

# Provoz větrných elektráren s měniči frekvence

Ing. Stanislav Mišák, Ph.D., Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.,  
Ing. Petr Krejčí, Ph.D., Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.,  
VŠB-TU Ostrava, FEI, K453 a K451

Větrné elektrárny jsou klasifikovány jako ekologické a perspektivní zdroje elektrické energie. Problematika provozu větrných elektráren je řešena v rámci výzkumného záměru MSM 6198910007. Jedním z dílčích cílů výzkumného záměru je návrh optimálních systémů řízení větrných elektráren pro různé výkonové a napěťové hladiny. S využitím optimálního systému je možné splnit požadavky provozovatelů větrných elektráren a provozovatelů distribuční soustavy, do které je výkon větrné elektrárny dodáván. V rámci tohoto příspěvku je popsána analýza systému řízení větrné elektrárny s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou ve spolupráci s měničem frekvence s rekuperační jednotkou. Konkrétně jsou v příspěvku uvedeny výsledky z analýzy přechodných dějů provázející spínací operace a výsledky z měření zpětných vlivů provozu větrné elektrárny na distribuční soustavu.

## 1. Úvod

Větrné elektrárny (VTE) jsou řazeny mezi ekologické a perspektivní zdroje elektrické energie, avšak rozvoj větrné energetiky je provázen mnoha problémy. Snahou ať už investorů nebo provozovatelů elektrizační soustavy by mělo být nalezení rovnováhy mezi požadavky obou stran. Konkrétně snahou výrobce je co největší objem výroby v megawatthodinách, spolehlivost, životnost výrobní a tomu odpovídající co nejkratší doba návratnosti investic. Naproti tomu snahou provozovatele elektrizační soustavy, do které je výrobní (VTE) připojena, je co největší kvalita elektrické energie z VTE a co největší snížení negativních zpětných vlivů VTE na elektrizační soustavu.

Mezi nejvýznamnější zpětné vlivy VTE na elektrizační soustavu se řadí:

- přechodné děje související se spínacími operacemi systémů VTE,
- vliv VTE na kvalitu elektrické energie (zejména kvalita napětí),
- kolísání toku výkonu VTE dodávaného do elektrizační soustavy,
- časový interval dodávky elektrické energie z VTE.

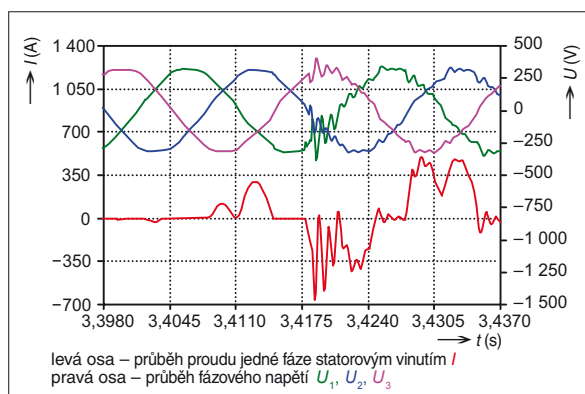
V současné době je převážná část VTE připojena na soustavu vysokého napětí s ohledem na zkratový výkon místa připojení.

V České republice nejsou v porovnání např. s Nizozemím či Německem tak ideální větrné podmínky, nicméně jsou zde lokality, které jsou pro výstavbu VTE vhodné. Avšak počet lokalit vhodných pro výstavbu VTE, resp. větrných farem, není nekonečný. S ohledem na současný stav je možné říci, že v ČR budou v blízké budoucnosti téměř vyčerpány kvóty pro realizační záměry výstavby VTE. A to i přesto, že díky využití moderních řídicích systémů VTE s měniči frekvence není pro volbu lokality VTE prioritou velká nadmořská výška, ale je možné využívat i lokality nížinaté.

