighovo rozdělení je pravděpodobnostní rozdělení, které obvykle odpovídá ročnímu rozdělení rychlosti větru. Rayleighovo rozdělení je možno popsat pomocí:

$$F(v) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_a}\right)^2\right)$$

kde

$F(v)$  je kumulativní pravděpodobnostní funkce rozdělení rychlosti větru;

$v_a$  je roční střední rychlost větru ve výšce náboje rotoru;

$v$  je rychlost větru.

### 6.3.2 Spínací operace

Musí se určit charakteristiky pro následující typy spínacích operací:

- Větrná turbína spouštěna při rychlosti větru pro připojení.
- Větrná turbína spouštěna při štítkové rychlosti větru.
- Nejhorší případ přepínání mezi generátory (lze použít pouze u větrných turbín s více generátory nebo s generátorem s více vinutími). Viz rovněž poznámka 1.

U každé z výše uvedených typů spínacích operací se musí stanovit hodnoty parametrů (viz rovněž poznámky 2 a 3):

- Maximální počet  $N_{10m}$  spínacích operací během intervalu 10 minut.
- Maximální počet  $N_{120m}$  spínacích operací během intervalu 2 h.
- Skokový činitel flikru  $k_f(\psi_k)$  pro fázové úhly impedance sítě  $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$  a  $85^\circ$ .
- Součinitel změny napětí  $k_u(\psi_k)$  pro fázové úhly impedance sítě  $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$  a  $85^\circ$ .

Musí se určit charakteristiky pro větrnou turbínu pracující při jalovém výkonu co možná nejbližším nule, tj. je-li to možné musí být řízení žádané hodnoty jalového výkonu nastaveno na  $Q=0$ . Použije-li se jiný provozní režim, musí toto být jasně stanoveno.

POZNÁMKA 1 Nejhorší případ přepínání mezi generátory je z hlediska skokového činitele flikru definován jako spínací operace jež způsobí nejvyšší skokový činitel flikru, a z hlediska součinitele změny napětí je definován jako spínací operace jež způsobí nejvyšší součinitel změny napětí.

POZNÁMKA 2 Parametry  $N_{10m}$  a  $N_{120m}$  mohou vycházet z informací výrobce, zatímco  $k_f(\psi_k)$  a  $k_u(\psi_k)$  mají být změněny a vypočteny.

POZNÁMKA 3 V závislosti na řídicím systému větrné turbíny může být maximální počet spínacích operací během intervalu 2 h menší než dvanáctinásobek maximálního počtu spínacích operací během intervalu 10 minut.

### 6.4 Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu

Musí se určit emise harmonických, meziharmonických a vysokofrekvenčních složek proudu při trvalém provozu (viz poznámka).

Hodnoty jednotlivých složek proudu (harmonických, meziharmonických a vysokofrekvenčních složek) a celkové harmonické zkreslení proudu musí být uvedeny v tabulkách v procentech  $I_n$  a pro provoz větrné turbíny v souborech výkonu 10, 20, ..., 100 %  $P_n$ .

Jednotlivé harmonické složky proudu musí být stanoveny jako hodnoty podskupin pro kmitočty do 50 násobku základního kmitočtu elektrické rozvodné soustavy, a celkové harmonické zkreslení proudu musí být určeno odvozením z nich.

Meziharmonické složky proudu musí být stanoveny jako hodnoty podskupin pro kmitočty do 2 kHz podle přílohy A v IEC 61000-4-7.

Vysokofrekvenční složky proudu musí být stanoveny jako hodnoty podskupin pro kmitočty mezi 2 a 9 kHz podle přílohy B v IEC 61000-4-7.







Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu musí být stanoveny pro větrnou turbínu pracující při jalovém výkonu co možná nejbližším nule, tj. je-li to možné musí být řízení žádané hodnoty jalového výkonu nastaveno na  $Q=0$ . Použije-li se jiný provozní režim, musí toto být jasně stanoveno.

**POZNÁMKA** Harmonické jsou považovány za neškodné pokud jejich trvání je omezeno na krátký časový interval. Zkušenost s „měkkým startem“ výkonových elektronických jednotek ve větrných turbínách obecně neprokázala, že emise krátkodobých harmonických způsobí problémy. Proto tato norma nevyžaduje specifikaci krátkodobých harmonických způsobených spuštěním větrné turbíny nebo jinými spínacími operacemi.

## 6.5 Reakce na poklesy napětí

Reakce větrné turbíny na poklesy napětí určené v tabulce 1 musí být stanoveny pro větrnou turbínu pracující při  $20 \% \pm 10 \% P_n$  a při  $100 \% \pm 10 \% P_n$ . Určená reakce musí obsahovat výsledky ze dvou po sobě jdoucích zkoušek pro každý případ (VD1-VD6) v časové řadě činného výkonu, jalového výkonu a napětí na svorkách větrné turbíny pro čas krátce před poklesem napětí a až do doby, kdy skončilo působení poklesu napětí, musí však být rovněž stanoven provozní režim větrné elektrárny.

**Tabulka 1 – Specifikace poklesů napětí. Uvedené velikosti, doba trvání a tvar jsou pro pokles napětí vyskytující se když není zkoušená větrná turbína připojena**

Případ	Velikost sdruženého napětí (část napětí před poklesem)	Velikost napětí (sousedná složka)	Doba trvání (s)	Tvar
VD1 – symetrický třífázový pokles napětí	$0,90 \pm 0,05$	0,90	$0,5 \pm 0,05$	
VD2 – symetrický třífázový pokles napětí	$0,50 \pm 0,05$	0,50	$0,5 \pm 0,05$	
VD3 – symetrický třífázový pokles napětí	$0,20 \pm 0,05$	0,20	$0,2 \pm 0,05$	
VD4 – dvoufázový pokles napětí	$0,90 \pm 0,05$	0,95	$0,5 \pm 0,05$	
VD4 – dvoufázový pokles napětí	$0,50 \pm 0,05$	0,75	$0,5 \pm 0,05$	
VD4 – dvoufázový pokles napětí	$0,20 \pm 0,05$	0,6	$0,2 \pm 0,05$	

**POZNÁMKA 1** Tato zkouška je pro ověření reakce větrné turbíny na poklesy napětí (způsobené poruchami elektrické rozvodné soustavy) a pro poskytnutí základu pro prokázání platnosti numerického simulačního modelu větrné turbíny. Pro podrobnější vyhodnocení simulačních modelů a vyhovění konkrétním klasifikačním požadavkům elektrické rozvodné soustavy mohou být provedeny a zaznamenány nepovinné zkoušky a měření (např. úhel sklonu a rychlost otáčení).

**POZNÁMKA 2** Pokles napětí může způsobit odstavení větrné turbíny z mnoha důvodů, které se netýkají pouze řady elektrických pohonů, ale jsou rovněž způsobeny mechanickými vibracemi nebo vlivy podpětí na pomocné systémy.

**POZNÁMKA 3** Pokles napětí je přesněji řečeno snížení napětí pod 0,9 poměrných jednotek jmenovitého napětí.

## 6.6 Činný výkon

### 6.6.1 Maximální měřený výkon

Maximální měřený výkon větrné turbíny musí být určen jako střední hodnota za 600 s,  $P_{600}$ , jako střední hodnota za 60 s,  $P_{60}$ , a jako střední hodnota za 0,2 s,  $P_{0,2}$ .

### 6.6.2 Omezení lineárního růstu

Schopnost větrné turbíny pracovat v režimu řízení s omezením lineárního růstu musí být charakterizována výsledky zkoušky uvedenými v grafu. Tento graf musí znázorňovat dosažitelný a měřený činný výstupní výkon během provozu při hodnotě lineárního růstu 10 % štítkového výkonu za minutu pro zkušební interval 10 minut.

Výsledky zkoušky musí být uvedeny jako střední údaje za 0,2 s.

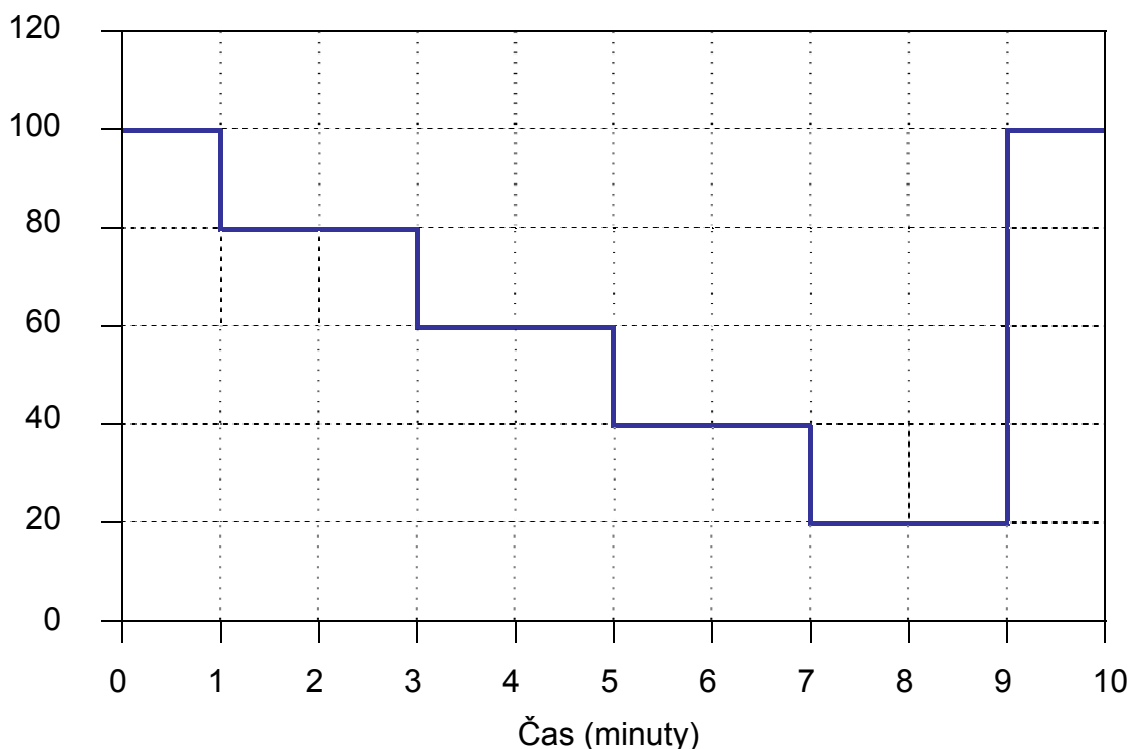
### 6.6.3 Řízení žádané hodnoty

Schopnost větrné turbíny pracovat v režimu řízení žádané hodnoty činného výkonu musí být charakterizována výsledky zkoušky uvedenými v grafu. Tento graf musí znázorňovat dosažitelný a měřený činný výstupní výkon během provozu při hodnotách žádané hodnoty nastavované ze 100 % štítkového výkonu směrem dolů na 20 % po krocích 20 % tohoto výkonu s 2 minutovým provozem na každé hodnotě žádané hodnoty, tj. podle obrázku 1.

Výsledky zkoušky musí být uvedeny jako střední údaje za 0,2 s.

**POZNÁMKA** Schopnost větrné turbíny být zařazena ve schématu automatického řízení kmitočtu úzce váže na její schopnost pracovat v režimu řízení žádané hodnoty činného výkonu. Účast v automatickém řízení kmitočtu lze například zajistit pomocí SCADA systému moderní větrné farmy, který může nepřetržitě aktualizovat žádanou hodnotu činného výkonu pro jednotlivé větrné turbíny, aby byla dosažena požadovaná kmitočtová odezva.

Žádaná hodnota (%  $P_n$ )



Obrázek 1 – Nastavení žádané hodnoty činného výkonu

## 6.7 Jalový výkon

### 6.7.1 Dosažitelný jalový výkon

Dosažitelný maximální induktivní jalový výkon a maximální kapacitní jalový výkon WT musí být tabulkově určeny jakožto střední hodnoty za 1 minutu co by funkce středního výstupního výkonu za 1 minutu pro 0, 10, ... 90, 100 % štítkového výkonu.

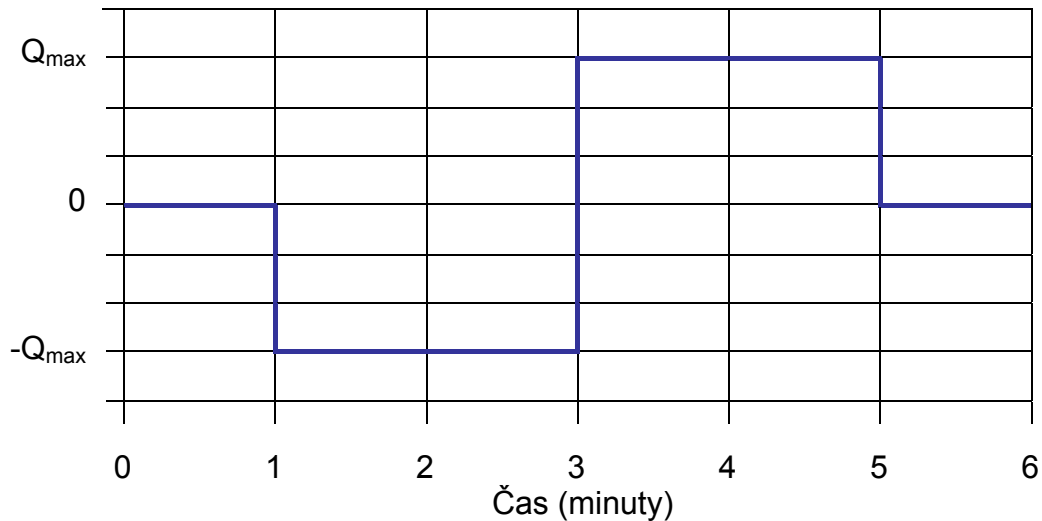
### 6.7.2 Řízení žádané hodnoty

Řízení žádané hodnoty jalového výkonu musí být popsáno pomocí tabulky a grafu následovně:

Tabulka musí uvádět naměřený jalový výstupní výkon při žádané hodnotě jalového výkonu = 0 pro provoz při 0, 10, 20, ... 100 % činného výstupního výkonu. Činný a jalový výkon musí být střední hodnoty za 1 minutu.

Graf musí znázorňovat měřený jalový výkon při skokové změně žádané hodnoty jalového výkonu jak uvádí obrázek 2. Činný výstupní výkon, měřený jako střední hodnoty za 1 minutu, musí být přibližně 50 % štítkového výkonu. Jalový výkon musí být střední údaj za 0,2 s.

Žádaná hodnota (Q)



**Obrázek 2 – Nastavení žádané hodnoty jalového výkonu**

**POZNÁMKA** Schopnost větrné turbíny podílet se na automatickém řízení napětí se úzce váže na její schopnost pracovat v režimu řízení žádané hodnoty jalového výkonu. Účast v automatickém řízení napětí lze například zajistit pomocí SCADA systému moderní větrné farmy, který může nepřetržitě aktualizovat žádanou hodnotu jalového výkonu pro jednotlivé větrné turbíny tak, aby byla dosažena požadovaná napěťová odezva.

## 6.8 Ochrana elektrické rozvodné soustavy

Pro přepětí a podpětí a pro překročení a pokles kmitočtu musí být stanoveny vypínací hladiny a časy odpojení WT.

Vypínací hladina je napětí nebo kmitočet, které způsobí odpojení větrné turbíny. Čas odpojení je časový interval od začátku přepětí/podpětí nebo překročení/poklesu kmitočtu až do doby, kdy byla větrná turbína odpojena.

## 6.9 Doba opětovného připojení

Doba opětovného připojení po-té, co byla větrná turbína odpojena z důvodu poruchy v elektrické rozvodné soustavě musí být charakterizována výsledky zkoušky uvedenými v tabulce. Tabulka musí uvádět dobu opětovného připojení po poruše elektrické rozvodné soustavy pro 10 sekund, 1 minutu respektive 10 minut. Doba opětovného připojení je čas od okamžiku, kdy je elektrická rozvodná soustava k dispozici na svorkách větrné turbíny do okamžiku, kdy větrná elektrárna začne dodávat elektrickou energii.

## 7 Zkušební postupy

### 7.1 Všeobecně

Tento článek 7.1 poskytuje obecné informace o platnosti měření, požadovaných zkušebních podmínkách a vybavení. Články 7.2 – 7.9 definují nezbytná měření použitá pro stanovení parametrů charakteristik kvality elektrické energie u hodnocené větrné turbíny. Postupy měření platí pro samostatné větrné turbíny připojené k třífázové elektrické rozvodné soustavě.

Měření mají obecně za cíl ověření parametrů charakteristik kvality elektrické energie pro úplný provozní rozsah hodnocené větrné turbíny. Měření se však nepožadují pro rychlosti větru nad 15 m/s (viz poznámka 1). To je proto, že vyžadování měření při vyšších rychlostech větru by běžně vyvolalo podstatně delší interval měření z důvodu řídkého výskytu vyšších rychlostí větru a nepředpokládá se, že by tato měření poskytla výrazně kvalitnější ověření parametrů charakteristik kvality elektrické energie hodnocené větrné turbíny. Viz rovněž poznámka 2.



POZNÁMKA 1 Existují-li měření nad 15 m/s, lze je vypustit. Pokud se však zahrnou, má být ve zprávě o zkoušce určen použitelný rozsah rychlostí větru.

POZNÁMKA 2 Zahnutí měření nad 15 m/s může zlepšit přesnost určeného koeficientu flikru a u některé konstrukce větrné turbíny může dát větší maximální měřený výkon (střední hodnota za 0,2 s). Kvůli vyváženosti mezi náklady a přesností se však zahnutí měření nad 15 m/s nepožaduje. Pokud se měření nad 15 m/s zahrnou, zlepší to důvěryhodnost výsledků postupů v 8.2 pro místa s vyšší rychlostí větru. Viz rovněž poznámka 5 v 7.3.3.

### 7.1.1 Platnost zkoušky

Naměřené charakteristiky jsou platné pouze pro konkrétní sestavu hodnocené větrné turbíny. Jiné sestavy, včetně změněných parametrů řízení, které způsobí, že se větrná turbína chová odlišně z hlediska kvality elektrické energie, vyžadují samostatné vyhodnocení.

