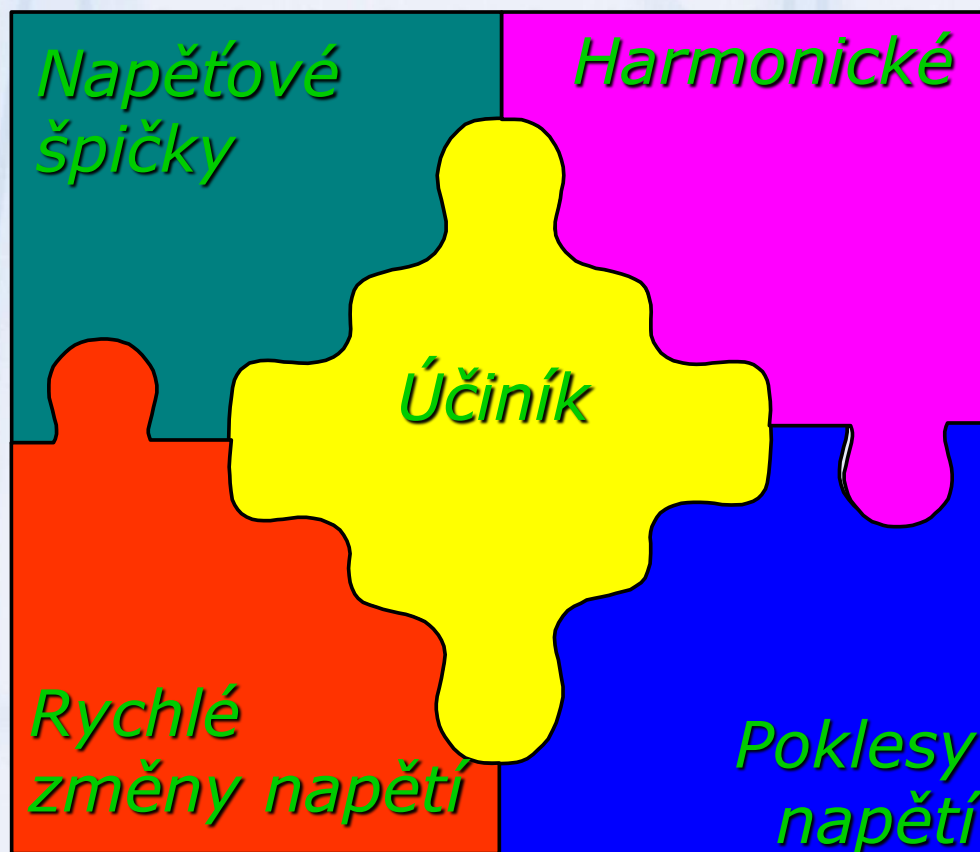


„Snížení spotřeby elektrické energie a ztrát v průmyslu zlepšením její kvality“

Ing. Jaroslav Smetana
Brno
30.9.2014

- **Co je kvalita energie**
 - Důsledky nízké kvality energie
 - Parametry kvality
 - Analýzy kvality a řešení
- **Řešení pro korekci kvality**

Co je kvalita energie?



Důsledky nízké kvality energie

- Energetické ztráty
- Kvalita výrobků
- Výpadky výroby
- Náklady na údržbu
- Snížená životnost zařízení



Elektrická energie jako surovina

Kvalita elektrické energie

Pro potřeby úspor a zdravého provozu

**Dodržení parametrů dle ČSN EN 50160 je nedostatečné
pro úspory a stabilitu!!!**

EN 61000-4-30 je norma určující způsob měření

**Agregace naměřených parametrů v čase po dobu
10 period**

Zdroje úspor

Kvalitní elektřina

Optimální pracovní podmínky => Nejnižší spotřeba

Tepelné
Elektrické
Mechanické

Proč nestačí jen elektroměr



Vlastnosti elektrické energie - ideální stav:

Stabilní frekvence (50 Hz)
Stabilní velikost napětí(U_n)
Harmonický průběh (sinusová vlna)
Vyvážená 3f soustava (amplituda, fáze),

Vlastnosti elektrické energie - skutečnost

- Účíník
- Napěťová nesymetrie
- Kolísání napětí (poklesy - překmity - výpadky)
- Přechodná přepětí (rychlé špičky)
- Harmonické a interharmonické složky
- Flicker

Odchylka od optimálního stavu – od minimální spotřeby

Elektrická energie jako surovina

Kvalita elektrické energie



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Pro potřeby vztahu dodavatel/odběratel - energetický zákon

Parametry popisuje norma ČSN EN 50160

Parametry	Akceptovatelné limity	Měřicí interval	Perioda monitorování	Akceptovatelný výskyt
Frekvence sítě	49.5Hz - 50.5Hz 47Hz - 52Hz	10 s	1 týden	95% 100%
Pomalé změny napětí	230V $\pm$ 10%	10 min	1 týden	95%
Překmity a poklesy napětí ($\leq$ 1min)	10 až 1000 krát za rok (pod 85% jmenovité)	10 ms	1 rok	100%
Krátká přerušení ($\leq$ 3min)	10 až 100 krát za rok (pod 1% jmenovité)	10 ms	1 rok	100%
Poruchová dlouhá přerušení (> 3min)	10 až 50 krát za rok (pod 1% jmenovité)	10 ms	1 rok	100%
Přechodná přepětí (L-N)	Většinou < 1.5 kV	10 ms	Neurčen	100%
Transienty (L-N)	Většinou < 6kV	Neurčen	Neurčen	100%
Napětíové nevyvážení	Většinou 2% ale nejvíce 3%	10 min	1 týden	95%
Harmonické složky napětí	8% celkového harmonického rušení (THD)	10 min	1 týden	95%

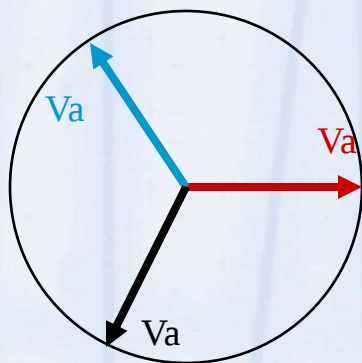
Napět'ová nesymetrie

Vyvážená soustava

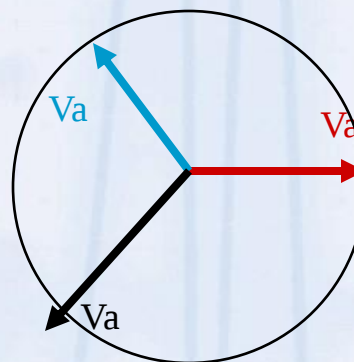
Všechny tři vektory napětí mají stejnou amplitudu
A jsou vzájemně posunuty o 120°