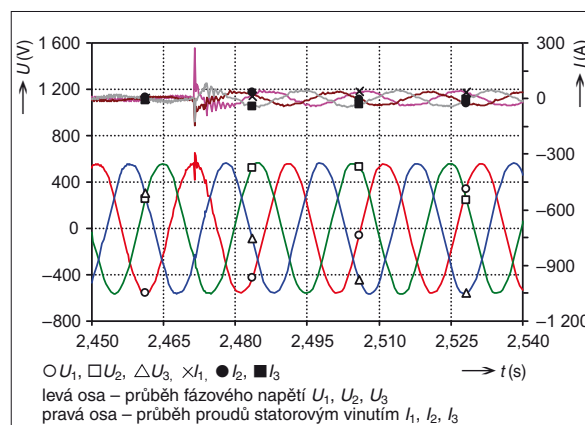
## 2. Analýza systémů řízení VTE s asynchronními generátory ve spolupráci s měniči frekvence

V současné době je většina VTE v České republice vybavena jako zdroji elektrické energie asynchronními generátory. Pro VTE malých a středních výkonů asi do 300 kW jsou nejčastěji používány asynchronní generátory s kotvou nakrátko s připojením k distribuční soustavě přes tyristorový spouštěč (softstartér), popř. asynchronní generátory s přepínáním počtu pólů. Výhodou uvedených systémů je jejich poměrně jednoduchá konstrukce a z toho vyplývající malá náročnost na údržbu. Jejich nevýhodou je především malá účinnost systému při menších rychlostech větru, neboť dodávka činného výkonu je podmíněna nadsynchronními otáčkami asynchronního generátoru. Mezi další nevýhody patří nedostatečná kompenzace jalového výkonu, která je ve většině případů řešena jako stupňovitě spínaná, a nežádoucí přechodné děje, které souvisejí se spínáním asynchronního generátoru k distribuční soustavě, popř. s připojením kompenzačního zařízení. Na obr. 1 je na ukázkou uveden detail připojení systému s asynchronním generátorem s kotvou nakrátko s připojením k distribuční soustavě přes tyristorový spouštěč (150 kW, 400 V, zapojení D). Je-li jako spínací zařízení využito tyristorový spouštěč, je

možné změnou řídicího úhlu polovodičových prvků optimalizovat proudový ráz provázející připojení, což je zřejmé z obr. 1. Dojde-li však v okamžiku připojení VTE k distribuční soustavě k prudké změně momentu na hřídeli větrného motoru vlivem výrazné turbulence větrného proudění, řídicí systém není schopen reagovat na tuto změnu a připojení není plně optimalizováno. To se projeví deformací průběhu proudu stroje a tomu odpo-



Obr. 1. Detail připojení systému s asynchronním generátorem s kotvou nakrátko



Obr. 2. Detail připojení systému s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou v kaskádním zapojení

vídalící deformací napětí v místě připojení VTE (viz obr. 1). Deformace napětí a proudu je dále umocněna, je-li výkon z VTE vyveden do přípojného bodu distribuční soustavy dlouhým kabelovým vedením. Je-li přípojný bod VTE zvolen jako koncový v paprskovém uspořádání distribuční soustavy, může být ovlivnění napětí soustavy v daném bodě taktéž výrazné [2].

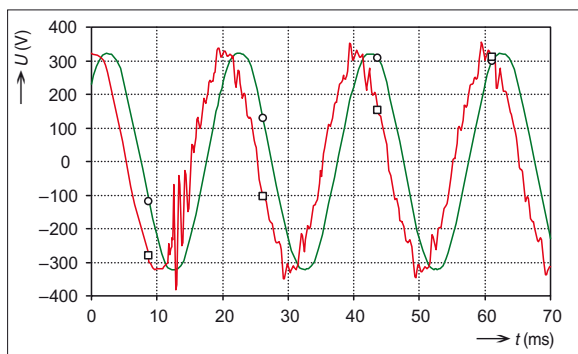
Pro VTE velkých výkonů (850 kW, 2 MW) jsou v současnosti nejvíce používány systémy řízení s asynchronními generátory s vinutým (kroužkovým) rotorem, které spolupracují s měničem frekvence s rekuperační jednotkou. Jde o systém v tzv. kaskádním zapojení. Pomocí řídicího systému VTE s měničem frekvence je možné lépe využít energii větrného proudění, a zajistit tak stabilnější dodávku elektrické energie do distribuční soustavy.

