



TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE
Faculty of Electrical Engineering and Informatics



Electrical Engineering and Informatics IX



Proceedings of
the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

ISBN 978-80-553-2713-6

Electrical Engineering and Informatics IX
Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic

Date of publication: July 2018 Language: English, Slovak
Printing: 50 pieces CD Pages: 771

Editorial board chairman: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.

Proceedings reviewers: Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.
prof. Ing. Pavol Galajda, PhD.
prof. Ing. Dušan Kocur, CSc.
prof. Ing. Ján Kollár, CSc.
prof. Ing. Dušan Levický, CSc.
prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.
prof. Ing. Linus Michaeli, DrSc.
prof. Ing. Ján Mihalík PhD.
prof. Ing. Ján Paralič PhD.
prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
prof. Ing. Iveta Zolotová CSc.
assoc. prof. Ing. Norbert Ádám, PhD.
assoc. prof. Ing. Anton Baláž, PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.
assoc. prof. Ing. Marek Bundzel PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Bystrík Dolník
assoc. prof. Ing. Peter Drotár, PhD.
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.
assoc. prof. Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Gamec, PhD.
assoc. prof. Ing. Juraj Gazda, PhD.
assoc. prof. Ing. Zdeněk Havlice, CSc.
assoc. prof. Ing. Marián Mach CSc.
assoc. prof. RNDr. Dušan Olčák, CSc.
assoc. prof. Ing. Ján Papaj, PhD.
assoc. prof. Ing. Branislav Sobota, PhD.
assoc. prof. Ing. Slavomír Šimoňák, PhD.
assoc. prof. Ing. Martin Tomášek, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Ján Vaščák
assoc. prof. Ing. Jaroslava Žilková, PhD.

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

Využitie open-source platformy v elektroenergetike

¹Šimon LIŠKA, ²Dušan MEDVEĎ

^{1,2} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

¹simon.liska @student.tuke.sk, ²dusan.medved@tuke.sk

Abstrakt — Článok sa venuje problematike tvorby sieťového analyzátoru kvality elektrickej energie využitím open-source platformy v podobe mikropočítača Raspberry Pi. V článku je uvedený návrh meracieho obvodu na zaznamenávanie striedavého napätia do maximálnej hodnoty 1500 V a následná analýza nameraných dát.

Kľúčové slová — kvalita elektrickej energie, open-source, Raspberry Pi, meranie

I. ÚVOD

Problémy s kvalitou elektrickej energie zaberajú širokú škálu problémov v rôznom časovom rozsahu od desiatok nanosekúnd po dobu celého ustáleného stavu. Všetky tieto problémy spôsobujú rôzne príčiny a preto vyžadujú odlišné a jedinečné riešenia, ktoré možno použiť pre zlepšenie kvality elektrickej energie a teda zlepšenie stability dodávaného výkonu a zvýšenie spoľahlivosti zariadení. Mnoho problémov kvality elektrickej energie vyplýva z nekompatibility medzi napájacím systémom a zariadením pripojeným na tento systém. Je známe, že nelineárne záťaže vytvárajú harmonické prúdy, ktoré môžu vytvárať v napájacom systéme rezonancie. Väčšina problémov spojených s kvalitou elektriny môže byť identifikovaná meraním napätia a prúdu [1].

A. Výber podstatných informácií

Meracie prístroje kvality elektriny zaznamenávajú veľké množstvo dát. Je teda potrebné z nameraných údajov vybrať správne a užitočné hodnoty. Merací prístroj kvality elektrickej energie by po analýze mal informovať užívateľa o vzniknutom prepätí a o poklese napätia ako je znázornené nižšie (obr. 3). Taktiež na výstupe by sa mali nachádzať informácie o efektívnej hodnote napätia počas meraného úseku [2].

