

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kompenzace svařovacích kleští EVOBUS Holýšov

**vedoucí práce: Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.
autor: Jiří Schneider**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří SCHNEIDER**
Osobní číslo: **E10N0007P**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Kompenzace svařovacích kleští EVOBUS Holýšov**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Proveďte teoretický rozbor stávajícího stavu kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě 22 kV ČEZ distribuce a.s.
2. Analyzujte a proveďte měření skutečného současného stavu, kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě 22 kV ČEZ distribuce a.s.
3. Na základě provedených analýz navrhnete vhodné kompenzační zařízení, zaměřeném na eliminaci středodobého a dlouhodobého vjemu flikru a harmonickém zkreslení průběhu proudu a napětí.
4. Proveďte měření navrhovaného kompenzačního zařízení v elektrické síti EVOBUS, Holýšov.
5. Porovnejte výhody vámi navrženého zařízení oproti předchozímu stavu kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov, včetně předávacího místa 22 kV ČEZ Distribuce a.s.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- 1. Určí konzultant a vedoucí při první konzultaci.**
- 2. Normy ČSN IEC**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá druhy kompenzace jalového výkonu a následným návrhem vhodného kompenzačního zařízení ve firmě EVOBUS Holýšov. Cílem této diplomové práce je zhodnotit stav kvality elektrické energie před instalací a po instalaci kompenzačního zařízení.

Klíčová slova

Jalový výkon, kompenzace, účinník, flicker, kvalita elektrické energie

Abstract

This thesis deals with the types of reactive power compensation and then with design appropriate compensation equipment in the company EvoBus Holýšov. The aim of this thesis is to evaluate the status of power quality before and after installation of compensating equipment.

Key words

Reactive power, compensation, power factor, flicker, power quality

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 10.5.2012

Jiří Schneider

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Karlu Cvačkovi Ph.D. z firmy KCELEKTRO, s.r.o. za cenné rady při psaní této práce.

Obsah

| | |
|---|----|
| Obsah | 1 |
| SEZNAM ZKRATEK | 3 |
| 1 Úvod..... | 4 |
| 2 Kompenzace jalové energie | 5 |
| 2.1 DŮSLEDKY ŠPATNÉHO ÚČINÍKU:..... | 7 |
| 2.2 DRUHY KOMPENZACE..... | 9 |
| 2.2.1 <i>Sériová</i> | 9 |
| 2.2.2 <i>Paralelní</i> | 9 |
| 2.3 ROZDĚLENÍ KOMPENZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ:..... | 12 |
| 2.3.1 <i>Rotační kompenzační zařízení</i> | 12 |
| 2.3.2 <i>Statické kompenzátory</i> | 13 |
| 2.3.3 <i>Chráněné kompenzační sekce</i> | 15 |
| 2.3.4 <i>Kompenzační filtry</i> | 15 |
| 2.4 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ KOMPENZAČNÍHO VÝKONU..... | 15 |
| 2.4.1 <i>Stupňovitě řízené kompenzátory</i> | 16 |
| 2.4.2 <i>Plynule řízené – pasivní (s dekompenzačními členy)</i> | 18 |
| 2.4.3 <i>Plynule řízené – aktivní</i> | 19 |
| 2.4.4 <i>Kombinované</i> | 21 |
| 2.5 ROZDĚLENÍ PODLE PŘIPOJENÍ FILTRŮ DO SOUSTAVY | 21 |
| 2.5.1 <i>Skupinová filtrace</i> | 21 |
| 2.5.2 <i>Centrální filtrace</i> | 22 |
| 3 Flikr (Flicker) | 22 |
| 3.1.1 <i>Opatření ke změně flikru</i> :..... | 23 |
| 3.1.2 <i>Výpočet flikru</i> :..... | 23 |
| 3.2 KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU A KVALITA ELEKTRICKÉ ENERGIE | 25 |
| 3.2.1 <i>Měření kvality elektrické energie</i> | 26 |
| 3.2.2 <i>Druhy měření podle času</i> | 26 |
| 3.2.3 <i>Měřicí přístroje</i> | 26 |
| 4 Kompenzace svařovacích kleští EVOBUS Holýšov..... | 28 |
| 4.1 POPIS FIRMY | 28 |
| 4.2 HISTORIE FIRMY EVOBUS | 28 |
| 5 Popis stávajícího stavu | 29 |

| | | |
|-------|--|--|
| 5.1.1 | <i>Pokyny k měření charakteristik napětí – Rychlé změny napětí: flickr</i> | 33 |
| 5.1.2 | <i>Vyhodnocení měření podle normy PNE 33 3430-7</i> | 33 |
| 5.2 | ODPOROVÁ ZÁVĚSNÁ KLEŠŤOVÁ SVÁŘEČKA WKPH 150FH | 34 |
| 6 | Měření kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě ČEZ distribuce a.s. | 35 |
| 6.1 | MĚŘICÍ PŘÍSTROJE MEG | 35 |
| 6.1.1 | <i>Měřicí přístroj MEg 30</i> | 36 |
| 6.1.2 | <i>Měřicí přístroj MEg 31</i> | 37 |
| 7 | Měření kvality elektrické energie před instalací kompenzačního zařízení | 37 |
| 7.1 | NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE PŘED INSTALACÍ KOMPENZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ ČEZ DISTRIBUCE A.S. | 38 |
| 8 | Výběr kompenzačního zařízení | 40 |
| 8.1 | POPIS KOMPENZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ | 41 |
| 8.1.1 | <i>Kompenzační zařízení EQ225</i> | 43 |
| 8.1.2 | <i>Kompenzační zařízení EQ672</i> | 46 |
| 8.2 | INSTALACE KOMPENZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ | 49 |
| 9 | Měření kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě ČEZ Distribuce a.s. po instalaci kompenzačního zařízení | 49 |
| 9.1 | NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE PŘED INSTALACÍ KOMPENZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ ČEZ DISTRIBUCE A.S. | 49 |
| 10 | Vyhodnocení naměřených hodnot před a po instalaci kompenzačního zařízení | 51 |
| 10.1 | NAMĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY | 53 |
| 11 | Závěr | 69 |
| | Použitá literatura a zdroje | 70 |
| | Seznam příloh | 71 |
| | Přílohy | 1 |
| | Evidenční list | Chyba! Záložka není definována. |

Seznam zkratek

| | |
|------|-----------------------------|
| PF | Power Factor |
| THDu | Harmonické zkreslení napětí |

1 Úvod

Hovoříme-li o kompenzaci jalového výkonu, máme na mysli snižování zdánlivého výkonu na takovou hodnotu, aby byl přenos činného výkonu uskutečňován za co nejpříznivějších podmínek. Samotné slovo kompenzace je latinského původu a znamená vyrovnání, srovnání, odškodnění. [10]

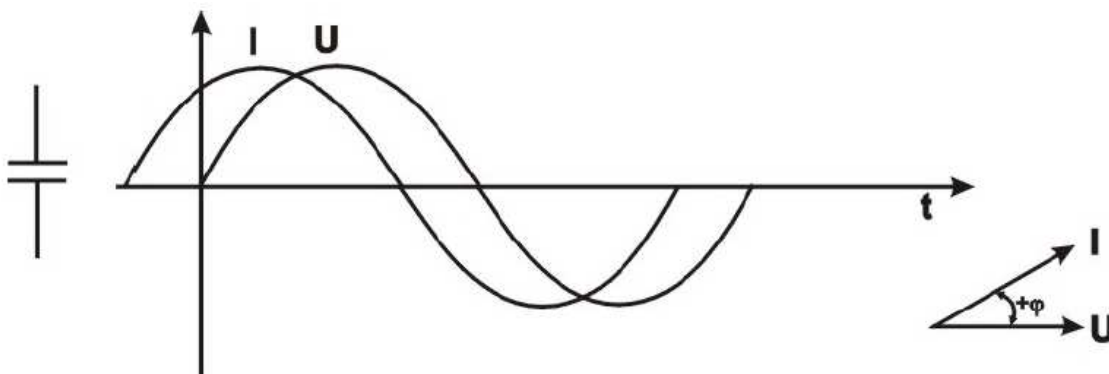
Kompenzaci jalového výkonu provádíme nejčastěji z důvodu penalizace za nedodržení účinníku. Je-li účinník špatný a odebíraný výkon vysoký, penalizace za nedodržení účinníku mohou být velice nákladné.[11] Kompenzační zařízení nám pomáhá zlepšit účinník a tím šetří prostředky.

V této práci se zabývám kompenzací jalového výkonu ve firmě EVOBUS Holýšov, kde se nachází několik svařovacích zařízení, které svojí činností negativně ovlivňují kvalitu elektrické energie, jak uvidíme dále, hlavně z hlediska vjemu flikru. Tento poznatek byl zjištěn po umístění měření kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě ČEZ distribuce a.s. V této práci navrhuji vhodné kompenzační zařízení, které má snížit hodnoty pozorovaných veličin kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a hlavně v předávacím místě ČEZ distribuce a.s. Po instalaci kompenzačního měření je provedeno opětovné měření kvality elektrické energie a zhodnocení kvality elektrické energie před a po instalaci kompenzačního zařízení.

2 Kompenzace jalové energie

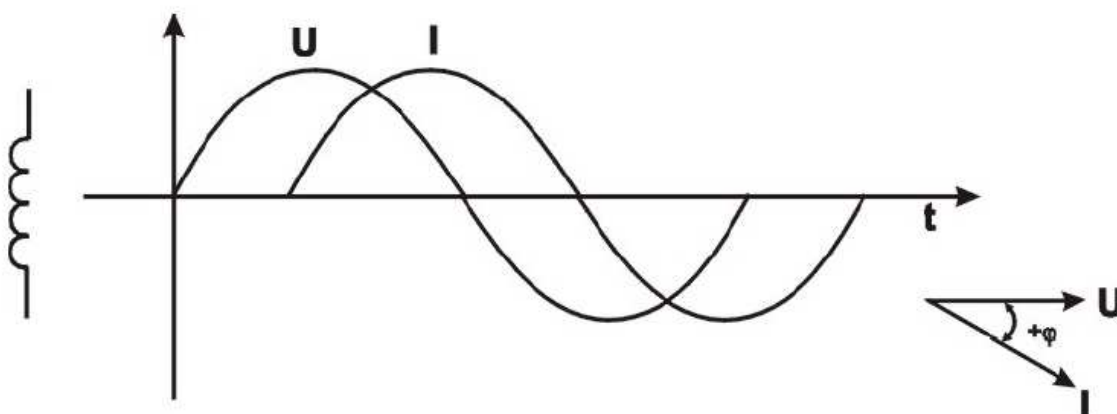
V rozvodu elektrické energie se můžeme setkat se spotřebiči, které nemusí mít čistě odporový charakter. Tyto spotřebiče potřebují vytvořit magnetické pole a tím způsobují fázový posuv mezi napětím a proudem. Spotřebič lze popsat pomocí impedance, která má činnou a jalovou složku. Jalová složka může mít dále induktivní nebo kapacitní charakter.

Kapacitní charakter znamená, že napětí je fázově zpožděno za proudem viz *obr. 1*.



Obr.1 Fázový posuv proudu a napětí při kapacitním charakteru[5]

Naopak induktivní charakter znamená, že je napětí o fázový posuv napřed před proudem viz *obr. 2*.



Obr.2 Fázový posuv proudu a napětí při induktivním charakteru[5]

Jalová složka je takto nazvaná, protože v obvodu nekoná žádnou práci, pouze se přenáší mezi zdrojem a spotřebičem. Tento proces zbytečně zatěžuje vedení. Jalová složka způsobuje také jouleovy ztráty, tím se nám vodič zahřívá, což představuje úbytek energie. Nejčastěji se můžeme setkat se sítí s induktivním charakterem. Lze tedy do sítě připojit kondenzátory, které změní impedanci sítě (zmenší jalovou složku) a tím se zmenší i ztráty.

Tomuto opatření se říká kompenzace jalového výkonu. Uděláme-li cosinus úhlu mezi napětím a proudem dostaneme tzv. účinník $\cos \varphi$. Účinník je pak kapacitního nebo induktivního charakteru.

Když máme napětí a proud, můžeme vypočítat zdánlivý výkon.

$$S = U \cdot I \quad [\text{VA}, \text{V}, \text{A}] \quad (1)$$

S účinníkem můžeme spočítat činný a jalový výkon

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}, \text{V}, \text{A}, -] \quad (2)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [\text{VAr}, \text{V}, \text{A}, -] \quad (3)$$

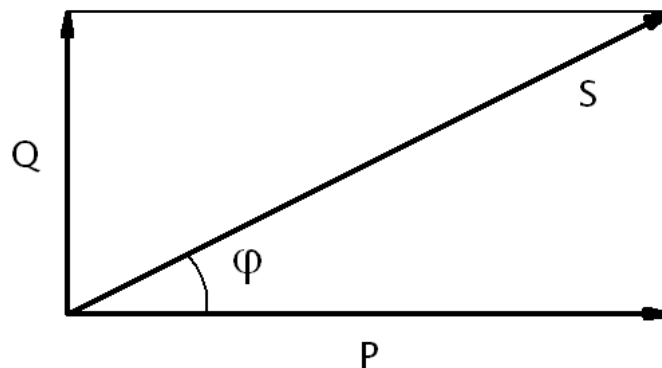
Ze vzorce je vidět, že největší činný výkon je pro $\cos \varphi = 1$, což je pro fázový úhel $\varphi = 0^\circ$

Z výkonového trojúhelníku lze dostat

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad [\text{VA}, \text{W}, \text{VAr}] \quad (4)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

Výkonový trojúhelník je znázorněn na *obr.3*.



Obr.3 Výkonový trojúhelník se zanedbanými vyššími harmonickými

Uděláme-li podíl jalového a činného výkonu dostaneme

$$\frac{Q}{P} = \frac{S \cdot \cos \varphi}{S \cdot \sin \varphi} = \text{tg} \varphi \quad (6)$$

Do teď jsem popisoval účinník pouze pro základní harmonickou, tedy pro frekvenci 50 Hz. Bohužel v elektrické síti se kromě frekvence 50 Hz objevují i další harmonické o vyšším kmitočtu. Tyto harmonické nám zvyšují zdánlivý výkon a opět zatěžují vedení. Tyto harmonické vytváří tzv. deformační výkon, který nám zhoršuje tzv. skutečný účinník, který musíme dodržet.

Z výkonového trojúhelníku, který nám narostl o další rozměr a lze vyvodit

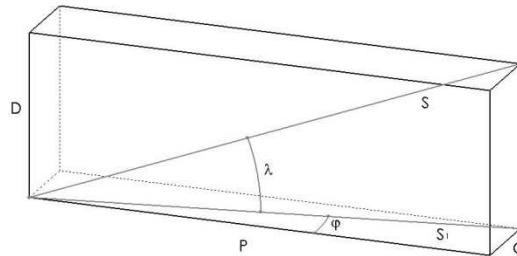
$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad [\text{VA, W, VAr,}] \quad (7)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (8)$$

Skutečný účinník se pak spočte jako

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (9)$$

V angličtině je označován jako PF – Power Factor. Výkonový trojúhelník bez zanedbání vyšších harmonických je zobrazen na **obr.4**.



Obr.4 Výkonový trojúhelník bez zanedbání vyšších harmonických[2]

2.1 Důsledky špatného účinníku:

- Zmenšení využití stávajících rozvodných elektrických zařízení (menší přenášený výkon)
- Zvětšení pořizovacích nákladů všech zařízení dimenzovaných podle velikosti zdánlivého výkonu, jako jsou například transformátory, vypínače a další spínací zařízení, jističí přístroje a ochrany, měřicí přístroje apod.
- Zvětšení ztrát v rozvodu elektrické energie (neboť ztrátový výkon přímo závisí na velikosti druhé mocniny jalového výkonu)
- Zvětšení úbytků napětí v rozvodu elektrické energie (zvětšení kolísání napětí v elektrizační soustavě)
- Špatný účinník má nepříznivý vliv i na práci v elektrizační soustavě, neboť se zhoršuje spolupráce mezi elektrárnami při předávání velkých jalových výkonů, snižuje se stabilita přenosu elektrické energie, snižují se účinnosti alternátorů, transformátorů a dalších zařízení.

Uvedené důsledky mají vliv i na velikost sazby za spotřebovanou elektrickou energii, neboť rozvodné podniky uplatňují finanční postih velkoodběru pracujícího se špatným účínkem.

Zvětšení ztrát v rozvodu můžeme vysvětlit z výrazu pro ztrátový výkon:

$$P_{ztr} = 3 \cdot R \cdot I^2 = \frac{R}{U^2} \cdot 3 \cdot U^2 \cdot I^2 = \frac{R}{U^2} \cdot S^2 = \frac{R}{U^2} \cdot (P^2 + Q^2) [W] \quad (10)$$

Uvažujeme-li činnou i jalovou složku proudu, pak:

$$I^2 = I_c^2 + I_j^2 = I^2 \cdot \cos^2 \varphi + I^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (11)$$

Ztráty způsobené proudem pak budou:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi + 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (12)$$

Poměr ztrát, způsobených jalovou a činnou složkou proudu, můžeme vyjádřit vztahem:

$$\frac{\Delta P_Q}{\Delta P_P} = \frac{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi}{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi} = \operatorname{tg}^2 \varphi \quad (13)$$

Z této rovnice je možno vypočítat, že např. při $\cos \varphi = 0,7$ jsou ztráty způsobené jalovou složkou proudu stejné jako ztráty způsobené činnou složkou. Při $\cos \varphi = 0,5$ jsou ztráty jalovou složkou už třikrát vyšší, při $\cos \varphi = 0,3$ dokonce desetkrát vyšší než ztráty způsobené činnou složkou proudu. Bude-li však účínkem $\cos \varphi = 0,95$ nebo i větší, budou ztráty způsobené jalovou složkou proudu přibližně desetkrát menší než ztráty způsobené činnou složkou.[3]

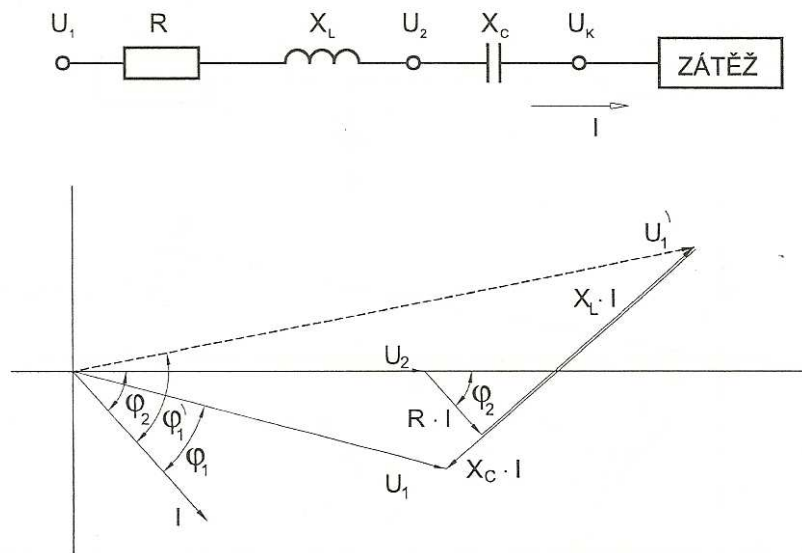
Kompenzací jalového výkonu tedy dosáhneme:

- 1) Zlepšení účínku (Odpadá penalizace za nedodržení účínku a je možno docílit snížení sazby)
- 2) Zmenšení zdánlivého příkonu
- 3) Zvětšení využití činného příkonu a rozvodných zařízení
- 4) Zlepšení napěťových poměrů (Lepší napěťové poměry stabilizují soustavu i symetrii zatížení soustavy a tím selepší i stabilita provozu soustavy)
- 5) Zmenšení ztrát při přenosu

2.2 Druhy kompenzace

2.2.1 Sériová

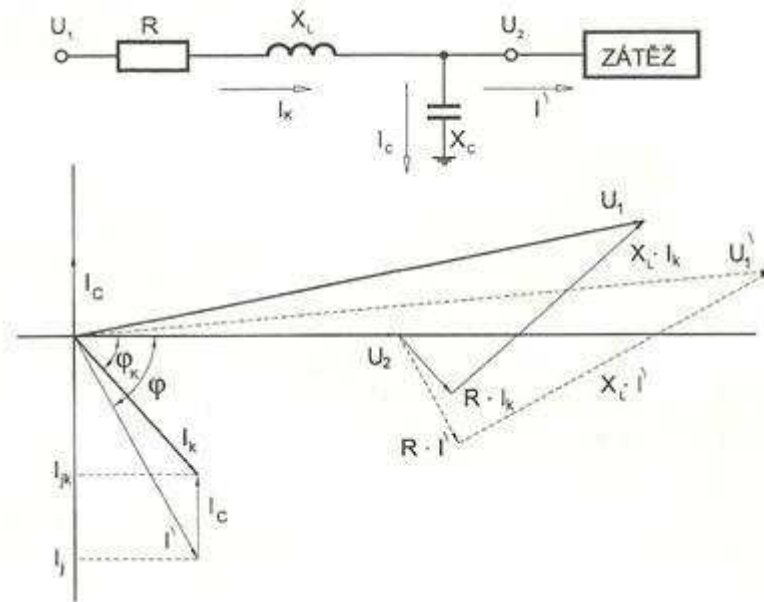
Kompenzační kondenzátor je připojen do série se spotřebičem a prochází přes něj proud tekoucí spotřebičem. Kondenzátor v sérii působí jako samočinný regulátor napětí na spotřebiči, protože změnou proudu kondenzátoru se mění výkon kondenzátoru. Napětí na kondenzátoru se také mění a to bez zpoždění. Z hlediska hospodárnosti není tento způsob kompenzace optimální pro zlepšování napěťových poměrů a lze ho ekonomicky provozovat pouze pro dlouhá vedení s vysokým poměrem X_L/R . [1]



Obr.5. Střídavá síť se sériovým kondenzátorem [1]

2.2.2 Paralelní

Kompenzační kondenzátor v tomto případě je připojen paralelně. Paralelní kompenzace je nejdůležitější a ekonomicky nejvýhodnější při snižování ztrát v přenosu energie. Zvyšování průřezu vedení, navyšování jmenovitého napětí apod. nejsou ekonomicky výhodné a technicky jsou hůře proveditelné. [1]



Obr.6 Střídavá síť s paralelním kondenzátorem [1]

Paralelní kompenzace může mít 4 druhy zapojení: - individuální
 -skupinová
 -centrální
 - smíšená

2.2.2.1 Individuální kompenzace

Provádí se tak, že každý odběr (spotřebič) má u sebe zapojený kompenzátor, který hodnotou odpovídá potřebnému dodávanému jalovému výkonu, aby se dodržel daný účinník. Kompenzace je zapínána a vypínána spolu se spotřebičem, takže kompenzuje opravdu jen jednotlivé odběry, které jsou v provozu a na ostatní spotřebiče nemají vliv. Tato kompenzace se provádí nejčastěji pomocí kondenzátorů. Kondenzátory jsou prostě „natvrdo“ připojeny ke spotřebiči. Jelikož se zde neprovádí žádné měření, tak u tohoto druhu kompenzace není zapotřebí žádné vyhodnocovací automatiky, nebo spínacích součástí. Dalo by se očekávat, že bychom na tom měli ušetřit, což ovšem neplatí u velkého množství spotřebiče. Jelikož musíme mít kompenzační kondenzátory u každého spotřebiče, je jasné, že s větším počtem spotřebičů roste i počet kompenzačních jednotek, což se nám prodražuje. Řešením této situace může být kompenzace skupinová.

2.2.2.2 Skupinová kompenzace

Provádí se tak, že na určitou skupinu spotřebičů (např. všechny spotřebiče připojené do jednoho rozvaděče) je připojena jedna kompenzační jednotka, která může měnit svůj kompenzační výkon. U tohoto druhu kompenzace musíme vědět, kolik spotřebičům je v provozu a podle toho nastavit kompenzační výkon. Z toho plyne, že je zde nutná vyhodnocovací automatika a spínací součástky s jednotlivými kompenzačními výkony.

Tímto druhem kompenzace jsme dosáhli daného účinníku za použití méně kompenzačních jednotek, ale musí zde být vyhodnocovací automatika a spínací součástky.

2.2.2.3 Centrální kompenzace

Principiálně je tato kompenzace prováděna stejně jako skupinová kompenzace. Na rozdíl od skupinové kompenzace (kde mohlo být více kompenzačních celků pro skupiny spotřebičů) je zde použit pouze jeden centrální kompenzátor, který je společný pro všechny připojené spotřebiče. Centrální kompenzace se provádí nejčastěji v hlavní (centrální) rozvodně. Výhodou je, že kompenzace je na jednom místě, takže je jednodušší návrh, údržba i provoz. Toto zařízení bude pravděpodobně větších rozměrů, protože musí pokrýt kompenzaci za všechny spotřebiče. Nevýhodou určitě může být, že v případě poruchy kompenzátoru dochází k nulové kompenzaci, na rozdíl od skupinové a individuální, kde, když dojde k poruše jednoho kompenzátoru, stále ještě kompenzují ostatní a nedochází k tak razantnímu poklesu účinníku.

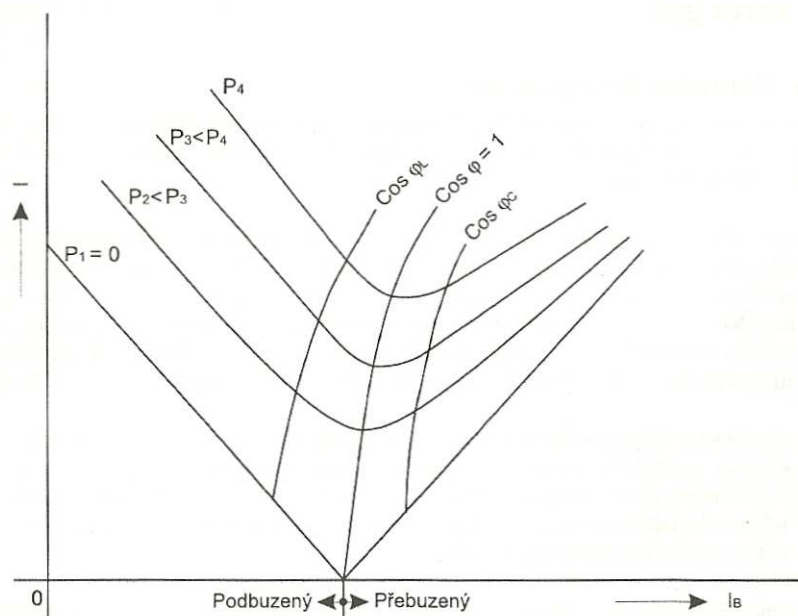
2.2.2.4 Smíšená kompenzace

Tento druh kompenzace je kombinace předešlých druhů kompenzací. Lze řešit tak, že trvale pracující výkonné spotřebiče mají individuální kompenzaci a dále pak je instalována i centrální kompenzace, která hlídá proměnlivou spotřebu.

