



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

POINT-ON-WAVE CONTROLLER PWC600 A JEHO MOŽNOSTI PŘI CHRÁNĚNÍ ROZVODNY VN

POINT-ON-WAVE CONTROLLER PWC600 AND ITS CAPABILITY TO PROTECT THE HV SUBSTATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Šikula

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Helena Polsterová, CSc.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Jiří Šíkula

ID: 164705

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Point-on-Wave Controller PWC600 a jeho možnosti při chránění rozvodny VN

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou spínání velkých zátěží ve střídavých obvodech. Navrhněte chránění pomocí Point-on-Wave Controllerem PWC600. Seznamte se s digitální ochranou PWC600. Naprogramujte zařízení PWC600 s vypínačem HD4/P Synchro a poté otestujte naprogramovanou konfiguraci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucí práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Helena Polsterová, CSc.

Konzultant: Ing. Jan Palát

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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.

Bibliografická citace práce:

ŠIKULA, J. *Point-on-Wave Controller PWC600 a jeho možnosti při chránění rozvodny VN*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Helena Polsterová, CSc..

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Point-on-Wave Controller PWC600 a jeho možnosti při chránění rozvodny VN jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.“

V Brně dne: 29.4.2018

.....

PODĚKOVÁNÍ:

Zde bych rád vyjádřil velké díky vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Heleně Polsterové, CSc. Paní doktorka Polsterová mě provázela celých 5 let studia na VUT v Brně. Tímto ji chci poděkovat za všechno, co pro ústav Elektrotechnologie dělá a hlavně pro studenty. Její přístup je neocenitelný, lidský a dokáže pomoci v nejtěžších chvílích.

Chtěl bych také poděkovat společnosti ABB, pro kterou v současné době pracuji za to, že mi umožnila napsat obě akademické práce jejím jménem. Dále celému oddělení Relay and Commissioning Engineering, které mi ukázalo, jak skvělé vztahy mezi kolegy mohou být na pracovišti i mimo něj. Z toho oddělení chci vyzdvihnout mého konzultanta diplomové práce v podniku Ing. Jana Paláta za cenné informace, připomínky a rady, které byli a jsou neocenitelnou inspirací nejen v pracovním životě.

Nakonec bych rád poděkoval rodině. Mamince a tatínkovi za to jak mě vychovávali. Za to, že mi umožnili studovat na VŠ a získat tak titul inženýr. Dále ještě chci zmínit moje sestry, bez kterých si život již nedokáži představit. Díky moc!

V Brně dne 29.4.2018

.....
(podpis autora)

ABSTRAKT

Mechanický a elektrický stres má negativní vliv na životnost veškerých zařízení. Životnost některých zařízení je ovlivněna těmito stresovými faktory velmi negativně. U produktů týkajících se vysokého napětí nejde jen o životnost či cenu, ale hlavně bezpečnost, která by měla stát na prvním místě. Tato práce se zabývá chráněním prvků vysokonapětových rozváděčů. Konkrétně se jedná o chránění pomocí Point-on-Wave Controlleru PWC600, který výrazně eliminuje stres při připojování a odpojování různých typů zátěží.

KLÍČOVÁ SLOVA: ABB; EPMV; PWC600; PCM; Relion; Digitální relé; Inženýring

ABSTRACT

Mechanical and electrical stresses have a negative impact on the life of all devices. The lifetime of some devices is negatively affected by these stress factors. For high voltage products, it's not just a lifetime or a price, but a security that should be the first. This thesis deals with protection of elements of high voltage switchboards. Specifically, it is a PWC600 Point-on-Wave Controller that dramatically eliminates stress when connecting and disconnecting different types of loads.

KEY WORDS: ABB; EPMV; PWC600; PCM; Relion; Protection relay; Engineering

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM ZKRATEK.....	12
SEZNAM SYMBOLŮ.....	13
1 ÚVOD.....	14
2 TEORETICKÝ ÚVOD.....	15
2.1 ZÁKLADY POJMY.....	15
2.1.1 STŘEDNÍ HODNOTA	16
2.1.2 EFEKTIVNÍ HODNOTA.....	17
2.2 PASIVNÍ PRVKY V HARMONICKY USTÁLENÝCH OBVODECH	17
2.2.1 ODPOR.....	17
2.2.2 INDUKTOR.....	18
2.2.3 KAPACITOR.....	18
2.3 VÝKONY STŘÍDANÉHO OBVODU.....	19
2.3.1 ČINNÝ VÝKON.....	19
2.3.2 JALOVÝ VÝKON.....	20
2.3.3 ZDÁNLIVÝ VÝKON	20
2.4 ÚČINÍK	20
2.4.1 UKÁZKA KOMPENZACE ÚČINÍKU	21
2.5 PŘECHODOVÉ DĚJE	23
2.5.1 PŘECHODOVÉ DĚJE RC	23
2.5.2 PŘECHODOVÉ DĚJE RL.....	24
3 ZÁKLADNÍ TYPY ZÁTĚŽÍ V DISTRIBUČNÍ SÍTI A MOŽNOSTI KONTROLOVANÉHO PŘIPOJENÍ	26
3.1 PROUDOVÉ RÁZY V CÍVKÁCH.....	26
3.2 PROUDOVÉ RÁZY V KONDENZÁTOROVÝCH BANKŮ	29
3.3 SPÍNÁNÍ NA PŘENOSOVÝCH SÍTÍCH	30
3.4 VYPÍNAČ HD4/P SYNCHRO	31
3.5 ZAŘÍZENÍ OMEZUJÍCÍ PROUDOVÉ RÁZY	31
4 KONTROLÉR SYNCHRONNÍHO SPÍNÁNÍ PWC600 A JEHO PROGRAMOVÁNÍ V KONFIGURAČNÍM MANAŽERU PCM600	35
4.1 PŘÍPRAVA PROJEKTU V KONFIGURAČNÍM MANAŽERU PCM600	35
4.2 VYTVOŘENÍ OCHRANY V PROJEKTU.....	36
4.2.1 IMPORT TEMPLATE PRO PWC600	37
4.3 NÁSTROJ K IMPLEMENTACI NASTAVENÍ - SWITCHSYNC SETTING TOOL	38
4.4 SIMULACE VYPÍNAČE HD4/P SYNCHRO	40

4.4.1 ROZDÍL „SINGLE POLE“ A „TRIPLE POLE“ VYPÍNAČEM.	41
5 TESTOVÁNÍ KONFIGURACE PWC600.....	43
5.1 ANALÝZA SPÍNÁNÍ POMOCÍ PROGRAMU WAVEWIN.	44
5.2 OVĚŘENÍ TEORETICKÝCH PŘEDPOKLADŮ	46
5.3 REÁLNÉ PRŮBĚHY	46
6 ZÁVĚR.....	50
POUŽITÁ LITERATURA	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Minimalizace proudových rázů</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2: Ukázka fázového posuvu.....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 3: Porovnání ploch stejnosměrného a střídavého proudu.....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 4: Schématická značka a posuv fázorů na odporu.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 5: Schématická značka a posuv fázorů na induktoru.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 6: Schématická značka a posuv fázorů na kapacitoru.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 7: Trojúhelník výkonů</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 8: Schéma zapojení</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 9: Trojúhelník výkonů zátěže</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 10: Trojúhelník výkonů s kompenzací.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 11: Výsledný trojúhelník výkonů po kompenzaci.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 12: Schéma RC obvodu.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 13: Přejímová charakteristika pro U a I v RC článku</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 14: Schéma RL obvodu.</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 15: Přejímová charakteristika pro U a I v RL článku.....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 16: Připojení transformátoru k síti při průchodu maxima</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 17: Připojení transformátoru k síti při průchodu nulou.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 18: Připojení transformátoru k síti při průchodu nulou s rementní indukci</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 19: Magnetizační proud.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 20: Vývoj postupné vlny v čase</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 21: Vlny při sepnutí vypínače</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 22: Vypínač HD4</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 23: Ukázka starších typů Switchsync E 213 a F 236.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 24: Nekontrolované zapnutí indukční zátěže</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 25: Kontrolované zapnutí indukční zátěže.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 26: PWC600.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 27: Úvodní okno programu PCM600</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 28: Struktura rozvodny v programu PCM600 2.8 32-bit.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 29: Výběr IED.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 30: Založení ochrany z template.....</i>	<i>37</i>

<i>Obrázek 31: Pohled na Plant Structure“ a „Object Properties“</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 32: Úvodní obrazovka SST</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 33: Milníky v SST.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 34: Vývojový diagram SST.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 35: Testovací logika vypínače v programu PCM600</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 36: Sepnutí 3 fází současně v jeden moment.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 37: Spínání zátěže pomocí switchsync™ kontroléru PWC600.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 38: GDE na ochraně PWC600</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 39: Program Wavewin při analýze</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 40: Princip měření.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 41: Zadání zapínacích časů vypínače do SST.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 42: Teoretický předpoklad v minimalizaci přechodových jevů</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 43: DFT analýza proudového rázu při sepnutí (0ms).....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 44: DFT analýza proudového rázu 20ms po sepnutí.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 45: Zapnutí výkonového kompenzačního kondenzátorů včetně přechodových jevů.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 46: Reálné vypnutí kapacitor banku</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 47: Sepnutí první a druhé fáze pro HD4/P Sychro.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 48: Sepnutí třetí fáze pro HD4/P Sychro</i>	<i>49</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Frekvence zapínání vypínače pro různé typy zátěží/aplikací.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 2: Řada Switchsync™ controllers.....</i>	<i>32</i>

SEZNAM ZKRATEK

ABB – Asea Brown Boveri

ACT – Application Configuration tool

CB – Circuit Breaker

DR - Disturbance report

DFT - Discrete Fourier Transform

IED - Intelligent Electronic Device

GDE - Graphical display editor

PCM600 - Protection and Control IED Manager

PWC600 – Point on Wave Controller

SCADA - Supervision, control and data acquisition

SST – Switchsync setting tool

TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol

SEZNAM SYMBOLŮ

B_C	Kapacitní susceptance	[S]
C	Kapacita	[F]
I	Proud	[A]
f	Kmitočet (frekvence)	[Hz]
L	Indukčnost	[H]
P	Činný výkon	[W]
Q	Jalový výkon	[VA _r]
R	Odpor	[Ω]
S	Zdánlivý výkon	[VA]
T	Perioda	[t]
U	Napětí	[V]
X_C	Reaktance kapacitoru	[Ω]
X_L	Reaktance cívky	[Ω]

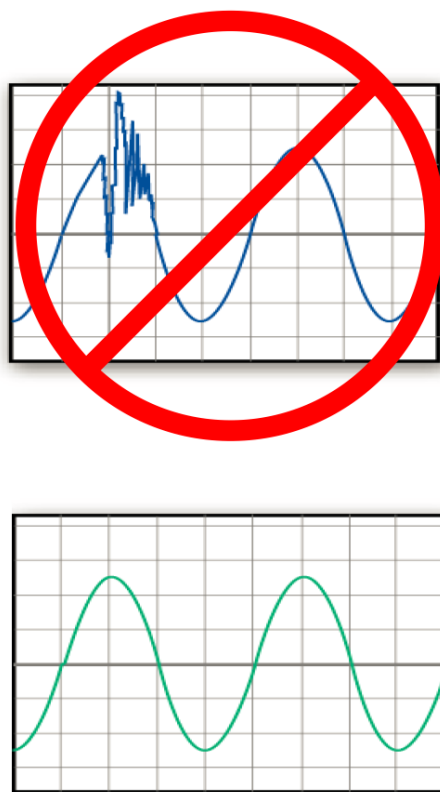
1 ÚVOD

Předkládaná práce se zabývá připojováním prvků, jako jsou transformátory, indukčnosti a kondenzátory k sítím středního napětí (2,4 - 69 kV). V době, kdy je snaha minimalizovat náklady, je úprava účinnosti zařízení velmi vhodnou investicí. Zmíněné prvky dovedou snížit jalový výkon na přijatelnou mez.

Použití těchto prvků se neprojeví jen v ekonomice provozu. Jalový výkon způsobuje, že obvodem protéká mnohem větší proud, než je třeba k vlastnímu provozu používaného zařízení. To souvisí s větší dimenzací vodičů, jističů, výkonu transformátorů, stykačů, atd... Větší proud způsobuje tepelné ztráty na přenosovém vedení a snižuje jeho životnost.

Jak to v mnoha oborech bývá, zlepšení jednoho parametru je cenou za zhoršení jiného parametru. Kompenzace sítí není bez problémů. Obvykle je řešení omezeno hranicí fyzikálních řešení. V neposlední řadě hraje hlavní roli čas a peníze výrobce či zákazníka.

Cílem této práce je popsat teoreticky problematiku připojování některých prvků a na základě této teorie využít zařízení PWC600 (Point-on-Wave Controller) od společnosti ABB (*Asea Brown Boveri*) k optimální konfiguraci tohoto elektronického relé, jehož primární funkcí je právě připojování zmíněných prvků.



Obrázek 1: Minimalizace proudových rázů

2 TEORETICKÝ ÚVOD

Teoretický úvod je věnována popisu problematiky střídavého proudu a napětí. Obvody stejnosměrného proudu jsou obvykle časově nezávislé. Naopak obvody střídavého proudu jsou časově proměnné. ^[1]

2.1 Základy pojmy

Střídavý proud se mění v pravidelných či nepravidelných intervalech podle změn polarity napájecího zdroje. V trojfázových obvodech se mění polarita zdrojů harmonicky tzn. je tedy sinusového průběhu. Sinusový průběh se pravidelně opakuje – má tedy cykličnost. Jedna doba toho cyklu je nazývána perioda. Délka periody se nazývá doba kmitu a je dána kmitočtem ^[1]

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

Jednotka kmitočtu je Hertz [Hz] podle německého fyzika Heinricha Rudolfa Hertze. Pro opakující, tedy periodický proud platí vztah

$$i(t) = i(t + T) = i(t + kT), \quad (2.2)$$

kde $i(t) = i$ je okamžitá hodnota střídavého proudu. Vždy se značí malým písmenem. Maximální (též vrcholová) hodnota se značí I_m či I_{max} a představuje nejvyšší okamžitou hodnotu. ^[1]

Pro okamžitou hodnotu sinusového proudu platí vztah

$$i(t) = I_m * \sin(\omega t), \quad (2.3)$$

kde ω je úhlová rychlost a platí pro ni vztah

$$\omega = 2\pi * f = \frac{2\pi}{T}. \quad (2.4)$$

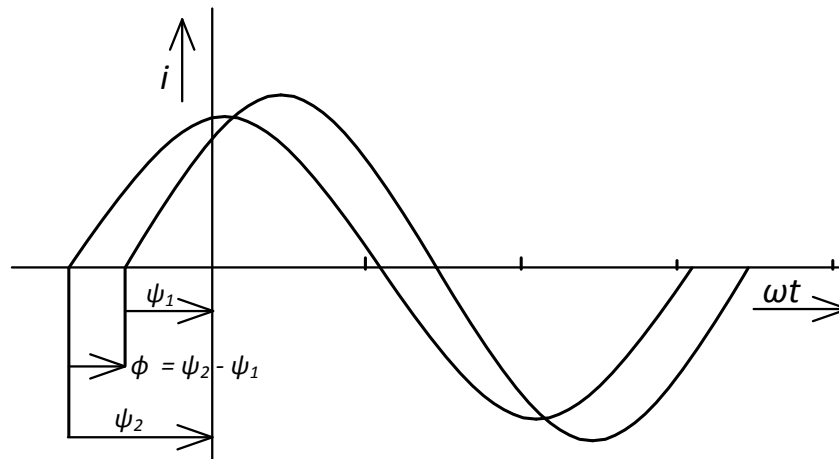
Harmonický průběh nemusí začínat z nulové hodnoty. Průběh je posunut o fázový úhel ψ , který může být kladný nebo záporný. ^[1]

Dosazením vztahu 2.4 do 2.3 vyplyne vztah

$$i(t) = I_m * \sin(\omega t + \psi), \quad (2.5)$$

kde ψ je fázový úhel.

Pokud jsou dva harmonické průběhy, které mají stejný kmitočet, mohou být posunuty vůči sobě o úhel φ . Tento úhel se nazývá fázový posuv. Fázově posunuté vůči sobě mohou být napětí a proud. Fázový úhel může být kladný nebo záporný, podle toho jaký harmonický průběh je první a jaký je druhý. Jestliže má napětí s proudem nulový fázový posuv jsou tyto parametry ve fázi. Pokud mají posuv π , tedy 180° , jsou tzv. v protifázi. ^[1]



Obrázek 2: Ukázka fázového posuvu

V praxi se neuvažuje maximální hodnota napětí a proudu. Mezi další hodnoty střídavého proudu patří střední a efektivní hodnota. [1]

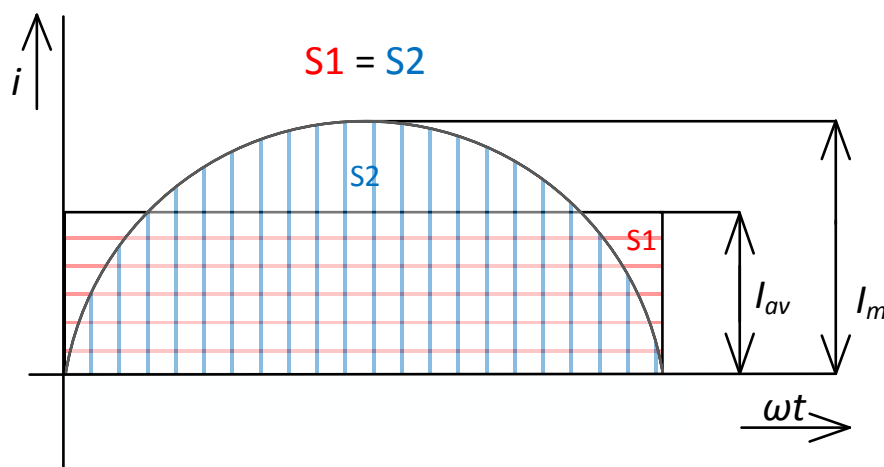
2.1.1 Střední hodnota

Střední hodnota podle definice je „Hodnota stejnosměrného proudu I , kterým se přenesou stejný elektrický náboj, odpovídá výšce obdélníka se stejnou plochou, jakou má časový průběh proudu $i(t)$ za jednu periodu.“ [1] Střední hodnota se značí I_{av} z anglického average, tedy střední/průměrný.

