

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

**Monitor rychlých napět'ových změn s vyhodnocením
dle mezinárodních standardů**

**Rapid Voltage Changes Monitor Implemented
According to International Standards**

2011

Bc. Jan Vepřek

Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

V Ostravě.....

.....
Bc. Jan Vepřek

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D. za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s tvorbou této diplomové práce.

Abstrakt

Tato práce zpracovává normy, standardy a jiné dostupné informace o problematice rychlých napěťových změn a vytváří funkční řešení monitoringu rychlých napěťových změn a jejich off-line vyhodnocení.

Práce vychází z požadavků poměrně nové normy IEC 61000-4-15 Ed.2 na vyhodnocování rychlých napěťových změn z efektivních půlperiodových hodnot napětí mezi po sobě jdoucími průchody nulou základní harmonické frekvence signálu. Pro vlastní vytvoření aplikací bylo zvoleno vývojové prostředí LabVIEW 2010 od společnosti National Instruments. Pro sběr dat byla použita měřicí karta NI PCI-6221, která je dostupná na univerzitní laboratoři.

Na závěr práce je provedeno zhodnocení dosažených výsledků a popis přínos diplomové práce z hlediska vývoje dalších aplikací pro měření kvality energie.

Klíčová slova

LabVIEW, National Instruments, Kvalita energie, Rychlá napěťová změna, Ustálený stav napětí, NI PCI-6221, IEC61000-4-15 Ed.2

Abstract

This thesis process norms, standards and other informations available about the problems of rapid voltage changes and creates a workable solution for monitoring rapid voltage changes and their off-line evaluation.

The work is based on the requirements of the relatively new standard IEC 61000-4-15 Ed.2 for evaluation of rapid voltage changes from effective half period voltages between successive zero-crossings of the fundamental harmonic frequency. As development environment is used National Instruments LabVIEW 2010. Data are collecting by use of measuring card NI PCI-6221, which is available in the university laboratory.

At the conclusion of the work is evaluation of the results and describe the contribution of the thesis for next development of power quality measurement applications.

Keywords

LabVIEW, National Instruments, Power quality, Rapid voltage changes, Steady-state voltage, NI PCI-6221, IEC61000-4-15 Ed.2

Seznam použitých symbolů a zkratek

Blokový diagram	Vytvořený programový kód v prostředí LabVIEW
d_c	Hodnota rozdílu mezi dvěma následujícími hodnotami ustáleného stavu, vyjadřováno jako procenta U_n
d_{hp}	Půlperiodová efektivní hodnota napětí vyjádřená jako poměr k nominální hodnotě napětí U_n
d_{hp_avg}	Poměr pohyblivé průměrné efektivní hodnoty napětí vypočítávané za poslední uběhlou 1 s k nominálnímu napětí U_n
d_{max}	Absolutní hodnota maximálního rozdílu mezi posledním ustáleným stavem a následujícími d_{hp} hodnot v průběhu napěťové změny, vyjádřeno jako procenta nominálního napětí U_n
Front Panel	Čelní panel, grafické prostředí programu
Post-processing	Následné zpracování dat po skončení měření (off-line vyhodnocení)
RVCH	Rychlá napěťová změna (Rapid Voltage Change)
SubVI blok	Vytvořený podprogram v prostředí LabVIEW
$t_{(d(t)>3,3\%)}$	Doba, po kterou výchylka napětí v průběhu rychlé napěťové změny překročila 3,3 %
U_{hp}	Efektivní hodnota napětí hlavního napájecího napětí, určená půlperiodou mezi za sebou jdoucími průchody nulou základní frekvence určovaného napětí
U_{hp_avg}	Pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí vypočítávaná za poslední uběhlou 1 s

1 Obsah

1	OBSAH.....	1
2	ÚVOD.....	3
3	DEFINICE A POPIS RYCHLÉ NAPĚŤOVÉ ZMĚNY.....	4
4	NORMY A STANDARDSY VZTAHUJÍCÍ SE K RYCHLÝM NAPĚŤOVÝM ZMĚNÁM.....	5
4.1	ČSN EN 61000-4-30.....	5
4.2	PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY (PPDS).....	5
4.3	PNE 33 3430-7.....	6
4.4	ČSN EN 61000-3-3.....	6
4.5	IEC 61000-4-15 Ed.2.....	6
4.5.1	<i>Požadované parametry pro vyhodnocení</i>	7
4.5.1	<i>Ustálený stav</i>	8
4.6	PRÍKLADY VYHODNOCENÍ RYCHLÝCH NAPĚŤOVÝCH ZMĚN DLE IEC 61000-4-15 Ed.2.....	8
4.6.1	<i>Popis vyhodnocení testovacího obrazce č. 1</i>	8
4.6.2	<i>Popis vyhodnocení testovacího obrazce č. 2</i>	9
5	NÁVRH MONITOROVACÍHO A VYHODNOCOVACÍHO SYSTÉMU.....	10
5.1	APLIKACE PRO MONITORING.....	10
5.2	POST-PROCESSING (OFF-LINE VYHODNOCENÍ).....	11
5.3	VÝBĚR VÝVOJOVÉHO PROSTŘEDÍ A MĚŘÍCÍHO HARDWARE.....	11
6	BLOKOVÝ DIAGRAM MONITOROVACÍ APLIKACE.....	13
6.1	HLAVNÍ BLOKOVÝ DIAGRAM.....	13
6.2	SIGNÁLOVÝ VSTUP.....	13
6.2.1	<i>Simulovaný vstup (Simulator.vi)</i>	14
6.2.2	<i>Signál z měřicí karty</i>	14
6.3	ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU (ZPRACOVANIFAZE.VI).....	16
6.3.1	<i>Kompenzace stejnosměrné složky (DC_kompenzace.vi)</i>	17
6.3.2	<i>Zjištění průchodů nulou základní frekvence signálu (PruchodyNulou.vi)</i>	18
6.3.3	<i>Posun části signálu na počátek v nulové fázi (SpojeniSignalu.vi)</i>	18
6.3.4	<i>Měření efektivních púlperiodových hodnot napětí U_{hp} (Uhp.vi)</i>	19
6.3.5	<i>Zjišťování přítomnosti ustáleného stavu (ZjisteniUstalenehoStavu.vi)</i>	19
6.3.6	<i>Zjišťování průběhu poslední rychlé napěťové změny (RVCH_dhp_hodnoty.vi)</i>	20
6.3.7	<i>Zpracování průběhu poslední rychlé napěťové změny (RVCH_dhp_zpracovani)</i>	21
6.4	ZOBRAZOVÁNÍ A UKLÁDÁNÍ VÝSLEDKŮ VYHODNOCENÍ.....	22
6.4.1	<i>Tvorba datového pole s výsledky vyhodnocení (RVCH_list.vi)</i>	23
6.4.2	<i>Úprava datového pole pro zobrazení (PripravaNaZobrazeni.vi)</i>	23
6.4.3	<i>Ukládání zpracovaných hodnot na disk (ZapisDoSouboru.vi)</i>	24
7	ČELNÍ PANEL MONITOROVACÍ APLIKACE A JEHO OVLÁDÁNÍ.....	25
7.1	OBRAZOVKA S PŘEHLEDEM VSTUPŮ (VSTUP).....	25
7.2	OBRAZOVKA S AKTUÁLNÍM PRŮBĚHEM NAPĚTÍ A POSLEDNÍ PROBĚHLÉ UDÁLOSTI (AKTUÁLNÍ PRŮBĚH).....	26

7.3	OBRAZOVKA S PŘEHLEDEM PROBĚHLÝCH UDÁLOSTÍ (PŘEHLED RVCH)	27
7.4	OBRAZOVKA S NASTAVENÍM BĚHU APLIKACE (NASTAVENÍ).....	27
7.5	UKLÁDÁNÍ DAT NA DISK.....	29
8	BLOKOVÝ DIAGRAM APLIKACE PRO POST-PROCESSING.....	30
8.1	Hlavní blokový diagram.....	30
8.2	Načítání dat z disku (VYCTENÍ DAT.VI).....	30
8.3	Vyhodnocení dat (VYHODNOCENÍ DAT.VI).....	31
8.4	Výpočet četností pro grafické zobrazení, obslužení zobrazení načtených dat a stavové lišty	32
9	ČELNÍ PANEL APLIKACE PRO POST-PROCESSING A JEHO OVLÁDÁNÍ ...	33
9.1	OBRAZOVKA S PŘEHLEDEM NAČTENÝCH RYCHLÝCH NAPĚŤOVÝCH ZMĚN (NAČTENÍ RVCH)	33
9.2	OBRAZOVKA S TABULKAMI ČETNOSTÍ RYCHLÝCH NAPĚŤOVÝCH ZMĚN (HISTOGRAM - TABULKY).....	34
9.3	OBRAZOVKA S GRAFICKÝM ZOBRAZENÍM ČETNOSTÍ (HISTOGRAM – GRAFY).....	35
10	NÁZVY, UMÍSTĚNÍ A STRUKTURA VYTVÁŘENÝCH SOUBORŮ.....	36
10.1	Umístění souborů	36
10.2	Názvy souborů	36
10.3	Formát souborů	36
10.3.1	<i>Popis CSV formátu</i>	<i>36</i>
10.3.2	<i>Struktura vytvářených CSV souborů.....</i>	<i>37</i>
10.4	Prohlížení a editace v tabulkových procesorech	38
10.4.1	<i>Microsoft Excel.....</i>	<i>38</i>
10.4.2	<i>OpenOffice.org Calc.....</i>	<i>39</i>
11	ZÁVĚR.....	40
12	POUŽITÁ LITERATURA	41
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	42

2 Úvod

Zadáním diplomové práce bylo navrhnout monitor rychlých napěťových změn s vyhodnocením dle mezinárodních standardů. Pro vypracování diplomové práce bylo nutné seznámení se s problematikou měření a vyhodnocení rychlých napěťových změn, nastudování platných norem, návrh měřicího řetězce, vytipování vhodného HW, návrh a vývoj SW aplikace měřicího systému a systému pro off-line vyhodnocení, ověření funkčnosti aplikace a zhodnocení použité technologie.

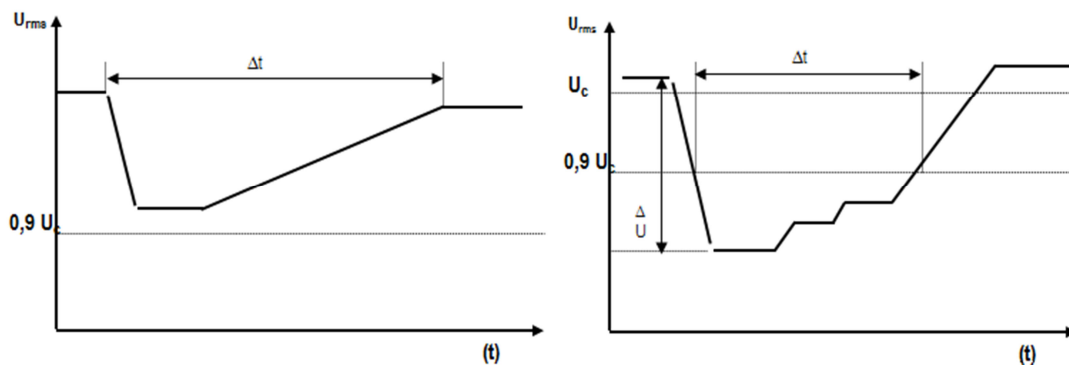
První část této práce definuje a popisuje rychlou napěťovou změnu. Dále provádí rozbor norem a technických textů týkajících se problematiky rychlých napěťových změn. V druhé části je popsán návrh tvorby aplikace pro monitorování a vyhodnocení rychlých napěťových změn. Řeší se zde i použitý hardware a jeho spolupráce s aplikací. V dalších kapitolách jsou postupně probrány vytvořené blokové diagramy a čelní panely nejprve monitorovací aplikace, později aplikace pro post-processing. V předposlední kapitole je popsán způsob tvorby souborů monitorovací aplikací a specifikace použitého formátu. Závěr zhodnocuje dosažené výsledky, popisuje přínos diplomové práce a navrhuje další řešení do budoucna.

Tato práce si klade za cíl vytvořit funkční řešení monitoringu rychlých napěťových změn a jejich vyhodnocení.

3 Definice a popis rychlé napět'ové změny

Nejprve je potřeba uvést samotný pojem rychlá napět'ová změna. Rychlou napět'ovou změnu definuje například ČSN EN 61000-4-30. V kapitole A.4 této normy je rychlá změna napětí vymezena jako „rychlý napět'ový přechod efektivní hodnoty mezi dvěma ustálenými stavy“.

Za rychlou napět'ovou změnu považujeme změnu napětí v pásmu $\pm 10\%$ jmenovitého napětí, což je povolená tolerance napětí v síti. Pro fázové napětí v síti nízkého napětí o jmenovité hodnotě 230 V je tedy vymezeno toleranční pásmo od 207 V do 253 V. Během rychlé napět'ové změny napětí nesmí napětí překročit prahovou hodnotu krátkodobého poklesu napětí a/nebo prahovou hodnotu krátkodobého zvýšení napětí, protože jinak by mohlo být považováno za krátkodobý pokles napětí nebo krátkodobé zvýšení napětí.



Obr. 1: Rozdíl mezi rychlou změnou napětí a krátkodobým poklesem napětí [6]

Společně s jinými typy poruch, rychlé napět'ové změny může způsobovat několik faktorů. Mezi tyto faktory může patřit např.:

- Spínání větších spotřebičů, provoz některých druhů spotřebičů (nejčastější případ)
- Vlivy způsobené nutnými provozními manipulacemi v síti
- Atmosférické vlivy (blesky)
- Působení ochranných a automatizačních prostředků k omezení poruchových stavů na síti

Rychlé napět'ové změny obvykle nemají vliv na spolehlivost řídicích a výpočetních systémů, ale jejich negativním důsledkem je např. jev zvaný flickr. Tento jev se projevuje změnou zrakového vnímání při práci pod umělým osvětlením, např. žárovkou. Tato změna zrakového vnímání je způsobena změnami světelného toku v závislosti na čase vlivem rychlých napět'ových změn. Tento jev působí na člověka rušivě a člověk jej registruje jako probliknutí.

4 Normy a standardy vztahující se k rychlým napět'ovým změnám

Do vydání normy IEC 61000-4-15 Ed.2 byly o vyhodnocení rychlých napět'ových změn v normách a standardech kvality energie jen neucelené zmínky. Mezi normy a standardy zabývající se rychlými napět'ovými změnami patří následující technické texty.

4.1 ČSN EN 61000-4-30

V ČSN EN 61000-4-30 [3] v kapitole 5.1 se vyskytuje požadavek na vyhodnocení rychlých napět'ových změn.

Jak už bylo zmíněno v úvodu, v kapitole A.4 této normy je uvedena definice rychlé změny napětí jako „rychlý napět'ový přechod efektivní hodnoty mezi dvěma ustálenými stavy“. Dále je zde zmíněno, že pro měření rychlých změn napětí se mají definovat prahové hodnoty pro minimální rychlost změny, minimální dobu trvání ustáleného stavu, minimální rozdíl napětí mezi dvěma stavy a stálost ustáleného stavu. Charakteristický parametr rychlé napět'ové změny je rozdíl mezi hodnotou ustáleného stavu dosaženého po změně a počáteční hodnotou ustáleného stavu.

4.2 Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS)

Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS) [5] vytváří jednotlivé energetické subjekty podnikající v distribuci elektrické energie. Jsou schvalovány Energetickým regulačním úřadem a navazují na Pravidla provozování přenosové soustavy.

- stanovují minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k DS
- poskytují komplexní informace bez nutnosti pracovat s mnoha souvisejícími právními, technickými a dalšími podklady
- stanovují základní pravidla, zajišťující spolupráci a koordinaci mezi jednotlivými účastníky trhu s elektřinou

V příloze 3, kapitole 4.2.3 tohoto standardu je z hlediska problematiky podstatná část, která uvádí četnost výskytu rychlých napět'ových změn v distribuční soustavě za běžných provozních podmínek, viz následující tabulka.