II. PROBLEMATIKA TVORBY SIEŤOVÉHO ANALYZÁTORA KVALITY ELEKTRICKEJ ENERGIE

Na začiatku tvorby meracieho zariadenia pre analyzovanie kvality elektrickej energie bolo potrebné stanoviť, ktoré elektrické veličiny bude potrebné merať a ďalej analyzovať. Za meranú veličinu bolo zvolené napätie. Z počtu nameraných vzoriek napätia je možné analyzovať, vypočítať rôzne druhy ukazovateľov kvality elektrickej energie ako napríklad deformáciu napäťovej vlny, vyššie harmonické zložky napätia, krátkodobé zmeny napätia a aj prechodné javy. Z grafických závislostí analyzovaných vzoriek nameraných okamžitých hodnôt napätia je možné určiť harmonické zložky napätia a taktiež skutočnú hodnotu frekvencie siete.

A. Výber open-source platformy

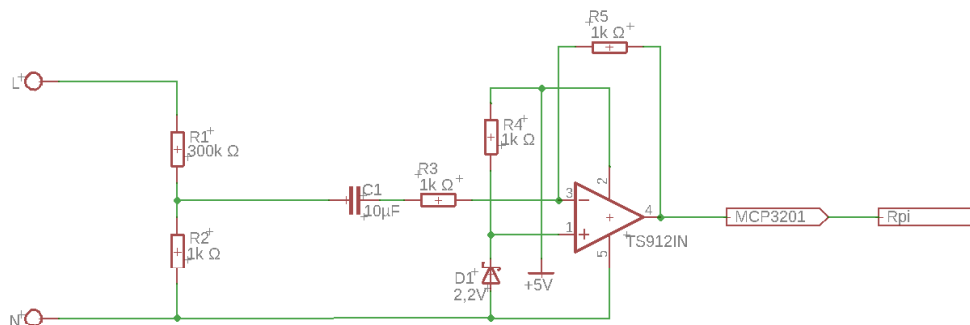
Ako ďalší krok, bolo potrebné vybrať správny typ open-source platformy, ktorá bude celé meranie riadiť a namerané dáta spracovávať. Rozhodovanie padlo medzi najrozšírenejšiu platformu Arduino základných typov UNO, MEGA a medzi platformu Raspberry Pi model b+. Po rozhodnutí bol zvolený mikropočítač Raspberry Pi, pretože jednak disponuje možnosťou výberu operačného systému a je možné ho využiť na ďalšie rozšírenie vlastností merania, ktoré môže sieťový analyzátor kvality elektrickej energie vykonávať.

B. Návrh meracieho obvodu

Problém spočíval v tom, akým spôsobom merať s Raspberry Pi striedavé napätie v rozsahu maximálnych hodnôt ± 1500 V s čo najvyššou vzorkovacou frekvenciou. Rozsah hodnôt ± 1500 V bol zvolený preto, lebo špičková hodnota napätia krátkodobého prepätia neprekročí túto hodnotu. Raspberry Pi dokáže snímať na svojom analógovom vstupe jednosmerné napätie o maximálne možnej kladnej hodnote 5 V. Na dosiahnutie tohto meracieho rozsahu bolo potrebné

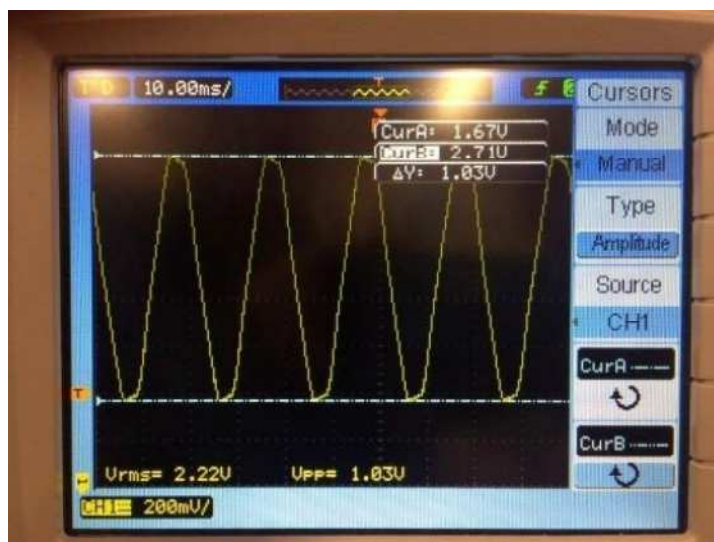
znižit' hodnotu maximálneho striedavého napätia v rozsahu od -1500 V do $+1500\text{ V}$ do merateľného rozsahu napätia 0 V až 5 V , aby Raspberry Pi dokázalo merať okamžité hodnoty napätia.