Některé konstrukce větrné turbíny zahrnují vestavěný transformátor. Měření elektrických charakteristik se musí provádět na svorkách větrné turbíny. Je na dodavateli WT, aby definoval, zda jsou výstupní svorky větrné turbíny na straně nižšího napětí transformátoru nebo na straně vyššího napětí transformátoru. Nepředpokládá se, že změna z jednoho výstupního napětí transformátoru na jiné způsobí, že se větrná turbína chová z hlediska kvality elektrické energie jinak. Je-li změněno výstupní napětí transformátoru nevyžaduje se tudíž samostatné vyhodnocení s tou výjimkou, že se musí aktualizovat štítkové napětí a proud.

Umístění svorek větrné turbíny (což je místo měření) a konkrétní sestava hodnocené větrné turbíny včetně nastavení parametrů řízení musí být jasně určeno ve zprávě o zkoušce (příloha A).

Lze provést libovolný výběr zkoušek a samostatně je zaznamenat, např. Kvalita napětí (článek 7.3 – 7.4), Řízení výkonu (článek 7.6 – 7.7) a Pokles napětí (článek 7.5).

### 7.1.2 Zkušební podmínky

Jsou vyžadovány následující zkušební podmínky (viz poznámka 1).

- Větrná turbína musí být připojena přímo k vn síti přes standardní transformátor se štítkovým zdánlivým výkonem odpovídajícím minimálně štítkovému zdánlivému výkonu hodnocené větrné turbíny.
- Celkové harmonické zkreslení napětí zahrnující všechny harmonické až do řádu 50 musí být menší než 5 % měřeno jako střední hodnota za 10 minut na svorkách větrné turbíny, když větrná turbína nevyrobí elektrickou energii. Celkové harmonické zkreslení napětí může být určeno měřením před zkoušením větrné turbíny.
- Kmitočet elektrické rozvodné soustavy měřený jako střední údaj za 0,2 s musí být v toleranci  $\pm 1$  % jmenovitého kmitočtu a rychlost změny kmitočtu elektrické rozvodné soustavy měřená jako střední údaj za 0,2 s musí být menší než 0,2 % jmenovitého kmitočtu pro 0,2 s. Pokud je známo, že je kmitočet elektrické rozvodné soustavy dostatečně stabilní a vyhovuje výše uvedeným požadavkům, což může být obvykle případ rozsáhlé propojené elektrizační soustavy, není nutno nic dalšího vyhodnocovat. Jinak se při zkoušce musí měřit kmitočet elektrické rozvodné soustavy a musí se vyloučit zkušební údaje vzorkované eventuálně v intervalech s nevhodným kmitočtem elektrické rozvodné soustavy.
- Napětí musí být v toleranci  $\pm 5$  % jeho jmenovité hodnoty měřené jako střední údaj za 10 minut na svorkách větrné turbíny. Pokud je známo, že je napětí dostatečně stabilní a vyhovuje výše uvedeným požadavkům, což může být obvykle případ když je větrná turbína připojena k rozsáhlé elektrické rozvodné soustavě, není nutno nic dalšího vyhodnocovat. Jinak se při zkoušce musí měřit napětí a musí se vyloučit zkušební údaje vzorkované eventuálně v intervalech s nevhodným napětím.
- Součinitel nesymetrie napětí musí být menší než 2 % měřeno jako údaj za 10 minut na svorkách větrné turbíny. Součinitel nesymetrie napětí lze určit tak jak uvádí IEC 61800-3, kapitola B.3. Pokud je známo, že součinitel nesymetrie napětí vyhovuje výše uvedeným požadavkům, není nutno nic dalšího vyhodnocovat. Jinak se při zkoušce musí měřit součinitel nesymetrie napětí a musí se vyloučit zkušební údaje vzorkované eventuálně v intervalech s nevhodným součinitel nesymetrie napětí.
- U přístrojů a větrné turbíny musí být podmínky okolního prostředí ve shodě s požadavky výrobce. Toto obvykle nevyžaduje žádné přímé měření podmínek okolního prostředí, protože se požaduje, aby byly uvedeny obecně jako součást zprávy o měření. Viz rovněž poznámka 2.

Při měření pro určení koeficientu flikru, viz článek 7.3.3, se musí zaznamenat flikr napětí podle IEC 61000-4-15 na svorkách větrné turbíny. Viz rovněž poznámka v článku 7.3.1.

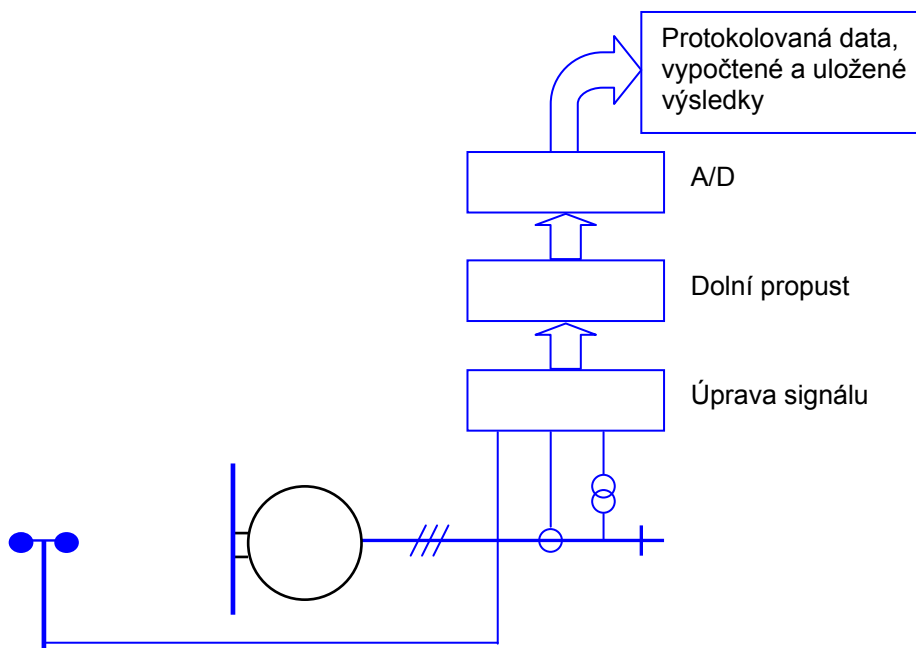
Zkoušky mohou být provedeny při libovolné intenzitě turbulencí a libovolném zkratovém poměru, musí však být jako součást zprávy/osvědčení o zkoušce určeny podmínky (střední intenzita turbulence, zdánlivý zkratový výkon a úhel impedance sítě). Intenzita turbulencí musí být stanovena na základě sektorové identifikaci překážek a terénních změn nebo na základě měření rychlosti větru.

**POZNÁMKA 1** Aby se dosáhlo spolehlivých výsledků zkoušek jsou nezbytné definované podmínky a tyto nemají být zaměňovány s podmínkami pro spolehlivé připojení k elektrické rozvodné soustavě a pro provoz větrných turbín.

**POZNÁMKA 2** Maximální měřený výkon může u některých konstrukcí větrné turbíny do určité míry záviset na hustotě vzduchu. Maximální měřený výkon určený dodržением postupu v 7.6.1 a měřený v místě s nízkou hustotou vzduchu tudíž může být menší než v místě s vyšší hustotou vzduchu. Je však zjištěno, že nejistota zavedená nespecifikováním omezeného rozsahu hustoty vzduchu nemůže ospravedlnit náklady na další vybavení a s tím spojené postupy.

### 7.1.3 Zkušební vybavení

Popis měření předpokládá použití systému sběru digitálních dat s prvky znázorněnými na obrázku 3.



**Obrázek 3 – Předpokládané prvky měřicího systému**

Anemometr, převodníky (transformátory) napětí a převodníky (transformátory) proudu jsou nezbytnými snímači měřicího systému. Úprava signálu slouží pro jejich připojení na dolní propust, která je nezbytná pro potlačení falešných signálů. Analogově-digitální převod (A/D) musí mít, pro udržení požadované přesnosti měření rozlišení minimálně 12 bitů. Specifikace přesnosti vybavení viz tabulka 2.

**Tabulka 2 – Specifikace požadavků na měřicí vybavení**

Vybavení	Požadovaná přesnost	Shoda s normou
Transformátor napětí	třída 1	IEC 60044-2
Transformátor proudu	třída 1	IEC 60044-1
Anemometr	$\pm 0,5$ m/s	IEC 61400-12-1
Filtr + A/D převodník + systém sběru dat	1 % plného rozsahu	IEC 62008

Systém sběru digitálních dat je uvažován pro protokol, výpočet a uchování výsledků podle specifikace v následujících článcích. Obecná směrnice pro výpočet efektivní hodnoty napětí, činného a jalového výkonu u systému, který je uveden na obrázku 3 je stanovena v příloze C. Toto vyžaduje rychlost vzorkování minimálně 5 kHz pro kanál s napěťovými a proudovými signály. U měření harmonických (vysokofrekvenčních složek) musí být minimální rychlost vzorkování alespoň 12 kHz pro kanál.

Signál rychlosti větru musí být vzorkován minimálně 1 Hz.

Pro měření rychlosti větru se má jako ideální použít anemometr ve výšce náboje rotoru umístěný v místě, kde není ovlivněn závětrím od větrné turbíny nebo vzduchovými víry od větrné turbíny. Dostačující vymezení obecně poskytne poloha 2,5 průměrů rotoru před větrnou turbínou. Nebo lze rychlost větru ve výšce náboje rotoru estimovat z měření v nižší úrovni nebo z korigovaného měření rychlosti větru na úrovni gondoly eventuálně současně z měření výkonu a znalosti výkonové křivky. Tak či onak nejistoty způsobené umístěním anemometru nemají překročit  $\pm 1$  m/s.

## 7.2 Specifikace větrné turbíny

Specifikace větrné elektrárny se musejí určit na základě informací výrobce, jak uvádí článek 6.2.

## 7.3 Kolísání napětí

### 7.3.1 Všeobecně

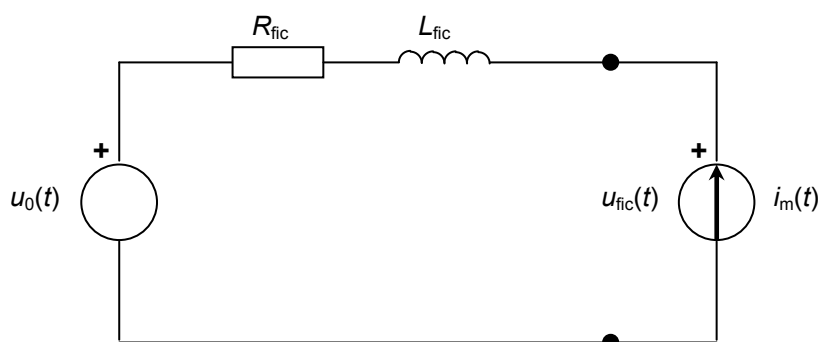
Jak je stanoveno v 7.1.1, zkoušená větrná turbína musí být připojena k vn síti. Tato vn síť bude mít obvykle další kolísající zatížení, která mohou způsobit podstatná kolísání napětí na svorkách větrné elektrárny, kde se provádějí zkušební měření. Kromě toho budou kolísání napětí způsobené větrnou turbínou záviset na charakteristikách elektrické rozvodné soustavy. Cílem je však dosáhnout výsledky zkoušky, které jsou nezávislé na podmínkách elektrické rozvodné soustavy v místě zkoušky. Aby se toto splnilo, definuje tato norma metodu, která používá časovou řadu proudu a napětí měřenou na svorkách větrné turbíny k simulování kolísání napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě nemající jiný zdroj kolísání napětí než větrnou turbínu (viz poznámka).

Použití fiktivní elektrické rozvodné soustavy je dále popsáno v 7.3.2. Postupy měření kolísání napětí jsou rozděleny na postupy pro trvalý provoz (viz 7.3.3) a pro spínací operace (viz 7.3.4). Toto rozdělení odráží skutečnost, že emise flikru z větrné turbíny má při trvalém provozu charakter stochastického šumu, zatímco emise flikru a změny napětí při spínacích operacích mají charakter určitého počtu časově omezených nesoučasných událostí.

**POZNÁMKA** I když určená metoda pro simulování kolísání napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě vylučuje přímý vliv skutečných kolísání napětí elektrické rozvodné soustavy v místě měření na flikr, může existovat vliv těchto kolísání napětí, vyvolaných jinými zdroji, na měřený proud z větrné turbíny. Toto naopak může ovlivnit simulovaná kolísání napětí v elektrické rozvodné soustavě. Tento vliv je však relativně malý a neopravňuje měnit postup pro určení koeficientu flikru.

### 7.3.2 Fiktivní elektrická rozvodná soustava

Fázový diagram fiktivní elektrické rozvodné soustavy je uveden na obrázku 4.



Obrázek 4 – Fiktivní elektrická rozvodná soustava pro simulaci fiktivního napětí

Fiktivní elektrická rozvodná soustava je představována ideálním zdrojem jednofázového napětí s okamžitou hodnotou  $u_0(t)$  a impedancí elektrické rozvodné soustavy danou odporem  $R_{\text{fic}}$  v sérii s indukčností  $L_{\text{fic}}$ . Větrná turbína je představována generátorem proudu  $i_m(t)$ , což je měřená okamžitá hodnota proudu ve vedení. Tento jednoduchý model poskytuje simulované napětí s okamžitou hodnotou  $u_{\text{fic}}(t)$  podle:

$$u_{\text{fic}}(t) = u_0(t) + R_{\text{fic}} \cdot i_m(t) + L_{\text{fic}} \cdot \frac{di_m(t)}{dt} \quad (1)$$

Ideální zdroj napětí  $u_0(t)$  může být vytvořen různými způsoby. Dvě vlastnosti však ideální napětí má splňovat:

- Ideální napětí má být bez jakýchkoliv kolísání, tj. flickr u tohoto napětí má být nulový.
- $u_0(t)$  musí mít stejný elektrický úhel  $\alpha_m(t)$  jako základní složka měřeného napětí. To zajistí správnost fázového úhlu mezi  $u_{\text{fic}}(t)$  a  $i_m(t)$ , zajišťující, že  $|u_{\text{fic}}(t) - u_0(t)| \ll |u_0(t)|$ .

Pro splnění těchto vlastností je  $u_0(t)$  definováno jako:

$$u_0(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_n \cdot \sin(\alpha_m(t)) \quad (2)$$

kde  $U_n$  je efektivní hodnota jmenovitého napětí elektrické rozvodné soustavy.

Elektrický úhel základní složky měřeného napětí lze popsat rovnicí 3.

$$\alpha_m(t) = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^t f(t) dt + \alpha_0 \quad (3)$$

kde

$f(t)$  je kmitočet (který se může v čase měnit);

$t$  je čas od začátku časové řady;

$\alpha_0$  je elektrický úhel při  $t = 0$ .

$R_{\text{fic}}$  a  $L_{\text{fic}}$  musí být zvoleny tak, aby se získal příslušný fázový úhel impedance sítě  $\psi_k$  s použitím níže uvedené rovnice 4:

$$\tan \psi_k = \frac{2\pi \cdot f_g \cdot L_{\text{fic}}}{R_{\text{fic}}} = \frac{X_{\text{fic}}}{R_{\text{fic}}} \quad (4)$$

Třífázový zdánlivý zkratový výkon fiktivní elektrické rozvodné soustavy je dán níže uvedenou rovnicí 5:

$$S_{k,\text{fic}} = \frac{U_n^2}{\sqrt{R_{\text{fic}}^2 + X_{\text{fic}}^2}} \quad (5)$$

Pro zajištění, aby použitý algoritmus flickmetru nebo použitý přístroj udával hodnoty  $P_{\text{st}}$ , které leží přesně v měřicím rozsahu požadovaném v IEC 61400-4-15, se musí použít správný poměr mezi  $S_{k,\text{fic}}$  a  $S_n$ . Protože záměrem postupu uvedeného v IEC 61000-4-15 je určit, zda konkrétní kolísající napětí způsobí flickr, postup v IEC 61400-4-15 se s malými kolísáními napětí příliš nezabývá. Aby se získala simulovaná kolísání napětí v rozsahu flickmetru, doporučuje tudíž tato norma použít poměr 50 mezi  $S_{k,\text{fic}}$  a  $S_n$ , i když zvolit vhodný poměr je odpovědností hodnotitele. Rovněž se doporučuje pro získání lepšího rozlišení použít 6400 úrovní klasifikátoru na místo 64 úrovní uvažovaných v IEC 61400-4-15.

### 7.3.3 Trvalý provoz

Koeficient flickru  $c(\psi_k, v_k)$  musí být určen tak, aby to odpovídalo jeho stanovení podle 6.3.1. To musí být provedeno měřením nebo simulací.

Tento článek poskytuje podrobný postup, kdežto informativní přehled je uveden v kapitole B.1.

Musí se provést následující měření:

- Na svorkách větrné turbíny se musí měřit tři okamžité proudy ve vedení a tři okamžitá fázová napětí. Viz rovněž poznámka 1.

- b) Měření se musí provádět tak, že pro každý soubor rychlosti větru 1 m/s mezi rychlostí větru připojení a 15 m/s je sejmuto minimálně 15 10 minutových časových řad měření okamžitého napětí a proudu (pět zkoušek a tři fáze). Rychlost větru se zde měří jako střední hodnoty za 10 minut.
- c) Rychlost větru se musí měřit podle 7.1.3.
- d) Spínací operace jsou vyloučeny s výjimkou spínání kondenzátorů ke kterému dochází při trvalém provozu větrné turbíny.

Měření musí být prováděna v měřicí sestavě podle obrázku 3 a s použitím transformátorů napětí a proudu a anemometru majícími specifikace podle tabulky 2. Mezní kmitočet měření napětí a proudu musí být alespoň 400 Hz. Viz poznámka 2.

Měření musí sloužit určení koeficientu flikru větrné turbíny jako funkce fázového úhlu impedance sítě a rozdělení rychlosti větru. Toto musí být provedeno opakováním následujícího postupu pro každý z fázových úhlů impedance sítě a rozdělení rychlosti větru určené v 6.3.1.

Nejprve musí být určen koeficient flikru pro každý soubor 10 minutových časových řad měřeného napětí a proudu. Postup pro to je uveden v krocích 1) až 3) níže.