2.3 Rozdělení kompenzačních zařízení:

2.3.1 Rotační kompenzační zařízení

Za rotačním kompenzátozem si můžeme přestavit synchronní motor nebo synchronní kompenzátor. Synchronnímu stroji je dodávána magnetizační energie budícím vinutím na rotoru ze stejnosměrného zdroje. Vhodným nastavením buzení se motor může chovat jako kapacitní nebo induktivní zátěž. Závislost proudu statoru na budícím proudu při stálém výkonu popisují tzv. V-křivky stroje zobrazené na *obr.7*.



Obr.7 V-křivky synchronního stroje

Odebíraný proud stroje ze sítě lze vypočítat pomocí vztahu:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (14)$$

Stroj je připojen na napájecí síť, čímž se mu dodává stálé napětí i kmitočet, stroj tedy za předpokladu stejného zátěžného momentu dodává konstantní výkon. Pokud ale budeme regulovat buzení stroje, bude se měnit účinník odběru motoru. Tímto způsobem lze kompenzovat jalovou energii. Synchronní motory se používají v případech, kde je stálý zátěžný moment např. pohony čerpadel, ventilátorů, kompresorů atd. [1]

Na stejném principu pracuje i synchronní kompenzátor. Je to synchronní motor, který se točí naprázdno. Jelikož při chodu naprázdno se hradí pouze ztráty v motoru, odebíraný činný výkon ze sítě je malý. Opět změnou budícího proudu můžeme regulovat jalový výkon,

závislost proudu statoru na budícím proudu je stejná, jako u motoru. Tento stroj se tedy točí naprázdno v přebuzeném stavu, kdy dodává do sítě kapacitní jalový výkon.

Velkou výhodou rotačních kompenzátorů je jejich velké regulační pásmo jalového výkonu. Dále, jelikož nepoháníme kompenzátořem žádné zařízení (točí se naprázdno), není nutné mít z kompenzátoru vyvedenou hřídel, což je alespoň nějaké ulehčení při návrhu a stavby stroje, protože když není vyvedená hřídel, odpadají problémy utěšňování při použití chlazení vodíkem. Pak tyto kompenzátořy mohou mít menší rozměry. Dnes se však od chlazení vodíkem ustupuje a celkově i od rotačních zařízení, protože přece jen spotřebovávají nějaký činný výkon a je nutná údržba těchto strojů (kartáče apod.). Další nevýhodou je to, že i přes velmi rychlé regulátory budícího proudu, je zde časová odezva při kompenzaci jalového výkonu. Díky tomu může dojít k nedokompenzování při nárůstu potřeby jalového výkonu, nebo dojde k překompenzování při poklesu potřeby jalového výkonu, pak se může $\cos \varphi$ stát kapacitního charakteru. Z toho plyne, že synchronní stroje nejsou vhodné pro rychle (dynamicky) se měnící odběry jalového výkonu jako jsou obloukové pece, reverzační pohony atd.

Nejčastěji jsou tyto stroje navrhovány na napětí 6kV a připojují se tedy do rozvodu 6 kV, nebo přes transformátor 22/6 do soustavy 22 kV a slouží jako centrální kompenzace velkých závodů nebo rozvodů. [1]

2.3.2 Statické kompenzátořy

Na rozdíl od rotačních kompenzátořů, nepotřebují statické kompenzátořy činný výkon (i když každý kondenzátor má nějaké ztráty), údržbu, ani nemají takové nároky na provoz (žádné buzení atd.).

Prosté kondenzátory

Pro zlepšení účinníku a kompenzaci jalového výkone lze do sítě připojit výkonové kondenzátory, které budou provádět samotnou kompenzaci. Pro připojení do třífázové sítě se provádí v zapojení do hvězdy nebo do trojúhelníku. Této skupině kondenzátůřů se pak říká kondenzátorová baterie, u které nás nezajímá její kapacita, ale výkon. Tedy výkon, který je schopna vykompenzovat.

Po připojení na napětí má jednofázový kondenzátor jalový výkon Q_c podle vztahu:

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot C \quad (15)$$

Kde

ω ...úhlová rychlost ($2\pi f$, pro 50 Hz je tedy rovno 100π)

C ...kapacita kondenzátoru

Dále víme, že platí:

$$Q_c = U \cdot I \quad (16)$$

Z toho dostaneme:

$$Q_c = \frac{I^2}{\omega \cdot C} \quad (17)$$

Kde

U, I ...efektivní hodnoty napětí a proudu

Pro kondenzátorovou baterii zapojenou do trojúhelníku platí:

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_D \quad (18)$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (19)$$

Z čehož dostaneme:

$$Q_c = \frac{I^2}{\omega \cdot C_D} \quad (20)$$

Analogicky pro kondenzátorovou baterii zapojenou do hvězdy platí:

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_Y \quad (21)$$

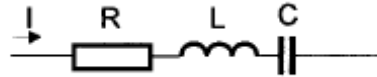
$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (19)$$

Z čehož dostaneme:

$$Q_c = \frac{3 \cdot I^2}{\omega \cdot C_Y} \quad (22)$$

Tyto vztahy platí pro stejné hodnoty kondenzátorů v baterii.

2.3.3 Chráněné kompenzační sekce



Obr. 8 Chráněná kompenzační sekce jako jednoduchý RLC obvod

Zjednodušeně řečeno je to kondenzátor v sérii s ochranou tlumivkou. Tlumivka omezuje zapínací proudový náraz a proud vyšších harmonických kondenzátorem. Indukčnost tlumivky volíme tak, aby kompenzační článek RLC měl rezonanční frekvenci co nejvíce vzdálenou od vyšších harmonických. Ochranné tlumivky se aplikují za podmínky, že $X_L \ll X_C$.

Výkon kondenzátoru je:

$$Q_C = 3 \cdot U_f^2 \cdot \frac{1}{X_C} \quad (23)$$

Pro další výpočty kompenzátorů je nutné znát jejich frekvenční charakteristiky.

2.3.4 Kompenzační filtry

Kompenzační filtry se používají, když chceme kompenzovat jalový výkon a ještě odfiltrout nežádoucí vyšší harmonické. Kompenzační filtr je navržen na určitou hodnotu frekvence f_r a chová se tak, že pro frekvence menší než je f_r se jeví jako kondenzátor (má kapacitní charakter) a tedy kompenzuje jalový výkon. Pro frekvenci f_r , na kterou je naladěn, se chová jako zkrat a tedy odfiltruje vyšší harmonickou. Pro frekvence vyšší než je f_r se chová jako tlumivka (má induktivní charakter).[1]

2.4 Způsoby řízení kompenzačního výkonu

1. Stupňovitě řízené kompenzátory

Kontaktní

Bezkontaktní

2. Plynule řízené (pasivní)

3. Plynule řízené (aktivní)

Paralelní

Sériový

Kombinovaný

4. Kombinované

2.4.1 Stupňovitě řízené kompenzátory

Jedná se o kompenzátory, které obsahují měření činného a jalového výkonu. Podle nastaveného účinníku se pak pomocí logiky sepne výstup, na který je připojeno kompenzační zařízení, nejčastěji samotný kondenzátor. Hodnota kompenzace je nastavována automatickou po skocích díky spínání jednotlivých stupňů kompenzátoru. Vyhodnocovací automatika změří činný a jalový výkon a podle potřeby sepne určitý počet výstupů. Je jasné, že čím je více spínaných výstupů, tím je kompenzace přesnější. Ke spínání může dojít kontaktně (pomocí stykačů), nebo bezkontaktně (pomocí polovodičů). Jelikož ale u kontaktního spínání dochází při častém spínání k opotřebování kontaktů stykačů i zhoršování vlastností kondenzátorů, musí se stanovit rozumný počet spínacích výstupů, aby automatika neustále pouze nepřepínala jednotlivé výstupy. Počet výstupů je roven počtu kompenzačních stupňů. Hodnoty kondenzátorových baterií na výstupu mohou být shodné, nebo může být na každém stupni jiná hodnota - např. dvojnásobek předešlé hodnoty.

Volba počtu stupňů závisí na reálné velikosti jednoho stupně, dále na potřebném kompenzačním výkonu a na žádané hodnotě vykompenzování ($\cos \varphi = 0,95$).

Pro stupně se stejným kompenzačním výkonem pak platí:[1]

$$\frac{Q_L - N \cdot Q_{C1}}{P} \leq \operatorname{tg} \varphi \quad (24)$$

Kde

Q_L ... je jalový induktivní výkon zátěže při činném výkonu P

Q_{C1} ... je jalový výkon jednoho kompenzačního stupně

N ... počet stupňů

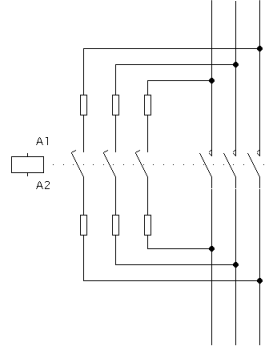
Můžeme vyjádřit počet stupňů N :

$$N \geq \frac{Q_L - P \cdot \operatorname{tg} \varphi}{Q_{C1}} \quad (25)$$

2.4.1.1 Kontaktní spínání

Kontaktní spínání je připínání jednotlivých stupňů kompenzace pomocí stykačů. Kontaktní kompenzátory s prostými kondenzátorovými bateriemi se používají tam, kde se nevyskytují harmonické proudy a kde není nutná rychlost kompenzace. Při použití klasických stykačů dochází také k přechodovým jevům, kde mohou vznikat velké proudové rázy.

Spínání kontaktů stykačů má za následek rušení citlivých elektronických zařízení. Toto rušení se snažíme omezit, a to používáním ochranných tlumivek, nebo odporovým spínáním. Odporové spínání je spínání kondenzátoru přes odpor, který sníží počáteční proudovou špičku. Tyto odpory jsou pak překlenuty dalším stykačem, který je vyřadí z provozu. Kontaktní odporové spínání je zobrazeno na *obr. 9*.



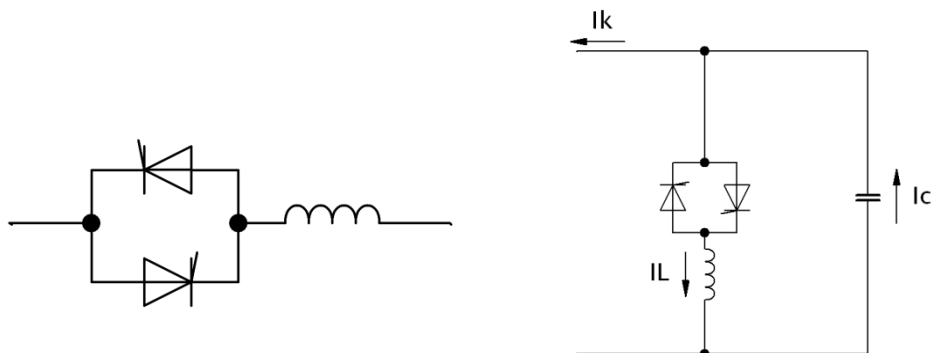
Obr. 9 Kontaktní odporové spínání

2.4.1.2 Bezkontaktní

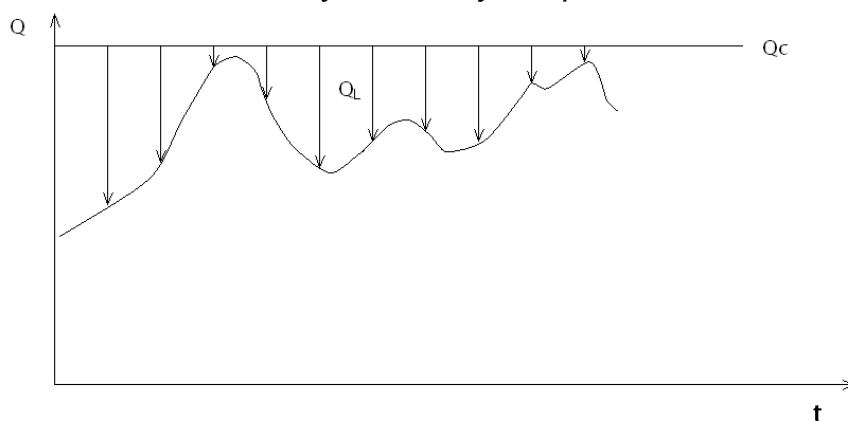
Bezkontaktní spínání se používá tam, kde jsou kladeny nároky na rychlost kompenzace. Je ovšem nutné použít rychlejší regulátor jalového výkonu. Ke kondenzátorům se často připojuje ochranná tlumivka. Připínání kondenzátorů je často podobné, jen je rychlejší, protože probíhá bezkontaktně pomocí polovodičů. Bezkontaktní spínání ovšem neumožňuje připnout kondenzátory v kterýkoliv bod sinusovky, protože při přechodovém ději by na spínacím prvku mohlo vzniknout proudové přetížení, což by pro polovodič mohlo mít za následek destruktivní účinek. Jiná možnost je připínat kondenzátor již nabitý, kdy by k přechodovému ději nedocházelo. Toto řešení ovšem vyžaduje nabíjet kondenzátory na potřebnou hodnotu, což znamená, že regulátor bude muset být složitější. Další varianta je připínat vybitý kondenzátor v čase, kdy prochází sinusovka nulou. Tento způsob připínání je nejvíce využíván. Využívá se zapojení dvojice antiparalelních tyristorů, kde každý vede jednu amplitudu sinusovky. Řídící impulzy tyristorů musí být nastaveny na okamžik, kdy prochází sinusovka nulou. Jelikož připínáme vybitý kondenzátor, potřebujeme připnutí a opětovném odepnutí kondenzátor co nejrychleji vybit, abychom ho mohli opět připnout. Objevují se i spínací prvky řízené procesorem, ale nepřinášejí žádné výrazné výhody ani lepší spínání.[1]

2.4.2 Plynule řízené – pasivní (s dekompenzačními členy)

Jalový proud řídíme antiparalelním zapojením tyristorů a jejich spínáním omezujeme proud tlumivkou. Je to provozováno tak, že síť překompenzujeme větší kapacitou než je nutné a pak spínáme indukčnost, díky které dostaneme jalový výkon tam, kde má být.

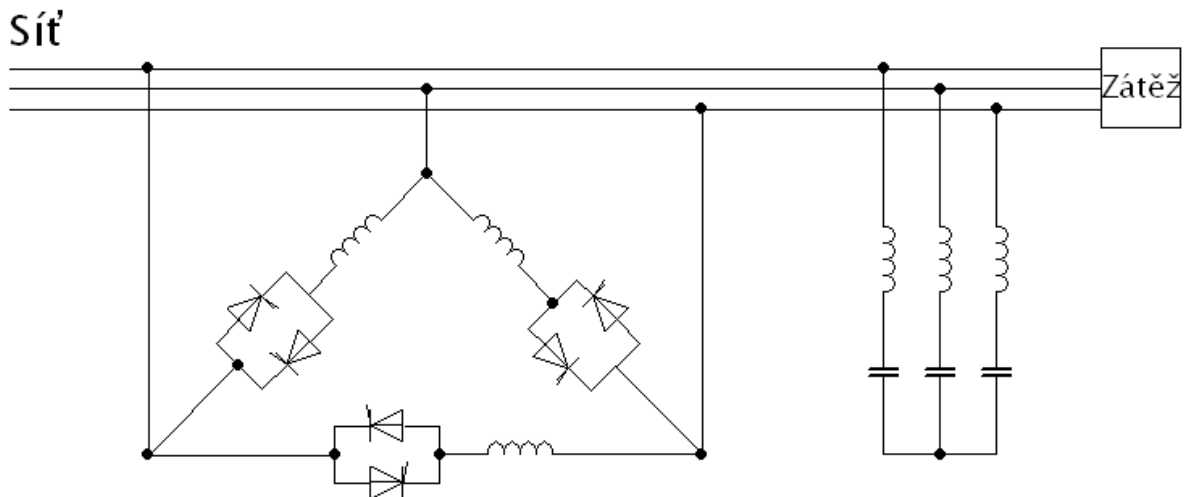


Obr. 10 Plynule řízený kompenzátor



Obr. 11 Překompenzování kapacitním charakterem a kompenzace pomocí induktivního charakteru

Je-li nyní $I_C > I_L$ pak kompenzační proud je $I_k = I_C - I_L$. Protože je ovšem do obvodu zapojen další měnič, který generuje další harmonické, často se spínání doplňuje i filtrační částí, která má za úkol odstranit tyto harmonické od měniče i ze sítě. Někdy se tomuto zapojení říká dekompenzační členy. Filtry jsou nastaveny na hodnoty harmonických, které se objevují v soustavě. Vhodné je mít filtry nastavené na 5, 7, 11 a 13 harmonickou. Správné dimenzování filtrů ovlivňuje funkčnost a spolehlivost kompenzačního zařízení. Zapojení obvodu s dekompenzačním členem je na *obr. 12*.



Obr. 12 Plynule řízený kompenzátor s dekompenzační částí

Plynule řízené pasivní kompenzátory se používají tam, kde dochází k velmi rychlé změně kompenzačního výkonu, např. u bodových svářecích automatů, řízených pohonů odstředivek v cukrovarech, na vysokém napětí u pohonů válcových tratí nebo elektrických obloukových pecí. Díky moderním aktivním filtrům ztrácejí tyto kompenzátory praktický význam pro oblast nízkého napětí. [5]

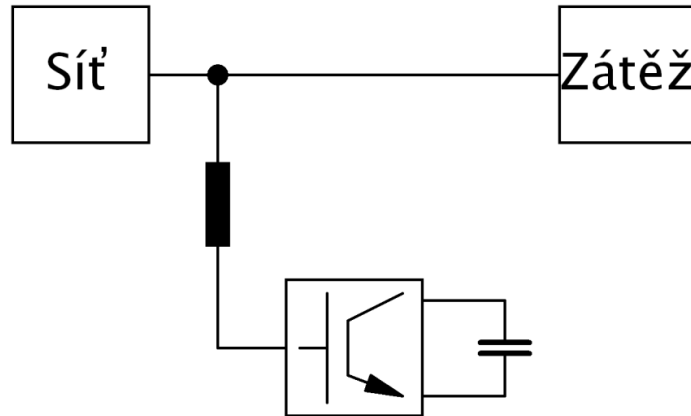
2.4.3 Plynule řízené – aktivní

Principem je přidat do obvodu generátor, který nám kompenzuje nevhodné harmonické složky tak, že vyrábí přesné průběhy harmonických s opačnou fází a tím je vyruší. Do sítě pak nepouštíme žádné další harmonické. Generátor tedy musí vyrábět průběh opačné fáze, což je tzv. zbytková křivka. Takový průběh je těžké udělat pro proměnné napětí i fázi, jelikož musíme průběh rychle analyzovat, tedy vypočítat zbytkovou křivku, následně ji vyrobit i pro vysoké výkony a dodat do sítě. Různým zapojením aktivního filtru lze pak vylepšit proud, napětí nebo obojí. Podle toho dělíme aktivní filtry na paralelní, sériové a kombinované aktivní filtry.

2.4.3.1 Paralelní aktivní filtry

Říká se jim také proudové aktivní filtry. Tyto filtry jsou připojeny k zátěži paralelně a dodávají harmonické proudy v opačné fázi objevující se v síti. Generátor proudu či napětí může být tvořen můstkovým zapojením polovodičových spínačů. Výkonovou částí aktivního filtru je pulzní usměrňovač pracující jako napěťový střídač. Střídač pracuje s připojenou kapacitou na stejnosměrné straně, z níž odebírá energii pro svou činnost.

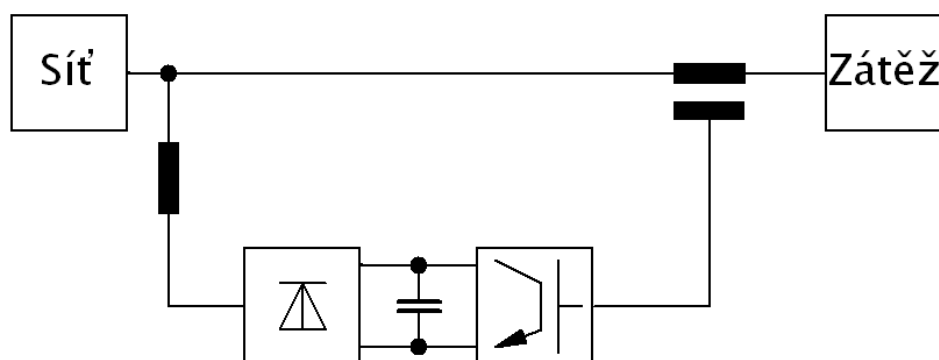
Měnič je zapojen přes tlumivku, která slouží k ochraně proti zkratu a jako dolní propust, která omezí vysoké harmonické, které jsou generovány měničem. V třífázové soustavě může sloužit ke zlepšení nesymetrie zátěže. Schematické zapojení je na *obr. 13*.



Obr. 13 paralelní aktivní filtr

2.4.3.2 Sériové aktivní filtry

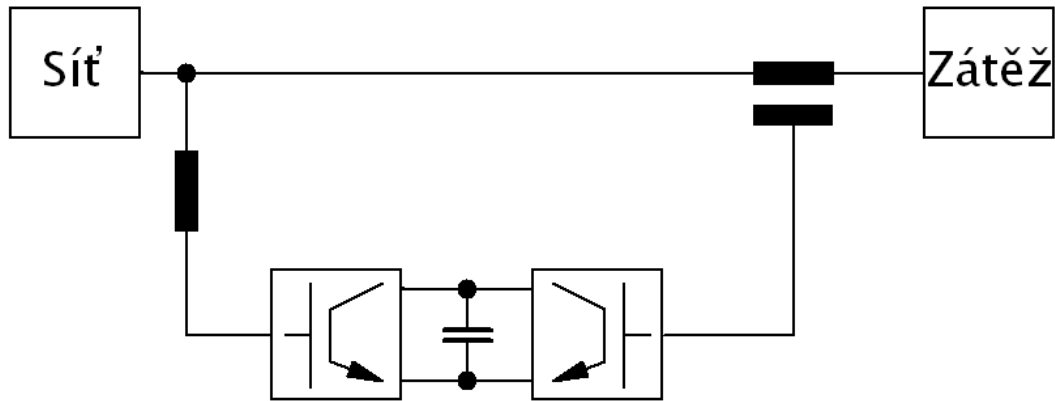
Také se mu říká napěťový. Tento filtr je zapojen mezi svorky sítě a zátěže a je to generátor napětí. Je zde použit neřízený usměrňovač a střídač. Sériový aktivní filtr pracuje obdobně jako paralelní, ale pouze nám kompenzuje napětí. Minimalizuje nám tedy harmonické napětí, snaží se udržet hodnotu základní harmonické a kompenzuje špičky přepětí. Dále je schopný dodávat energii při výpadku napájecího napětí, je-li ovšem napájen z nezávislého zdroje. Schematicky je sériový aktivní filtr znázorněn na *obr. 14*.



Obr. 14 sériový aktivní filtr

2.4.3.3 Kombinované aktivní filtry

Oba předchozí způsoby je možné zkombinovat do jednoho zařízení tak, že lze upravovat napětí i proud. Zapojení je stejné jako sériový aktivní filtr, pouze je místo neřízeného usměrňovače použitý pulzní usměrňovač. Schematicky je zobrazen na *obr. 15*.



Obr. 15 Kombinovaný aktivní filtr

2.4.4 Kombinované

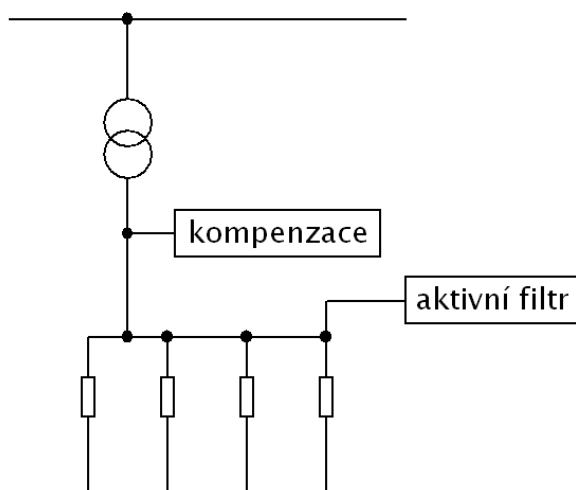
Všechny principy kompenzátorů lze samozřejmě kombinovat. Použití jednotlivých metod závisí na konkrétních příkladech a problémech. V praxi se používá kombinace plynule řízeného pasivního kompenzátoru a stupňovitého bezkontaktního kompenzátoru. Tato sestava byla u nás dříve vyráběna pod označením PLYCOS + SYNCOS. V současné době se nabízí kombinace kompenzátorů stupňovitého a aktivního filtru. Díky vlastnostem aktivního filtru by bylo možné použít pomalejší, kontaktní kompenzátor s chráněnými sekcemi a výkon aktivního filtru použít hlavně pro vykompenzování deformačního výkonu.[5]

2.5 Rozdělení podle připojení filtrů do soustavy

Podle připojení filtrů do soustavy lze ještě rozlišit na skupinovou filtraci a na centrální filtraci.

2.5.1 Skupinová filtrace

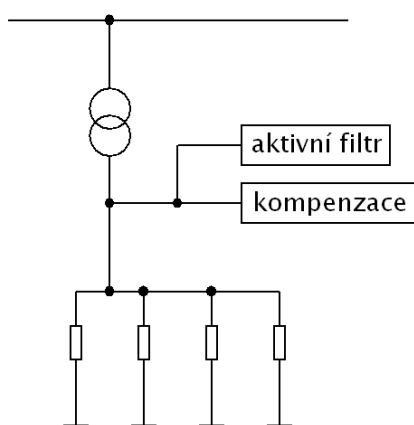
Aktivní filtr a kompenzátor spolu nespolupracují a každý je připojen na jiném místě v elektrické soustavě, což je znázorněno na *obr. 16*.



Obr. 16 Skupinová filtrace

2.5.2 Centrální filtrace

Aktivní filtr a kompenzátor je připojen v jenom místě elektrické soustavy.



