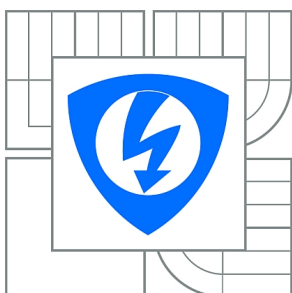




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MONITORING KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE V DISTRIBUČNÍCH SYSTÉMECH

MONITORING OF ELECTRIC POWER QUALITY IN THE DISTRIBUTION NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADAM KOSTELNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MRÁKAVA

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Adam Kostelník

ID: 119490

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Monitoring kvality elektrické energie v distribučních systémech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s pojmem kvalita elektrické energie, s normami a požadavky na kvalitu elektrické energie. Proveďte rozbor přístrojů pro měření kvality a přenosových systémů pro datovou komunikaci. Realizujte sadu měření na síti, vyhodnoťte naměřené údaje a proveďte analýzu dat z měřičů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Blažek, V., Skala, P.: Distribuce elektrické energie. Skriptum VUT v Brně, FEKT.
- [2] ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, červen 2000.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

Vedoucí práce: Ing. Petr Mrákava

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce vysvětluje pojem kvalita elektrické energie. Popisuje její charakteristiky a vlastnosti definované normou. Jsou zde také popsány hlavní požadavky na kvalitu elektrické energie. Další kapitola vysvětluje její měření a s tím související třídy provádění měření, požadavky na měřicí přístroje a metody měření charakteristik, které určují kvalitu elektrické energie. Všechny tyto zmiňované aspekty jsou přesně popsány v normách. Dále jsou v práci popsány měřicí přístroje (analyzátoři) určené pro monitoring a stručně popsán používaný software a hardware analyzátorů. Následující kapitola rozebírá komunikační kanály využívané pro přenos naměřených dat z PQ analyzátorů do sběrného místa a výběr optimálních přenosových technologií, která nabízí popsané komunikační kanály. Součástí bakalářské práce je provedení praktického měření vybranými přístroji FLUKE VR 1710 a MEg 30. V kapitole jsou uvedeny a graficky zobrazeny všechny naměřené hodnoty. Ty jsou dále porovnány s požadavky norem a je provedeno vyhodnocení, zda byla dodržena kvalita elektrické energie. Poslední kapitola této práce podrobně rozebírá probíhající datovou komunikace při stahování naměřených mezi PQ monitorem a PC.

Klíčová slova: Kvalita elektrické energie, měření kvality elektrické energie, analyzátoři, datová komunikace, praktické měření na síti nn, PQ monitor.

ABSTRACT

Bachelor thesis explains the concept of power quality. Describes its characteristics and properties defined by the standard. They also described the main requirements for power quality. The next chapter explains the measurements and the associated implementation class measurement requirements for measuring instruments and methods of measuring the characteristics that determine the quality of electrical energy. All these aspects are mentioned in detail in standards. Furthermore, this work describes the measuring instruments (analyzers) for monitoring and briefly describe the software and hardware used by the analyzers. The following chapter discusses the communication channels used to transfer measured data from the PQ analyzers to a collection point and the optimal transmission technology, offering channels of communication described. The thesis is the practical implementation of measurement selected Fluke VR 1710 and MEg 30. This chapter also describes and graphically displays all measured values. These are then compared with the requirements of standards and an evaluation of compliance with power quality. The last chapter of this thesis in detail the ongoing data communication in the measured data between PQ monitor and PC.

Keywords: Electrical power quality, measuring of electrical power quality, analyzers, data communications, practical measurements on the network, PQ monitor.

KOSTELNÍK, A. *Monitoring kvality elektrické energie v distribučních systémech.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií., 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Mrákava.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou prací na téma Monitoring kvality elektrické energie v distribučních systémech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Mrákavovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Abstrakt	3
Abstract	4
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
Úvod	12
1 Kvalita elektrické energie	13
1.1 Popis charakteristik napětí	13
1.2 Hlavní požadavky normy ČSN EN 50160.....	17
2 Měření kvality elektrické energie	19
2.1 Třídy provádění měření	19
2.2 Požadavky na přístroje pro měření parametrů	20
2.3 Měření charakteristik napětí	20
3 Analyzátory pro měření kvality elektrické energie	23
3.1 Přenosné analyzátory	23
3.2 Ruční analyzátory	24
3.3 Analyzátory pro trvalou instalaci (stacionární analyzátory).....	25
3.4 Software a hardware analyzátorů.....	25
4 Datová komunikace v procesu měření kvality elektrické energie	26
4.1 Komunikační kanály pro přenos dat	26
4.1.1 LAN	26
4.1.2 MAN	26
4.1.3 WAN	27
4.1.4 Ethernet	27
4.1.5 Internet	29
4.1.6 GSM	29
4.1.7 GPRS	29
4.1.8 PLC	32

5	Praktické měření vybranými analyzátory	35
5.1	FLUKE VR1710	35
5.1.1	Charakteristika	35
5.1.2	Software	35
5.1.3	Místo a nastavení měření	36
5.1.4	Výsledky měření	36
5.2	PQ monitor MEG30.....	40
5.2.1	Charakteristika	40
5.2.1	Software	41
5.2.2	Místo a nastavení měření	41
5.2.3	Výsledky měření	42
6	Analýza Datové komunikace PQ monitoru	47
6.1	USB protokol	47
6.2	Zachycené zprávy datové komunikace	48
6.2.1	Set power	48
6.2.2	Vendor Device a Control Transfer.....	48
6.2.3	Bulk or Interrupt Transfer.....	50
	Závěr	51
	Seznam zkratk, veličin a symbolů	52
	Literatura	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Parametry napětí podle normy ČSN EN 50160 (převzato z [9]).....	17
Obr. 2:	Přenosné analyzátoř kvality elektrické energie (převzato z [10]).....	23
Obr. 3:	a) Klešřový měřič, b) Jednofázový analyzátoř, c) Třífázový analyzátoř, d) Jednofázový záznamník (převzato z [1])	24
Obr. 4:	Analyzátoř kvality pro trvalou instalaci (dostupné z [10])	25
Obr. 5:	Struktura rámců Ethernet 802.3 a Ethernet II	28
Obr. 6:	Příklad hvězdicové a sběrnicevé topologie.....	28
Obr. 7:	Příklady komunikačních kanálů pro přenos dat.....	31
Obr. 8:	Datová komunikace analyzátoř kvality elektrické energie pomocí PLC...	32
Obr. 9:	Průběh napětí na fázi L v závislosti na čase	37
Obr. 10:	Průměrné hodnoty napětí během celého počtu měření	37
Obr. 11:	Průběh velikosti kmitočtu napětí v závislosti na čase.....	38
Obr. 12:	Histogram harmonických složek.....	38
Obr. 13:	Časová evoluce vybraných harmonických složek	39
Obr. 14:	Průběh míry vjemu flikru v závislosti na čase	39
Obr. 15:	Zapojený PQ monitor MEG 30 (vlevo) do jednofázové sítě nn s připojenými ohebnými snímači střídavých proudů AMOS PQ (vpravo)	40
Obr. 16:	Rozvodná skřín třífázové sítě nn (vlevo), zapojení PQ monitoru v rozvodné skříně (vpravo).....	41
Obr. 17:	Naměřené hodnoty zobrazené v základním protokolu a porovnané s normou [3].....	42
Obr. 18:	Využití tolerancí normy [3] v grafickém zobrazení.....	43
Obr. 19:	Průměrné, minimální a maximální hodnoty zaznamenané během měření ..	43
Obr. 20:	Souhrn naměřených hodnot v záznamníku	44
Obr. 21:	Průběh proudů na fázích L1, L2 a L3 v závislosti na čase	45
Obr. 22:	Průběh nesymetrie napětí v závislosti na čase	45
Obr. 23:	Průběh HDO na fázích L1, L2 a L3 v závislosti na čase	46
Obr. 24:	Průběh činného a jalového výkonu závislosti na čase	46
Obr. 25:	Zahájení datové komunikace mezi PC a PQ monitorem	48
Obr. 26:	Vendor Device a Control Transfer.....	49

Obr. 27:	Setup Packet.....	49
Obr. 28:	Žádost typu Bulk or Interrupt Transfer.....	50
Obr. 29:	Přijatá data z PQ monitor.....	50

SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Rychlosti, standardy a typy sítí Ethernet	27
Tab. 2:	Kódové schéma GPRS	30
Tab. 3:	Multislotové třídy.....	30
Tab. 4:	Rozdělení telekomunikačních služeb v silnoproudých vedeních a sítích....	33
Tab. 5:	Rozdělení kmitočtových pásem	33

ÚVOD

Povědomí o kvalitě elektrické energie vzrostlo na celém světě, protože dnešní moderní doba si vyžaduje každodenní používání elektrické energie a s tím souvisí i její kvalita. Svět bez elektrické energie si nejde jednoduše představit a spousta výrobních procesů a lidských činností je na ní závislá. Pohled na kvalitu elektrické energie v EU a tedy i v ČR se neustále zpříšňuje. Její distribuce se již dávno stala zbožím a proto je nezbytně nutná existence norem a pravidel, které budou definovat jasné požadavky na kvalitu elektrické energie. Distribuční společnosti jsou pod přísným dohledem příslušných institucí povinny dodávat konečnému zákazníkovi elektrickou energii předepsané kvality.

K měření a následnému zpracování dat jsou potřeba speciálně přizpůsobené analyzátory komunikující přes různé typy přenosových technologií. Analyzátory se dělí podle konstrukčního provedení stejně tak, jako existuje celá řada přenosových technologií zajišťující bezpečný přenos dat z analyzátoru kvality do cílové sběrné stanice, kde se provádí jejich vyhodnocení.

Cílem bakalářské práce je nejprve popsat kvalitu elektrické energie a její měření za použití norem, které definují parametry kvality elektrické energie. Tato problematika je vysvětlena v první a druhé kapitole práce. Dále jsou podrobně popsány jednotlivé konstrukční provedení analyzátorů, které se používají k samotnému měření kvality a jejich využití v praxi z geografického hlediska. Čtvrtá kapitola popisuje datovou komunikaci a dostupné komunikační kanály, které zajišťují přenos dat mezi analyzátory a sběrnými stanicemi dat. Uvedeny jsou nejpoužívanější komunikační kanály z hlediska přenášení dat z analyzátorů kvality. V předposlední kapitole bakalářské práce je provedeno zhodnocení kvality elektrické energie naměřených dat získaných z přístrojů FLUKE VR 1710 a MEg 30, kterými byla provedena sada praktických měření na síti nn. Závěrečná kapitola analyzuje zachycenou datovou komunikaci mezi PQ monitorem a PC během vzájemné výměny naměřených dat.

1 KVALITA ELEKTRICKÉ ENERGIE

Kvalitativní stránka elektřiny hraje v dnešní době stále větší roli. Souvisí to s liberalizací trhu s elektrickou energií a také s možností vzniku velkých problémů či škod při nedodržení parametrů kvality elektřiny. Rozvoj techniky přinesl stále častější využívání nelineárních přístrojů a zařízení s proměnlivou provozní charakteristikou (motory, usměrňovače, zářivky, impulsní zdroje, polovodičová technika, atd.), které při provozu daleko více zpětně ovlivňují distribuční síť. Toto zpětné působení vede k zhoršení kvality elektrické energie, energetickým ztrátám a poruchám na straně spotřebitelů. Ve smluvních vztazích mezi dodavatelem a odběratelem elektrické energie je důležitá kvalita dodávané elektrické energie, která je definována v normě [3]. Kvalita je charakteristika elektrické energie v daném bodě elektrické sítě vyhodnocená vzhledem k souboru referenčních technických parametrů. Nedodržení kvality elektrické energie může způsobit ztráty v technologických procesech.

1.1 Popis charakteristik napětí

Kmitočet napětí

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz. Střední hodnota kmitočtu základní harmonické musí být v následujících mezích:

U systémů se synchronním připojením k propojenému systému:

50 Hz \pm 1% (tj. 49,5 - 50,5 Hz) během 99,5% roku

50 Hz - 4% až + 6%, (tj. 47 - 52 Hz) po 100 % času. [17]

U systémů bez synchronního připojení k propojenému systému:

50 Hz \pm 2% (tj. 49 - 51 Hz) během 95 % týdne

50 Hz \pm 15% (tj. 42,5 - 57,5 Hz) po 100 % času. [17]

Velikost napájecího napětí

Velikost napájecího napětí je udávána jmenovitým napětím sítě (U_n). Normalizované jmenovité napětí U_n pro trojfázovou čtyřvodičovou distribuční síť nízkého napětí můžeme rozdělit na fázové a sdružené. Fázové napětí je 230 V_{ef} mezi fázovým a středním vodičem. Sdružené napětí je 400 V_{ef} mezi fázovými vodiči. V trojfázových trojvodičových sítích vysokého napětí je definováno více hodnot jmenovitého napětí $U_n = 3, 6, 10, 22$ a 35 kV. U sítí velmi vysokého napětí je jmenovitá hodnota napětí $U_n = 110, 220$ a 400 kV.

Odchyly napájecího napětí

Jedná se o nárůst nebo pokles napětí obvykle způsobený proměnností celkového zatížení distribuční sítě nebo její části. S vyloučením přerušení napájení musí být během každého týdne 95% průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 min. v rozsahu $U_n \pm 10 \%$. V sítích 110 kV je stanoveno pouze nejvyšší napětí 123 kV. Změna napětí, které vyvolá snížení napětí pod $90 \% U_n$, se už považuje za pokles napětí.

Rychlé změny napětí

Jednotlivá rychlá změna efektivní hodnoty napětí mezi dvěma po sobě následujícími úrovněmi, které trvají určitou, avšak nestanovenou dobu trvání. Tyto změny jsou způsobeny z velké části změnami zátěže u odběratelů elektrické energie nebo spínáním v síti. Napětí se velice rychle mění v dovolených tolerancích, ale jeho změny vyvolávají nepříznivé účinky u elektrických spotřebičů.

Flikr

Tento jev se může projevovat jako nestálost vizuálního vnímání vyvolaného světelnými popudy, jejichž jas nebo spektrální křivka se mění v čase. Nejčastěji je aplikován na změny svítivosti světelných zdrojů (blikání) vlivem kolísání napájecího napětí, kdy dochází k periodickým změnám efektivní hodnoty napětí v dovolených tolerančních mezích. Flicker je typicky způsobem velkou proměnitelnou zátěží, u které se rychle mění činný a jalový odběr elektrické energie.

Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Poklesy jsou obecně způsobeny poruchami ve veřejné distribuční síti nebo v instalacích uživatelů. Očekávaný počet poklesů může být během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina poklesů má dobu trvání kratší než 1 sekunda a hloubku menší než 60 %. V oblastech, kde dochází ke spínání zatížení u odběratelů, se velmi často vyskytuje hloubka poklesu 10 % - 15 %. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím.

Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Krátké přerušení napětí je vymizení napájecího napětí po dobu nepřekračující 1 minutu. Krátkodobé přerušení napětí může být tak považováno za pokles napětí s hloubkou 100%. Roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí je v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení může mít dobu trvání menší než 1 sekunda.[8]

Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Stav, při kterém napětí klesne pod prahovou hodnotu $5 \% U_n$. V případě trojfázové soustavy přerušení nastane, když všechna tři napětí klesnou pod prahovou hodnotu. Přerušení jsou obvykle způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, kterým provozovatel distribuční sítě nemůže předcházet. Roční četnost poruchových přerušení napětí delších než 3 minuty může být menší než 10, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až hodnot okolo 50. Pro předem dohodnutá a nahlášená přerušení napětí se směrné hodnoty neuvádějí.[3]

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu se obecně objevují během poruch ve veřejné distribuční síti nebo v instalaci uživatele sítě a zmizí, jakmile je porucha odstraněna. Za těchto okolností mohou tato přepětí dosáhnout sdruženého napětí v důsledku posunu uzlového bodu třífázového systému, skutečná hodnota závisí na stupni nesouměrnosti zátěže a zbývající impedanci mezi vodičem s poruchou a zemí. Trvání je omezeno časem ochrany a vypínače na straně vysokého napětí potřebným pro vypnutí poruchy, typicky ne déle než 5s.[3]

Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Jedná se o vliv časově proměnných průběhů přepětí způsobené atmosférickými vlivy nebo spínacími ději. Doba čela může zahrnovat široký rozsah od milisekund po méně než mikrosekundy. Z pravidla přechodová přepětí s dlouhou dobou mají mnohem nižší amplitudy. Energie přechodových přepětí se značně mění podle jejich původu. Indukované přepětí způsobené atmosférickými vlivy má obvykle vyšší vrcholovou hodnotu, ale nižší energii, než přepětí vyvolané spínáním. Je to obvykle způsobeno delší dobou trvání spínacích přepětí. Přechodná přepětí na předacích místech obecně nepřekračují 6 kV špičkových.

Nesymetrie napájecího napětí

Stav trojfázové sítě, při které efektivní hodnoty sdružených napětí nebo fázové úhly mezi po sobě jdoucími sdruženými napětími nejsou stejné. Za normálních provozních podmínek musí být během libovolného týdne 95 % středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v měřicích intervalech deseti minut v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. V některých oblastech, kde je částečné jednofázové nebo dvoufázové připojení se vyskytuje nesymetrie až do 3 %. Vzhledem k zjištěnému charakteru změn zpětné složky a možným důsledkům na činnost ochran proti nesymetrii se doporučuje rovněž sledovat a vyhodnocovat zpětnou složku pro měřicí interval 3 s. Pro trojfázové systémy se v normě [norma kvalita] uvádí výpočet nesymetrie vztah:

$$\text{Nesymetrie napětí} = \sqrt{\frac{6 \cdot U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2}{(U_{12} + U_{23} + U_{31})^2}} - 2, \quad (1.1)$$

kde U_{12} , U_{23} , U_{31} jsou sdružená napětí.

Harmonická napětí

Jedná se o sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí, které vznikají zpětným působením elektrických zařízení do distribuční soustavy. Harmonická napětí můžeme jednotlivě hodnotit jejich relativní amplitudou vztahenou k napětí základní harmonické, kde h je řád harmonické. Nebo je můžeme hodnotit souhrnně pomocí činitele celkového harmonického zkreslení THD, který se počítá pomocí následujícího vztahu podle [17]:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{N-1} \left(\frac{U_h}{U_1} \right)^2}, \quad (1.2)$$

kde U_h je velikost napětí první (základní) harmonické složky napětí, U_1 je velikost napětí n -té harmonické složky napětí.

Celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo rovný 8 %.

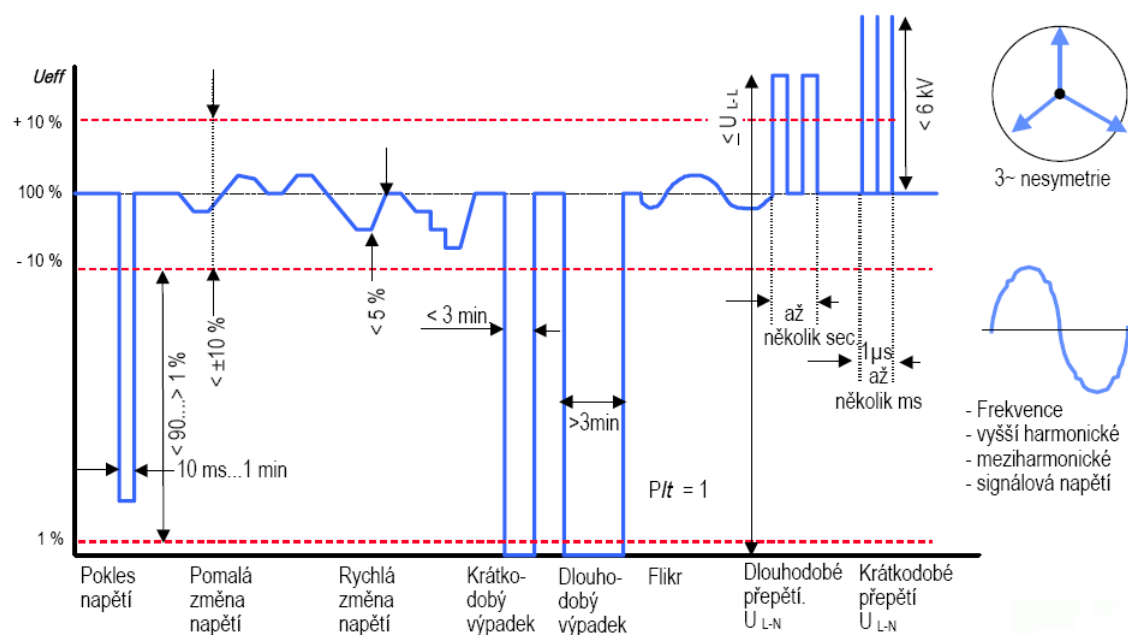
Meziharmonická napětí

Sinusové napětí s kmitočtem ležícím mezi harmonickými. Kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu síťového napětí a vznikají působením modulovaných signálů a nelinearit směšovacích obvodů v elektronických součástech rozvodných sítí. Mohou se také současně objevit meziharmonická napětí s blízkými kmitočty a vytvářet tak široké kmitočtové spektrum. Kmitočtový interval mezi dvěma po sobě jdoucími spektrálními čarami je přibližně 5 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot meziharmonických napětí U_m menších než 0,2 % U_n .

Úrovně napětí signálů v napájecím napětí HDO

Provozovatelé distribuční sítě využívají veřejnou distribuční síť k přenosu informací. Signál je superponovaný na napájecí napětí za účelem přenosu informací po veřejné distribuční síti a do objektů uživatele, avšak síť se nepoužívá pro přenos signálů mezi soukromými uživateli. Využívá se systém dálkového ovládání, který pracuje v kmitočtovém pásmu 110 Hz až 3000 Hz. Signály hromadného dálkového ovládání se vysílají jako sekvence impulzů, přitom každý impulz a sekvence má určitou dobu trvání.

Na obrázku Obr. 1 jsou graficky zobrazeny charakteristické parametry napětí, které se mohou objevit v distribuční soustavě.



Obr. 1: Parametry napětí podle normy ČSN EN 50160 (převzato z [9])

1.2 Hlavní požadavky normy ČSN EN 50160

Norma [17] uvádí hlavní parametry napájecího napětí a rozsahy jejich přípustných odchylek ve společném napájecím bodu zákazníka ve veřejné distribuční síti nízkého a vysokého napětí, za běžných provozních podmínek. V případě nízkého napětí to znamená, že jmenovitá efektivní hodnota napětí mezi fázemi nepřevyšuje 1000 V. U vysokého napětí to znamená, že jmenovitá efektivní hodnota napětí mezi fázemi je mezi 1 kV až 35 kV. Dále uvádí hlavní limity, které jsou technicky a ekonomicky přijatelné pro dodavatele pracující do veřejné distribuční sítě. Jestliže jsou vyžadovány přísnější podmínky, musí být sjednána samostatná podrobná dohoda mezi dodavatelem a odběratelem.

Pro normu platí určitá omezení. Není potřeba znát proud zátěže a netýká se neobvyklých provozních stavů, včetně následujících:

- podmínky vzniklé jako důsledek poruchy nebo přechodného stavu napájení
- v případech, že instalace odběratele nebo zařízení není v souladu příslušným normami nebo s technickými požadavky pro připojení zátěže
- v případech, že instalace zdroje není v souladu s příslušnými normami nebo s technickými požadavky na připojení k energetické distribuční síti
- ve výjimečných případech, na které nemá dodavatel elektrické energie vliv:
 - Extrémní povětrnostní podmínky a jiné
 - Živelné pohromy
 - Zásahy třetí strany
 - Zásahy veřejných institucí
 - Průmyslová činnost
 - Vyšší moc
 - Nedostatek energie vyplývající z vnějších vlivů

Za nedodržení kvality elektrické energie se považují všechny stavy v DS, při kterých jsou překročeny dovolené meze napětí uvedené v normě ČSN EN 50 160.

2 MĚŘENÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Kvalitu elektrické energie posuzujeme pouze na základě naměřených dat a jejich následném zpracování. Norma [6] definuje metody měření kvality elektrické energie v distribučních systémech. Další normy jako [4], [5] a [7] upřesňují měření některých parametrů napětí. Výsledky měření umožňují určení původu zhoršení kvality, rozbor případných poruch, identifikaci, zda problém vzniká na straně dodavatele elektrické energie či odběratele. Analýza výsledků ukáže možnosti opatření k minimalizaci následků poruch i k zefektivnění využívání dodávek elektrické energie a snížení ztrát. V následujících kapitolách jsou všechny informace vztaženy pouze k měřicí třídě A, neboť na základě této třídy se provádí směrodatné vyhodnocení kvality elektrické energie.

2.1 Třídy provádění měření

Třída A

Používá se tam, kde je nezbytně nutné přesné měření, například pro aplikace ve smluvních vztazích, ověřování shody s normami, odstranění pochybností atd. Jakákoliv měření parametru uskutečňované dvěma různými přístroji vyhovujícím požadavkům třídy A, které měří stejné signály, musí vytvářet srovnatelné výsledky v mezích specifikované nejistoty.

Třída B

Je primárně uváděna, aby se mnoho existujících přístrojů nestalo zastaralými. V novém vydání normy [6] najdeme velice neurčitou definici na požadavky vyhodnocování parametrů kvality pro třídy B. Ta poskytla výrobcům přístrojů volnost ve způsobu vyhodnocování parametrů kvality, a proto byly přístroje degradovány na úroveň tzv. indikátorů. Na změřené výsledky se nelze zcela spolehnout. Velká volnost způsobila zjednodušení algoritmů a konstrukci přístrojů. Dochází tím sice k menším nákladům na výrobek, ale to se podepisuje na přesnosti výsledků.

Třída S

Používá se pro statistické aplikace, jako je přehled nebo odhad kvality energie, avšak s omezenou podmnožinou parametrů. Ačkoli užívá ekvivalentní intervaly měření jako třída A, tak přístroje třídy S jsou méně nákladné než přístroje třídy A díky nižším požadavkům na zpracování.

2.2 Požadavky na přístroje pro měření parametrů

Měřicí přístroje kvality elektrické energie v předávacích místech mezi přenosovou soustavou a distribučními společnostmi musí být nejlépe třídy A dle normy [6] a schopny měřit tyto parametry kvality v trojfázové síti:

- kmitočet napětí
- velikost napájecího napětí a jeho odchylky
- rychlé změny napětí
- flickr
- poklesy a zvýšení napájecího napětí
- přerušení napájecího napětí
- nesymetrie napětí
- harmonické napětí
- mezipharmonické napětí
- signály v napájecím napětí.

Měřicí přístroje musí také umožňovat měření velikosti proudů a další odvozené veličiny:

- Činný výkon
- Zdánlivý výkon
- Jalový výkon
- Zpětnou složku proudu a její vztah k referenčnímu napětí
- Harmonické proudy a jejich úhlový vztah k referenčnímu napětí (nebo výkonu). [17]

2.3 Měření charakteristik napětí

Síťový kmitočet

Měření kmitočtu se musí získávat každých 10 s. Jelikož síťový kmitočet nemusí být přesně 50 Hz, nemusí být počet cyklů v intervalu 10 s celočíselný. Měření se aktualizuje každých 10 s. Měřicí intervaly musí na sebe navazovat, ale nesmí se překrývat. Jednotlivé cykly, které přecházejí mez 10 s, mohou být vyloučeny. Nejistota vyhodnocování frekvence nesmí překročit $\pm 0,01$ Hz. Pokud se objeví v měřicím intervalu pokles, přerušení napětí nebo zvýšené napětí, data frekvence z tohoto intervalu musí být označena příznakem. Frekvence musí být měřena na referenčním kanále. První měřicí interval po poklesu, přerušení napětí nebo zvýšení napětí musí začít prvním kladným průchodem nulou poté, co reálný čas dosáhne hranice 10 s.

Velikost napětí

U této veličiny musí být měřena efektivní hodnota v časovém intervalu 10 cyklů pro 50 Hz a 12 cyklů pro 60 Hz. Každý interval cyklů musí být přilehlý k sousedním intervalům cyklů a nesmí se překrývat. Nejistota ΔV nesmí překročit $\leq \pm 0,1 \% U_{din}$. Měřicí intervaly T efektivních hodnot jsou: 200 ms, 3 s, 10 minut a 2 hodiny. U jednofázových systémů je jedna měřená hodnota pro každý měřicí interval. U třífázových systémů jsou to 3 pro třívodičové systémy a šest pro čtyřvodičové.

Flikr

Jsou odvozeny dva výsledky měření. Jeden pro krátkodobou míru vjemu flikru P_{st} , měřený v desetiminutových intervalech, a druhý pro dlouhodobou míru vjemu flikru P_{lt} , který je klouzavým průměrem hodnot P_{st} ve dvouhodinovém časovém okně. Intenzita nepříjemnosti dlouhodobého flikru se vyhodnocuje z následujícího vztahu dle normy [5].

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}, \quad (1.3)$$

kde P_{lt} je míra flikru vypočtená z posloupnosti dvanácti hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu a P_{st} je míra flikru měřená po dobu deseti minut.

Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} a dlouhodobá míra flikru P_{lt} v 95 % sledovaných intervalů v mezích $P_{st} \leq 0,8$ a $P_{lt} \leq 0,6$. [17]

Krátkodobé poklesy a krátkodobé zvýšení napájecího napětí

Měřicí zařízení musí měřit efektivní hodnotu napětí periodu za periodou. Měření se aktualizuje každou půlperiodu. Pro vícefázový systém každá perioda začíná kladným průchodem referenčního napětí nulou. U vícefázových systémů jsou poklesy a zvýšení napájecího napětí detekovány a měřeny odděleně pro každý měřicí kanál. Prahová hodnota krátkodobého poklesu napětí a napětí hystereze je zvolena uživatelem podle aktuálního použití. Přesnost měření při měření poklesů a zvýšení napětí pro třídu A je $\Delta U = \pm 0,2 \%$ napájecího napětí.

Přerušeni napájení

Prahová hodnota pro měření přerušeni napětí se stanovuje na 5 %, napětí hystereze na 2%. Neurčitost trvání přerušeni musí být do 40 ms. U jednofázového respektive vícefázového systému přerušeni napětí nastane, když efektivní hodnota napětí klesne pod 5% referenčního napětí U_{ref} . Přerušeni napětí končí v okamžiku, kdy se napětí rovná, nebo zvýší nad 5% U_{ref} + hystereze.