U harmonického proudu se tato hodnota uvádí jen pro jednu polovinu periody. Velikost střední hodnoty pro druhou polovinu periody je stejná, ale s opačným znaménkem. V případě výpočtu velikosti střední hodnoty pro obě půlperiody by vyšla střední hodnota nulová. [2] Vzorec pro střední hodnotu zní

$$I_{av} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i(t) dt. \quad (2.6)$$

kde T je perioda a $i(t) = i$ je okamžitá hodnota střídavého proudu.



Obrázek 3: Porovnání ploch stejnosměrného a střídavého proudu

2.1.2 Efektivní hodnota

Efektivní hodnota je velikost stejnosměrného proudu, který by při průchodu rezistorem vykonal za jednotku času stejnou práci jako daný střídavý proud. Efektivní hodnota je nejběžněji užívaná hodnota, např. efektivní hodnota napětí v distribuční síti České republiky je 230 V. Většina měřicích zařízení měří právě tuto hodnotu. ^[1]

Obvykle se značí jen I bez indexu, případně s indexem RMS (I_{RMS}) z anglického Root Mean Square. Efektivní hodnota se počítá podle vzorce

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T i^2}. \quad (2.7)$$

kde T je perioda a $i(t) = i$ je okamžitá hodnota střídavého proudu.

2.2 Pasivní prvky v harmonicky ustálených obvodech

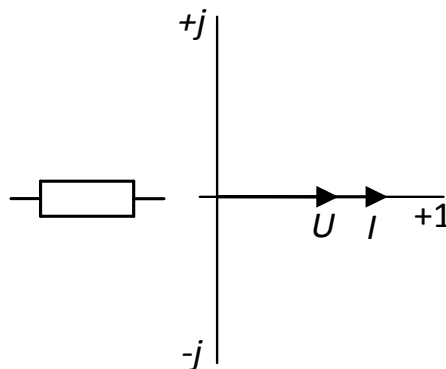
Tato podkapitola se zabývá chováním ideálních pasivních prvků. Prvky, které budou popisovány jsou R, L, C tedy odpor, induktor a kapacitor. Popisováním těchto ideálních prvků v reálu, by byla situace ztížena. Tyto prvky by se v reálu popisovaly vlastnostmi kombinací ideálních prvků. ^[1]

2.2.1 Odpor

Pro odpor platí Ohmův zákon pro okamžité hodnoty, který zní

$$u = R * i. \quad (2.8)$$

Ze vztahu 2.8 vyplývá, že velikost proudu je v každém okamžiku úměrná velikosti napětí. Mezi proudem a napětím není žádný fázový posuv. Z předchozího je vidět, že na rezistoru se koná pouze činný výkon. ^[1]



Obrázek 4: Schématická značka a posuv fázorů na odporu

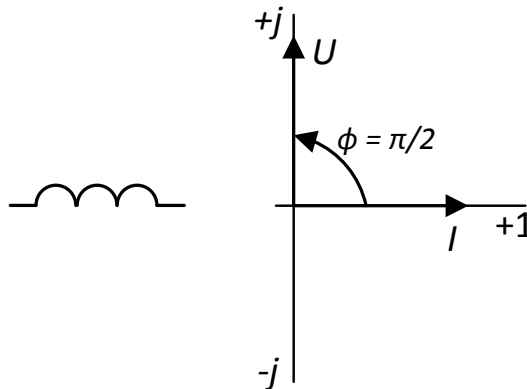
2.2.2 Induktor

Induktor je prvek, na kterém předbíhá napětí proud o 90°. Pro okamžité hodnoty napětí a proudu platí vztah

$$\begin{aligned} u &= L \frac{di}{dt} = L \frac{dI_m * \sin(\omega t + \psi)}{dt} = L * I_m * \omega * \cos(\omega t + \psi) \\ &= I_m * X_L * \sin\left(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (2.9)$$

kde: L je indukčnost, ω je úhlový kmitočet, ψ je fázový posuv, X_L – reaktance cívky

Jednotka induktivní reaktance je Ohm [Ω]. Velikost induktivní reaktance je úměrná velikosti napětí a proudu na cívce. Mezi napětím na proudem je $\phi = \pi/2$ na induktoru se koná kladný jalový výkon. ^[1]



Obrázek 5: Schématická značka a posuv fázorů na induktoru

2.2.3 Kapacitor

Kapacitor je prvek, na kterém předbíhá proud napětí o 90°. Pro okamžité hodnoty napětí a proudu platí vztah

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{C} * \int i dt = \frac{1}{C} \int I_m * \sin(\omega t + \psi) dt = \frac{I_m}{\omega * C} * -\cos(\omega t + \psi) \\ &= \frac{I_m}{B_C} * \sin\left(\omega t + \psi - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (2.10)$$

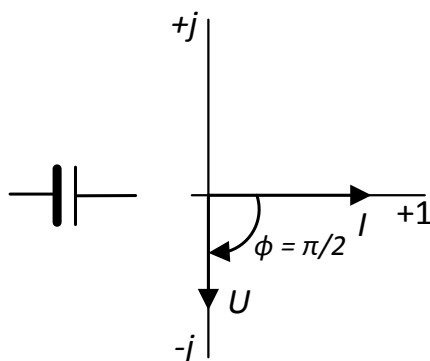
kde: C je indukčnost, ω je úhlový kmitočet, ψ je fázový posuv, B_C – kapacitní susceptance

Kapacitní susceptance má jednotku siemens [S]. V praxi se ovšem používá převrácená hodnota kapacitní susceptance - kapacitní reaktance X_C a její jednotka je Ohm (Ω). ^[1] Pro kapacitní reaktanci je možno použít vztahu

$$X_C = \frac{1}{B_C} = \frac{1}{\omega * C}. \quad (2.11)$$

Mezi napětím a proudem je úhel $\varphi = \pi/2$, ale opačného směru, než na induktoru. Napětí se zpožďuje za proudem o $\varphi = -\pi/2$. Stejně jako na cívce je zde pouze jalový výkon, který má charakter záporného výkonu. ^[1]

Vzhledem k tomu, že na induktoru je kladný jalový výkon a na kapacitoru je záporný jalový výkon, je možnost tyto výkony mezi sebou odečítat. Tento stav se nazývá kompenzace účinníku a bude blíže vysvětlen v kapitole 2.4.



Obrázek 6: Schématická značka a posuv fázorů na kapacitoru

2.3 Výkony střídaného obvodu

Díky tomu, že proud i a napětí periodicky (v harmonicky ustálených obvodech) mění svůj směr a velikost, mění se také periodicky výkon v obvodě. Pro okamžitou hodnotu výkonu platí vztah

$$p = u * i. \quad (2.12)$$

kde p je okamžitá hodnota výkonu, u je okamžitá hodnota napětí a i je okamžitá hodnota proudu.

Okamžitý výkon má také harmonický průběh, ale dvojnásobnou frekvenci oproti proudu a napětí, které jej tvoří. Tento výkon kmitá okolo určité střední hodnoty. Výkon může mít také zápornou hodnotu – v tu chvíli se navrácí energie do zdroje. Celkově existují tři druhy výkonů, které budou popsány dále. ^[1]

2.3.1 Činný výkon

Činný výkon je efektivně využitá (spotřebovaná) elektrická energie, která je transformována na jiný druh energie (tepelnou, mechanickou). ^[1]

Značka činného výkonu je P a jednotka je W (Watt). Pro hodnotu činného výkonu je možno použít vztah

$$P = U * I \cdot \cos\varphi, \quad (2.13)$$

kde $\cos\varphi$ se nazývá účinník, U se nazývá efektivní napětí a I je efektivní hodnota proudu

2.3.2 Jalový výkon

Jalový výkon je označován Q a jeho jednotka je VAr (VoltAmpér reaktanční). Tento výkon nekoná žádnou (užitečnou) práci, ale je nutný pro funkci spotřebičů. [3]

Vzorec pro jalový výkon zní

$$Q = U * I \cdot \sin \varphi, \quad (2.14)$$

případně

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \quad (2.15)$$

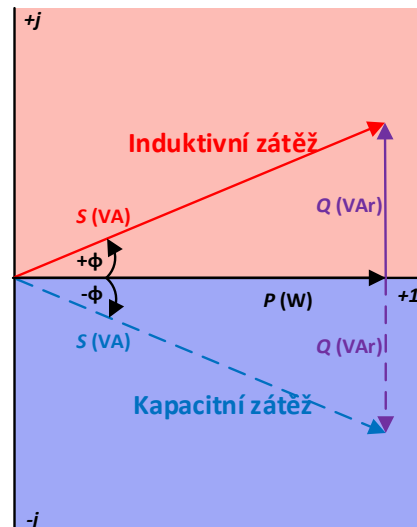
kde Q je jalový výkon, S je zdánlivý výkon a P je činný výkon

2.3.3 Zdánlivý výkon

Zdánlivý výkon se skládá z jalového a činného výkonu. Značíme jej S a jeho jednotkou je VA (VoltAmpér). Vztah pro zdánlivý výkon je [1] je možno psát vztah,

$$S = U * I. \quad (2.16)$$

Níže na obrázku lze vidět jednotlivé zobrazení všech tří typů výkonů.



Obrázek 7: Trojúhelník výkonů

2.4 Účinitk

Účinitk je bezrozměrná veličina, která se používá v obvodech střídavého proudu a napětí. Je to vyjádření, jaká část zdánlivého výkonu je přeměněna na činný výkon a jaká část na ztráty. Hodnota účinitku se pohybuje od 0 do 1. [5]

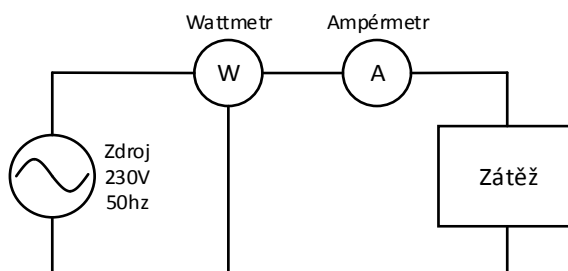
V případě, že účinitk je roven 1, je celý výkon činný (a fázový posuv je nulový). Při nulovém účinitku je celý výkon jalový a zátěž je buď čistě kapacitní (fázový posuv -90°) nebo indukční (fázový posuv $+90^\circ$). Velikost účinitku lze získat ze vztahu:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}. \quad (2.17)$$

kde S je zdánlivý výkon a P je činný výkon.

2.4.1 Ukázka kompenzace účinníku

Kompenzování jalového výkonu pomocí kapacitoru je ukázáno v praktickém příkladu. Zdroj střídavého proudu s napětím 230 V a frekvencí 50 Hz napájí zátěž. Wattmetr ukazuje činný výkon 1,5 kW a obvodem protéká 9,8 A. [1] [3] [4]



Obrázek 8: Schéma zapojení

Zdánlivý výkon podle rovnice 2.16 je

$$S = U * I = 230 * 9,8 = 2\,254 \text{ VA}. \quad (2.18)$$

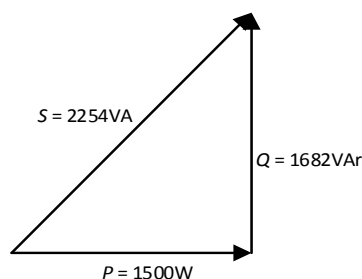
Účinník podle rovnice je

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1\,500}{2\,254} = 0,6654. \quad (2.19)$$

Jalový výkon podle rovnice je

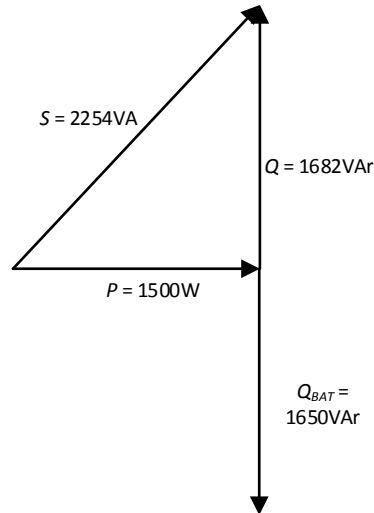
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{2\,254^2 - 1\,500^2} = 1\,682 \text{ VAr}. \quad (2.20)$$

Výše uvedené výkony a jejich vztah je naznačen na obrázku. Podle směru jalového výkonu lze vidět, že jde o induktivní zátěž – tedy např. motor, jak je naznačeno na obrázku 9.



Obrázek 9: Trojúhelník výkonů zátěže

Ke kompenzaci je možno použít kapacitor s hodnotou 82 μF s jalovým výkonem 1650 VAr. Trojúhelník výkonu se tedy změní díky kompenzaci pomocí kapacitoru.



Obrázek 10: Trojúhelník výkonů s kompenzací

Výsledný jalový výkon je

$$Q = Q_{ZÁTEŽE} - Q_{BATERIE} = 1682 - 1650 = 32 \text{ VAr.} \quad (2.21)$$

Zároveň se změní i zdánlivý výkon a výsledný trojúhelník výkonů

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2} = \sqrt{32^2 + 1500^2} = 1500,341 \text{ VA.} \quad (2.22)$$

Z předchozí rovnice tedy vyplývá, že zdánlivý výkon se téměř rovná činnému výkonu a pohled na výkony je následující:



Obrázek 11: Výsledný trojúhelník výkonů po kompenzaci

Výsledný účinník po kompenzaci je

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1500}{1500,341} = 0,9997. \quad (2.23)$$

Kompenzace je daná i zákonem. Odběratel elektrické energie musí zajistit účinník 0,95 – 1 induktivního charakteru. V naznačeném příkladu je účinnost 99,97 % - splňuje tedy zákonem danou normu.

2.5 Přebodové děje

Přebodový děj je jev, který nastává mezi dvěma ustálenými stavy obvodu. Přebodové jevy se znázorňují pomocí přebodové charakteristiky. Přebodový děj může vzniknout díky více faktorům: [7]

- Připojení a odpojení elektrického zdroje
- Zkrat, nebo odpojením některé větve obvodu
- Náhlé změny parametrů prvků
- Změna teploty či osvětlení citlivého prvku

Přebodové děje jsou obvykle nežádoucí. Působí negativně na obvod, protože jej přetěžují a tím zkracují životnost zařízení. Jako příklad se uvádí zapnutí studené žárovky. Proud protékající žárovkou je až desetkrát vyšší, než nominální proud. Některé přebodové děje jsou však žádoucí a některé obvody jsou založeny na využití přebodových jevů. Těmi jsou například generátory a klopné obvody. [6]

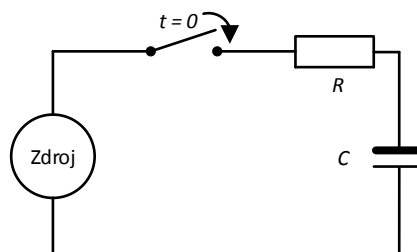
Rozlišují se dva druhy prvků:

- **Nesetřvačné prvky** - tyto prvky představují rezistory, kde změna napětí vyvolá okamžitou změnu proudu. Jestliže je signál sinusový, tak napětí i proud procházející rezistorem je sinusový beze změny fázového posunu nebo kmitočtu.
- **Setřvačné prvky** - akumulují energii – mají tedy „paměť“.
 - Kapacitory - Časový průběh napětí je spojitý. Kapacitor akumuluje energii pouze v elektrickém poli.
 - Induktory – Časový průběh proudu je spojitý. Induktor akumuluje energii pouze v magnetickém poli.

Setřvačné prvky pracují ideálně vždy jen s jednou veličinou – kapacitor s napětím (jeho stavová veličina); induktor s proudem (jeho stavová veličina).

2.5.1 Přebodové děje RC

Na jednoduchém schématu je ukázán přebodový děj v obvodu RC. [17]



Obrázek 12: Schéma RC obvodu

Po připojení zdroje napětí bude obvodem procházet nejvyšší možný proud – proudový ráz -, který bude omezen pouze rezistorem. Kondenzátor se v první chvíli bude chovat jako zkrat.

Vysvětlení tohoto jevu bude v další kapitole. Čím více se však bude kondenzátor nabíjet, poroste jeho napětí a tím menší proud bude procházet obvodem. [17]

Pro okamžité hodnoty v tomto obvodu platí:

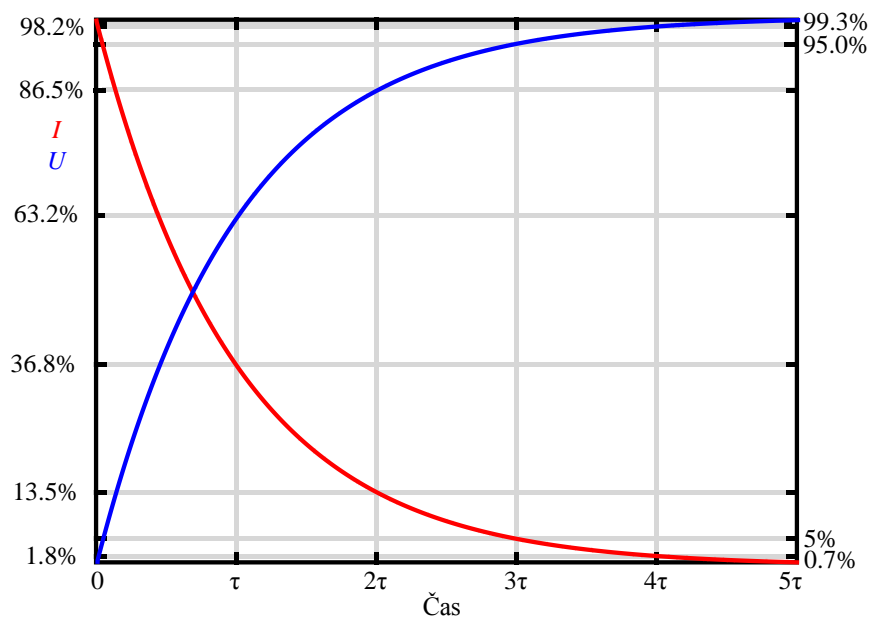
$$\text{Okamžitá hodnota proudu:} \quad i = -I * e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.24)$$

$$\text{Okamžitá hodnota napětí na kondenzátoru:} \quad U_R = -U * e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.25)$$

$$\text{Okamžitá hodnota napětí na rezistoru:} \quad U_C = U * e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.26)$$

$$\text{Časová konstanta:} \quad \tau = R * C. \quad (2.27)$$

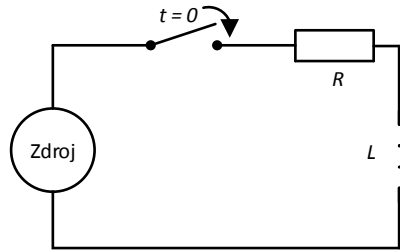
Přechodová charakteristika:



Obrázek 13: Přechodová charakteristika pro U a I v RC článku

2.5.2 Přechodové děje RL

Další jednoduché schéma naznačí přechodový děj v obvodu RL . [17]



Obrázek 14: Schéma RL obvodu.