Obr. 17 Centrální filtrace

3 Fliker (Flicker)

Fliker nebo dříve v češtině řečeno míhání světelného toku. Díky nerovnoměrnému odběru se může stát, že nám začne napětí kolísat. Toto kolísání může být periodické. Jestliže bude frekvence kolísání dostatečně nízká, můžeme pozorovat, že světelný zdroj pak periodicky pohasíná a rozsvěcuje, z čehož nám následně mohou např. bolet oči.

Norma ČSN EN 50160 popisuje flickr jako jev, který působí na vizuální vnímání člověka změnami světelného toku světelných zdrojů, vyvolanými kolísáním napětí, jimiž jsou napájeny. V tomto případě kolísání napětí spočívá ve sledu rychlých změn napětí, následujících dostatečně těsně po sobě tak, že stimulují odezvu oka v mozku.[7]

3.1.1 Opatření ke změně flickru:

1. Zlepšení připojovacích podmínek
 - Zvětšit zkratový výkon
 - Zvětšit jmenovité napětí
 - Použitím kondicionéru (linkový kondicionér)
2. Úpravou motoru
 - Použít soft-startér
 - Užít mechanický setrvačnick, který tlumí rázy
 - Použít motor s vinutou kotvou
 - Použít měnič kmitočtu
 - U svářeček použít správné taktování provozu
3. U obloukových pecí
 - Elektrická regulace posuvu elektrod
 - Mechanická regulace kmitů elektrod

3.1.2 Výpočet flickru:

Musíme vypočítat úbytek napětí

1. Výpočet pomocí relativní změny napětí d

$$d = \frac{\Delta U_V}{U_N} \quad (26)$$

Relativní změny odpovídají přibližně změně výkonu odběratele vztažené ke zkratovému výkonu. Pro přibližný výpočet můžeme tedy použít méně přesný vzorec:

$$d \cong \frac{\Delta S_A}{S_K} \quad (27)$$

Kde

ΔU_V ... Úbytek na vedení

U_N ... Jmenovité napětí sítě

ΔS_A ... Rozdíl výkonů spotřebiče

S_K Zkratový výkon

Obecně lze říci, je-li $\frac{S_K}{\Delta S_A}$: - větší než 1000, tak je výpočet bez problémů

- do 400, je výpočet ještě v pořádku

- kolem 100, flickr dělá problémy, ale lze to řešit

- menší než 30, nejde řešit na dané napěťové hladině (musí se připojit do větší např. z 0,4kV do 6,3kV)

Přesnější je však počítat flickr z impedancí sítě a zátěže. Máme-li zátěž impedanci Z_z a impedanci sítě Z_k lze vypočítat:[4]

$$d = \left| 1 - \frac{R_z + jX_z}{(R_k + R_z) + (X_k + X_z)} \right| \quad (28)$$

Nebo z výkonů, je-li známa změna výkonu odděleně pro činnou a jalovou složku lze vypočítat:

$$d = \frac{1}{U_N^2} \cdot (R_K \cdot \Delta P_A + X_K \cdot \Delta Q_A) \quad (29)$$

Kde $R_K, X_K \dots$ hodnoty sítě

$P_A, Q_A \dots$ složky výkonu spotřebiče

2. Výpočet pomoci činitele A (Činitel rušení způsobený flickrem)[4]

Používá se pro změny flickru. Činitel A je definován tak, že pro všechny frekvence je jeho hodnota rovna 1 na tzv. základní křivce. Činitel rušení různých zdrojů v síti se potom sčítá. Rušivý činitel flickru během 10 minutového intervalu se označuje A_{st} . Rušivý činitel v intervalu 2 hodin se označuje A_{lt} . Činitel rušení A lze přibližně popsat dobou působením flickru t_f .

$$t_f = 2,3 \cdot (100 \cdot d \cdot F)^3 \quad (30)$$

Kde $d \dots$ relativní změna napětí

$F \dots$ činitel tvaru (respektuje skutečnost, že ke změně nedochází skokově a po skokové změně je roven 0)

Výsledný činitel rušení A se určí přibližně jako součet trván účinků flikru vztažený na sledovaný interval, kde napětí kolísá.

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10 \text{ min}} \quad A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120 \text{ min}} \quad (31) \quad (32)$$

Více se používá činitele P místo A, kde

$$A_{ST} = P_{ST}^3 \quad (33)$$

$$A_{LT} = P_{LT}^3 \quad (34)$$

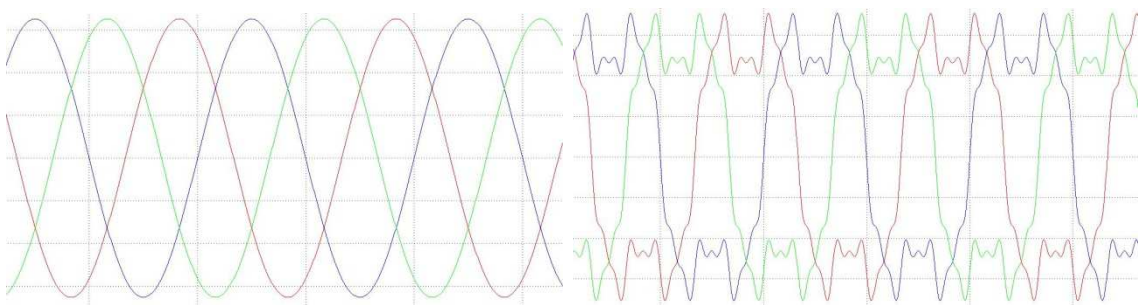
A lze pak vidět

Krátkodobý- P_{ST} (short time – 10 minut)

Dlouhodobý- P_{LT} (long time – 120 minut)

3.2 Kompenzace jalového výkonu a kvalita elektrické energie

V ideálním případě chceme, aby průběhy napětí a proudů v síti měly čistě sinusový tvar. Nicméně je i zde patrná odchylka skutečného průběhu od ideálního. Jak již bylo řečeno, fázový posuv napětí a proudu způsobuje zhoršení účinníku, tento účinník bychom mohli brát pro 1 harmonickou. Vlivem zhoršení kvality elektrické energie se nám ničí i celkový účinník - PF, protože průběh je deformován vyššími složkami signálu, který je superponován na základní průběh. Průběh čistého sinusového průběhu a sinusového průběhu s obsahem vyšších harmonických je znázorněn na *obr. 18*.



Obr. 18 Průběhy čisté sinusovky a sinusovky s obsahem vyšších harmonických

Kvalita elektrické energie je závislá nejen na kvalitě výroby, ale i na kvalitě přenosu a rozvodu elektrické energie a také na spotřebiteli (tedy druhu zátěže). Špatný průběh signálu může mít za následek nesprávné fungování citlivých přístrojů a také to může mít negativní vliv na člověka.

3.2.1 Měření kvality elektrické energie

Měření kvality elektrické energie je většinou dlouhodobého charakteru. Měření se provádí nejčastěji analyzátozem sítě, často speciálně určeným na toto měření, dnes již často provozované s operačním systémem Windows, takže lze snadno propojit přístroj s počítačem.

3.2.2 Druhy měření podle času

- dlouhodobé měření
- krátkodobé měření
- permanentní měření

3.2.2.1 Dlouhodobé měření

Kvalita elektřiny je měřena analyzátozem elektrické sítě po delší dobu, řádově měsíce. Výsledky se porovnávají s parametry dané z normy a pak lze učinit nějaká opatření v případě, že jsou čísla horší, než by měla být.

3.2.2.2 Krátkodobá měření

Kvalita energie je měřena kratší dobu než u dlouhodobého měření. Tímto měřením můžeme zjišťovat odběry v přípojném místě, nebo jestli odběratel negeneruje rušivé signály do sítě.

3.2.2.3 Permanentní měření

V některých případech nás může zajímat kvalita elektrické energie stále a potřebujeme mít permanentní měření. Někdy nás může zajímat třeba spotřeba elektrické energie. Může to být z důvodu statistického, úsporného atd. V elektrizační soustavě lze tímto způsobem měřit určité parametry jednotlivých zařízení např. transformátorů a díky tomu lze vyhodnotit, jestli zařízení pracuje správně, nebo už je nutná např. oprava, výměna atd.

3.2.3 Měřicí přístroje

Dnes je na trhu celá řada analyzátozů sítě v různých cenových kategoriích od těch „hloupých“ až po „velmi chytré“. Analyzátozy jsou vyráběny v různých osazeních a různých rozměrech. Může to být přenosný přístroj, nebo může být osazení na DIN lištu (dobré pro permanentní měření). V provedení na DIN lištu je možné mít analyzátoz rozdělený do několika modulů, které lze spojovat a koupíme si pouze to, co v daném případě potřebujeme

(např. lze dokoupit rozšiřující ETHERNET modul). Přenosné analyzátoři mohou rozdělit na dva druhy, a to analyzátoři se svým systémem a analyzátoři připojený na počítač.

Analyzátoři se svým systémem

Analyzátoři pracují jako celek a obsahují měřicí systémy, zobrazení, systém, ovládání. Všechno je osazeno v jednom výrobku. To může být výhoda i nevýhoda. Analyzátoři zapojíme, zapneme a můžeme s ním pracovat jako s počítačem.

Analyzátoři připojený na počítač

Analyzátoři mají jen měřicí část, která je připojena k jakémukoliv počítači, který musí obsahovat software daný pro typ analyzátoři. Výhodou je, že připojíme analyzátoři a na obrazovce počítače zkontrolujeme, zda vše funguje (zapojení, záznam atd.). Máme-li vše hotové, počítač odpojíme a necháme analyzátoři zaznamenávat data do své paměti. Po následném připojení počítače si můžeme prohlédnout data.

Většina analyzátoři kvality elektrické energie splňují dané předpisy a normy. Pokud si nejsme jistí výrobcem, nebo jiným ukazatelem, norma PNE 33 3430-7 nám udává některé údaje, které musí být uvedené při certifikaci.

Doporučení k certifikaci analyzátoři kvality napětí

Jako minimum má certifikát obsahovat:

1. Učin a frekvenci, ke kterým se certifikát vztahuje
2. Soupis všech parametrů kvality podle ČSN EN 61000-4-30 a prohlášení, která třída metody měření je pro jednotlivé parametry certifikovaná
3. Úplný seznam příslušenství a / nebo zvláštního vybavení, které jsou požadovány pro platnost certifikátu
4. Název a kontakty na organizaci, která vydala certifikát
5. Výrobce přístroje, na který se certifikát vztahuje
6. Přesný rozsah modelové řady, pro které certifikát platí
7. Vydání standardu 61000-4-30, který byl užit pro certifikaci včetně všech oprav [8]

4 Kompenzace svařovacích kleští EVOBUS Holýšov

Při provozu svářecího zařízení obzvlášť při odběru velkého výkonu může dojít k určitým stavům, které nejsou pro elektrickou síť vhodné. Přesně tím myslím pokles napětí, deformování signálu, nebo může dojít k jevu zvaný flickr. Všechny tyto procesy se dějí v každém větším závodě a musejí se řešit. Jedním z nich je i firma EVOBUS Holýšov.

4.1 Popis firmy

Společnost EVOBUS Bohemia je dceřiná společnost německého podniku Daimler a je odpovědná za prodej a servis autobusů Mercedes-Benz a Setra v České republice. [15] Kromě toho vyrábí segmenty podvozků a základních konstrukcí pro téměř všechny typy autobusů Mercedes-Benz a Setra ve výrobním závodě v Holýšově na Plzeňsku. Evobus Bohemia zaměstnává v ČR více než 400 zaměstnanců. [9]

Ve firmě se vyrábí pomocí nového svařovacího robota, 3–D laseru na řezání ocelových profilů a dalších moderních zařízení. Hala je vybavena moderním zařízením pro využití odpadového tepla. Hala o velikosti 5,6 hektaru stála kolem 5,4 milionu eur, tedy více než 130 milionů korun. Evobus v Holýšově vyrábí komponenty pro autobusy už od roku 1999. První výrobní hala Evobusu v Holýšově vyrostla v roce 2001, o čtyři roky později začal holýšovský závod s výrobou dílů pro městské autobusy Mercedes-Benz Citaro a jeho produkce tak výrazně vzrostla. V nové hale budou zaměstnanci vyrábět také skelety pro hybridní autobusy, čímž by se vozidla na hybridní vodíkový pohon měla rychleji integrovat do sériové výroby.[14]

4.2 Historie firmy EVOBUS

Automobilový průmysl v Holýšově má dlouholetou tradici. Ostatně se tu svého času vyráběly i autobusy Škoda 706 RTO. Na konci 50. let byly ve Státních výrobnách autodílů (SVA) Holýšov prováděny generální opravy autobusů Škoda 706 RO, při kterých byly na původní podvozek stavěny karoserie RTO vyrobené v Holýšově. SVA Holýšov následně stavěly vlastní autobusy 706 RTO na nových podvozcích LIAZ.[14]

Historie firmy v posledních letech:[14]

- Duben 1998: založení EvoBus Bohemia s.r.o.
- Květen 1999: převzetí produkce SVA Holýšov
- Červenec 2001: položení základního kamene nového závodu (na zelené louce)
- Prosinec 2001: stěhování do nového závodu
- 2001-2004: postupné rozšiřování výroby
- 2004: oficiální otevření výrobního závodu
- 2004: přesunutí výroby segmentů pro městské autobusy Citaro z Turecka do Holýšova
- 2011: zahájení stavby nové haly

5 Popis stávajícího stavu

Ve stávající síti firmy EVOBUS Holýšov s.r.o. nalezneme trojici transformátorů 2x 630 kVA a 1x 1000 kVA. Jeden transformátor 630 kVA napájí celý objekt elektrickou energií, kromě svařovacích zařízení. Druhý transformátor 630 kVA a transformátor 1000 kVA slouží k napájení svařovacích zařízení. Všechny se nacházejí v rozvodně 22kV. Firma by ráda rozšířila výrobu, což by znamenalo připojit do stávajícího rozvodu další svařovací zařízení. Firma Evobus si nechala zpracovat studii připojitelnosti (vypracoval Ing. Karel Cvačka Ph.D.), která má několik možností připojitelnosti. Jedna z nich je připojení dalších svařovacích jednotek do stávajícího rozvodu, jestliže bude zaručeno dodržení všech parametrů kvality elektrické energie v předávacím místě ČEZ distribuce. Vzhledem k charakteru zátěže je důležité sledovat mimo kvality elektrické energie i vjem krátkodobého a dlouhodobého vjemu flikru. Podle zpracované studie bude možné připojit další zařízení do stávajícího rozvodu, jestliže dokážeme snížit míru krátkodobého a dlouhodobého vjemu flikru, protože při připojení dalších svařovacích zařízení by mohlo dojít k překročení parametrů elektrické energie v předávacím místě.[6]

Je nutné zajistit, aby byly dodrženy všechny parametry kvality elektrické energie v předávacím místě distribuční sítě, včetně míry vjemu flikru. Tento parametr kvality je zařazen do sledovaných parametrů kvality elektrického napětí a je definován pravidly provozování distribuční soustavy.

Norma EN 50160 je předmětová norma udávající charakteristiky napětí, které mohou být očekávány v předávacích bodech ve veřejných sítích nn a vn. Tato norma nepopisuje průměrný stav v distribučních sítích, ale maximální hodnoty nebo odchylky charakteristik napětí za normálních provozních podmínek.[7]

Podle převzaté evropské normy ČSN EN 50160 se z hlediska charakteristiky dodávané elektřiny musí hlídat 4 důležité vlastnosti elektrické energie. Je to kmitočet, velikost, tvar vlny a symetrii třífázových napětí.

Sledované veličiny[7]

Síťový kmitočet

Za normálních provozních podmínek má být frekvence v rozsahu 50 Hz $\pm 1\%$ během 99,5% roku. Po zbývajících 0,5% dní v roce je stanoven rozsah 50Hz -6% až +4%.

Velikost napájecího napětí

Normalizované napětí pro veřejnou síť je $U_n=230$ V mezi fází a uzlem.

Odchylky napájecího napětí

Odchylky napětí nemají být vyšší než $\pm 10\%$ od jmenovitého napětí. Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne 95% průměrných efektivních hodnot (měřených v 10 minutových intervalech) v rozsahu $\pm 10\%$ jmenovitého napětí a všechny průměrné hodnoty musí být v (měřených v 10 minutových intervalech) v rozsahu +10% a -15%.

Rychlé změny napětí (včetně přisnost flikru)

Za normálních podmínek rychlé změny nemají překračovat 5% z U_N , za určitých okolností se může stát, že napětí může překročit až do 10%.

Míra vjemu flikru

Za normálních podmínek musí být v libovolném týdenním období dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$ po 95% času. Pro uživatele připojená na dlouhá vedení nn musí být dlouhodobá míra flikru $P_{lt} \leq 1,5$.

Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Za normálního provozu se vyskytne až několik stovek krátkodobých přerušení, přibližně 70% z nich může trvat do 1 sekundy.

Dlouhodobá přerušení jsou přerušení delší než tři minuty. Těchto přerušení by mělo být méně než 10 za rok, ale hodnoty se liší podle oblasti, kde v té nejčtetnější by mohlo být až 50 takovýchto přerušení.

Dočasná přepětí (o frekvenci sítě) mezi živými vodiči a zemí

Toto přepětí se může objevit během poruchy v síti. Doba trvání přepětí je omezena dobou vypnutí straně vn, typicky ne delší než 5 sekund.

Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Přechodná přepětí se mohou rozdělit podle doby trvání na dlouho trvajících přepětí, středně dlouho trvajících přepětí a na krátce trvajících přepětí.

V distribuční síti nn často nepřekračují hodnoty přepětí 6 kV vrcholové hodnoty.

Dlouhotrvající přepětí

Je to přepětí delší než 100 mikrosekund a jeho příčinou je působení pojistek (amplituda do 1-2 kV), spínání kondenzátorů pro kompenzaci účinníku (amplituda až 2-3 násobek jmenovité vrcholové hodnoty) nebo přechodem přepětí z vyšší napěťové hladiny přes transformátor (amplituda do 1 kV).

Středně dlouho trvajících přepětí

Středně dlouho trvajících přepětí je přepětí trvajících 1 do 100 mikrosekund. Toto přepětí může být způsobeno přímým úderem blesku do vedení nn (amplituda 20 kV) nebo indukci od úderů blesku (amplituda 6 -20 kV). Dále může být způsobeno spínáním v síti s eskalací napětí (amplituda několikanásobek jmenovité hodnoty), vypínači s krátkou dobou hoření oblouku (amplituda několikanásobek jmenovité hodnoty).

Krátce trvajících přepětí

Je to přepětí, které trvá méně jak mikrosekundu, a je způsobeno spínáním malých indukčností (amplituda 1-2 kV), nebo rychlými přechodovými jevy způsobenými spínáním spínačů se vzduchovou dráhou.

V distribuční síti vn:***Dlouhotrvající přepětí***

Je způsobeno spínáním, zkraty, vazbou transformátoru z vvn. Amplituda se omezuje jiskřištěm, nebo svodičem přepětí.

Středně dlouho trvající přepětí

Důvodem pro toto přepětí je indukce do vodičů při úderu blesku nebo samotným úderem blesku. Dalším důvodem vzniku je spínání s opětovnými zápaly, jako jsou vakuové vypínače.

Krátce trvající přepětí

Nejčastěji je způsobeno spínáním zapouzdřených zařízení s izolovaným plynem (př. SF6)

Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie je definována zpětnou složkou U_i , vyjádřenou v poměrné hodnotě nebo v % sousledné složky. Za normálních podmínek musí být 95% desetiminutových středních efektivních hodnot nulové složky napájecího napětí v rozsahu od 0 do 2% sousledné složky. V některých oblastech, kde se nachází větší počet jednofázových nebo dvojfázových přípojek, se nesymetrie vyšplhá až k 3%.

Harmonická napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95% desetiminutových středních hodnot harmonického napětí nižší nebo rovno hodnotě dané pro jednotlivý řád harmonické. Jednotlivé hodnoty můžeme najít v normě ČSN EN 50160 nebo v PNE 33 3430-7.

Celkové harmonické zkreslení THD napájecího napětí (i s harmonickými do řádu 40) nesmí překročit 8%.

Meziharmonická napětí

Meziharmonické o frekvenci blízké k základnímu kmitočtu přispívají k flikru a někdy mohou způsobit rušení signálu HDO. Hodnoty jednotlivých meziharmonických se podle normy teprve studují a získávají ze zkušeností. V normě PNE 33 3430-7 můžeme nalézt hladiny meziharmonických tak, jak je popisuje IEC 61000-2-12.

Napětí signálů v napájecím napětí

Distribuční síť je využívána k přenosu nějakých informací. Může to být signál HDO, nebo komunikační signály s nosnými signály.

5.1.1 Pokyny k měření charakteristik napětí – Rychlé změny napětí: flickr

Postup podle normy PNE 33 3430-7: rychlé změny napětí – flickr. Přístroj musí měřit hodnoty P_{st} (10 min) i P_{lt} (2 hod) a musí odpovídat normě ČSN EN 61000-6-1 Elektromagnetická kompatibilita (EMC).[8]

5.1.2 Vyhodnocení měření podle normy PNE 33 3430-7

- Doba pozorování je jeden týden v pevných krocích po 10 minutách
- Určení počtu všech hodnot P_{st} (krátkodobá míra vjemu flickru měřená v 10 minutových intervalech)
- Určení platných hodnot P_{st} vyloučením těch hodnot, které se vztahují k 10 minutovým intervalům, během kterých je napájecí napětí vně rozsahu jmenovité hodnoty $\pm 15\%$ a/nebo se projeví napěťové poklesy/zvýšení $\geq 15\%$ jmenovité hodnoty napětí
- Vyhodnocení P_{lt} (dlouhodobá míra vjemu flickru) na základě 12 následujících platných hodnot P_{st}

Z těchto hodnot se určí:

- Počet hodnocených P_{lt} ³: $N_{Plt}=84$
- Počet P_{lt} větších než 1: $N1_{Plt}$

Požadavky normy jsou splněny, když:

$$N1_{Plt} / N_{Plt} \leq 5\%$$

Pro předávací místa z přenosové soustavy a odběry v sítích 110 kV se určí dále:

- Počet hodnocených P_{st} : $N_{Pst} = 1008$
- Počet P_{st} větších než dovolená mezní hodnota: $N1_{Pst}$

Požadavky normy jsou splněny, když:

$$N1_{Pst} / N_{Pst} \leq 5\%$$

5.2 Odporová závěsná klešťová svářečka WKPH 150FH

Nejhorším znečišťovatelem se z celého provozu jeví svařovací zařízení, které je ve firmě EVOBUS velmi využíváno. Konkrétní svářecí zařízení je odporová závěsná klešťová svářečka WKPH 150FH.

Odporová závěsná klešťová svářečka WKPH 150FH je od českého výrobce JESVA s.r.o. JESVA je rodinná společnost s ručením omezeným nacházející se v Hořicích v Podkrkonoší, která se zabývá konstrukcí, výrobou a prodejem odporových a obloukových svařovacích strojů. Firma vznikla již roku 1905. V posledním desetiletí se firma specializuje na odporové svařování a v současnosti je největším výrobcem odporových svařovacích strojů v České a Slovenské republice. Do výrobního programu patří především bodové svářečky, svařovací lisy, jednoúčelová zařízení, robotizovaná pracoviště, svařovací přípravky a příslušenství.

Závěsná bodová svářečka je kompaktní svařovací zařízení, ke kterému lze připojit jedny nebo dvojce svařovací kleště. Je určena ke svařování dílů, které jsou rozměrné a nejsou svými tvary vhodné pro svařování běžnými stabilními odporovými svařovacími stroji. Široké uplatnění nachází především v automobilovém průmyslu. Pro svařování rozměrných dílů je dodáván široký sortiment svařovacích kleští typu H i C. Procesorové elektronické řízení zajišťuje rozsáhlé možnosti programově nastavovat svařovací parametry. Adaptivní režim řízení zabezpečuje přesné dodržení nastavených parametrů i při proměnlivých svařovacích podmínkách. Postupné opotřebování svařovacích elektrod může být eliminováno krokovým zvyšováním svařovacího proudu. Režim svařování je možno volit buď fázovým řízením primárního proudu, nebo zadáním konkrétní velikosti svařovacího proudu. Pro každé kleště lze volit jeden ze dvou přednastavených programů. Zařízení se připojuje na standardní rozvod tlakového vzduchu. Svařovací tlak na kleštích je vyvozován hydraulicky pomocí pneuhydraulického měniče. Dle požadavku lze dodat závěsnou bodovku s jedním, dvěma nebo čtyřmi nastavitelnými tlaky pro svařovací kleště.

[12]

Parametry:

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Jmenovité vstupní napětí: | 400V + PE |
| Jmenovitý kmitočet: | 50 Hz |
| Jmenovitý výkon: | 150 kVA |
| Jmenovitý vstupní proud: | 395 A |
| Jmenovitý svařovací proud: | 6,8 kA |

| | |
|---|------------------------|
| Sekundární napětí naprázdno: | 22 V |
| Maximální svařovací proud: | 4,76 kA |
| Jmenovitý zatěžovatel: | 50% |
| Napájecí tlak vzduchu: | 0,6 MPa |
| Nastavitelný tlak vzduchu: | 0,2-0,5 MPa |
| Nejvyšší tlak kapaliny v měniči při tlaku 0,5 MPa: | 7,5 MPa |
| Spotřeba vzduchu: | 9 m ³ /h |
| Tlak chladicí vody: | 0,35 MPa |
| Spotřeba chladicí vody: | 0,59 m ³ /h |
| Maximální hladina hluku: | 78 dB |
| Hmotnost: | 295 kg |
| Rozměry (šxdxv): | 720x720x1036 mm |

6 Měření kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě ČEZ distribuce a.s.

Měření se provádělo ve spolupráci s firmou KC ELEKTRO, s.r.o. a s firmou ČEZ Distribuce, a.s. Měření kvality elektrické energie bylo prováděno na dvou místech. Jedno měření bylo provedeno v síti firmy EVOBUS Holýšov a další měření bylo provedeno v předávacím místě ČEZ Distribuce a.s. Měření se provádělo přístrojem MEg od firmy MEgA- Měřicí Energetické Aparáty, s.r.o. V síti EVOBUS na napájecích trafech se měřilo přístrojem typ MEg 30 (měření nn) a na předávacím místě ČEZ Distribuce a.s. se měřilo přístrojem typ MEg 31(měření vn).