Nevyvážená soustava

Nesplňuje podmínky vyvážené soustavy



Vyvážená soustava



Nevyvážená soustava

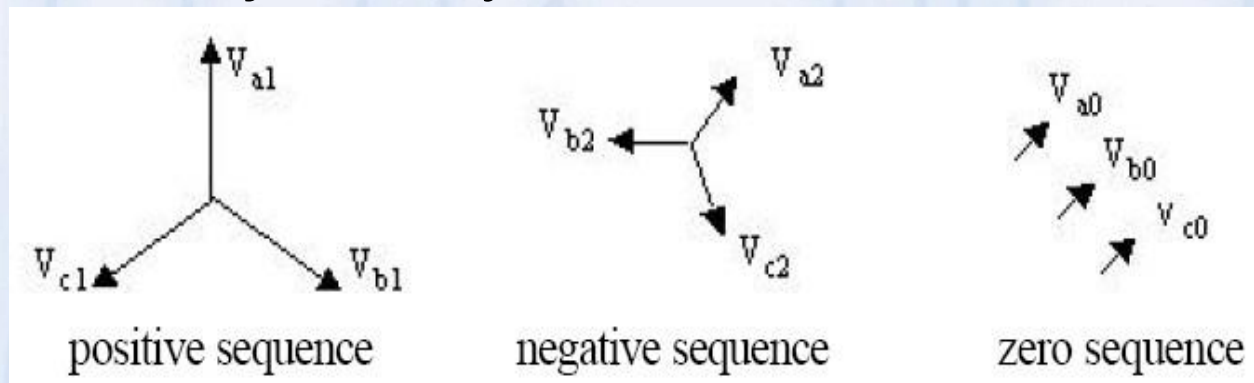
Napětová nesymetrie

Dvě definice

největší odchylka U_{12}, U_{23}, U_{31}
NEMA Napětové nevyvážení = $\frac{\text{největší odchylka } U_{12}, U_{23}, U_{31}}{\text{průměr z } U_{12}, U_{23}, U_{31}}$

Nepoužívá se napětí fázové !

IEC Teorie symetrických složek



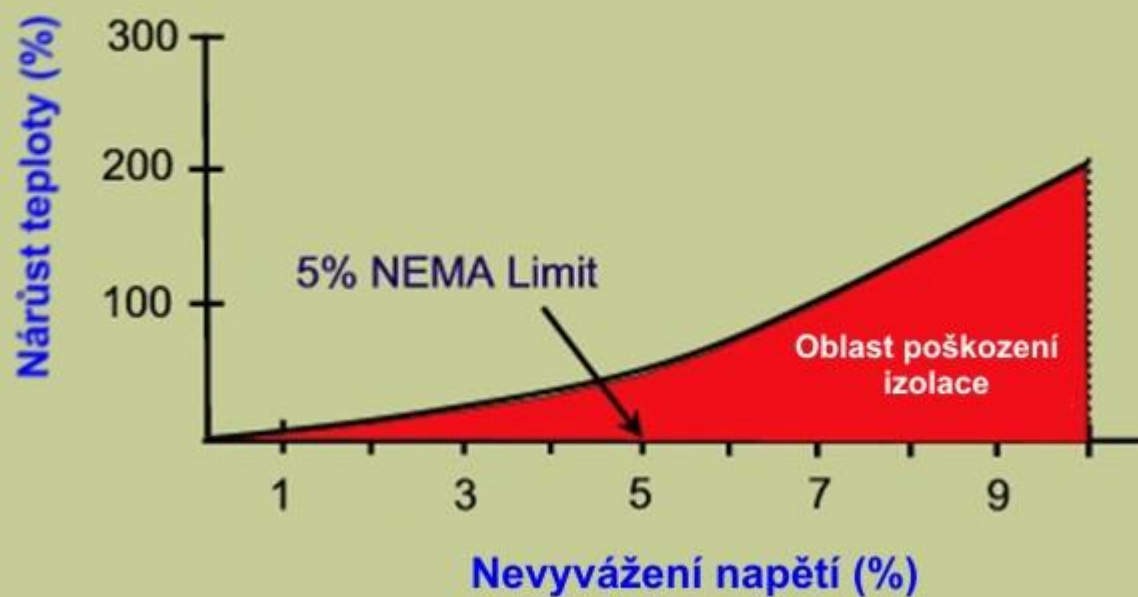
Napět'ová nesymetrie

Důsledky napět'ové nesymetrie

Třífázový indukční motor

- Malé napět'ové nevyvážení na motoru způsobuje proudové nevyvážení, které je několikrát vyšší
- Vinutím plně zatíženého motoru pak protéká proud vyšší než dovolený → velké ztráty
- Důsledky:
 - Vyšší teplota
 - Snížená životnost izolace
 - Riziko přetížení
- **Příklad: Na 3-f motoru způsobuje 1% napět'ové nevyvážení 6% - 9% nevyvážení proudu.**

Přehřívání motoru vlivem nevyvážených fázových napětí



Napět'ová nesymetrie

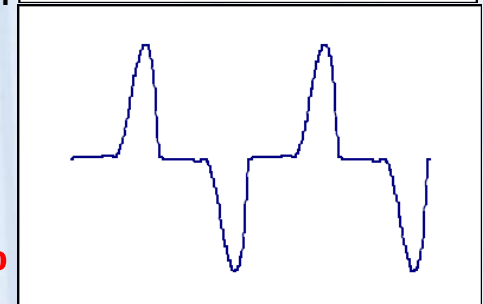
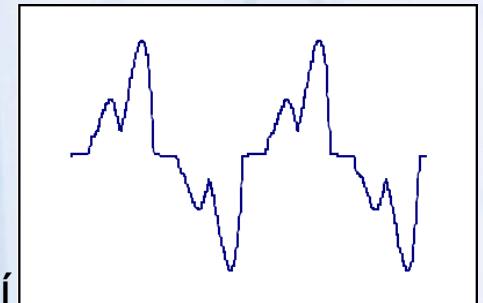
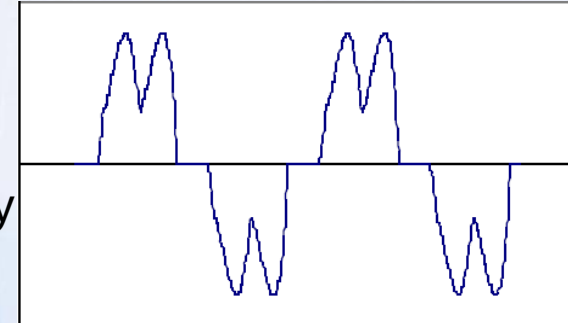


...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Důsledky napět'ové nesymetrie

Řízený pohon

- Třífázový uzměrňovač
- Ve vyváženém systému jsou proudy fází dvojpulzy za polovinu cyklu se známými harmonickými (5., 7., 11., 13...)
- V nevyváženém systému dojde k odchylce od dvojitého pulzu.
- Vytvoří se necharakteristické harmonické v násobku 3.
- Důsledek je vypínání pohonu v důsledku zvětšení napájecího proudu a podpětí uvnitř měniče. To vede také i tepelnému stresu diod a kapacitorů měniče!
- **Zde 1% napět'ového nevyvážení vede na 15% a více proudového nevyvážení!**



Kolísání napětí

Příčina vzniku:

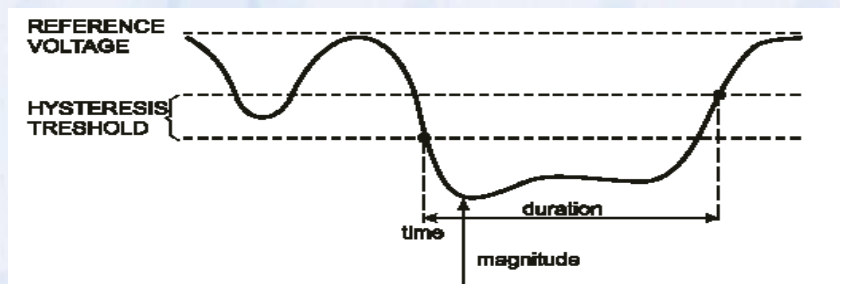
- Zkratky na vedení
- Rozběh velkých pohonů
- Špatné uzemnění
- Odrazy na vedení
- Atmosférické poruchy