Po připojení ke zdroji napětí začne obvodem procházet proud – stavová veličina induktoru - který na cívce vytvoří magnetické pole. Toto pole nemá zatím žádnou energii. Díky tomu, že se magnetické pole zvětšuje, dochází k tomu, že na cívce se začne indukovat napětí. Toto napětí je zpočátku stejně velké jako napětí zdroje, zatímco napětí na rezistoru je rovno nule. ^[17]

Pro okamžité hodnoty v tomto obvodu platí:

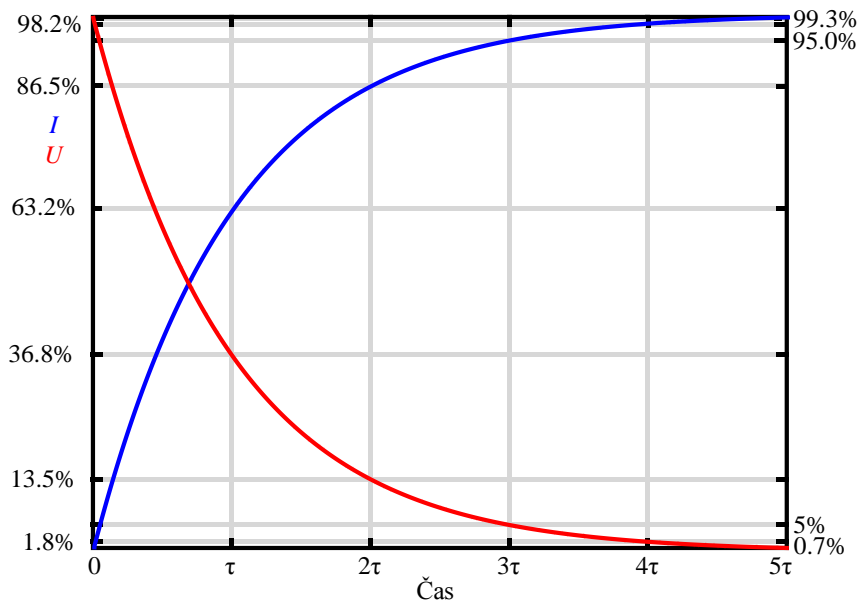
Okamžitá hodnota proudu:
$$i = I * e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.28)$$

Okamžitá hodnota napětí na cívce:
$$U_L = -U * e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.29)$$

Okamžitá hodnota napětí na rezistoru:
$$U_R = U * e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.30)$$

Časová konstanta:
$$\tau = \frac{L}{R}. \quad (2.31)$$

Přechodová charakteristika:



Obrázek 15: Přechodová charakteristika pro U a I v RL článku

3 ZÁKLADNÍ TYPY ZÁTĚŽÍ V DISTRIBUČNÍ SÍTI A MOŽNOSTI KONTROLOVANÉHO PŘIPOJENÍ

K popisu jednotlivých zátěží je potřeba zdůvodnit, proč je důležité kontrolované zapnutí. V Tabulka 1: Frekvence zapínání vypínače pro různé typy zátěží/aplikací, je možno si všimnout výrazného rozdílu mezi zapínáním vypínačů pro přenosové sítě či spojky v rozvodném zařízení a kompenzačních prvků.

Tabulka 1: Frekvence zapínání vypínače pro různé typy zátěží/aplikací

Vypínač použit pro:	Počet sepnutí/rok
Přenosové sítě	≈ 1 - 5
Transformátory	≈ 1 - 5
Spojka	≈ 1 - 5
Kompenzační tlumivky	≈ 400
Kompenzační kapacitory	≈ 400
Filtrovací banky	≈ 400

Zvyšující se frekvence zvyšuje nároky na zařízení. Kontrolované zapínání/vypínání může přinést výhody, mezi které například patří:

- Redukce proudových rázů při zapínání
- Minimalizace působení chránicích elektronických terminálů (IED)
- Omezení opalování kontaktů
- Zvýšení účinníku elektrické energie
- Nárůst očekávané doby života
- Restrikce chyb
- Snížení množství údržeb

3.1 Proudové rázy v cívkách

Cívky se používají v motorech, tlumivkách a transformátorech. Následovně jsou popsány proudové rázy v transformátorech. ^[7]

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který mění amplitudu střídavého napětí bez změny frekvence. Je složen ze dvou cívek, které mohou být na jádře. Při zapnutí transformátoru nastává přechodový jev a ten je charakterizován velkým zapínacím proudem, který může dosahovat až stonásobku jmenovité hodnoty proudu – ten je závislý na stavbě magnetického obvodu, odporu vinutí, okamžiku připojení ke zdroji a impedanci napájecího zdroje. Ke své ustálené hodnotě proudu se transformátor dostane během desítek až stovek period – během této doby dochází k přesycení indukčnosti, poklesu impedance a k velkému nárůstu proudu. Zapínací proud u transformátoru naprázdno je omezen impedancí sítě a impedancí primárního vinutí. ^{[9] [10]}

Tento přechodový jev je popisován jako proudový ráz (Inrush current) a v transformátoru nezpůsobuje trvalou poruchu. Nicméně tento proudový ráz může způsobit např. vybavení nadproudové ochrany a tím odpojit transformátor od napájení. Tento zapínací ráz obsahuje velký podíl druhé harmonické složky.

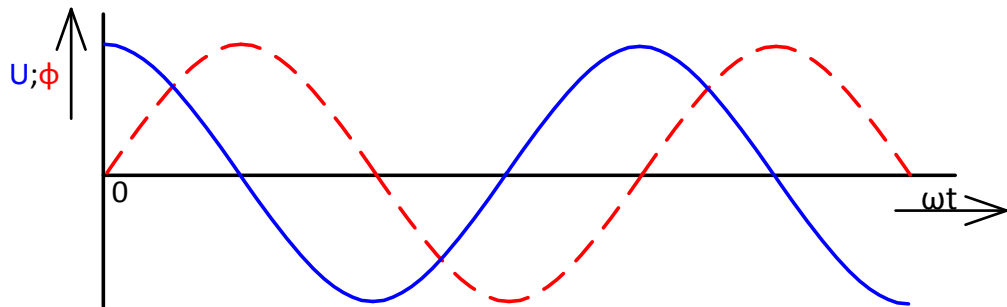
Faktorů ovlivňující proudový ráz je hned několik:

- Velikost a typ transformátoru
- Odpor ve vedení ze zdroje k transformátoru
- Typ jádra transformátoru a schopnost saturace (nasycení)
- Remanentní indukce

Vztah mezi napětím a magnetickým tokem je

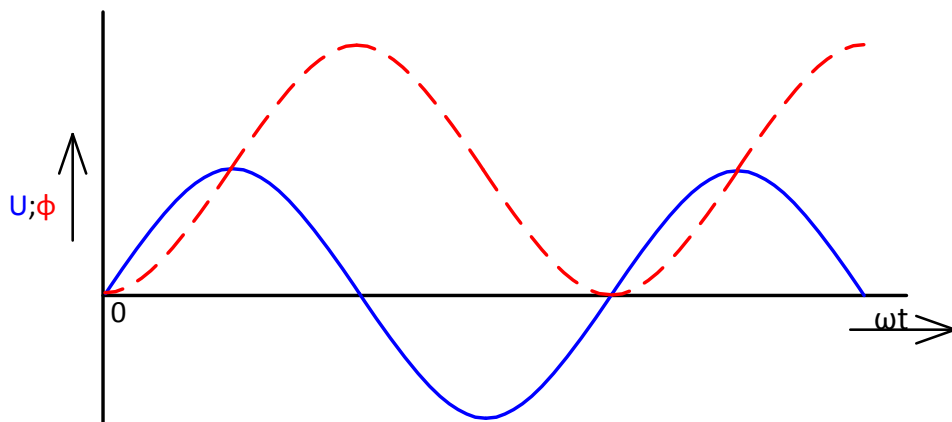
$$\Phi = \int U dt. \quad (3.1)$$

Níže jsou uvedeny tři různé průběhy napětí a indukčního toku v závislosti na čase při připojení ideálního transformátoru k síti. Na prvním obrázku je vidět, že nevznikl žádný přechodový jev, protože transformátor byl připojen k síti při průchodu maximem při nulovém počátečním magnetickém toku.



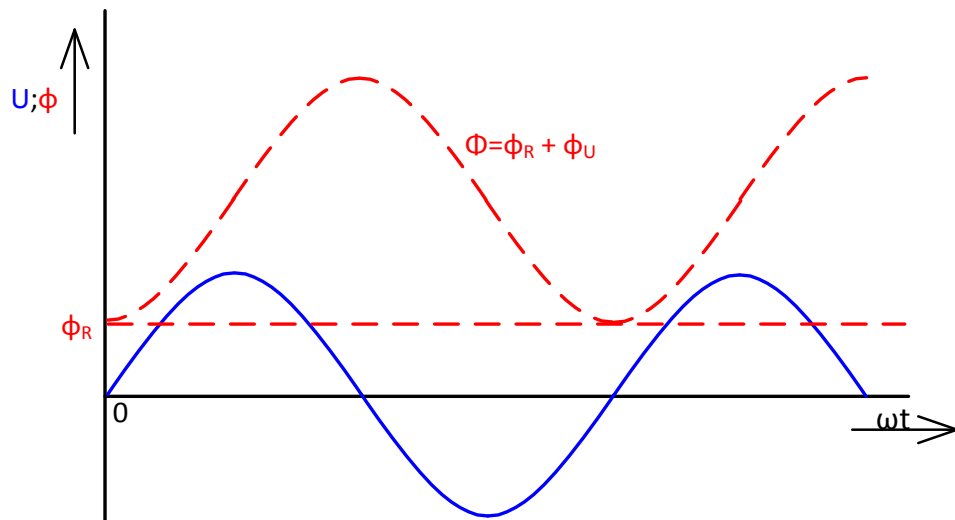
Obrázek 16: Připojení transformátoru k síti při průchodu maxima

Druhý obrázek představuje připojení transformátoru při průchodu nulou, opět při nulovém počátečním toku. Výsledný magnetický tok je dvojnásobný oproti předchozímu případu.



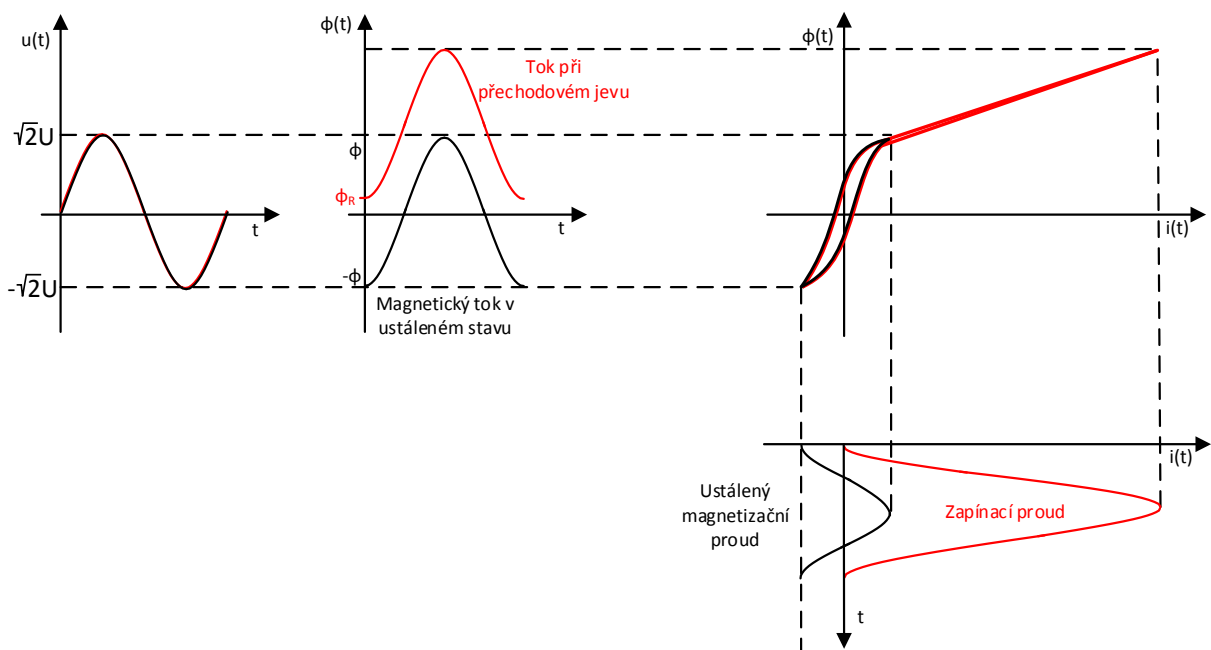
Obrázek 17: Připojení transformátoru k síti při průchodu nulou

V posledním průběhu je obsažen i zbytkový (remanentní) magnetický tok Φ_R . Výsledný magnetický tok je superponovaný na tuto hodnotu zbytkového magnetického toku.



Obrázek 18: Připojení transformátoru k síti při průchodu nulou s remenantní indukcí

Nejhorší možná varianta tedy nastává při připojení transformátoru k síti při průchodu nulou se zbytkovou magnetickou indukcí. Bližší vysvětlení této situace je naznačeno na obrázku. V případě, že se transformátor připojí k síti při průchodu nulou a se zbytkovou magnetickou indukcí, dojde k velkému magnetickému toku v jádře transformátoru. S velkým magnetickým tokem hrozí přesycení jádra transformátoru. Tyto faktory mají vliv na velikost proudového rázu při připojení transformátoru. Na obrázku je znázorněn průběh magnetického indukčního toku a průběh zapínacího proudu při zapnutí transformátoru při průchodu nulou a nenulové zbytkové remanenci. Zapínací proud je několikanásobně vyšší než ustálený magnetizační proud. [12] [14] [15]



Obrázek 19: Magnetizační proud

3.2 Proudové rázy v „Capacitor Bank“

Díky rozvoji těžkého průmyslu v posledních desetiletích narůstá počet asynchronních motorů připojených k distribuční síti. To znamená vyšší odběr jalového výkonu. Ke snížení jalového výkonu slouží tzv. „Capacitor Banky“, které jsou složeny z kondenzátorů. [8]

V teorii se používá ideální součástka kapacitor, která se navenek jeví jako neutrální. Elektrické dipóly jsou orientovány náhodně. Jakmile se připojí napětí na svorky kapacitoru, elektrické dipóly se začnou orientovat ve směru působení elektrického pole. To se projeví akumulováním náboje na elektrodách, dokud není kondenzátor nabit. Po odpojení vnějšího napětí působí kondenzátor jako dočasný zdroj napětí, který se vlivem vlastního parazitního odporu vybíjí.

V obvodu se střídavým napětím se kondenzátor nabíjí a vybíjí periodicky – to se projevuje předbíháním proudu o 90° .

Jalový odpor kondenzátoru jinými slovy „kapacitance“, se vypočítá pomocí vzorce:

$$X_C = \frac{1}{C \cdot \omega}, \quad (3.2)$$

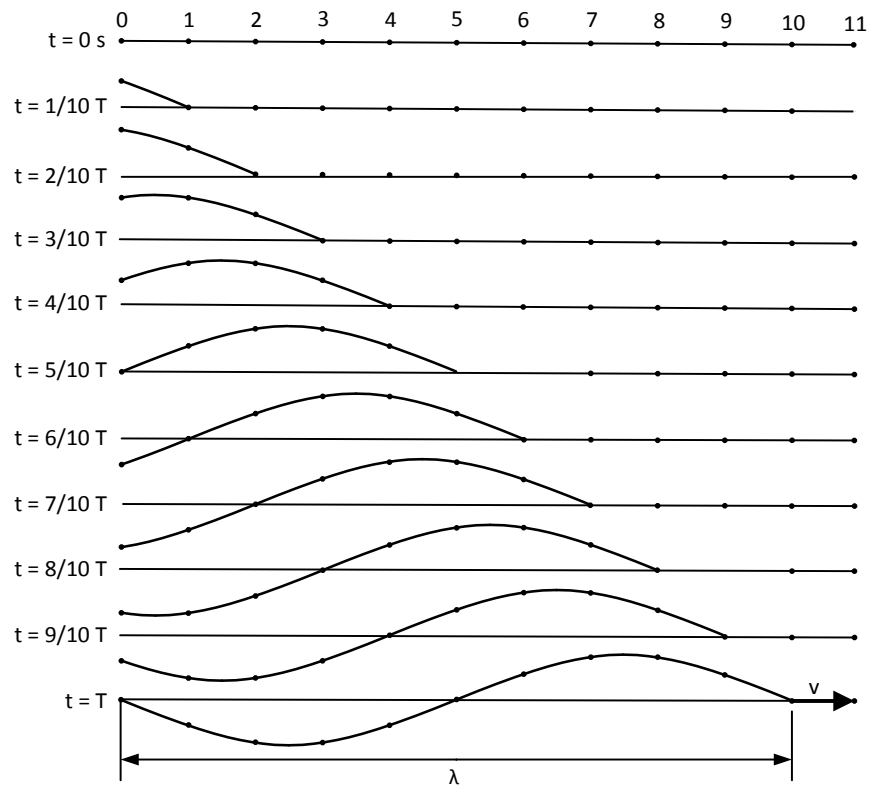
kde ω je úhlová rychlost, která se vypočítá jako $2\pi \cdot f$.