6.1 Měřicí přístroje MEg

PQ monitor je multifunkční měřicí přístroj pro měření a dlouhodobý záznam až čtyř napětí a čtyř proudů, činných i jalových výkonů a energií v trojfázových čtyřvodičových i pětivodičových nn sítích i v sítích vn a vvn. V souladu s normou ČSN EN 50160 a dle metod mezinárodního standardu IEC 61000-4-30 analyzuje všechny parametry kvality napětí na vstupech U1, U2 a U3. Na všech čtyřech napětích registruje události (poklesy, překročení napětí a přerušení 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. Počáteční detail události zahrnuje i časový úsek události předcházející a koncový detail zahrnuje i časový úsek následující po události. Na základě změřených průběhů proudů umožňuje PQ monitor určení směru vzniku události i flikru. Schopností měření i malých napětí je PQ monitor připraven také k monitorování napětí mezi středním vodičem a zemí. [13]

6.1.1 Měřicí přístroj MEg 30

PQ monitor v provedení MEg 30 je přenosný měřicí přístroj pro sítě nn.

Technická specifikace: [13]

Měření napětí U1, U2, U3, U4

| | |
|---------------------------------|---|
| Ujm fáz. napětí U1, U2, U3, U4: | 230 V |
| Rozsah měření fázových napětí: | 0 až 440 Vef |
| Max. dovolené fázové napětí: | 450 Vef |
| Přesnost měření napětí: | $\pm 0,1\%$ z údaje $\pm 0,1\%$ Ujm při 0,8 Ujm až 1,2 Ujm $\pm 0,2\%$ z údaje $\pm 0,2\%$ Ujm mimo 0,8 Ujm až 1,2 Ujm |
| Rozlišovací schopnost: | 0,1% Ujm nebo lepší |
| Teplotní součinitel: | lepší než 0,2% Ujm/10°C |

Měření proudů I1, I2, I3, I4

| | |
|--------------------------|---|
| Přesnost měření proudu: | 0,2% z údaje a 0,2% Ijm při 0,1 Ijm až 1,2 Ijm 0,5% z údaje při 1,2 Ijm až 2 Ijm |
| Rozlišovací schopnost: | 0,1% Ijm nebo lepší |
| Teplotní součinitel: | než 0,2% Ijm/10°C |
| Proudová přetížitelnost: | $5 \times I_{jm}$ po dobu 1 s |

6.1.2 Měřicí přístroj MEG 31

PQ monitor v provedení MEG 31 je přenosný měřicí přístroj pro sítě vn.

Technická specifikace: [13]

Měření napětí U1, U2, U3, U4

| | |
|--|---|
| Ujm fáz. napětí vstupů U1, U2, U3, U4: | 57,73 V |
| Rozsah měření fázových napětí: | 0 až 2,4 Ujm |
| Maximální dovolené fázové napětí: | 140 Vef |
| Přesnost měření napětí: | ±0,1% z údaje ±0,1% Ujm při 0,8 Ujm až 1,2 Ujm ±0,2% z údaje ±0,2% Ujm mimo 0,8 Ujm až 1,2 Ujm |
| Rozlišovací schopnost: | 0,1% Ujm nebo lepší |
| Teplotní součinitel: | lepší než 0,2% Ujm /10°C |

Měření proudů I1, I2, I3, I4

| | |
|--------------------------|--|
| Přesnost měření proudu: | 0,2% z údaje a 0,2% Ijm v rozsahu 0,1 Ijm až 1,2 Ijm 0,5% z údaje v rozsahu 1,2 Ijm až 2 Ijm |
| Měřicí rozsah: | 2 Ijm |
| Rozlišovací schopnost: | 0,1% Ijm nebo lepší |
| Teplotní součinitel: | lepší než 0,2% z Ijm /10°C |
| Proudová přetížitelnost: | 5 × Ijm po dobu 1 s |

7 Měření kvality elektrické energie před instalací kompenzačního zařízení

Měření bylo provedeno ve dnech 3. 2. – 10. 2. 2011 v síti EVOBUS Holýšov na straně nn u transformátorů, které napájí svařovací technologie, tedy na transformátorech T3 1000 kVA (označené v protokolu jako měření Evobus Holýšov T1000) a na T2 630 kVA (označené v protokolu jako měření Evobus Holýšov T 630kVA). V ten samý čas bylo měřeno na 22 kV lince na předávacím místě ČEZ Distribuce a.s. (označené v protokolu jako měření Evobus Holýšov).

7.1 Naměřené výsledky kvality elektrické energie před instalací kompenzačního zařízení v předávacím místě ČEZ Distribuce a.s.

Z naměřených výsledků je zřetelně vidět průběh směny ve firmě Evobus, který se pravidelně cyklicky opakuje od pondělí do pátku s výjimkou hodnot o víkendu (viz Příloha). Z naměřených hodnot (z měřicího přístroje MEG 31) měření č. 1, tedy na předávacím místě ČEZ Distribuce, je vidět, že kvalita elektrické energie v předávacím místě ČEZ Distribuce vyhovuje ve všech sledovaných parametrech podle normy ČSN EN 50160, jak je uvedeno na *obr. 19*. Všechny zobrazované grafy jsou přiloženy v příloze, uvnitř práce budu uvádět grafy detailů jednotlivých průběhů, které jsou potřeba k vyhodnocení měření.

| MEGA MĚŘICÍ ENERGETICKÉ APARÁTY | | PROTOKOL DLE EN 50160 | | | PQ MEG 31 |
|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| Název : | Evobus Holýšov | V.č.: | Měření č.: | 1 | Měřil : |
| Soubor : | D:\...vobus Holýšov 22kV.PQ1 | Měřeno : | Od 3.2.2011 do 10.2.2011 | | Firma: |
| Poznámka : | kvalita | | | | |
| DOBA | Od | Do | | | |
| Doba zpracování | 3.2.2011 8:20:00 | 10.2.2011 12:50:00 | | | |
| VELIČINA | EN 50160 | HODN.(/ Mimo mez) | | | |
| Délka měření | 1 týden | 7d 04:30:00.000 | | | |
| Interval záznamu | 10 minut | 10 min | | | |
| Frekvence 99.5 % roku | 50 Hz +1%-1% | 49,93 - 50,07 / 0% | | | |
| Frekvence 100 % roku | 50 Hz +4%-6% | 49,93 - 50,07 / 0% | | | |
| Nesymetrie 95 % | 2,0% | 0,50 - 0,78 / 0% | | | |
| VELIČINA | EN 50160 | L1 | L2 | L3 | |
| Napětí 95 % | 22 kV 10%-10% | 22,6 - 23,1 / 0% | 22,5 - 23,1 / 0% | 22,8 - 23,3 / 0% | |
| Flicker Plt 95 % | 1,0 | 0,05 - 0,13 / 0% | 0,07 - 0,13 / 0% | 0,05 - 0,12 / 0% | |
| THD 95 % | 8,0 % | 0,59 - 1,71 / 0% | 0,63 - 1,95 / 0% | 0,63 - 1,61 / 0% | |

Obr. 19 Výsledky měření na předávacím místě ČEZ Distribuce před připojením kompenzačního zařízení

Naměřené hodnoty v měření na transformátoru 630 kVA jsou také v daných mezích, které připouští norma ČSN EN 50160, jak je vidět z *obr. 20*.

| DOBA | | Od | Do | | |
|-----------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Doba zpracování | | 10.2.2011 13:30:00 | 18.2.2011 10:40:00 | | |
| VELIČINA | | EN 50160 | HODN.(/ Mimo mez) | | |
| Délka měření | | 1 týden | 7d 21:10:00.000 | | |
| Interval záznamu | | 10 minut | 10 min | | |
| Frekvence 99.5 % roku | | 50 Hz +1%-1% | 49,94 - 50,06 / 0% | | |
| Frekvence 100 % roku | | 50 Hz +4%-6% | 49,94 - 50,08 / 0% | | |
| Nesymetrie 95 % | | 2,0% | 0,04 - 0,43 / 0% | | |
| VELIČINA | | EN 50160 | L1 | L2 | L3 |
| Napětí 95 % | | 230V +10%-10% | 234,4 - 241,9 / 0% | 233,8 - 241,3 / 0% | 232,9 - 240,8 / 0% |
| Napětí 100 % | | 230V +10%-15% | 234,4 - 243,3 / 0% | 233,8 - 243,3 / 0% | 232,9 - 243,1 / 0% |
| Flicker Plt 95 % | | 1,0 | 0,09 - 0,47 / 0% | 0,10 - 0,51 / 0% | 0,10 - 0,49 / 0% |
| THD 95 % | | 8,0 % | 0,89 - 2,24 / 0% | 1,17 - 2,75 / 0% | 1,21 - 2,68 / 0% |

Obr. 20 Výsledky měření v síti Evobus na transformátoru T2 630 kVA před připojením kompenzačního zařízení

Z výsledku měření na transformátoru číslo T3 1000 kVA je vidět, že kvalita elektrické energie nevyhovuje z hlediska kolísání napětí, tedy šíření vjemu flickru, což je zobrazeno na obr. 21.

| DOBA | | Od | Do | | |
|-----------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Doba zpracování | | 10.2.2011 13:30:00 | 18.2.2011 10:30:00 | | |
| VELIČINA | | EN 50160 | HODN.(/ Mimo mez) | | |
| Délka měření | | 1 týden | 7d 21:00:00.000 | | |
| Interval záznamu | | 10 minut | 10 min | | |
| Frekvence 99.5 % roku | | 50 Hz +1%-1% | 49,94 - 50,06 / 0% | | |
| Frekvence 100 % roku | | 50 Hz +4%-6% | 49,94 - 50,08 / 0% | | |
| Nesymetrie 95 % | | 2,0% | 0,03 - 0,30 / 0% | | |
| VELIČINA | | EN 50160 | L1 | L2 | L3 |
| Napětí 95 % | | 230V +10%-10% | 234,3 - 241,3 / 0% | 234,3 - 241,1 / 0% | 233,7 - 240,5 / 0% |
| Napětí 100 % | | 230V +10%-15% | 234,3 - 242,8 / 0% | 234,3 - 242,9 / 0% | 233,7 - 242,4 / 0% |
| Flicker Plt 95 % | | 1,0 | 0,09 - 1,14 / 8,5% | 0,09 - 1,23 / 12,8% | 0,08 - 0,59 / 1,0% |
| THD 95 % | | 8,0 % | 1,31 - 5,56 / 0% | 1,24 - 5,59 / 0% | 1,51 - 5,62 / 0% |

Obr. 21 Výsledky měření v síti Evobus na transformátoru T3 1000 kVA před připojením kompenzačního zařízení

Podle normy ČSN EN 50160 je tato hodnota flikru příliš vysoká a měla by se řešit. Jelikož je ale tato hodnota uvnitř sítě Evobus, a ne na předávacím místě ČEZ Distribuce, kde již hodnota vjemu flikru odpovídá dle normy ČSN EN 50160, lze takto soustavu provozovat bez větších připomínek. Jelikož ale musíme snížit vjem flikru, abychom mohli uskutečnit záměr vedení firmy, tedy možnost připojení dalších svařovacích zařízení bez překročení limitů na předávacím místě, připojíme do sítě kompenzační zařízení, které nám tuto hodnotu sníží.

8 Výběr kompenzačního zařízení

Vzhledem k charakteru zátěže, což je svařovací zařízení, kde se zátěž nepravidelně a rychle mění, může být rušení víceméně náhodné. Kompenzátor eliminující tyto vlivy proto musí být velmi rychlý, v řádech jedné periody. Izraelská společnost ELSPEC vyrábí zařízení nazývané Equalizer, který omezuje výkyvy proudů, napětí a filtruje harmonické v rychle se měnící dynamické zátěži. Výhodou tohoto systému je velmi rychlá reakce Equalizeru, která je zajištěna polovodičovými spínači. Tento equalizer je firmou navrhován podle potřeb zákazníka hlavně z hlediska výkonového dimenzování.

Výběr kompenzačního zařízení probíhal ve spolupráci s firmou KC ELEKTRO, s.r.o. a firmou Blue Panter, která je dodavatelem výrobků firmy ELSPEC do České republiky. Firmě EVOBUS bylo navrženo řešení kompenzace zpětných vlivů svařovacích kleští pomocí dynamické kompenzace ELSPEC. Tato kompenzace může být provedena jako centrální nebo individuální u každého stroje. Řešení centrální dynamické kompenzace zajistí útlum zpětných vlivů na NN straně transformátorů a následně snížení kolísání na předávacím místě na napěťové úrovni 22 kV. Zároveň udržuje skutečný účinník PF v požadovaných mezích. Dynamická kompenzace individuální zajistí útlum zpětných vlivů u daného zařízení, ale na předávacím místě musí být zajištěno povolené pásmo PF. To by znamenalo další investiční náklady. V našem případě se po konzultaci problematiky provozovatel rozhodl pro centrální dynamickou kompenzaci pro každý napájecí transformátor zvlášť. Firma ELSPEC požadovala podklady o síti ve firmě EVOBUS a na jejích základech sama navrhla typ dynamické kompenzace, který je pro daný transformátor vhodný.

Dovozcem Blue Panther byly dodány dvě jednotky kompenzačního zařízení firmy ELSPEC, jednu kompenzační jednotku typ EQ225 pro transformátor 630 kVA a jednu kompenzační jednotku typ EQ672 pro transformátor 1000 kVA. Tyto kompenzační zařízení se připojí do stávajícího rozvodu do místa transformovny (místo připojení transformátorů).

8.1 Popis kompenzačních zařízení

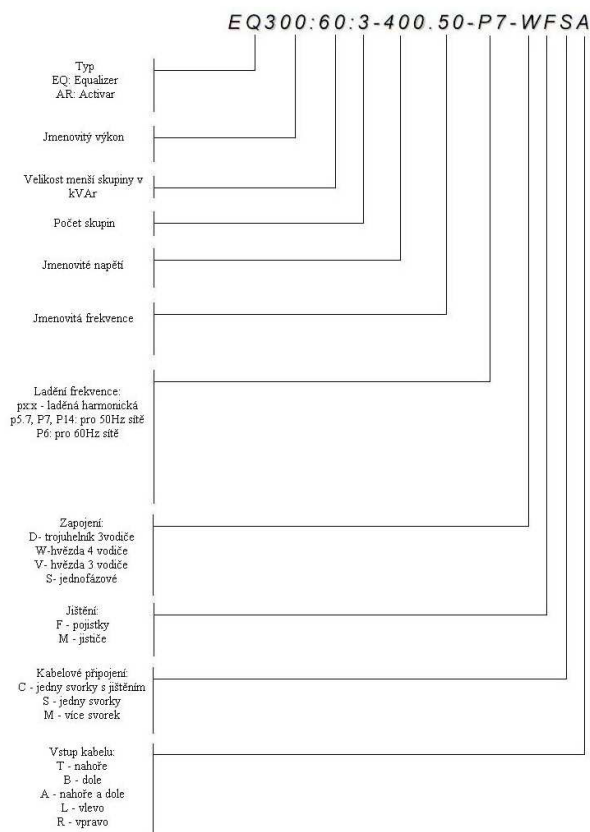
Dynamická kompenzace s označením Equalizer patří mezi výrobky Izraelské společnosti ELSPEC, která se zabývá výrobou přístrojů pro měření a řešení problémů s kvalitou elektrické energie. Mezi dodávanými výrobky najdeme i přenosné analyzátoři, kompenzátoři jalové energie a filtry.

Řídící jednotkou dynamické kompenzace je analyzátoři, který sleduje průběhy odebíraného proudu a napětí. To, že je kompenzace velice rychlá dokazuje fakt, že v případě výkyvu je equalizer schopen reagovat ve dvou třetinách jedné periody.

Výhody Equalizeru:

- Velmi rychlé spínání pomocí polovodičových prvků
- Filtruje harmonické
- Přesně kontroluje účinník
- Má vestavěný analyzátoři sítě, který měří všechny parametry kvality elektrické energie
- Kompenzuje jalový výkon
- Zabraňuje poklesu napětí a flikru
- Používá se v aplikacích, kde je proměnná zátěž v čase, jako je bodové sváření nebo spouštění motorů atd.

Na *obr. 22.* můžeme vidět označení kompenzačního zařízení a co jednotlivé značky znamenají.



Obr. 22 Značení typů Equalizérů firmy ELSPEC

Specifikace

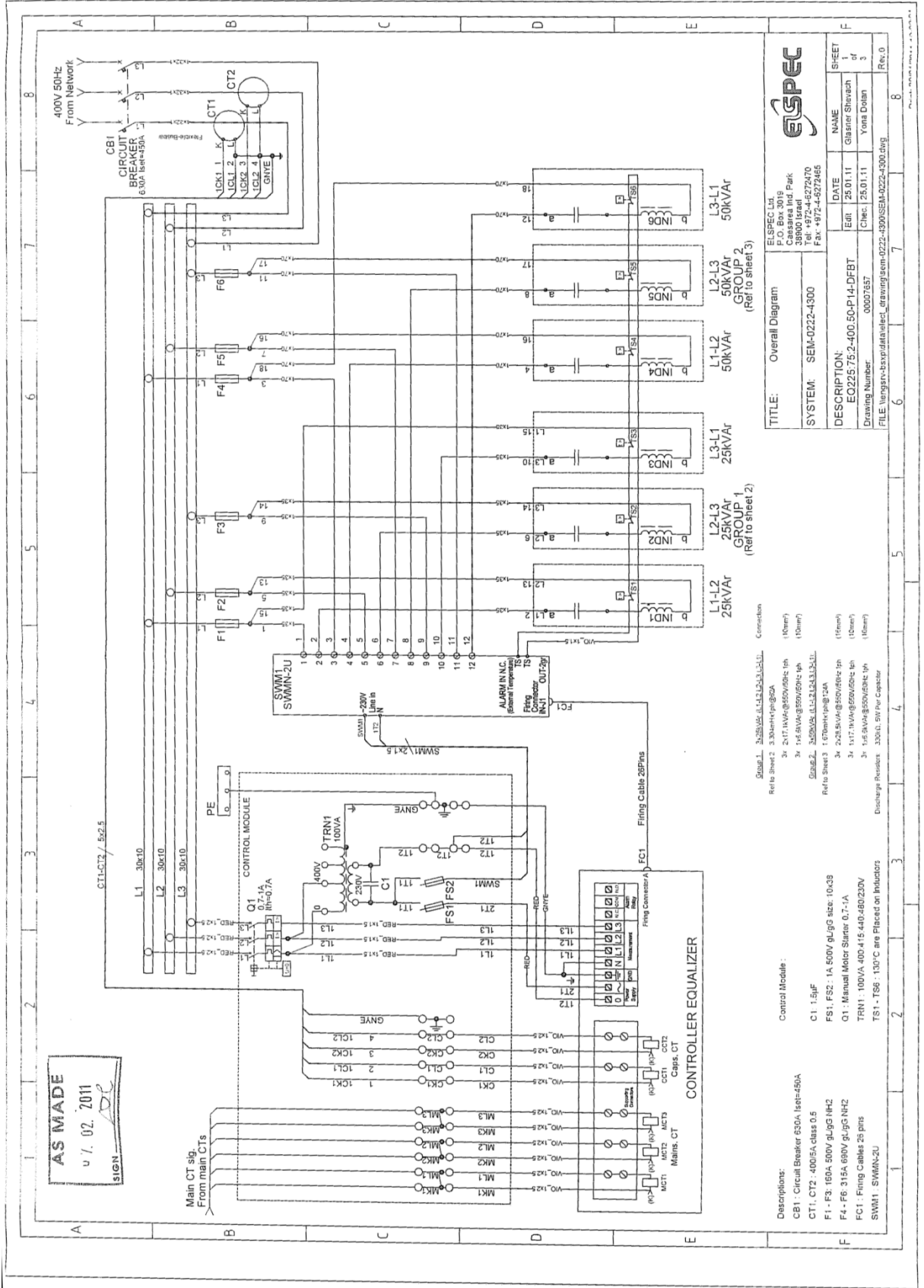
Skříň je vyrobena z ocelového plechu s epoxidovou ochrannou vrstvou šedé barvy. Toto zařízení pracuje na jmenovitém napětí 400V/50Hz a 480V/60Hz, jiné hodnoty napětí jsou možné pouze na zakázku. Kompenzační zařízení používá samoregenerační nízkoztrátové kondenzátory ve válcovém hliníkovém pouzdře. Tyto kondenzátory jsou konstruovány na napětí 440V+10% pro jmenovité napětí 400 V. Připojování kondenzátorů probíhá při průchodu proudu nulou a tím nedochází k přechodovým jevům při spínání. Statistická doba života je přes 10 let. Ekvalizér obsahuje přesně navržené tlumivky v sérii s kondenzátory. Tyto tlumivky jsou konstruovány s nízkými hysterezními ztrátami. Slouží zde k omezení nárazového zapínacího proudu.

Třída IP krytí je typicky IP 20, jiné krytí je možné pouze na objednávku. Zařízení odpovídá normám EMC (Elektromagnetická kompatibilita) EN 50081-2, EN 50082-2, EN 55011, EN 61000-4-2/3/4/5, ENV50204, ENV 50141 a odpovídá z hlediska bezpečnosti normám EN 61010-1, EN 50439-1, UL508.

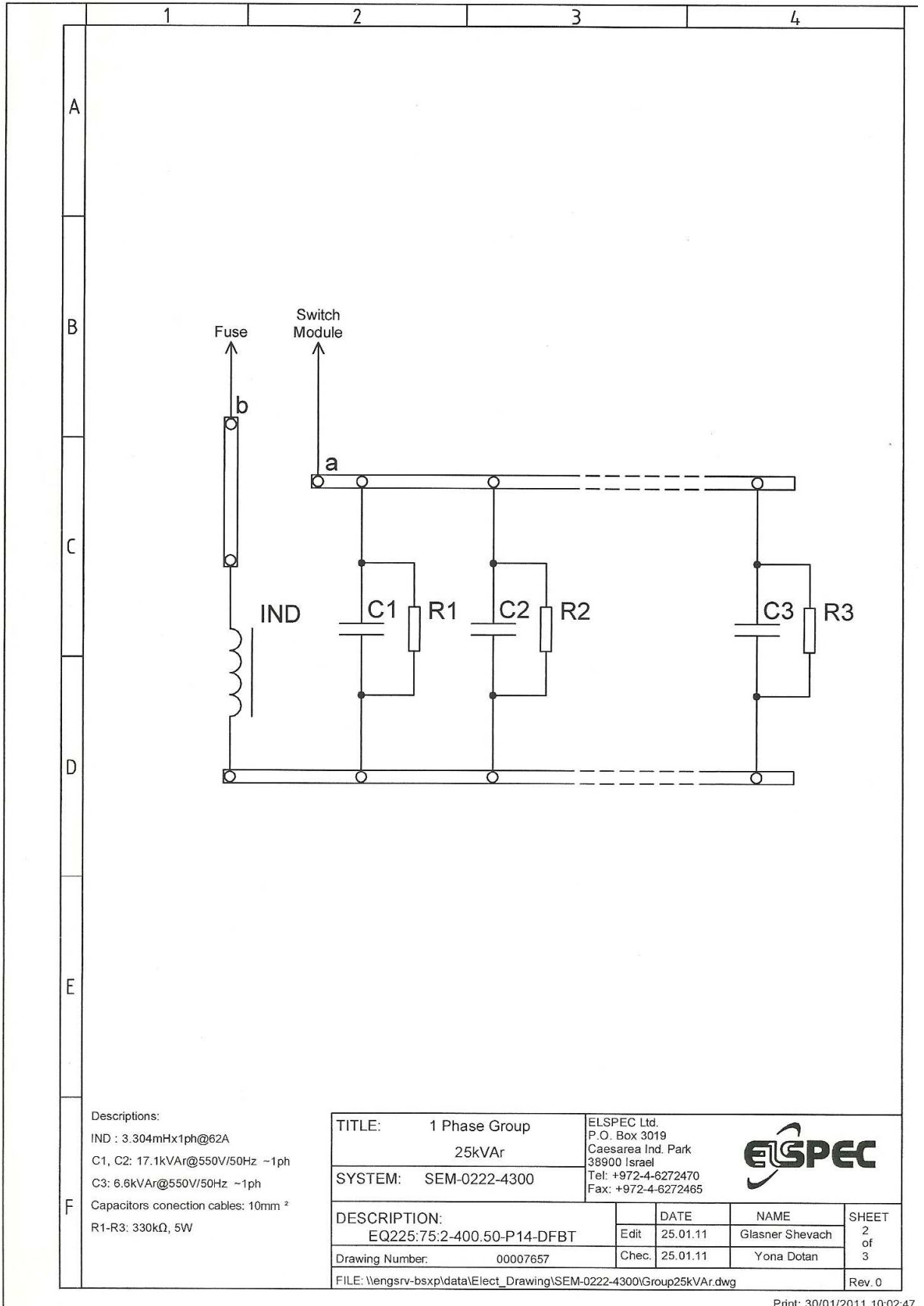
Zařízení lze využívat i se softwarem POWER IQ systém pro měření a analýzu dat při připojení počítače. Tento software zobrazuje stav systému a také výsledky měření na obrazovce zařízení nebo na obrazovce počítače, tento software běží pod Windows. Software může být nastaven pro záznam dat na základě vybraných parametrů sítě. Doba trvání záznamu je omezena pouze na velikosti pevného disku počítače.

8.1.1 Kompenzační zařízení EQ225

Toto kompenzační zařízení je tedy připojeno na transformátor 630 kVA. Plný popis kompenzačního zařízení EQ225 je EQ225:75:2-400.50-P14-DFBT. Což znamená, že toto zařízení má výkon 225 kVAr ve dvou stupních, kde jeden stupeň je 3x 25 kVAr a druhý stupeň je 3x 50 kVAr. Jednotlivé stupně (případně skupiny) jsou zapojeny třífázově do trojúhelníku. Celý kompenzátor je jištěn jističem hodnoty 630 A, jednotlivé 2 skupiny jsou jištěny pojistkami a to: skupina 1 (25 kVAr) pojistkami 160 A a skupina 2 (50 kVAr) pojistkami 315 A. Celkové schéma Equalizéru EQ 225 lze vidět na *obr. 23*. Na *obr. 24* můžeme vidět jednofázové zapojení a hodnoty jednotlivých prvků stupně 25 kVAr. Stupeň 50 kVAr má podobné zapojení, jen obsahuje více kondenzátorů.