Četnost [r/h]	d _{umax} [% U _n]
$r \leq 1$	3
$1 < r \leq 10$	2,5
$10 \leq r \leq 100$	1,5
$100 \leq r \leq 1000$	1

Tab. 1: Četnost výskytu rychlých změn napětí v síti za běžných provozních podmínek

4.3 PNE 33 3430-7

Podnikové normy energetiky (PNE) jsou tvořeny a schvalovány energetickými společnostmi, případně dalšími organizacemi a to i mimo resort elektroenergetiky. Tyto normy primárně řeší problematiku distribuce a přenosu elektrické energie.

Podle PNE 33 3430-7, kapitoly 2.4 (NN charakteristiky) jsou rychlé změny napětí zejména způsobeny změnami zatížení u odběratelů nebo spínáním v síti. Za normálních provozních podmínek v sítích nízkého napětí rychlé změny napětí obecně nepřekračují 5 % U_n , za určitých okolností se však mohou několikrát denně vyskytnout rychlé změny napětí až do 10 % U_n .

Podle kapitoly 3.4 (VN charakteristiky) za normálních podmínek rychlé změny napětí všeobecně nepřekračují 4 % U_c , za určitých okolností se však mohou vyskytnout několikrát denně rychlé změny napětí až do 6 % U_c .

V příloze B – Pokyny pro používání evropské normy EN 50160, kapitole 2.3 Termíny a definice, 1.3.13 je uvedeno: „Charakteristickými parametry je rozdíl mezi ustálenou hodnotou po změně a počáteční ustálenou hodnotou a dále doba trvání přechodu mezi oběma stavy. V tomto smyslu se napětí považuje, že je v ustáleném stavu, jestli-že zůstává v daných mezích alespoň 1 s. Viz IEC 61000-4-30 Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie, článek A.4.“

Obsah kapitoly 3.4 Termíny a definice kopíruje normu ČSN EN 50160. [6]

4.4 ČSN EN 61000-3-3

V ČSN EN 61000-3-3 [4] kap. 3 jsou definovány ΔU_{max} , ΔU_c a minimální délka ustáleného stavu, která činí alespoň 1 sekundu. V kapitole 4.1 je stanoven způsob měření změn napětí $\Delta U(t)$ z půlperiodových efektivních hodnot napětí.

Dále je v této normě zmíněno zjišťování hodnoty $t_{(d(t)>3,3\%)}$, což je doba, po kterou výchylka napětí v průběhu rychlé napěťové změny překročila 3,3 %. Tato doba by neměla překročit 500 ms.

4.5 IEC 61000-4-15 Ed.2

V normě IEC 61000-4-15 Ed.2 [4] je podrobně popsána podmínka ustáleného stavu a způsob měření a vyhodnocení napěťových změn. Základem je vyhodnocení půlperiodových efektivních hodnot napětí U_{hp} mezi dvěma následujícími průchody napětí nulou základního harmonického napětí.

Tato norma sjednocuje a podrobněji specifikuje celou problematiku a byla klíčovým podkladem pro tvorbu monitoru rychlých napěťových změn.

4.5.1 Požadované parametry pro vyhodnocení

Přesné pojmenování vyhodnocovaných parametrů není zcela jednotné napříč všemi normami a ukázalo se, že i v samotné normě IEC 61000-4-15 Ed.2 se pro jeden a ten samý parametr používá na různých místech této normy mírně odlišené pojmenování. V podobných případech je nutné postupovat dle logiky věci a nelpět na přesné terminologii.

Pro vyhodnocení ustáleného stavu a rychlé napěťové změny jsou v normě IEC 61000-4-15 Ed.2 specifikovány tyto parametry:

$U_{hp}(t)$ – Půlperiodová efektivní hodnota napětí	Efektivní hodnota napětí hlavního napájecího napětí, určená půlperiodou mezi za sebou jdoucími průchody nulou základní frekvence určovaného napětí.
$d_{hp}(t)$ - Relativní půlperiodová efektivní hodnota napětí	Půlperiodová efektivní hodnota napětí vyjádřená jako poměr k nominální hodnotě napětí U_n .
d_{c_i} – Změna ustáleného stavu napětí	Hodnota rozdílu mezi dvěma následujícími hodnotami ustáleného stavu, vyjadřováno jako procenta U_n (nominálního napětí). Pokud se napětí snižuje, d_{c_i} hodnota bude kladná. Pokud se napětí zvyšuje, d_c hodnota bude záporná. $d_c = d_{end\ i-1} - d_{start\ i}$
d_{max_i} - Maximální změna napětí v průběhu napěťové změny	Absolutní hodnota maximálního rozdílu mezi posledním ustáleným stavem $d_{end\ i-1}$ a následujících d_{hp} hodnot v průběhu napěťové změny, vyjádřeno jako procenta nominálního napětí U_n . $d_{max_i} = \max(d_{end_i} - d_{hp}(t))$
d_{c_max} - Maximální změna ustáleného stavu napětí v průběhu pozorovaného období (někdy značeno jen jako d_c)	Nejvyšší absolutní hodnota všech d_{c_i} hodnot v průběhu pozorovaného období. $d_c = \max(d_{c_i})$
$d(t)$ - Výchylka napětí	Výchylka napětí aktuálního $d_{hp}(t)$ od předchozího $d_{end\ i-1}$ uvnitř charakteristiky napěťové změny. $d(t) = d_{end_{i-1}} - d_{hp}(t)$
U_c - Střední napětí	Střední napětí, kolem kterého se pohybuje napětí rychlé napěťové změny. Využívaný jen pro specifické typy vyhodnocovacích testů.

Tab. 2: Parametry ustáleného stavu a rychlé napěťové změny pro vyhodnocení

4.5.1 Ustálený stav

Podmínkou ustáleného stavu je, aby každá jednotlivá půlperiodová efektivní hodnota napětí U_{hp} zůstávala uvnitř pásma tolerance $\pm 0,2 \% U_{hp_avg}$, což je pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí vypočítávaná za poslední uběhlou 1 s (odpovídá 100 cyklům 50 Hz nebo 120 cyklům pro 60 Hz základní frekvence). Tato podmínka je v normě také jinak vyjádřena vztahem:

$$d_{hp}(t = t_x) > d_{hp_avg} + 0,002 \quad \text{nebo} \quad d_{hp}(t = t_x) < d_{hp_avg} - 0,002 \quad (1)$$

Kde v tomto vztahu (1) je d_{hp} půlperiodová efektivní hodnota napětí vyjádřená jako poměr k nominální hodnotě napětí U_n a d_{hp_avg} je pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí v poměru k nominální hodnotě napětí U_n , vypočtená z hodnot d_{hp} za poslední 1 s.

Pokud není splněna podmínka výše uvedeného vztahu, není přítomen ustálený stav a předpokládá se událost, která je předmětem vyhodnocení monitoru rychlých napěťových změn. Pokud poté průběh napětí opět začne splňovat podmínku výše uvedeného vztahu, je ustanoven nový ustálený stav a tím i velikost napětí nového ustáleného stavu.

Uvedená podmínka se jeví jako poměrně přísná a je zjevné, že podmínka ustáleného stavu bude na veřejné distribuční síti splněna zřídka. Z praktických důvodů bude proto nutné, aby uživatel měl možnost toto toleranční pásmo rozšířit. Dalším problémem je zmíněné vyhodnocování efektivních napětí po půlperiodách. Tato metoda je vysoce citlivá na stejnosměrnou složku napětí a i relativně malý offset způsobí, že nebude možné určit ustálený stav. Opět z praktických důvodů bude proto nutné, aby uživatel měl možnost účinného potlačení stejnosměrné složky signálu.

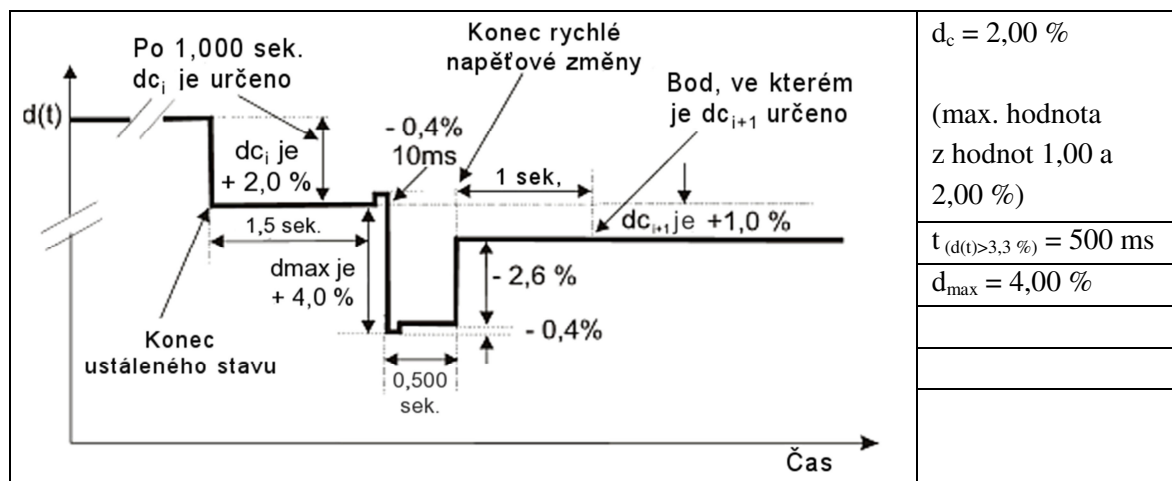
4.6 Příklady vyhodnocení rychlých napěťových změn dle IEC 61000-4-15 Ed.2

V normě IEC 61000-4-15 Ed.2 jsou uvedeny dva názorné příklady správného vyhodnocení průběhu rychlé napěťové změny. Jsou určovány parametry d_c , d_{max} , dc_{max} a je i určován parametr $t_{(d(t)>3,3 \%)}$, který je převzat z normy ČSN EN 61000-3-3.

4.6.1 Popis vyhodnocení testovacího obrazce č. 1

Nejprve je ukončen ustálený stav poklesem napětí o 2 % a tento stav trvá 1,5 s. Tím pádem je po jedné sekundě stanoven nový ustálený stav ($d_{ci} = +2,0 \%$).

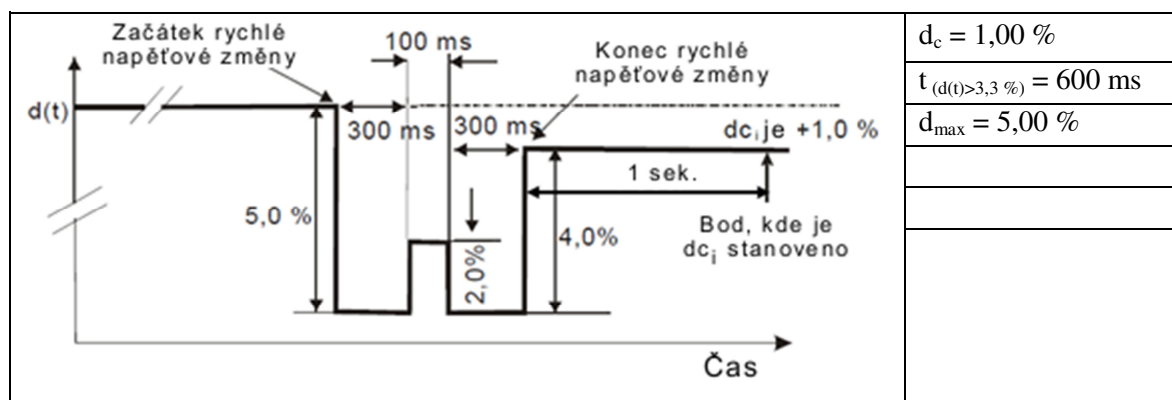
Po 1,5 s nastane zvýšení napětí o 0,4 % (-0,4 %) a po 10 ms pokles o 4,4 % ($d_{\max} = +4\%$, vztaženo k poslednímu ustálenému stavu). Stav trvá 10 ms, po kterých dojde k mírnému zvýšení napětí o 0,4 s. Během této doby došlo k poklesu napětí o více než 3,3 %. Po 0,49 s nastane zvýšení napětí o 2,6 % (-2,6 %) a na této úrovni zůstane až do konce testovacího obrazce. Tento stav trvá déle než 1 s a proto je stanoven nový ustálený stav (tím pádem i hodnota $d_{c\ i+1} = +1,0\%$).



Obr. 2: Příklad vyhodnocení testovacího obrazce č. 1 [4]

4.6.2 Popis vyhodnocení testovacího obrazce č. 2

Na konci ustáleného stavu nastává pokles napětí o 5 % a tím nastává rychlá napěťová změna. Současně nastává změna napětí oproti počátečnímu ustálenému stavu o více než 3,3 %. Po 300 ms dojde ke zvýšení napětí o 2,0 %, které trvá 100 ms. Tím dojde k ukončení stavu, kdy byla změna napětí větší než 3,3 % oproti počátečnímu stavu. Pak nastane pokles o 2 % a opět nastává napěťová změna větší než 3,3 %. V poslední části rychlé napěťové změny dojde ke zvýšení napětí o 4 % a tento stav trvá déle než 1 s. Tím je vymezen nový ustálený stav a hodnota parametru $d_{c\ i} = +1,00\%$.



Obr. 3: Příklad vyhodnocení testovacího obrazce č. 2 [4]

5 Návrh monitorovacího a vyhodnocovacího systému

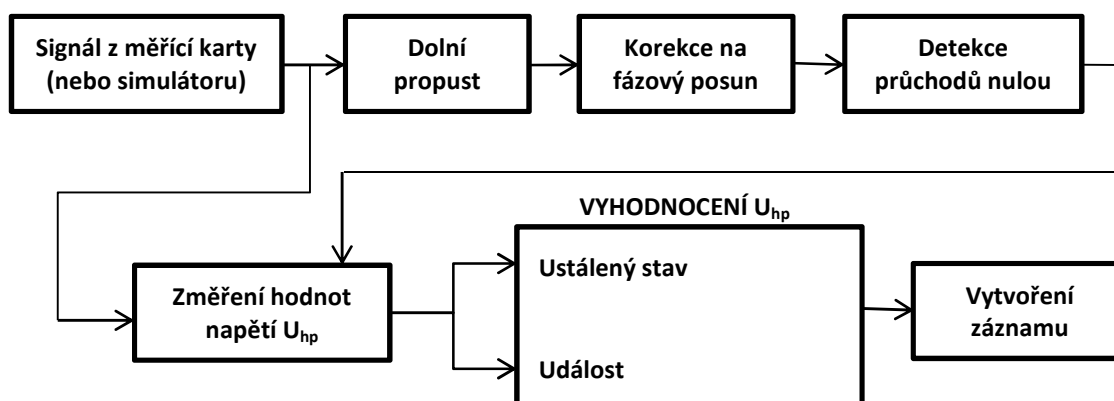
5.1 Aplikace pro monitoring

Monitorovací aplikace má za úkol sbírat data o průběhu napětí na síti, korektně je vyhodnocovat a následná vyhodnocená data ukládat pro pozdější zpracování. V monitorovací aplikaci není nutné zpracovávat detailní statistiky rychlých napěťových změn, ty budou předmětem až následného post-processingu. Předpokládá se nezávislé paralelní zpracování všech tří fází současně.

Na začátku systému se nachází zdroj vyhodnocovaného signálu. Ten bude získáván z měřicí karty zapojené do analyzované sítě. Jako zdroj signálu pro vyhodnocení hodnot napětí U_{hp} a rychlých napěťových změn bude možné využít i naprogramovaný simulátor. Simulátor je potřebný zejména pro vývojovou fázi projektu, ale bude ponechán i v hotovém projektu pro testovací účely.

Hodnota U_{hp} je definována jako efektivní půlperiodová hodnota napětí mezi dvěma po sobě jdoucími průchody nulou základní harmonické frekvence. Pokud chceme jednotlivé U_{hp} měřit, nejprve musíme korektně rozpoznat průchody nulou základní harmonické složky signálu. Základní harmonickou složku signálu získáme použitím filtru typu dolní propust. Po použití filtru je nutné provést korekce na fázový posun.

