

## KVALITA NAPĚTÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Doc. Ing. Ladislav Pospíchal, CSc.  
Ing. Jan Souček

MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., Okružní 834/29a, 638 00 Brno  
e-mail: [pospichal@e-mega.cz](mailto:pospichal@e-mega.cz), [soucek@e-mega.cz](mailto:soucek@e-mega.cz)

### *Abstrakt*

Příspěvek se zabývá parametry kvality napětí a jejich vyhodnocením podle současných norem a to konkrétně na výstupu fotovoltaické elektrárny. V textu jsou uvedeny skutečné údaje naměřené na FVE o výkonu 30MW a jejich následná analýza.

### *Úvod*

Kvalita střídavého napětí je určena normou ČSN EN 50160 ed.3 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“ z února 2011 [1]. Norma platí pro napětí nn, vn a vvn se jmenovitou hodnotou do 150 kV a obsahuje meze pro průběžné jevy na napětí. To jsou: kmitočet, odchylky napájecího napětí, flickr, harmonická a meziharmonická napětí a úrovně napětí signálů v napájecím napětí.

Měřicí metody, podle nichž jsou výše uvedené parametry kvality napětí měřeny a vyhodnocovány, jsou popsány ve standardu ČSN EN 61000-4-30 ed.2 ze září 2009. Zde se rozlišuje měření a měřicí postupy přístrojů pro třídy A, třídy S a třídy B (viz [2]). Měřicí metody některých algoritmicky komplikovaných parametrů kvality napětí jako např. harmonická napětí, flickr, apod. jsou definovány v samostatných normách.

### *Popis měřicího zařízení*

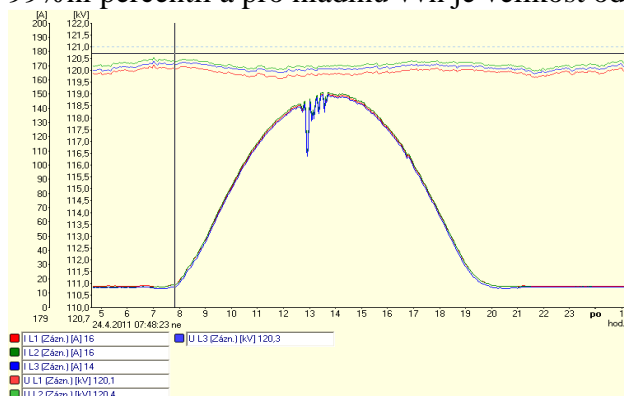
Měřená fotovoltaická elektrárna má jmenovitý výkon 30MW a je zaústěna do transformovny na hladině 110 kV. Trvalé monitorování provádí PQ monitor MEG35/G [3] se zdrojem zajištěného napájení MEG101a. Dálkový přenos dat je realizován komunikační jednotkou GPRS MEG202.

Multifunkční monitor MEG35/G je konstruován pro umístění na DIN lištu, má galvanicky oddělené vstupy a vedle měření kvality napětí obsahuje dlouhodobý záznamník a funkci čtyřkvadrantového měření elektrické energie.

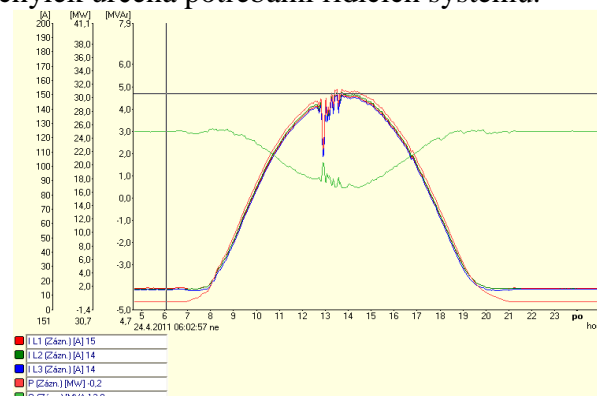
Z PQ monitorů MEG35/G jsou v ČEZ distribuce, PREDistribuce, ZSE a CEZ Bulgaria EAD realizovány monitorovací systémy. Nad jejich správnou funkcí a dálkovou komunikací má MEGa a.s. trvalý dohled. To je zárukou spolehlivé činnosti jednotlivých monitorovacích systémů a aktuálního přenosu naléhavých informací o kvalitě a kontinuitě výroby a dodávky elektrické energie. Celkem je provozováno přes 700 souprav PQ monitorů MEG35/G.