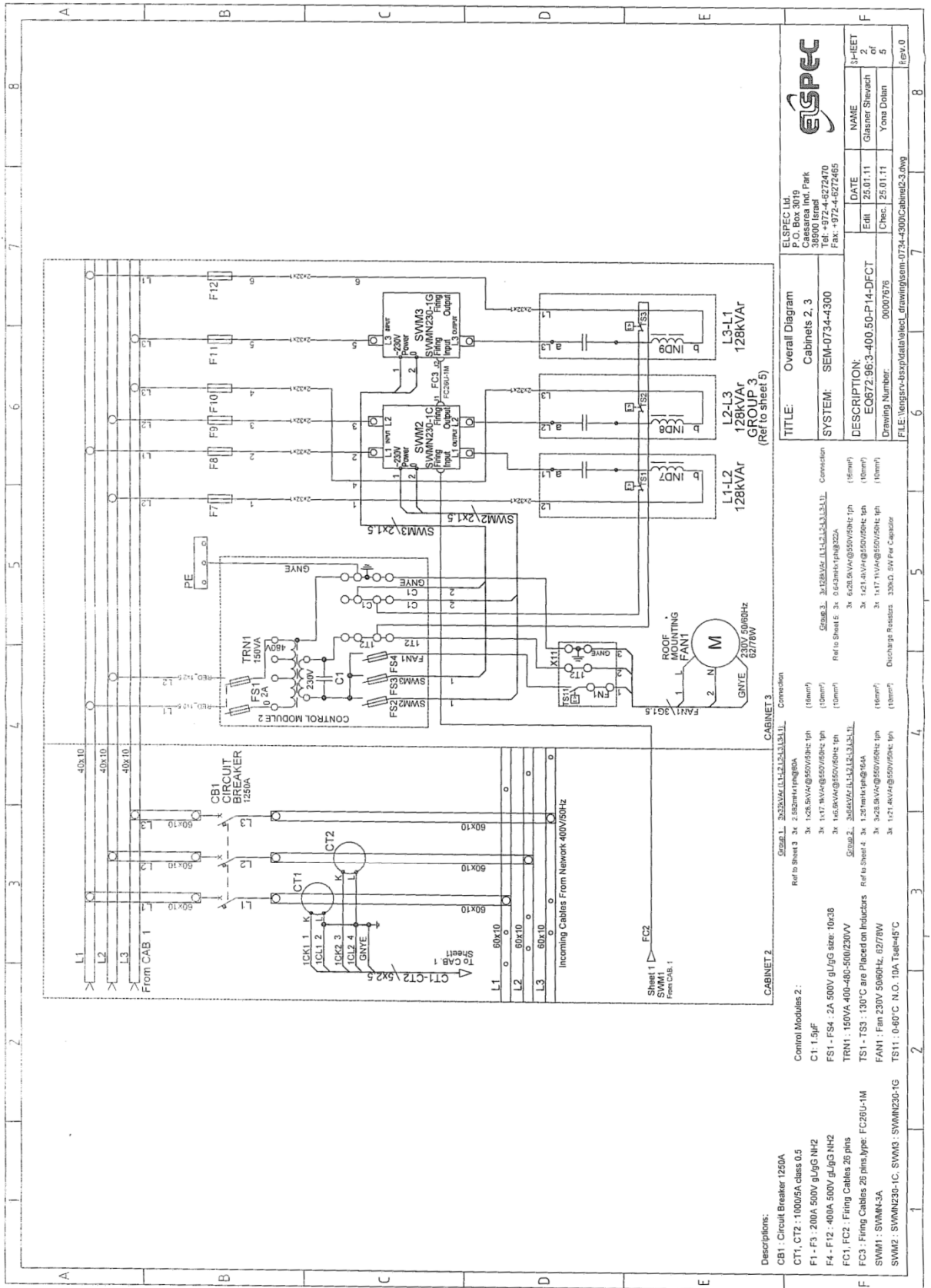
Obr. 23 Celkové schéma kompenzačního zařízení Equalizer EQ225



Obr. 24 Jednofázové zapojení stupně 25 kVAr

8.1.2 Kompenzační zařízení EQ672

Kompenzační zařízení EQ672 je připojeno k transformátoru T3 1000 kVA a celý popis jeho typu je EQ672:96:3-400.50-P14-DFCT. Toto kompenzační zařízení má výkon 672 kVAr a má rozdělený výkon do tří stupňů (skupin). První stupeň 3x 32 kVAr, druhý stupeň 3x 64 kVAr a poslední stupeň 3x 128 kVAr. Jednotlivé stupně jsou zapojeny třífázově do trojúhelníku. Celé zařízení je jištěno jističem 1250 A a jednotlivé stupně jsou jištěny pojistkami, kde první stupeň (32 kVAr) má pojistky 200 A a další dva stupně (64 a 128 kVAr) má pojistky 400 A. Celkové schéma Equalizéru EQ672 je zobrazeno na *obr. 25* a na *obr. 26*. Jednotlivé stupně jsou zapojeny obdobně jako u EQ225 s rozdílnými počty kondenzátorů a jejich hodnotami.



Obr. 26 Celkové schéma kompenzačního zařízení EQ672 2/2

8.2 Instalace kompenzačních zařízení

Montáž kompenzačního zařízení včetně výchozí revize provedla firma KC ELEKTRO, s.r.o. ve spolupráci s firmou Elektroinstalace Petr Paum. Montáž byla provedena ve dnech 14. 3. – 16. 3. 2011. Parametrizace dynamické kompenzace byla provedena ve dnech 16. 3. 2011 dodavatelem Blue Panther, s.r.o. Montáž byla provedena dle montážních popisů firmy ELSPEC.

9 Měření kvality elektrické energie v síti EVOBUS Holýšov a v předávacím místě ČEZ Distribuce a.s. po instalaci kompenzačního zařízení

Měření bylo provedeno ve spolupráci s firmou KC ELEKTRO, s.r.o. a s firmou ČEZ Distribuce, a.s. Měření bylo provedeno ve dnech 16. 3. 2011 – 25. 3. 2011 v síti EVOBUS Holýšov na straně nn u transformátorů, které napájí svařovací technologie, tedy na transformátorech T3 1000 kVA (označené v protokolu jako měření Evobus Holýšov T1000 po příp.) a na T2 630 kVA (označené v protokolu jako měření Evobus Holýšov T 630kVA po příp.). V ten samý čas bylo měřeno na 22 kV lince na předávacím místě ČEZ Distribuce a.s. (označené v protokolu jako měření Evobus Holýšov, po příp.).

9.1 Naměřené výsledky kvality elektrické energie před instalací kompenzačního zařízení v předávacím místě ČEZ Distribuce a.s.

Z naměřených výsledků z měřicího přístroje je vidět, že kvalita elektrické energie v předávacím místě ČEZ Distribuce vyhovuje ve všech sledovaných parametrech podle normy ČSN EN 50160, jak je uvedeno na *obr. 27*.

| MEGA MĚŘICÍ ENERGETICKE APARÁTY | | PROTOKOL DLE EN 50160 | | | PQ MEg 31 |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|--|-----------|
| Název : | Holýšov, Evobus, po příp. komp. | V.č.: | Měření č.: 1 | | Měřil : |
| Soubor : | D:\...bus, po příp. komp..PQ1 | Měřeno : | Od 16.3.2011 do 25.3.2011 | | Firma: |
| Poznámka : | kvalita | | | | |

| DOBA | Od | Do |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| Doba zpracování | 16.3.2011 16:00:00 | 25.3.2011 13:40:00 |

| VELIČINA | EN 50160 | HODN.(/ Mimo mez) |
|-----------------------|--------------|--------------------|
| Délka měření | 1 týden | 8d 21:40:00.000 |
| Interval záznamu | 10 minut | 10 min |
| Frekvence 99.5 % roku | 50 Hz +1%-1% | 49,94 - 50,06 / 0% |
| Frekvence 100 % roku | 50 Hz +4%-6% | 49,94 - 50,08 / 0% |
| Nesymetrie 95 % | 2,0% | 0,45 - 0,71 / 0% |

| VELIČINA | EN 50160 | L1 | L2 | L3 |
|------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| Napětí 95 % | 22 kV 10%-10% | 22,5 - 23,1 / 0% | 22,5 - 23,1 / 0% | 22,7 - 23,3 / 0% |
| Flicker Plt 95 % | 1,0 | 0,04 - 0,13 / 0% | 0,06 - 0,11 / 0% | 0,05 - 0,13 / 0% |
| THD 95 % | 8,0 % | 0,83 - 1,77 / 0% | 0,93 - 2,04 / 0% | 0,84 - 1,81 / 0% |

Obr. 27 Výsledky měření na předávacím místě ČEZ Distribuce po připojení kompenzačního zařízení

Naměřené hodnoty v měření na transformátoru 630 kVA jsou také v daných mezích, které připouští norma ČSN EN 50160 jak je vidět z *obr. 28*.

| MEGA MĚŘICÍ ENERGETICKE APARÁTY | | PROTOKOL DLE EN 50160 | | | PQ MEg 30 |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--|-----------|
| Název : | Evobus Holýšov T 630kVA po při | V.č.: | Měření č.: 2 | | Měřil : |
| Soubor : | D:\...630kVA po příp komp.PQ1 | Měřeno : | Od 16.3.2011 do 25.3.2011 | | Firma: |
| Poznámka : | kvalita | | | | |

| DOBA | Od | Do |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| Doba zpracování | 16.3.2011 16:30:00 | 25.3.2011 14:00:00 |

| VELIČINA | EN 50160 | HODN.(/ Mimo mez) |
|-----------------------|--------------|--------------------|
| Délka měření | 1 týden | 8d 21:00:00.000 |
| Interval záznamu | 10 minut | 10 min |
| Frekvence 99.5 % roku | 50 Hz +1%-1% | 49,94 - 50,06 / 0% |
| Frekvence 100 % roku | 50 Hz +4%-6% | 49,94 - 50,08 / 0% |
| Nesymetrie 95 % | 2,0% | 0,06 - 0,47 / 0% |

| VELIČINA | EN 50160 | L1 | L2 | L3 |
|------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Napětí 95 % | 230V +10%-10% | 231,8 - 242,5 / 0% | 231,9 - 242,9 / 0% | 231,0 - 241,7 / 0% |
| Napětí 100 % | 230V +10%-15% | 231,8 - 243,9 / 0% | 231,9 - 244,3 / 0% | 231,0 - 243,1 / 0% |
| Flicker Plt 95 % | 1,0 | 0,09 - 0,61 / 0,1% | 0,10 - 0,64 / 0,1% | 0,09 - 0,65 / 0,1% |
| THD 95 % | 8,0 % | 0,68 - 2,32 / 0% | 0,87 - 2,52 / 0% | 0,87 - 2,82 / 0% |

Obr. 28 Výsledky měření v síti Evobus na transformátoru T2 630 kVA po připojení kompenzačního zařízení

Z výsledku měření na transformátoru číslo T3 1000 kVA je vidět, že kvalita elektrické energie nevyhovuje z hlediska kolísání napětí tedy šíření vjemu flikru, což je zobrazeno na *obr. 29*. Nicméně je zde patrné snížení vjemu flikru oproti měření před instalací – podrobněji ve vyhodnocení.

| DOBA | | Od | Do | | |
|-----------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Doba zpracování | | 16.3.2011 16:10:00 | 25.3.2011 13:50:00 | | |
| VELIČINA | | EN 50160 | HODN.(/ Mimo mez) | | |
| Délka měření | | 1 týden | 8d 20:40:00.000 | | |
| Interval záznamu | | 10 minut | 10 min | | |
| Frekvence 99.5 % roku | | 50 Hz +1%-1% | 49,94 - 50,06 / 0% | | |
| Frekvence 100 % roku | | 50 Hz +4%-6% | 49,94 - 50,08 / 0% | | |
| Nesymetrie 95 % | | 2,0% | 0,03 - 0,28 / 0% | | |
| VELIČINA | | EN 50160 | L1 | L2 | L3 |
| Napětí 95 % | | 230V +10%-10% | 231,7 - 241,4 / 0% | 232,1 - 241,5 / 0% | 232,2 - 240,9 / 0% |
| Napětí 100 % | | 230V +10%-15% | 231,7 - 242,8 / 0% | 232,1 - 243,0 / 0% | 232,1 - 242,4 / 0% |
| Flicker Plt 95 % | | 1,0 | 0,09 - 1,11 / 8,2% | 0,09 - 1,21 / 11,5% | 0,09 - 0,60 / 1,0% |

Obr. 29 Výsledky měření v síti Evobus na transformátoru T3 1000 kVA po připojení kompenzačního zařízení

10 Vyhodnocení naměřených hodnot před a po instalaci kompenzačního zařízení

Vyhodnocování výsledků jsem prováděl tak, že jsem si jednotlivé průběhy zobrazil v detailu průběhu veličiny v jednom dni. Měřítka bylo většinou automatické, ale na každém detailu je časový krok 30 minut. Zobrazil jsem si detail průběhu před a po instalaci kompenzátoru a ve stejný čas jsem porovnal jednotlivé hodnoty pozorovaných veličin. Z těchto hodnot jsem dostal rozdíl hodnot veličin, se kterými lze pracovat (max., min., průměr atd.).

Z hlediska měření na předávacím místě a transformátoru T630 kVA není z průběhů vidět žádné zřetelné zlepšení. Na transformátoru T630 je to způsobeno tím, že na něj není připojeno tolik svářecích zařízení jako na T1000. Kromě toho na T 630 a v předávacím místě ČEZ distribuce byly sledované hodnoty (tedy i Plt) v normě již před instalací kompenzačního zařízení. Funkčnost kompenzačního zařízení je vidět na charakteristikách z transformátoru T1000. Při měření dlouhodobého vjemu flikru Plt z průběhů vyšlo, že po kompenzaci dlouhodobý flikr klesl průměrně o 0,2. Maximum bylo 0,54 a minimum bylo zhoršení v jedné fázi o 0,2. Pro ukázkou je zde uveden detail průběhu se zdůrazněním hodnot ve 3 časech. Detail Plt je zobrazen na *obr. 30 a na obr. 31*. Při vyhodnocování krátkodobého vjemu flikru Pst jsem postupoval stejným způsobem jako u Plt. Z charakteristik vyšlo, že po kompenzaci klesl krátkodobý vjem flikru průměrně o 0,57. Maximální pokles bylo 1,71 a minimum bylo zvýšení o 0,26. Detail Pst je zobrazen na *obr. 32 a obr 33*.

Jestliže se podíváme na grafy power faktoru je vidět, že PF (nejen na T1000, ale na všech měřicích místech) po instalaci kompenzačního zařízení nemá takové výkyvy jako před kompenzací a drží se v pásmu povoleným distributorem tj. 0,95 až 1 induktivní. Názorně je to zobrazeno na *obr. 34 až obr. 37*. Kompenzace harmonických je hluboko pod dovolenou mezí 8%. Díky kompenzaci se THD u T630 snížilo průměrně o 0,3% a u T1000 se THD průměrně snížilo o 1,2%.

Dále jsou uvedeny průběhy veličin:

Obr. 38 Průběhy Plt před instalací kompenzátoru

Obr. 39 Průběhy Plt po instalaci kompenzátoru

Obr. 40 Průběhy Pst před instalací kompenzátoru

Obr. 41 Průběhy Pst po instalaci kompenzátoru

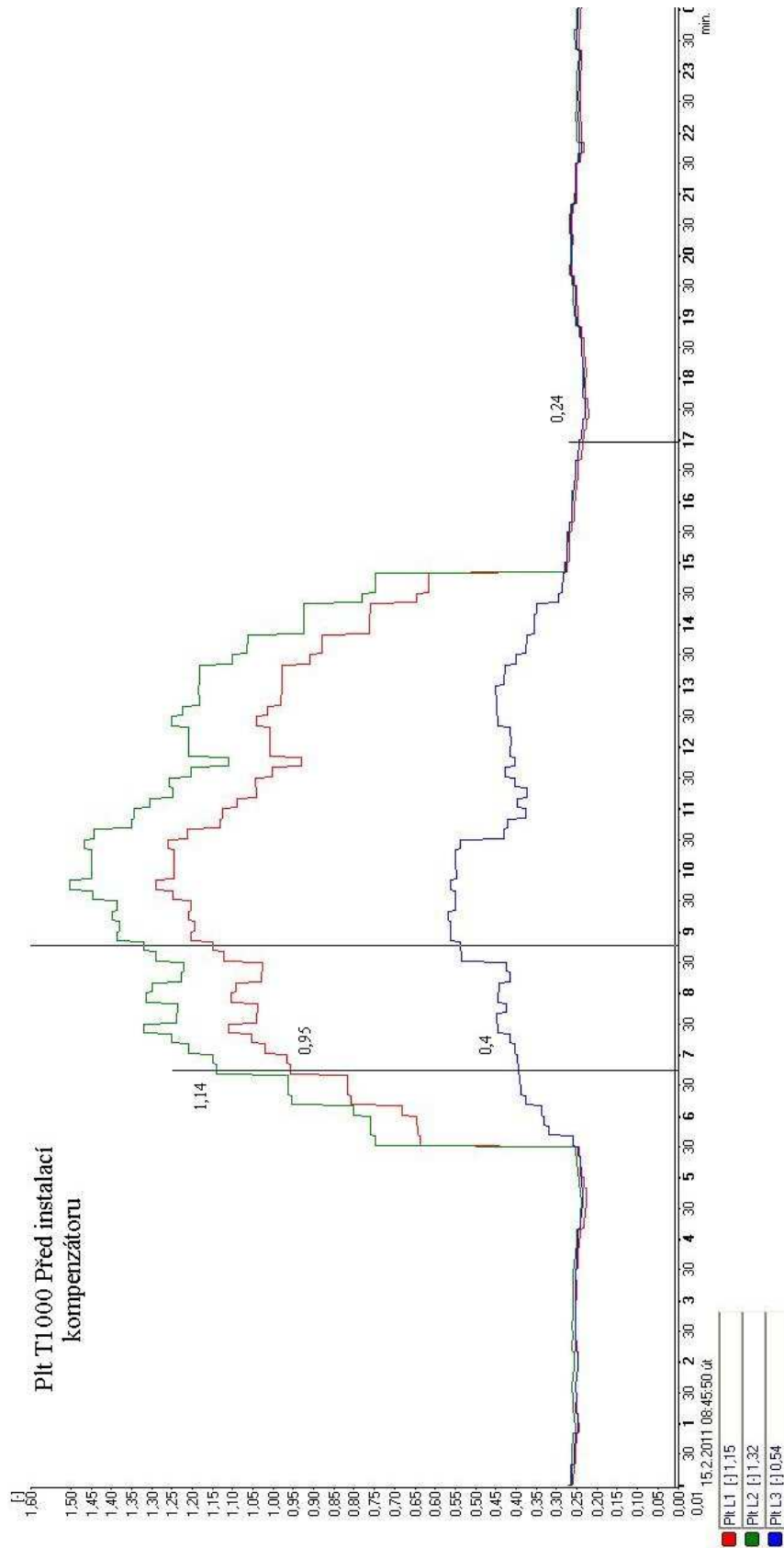
Obr. 42 Průběhy U, I, Q na předávacím místě před instalací kompenzátoru

Obr. 43 Průběhy U, P, Q na předávacím místě po instalaci kompenzátoru

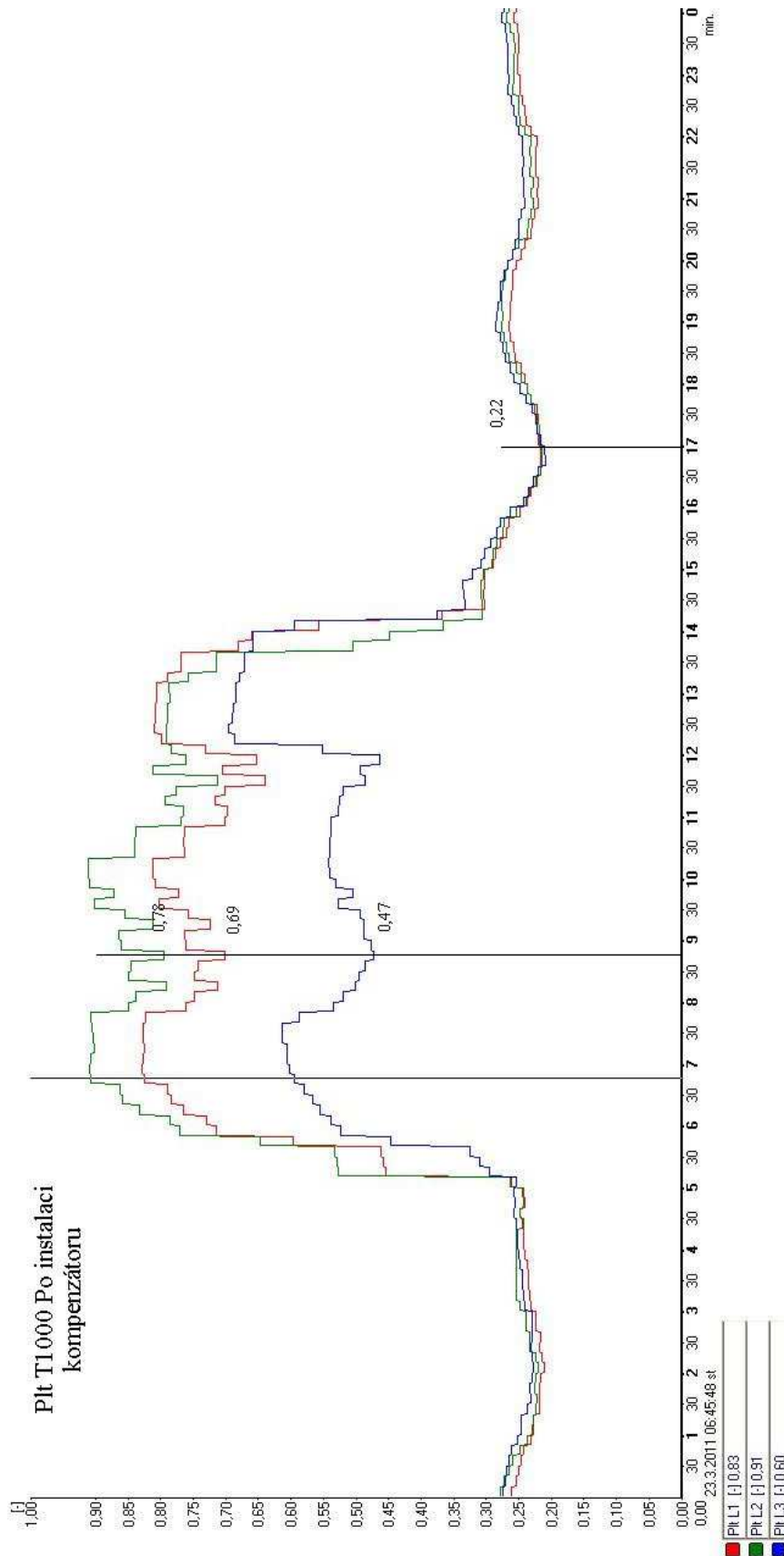
Obr. 44 Průběhy U, I, Q na T1000 před instalací kompenzátoru