Pracuje-li systém v kaskádě, je stator generátoru přímo připojen do elektrizační soustavy (přes transformátor nn/vn) a vinutý rotor generátoru je napájen z měniče frekvence. Chod tohoto zařízení je zabezpečován víceprocesorově. Systém řízení vyhodnocuje rychlost větru a otáčky větrného motoru a tomu je přizpůsobována momentová charakteristika stroje. Průběh napětí a proudu na rotoru generátoru je tedy řízen tak, aby docházelo k maximálnímu využití větrné energie za předpokladu minimálních negativních vlivů na distribuční soustavu. Výkon řízený měničem frekvence je vzhledem k výkonu generátoru zlomkový, a proto mohou být jeho vlivy na distribuční síť nepatrné. Řídicí systém dále zabezpečuje připojování do sítě s minimálním proudovým rázem v generátorickém chodu a bez výrazných přepětových dějů. Na obr. 2 je zobrazen detail připojení systému VTE s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou v tzv. kaskádním zapojení (2 MW, 690 V, zapojení D). Z obr. 2 je zřejmá optimalizace připojení VTE k distribuční soustavě bez vysokofrekvenčního přechodného děje s proudovým rázem odpovídajícím maximálně třetině jmenovitého proudu generátoru. U moderních VTE je pro omezení proudových rázů dále využito přepínání statorového vinutí Y/D.

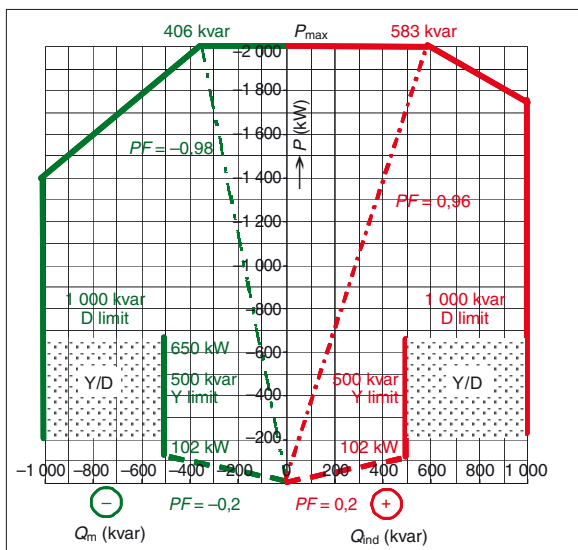
Speciální rotorové vinutí je napájeno přes kroužky z rekuperačního měniče frekvence. Pro vyhlazení průběhů napětí a proudu jsou mezi měničem a rotorovým vinutím umístěny tlumivka a sinusový filtr.

Pro spínání, popř. připojování VTE k soustavě je podle [1] definován tzv. činitel proudového rázu. Ten je dán poměrem proudového zapínacího rázu ke jmenovitému proudu generátoru a je roven číslu 4 pro asynchronní generátory připojované s 95 až 105 % synchronních otáček.

Prioritou pro provozovatele distribuční



Obr. 3. Průběh okamžitých hodnot fázového napětí v přípojném bodě VTE pro systém s asynchronním generátorem s kotvou nakrátko a systém s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou v kaskádním zapojení



Obr. 4. Provozní diagram systému s měničem frekvence v kaskádním zapojení (2 MW, 690 V, zapojení D)

soustavy je maximální odstranění nežádoucích vlivů provozu VTE na distribuční soustavu. Tyto vlivy jsou dány především způsobem připojení generátoru VTE k distribuční soustavě, parametry přípojného bodu distribuční soustavy (zkratový výkon) a volbou měřicího a řídicího zařízení. Způsob připojení k distribuční síti stanovuje příslušný provozovatel distribuční soustavy na základě daných síťových poměrů, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby. Důležitá je vhodná volba samotného spínacího zařízení. Při spínání může docházet ke krátkodobé změně napětí, povolená tolerance podle [1] je  $\leq 3\%$  jmenovitého napětí pro elektrárny s přípojovacími místem v síti nn – není-li spínání častější než jednou za 90 s. Pro VTE s asynchronními generátory může při připojování dojít vlivem vnitřních přechodných dějů ke krátkodobým poklesům. Takový pokles smí dosáhnout dvojnásobku přípustné hodnoty (asi 6 % pro nn), netrvá-li déle než dvě periody [1]. Pro VTE platí speciální činitel spínání závislý na poměrech soustavy, jímž se hodnotí jejich spínání, a který respektuje také zmíněné velmi krátké přechodné děje.