Změřené U_{hp} hodnoty se vyhodnocují. Pokud je splněna podmínka ustáleného stavu uvedená v kapitole 4.5.1, monitor rychlých napěťových změn žádné vyhodnocení neprovádí. Jakmile tato podmínka dodržena není, nastává událost, která je předmětem vyhodnocení. Událost je vyhodnocena, a pokud se jedná o rychlou napěťovou změnu, jsou její parametry zaznamenány pro dodatečný post-processing.



Obr. 4: Diagram způsobu vyhodnocení efektivních půlperiodových hodnot napětí

Pro přehlednost budou v monitoru rychlých napěťových změn určované parametry d_c a d_{max} uvedeny jako d_c a d_{max} . Parametr d_{c_max} bude možné zjistit z výsledku následného post-processingu. Parametr U_c počítán nebude, protože se používá jen pro specifické druhy vyhodnocení. Naopak bude počítán parametr $t_{(d(t)>3,3\%)}$, který je převzatý z normy ČSN EN 61000-3-3, tak jak byl použit při vyhodnocení zkušebních obrazců v normě IEC 61000-4-15 Ed.2.

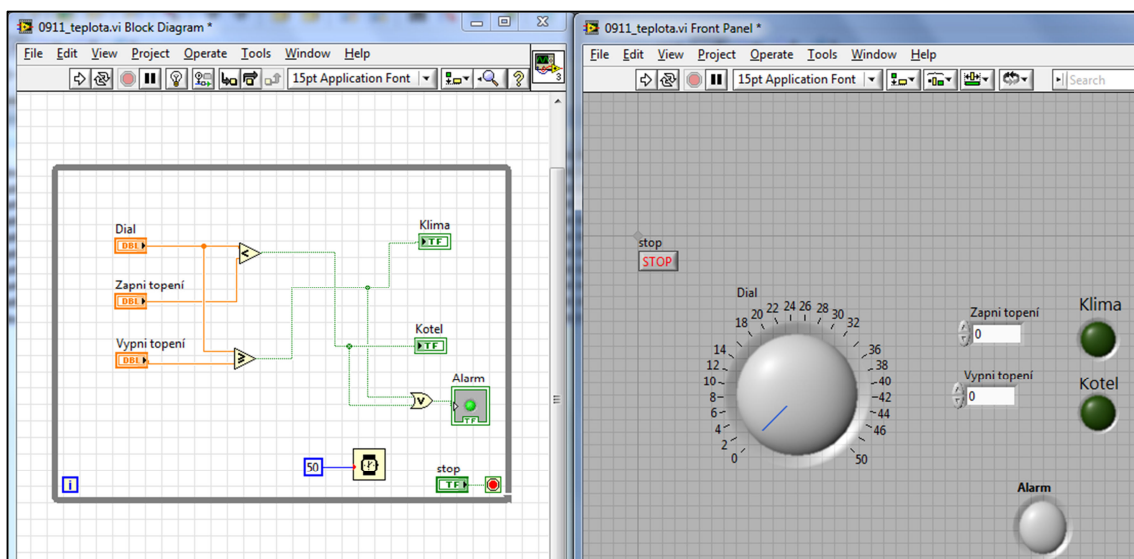
5.2 Post-processing (off-line vyhodnocení)

Post-processing má za úkol po skončení měření načíst zaznamenaná data ze souborů a tyto data statisticky nebo i graficky zpracovat. Tato část je nezávislá na monitorovací části a umožňuje naměřená data zhodnotit a určit, zda počet a průběh rychlých napěťových změn je v námi požadované toleranci, případně v toleranci dané souvisejícími předpisy.

Data by měla být uložena ve formátu, který nebude vázaný jen na vytvořenou aplikaci. Vítané je použití libovolného standardního formátu, který bude vhodný k záznamu naměřených parametrů, nebo charakteristik.

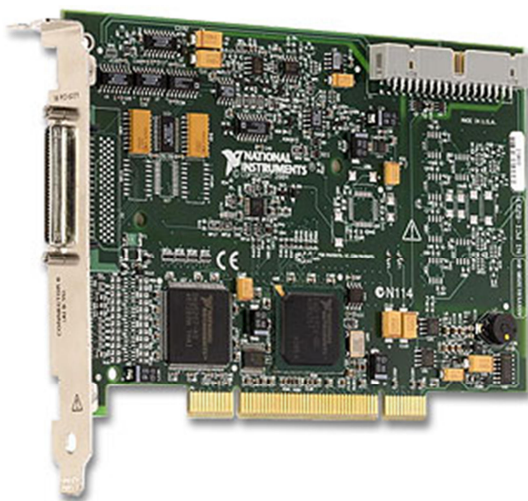
5.3 Výběr vývojového prostředí a měřicího hardware

Pro vývoj aplikace na vyhodnocování rychlých napěťových změn a následný post-processing, bylo zvoleno vývojové prostředí LabVIEW 2010 od společnosti National Instruments. LabVIEW je software pro řízení experimentů, sběr dat z měřicích karet, kamer atd. a zpracování těchto dat v reálném čase. Programovací prostředí LabVIEW je grafické a je vhodné k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti.



Obr. 5: Ilustrační obrázek vytvořeného programu v prostředí LabVIEW

Vytvořená aplikace v tomto prostředí představuje virtuální přístroj (Virtual Instrument – zkráceně VI), který se dělí na čelní panel zobrazovaný uživateli (Front Panel) a vlastní graficky vytvořený program (Block Diagram). Jednotlivé části programu se mohou dělit na menší části a tvořit tak jednotlivá SubVI. Tento postup zpřehledňuje vytvořený projekt a dovoluje komfortněji zacházet s programem.



Obr. 6: Měřicí karta National Instruments PCI-6221 [9]

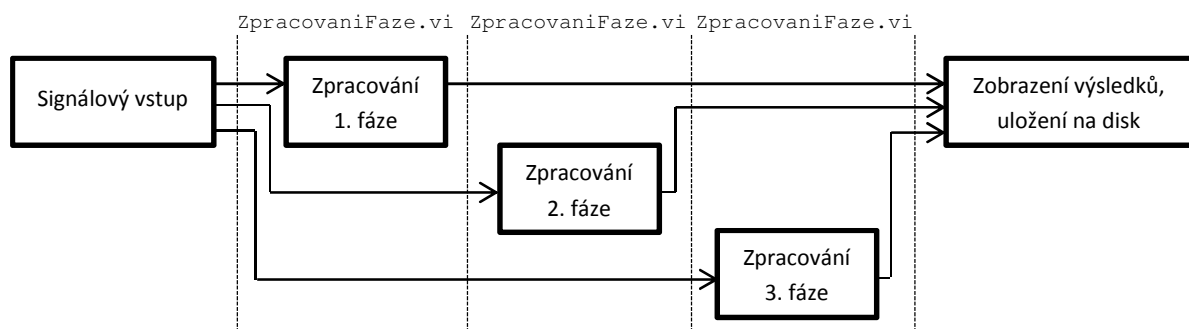
Hardware pro sběr dat se bude patrně lišit ve vývojové fázi projektu a ve fázi nasazení do praxe a proto by měl být vytvořený software snadno přestavitelný. Funkčnost vyhodnocování bude testována na měřicí kartě National Instruments PCI-6221, která je dostupná na školní učebně. Tato měřicí karta disponuje 16 analogovými vstupy s 16 bitovým rozlišením a maximální vzorkovací frekvencí 250 kS/s. Maximální napěťový rozsah analogových vstupů je ± 10 V. Karta bude napojena na generátor signálu. V případě napojení do rozvodné sítě by bylo nutné využít vhodné přizpůsobovací obvody, které provedou galvanické oddělení a přizpůsobení napěťových úrovní.

6 Blokový diagram monitorovací aplikace

6.1 Hlavní blokový diagram

Hlavní blokový diagram běží v nekonečné smyčce while, uvnitř které je umístěna sekvence, která postupně spouští jednotlivá SubVI. Sekvence je použita z toho důvodu, aby nenastávala kolize při současném volání SubVI bloků, které vyhodnocují signál na jednotlivých fázích. Časový interval spouštění smyčky je dán délkou čtení vstupů, v případě simulovaného vstupu je interval spouštění konstantní hodnota. Délka časového okna je zvolena $T_w = 0,2$ s. Při doporučené minimální vzorkovací frekvenci 9,6 kHz odpovídá toto časové okno 1920 vyčteným vzorkům.

V první části sekvence se načítá analyzovaný úsek signálu načtený z analogových vstupů měřicí karty nebo simulátoru. V dalších částech probíhá zpracování postupně první až třetí fáze signálu a v poslední části probíhá zobrazování zjištěných výsledků a jejich ukládání na disk.



Obr. 7: Způsob zapojení bloků v nekonečné smyčce while hlavního blokového diagramu

6.2 Signálový vstup

Vstup je řešen jako přepínatelný mezi simulátorem a vstupem z měřicí karty. V obou případech získáváme zpracovávaný úsek signálu v datovém typu waveform o délce 200 ms a deseti periodách pro 50 Hz signál. Waveform je datový typ, jehož základem je 1D datové pole vzorků, počáteční čas prvního vzorku t_0 a časový rozestup mezi vzorky d_t . Jako počáteční čas t_0 se vkládá v případě simulovaného vstupu aktuální systémový čas.

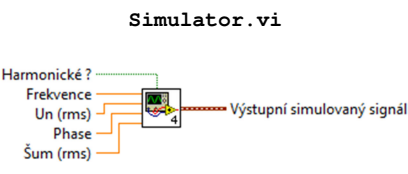
Monitorovací program by si měl poradit s libovolnou vzorkovací frekvencí v obvyklém rozsahu pro tuto aplikaci. Perioda vzorkování signálu měřicí kartou a simulovaného vstupu byla zvolena 9,6 kHz, což je i minimální doporučená vzorkovací frekvence. V tomto případě se signál zpracovává po úsecích 1920 vzorků. Jedna perioda v tomto případě odpovídá 192 vzorkům, půlperioda pak 96 vzorkům.

Každý úsek signálu se dále v dalších krocích rozděluje na menší úseky podle průchodů signálu nulou. Místo průchodu nulou je označeno celočíselně a odpovídá číslu indexu v 1D datovém poli vzorků waveform proměnné signálu, tudíž průchod nulou je označen s určitou nepřesností. Experimentálně bylo ověřeno, že rozdíl ± 1 vzorku v blízkosti průchodu signálu nulou způsobuje při této vzorkovací frekvenci chybu změřeného U_{hp} přibližně 0,7 V, což se může projevit jako zvlnění průběhu změřeného napětí. Tato přesnost se při ověřování funkčnosti ukázala jako dostatečná.

Tento jev lze omezit zvýšením vzorkovací frekvence měřící karty. Bylo experimentováno i s vnitřní interpolací signálu na vyšší vzorkovací frekvenci. Tato metoda se ukázala jako funkční, ale výpočet neúměrně zatěžoval výpočetní výkon počítače a hrozila situace, kdy počítač nebude stíhat v reálném čase zpracovávat dodávaný signál.

6.2.1 Simulovaný vstup (Simulator.vi)

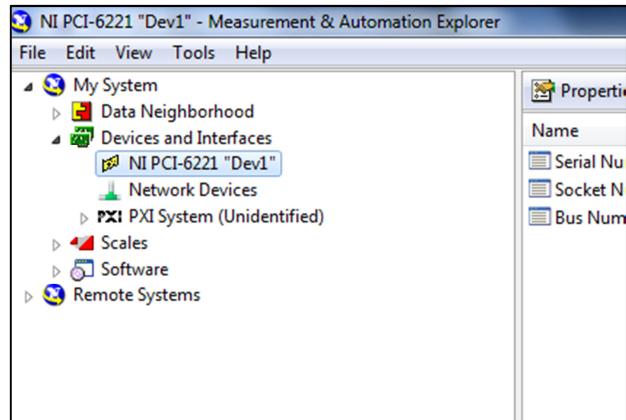
Simulovaný vstup je realizován vytvořeným SubVI blokem Simulator.vi. Tento blok generuje signál podobný reálnému signálu z měřící karty. Blok umožňuje nastavit u generovaného signálu napětí, frekvenci, fázi a velikost přidaného šumu. Rovněž je možné do signálu přidat vyšší harmonické složky. Výstup ze simulátoru je vyveden jen na jednu z fází dle volby uživatele.

	Vstupy	Výstupy
	<p>Harmonické? – Přičtení dalších harmonických kmitočtů (true/false)</p> <p>Frekvence – Frekvence základní harmonické složky generovaného signálu</p> <p>Un (rms) – Efektivní hodnota napětí základní složky generovaného signálu</p> <p>Fáze – Fáze generovaného signálu</p> <p>Šum (rms) – Efektivní hodnota napětí přičítaného k signálu ve formě Gaussovského šumu</p>	<p>Výstupní simulovaný signál – Výstupní generovaný signál v datovém typu Waveform</p> <p>(9,6 kHz/1920 vzorků)</p>

Tab. 3: Vstupy a výstupy SubVI bloku Simulator.vi

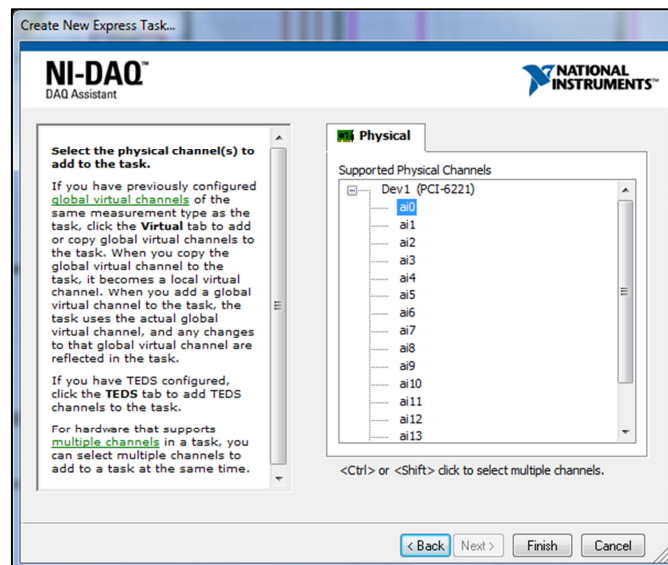
6.2.2 Signál z měřící karty

Předpokladem pro použití měřící karty je kompatibilita s prostředím společnosti National Instruments. Správně načtená měřící karta by se po instalaci potřebných driverů měla objevit v seznamu zařízení Measurement & Automation Exploreru, což je dodávaný software pro správu těchto zařízení. Jedině takto přidaná měřící karta bude viditelná a použitelná v použitém vývojovém prostředí LabVIEW.



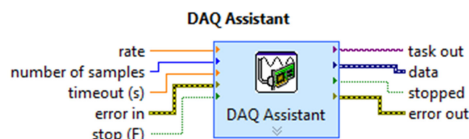
Obr. 8: Správně načtená měřicí karta v NI Measurement & Automation Exploreru

Signál z měřicí karty je vyčítán Express funkcí s názvem DAQ Assistant. Express funkce ve vývojovém prostředí LabVIEW při vložení spuštění spustí průvodce (wizard), prostřednictvím kterého umožňují nakonfigurovat všechny potřebné parametry k nastavení vstupu. DAQ Assistant umožňuje vyčítat několik kanálů současně a umožňuje i přepočít hodnot dle vzorce. V našem případě je využíváno čtení prvních třech analogových kanálů a lineární přepočít signálu do námi požadovaných mezí.



Obr. 9: Průvodce (wizard) Express funkce DAQ Assistant

Po zadání všech potřebných údajů vyžadovaných průvodcem jako například výběr měřicí karty, kanálů, vzorkovací frekvence (zvoleno 9,6 kHz), počet načtených vzorků (zvoleno 1920) apod., proběhne sestavení, které vytvoří blok dle našich požadavků. Tento blok vyžaduje minimum dalších pomocných bloků a získáváme tak okamžitě výstup navzorkovaných signálů z měřicí karty. Ze vstupů a výstupů tohoto bloku využíváme pouze vstup stop pro ukončení vzorkování a výstup data, který obsahuje navzorkované signály jednotlivých fází.