## Změřené výsledky

Předepsaná doba monitorování kvality napětí je jeden týden, tj. 1008 desetiminutových intervalů. Z nich v definovaném počtu intervalů musí být např. velikost napětí v předem stanovených hranicích. Pro hladinu nn je to 95% intervalů, to znamená, že až 50 desetiminutových intervalů může mít daný parametr v širších tolerancích. Pro hladinu vn je to 99%ní percentil a pro hladinu vvn je velikost odchylek určena potřebami řídicích systémů.

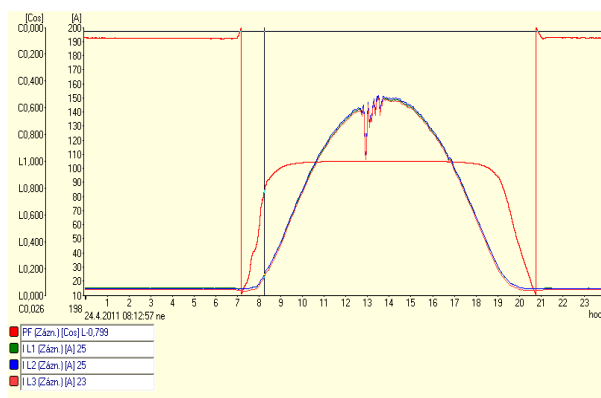


Obr. 1: Záznam průběhu fázových proudů a sružených napětí dne 24.4.2011

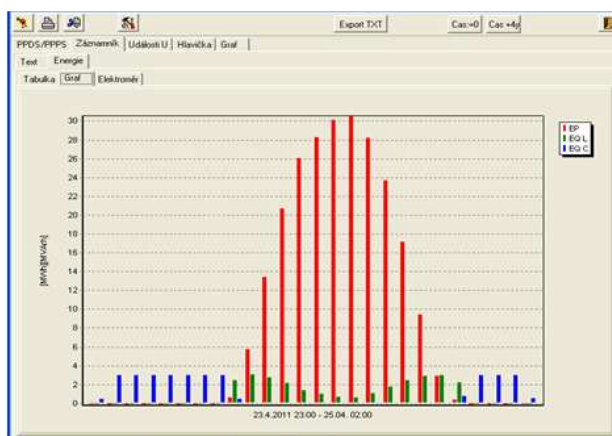


Obr. 2: Záznam fázových proudů, činného a jalového výkonu vývodu dne 24.4.2011

Vzhledem ke specifické funkci fotovoltaických elektráren a periodickým denním opakováním výroby je pro přehlednost hodnocení vybrán jeden den a to 24.dubna 2011. Na obr. 1 je záznam denního průběhu fázových proudů a napětí. Je zde vidět plynulý dopolední nárůst vyráběného proudu způsobený pohybem slunce po obloze, dále je v poledních hodinách, zřejmě z důvodu mraků, vidět mírná nespojitost výroby, která se však neprojevila významně na fluktuacích sružených napětí a následuje odpolední pokles fázových proudů v důsledku postupného zapadání slunce. Významné je, že fázová napětí v denní době přes výrobu elektrické energie ve fotovoltaické elektrárně v důsledku zvýšené spotřeby klesají. Teoreticky by tedy bylo možné v dané lokalitě ještě zvýšit výrobu fotovoltaické elektrárny.



Obr. 3: Záznam fázových proudů a účinníku dne 24.4.2011



Obr. 4: Diagram hodinových energií dne 24.4.2011

Obr. 2 ukazuje i průběh činného a jalového výkonu celého vývodu. Z něho je vidět, že denní maximum činného výkonu bylo 30,7 MW. V nočních hodinách, tj. v 6h02m57s, kdy ještě elektrárna nevyroběla, tekli jednotlivými fázemi proud cca 15 A, to představuje 3,0 MVar jalového výkonu a odběr 0,2 MW výkonu činného. Uvedenou skutečnost doplňuje obr. 3, na