Pro srovnání je na obr. 3 zobrazen průběh okamžitých hodnot fázového napětí v přípojném bodě VTE pro systém s asynchronním generátorem s kotvou nakrátko (150 kW, 400 V, zapojení D) a systém s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou v kaskádním zapojení (2 MW, 690 V, zapojení D) v okamžiku připojení VTE k distribuční soustavě (na obr. 3 čas 12 ms). Z obr. 3 je opět zřejmé, že je-li optimalizován proces připojení VTE k distribuční soustavě s využitím řízení rekuperačního měniče frekvence (na obr. 3 zelená křivka), nedojde k výraznému přechodnému ději a jeho superponaci na ustálený průběh napětí soustavy. Je-li VTE připojena k distribuční soustavě prostřednictvím tyristorového spouštěče, je omezen proudový ráz, avšak může dojít ke vzniku přepětí (na obr. 3 červená křivka).

Zdroje elektrické energie VTE musí být podle [1] vybaveny pro některý z následujících režimů řízení jalového výkonu:

- udržování zadaného účinníku,
- udržování zadané hodnoty jalového výkonu (odběr/dodávka) v rámci provozního diagramu stroje,
- udržování napětí v předávacím místě (výstup generátoru, za blokovým transformátorem).

Generátor musí být schopen dodávat výkon v rozmezí hodnot účinníku 0,85 (dodávka jalového výkonu indukčního charakteru) až  $-0,95$  (dodávka jalového výkonu kapacitního charakteru) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru a při frekvenci v rozsahu 48,5 až 50,5 Hz. U kompenzačního zařízení zdroj je třeba přihlížet ke způsobu provozu vlastní výroby a z něj vyplývajících zpětných vlivů na napětí soustavy. Při silně kolísajícím výkonu pohonu VTE musí být kompenzace jalového výkonu regulována automaticky a dostatečně rychle. Jak již bylo zmíněno v úvodu, je nedostatečná kompenzace při kolísavém výkonu, která je řešena jako stupňovitě spínaná, nevýhodou především systémů s asynchronními generátory s kotvou nakrátko. Uvedenou nevýhodu řeší využití měniče frekvence, který umožňuje čtyřkvadrantový provoz. Účinník systému řízení se v tomto případě pohybuje většinou v rozmezí od 0,96 (indukční charakter) do  $-0,98$  (kapacitní charakter). U strojů napájených z měničů frekvence s vektorově orientovaným řízením je tedy možné dosáhnout optimálního řízení magnetického toku a snížení potřebné jalové energie. Na obr. 4 je zobrazen PQ diagram systému VTE s měničem frekvence (2 MW, 690 V, zapojení D). Z obr. 4 je patrné, že pomocí systému s měničem frekvence v kaskádním zapojení je možné regulovat dodávku činného výkonu s konstantním účinníkem (popř. činitelem výkonu) v režimu dodávky jalové energie indukčního charakteru (červená křivka na obr. 4), popř. dodávky jalové energie kapacitního charakteru (zelená křivka na obr. 4). Po dohodě s provozovatelem distribuční soustavy, do níž je VTE připojena, je ovládacím systémem VTE vymezena oblast provozu podle PQ diagramu.

### 3. Vybrané zpětné vlivy provozu VTE na distribuční soustavu

V následující kapitole je analyzována kvalita dodávky elektrické energie systému řízení VTE s asynchronním generátorem (2 MW, 690 V, zapojení D) s kroužkovou kotvou v kaskádním zapojení s měničem frekvence napěťového typu.

#### 3.1 Zpětné vlivy provozu VTE s měničem frekvence v přípojném bodě

Při provozu VTE lze předpokládat vliv na parametry distribuční soustavy. Interakce mezi distribuční soustavou a analyzovanou VTE je definována v tzv. společném napájecím bodě. Pro provozovatele distribuční soustavy je prioritou zajištění stabilní dodávky elektrické energie pokud možno s neměnnými systémovými parametry.

Z hlediska kvality dodávané energie je třeba sledovat zejména:

1. změny napětí,
2. flikr (kolísání napětí v síti),
3. ovlivnění zařízení hromadného dálkového ovládání.