Následky:

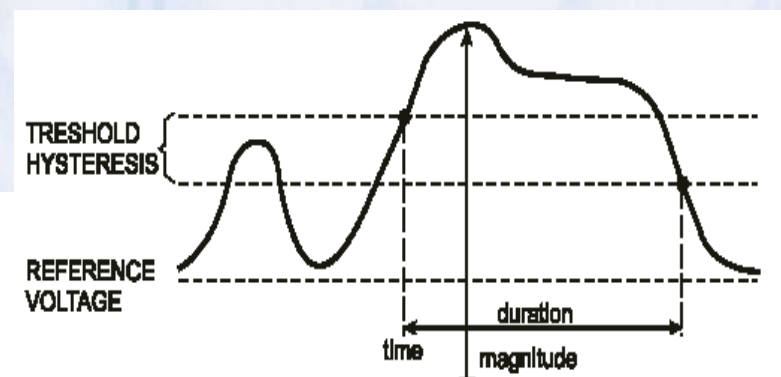
- Výpadky výrobních zařízení - Prostoje
- Přetížení
 - Nadměrný ohřev
 - Poškození izolace
 - Snížení životnosti stroje

Kolísání napětí

- Poklesy
- Překmity



Podpětí



Přepětí

Přepětí a podpětí jsou charakterizovány velikostí, dobou trvání a časem výskytu.

- Začíná když napětí jedné ze tří fází překročí prahovou hodnotu
- Končí v okamžiku kdy se napětí vrací do požadovaného intervalu
- Úrovně a časy trvání jsou stanoveny normou EN 50160

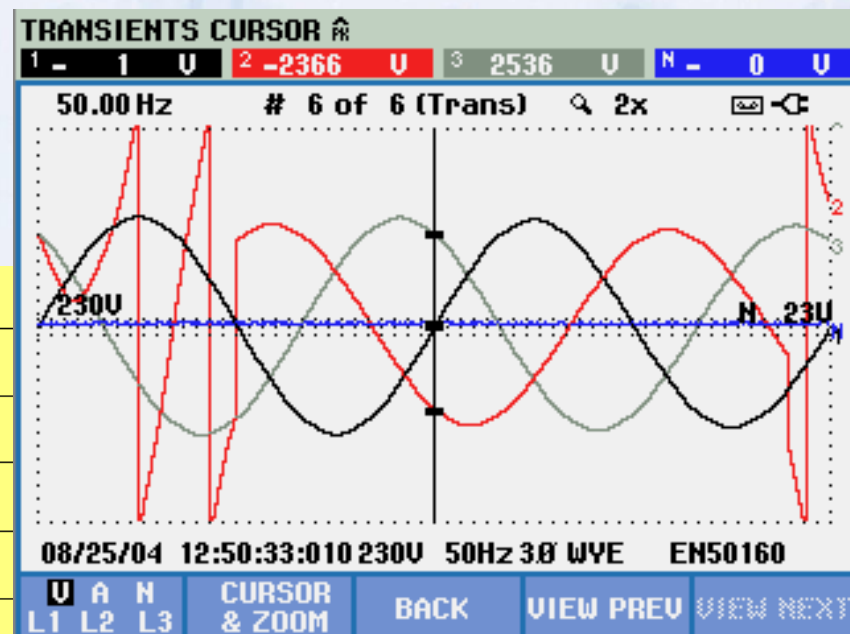
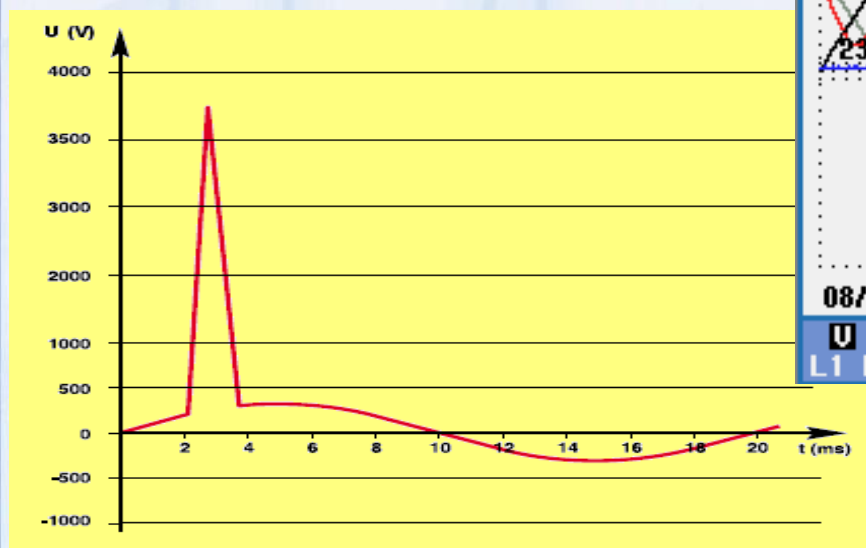
Přechodná přepětí impulzní napětí - špičky



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Délka trvání kratší než jedna
perioda

Maxima až jednotky kV



Změny velikosti nanětí

Přec

Délka
Maxir

U (V)