Obr. 10: Vytvořený blok DAQ Assistant

Výhodou Express funkcí obecně je vyšší rychlost tvorby kódu, nevýhodou je často vyšší náročnost na výpočetní výkon.

6.3 Zpracování signálu (ZpracovaniFaze.vi)

Nejdůležitější částí monitoru rychlých napěťových změn je zpracování a vyhodnocování signálu. Zpracovávání signálu je v sekvenci umístěno za částí, která čte vstupy měřicí karty. Zpracovávání jednotlivých fází probíhá sekvenčně, aby vzájemně nekolidovali současně volané SubVI procedury. Nejprve se zpracovává první fáze, následně druhá a jako poslední třetí fáze. Způsob zpracování všech tří fází je identický a na sobě nezávislý.

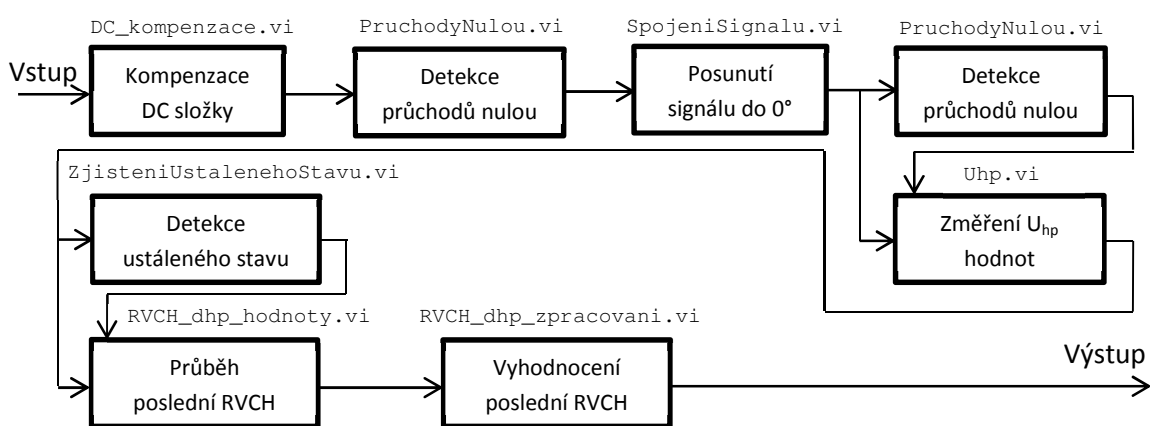
ZpracovaniFaze.vi	
Vstupy	Výstupy
<p>Vstupní signál – Vstup zpracovávaného signálu (waveform)</p> <p>Kompenzace DC složky – Požadavek na kompenzaci stejnosměrné složky signálu (true/false)</p> <p>Toleranční pásmo (def. 0,002) – Velikost tol. pásma ($d_{hp_avg} \pm$ velikost tol. pásma), dle normy požadováno max. $\pm 0,002 d_{hp_avg}$ (odpovídá $\pm 0,2 \% U_{hp_avg}$)</p> <p>Nominální napětí Un – Velikost nominálního napětí</p> <p>Maximální délka RVCH [ms] – Maximální délka rychlé napěťové změny, delší rychlá napěťová změna nebude vyhodnocována</p>	<p>Charakteristika poslední RVCH – Průběh poslední rychlé napěťové změny (cluster)</p> <p>Uhp_avg - Pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí vypočítávaná za poslední uběhlou 1 s</p> <p>dhp_avg – Poměr pohyblivé průměrné efektivní hodnoty napětí vypočítávané za poslední uběhlou 1 s k nominálnímu napětí Un</p> <p>Ustálený stav? – Přítomnost ustáleného stavu (true/false)</p> <p>Signal OK – Přítomnost signálu vhodného pro zpracování</p> <p>Parametry poslední RVCH - Zjištěné parametry poslední rychlé napěťové změny (cluster)</p>

Tab. 4: Vstupy a výstupy SubVI bloku ZpracovaniFaze.vi

Signál uvnitř tohoto vytvořeného SubVi bloku nejprve prochází kompenzací stejnosměrné složky signálu (DC_kompenzace.vi), dále vstupuje do bloku zjišťující průchody signálu nulou základní frekvence (PruchodyNulou.vi) a získanou informaci využívá blok SpojeniSignalu.vi, který zpracováváný úsek signálu posouvá do nulové fáze pro lepší zpracovatelnost. Signál posunutý do nulové fáze opět prochází blokem PruchodyNulou.vi a získanou informaci tentokrát dostává blok

U_{hp}.vi, zjišťující velikosti napětí jednotlivých půlperiod. Výstupem je pro 50 Hz signál 20 U_{hp} hodnot pro každých deset period. Výstupem je rovněž pole časových údajů, které se vztahují ke každé U_{hp} hodnotě. Časový údaj je vztažen k průchodu nulou.

Pole U_{hp} hodnot pak vstupuje do bloků, které jejich velikost vyhodnocuje. První z těchto bloků testuje přítomnost ustáleného stavu napětí (ZjisteniUstalenehoStavu.vi). Této informace pak využívají dva na sobě závislé bloky, které pracují už s případnou rychlou napěťovou změnou. První z těchto dvou bloků si uchovává průběh napětí poslední napěťové změny a jeho výstupem je pole těchto hodnot (RVCH_dhp_hodnoty.vi). Druhý blok má za úkol tuto napěťovou změnu analyzovat a zjistit požadované parametry (RVCH_dhp_zpracovani). Výstup z poslední jmenované funkce je i hlavním výstupem samotného bloku ZpracovaniFaze.vi.

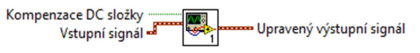


Obr. 11: Zapojení SubVI bloků v bloku zpracovávající signál ZpracovaniFaze.vi

6.3.1 Kompenzace stejnosměrné složky (DC_kompensace.vi)

Tento jednoduchý blok v případě požadavku na jeho vstupu kompenzuje stejnosměrnou složku signálu. Blok počítá průměrnou hodnotu stejnosměrné složky za 10 po sobě jdoucích částech zpracovávaného signálu a tuto hodnotu pak odečítá od vstupujícího signálu. Počítáním průměrné stejnosměrné složky za 10 po sobě jdoucích částech zpracovávaného signálu se odstraní nepřesnost, která vznikala výpočtem stejnosměrné složky z jen jediné části signálu.

Takto navržená kompenzace stejnosměrné složky se experimentálně ukázala jako účinná a úspěšně korigovala průběh signálu tak, že při čistě sinusovém průběhu a ofsetu byl hlášen správně ustálený stav.

DC_kompensace.vi	Vstupy	Výstupy
	Kompenzace DC složky - Požadavek na kompenzaci DC složky (true/false) Vstupní signál - Vstupní signál pro úpravu	Upravený výstupní signál

Tab. 5: Vstupy a výstupy SubVI bloku DC_kompensace.vi

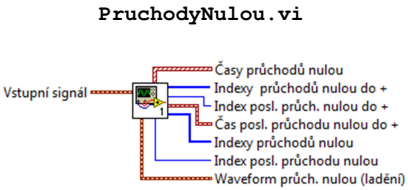
6.3.2 Zjištění průchodů nulou základní frekvence signálu (PruchodyNulou.vi)

Tento blok detekuje průchody nulou vstupního signálu. Používanými výstupy bloku jsou indexy v poli vzorků s průchody nulou a index posledního průchodu nulou do kladného směru.

Pro správnou analýzu je potřeba signál nejprve nutné vyfiltrovat od vyšších harmonických signálů a nežádoucího šumu, jinak by například v krátkém časovém okamžiku mohlo dojít k několikanásobnému průchodu nulou. Vstupní signál můžeme pouštět přes dolnoproustný filtr, ale negativním důsledkem filtrace je, že vyfiltrovaný signál by byl fázově zpožděn a zpoždění by se muselo kompenzovat. Proto využíváme bloku dostupného v prostředí LabVIEW s názvem Harmonic Distortion Alalyser.vi, který nám umožňuje získat fázově nezpožděný signál základní harmonické frekvence přímo.

Další částí bloku je samotné vyhodnocení průchodů nulou, které probíhá bod po bodu ve smyčce For a realizovanou funkcí Zero Crossing PtByPt. Tato funkce porovnává aktuálně porovnávaný prvek pole s předchozím prvkem pole, a pokud došlo ke změně polarity, je detekován průchod nulou. Z výstupu této funkce je vytvořeno pole hodnot o délce vstupního signálu, kde - 1 znamená průchod do záporného směru, + 1 průchod do kladného směru a zbytek hodnot je rovno nule.

Poslední částí bloku jsou vyhledávací funkce, které hledají v poli hodnoty - 1, případně + 1. Tím dostaneme časy anebo indexy v poli, které odpovídají průchodům nulou v původním signálu.

	Vstupy	Výstupy
 <p>PruchodyNulou.vi</p> <p>Vstupní signál</p> <p>Časy průchodů nulou Indexy průchodů nulou do + Index posl. průch. nulou do + Čas posl. průchodu nulou do + Indexy průchodů nulou Index posl. průchodu nulou Waveform průch. nulou (ladění)</p>	<p>Vstupní signál - Vstupní signál pro detekci průchodů nulou</p>	<p>Časy průchodů nulou - 1D pole časových údajů o průchodech nulou Indexy průchodů nulou do + - Indexy průchodů do kladného směru, 1D pole Index posl. průch. signálu do + - do kladného směru) Čas posl. průchodu nulou Indexy průchodů nulou (1D pole) Index posl. průchodu nulou Waveform průch. nulou (ladění) – Waveform signál zobrazující průchody nulou, pro ladící účely</p>

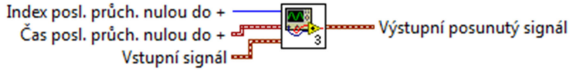
Tab. 6: Vstupy a výstupy SubVI bloku PruchodyNulou.vi

6.3.3 Posun části signálu na počátek v nulové fázi (SpojeniSignalu.vi)

Tento blok na základě posledního detekovaného průchodu nulou posouvá vstupní signál na počátek v nule, aby jej šlo snadněji analyzovat.

Funkce tohoto bloku je založena na tom principu, že je část signálu od indexu posledního průchodu nulou odmazána, uchována do paměti a v dalším kroku přičtena na začátek další porce

signálu. Obdobně je ošetřena časová složka datového typu waveform. Výsledkem postupu tedy je signál posunutý na počátek v nule.


SpojeniSignalu.vi	Vstupy	Výstupy
	Index posl. průch. nulou do + Čas posl. průch. nulou do + Vstupní signál	Výstupní posunutý signál

Tab. 7: Vstupy a výstupy SubVI bloku SpojeniSignalu.vi

6.3.4 Měření efektivních púlperiodových hodnot napětí U_{hp} (Uhp.vi)

K měření efektivních púlperiodových hodnot napětí U_{hp} využívá blok Uhp.vi informace o průchodech nulou. Indexy signálu, kdy prošlo k průchodu nulou, jsou uloženy v datovém poli přivedeném na vstup. Předpokládá se vstup části signálu, který začíná a končí posunutý do nulové fáze, proto do tohoto pole indexů je na začátek a na konec doplněna informace o průchodu nulou. Pokud na začátku nebo konci signálu již nula byla detekována, tato informace o průchodu je nejdříve odstraněna. Na první pozici takto vytvořeného pole se vloží hodnota indexu 0 a na poslední pozici se vloží číslo posledního indexu signálu. Tak je vstupní signál rozdělen na části po púlperiodách, na kterých je měřena efektivní hodnota napětí. Pro signál o deseti periodách získáme dvacet úseků po púlperiodě a tomu odpovídajících dvacet U_{hp} hodnot.

Výstupem je rovněž pole časových hodnot o průchodech nulou. Tento údaj v podstatě kopíruje vstupní pole s časovými údaji o průchodech nulou, do kterého je nakonec přidán časový údaj poslední U_{hp} hodnoty vypočítaný z délky pole a časového rozestupu mezi vzorky.

Uhp.vi	Vstupy	Výstupy
	Vstupní signál - Vstupní signál, ze kterého se provádí výpočet U_{hp} hodnot Indexy průchodů nulou Časy průchodů nulou	Uhp pole hodnot – 1D pole hodnot změřených U_{hp} napětí Časy Uhp hodnot napětí – 1D pole obsahující časy vztahující se k jednotlivým U_{hp} hodnotám

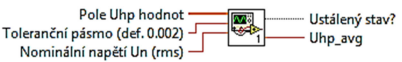
Tab. 8: Vstupy a výstupy SubVI bloku Uhp.vi

6.3.5 Zjišťování přítomnosti ustáleného stavu (ZjisteniUstalenehoStavu.vi)

Ustálený stav je dle IEC 61000-4-15 Ed.2 přítomen, pokud jsou vstupní U_{hp} hodnoty uvnitř tolerančního pásma $\pm 0,2\% U_{hp_avg}$, což je pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí vypočítávaná za poslední uběhlou 1 s. Podmínka ustáleného stavu je uvedena v kapitole 4.5.1.

Tento blok podmínku pro ustálený stav vyhodnocuje tím způsobem, že nové hodnoty U_{hp} vkládá do pole o délce 1 s. Z tohoto pole se počítá pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí

U_{hp_avg} a současně se velikost této hodnoty porovnává s novými hodnotami U_{hp} . Výstupem bloku je logická hodnota true nebo false, podle toho, zda je ustálený stav přítomen. Výstupem je rovněž pohyblivá průměrná hodnota napětí U_{hp_avg} počítaná z efektivních půlperiodových hodnot napětí U_{hp} za poslední sekundu. Velikost tolerančního pásma je v normě sice specifikována, ale lze ji z praktických důvodů pomocí přivedené hodnoty na vstup tohoto bloku měnit.

	Vstupy	Výstupy
<p>ZjisteniUstalenehoStavu.vi</p> 	<p>Pole Uhp hodnot – Vstupní pole U_{hp} hodnot</p> <p>Toleranční pásmo (def. 0,002) – Velikost tolerančního pásma ($d_{hp_avg} \pm$ velikost tol. pásma), dle normy požadováno max. $\pm 0,002 d_{hp_avg}$ (odpovídá $\pm 0,2 \% U_{hp_avg}$)</p> <p>Nominální napětí U_n – Velikost nominálního napětí</p>	<p>Ustálený stav? – Vrací true, pokud je přítomen ustálený stav. Jinak vrací hodnotu false.</p> <p>U_{hp_avg} – Pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí vypočítávaná za poslední uběhlou 1 s</p>

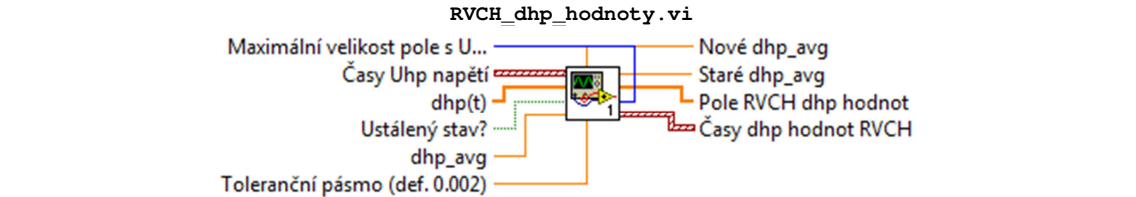
Tab. 9: Vstupy a výstupy SubVI bloku ZjisteniUstalenehoStavu.vi

6.3.6 Zjišťování průběhu poslední rychlé napěťové změny (RVCH_dhp_hodnoty.vi)

Tento blok na základě informace o přítomnosti ustáleného stavu vytváří výstupní pole napěťového průběhu poslední rychlé napěťové změny a pole časů jednotlivých d_{hp} hodnot z poslední rychlé napěťové změny.