#### Ad 1.

Podle přílohy č. 4 pravidel provozování distribuční soustavy [1] – pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí vn – je dáno, že změna napětí vyvolaná dodávkou výkonu z připojených zdrojů, v tomto případě VTE, nesmí přesáhnout 2 % z  $U_N$  pro VTE připojené do sítě vn.

$$\Delta u_{vn} \leq 2 \% \quad (1)$$

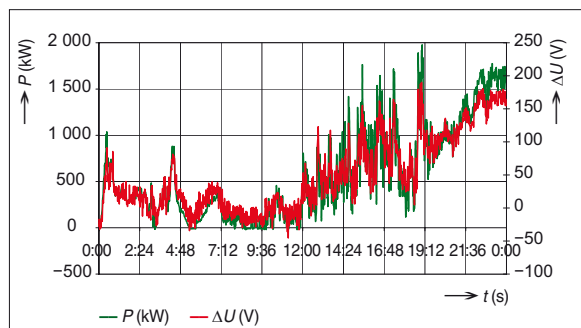
V tomto případě jsou VTE připojeny do sítě 22 kV, tzn. fázové napětí je asi 12,7 kV, potom maximální povolené zvýšení napětí je o 254 V. Jak ukazuje graf na obr. 5, změna napětí  $\Delta U$  kopíruje změnu dodávaného výkonu. Při maximálním dodávaném výkonu 2 MW v čase okolo 19:12 h došlo ke zvýšení napětí maximálně o asi 200 V, což vyhovuje podmínce definované pravidly provozování distribučních sítí.

#### Ad 2.

Flikr je definován jako lidským okem postřehnutelné kolísání světelného toku světelných zdrojů v důsledku periodických poklesů napětí v oblasti subharmonických frekvencí. Tyto změny napětí jsou obecně způsobeny změnami zatížení u odběratelů nebo změnami při generování výkonu.

Při rozboru teoretických možností vzniku flikru, který provází provoz VTE, je možné určit dvě základní příčiny jeho vzniku, a to vliv poryvů větru a vliv tubusu (dutý stožár – věž) VTE.

Vliv poryvů větru se při krátkodobých odchylkách rychlosti větru od její střední hodnoty potlačuje vlastní setrvačností rotačních částí VTE, vliv silnějších poryvů je více či méně potlačován výkonovým řízením turbíny. Vliv tubusu VTE se potlačuje mnohem hůře. Tubus pro proudící vítr představuje překáž-



Obr. 5. Vliv dodávaného výkonu z VTE na změnu napětí v místě připojení

ku, která ho zpomaluje. Jako parametr určující flikr se však nepoužívá přímo úbytek napětí způsobený flikrem, ale veličina nazývaná emise flikru nebo také míra vjemu flikru. Rozlišuje se krátkodobá (*short term*) emise flikru  $P_{st}$ , jež se měří nebo počítá v časovém intervalu deset minut, a dlouhodobá (*long term*) emise flikru  $P_{lt}$ , která se určuje pro interval dvou hodin. Obecně platí, že čím více listů má větrná turbína, tím je emise flikru menší. Systémy s měničem frekvence ve většině případů vykazují menší emise než systémy s asynchronním generátorem zapojeným přímo.

Pravidla provozování distribuční soustavy opět definují maximální povolené hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$ , a to tak, že nesmí překročit hodnotu 0,46.

$$P_{lt} \leq 0,46 \quad (2)$$

Hodnotou 0,46 je míněn příspěvek k celkovému  $P_{lt}$  způsobený zdrojem, tzn. VTE. Pro místo připojení byla zjištěna 95% hodnota  $P_{lt} = 0,587$  (průměrná hodnota ze tří fází: 0,581, 0,604, 0,577). Protože

norma uvádí přípustnou hodnotu  $P_{lt} = 1$ , lze konstatovat, že místo připojení splňuje požadavky stanovené normou.

Jak ukázalo vykonané měření, jehož výsledky jsou uvedeny v grafu na obr. 6, nelze prokázat vliv velikosti dodávaného výkonu na míru vjemu flikru  $P_{lt}$ . Na obr. 6 lze vidět průběh  $P_{lt}$  v časovém intervalu jednoho týdne, kde se hodnota  $P_{lt}$  pohybuje v rozmezí 0,338 až 0,631.

Vzhledem k povolené hodnotě  $P_{lt} = 1$  a ke zjištěné největší 95% hodnotě  $P_{lt} = 0,604$  lze vyvozovat, že VTE nepřekračuje povolený příspě-

vek 0,46 z celkové hodnoty  $P_{lt}$  a zjištěnou hodnotou 0,604 je třeba brát spíše jako pozadí sítě.