Obr. 45 Průběhy U, I, Q na T1000 po instalaci kompenzátoru

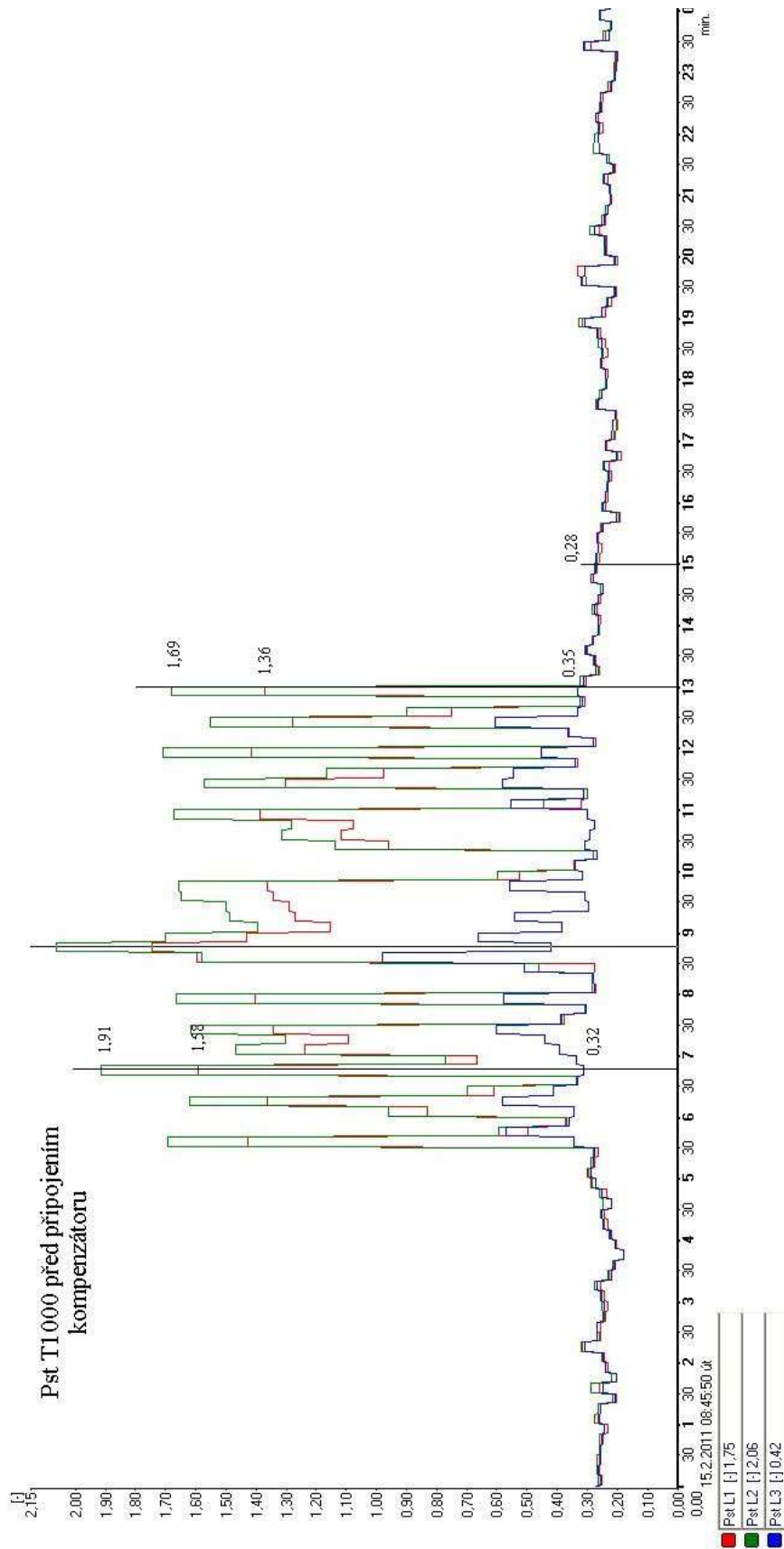
10.1 Naměřené charakteristiky



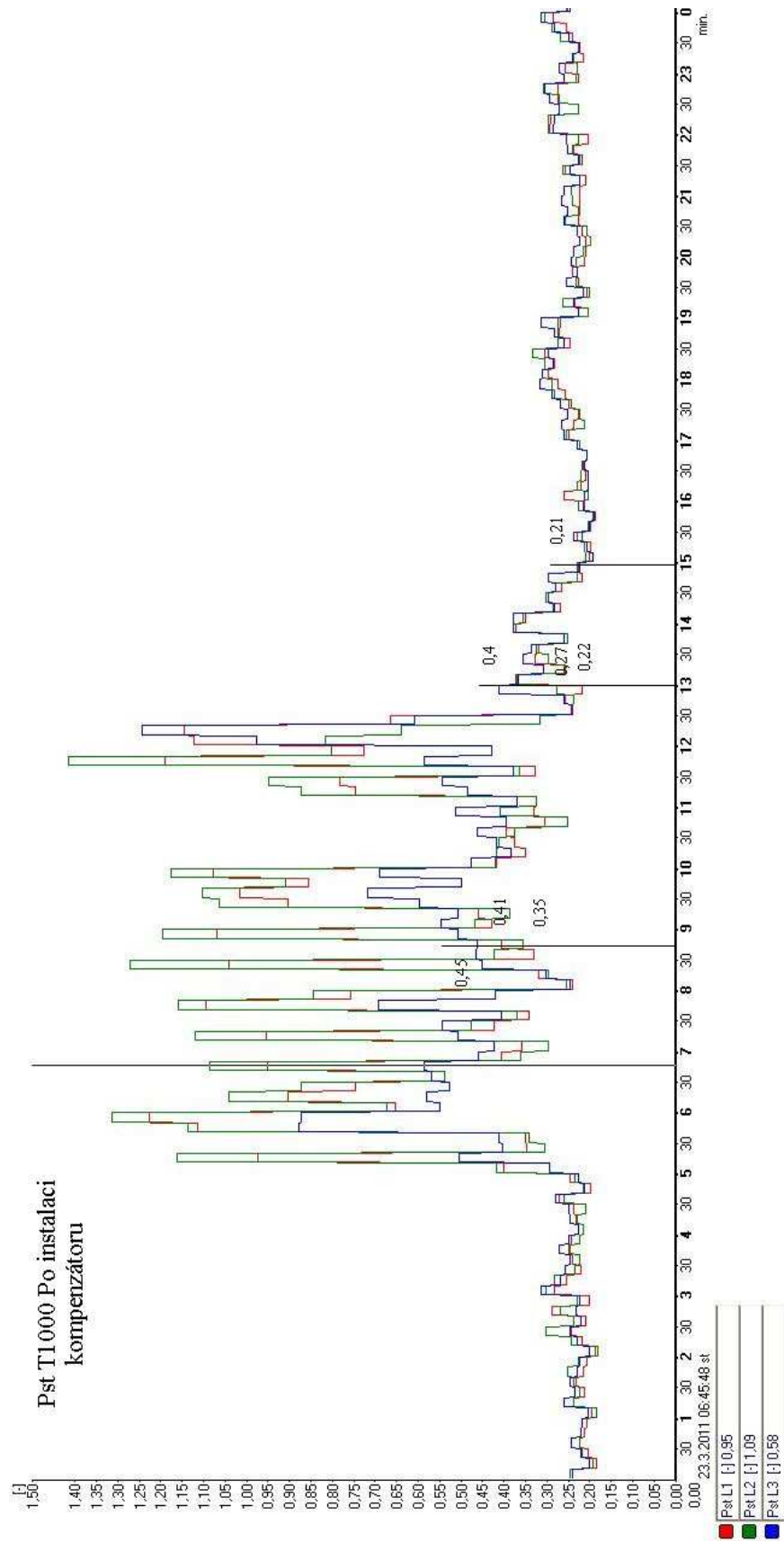
Obr. 30 Detail Plt na T1000 před instalací kompenzátoru



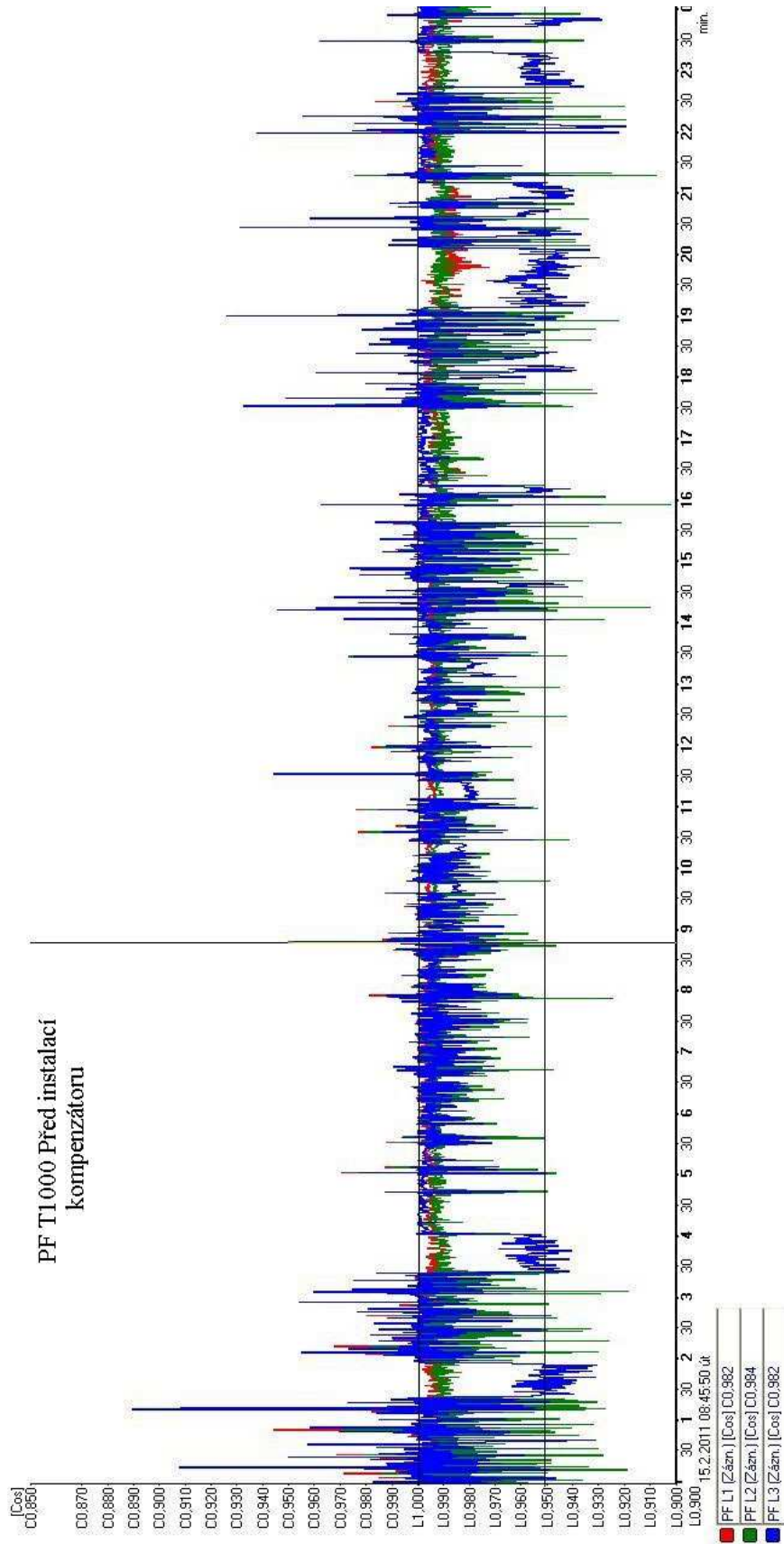
Obr. 31 Detail Pt na T1000 po instalaci kompenzátoru



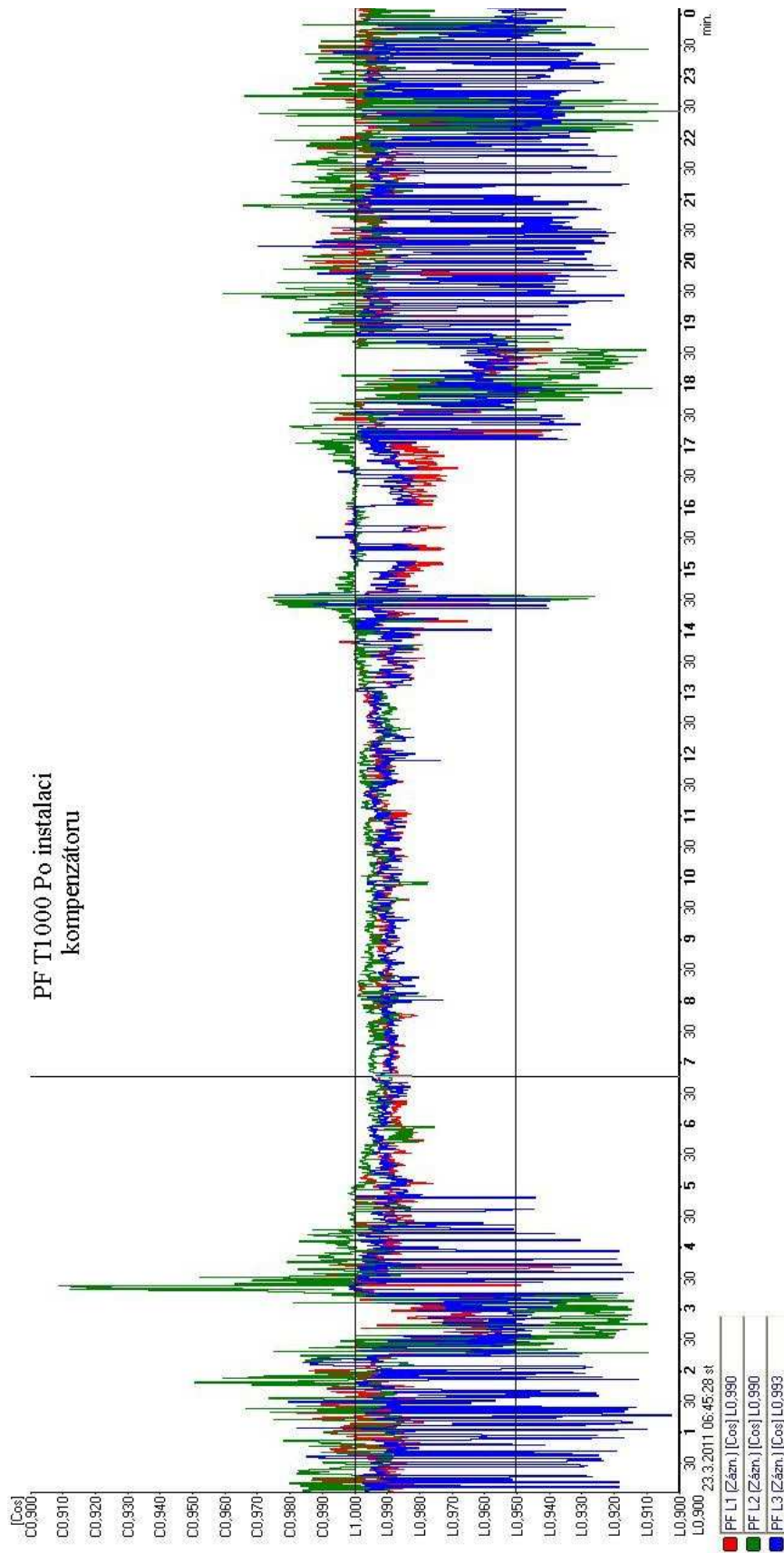
Obr. 32 Detail Pst na T1000 před instalací kompenzátoru



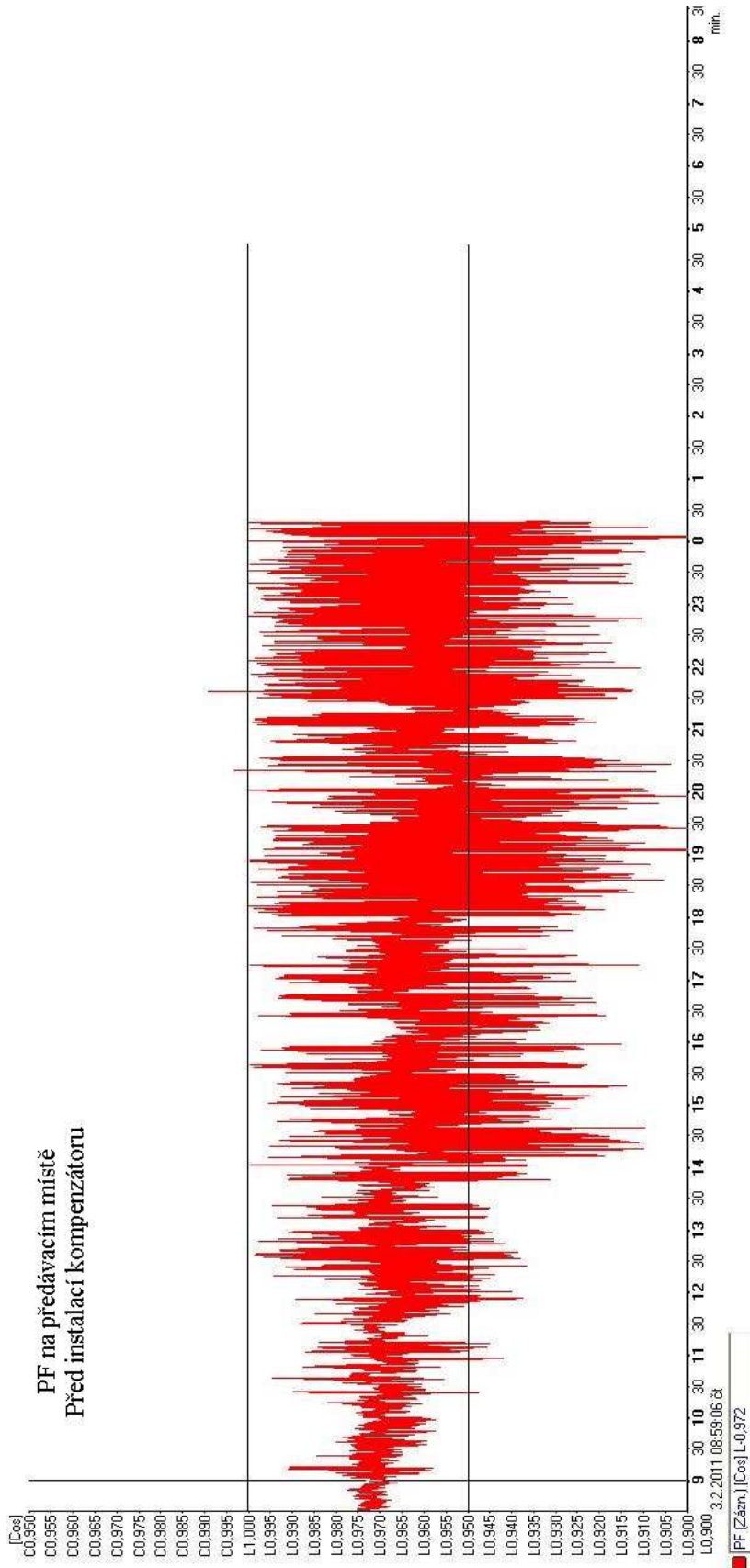
Obr. 33 Detail Pst na T1000 po instalaci kompenzátoru



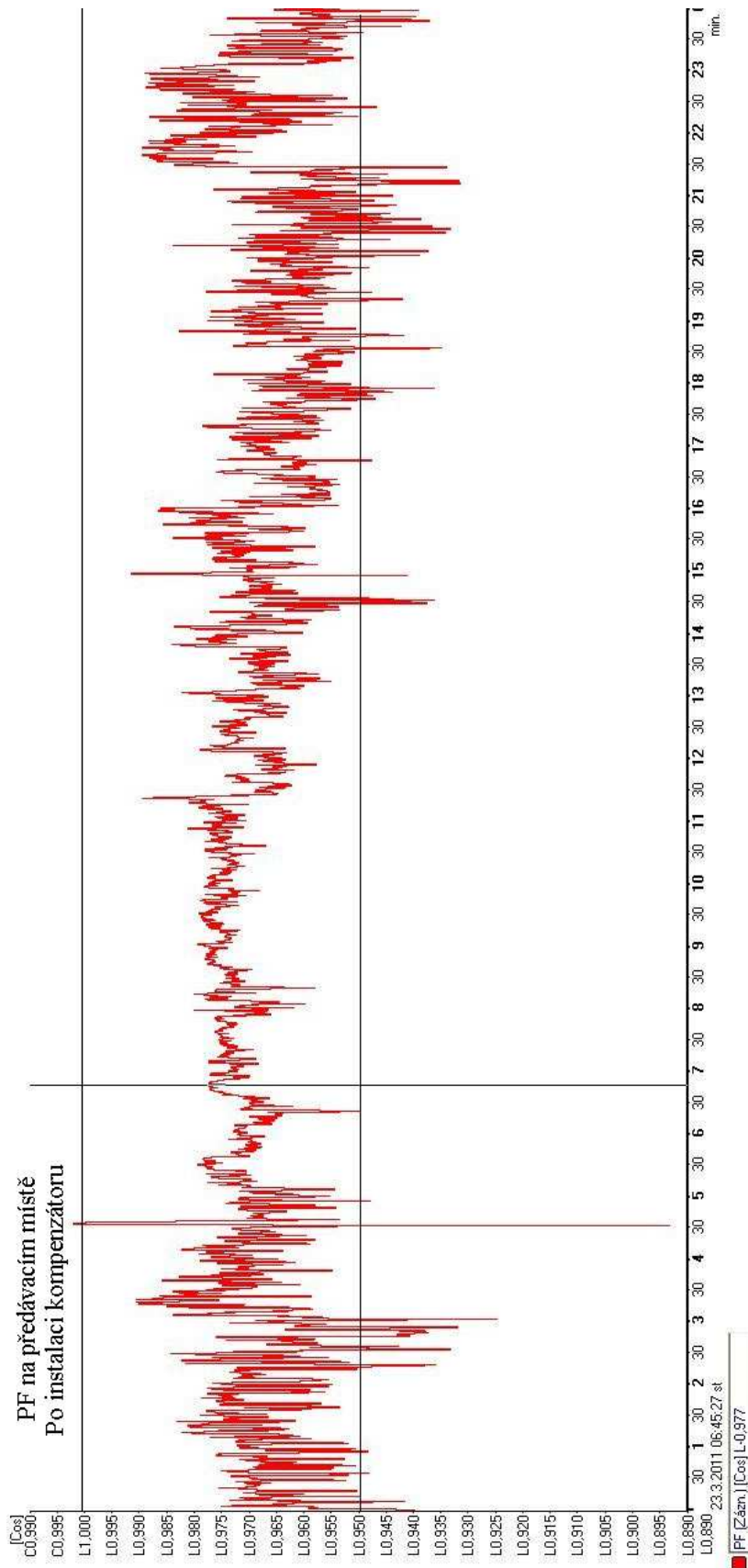
Obr. 34 Detail PF na T1000 před instalací kompenzátoru



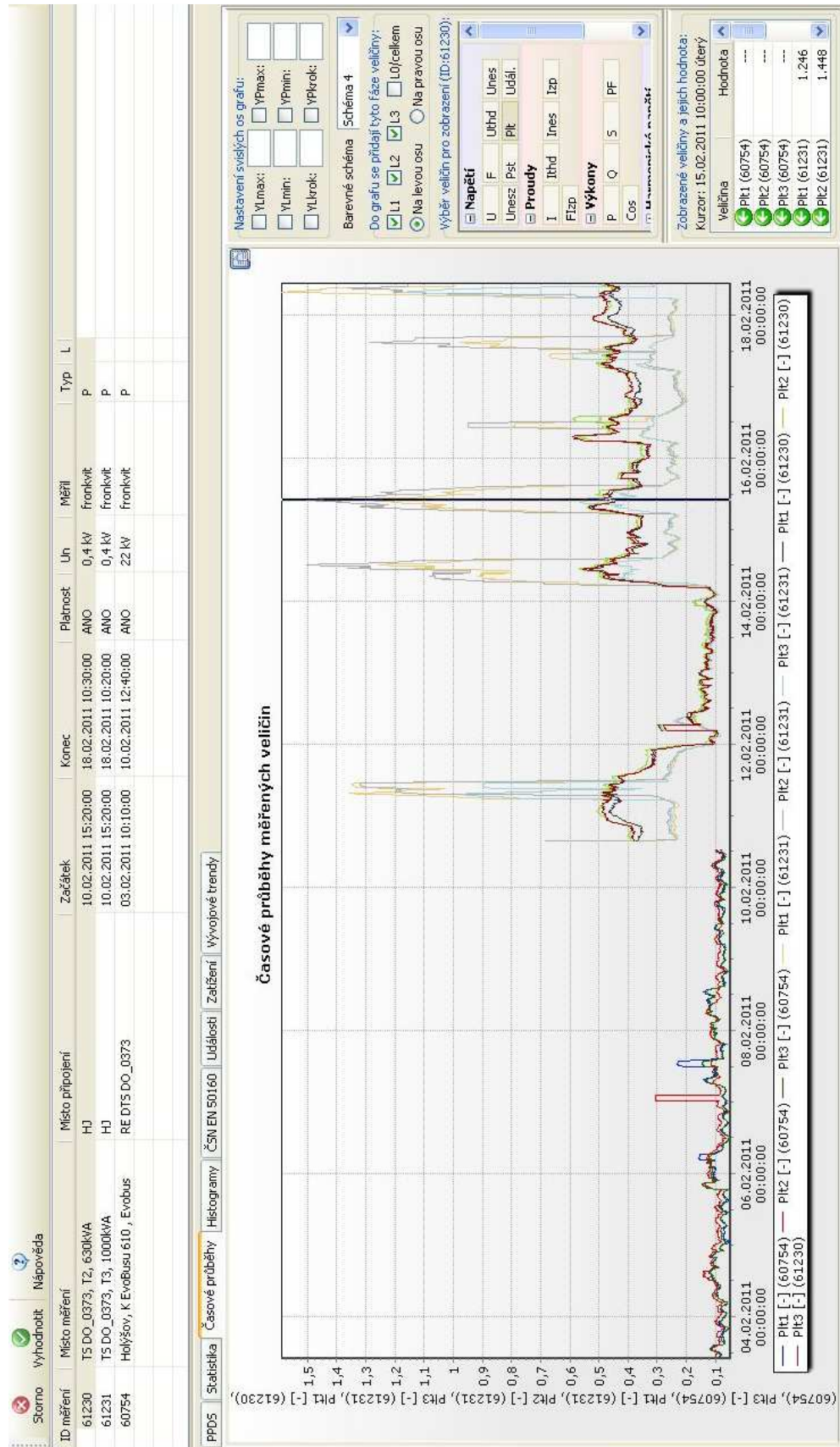
Obr. 35 Detail PF na T1000 po instalaci kompenzátoru



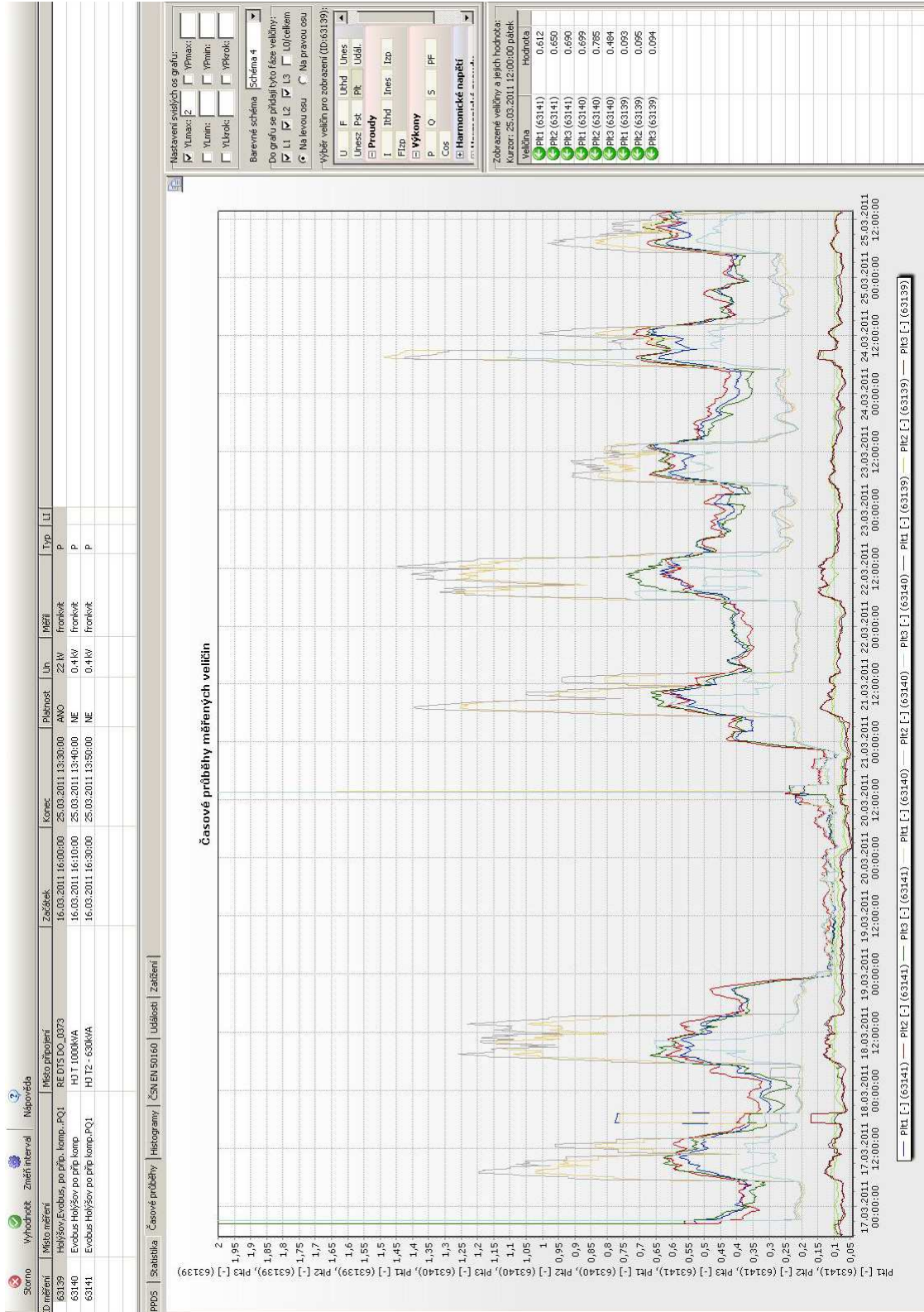
Obr. 36 Detail PF na předávacím místě před instalací kompenzátoru