Z toho vyplývá, že čím nižší bude frekvence, tím větší bude kapacitance. Pro stejnosměrný proud je X_C rovno nekonečno. Kapacitor se chová, jako by rozpojil obvod. Naopak pro vyšší frekvence klesá kapacitance a postupně jakoby obvod „zkratuje“. I to je důvod, proč dochází při připojení k obvodu ke zkratovému proudu. V prvních několika prvních periodách je jalový odpor kondenzátoru roven nule, protože frekvence se pro obvod zdá nekonečná.

Ve většině případů je snaha spínat tyto banky při průchodu napětí nulou a tak eliminovat napěťové přechodové jevy. Tyto banky jsou obvykle vybité při připojování k síti.

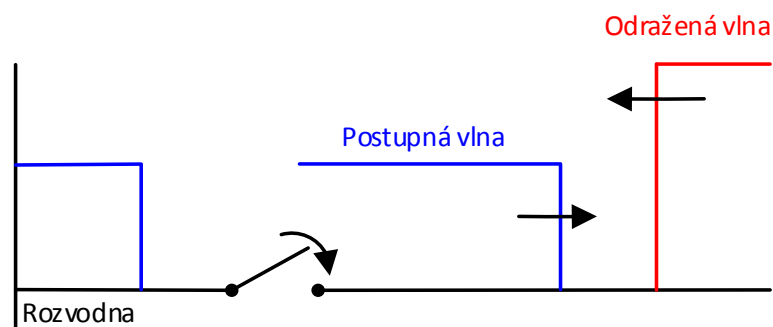
3.3 Spínání na přenosových sítích

Rázy se objevují nejen u „klasických“ součástek a zátěží, ale i u přenosových sítí. Přechodová charakteristika se objeví nejen na přenosové síti, ale i na napájecí síti. Tento přechodný jev záleží na rozdílu mezi napájecím napětím a napětím přenosové sítě a také fenoménem postupného vlnění. Tyto přechodové jevy se obvykle řeší pro napětěvé hladiny od 220 kV včetně. ^{[14][15]}



Obrázek 20: Vývoj postupné vlny v čase

Důvod vzniku postupného vlnění na přenosových sítích je, že při sepnutí vypínače se napětí neobjeví okamžitě na konci vedení, ale postupně se bude objevovat na vedení napětí, podle sinusového průběhu, jak je naznačeno na obrázku 19. V případě, že by došlo k sepnutí v maximální hodnotě napětí, mohlo by dojít k situaci, která je naznačena na obrázku 20 a to, že na konci vedení se objeví plná hodnota napětí, která může ohrozit zátěže připojené na konci. ^[13]



Obrázek 21: Vlny při sepnutí vypínače

3.4 Vypínač HD4/P Synchron

Klasický trojfázový vypínač při sepnutí či rozepnutí může způsobovat a také způsobuje přechodové jevy spojené s přepětím/podpětím a také nadproudy, které nemusejí být v tolerancích. Velikost přechodového jevu závisí na tom, v jakém místě průběhu sinusovky dojde k sepnutí. Klasické vypínače se sepnou/rozepnou v jakékoliv části sinusového průběhu na základě příkazu pro změnu pozice. To znamená, že dříve či později dojde ke změně pozice v nejméně vhodné dobu.

Vypínač HD4 je plynem izolovaný vypínač naplněný plynem SF₆ (fluorid sírový). Vypínač HD4/P je speciální vypínač této řady, který slouží k omezení přechodových jevů spojených se spínáním vysokého napětí. Toho se docílí monitorováním všech tří fází, správného načasování a sepnutí vypínače po jednotlivých fázích.



Obrázek 22: Vypínač HD4

Tento vypínač se v zapojení do obvodu od klasického HD4 neliší, ale musí být připojený k elektrickému ochrannému terminálu E213, případně PWC600.

3.5 Zařízení omezující proudové rázy

Na trhu je několik desítek, možná i stovek výrobců, kteří se zabývají připojováním zařízení do distribuční sítě. Diplomová práce se bude zabývat výrobky Švýcarské firmy ABB. Společnost ABB má velké zkušenosti s touto problematikou. První generace „Switchsync™ controllers“ byla na trh

uvedena v roce 1986. Tato řada se používala pro eliminaci přechodových jevů spojených s kapacitor banky, tlumivkami a výkonovými transformátory.

Od uvedení na trh v 1986 byly instalovány tisíce těchto zařízení do provozu. Původní řada Switchsync™ controllers obsahovala čtyři tato zařízení. Každé zařízení mělo jiné parametry a využití těchto zařízení mělo svoje specifika. Přehled a použití těchto a zařízení lze najít v tabulce níže.

Tabulka 2: Řada Switchsync™ controllers

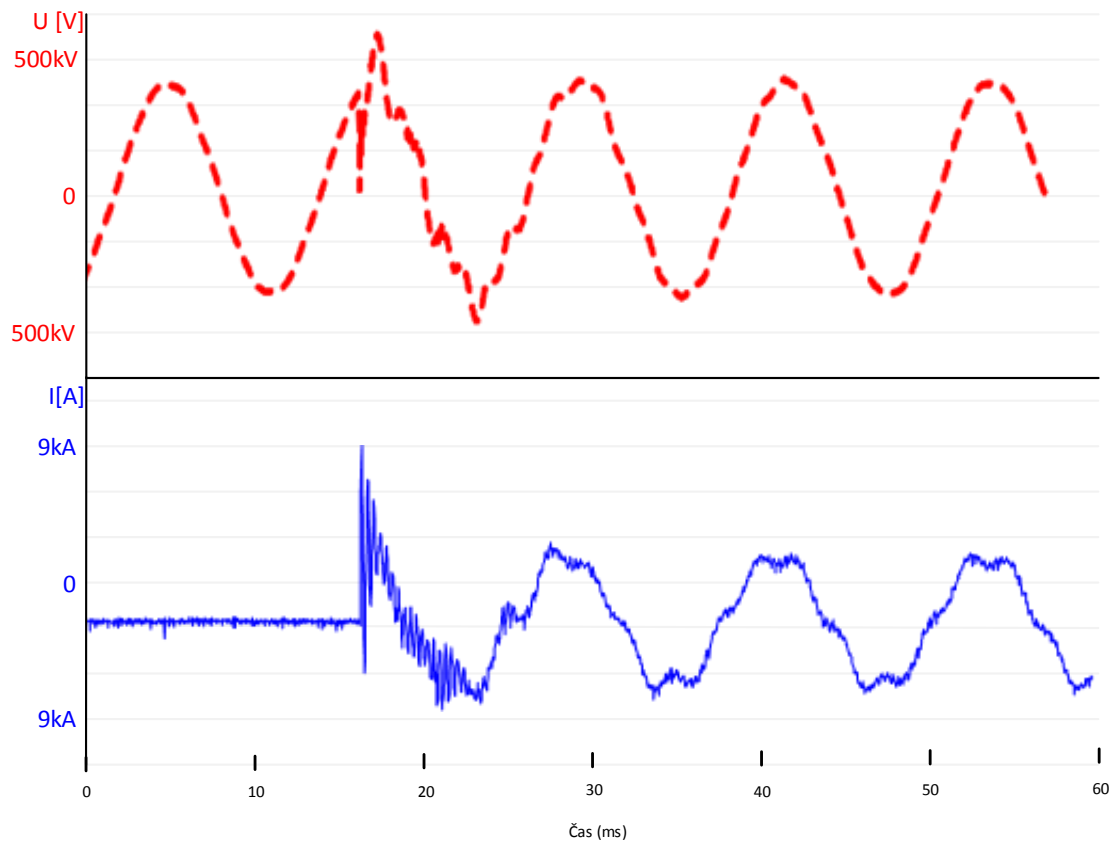
Switchsync™ controllers	Použití	Příkazy vypínače	Možnost řízení vypínače
E213	Capacitor Bank, tlumivky	Zapnout a vypnout	3-pólově
F236	Capacitor Bank, tlumivky, výkonové transformátory	Zapnout a vypnout	1-pólově
T183	Výkonové transformátory	Zapnout	1-pólově
L183	Nevykompenzovaná přenosná vedení	Zapnout	1-pólově



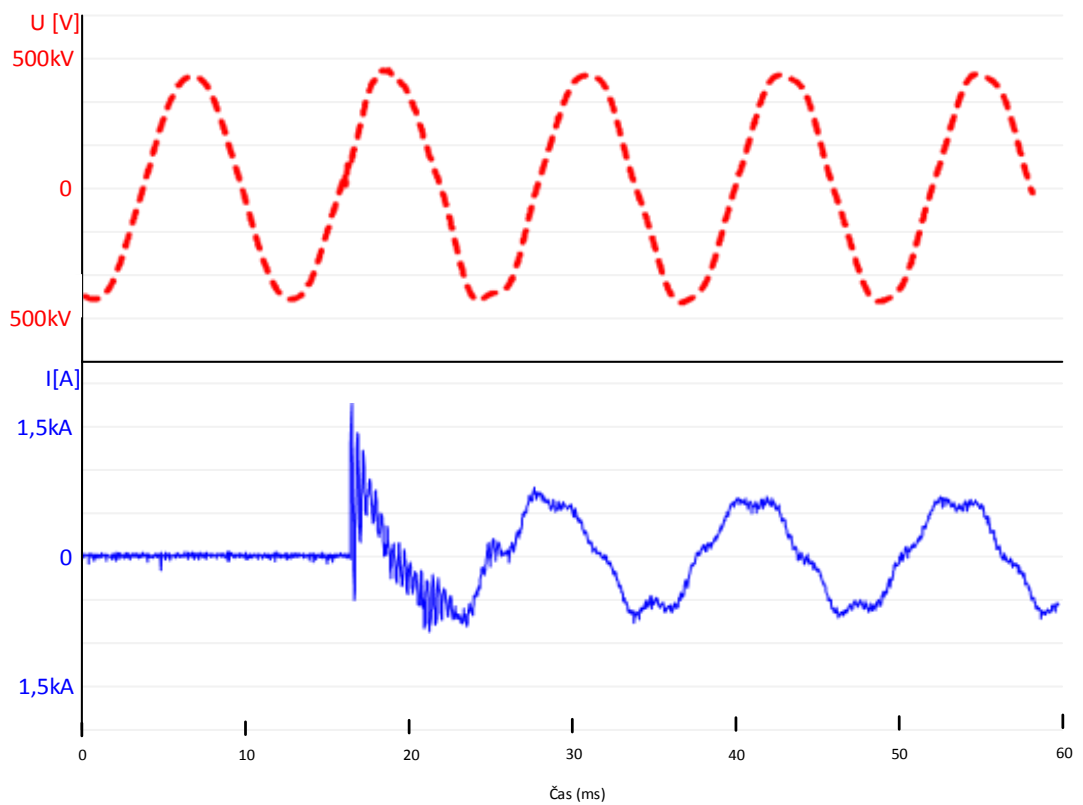
Obrázek 23: Ukázka starších typů Switchsync E 213 a F 236

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny skutečné naměřené napětí a proudy, které byly odečteny při testech. ^[18] Na Obrázek 24: Nekontrované zapnutí indukční zátěže je možno si všimnout, že zátěž byla zapnuta v maximu a nejprve dojde ke snížení napětí a nárůstu proudu až téměř k 10 kA, poté snížení hodnoty proudu a naopak zase přepětí. Tento jev trval cca jen několik milisekund, nicméně mohl způsobit velké problémy.

Na dalším Obrázek 25: Kontrované zapnutí indukční zátěže, kde se indukční zátěž zapíná při průchodu nulou, lze si všimnout, že napětí téměř nezmění svůj průběh. Ovšem důležité je, že proudová špička procházející zátěží klesla z téměř 10 kA na necelé 2 kA. Zde je jednoznačný důkaz, že kontrované zapínání má svůj smysl.



Obrázek 24: Nekontrolované zapnutí indukční zátěže



Obrázek 25: Kontrolované zapnutí indukční zátěže

V praktické části bude popsáno programování digitální ochrany PWC600, která nahrazuje původní zařízení Switchsync™ controllers, která postupem času se stávala zastaralou. Tato ochrana se řadí do úspěšné řady Relion 600 a představuje kompletní portfolio v chránění VN rozvaděčů.



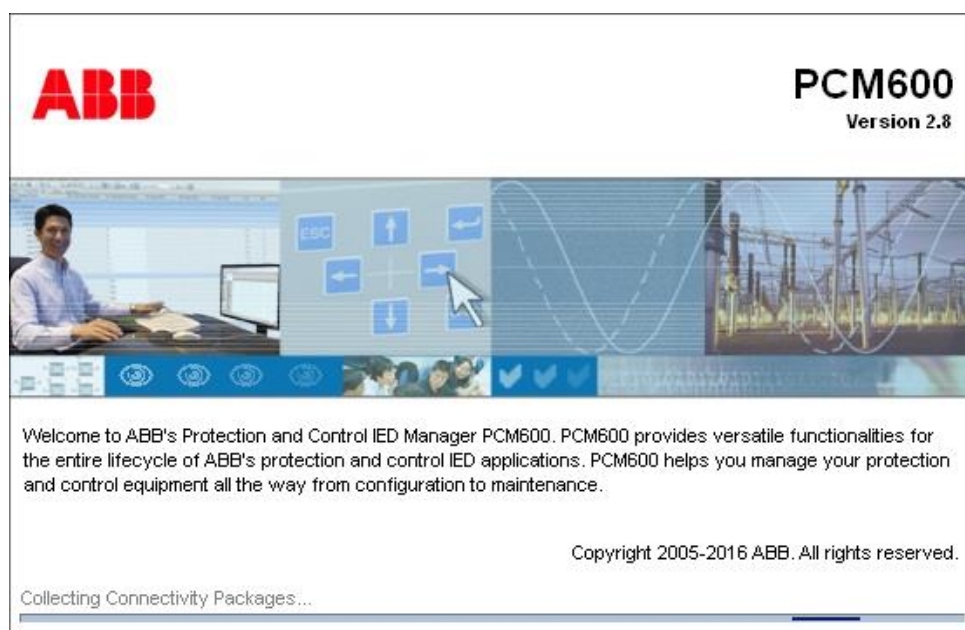
Obrázek 26: PWC600

4 KONTROLÉR SYNCHRONNÍHO SPÍNÁNÍ PWC600 A JEHO PROGRAMOVÁNÍ V KONFIGURAČNÍM MANAŽERU PCM600

Ochrana PWC600 byla uvedena na trh v roce 2015 a jak bylo dříve uvedeno a nahrazuje původní řadu Switchsync™ controllers, která přestala vyhovovat požadavkům na chránění. PWC600 patří mezi ochrany, které jsou primárně určeny pro chránění přenosových sítí. Spolu s ní tato řada obsahuje také ochrany řady 650 a 670.

4.1 Příprava projektu v konfiguračním manažeru PCM600

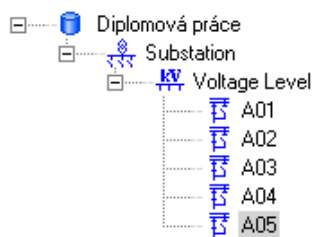
K programování ochran slouží software PCM600, ve kterém se programuje drtivá většina portfolia Relion. Aktuálně je verze 2.8, která může být 32-bit, případně 64-bit. Tato práce bude používat 32-bit verzi díky Connectivity package, které pro ochranu PWC600 jsou (*zatím*) jen v 32-bitové verzi.



Obrázek 27: Úvodní okno programu PCM600

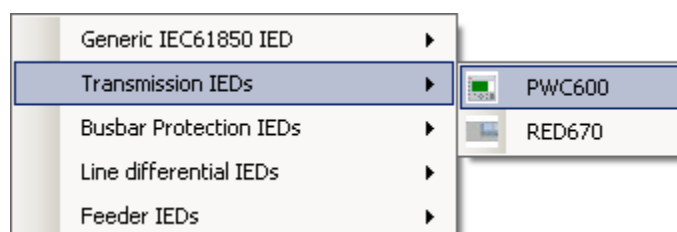
Poslední verze (*Aktuálně leden 2018*) connectivity package je 1.1.0.0. Poslední verze odstraňuje nedostatky předchozí verze a přináší nové možnosti v programování a optimalizaci využití hardwarových nároků.

Základem této práce je předpoklad, že uživatel umí založit projekt a strukturu v programu PCM, jak je naznačeno na Obrázek 28: Struktura rozvodny v programu PCM600 2.8 32-bit. V tomto případě byl pro testování založen fiktivní projekt. Rozvodna obsahuje 5 polí a v prvním bude ochrana PWC600.



Obrázek 28: Struktura rozvodny v programu PCM600 2.8 32-bit

Pravým klikem myši na pole, je vybrán nový ochranný terminál PWC600, který je zařazen mezi „Transmission IEDs“.



Obrázek 29: Výběr IED

4.2 Vytvoření ochrany v projektu

Jestliže se zakládá nová ochrana v programu PCM, je možnost využít integrované funkce tzv. „Configuration Wizard“.

V prvním kroku se tento průvodce zeptá, zda-li chce uživatel ochranu zakládat v on-line módu nebo v off-line módu. On-line mód je vhodný pokud je ochranný terminál přítomen na stole. Jestliže se nechce vypisovat order code ochrany. Order Code je podle výrobce sled několika znaků. Používají se číslice a písmena, která při objednání definují hardware a software vybavení ochrany.

V druhém kroku je dotaz na komunikační protokol. Ochrana PWC podporuje více protokolů, ale defaultně je vybrán IEC 61850. Současně je to nejvíce rozšířený komunikační protokol v rozvodnách VN.

Třetí krok slouží k vybrání portu, který bude primárně využíván. Je možno vybrat mezi předním portem a zadním portem. V tomto případě je použit „LAN1“, který představuje zadní port, který je nastaven na IP adresu 172.16.1.1., která koresponduje s nastavením digitální komunikace v rozvodnách.

