

Vývojové testy odezvy elektroměrů s rychlou metrikou na rychlé změny mezi odběrem a dodávkou

APATOR OTUS 3

Verze: v1 (22.3. 2020)

Revize: r0 (22.3. 2020)

V Brně dne : 22.3. 2020

Zpracoval: doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.
Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

.....

Rozsah: 21 stran

Obsah

1	Identifikace.....	3
1.1	Zadavatel.....	3
1.2	Zhotovitel.....	3
1.3	Smluvní podmínky.....	3
1.4	Rozsah.....	3
1.5	Ujednání.....	3
2	Úvod.....	4
3	Testy.....	5
3.1	APATOR OTUS 3.....	5
3.1.1	Identifikace elektroměru.....	5
3.1.2	Testovací procedura a podmínky testování.....	5
3.1.3	Testovací systém.....	6
3.1.4	Testovací signály.....	7
3.1.5	Postup testování a vyhodnocení výsledků testů.....	10
3.1.6	Výsledky testů.....	10
4	Shrnutí.....	15
5	Reference.....	15
	Příloha A: Popis komplexního testovacího signálu (t.č. 11).....	16

1 Identifikace

1.1 Zadavatel

D.A.L.I.-M.N.,s.r.o.

Se sídlem: 903 01 Tureň 385, Slovensko

Zastoupený: Pašagič Munir, konateľ

Za objednatele: Vladimír Mifkovič, Vladimir.mifkovic@dali-mn.sk, +421 902 220 044

IČ: 35713208

DIČ: SK2020217914

1.2 Zhotovitel

Vysoké učení technické v Brně

Ústav elektroenergetiky, FEKT

Technická 3082/12

616 00 Brno

IČO: 00216305

DIČ: CZ00216305

Zodpovědný řešitel: doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Tel: +420 54114 6211

Fax: +420 54114 6210

email: drapela@feec.vutbr.cz

1.3 Smluvní podmínky

Smluvní podmínky jsou specifikované objednávkou č. OB36/2020.

1.4 Rozsah

Rozsah testů:

- 1) Ověření odezvy elektroměru na krátkodobé změny směru toku činné energie
 - o Upřesnění: 8 testovacích bodů s proměnlivou dobou cyklu pro ověření závislosti přenosu, testování v zapojení podle počtu systémů elektroměru, ověření všech výstupů elektroměru.
 - o časová náročnost testů 20 hodin, samotné testy 8 hodin.
- 2) Ověření odezvy při charakteristických průbězích při provozu wattrouterů
 - o Upřesnění: 2 specifické testovací průběhy odpovídající základním spínacím cyklům kontrolérů (Wattrouter a GreenBonO), a jeden testovací průběh dle zprávy č. 102/010517, zapojení shodné s 1), ověření všech výstupů.
 - o časová náročnost testů 10 hodin, samotné testy 3.5 hodiny.

Posloupnost aplikace testů:

Testy budou aplikovány postupně, tak jak jsou uvedeny s tím, že k dalšímu testu bude přistoupeno až v případě, že předchozí výsledek bude vyhovující. Po odstranění nedostatků ze strany výrobce, pokud to bude možné, budou zkoušky opakovány.

1.5 Ujednání

Zpráva, jako celek nebo i její jednotlivé části, včetně odpovídajících výsledků, nemůže být zhotovitelem ani zadavatelem dále šířena a poskytována třetím stranám bez souhlasu zadavatele, respektive zhotovitele. Třetí strany nesmí zprávu jako celek nebo i její jednotlivé části, včetně odpovídajících výsledků projektu, dále šířit nebo je využívat, a to jak pro nekomerční, tak ani komerční účely. Práva zadavatele jsou vztažena na výsledky analýz, simulací, testování a případně měření. Práva zhotovitele jsou uplatňována na vyvinuté analytické, simulační nástroje či měřicí a testovací systémy, které jsou ve zprávě podrobně popsány z důvodu jednoznačnosti výkladu obdržení výsledků analýz, simulací, testování a měření.

2 Úvod

Vývojové testování navazuje svým předmětem na předchozí studie, především postupně na [1], [2] a [3], s cílem ověřit vlastnosti vývojových vzorků elektroměrů od kooperujících výrobců při rychlých změnách toku zejména činné elektrické energie. Tyto rychlé změny jsou výsledkem přítomnosti vybraných technologií pro řízení toku činné energie v instalacích odběratelů provozujících v odběrném místě zdroj elektrické energie, prosumerů, kdy zdrojem je nejčastěji fotovoltaická elektrárna. Výsledkem jsou pak velmi rychlé změny směru toku činné energie odehrávající se v průběhu typicky několika period systémové frekvence s tím, že běžné fakturační elektroměry nejsou za těchto podmínek správně změřit, odlišit a agregovat skutečně prošlou energii v odběrovém a dodávkovém směru. Reálně uložené/ měřidlem registrované energetické toky potom odpovídají saldu/rozdílu mezi spotřebou a dodávkou, i když ve skutečnosti dochází k rychlým, pravidelným a dlouhodobým směnám energie mezi distribuční sítí a prosumerem. Distribuční soustava je tak používána pro krátkodobou akumulaci části vyrobené elektrické energie bez toho, aniž by byly skutečné toky registrovány a příslušně zpoplatněny v rámci poskytované služby. Faktem je, že uvedené systémy nemohou bez distribuční soustavy pracovat.

V návaznosti na předchozí studie byli osloveni výrobci a dodavatelé elektroměrů, zda mohou nabídnout řešení, které by umožnilo správné/korektní měření skutečných toků činné energie v uvedených případech. Vývojové testy nabídnutých řešení/vzorků elektroměrů jsou pak náplní této zprávy.

3 Testy

3.1 APATOR OTUS 3

3.1.1 Identifikace elektroměru

Elektroměr APATOR OTUS 3 dodaný pro testování je na Obr 1. se specifikací v Tab. 1.

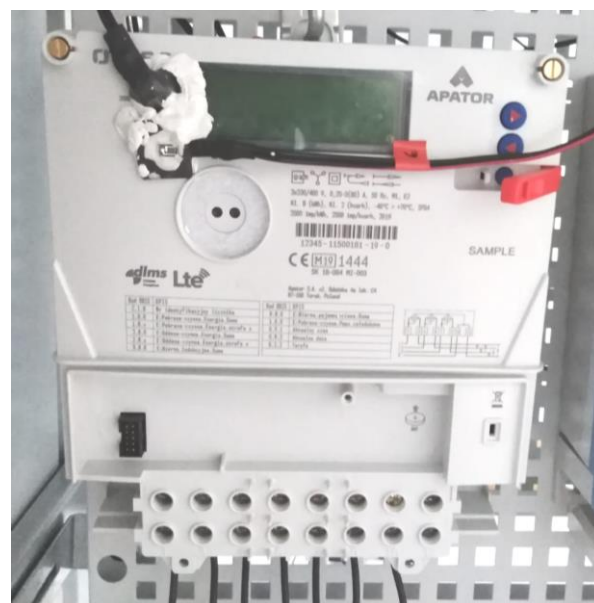
Tab. 1. Identifikace testovaného elektroměru

Výrobce	Typ	Rok výroby	S.N.	Měřicí systém			
				Přímý/ nepřímý	1f/Aron /3f	Určené napětí	Rozsah proudu
APATOR	OTUS3 M19 1444	2019	12345-11500161- 19-0	přímý	3f	3x230/400 VAC	0,25-5(80) A

Výrobce	Typ	Registry energie	Třída přesnosti		Impulsní výstupy (Imp./kWh/kvarh)	
			Činná	Jalová	LED A+/A-	S0: RA+,RA-
APATOR	OTUS3 M19 1444	6q	Class B	Kl. 2	2500/2500	-

Elektroměr je standardního provedení s přímými a trvale spojenými napěťovými a proudovými obvody a se závislým napájením. Napěťové vstupy jsou určeny pro napájení síťovým napětím o velikosti 230 V.