Pokud není dodržena podmínka ustáleného stavu napětí, začnou se ukládat hodnoty napětí d_{hp} do pole. Záznam hodnot do pole trvá do té doby, pokud není podmínka ustáleného stavu obnovena. Po obnovení ustáleného stavu zůstávají na konci pole nadbytečné hodnoty, které již nejsou součástí rychlé napěťové změny. Tyto hodnoty jsou po obnovení ustáleného stavu vymazány.

Výstupem bloku je rovněž pohyblivá sekundová průměrná hodnota napětí d_{hp_avg} před rychlou napěťovou změnou a po skončení rychlé napěťové změny.

<p>RVCH_dhp_hodnoty.vi</p> 	
Vstupy	Výstupy
<p>Maximální velikost pole s Uhp hodnotami – Udává, jaké</p>	<p>Nové d_{hp_avg} – Hodnota d_{hp_avg} před rychlou</p>

<p>maximální velikosti může pole s U_{hp} hodnotami dosáhnout. To také znamená, jaké maximální délky může dosáhnout zaznamenaná rychlá napěťová změna.</p> <p>Časy U_{hp} napětí – Pole časových hodnot, které odpovídají jednotlivým U_{hp} hodnotám</p> <p>$d_{hp}(t)$ – 1D pole efektivních půlperiodových hodnot napětí, vyjádřených v poměru k nominálnímu napětí U_n</p> <p>Ustálený stav? – Informace o tom, zda je přítomen ustálený stav (true/false)</p> <p>d_{hp_avg} – Poměr pohyblivé průměrné efektivní hodnoty napětí vypočítávané za poslední uběhlou 1 s k nominálnímu napětí U_n</p> <p>Toleranční pásmo (def. 0,002) – Velikost tol. pásma ($d_{hp_avg} \pm$ velikost tol. pásma), dle normy požadováno max. $\pm 0,002 d_{hp_avg}$ (odpovídá $\pm 0,2 \% U_{hp_avg}$)</p>	<p>napěťovou změnou</p> <p>Staré d_{hp_avg} – Hodnota d_{hp_avg} po rychlé napěťové změně</p> <p>Pole RVCH d_{hp} hodnot – 1D pole d_{hp} hodnot poslední rychlé napěťové změny</p> <p>Časy d_{hp} hodnot RVCH – 1D pole časových hodnot odpovídající d_{hp} hodnotám poslední rychlé napěťové změny</p>
--	---

Tab. 10: Vstupy a výstupy SubVI bloku RVCH_dhp_hodnoty.vi

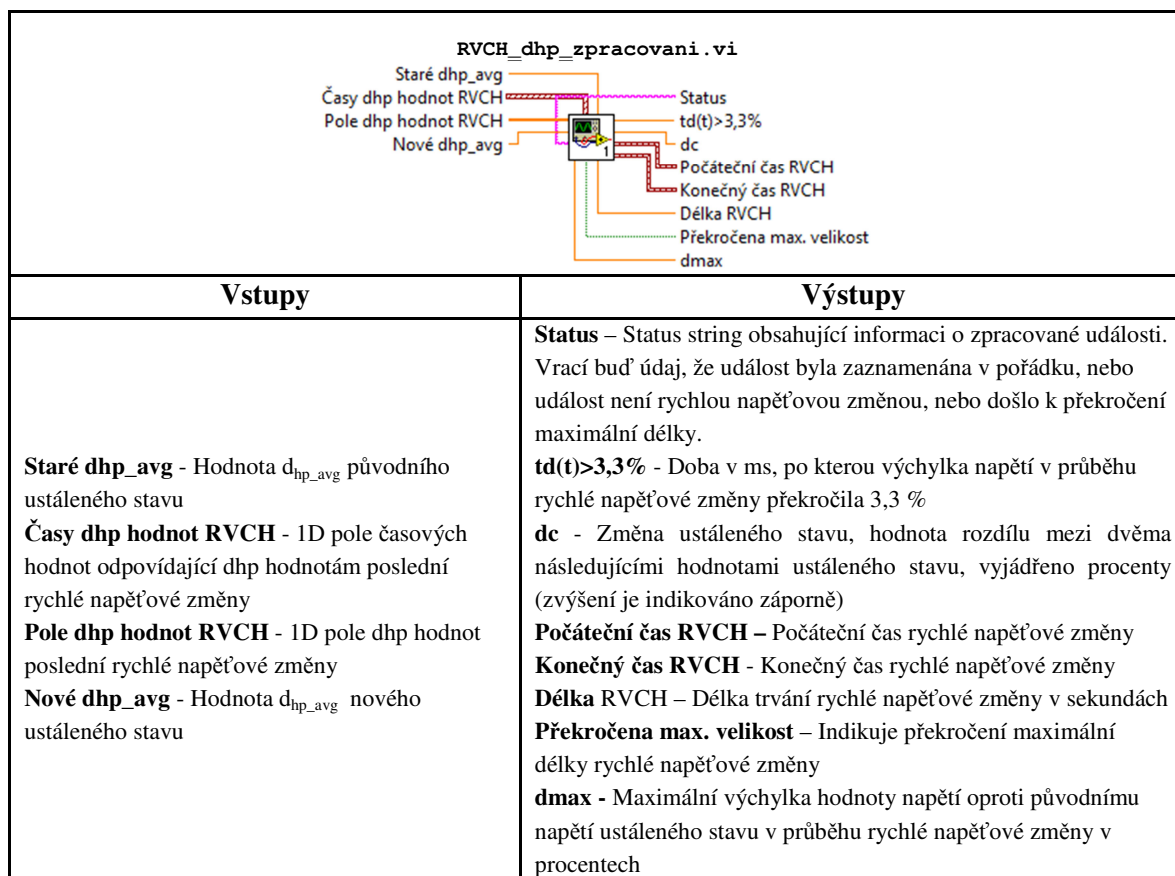
Výstupní 1D pole d_{hp} hodnot poslední rychlé napěťové změny a výstupní 1D pole s časovými hodnotami d_{hp} hodnot je použito pro tvorbu clusteru s průběhem poslední rychlé napěťové změny, který je vyveden na výstup nadřazeného SubVI bloku ZpracovaniFaze.vi.

6.3.7 Zpracování průběhu poslední rychlé napěťové změny (RVCH_dhp_zpracovani)

Tento blok vyhodnocuje parametry poslední události podle návrhu monitorovací části v kapitole 5.1. Mezi tyto parametry patří doba, po kterou během napěťové změny nastal pokles nebo zvýšení napětí o 3,3 % ($t_{(d(t)>3,3 \%}$), rozdíl mezi po sobě jdoucími hodnotami ustáleného stavu (d_c), počáteční čas rychlé napěťové změny, konečný čas rychlé napěťové změny, délka rychlé napěťové změny a maximální výchylka napětí během rychlé napěťové změny (d_{max}).

Parametr d_c je zjišťován rozdílem velikostí dvou po sobě jdoucích ustálených stavů, parametr d_{max} maximální hodnotou výchylky oproti původnímu ustálenému stavu a $t_{(d(t)>3,3 \%}$ je vypočítáván počtem hodnot přesahující výchylku 3,3 % vynásobených časovým rozestupem mezi těmi hodnotami. Počáteční čas rychlé napěťové změny je určen časovým údajem první hodnoty, konečný čas je určen časovým údajem poslední hodnoty. Délka trvání rychlé napěťové změny je rozdíl těchto hodnot.

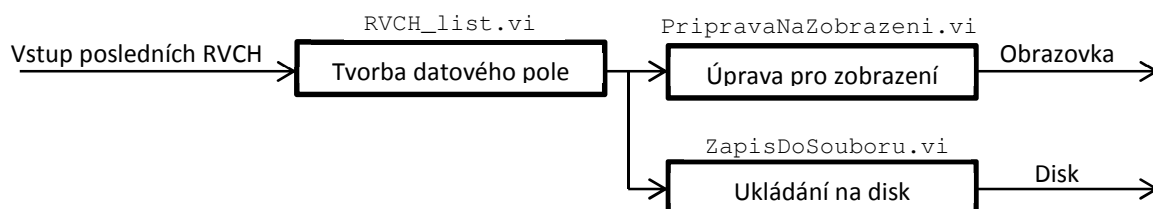
Výstupní údaje z tohoto bloku jsou použity pro tvorbu clusteru s parametry poslední rychlé napěťové změny, který je vyveden na výstup nadřazeného SubVI bloku ZpracovaniFaze.vi.



Tab. 11: Vstupy a výstupy SubVI bloku RVCH_dhp_zpracovani.vi

6.4 Zobrazování a ukládání výsledků vyhodnocení

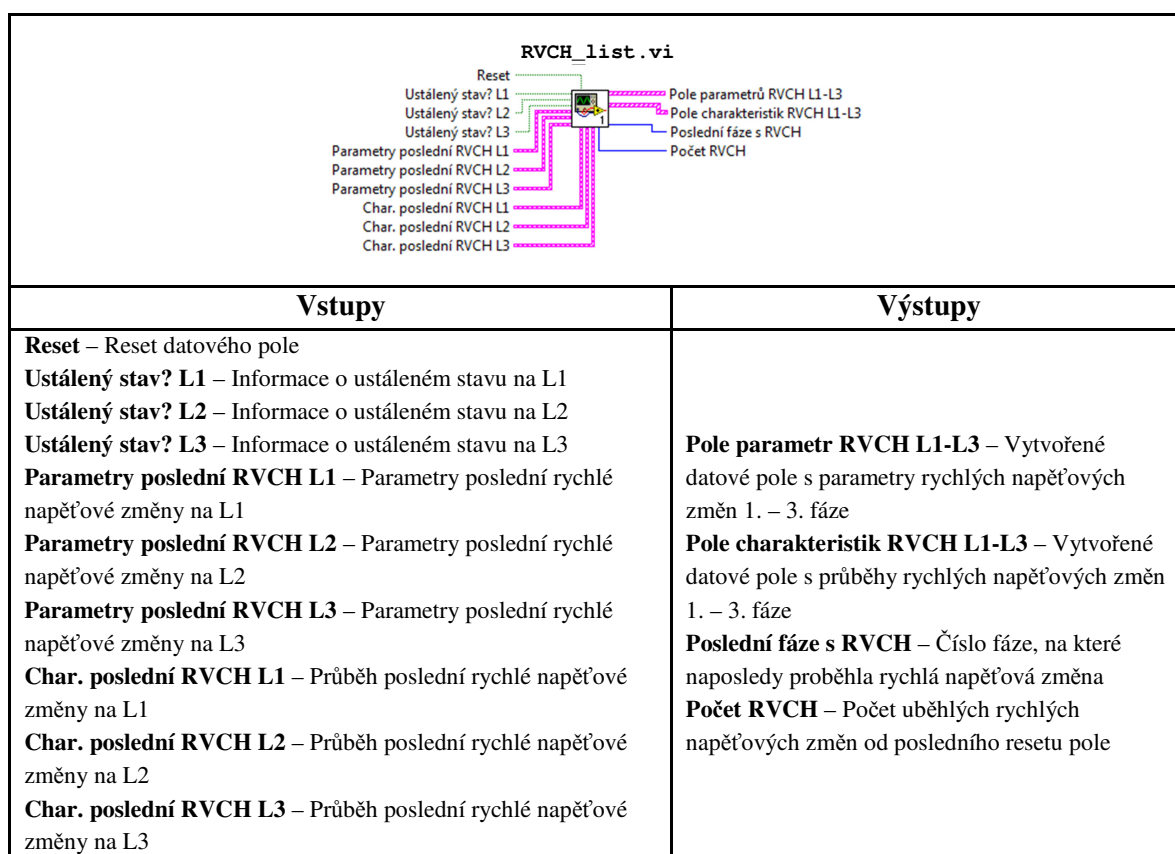
Poslední částí sekvence je část, které se stará o zobrazování výsledků vyhodnocení a jejich ukládání disk. Zpracovaná data posledních rychlých napěťových změn ze všech fází se vkládají do jednoho datového pole, které se dále upravuje pro zobrazení uživateli do přehledové tabulky a současně se v případě zapnutého ukládání na disk nové hodnoty ukládají i na něj. Pro vkládání hodnot do datového pole slouží SubVI blok RVCH_list.vi, pro úpravu datového pole pro zobrazení slouží SubVI blok PripravaNaZobrazeni.vi a o ukládání na disk se stará SubVI blok ZapisDoSouboru.vi.



Obr. 12: Zapojení SubVI bloků v části pro zobrazování a ukládání výsledků vyhodnocení

6.4.1 Tvorba datového pole s výsledky vyhodnocení (RVCH_list.vi)

Tento blok sbírá parametry a průběhy posledních rychlých napěťových změn první až třetí fáze a vytváří z nich datové pole. Blok čeká na nástupnou hranu na vstupu signalizující ustálený stav 1., 2. nebo 3. fáze. V tento okamžik přečte zpracované parametry a průběhy odpovídající fáze přivedené na vstup. Blok umí zpracovávat události na všech třech fázích současně během jednoho cyklu, nehrozí tak nezaznamenání rychlé napěťové změny, pokud nastala ne několika fázích současně. Toto datové pole je pak dále využíváno buď pro zobrazovací účely, nebo pro účely zápisu na disk.

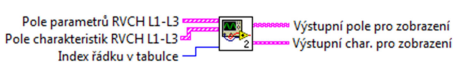


Tab. 12: Vstupy a výstupy SubVI bloku RVCH_list.vi

6.4.2 Úprava datového pole pro zobrazení (PripravaNaZobrazeni.vi)

Blok PripravaNaZobrazeni.vi má za úkol datové pole parametrů zpracovat tak, aby bylo možné jej zobrazit ve vhodné podobě na čelním panelu uživateli. Pro zobrazení se využívá prvek MultiColumn ListBox, který vyžaduje 2D pole hodnot datového typu string.

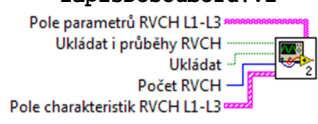
Druhý vstup, datové pole průběhu rychlých napěťových změn, zpracovává tak, aby výstupem byl pouze jeden zvolený průběh, který se následně zobrazuje v grafu.

	Vstupy	Výstupy
PripravaNaZobrazeni.vi 	Pole parametrů RVCH L1-L3 - Vytvořené datové pole s parametry rychlých napět'ových změn 1. – 3. fáze Pole charakteristik RVCH L1-L3 – Vytvořené datové pole s průběhy rychlých napět'ových změn 1. – 3. fáze Index řádku v tabulce – Uživatelem zvolený průběh rychlé napět'ové změny	Výstupní pole pro zobrazení – 2D pole pro zobrazení v MultiColumn ListBoxu Výstupní char. pro zobrazení – Vybraný průběh rychlé napět'ové změny pro zobrazení

Tab. 13: Vstupy a výstupy SubVI bloku PripravaNaZobrazeni.vi

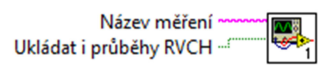
6.4.3 Ukládání zpracovaných hodnot na disk (ZapisDoSouboru.vi)

Tento blok zapisuje parametry a případně i charakteristiky do souboru na disk do formátu CSV (Comma-separated values) čitelného textovým editorem. V případě, že je povoleno zapisování do souboru a změní se počet záznamů v datovém poli, je prováděn zápis. Počet zapsaných řádků odpovídá rozdílu počtu rychlých napět'ových změn oproti původnímu stavu.