U vícefázového systému přerušeni napětí nastane, když efektivní hodnota napětí všech fází klesne pod 5% referenčního napětí U_{ref} . Přerušeni napětí končí v okamžiku, kdy se napětí v libovolné fázi rovná nebo zvýší nad 5% U_{ref} + hystereze.[17]

Nesymetrie napájení

Měřicí souprava musí vyhodnocovat nesymetrii v oknu 10 minut, pro výpočet se užije pouze základní harmonická. Všechny ostatní harmonické mají být vyloučeny. Nesymetrie napětí v daném časovém úseku je vyjádřena v procentech. Nejistota měření třídy A musí být $< \pm 0,15 \%$ pro zpětnou i nulovou složku za předpokladu, že je na vstup přivedeno napětí splňující referenční podmínky a nesymetrie je mezi 1 – 5 %. Pro měření musí být použity měřicí intervaly 3 s, 10 minut a 2 hodiny. Měřicí souprava musí měřit nebo počítat nesymetrii napětí pro každé okno 10 cyklů 50 Hz. Měření nesymetrie je označeno příznakem během poklesu, zvýšení napětí nebo přerušeni.

Harmonické a mezharmónické

Při měření harmonických signálů musí být dodrženy měřicí intervaly 200 ms, 3 s, 10 minut a 2 hodiny. Při měření mezharmónických signálů musí být dodrženy intervaly 10 cyklů, 150 cyklů, 10 minut a 2 hodiny.

Signály po síti

Měření síťových signálů musí být založeno na efektivní hodnotě odpovídajícího deseti cyklů zásobníku mezharmónické, nebo na efektivní hodnotě čtyř nejbližších 10 - cyklů efektivní hodnoty zásobníků mezharmónických. Začátek emise signálu se musí detekovat, překročí-li měřená hodnota vyšetřované mezharmónické prahovou hodnotu. Změřené hodnoty se během časové periody specifikované uživatelem zaznamenají tak, aby daly úroveň a sled napětí signálu. Uživatel musí vybrat prahovou hodnotu detekce nad 0,1 % U_{din} a také délku periody záznamu do 120 s. [17]

3 ANALYZÁTORY PRO MĚŘENÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Měření parametrů kvality elektrické energie se provádí pomocí analyzátorů. Konstrukční provedení se značně liší vzhledem k jejich používání v praxi. Pro trvalé monitorování kvality jsou určeny pevně instalované analyzátory. Pro měření kvality v terénu popřípadě v domácnostech a dalších objektech slouží přenosné analyzátory. Všechny typy analyzátoru musí mít v sobě implementovány normy vztahující se k měření kvality elektrické energie. Požadavky na přístroje pro měření parametrů kvality jsou uvedeny v kapitole 2.2.

3.1 Přenosné analyzátory

Pod tímto pojmem si můžeme představit klasické přenosné přístroje pro měření a záznam parametrů kvality (viz Obr. 2). Ve většině případů jsou tyto přístroje použity k dlouhodobějšímu měření. Jsou určeny pro časté používání na různých místech distribuční soustavy. Mohou měřit na všech napěťových hladinách, protože mají velký počet rozsahů na napěťových i proudových vstupech. Proudů se měří pomocí proudových kleští s magnetickým obvodem nebo prostřednictvím Rogowského cívky. Přenosné analyzátory umožňují monitorovat jednofázovou soustavu i volitelný počet třífázových soustav jedním přístrojem. Tento způsob má mnoho technických výhod a také snižuje cenu na jeden monitorovaný systém. Ovládání a komunikace s analyzátozem je vyřešeno propojením přes různá rozhraní s PC.

U některých verzí přístrojů se výrobci snaží o minimální koncovou cenu, takže například analyzátor postrádá displej nebo má pevné připojení kabelů a proudových sond. Minimalizace koncové ceny přináší dvě výhody. Přístroje jsou při srovnatelné užitné hodnotě výrazně levnější a také svým jednoduchým průmyslovým designem na sebe zbytečně nepoutají pozornost. Tato umírněnost v designu byla vyžádána uživateli kvůli častým krádežím.



Obr. 2: Přenosné analyzátory kvality elektrické energie (převzato z [10])

3.2 Ruční analyzátory

Kategorie ručních analyzátorů jsou nejjednodušší přístroje pro základní měření. Přístroje přišly na trh analyzátorů kvality elektrické energie jako poslední a představují nejmladší kategorii přístrojů PQ. Hlavním cílem výrobců bylo vyvinout přístroje, které budou lehce přenositelné a umožní uživateli okamžitě získat velice jednoduše a levně základní přehled o jednotlivých parametrech kvality. Tyto analyzátory také měří jednofázové nebo třífázové soustavy a některé modely mohou komunikovat pomocí rozhraní USB s PC. Kategorie ručních analyzátorů zahrnuje celou řadu typů a provedení přístrojů jako jsou například záznamníky kvality, měřící zásuvkové adaptéry, klešťové měřiče, analyzátory s dotykovým displejem a spousta dalších provedení. Některé typy analyzátorů kvality elektrické energie jsou zobrazeny na Obr. 3.



Obr. 3: a) Klešťový měřič, b) Jednofázový analyzátor, c) Třífázový analyzátor, d) Jednofázový záznamník (převzato z [1])

3.3 Analyzátoři pro trvalou instalaci (stacionární analyzátoři)

Jsou to permanentně instalované analyzátoři určené pro trvalé monitorování kvality ve významných uzlech. Nejčastější umístění je v rozvodnách mezi předávací a distribuční soustavou. Analyzátoři nemají tak velký počet rozsahů na napěťových a proudových vstupech. Proud není měřen pomocí klešťových měřičů jako u přenosných analyzátorů, ale obvykle pomocí měřících transformátorů proudu, které jsou v rozvodnách standardně instalovány. Konstrukční provedení se podřizuje místu, kde bude instalován (viz Obr. 4). Obvykle jsou analyzátoři určené k instalaci do rozvaděčů na DIN lištu. Co se týče funkcí a vlastností, tak jsou srovnatelné s přenosnými analyzátoři.



Obr. 4: Analyzátoři kvality pro trvalou instalaci (dostupné z [10])

3.4 Software a hardware analyzátorů

Analyzátoři se můžou rozdělit do dvou samostatných částí na hardware a software. Do hardwaru patří základní přístroj s měřícími vstupy a paměť pro záznam měření. Přítomnost většího počtu napěťových vstupů, proudových vstupů, digitálních vstupů, možnosti připojení externího zařízení atd. závisí na určitém typu přístroje a především na jeho ceně.

Software zase obsahuje programové vybavení, které je určeno k definování měření, nastavení měřících rozsahů napěťových a proudových vstupů a k vyhodnocování a zpracování dat. Dále mohou být funkce rozšířeny o možnost aktualizace softwaru a firmwaru stažením novější verze ze stránek výrobce, abychom mohli modernizovat analyzátor bez nutnosti servisního zásahu. Některé typy přístrojů mají možnost dodatečně změnit nastavitelné parametry u dříve vykonaných měření. Obvykle každý výrobce analyzátorů kvality si vyvíjí svoje vlastní softwarové komponenty zabezpečující vlastní měření a následnou analýzu naměřených dat. Komponenty jsou navrženy tak, aby poskytovaly možnost snadného rozšíření podle přání uživatele. Software pro správu dat se může například rozdělit na několik částí a každá z nich má za úkol plnit jinou funkci (programy pro firmware analyzátorů kvality elektřiny, ovládání analyzátorů kvality elektřiny, zpracování naměřených dat, zpracování naměřených dat přes internet, monitoring kvalitativních parametrů elektřiny, dálková správa analyzátorů atd.).

4 DATOVÁ KOMUNIKACE V PROCESU MĚŘENÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Komunikace, tj. sdělování, je přenos informace mezi několika místy podle dohodnutých pravidel. V souvislosti se zpracováním informace je informace vyjadřována ve tvarech vhodných ke komunikaci, uchování, nebo zpracování. Pojem informace vznikl ve snaze vyjádřit použitelnost určité skupiny poznatků používaných pro rozhodování v dalším postupu při nějaké činnosti. Na teoretické úrovni se problematikou informace zabývá teorie informace. [15]

Datová komunikace jako celek je velice obsáhlé téma, a proto není potřeba do této práce zahrnout všechny její části. Tato kapitola popisuje pouze prvky datové komunikace, které se týkají kvality elektrické energie.

4.1 Komunikační kanály pro přenos dat

Hodnoty naměřené analyzátory musí být přeneseny obvykle do PC, kde se následně zpracují a vyhodnotí pomocí softwaru od výrobce. Tento proces je nezbytně nutný k tomu, abychom mohli vidět naměřená data. K tomuto účelu slouží tzv. komunikační kanály, které zprostředkovávají přenos dat. Způsoby komunikace mezi PQ analyzátory a PC je zobrazen na Obr. 7. Pouze v případě většiny ručních analyzátorů naměřená data vidíme okamžitě a není je potřeba přenášet.

4.1.1 LAN

Je základní klasifikací kterékoli počítačové sítě. Síť LAN můžou být jednoduché (propojení dvou počítačů) až složité (stovky propojených počítačů). Slouží ke snadnému sdílení prostředků (např. tiskárny, diskového prostoru, sdílení internetu atd.). Obvykle se jedná o propojení uzlů v rámci jedné místnosti, budovy nebo několika blízkých budov ve firmách i domácnostech. Užitečný rozsah sítě je většinou od stovek metrů až po kilometr. Přenosová rychlost sítě začíná na Mbit/s a končí až na jednotkách Gbit/s.

4.1.2 MAN

Umožňuje rozšíření působnosti lokálních sítí LAN jejich prodloužením, zvýšením počtu připojených stanic a zvýšením rychlosti. MAN je rozsáhlá síť pokrývající od několika bloků budov až po celá města. Velice často propojuje několik lokálních sítí. Slouží zejména pro přenos dat, hlasu a obrazu na vzdálenost řádově jednotek až desítek km. Rychlost MAN sítí je srovnatelná s LAN sítí. Normalizovaná metropolitní síť existuje jedna: protokol Distributed Queue Dual Bus (DQDB) na standardu IEEE 802.6.

4.1.3 WAN

WAN je komunikační síť spojující jiné sítě (LAN, MAN atd.) přes rozsáhlé geografické území (kontinent nebo i celý svět). Bývají obvykle veřejné, ale existují i privátní sítě. Rychlost je závislá na typech sítí, které WAN propojuje. Začíná na desítkách kbit/s a končí až na Gbit/s. Příkladem takové sítě je Internet.

4.1.4 Ethernet

V současné době to je nejrozšířenější technologie počítačových sítí typu LAN (dnes již zasahuje také do MAN sítí), díky své jednoduchosti a nízké ceně. Je standardizována skupinou standardů IEEE 802.3* (* rozlišuje specifikace pro různé rychlosti). Existuje velice mnoho druhů standardů pro různé rychlosti a určité typy vedení (viz Tab. 1). Ethernet využívá náhodný přístup ke sdílenému médiu s detekcí kolize. Šestibitová fyzická adresa zajišťuje doručování Ethernet rámců k cílovému síťovému rozhraní. Na Obr. 5 jsou znázorněny dva nejpoužívanější typy rámců Ethernet. Další typy rámců jsou Ethernet SNAP a Ethernet 802.2.

Tab. 1: Rychlosti, standardy a typy sítí Ethernet

Verze Ethernetu	Rychlost	Standard	Označení typů
Ethernet	10 Mb/s	IEEE 802.3	10Base-2, 10base-5, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB, 10Base-FP, 10Broad-36
Fast Ethernet	100 Mb/s	IEEE 802.3u	100Base-TX, 100Base-T4, 100Base-FX
		IEEE 802.3xy	100Base-T2
Gigabitový Ethernet	1000 Mb/s	IEEE 802.3z	1000Base-LX, 1000base-SX, 1000Base-CX
		IEEE 802.3ab	1000Base-T
Desetigigabitový Ethernet	10 Gb/s	IEEE 802.3ae	10GBase-SR, 10GBase-SW, 10GBase-LX4, 10GBase-LR, 10GBase-LW, 10GBase-ER, 10GBase-EW

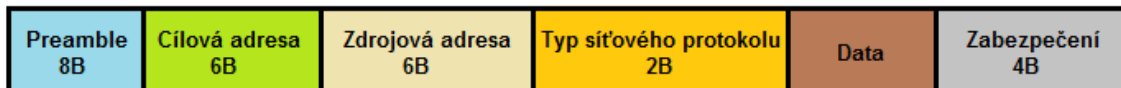
Hlavní výhody sítě Ethernet jsou:

- široká podpora, nízká cena,
- jednoduchost technologie, snadné nasazení sítě, správa i údržba,
- možnost vytvářet rozmanité konfigurace,
- standardizovaný typ sítě zajišťující kompatibilitu produktů různých výrobců[16]

Ethernet 802.3



Ethernet II

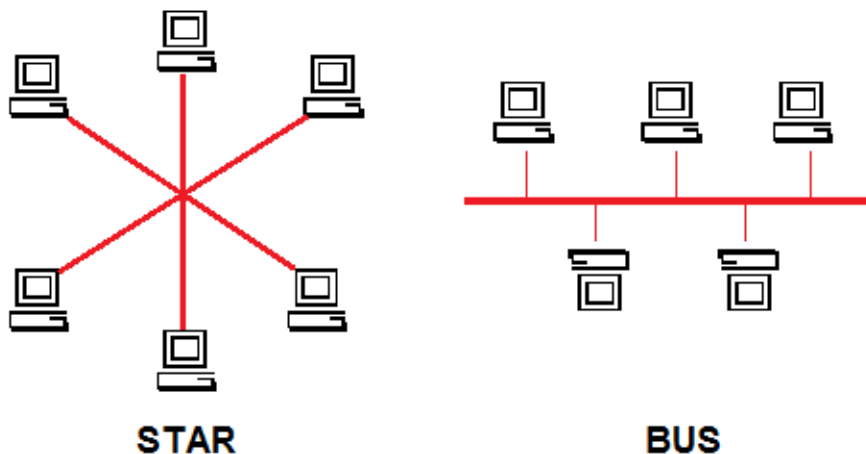


Obr. 5: Struktura rámců Ethernet 802.3 a Ethernet II

Topologie sítě Ethernet

Označuje způsob propojení stanic v síti. Topologii se dělí na fyzickou a logickou. Pod pojmem fyzická topologie se rozumí konkrétní propojení stanic (pomocí různých typů kabelů nebo bezdrátově). Logická topologie označuje způsob propojení, jak to vidí protokol pro řízení přístupu k médiu. Ethernet používá dva základní typy fyzické i logické topologie, které jsou znázorněny na Obr. 6:

- Sběrníkový (BUS) – Ethernet s koaxiálním kabelem
- Hvězdicový (Star) – Ethernet s kroucenou dvojlinkou



Obr. 6: Příklad hvězdicové a sběrníkové topologie

Charakter komunikace Ethernet

Charakter komunikace se dělí na sítě spojové a nespojové. Ethernet se řadí do nespojových sítí. U spojových sítí je před zahájením přenosu nutné navázat spojení. Uzly se musí dorozumět s aktivními prvky a koncovými uzly, které po domluvě vytvoří virtuální kanál, po kterém jsou přenášena data. U nespojových sítí se žádné spojení nenavazuje. Ethernet je založen na technologii broadcastu, tzn. všesměrové vysílání. Rámec se dostane ke všem uzlům a příslušný uzel rozhodne, zda je adresátem nebo ne.