Dle dodavatele má elektroměr metriku měření a agregace energie kompletně postavenou na FFT z nekonkretizovaných měřicích oknech. Tyto energie, činné a jalové jsou potom akumulovány v registrech 1.8.X, 2.8.X, 3.8.X, 4.8.X, 5.8.X, 6.8.X, 7.8.X a 8.8.X. Rozlišení registrů na displeji je 0.1 kWh/kvarh. Dále je elektroměr vybaven optickými impulsními výstupy pro činnou i jalovou energii, u nichž se předpokládá procesování/metrika měření energie stejným způsobem, jako do kumulativních registrů. Impulsními výstupy S0 není vybaven. Předložený vzorek pak má na LED impulsní výstupy oproti standardu vyvedeno měření činné odebírané energie A+ (první LED) a dodané činné energie A- (druhá LED).



Obr 1. APATOR OTUS 3

3.1.2 Testovací procedura a podmínky testování

Schéma použitého testovacího systému je v 3.1.3 na Obr. 2, se specifikací zařízení v Tab. 2. Testovací obvod je jednofázový s jednofázovým připojením i 3f elektroměrů.

Rozlišeno je několik možností testování. V první řadě, pro testování je zapojena jedna fáze/jeden systém, ostatní měřicí vstupy jsou zkratované a připojené na stejný potenciál. Pokud není uvedeno jinak, je testován preferenčně první systém. Další možností je buzení všech vstupů při sériovém propojení vstupů a jejich připojení na jeden zdroj signálu proudu. Napěťový signál je potom připojen na vstup systému L1 s tím, že se předpokládá, že chyba přenosu napětí na ostatní systémy z důvodů úbytků na proudových vstupech dalších systémů je přijatelná.

Elektroměr testován ve standardní pracovní poloze, bez dalších zařízení.

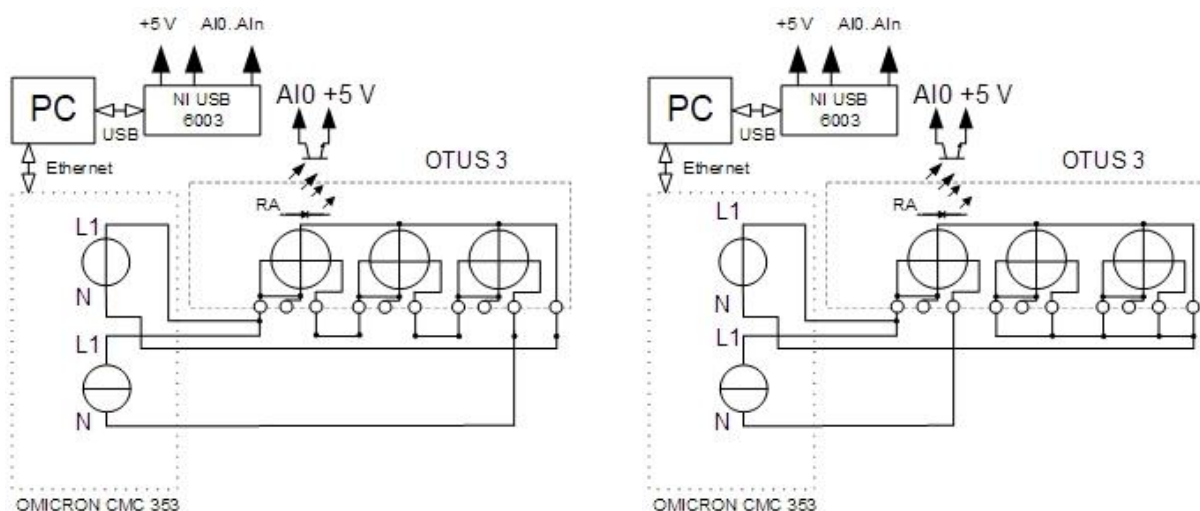
Monitorovány byly při jednotlivých testech všechny základní kumulativní registry celkové dodané a odebrané činné a jalové induktivní energie a dále impulsní optické výstupy LED(A) a LED (R), které odpovídají u daného vzorku celkové činné odebrané (A+) resp. dodané (A-) energii.

Ve smyslu minimalizace vlivu prostředí na výsledky testu byly zajištěny odpovídající (referenční) klimatické a elektromagnetické podmínky specifikované v EN 50470-1 [4] a EN 50470-3 [5], a to včetně požadavků na maximální odchylky ve velikosti, frekvenci a fázi zátěžných napětí a proudů.

Postup testování a vyhodnocení výsledků testů je v 3.1.5.

3.1.3 Testovací systém

Schéma použitého testovacího systému je na Obr. 2, se specifikací zařízení v Tab. 2.



Obr. 2. Schéma testovacího systému pro OTUS 3; a) při 1f zdroji a testování jednoho systému (1f – 1f); b) při 1f zdroji a testování všech systémů (1f – 3f)

Tab. 2. Zařízení testovacího systému

Označení	Výrobce	Typ	S.N.	Popis	Parametry
Generátor A-VI-LF	Omicron	CMC 353	BF067T	Generátor proudu a napětí na základní frekvenci	V: 0-600 V, 275 VA; I: 0-75 A, 480 VA; DC, 10-1000-(3k) Hz; THD <0.05%; stabilita 0.05%; typická chyba (výkon P): 0.05%rdg
IS		ISP.14	-	Snímač pulsů	DC-5 kHz
Čítač	National Instruments	NI USB 6003	19E29E6	Multifunkční karta ve funkci čítače s časovými značkami pulsů	8 AI (16-Bit, 100 kS/s), 2 AO (5 kS/s/ch), 13 DIO
PC	ASUS		--	PC řídicím a měřicím SW	

Výkon na základní nominální frekvenci je generován generátorem A-VI-LF s oddělenými a synchronizovanými napěťovými a proudovými zdroji. Parametry a profily generovaných napětí a proudů viz kap. 3.1.4. Ovládání/nastavení generátoru A-VI-LF je provedeno pomocí SW na PC. Vzhledem k rychlosti/četnosti generovaných změn směru činného výkonu neexistuje v současné době reference pro měření generovaného výkonu a agregaci činné energie v odběrovém a dodávkovém směru. Skutečná energie v odběrovém a dodávkovém směru byla tedy určena výpočtem ze změřených velikostí napětí a proudu a celkové doby, po kterou byl fázový úhel proudu 0 a 180°. Celková doba generování řízena programově na celistvý násobek doby nastaveného cyklu. Doby generování/testu jsou pro jednotlivé zkušební body v Tab. 4. Začátek generování, komutační cyklus a měřicí cyklus elektroměrů nesynchronizován.

Monitorování impulsů impulsních výstupů (P) testovaných elektroměrů je realizováno snímáním IR výstupů pomocí tranzistorových optických snímačů IS. Impulsní signály jsou měřeny analogovými vstupy karty NI USB 6003. Propojení impulsního výstupu s měřicími kartami je realizováno kříženou dvoulinkou o průřezu 0,35 mm² a délce 1.5 m. Nejistota měření diferenčního času (pro čas mezi impulsy delší než 10 ms) implementovaným čítačem je lepší než $\pm 0.3\%$. Časový záznam z monitoringu impulsních výstupů testovaných elektroměrů po celou dobu testování z karty NIUSB je realizován prostřednictvím vlastního SW na bázi virtuální instrumentace v LabVIEW běžícím na PC. Zaznamenávány jsou, kromě nastavení, časové značky impulsů a další odvozené veličiny.

3.1.4 Testovací signály

Přehled parametrů vybraných testovacích bodů je v Tab. 4. Profily zatěžovacího proudu vychází z průběhu okamžité hodnoty proudu, který lze očekávat na elektroměru měřícím spotřebu systému se zdrojem (ideálním) a se spínanou odporovou zátěží řízenou pro dosažení vyváženosti činné energie za spínací periodu.