	Vstupy	Výstupy
ZapisDoSouboru.vi 	Pole parametrů RVCH L1-L3 - Datové pole s parametry rychlých napět'ových změn 1. – 3. fáze Ukládat i průběhy RVCH – Povoluje ukládání průběhů rychlé napět'ové změny Ukládat – Boolean hodnota určující, jestli je ukládání zapnuto Počet RVCH - Slouží k vyhodnocení okamžiku zápisu na disk Pole charakteristik RVCH L1-L3 – Datové pole s průběhy rychlých napět'ových změn 1. – 3. fáze	(nejsou)

Tab. 14: Vstupy a výstupy SubVI bloku ZapisDoSouboru.vi

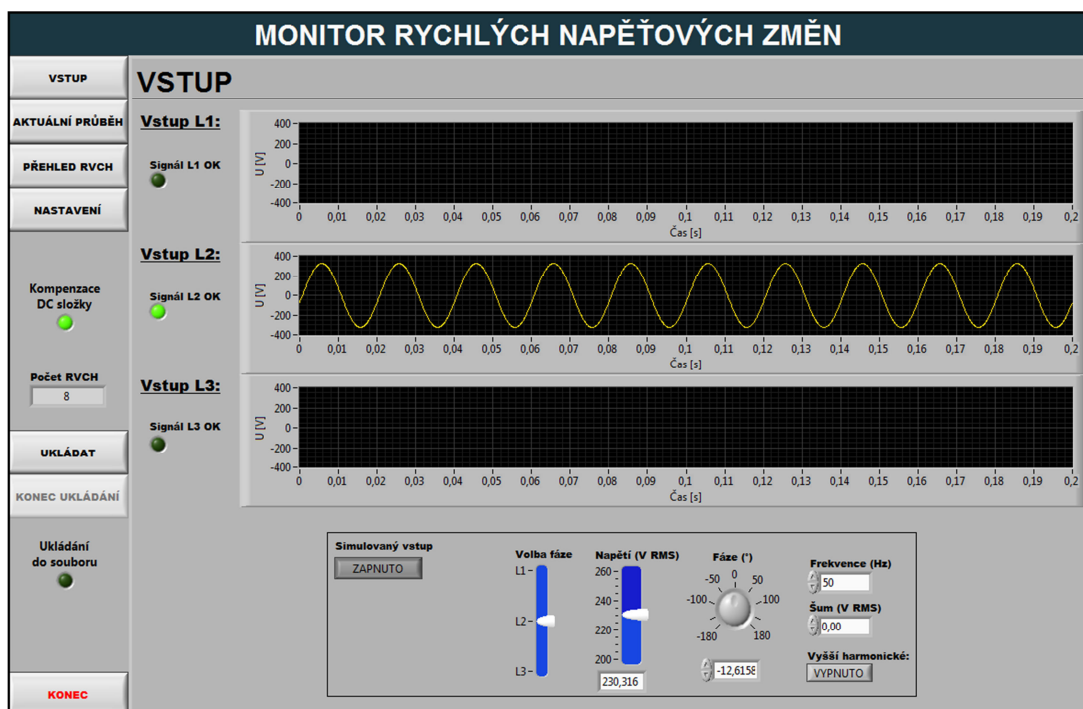
Nedílnou součástí funkce ukládání do souboru je inicializační zavolání SubVI bloku ZalozeniSouboru.vi. Tento blok po svém zavolání založí nový soubor s parametry rychlých napět'ových změn a případně pokud je to povoleno i soubor s jejich průběhy. Název souboru, se kterým se aktuálně pracuje, si vzájemně bloky vyměňují pomocí globální proměnné. Zakládání nového souboru se děje buď po stisku tlačítka pro zápis do souboru uživatelem, nebo pokud počet záznamů v jednom souboru překročil nastavenou mez. Standardně je na jeden soubor povoleno maximálně 100 záznamů. Počet záznamů na soubor je vhodné omezit z bezpečnostních důvodů, při porušení integrity souboru nebudou ztracena všechna naměřená data.

	Vstupy	Výstupy
ZalozeniSouboru.vi 	Název měření – Název měření, podle kterého jsou soubory pojmenovávány Ukládat i průběhy RVCH – Povoluje ukládání průběhů rychlé napět'ové změny	(nejsou)

Tab. 15: Vstupy a výstupy SubVI bloku ZalozeniSouboru.vi

7 Čelní panel monitorovací aplikace a jeho ovládání

Čelní panel se skládá ze dvou hlavních částí. První částí je boční lišta, která obsahuje tlačítka s názvy obrazovek, tlačítka pro spouštění nebo zastavení zápisu na disk, několik indikačních prvků a tlačítko pro ukončení běhu programu. Druhou částí jsou jednotlivé obrazovky, které se po stisku tlačítek na levé liště přepínají. Je možné přepínat mezi obrazovkami s přehledem vstupů (VSTUP), přehledovou obrazovkou aktuálního průběhu napětí a zobrazením poslední události (AKTUÁLNÍ PRŮBĚH), obrazovkou s přehledem proběhlých rychlých napětových změn (PŘEHLED RVCH) a obrazovkou s nastavením běhu programu (NASTAVENÍ).



Obr. 13: Čelní panel monitorovací části, obrazovka VSTUP

7.1 Obrazovka s přehledem vstupů (Vstup)

Obrazovka s přehledem vstupů zobrazuje stavy vstupů signálu 1. – 3. fáze, které se budou vyhodnocovat. U každé fáze je zobrazen průběh signálu a prvek indikující, jestli je signál v pořádku. Kritériem pro posouzení korektnosti přiváděného signálu je frekvence v rozmezí 40 - 50 Hz, nenulová amplituda a dostatečná vzorkovací frekvence (minimálně 1000 vzorků na jeden zpracovávaný úsek signálu).

V dolní části této obrazovky je možné ze zkušebních přepnutí vstupu z měřicí karty na vstup ze simulátoru. Simulátor generuje zkušební signál pro testování funkčnosti vyhodnocení parametrů rychlé napětové změny. U generovaného signálu lze nastavit efektivní hodnotu napětí, fázi signálu, frekvenci signálu, velikost šumové složky a vypnutí/zapnutí vyšších harmonických

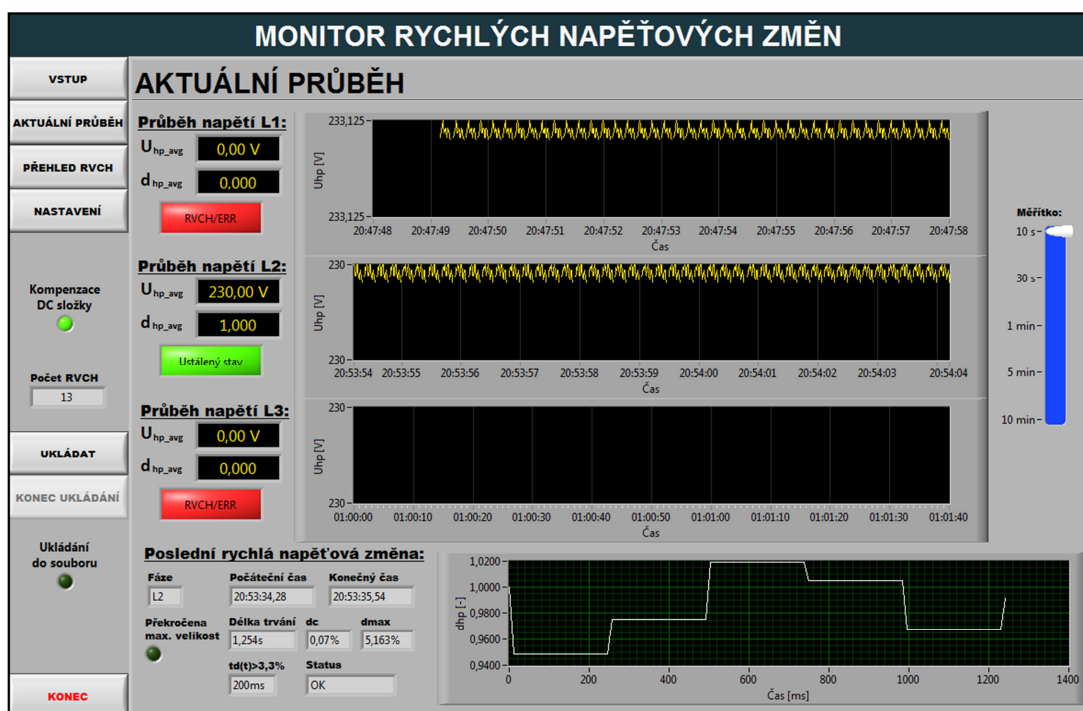
složek. Je možné simulovat rychlou napěťovou změnu skokově zadáním nového napětí přímo, nebo ručně zahýbáním měnit průběh napětí pomocí posuvného voliče.

Tato obrazovka se zobrazuje jako první obrazovka po spuštění programu nebo po stisku tlačítka VSTUP na levé liště a je zobrazena na Obr. 13.

7.2 Obrazovka s aktuálním průběhem napětí a poslední proběhlé události (Aktuální průběh)

Obrazovka s aktuálním průběhem napětí a poslední proběhlé události zobrazuje u jednotlivých fází aktuální hodnotu U_{hp_avg} , d_{hp_avg} , jestli je přítomen ustálený stav a průběh U_{hp} napětí v grafu. Časové okno grafu lze měnit v rozsahu 10 s – 10 min posuvným kontrolním prvkem umístěným na pravé straně okna.

V dolní části obrazovky je možné sledovat průběh a parametry poslední rychlé napěťové změny. Mezi zobrazované parametry poslední rychlé napěťové změny patří číslo fáze s proběhlou událostí, počáteční čas události, konečný čas události, délka trvání, d_c parametr, d_{max} parametr, $t_{d(t)>3,3\%}$ parametr, indikátor překročení maximální délky události a status text. Status text obsahuje informaci o zpracované události. Vrací buď údaj, že událost byla zaznamenána v pořádku (OK), nebo událost není rychlou napěťovou změnou (Není RVCH), nebo došlo k překročení maximální délky (např. >35000ms). RVCH je zkratka anglického termínu pro rychlou napěťovou změnu (Rapid Voltage Change).

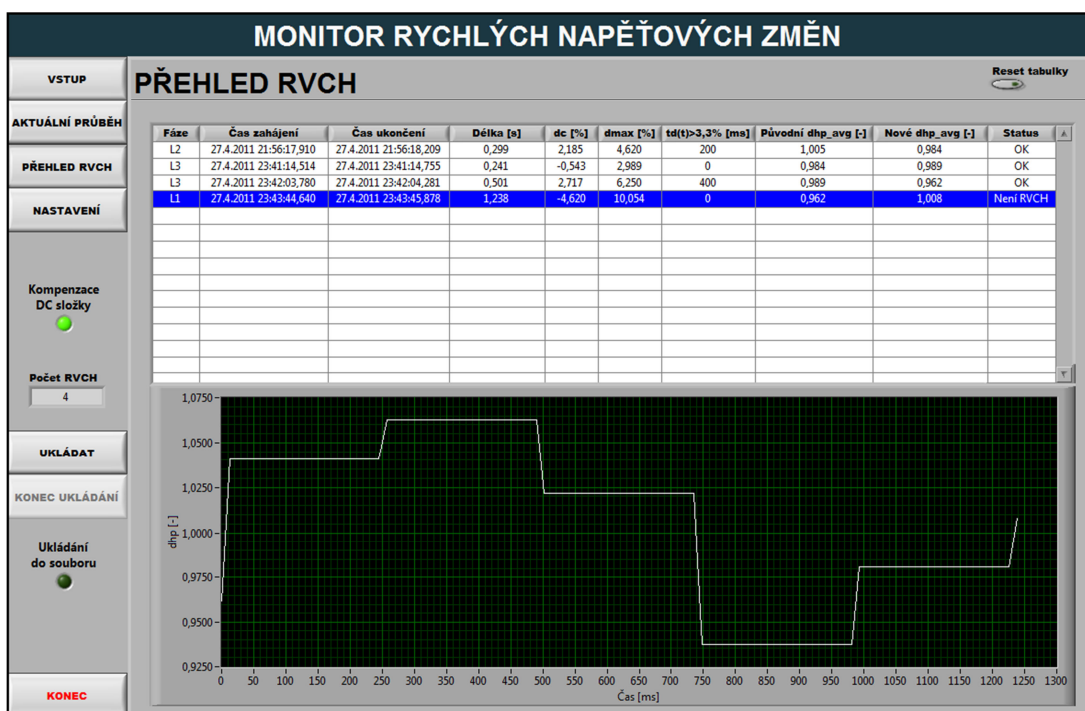


Obr. 14: Obrazovka s aktuálním průběhem napětí a poslední proběhlé události

7.3 Obrazovka s přehledem proběhlých událostí (Přehled RVCH)

Obrazovka zobrazuje přehled proběhlých rychlých napěťových změn přehledně pod sebou v tabulce. Z důvodů omezení rizika pomalého vykreslování údajů je počet záznamů omezen na sto posledních. Každý řádek obsahuje informaci o fázi s proběhlou událostí, počátečním čase události, konečném čase události, délce trvání, d_c parametru, d_{max} parametru, $t_{d(t)>3,3\%}$ parametru, hodnotu d_{hp_avg} předchozího ustáleného stavu, hodnotu d_{hp_avg} nového ustáleného stavu a status text. Status text obsahuje informaci o zpracované události. Vrací buď údaj, že událost byla zaznamenána v pořádku (OK), nebo událost není rychlou napěťovou změnou (Není RVCH), nebo došlo k překročení maximální délky (např. >35000ms).

Kliknutím myši do tabulky se provádí výběr řádku. Vybráním události se provede vykreslení jejího průběhu v grafu v dolní části obrazovky. Seznam událostí lze také vymazat kliknutím na tlačítko Reset tabulky v pravém horním rohu tabulky. Vymazání obsahu tabulky se rovněž provádí při spuštění zápisu na disk. Vymazání obsahu tabulky nemá vliv na ukládané události, na disk jsou ukládány všechny proběhlé události.



Obr. 15: Obrazovka s přehledem proběhlých napěťových změn

7.4 Obrazovka s nastavením běhu aplikace (Nastavení)

Tato obrazovka slouží k nastavení běhu a chování aplikace. Je zde možné měnit nastavení těchto vlastností chodu aplikace:

- **Název měření**
Slouží jako parametr pro ukládání souboru. Název měření identifikuje soubory s naměřenými daty a později lze nalézt uložená data pod tímto názvem v aplikaci zajišťující off-line vyhodnocení.
- **Nominální napětí U_n**
Velikost nominálního napětí přivedeného na vstup.
- **Toleranční pásmo (def. 0,002)**
Velikost tolerančního pásma. Hodnota určuje, o kolik se maximálně mohou vychýlit relativní půlperiodové efektivní hodnoty napětí d_{hp} od d_{hp_avg} , což je pohyblivá průměrná efektivní hodnota napětí v poměru k nominální hodnotě napětí U_n , vypočtená z hodnot d_{hp} za poslední 1 s. Jinak řečeno, např. hodnota 0,002 vymezí toleranční pásmo U_{hp} hodnot v okolí $\pm 0,2 \% U_{hp_avg}$.
- **Maximální délka RVCH**
Určuje maximální délku záznamu události. Delší události nebudou zaznamenány celé a nebudou zahrnuty do vyhodnocení.
- **Počet záznamů na jeden soubor**
Udává, jaký maximální počet událostí bude zaznamenán v jednom souboru. Po překročení této hodnoty dojde k založení nového souboru. Standardně je na jeden soubor povoleno maximálně 100 záznamů. Počet záznamů na soubor je vhodné omezit z bezpečnostních důvodů, při porušení integrity souboru nebudou ztracena všechna naměřená data.
- **Kompensace DC složky**
Zapíná nebo vypíná kompenzaci stejnosměrné složky signálu. Protože metoda měření efektivních hodnot napětí po půlperiodě je vysoce citlivá na stejnosměrnou složku napětí, i relativně malý offset způsobí, že nebude možné určit ustálený stav. Proto je doporučeno mít kompenzaci stejnosměrné složky zapnutou.
- **Ukládat i průběhy RVCH**
Zapíná nebo vypíná ukládání průběhů rychlých napěťových změn na disk. Ukládání průběhů může být v některých případech náročnější na objem dat.