- 1) Měřená časová řada musí být zkombinována s rovnicí 1 pro získání časové řady napětí  $u_{fic}(t)$ .
- 2) Časová řada napětí  $u_{fic}(t)$  musí být vstup pro algoritmus flikru podle IEC 61000-4-15 pro získání jedné hodnoty emise flikru  $P_{st, fic}$  ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě pro každou 10 minutovou časovou řadu.
- 3) Pro každou z vypočtených hodnot emise flikru musí být určen koeficient flikru použitím:

$$c(\psi_k) = P_{st, fic} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n} \quad (6)$$

kde

$S_n$  je štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny;

$S_{k, fic}$  je zdánlivý zkratový výkon fiktivní elektrické rozvodné soustavy.

Viz rovněž poznámka 3.

Následně se pro každý soubor rychlosti větru musí určit váhový činitel pro ocenění naměřené četnosti výskytu koeficientů flikru, aby odpovídaly předpokládanému rozdělení rychlosti větru. Postup pro zjištění váhového činitele je uveden v krocích 4) až 6) dále.

- 4) Jak je definováno v 6.3.1, musí předpokládaná četnost výskytu  $f_{y, i}$  rychlostí větru v i-tém souboru rychlosti větru odpovídat Rayleighovu rozdělení, tj.:

$$f_{y, i} = \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v_i - 0,5}{v_a}\right)^2\right) - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v_i + 0,5}{v_a}\right)^2\right) \quad (7)$$

kde

$v_i$  je střed i-tého souboru rychlosti větru;

$v_a$  je předpokládaná roční střední rychlost větru.

- 5) Skutečná četnost výskytu  $f_{m, i}$  měřených koeficientů flikru v i-tém souboru rychlosti větru je dána:

$$f_{m, i} = \frac{N_{m, i}}{N_m} \quad (8)$$

kde

$N_{m, i}$  je počet hodnot koeficient flikru měřených v i-tém souboru rychlosti větru;

$N_m$  je celkový počet hodnot koeficientu flikru.

- 6) Pro každý soubor rychlosti větru 1 m/s mezi  $v_{cut-in}$  a 15 m/s musí být určen váhový činitel dosažením vypočtených hodnot  $f_{y, i}$  a  $f_{m, i}$  do následující rovnice:

$$w_i = \frac{f_{y,i}}{f_{m,i}} \quad (9)$$

Nakonec se musí zjistit váhové součtové rozdělení měřených hodnot koeficientu flikru a musí být určen koeficient flikru  $c(\psi_k, v_a)$  jako 99-tý percentil tohoto rozdělení (viz poznámky 4 a 5). Postup pro toto je dán kroky 7) až 8) dále:

7) Váhové součtové rozdělení hodnot koeficientu flikru je dáno:

$$P_{r(c < x)} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{bin}}} w_i \cdot N_{m,i,c < x}}{\sum_{i=1}^{N_{\text{bin}}} w_i \cdot N_{m,i}} \quad (10)$$

kde

$N_{m,i,c < x}$  je počet hodnot koeficient flikru menších než hodnota  $x$  či rovno hodnotě  $x$  v  $i$ -tém souboru rychlosti větru;

$N_{\text{bin}}$  je celkový počet souborů rychlosti větru.

8) Koeficient flikru musí být určen jako 99-tý percentil váhového součtové rozdělení hodnot koeficientu flikru. To musí být provedeno výpočtem  $P_{r(c < x)}$  a zjištěním 99-tého percentilu z něho.

Výše uvedené kroky postupu 4) až 8) jsou dále uvedeny v kapitole B.3.

Dlouhodobou emisi flikru lze, podle IEC 61000-3-7, vypočítat jako kubickou střední hodnotu z 12 po sobě jdoucích krátkodobých hodnot. Při uvažování, že emise flikru z větrné turbíny je funkcí rychlosti větru a že větrné podmínky budou po dobu 2 h pravděpodobně stálé, je 12 po sobě jdoucích krátkodobých hodnot přibližně stejných. Dlouhodobý koeficient emise flikru je tudíž pro větrné turbíny stejný jako krátkodobá hodnota.

**POZNÁMKA 1** Pokud nejsou fázová napětí k dispozici, musí se měřit sdružená napětí a fázová napětí vypočítat z těchto naměřených sdružených napětí. Fázová napětí mohou být vypočtena z měřených sdružených napětí podle dále uvedených rovnic:

$$u_1 = \frac{u_{12} - u_{31}}{3}$$

$$u_2 = \frac{u_{23} - u_{12}}{3}$$

$$u_3 = \frac{u_{31} - u_{23}}{3}$$

**POZNÁMKA 2** Algoritmus flikru uvedený v IEC 61000-4-15 generuje efektivní hodnotu  $u_{\text{fic}}(t)$  a tudíž vypouští změny rychlejší než 35 Hz. Přesto se v této normě požaduje pro měření flikru při trvalém provozu minimální mezní kmitočet 400 Hz, který odpovídá minimálnímu vzorkovacímu kmitočtu 800 Hz. Zkušební výpočty mají prokázat, že tento vzorkovací kmitočet je nezbytný pro získání odpovídajících výsledků. Nižší vzorkovací kmitočet sníží přesnost elektrického úhlu základní složky měřeného napětí  $\alpha_m(t)$ .

**POZNÁMKA 3** Vzorec definující koeficient flikru je dále vysvětlen v B.4.1.

**POZNÁMKA 4** 99-tý percentil se používá protože se mezní hodnoty emise flikru obvykle vztahují k tomuto percentilu.

**POZNÁMKA 5** Jak je stanoveno v 6.3.1, musí být  $c(\psi_k, v_a)$  určen pro  $v_a = 6$  m/s, 8,5 m/s respektive 10 m/s. Jak je dále stanoveno v tomto článku, vyžadují se měření pouze do 15 m/s. Za předpokladu, že rychlost větru bude mít Rayleighovo rozdělení, lze vypočítat, že 15 m/s odpovídá 99-tému percentilu pro  $v_a = 6$  m/s a dále 96 %, 91 % a 83 % pro  $v_a = 7,5$  m/s, 8,5 m/s respektive 10 m/s. Proto i když je  $c(\psi_k, v_a)$  určen podle tohoto článku jako 99-tý percentil datového souboru, může představovat nižší percentily pro rozdělení rychlosti větru podle Rayleighova rozdělení při  $v_a = 7,5$  m/s, 8,5 m/s a 10 m/s. Toto je dále vysvětleno v kapitole B.3. Je však předpokládáno, že nejistota u skutečných percentil neopravňuje vyžadování měření při vyšších rychlostech větru pro rozšíření datového souboru, aby se zajistily 99-té percentily rovněž pro  $v_a = 7,5$  m/s, 8,5 m/s a 10 m/s, což by mohlo často dramaticky zvýšit nezbytný interval měření. Uživatelé této normy však mají volnost dohodnout si zahrnutí měření nad 15 m/s pro zvýšení přesnosti  $c(\psi_k, v_a)$  při  $v_a = 6$  m/s.

### 7.3.4 Spínací operace

Na základě informací výrobce se pro každý typ spínací operace definované v 6.3.2 musí určit maximální počet spínacích operací,  $N_{10m}$  a  $N_{120m}$ . V případě, že výrobce větrné turbíny neposkytuje tyto údaje, nebo že výrobce nemůže poskytnout dostačující specifikaci řídicího systému větrné turbíny pro zajištění určených údajů, musí se uvažovat následující:

- Najetí větrné turbíny při rychlosti větru pro připojení:  $N_{10m} = 10$  a  $N_{120m} = 120$ .
- Najetí větrné turbíny při štítkové rychlosti větru:  $N_{10m} = 1$  a  $N_{120m} = 12$ .
- Nejhorší případ spínání mezi generátory:  $N_{10m} = 10$  a  $N_{120m} = 120$ .

Měření a následné simulace a výpočty se musí provést pro určení součinitele změny napětí  $k_u(\psi_k)$  a skokového činitele flikru  $k_f(\psi_k)$  pro každý typ spínací operace definované v 6.3.2.

Tento článek poskytuje podrobný postup, zatímco informativní přehled je uveden v kapitole B.2.

Zatímco 6.3.2 a) a 6.3.2 b) každý definuje spínání při konkrétní rychlosti větru, je úkolem hodnotitele určit podmínky pro 6.3.2 c). To může být provedeno na základě vyhodnocení konstrukce větrné turbíny, nebo pokud toto není dostatečně průkazné, musí se provést měření k určení podmínek pro 6.3.2 c). Viz rovněž poznámka 1 v 6.3.2.

Pro určení součinitele změny napětí  $k_u(\psi_k)$  a skokového činitele flikru  $k_f(\psi_k)$  musí být provedena následující měření:

- Na svorkách větrné turbíny se musí měřit tři okamžité proudy ve vedení a tři okamžitá fázová napětí.
- Měření se musí provádět v intervalu  $T_p$ , dostatečně dlouhém na to, aby se zajistilo ukončení přechodu při spínací operaci, avšak omezeným tak, aby se vyloučila případná kolísání výkonu vlivem turbulence.
- Pro zajištění, že výsledky měření jsou dostatečně reprezentativní pro běžné průměrné podmínky, se má každé měření provést pětkrát.
- Rychlost větru se musí měřit podle 7.1.3. Požaduje se, aby 10 minutová střední rychlost větru při spínací operaci byla v rozsahu  $\pm 2$  m/s od požadované rychlosti větru.

Měření musí být prováděna v měřicí sestavě definované na obrázku 3 a s použitím transformátorů napětí a proudu a anemometru majícími specifikace podle tabulky 2. Mezní kmitočet měření napětí a proudu musí být alespoň 500 Hz (viz poznámka 1). Podle směrnice mají být u větrných turbín používajících „měkké“ spouštěče nebo jiné účinné omezení zapínacích proudů dimenzovány transformátory proudu na dvojnásobek až čtyřnásobek štítkového proudu. U větrných turbín bez jakéhokoliv omezení zapínacího proudu se podle směrnice mají transformátory proudu dimenzovat na 10-ti až 20-ti násobek štítkového proudu větrné turbíny.

Měření musí být provedena pro určení součinitele změny napětí a skokového činitele flikru. Toto se musí provést použitím následujícího postupu:

- Měřená časová řada musí být kombinována, aby se získala časová řada napětí  $u_{fic}(t)$ .
- Simulovaná časová řada napětí  $u_{fic}(t)$  musí být vstup pro algoritmus flikru podle IEC 61000-4-15 pro získání jedné hodnoty emise flikru  $P_{st, fic}$  ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě pro každou časovou řadu  $u_{fic}(t)$ . To povede k 15 hodnotám  $P_{st, fic}$  pro každý případ, tj. pět zkoušek a tři fáze.
- Skokový činitel flikru  $k_f(\psi_k)$  se musí vypočítat podle jeho dále uvedené definice.

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n} \cdot P_{st, fic} \cdot T_p^{0,31} \quad (11)$$

Viz rovněž poznámka 2.

- Součinitel změny napětí  $k_u(\psi_k)$  se musí určit podle dále uvedené definice.

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3} \frac{U_{fic, max} - U_{fic, min}}{U_n} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n} \quad (12)$$

kde

$U_{fic,min}$  je minimální efektivní hodnota jedné periody napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě při spínací operaci;

$U_{fic,max}$  je maximální efektivní hodnota jedné periody napětí ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě při spínací operaci.

Viz rovněž poznámka 3.

5) Skokový činitel flikru a součinitel změny napětí musí být určeny jako průměr z 15 hodnot.

POZNÁMKA 1 Mezní kmitočet má být alespoň 1 500 Hz aby se zajistilo, že kolísavé harmonické vlivem „měkkého startu“ výkonových elektronických jednotek jsou správně obsaženy v součinitelích změny napětí a skokových činitelích flikru. Viz rovněž poznámka 2 v 7.3.3.

POZNÁMKA 2 Vzorec definující skokový činitel flikru je odvozen z IEC 61000-3-3, jak je vysvětleno v B.4.2.

POZNÁMKA 3 Vzorec definující součinitel změny napětí je dále vysvětlen v B.4.3.

#### 7.4 Harmonické, mezharmónické a vysokofrekvenční složky proudu

Emise harmonických, mezharmónických a vysokofrekvenčních složek proudu z větrné turbíny se musí měřit při trvalém provozu tak, aby tyto bylo možno určit podle článku 6.4.

Výsledky musí vycházet z měřicích intervalů 10 minut pro každý soubor výkonu, tj. 10, 20, ... , 100 %  $P_n$  jak určuje článek 6.4 a při stavech s minimálním zkreslením od elektrické rozvodné soustavy. Postup měření musí vyhovovat větrným turbínám, tj. předpokladu, že velikost produkovaných harmonických proudů se změní během intervalů několika sekund.

Měření, která jsou zřetelně ovlivněna šumem pozadí elektrické rozvodné soustavy musí být vyloučena.

Pro každý soubor 10 % výkonu se musí sejmout minimálně devět 10 minutových časových řad okamžitých měření proudu (tři zkoušky a tři fáze).

Měření a seskupení spektrálních složek musí být provedeno podle IEC 61000-4-7. Výběr způsobu seskupování je proveden z hlediska toho, aby měření byla prováděna na zdroji kolísání. Musí být použita třída přesnosti I podle IEC 61000-4-7.

Doporučuje se okno 10 cyklů pro 50 Hz soustavy a okno 12 cyklů pro 60 Hz soustavy. Velikost okna musí být určena ve zprávě o zkoušce (viz příloha A).

U žádného řádu harmonických není nutno zaznamenat harmonické proudy pod 0,1 %  $I_n$ .

Pro každý z měřených proudů se při pravouhlém vážení použije DFT (Discrete Fourier Transform - diskrétní Fourierova transformace), tj. pro měřenou časovou řadu se nesmí použít žádná zvláštní funkce vážení (Hannigova, Hammingova, apod.). Činný výkon musí být vyhodnocen ve stejném časovém okně jako harmonické.

Harmonické složky proudu pro kmitočty nad 50 násobek základního kmitočtu elektrické rozvodné soustavy musí být rozděleny do podskupin podle článku 5.6 v IEC 61400-4-7. Viz poznámka.

Celkové harmonické zkreslení proudu (THC) musí být vypočteno podle

$$THC = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{50} I_h^2}}{I_n} \cdot 100 \quad (13)$$

kde

$I_h$  je efektivní hodnota harmonické proudu z dílčí skupiny harmonických řádu  $h$ ;

$I_n$  je štítkový proud větrné turbíny.

Mezharmónické složky proudu pod 2 Hz musí být rozděleny do podskupin podle přílohy A v IEC 61400-4-7 (rovnice A3 a A4 pro soustavy 50 Hz respektive 60 Hz).

Vysokofrekvenční složky, tj složky proudu o 2-9 kHz, se musí měřit a seskupit podle přílohy B v IEC 61000-4-7 (rovnice B1). Výstup prvotní DFT se musí seskupit do pásem 200 kHz.



Pro každá kmitočtové pásmo a pro každý soubor 10 % výkonu se musí zaznamenat maximum harmonických, mezharmónických a vysokofrekvenčních složek proudu dané podskupiny ve třech fázích a ze sejmutých měření.

POZNÁMKA Článek 5.6 v IEC 61400-4-7 je o harmonických napětí. Tento postup seskupování je již doporučen pro vyhodnocování harmonických proudu u zdroje kolísání, jako jsou větrné turbíny.

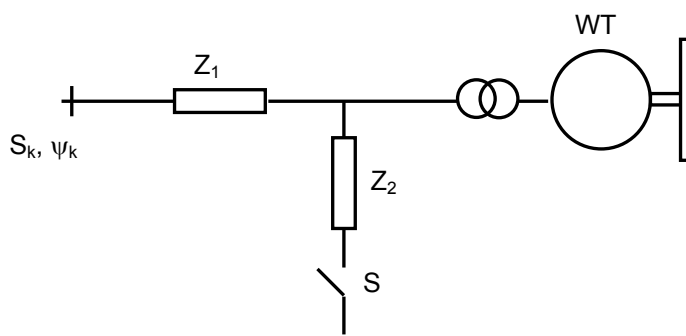
### 7.5 Reakce (odezva) na dočasný pokles napětí

Reakce větrné turbíny na dočasné poklesy napětí definované v tabulce 1 musí být měřena tak, aby tyto poklesy bylo možno určit podle článku 6.5. Určená reakce musí zahrnovat časovou řadu činného výkonu, jalového výkonu a napětí na svorkách větrné turbíny pro čas krátce před poklesem napětí a až do doby, kdy skončilo působení poklesu napětí. Musí být stanoven provozní režim větrné elektrárny a střední rychlost větru za deset minut.

Činný výkon, jalový výkon a napětí musí být uvedeny pro každou periodu 50 Hz a musí se měřit jako sousledné složky základní harmonické – viz příloha C.

Zkouška musí být provedena u větrné turbíny pracující jak při 20 %  $\pm 10$  %  $P_n$  tak při 100 %  $\pm 10$  %  $P_n$ .

Zkouška musí být provedena s použitím sestav popsaných na obrázku 5. Poklesy napětí jsou vytvářeny zkratovým emulátorem, který spojuje tři nebo dvě fáze se zemí přes určitou impedanci, nebo vzájemným spojením tří nebo dvou fází přes určitou impedanci.



**Obrázek 5 – Systém se zkratovým emulátorem pro zkoušení reakce větrné turbíny na dočasný pokles napětí**

Impedance  $Z_1$  omezuje vliv zkratu na nadřazenou elektrickou rozvodnou soustavu. Velikost této impedance má být zvolena tak, aby zkoušení poklesu napětí nezpůsobilo nežádoucí stav v předřazené elektrické rozvodné soustavě, a současně tak, aby podstatněji neovlivnila přechodnou reakci větrné turbíny. Bočnickové spojení  $Z_1$  může být použito před a po poklesu.