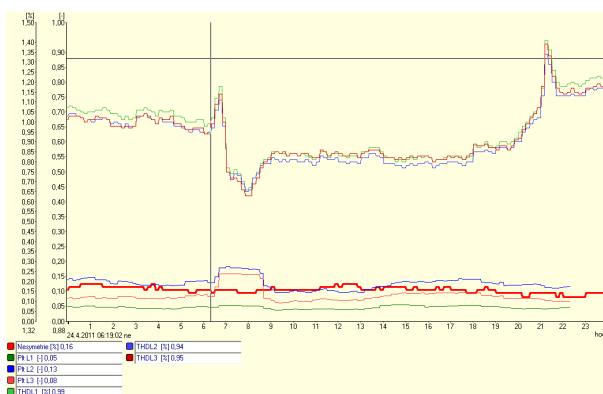
kterém je vidět, že v době okolo 6h00m byl účinník kapacitního charakteru o velikosti cca 0,1 a s východem slunce, tj. začátkem výroby, se účinník dostal do induktivní poloroviny a postupně vzrůstal až na hodnotu blízkou 1,0. Interval se zhoršeným účinníkem se dne 24.4.2011 vyskytoval mezi 7h a 8h ráno a mezi 19h a 20h večer. Systémový význam popsané skutečnosti, způsobené zřejmě technickými vlastnostmi střídačů, může být zřetelnější při bezmračeném počasí, kdy fotovoltaické elektrárny na celém území budou při východu a západu slunce pracovat s horším účinníkem. Také odběr jalové kapacitní energie v noční době není pro chod energetické soustavy příznivý.

Na obr. 4 je diagram hodinových energií (činné, jalové induktivní a jalové kapacitní) pro analyzovaný den 24.4.2011. Z něho je vidět noční spotřeba jalové kapacitní energie a denní výroba energie činné včetně zlepšování poměru činné energie k jalové induktivní energii při zvyšující se výrobě.

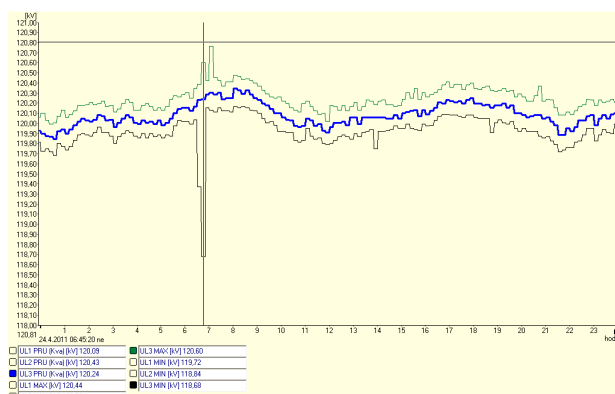
VELIČINA	PPDS/PPPS	HODN. (/Mimo mez)
Délka měření	1 týden	1d 00:40:00,000
Interval záznamu	10 minut	10 min
Frekvence 99,5 % roku	50 Hz +1% -1%	49,96 - 50,05 / 0%
Frekvence 100 % roku	50 Hz +4% -6%	49,96 - 50,05 / 0%
Nesymetrie 95 %	1,5%	0,12 - 0,19 / 0%

Obr. 5: Tabulka vyhodnocení kvality napětí, trojfázové parametry

Na obr. 5 je část tabulky s číselným vyhodnocením parametrů kvality. Byl zvolen pouze jednodenní interval, a proto je kolonka s délkou měření červeně podbarvena. Síťová frekvence se dne 24.4.2011 pohybovala od 49,96 Hz do 50,05 Hz a splňovala jak předepsaný 99,5%ní tak i 100%ní percentil. Rovněž nesymetrie napětí se pohybovala od 0,12% do 0,19%. To je hluboko pod dovolené 2%. Rovněž flicker  $P_{st}$  i  $P_{lt}$  dosahují nejvýše hodnot 0,19, to je hluboko pod aktualizovanou normou požadovanou hodnotu 1,0. Činitel celkového harmonického tvarového zkreslení THD i hodnoty jednotlivých harmonických složek napětí s rezervou splňují i přísnější limity pro hladinu nn. Činitel zkreslení se u přístrojů třídy S počítá z harmonických do řádu 40, avšak samostatně se kontroluje jen prvních 25 harmonických.