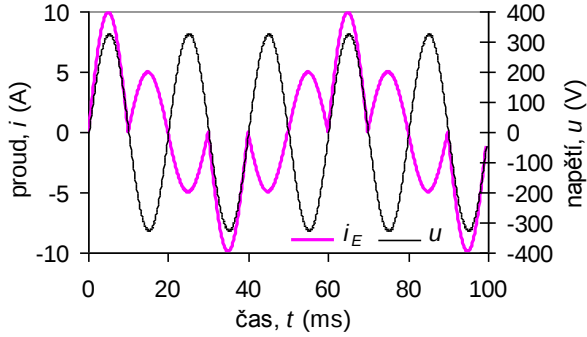
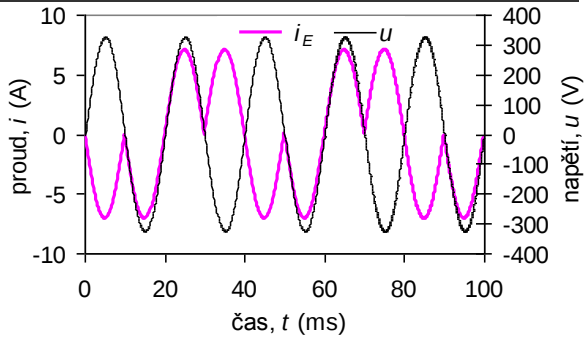
Testovací body jsou rozděleny do několika skupin. První skupina, základní testovací bod č. 1 (s označením rovněž T0), je referenčním testovacím proudem, s harmonickým průběhem s frekvencí 50 Hz synchronní s napětím a ve fázi s napětím. Simulován je tedy ustálený odběr pouze činné energie. Výsledky slouží k ověření testovacího postupu a k určení referenční odchylky měření elektroměrem. Velikost proudu byla dle možností zdroje, rozsahu elektroměru, rozlišení registrované energie v registrech přístupných přes displej a s ohledem na zkrácení testovací periody nastavena na 20 Arms.

Druhou skupinu testovacích bodů č. 2 - 6, tvoří charakteristické průběhy proudu s harmonickým průběhem s frekvencí 50 Hz synchronní s napětím a s velikostí 20 Arms, které představují periodickou změnu odběru a dodávky činné energie. Fázový posuv proudu vůči napětí byl 0° při simulaci odběru a 180° při emulaci dodávky. Spínací cykly byly koordinovány pro systematické ověření odezvy v závislosti na době cyklu s tím, že byla respektována spínací logika SSR (ZCS) spínačů, tzn., že spínací cykly byly odvozeny od celistvých násobků period. Konkrétně doba spínacího cyklu byla proměnlivá v sudých násobcích doby periody základní frekvence. Generované cykly jsou energeticky vyvážené (saldo dodané a odebrané energie je nulové) a symetrické. Střída změn (spínání) byla pevná (50 %) s dobou odběru (sepnutého stavu), která byla nutně polovinou period doby cyklu. Změna směru proudu, tedy toku činné energie byla vždy synchronizována při každém specifikovaném cyklu jak s kladným průchodem napětí nulou, tak následně i se záporným. Energetická bilance testovacích bodů (spotřeba versus dodávka) je vyvážená. Parametry signálů testů č. 2 až 6 jsou uvedeny v Tab. 4.

Zkušební průběh označený jako T1 má mít jiný počet půlperiod odběru a dodávky a pro zajištění energetické rovnováhy potom musí mít jiné velikosti proudů v odběrovém a dodávkovém směru. Další vlastnosti jsou shodné s druhou skupinou. Testovací body 8 a 9 (T2 se změnou synchronizace) jsou zvoleny s ohledem na synchronizaci stavu vZC+ a vZC- (tzn., synchronizace simulovaných procesů s kladným resp. záporným průchodem napětí nulou). Zkušební bod 10, T1 (3-fáz), je odvozen od T1 výše s tím rozdílem, že proudové vstupy jsou zapojeny sériově za sebou, tedy že proudový výstup z fáze L1 je proudovým vstupem fáze 2 atd. Napájecí napětí zůstává na fázi L1. Zaznamenané toky energií by měly být trojnásobné. Podrobnější popis a náhled testovacích signálů T0, T1 a T2 je v Tab. 3 s parametry v Tab. 4.

Posledním aplikovaným testovacím bodem/průběhem je kombinovaný komplexní proudový signál navržený v předchozích studiích [3], který implementuje dynamickou změnu toku činné energie, která je dále doplněna o toky jalové energie a odběr deformovaného proudu možnou nelineární zátěží. Pro úplnost je celkový popis parametrizovatelného a deterministického testovacího signálu v Příloha A.

Tab. 3 Testovací signály a jejich vlastnosti

Testovací signál	Popis a vlastnosti	Průběh proudu/činného výkonu v cyklu
T0	Základní ověřovací signál s harmonickým stacionárním průběhem proudu, který je určené velikosti a ve fázi s harmonickým napětím.	
T1	Charakterizuje provoz střídače pracujícího s účínkem 1 a odporové zátěže, v poměru výkonů 1:3, kdy je spínání zátěže přes SSR řízeno kontrolérem Wattrouter. Stav je energeticky vyvážený, a poměr výkonů vede na základní spínací cyklus podporovaný daným kontrolérem. Vlastnosti: rychlé změny toku výkonů (nejrychlejší dosažitelné pomocí SSR), odebíraný proud neobsahuje základní harmonickou složku, frekvenční složka s nejnižším kmitočtem je 16.66 Hz.	
T2	Charakterizuje provoz střídače pracujícího s účínkem 1 a odporové zátěže v poměru výkonů 1:2, kdy je spínání zátěže přes SSR řízeno kontrolérem GreenBonO. Stav je energeticky vyvážený, a poměr výkonů vede na základní spínací cyklus podporovaný daným kontrolérem. Vlastnosti: rychlé změny toku výkonů, synchronizace spínání zátěže se zápornou půlperiodou napětí, odebíraný proud neobsahuje základní harmonickou složku, frekvenční složka s nejnižším kmitočtem je 25 Hz.	

V Tab. 4 jsou dále uvedeny zvolené testovací časy a vypočtené referenční velikosti energií v jednotlivých kvadrantech/registrech.

Tab. 4. Testovací body pro OTUS 3

Číslo testovacího bodu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Označení		T0	140p/140p+	50p/50p+25p/25p+	10p/10p+	1p/1p+	T1	T2u-	T2u+	T1	CMPLX	
Zapojení (testovací obvod - ELM)		1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-3fL1L2L3	1f-1fL1
Napájecí napětí	U_{rated} (Vrms)	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
Frekvence	f_{nom} (Hz)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Velikost proudu při odběru	I_+ (Arms)	20	20	20	20	20	20	15	10	10	15	
Velikost proudu při dodávce	I_- (Arms)	0	20	20	20	0	0	7.5	10	10	7.5	
Fázový posuv napětí a proudu (odběr/dodávka)	φ (°)	0/-	0/180	0/180	0/180	0/180	0/180	0/180	0/180	0/180	0/180	
Synchronizace změny stavu		-	vZC+	vZC+	vZC+	vZC+	vZC+	vZC+	vZC-	vZC+	vZC+	
Počet period cyklu	N_{PER} (-)	-	280	100	50	20	2	1.5	2	1	1.5	
Periody v cyklu s odběrem	N_{PER+} (-)	-	140	50	25	10	1	0.5	1	1	0.5	
Periody v cyklu s dodávkou	N_{PER-} (-)	0	140	50	25	10	1	1	1	1	1	
Doba cyklu	T_C (s)	-	5.6	2	1	400m	40m	0.03	0.04	0.04	0.03	
Doba sepnutí v cyklu	T_{ON} (s)	-	2.8	1	0.5	200m	20m	0.01	0.02	0.02	0.01	
Energeticky vybalancovaný stav	(Ano/Ne)	N	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N
Doba testu	T_T (s)	3600	1800	1800	1830	1800	1800	7200	7200	3600	3615	4200
Referenční spotřeba	A_{ref+} (kWh)	4.60	1.15	1.15	1.189	1.15	1.15	2.30	2.30	1.15	3.464	0.1904
Referenční výroba	$ A_{ref-} $ (kWh)	0.00	1.15	1.15	1.189	1.15	1.15	2.30	2.30	1.15	3.464	0.1918
Saldo, $ A_{ref+} - A_{ref-} $	A_{refD} (kWh)	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.0015
Suma, $ A_{ref+} + A_{ref-} $	A_{refS} (kWh)	4.60	2.30	2.30	2.338	2.30	2.30	4.60	4.60	2.30	6.929	0.3822
Referenční spotřeba jalové	R_{ref+} (kvarh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1150
Referenční výroba jalové	$ R_{ref-} $ (kvarh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1533
Saldo, $ R_{ref+} - R_{ref-} $	R_{refD} (kvarh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.0383
Suma, $ R_{ref+} + R_{ref-} $	R_{refS} (kvarh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2683