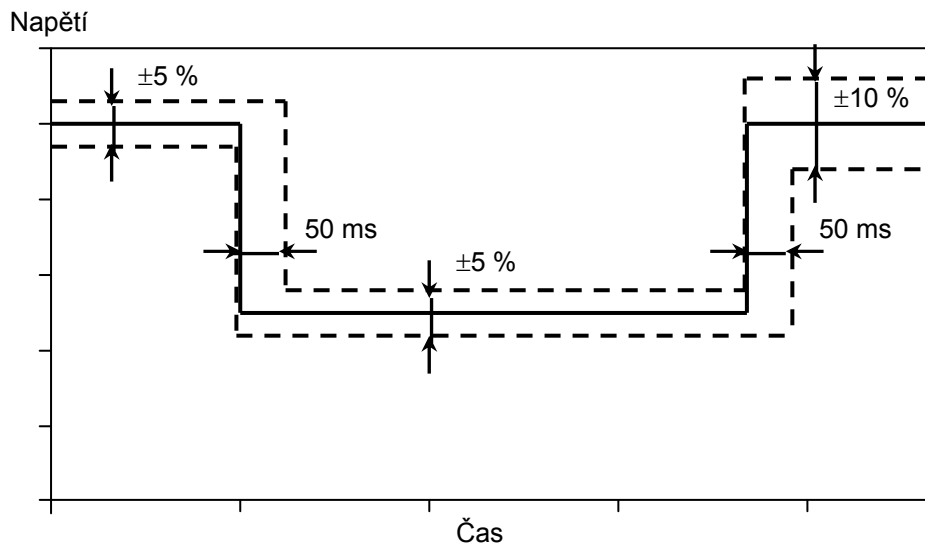
Pokles napětí je vytvářen připojením impedance  $Z_2$  spínačem S. Velikost  $Z_2$  musí být nastavena tak, aby poskytla velikosti napětí definované v tabulce 1, když není větrná turbína připojena. Přibližný vztah mezi velikostí napětí  $U$  v tabulce 1 a impedancemi  $Z_1$  a  $Z_2$  je uvedena dále.

$$Z_2 = Z_1 \frac{U}{1-U} \quad (14)$$

Hodnoty impedancí  $Z_1$  a  $Z_2$  použitých při zkouškách musí být určeny v popisu zkušebního vybavení.

Spínač S musí mít schopnost přesného řízení času mezi připojením a odpojením  $Z_2$  u všech tří nebo u dvou fází. Spínač může být např. mechanický vypínač nebo silové elektronické zařízení.

Velikosti napětí definované v tabulce 1 mohou být ovlivněny provozem větrné turbíny, ale jsou určeny pro větrnou turbínu, která není připojena k sestavě popsané na obrázku 5. Bez připojené větrné turbíny musí mít pokles napětí tvar uvedený na obrázku 6. Délka poklesu musí být měřena od zapnutí do vypnutí spínače S.



**Obrázek 6 – Tolerance poklesu napětí**

**POZNÁMKA** Zkouška se musí provést při 20 % štítkového výkonu, aby se získala reakce při nejpravděpodobnějším provozním režimu (předpokládající běžné větrné podmínky) a při 100 % štítkového výkonu, aby se získala reakce v přísnějších podmínkách.

## 7.6 Činný výkon

### 7.6.1 Maximální měřený výkon

Maximální měřený výkon musí být měřen tak, aby mohl být charakterizován podle článku 6.6.1 jako střední hodnota za 600 s,  $P_{600}$ , střední hodnota za 60 s,  $P_{60}$  a jako střední hodnota za 0,2 s,  $P_{0,2}$ , s použitím následujícího postupu:

- Měření musí být vzorkována pouze při trvalém provozu.
- Výkon se musí měřit na svorkách WT.
- Měření musí být provedeno tak, že pro každý soubor rychlosti větru 1 m/s mezi rychlostí větru připojení a 15 m/s se musí sejmout alespoň pět 10 minutových časových řad výkonu.
- Rychlost větru se měří jako střední hodnoty za 10 minut a v souladu s 7.1.3.
- Naměřený výkon se musí převést na střední údaj za 0,2 s a na střední údaj za 60 sekund průměrováním bloku (hodnot).
- Musí se určit  $P_{0,2}$  jako nejvyšší platná střední hodnota za 0,2 s zaznamenaná během intervalu měření.
- Musí se určit  $P_{60}$  jako nejvyšší platná střední hodnota za 60 s zaznamenaná během intervalu měření.
- Musí se určit  $P_{600}$  jako nejvyšší platná střední hodnota za 600 s zaznamenaná během intervalu měření.

Měření musí být prováděna v měřicí sestavě podle obrázku 3 a s použitím transformátorů napětí a proudu a anemometru majícími specifikace podle tabulky 2.

Podle směrnice má být rozsah celé stupnice pro měření proudu dvojnásobek štítkového proudu větrné turbíny.

### 7.6.2 Omezení lineárního růstu

Omezení lineárního růstu (výkonu) se musí zkoušet tak, aby mohlo být charakterizováno podle článku 6.6.2. Musí se použít následující postup:

- Větrná turbína musí být spuštěna ze zastavení.

- Lineární růst musí být nastaven na 10 % štítkového výkonu za minutu.
- Zkouška musí být provedena do 10 minut po té, co byla větrná turbína připojena k elektrické rozvodné soustavě.
- Dosažitelný činný výkon musí být během celé zkoušky alespoň 50 % štítkového výkonu.
- Činný výkon se musí měřit na svorkách WT.
- Výsledky zkoušky musí být zaznamenány jako střední údaj za 0,2 s.

Měření musí být prováděna v měřicí sestavě podle obrázku 3 a s použitím anemometru a transformátorů napětí a proudu majícími specifikace podle tabulky 2.

Dosažitelný činný výkon musí být získán z řídicího systému větrné turbíny, nebo pokud řídicí systém turbíny toto neumožňuje, lze použít přibližnou hodnotu vycházející z naměřené rychlosti větru zkombinované s výkonovou křivkou větrné turbíny.

## 7.7 Jalový výkon

### 7.7.1 Dosažitelný jalový výkon

Musí se změřit maximální induktivní jalový výkon a maximální kapacitní jalový výkon tak, aby mohly být určeny podle článku 6.7.1.

- Při měření maximálního induktivního jalového výkonu musí být větrná turbína nastavena na provozní režim, který dává v celém výkonovém rozsahu maximální induktivní jalový výkon.
- Při měření maximálního kapacitního jalového výkonu musí být větrná turbína nastavena na provozní režim, který dává v celém výkonovém rozsahu maximální kapacitní jalový výkon.

Pro každý z těchto dvou režimů nastavení se musí použít následující postup:

- Měření musí být vzorkováno pouze při trvalém provozu.
- Činný a jalový výkon se musí měřit na svorkách WT.
- Měření musí být provedeno tak, že pro každých 10 % výkonu se musí sejmout soubor alespoň 30 jednodominutových časových řad činného a jalového výkonu.
- Vzorkované údaje se musí převést na střední údaje za 1 minutu průměrováním bloku (hodnot) pro každý interval 1 minuty.
- Střední údaje za 1 minutu se musí rozřadit podle metody souborů tak, aby jalový výkon bylo možno určit jako střední hodnoty souborů v tabulce pro 0, 10, ...90, 100 % štítkového výkonu. 0, 10, ...90, 100 % zde jsou středy souborů činného výkonu.

Měření musí být prováděna v měřicí sestavě podle obrázku 3 a s použitím transformátorů napětí a proudu se specifikacemi podle tabulky 2.

### 7.7.2 Řízení žádané hodnoty

Řízení jalového výkonu pomocí žádané hodnoty se musí měřit tak, aby mohlo být stanoveno podle 6.7.2.

Pro měření při žádané hodnotě jalového výkonu = 0 se musí použít následující postup:

- Měření musí být vzorkováno pouze při trvalém provozu.
- Činný a jalový výkon se musí měřit na svorkách WT.
- Měření musí být provedeno tak, že pro každých 10 % výkonu se musí sejmout soubor alespoň 30 jednodominutových časových řad činného a jalového výkonu.
- Vzorkované údaje se musí převést na střední údaje za 1 minutu průměrováním bloku (hodnot) pro každý interval 1 minuty.
- Střední údaje za 1 minutu se musí rozřadit podle metody souborů tak, aby jalový výkon bylo možno určit v tabulce pro 0, 10, ...90, 100 % štítkového výkonu. 0, 10, ...90, 100 % zde jsou středy souborů činného výkonu.

Pro měření při skokové změně jalového výkonu se musí použít následující postup:

- Měření musí být vzorkováno pouze při trvalém provozu.

- Činný a jalový výkon se musí měřit na svorkách WT.
- Činný výkon musí být přibližně 50 % štítkového výkonu.
- Vzorkované údaje jalového výkonu musí být střední údaje za 0,2 s.
- Žádaná hodnota jalového výkonu se musí měnit podle obrázku 2.
- Měřený jalový výkon musí být znázorněn v grafu jako 0,2 s údaje společně se žádanou hodnotou jalového výkonu.

Měření musí být prováděna v měřicí sestavě podle obrázku 3 a s použitím transformátorů napětí a proudu se specifikacemi podle tabulky 2.

## 7.8 Ochrana elektrické rozvodné soustavy

Pro přepětí a podpětí a pro překročení a pokles kmitočtu musí být stanoveny nastavení ochran a časy odpojení WT. Toto musí být provedeno pomocí nezávislého zdroje 3 fázového napětí, u něhož lze měnit napětí a kmitočet, napájecího řízení WT. Musí být rovněž specifikovány žádané hodnoty nastavení ochran a časů odpojení pro řídicí jednotku WT. Z důvodů bezpečnosti jsou takováto měření týkající se ochrany elektrické rozvodné soustavy prováděna když generátor větrné turbíny není v provozu.

Pro určení nastavení ochran se musí použít následující postup:

- Nastavení podpěťové ochrany,  $U_{\text{under}}$ :
- Napětí nezávislého zdroje 3 fázového napětí musí být snižováno ve všech třech fázích ze 100 % jmenovitého napětí při jmenovitém kmitočtu po skocích 1 % jmenovitého napětí až do doby, kdy se WT odpojí. Každý skok musí trvat minimálně 20 s.
- Nastavení přepěťové ochrany,  $U_{\text{over}}$ :
- Napětí nezávislého zdroje 3 fázového napětí musí být zvyšováno ve všech třech fázích ze 100 % jmenovitého napětí při jmenovitém kmitočtu po skocích 1 % jmenovitého napětí až do doby, kdy se WT odpojí. Každý skok musí trvat minimálně 20 s.
- Nastavení ochrany při poklesu kmitočtu (podkmitočtu),  $f_{\text{under}}$ :
- Kmitočet nezávislého zdroje 3 fázového napětí musí být snižován ze 100 % jmenovitého kmitočtu při jmenovitém napětí po skocích 0,1 Hz až do doby, kdy se WT odpojí. Každý skok musí trvat minimálně 20 s.
- Nastavení ochrany při překročení kmitočtu (nadkmitočtu),  $f_{\text{over}}$ :
- Kmitočet nezávislého zdroje 3 fázového napětí musí být zvyšován ze 100 % jmenovitého kmitočtu při jmenovitém napětí po skocích 0,1 Hz až do doby, kdy se WT odpojí. Každý skok musí trvat minimálně 20 s.

Pro určení časů odpojení se musí použít následující postup:

- Čas odpojení větrné turbíny musí být určen z datového dokladu větrné turbíny nebo měřením času odpojení.
- Čas odpojení je doba od začátku skoku napětí do doby, kdy byla větrná turbína odpojena.
- Podpětí:
- Z nezávislého zdroje napětí musí být předán na vypínač WT skok napětí z jmenovitého napětí na  $U_{\text{under}} - 5\%$  jmenovitého napětí.
- Přepětí:
- Z nezávislého zdroje napětí musí být předán na vypínač WT skok napětí z jmenovitého napětí na  $U_{\text{over}} + 5\%$  jmenovitého napětí.
- Překročení kmitočtu:
- Z nezávislého zdroje napětí musí být předán na vypínač WT skok kmitočtu z jmenovitého kmitočtu na  $f_{\text{over}} + 1$  Hz.
- Pokles kmitočtu:
- Z nezávislého zdroje napětí musí být předán na vypínač WT skok kmitočtu z jmenovitého kmitočtu na  $f_{\text{under}} - 1$  Hz.

## 7.9 Doba opětovného připojení

Doba opětovného připojení se musí zkoušet tak, aby mohla být charakterizována podle článku 6.9. Musí se použít následující postup:

- Zkouška musí být provedena 3 krát s různými dobami poruchy v elektrické rozvodné soustavě jak je uvedeno v článku 6.9.
- Střední rychlost větru musí být během opětovného připojení větší než 10 m/s.
- Elektrická rozvodná soustava má být odpojena od větrné turbíny vypnutím vypínače na straně soustavy. Tento vypínač bude obvykle vn vypínač připojující větrnou turbínu na energetický sběrný systém. Vypnutí vypínače musí být provedeno když je větrná turbína v provozu. Poté má být elektrická rozvodná soustava opět připojena k větrné turbíně zapnutím vypínače.
- Doba poruchy je čas od vypnutí do zapnutí vypínače. Vypínač by měl být obvykle ovládán ručně a zkoušející má zajistit, aby doba poruchy elektrické rozvodné soustavy byla podle specifikace s tolerancí  $\pm 1$  sekunda.
- Činný výkon se musí měřit na svorkách WT.
- Napětí se musí měřit na svorkách WT.
- Výsledky zkoušky musí být zaznamenány jakožto střední údaje výkonu a napětí za 0,2 s. Na základě naměřeného výkonu a napětí je určena doba opětovného připojení od doby, kdy se napětí vrátilo na jeho normální úroveň (mezi 0,9 a 1,1 poměrnými jednotkami) do doby, kdy větrná turbína začala opět vyrábět elektrickou energii ( $P > 0$ ).

Měření musí být prováděna v měřící sestavě podle obrázku 3 a s použitím transformátorů napětí a proudu se specifikacemi podle tabulky 2.

## 8 Vyhodnocení kvality elektrické energie

### 8.1 Všeobecně

Tato kapitola uvádí metody estimace kvality elektrické energie očekávané od větrné turbíny nebo skupiny větrných turbín, když jsou umístěny v konkrétním místě sítě, a umožňuje porovnání výsledků s požadavky v jiných publikacích IEC.

Pokud provozovatelé energetické sítě a regulační orgány použijí své vlastní požadavky místo norem IEC nebo kromě nich, mohou se zásady v této kapitole ještě využít jako návod.

Metody pro vyhodnocení vyhovění požadavkům na kvalitu elektrické energie platí pro větrné turbíny v PCC v elektrizačních soustavách vn či vvn majících trvale kmitočty v toleranci  $\pm 1$  Hz a dostatečnou kapacitu pro regulaci činného a jalového výkonu. V ostatních případech se zásady pro vyhodnocení vyhovění požadavkům na kvalitu elektrické energie mohou rovněž použít jako návod.

### 8.2 Kolísání napětí

Emise flikru od větrné elektrárny musí být omezeny tak, aby vyhověly mezním hodnotám emise flikru určeným podle dále uvedené rovnice 15 a rovnice 16.

$$P_{st} \leq E_{Psti} \quad (15)$$

$$P_{lt} \leq E_{Plti} \quad (16)$$

kde

$P_{st}$  a  $P_{lt}$  jsou krátkodobé a dlouhodobé emise flikru z větrné elektrárny;

$E_{Psti}$  a  $E_{Plti}$  jsou mezní hodnoty krátkodobé a dlouhodobé emise flikru pro příslušný PCC.

Následně musí být vymezena relativní změna napětí způsobená větrnou elektrárnou podle dále uvedené rovnice 17.

$$d \leq \frac{\Delta U_{dyn}}{U_n} \quad (17)$$

kde

$d$  je relativní změna napětí způsobená spínací operací ve větrné elektrárně;

$\frac{\Delta U_{\text{dyn}}}{U_n}$  je maximální přípustná změna napětí.

Doporučené metody pro vyhodnocení mezních hodnot emise flikru a maximální přípustnou změnu napětí pro elektrárny v napěťových úrovních vn a vvn jsou uvedeny v IEC 61000-3-7.

Pro vyhodnocení emise flikru a relativní změny napětí způsobených větrnou elektrárnou se doporučuje postup uvedený v následných člancích.

### 8.2.1 Trvalý provoz

99-tý percentil emise flikru ze samostatné větrné turbíny při trvalém provozu musí být předběžně určen použitím dále uvedené rovnice 18.

$$P_{\text{st}} = P_{\text{It}} = c(\psi_k, v_a) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (18)$$

kde

$c(\psi_k, v_a)$  je koeficient flikru větrné turbíny pro daný fázový úhel impedance sítě,  $\psi_k$  v PCC, a pro danou roční střední rychlost větru,  $v_a$  ve výšce náboje rotoru větrné turbíny v daném místě;

$S_n$  je štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny;

$S_k$  je zdánlivý zkratový výkon v PCC.

Koeficient flikru větrné turbíny pro skutečné  $\psi_k$  a  $v_a$  v daném místě lze zjistit z tabulky dat vytvořené jako výsledek měření uvedených v 7.3.3 s použitím lineární interpolace.

V případě, že je do daného PCC zapojeno více větrných turbín, může být emise flikru předběžně určena z jejich součtu podle dále uvedené rovnice 19.

$$P_{\text{st}\Sigma} = P_{\text{It}\Sigma} = \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{\text{wt}}} (c_i(\psi_k, v_a) \cdot S_{n,i})^2} \quad (19)$$

kde

$c(\psi_k, v_a)$  je koeficient flikru jednotlivé větrné turbíny;

$S_{n,i}$  je štítkový zdánlivý výkon jednotlivé větrné turbíny;

$N_{\text{wt}}$  je počet větrných turbín zapojených do daného PCC.

### 8.2.2 Spínací operace

Emise flikru způsobené spínacími operacemi samostatné větrné turbíny se musí odhadnout pomocí dále uvedené rovnice 20 a rovnice 21.

$$P_{\text{st}} = 18 \cdot N_{10\text{m}}^{0,31} \cdot k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (20)$$

$$P_{\text{st}} = 8 \cdot N_{120\text{m}}^{0,31} \cdot k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (21)$$

kde  $k_f(\psi_k)$  je skokový činitel flikru větrné turbíny pro daný  $\psi_k$  v PCC. Viz rovněž poznámka 1.

Skokový činitel flikru větrné turbíny pro skutečný  $\psi_k$  v daném místě lze zjistit z tabulky dat vytvořené jako výsledek měření uvedených v 7.3.4 s použitím lineární interpolace.