#### Ad 3.

Výrobní ovlivňují HDO (hromadné dálkové ovládání) přidavným zatížením vysílačů HDO, a to:

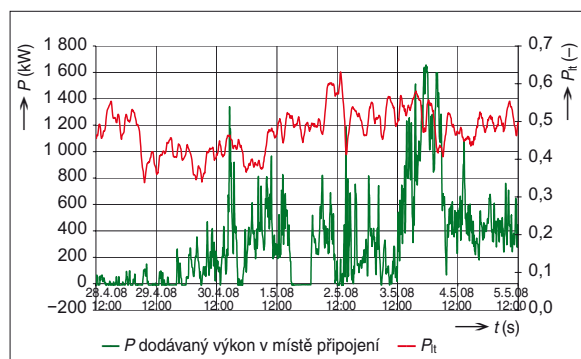
- vlastním zařízením VTE,
- popř. zvýšeným zatížením části sítě, do které pracuje zdroj.

Tento vliv může způsobit nepřipustné změny hladiny signálu HDO ve společném napájecím bodě. Podrobnější podmínky a informace o tomto zpětném vlivu jsou uvedeny v [1]. Při vykonaných měřeních však nebyl tento zpětný vliv VTE vyhodnocován.

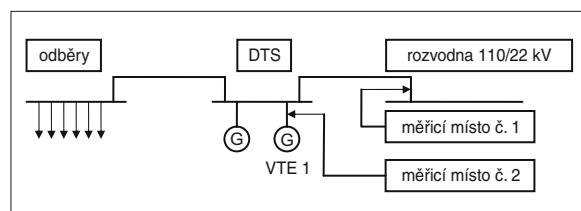
#### 3.2 Vliv provozu VTE na parametry napájecí soustavy vn rozvodny

Pro zjištění zpětných vlivů připojených VTE bylo vykonáno měření výkonové bilance paprsku distribuční sítě, na který jsou sledované VTE připojeny (zjednodušené schéma připojení VTE je na obr. 7).

Měřicí místo č. 1 bylo na vývodu sledovaného paprsku distribuční sítě v rozvodně 110/22 kV. Měřicí místo č. 2 bylo umístěno v distribuční transformační stanici (DTS), tzn.



Obr. 6. Vliv výkonu dodávaného z VTE na  $P_{lt}$



Obr. 7. Zjednodušené schéma připojení VTE k paprsku

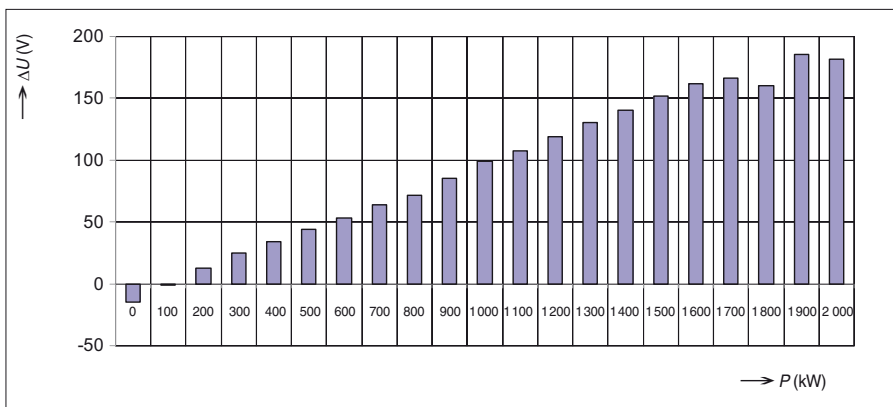
v místě připojení VTE k distribuční síti. Měření bylo realizováno pouze pro jednu VTE. Oba měřicí přístroje byly časově synchronizovány a měřily se veličiny  $U$ ,  $I$ ,  $\cos \varphi$  ve všech třech fázích.

Při vyhodnocení naměřených údajů byly zjištěny tři stavy výkonové bilance, a to:

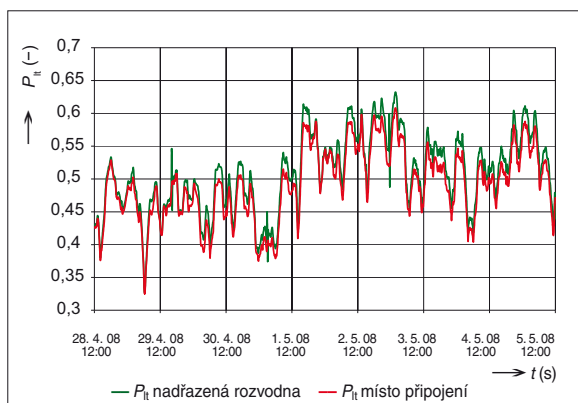
#### 1. stav

Připojené VTE pokryjí spotřebu odběratelů připojených ke sledovanému paprsku a navíc dodávají přebytečný výkon do distribuční sítě přes nadřazenou rozvodnu 110/22 kV.