Čtvrtý krok se ptá na produkt verzi, která je používána. V dnešní době (*Aktuálně leden 2018*) je verze 1.0.1.

Další krok slouží k vybrání charakteristického souboru (*Order Specific File*), tento soubor je definován order codem. Soubor se automaticky načte v případě on-line módu (a správné IP adresy).

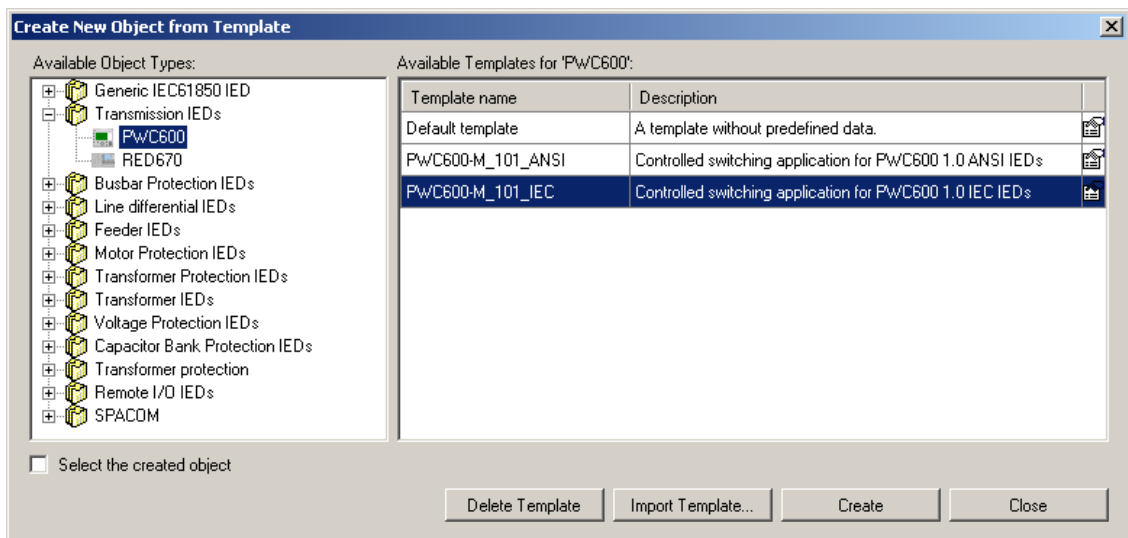
Poslední dotaz je na verzi IEC či ANSI a rekapitulaci zadaných parametrů. Tímto způsobem je založena ochrana PWC. Poté se může otevřít nástroj Application configuration a je možno od začátku programovat tuto ochranu. Vstupy, výstupy, ochranné funkce, indikace.... Tento způsob je v dnešní době značně neefektivní a používá se standardně šablon.

4.2.1 Import template pro PWC600

V praxi se šabloně říká „template“ případně „typovka“, která je pro každý projekt stejná. Každý projekt má vstupy a výstupy, ochranné funkce podle přání zákazníka a indikace alarmů, atd... V této práci je využito šablony, kterou lze získat od výrobce a tato typovka se upraví pro potřeby projektu.

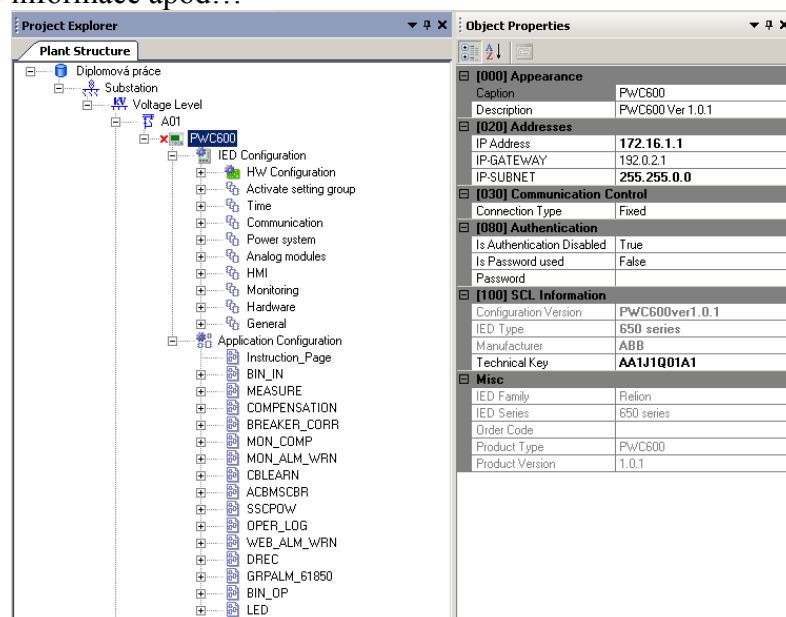
Ochrana je tedy založena jiným způsobem. Nebude využito průvodce, ale je použita funkce „Create New Object from Template“. Soubor, který je potřeba získat z „Update Manageru“, který je součástí programu PCM. Tento program slouží k získání posledních aktualizací a záplat.

Standards jsou určeny normou IEC, proto bude vybrána IEC šablona, jak je naznačeno na obrázku 30: Založení ochrany z template. Tato volba bude následně potvrzena tlačítkem Create.



Obrázek 30: Založení ochrany z template

Po založení ochrany je vidět v „Plant Structure“ založený ochranný terminál PWC600 a je možnost editovat jeho nastavení. Dále v „Object Properties“ základní nastavení jako je IP adresa, technický klíč, SLC informace apod...



Obrázek 31: Pohled na Plant Structure“ a „Object Properties“

Pravým klikem na ochranné relé lze zobrazit menu, ve kterém je možno vybrat ACT (*Application Configuration Tool*), GDE (*Graphical Display Editor*), Parameter Setting, SST (*Switchsync Setting Tool*) a mnoho dalšího. Nejprve je popsáno ACT.

Importem template se vytvořilo 16 nových záložek z nich každá má svoji unikátní funkci např. druhá strana obsahuje binární vstupy, další měření. Dále jsou stránky, které slouží ke sledování vypínače a na konci záložek je komunikace přes IEC 61850 a indikace LED diod na displeji.

Na první straně jsou instrukce, které říkají něco o prekonfiguraci (*šabloně*), která je naimportována:

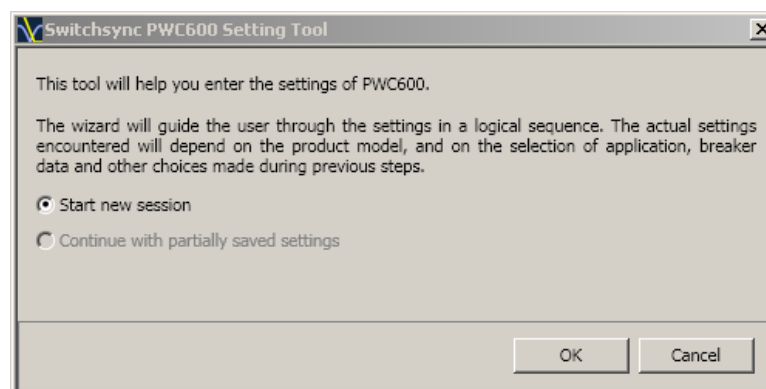
1. Některé ze záložek jsou zamčené a jejich editaci může provádět jen člověk, který má povolení firmy ABB.
2. Switchsync Setting Tool (*Bude popsán později.*) je přímo navázán na bloky, které jsou vloženy na záložky ACT. Nesprávnou manipulací je možno způsobit neočekávané chování Switchsync Setting Toolu.
3. GRPALM_61850 má naprogramované signály pro reportování do řídicího systému SCADA. (*Supervision, control and data acquisition*)

Prekonfigurace, která je vytvořená od výrobce, slouží k pokrytí většině aplikací se kterými se lze setkat. Pro speciální aplikace PWC600 je možnost konzultovat užití ochrany s CS expertním týmem, který slouží jako podpora pro zařízení.

4.3 Nástroj k implementaci nastavení - Switchsync Setting Tool

Tato kapitola bude zaměřena na Switchsync Setting Tool, který slouží ke správnému výběru nastavení pro IED – tento nástroj je tedy provázán se „settingem“ ochrany. Nesprávná manipulace s typovou konfigurací může způsobit problémy, jak je psáno na první záložce v ACT.

Po spuštění SST nástroje, bude na začátku výzva k začátku nové konfigurace, jak je zobrazeno na Obrázek 32: Úvodní obrazovka SST.



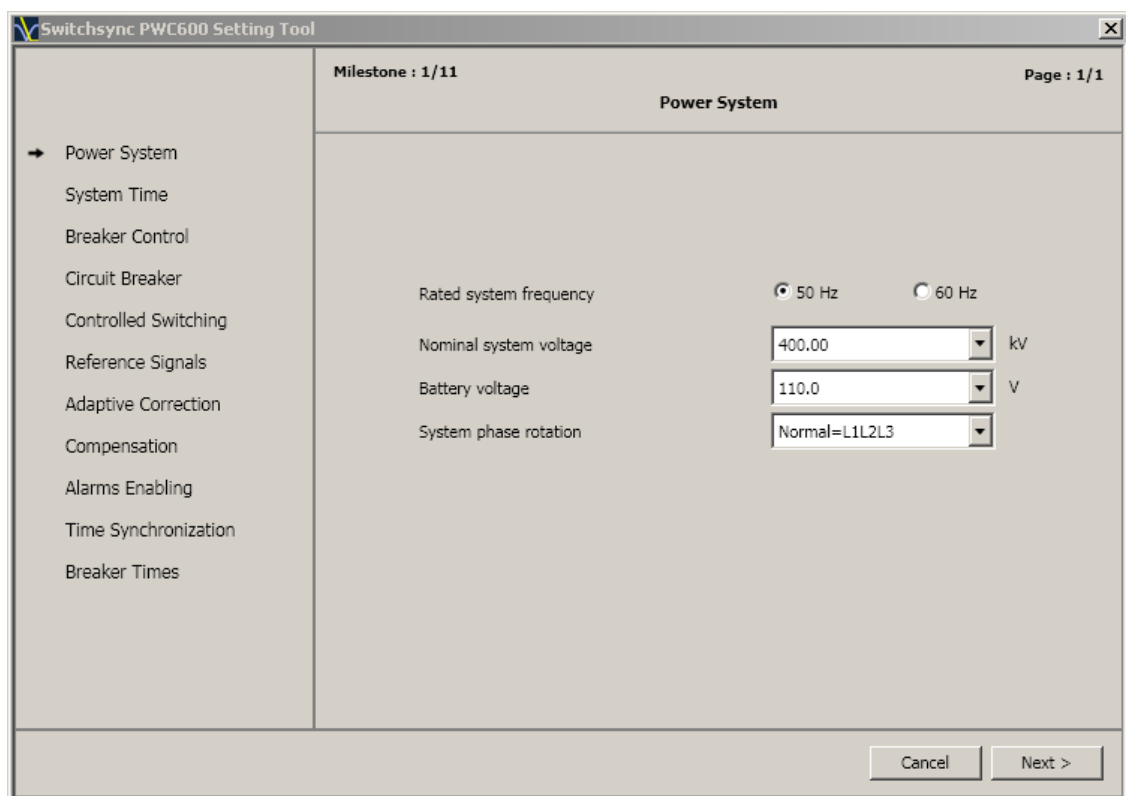
Obrázek 32: Úvodní obrazovka SST

Po potvrzení se objeví nové dialogové okno, ve kterém bude celkem 11 milníků:

1. **Power system** – Slouží k nastavení základních parametrů (Frekvence, nominální napětí,...)

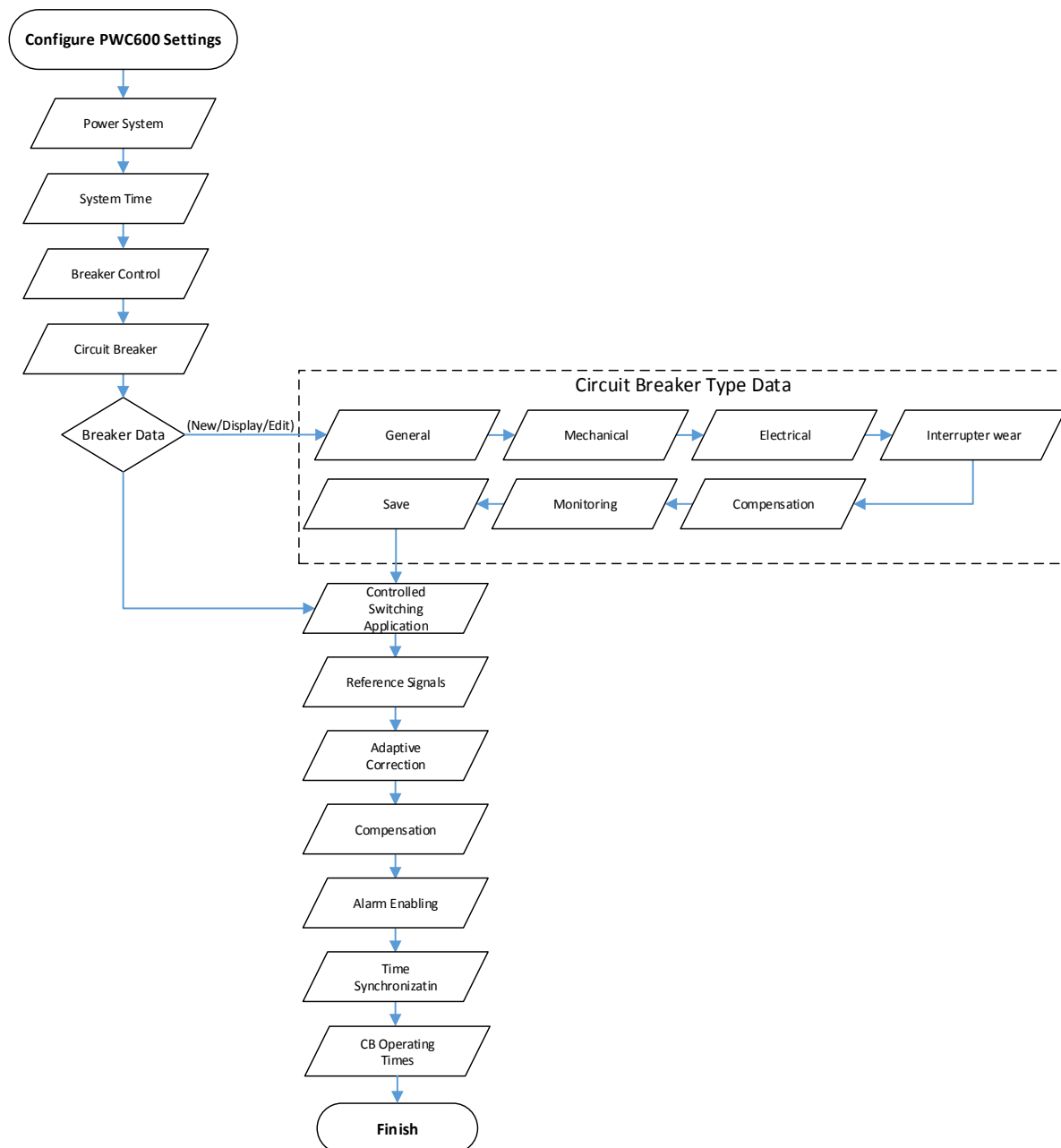
2. **System Time** – Nastavení letního a zimního času. Také se zadává poloha proti časové zóně UTC.
3. **Breaker Control** – Slouží k nastavení, jestliže se chce kontrolovat zapnutí/vypnutí, případně oba dva stavy a co dělat v případě, že nelze zapnout kontrolovaně dle nastavení.
4. **Circuit Breaker** – Zde se zadává výrobce vypínače, technologie. V základu jsou přednastaveny standardní ABB vypínače, Je také možnost zadefinovat další vypínače ostatních výrobců či svůj vlastní.
5. **Controlled Switching** – Zadávají se parametry zátěže, typ připojení, zemění a nominální proud.
6. **Reference Signals** – Vybírá se referenční signál z transformátoru, případně je také možnost přijímání napětí přes Process bus (IEC61850-9-2)
7. **Adaptive Correction** – Další nastavení pro optimalizaci nastavení sepnutí či vypnutí vypínače.
8. **Compensation** – Kompenzace pomocí senzorů tlaku a teploty. Dále stav pružiny, napětí a času.
9. **Alarms Enabling** – Povolení alarmů pro nekontrolované vypnutí, ztráta referenčního napětí a další.
10. **Time Synchronazation** – Časová synchronizace po SNTP a IRIG-B, případně může být vypnuta.
11. **Breaker Times** – Časy vypínače pro mechanické otevření a zapnutí vypínače pro všechny tři fáze.

Každý milník obsahuje minimálně jednu stránku. Nejvíce má milník „Circuit Breaker“, který obsahuje až 34 stránek a zabývá se dialektickou pevností vypínače, rychlostí zapnutí a mnoho dalšího. Podrobnost této záložky je dána důležitostí vypínače, který hraje v kontrolovaném zapnutí velice významnou roli.



Obrázek 33: Milníky v SST

Celkový vývojový diagram SST je vyobrazen na Obrázek 34: Vývojový diagram SST.