V případě, že je do daného PCC zapojeno více větrných turbín, se může emise flikru odhadnout z jejich součtu podle dále uvedené rovnice 22 a rovnice 23.

$$P_{\text{st}\Sigma} = \frac{18}{S_k} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_{\text{wt}}} N_{10\text{m},i} \cdot (k_{f,i}(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3,2} \right)^{0,31} \quad (22)$$

$$P_{It\Sigma} = \frac{8}{S_k} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{120m,i} \cdot (k_{f,i}(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3,2} \right)^{0,31} \quad (23)$$

kde

$N_{10m,i}$  a  $N_{120m,i}$  je počet spínacích operací jednotlivé větrné turbíny v intervalu 10 minut respektive 2 h;

$k_{f,i}(\psi_k)$  je skokový činitel flikru jednotlivé větrné turbíny;

$S_{n,i}$  je štítkový zdánlivý výkon jednotlivé větrné turbíny. Viz rovněž poznámka 2.

Pokud existuje komplexní řídicí systém příslušející větrné elektrárně, který omezuje celkový počet spínacích operací, má se zahrnutí tohoto vlivu odpovídajícím způsobem uvážit.

Relativní změna napětí způsobená spínací operací samostatné větrné turbíny se musí odhadnout pomocí dále uvedené rovnice 24

$$d = 100 \cdot k_u(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (24)$$

kde

$d$  je relativní změna napětí v %;

$k_u(\psi_k)$  je součinitel změny napětí větrné turbíny pro daný  $\psi_k$  v PCC.

Součinitel změny napětí větrné turbíny pro skutečný  $\psi_k$  v daném místě lze zjistit z tabulky dat vytvořené jako výsledek měření uvedených v 7.3.4 s použitím lineární interpolace.

V případě, že je do daného PCC zapojeno více větrných turbín, není příliš pravděpodobné, že třeba jen dvě z nich budou provádět spínací operaci současně. Tudíž při vyhodnocení relativní změny napětí u větrné elektrárny obsahující více turbín není nutné uvažovat sumaci vlivů.

POZNÁMKA 1 Rovnice 20 a rovnice 21 mohou být odvozeny z B.4.2 použitím intervalu sledování 600 s respektive 7 200 s.

POZNÁMKA 2 Rovnice 22 a rovnice 23 mohou být odvozeny jako rovnice 20 a rovnice 21, když se do sumace zahrne počet větrných turbín zapojených do daného PCC. Tato sumace je oprávněná, protože přechodná část spínací operace, tj. část, která významně přispívá k emisi flikru, trvá obvykle krátce.

### 8.3 Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu

Harmonické proudy musí být omezeny na úroveň nezbytnou pro to, aby nedošlo v PCC k nepřijatelným harmonickým napětím.

Přípustné mezní hodnoty pro emise harmonických lze získat pomocí návodu uvedeného v IEC 61300-3-6.

IEC 61000-3-6 poskytuje návod pro sumaci harmonického zkreslení proudu od zátěží. S jeho použitím lze předběžně pomocí dále uvedené rovnice 25 určit harmonický proud v PCC způsobený větrnou elektrárnou s určitým počtem větrných turbín.

$$I_{h\Sigma} = \sqrt[\beta]{\sum_{i=1}^{N_{wt}} \left( \frac{I_{h,i}}{n_i} \right)^\beta} \quad (25)$$

kde

$N_{wt}$  je počet větrných turbín zapojených do daného PCC;

$I_{h\Sigma}$  je harmonické zkreslení proudu h-tého řádu v PCC;

$n_i$  je převod transformátoru u i-té větrné turbíny;

$I_{h,i}$  je harmonické zkreslení proudu h-tého řádu i-té větrné turbíny;

$\beta$  je exponent mající číselnou hodnotu zvolenou podle tabulky 3 a dále uvedených bodů.

**Tabulka 3 – Určení exponentů podle IEC 61000-3-6**

Řád harmonické	$\beta$
$h < 5$	1,0
$5 \leq h \leq 10$	1,4
$h > 10$	2

Pokud jsou turbíny stejné a jejich střídače komutované sítovou frekvencí, jsou harmonické přibližně ve fázi a pro všechny řády harmonických se musí použít  $\beta = 1$ .

Rovnice 25 neuvažuje použití transformátorů s různými hodinovými úhly, které mohou neutralizovat určité harmonické. Pokud jde o takovýto případ, má se provést odpovídající úvaha zahrnující vliv tohoto.

Rovnici 25 lze rovněž použít pro meziharmonické proudy a vysokofrekvenční složky proudu. Protože se předpokládá, že meziharmonické proudy a vysokofrekvenční složky proudu nemají vzájemný vztah, doporučuje se použít v rovnici 25 pro jejich sumaci  $\beta = 2$ .



## Příloha A (informativní)

### Vzorový formát zprávy

Vzorový formát zprávy uvádí doporučený formát pro hlášení výsledků zkoušek pro charakterizování parametrů kvality elektrické energie větrné turbíny. Hodnotitel musí vyplnit prázdné tabulky a doplnit grafické vyjádření tam, kde je v textu uveden obrázek.

#### ZPRÁVA O VÝSLEDKÁCH ZKOUŠEK KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE VĚTRNÉ TURBÍNY

Charakteristiky v této zprávě platí pouze pro konkrétní sestavu hodnocené větrné turbíny. Jiné sestavy, včetně změněných parametrů řízení, které způsobí, že se větrná turbína bude chovat z hlediska kvality elektrické energie odlišně, vyžadují samostatné vyhodnocení.

Název zkušební organizace	
Číslo zprávy	
Označení typu větrné turbíny	
Výrobce větrné turbíny	
Sériové číslo zkoušené větrné turbíny	

Větrná turbína identifikovaná výše uvedenými údaji byla zkoušena podle IEC 61400-21. Obecné údaje o větrné turbíně jsou uvedeny dále:

Typ větrné turbíny (horizontální/vertikální osa)	
Počet listů vrtule	
Průměr rotoru (m)	
Výška náboje rotoru (m)	
Řízení listů vrtule (natočení/náběh)	
Řízení rychlosti (stálá/dvourychlostní/proměnná)	
Typ generátoru a jmenovité údaje (kW)	
Typ měniče kmitočtu a jmenovité údaje (kVA)	
Typ kompenzace jalového výkonu a jmenovité údaje (kvar)	
Převod transformátoru a jmenovité údaje (kVA)	
Identifikace svorek větrné turbíny	

Tato zpráva o zkouškách je doplněna dále uvedenými dokumenty.

Typ informace	Název dokumentu a datum
Popis zkoušené větrné turbíny, obsahující nastavení parametrů řízení	
Popis místa zkoušky a připojení k elektrické rozvodné soustavě	
Popis zkušebního vybavení	
Popis zkušebních podmínek	
Poznámkách o výjimkách vůči IEC 61400-21	

Autor	
Kontroloval	
Schválil	
Datum vydání	

Charakteristické parametry, které jsou určeny jiným způsobem než je uvedeno v IEC 61400-21 jsou označeny. Toto zahrnuje parametry, která byly vypočteny namísto změření. Dokument(y) s výjimkami vůči IEC 61400-21 uvádí alternativní postup(y), jež byl(y) použit(y). Výsledné charakteristické parametry jsou určeny dále.

### A.1 Štítkové údaje větrné turbíny na jejích svorkách

Štítkový výkon, $P_n$ (kW)	
Štítková rychlost větru, $v_n$ (m/s)	
Štítkový zdánlivý výkon, $S_n$ (kVA)	
Štítkový proud, $I_n$ (A)	
Štítkové napětí, $U_n$ (V)	
Štítkový kmitočet, $f_n$ (Hz)	

### A.2 Kolísání napětí

#### A.2.1 Trvalý provoz

Provozní režim větrné turbíny během zkoušky byl:

Řízení žádané hodnoty jalového výkonu, $Q=0$
Jiný režim:

Fázový úhel impedance sítě, $\psi_k$ (stupně)	30	50	70	85
Roční střední rychlost větru, $v_a$ (m/s)	Koeficient flikru, $c(\psi_k, v_a)$			
6,0				
7,5				
8,5				
10,0				

#### A.2.2 Spínací operace

Provozní režim větrné turbíny během zkoušky byl:

Řízení žádané hodnoty jalového výkonu, $Q=0$
Jiný režim:

Druh spínací operace	Najetí při rychlosti pro připojení			
Maximální počet spínacích operací, $N_{10m}$				
Maximální počet spínacích operací, $N_{120m}$				
Fázový úhel impedance sítě, $\psi_k$ (stupně)	30	50	70	85
Skokový činitel flikru, $k_f(\psi_k)$				
Součinitel změny napětí, $k_u(\psi_k)$				

Druh spínací operace	Najetí při štítkové rychlosti			
Maximální počet spínacích operací, $N_{10m}$				
Maximální počet spínacích operací, $N_{120m}$				
Fázový úhel impedance sítě, $\psi_k$ (stupně)	30	50	70	85
Skokový činitel flikru, $k_f(\psi_k)$				
Součinitel změny napětí, $k_u(\psi_k)$				

Druh spínací operace	Nejhorší případ přepínání mezi generátory			
Maximální počet spínacích operací, $N_{10m}$				
Maximální počet spínacích operací, $N_{120m}$				
Fázový úhel impedance sítě, $\psi_k$ (stupně)	30	50	70	85
Skokový činitel flikru, $k_f(\psi_k)$				
Součinitel změny napětí, $k_u(\psi_k)$				

### A.3 Harmonické, meziharmonické a vysokofrekvenční složky proudu

Emise harmonických, meziharmonických a vysokofrekvenčních složek proudu z větrné turbíny je stanovena v procentech  $I_n$  pro provoz větrné turbíny při stupních výkonu 10, 20, ... , 100 %  $P_n$ .

Provozní režim větrné turbíny během zkoušky byl:

Řízení žádané hodnoty jalového výkonu, $Q=0$
Jiný režim:

**A.3.1 Harmonické**

$P_{bin}$ (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$H$	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
THC (%)										

## A.3.2 Meziharmonické

$P_{\text{bin}}$ (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$f$ (Hz)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)
75/90										
125/150										
175/210										
225/270										
275/330										
325/390										
375/450										
425/510										
475/570										
525/630										
575/690										
625/750										
675/810										
725/870										
775/930										
825/990										
875/1050										
925/1110										
975/1170										
1025/1230										
1075/1290										
1125/1350										
1175/1410										
1225/1470										
1275/1530										
1325/1590										
1375/1650										
1425/1710										
1475/1770										
1525/1830										
1575/1890										
1625/1950										
1675										
1725										
1775										
1825										
1875										
1925										
1975										

**A.3.3 Vysokofrekvenční složky**

$P_{bin}$ (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$f$ (kHz)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)	$I_h$ (%)
2,1										
2,3										
2,5										
2,7										
2,9										
3,1										
3,3										
3,5										
3,7										
3,9										
4,1										
4,3										
4,5										
4,7										
4,9										
5,1										
5,3										
5,5										
5,7										
5,9										
6,1										
6,3										
6,5										
6,7										
6,9										
7,1										
7,3										
7,5										
7,7										
7,9										
8,1										
8,3										
8,5										
8,7										
8,9										

**A.4 Reakce na poklesy napětí**

Provozní režim větrné turbíny:
--------------------------------

**Zkušební podmínky:**

Obrázek A.1: Časová řada měřených poklesů napětí, bez připojené zkoušené větrné turbíny. Příklad VD1-VD6.

**Výsledky zkoušek při 20 %  $P_n$ :**

Obrázek A.2: Časová řada měřeného činného výkonu sousledné základní složky. Příklad VD1-VD6.

Obrázek A.3: Časová řada měřeného jalového výkonu sousledné základní složky. Příklad VD1-VD6.

Obrázek A.4: Časová řada měřeného napětí sousledné základní složky na svorkách větrné turbíny. Příklad VD1-VD6.

#### Výsledky zkoušek při 100 % $P_n$ :

Obrázek A.5: Časová řada měřeného činného výkonu sousledné základní složky. Příklad VD1-VD6.

Obrázek A.6: Časová řada měřeného jalového výkonu sousledné základní složky. Příklad VD1-VD6.

Obrázek A.7: Časová řada měřeného napětí sousledné základní složky na svorkách větrné turbíny. Příklad VD1-VD6.

### A.5 Činný výkon

#### A.5.1 Maximální měřený výkon

Střední hodnota za 600 s

Měřená hodnota, $P_{600}$ (kW)	
Normalizovaná hodnota, $p_{600} = P_{600}/P_n$	

Střední hodnota za 60 s

Měřená hodnota, $P_{60}$ (kW)	
Normalizovaná hodnota, $p_{60} = P_{60}/P_n$	

Střední hodnota za 0,2 s

Měřená hodnota, $P_{0,2}$ (kW)	
Normalizovaná hodnota, $p_{0,2} = P_{0,2}/P_n$	

#### A.5.2 Omezení lineárního růstu

Provozní režim větrné turbíny: Omezení lineárního růstu nastaveno na 10 % štítkového výkonu za minutu

Obrázek A.8: Časová řada dosažitelného a měřeného činného výkonu.

#### A.5.3 Řízení žádané hodnoty

Provozní režim větrné turbíny: Režim řízení žádané hodnoty činného výkonu

Obrázek A.9: Časová řada žádaných hodnot činného výkonu, dosažitelného výkonu a měřeného činného výkonu.

### A.6 Jalový výkon

#### A.6.1 Dosažitelný jalový výkon

Provozní režim větrné turbíny: Režim řízení žádané hodnoty jalového výkonu

Činný výkon (% štítkového)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Maximální induktivní jalový výkon (kvar)											
Maximální kapacitní jalový výkon (kvar)											

#### A.6.2 Řízení žádané hodnoty

Provozní režim větrné turbíny: Režim řízení žádané hodnoty jalového výkonu

**Žádaná hodnota jalového výkonu = 0 kvar**

Činný výkon (% štítkového)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Jalový výkon (kvar)											

**Skoková změna žádané hodnoty jalového výkonu**

Obrázek A.10: Časová řada žádaných hodnot jalového výkonu a měřeného jalového výkonu.

Obrázek A.11: Časová řada činného výkonu během zkoušky (musí být přibližně 50 % štítkového).

**A.7 Ochrana elektrické rozvodné soustavy**

	Stupeň ochrany		Čas odpojení (s)	
	Žádaná hodnota	Měřeno	Žádaná hodnota	Měřeno
Přepěťová				
Podpěťová				
Při překročení kmitočtu (nadkmitočtu)				
Při poklesu kmitočtu (podkmitočtu)				

**A.8 Doba opětovného připojení**

Doba poruchy v elektrické rozvodné soustavě	10 s	1 minuta	10 minut
Doba opětovného připojení (s)			

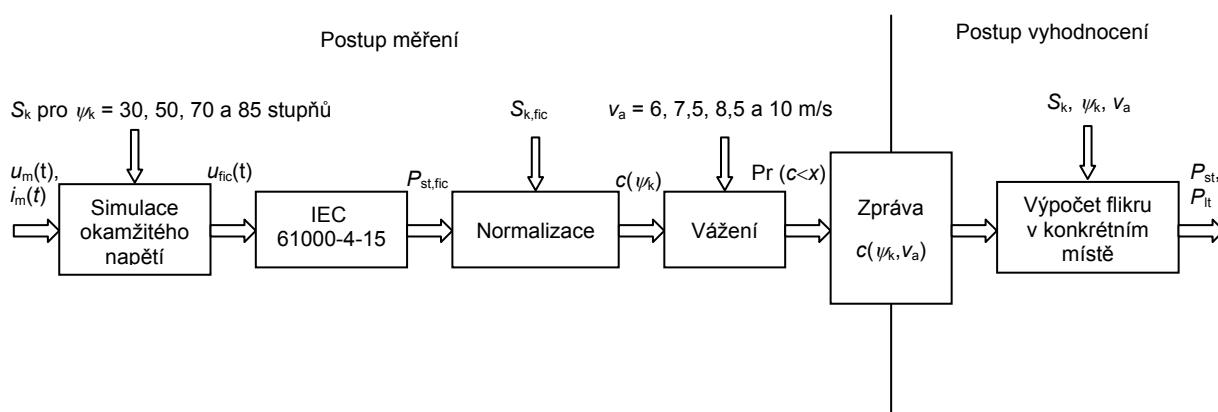


## Příloha B (informativní)

### Kolísání napětí a flikr

#### B.1 Trvalý provoz

Postupy měření a vyhodnocení flikru při trvalém provozu jsou zobrazeny na obrázku B.1. Obrázek B.1 znázorňuje, že postup měření je spíše komplexní, zatímco postup vyhodnocení je poměrně jednoduchý.



**Obrázek B.1 – Postupy měření a vyhodnocení flikru při trvalém provozu větrné turbíny**

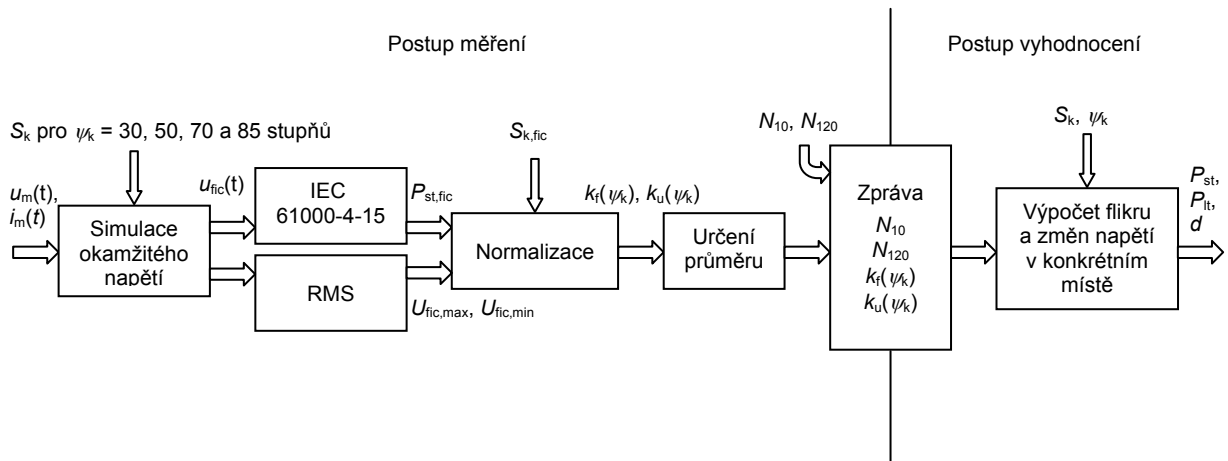
Znázornění postupu měření na obrázku B.1 je následující:

- 1) je změřen určitý počet časových řad napětí a proudu  $u_m(t)$  a  $i_m(t)$ , rozložených do intervalu rychlosti větru od rychlosti větru pro připojení do 15 m/s;
- 2) každý soubor měřených časových řad se použije jako vstup pro simulování kolísání napětí,  $u_{fic}(t)$  ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě s příslušným zkratovým zdánlivým výkonem  $S_{k, fic}$  a pro čtyři různé fázové úhly impedance sítě  $\psi_k$ ;
- 3) každá časová řada simulovaného okamžitého napětí  $u_{fic}(t)$  se pak použije jako vstup pro algoritmus flikru napětí popsany v IEC 61000-4-15, aby se generovala hodnota emise flikru  $P_{st, fic}$ ;
- 4) každá hodnota  $P_{st, fic}$  je normalizována na koeficient flikru  $c(\psi_k)$ , který je v zásadě nezávislý na zvoleném zkratovém zdánlivém výkonu  $S_{k, fic}$ ;
- 5) pro každý fázový úhel impedance sítě  $\psi_k$  pak postup vážení určí funkce váhového součtového rozdělení koeficientů flikru,  $Pr(c < x)$ , s uvažováním čtyři různá rozdělení rychlostí větru.  $Pr(c < x)$  představuje rozdělení koeficientů flikru, které lze získat, pokud bylo měření provedeno na místě s rychlostmi větru podle Rayleighova rozdělení o střední hodnotě  $v_a$ ;
- 6) pro každé součtové rozdělení je pak zaznamenán percentil 99 %  $c(\psi_k, v_a)$  koeficientu flikru.