4.1.5 Internet

Internet jsou celosvětově volně propojené počítačové sítě, které spojují jeho jednotlivé síťové uzly. Uzlem může být počítač nebo specializované zařízení, které je připojeno do sítě internet (např. router, hub atd.). Počítače spolu komunikují pomocí protokolů TCP/IP a každý počítač připojený do sítě internet má svoji jedinečnou IP adresu, která se skládá z 32 bitů. Internet spojuje velké množství podsítí, které obsahují rozdílný hardware a software. Přenosové rychlosti jsou tedy velice proměnné. Záleží na typu sítě (LAN, MAN, WAN) a jakou daná síť používá technologii.

4.1.6 GSM

System funguje na principu buňkového systému. Znamená to, že mobilní stanice, které fungují v rámci GSM sítě se připojují prostřednictvím nejbližší buňky, která je v dosahu. V jednotlivých buňkách jsou zvoleny určité kmitočty, které jsou pro konkrétní buňky vysílány. Buňky jsou rozděleny podle schopnosti pokrytí území na čtyři druhy (makro, mikro, piko a dešťníkové buňky). Signálové i hovorové kanály jsou v síti GSM digitální, takže se jedná o druhou generaci (2G) systému mobilních telefonů. System pracuje ve třech kmitočtových pásmech 900,1800, 1900 MHz a jednotlivá pásma jsou rozdělena na kanály, které mají vzájemný odstup 200 kHz. Určité kmitočtové pásmo může využít více mobilních účastníků díky rozšíření metody přístupu k médiu o technologii TDM.

4.1.7 GPRS

Je označována jako „2,5G“ technologie mezi druhou a třetí generací mobilních telefonů a patří k nejmodernější technologii přenosu dat prostřednictvím sítě GSM. Jedná se o mobilní datovou službu přístupnou pro uživatele GSM využívající přepínání datových jednotek, což znamená, že více uživatelů sdílí stejný přenosový kanál a data se přenášejí pouze, když jsou odeslána. Služba negarantuje rychlost přenosu dat, protože GPRS využívá volné místo v síti GSM a tím nedochází k blokování timeslotů. Technologie pracuje na zasílání datových jednotek ve formě paketů a umožňuje přístup na Internet.

Kódovací schéma u GPRS - CS (Code Scheme)

Kódovací schéma určuje rychlost připojení a definuje využití jednotlivých uživatelských bitů. Jedná se o způsob kódování signálu pro přenos rádiovým prostředím. V různých lokalitách je odlišná kvalita signálu. Z tohoto důvodu se používají různá kódovací schémata v závislosti na odstupu signál/rušení, tak aby byl zajištěn co nejlepší přenos dat. Kódové schéma je mobilní stanici přiděleno ze základnové stanice a jeho volba je závislá na kvalitě signálu. GPRS používá čtyři kódová schémata CS-1 až CS-4. Jednoduše řečeno CS-1 je určeno pro horší přenosové podmínky a CS-4 do lokalit s nejlepší kvalitou signálu. V Tab. 2 jsou uvedeny dosahované rychlosti u jednotlivých tříd kódování.

Tab. 2: Kódové schéma GPRS

Třída	Přenosová rychlost
CS-1	9,05 kbit/s
CS-2	13,4 kbit/s
CS-3	15,6 kbit/s
CS-4	21,4 kbit/s

Možnosti mobilních zařízení

Mobilní terminály se rozdělují do tříd („Multislot Class“) z hlediska používání timeslotů pro uplink, downlink a kolik z toho používají současně (viz. Tab. 3). Daná konfigurace je zvolena podle převládajícího toku dat a mění se podle aktuální situace.

Tab. 3: Multislotové třídy

Třída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	32
Downlink TS	1	2	2	3	2	3	3	4	3	4	4	4	5
Uplink TS	1	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	4	5
Současně TS	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6

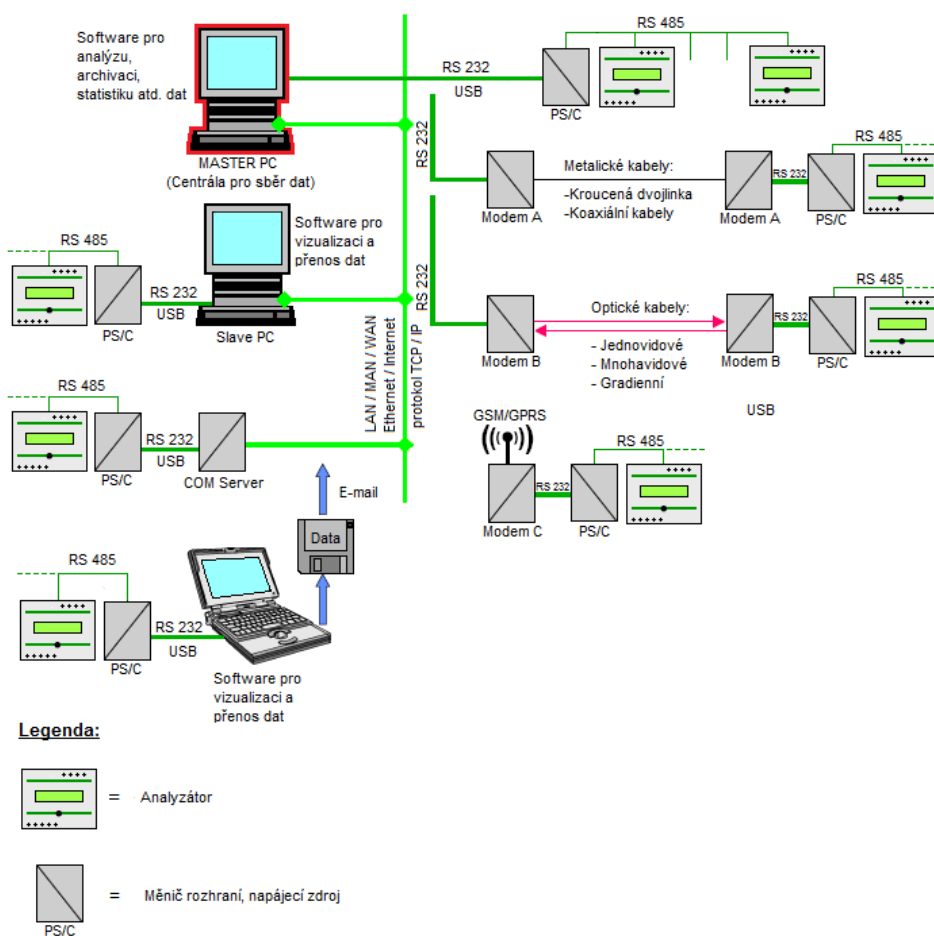
Maximální rychlosti GPRS

System GPRS poskytuje nejvyšší rychlost 80 kbit/s při kódování CS-4 a konfiguraci mobilního terminálu 4+1 (4 time sloty pro download + 1 time sloty pro upload). Pokud mobilní terminály i sítě podporují nejnovější třídu 32, tak teoretická maximální rychlost je pro download až 100kbit/s.

Třídy terminálů GPRS

- **Třída A** - Terminály jsou schopny současně ovládat služby na základě spojování okruhů i spojování paketů (datové i hlasové služby). Oba druhy služeb jsou ovládány nezávisle na sobě.
- **Třída B** - Terminály ovládají v jeden okamžik pouze jednu ze služeb (datové nebo hlasové služby), ale je možné automaticky přecházet mezi těmito dvěma režimy.
- **Třída C** - U terminálu je nutné nastavit paketový nebo okruhový režim. Terminál po nastavení může používat pouze jeden z těchto režimů.

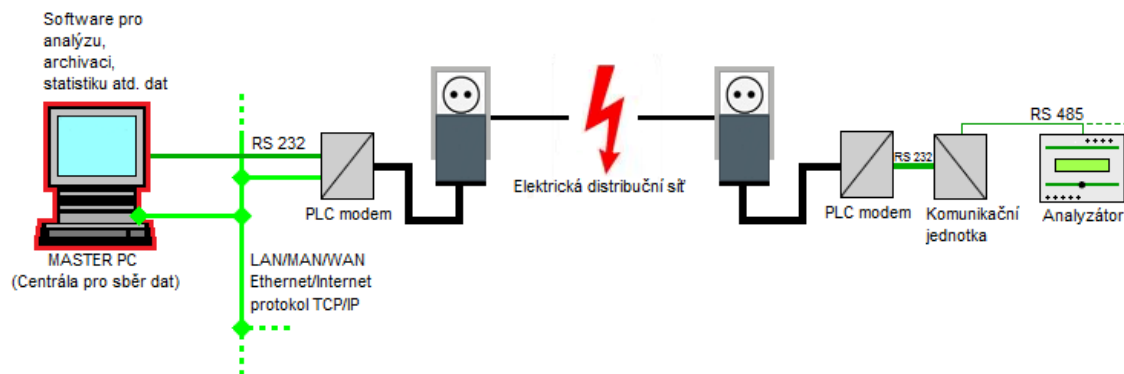
Dále GPRS vychází vstříc skutečnosti, že různé druhy datových přenosů mohou mít různé požadavky na jejich kvalitu, proto byla do GPRS zavedena služba QoS (Quality of Service), která má tyto čtyři parametry: priorita, spolehlivost, zpoždění a propustnost.



Obr. 7: Příklady komunikačních kanálů pro přenos dat

4.1.8 PLC

Jedná se o využití elektrické napájecí sítě pro komunikační účely. Z tohoto plyne, že elektrická distribuční síť je používána jako přenosové médium, takže není potřeba vytvořit novou komunikační síť, což výrazně snižuje náklady na vybudování sítě. Dálkový odběr kvality elektrické energie pomocí PLC systému je zobrazen na Obr. 8.



Obr. 8: Datová komunikace analyzátorů kvality elektrické energie pomocí PLC

Princip PLC je následující. Na straně vysílače se signál moduluje na nosnou vyššího kmitočtu (obvykle desítky kHz až desítky MHz), který je dále superponován na výkonovou vlnu a injektován do napájecích silových rozvodů pomocí vazebních členů. Poté následuje přenos přes sdílené médium, což je v tomto případě elektrický vodič. Na straně přijímače je následně odděleno napájecí napětí od vysokofrekvenčních signálů v komunikačním pásmu. Demodulací výsledného signálu jsou získána původní data.

Systémy PLC se rozdělují do dvou oblastí podle využívaného pásma na širokopásmové systémy využívající frekvenci 2 – 30 MHz a úzkopásmové systémy využívající pásmo do 150 kHz. Každý systém je vhodný pro jiný typ komunikace a liší se použitou modulační technikou (úzkopásmová modulace a širokopásmová modulace). Rozdělení jednotlivých systémů je uvedeno v Tab. 4. Systémy PLC lze také rozdělit vzhledem k jejich architektuře na vnější a vnitřní systém. Vnější systém (outdoor nebo access) pracuje v rozprostřeném frekvenčním pásmu o šíři pásma 2 MHz s nosnými frekvencemi 15 – 30 MHz. Pokrývá veřejnou část nízkonapěťové distribuční sítě a je omezen transformační stanicí. Vnitřní systém (indoor nebo inhouse) pracuje s nosnými o frekvenci 1,6 – 12 MHz. Zahrnuje bytové rozvody a pokrývá celou privátní oblast nízkonapěťových silových rozvodů.

Z hlediska přenosu dat z analyzátoru kvality elektrické energie jsou důležité úzkopásmové systémy PLC s využitím úzkopásmové modulace, které jsou popsány dále.

Tab. 4: Rozdělení telekomunikačních služeb v silnoproudých vedeních a sítích

Telekomunikační služby provozované v silnoproudých vedeních a sítích			
úzkopásmové		širokopásmové	
hovorové	nehovorové	přístupové	transportní
(vvn, vn)	(vvn, vn)	(distribuční síť)	(vvn + optický kabel)
služební telefonie	dálkové měření	přístup k Intranetu	přenos datových souborů
standardní telefonie	dálková regulace	přístup k Internetu	přenos sdružených kanálů
	dálkový odečet bytových měřičů	přenos vidoesignálů	
	dálková signalizace	LAN budovy	
	dálkové ovládání	LAN byty	
	přenos od zabezpečovacích zařízení		

Úzkopásmové PLC

Pro potřeby sběru dat z analyzátoru kvality elektrické energie tento druh PLC je zcela dostačující. Přenosové kanály s nízkou úrovní sice zajišťují malé přenosové rychlosti v rámci stovek kbps, ale pro přenos dat na průmyslové úrovni je to dostatečné. Funkce, které jsou schopny vykonávat úzkopásmové systémy, jsou uvedeny v Tab. 4. Pro úzkopásmový přenos dat po energetické síti jsou povoleny kmitočty rozdělené do pásem, které jsou dané normou ČSN EN 50065. Podrobné rozdělení pásem je uvedeno v Tab 5.

Tab. 5: Rozdělení kmitočtových pásem

Pásmo	Kmitočtový rozsah	Poznámka
	3 - 95 kHz	jen pro dodavatele elektrické energie
A	9 - 95 kHz	pro dodavatele elektrické energie a po jejich souhlasu i pro odběratele
B	95 - 125 kHz	jen pro odběratele
C	125 - 140 kHz	jen pro odběratele - vyžadován protokol o přistoupení k dohodě
D	140 - 148,5 kHz	

Úzkopásmová modulace

Pro spolehlivou komunikaci po silových rozvodech je také potřeba zvolit správný typ modulace. Nejvhodnějším pro dálkový sběr dat je úzkopásmová modulace o jedné nosné.

Úzkopásmové modulace rozdělujeme na:

- **FSK (Frequency Shift Keying) – frekvenční klíčování**

Její princip spočívá v klíčování značky nebo mezery pomocí dvou rozdílných kmitočtů. Rozdíl klíčovacích kmitočtů je označováno jako zdvih (shift).

- **PSK (Phase-Shift Keying) – fázové klíčování**

Pomocí změnou fáze vysílaného signálu se kóduje informace. PSK se dále rozděluje podle počtu stavů, kterými je schopna klíčovat určitou informaci. Do dvoustavové patří BPSK (Binary Phase Shift Keying), kde jsou fáze navzájem otočené o π . Další modulace jsou čtyřstavové QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) a vícestavové 8PSK, 16PSK tzn. osmistavové a šestnáctistavové modulace.

Použití vícestavových modulací spočívá ve větší přenosové rychlosti (více bitů připadá na jeden stav).

- **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)**

Data jsou vysílána ve fázi vyplývající z konstantní obálky a díky tomu je signál při přenosových rychlostech vyšších než 2Mbps odolný proti úzkopásmovému a impulznímu rušení.

5 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ VYBRANÝMI ANALYZÁTORY

5.1 FLUKE VR1710

5.1.1 Charakteristika

Záznamník kvality elektrické energie FLUKE VR1710 (viz Obr. 3 d)) je jednofázový, zásuvný záznamník kvality napětí, který poskytuje velmi snadno ovladatelné řešení při zjišťování a záznamu problémů s kvalitou elektrické energie a umožňuje okamžitě podniknout nápravná opatření omezující výpadky. Jednofázový záznamník VR1710 vyhovuje potřebám údržby a správy průmyslových, užitkových a velkých servisních zařízení, kde je spolehlivá kvalita energie zásadním předpokladem provozu. [19]

5.1.2 Software

K záznamníku FLUKE VR1710 je dodáván software PowerLog umožňující rychlé stahování, analýzu a automatickou přípravu protokolů, grafů, statistik atd v PC. Data jsou zaznamenávána se vzorkovací periodou od 1s do 20 min podle nastavení uživatele, čímž lze uložit do vnitřní paměti záznamníku data v časové oblasti od jednoho dne až po více jak jeden rok. Propojení mezi záznamníkem a PC je zajištěno pomocí USB rozhraní.