Obrázek 34: Vývojový diagram SST

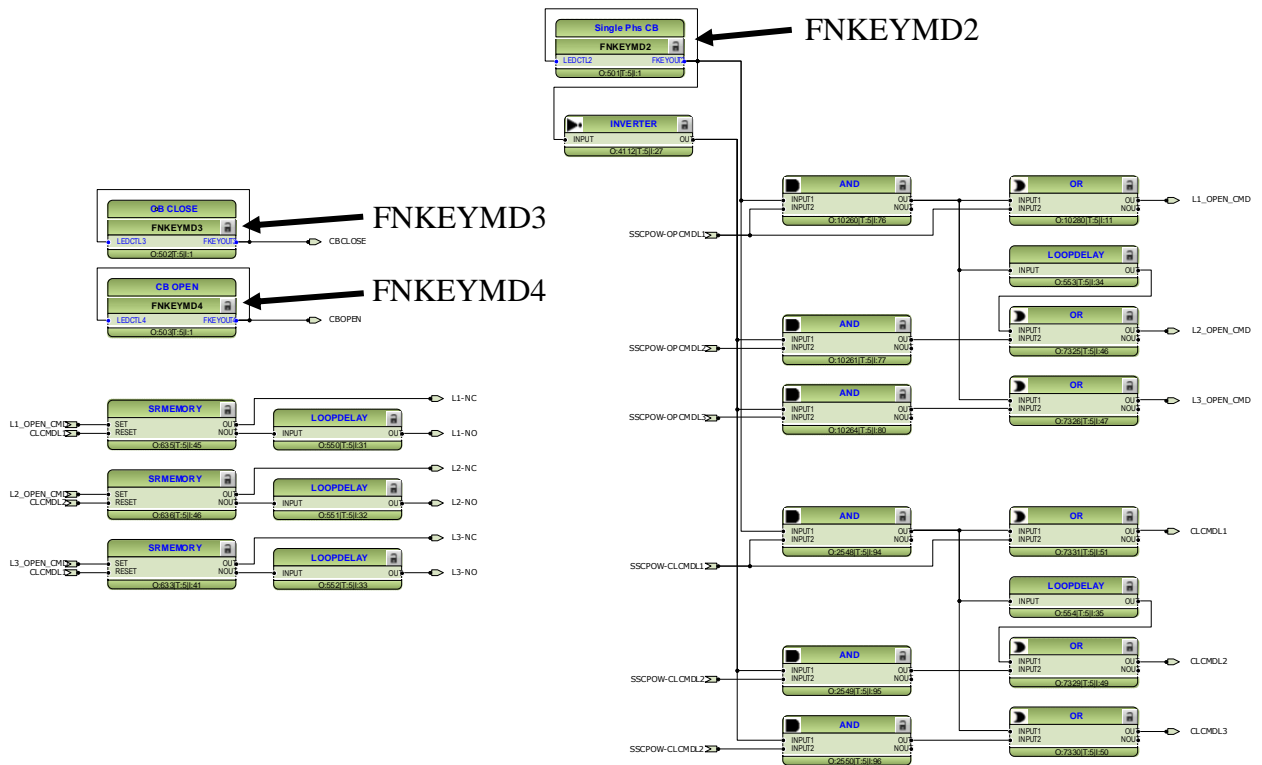
4.4 Simulace vypínače HD4/P Synchron

V ACT byla vytvořena záložka s názvem vypínač. Na této stránce je vytvořena pomocí logických hradel logika, která má za úkol simulovat vypínač HD4/P Synchron. Důvodem tohoto kroku je nemožnost v současnosti testovat na reálné rozvodně s tímto typem ochrany a vypínačem.

Digitální ochrana PWC600 má možnost nakonfigurovat libovolně až 5 tlačítek, která mohou mít různou funkci. V této práci byla využita 3 tlačítka a to:

- FNKEYMD3 - K příkazu CBCLOSE

- FNKEYMD4 – K příkazu CBOPEN
- FNKEYMD2 - K vybrání 1 pólového nebo 3 pólového vypínače.

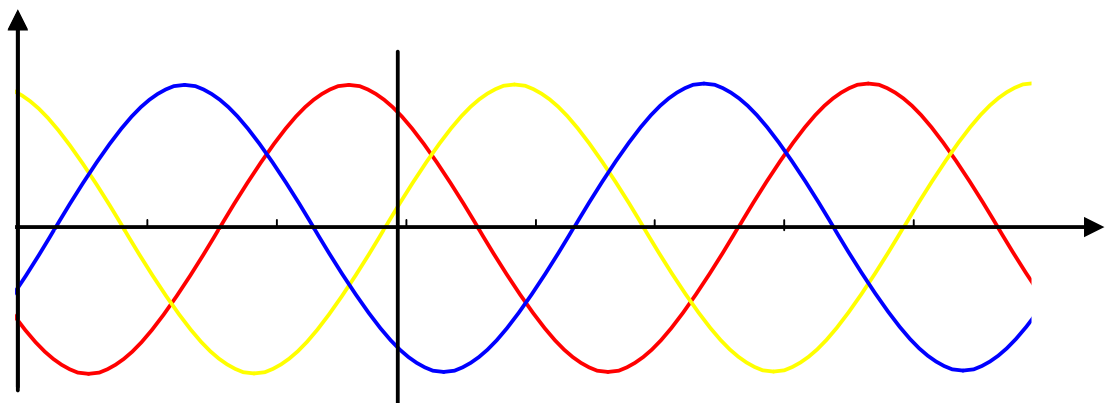


Obrázek 35: Testovací logika vypínače v programu PCM600

4.4.1 Rozdíl „single pole“ a „triple pole“ vypínačem.

Nyní bude popsán rozdíl mezi „single pole“ a „triple pole“ vypínačem. Jak už bylo naznačeno v kapitole 3.4 „Vypínač HD4/P Synchro“ pro vypínače NN (*tedy do 1000 V*) a MV (*tedy do 69 kV*) se spínají všechny 3 fáze současně. Při takto malých napětích dochází také k proudovým rázům, ale tyto hodnoty jsou malé a nemají moc velký vliv na spotřebiče, bezpečnost či kvalitu sítě.

Obyčejný příklad může také být přívod do domu, kdy se na jističi zapínají všechny 3 fáze zároveň. Tato skutečnost je naznačena na obrázku 36: Sepnutí 3 fází současně v jeden moment.



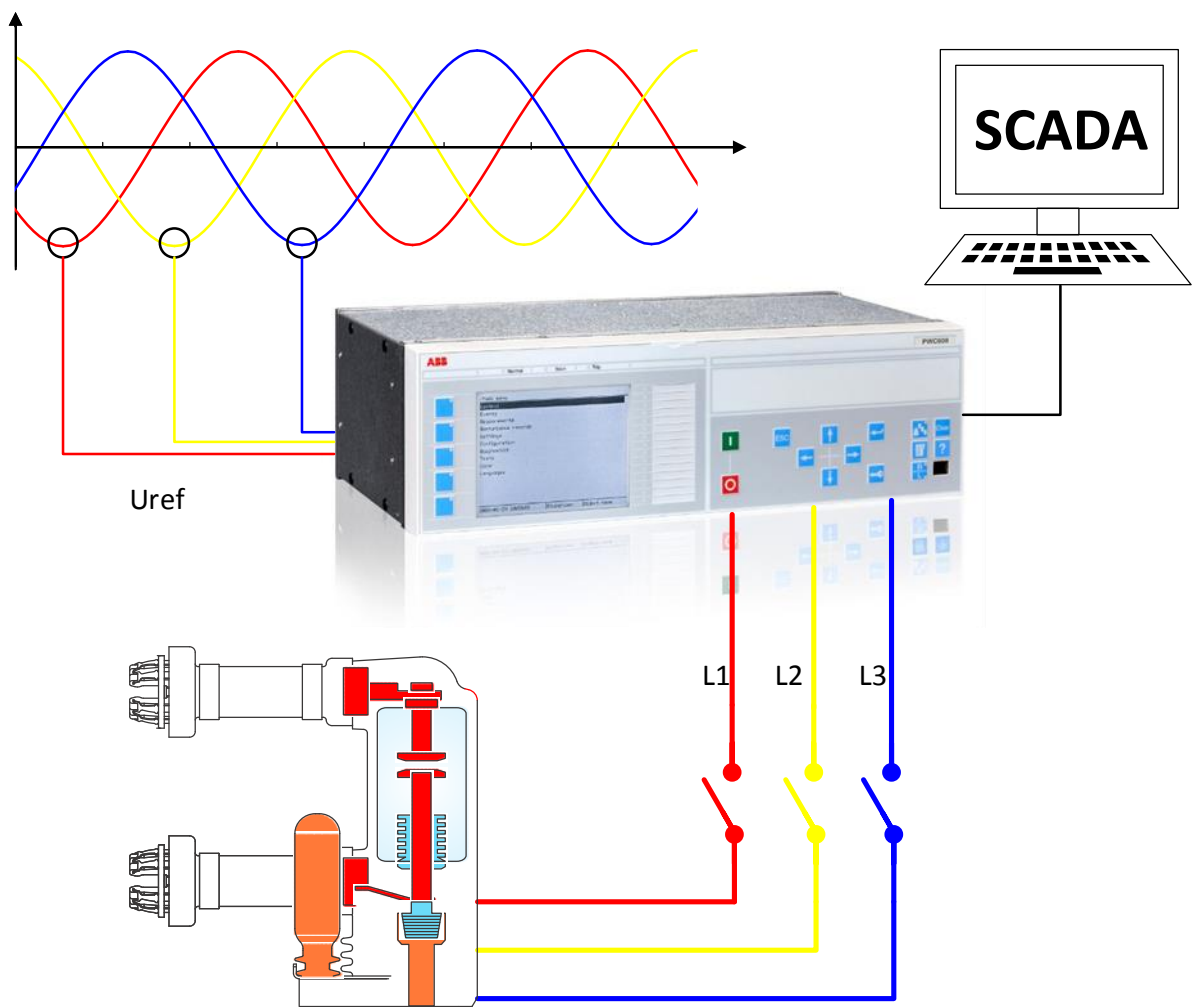
Obrázek 36: Sepnutí 3 fází současně v jeden moment

Princip toho, jak funguje kontrolované spínání či vypínání bude ukázáno na jednoduchém případě. Zákazník má kapacitor bank pro kompenzaci indukčních motorů, **klíčem** k minimalizaci přechodových dějů je připojit kapacitor bank k síti, když bude mít stejné napětí jako napětí sítě.

Jinými slovy lze říci, že pokud bude kapacitor bank vybitý, tak cílem by mělo být připojit tuto zátěž k síti při průchodu napětí nulou.

V případě, že dojde ze SCADY příkaz na připojení či odpojení zátěže, je ochrana díky neustálému měření schopna okamžitě reagovat.

Jakmile vyhodnotí procesor na základě nastavení optimální chvíli na připojení/odpojení zátěže, vyšle postupně tři zapínací/vypínací příkazy k vypínači. Ukázka je na obrázku Spínání zátěže pomocí switchsync™ kontroléru PWC600.



Obrázek 37: Spínání zátěže pomocí switchsync™ kontroléru PWC600

V rozvodnách MV se používají vypínače, které spínají pouze všechny 3 fáze najednou, ať je jedná od WD4, HD4 či eVM1, jedinou výjimkou je HD4/P Synchro u kterého se primární kontakty spínají jinak.

5 TESTOVÁNÍ KONFIGURACE PWC600

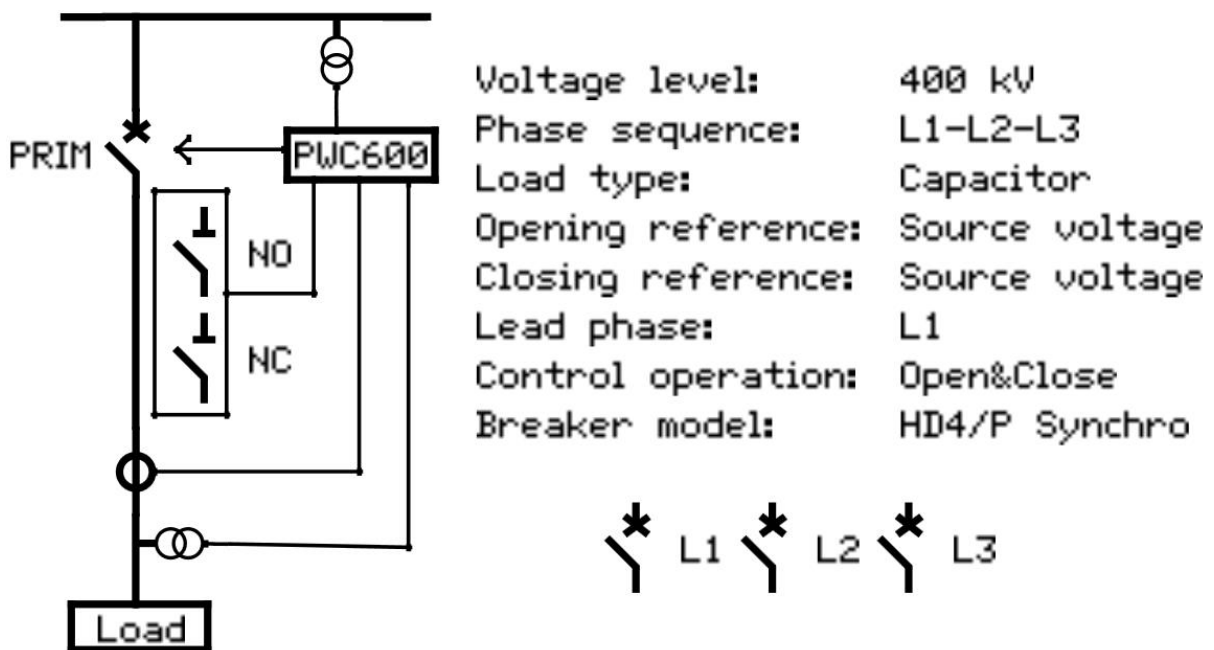
Testování IED probíhalo ve firmě ABB, konkrétně na Protection Relay Department. Toto oddělení spadá do kategorie inženýringu, který má na starost programování a testování IED (*Intelligent electronic device*), případně také commissioning (*uvádění do provozu*) rozvoden vysokého napětí.

V první fázi se navázalo spojení s ochranou pomocí předního TCI/IP portu a proběhlo nastavení technického klíče. Po úspěšném nastavení technického klíče se stáhla testovací konfigurace do ochrany.

Po nahrání ochrany se rozsvítila LED 4, která měla za úkol indikovat ztrátu referenčního signálu. Tento alarm byl povolen a zároveň byl vypnut bypass, který by mohl obcházet podmínky kontrolovaného zapnutí.

Na GDE zobrazila výchozí obrazovka. Na ní je možno vidět schéma zapojení, které bylo z části simulováno. Napětí z přípojnic představovalo připojení testovacího zařízení Freja 306. Ochrana měla nastavené primární hodnoty na 400 kV.

Po injekci sekundárního napětí ze zařízení Freja ochrana měřila 400 kV. Snímek z GDE je na obrázku 38: GDE na ochraně PWC600.



Obrázek 38: GDE na ochraně PWC600

Na displeji je možno si všimnout i dalších věcí. Ochrana měří nejen napětí z přípojnic, ale také napětí na zátěži. Ze zátěže je možno mít napěťovou a proudovou zpětnou vazbu. Při testování byl jako výchozí referenční signál zvolen napětí zdroje. Toto napětí bylo používáno pro zapnutí i vypnutí, protože zátěž byla nastavena jako Kapacitor Bank.

Dále je zde primární kontakt, který indikuje fyzickou polohu vypínače a pomocné kontakty NO (52a) a NC (52b). Kde NO je „Normal open“ a z definice vyplývá, že je sepnut, jestliže primární kontakt je plně vodivý a NC „Normal close“ je rozepnul tj. primární kontakt je nevodivý. Tyto signály jsou standardně používané pro indikaci polohy vypínače v rozvodnách VN.

5.1 Analýza spínání pomocí programu Wavewin.

Všechny důležité signály jsou připojeny na DR (*Disturbance report*), kdy jsou dva druhy poruchového zapisovače:

1. AxRADR – Analogový poruchový zapisovač, který slouží k záznamům analogových signálů.
2. BxRBDR – Digitální poruchový zapisovač, který zaznamenává změny binárních stavů.

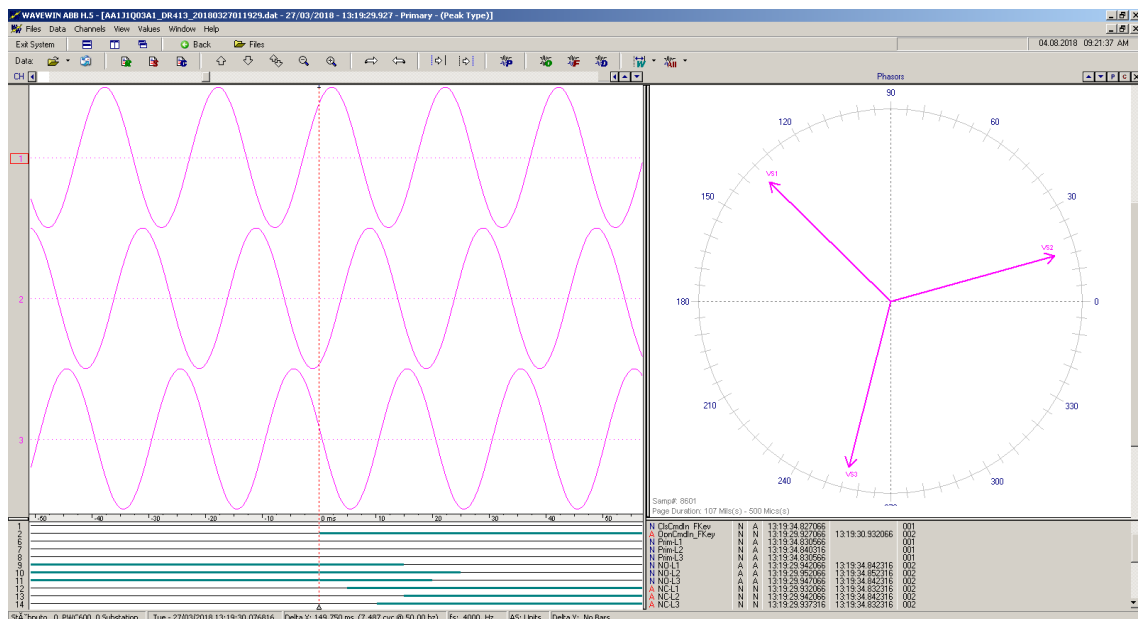
Jak analogový, tak i digitální poruchový zapisovač neustále monitoruje všechny hodnoty, které přichází na jeho vstupy. V případě, že dojde trigger (*spoušt*), uloží hodnoty v rozmezí dvě sekundy před a 4 sekundy po pro další analýzu díky implementovanému nastavení. Tímto se způsobem se analyzují poruchy v síti.

Jako trigger byl zvolen příkaz z tlačítka FNKEYMD3 a FNKEYMD4, tedy CBCLOSE a CBOOPEN. Při aktivaci těchto tlačítek se zapíší stavy analogových a digitálních hodnot.