MONITOR RYCHLÝCH NAPĚŤOVÝCH ZMĚN	
VSTUP	<h2>NASTAVENÍ</h2> <p>Název měření: <input type="text" value="Akce 1"/></p> <p>Nominální napětí Un: <input type="text" value="230,00 V"/></p> <p>Maximální délka RVCH [ms]: <input type="text" value="35000"/></p> <p>Toleranční pásmo (def. 0,002): <input type="text" value="0,008"/></p> <p>Počet záznamů na jeden soubor: <input type="text" value="100"/></p> <p>Počet RVCH: <input type="text" value="1"/></p> <p>Kompence DC složky: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Kompence DC složky: <input type="checkbox" value="ZAPNUTO"/></p> <p>Ukládat i průběhy RVCH: <input type="checkbox" value="VYPNUTO"/></p>
AKTUÁLNÍ PRŮBĚH	
PŘEHLED RVCH	
NASTAVENÍ	
Kompence DC složky	
Počet RVCH	
UKLÁDAT	
KONEC UKLÁDÁNÍ	
Ukládání do souboru	
KONEC	

Obr. 16: Obrazovka s nastavení běhu aplikace

7.5 Ukládání dat na disk

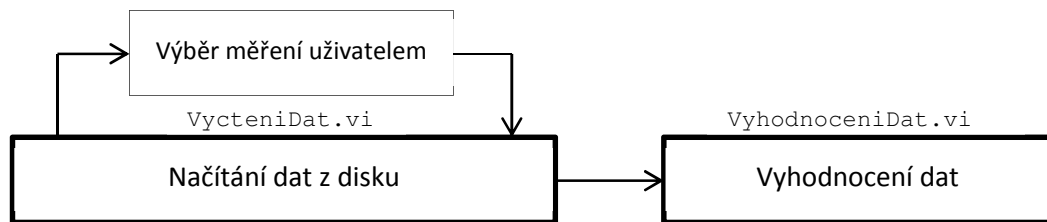
Před spuštěním záznamu je potřeba zkontrolovat na obrazovce Nastavení všechny potřebné parametry, zejména zvolit název měření. Podle názvu měření se pojmenovávají vytvářené soubory. Každý záznam by měl mít zvolený jiný název měření, jinak nebude možné okamžité automatické načtení dat následným post-processingem. Pokud je požadováno ukládání průběhů událostí, je potřeba toto povolit.

Spuštění záznamu dat na disk se provede stiskem tlačítka UKLÁDAT na levé liště. Po stisku tlačítka se vymaže přehledová tabulka rychlých napěťových změn a začne ukládání na disk. Ukládání na disk je indikováno rozsvíceným indikátorem na levé liště s názvem Ukládání do souboru. Během zápisu do souboru nelze měnit nastavení vstupu, nastavení běhu programu nebo program ukončovat. Zápis do souboru probíhá s každou novou událostí, dokud není přerušeno ukončeno nebo není přesáhnut maximální limit počtu záznamů na jeden soubor. Pokud je limit překročen, je vytvořen další soubor a zápis pokračuje.

8 Blokový diagram aplikace pro post-processing

8.1 Hlavní blokový diagram

Blokový diagram aplikace pro post-processing (off-line vyhodnocení) se dělí na dvě základní části. Část načítající data uložená v souborech na disku a část, která tato data vyhodnocuje. V hlavním blokovém diagramu je rovněž umístěn krátký kód k výpočtu hodnot pro grafické zobrazení četností a kód obsluhující zobrazení načtených dat v tabulce s informacemi pro uživatele ve stavové liště.



Obr. 17: Zapojení SubVI bloků v blokovém diagramu aplikace pro post-processing

8.2 Načítání dat z disku (VycteniDat.vi)

Aplikace předpokládá, že všechna data k vyhodnocení jsou již naměřena monitorovací částí a měření neběží. Jako zdrojová cesta se soubory se předpokládá složka DATA, umístěná ve složce se zdrojovými soubory. Vyhodnocovány jsou jen soubory s parametry rychlých napěťových změn.

Po startu programu program zkontroluje obsah složky DATA, z názvů souborů zjistí názvy jednotlivých měření a vypíše je na obrazovku uživateli. Pokud uživatel vybere název měření a stiskne tlačítko pro načtení dat, blok začne vyčítat ze souborů odpovídajícího měření do datového pole hodnoty. Jsou načítána data ze všech souborů jednoho měření. Pokud je nalezeno více měření se stejným názvem, blok vrací chybu.

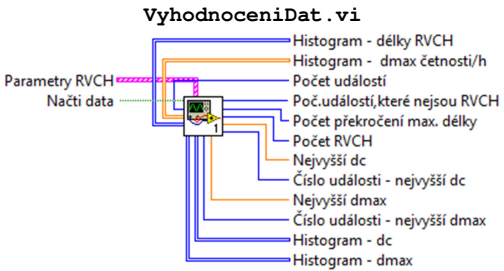
	Vstupy	Výstupy
	<p>Cesta – Cesta s uloženými datovými soubory</p> <p>Názvy souborů ve složce – Pole stringů s názvy souborů ve složce</p> <p>Index měření – Index měření, vybraný pomocí prvku ListBox uživatelem</p> <p>Načti data – Pokyn k načtení dat ze souborů měření</p>	<p>Stringy: Parametry RVCH – 2D pole stringů parametrů rychl. napěťových změn vyčtené ze souborů měření určené zobrazení MultiColumn ListBoxem</p> <p>Zvolené měření – String s názvem zvoleného měření</p> <p>Názvy měření – Pole stringů s názvy měření</p> <p>Parametry RVCH - Parametry rychl. napěťových změn vyčtené ze souborů měření určené ke zpracování</p>

Tab. 16: Vstupy a výstupy SubVI bloku VycteniDat.vi

8.3 Vyhodnocení dat (VyhodnoceniDat.vi)

SubVI blok VyhodnoceniDat.vi vyhodnocuje načtené parametry rychlých napěťových změn ze souborů měření a provádí statistickou analýzu načtených dat. Výstupem jsou informace o počtu událostí, počtu událostí nesplňující definici rychlé napěťové změny, počtu rychlých napěťových změn, hodnotu nejvyššího d_c a d_{max} parametru a jejich indexy v poli parametrů hodnot. Dále blok počítá četnosti výskytu rychlých napěťových změn podle délky jejich trvání, četnosti podle velikosti jejich d_c a d_{max} parametru a orientační výpočet četnosti podle velikosti d_{max} parametru za období jedné hodiny.

Výpočty četností se provádí tím způsobem, že se načítají jednotlivé hodnoty ve smyčce for a tyto hodnoty se pak paralelně kontrolují, jestli spadají do pevně definovaných intervalů. Každý výstup z kontroly intervalů je 1D pole o hodnotách buď 1 (Hodnota je uvnitř intervalu), nebo 0 (hodnota není uvnitř intervalu). Po provedení sumy hodnot v těchto polích získáváme četnost výskytu v daných intervalech.

Vstupy	Výstupy
<p>Parametry RVCH – Vstupní parametry rychlých napěťových změn načtené ze souborů s měřením</p> <p>Načti data – Pokyn ke zpracování dat</p>	 <p>Histogram – délky RVCH – 2D pole hodnot četností výskytu rychlých napěťových změn dle jejich délky trvání</p> <p>Histogram – d_{max} četnosti/h - 2D pole hodnot četností výskytu rychlých napěťových změn dle velikosti jejich d_{max} parametru, přepočtené na jednu hodinu</p> <p>Počet událostí – Celkový počet načtených událostí</p> <p>Poč. událostí, které nejsou RVCH – Počet událostí, které nesplňují podmínku definice rychlé napěťové změny</p> <p>Počet překročení max. délky – Počet událostí, u kterých byla překročena maximální délka záznamu</p> <p>Počet RVCH – Počet událostí, které splňují definici rychlé napěťové změny</p> <p>Nejvyšší d_c – Nejvyšší hodnota d_c parametru za období měření, v normě označeno jako $d_{c\ max}$</p> <p>Číslo události – nejvyšší d_c – Číslo události s nejvyšší hodnotou d_c parametru</p> <p>Nejvyšší d_{max} - Nejvyšší hodnota d_{max} parametru za období měření</p> <p>Histogram – d_c - 2D pole hodnot četností výskytu rychlých napěťových změn dle velikosti jejich d_c parametru</p> <p>Histogram – d_{max} - 2D pole hodnot četností výskytu rychlých napěťových změn dle velikosti jejich d_{max} parametru</p>

Tab. 17: Vstupy a výstupy SubVI bloku VyhodnoceniDat.vi

8.4 Výpočet četností pro grafické zobrazení, obsluhu zobrazení načtených dat a stavové lišty

Výpočty četností pro grafické zobrazení a obsluha zobrazení načtených dat a stavové lišty nejsou umístěny v samostatném SubVI bloku, ale přímo v hlavním blokovém diagramu. Pro účely grafického zobrazování četností je využit blok Histogram.vi, dostupný ve vývojovém prostředí LabVIEW. Tento blok je nastaven tak, že rovnoměrně rozdělí rozsah všech příchozích hodnot do deseti stejně velkých oblastí a výstupem je datový typ cluster připravený tak, že je možné jej rovnou zobrazit v grafu.

Obsluhu zobrazení načtených dat a stavové lišty je jednoduchá část kódu, která zabraňuje zobrazení nekorektních dat v přehledové tabulce. V případě, že blok VyceniDat.vi ohlásí chybu při čtení dat, je posláno na zobrazení do přehledové tabulky prázdné pole hodnot a ve stavové liště je zobrazeno upozornění na chybu při čtení dat. Naopak pokud načtení dat proběhlo úspěšně, jsou data poslána do přehledové tabulky a v liště se zobrazí informace o úspěšném načtení.

9 Čelní panel aplikace pro post-processing a jeho ovládání

Čelní panel aplikace pro post-processing se podobně jako u aplikace pro monitorování skládá ze dvou hlavních částí. První částí je boční lišta, která obsahuje tlačítka s názvy obrazovek a tlačítko pro ukončení běhu programu. Druhou částí jsou jednotlivé obrazovky, které se po stisku tlačítek na levé liště přepínají. Je možné přepínat mezi obrazovkami s přehledem načtených rychlých napěťových změn (NAČTENÍ RVCH), obrazovkou s tabulkami četností rychlých napěťových změn (HISTOGRAM - TABULKY) a obrazovkou s grafickým zobrazením četností (HISTOGRAM - GRAFY).

9.1 Obrazovka s přehledem načtených rychlých napěťových změn (Načtení RVCH)

Tato obrazovka umožňuje uživateli vybrat název měření uložené na disku a načíst jej. Pokud načtení dat proběhne úspěšně, jsou načtená data zobrazena v přehledové tabulce. Na této obrazovce jsou rovněž zobrazena některá statistická data. Dole pod přehledovou tabulkou se nachází stavová lišta, která uživatele informuje o tom, jestli bylo načtení dat úspěšné nebo neúspěšné.

Číslo události	Začátek události	Fáze	Délka [s]	dc [%]	dmax [%]	td(t)>3.3% [ms]	Status
1	28.4.2011 1:06:43,771	L1	0,532	0,000	4,895	0	OK
2	28.4.2011 1:06:46,106	L1	0,578	0,000	5,924	200	OK
3	28.4.2011 1:06:48,458	L1	0,498	-1,897	5,924	200	OK

Obr. 18: Obrazovka s přehledem načtených rychlých napěťových změn

Pokud uživatel chce provést vyhodnocení uložených dat, provede nejprve jejich načtení ze souborů měření. Jako první krok uživatel vybere požadovaná data ke zpracování kliknutím na

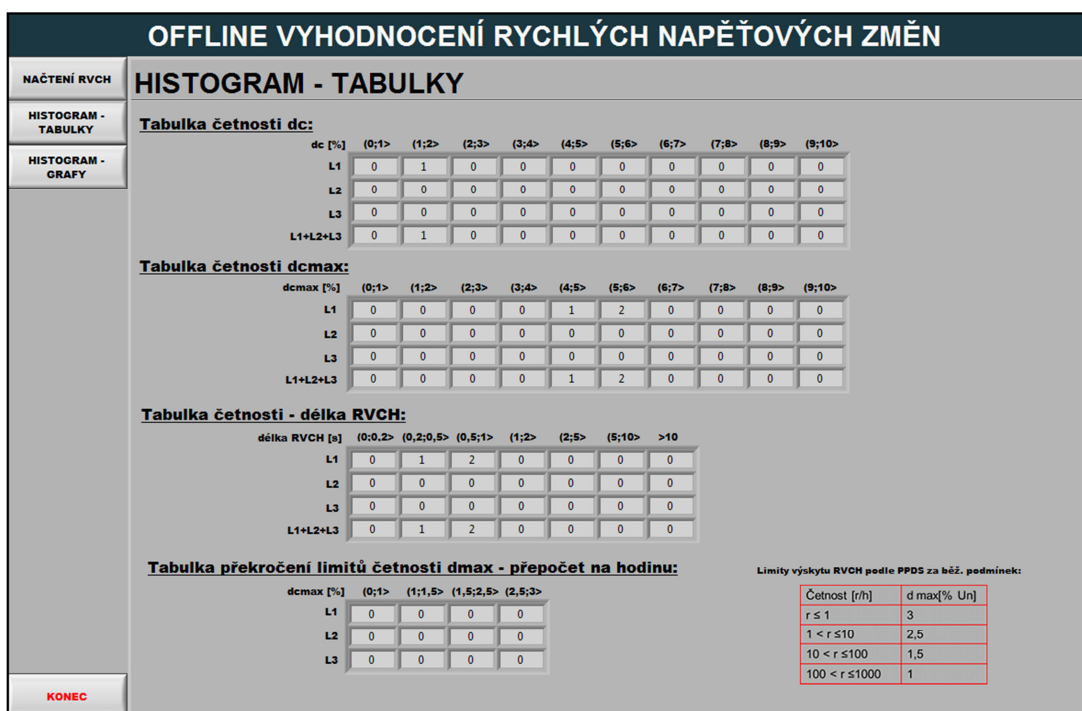
název měření v seznamu nalezených měření. Názvy měření jsou načítány při startu aplikace z názvů souborů nalezených ve složce DATA. Kliknutím na tlačítko Načíst data provede uživatel načtení hodnot zvoleného měření ze souborů. Správnost načtení dat je indikována stavovým řádkem dole pod přehledovou tabulkou.

9.2 Obrazovka s tabulkami četností rychlých napěťových změn (Histogram - tabulky)

Obrazovka s tabulkami četností rychlých napěťových změn zobrazuje počty výskytů rychlých napěťových změn rozdělených do intervalů dle velikosti d_c parametru, velikosti d_{max} parametru a jejich délky. Rozsah četností d_c a d_{max} parametrů je v rozmezí 0 až 10 %, rozděleno do stejně velkých intervalů o velikost 1 %. Rozsah četností délek rychlých napěťových změn je v rozmezí 0 – 10 s, rozdělených do intervalů (0; 0,2>, (0,2; 0,5>, (0,5; 1>, (1; 2>, (2; 5>, (5; 10> a >10.

Jednotlivé četnosti jsou seřazeny do sloupců dle velikosti, řádky odpovídají 1. až 3. fázi. Poslední řádek je suma četností v daném intervalu pro všechny tři fáze.