Základní vlastnosti záznamníku a softwaru PowerLog

- Rychlý a jednoduchý záznam vývoje napětí, výpadků a kvality elektrické energie.
- Mimořádně snadné použití (připojení přímo do síťové zásuvky).
- Souvislý záznam všech hodnot bez přerušení.
- Jasný grafický souhrn dat a rychlý přehled klíčových parametrů kvality elektrické energie.
- Hodnoty Min, Max a Average RMS (1/4 cyklu) s údajem o datu a čase.
- Skutečné zobrazení přechodových jevů ($>100 \mu\text{s}$) s časovou značkou.
- Záznam flickeru podle normy [5] a záznam harmonických kmitů a hodnot THD s trendy.
- Statistická analýza událostí v jednofázovém napětí

5.1.3 Místo a nastavení měření

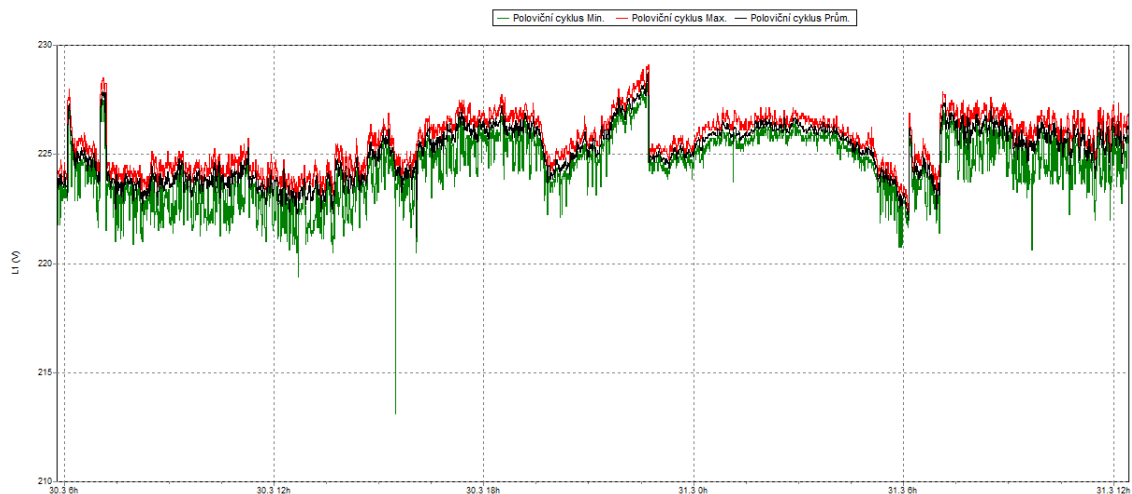
Praktické měření bylo realizováno v laboratoři č. 278 v budově Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií v Brně na ulici Purkyňova 118 od 30.3.2011 5:49:23 hod do 31.3.2011 12:24:37 hod. Záznamník FLUKE VR 1710 byl připojen do jednofázové sítě nn. Během měření byla distribuční síť zatížena elektrickými spotřebiči, jako je PC, notebook, osciloskop, monitor, tiskárna, laboratorní zdroje atd. Jedná se o velice jednoduchý přístroj, který si většinu nastavení provede sám. V programu Power Log bylo potřeba zadat pouze interval měřicího cyklu na 1s, což odpovídalo záznamu na více jak jeden den.

5.1.4 Výsledky měření

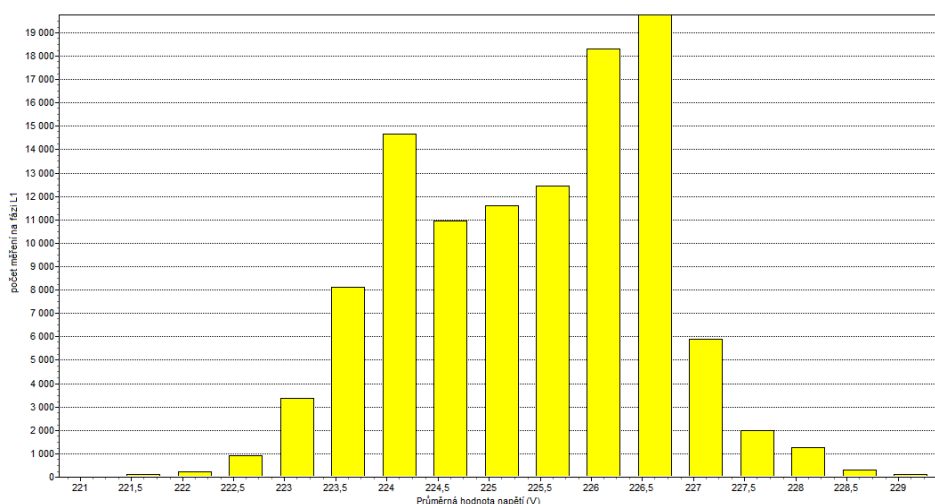
Parametry kvality elektrické energie, která umí FLUKE VR 1710 zaznamenat jsou v programu velice přehledně graficky zobrazeny v jednotlivých záložkách. V jednotlivých grafech se lze pohybovat a zjistit aktuální hodnoty zobrazeného místa. Program je schopný zaznamenat události i na nulovém vodiči N, avšak tyto hodnoty jsou vzhledem k posuzování kvality elektrické energie nepotřebné, takže jsou analyzovány pouze data týkající se fáze L. V následujícím textu jsou popsány a rozebrány nejdůležitější změřené hodnoty.

Napětí

Z grafu na Obr. 9 vidíme průběh napětí na fázi L v závislosti na čase. Program zaznamenal minimální, maximální a průměrné efektivní hodnoty napětí. Z grafu je patrné, že většina hodnot napětí se pohybovala v rozmezí 220 – 229 V. Pouze v čase 12:41:37 a 15:28:26 došlo k náhlému snížení minimální hodnoty napětí na 219,4 V a 213,2 V. Podle normy [3] nepřekročily tyto hodnoty průměrnou efektivní hodnotu napětí $U_n \pm 10\%$. V našem případě by velikost napětí v distribuční síti neměla klesnout pod 207 V. V programu existuje další funkce v záložce STATISTIKA, která umí zobrazit v přehledném sloupcovém grafu minimální, maximální anebo průměrné hodnoty napětí během celého počtu měření (Obr. 10). Zobrazené hodnoty napětí uvádí, že průměrná efektivní hodnota napětí během 95% doby měření je 226,9 V, což také odpovídá požadavkům normy [3].



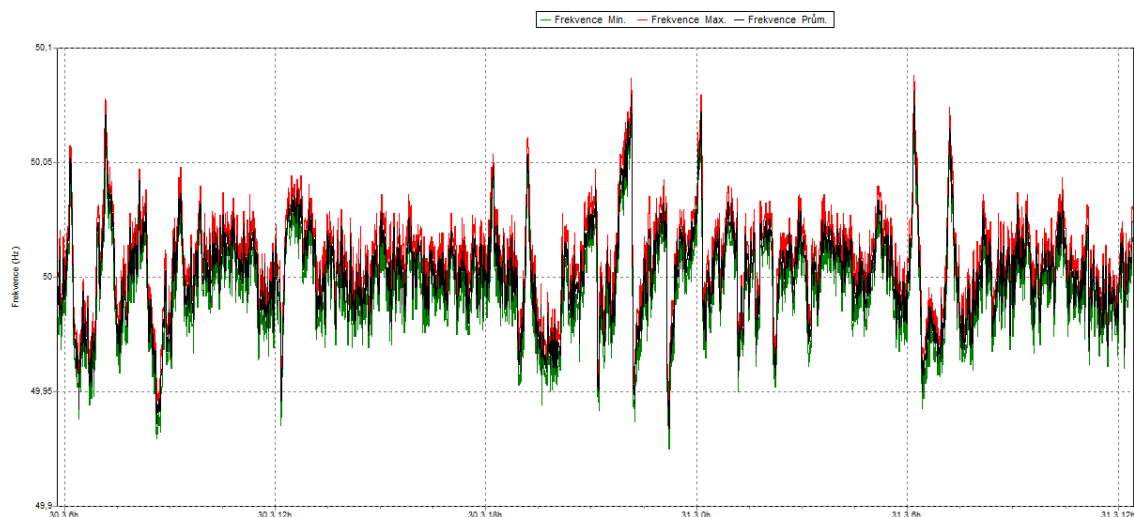
Obr. 9: Průběh napětí na fázi L v závislosti na čase



Obr. 10: Průměrné hodnoty napětí během celého počtu měření

Kmitočet napětí

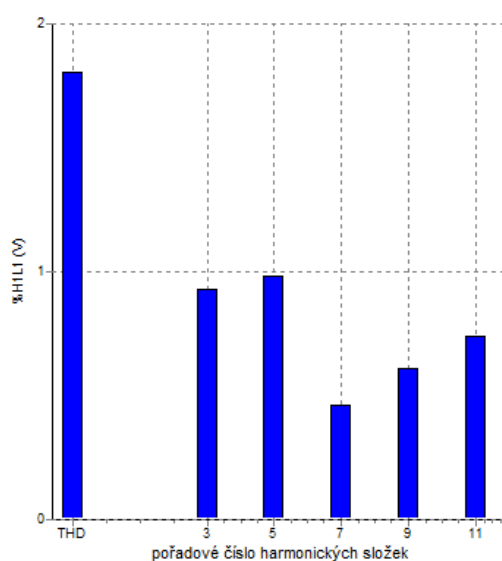
Dalším důležitým parametrem pro posuzování kvality elektrické energie je kmitočet napětí. Graf na Obr. 11 znázorňuje závislost kmitočtu napětí na čase. Opět se zaznamenaly minimální, maximální a průměrné hodnoty, které se pohybovaly v rozmezí od minimální hodnoty 49,925 Hz do maximální hodnoty 50,0871 Hz. Norma [16] dovoluje odchylky od kmitočtu 50 Hz ± 1 % po 99,5 % roku. Tomu odpovídají hodnoty kmitočtů 47 – 52 Hz. Změřené výsledky se tedy bezpečně vlezly do dovoleného rozsahu.



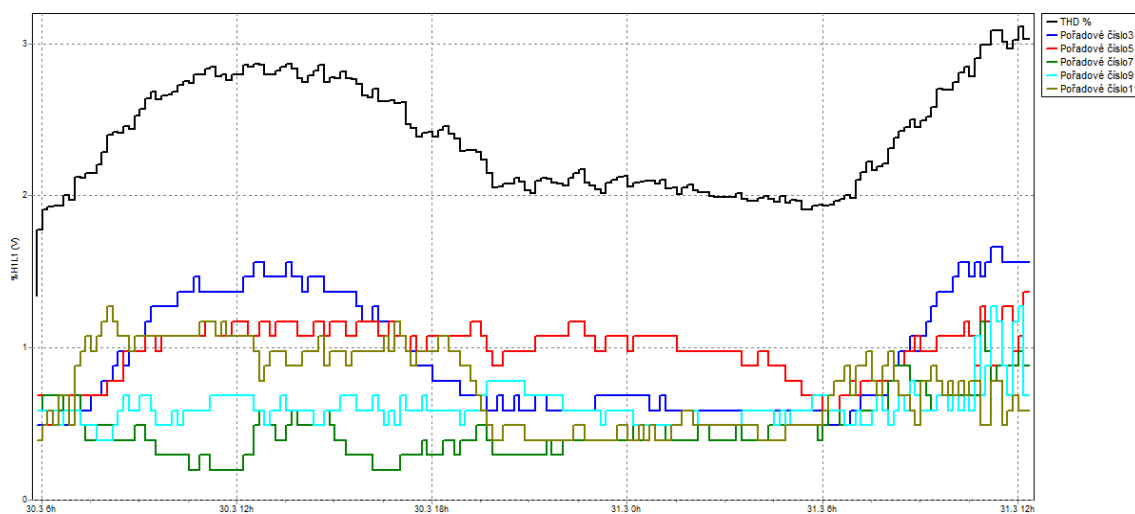
Obr. 11: Průběh velikosti kmitočtu napětí v závislosti na čase

Harmonické složky

Na Obr. 12 jsou ve sloupcovém grafu zobrazeny jednotlivé harmonické složky, které se vyskytly během měření. Z grafu lze vidět, že distribuční síť ovlivňuje pouze liché násobky základního kmitočtu. Program je schopný zaznamenat harmonické složky až do řádu 50, avšak během měření se vyskytly pouze harmonické složky 3, 5, 7, 9 a 11. Složky s vyšším řádem měly buď to zanedbatelnou anebo nulovou hodnotu. Z hlediska posuzování kvality elektrické energie je nejdůležitějším parametrem činitel celkového harmonického zkreslení (THD), který zahrnuje všechny harmonické složky až do řádu 40 a počítá se ze vztahu 1.2. Podle normy [3] hodnota THD nesmí překročit 8%. Z grafu vidíme, že hodnota THD je cca 1,8 %. Další graf na Obr. 13 zobrazuje časovou evoluci vybraných harmonických složek během měření



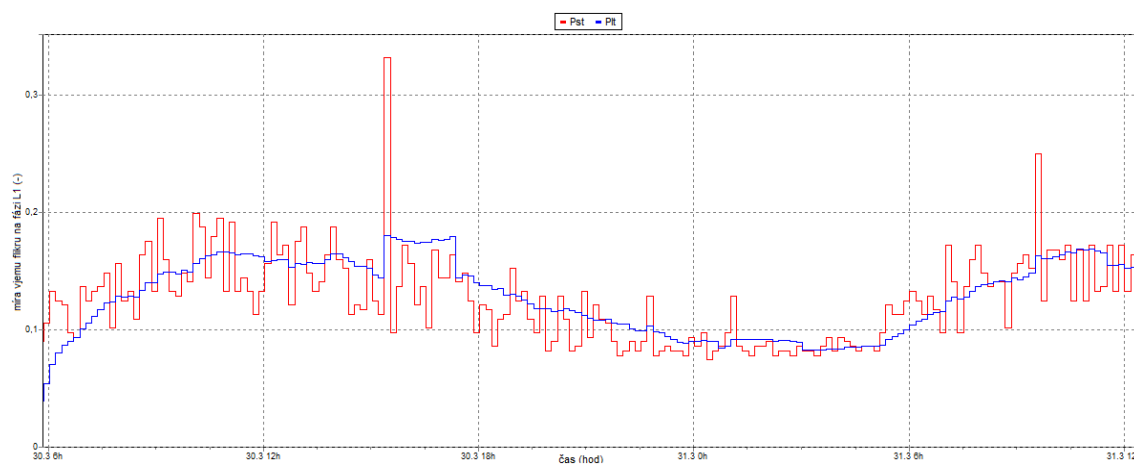
Obr. 12: Histogram harmonických složek



Obr. 13: Časová evoluce vybraných harmonických složek

Flikr

Program graficky znázornil krátkodobou P_{st} a dlouhodobou P_{lt} míru vjemu flikru (Obr. 14). U krátkodobého flikru se hodnoty pohybovaly přibližně v rozmezí od 0,07 do 0,2. Pouze ve dvou případech došlo k náhlému zvýšení. V čase 15:21:41 hod se zvýšil na hodnotu 0,3302 s délkou trvání 9 min a 57 s a v čase 9:31:18 hod na hodnotu 0,2499 s délkou trvání 10 min. Dlouhodobý flikr se pohyboval v hodnotách od 0,0409 do 1,1800. Intenzita nepříjemnosti dlouhodobého flikru se vyhodnocuje podle vzorce 1.3 uvedeného v normě [5]. Za přípustné hodnoty se považují $P_{st} \leq 0,8$ a $P_{lt} \leq 0,6$. Naměřené výsledky tuto podmínku splňují.