Zníženie napätia na požadovanú hodnotu bolo uskutočnené pomocou napäťového deliča v pomere $300:1$. Pri maximálnom stanovenom napätí $+1500\text{ V}$ by na prvom v obvode vznikol prúd o hodnote $1,51\text{ mA}$ z toho vyplýva, že na rezistoroch by sa objavil výkon $2,26\text{ W}$. Z toho dôvodu boli zvolené 5 W rezistory. Zníženie napätia mohlo byť uskutočnené aj pomocou transformátora, ktorý by galvanicky oddelil napájaciu sieť od meracieho obvodu. Galvanické oddelenie je výhodou pretože transformátor neprepustí elektromagnetický šum a meracie zariadenie môže merať presnejšie hodnoty a meranie nebude ovplyvňované. Nevýhodou transformátora je to, že je potrebné poznať frekvenčný rozsah transformátora, to znamená, akú maximálnu hodnotu frekvencie dokáže preniesť z primárnej strany obvodu na sekundárnu stranu. Po znížení napätia stále však napätie dosahovalo záporné hodnoty. Bolo potrebné navrhnuť taký posun napäťovej vlny, ktorý by posunul zápornú hladinu napätia do kladných hodnôt v rozsahu od 0 V do 5 V . Na posunutie napäťovej hladiny zo záporných hodnôt do kladných bol použitý operačný zosilňovač, ktorý posunul hladinu o 5 V zo záporných hodnôt do kladných.

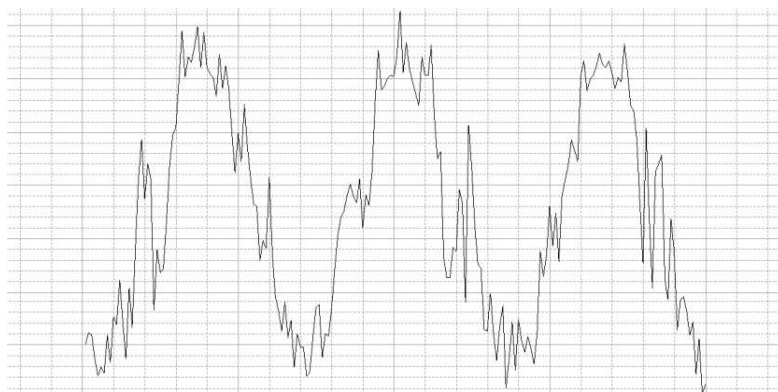


Obr. 1 Schéma zapojenia prvotného meracieho obvodu

Na obrázku 3 je vidieť napätie z výstupu operačného zosilňovača namerané pomocou laboratórneho osciloskopu, sieťového „ideálneho“ napätia o efektívnej hodnote 230 V , pričom v maximálnych hodnotách $\pm 325\text{ V}$ sa zmenšilo a posunulo do kladných hodnôt od $1,67\text{ V}$ do $2,71\text{ V}$. Následne bol signál prevedený z analógového tvaru na digitálny tvar pomocou 16-bitového AD prevodníka MCP3201 o vzorkovacej frekvencii 3000 vzoriek za sekundu. Vykreslenú grafickú závislosť nameraného napätia pomocou Raspberry Pi je vidieť na obrázku 4, kde na horizontálnej osi sa nachádza počet vzoriek a na vertikálnej osi je elektrické napätie. Ako je vidieť, nameraný signál na obrázku 4 sa vo veľkej miere líši od nameraného signálu pomocou osciloskopu. Deformácia napäťovej vlny bola spôsobená značným šumom, ktorý bol prenášaný cez spoločný neutrálny bod siete a meracieho obvodu.