3.1.5 Postup testování a vyhodnocení výsledků testů

Testovací procedura:

- Připojení elektroměru do obvodu dle 3.1.3.
- Konfigurace parametrů testovacích signálů a jejich průběhů k danému testovacímu bodu podle 3.1.4.
- Přivedení napětí na napěťové měřicí/napájecí vstupy elektroměru.
- Čekání cca 10 s na start elektroměru.
- Odečtení registrů elektroměru.
- Spuštění monitorování impulsních výstupů elektroměru.
- Spuštění sekvenčního generování zkušebního proudu při připojeném napětí a zároveň zahájen odpočet času testu.
- Ukončení generování zkušebních signálů po uplynutí definované doby trvání testu.
- Odečtení registrů elektroměru a odečet záznamu z monitoru impulsních výstupů.
- Konfigurace parametrů dalšího testovacího bodu a opakování postupu od třetího kroku.

Výsledkem testování jsou pro jednotlivé testovací body difference energií z příslušných měřených registrů elektroměru (činná/jalová energie odebraná a dodaná - pokud registr existuje a je monitorován) před testem (čas t_0) a po ukončení testu (čas $t_0 + T_T$) na daném bodu a dále počty impulsů z monitorovaných impulsních výstupů každého elektroměru za dobu zkoušky na daném testovacím bodě, pokud jsou monitorovány.

Z hodnot diferenčních energií, nebo případně počtu impulsů (pokud jsou k dispozici) je pro elektroměr a každý z realizovaných zkušebních bodů vypočtena relativní registrovaná energie, která je vztažena k příslušné skutečné - vypočtené dodané či odebrané energii (Tab. 4):

$$e_{E+} = \frac{E_+(t_0 + T_T) - E_+(t_0)}{E_{ref+}}; e_{E-} = \frac{E_-(t_0 + T_T) - E_-(t_0)}{E_{ref-}} \quad (1)$$

kde E představuje energii příslušného výstupu. Dále je vyjádřena procentní odchylka měření:

$$\Delta_E = (e_E - 1) \cdot 100\% \quad (2)$$

Dovolené mezní odchylky nejsou v tomto případě definovány, odezva elektroměrů byla měřena pro ověření jejich chování.

3.1.6 Výsledky testů

Výsledky testů jsou pro elektroměr OTUS 3 uvedeny v Tab. 5. Tabulka obsahuje odečty všech monitorovaných registrů a optických impulsních výstupů, doplněné u výsledků z registrů o součty a rozdíly (salda). Salda jsou podstatná pro hodnocení měření především u energeticky nevybalancovaných testovacích bodů.

Zpracované výsledky měření ve smyslu vyjádřených odchylek měření a relativních změřených energií vůči referenčním hodnotám (viz Tab. 4) jsou v

Tab. 6, která je dále doplněna o parametry testovacích signálů, které byly identifikovány jako zásadní z hlediska odezvy elektroměru na rychlé změny směru toku energie. Předně je to poměr doby cyklu vůči době měřicího okna elektroměru (T_C/T_{MW}), T_{MW} se předpokládá 1/2 periody systémové frekvence. Tento invariantní parametr relativizuje rozhodující vlastnost měřicí soustavy/metriky elektroměru k základní vlastnosti spínacího procesu. Dalšími rozhodnými invariantními parametry dokumentovanými v následujících tabulkách pro každý testovací bod jsou T_{ON}/T_C a A_{+ref}/A_{-ref} . V případě, že je referenční velikost jalové energie nulová (testovací body 1 - 10), nejsou v tabulce odchylky a relativní hodnoty uvedeny, jelikož by mohly být zavádějící. V tom případě je nutné hodnotit přímo absolutní změřené velikosti prezentované v Tab. 5.

Při testovacích bodech 1-10, kdy je generovaný jalový výkon roven nule, vykazuje elektroměr v registrech dle očekávání nulové množství energie, v nejhorším případě (test 6 a 8) bylo v

některých registrech načteno 0.1 kvarh. To je zároveň rozlišení registrů dostupných na displeji a nejde tedy o absolutně změřenou hodnotu. Nicméně z důvodů chyb různého původu, může a bude elektroměr registrovat i jalovou energii, která však byla při uvedených testech velmi malá a to ve srovnání s celkově průchozí činnou energií 4.6 kWh (měření t.č. 8), respektive 2.3 kWh (měření t.č. 6), (referenční činná energie v sumě pro oba směry). Zároveň však nebyly k dispozici impulsní výstupy jalové energie, případně záznam z registrů s vyšším rozlišením, což by umožnilo kvantifikovat registrovanou jalovou energii přesněji. Jalová energie je záměrně generována pouze v testovacím bodě 11, avšak její změny jsou výrazně pomalejší než v případě změn směru toku činné energie. Dle definice (Příloha A) je v sedmi sekundovém opakujícím se cyklu dodávána jalová induktivní energie po dobu 4 s a následně je po dobu 3 s jalová induktivní energie odebírána. Balance v cyklu je nevyrovnaná s převažující dodávkou jalové induktivní energie. Registrace jalové energie elektroměrem je však opět ovlivněna malým rozlišením zobrazované energie z registrů na displeji (0.1 kvarh), přičemž LED(R) indikace nebyla k dispozici. Uvedené spolu s celkově nízkým množstvím jalových energií za dobu zkoušky (viz Tab. 4 bod 11 - 0.115 resp. 0.153 kvarh) neumožňuje přesně kvantifikovat přesnost měření a záznamu jalové energie v jednotlivých registrech. Všechny hodnoty v

Tab. 6, které jsou nepříměřeně ovlivněny kvantovací odchylkou v zobrazení záznamu jalové energie, jsou vyznačeny modrou barvou.

Obdobným způsobem jsou ovlivněny i odečtené záznamy z měření činné energie v jednotlivých registrech. Zobrazení je rovněž s rozlišením na 0.1 kWh, což s ohledem na změřená množství může způsobit a v některých testech i způsobuje značnou přidanou odchylku na úrovni až 5 %. Všechny hodnoty v

Tab. 6, které jsou nepříměřeně ovlivněny kvantovací odchylkou v zobrazení záznamu činné energie, jsou vyznačeny rovněž modrou barvou. Vedle odečtů zaznamenané činné energie z registrů přes displej jsou ale k dispozici i výsledky měření z impulsních výstupů, které, s ohledem na rozlišení a množství měřené energie, tímto problémem ovlivněny nejsou.