Obr. 14: Průběh míry vjemu flikru v závislosti na čase

5.2 PQ monitor MEG30

5.2.1 Charakteristika

Jedná se o multifunkční měřicí přístroj (viz Obr. 15) v přenosném provedení pro dlouhodobý záznam čtyř napětí a čtyř proudů, činných i jalových výkonů a energií v trojfázových nn sítích. V souladu s normou [6] analyzuje všechny parametry kvality napětí na vstupech U1, U2, U3. Na všech čtyřech napětích registruje události (poklesy, překročení napětí a přerušování napětí), přičemž zaznamenává nejen normou definované charakteristiky událostí na napětích, ale i průběhy všech čtyř napětí i čtyř proudů na počátku a na konci každé události, tzv. počáteční a koncový detail. Propojení mezi PQ monitorem a PC je zajištěno pomocí USB rozhraní.

Snímače AMOS PQ

Pro komplexní měření kvality elektrické energie je nutné zapojit k PQ monitoru aktivní ohebné snímače střídavých proudů AMOS PQ (viz Obr. 15). Měřicí rozsahy proudů jsou volitelné díky čtyřpolohovému přepínači. Rozsahy jsou 30, 100, 300 a 1000 A. Jsou určeny k bezpečnému měření střídavých proudů nn sítí v prostorově stísněných podmínkách. Lze je použít k provozním měřením střídavých proudů technických kmitočtů ve vodičích nestandardních průřezů a v prostorově úsporných rozvaděčích. Kmitočtový rozsah snímače dovoluje měření i silně tvarově zkresleného proudu. Přesnost měření závisí na umístění uzávěru smyčky snímače. Proudů procházející vodiči vně uzavřeného snímače mohou ovlivnit výsledek měření, zejména prochází-li v blízkosti uzávěru snímače. Funkce snímačů je založena na principu Rogowského cívky.



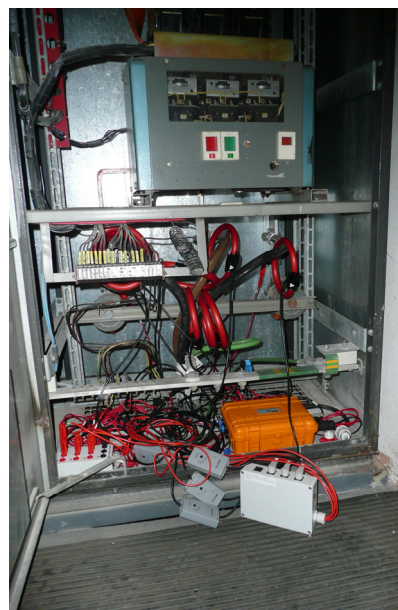
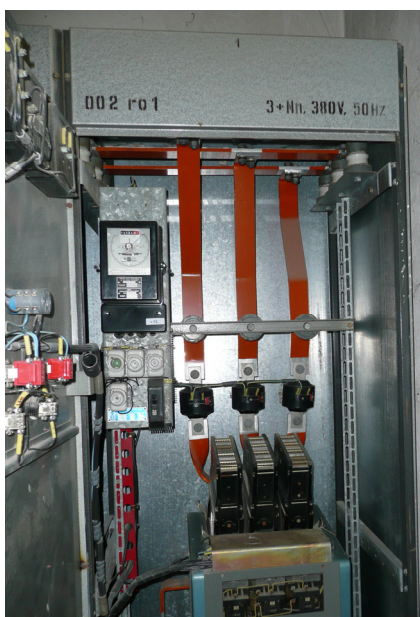
Obr. 15: Zapojený PQ monitor MEG 30 (vlevo) do jednofázové sítě nn s připojenými ohebnými snímači střídavých proudů AMOS PQ (vpravo)

5.2.1 Software

Přístroj je plně funkční pouze s dodávaným programem PQ monitor od firmy MEGa. Jeho vlastnosti a funkce jsou velice podobné jako u softwaru Power Log v kapitole 5.1.2. Interval záznamu jde nastavit od 1s až po 15 minut, takže paměť přístroje vystačí až na 600 dní. V programu je přímo od výrobce implementována norma ČSN EN 50 160, podle které jsou pak naměřené hodnoty automaticky porovnány. Komunikace mezi PC a PQ monitorem je opět zajištěna pomocí USB rozhraní. Program nabízí jednu velkou výhodu oproti programu Power Log, a sice on-line monitoring naměřených hodnot v reálném čase.

5.2.2 Místo a nastavení měření

Praktické měření bylo realizováno v komerční budově na ulici Okružní 834/29a od úterý 12. 4. 2011 12:56:31 hod do středy 20. 4. 2011 10:39:35 hod. Budova je sídlem firma MEGa, která zapůjčila zmiňovaný přístroj. PQ monitor byl schválně ponechán měřit cca 8 dní, aby byly zaznamenány všechny dny v týdnu. Díky tomu máme ucelený přehled o všech pracovních a nepracovních dnech týdne. PQ monitor byl umístěn do rozvodné skříně trojfázové sítě nn, jak je zobrazeno na Obr. 16.



Obr. 16: Rozvodná skřín trojfázové sítě nn (vlevo), zapojení PQ monitoru v rozvodné skříně (vpravo)


Nastavení přístroje a spuštění měření se provádí pomocí dodávaného softwaru PQ Monitor. Program je kompatibilní s celou řadou výrobků firmy MEGa, takže je nutné provést nastavení mnoha parametrů, aby mohlo začít samotné měření.







V první řadě byl zvolen typ PQ monitoru, a sice přenosný nn. Dále byla zvolena trojfázová soustava v rozsahu 230 V. Na snímačích proudů AMOS PQ byl zvolen rozsah 100 A a následně tato hodnota zaznamenána do programu. Stejně tak byly do programu zaznamenány použité typy proudových snímačů. V posledním kroku byla nastavena organizace paměti na kruhovou a perioda záznamu pro záznamník na 15 s, takže externí paměť PQ monitoru vystačila cca na 10 dní. Ostatní parametry byly nastaveny automaticky programem podle normy [3].

5.2.3 Výsledky měření

Změřené výsledky jsou po stažení do PC zaznamenány do programu PQ monitor, který je organizován do jednotlivých záložek. V nabídce je k dispozici pět hlavních záložek. Některé z nich jsou ještě dále rozvětveny na podskupiny. Pro určení kvality elektrické energie byla provedena analýza nejdůležitějších záložek s naměřenými hodnotami.

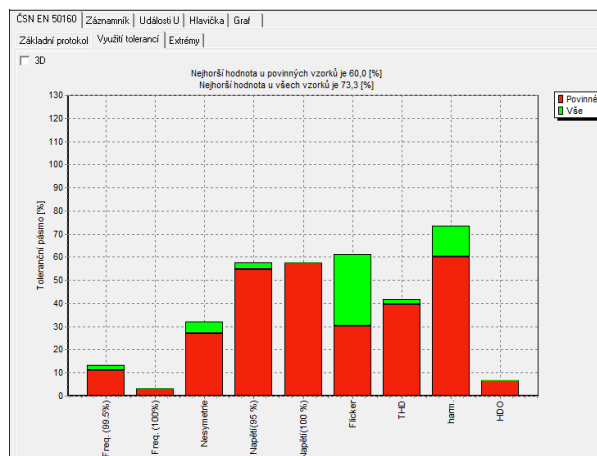
ČSN 50160

V této záložce jsou zobrazeny naměřené hodnoty srovnány s normou [3] a případné hodnoty mimo povolenou mez jsou vyznačeny červeným rámečkem. Během našeho měření byly však všechny parametry určující kvalitu elektrické energie v mezích (modrý rámeček), jak lze vidět z Obr. 17. Všechna dostupná data jdou exportovat do záložky graf, jestliže je v jednotlivých řádcích symbol .

ČSN EN 50160 Záznamník Události U Hlavěnka Graf					
Základní protokol Využití toleranci Extrémny					
DOBA	Od	Do			
Doba zpracování	12.4.2011 13:00:00	20.4.2011 10:40:00			
VELIČINA	EN 50160	HODN. (Mimo mez)			
Délka měření	1 týden	74 21:40:00.000			
Interval záznamu	10 minut	10 min			
Frekvence 99.5 % roku	50 Hz +1% -1%	49.94 - 50.05 / 0%			
Frekvence 100 % roku	50 Hz +4% -6%	49.94 - 50.07 / 0%			
Nesymetrie 95 %	2,0%	0,12 - 0,54 / 0%			
VELIČINA	EN 50160	L1	L2	L3	
Napětí 95 %	230V +10% -10%	232,7 - 240,2 / 0%	233,9 - 241,1 / 0%	235,6 - 242,6 / 0%	
Napětí 100 %	230V +10% -15%	232,7 - 240,9 / 0%	233,8 - 241,8 / 0%	235,5 - 243,2 / 0%	
Flicker P _f 95 %	1,0	0,10 - 0,28 / 0%	0,11 - 0,30 / 0%	0,10 - 0,29 / 0%	
THD 95 %	8,0 %	2,07 - 3,16 / 0%	1,98 - 3,01 / 0%	2,11 - 2,88 / 0%	
2. harmonická 95 %	2,0 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,10 - 0,10 / 0%	
3. harmonická 95 %	5,0 %	0,20 - 0,70 / 0%	0,35 - 0,90 / 0%	0,40 - 0,80 / 0%	
4. harmonická 95 %	1,0 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	
5. harmonická 95 %	6,0 %	1,85 - 2,70 / 0%	1,65 - 2,50 / 0%	1,70 - 2,50 / 0%	
6. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	
7. harmonická 95 %	5,0 %	0,65 - 1,35 / 0%	0,50 - 1,30 / 0%	0,70 - 1,25 / 0%	
8. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
9. harmonická 95 %	1,5 %	0,15 - 0,85 / 0%	0,25 - 0,90 / 0%	0,25 - 0,60 / 0%	
10. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
11. harmonická 95 %	3,5 %	0,00 - 0,20 / 0%	0,05 - 0,35 / 0%	0,05 - 0,30 / 0%	
12. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
13. harmonická 95 %	3,0 %	0,05 - 0,30 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,25 / 0%	
14. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
15. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,20 / 0%	0,00 - 0,25 / 0%	0,05 - 0,25 / 0%	
16. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
17. harmonická 95 %	2,0 %	0,00 - 0,15 / 0%	0,00 - 0,15 / 0%	0,05 - 0,15 / 0%	
18. harmonická 95 %	0,5 %	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
19. harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,20 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%	
20. harmonická 95 %	0,5 %	0,00 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
21. harmonická 95 %	0,5 %	0,00 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,15 / 0%	
22. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	
23. harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,15 / 0%	0,00 - 0,15 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%	
24. harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	
25. harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,15 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%	
H _{DO_217} 99% dne	9,0 %	0,1 - 0,6	0,1 - 0,6	0,1 - 0,6	

Obr. 17: Naměřené hodnoty zobrazené v základním protokolu a porovnané s normou [3]

Na Obr. 18 je znázorněno využití tolerancí normy [3]. V průběhu měření nedošlo k překročení žádných tolerančních mezí. Nejhorší hodnota tolerance u všech vzorků dosáhla 73,3% u harmonických složek.



Obr. 18: Využití tolerancí normy [3] v grafickém zobrazení

Program také zobrazuje tzv. extrémny, kde jsou zaznamenány minimální, maximální a průměrné hodnoty některých veličin 95% i 100% času. Jedná se o napětí, flickr a THD znázorňující Obr. 19. Tyto hodnoty jsou opět porovnány s normou [3].

Napětí 100 %				Flicker 100 %			
	L 1	L 2	L 3	L 1	L 2	L 3	
Průměr	237,5	238,3	239,9	0,20	0,21	0,20	
Maximum	240,9	241,8	243,2	0,51	0,61	0,31	
Minimum	232,7	233,8	235,5	0,10	0,11	0,10	
Napětí 95 %				Flicker 95 %			
	L 1	L 2	L 3	L 1	L 2	L 3	
Průměr	237,3	238,1	239,8	0,19	0,20	0,20	
Maximum	240,2	241,1	242,6	0,28	0,30	0,29	
Minimum	232,7	233,9	235,6	0,10	0,11	0,10	
THD 100 %							
	L 1	L 2	L 3				
Průměr	2,64	2,53	2,56				
Maximum	3,34	3,14	3,07				
Minimum	2,07	1,97	2,11				
THD 95 %							
	L 1	L 2	L 3				
Průměr	2,61	2,51	2,54				
Maximum	3,16	3,01	2,88				
Minimum	2,07	1,98	2,11				

Obr. 19: Průměrné, minimální a maximální hodnoty zaznamenané během měření

Záznamník

V záložce jsou uloženy hodnoty napětí, proudu, činného a jalového výkonu. Na Obr. 20 je vidět, že byly zaznamenány u těchto veličin průměrné, minimální, maximální a 1/4 hodinové maximální hodnoty. Program také zaznamenal jejich přesný čas, kdy nastaly. Všechny veličiny je možné zanést do grafu.

CSN EN 50160 Záznamník Události U Hlavička Graf				
Text				
DOBA	Od	Do		<input checked="" type="checkbox"/> PF <input checked="" type="checkbox"/> M
Doba zpracování	12.4.2011 12:56:11	20.4.2011 10:39:35		<input checked="" type="checkbox"/> R <input checked="" type="checkbox"/> M
Pro dny týdne	Všechny			
Pro hodiny dne	Všechny			
NAPĚTÍ	L 1 [V]	L 2 [V]	L 3 [V]	
Průměr	237,5	238,3	239,9	
Maximum	243,3	243,6	245,9	
Kdy	16.4.2011 8:40:10	17.4.2011 9:25:17	17.4.2011 9:25:17	
Minimum	230,9	232,6	234,3	
Kdy	19.4.2011 8:37:04	19.4.2011 8:37:04	19.4.2011 8:37:04	
PROUD	L 1 [A]	L 2 [A]	L 3 [A]	
Průměr	34,37	26,43	19,30	
Maximum	80,55	77,15	54,20	
Kdy	13.4.2011 9:24:18	14.4.2011 8:56:47	15.4.2011 13:49:35	
1/4 hod. max.	66,66	61,58	39,18	
Kdy	14.4.2011 9:26:16	14.4.2011 9:10:31	18.4.2011 8:59:41	
ČINNÝ VÝKON	L 1 [kW]	L 2 [kW]	L 3 [kW]	Vývod [kW]
Průměr	7,37	5,24	3,95	16,56
Maximum	18,16	17,87	12,75	40,84
Kdy	13.4.2011 9:24:18	14.4.2011 8:56:47	15.4.2011 13:49:35	14.4.2011 9:17:16
1/4 hod. max.	14,61	14,16	8,84	35,52
Kdy	14.4.2011 9:28:31	14.4.2011 9:10:31	15.4.2011 14:35:36	14.4.2011 9:10:16
JALOVÝ VÝKON	L 1 [kVA]	L 2 [kVA]	L 3 [kVA]	Vývod [kVA]
Průměr	0,37	0,43	0,42	1,22
Maximum	6,37	5,39	4,91	13,97
Kdy	13.4.2011 11:14:32	13.4.2011 16:16:16	12.4.2011 15:10:26	13.4.2011 14:26:31
1/4 hod. max.	5,13	3,63	4,52	11,02
Kdy	12.4.2011 14:49:41	13.4.2011 16:07:01	12.4.2011 15:13:11	12.4.2011 14:51:11