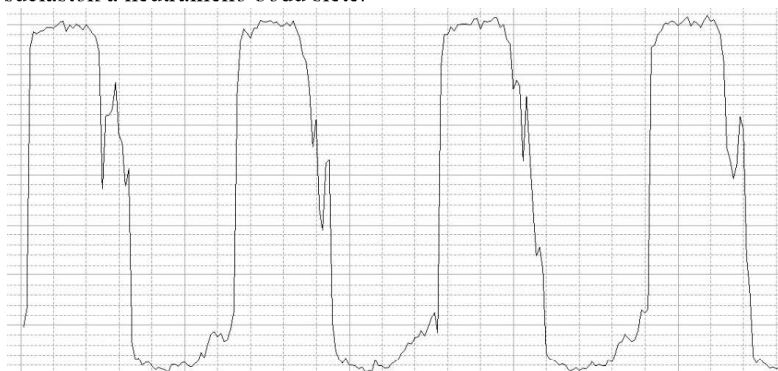
Obr. 2 Nameraný priebeh napätia z výstupu operačného zosilňovača



Obr. 3 Namerané hodnoty napätia pomocou Raspberry Pi z výstupu operačného zosilňovača

C. Odfiltrovanie deformovaného signálu

Pre odfiltrovanie zašumeného signálu bolo potrebné oddeliť od seba spoločný neutrálny bod siete alebo celý merací obvod. Na obrázku 5 je vidieť namerané napätie po oddelení príslušných uzemnení súčiastok a neutrálneho bodu siete.

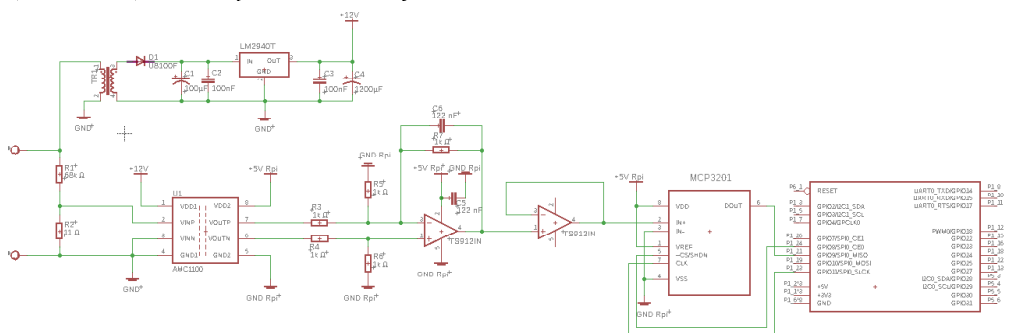


Obr. 4 Namerané hodnoty napätia pomocou Raspberry Pi po oddelení spoločných bodov siete

Ako je vidieť z obr. 4, nameraný signál je o niečo presnejší, ale nie dostatočne a tak, aby mohol byť signál spracovaný a analyzovaný pre určenie parametrov kvality elektrickej energie.

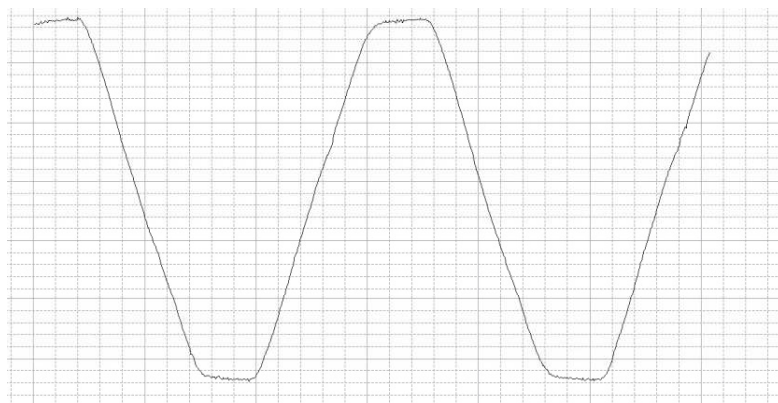
D. Galvanické oddelenie meracieho obvodu

Aby sieťový analyzátor napätia mohol správne snímať vstupné analógové hodnoty, bolo ho potrebné galvanicky oddeliť od meraného objektu (zásuvkový obvod o efektívnej hodnote napätia $230\text{ V} \pm 10\%$). Oddelenie bolo uskutočnené pomocou izolačného zosilňovača (oddeľovací). Konečný merací obvod je vidieť na obrázku 6.