Z měření činné energie, se zřetelem na vnesenou přidanou odchylku z důvodu konečného rozlišení registrovaných hodnot na displeji, plynou následující závěry:

- Měření označené č. 1, které je referenční, nevykazuje elektroměr při měření činné energie žádné významné odchylky.
- U měření s rychlými změnami toků činné energie (Test číslo 2 – 6) elektroměr vykazuje naprosto marginální odchylky, které jdou na vrub velmi malému rozlišení zobrazované energie z registrů (desetiny kWh - 0.1 p.j.). Absolutní odchylky jsou vždy do 0.1 kWh a přídatné procentní odchylky jdou do 5%. Pro eliminaci této odchylky, by bylo potřebné zaznamenat energii řádově vyšší, což znamená neúměrně dlouhé testování, nebo upravit rozlišení na displeji. Přesnější bylo měření na impulsních výstupech, které vykazovalo přídatné odchylky do 0.5 %. Uvedené platí i pro další závěry.
- Testy označené č. 7 až 9 byly provedeny specifickými signály, které testují funkci 1/2 periodového záznamu prošlé energie. Aplikované spínací cykly a jim odpovídající průběhy proudů odpovídají reálným situacím při nasazení kontrolérů typu Wattrouter, GreenBonO, resp. Iridon. U testů 8 a 9 byl dále ověřen vliv alternativní synchronizace cyklu změn s kladným či záporným průchodem vlny napětí nulou (vZC+ a vZC-). Ve všech případech lze považovat měření testovaným elektroměrem za správné s absolutní odchylkou v registrech do 0.1 kWh (z důvodu rozlišení na displeji). V případě impulsních výstupů byly přídatné odchylky do 0.2 %.
- Měření označené č. 10 bylo specifické zapojením proudového obvodu. Proudový výstup z první fáze byl zároveň proudovým vstupem do druhé fáze atd. Test simuloval buzení všech systémů "stejnými" signály. Testovacím signálem byl T1. Tato zkouška vykazala minimální odchylky od teoretických předpokladů. I s ohledem na množství měřené energie se přídatná odchylka v registrovaných energiích snížila na úroveň 1 %, v případě impulsních výstupů to bylo opět do 0.2 %.

-
- Měření číslo 11 je komplexním a specifickým signálem s relativně malou velikostí generovaných energií v jednotlivých kvadrantech. Elektroměr má zobrazené rozlišení 0.1 p.j., proto výsledné odchylky kumulované energie v registrech jsou ovlivněny tímto rozlišením. Na metrologických impulsních výstupech LED(A+) a LED(A-) s rozlišením 2500 imp/kWh byly zaznamenány přídatné odchylky do 0.2 %, tak jako v předchozích T testech.

Nakonec lze konstatovat, že LED(A+) i LED(A-) impulsní výstupy jsou v případě všech provedených testů v souladu s měřením v kumulativních registrech.

Tab. 5. Výsledné měření energie jednotlivými výstupy elektroměru OTUS 3

Test č.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Označení		T0	140p/140p +	50p/50p+	25p/25p+	10p/10p+	1p/1p+	T1	T2u-	T2u+	T1	CMPLX
Zapojení (testovací obvod - ELM)		1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f-1fL1	1f- 3fL1L2L3	1f-1fL1
Registry	A+, 1.8.0 (kWh)	4.6	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	2.3	2.3	1.1	3.5	0.2
	A-, 2.8.0 (kWh)	0	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	2.3	2.3	1.1	3.5	0.2
	Saldo, A+ - A- (kWh)	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Suma, A+ + A- (kWh)	4.6	2.4	2.2	2.4	2.2	2.4	4.6	4.6	2.2	7.0	0.4
	R+, 5.8.0 (kvarh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R+, 6.8.0 (kvarh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
	R+, 3.8.0 (kvarh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
	R-, 7.8.0 (kvarh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
	R-, 8.8.0 (kvarh)	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1
	R-, 4.8.0 (kvarh)	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
	Saldo, $\sum R+ -\sum R- $ (kvarh)	0	0	0	0	0	-0.1	0	-0.1	0	0	0.1
	Suma, $\sum R+ +\sum R- $ (kvarh)	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.3
Imp. V	LED A+, A_{LED+} (kWh)	4.608	1.148	1.149	1.185	1.148	1.148	2.301	2.300	1.150	3.463	0.190
	LED A-, A_{LED-} (kWh)	0.000	1.150	1.150	1.186	1.149	1.148	2.302	2.300	1.150	3.464	0.192

Tab. 6. Výsledné odchylky měření činné energie elektroměrem OTUS 3

Test č.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Označení		T0	140p/140p+	50p/50p+	25p/25p+	10p/10p+	1p/1p+	T1	T2u-	T2u+	T1	CMLPX	
T_C/T_{MW}		(-)	-	560	200	100	40	4	3	4	4	3	
T_{ON}/T_C		(-)	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.333	0.5	0.5	0.333	
A^+_{ref}/A^-_{ref}		(-)	-	1	1	1	1	1	1	1	1		
Registry	Δ_{A+}	(%)	0.00	4.35	-4.35	0.95	-4.35	4.35	0.00	0.00	-4.35	1.03	5.06
	Δ_{A-}	(%)	-	4.35	-4.35	0.95	-4.35	4.35	0.00	0.00	-4.35	1.03	4.25
	e_{A+}	(-)	1.00	1.04	0.96	1.01	0.96	1.04	1.00	1.00	0.96	1.01	1.05
	e_{A-}	(-)	-	1.04	0.96	1.01	0.96	1.04	1.00	1.00	0.96	1.01	1.04
	Δ_{R+}	(%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73.91
	Δ_{R-}	(%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-34.77
	e_{R+}	(-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.74
	e_{R-}	(-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65
Impulsní vstupy	$\Delta_{LED(A+)}$	(%)	0.17	-0.14	-0.07	-0.29	-0.21	-0.17	0.04	0.02	0.00	-0.03	0.02
	$\Delta_{LED(A-)}$	(%)	-	-0.03	0.00	-0.22	-0.10	-0.14	0.07	0.02	0.00	-0.01	0.08
	$e_{LED(A+)}$	(-)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$e_{LED(A-)}$	(-)	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

4 Shrnutí

Testovaný elektroměr **APATOR OTUS 3** používá metriku plně postavenou na FFT z nekonkretizovaného měřicího okna s následnou agregací energií do příslušných registrů.

Na základě provedených testů lze konstatovat, že elektroměr APATOR OTUS3 plně vyhověl základním zkouškám s rychlými změnami směru toku činného výkonu s rozlišením po půlperiodách synchronizovaných s vlnou napětí v dané fázi. Při všech testech byly zaznamenány odchylky měření činné a jalové energie zaznamenaných v registrech a zobrazených na displeji maximálně 0.1 kWh resp. 0.1 kvarh, což je zároveň i rozlišení zobrazení. V procentním vyjádření, s ohledem na množství měřené energie, to znamená odchylky v měření činné energie do 5 %, nicméně z dlouhodobého hlediska, či při přesnějších odečtech by byly procentní odchylky nižší, s předpokladem pod 1 %. To potvrdili i záznamy z impulsních LED výstupů, které vykazují přídatné odchylky v měření činné energie do 0.5 %. Testovaný elektroměr neměl optický výstup LED (R), odpovídající registraci jalové energie, a proto nelze apriori obdobné závěry aplikovat i na přesnost měření jalové energie. Nicméně v průběhu zkoušek registry jalové energie nevykazovaly žádné abnormality.

S ohledem na uvedené, testovaný elektroměr APATOR OTUS 3 prokázal kvalifikaci pro měření energie v odběrných místech s provozovanou výrobou. Pro jejich nasazení je však nutné, aby elektroměr byl dle platné legislativy stanoveným měřidlem a tudíž vyhověl typovým zkouškám dle MID standardů, prokázal se platným certifikátem typu a prošel kusovým ověřením.

Vzhledem k implementovaným změnám v metrice elektroměru a povaze prostředí určeném pro jeho instalaci dále doporučujeme prověřit odezvu a spolehlivost měření elektroměru 1) při diferenciálním rušení v pásmu do 150 kHz podle IEC 61000-4-19, 2) při dlouhodobém měření reálného systému se střídači a systémy pro energetický management v odběrných místech.