Obr. 20: Souhrn naměřených hodnot v záznamníku

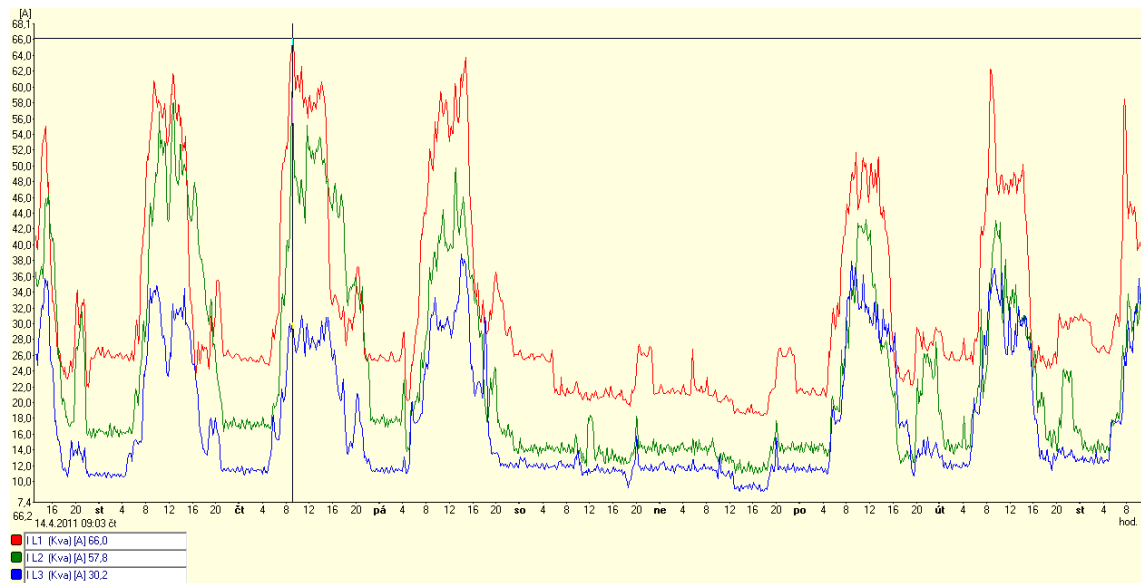
Události U

V této části se zaznamenávají události poklesu, přepětí a přerušení napětí. Stejně tak se zobrazí jejich počet, hloubka, délka, kdy nastaly a celková doba trvání. Během našeho měření nedošlo k žádné události.

Graf

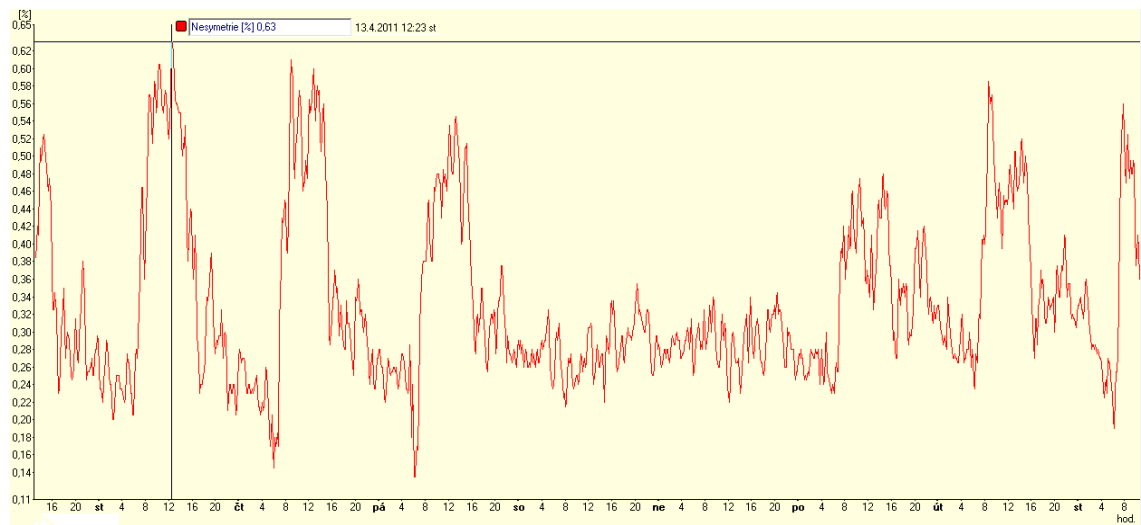
V programu PQ monitor je možné si vygenerovat velké množství grafů. Jelikož program automaticky porovnal naměřené hodnoty s normou [3] a všechny hodnoty byly v mezích, nebylo nutné znovu rozebírat a popisovat výsledné grafy. Na Obr. 21, 22, 23 a 24 jsou pouze pro ukázkou zobrazeny základní a z nich odvozené veličiny určující kvalitu elektrické energie, které lze změřit pouze v trojfázové soustavě a které přístroj Fluke VR 1710 nedovedl zaznamenat. Naměřené hodnoty tykající se následujících grafů jsou na Obr. 20.

Proudy



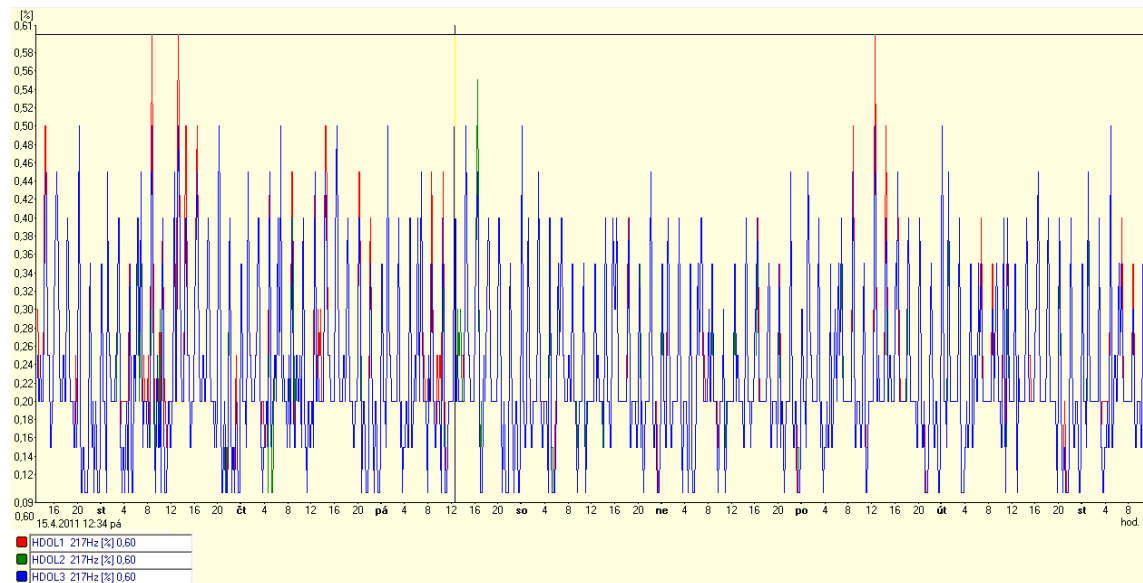
Obr. 21: Průběh proudů na fázích L1, L2 a L3 v závislosti na čase

Nesymetrie



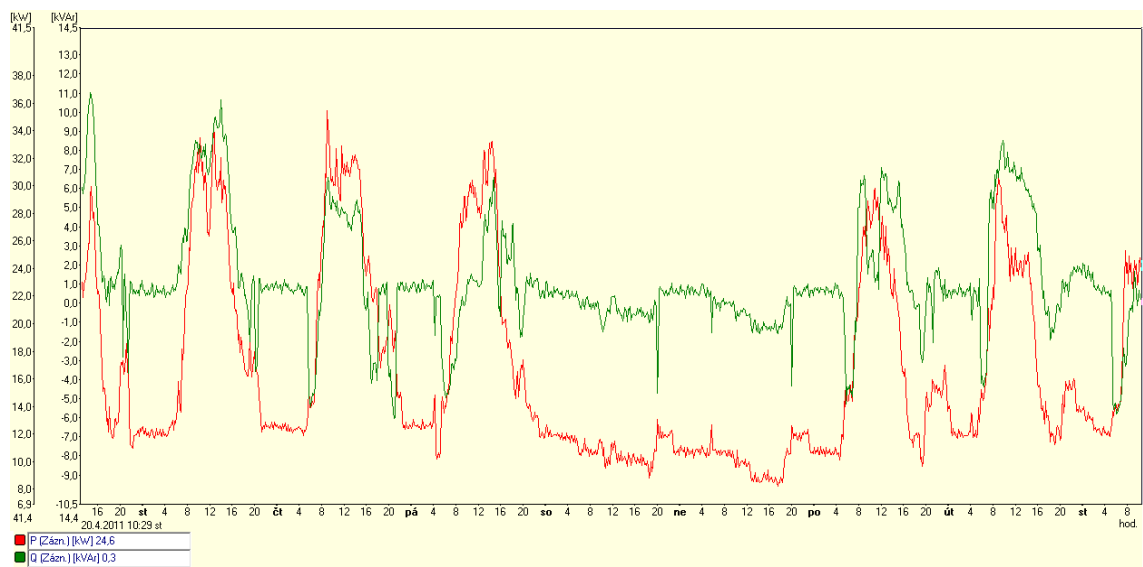
Obr. 22: Průběh nesymetrie napětí v závislosti na čase

HDO



Obr. 23: Průběh HDO na fázích L1, L2 a L3 v závislosti na čase

Činný a jalový výkon



Obr. 24: Průběh činného a jalového výkonu závislosti na čase

6 ANALÝZA DATOVÉ KOMUNIKACE PQ MONITORU

Naměřená data z PQ monitoru je nutné přenést do PC, aby je bylo možné vyhodnotit a dále s nimi pracovat. PQ monitory mají ve většině případů jeden ze třech typů komunikačních rozhraní (USB, RS 233 nebo RS 485) zajišťující komunikaci s PC. V dnešní době výrobci PQ monitorů používají v drtivé většině univerzální sériovou sběrnici (USB) a dříve používaná rozhraní ustupují. Oba přístroje, s kterými bylo prováděno praktické měření, měli rozhraní USB. Analýza dat spočívala v použití vhodného programu, který byl schopný zachytit vzájemnou datovou komunikaci mezi PC a PQ monitorem během stahování naměřených dat.

Původní praktické měření mělo být provedeno PQ monitorem, který používá pro komunikaci s PC rozhraní RS 232. Pomocí daného převodníku z RS 232 na RJ-45 (Ethernet) mělo být zajištěno propojení s PC, kde by se následně pomocí programu Wireshark „zachytily“ skrze síťové rozhraní přenášená data. Zapůjčený PQ monitor od firmy MEgA měl pouze rozhraní USB. Tímto bylo znemožněno použití programu Wireshark, protože USB komunikaci lze zachytit pomocí tohoto programu pouze na operačním systému Linux s nutným provedením zásahů do samotného systému, což nebylo možné v laboratoři realizovat.

Z tohoto důvodu jsem vybral vhodný program USBlyzer ve zkušební verzi, který je kompatibilní s operačním systémem Windows. Jedná se o profesionální softwarový analyzátor protokolu USB s podporou zobrazení a analýzy probíhající komunikace mezi USB host kontrolérem a připojeným zařízením nebo rozbočovačem.

6.1 USB protokol

Protokol USB portu je ve srovnání s jinými komunikačními standardy poměrně složitý. Je nutné, aby i softwarová podpora USB portů byla implementována komplexně a podporovala ucelenou architekturu jednotlivých vrstev systémů, které se mohou k počítači přes USB port připojit. Veškeré transakce, které se zde odehrávají, definují v podstatě uživatelské aplikace, které prostřednictvím Windows API komunikují s operačním systémem. Ten je pak podřízen funkci konkrétních ovladačů daného zařízení, které k němu zprostředkují přístup přes standardní a obecně specifikované rozhraní.

Princip přenosu dat

Pro veškerou komunikaci mezi PC a funkční jednotkou jsou k dispozici tři typy paketů. Na začátku spojení PC vyšle token packet obsahující popis typu a směru výměny dat, adresu USB zařízení a číslo koncové jednotky (endpoint number). Následně zařízení vysílající data pošle datový paket nebo indikuje, že žádná data nejsou k dispozici. Příjemci strana nakonec vyšle tzv. handshake packet, kterým informuje, zda přenos proběhl úspěšně.

6.2 Zachycené zprávy datové komunikace

Program USBlyzer zachytl během přenosu dat z PQ monitoru MEg 30 do PC celý průběh vzájemné datové komunikace, kde se vyskytovaly určité typy zpráv popsané v následujících kapitolách. Tyto zprávy jsou součástí USB protokolu, který má svoji velice rozsáhlou a složitou strukturu.

PC se v této datové komunikaci chová jako Host označený OUT a PQ monitor se chová jako Device označený IN.

6.2.1 Set power

Na začátku přenosu proběhne žádost Set Power. Ta je definována strukturou IRP_MT_SET POWER obsahující vstupní parametr Device Power State, který označuje stav napájení zařízení. Konstanta parametru Device Power State byla D0, což označuje plně funkční stav zařízení. Tato žádost byla hned v dalším kroku potvrzena a celý krok trval 7 μ s, jak je vidět z Obr. 25.

Type	Seq	Time	Elapsed	Duration	Request	Request Details	Device Object	Device Name	Driver Name	IRP	Status
Power	0002	16:14:13.574	5.360615 s		Set Power	D0	8B55DB20h	00000096	FTDIBUS	8521DC60h	
Power	0003-0002	16:14:13.574	5.360622 s	7 us	Set Power		8B55DB20h	00000096	FTDIBUS	8521DC60h	Success

Detail Žádosti prvního řádku:	
Request Summary	
↓ Power IRP Set Power issued	
Device Object	00000096
Driver Object	FTDIBUS
IRP Minor Function	IRP_MN_SET_POWER
Device Power State	D0
Shutdown Type	None

Detail Žádosti druhého řádku:	
Request Summary	
✓ Power IRP Set Power succeeded	
Device Object	00000096
Driver Object	FTDIBUS
IRP Minor Function	IRP_MN_SET_POWER

Obr. 25: Zahájení datové komunikace mezi PC a PQ monitorem

6.2.2 Vendor Device a Control Transfer

Dalším typem žádosti vyměňující si PC a PQ monitor je Vendor Device, která obsahuje strukturu URB_FUNCTION_VENDOR_DEVICE. Tato struktura je používána klientským ovladačem USB k vydání tzv. Vendor příkazu zařízení, rozhraní, koncovému bodu nebo jinému definovanému zařízení.

V detailu žádosti Vendor Device na Obr. 26 jsou také tzv. členové USB paketu (Request Type, Request, Value, Index, Length). Na Obr. 26 vidíme situaci, kdy je vyslán typ požadavku (Request Type) Vendor request to Device, tzn. Vendor požadavek z PC do PQ monitoru. Další členové (Request, Value a Index) jsou uvedeny v hexadecimálním tvaru a jejich hodnoty, kterých můžou nabývat, jsou přesně definovány v tabulkách USB specifikace dostupných na webových stránkách www.usb.org. Poslední člen Length uvádí počet bajtů k převodu.