4000

3500

3000

2000

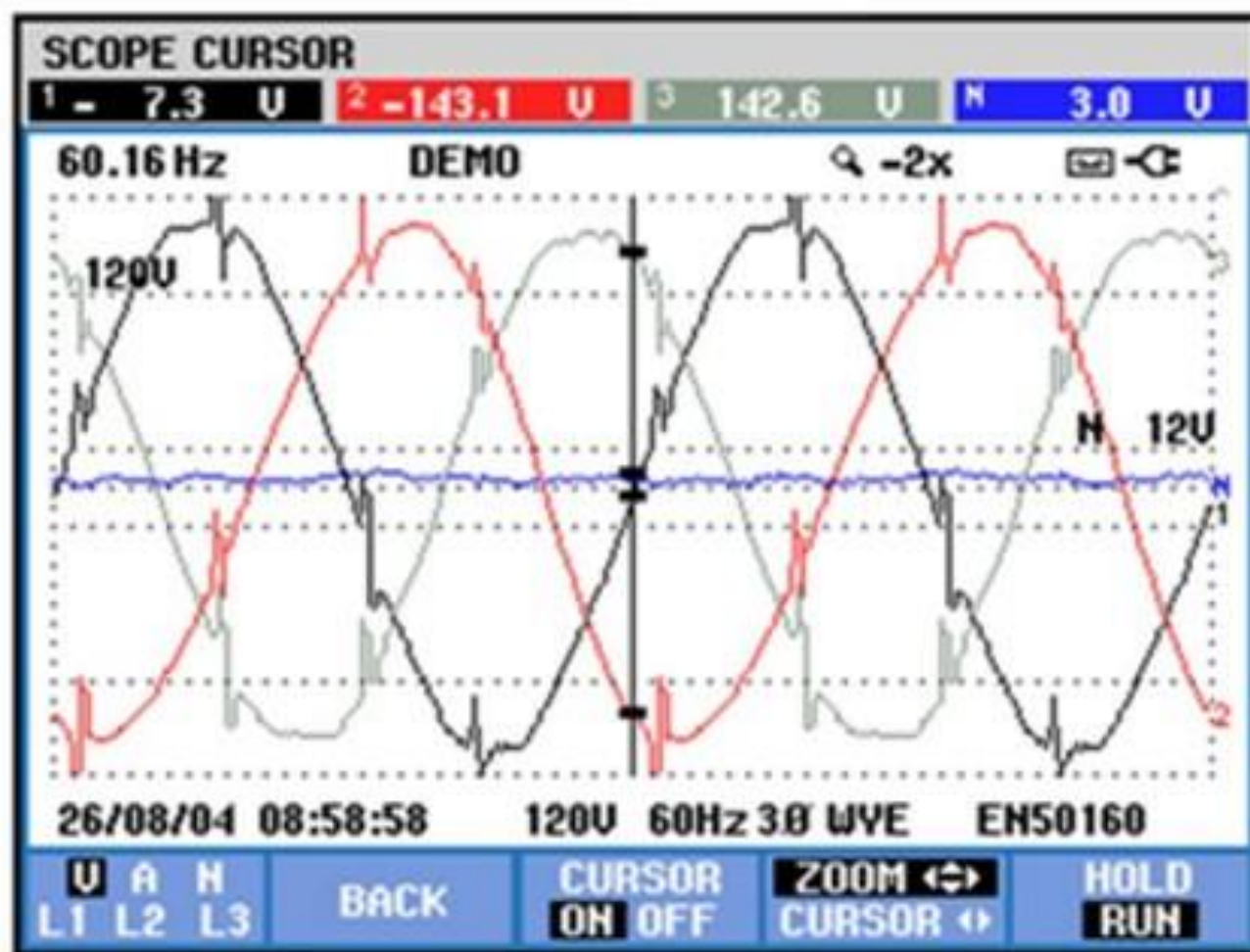
1000

500

0

-500

-1000



08/25/04 12:50:33:010 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160

U A N
L1 L2 L3

CURSOR
& ZOOM

BACK

VIEW PREV

VIEW NEXT

U

Q

Q

Q

Q

Q

Q

Q

Q

Q

Q

Q

Q

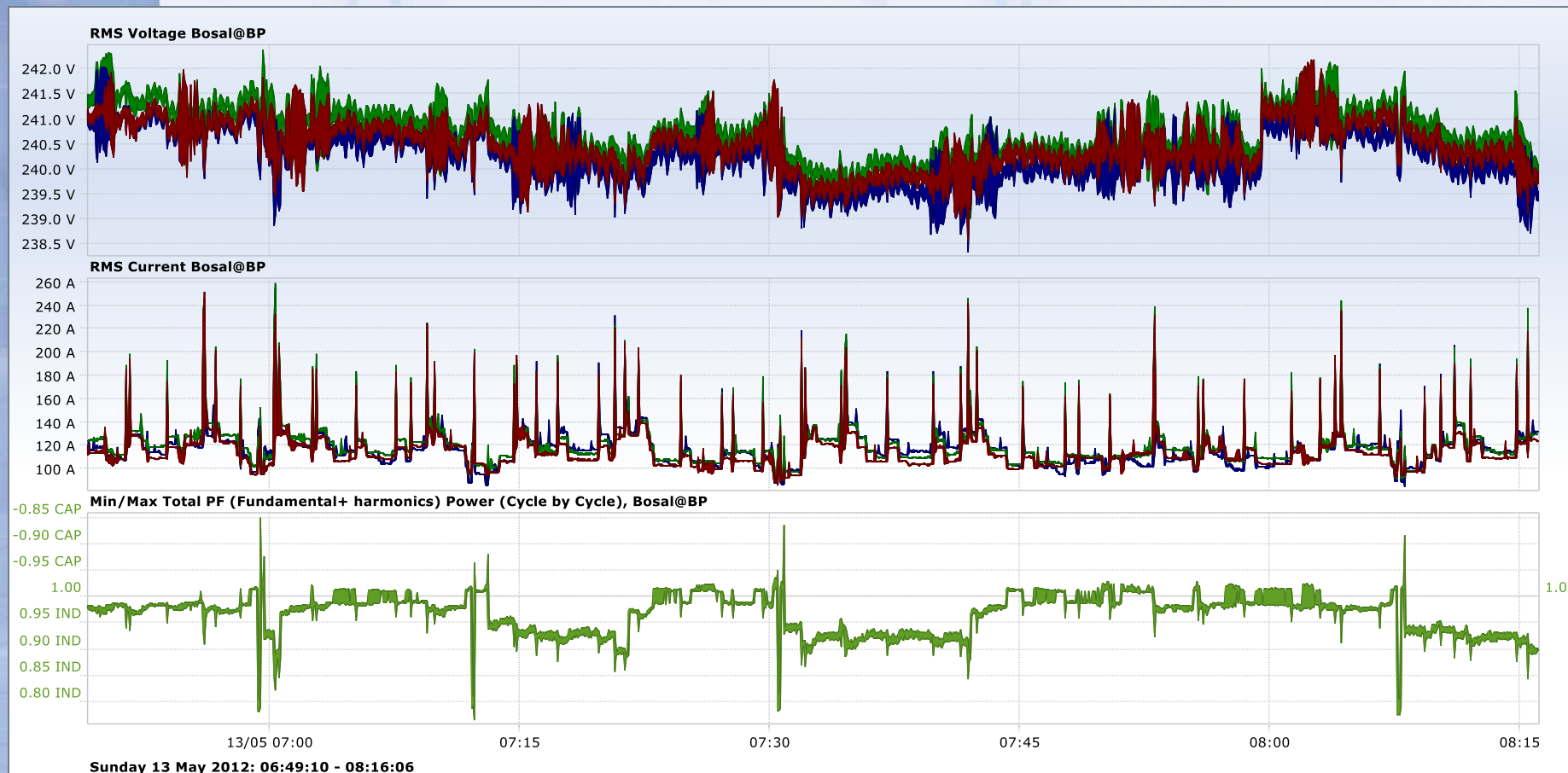
Q

Q

Změny velikosti napětí



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



Přechodná přepětí impulzní napětí - špičky

Příčina vzniku:

- Spínání a rozpínání zátěží
- Atmosférické poruchy
- Odrazy na vedení
- Zkratky na vedení

Následky:

- Výpadky výrobních zařízení - Prostoje
- Výpadky napájení vlivem zásahu přepět'ových ochran
- Napět'ové průrazy - Poškození izolace

Kolísání napětí Flicker



Flicker je podle normy EN 50160 definován jako zrakový vjem kolísání Intenzity elektrického osvětlení vlivem kolísání napájecího napětí.