Postup vyhodnocení určuje, jak lze zaznamenané koeficienty flikru použít pro ocenění emise flikru ze samostatné větrné turbíny nebo skupiny větrných turbín pracujících nepřetržitě na určitém konkrétním místě.

#### B.2 Spínací operace

Postupy měření a vyhodnocení spínacích operací jsou zobrazeny na obrázku B.2. Tyto postupy určují, jak měřit a vyhodnotit změny napětí a rovněž flikr. Je zřejmé, že postup měření je spíše komplexní, a že postup vyhodnocení je poměrně jednoduchý.



**Obrázek B.2 – Postupy měření a vyhodnocení změn napětí a flikru při spínacích operacích u větrné turbíny**

Postup měření u spínacích operací je následující:

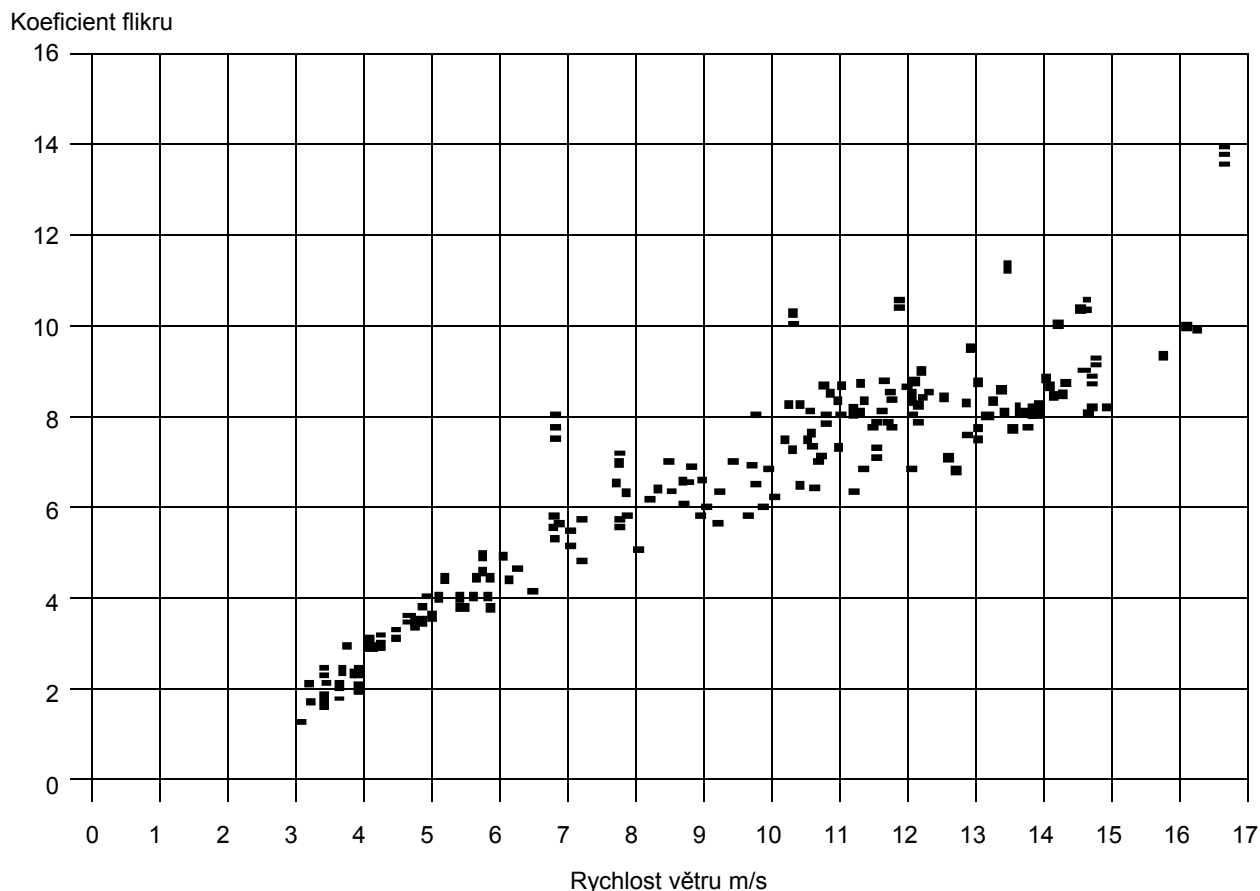
- 1) pro každý z konkrétních typů spínání je změřen určitý počet časových řad napětí a proudu  $u_m(t)$  a  $i_m(t)$ ;
- 2) každý soubor měřených časových řad se použije jako vstup pro simulování kolísání napětí,  $u_{fic}(t)$  ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě s příslušným zkratovým zdánlivým výkonem  $S_{k, fic}$  a pro čtyři různé fázové úhly impedance sítě  $\psi_k$ ;
- 3) každá časová řada simulovaného okamžitého napětí  $u_{fic}(t)$  se pak použije jako vstup pro algoritmus flikru napětí popsany v IEC 61000-4-15, aby se generovala hodnota emise flikru  $P_{st, fic}$  a jako vstup do výpočtového algoritmu RMS pro určení maximální efektivní hodnoty jedné periody  $U_{fic, max}$  a minimální efektivní hodnoty jedné periody  $U_{fic, min}$ ;
- 4) každá hodnota  $P_{st, fic}$  je normalizována na skokový činitel flikru  $k_f(\psi_k)$  a každá změna napětí  $U_{fic, max} - U_{fic, min}$  je normalizována na součinitel změny napětí  $k_u(\psi_k)$ ;
- 5) pro každý fázový úhel impedance sítě  $\psi_k$  jsou pak naměřené skokové činitele flikru a součinitele změny napětí zprůměrovány;
- 6) zprůměrované skokové činitele flikru a součinitele změny napětí jsou pak zaznamenány společně s maximálním počtem  $N_{10m}$  spínacích operací během 10 minutového intervalu a maximálním počtem  $N_{120m}$  spínacích operací během 120 minutového intervalu pro každý typ spínací operace.

Postup vyhodnocení spínacích operací určuje, jak ocenit emise flikru a změny napětí od spínacích operací v určitém konkrétním místě pomocí zaznamenaných skokových činitelů flikru a součinitelů změny napětí. Metody jsou určeny pro samostatnou větrnou turbínu i pro skupinu větrných turbín.

### B.3 Vážení koeficientů flikru

Následující příklad znázorňuje postup vážení, který se používá v této normě k získání koeficientů flikru  $c(\psi_k, v_a)$  pro čtyři různá rozdělení rychlosti větru. Určení koeficientu flikru je uvedeno pouze pro fázový úhel impedance sítě  $\psi_k = 50^\circ$ . Stejný postup se musí provést pro ostatní fázové úhly impedance sítě  $30^\circ$ ,  $70^\circ$  a  $85^\circ$ .

Obrázek B.3 zobrazuje soubor měřených koeficientů flikru  $c(\psi_k)$  jako funkci rychlosti větru pro fázový úhel impedance sítě  $\psi_k = 50^\circ$ .



**Obrázek B.3 – Koeficient flikru jako funkce rychlosti větru**

S použitím těchto koeficientů flikru se pro získání výsledného koeficientu flikru  $c(\psi_k, v_a)$  pro každé rozdělení rychlosti větru provedou následující kroky:

- klasifikace koeficientů flikru  $c(\psi_k)$  do souborů 1 m/s rychlosti větru;
- určení počtu měření v každém souboru rychlosti větru;
- určení váhového činitele  $w_i$  pro každý soubor rychlosti větru;
- určení váhového součtového rozdělení  $Pr(c < x)$ ;
- určení 99-tého percentilu, který udává koeficient flikru  $c(\psi_k, v_a)$ .

Rychlost větru pro připojení WT je, pro tento příklad,  $v_{\text{cut-in}} = 3$  m/s. Několik měření bylo provedeno při rychlosti větru pod rychlostí větru pro připojení a při rychlostech větru nad 15 m/s. Tato měření se neberou v úvahu. Pro určení koeficientu flikru  $c(\psi_k, v_a)$  jsou použita pouze měření nad rychlostí větru pro připojení a pod 15 m/s.

Tabulka B.1 uvádí soubory rychlosti větru, počet měření u každého souboru, relativní četnost výskytu měřených koeficientů flikru  $f_{m,i}$  pro každý soubor větru a Rayleighovo rozdělení  $f_{y,i}$  pro roční střední rychlost větru  $v_a = 6$  m/s, 7,5 m/s s 10 m/s.

**Tabulka B.1 – Počet měření  $N_{m,i}$  a četnost výskytu  $f_{m,i}$  a  $f_{y,i}$  pro každý soubor rychlosti větru v rozsahu od rychlosti větru pro připojení do 15 m/s.**

Rozsah souborů rychlosti větru m/s	Počet měření $N_{m,i}$	$f_{m,i}$	$f_{y,i}$	$f_{y,i}$	$f_{y,i}$	$f_{y,i}$
		%	%	%	%	%
			<b>6 m/s</b>	<b>7,5 m/s</b>	<b>8,5 m/s</b>	<b>10 m/s</b>
3 – <4	30	5,38	11,64	8,21	6,64	4,98
4 – <5	36	6,45	12,57	9,44	7,83	6,02
5 – <6	45	8,06	12,37	10,04	8,59	6,80
6 – <7	33	5,91	11,26	10,04	8,01	7,32
7 – <8	42	7,53	9,58	9,53	8,83	7,56
8 – <9	33	5,91	7,67	8,65	8,41	7,56
9 – <10	33	5,91	5,80	7,52	7,74	7,34
10 – <11	69	12,37	4,15	6,29	6,88	6,93
11 – <12	87	15,59	2,82	5,07	5,94	6,39
12 – <13	60	10,75	1,82	3,95	4,97	5,75
13 – <14	45	8,06	1,11	2,97	4,05	5,07
14 – <15	45	8,06	0,65	2,16	3,21	4,37
Suma $N_m$	558					

Váhový činitel,  $w_i$ , je poměr mezi četností výskytu rychlostí větru  $f_{y,i}$  a relativní četností výskytu měřených koeficientů flikru  $f_{m,i}$ . Tabulka B.2 udává váhový činitel,  $w_i$ , pro každý soubor rychlosti větru.

**Tabulka B.2 – Váhový činitel  $w_i$  pro každý soubor rychlosti větru**

Rozsah souborů rychlosti větru m/s	$w_i$	$w_i$	$w_i$	$w_i$
	<b>6 m/s</b>	<b>7,5 m/s</b>	<b>8,5 m/s</b>	<b>10 m/s</b>
3 – <4	2,165	1,527	1,236	0,927
4 – <5	1,949	1,464	1,214	0,933
5 – <6	1,533	1,245	1,065	0,843
6 – <7	1,904	1,698	1,507	1,237
7 – <8	1,273	1,267	1,173	1,005
8 – <9	1,297	1,462	1,423	1,278
9 – <10	0,980	1,272	1,308	1,241
10 – <11	0,335	0,509	0,557	0,561
11 – <12	0,181	0,325	0,381	0,410
12 – <13	0,169	0,367	0,463	0,535
13 – <14	0,138	0,368	0,502	0,628
14 – <15	0,081	0,267	0,398	0,542

Celkový součet váhového činitele pro každý soubor vynásobený jeho příslušným počtem měření je uveden v tabulce B.3.

**Tabulka B.3 – Celkový součet váhového činitele vynásobený počtem měření pro všechny soubory rychlosti větru**

$v_a$ m/s	6	7,5	8,5	10
$\sum_{i=1}^{N_{\text{bin}}} w_i \cdot N_{m,i}$	454,40	467,99	457,64	424,60

V následujícím kroku jsou měření utříděna podle koeficientů flikru  $c(\psi_k)$ . Toto je znázorněno v tabulce B.4, kde horní řádek udává maximální hodnotu všech koeficientů flikru  $c(\psi_k)$  v rozsahu rychlosti větru 3 m/s až 15 m/s. Maximum koeficientů flikru  $c(\psi_k)$  je 100 percentil, což znamená, že číselný součtový rozdělení  $Pr(c < 11,495) = 1,0$ . Následující řádky tabulky B.4 jsou doplněny odečtením váhového činitele pro příslušné měření (z tabulky B.2) děleného celkovým součtem váhových činitelů (z tabulky B.3) od čísla v předchozím řádku.

**Tabulka B.4 – Váhové součtové rozdělení koeficientů flikru  $Pr(c < x)$  pro každé rozdělení rychlosti větru**

Utříděné koeficienty flikru	Odpovídající rychlost větru m/s	$Pr(c < x)$	$Pr(c < x)$	$Pr(c < x)$	$Pr(c < x)$
		6 m/s	7,5 m/s	8,5 m/s	10 m/s
11,495	13,4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
11,379	13,4	0,9997	0,9992	0,9989	0,9985
11,298	13,4	0,9994	0,9984	0,9978	0,9970
10,584	14,6	0,9991	0,9976	0,9967	0,9956
10,472	11,9	0,9989	0,9971	0,9958	0,9943
10,444	14,6	0,9985	0,9964	0,9950	0,9933
10,418	11,9	0,9983	0,9958	0,9941	0,9920
<b>10,418</b>	10,3	0,9979	0,9951	0,9933	<b>0,9911</b>
10,364	14,6	0,9972	0,9940	0,9921	0,9898
10,308	14,6	0,9970	0,9935	0,9912	0,9885
<b>10,286</b>	10,3	0,9968	0,9929	<b>0,9903</b>	0,9872
10,280	11,9	0,9961	0,9918	0,9891	0,9859
10,104	10,3	0,9957	0,9911	0,9883	0,9849
<b>10,059</b>	14,2	0,9950	<b>0,9900</b>	0,9871	0,9836
9,931	14,2	0,9948	0,9894	0,9862	0,9823
:	:	:	:	:	:
8,882	12,9	0,9906	0,9788	0,9713	0,9620
<b>8,858</b>	12,9	<b>0,9902</b>	0,9780	0,9703	0,9608
8,846	12,1	0,9898	0,9772	0,9693	0,9595
8,836	11,3	0,9895	0,9765	0,9683	0,9582
8,831	12,1	0,9891	0,9758	0,9674	0,9573

Příslušné 99-té percentily jsou v tabulce B.4 označeny tučnými typy. Tyto 99-té percentily udávají koeficienty flikru  $c(\psi_k, v_a)$  pro fázový úhel impedance sítě 50° pro daný záznam měření, uvedené v tabulce B.5.

**Tabulka B.5 – Výsledný koeficient flikru v trvalém provozu**

$\psi_k$ stupně	30	50	70	90
$v_a$ m/s	<b>Koeficient flikru</b>			
6,0		8,9		
7,5		10,1		
8,5		10,3		
10		10,4		

Zaznamenané koeficienty flikru jsou 99-tý percentil hodnot v intervalu rychlosti větru od rychlosti větru pro připojení do 15 m/s, ale ne nezbytně pro celý interval rychlosti větru od nuly do nekonečna.

Nejistota zavedená omezeným intervalem měření je znázorněna v tabulce B.6. Při použití funkcí součtového rozdělení pro Rayleighova rozdělení udávají první tři řádky pravděpodobnost, že rychlost větru je pod určeným intervalem měření mezi 3 m/s až 15 m/s, v tomto intervalu, nebo nad ním. V nejlepším případě jsou všechny koeficienty flikru vně intervalu měření pod 99-tým percentilem uvnitř tohoto intervalu měření. V takovémto případě zaznamenaný percentil skutečně odpovídá percentilu nejlepšího případu v tabulce B.6. V nejhorším případě jsou všechny koeficienty flikru v intervalu rychlosti větru nad 15 m/s větší než 99-tý percentil uvnitř tohoto intervalu měření. V tomto případě odpovídá zaznamenaný percentil percentilu nejhoršího případu v tabulce B.6. Je zřejmé, že skutečné procento zaznamenaného percentilu je poměrně nejisté pro rozdělení rychlosti větru s vysokými hodnotami ročních středních rychlostí větru. Nejistotu lze omezit na libovolnou požadovanou úroveň zvyšováním horní meze intervalu měření nad 15 m/s. To však často výrazně zvýší nezbytný interval zkoušek a tudíž i náklady na měření.

**Tabulka B.6 – Pravděpodobnosti a percentily pro různé rychlosti větru**

$v_a$ m/s	6	7,5	8,5	10
$Pr(v < 3 \text{ m/s})$ (%)	17,8	11,8	9,3	6,8
$Pr(3 \text{ m/s} < v < 15 \text{ m/s})$ (%)	81,4	83,9	82,0	76,1
$Pr(v > 15 \text{ m/s})$ (%)	0,7	4,3	8,7	17,1
Percentil nejlepšího případu (%)	99,2	99,2	99,2	99,2
Percentil nejhoršího případu (%)	98,4	94,8	90,5	82,2

Poznámka První tři řádky uvádějí pravděpodobnost, že rychlost větru je pod určeným intervalem měření od 3 m/s do 15 m/s, v tomto intervalu nebo nad ním. Na základě těchto pravděpodobností jsou v posledních dvou řádcích uvedeny možné intervaly skutečných měřených percentilů.