Pro analýzu byl vybrán program Wavewin™ ABB, který je standardně dodáván s konfiguračním manažerem PCM. Analýza probíhá v několika krocích:

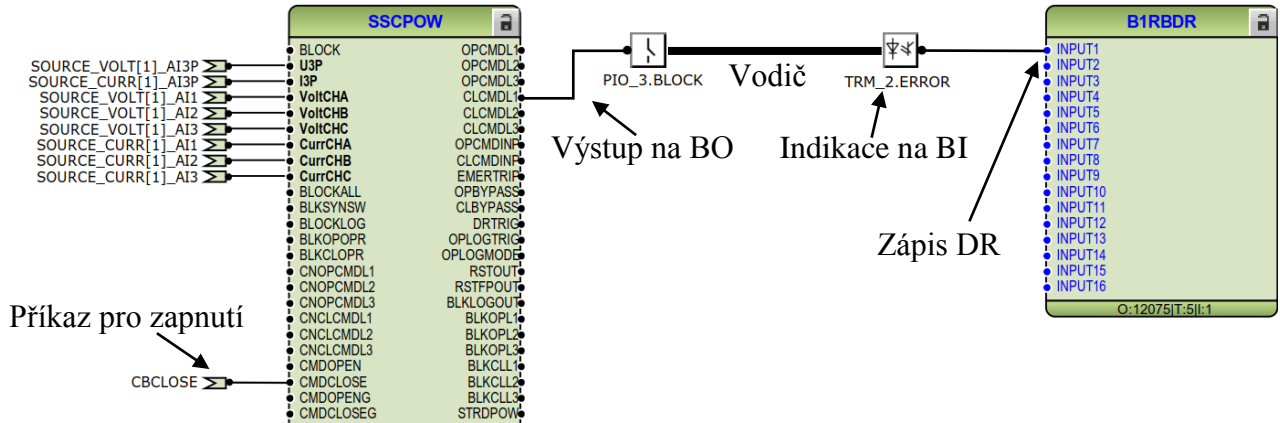
1. Nastala situace, která spustila trigger a tato událost je nyní uložena v ochraně.
2. Stáhne se požadovaná událost z IED.
3. Otevřou se soubory v příslušném programu.

Po otevření je možnost analyzovat uložené průběhy. Běžně se využívá program k analýze nadproudů, zemních spojení, distančních ochrán apod.



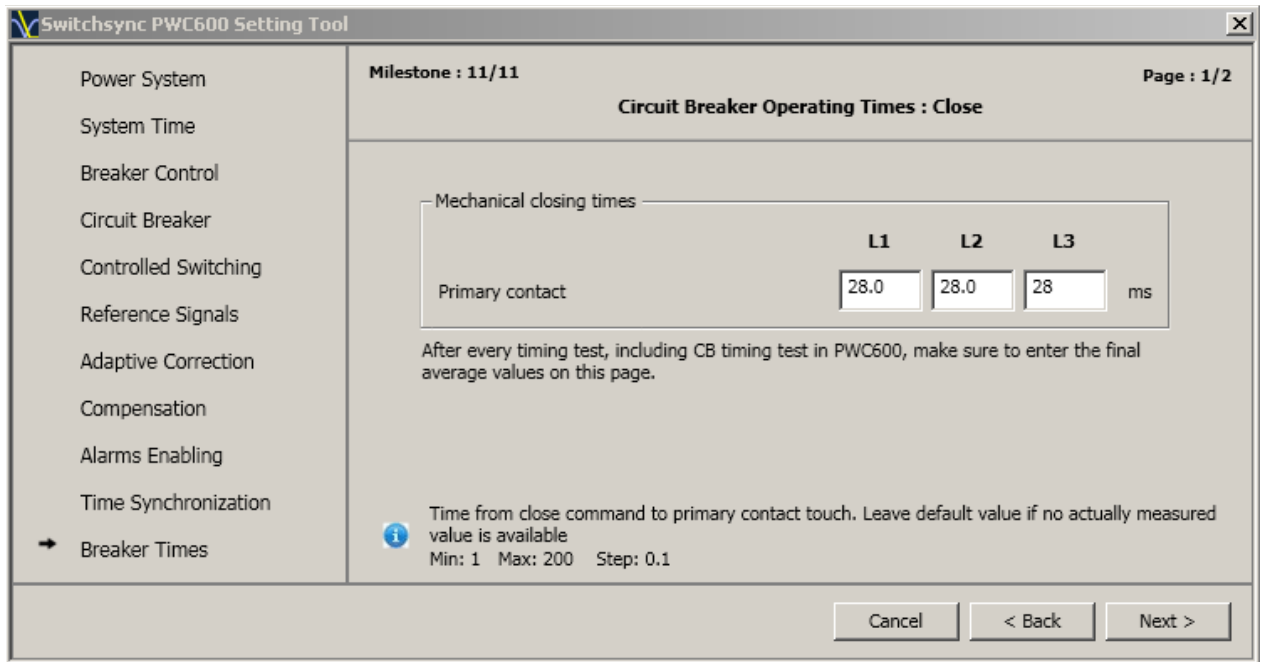
Obrázek 39: Program Wavewin při analýze

Zapínací signály v logice ochrany byly připojeny na binární výstupy, které byly fyzicky vodičem spojeny na binární vstup za účelem měření reakce mechanických částí a elektronické logiky v ochraně. V technickém manuálu bylo nalezeno, že sepnutí výstupu je na bázi polovodičových kontaktů a ty mají odezvu 100 ms. Při měření bylo zjištěno, že průměrná doba od zmáčknutí tlačítka k indikaci na digitálním DR je asi 28 ms.



Obrázek 40: Princip měření

Tento čas byl zadán do SST, jak je naznačeno na Obrázek 41: Zadání zapínacích časů vypínače do SST. Logický blok SSCPOW zpracuje tuto hodnotu do svého výpočtu optimálního zapnutí a příkaz z IED by měl být vygenerován o tento čas dříve. Děje se tak proto, že mechanický pohyb vypínače má určitou časovou prodlevu, než se změní fyzická poloha kontaktů.



Obrázek 41: Zadání zapínacích časů vypínače do SST.

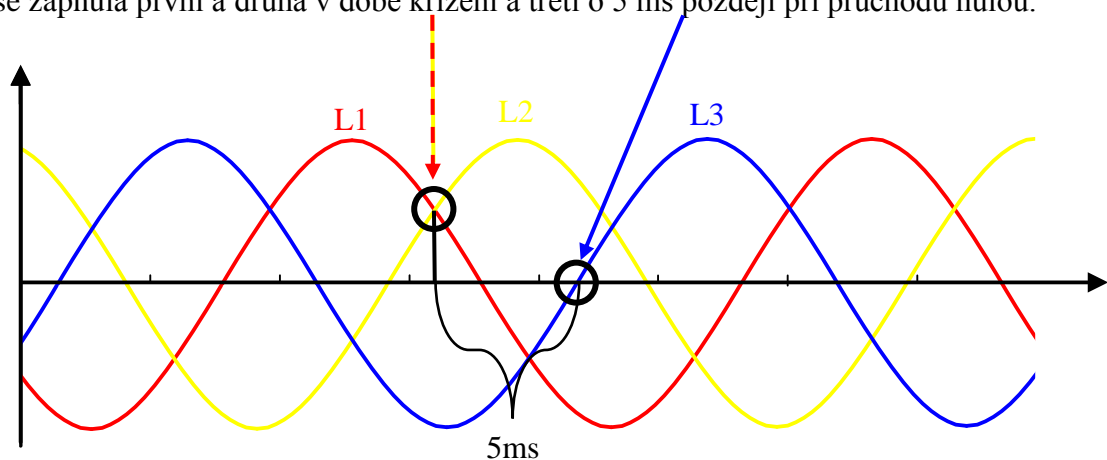
Testovací konfigurace byla zvalidována, uložena a stažena do ochrany.

5.2 Ověření teoretických předpokladů

Následujícím krokem bylo dojít k testování teoretického předpokladu. Mnohokrát došlo k aktivaci FNKEYMD3 a FNKEYMD4. Záznamy, které pořídila ochrana, byly staženy do počítače a analyzovány ve zmíněném programu Wavewin.

Došlo k tomu, že ochrana vydá zapínací příkaz při průchodu nulou pro první fázi. Současně s tím se však zapne i druhá fáze, která neprochází nulou. Toto je vlastnost vypínače HD4/P Synchro. Třetí fáze se zapne o 5 ms později než první a druhá. Výsledek je takový, že se nezapne při průchodu nulou.

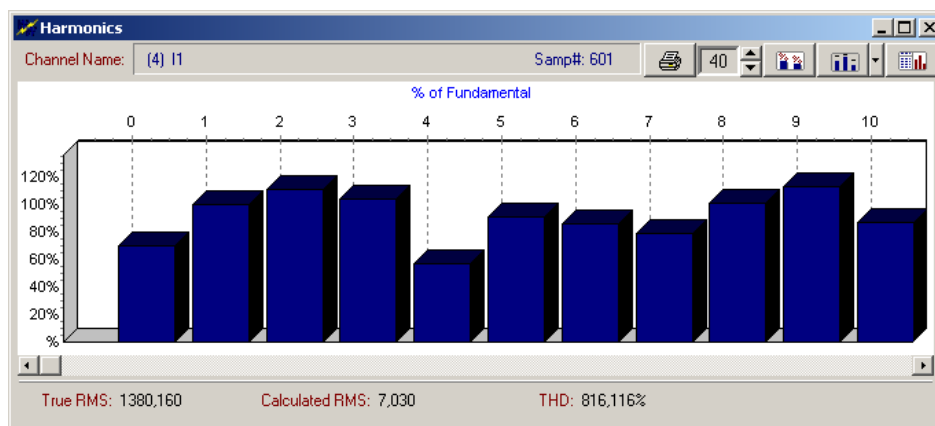
Toto nastavení není vhodné pro minimalizaci nežádoucích jevů. Je možno nastavit ještě úhel případně zvětšit čas zapnutí vypínače, aby IED vyslala zapínací příkaz dříve. Ideální stav by nastal, kdyby se zapnula první a druhá v době křížení a třetí o 5 ms později při průchodu nulou.



Obrázek 42: Teoretický předpoklad v minimalizaci přechodových jevů

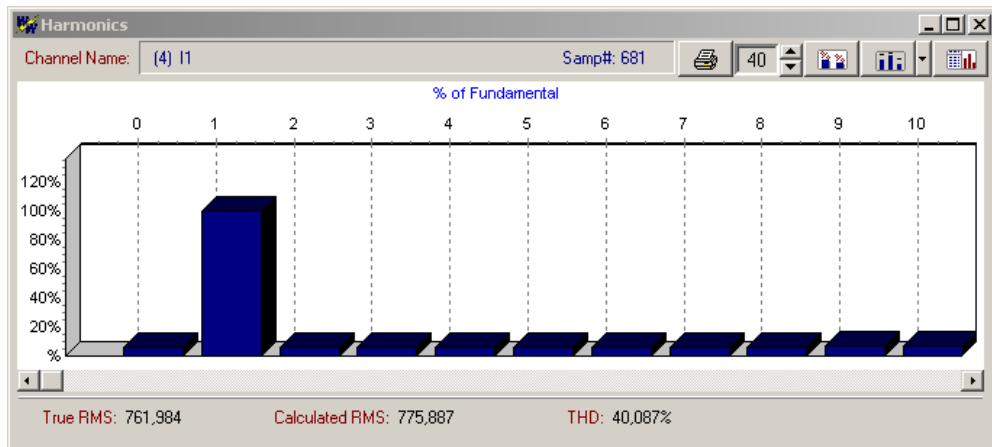
5.3 Reálné průběhy

Díky mezinárodní spolupráci, která byla navázána, se podařilo získat záznamy z uvádění PWC600 do provozu na reálných rozvodnách VVN. Obrázek 43: DFT analýza proudového rázu při sepnutí (0ms) ukazuje procentuální zastoupení vyšších harmonických při sepnutí kapacitor banky. Tato analýza koresponduje s tím, co bylo popsáno v teoretické části.



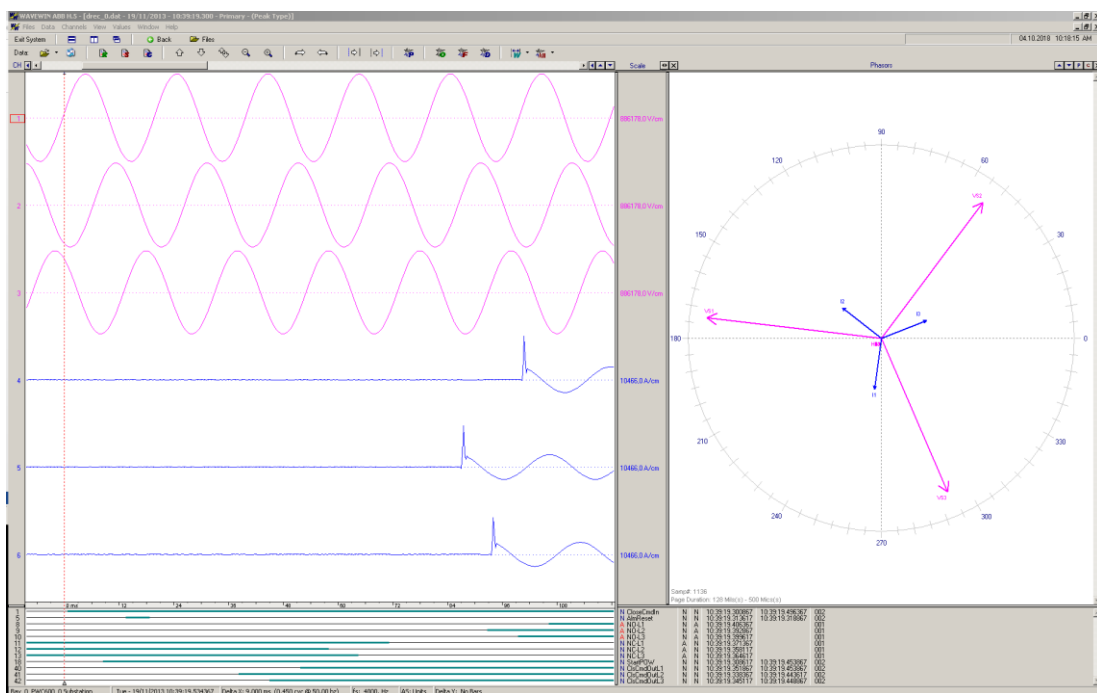
Obrázek 43: DFT analýza proudového rázu při sepnutí (0ms)

Obrázek 44: DFT analýza proudového rázu 20ms po sepnutí ukazuje, že vyšší harmonické ustoupí a průběh základního sinusového průběhu není ovlivněn nežádoucími jevy.



Obrázek 44: DFT analýza proudového rázu 20ms po sepnutí

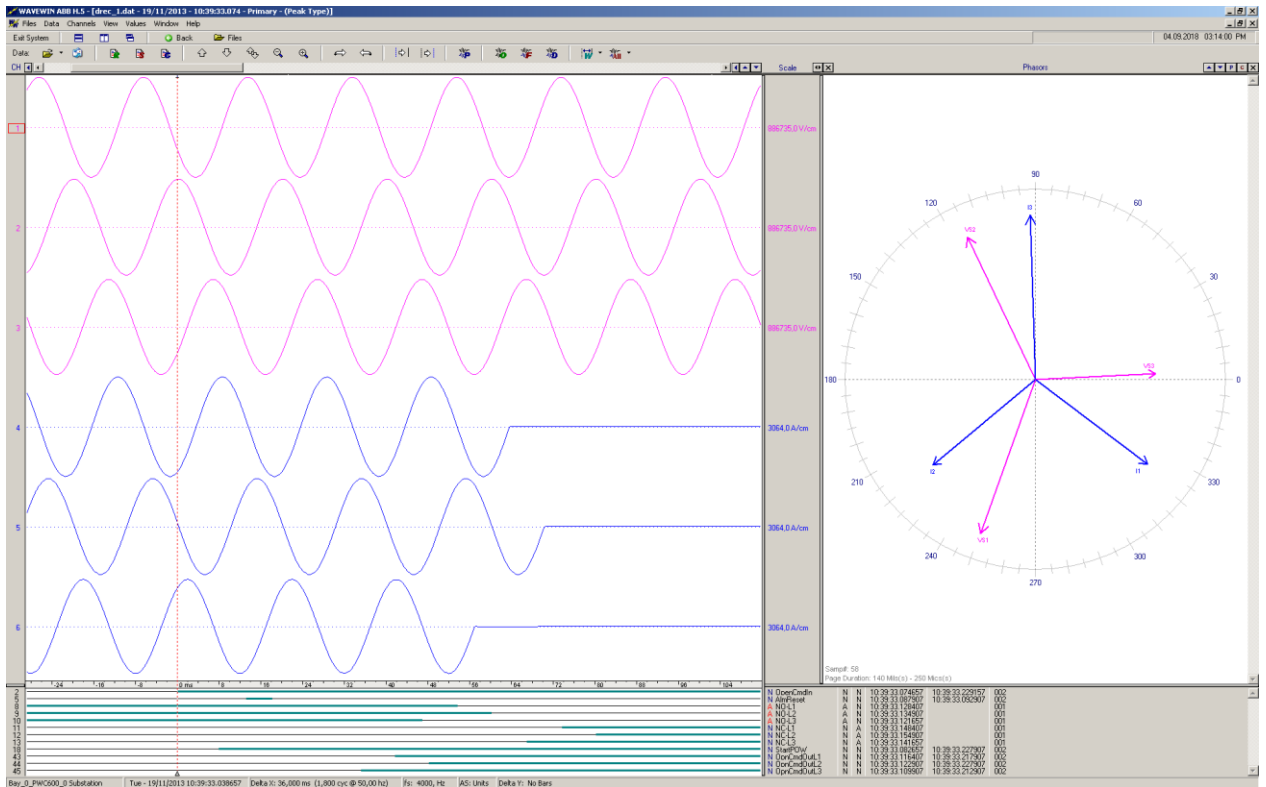
Celkový průběh přechodového jevu je zobrazen na Obrázek 45: Zapnutí výkonového kompenzačního kondenzátoru včetně přechodových jevů. Na obrázku je vidět výrazný proudový ráz, který je důsledkem připojení zátěže k síti.