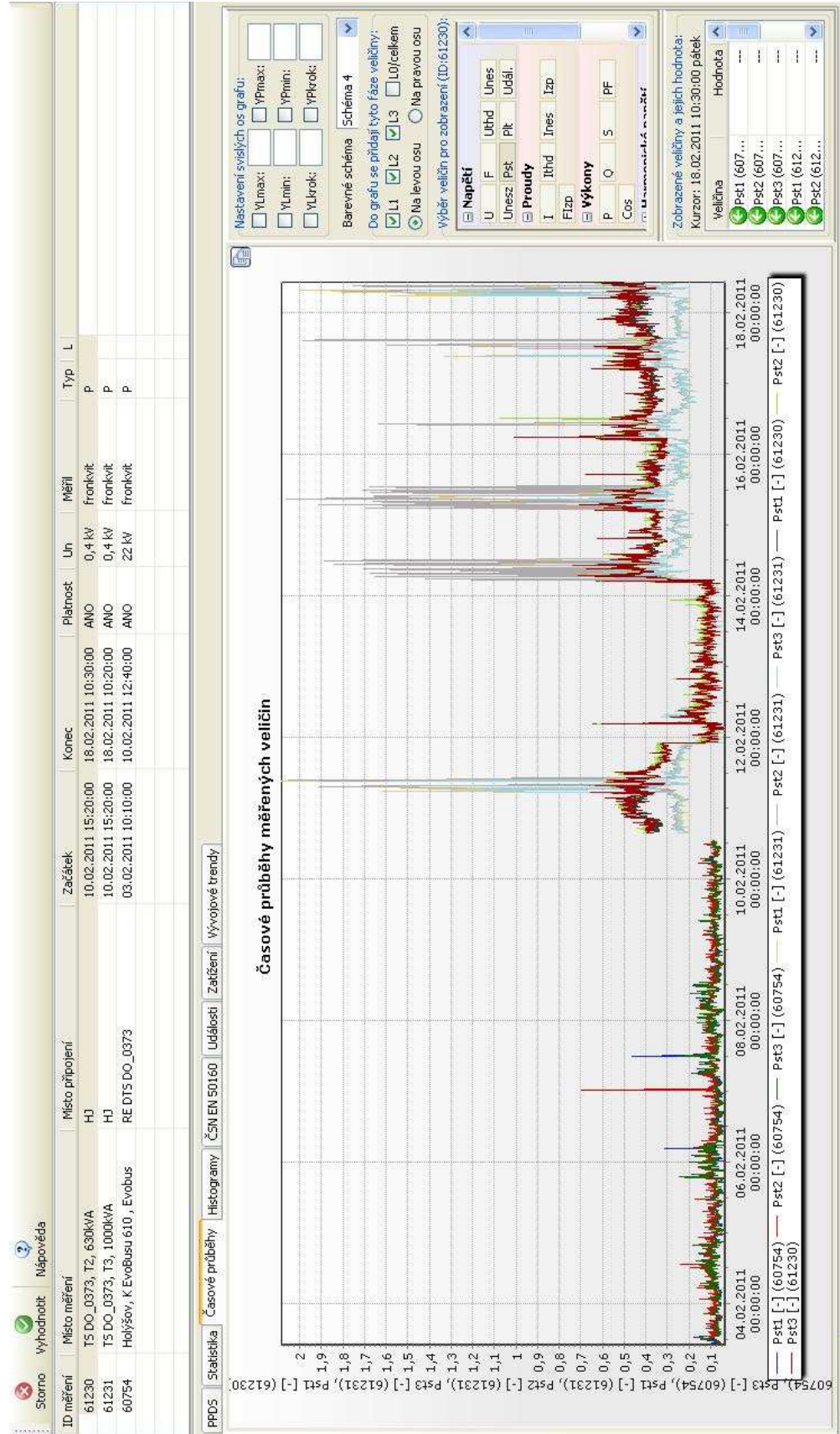
Obr. 37 Detail PF na předávacím místě po instalaci kompenzátoru



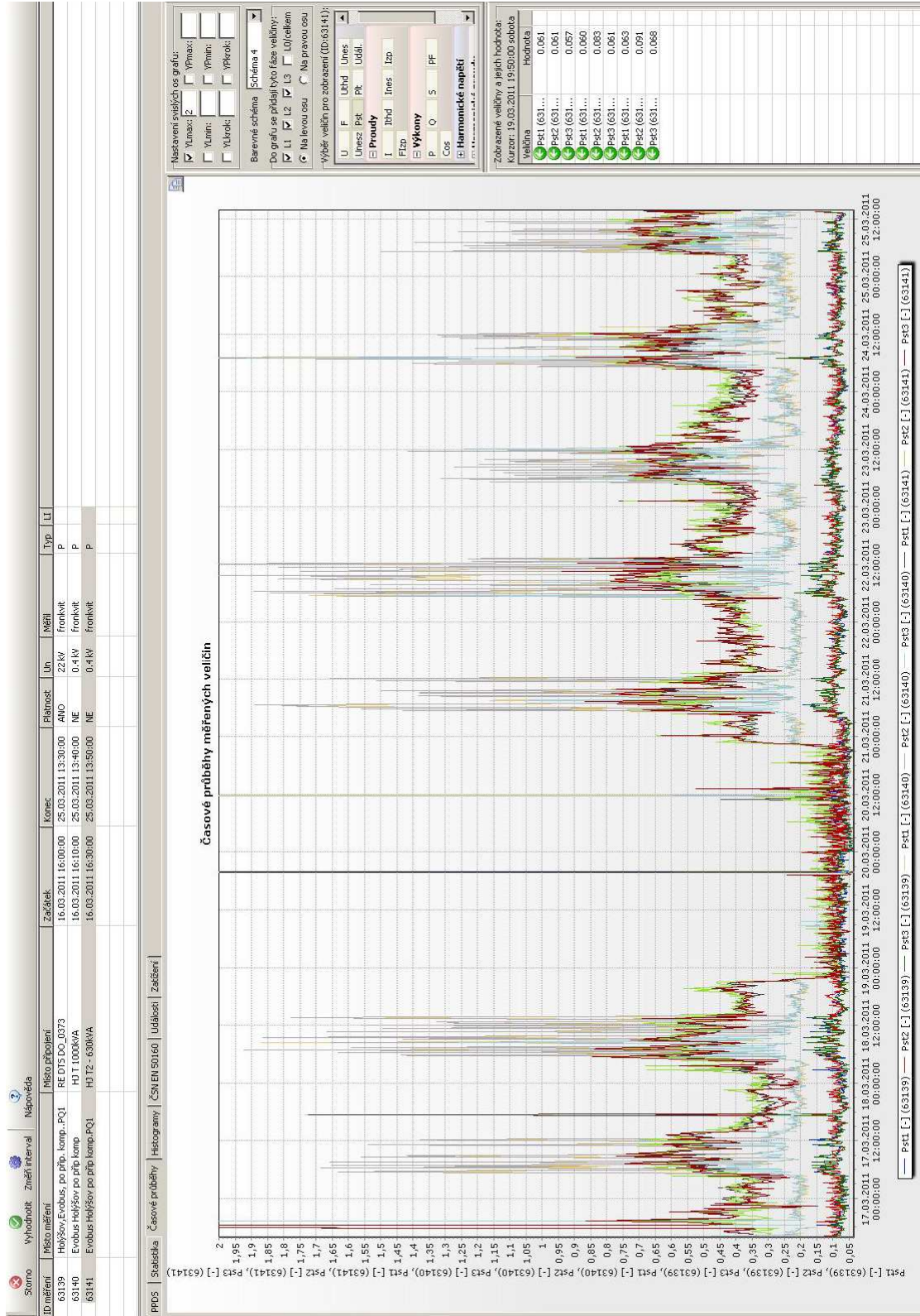
Obr. 38 Průběhy Plf před instalací kompenzátoru



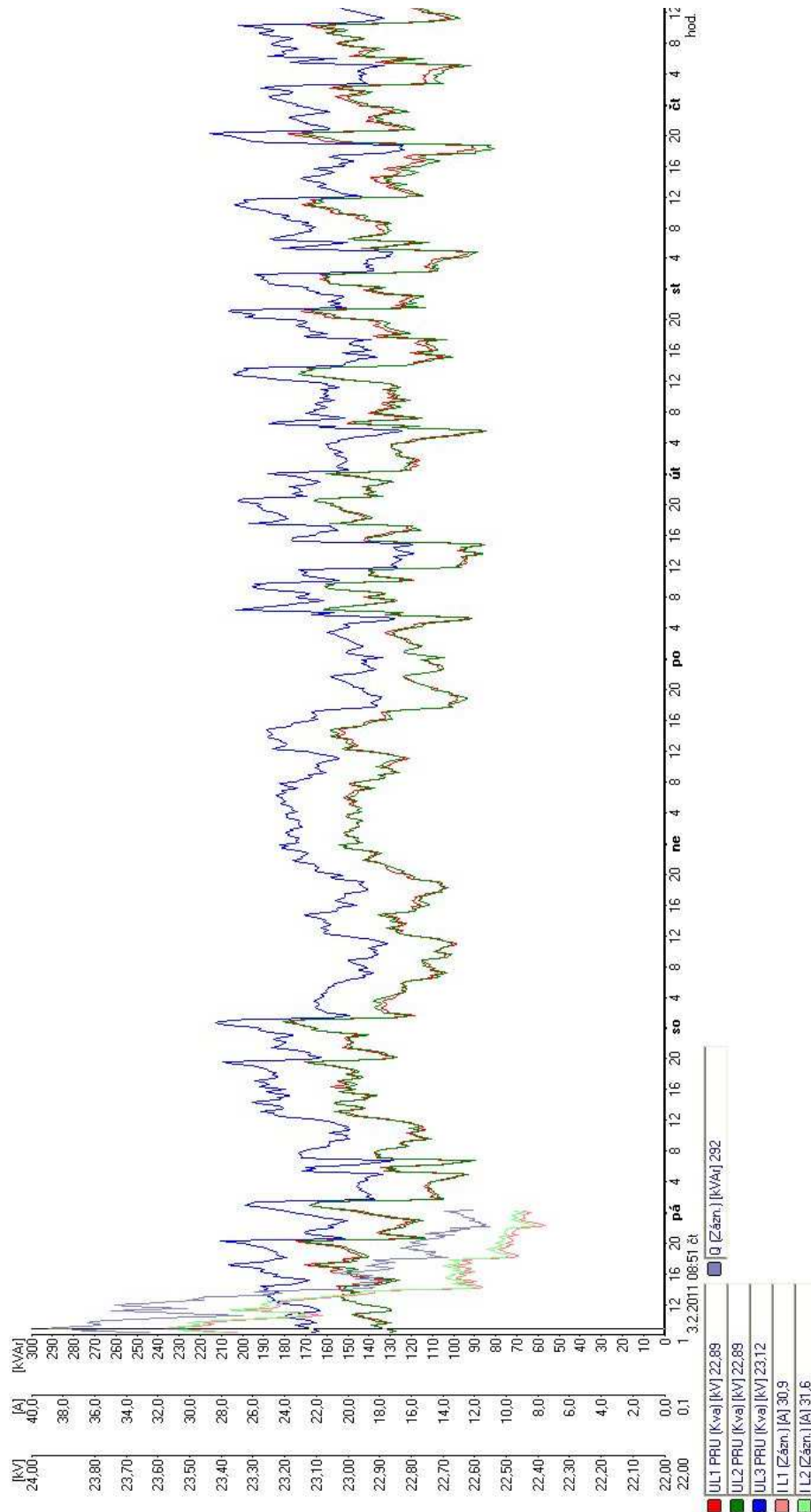
Obr. 39 Průběhy Plt po instalaci kompenzátoru



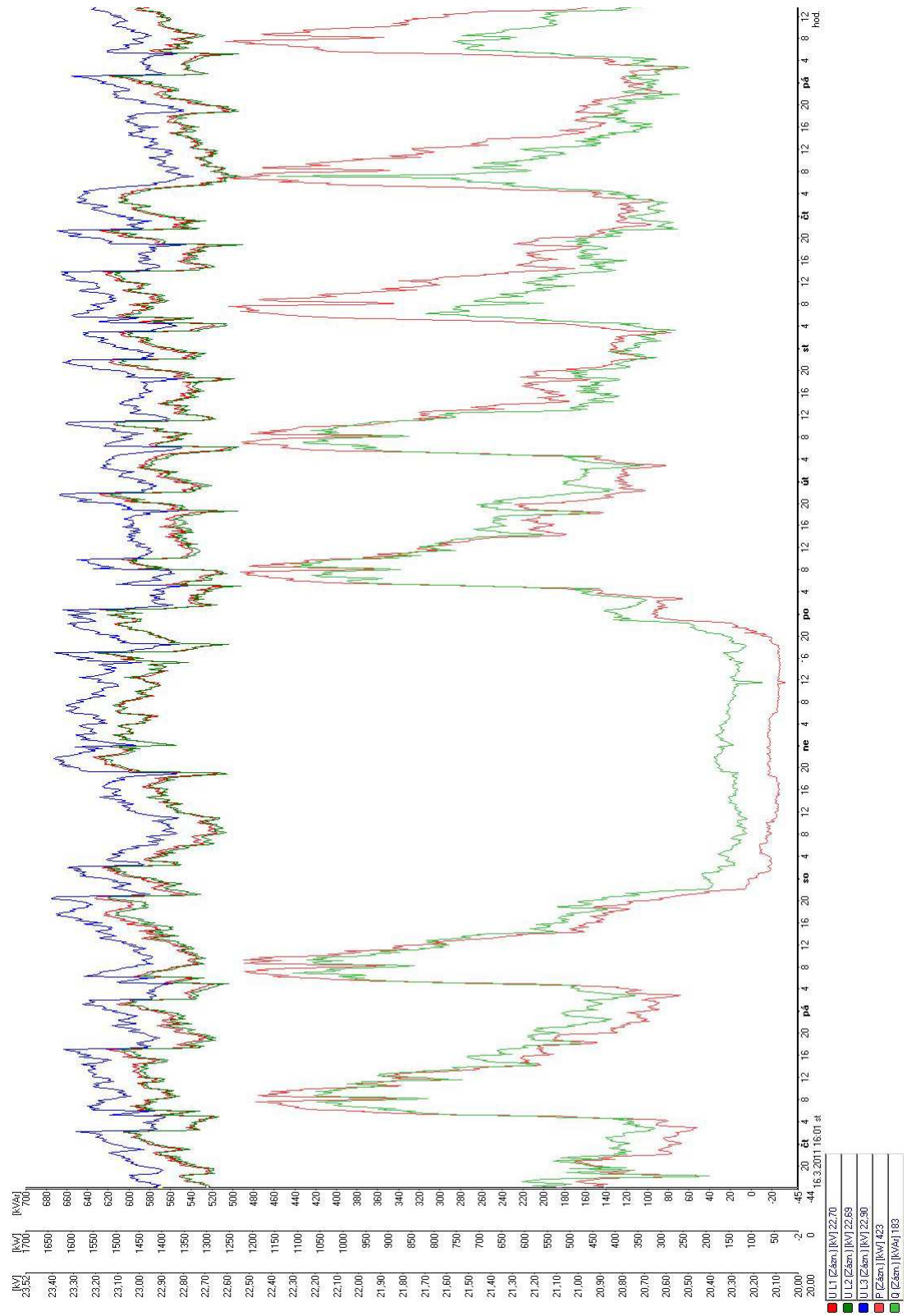
Obr. 40 Průběhy Pst před instalací kompenzátoru



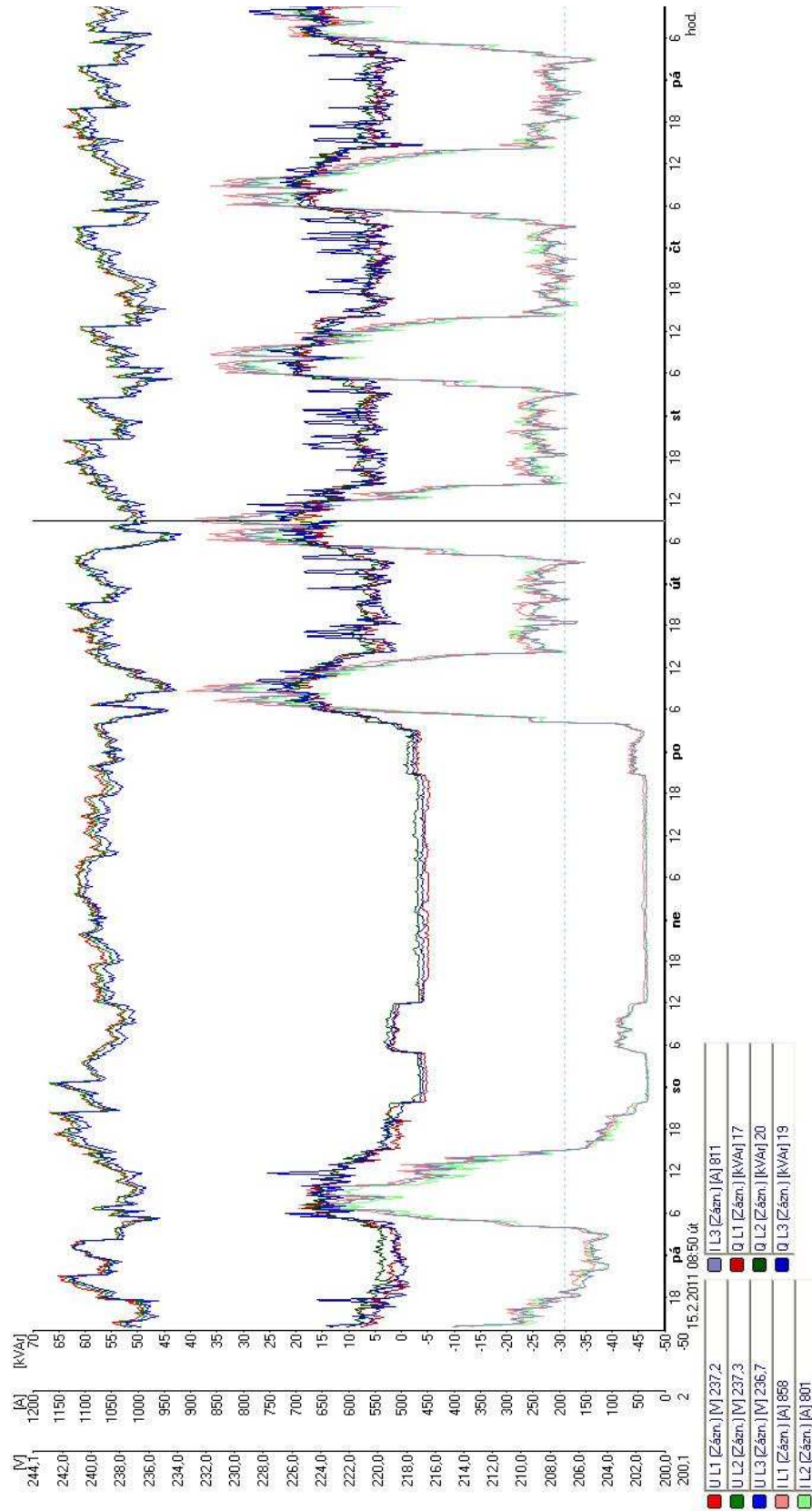
Obr. 41 Průběhy Pst po instalaci kompenzátoru



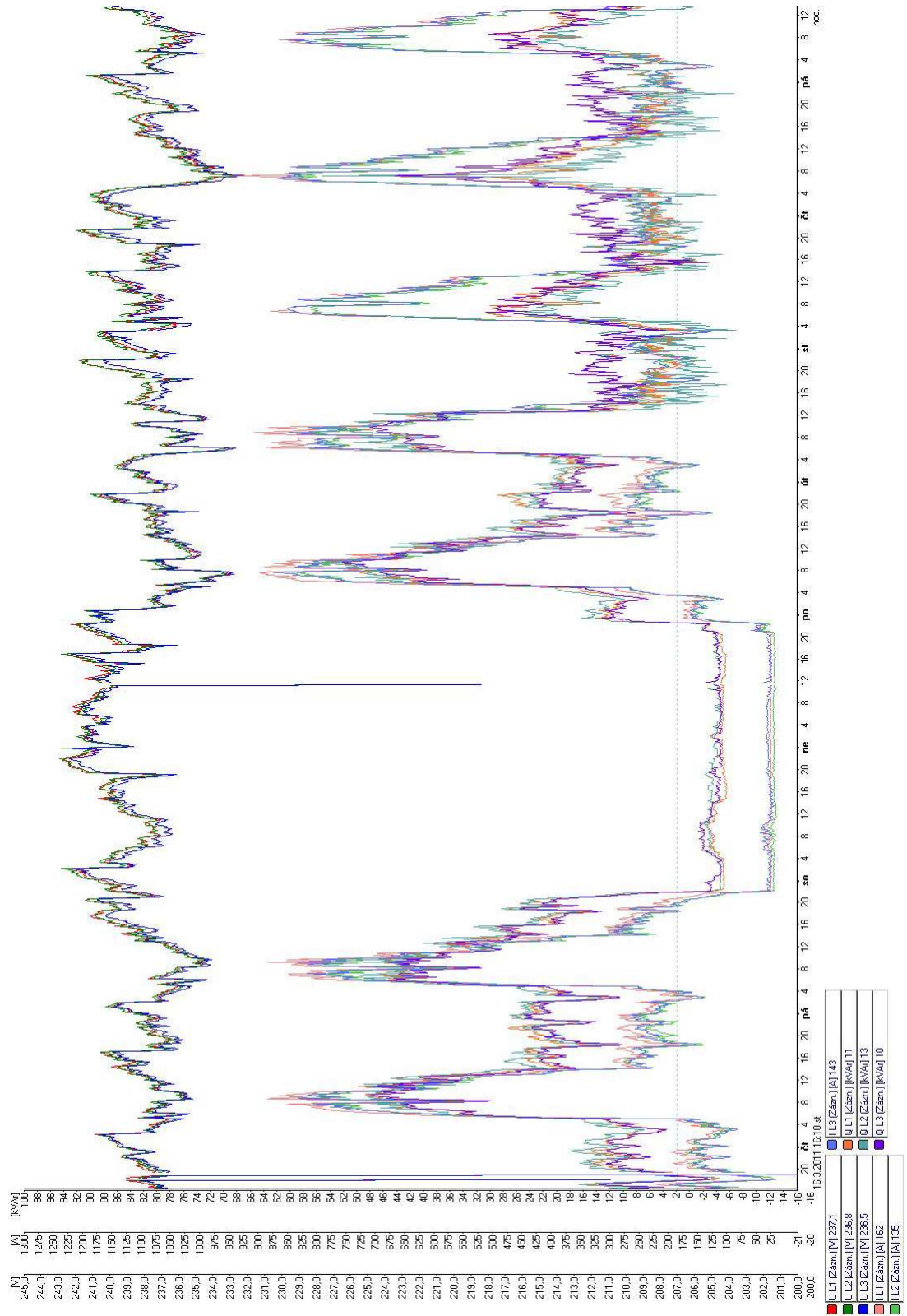
Obr. 42 Průběhy U, I, Q na předávacím místě před instalací kompenzátoru



Obr. 43 Průběhy U, P, Q na předávacím místě po instalaci kompenzátoru



Obr. 44 Průběhy U, I, Q na T1000 před instalací kompenzátoru



Obr. 45 Průběhy U, I, Q na T1000 po instalaci kompenzátoru

11 Závěr

Z výše uvedených průběhů elektrických veličin je zřejmé, že dynamická kompenzace ELSPEC instalovaná paralelně s NN rozvaděči napájecích transformátorů pozitivně ovlivňuje parametry kvality el. energie. Účinek kompenzace je zřejmý v detailu Plt, Pst, PF na napájecím transformátoru 1000 kVA, protože napájí největší část svařovacích zařízení a jako jediný měl parametry mimo povolené meze. Napájecí transformátor 1000 kVA je v dlouhodobé míře vjemu flikru vykompenzován o 0,2. V krátkodobé míře vjemu flikru Pst, lze konstatovat snížení o 0,57. Skutečný účinník PF, který zahrnuje harmonické výkony činné a jalové včetně deformačního výkonu, je udržován v mezích povolených distributorem tj. 0,95 až 1 induktivní. Kompenzace účinků harmonických je hluboko pod povolenou mezí THDU 8%.

Dynamická kompenzace firmy ELSPEC je rychlá a účinná kompenzace zpětných vlivů, která v konfiguraci, kde je zařazena jako centrální kompenzace napájecích transformátorů svařovacích zařízení, snižuje zpětné vlivy na distribuční síť. Navíc díky lepší stabilizaci napětí došlo po instalaci kompenzačního zařízení ke zlepšení kvality sváru, protože podle slov technologa z Evobus Holýšov pak nedochází ke špatnému chycení oblouku (prskání), nebo ke snazšímu propálení plechů.

Použitá literatura a zdroje

Literatura:

- [1]KORENC, Vladimír a Jiří HOLOUBEK. *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. Praha: IN-EL, 1999. Knižnice: Elektro, svazek 39. ISBN 80-86230-07-4.
- [2]KŮS, Václav. *Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu*. Praha: BEN-technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-062-8.
- [3]HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: VŠB-TU, 2008. ISBN 987-80-7225-291-6.
- [4]KŮS, Václav. *Nízkofrekvenční rušení*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-7082-976-1.
- [5] DVORSKÝ, Emil. *Učební texty z předmětu MR: dostupné online z <https://portal.zcu.cz>*.
- [6] CVAČKA, Karel. *Studie připojitelnosti svařovacích zařízení: EVOBUS Holýšov*. září 2010. Plzeň
- [7] ČSN TR 50422. *Pokyn pro aplikaci evropské normy EN 50160*. 3301. vyd. 2004.
- [8] PNE 33 3430-7. *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti*.