Obr. 6: Průběhy napěťové nesymetrie, flickru a činitele harmonického zkreslení dne 24.4.2011



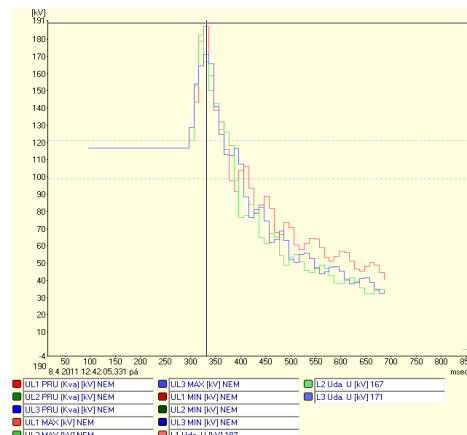
Obr. 7: Průběhy průměrného desetiminutového napětí, maximálního a minimálního 0,2s napětí dne 24.4.2011

Časové průběhy nesymetrie a krátkodobého koeficientu flikru  $P_{st}$  jednotlivých sdružených napětí jsou zobrazeny na obr. 6 a jsou v průběhu celého dne zanedbatelné. Činitelé THD jednotlivých sdružených napětí jsou také hluboko pod hodnotou 8% požadovanou pro napětí nn. Je zde však vidět zhoršení při ranním rozjezdu elektrárny a večerním ukončování výroby.

Zajímavější je časový průběh odchylek napětí na obr. 7. Pro názornost je vykreslen průběh napětí pouze pro třetí sdružené napětí. V desetiminutovém intervalu od 6h40m do 6h50m je průměrné napětí 120,24 kV, maximální hodnota desetiperiodového napětí v daném intervalu byla 120,60 kV a minimální hodnota 118,68 kV. Tato skutečnost, která se promítá i do poklesu druhého sdruženého napětí na 118,84 kV, byla zřejmě způsobena vzdáleným zkratem. Na obr. 8 se v čase od 6h50m do 7h03m vyskytla tři zvýšení napětí, která trvala 200 ms, 240 ms a 350 ms a měla maximální hodnoty 110,2%, 110,1% a 110,2% jmenovitého napětí. Uvedená zvýšení napětí jsou těsně nad hranicí a neměla by se projevit nepříznivě. Dne 18.4.2011 ve 12h52m37,426s však vznikla i zvýšení napětí o velikosti 110,4%, 110,5% a 110,5%.

Poř.	Počátek	Doba[sec]	Min (Max) [%]	L1	L2	L3
44	11.4.2011 14:55:16,640	00:00:00,540	110,2	OK	110,2	OK
45	11.4.2011 15:30:19,422	00:00:07,190	110,4	110,1	110,4	110,1
46	11.4.2011 15:30:33,822	00:00:00,390	110,4	110,1	110,4	110,0
47	18.4.2011 12:52:37,426	00:00:49,330	110,5	110,4	110,5	110,5
48	20.4.2011 9:47:17,018	01:13:05,860	0,0	0,0	0,0	0,0
49	20.4.2011 17:15:15,892	01:45:05,132	110,2	OK	110,2	OK
50	20.4.2011 19:00:37,619	00:00:00,320	110,1	OK	110,1	OK
51	23.4.2011 6:55:20,531	00:00:00,270	110,2	OK	110,2	OK
52	23.4.2011 6:55:23,187	00:00:00,400	110,0	OK	110,0	OK
53	23.4.2011 6:55:27,098	00:00:00,270	110,1	OK	110,1	OK
54	24.4.2011 6:50:18,144	00:00:00,200	110,2	OK	110,2	OK
55	24.4.2011 7:00:18,066	00:00:00,240	110,1	OK	110,1	OK
56	24.4.2011 7:03:02,139	00:00:00,350	110,2	OK	110,2	OK

Obr. 8: Tabulka výpisu událostí na napětí



Obr. 9: Detail zvýšení napětí dne 8.4.2011

Při vypnutí vývodu a odpojení fotovoltaické elektrárny bylo dne 8.4.2011 ve 12h42m05,296s zaznamenáno zvýšení napětí na 170,4%, 165,9% a 155,4% o době trvání 80 ms. Detail přechodového jevu způsobeného zřejmě vypnutím transformátoru je na obr. 9.

## Závěr

Účelem měření kvality napětí i na rozhraní distribuční sítě – fotovoltaická elektrárna je zjištění objektivních skutečností dle standardizovaných měřicích postupů. V případě významných odchylek od standardu, které by mohly vyvolat poruchu nebo jinou, s ustáleným chodem distribuční sítě i FVE, neslučitelnou událost, pak měření kvality napětí musí poskytnout informace umožňující odhalení příčiny, aby mohla být nejlépe preventivně odstraněna.

## Literatura

- [1] ČSN EN 50160 ed.3. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 32 s.
- [2] ČSN EN 61000-4-30 ed.2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie*. Praha: Český normalizační institut, 2009. 80 s.
- [3] Uživatelská příručka MEG35/G, [www.e-mega.cz](http://www.e-mega.cz)