Žádost typu Vendor Device je vždy následována žádostí Control Transfer (Obr. 26). Ta obsahuje strukturu URB_FUNCTION_CONTROL_TRANSFER, která je používána klientským ovladačem USB portu pro přenos dat do nebo z tzv. control pipe. USBD_STATUS_SUCCESS nám potvrzuje, že žádost byla úspěšně dokončena. Endpoint udává číslo koncové jednotky. Zmiňované členové USB paketu (Request Type, Request, Value, Index, Length) jsou zcela identické, jako v předchozím případě.

Type	Seq	Time	Elapsed	Duration	Request	I/O	Ci:E	Device Object	Device Name	Driver Name	IRP	Status
URB	0023	16:14:13.605	5.387366 s		Vendor Device	out		8B512030h	USBPDO-8	usbhub	889488F0h	
URB	0024-0023	16:14:13.605	5.390372 s	3.007 ms	Control Transfer	out	---:--00	8B512030h	USBPDO-8	usbhub	889488F0h	Success (Success)

Detail žádosti Vendor Device:

Request Summary	
↓ URB Vendor Device issued	
Device Object	USBPDO-8
Driver Object	usbhub
URB Function	URB_FUNCTION_VENDOR_DEVICE
Request Type	Vendor request to Device
Request	04h
Value	0008h
Index	0000h
Length	0000h

Detail žádosti Control Transfer:

Request Summary	
✓ URB Control Transfer succeeded	
Device Object	USBPDO-8
Driver Object	usbhub
URB Function	URB_FUNCTION_CONTROL_TRANSFER
URB Status	USB_STATUS_SUCCESS
Endpoint 0	Default Control
Request Type	Vendor request to Device
Request	04h
Value	0008h
Index	0000h
Length	0000h

Obr. 26: Vendor Device a Control Transfer

Samotná žádost Control Transfer obsahuje tzv. Setup Packet (Obr. 27). Zde jsou uvedeny stejné hodnoty jako na Obr. 26 pro Control Transfer s tím rozdílem, že je zde detailně popsán Request Type. Parametry v červeném rámečku vysvětlují, kdo je příjemcem zpráv (Device), typ žádosti (Vendor) a jakým směrem bude probíhat přenos (Host-to-Device).

Data Analysis				
Setup Packet				
Offset	Field	Size	Value	Description
0	bmRequestType	1	40h	
4.0:	Recipient		...00000	Device
6.5:	Type		.10.....	Vendor
7:	Direction		0.....	Host-to-Device
1	bRequest	1	04h	
2	wValue	2	0008h	
4	wIndex	2	0000h	
6	wLength	2	0000h	

Device
Vendor
Host-to-Device

➔

Vendor request to Device

Obr. 27: Setup Packet

Samozřejmě nastala i situace, kdy byl vyslán požadavek opačným směrem z PQ monitoru do PC, tzn. změna zprávy na Vendor Request from Device. Doba trvání dvojice žádostí Vendor Device a Control Transfer se pohybovala cca od 2 do 3 ms.

6.2.3 Bulk or Interrupt Transfer

Jedná se o používanou strukturu klientským ovladačem USB pro odesílání nebo příjem dat hromadného přenosu nebo přerušení přenosu. Na Obr. 28 je zobrazená výměna datových zpráv z PQ monitoru do PC. Parametr endpoint určuje číslo koncové jednotky. Dále určuje, že přišla data ze zařízení IN (PQ monitor). Buffer Length určuje délku vyrovnávací paměti. V následujícím kroku došlo opět k potvrzení pomocí USBD_STATUS_SUCCESS. Bytes Received udává počet přijatých bajtů. Přijatá data jsou zobrazena na Obr. 29. Přenos opačným směrem je obdobný, pouze nastane změna v čísle koncové jednotky. Doba trvání přenosu jedné datové zprávy se pohybovala v rozmezí cca od 15 do 40 ms v závislosti na objemu přenášených dat.

Type	Seq	Time	Elapsed	Duration	Request	Request Details	Raw Data	I/O	Status
URB	20110	16:17:18.200	189.981425 s		Bulk or Interrupt Transfer	4096 bytes buffer		in	
URB	20111-20110	16:17:18.231	190.021397 s	39.972 ms	Bulk or Interrupt Transfer	1065 bytes data	B1 60 01 07 04 21 63 00...	in	Success (Success)

Detail žádosti prvního řádku:

Request Summary	
URB Bulk or Interrupt Transfer issued	
Device Object	USBPDO-8
Driver Object	usbhub
URB Function	URB_FUNCTION_BULK_OR_INTERRUPT_TRANSFER
Endpoint 81h	1 In, Bulk
Buffer Length	1000h (4096)

Detail žádosti druhého řádku:

Request Summary	
URB Bulk or Interrupt Transfer succeeded	
Device Object	USBPDO-8
Driver Object	usbhub
URB Function	URB_FUNCTION_BULK_OR_INTERRUPT_TRANSFER
URB Status	USBD_STATUS_SUCCESS
Endpoint 81h	1 In, Bulk
Bytes Received	429h (1065)

Obr. 28: Žádost typu Bulk or Interrupt Transfer

Raw Data	
00000000	B1 60 01 07 04 21 63 00 B2 FF 08 00 74 0A 7D 0A ± . . . ! c . * ý . . t . } .
00000010	6A 0A 79 0A 6E 0A 00 00 00 00 8E 00 0F 01 35 01 j . y . n S .
00000020	41 00 EA 00 63 00 22 00 20 00 02 00 00 00 00 00 A . è . c . "
00000030	00 00 FD FF 72 0A 00 00 0D 02 2E 01 13 01 06 01 . . ý r
00000040	B1 60 06 01 03 01 03 01 04 01 00 01 02 01 01 01 ±
00000050	01 01 00 01 00 00 00 01 00 00 00 01 00 01 01 01
00000060	00 01 00 01 00 01 00 01 01 01 01 01 F1 00 68 01 ě . h .
00000070	01 09 48 03 05 02 C6 02 59 0C E5 00 B1 FD E2 FF . . H . . E . Y . á . ± ý â ý
00000080	B1 60 73 D2 1E 00 E8 03 C0 62 4F C3 6A C3 37 C3 ± ' s ò . . è . À b O Ě j Ě Ě Ě
00000090	00 00 00 00 3C 00 41 4E 39 00 00 00 56 0A 61 0A < . AN9 . . . V . a .
000000A0	21 00 F3 00 5E 00 1D 00 17 00 55 0A 05 00 05 00 ! . ó . ^ U
000000B0	27 14 5A 10 EE 0D DF 56 A4 16 05 00 08 00 56 0A ' . Z . í . BVH V .
000000C0	B1 60 62 0A 3E 0A 5E 0A 4F 0A 01 00 01 00 E7 00 ± ^ b . > . ^ . O ç .

Obr. 29: Přijatá data z PQ monitor

V první řadě při vzájemné komunikaci PQ monitoru s PC proběhne žádost Set Power. Poté nastane vzájemná výměna žádostí Vendor Device, kterou potvrdí Control Transfer. Po úspěšném spojení se začnou přenos naměřených dat z PQ monitoru do PC, který zajišťuje zpráva Bulk or Interrupt Transfer. Zakončení komunikace je zajištěno opět pomocí výměn zpráv Vendor Device a Control Transfer. Celková doba přenosu naměřených dat byla cca 3 minuty a 49 sekund a jejich velikost byla 1,92 MB.

ZÁVĚR

V této práci jsem rozebral problematiku monitoringu kvality elektrické energie. Abychom vůbec mohli hodnotit kvalitu elektrické energie, musíme vědět, jaké parametry jsou potřeba změřit, jakým způsobem musíme provádět měření a v jakých mezích se naměřené hodnoty musí pohybovat. K tomuto účelu slouží soubor norem vydané Českým normalizačním úřadem. Základní charakteristiky napětí elektrické energie definuje norma [3]. Tyto charakteristiky napětí určují kvalitu elektrické energie. Související norma [6] naopak definuje, jakými způsoby musíme provádět měření, mezní hodnoty, třídy měřících přístrojů atd. Další normy jako [4], [5] a [7] upřesňují požadavky na měření některých charakteristik napětí elektrické energie.

Ve třetí kapitole jsem rozebral dostupné typy analyzátorů na trhu. U každého typu jsem popsal základní vlastnosti, konstrukční provedení a možnosti využití v praxi. Zmínil jsem se také o softwarovém a hardwarovém vybavení analyzátorů.

Datová komunikace je rozebrána ve čtvrté kapitole. Zaměřil jsem se pouze na nejdůležitější způsoby komunikačních technologií zprostředkující bezpečný přenos dat. Síť LAN/WAN/MAN pomocí technologie Ethernet, respektive Internet zajišťují přenos díky protokolu TCP/IP do sběrné centrály. Další možnost přenosu je technologie GSM a její datová technologie GPRS. Jediná nevýhoda systému může nastat v nedostupnosti signálu, který poskytuje operátor. Nicméně v dnešní době je pokrytí od všech operátorů na velmi vysoké úrovni. Velká výhoda spočívá v bezdrátovém přenosu dat a velkém pokrytí signálem. GPRS jednotky je také možné nakonfigurovat tak, že se stanou součástí Ethernetové sítě zákazníka, případně se data mohou přenášet přes veřejnou internetovou síť. Poslední důležitou technologií je přenos dat po silnoproudých rozvodech - PLC. K přenosu dat se používá úzkopásmový PLC systém s úkopásmovou modulací. Tento systém má sice pomalejší rychlost přenosu, ale je odolnější vůči rušení. Mezi největší výhodu PLC patří využití elektrické napájecí sítě, která je nejrozšířenější sítí. Vzhledem k nízkému objemu dat přenášených z analyzátorů nejsou potřeba vysoké přenosové rychlosti používaných technologií a je kladem důraz spíše na bezpečnost a bezchybnost přenosu.

Součástí bakalářské práce byla realizace praktického měření na síti nn, které jsem provedl dostupnými přístroji. Jedná se o záznamník kvality FLUKE VR 1710 a PQ monitor MEg 30. Všechny změřené veličiny jsem zaznamenal a graficky zobrazil. Následně jsem hodnoty porovnal s požadavky norem [3], [4], [5], [6] a [7] a vyhodnotil kvalitu elektrické energie. Výsledky ukazují, že v pracovních dnech ve špičce (cca od 9:00 hod do 16:00) docházelo k mnohem většímu zatížení sítě než o víkendu a mimo špičku, a to vedlo ke zhoršení některých parametrů kvality elektrické energie. Přesto však byla dodržena její kvalita a hodnoty veličin se vešly do tolerancí určující příslušné normy.

V závěrečné kapitole jsem provedl zachycení datové komunikace probíhající mezi PQ monitorem MEg 30 přes USB rozhraní. Pomocí programu USBlyzer jsem následně analyzoval zachycené zprávy. V datové komunikaci mezi záznamníkem FLUKE VR 1710 se vyskytovaly totožné zprávy, proto jsem ji neuvedl do práce.

SEZNAM ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ

BPSK	Binary Phase Shift Keying
CS	Code Scheme
ČR	Česká Republika
DS	Distribuční Systém
EU	Evropská Unie
FSK	Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Groupe Spécial Mobile
HDO	Hromadné dálkové ovládání
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IRP	I/O Request Packet
LAN	Local Area Network
LED	Light-Emitting Diode
MAN	Metropolitan Area Network
nn	nízké napětí
PC	Personal Computer
PLC	Power Line Communication
P_{it}	Dlouhodobý flickr
PQ	Power Quality
P_{st}	Krátkodobý flickr
PSK	Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RMS	Root Mean Squared
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
THD	Total Harmonic Distortion
TS	Time Slot

U_{din}	Dohodnuté napětí
U_{h}	Velikost napětí základní harmonické
U_{n}	Jmenovité napětí
URB	USB request blok
U_{ref}	Referenční napětí
USB	Universal Serial Buse
V_{ef}	Efektivní napětí
vn	vysoké napětí
VR	Voltage Recorder
vvn	velmi vysoké napětí
WAN	Wide Area Network
ΔV	nejistota napětí

LITERATURA

- [1] *Analyzátory výkonu, kvality elektrické sítě a watmetry* [online]. 2010 [cit. 2010-03-11]. Odkazy. Dostupné z WWW: <<http://www.ghvtrading.cz/produkty/merici-pristroje/analyzatory/>>.
- [2] BÍLEK, Petr . Monitorování kvality elektřiny. *ELEKTRO*. 2008, č. 2, s. 42-43. Dostupné také z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36632>.
- [3] ČSN EN 50160 ed. 2 : *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha : Český normalizační institut, Červen 2008. 20 s.
- [4] ČSN EN 61000-4-11 ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí*. Praha : Český normalizační institut, Březen 2005. 28 s.
- [5] ČSN EN 61000-4-15. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Oddíl 15: Měřič blikání – specifikace funkce a dimenzování*. Praha : Český normalizační institut, Červenec 1999. 28 s.
- [6] ČSN EN 61000-4-30 ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie*. Praha : Český normalizační institut, Září 2009. 80 s.
- [7] ČSN EN 61000-4-7 ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-7: Zkušební a měřicí technika - Všeobecné směrnice o měření a měřících přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich*. Praha : Český normalizační institut, Červenec 2003. 40 s.
- [8] *E.ON* [online]. 2010 [cit. 2010-20-10]. Parametry elektřiny - vlastnosti výrobku. Dostupné z WWW: <<http://www.eon.cz/cs/info/parameters.shtml>>.
- [9] GOSEN-METRAWATT / VMS / HG. *Sledování kvality sítí pomocí síťového analyzátoru MAVOLOG 10*. 2001. 29 s. Dostupné z WWW: <<http://www.gmc.cz/pdf/Mavolog10slide.pdf>>.
- [10] *Hardware pro monitoring kvality elektřiny* [online]. 2010 [cit. 2010-12-13]. Divize Virtuální instrumentace. Dostupné z WWW: <<http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom2/clanek/355-hardware-pro-monitoring-kvality-elektriny/>>.
- [11] LEM. Měření kvality elektrické energie. *ELEKTRO* [online]. 2003, č. 5, [cit. 2010-01-11]. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25435>.
- [12] *MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s.* [online]. 2006 [cit. 2010-12-13]. PQ monitor: MEg30, MEg31, MEg32 a MEg33. Dostupné z WWW: <http://www.e-mega.cz/doc/pqmonitor_mail.pdf>.

- [13] MOLNÁR, Karol., SOUMAR, Michal. *Praktium z informačních sítí*. Brno, 2002. 128 s. Skripta. FEKT VUT
- [14] MSDN : *Microsoft Development, Subscriptions, Resources, and More* [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. USB Structures (Windows Driver Kit). Dostupné z WWW: <[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff540160\(v=VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff540160(v=VS.85).aspx)>.
- [15] NĚMEC, Karel. *Datová komunikace*. Brno, 2007. 172 s. Skripta. FEKT VUT
- [16] NOVOTNÝ, Vít. *Architektura sítí*. Brno, 2002. 136 s. Skripta. FEKT VUT
- [17] *Pravidla provozování distribučních soustav Příloha 3 Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení*. Praha : Energetický regulační úřad, prosinec 2008. 42 s.
- [18] RICHTR, Tomáš . *Technologie pro mobilní komunikace* [online]. 1/2002 [cit. 2010-29-11]. Historie GSM. Dostupné z WWW: <<http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-gsm.htm>>.
- [19] *Záznamník kvality napětí Fluke VR1710* [online]. 2010 [cit. 2010-12-13]. Pomůcky pro kvalitu sítě. Dostupné z WWW: <http://www.fluke.cz/comx/show_product.aspx?pid=37819&product=PQT&type=1&locale=czcs>.