Obr. 5 Galvanicky oddelený merací obvod okamžitej hodnoty napätia

Namerané a vykreslené hodnoty napätia galvanicky oddeleného meracieho prístroja sú znázornené na obrázku 7. Vzorkovacia frekvencia bola približne 13 000 vzoriek za sekundu. Program na čítanie dát zo štvorvodičovej synchronnej sériovej zbernice (SPI) bol vytvorený v programovacom jazyku C++.

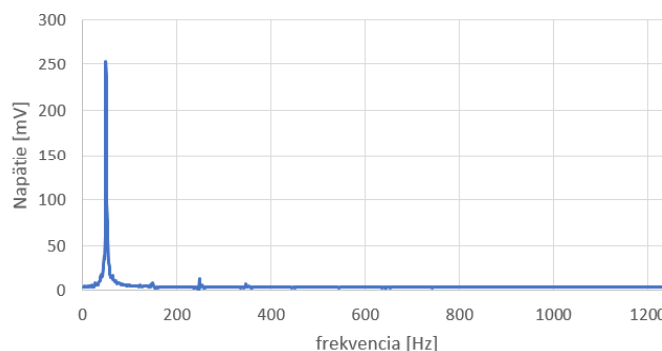


Obr. 6 Namerané hodnoty priebehu napätia galvanicky oddeleným meracím obvodom

III. VYHODNOTENIE MERANIA PARAMETROV KVALITY ELEKTRICKEJ ENERGIE

Z nameraných okamžitých hodnôt napätia boli analyzované vyššie harmonické zložky napätia. V tomto prípade Raspberry Pi bolo vytvorené len na snímanie nameraných dát a ďalšia analýza prebiehala offline (na stolovom počítači). Určenie vyšších harmonických zložiek bolo realizované v programe MS Excel, kde pomocou vstavanej funkcie rýchlej Fourierovej transformácie bolo možné určiť vyššie harmonické zložky napätia. Anti-aliasingový filter bol nastavený na odfiltrovanie vyšších frekvencií od 25. harmonickej zložky napätia.

Vyššie harmonické zložky napätia



Obr. 7 Harmonické a medzi harmonické zložky napätia

IV. ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že navrhnutý merací obvod prevyšuje minimálne normované rýchlosti zberu dát. Maximálna rýchlosť zapisovania údajov je 13000 vzoriek za sekundu. Navrhnuté meracie zariadenie má širokú perspektívu ďalšej rozšíriteľnosti v smere autonómneho zberu dát a ďalšieho spracovania nameraných údajov.

V. POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: *Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energie*, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] M. Brúsil, M. BočKayová, „Je kvalita elektrickej energie merateľná“. ZTS Elektronika SKS s.r.o., [online]. [cit.: 7.5.2018]. Dostupné na internete: < http://www.aos.sk/spe/seminare/archiv_1993_2008/www/Clanky/07/ZTS_SKS_BP07.pdf >
- [2] M. McGranaghan, S. Santoso, „Challenges and Trends in Analyses of Electric Power Quality Measurement Data“. Hindawi Publishing Corporation. [online]. [cit.: 7.5.2018] Dostupné na < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.396.5758&rep=rep1&type=pdf> >
- [3] Š. Liška, „J využitie open-source platformy v elektroenergetike“. Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2018.

Electrical Engineering and Informatics IX

Proceedings of the
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Edition I, 771 pages
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

ISBN 978-80-553-2713-6