5 Reference

- [1] Drápela, J. Analýza odezvy elektroměrů činné elektrické energie na rychlé změny mezi odběrem a dodávkou. zpráva č. 096/170116, v2 (29.5. 2016), ÚEEN FEKT VUT v Brně, 69 str.
- [2] Drápela, J. Analýza funkce regulátorů pro řízení/využití přebytků z fotovoltaických elektráren a jejich dopadů na kvalitu napětí v distribučních sítích (DS) a měření činné energie elektroměrem. zpráva č. 099/180616, v2 (31.3. 2017), ÚEEN FEKT VUT v Brně, 42 str.
- [3] Drápela, J. Ověření trigrovacího algoritmu přístroje MEg38 pro záznam oscilogramů a identifikace typických průběhů okamžitých hodnot proudů při provozu kontrolérů pro řízení přebytků z FVE. zpráva č. 102/010517, v2 (28.11. 2017), ÚEEN FEKT VUT v Brně, 188 str.
- [4] ČSN EN 50470-1: 2007. Vybavení pro měření elektrické energie (AC) - Část 1:Všeobecné požadavky, zkoušky a zkušební podmínky - Měřicí zařízení (třídy A, B a C)
- [5] ČSN EN 50470-3: 2007. Vybavení pro měření elektrické energie (AC) - Část 3: Zvláštní požadavky - Statické činné elektroměry (třídy A, B a C)
- [6] IEC 61000-4-30:2015. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods
- [7] IEC 61000-4-7:2002. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto
- [8] EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks

Příloha A: Popis komplexního testovacího signálu (t.č. 11)

Napětí je generováno ve tvaru harmonického průběhu s efektivní hodnotou U a počáteční fází ψ_u a jednotnou základní frekvencí f_1 :

$$u(t) = \sqrt{2}U \cdot \sin(2\pi f_1 t + \psi_u \pi / 180). \quad (3)$$

Navržený proudový signál je kompozicí výše specifikovaných složek:

$$i(t) = i_G(t) + i_{L,Q}(t) + i_{L,D}(t) + i_{L,Rsw}(t), \quad (4)$$

kde i_G představuje proud zdroje určený podle vztahu:

$$i_G(t) = \sqrt{2}I_G \cdot \sin(2\pi f_1 t + \psi_u + \varphi_{ig} \pi / 180), \quad (5)$$

s efektivní hodnotou I_G a fázovým posuvem vůči napětí φ_{ig} . Spotřebu jalového proudu, s efektivní hodnotou $I_{L,Q}$ a fázovým posuvem $\varphi_{ilq}=90^\circ$ nebo -90° podle charakteru, reprezentuje průběh s následující definicí:

$$i_{L,Q}(t) = \sqrt{2}I_{L,Q} \cdot \sin(2\pi f_1 t + \psi_u + \varphi_{ilq} \pi / 180). \quad (6)$$

Složku proudu zastupující odběr nelineární zátěže lze na intervalu jedné půlperiody síťové frekvence aproximovat následovně:

$$i_{L,D}(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ I_{L,D} \sqrt{\frac{360}{\alpha_{ild}}} \cdot \sin\left(\frac{180}{\alpha_{ild}} \left[2\pi f_1 t + \pi \left(\frac{\alpha_{ild}}{360} - \frac{1}{2} + \frac{\psi_u + \varphi_{ild}}{180} \right) \right] \right) \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$pro \ 2\pi f_1 t \in \begin{bmatrix} \left\langle 0; \pi \left(\frac{\psi_u + \varphi_{ild}}{180} - \frac{1}{2} + \frac{\alpha_{ild}}{360} \right) \right\rangle \\ \left\langle \pi \left(\frac{\psi_u + \varphi_{ild}}{180} - \frac{1}{2} + \frac{\alpha_{ild}}{360} \right); \pi \left(\frac{\psi_u + \varphi_{ild}}{180} - \frac{1}{2} - \frac{\alpha_{ild}}{360} \right) \right\rangle \\ \left\langle \pi \left(\frac{\psi_u + \varphi_{ild}}{180} - \frac{1}{2} - \frac{\alpha_{ild}}{360} \right); \pi \right\rangle \end{bmatrix}, \quad (7)$$

kde $I_{L,D}$ je efektivní hodnota proudu, φ_{ild} počáteční fázový posuv jeho základní harmonické složky a α_{ilq} úhel vedení proudu v půlperiodě.

Nakonec, proud spínané odporové zátěže je určen vztahem:

$$i_{L,Rsw}(t) = i_{L,R}(t) \cdot SF_1(t) \cdot SF_2(t), \quad (8)$$

kde:

$$i_{L,R}(t) = \sqrt{2}I_{L,R} \cdot \sin(2\pi f_1 t + \psi_u + \varphi_{ilr} \pi / 180), \quad (9)$$

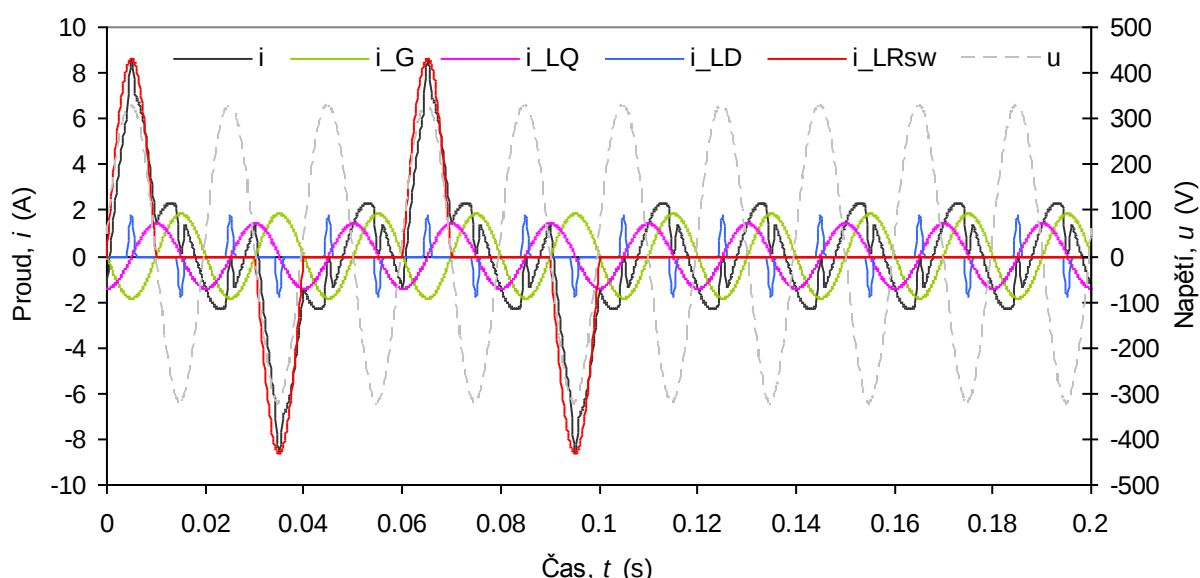
s efektivní hodnotou $I_{L,R}$ a počátečním fázovým posuvem $\varphi_{ilr}=0^\circ$ a kde jsou spínací funkce SF_1 a SF_2 definovány následovně:

$$SF_1(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \text{sign} \left[\sin \left(\frac{4\pi f_1}{N_{C1}} t + \frac{2\pi(\psi_u / 180 + N_{S1})}{N_{C1}} - \pi \left(\frac{N_{ON1}}{N_{C1}} - \frac{1}{2} \right) \right) + \sin \left(\pi \left(\frac{N_{ON1}}{N_{C1}} - \frac{1}{2} \right) \right) \right] \right) \quad (10)$$

$$SF_2(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \text{sign} \left[\sin \left(\frac{4\pi f_1}{N_{C2}} t + \frac{2\pi(\psi_u / 180 + N_{S2})}{N_{C2}} - \pi \left(\frac{N_{ON2}}{N_{C2}} - \frac{1}{2} \right) \right) + \sin \left(\pi \left(\frac{N_{ON2}}{N_{C2}} - \frac{1}{2} \right) \right) \right] \right] \quad (11)$$

Určujícími parametry spínacích funkcí jsou: počet půlperiod cyklu N_{C1} a N_{C2} , počet půlperiod zapnutého stavu N_{ON1} a N_{ON2} , a fázový posuv počátku spínacích funkcí v počtu půlperiod N_{S1} a N_{S2} . Příklad průběhů jednotlivých komponent testovacího proudu a součtového výsledného proudu ve vztahu k napájecímu napětí je na Obr. 3.