V dolní části obrazovky je zobrazena tabulka četností výskytu dle parametru d_{max} s přepočtem na jednu hodinu. Tabulka je rozdělena na intervaly (0; 1>, (1; 1,5>, (1,5; 2,5> a (2,5; 3>. Četnost výskytu parametru d_{max} s přepočtem na jednu hodinu slouží k porovnání s tabulkou limitů četností uvedenou v PPDS (Pravidlech provozování distribuční soustavy)

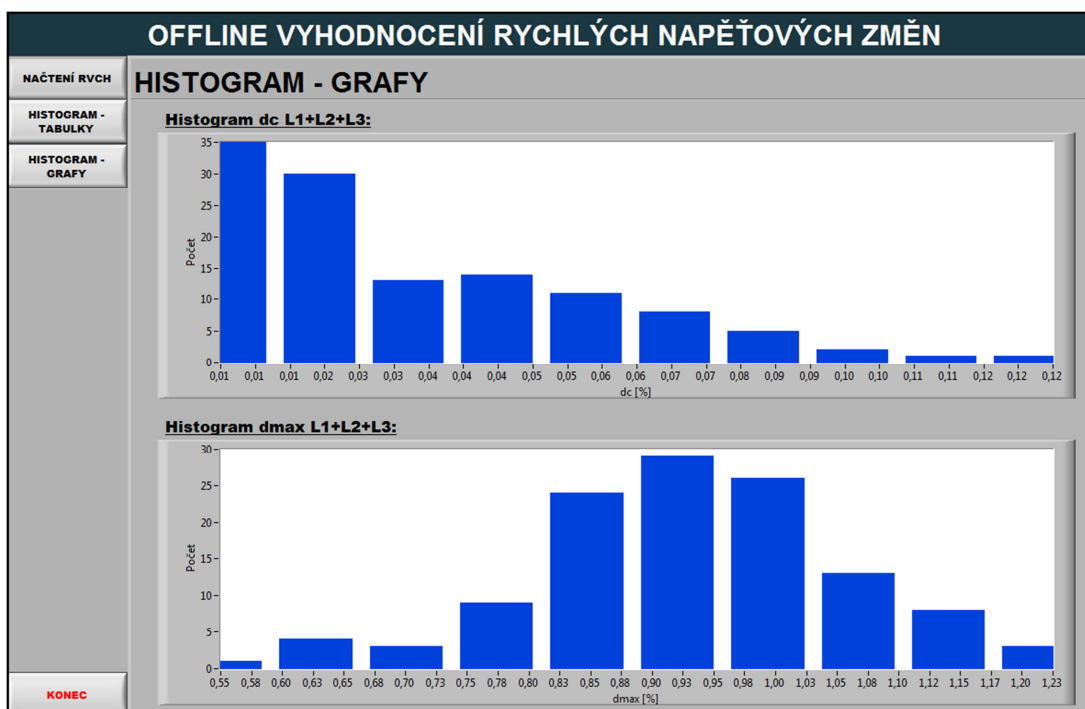


Obr. 19: Obrazovka s tabulkami četností rychlých napěťových změn

9.3 Obrazovka s grafickým zobrazením četností (Histogram – grafy)

Tato obrazovka zobrazuje četnosti výskytu v grafech. Jsou zobrazovány četnosti výskytu rychlých napěťových změn podle velikosti d_c a d_{max} parametru všech tří fází dohromady. Rozsah a měřítko osy X grafu jsou určeny automaticky podle aktuálně načtených dat.

Výška (osa Y) vyobrazených sloupců v grafech reprezentuje počet událostí spadajících do daného intervalu. Rozsah hodnot na Ose X grafu je určen rozdílem nejvyšší a nejnižší nalezené hodnoty. Šířka sloupce je pak určena desetinou velikosti rozsahu.



Obr. 20: Obrazovka s grafickým zobrazením četností

Horní graf zobrazuje četnosti výskytu událostí dle velikosti d_c parametru, spodní graf zobrazuje četnosti výskytu událostí dle velikosti d_{max} parametru.

10 Názvy, umístění a struktura vytvářených souborů

10.1 Umístění souborů

Všechny vytvořené soubory se ukládají do složky DATA, která je umístěná ve složce se zdrojovými soubory. Cesta je definována pevně, uživatel nemá možnost cestu měnit. Cesta je relativní a odvíjí se od umístění zdrojových souborů.

10.2 Názvy souborů

Názvy souborů jsou tvořeny dle doporučení standardu IEEE Std C37.232-2007 [8], který specifikuje doporučené pojmenovávání datových souborů ukládaných v časové sekvenci. Jména souborů jsou definovány takto:

Datum, Čas, Časové pásmo, Název měřícího zařízení, Název měření, Typ dat .csv

kde

- **Datum** – Datum vytvoření souboru ve formátu RRMMDD
- **Čas** – Čas vytvoření souboru ve formátu HHMMSS
- **Časové pásmo** – Odchylka od UTC, Česká republika: +1
- **Název měřícího zařízení** – RVCH_Monitor
- **Název měření** – Uživatелеm zvolený název měření
- **Typ dat** – Parametry rychlých napěťových změn ParOut, průběhy CharOut

Příkladem pojmenování souboru je např.:

110428,005021,+1,RVCH_Monitor,Akce 1,ParOut.csv

Tento soubor byl vytvořený 28. 4. 11, v 00:50:21 středoevropského času, název měření je „Akce 1“ a soubor obsahuje informace o parametrech rychlých napěťových změn.

Pokud byl při měření překročen jednou nebo vícekrát limit maximálního počtu záznamů na soubor, nové soubory zachovávají stejnou strukturu pro svůj název. Vzájemně se od sebe liší časovou hodnotou v názvu, případně i odlišným datem.

10.3 Formát souborů

10.3.1 Popis CSV formátu

Formát souborů CSV (Comma-separated values, hodnoty oddělené čárkami) byl zvolen jako vhodný kompromis mezi čitelností běžným textovým editorem a náročností na následné zpracování.

CSV formát je souborový formát určený pro výměnu tabulkových dat. Standardní soubor ve formátu CSV se skládá z řádků, ve kterých jsou jednotlivé hodnoty odděleny čárkami. Pokud hodnota obsahuje čárku, je tato hodnota vložena do uvozovek. Pokud hodnota obsahuje uvozovky, jsou tyto uvozovky zdvojeny. Protože v některých zemích včetně České Republiky se používá čárka jako oddělovač desetinných míst, vzniklo několik dalších variant CSV formátu. Nejčastější modifikací je použití středníku jako oddělovače. Tato modifikace je například využívána programem Microsoft Excel v české verzi Microsoft Windows.

Aplikací použitý CSV formát dat odděluje jednotlivé události novým řádkem v souboru, jednotlivé parametry události (sloupce) jsou odděleny mezi sebou středníkem. Možnost použití uvozovek nebyla využita.

10.3.2 Struktura vytvářených CSV souborů

Struktura souborů parametrů rychlých napět'ových změn a souboru s jejich průběhy se přirozeně vzájemně liší. U souboru s parametry je vždy první řádek hlavička, která označuje význam jednotlivých sloupců. Pod hlavičkou už jsou pak zapsány jednotlivé parametry událostí tak, jak přicházely v čase za sebou. Jednotlivé sloupce označují číslo události, čas a datum zahájení události, označení fáze, délka trvání události, d_c parametr, d_{max} parametr, $t_{d(t)>3,3\%}$ parametr a status text.

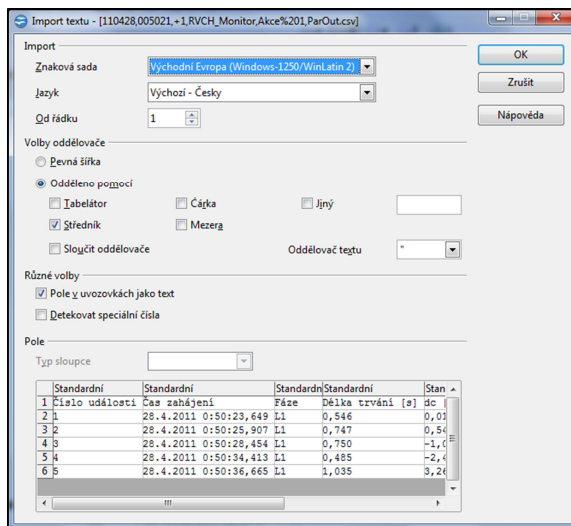
Číslo události	Čas zahájení	Fáze	Délka trvání [s]	dc [%]	dmax [%]	t(dt>3,3%) [ms]	Status
1	28.4.2011 0:50:23,649	L1	0,546	0,011	5,116	210	OK
2	28.4.2011 0:50:25,907	L1	0,747	0,543	5,116	590	OK
3	28.4.2011 0:50:28,454	L1	0,750	-1,087	6,465	200	OK
4	28.4.2011 0:50:34,413	L1	0,485	-2,451	4,348	0	OK
5	28.4.2011 0:50:36,665	L1	1,035	3,261	9,783	600	OK

Obr. 21: Struktura výstupního CSV souboru s parametry rychlých napět'ových změn

U souboru s průběhy se hlavička nezaznamenává. Každá událost začíná řádkem, který označuje číslo události. Na druhém řádku je umístěn počáteční čas a datum události. Na třetím a čtvrtém řádku je již umístěn průběh události. Třetí řádek obsahuje časové hodnoty na ose X v sekundách, čtvrtý řádek pak d_{hp} hodnoty průběhu vynášené na osu Y. Jednotlivé události jsou mezi sebou odděleny prázdným řádkem.

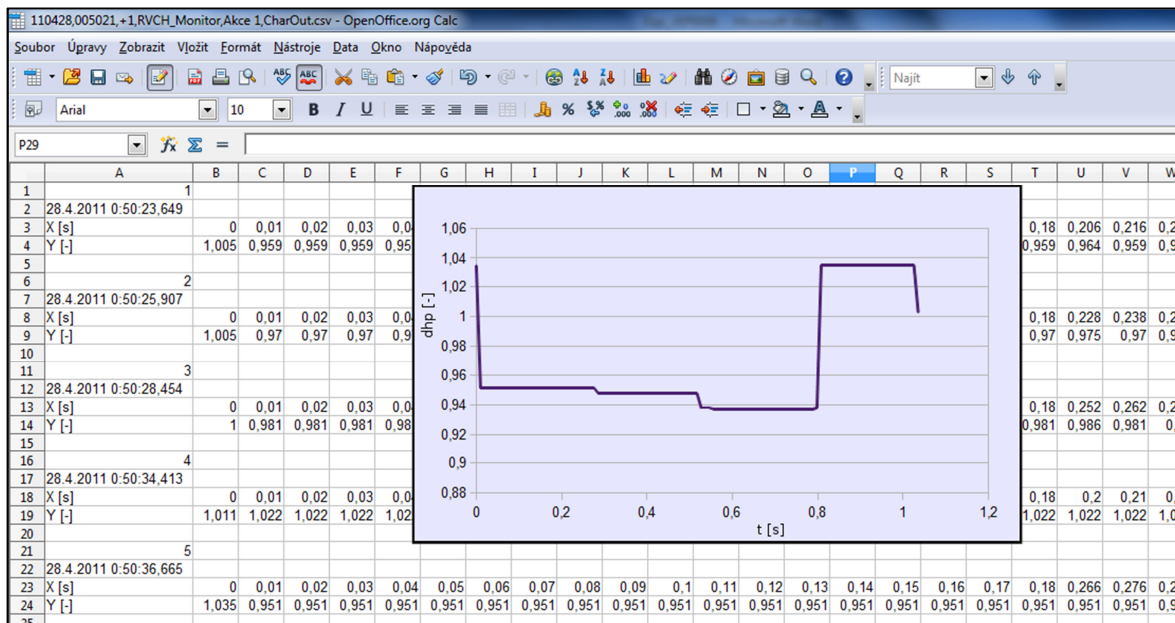
10.4.2 OpenOffice.org Calc

OpenOffice.org Calc při otvírání zobrazí dialogové okno, ve kterém vyzve uživatele ke specifikaci použitého CSV formátu, přičemž dole zobrazuje podle těchto zadaných údajů živý náhled.



Obr. 24: Dialogové okno programu OpenOffice.org Calc při otvírání CSV souboru

Po krátkém a jednoduchém nastavení se zobrazí načtená data zcela korektně. Ukázka načtených dat s ukázkou vytvořeného grafu je na následujícím obrázku.



Obr. 25: Načtená data s průběhy v prostředí OpenOffice.org s ukázkou vytvořeného grafu

11 Závěr

V této práci diplomové práci jsem úspěšně navrhnul a vytvořil aplikaci pro monitorování a vyhodnocení rychlých napěťových změn s vyhodnocením dle mezinárodních standardů.

Pro úspěšné vypracování bylo nejprve nutné seznámení se s problematikou měření a vyhodnocení rychlých napěťových změn, nastudování platných norem a předpisů a návržení měřicího systému. Práce se opírá zejména o požadavky na vyhodnocení uvedené v normě IEC61000-4-15 Ed.2, která uvádí způsob měření z efektivních půlperiodových hodnot napětí U_{hp} mezi po sobě jdoucími průchody nulou.

Jako vývojové prostředí pro návrh monitoru rychlých napěťových změn bylo zvoleno prostředí LabVIEW 2010 od společnosti National Instruments. V tomto vývojovém prostředí se aplikace vytváří v grafickém programovacím jazyku blokových schémat (Block Diagram, blokový diagram). Grafické prostředí aplikace (Front Panel, čelní panel) v tomto prostředí představuje virtuální přístroj. Jako měřicí karta pro monitor rychlých napěťových změn byla použita karta National Instruments PCI-6221, která je dostupná v univerzitní laboratoři.

Vytvořená aplikace vyhodnocuje signál přicházející z měřicí karty, vyhodnocuje jej na přítomnost ustáleného stavu nebo rychlé napěťové změny a zpracovaná data zobrazuje na obrazovku a ukládá na disk. Aplikace umožňuje snadno změnit použitý hardware pro sběr dat, klíčová je zejména kompatibilita s prostředím National Instruments. Jako formát souborů zapisovaných na disk byl zvolen CSV (Comma-separated values), který je vhodným kompromisem mezi čitelností v běžném textovém editoru a následnou zpracovatelností v dalších aplikacích. Rovněž byla vytvořena aplikace pro off-line vyhodnocení uložených dat.

Ověřování funkčnosti navržené aplikace probíhalo pomocí generování simulovaného signálu přiváděného na vstup, později byla na školní učebně ověřována správnost vyhodnocení signálu pomocí přiváděného signálu z generátoru do měřicí karty. Aplikace se chovala korektně a dle očekávání. Případné problémy by bylo nutné odhalit až při dlouhodobějším testování v reálném nasazení v praxi.

U tvorby aplikace bylo nutné zejména dbát na přehlednost kódu a hlídat, aby nebyly při běhu aplikace prováděny nadbytečné výpočty. Protože aplikace provádí vyhodnocení v reálném čase, nevhodně navržený projekt by v konečném důsledku nemusel stíhat zpracovávání příchozích dat ze vstupu měřicí karty.

Přínosem této diplomové práce je zejména zpracování celé problematiky rychlých napěťových změn z pohledu relativně nové normy IEC61000-4-15 Ed.2. Pro navázání dalších prací je rovněž přínosem vytvořená aplikace, která může být oporou pro tvorbu dalšího softwaru určeného pro analyzování kvality sítě.

12 Použitá literatura

- [1] *IEC 61000-4-15 Ed.2 CDV: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications.* Quint-Fonsegrives, Francie : International Electrotechnical Commission, 2009. 43 s
- [2] *ČSN EN 61000-3-11 : Meze – Omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí - Zařízení se jmenovitým fázovým proudem <75 A, které je předmětem podmíněného připojení.* Praha : Český normalizační institut, 2001. 15 s.
- [3] *ČSN EN 61000-4-30 : Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie.* Praha : Český normalizační institut, 2004. 43 s.
- [4] *ČSN EN 61000-3-3 Ed.2 : Meze – Omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým fázovým proudem <16 A, které není předmětem podmíněného připojení.* Praha : Český normalizační institut, 2009. 18 s.
- [5] *Pravidla provozování distribučních soustav.* Jihlava : Energetický regulační úřad, 2009. 86 s. Dostupné z WWW: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds_2009.pdf>.
- [6] *Bilík, Petr; Žídek, Jan. Obecné aspekty měření kolísání napětí a flikru.* Visalaje : ELCOM, a.s., 2005, 19 s
- [7] *IETF Tools* [online]. Říjen 2005 [cit. 2011-04-29]. RFC 4180 - Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. Dostupné z WWW: <<http://tools.ietf.org/html/rfc4180>>.
- [8] *IEEE Std C37.232-2007 : IEEE Recommended Practice for Naming Time Sequence Data Files.* New York, USA : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007. 15 s.
- [9] *National Instruments* [online]. 2011 [cit. 2011-04-29]. NI PCI-6221. Dostupné z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14132>>.

13 Seznam příloh

Příloha I:

Hlavní blokový diagram aplikace pro monitorování rychlých napěťových změn

Příloha II:

Hlavní blokový diagram aplikace pro off-line vyhodnocení

Příloha III:

Rozšířený abstrakt v anglickém jazyce

Příloha IV:

CD s vytvořenými aplikacemi a textem diplomové práce v elektronické podobě