Wind power plants are classified such as perspective and ecologic sources of electrical energy. The problems of wind power plants running is solved within the research project MSM 6198910007. The optimal system design is one of the partial targets of the research project for variety of power and voltage levels. Requirements of wind power plants and distribution network operators are possible to fulfil with using mentioned optimal system. The analysis of wind power plant control system with induction generator with wound rotor in cooperation with frequency converter with recuperative unit is introduced within this paper. Results from transient phenomena analysis as well as results from measuring of back influences of wind power plant running to the distribution network are described within the paper.



Obr. 8. Závislost odchylky napětí na výkonu



Obr. 9. Srovnání  $P_{lt}$  nadřazené rozvodny a místa připojení VTE

díl napětí v místě připojení  $U_1$  a napětí v rozvodně  $U_2$  – matematicky vyjádřeno tedy platí:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (3)$$

Závislost výkonu dodávaného VTE na odchylce napětí je zřejmá z obr. 8, kde v situaci, kdy VTE dodává do sítě výkon v rozmezí 0 až 100 kW, je napětí v rozvodně vyšší než v místě připojení, což je způsobeno úbytkem napětí na vedení. Dodává-li VTE výkon větší než 100 kW, vzroste napětí v místě připojení natolik, že odchylka napětí  $\Delta U$  se dostává ze záporných hodnot a postupně roste se zvyšujícím se dodávaným výkonem. V důsledku toho roste i napětí  $U_1$  v místě připojení VTE. Tento nárůst má lineární charakter. Odchylky od lineárního trendu nárůstu jsou s největší pravděpodobností způsobeny malým počtem naměřených hodnot pro sledovanou velikost dodávaného výkonu.

Z vyhodnocení naměřených údajů dále vyplývá, že provoz VTE nijak znatelně neovlivňuje dlouhodobou míru vjemu flikru, a to jak v místě připojení, tak v nadřazené rozvodně. Pro jednotlivé fáze jsou hodnoty 95% intervalu  $P_{lt}$  zobrazeny v tabulce.

Tabulka hodnot  $P_{lt}$  pro jednotlivé fáze v místě připojení VTE k nadřazené rozvodně

	1. fáze	2. fáze	3. fáze
Místo připojení	0,581	0,604	0,577
Nadřazená rozvodna	0,603	0,631	0,598

>>>>



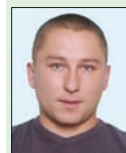
**Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**  
VŠB-TUO, FEI, katedra elektrických strojů a přístrojů. Narozen 15. září 1978 ve Slavičíně. V roce 2002 ukončil studium na VŠB-TU Ostrava, Fakultu elektroniky a informatiky, obor elektroenergetika.

V roce 2002 absolvoval také mezioborové zaměření, obor elektrické stroje a přístroje. Od roku 2005 působí jako vědecký pracovník na katedře elektrických strojů a přístrojů. V roce 2007 ukončil doktorské studium v oboru elektroenergetika na FEI VŠB-TU Ostrava. Profesně se zaměřuje na přechodné děje v elektrizačních soustavách (řešení s využitím EMTP-ATP) a na diagnostiku na elektrických zařízeních.



**Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**  
VŠB-TUO, FEI, katedra elektroenergetiky. Narozen v roce 1974 v Karvině. Absolvoval Fakultu elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava, obor elektroenergetika.

V roce 2001 ukončil doktorské studium rovněž na VŠB-TUO. Od roku 2001 je zaměstnán na katedře elektroenergetiky na FEI VŠB-TUO jako odborný asistent. V současné době působí jako proděkan fakulty pro magisterské studium. Profesně se zaměřuje na analýzu kvality elektrické energie.



**Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**  
VŠB-TUO, FEI, katedra elektroenergetiky. Narozen v roce 1978 v Karvině. Absolvoval Fakultu elektrotechniky a komunikačních technologií na VUT v Brně, obor silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika.

V roce 2006 ukončil doktorské studium na VŠB-TUO. Od roku 2005 je zaměstnán na katedře elektroenergetiky na FEI VŠB-TUO jako vědeckovýzkumný pracovník. Profesně se zaměřuje na spolehlivost v elektroenergetice, kvalitu dodávek elektrické energie a zpětné vlivy OZE (obnovitelné zdroje energie) na elektrizační soustavu.



**Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**  
VŠB-TUO, FEI, katedra elektroenergetiky. Narozen v roce 1980 v Třinci. Absolvoval Fakultu elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava, obor elektroenergetika.

V roce 2007 ukončil doktorské studium rovněž na VŠB-TUO. Od roku 2005 je zaměstnán na katedře elektroenergetiky na FEI VŠB-TUO jako vědeckovýzkumný pracovník. Profesně se zaměřuje na analýzy databází, spolehlivost, řízení elektrizačních soustav a spolehlivost v elektroenergetice.

Graf na obr. 9 znázorňuje srovnání průběhu  $P_{it}$  ve sledovaném období – zeleně je zobrazen průběh  $P_{it}$  v nadřazené rozvodně, červeně průběh  $P_{it}$  v místě připojení. Jak je patrné z tohoto grafu, je  $P_{it}$  v nadřazené rozvodně větší, což potvrzuje správnost úvahy, že příspěvek VTE k celkové hodnotě  $P_{it}$  je v podstatě zanedbatelný oproti pozadí sítě.

Při analýze celkového harmonického zkreslení napětí THDu (*Total Harmonic Distortion – voltage*) také nebyla shledána žádná souvislost se změnami dodávaného výkonu z VTE a činitel celkového harmonického zkreslení se pohyboval okolo hodnoty 0,6 % s ojedinělými odchylkami do 1,8 % v místě připojení VTE. V nadřazené rozvodně byla naměřena průměrná hodnota celkového harmonického zkreslení napětí THDu 0,7 %

s ojedinělými nárůsty až do 2,2 %. Avšak časová souslednost mezi nárůsty THDu v místě připojení VTE a v nadřazené rozvodně nebyla prokázána.

### Závěr

Systémy VTE s měniči frekvence jsou v současné době jedinou možností, jak lze dosáhnout rovnováhy mezi potřebami provozovatelů distribučních sítí a provozovatelů VTE. Distribuční soustava, do níž je připojena moderní VTE se synchronní kaskádou, není zatěžována nadměrnými nežádoucími vlivy, jak tomu bylo u starších typů elektráren s klecovými asynchronními generátory. Provozovatelé VTE tím získali stroje a systémy řízení, které jsou co do investičních nákladů, doby

návratnosti, životnosti, účinnosti a využití větru optimálním řešením.

Výsledky uvedené v tomto článku byly získány vyhodnocením měření vykonaných na VTE v České republice. V současné době probíhá výzkum pro optimalizaci systému VTE s měniči frekvence v rámci výzkumného záměru MSM 6198910007.

### Literatura:

- [1] Provozovatelé distribučních soustav: *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy*. 2004, PPDS, příloha 4.
- [2] CHMELÍK, K. – MIŠÁK, S.: *Analýza provozu větrných elektráren s asynchronními generátory*. Časopis pro elektrotechniku a energetiku, vol. 13, č. 3/2007, s. 38–43.

**Oktagon, s. r. o.**, dceřiná společnost vydavatelství FCC Public ve Slovenské republice, zve srdečně všechny příznivce elektrotechniky, automatizační techniky a příbuzných oborů k reprezentačnímu stánku na **veletrhu EloSys**, kde bude **15.10. 2008 v 11:00** nultým číslem představen

## nový slovenský elektrotechnický časopis

**ELEKTRO  
TECHNIK**

časopis pre elektrotechniku a príbuzné obory

**stánek č. 172, hala 10**

Předplatné časopisu pro rok 2009 s 50% veletržní slevou

AUTOMA ELEKTRO SVĚTLO **ELO  
SYS**



## ROZVÁDĚČOVÉ DIGITÁLNÍ PŘÍSTROJE

- Analyzátoři elektrických sítí
- Elektroměry
- Multifunkční měřicí přístroje





[www.ghvtrading.cz](http://www.ghvtrading.cz)



GHV Trading, spol. s r.o., Kounicova 67a, 602 00 Brno  
tel.: 541 235 532-4, 541 235 386, fax: 541 235 387  
e-mail: ghv@ghvtrading.cz

**SVĚTLO**

články aktuálních i minulých čísel časopisu SVĚTLO najdete na

[www.svetlo.info](http://www.svetlo.info)