## B.4 Odvození definic

### B.4.1 Koeficient flikru

Hodnota  $P_{st, fic}$  simulovaného flikru bude záviset na zkratovém výkonu elektrické rozvodné soustavy,  $S_{k, fic}$  a úhlu impedance elektrické rozvodné soustavy,  $\psi_k$ .  $P_{st, fic}$  je přibližně nepřímo úměrný  $S_{k, fic}$ , zatímco vztah mezi  $P_{st, fic}$  a  $\psi_k$  závisí na typu větrné turbíny. Koeficient flikru  $c(\psi_k)$  je tudíž definován tak, že:

$$P_{st, fic} = c(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k, fic}} \quad (\text{B.1})$$

kde  $S_n$  je štítkový zdánlivý výkon větrné turbíny.

Z tohoto vztahu se koeficient flikru  $c(\psi_k)$  získá:

$$c(\psi_k) = P_{st, fic} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n} \quad (\text{B.2})$$

### B.4.2 Skokový činitel flikru

IEC 61000-3-3 definuje analytickou metodu pro hodnocení flikru na základě změny napětí a činitele tvaru. Činitel tvaru  $F = 1$  odpovídá stupňovité změně napětí. Tato metoda se používá v této normě k definování skokového činitele flikru  $k_f(\psi_k)$ . Skokový činitel flikru je definován tak, aby jej bylo možno použít k výpočtu ekvivalentního skoku napětí, který má stejnou závažnost flikru jako spínací operace. Oficiální definice je

$$d_{\max} = k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k,\text{fic}}} \cdot 100 \quad (\text{B.3})$$

kde  $d_{\max}$  je ekvivalentní skok napětí v procentech štítkového napětí.

Při použití analytické metody z IEC 61000-3-3 poskytnete skok napětí  $d_{\max}$  dobu účinku flikru  $t_f$  podle

$$t_f = 2,3 d_{\max}^{3,2} \quad (\text{B.4})$$

a tato doba účinku flikru poskytnete závažnost flikru,  $P_{\text{st, fic}}$  podle

$$P_{\text{st, fic}} = \left( \frac{\sum t_f}{T_p} \right)^{\frac{1}{3,2}} \quad (\text{B.5})$$

v daném intervalu sledování  $T_p$ . Pro dobu účinku samostatného flikru, uvedenou výše,

$$P_{\text{st, fic}} = 100 \cdot k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k,\text{fic}}} \cdot \left( \frac{2,3}{T_p} \right)^{\frac{1}{3,2}} \quad (\text{B.6})$$

S použitím tohoto výsledku lze skokový činitel flikru,  $k_f(\psi_k)$ , definovat jako

$$k_f(\psi_k) = \frac{S_{k,\text{fic}}}{100 \cdot S_n} \cdot \left( \frac{T_p}{2,3} \right)^{\frac{1}{3,2}} \cdot P_{\text{st, fic}} \quad (\text{B.7})$$

Doba sledování,  $T_p$ , v rovnici B.7 je délka časové řady simulovaného napětí v sekundách.

### B.4.3 Součinitel změny napětí

Relativní změna napětí,  $\Delta u$ , způsobená spínacími operacemi bude záviset na zkratovém výkonu elektrické rozvodné soustavy,  $S_{k,\text{fic}}$ , a úhlu impedance sítě  $\psi_k$ .  $\Delta u$  je přibližně nepřímo úměrná  $S_{k,\text{fic}}$ , zatímco vztah mezi  $\Delta u$  a  $\psi_k$  závisí na technologii větrné turbíny. Součinitel změny napětí  $k_u(\psi_k)$  je definován podle

$$\Delta u = k_u(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k,\text{fic}}} \quad (\text{B.8})$$

Dosažením změny simulovaného napětí v elektrické rozvodné soustavě se zkratovým výkonem této elektrické rozvodné soustavy,  $S_{k,\text{fic}}$ , lze pak získat součinitel změny napětí pomocí

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{\text{fic,max}} - U_{\text{fic,min}}}{U_n} \cdot \frac{S_{k,\text{fic}}}{S_n} \quad (\text{B.9})$$

kde  $U_{\text{fic,max}}$  a  $U_{\text{fic,min}}$  jsou maximální respektive minimální hodnota simulovaného fázového napětí,  $u_{\text{fic}}(t)$  ve fiktivní elektrické rozvodné soustavě.

## Příloha C (informativní)

### Měření činného výkonu, jalového výkonu a napětí

Tato příloha poskytuje doporučený postup pro výpočet činného výkonu, jalového výkonu a efektivní hodnoty napětí na základě měření okamžitých napětí a proudů.

Měření činného a jalového výkonu je přesně definováno, když jsou napětí a proudy v soustavě sinusové a symetrické. Pro takový stav se obecně používá několik způsobů měření činného a jalového výkonu.

U třífázové soustavy se často používá metoda se dvěma wattmetry.

$$P_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T (P_1 + P_2) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{ab} i_a + u_{cb} i_c) dt \quad (C.1)$$

$$Q_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{3} (P_2 - P_1) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{3} (u_{cb} i_c + u_{ab} i_a) dt \quad (C.2)$$

kde

$T$  je perioda základního kmitočtu elektrické rozvodné soustavy;

$P_1$  je výkon měřený wattmetrem 1;

$P_2$  je výkon měřený wattmetrem 2;

$u_{ab}, u_{cb}$  jsou okamžité hodnoty sdružených napětí;

$i_a, i_c$  jsou okamžité hodnoty proudů ve fázi a a c.

U jednofázových soustav se jalový výkon obvykle měří pomocí zpoždění napěťového signálu o 90 stupňů.

$$Q_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t - \frac{T}{4}) i(t) dt \quad (C.3)$$

Přirozeně lze rovněž třífázový jalový výkon měřit pomocí tří takovýchto jednofázových měření.

Potom lze střední třífázový jalový výkon vypočítat použitím vzorce pro okamžitý jalový výkon

$$Q_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2\sqrt{3}} [3u_{bc} i_a - (u_{ab} - u_{ca})(i_b - i_c)] dt \quad (C.4)$$

Pokles napětí je však v podstatě přechodný. Napětí a proudy tudíž nejsou sinusové a mohou obsahovat DC složky. Kromě toho jsou napětí a proudy značně nesymetrické, pokud je pokles způsoben jednofázovou nebo dvoufázovou poruchou. Výše uvedené metody mohou tudíž pak dát zcela odlišné hodnoty jalového výkonu. Činný výkon je rovněž ovlivněn. Tento stav je nejhorší, když jsou napětí nesymetrická.

Je tudíž důležité, aby činný a jalový výkon vycházel ze sousledných základních složek napětí a proudů alespoň v případě nesymetrického napětí. Pokud se použije tato definice, existuje několik výhod:

- Sousledná základní složka je složka, která vytváří točivý moment u rotačních strojů. Zpětná složka a harmonické způsobují pouze ztráty;
- V řadě případů je namísto jalového výkonu určen jalový proud. S použitím sousledné základní složky lze explicitně vypočítat jalovou složku proudu. Totéž platí pro účinník;
- Řada simulátorů elektrizační soustavy používá pouze souslednou základní složku. Pro snadné ověření simulací má být tudíž měření navrženo obdobně.

Pro měření sousledné základní složky napětí a proudů je nezbytné mnohokanálové zařízení pro registraci dat s vysokou rychlostí vzorkování (obvykle alespoň 5 kHz na kanál). Analogový filtr pro potlačení falešných signálů (dolní propust) má mít stejnou kmitočtovou odezvu u všech napěťových a proudových vstu-



pů, aby se zabránilo fázovým chybám. Kromě toho má být zanedbatelná chyba amplitudy způsobená filtrem pro potlačení falešných signálů u kmitočtu základní složky.

Pokud se měří fázová napětí a proudy ve fázích, jsou nejdříve pro jeden cyklus základní složky  $T$  vypočteny Fourierovy koeficienty základní složky (zde je uvedena rovnice pouze pro napětí fáze a,  $u_a$ , ostatní fázová napětí a proudy ve fázích jsou vypočteny obdobně)

$$u_{a,\cos} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t u_a(t) \cos(2\pi f_1 t) dt \quad (\text{C.5})$$

$$u_{a,\sin} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t u_a(t) \sin(2\pi f_1 t) dt \quad (\text{C.6})$$

kde  $f_1$  je kmitočet základní složky.

Efektivní hodnota tohoto základního fázového napětí je

$$U_{a1} = \sqrt{\frac{u_{a,\cos}^2 + u_{a,\sin}^2}{2}} \quad (\text{C.7})$$

Vektorové složky proudu a napětí sousledné základní složky jsou vypočteny pomocí

$$u_{1+,\cos} = \frac{1}{6} [2u_{a,\cos} - u_{b,\cos} - u_{c,\cos} - \sqrt{3}(u_{c,\sin} - u_{b,\sin})] \quad (\text{C.8})$$

$$u_{1+,\sin} = \frac{1}{6} [2u_{a,\sin} - u_{b,\sin} - u_{c,\sin} - \sqrt{3}(u_{b,\cos} - u_{c,\cos})] \quad (\text{C.9})$$

$$i_{1+,\cos} = \frac{1}{6} [2i_{a,\cos} - i_{b,\cos} - i_{c,\cos} - \sqrt{3}(i_{c,\sin} - i_{b,\sin})] \quad (\text{C.10})$$

$$i_{1+,\sin} = \frac{1}{6} [2i_{a,\sin} - i_{b,\sin} - i_{c,\sin} - \sqrt{3}(i_{b,\cos} - i_{c,\cos})] \quad (\text{C.11})$$

Činný a jalový výkon sousledné základní složky je pak

$$P_{1+} = \frac{3}{2} (u_{1+,\cos} i_{1+,\cos} + u_{1+,\sin} i_{1+,\sin}) \quad (\text{C.12})$$

$$Q_{1+} = \frac{3}{2} (u_{1+,\cos} i_{1+,\sin} - u_{1+,\sin} i_{1+,\cos}) \quad (\text{C.13})$$

a efektivní sdružené napětí sousledné základní složky je

$$U_{1+} = \sqrt{\frac{3}{2} (u_{1+,\sin}^2 + u_{1+,\cos}^2)} \quad (\text{C.14})$$

Efektivní činný a jalový proud sousledné základní složky je

$$I_{P1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{3} U_{1+}} \quad (\text{C.15})$$

$$I_{Q1+} = \frac{Q_{1+}}{\sqrt{3} U_{1+}} \quad (\text{C.16})$$

Účinník sousledné základní složky je

$$\cos \varphi_{1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{P_{1+}^2 + Q_{1+}^2}} \quad (\text{C.17})$$

Tyto výpočty lze provést na tabulkovém procesoru nebo pomocí speciálního počítačového programu. Nová hodnota jalového a činného výkonu se má vypočítat alespoň jednou v každé periodě základní složky pomocí nejnovějších dat.

## Příloha D (informativní)

### Příklad připojení větrného parku 16 MW

#### D.1 Výrobna

Požadovaný výkon:	16 MW.
Předpokládaná roční výroba:	32 000 MWh.
Požadovaná vlastní spotřeba:	30 kW.
Předpokládaný přípojný bod:	přípojnice 22 kV transformovny A (110/23 kV).

##### D.1.1 Stručný popis výroby:

8 větrných turbín firmy Windpower Typ WEA 2000, jednotky 2 MW.

Vlastní síť dva paprsky, předávací stanice TR A.

##### D.1.2 Výrobní jednotky

Výrobce:	Windpower, typ WEA 2000.
Jmenovitý výkon:	$S_{nE} = 2,2$ MVA.
Počet výrobních jednotek:	8 ks.
<u>Generátor:</u>	asynchronní; jmenovité napětí 690 V.

##### Koncepce:

- dvojitě napájený asynchronní generátor se schopností „projetí při poruše“;
- snížení výkonu při jmenovitém větru z jmenovitého výkonu na 0 možné za 20 s;
- účinník nastavitelný přes rozhraní 20 mA mezi 0,9 přebuzený a 0,9 podbuzený;
- připojení generátorů do vlastní sítě přes transformátory Dy1 a stanici s odpojiči;
- poměr náběhový proud/jmenovitý proud  $I_{An}/I_{nE} = 1,5$  p.u.

##### Chování při zkratech:

Následující údaje se vztahují na:

- třípólový zkrat v předřazené síti při kterém klesne napětí na vn straně generátorového transformátoru na 0 %  $U_C$ ;
- třípólový zkrat v předřazené síti při kterém je zbytkové napětí na vn straně generátorového transformátoru 30 %  $U_C$ ;
- třípólový zkrat v předřazené síti při kterém je zbytkové napětí na vn straně generátorového transformátoru 80 %  $U_C$ .

Uvedeny jsou hodnoty zkratových proudů  $I''_{k3}$  podle ČSN 333022 vztažené na jmenovitý proud generátoru při vzniku zkratu, po 150 ms a po 1000 ms od vzniku zkratu.

**Tabulka D.1 – Hodnoty zkratových proudů  $I''_{k3}$  vztažené ke jmenovitému proudu generátoru**

$I''_k / I_{nE1}$	$U = 0$	$U = 30 \% U_n$	$U = 80 \% U_n$
t = 0 s	3,0	2,0	1,0
t = 150 ms	1,0	1,0	1,0
t = 1000 ms	1,0	1,0	1,0

Odpojení od sítě

Zařízení pro odpojení od sítě jsou připojena k napětí generátoru.

Výrobce:

Rozsah nastavení	nadfrekvence $f >$	50 – 52 Hz	0 – 10 s;
	podfrekvence $f <$	47 – 50 Hz	0 – 10 s;
	nadpětí $U >>$	1,0 – 1,3 p.u.	0 – 5 s;
	podpětí $U <$	0,1 – 1,0 p.u.	0 – 5 s;
	podpětí $U <<$	0,1 – 1,0 p.u.	0 – 5 s.

Součet vlastního času ochrany rozpadového místa a jeho spínače je 100 ms.

Generátorový transformátor:

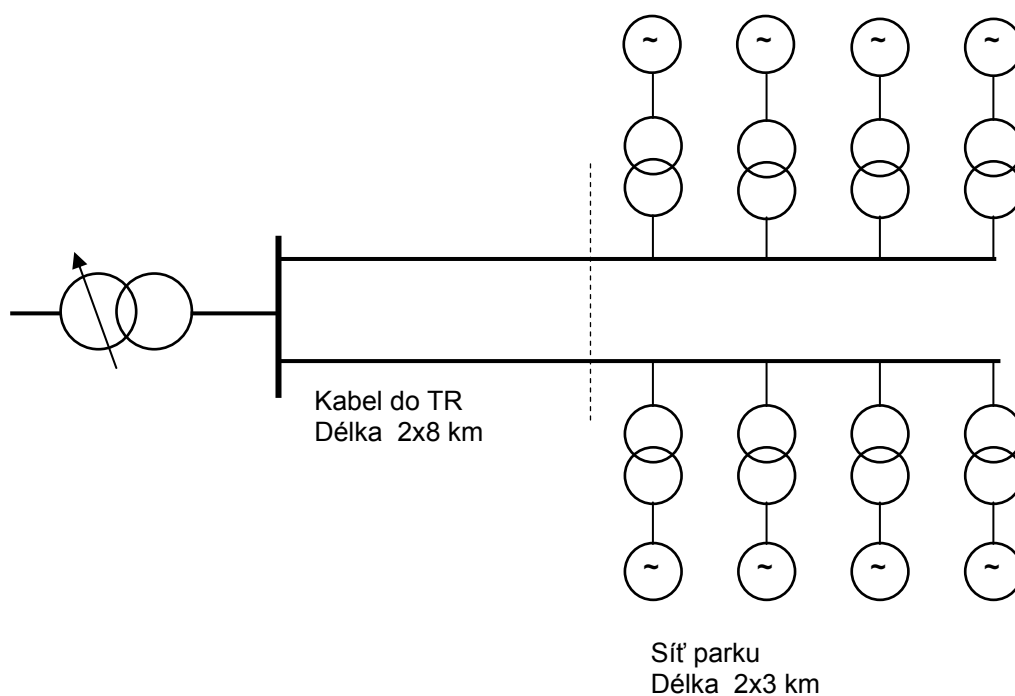
Strana vn	jmenovité napětí:	$U_{nT-vn} = 22 \text{ kV};$
	jmenovitý výkon	$S_{nT-vn} = 2,5 \text{ MVA};$
	přepínač odboček max.	$U_{max1} = 23,2 \text{ kV};$
	přepínač odboček min.	$U_{min1} = 19,8 \text{ kV};$
	počet odboček:	5;
Strana nn	jmenovité napětí	$U_{nT-nn} = 0,69 \text{ kV};$
Spojení vinutí		Dy1.

Napětí nakrátko pro střední odbočku přepínače je 6 %.

**D.2 Sít' vn větrného parku**

Sít' větrného parku je tvořena 2 větvemi po 3 km, každá větev k předávací transformovně má vlastní kabelovou trasu  $300 \text{ mm}^2 \text{ Al}$  o délce 8 km.

Celková délka kabelů je 22 km.



**Obrázek D.1 – Sít' vn větrného parku**

### D.3 Stanovisko provozovatele sítě k připojení do sítě

TR A je připojena do sítě 110 kV dvěma transformátory 40 MVA. Rozvodna 22 kV má dvě přípojnice, které mohou být napájeny odděleně. TR A slouží současně pro napájení odběratelů.

Do TR A je v současné době připojen větrný park 6 MW, jehož výkon při jmenovitém větru nelze snižovat, protože tento park byl připojen podle dříve platných zásad. K vývodu, ke kterému je připojen tento park jsou připojeny i stanice s odběrateli. Připojení je kabelem 240 mm<sup>2</sup> Al. Vzdálenost přípojného bodu větrného parku od TR A je 6 km.

Je zapotřebí ověřit, za jakých předpokladů může být připojen nový větrný park s uspořádáním:

- přípojnice 1: vývody pro napájení města;
- přípojnice 2: vývod ke stávajícímu parku 6 MW i novému parku 16 MW.