Dva měřené parametry:

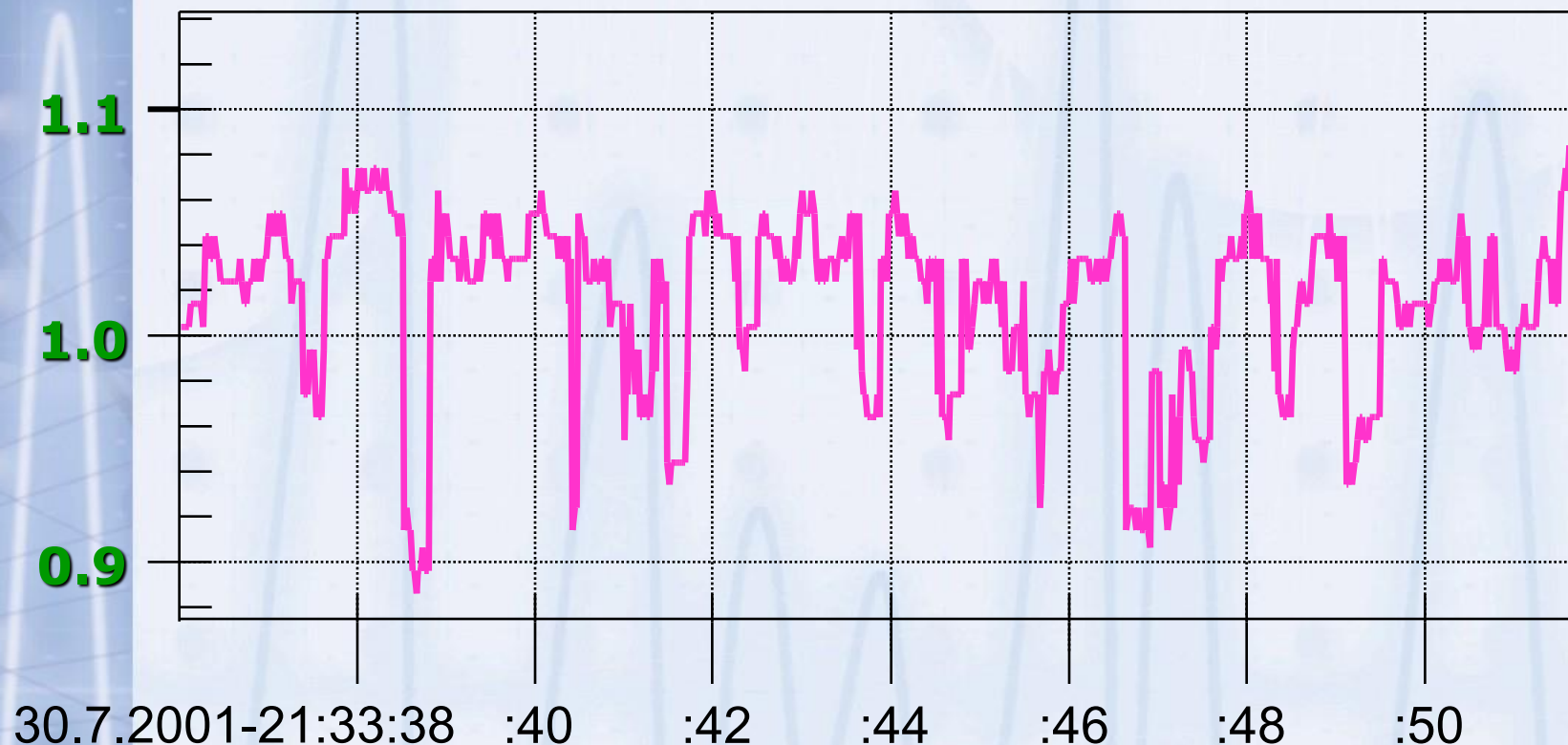
Pst .. 10 minutové měření – krátkodobé blikání

Plt .. 2 hodinové měření (vypočteno z 12 hodnot Pst)
– dlouhodobé blikání

Pst 1,0 je 50% rozpoznání blikání žárovky 60W

Napěťové blikání (flicker)

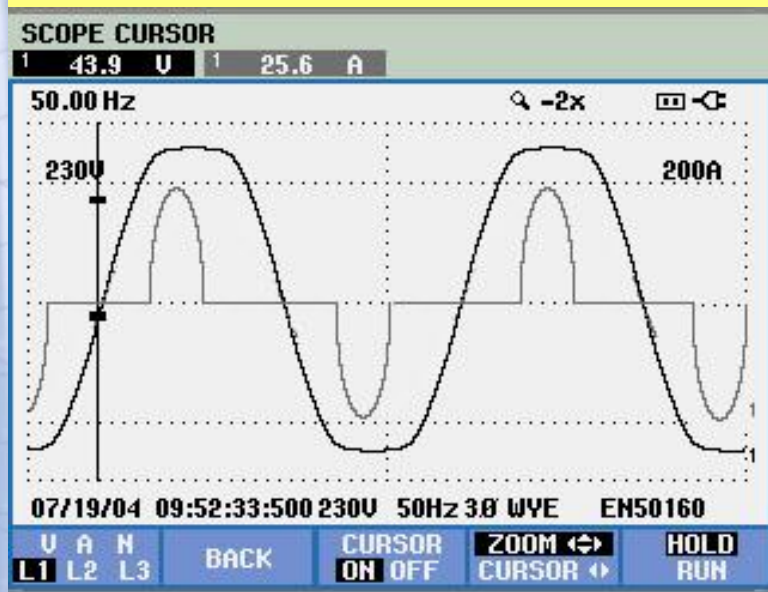
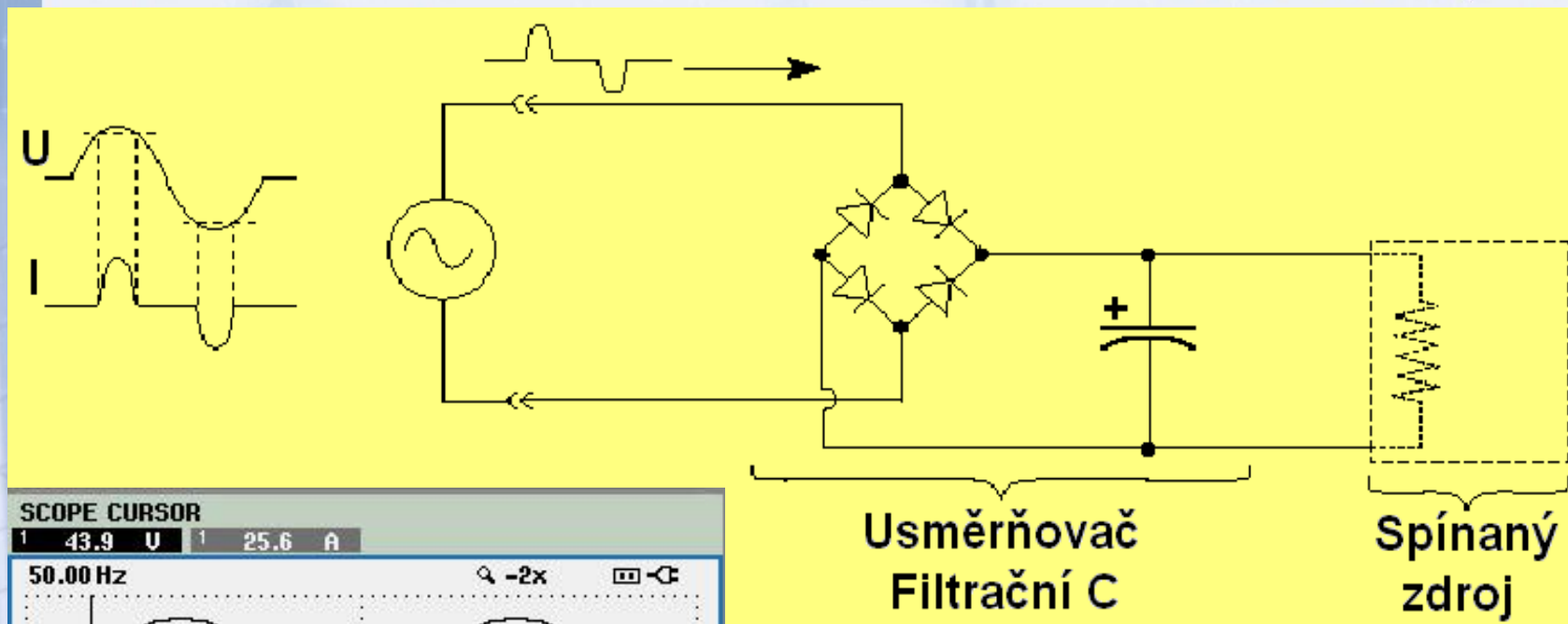
Napětí (NO)