Prostřednictvím parametrů jsou dále vymezeny tři segmenty průběhů určené pro testy, které mohou být dále kumulovány a koncentrovány, za účelem vytvoření dostatečně dlouhé testovací sekvence. Parametrická definice umožňuje mimo jiné vytvoření plně třífázové nebo jen jednofázové soustavy signálů. S ohledem na zjednodušení interpretace výsledků, byla pro testy připravena jednofázová verze. Parametry tří vybraných segmentů signálů, ze kterých je následně sestaven výsledný průběh, jsou souhrnně uvedeny v Tab. 7. Pro vytvoření diskrétních průběhů základních segmentů a, b a c z definičních vztahů s uvedenými parametry a parametrizovatelnou vzorkovací frekvencí byl zhotoven skript, generující data ve struktuře pro datový soubor ve formátu COMTRADE, který bude vstupem generátoru Omicron.

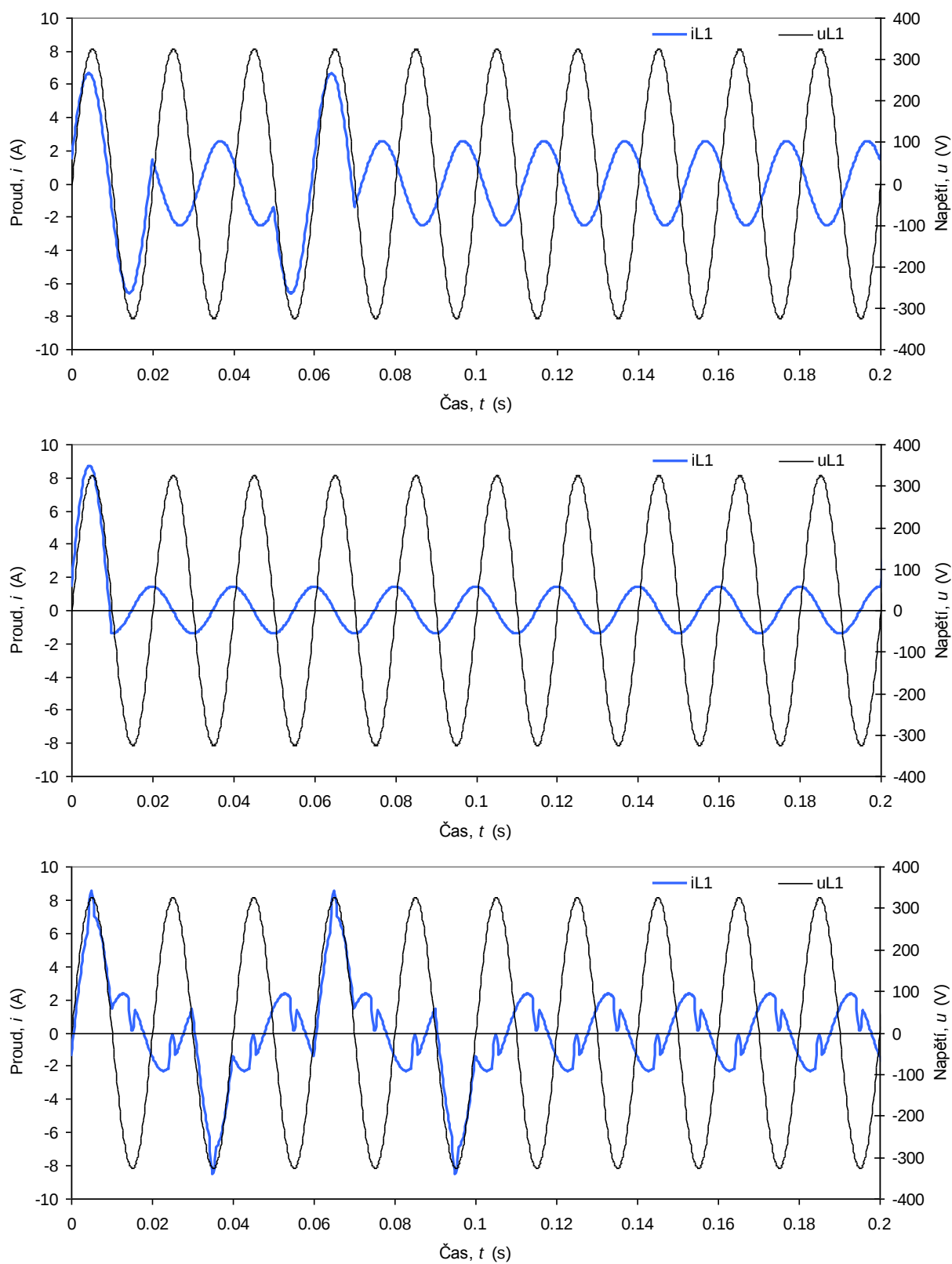


Obr. 3. Příklad průběhů jednotlivých komponent testovacího proudu a součtového výsledného proudu ve vztahu k napájecímu napětí

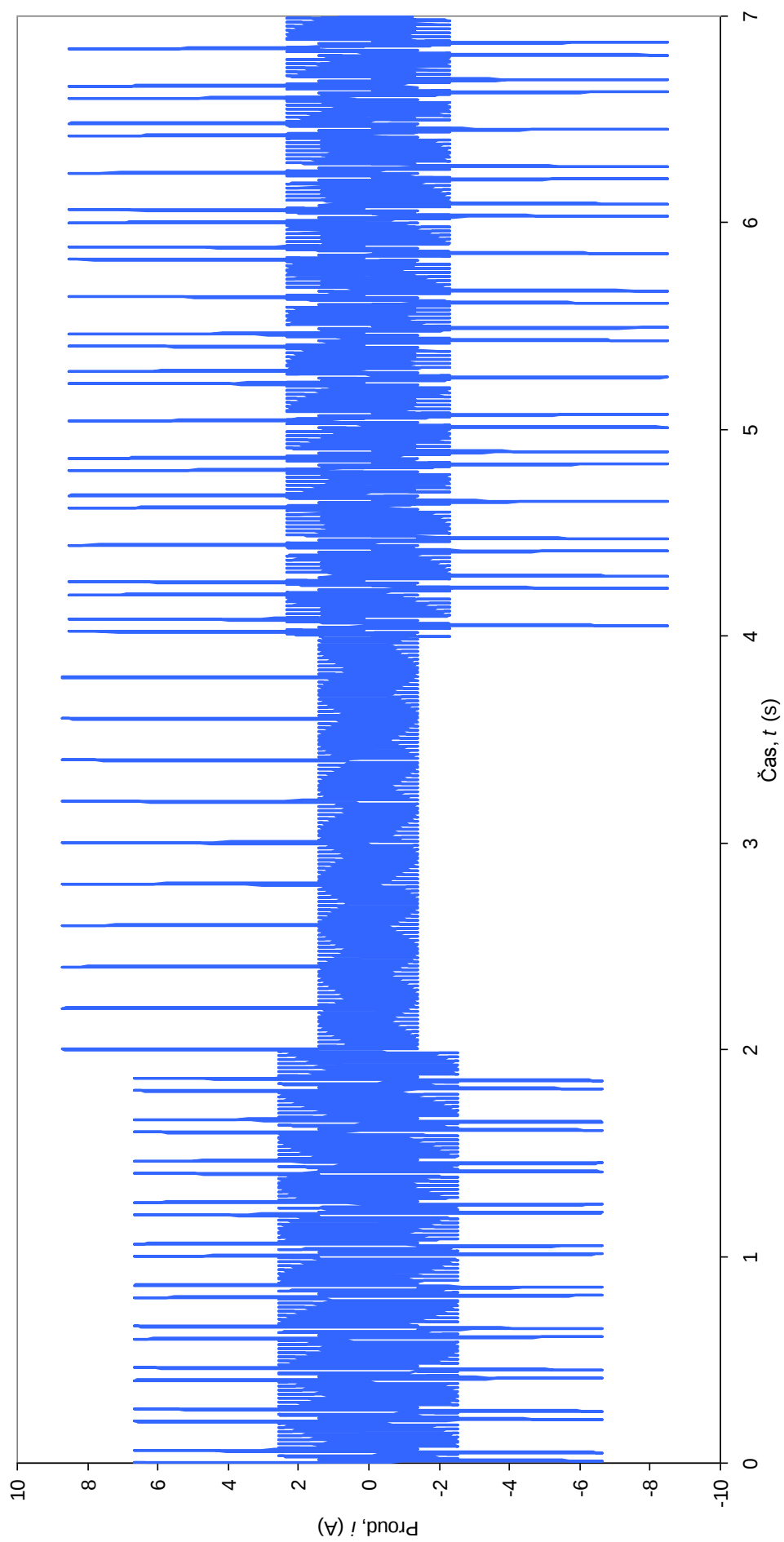
Průběhy okamžitých hodnot napětí a proudu jednotlivých základních segmentů testovacího průběhu jsou uvedeny na Obr. 4. Jako optimální byla zvolena vzorkovací frekvence 5000 S/s. Jednotlivé segmenty charakterizují svým průběhem stavy odpovídající závěrům z analýzy měření z odběrných míst provozujících wattrouter. Jak je uvedeno v Tab. 7, jednotlivé segmenty mají periodicitu 20, 20 a 60 půlperiod, což při základní frekvenci 50 Hz znamená 0.2, 0.2 a 0.6 sekundy. Velikosti jednotlivých složek proudu v segmentech byly navrženy tak, aby mohly být testovány i měřicí přístroje s nominálním rozsahem proudových vstupů 5 Arms, kdy se předpokládá, že rozsah maximální hodnoty je do 10 Apk. V Tab. 7 jsou rovněž uvedeny energetické bilance základních segmentů, s vyjádřením množství činné a jalové induktivní energie v odběrovém a dodávkovém směru. Výpočet těchto energií je proveden analyticky, z analyticky definovaných průběhů a jejich parametrů s tím, že pro určení komponent neharmonického průběhu proudu nelineární zátěže (7), byla použita analytická Fourierova transformace.