Nový větrný park musí na základě požadavku PDS sloužit k udržování napětí nadřazené sítě 110 kV za normálního provozu i při poruše.

Dohodnuté napájecí napětí je 22 kV. Regulace napětí je nastavena na pásmo mezi 23 kV až 23,5 kV.

### D.4 Kontrola výkonového dimenzování provozních prostředků

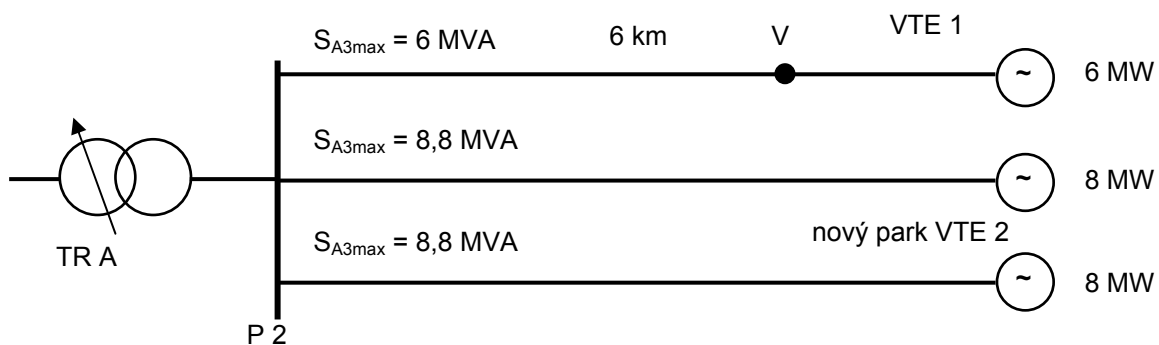
Vývody vn v TRA mají zatížitelnost 630 A, přípojnice a pole transformátorů 1250 A. Očekávané zatížení od výkonů zdrojů je:

- současný park VTE 6 MW,  $\cos\varphi = 1$ : 150 A
- nový požadovaný park 16 MW,  $\cos\varphi = 0,9$ : 446 A

Pro připojení nového parku jsou zapotřebí dvě nová vývodová pole o které musí být rozvodna rozšířena.

Celková délka kabelů nového parku je 22 km, s nabíjecím výkonem cca 1120 kVA<sub>r</sub>.

Protože síť je provozována s kompenzací zemních kapacitních proudů, bude eventuálně zapotřebí vyměnit zhášecí tlumivku.



Obrázek D.2 – Přiřazení výroben k vývodům

Protože park VTE má sloužit i pro podporu napětí, je zapotřebí určit zvýšení napětí pro celý požadovaný rozsah účinníku.

$$\Delta u_a = \frac{S_{Amax} * \cos(\psi_{kV} + |\varphi|)}{S_{kV}} = \frac{S_{Amax} * (R_{kV} * \cos|\varphi| - X_{kV} * \sin|\varphi|)}{U^2} \quad (D.1)$$

Síťový transformátor v TR A je odbočkový, napětí na primární straně lze měnit v mezích 110 kV  $\pm 8 \times 2 \%$ .

Nejprve se určí zvýšení napětí mezi přípojnici P2 a přípojným bodem V na obrázku 2. K tomu jsou k dispozici výpočetní programy, ale dostatečně přesné hodnoty lze získat i z běžně dostupných dat:

- impedance sítě 110 kV,  $S_{kV} = 2000$  MVA:

$$Z_{kV} = \frac{22^2}{2000} = 0,242 \Omega$$

Pokud není znám poměr  $X/R$ , lze použít jako směrnou hodnotu 6. Tak získáme hodnoty:  $X_S = 0,239 \Omega$  a  $R_S = 0,04 \Omega$ .

– impedance transformátoru,  $S_T = 40 \text{ MVA}$ ,  $u_k = 11 \%$ ,  $P_k = 150 \text{ kW}$ :

$$X_T = 11 \frac{22^2}{100 * 40} = 1,331 \Omega$$

$$R_T = 150 * \frac{22^2}{1000 * 40^2} = 0,045 \Omega$$

– impedance kabelu k přípojnému bodu V, vzdálenost 6 km

měrná reaktance kabelu:  $0,11 \Omega/\text{km}$

měrný činný odpor kabelu:  $0,125 \Omega/\text{km}$

$$X_L = 0,66 \Omega$$

$$R_L = 0,75 \Omega$$

Impedance určující pro přípojnicí P2 je dána součtem jednotlivých hodnot:

$$X_{kP} = 0,239 + 1,331 = 1,570 \Omega, R_{kP} = 0,04 + 0,045 = 0,085 \Omega; \varphi_{kP} = 86,9^\circ$$

a zkratový výkon na přípojnicí P2 22 kV:

$$S_{kP2} = \frac{U^2}{Z_{kP2}} = 308 \text{ MVA}$$

Napájení z VTE1 výkonem 6 MVA při  $\cos \varphi = 1$  zvýší napětí v přípojném bodě V proti přípojnicí P2 nezávisle na napájení z nové VTE 2 podle rovnice (D.1) o 0,99 %.

Dále je zapotřebí zjistit zvýšení napětí na přípojnicí P2 a to bez vlivu odbočkového přepínače, protože přípustný regulační rozsah je omezen odběrem nebo napájením na straně vn. K tomu je zapotřebí fázově věrně sečíst činné a jalové výkony obou větrných parků a odtud vyhodnotit účinník. Poměry při plné výrobě a slabém zatížení jsou v následující tabulce.

**Tabulka D.2 – Zvýšení napětí na přípojnicí P2**

Účinník VTE2	$P_\Sigma$ [MW]	$Q_\Sigma$	$S_\Sigma$ [MVA]	$\cos \varphi_\Sigma$	$\sin \varphi_\Sigma$	$\Delta u_{\max}$ %
0,9 <sub>podbuzený</sub>	22	-7,75	23,32	-0,943	0,332	-2,13
0,95 <sub>podbuzený</sub>	22	-5,26	22,62	-0,973	0,232	-1,32
1	22	0	22,00	1	0	0,59
0,95 <sub>přebuzený</sub>	22	5,26	22,62	0,973	-0,232	2,09
0,9 <sub>přebuzený</sub>	22	7,75	23,32	0,9433	-0,332	2,90

Tabulka D.2 uvádí zvýšení napětí na přípojnicí P2 bez vlivu odbočkové regulace při plném napájení z VTE a slabém zatížení, zde předpokládaném 0.

Při účinníku 1 dojde ke zvýšení napětí na přípojnicí o 0,59 %. Při takovémto zvýšení napětí odbočkový regulátor zpravidla nezasahuje, protože odbočky jsou 2 % a napětí na straně vn nemusí být v horní části regulačního rozsahu. Protože napětí v přípojném bodě V1 je o 0,99 % nad napětím přípojnice, dochází zde ke zvýšení napětí o 1,76 %, tudíž rovněž přípustnému.

Pro účinník odlišný od 1 platí mez 5 % udaná pro vypnutí celého větrného parku, popřípadě pro současné vypnutí obou parků. Výsledky ukazují, že větrný park tyto podmínky splňuje pro celý rozsah požadovaného účinníku 0,95<sub>podbuzený</sub> až 0,95<sub>přebuzený</sub>.

### D.5 Kontrola zpětného vlivu „rychlá napět'ová změna“

Jmenovitý výkon jednotlivého generátoru farmy je podle technických údajů 2,2 MVA, dále je k němu udána hodnota  $k_{imax} = 1,5$ .

Přípojný bod je přípojnice v TR A se zkratovým výkonem 308 MVA. Pro připojení jednoho stroje tak získáme rychlou změnu napětí:

$$\Delta u_a = k_{imax} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} = 1,5 \cdot \frac{2,2 \text{ MVA}}{308 \text{ MVA}} \cdot 100 = 1,07 \%$$

Z certifikátu k výrobní jednotce vyplývá u obou činitelů  $k_f$  a  $k_u$  pro úhel impedance sítě  $86,9^\circ$ , že jejich nejvyšší hodnota je při jmenovitém větru  $k_u = 1,1$ .

Odtud platí pro náhradní změnu napětí:

$$\Delta u_{ers} = k_u \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} = 1,1 \cdot \frac{2,2 \text{ MVA}}{308 \text{ MVA}} \cdot 100 = 0,79 \%$$

Tato hodnota je pod přípustnou mezí 2 %. To znamená, že časový odstup při spínání jednotlivých strojů může být

$$\Delta t_{min} = 23 \cdot (\Delta u)^3 = 11 \text{ s}$$

Činitel  $k_{f(\psi)}$  pro impedanci sítě s úhlem  $87^\circ$  je v certifikátu k jednotce udán hodnotou 0,93. Odtud získáme použitím následujícího vztahu:

$$P_{it} = \frac{8}{S_{kV}} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_E} E_{120i} \cdot (k_f \cdot S_{nE})^{3,2} \right)^{0,31} = \frac{8}{308} \cdot (10 \cdot (0,93 \cdot 2,2)^{3,2})^{0,31} = 0,108$$

Předpokládá se, že každá jednotka bude v intervalu 2 hodiny připojena pouze jednou. Protože intenzita flikru je pod přípustnou mezí 0,46 je připojení parku v průběhu dvou hodin přípustné.

### D.6 Přezkoušení zpětného vlivu „dlouhodobý flikr“

V certifikátu výrobní jednotky je uveden pro úhel impedance sítě cca  $87^\circ$  při plném zatížení koeficient flikru 3,5.

Tomu odpovídá dlouhodobá míra flikru:

$$P_{itE} = c \cdot \frac{S_{eE}}{S_{kV}} = 0,025$$

Protože ve větrném parku má být 8 stejných jednotek, je celková míra vjemu flikru:

$$P_{it} = \sqrt{n} \cdot P_{itE} = 0,071$$

Přípustná celková hodnota v jednom přípojném bodě je 0,46. Z toho připadá na nový park na přípojnici P2 podíl:

$$P_{itdovVTE} = P_{itdov} \cdot \frac{S_{Amax}}{S_{celk}} = 0,46 \cdot \frac{17,6 \text{ MVA}}{40 \text{ MVA}} = 0,202$$

Tato hodnota je výrazně nad velikostí flikru produkovanou větrným parkem, takže toto kritérium je dodrženo.

### D.7 Kontrola zpětného vlivu „ Harmonické a mezharmónické“

Pro přípustné proudy emise harmonických větrného parku platí:

$$I_{vAdov} = I_{vdov} \cdot \frac{S_A}{S_{celk}} = i_{vdov} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{celk}}$$

Následující tabulka D.3 obsahuje pro jednotlivé řády harmonických ve druhém sloupci přípustné vztažné proudy, ve třetím sloupci pro posuzovanou farmu VTE 2 přípustné harmonické proudy.

Čtvrtý sloupec uvádí z protokolu ke strojům velikosti emitovaných harmonických vztažené k jejich jmenovitému proudu. Protože výrobní jednotka pracuje s pulzně modulovaným střídačem, produkuje kontinuální spektrum harmonických, s nízkými jednotlivými harmonickými proudy. Pokud jsou naměřené hodnoty pod 0,1 %, pak ve zkušebním protokolu není udána žádná hodnota.

**Tabulka D.3 – Přípustné vztažené a harmonické proudy**

Řád harmonických v	$I_{přip}$ A/MVA	$I_{přip}$ A	$(I_v/I_{nVTE})$ %	$I_{vTE}$ A
liché				
3	0,029	3,93	0,1	0,50
5	0,029	3,93	0,3	1,49
7	0,041	5,55	0,5	2,48
9	0,026	3,52	0,1	0,50
11	0,026	3,52	0,3	1,49
13	0,019	2,57	0,1	0,50
15	0,011	1,49		
17	0,011	1,49		
19	0,009	1,22		
21	0,006	0,81		
23	0,006	0,81		
sudé				
2	0,015	2,03	0,2	0,99
4	0,008	1,08	0,1	0,50
6	0,005	0,68	0,1	0,50
8	0,004	0,54	0,1	0,50
10	0,003	0,41	0,1	0,50
21	0,003	0,41	0,1	0,50
41	0,002	0,27	0,1	0,50

Tabulka ukazuje, že emitované harmonické proudy všech řádů jsou přípustné.

Naměřené hodnoty meziharmonických proudů ve výtahu ze zkušebního protokolu obvykle nejsou uváděny, jsou součástí zprávy. Protože součtový účinek osmi strojů se stanovuje z kvadrátů jejich meziharmonických proudů, jsou naměřené proudy vždy pod dovolenými hodnotami, pokud se posouzení omezuje na rozsah nad 0,1 % jmenovitého proudu generátoru.

Souhrnně lze uvést, že harmonické a meziharmonické v dodávaném proudu jsou hodnoceny jako přípustné.

#### **D.8 Kontrola zpětného vlivu „komutační poklesy“**

Komutační poklesy vznikají u střídačů řízených sítí se stejnosměrným proudovým mezi obvodem. Pulzně modulované střídače se stejnosměrným napěťovým obvodem nevyvolávají komutační poklesy.

#### **D.9 Kontrola zpětného vlivu na hromadné dálkové ovládání**

Odběratelé na stávajícím vývodu využívají spínání signály HDO s kmitočtem 217 Hz. Připojením 8 výrobních jednotek v požadovaném parku dojde velmi pravděpodobně k ovlivnění signálu HDO.

Požaduje se hradící člen pro signál HDO, který buď může být centrální pro oba napájecí kabely nebo u každé výrobní jednotky na nn straně jejího transformátoru.

### D.10 Kontrola zkratových proudů

VN zařízení v TR A je dimenzováno na krátkodobý zkratový proud 20 kA, kterému odpovídá dynamická odolnost vn zařízení 50 kA.

Distribuční transformovny v síti TR A jsou dimenzovány na krátkodobý zkratový proud 16 kA, tedy zkoušeny na dynamický nárazový zkratový proud 40 kA.

Zkratový proud na straně 22 kV je cca 8 kA, nárazový zkratový proud je vzhledem k vysokému poměru  $X/R$  2,8 násobek rovnající se 22,4 kA.

Současný větrný park přispívá proudem cca 0,55 kA.

Plánovaný větrný park do zkratu přispívá trojnásobkem jmenovitého proudu, který rychle klesá na jmenovitou hodnotu. I s respektováním generátorových transformátorů je příspěvek 8 WT cca 1,35 kA. Nárazový zkratový proud je 2,5 násobek, tj. 3,35 kA. Tyto hodnoty je třeba přičíst ke zkratovému proudu síťového transformátoru.

Součet příspěvků dává maximální zkratový proud 10 kA a dynamický nárazový zkratový proud 26,5 kA.

Tyto hodnoty jsou bezproblémové jak pro TR A, tak i pro distribuční transformovny.

### D.11 Přezkoušení dynamické podpory sítě

Větrné elektrárny musí být provedeny tak, aby při poklesech napětí v síti mohly zůstat připojené k síti. Při poklesu napětí mezi 0 až  $0,8 U_n$  může být zařízení alternativně nastaveno na odpojení v průběhu 0,3 s. Všechna nastavení se vztahují ke straně nn generátorového transformátoru.

Pokud je v případě poruchy požadováno setrvání v síti, jsou k dispozici dvě hladiny pro povely:

- 1) Při poklesu nastavitelné hladiny napětí mezi 0 a  $0,8 U_n$  rozhodne řídicí systém o poruše. Pak jsou dvě varianty:
  - řízení přepne nezávisle na momentální výrobě na dodávku induktivního jalového proudu s velikostí jmenovitého proudu;
  - WT dodává nadále do sítě proud odpovídající momentální výrobě se zadaným účínkem.
- 2) Při vzrůstu napětí nad nastavitelnou úroveň mezi  $0,5 U_n$  až  $0,9 U_n$  rozezná systém normální provoz.

Povely pro přepínání mají zpoždění 20 ms po vzniku poruchy.

Při nastavení hladin je zapotřebí brát v úvahu, že dodávka jalového proudu o velikosti jmenovitého proudu vyvolá na impedanci sítě zvýšení napětí na přípojnicí o cca 12 %. Protože se nastavení hladiny vztahuje k nn straně, je zapotřebí přičíst úbytky napětí na kabelu (cca 3 %) a na generátorovém transformátoru (6%), takže se nn napětí na generátoru při přepnutí na jalový proud zvýší o 21 %. Tato hodnota by se zvýšila na 24 %, pokud WT před poruchou byla provozována podbuzená s účínkem 0,95.

Hladiny proto musí být voleny tak, aby napětí po přepojení na provoz při poruše na straně nn okamžitě nepřekročilo hodnotu pro normální provoz. Voleny budou následující hodnoty:

- přepnutí na provoz při poruše:  $\text{napětí} < 0,65 U_n$
- přepnutí zpět na normální provoz:  $\text{napětí} \geq 0,9 U_n$

Takto zvolený rozdíl 25 %  $U_n$  mezi napětovými hladinami zamezí přepnutí řízení WT při poruše vyvolané nastalým zvýšením napětí o 24 %.

### D.11 Kontrola dodávky činného a jalového výkonu

Jak je uvedeno v popisu výrobních jednotek, požadavky jsou splnitelné a mohou být realizovány.



## Bibliografie

IEC 61000-3-3, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current  $\leq 16$  A

*Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 3: Omezování kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení s jmenovitým proudem  $\leq 16$  A*

IEC 61000-3-6, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication

*Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 6: Vyhodnocení mezí emisí pro zkreslující zátěže ve vn a vvn elektrizačních soustavách – Základní publikace EMC*

IEC 61000-3-7, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication

*Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 7: Vyhodnocení mezí emisí pro kolísající zátěže ve vn a vvn elektrizačních soustavách – Základní publikace EMC*

IEC 61000-4-30, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods

*Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Techniky zkoušení a měření – Metody měření kvality elektrické energie*

IEC 61400-1, Wind turbine generator systems – Part 1: Safety requirements

*Generátorové systémy větrných turbín – Část 1: Bezpečnostní požadavky*

Thomas Ackerman (editor), Wind power in power systems, January 2005, John Wiley and Sons Ltd, ISBN 0470855088, 690 pages.

*Thomas Ackerman (vydavatel), Větrný výkon v elektrizačních soustavách, leden 2005, John Wiley a synové, ISBN 0470855088, 690 stran*