NO = normalizované = Měřená hodnota dělená jmenovitou hodnotou

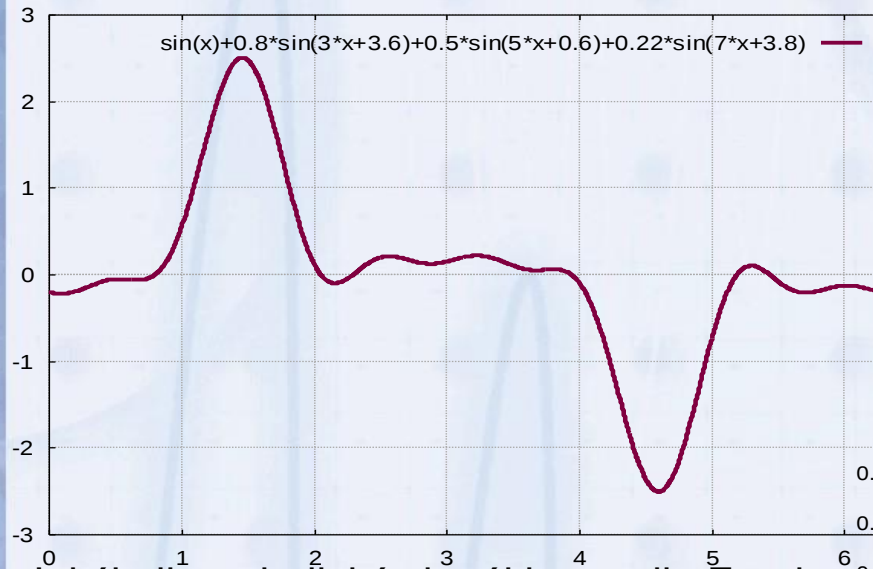
Harmonické

Podstata harmonické zkreslení



Harmonické

Rozklad neharmonického proudu na dílčí harmonické složky

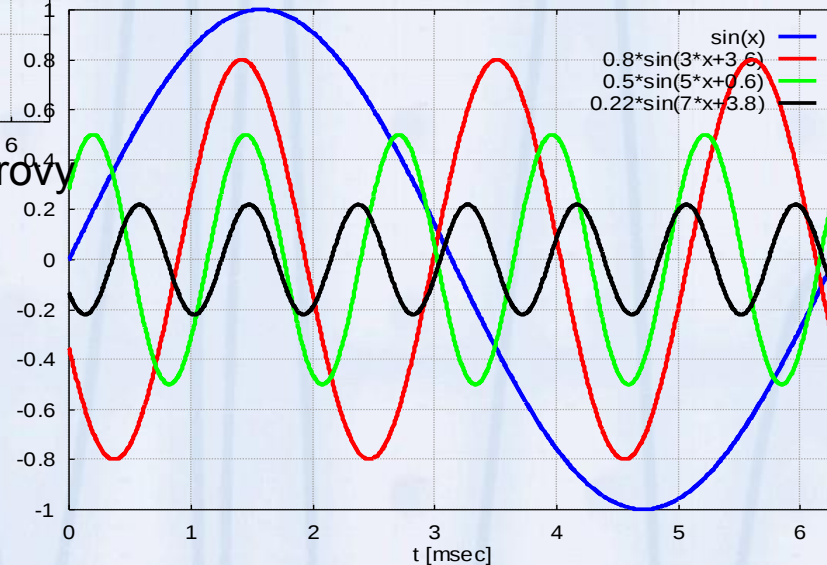


Jakýkoli periodický signál lze podle Fourierovy řady rozložit na dílčí harmonické složky.

Základní harmonická (50 Hz)

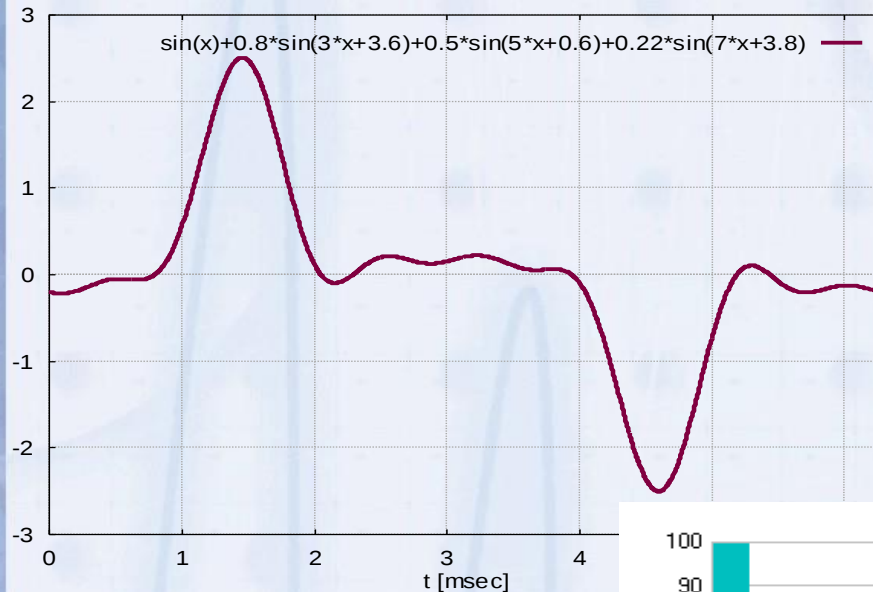
Vyšší harmonické – (100, 150, 200, ... Hz)