Obrázek 45: Zapnutí výkonového kompenzačního kondenzátoru včetně přechodových jevů

Tento jev nelze úplně odstranit, ale vhodnou optimalizací spínání zátěží lze tento nežádoucí jev potlačit.

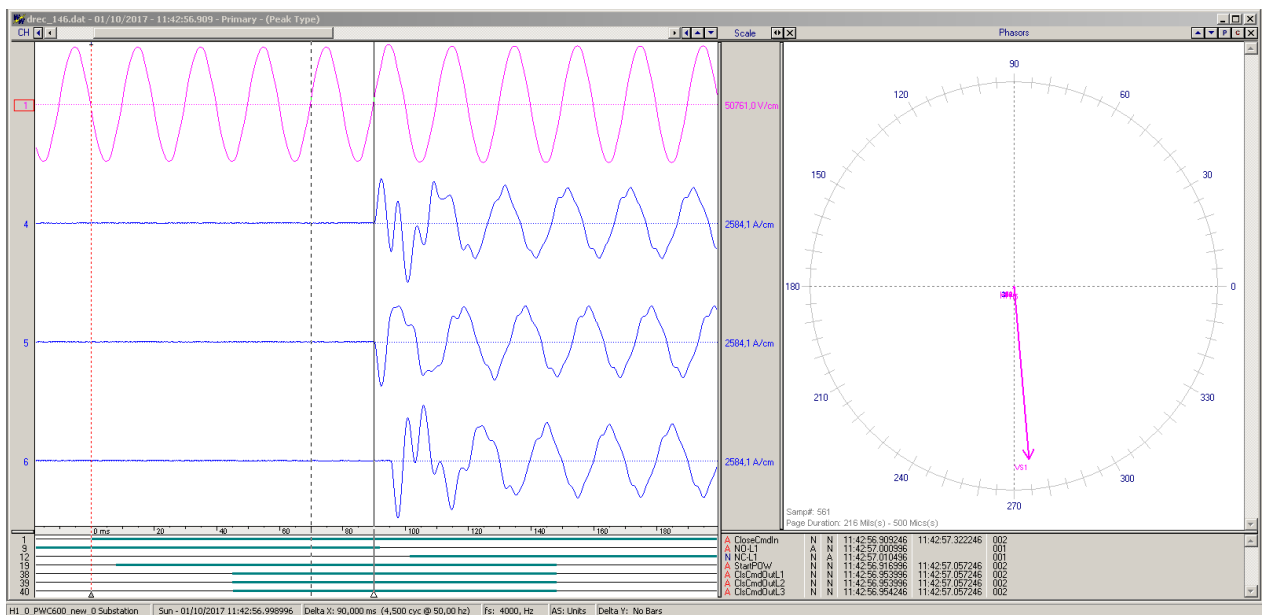
Další z řady reálných průběhů je Obrázek 46: Reálné vypnutí kapacitor banku, kdy požadavek byl na odpojení zátěže od sítě. Na průběhu je vidět, že po několika málo milisekundách zareagoval objekt SSCPOW, který vypočítával optimální vypnutí na základě nastavení. Po dalších desítkách milisekund došel první signál na otevření třetí fáze a následně první a druhé.



Obrázek 46: Reálné vypnutí kapacitor banku

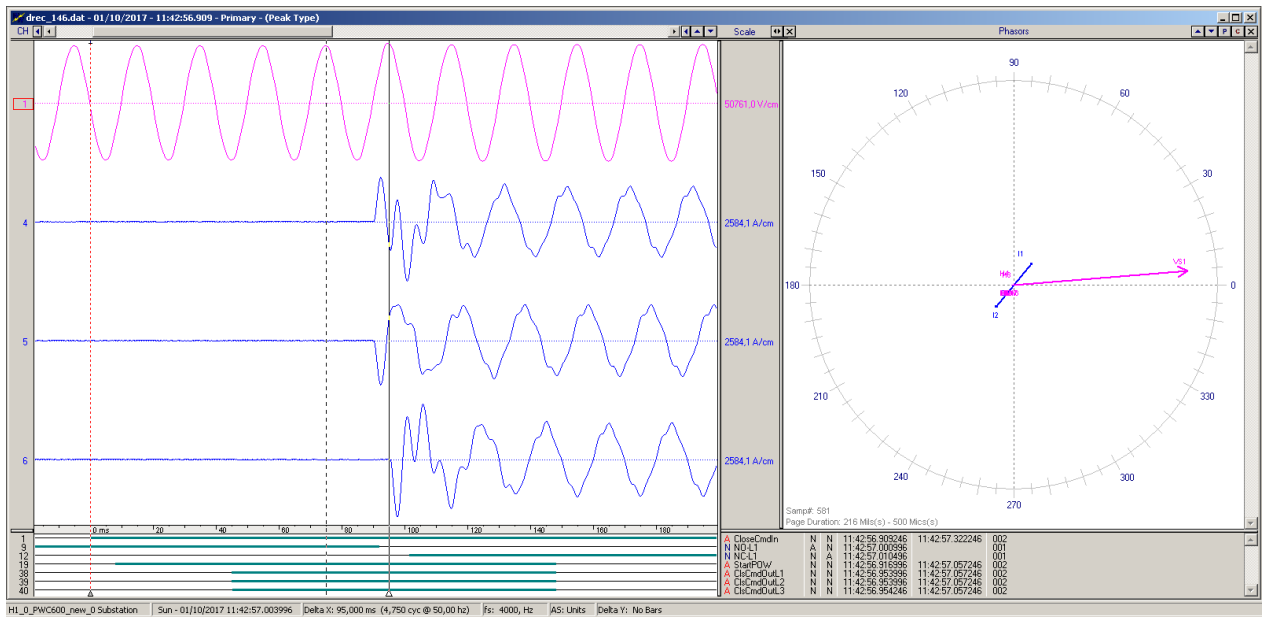
Nyní budou ukázány další skutečné průběhy z uvádění do provozu rozvodny VN s vypínačem HD4/P Synchro ve Švédsku.

První a druhá fáze se sepnou současně, jak bylo naznačeno v kapitole 5.2. Díky přechodovým jevům, které nastanou sinusový průběh není ideální a vykazuje určité zkreslení. Není zde ovšem proudový ráz, který byl odstraněn díky kontrolovanému sepnutí. Vše je vyobrazeno na Obrázek 47: Sepnutí první a druhé fáze pro HD4/P Synchro.



Obrázek 47: Sepnutí první a druhé fáze pro HD4/P Synchro

Třetí fáze byla sepnutá o 5 ms později, jak je na Obrázek 48: Sepnutí třetí fáze pro HD4/P Synchrono.



Obrázek 48: Sepnutí třetí fáze pro HD4/P Synchrono

6 ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo seznámit se s problematikou proudových rázů a taky připojování různých typů zátěží do sítě vysokého napětí. Po teoretickém rozboru bylo třeba navrhnout řešení k minimalizaci proudových rázů a optimalizovat připojení, ale i odpojených různých typů zátěží v síti.

První kapitola je věnována nutnému teoretickému úvodu do problematiky střídavých proudů. Její první částí jsou základní pojmy a následně byla popsány pasivní prvky v harmonicky ustálených obvodech, kterým je věnována také část druhé kapitoly. Dále jsou popsány všechny tři výkony střídavého proudu spolu s účinníkem. Kapitola je ukončena popisem přechodových dějů, které nastávají, když jsou v obvodu RL a RL články.

Druhá kapitola je věnována základními typům zátěží v distribuční síti a také možnostmi jejich kontrolovaných připojení. Byla popsána problematika proudových rázů v cívkách a kapacitor bancích. Jedna podkapitola je věnována také přenosovým sítím. V této kapitole je také popsán vypínač HD4/P Synchro od firmy ABB, který slouží ke spínání různých prvků.

Druhá kapitola je ukončena popisem zařízení, které se věnuje omezením proudových rázů. Toto zařízení již nesplňovalo technické, ekonomické a požadované parametry v dnešní době a bylo nahrazeno moderní ochranou PWC600, která se začlenila mezi další ochrany Relion. Popis této ochrany a její programování je ve třetí kapitole.

V práci je vysvětleno využívání předdefinovaných konfiguračních šablon, které jsou dodávány výrobcem ochran. Výrobce těchto ochran je ABB Švédsko. Šablona, která byla využita, tak usnadnila programování a také ušetřila čas, který byl věnován komunikacím s ostatními ABB jednotkami.

Dalším bodem je popis Switchsync setting tool, pomocí kterého je vkládáno do ochrany nastavení. Tento nástroj se používá primárně k nastavení ochrany na rozdíl od řady 615, 620 či 630, který tohoto průvodce nemá.

Bohužel nebyla možnost testovat chování HD4/P Synchro na reálném rozvodném zařízení, bylo však přikročeno k simulaci vypínače pomocí logických hradel přímo v logice Application Configuration.

Přínosem diplomové práce je, že PWC600 na základě testování za použití simulace vypínače pomocí logických hradel bude fungovat i s vypínačem HD4/P Synchro. V nastavení ochrany je ovšem třeba zohlednit některé parametry vypínače, které se liší od vypínačů VVN.

Výsledky práce byly potvrzeny i týmem inženýrů z Indie a Švédska, kdy právě ve Švédsku v únoru roku 2018 proběhlo uvedení do provozu PWC600 na rozvodně vysokého napětí společně s vypínačem HD4/P Synchro.

Závěr této diplomové práce bude využit u prvních reálných projektů, které budou přicházet na základě požadavků zákazníka. ABB Brno konkrétně jednotka EPDS, se zabývá výrobou rozvaděčů vysokého a nízkého napětí. Ochrana, která byla testována je primárně určena pro velmi vysoké napětí.

Zkušenosti, které se získaly, rozšířily pohled na chránění rozvoden a byl získán komplexnější pohled na přenos a distribuci elektrické energie.

Obrovský přínos je také viděn v navázání kontaktů ve světě a to konkrétně v ABB India, kde je softwarová podpora pro PWC600 a také ABB Švýcarsko, kde je další podpora pro tento produkt a také vedení firmy. ABB Švédsko přispělo velkou měrou k získání nového know-how, díky tomu, že poprvé uvedlo do provozu PWC600 společně s tímto zařízením na reálném projektu.

Nyní se otevírají nové možnosti jak pokračovat v tomto tématu. Zaprvé by se mohlo provést testování, které nebylo v současné době možné. Také vyzkoušet přijímání měření přes IEC61850-9-2 – jinými slovy přes Process bus. Další možnost je testování nové verze, která bude uvedena na trh v nejbližší době. Aktuální verze PWC600 je ve verzi M nová verze bude H a bude mít hned několik vlastností navíc, jako je například spínání dvou zátěží a mnoho dalšího.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BAXANT, P., PLCH, J. Nová generace kompaktních zářivek GE Lighting. Světlo(1999) č.:3, FCC Public, Praha 1999, str. 9 – 11, ISSN 1212-0812
- [2] BODOR, A. Harmonická analýza distribučních a průmyslových sítí, uživatelská příručka programu [program]. Brno 1999, 66 stran
- [3] BOLLEN, M., H., J. Voltage Sags in Three-Phase Systems. IEEE Power Engineering Review, September 2001, vol. 21, no. 9, IEEE 2001, pp. 8-11, ISSN 0272-1724
- [4] CHEN, J., MAKSIMOVIC, D., ERICKSON, R. Buck-Boost PWM Converters Having Two Independently Controlled Switches [on line]. IEEE Power Electronics Specialists Conference, June 2001, 6 pp., http://ece-www.colorado.edu/~pwrelect/Paper_archives/PESC01BB.pdf
- [5] CONROY, E. Power monitoring and harmonic problems in the modern building. Power Engineering Journal, Vol. 12, Number 2, April 2001, IEE 2001 UK, pp. 101-107, ISSN 0950-3366
- [6] COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION. Power Quality Application Guide [on line]. CDA Publication, no. 501, March 2001, 60 pp., www.cda.org.uk
- [7] CZARNECKI, L., S. Energy flow and power phenomena in electrical circuit: illusion and reality. Electrical Engineering [on line] 82 (2000), Springer-Verlag, 2000, pp. 119-126, <http://link.springer.de/link/service/journals/00202/tocs/t0082005.htm>, ISSN 1432-0487
- [8] DÁN, A., SANTARIUS, P., GAVLAS, J., KUŽELA, M. Kvalita dodávané elektrické energie v sítích nízkého napětí. International Copper Association, Hungarian Copper Promotion Centre - Budapešť, 2000, 47 stran
- [9] GREGOREC, J., L. Understanding power quality problems. TED – The Electrical Distributor Magazine [on line], Blueprint Archive, September 2001, 3pp., www.tedmag.com
- [10] HABEL, J. A KOL. Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995, 448 stran, ISBN 80-901985-0-3
- [11] HEYDT, G., T. Power Quality Engineering. IEEE Power Engineering Review, September 2001, vol. 21, no. 9, IEEE 2001, pp. 5-7, ISSN 0272-1724
- [12] HOUDEK, J., A. Economical Solutions to Meet Harmonic Distortion Limits [on line]. MTE Corporation, Menomonee Falls USA 1999, www.mtecorp.com/index.html
- [13] HYDRO-QUÉBEC. Characteristics and Target Values of the Voltage Supplied by the Hydro-Québec Medium and Low Voltage Systems [on line]. Hydro-Québec 6/2001, (translated from the French original Report no.: 30012-01-02), 34 pp., www.hydro-quebec.com
- [14] CHEN, J., THORP, J., PARASHAR, M. Analysis of Power System Disturbance Data. Proceeding of the 34th Hawaii International Conference of System Sciences, IEEE 2001, 8pp. 0-7695-0981-9/01 IEEE
- [15] IEEE INTERHARMONIC TASK FORCE, CIGRÉ 36.05/CIRED 2 CC02 VOLTAGE QUALITY WORKING GROUP: Interharmonics in Power Systems [on line]. Co-authored paper, IEEE, 1/1997, 9 pp., <http://grouper.ieee.org/groups/harmonic/iharm/docs/docs.html>

- [16] P519A TASK FORCE OF THE HARMONICS WORKING GROUP (IEEE PES T&D COMMITTEE) AND SCC22-POWER QUALITY. Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems [on line]. IEEE P519A, New York, 1994, 79 pp., <http://www.pqnet.electrotek.com/pqnet/main/tech/519a/519a.htm>
- [17] PARTO, P., SMEDLEY, K. Passive PFC for Flyback Convertors [on line]. International Power Conversion and Intelligent Motion Conference (PCIM 99), Chicago, [cit. 01-08-07], 7 pp., <http://www.eng.uci.edu/faculty/smedley/>
- [18] ROSS, J., N. The Essence of Power Electronic. Prentice Hall Europe, GB, 1997, 217 pp., ISBN 0-13-525643-7
- [19] SOKANSKÝ, K., NOVÁK, T. Voltage Variations Induced by the Occurrence of Intermediate-harmonic Frequencies and their Influence upon the Fluctuation of the Luminous Flux of Chosen Light Sources. 24th Session of the CIE, Warsaw, 24-30 June 1999, CIE Publication no. 133, p. 240-242, ISBN 3 900 734 93 3
- [20] ŠMÍD, J. Termíny a definice týkající se kvality elektrické energie. IV. odborná konference ERU 2000, Brno 23-24.11. 2000, 24 stran, na CD-ROM
- [21] TAYLOR, A. Screwbase Compact Fluorescent Lamp Products. Specifier Reports [on line], Volume 7 Number 1, June 1999, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy NY 1999, 46 pp., www.Irc.rpi.edu, ISSN 1067-2451
- [22] TOLBERT, L., HOLLIS, H. Evaluation of Harmonic Suppression Devices [on line]. IEEE IAS Annual Meeting, Oct. 6-10, 1996, San Diego, CA, USA, pp. 2340-2346, http://www.ee.utk.edu/~tolbert/publications/ias96_2.pdf
- [23] Vaculíková, P., Vaculík, E a kol. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů. Grada Publishing, spol s r.o., 1. vydání, Praha, 1998, 504 stran, ISBN 80-7169-568-8
- [24] WOOD, P. N. Fluorescent Ballast Design Using Passive P.F.C. and Crest Factor Control [on line]. Application Note AN998, International Rectifier Corporation, El Segundo, CA USA 6 pp., www.irf.com
- [25] WRIGHT, P. S. An overview of harmonic and flicker emission standards and their associated measurements. Power Engineering Journal, Vol. 12, Number 2, April 2001, IEE 2001 UK, pp. 87-93, ISSN 0950-3366
- [26] ŽÁČEK, J. Požadavky EMC stanovené českými harmonizovanými normami. IV. odborná konference ERU 2000, Brno 23-24.11. 2000, 15 stran, na CD-ROM
- [27] ČSN IEC 1000-2-1(HD 472 S1):1993. Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí – Díl 1: Popis prostředí – elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích. obsahuje IEC 1000-2-1:1990 a zavádí HD 472 S1
- [28] ČSN IEC 1000-2-2:1996. Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí – Oddíl 2: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích nízkého napětí. idt IEC 1000-2-2:1990
- [29] IEC 61000-1-4/CD. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) – Part 1-4: General –Rationale for limiting power-frequency conducted harmonic and interharmonic current emissions from equipment, in the frequency range up to 9 kHz [on line]. IEC Committee Draft (CD), IEC SC77A - 77A/WG1/TF3-010123PL21B, 5.2.2001,

www.pqnet.electrotek.com/pqnet/main/tech/cc02/docs/0109SC77AWG1TF3CD61000-1-4.pdf

- [30] *Switchsync PWC600 User Manual* [online]. Grid Automation Products SE-721 59. Västerås Sweden: ABB AB, 2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://new.abb.com/high-voltage/monitoring/switchsync>
- [31] *Switchsync PWC600 Technical Manual* [online]. Grid Automation Products SE-721 59. Västerås Sweden: ABB AB, 2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://new.abb.com/high-voltage/monitoring/switchsync>