Internetové zdroje:

- [9]EvoBus: Bohemia. [online]. [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.evobus.cz/inter-evobus-cz/0-683-402558-420-449941-1-0-0-0-0-1-0-402558-0-0-0-0-0-0-0.html>
- [10]MAJDA, František. *Elektro: Odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38789
- [11]KAMM, Otto. Kompenzace jalového výkonu, ČESKÁ ENERGETIKA s.r.o. ČESKÁ ENERGETIKA s.r.o. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.ceskaenergetika.cz/kompenzace_jaloveho_vykonu_ucinik_dekompenzace/kompenzace_jaloveho_vykonu_2.html
- [12]JESVA s.r.o.: *Závesná bodová zváračka WKPH 100 V, WKPH 125V, WKPH 150V* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.jesva.eu/produkty.php?idp=92&title=Z%C3%A1vesn%C3%A1+bodov%C3%A1+zv%C3%A1ra%C4%8Dka+WKPH+100+V%2CWKPH+125V%2C+WKPH+150V>
- [13]MEgA - *Měřicí Energetické Aparáty, a.s.: Přenosný PQ monitor MEg30* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.e-mega.cz/meg-30>
- [14] BUSportal. [online]. [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=8459>

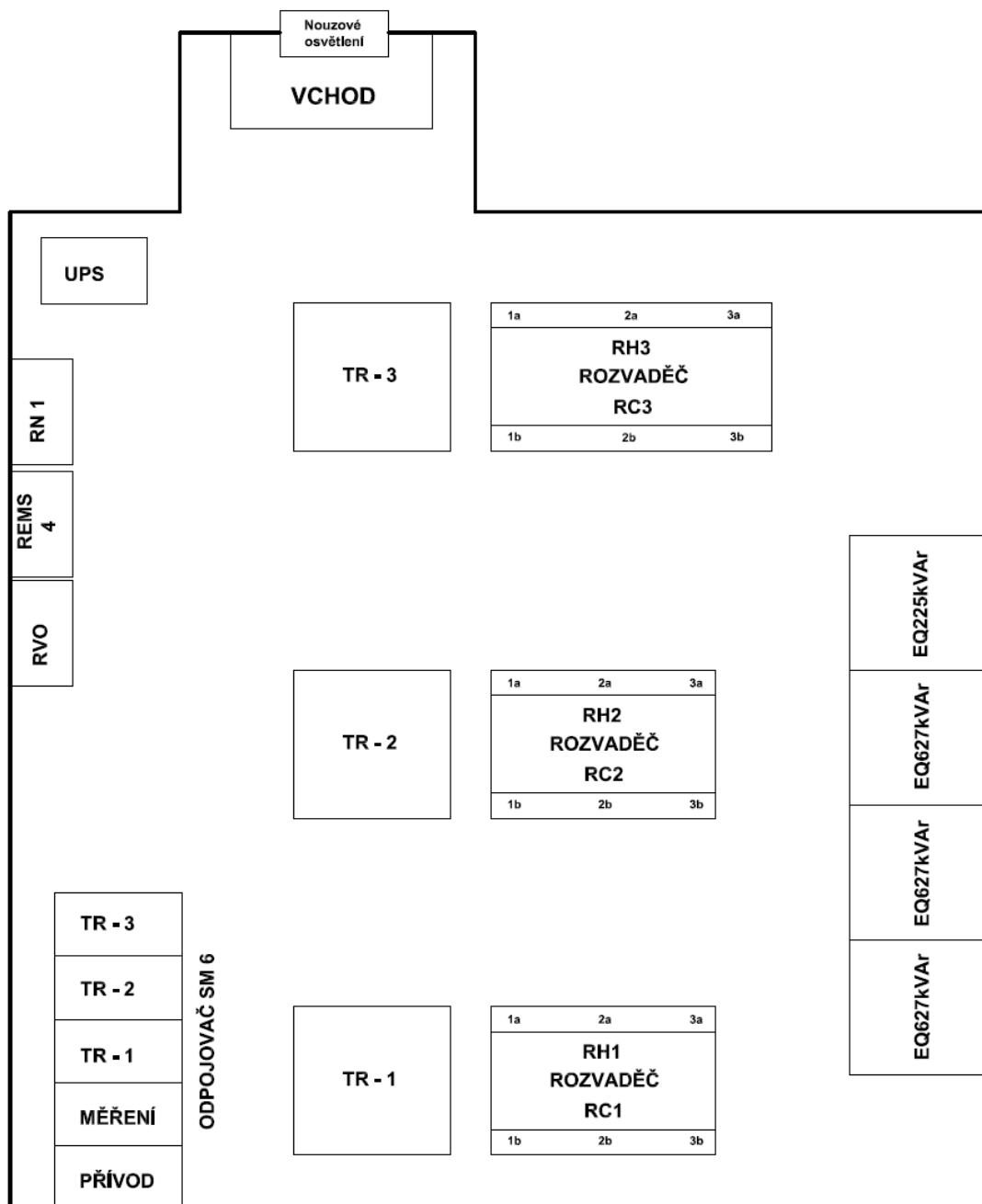
[15] Případová studie: Evobus Holýšov. [online]. [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.czechinvest.org/data/files/evobus-pripadova-studie-1645-cz.pdf>

Seznam příloh

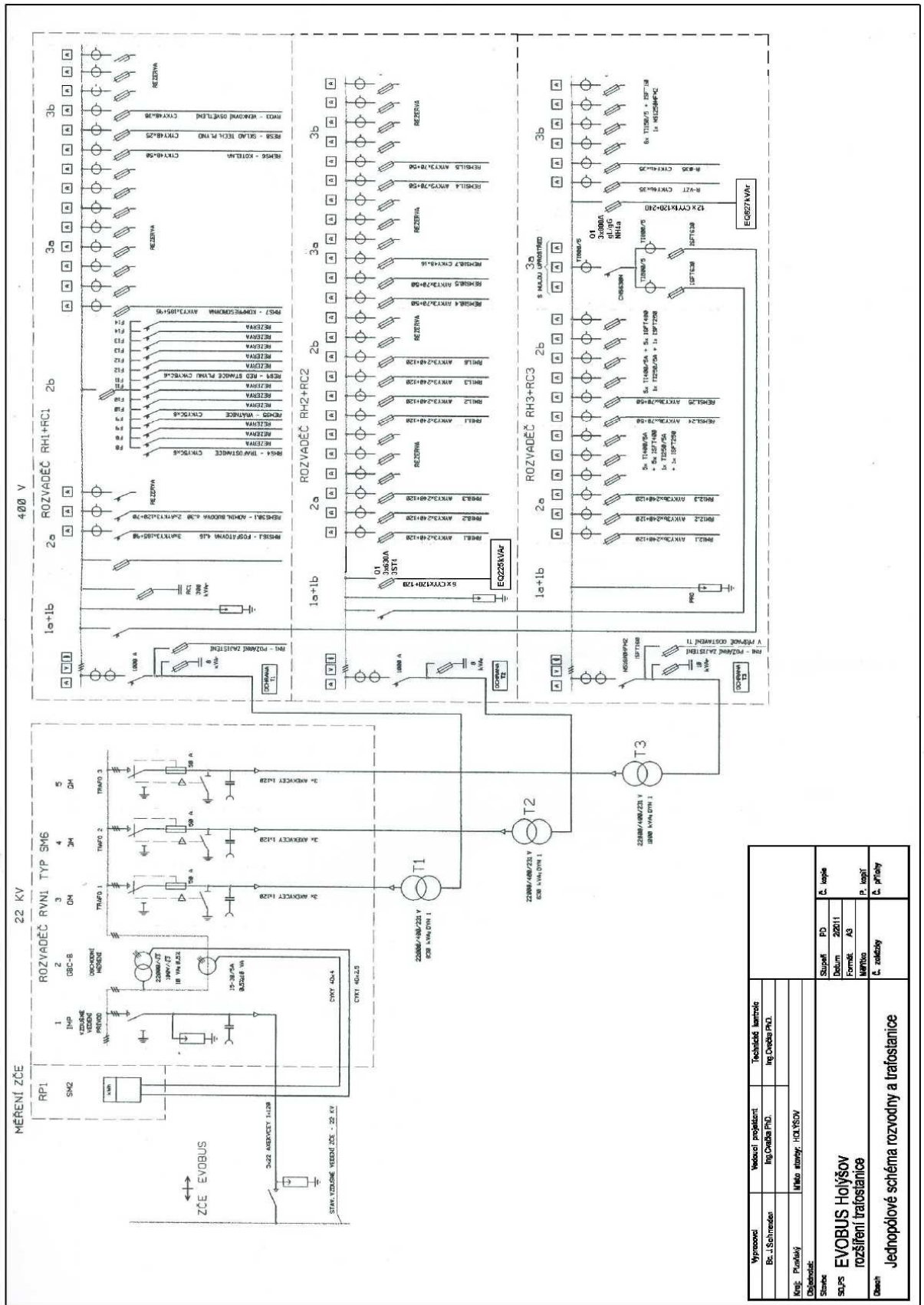
- A. Dispozice trafostanice EVOBUS Holýšov
- B. Schéma trafostanice EVOBUS
- C. Pohled na EQ225kVAr – 1
- D. Pohled na EQ225kVAr – 2
- E. Pohled na EQ672kVAr – 1
- F. Pohled na EQ672kVAr - 2

Přílohy

A. Dispozice trafostanice EVOBUS Holýšov

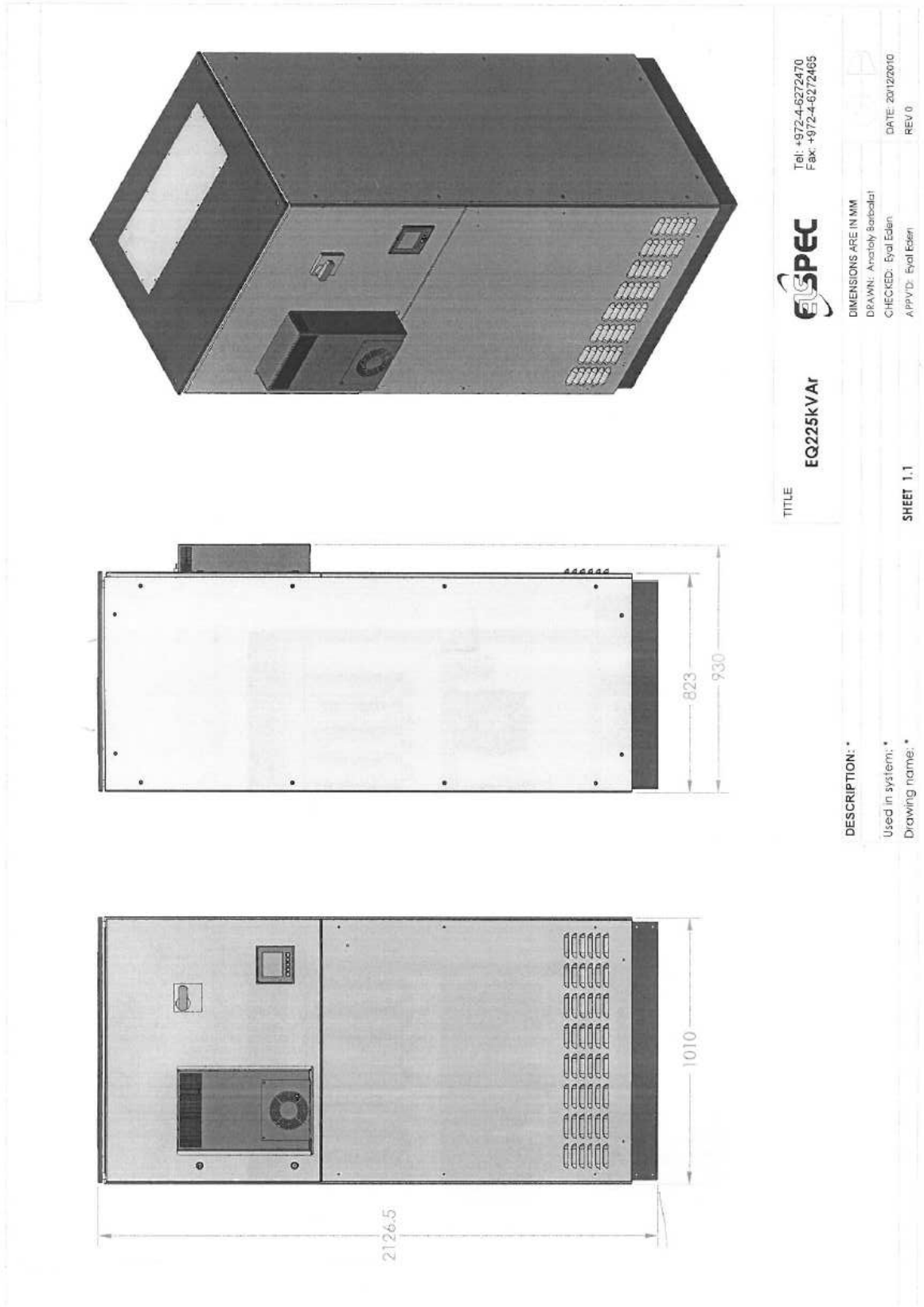


B. Schéma trafostanice EVOBUS

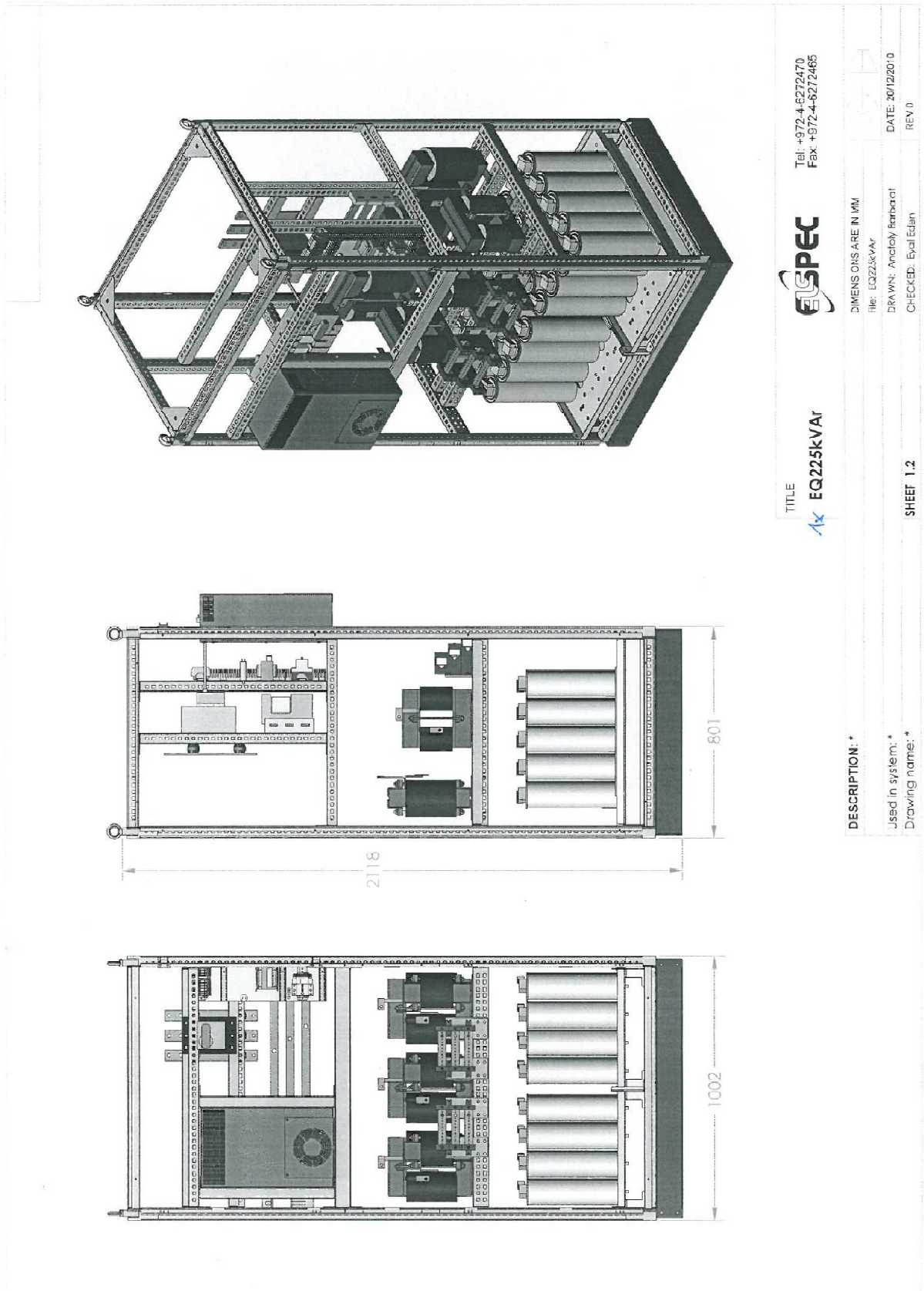


| | | | |
|--|--|-------------------|--|
| Výnosceň | | Technická karta | |
| E. Šulcman | | Ing. Ondřej Pálek | |
| Kraj: Fokovů | | Město: Holýšov | |
| Dobrotě: | | | |
| Stav: | | Stav: PD | |
| s:ys | | Datum: 2011 | |
| rozšíření trafostanice | | Formát: AS | |
| Měřítko: | | P. leží: | |
| Č. zedebny | | Č. přílohy | |
| Jednopolové schéma rozvodny a trafostanice | | | |

C. Pohled na EQ225kVAr - 1



D. Pohled na EQ225kVAr - 2



Tel: +972-4-6272470
 Fax: +972-4-6272465



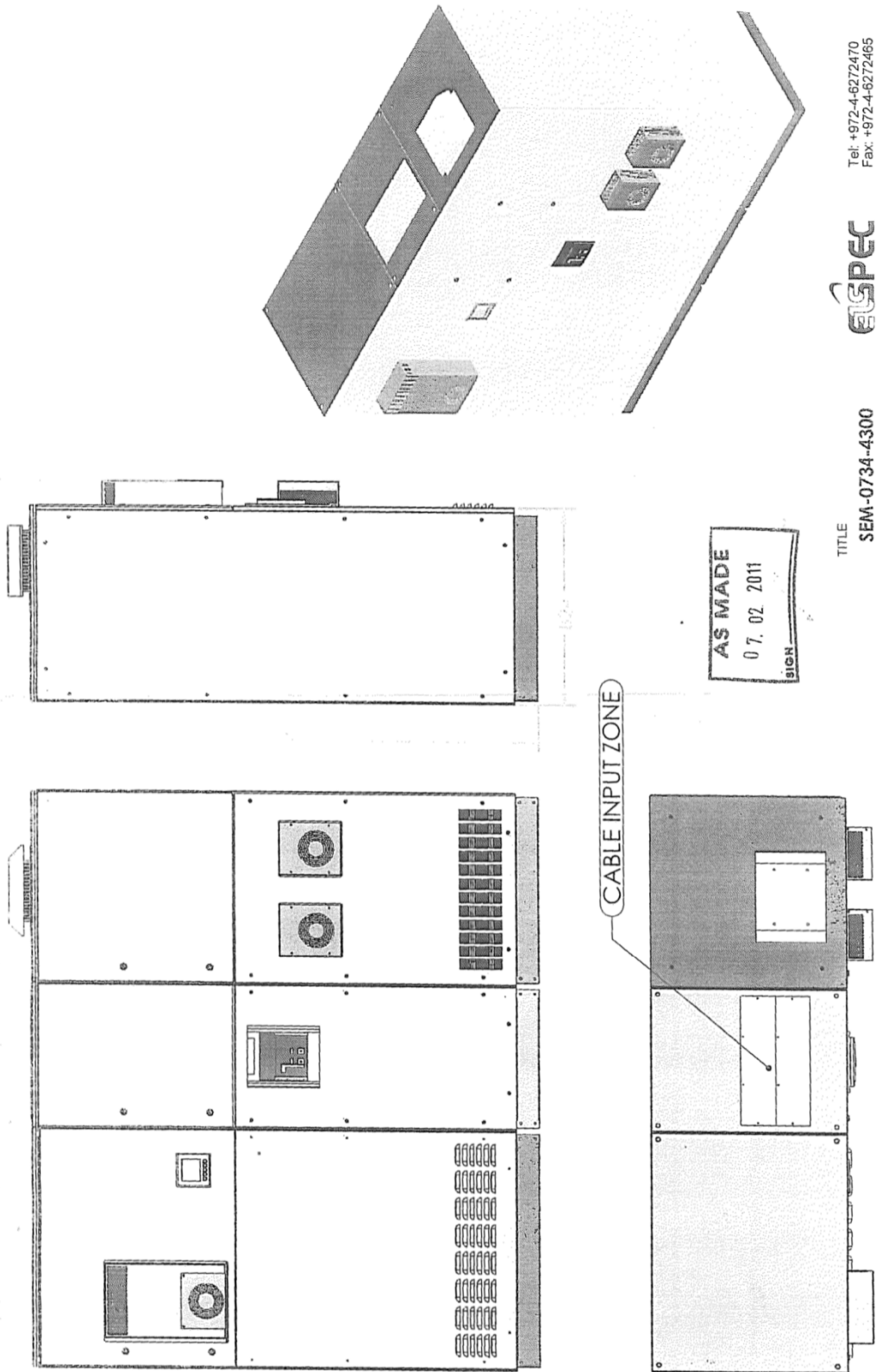
DIMENSIONS ARE IN MM
 File: EQ225kVAr
 DRAWN: Ancloty Baraboch
 CHECKED: Eyal Edlan
 DATE: 30/12/2010
 REV: 0

TITLE
EQ225kVAr

DESCRIPTION: *
 Used in system: *
 Drawing name: *

SHEET 1.2

E. Pohled na EQ672kVAr – 1



Tel: +972-4-6272470
Fax: +972-4-6272465



DIMENSIONS ARE IN MM

DESIGN: Haimon R.
CHECKED: Shevach G.
DATE: 01/02/2011
REV: 0

AS MADE
07.02.2011
SIGN

TITLE
SEM-0734-4300

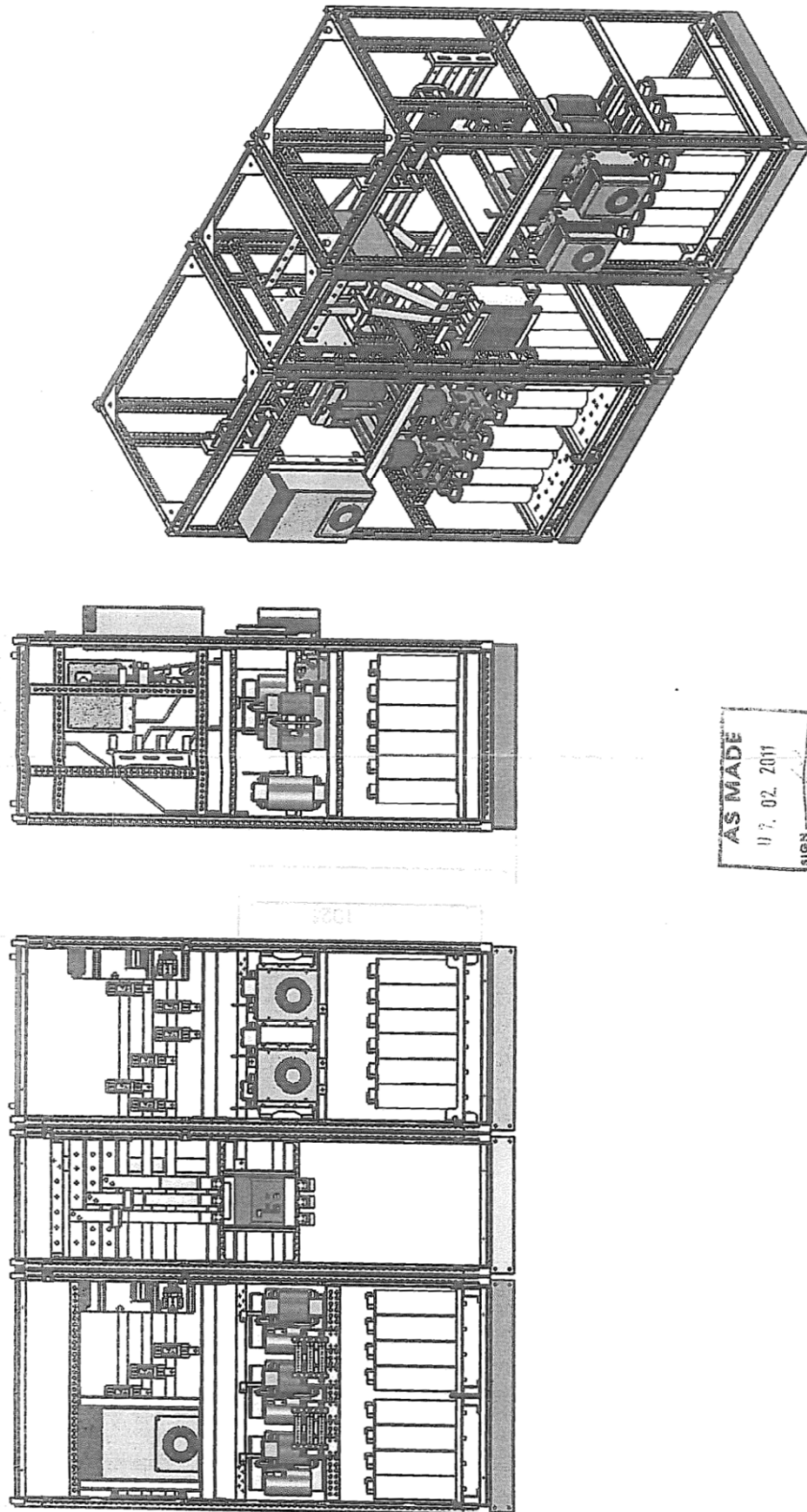
DESCRIPTION: EQ672:96:3-400 50-P14-DFCT

SHEET 1-2

Drawing name: 00007706

File: \\engsuiv-brsp\DATA\SWORKS\EC-90\EQ672\SEM-073-4-3HQ

F. Pohled na EQ672 kVAr – 2



Tel: +972-4-6272470
Fax: +972-4-6272465



DIMENSIONS ARE IN MM

DATE: 01/02/2011
REV: 0

DESIGN: Honam R.
CHECKED: Shevach G.

TITLE
SEM-0734-4300

SHEET: 2-2

DESCRIPTION:EQ672;96.3-400.50-P14-DFCT

Drawing name: 00007706

File: \\engsrv-hzxp\DATA\WORKS\EQ490\EQ672\SEM-0734-4300