Násobky základní harmonické

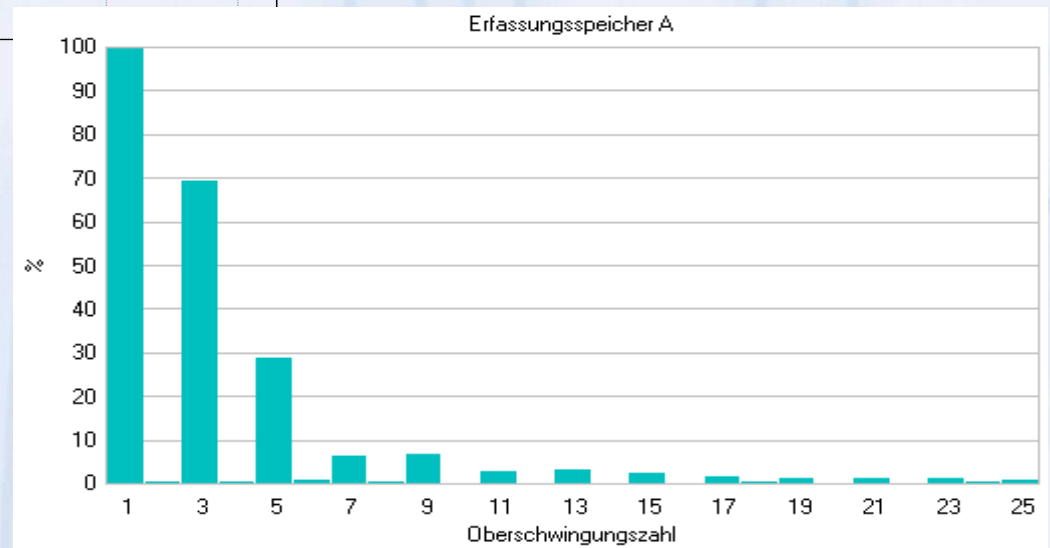


Harmonické

Rozklad neharmonického proudu na dílčí harmonické složky



Spektrum signálu



Zdroje harmonických

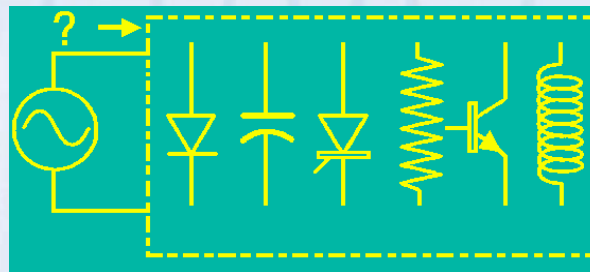
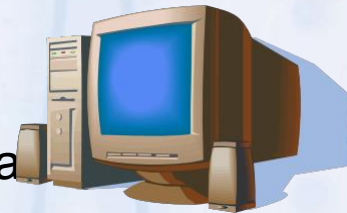


UPS -nepřerušitelné zdroje proudu

- Výstupní proud UPS je nesinusový s vysokým obsahem harmonických
- **Asynchronní motory řízené elektronickými regulátory otáček**
 - změna frekvence a amplitudy napájecího proudu
 - pulsní regulátory - napěťové řízení

Obecně

- připojování zařízení produkujících neharmonické proudy jako
- záložní zdroje
- regulátory rychlosti, zářivky, výbojky a většina domácích spotřebičů jako **televizory, počítače** atd.



Harmonické

Harmonické složky jsou sudé a liché násobky základní frekvence F_1

Tedy $F_1 \times 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, \dots$

Z energetického hlediska jsou nejproblematictější harmonické složky liché

3, 5, 7, 9, 11, 13,

Sudé harmonické se v ustáleném stavu prakticky nevyskytují

**Sudé harmonické signalizují přítomnost stejnosměrné složky,
která je velmi nebezpečná**

Harmonické vyšších řádů působí problémy z hlediska rezonancí a rušení citlivých obvodů

Velmi důležité jsou harmonické řádů násobků tří – 3., 9, 15, 21, ...

Mají nulovou sekvenci na rozdíl od základní složky, která má sekvenci kladnou.

Tyto složky se tedy sčítají na nulovém vodiči v soustavě s uzlem

V soustavách do truhelníka jsou potlačeny zapojením soustavy

Harmonické vlastnosti a směr

- Každá harmonická má stupeň a svůj vlastní směr

Harmonická	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Frekvence	50 Hz	100 Hz	150 Hz	200 Hz	250 Hz	300 Hz	350 Hz
Sekvence	+	-	0	+	-	0	+

Sudé harmonické indikují přítomnost stejnosměrného napětí v systému!

3. Harmonická

3 – fázová soustava

Základní harmonické jsou posunuty o 120° (tj. $1/3$ periody)
 $\Rightarrow$ 3. Harmonické jsou ve fázi.

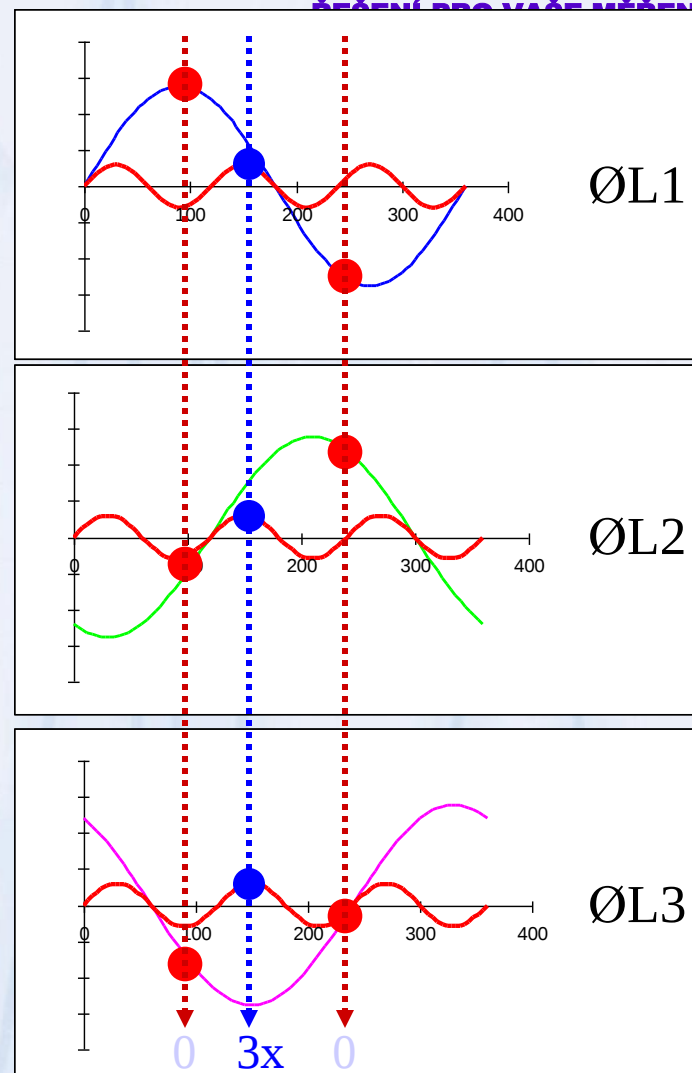
Důsledek:

Ve fázových vodičích se 3. Harmonická a její násobky neprojeví.

Nulovým vodičem protéká proud, jež se rovná součtu třetích harmonických.



Řešení pro vaše měření



5. a 11. Harmonická

- 5. a 11 harmonická je velmi důležitá vzhledem k jejich negativní sekvenci.
- Opačné směr otáčení proti složce základní
- U 3 fázového motoru 5. a 11. vytváří točivý moment opačného směru než základní složka. Brzdí otáčení motoru.
- Pro dosažení jmenovitého momentu motor odebírá větší proud
 - Vyšší spotřeba
 - Vybavování nadproudových ochran
- Zdrojem 5., 7. a 11. harmonické jsou 6-ti pulzní měniče a řízené pohony
- Zdrojem 11. a 13. harmonické jsou 12-ti pulzní měniče a pohony.