Tab. 7. Parametry testovacích signálů a vypočtené hodnoty

	Segment a						Segment b						Segment c					
	u	i_G	$i_{L,Q}$	$i_{L,D}$	$\frac{i_{L,RSW}}{i_{L,R}}$		u	i_G	$i_{L,Q}$	$i_{L,D}$	$\frac{i_{L,RSW}}{i_{L,R}}$		u	i_G	$i_{L,Q}$	$i_{L,D}$	$\frac{i_{L,RSW}}{i_{L,R}}$	
					SF_1	SF_2					SF_1	SF_2					SF_1	SF_2
U (Vrms)/ I (Arms)	230	1.5	1	0	6.09		230	0	1	0	6.09		230	1.3	1	0.5	6.09	
f_1 (Hz)	50						50						50					
ψ_u (°) / ψ_i (°)	0	180	90	0	0		0	0	90	0	0		0	180	-90	0	0	
α_i (°)				0						0						30		
N_C (xHP)					5	20					5	20					3	20
N_{ON} (xHP)					2	10					1	5					1	10
N_S (xHP)					0	0					0	0					0	0
P_1 (W)		-345	0	0	1400			0	0	0	1400			-299	0.00	59.39	1400	
Q_1 (var)		0	-230	0	0			0	-230	0	0			0	230	0	0	
I_{RMS} (A)/ I_{PK} (A)				2.65 / 6.64						1.69 / 8.72						2.53 / 8.50		
N_C (xHP) / T_C (s)				20 / 0.2						20 / 0.2						60 / 0.6		
$A+$ (Ws)				42.2						14						116.039		
$A-$ (Ws)				-55.2						0						-119.805		
$R+$ (vars)				0						0						138		
$R-$ (vars)				-46						-46						0		



Obr. 4. Základní segmenty navrženého testovacího signálu s typickým pozadím, spínáním odporové zátěže a dynamikou



Obr. 5 Jeden cyklus navrženého jednofázového testovacího signálu s typickým pozadím, spínáním odporové zátěže a dynamikou

Hodnoty množství energií v základních segmentech jsou dále přeneseny do Tab. 8. Je zřejmé, což bylo i záměrem, že bilance činných i jalových energií jsou v jednotlivých základních segmentech nevyvážené. Jelikož se i ve skutečnosti spínací prokládané cykly opakují, a pro testování je nezbytné sekvenci prodloužit, je každý ze základních segmentů a, b, a c kumulativně opakován, a to 10, 10, respektive 5 krát, čímž jsou obdrženy kumulativní segmenty A, B a C o délce 2, 2, respektive 3 s (viz Tab. 8). Prodloužení kopírováním základních segmentů znamená, že výsledné kumulativní segmenty budou stejných vlastností. Skutečné toky energií v těchto segmentech jsou rovněž uvedeny v Tab. 8. Při délce minimálně 2 s a nevyvážené bilanci energií lze tedy očekávat, že metrika standardních elektroměrů by měla, v závislosti na neovlivnitelné synchronizaci segmentů signálu s měřicím oknem elektroměru, zaznamenat saldo v odběrovém či dodávkovém registru určené rozdílem energií.

Výsledný testovací průběh je nakonec vytvořen koncentrací segmentů A, B a C v tomto pořadí. Průběh zkušebního proudu kumulovaných a koncentrovaných základních segmentů je na Obr. 5. Při součtové délce trvání signálu 7 s, jsou jednotlivé referenční energie součtem kumulovaných energií segmentů (Tab. 8) a lze konstatovat, že bilance činné energie je téměř vyrovnaná, s diferencí (saldem) mezi spotřebou a výrobou na úrovni 1%, s výraznější nevyvážeností ve spotřebě a dodávce jalové induktivní energie.

Nicméně s ohledem na rozlišení měřicích přístrojů a jejich výstupů a nemožnost zajistit synchronizaci generovaného signálu s měřením, není délka takto navrženého zkušebního signálu (7 s) dostatečná. Navržený signál je nutné opakovat a s ohledem na zmíněné nejistoty se jako vhodná testovací doba jeví 1 hodina a více. Pro test bylo zvoleno opakování 600x, tzn. s celkovou délkou 4200 s, resp. 1 a 1/6 hodiny. Na konci Tab. 8 jsou uvedeny hodnoty energií, exaktně určených pro přesně synchronizované měření s hodinovým signálem se zarovnanými segmenty. Při uvedených parametrech zkoušení (nejistota generování signálu navržených parametrů, synchronizační nejistota, apod.) je estimovaná nejistota typu B referenčních hodinových energií uvedených v Tab. 8 na úrovni 1%.

Tab. 8. Energetická bilance segmentů navrženého testovacího signálu a celkového hodinového průběhu

Segment	a	b	c
T_c (s)	0.2	0.2	0.6
A+ (Ws)	42.2	14	116.039
A- (Ws)	-55.2	0	-119.805
R+ (vars)	0	0	138
R- (vars)	-46	-46	0
Segment	A	B	C
	10xa	10xb	5xc
T (s)	2	2	3
A+ (Ws)	422	140	580.19
A- (Ws)	-552	0	-599.03
R+ (vars)	0	0	690
R- (vars)	-460	-460	0
Segment	T		
	A+B+C		
T (s)	7		
A+ (Ws)	1142.2		
A- (Ws)	-1151.0		
R+ (vars)	690		
R- (vars)	-920		
T_T (hod)	1+1/6		
A+ (Wh)	190.366		
A- (Wh)	-191.838		
R+ (varh)	115.000		
R- (varh)	-153.333		