Vlivy harmonických dva typy

- **Okamžité vlivy**
 - Poruchy při provozu ochranných prvků
 - Relé, chráničů , pojistek...
- **Středně a dlouhodobé vlivy**
 - Přehřívání zařízení zkrácení zvýšení spotřeby
 - Ztráty ve vedení

Vlivy harmonických



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Souhrn elektrických zařízení ovlivňovaných harmonickými

- **Točivé stroje**
 - 3-fázové motory a generátory
- **Transformátory**
- **Kabely**
- **Přídavné oteplení statorového vinutí, oscilace rotoru vedoucí ke ztrátě mechanické stability a zvýšení hluku motoru**
- **Přídavné zvýšení ztrát v železe - Foucaultovými proudy a ve vinutí. Riziko přesycení.**
- **Zvýšení ohmických ztrát zvláště pak v neutrálním vodiči, kterým tečou proudy třetí harmonické. Koroze hliníkových kabelů vlivem ss proud.**

Redukce harmonickými – významný zdroj úspor

Vlivy harmonických

Souhrn elektrických zařízení ovlivňovaných harmonickými

- **Výkonová elektronika**
 - Problémy funkce vlivem rušení. Přídavné dielektrické ztráty vedoucí k poškození výkonových kondenzátorů
 - Funkční problémy spojené s rušením.
- **Počítače**
- **Ochranné prvky**
 - pojistky, chrániče, ...
- **Elektroměry**
- **Výbojky**
 - Páhodné nebo předčasné vybavení..
 - Chyby při měření.
 - Riziko kmitání vlivem 2.harmonické

Důsledky nízké kvality energie

- **Energetické ztráty**
- **Nízký účinník ztráty $\Rightarrow I^2$**
 - rozvody
 - Transformátory
- **Harmonické $\Rightarrow I^2$**
 - Rozvody, transformátory, motory
- **Kolísání napětí**
- **Proud středním vodičem**



Důsledky nízké kvality energie

- **Výroba a výrobní zařízení**
- Kvalita výrobků
- Výpadky výroby
- Zvýšené náklady na údržbu
- Snížená životnost zařízení



Odstraněním vlivu:



nízkého účinníku

napětového a proudového nevyvážení

vlivu harmonických složek

kolísání napětí

Lze získat úsporu 5-15%

Místa kde lze spořit elektrickou energii kvalitou elektřiny



1. Elektrické motory cca 70-80% celkové spotřeby

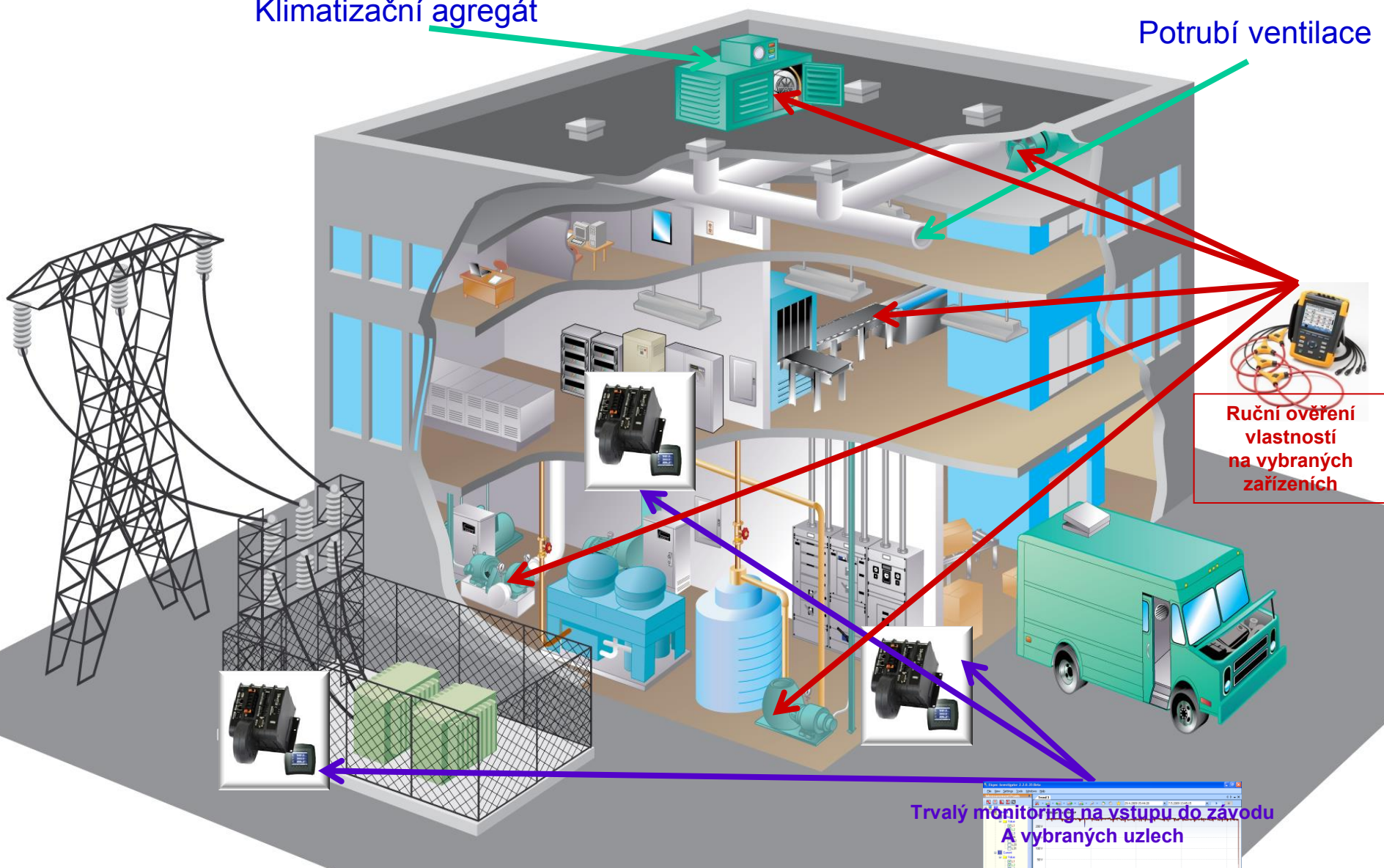
1. Elektrické pohony
2. Ventilace a klimatizace
3. Tlakový vzduch
4. Svářecí systémy
5. Tvarovací a dělicí stroje
6. Transformovny

2. Nejnižší spotřeba => optimální pracovní podmínky

1. Tepelné
2. Elektrické
3. Mechanické

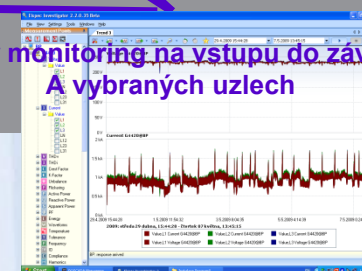
Klimatizační agregát

Potrubí ventilace



23.3.2010

Ing. Jaroslav Smetana



Dlouhodobý monitoring je způsob jak:

1. Snížit provozní náklady
2. Optimalizovat využití sítě
3. Zvýšit spolehlivost a redukovat výpadky

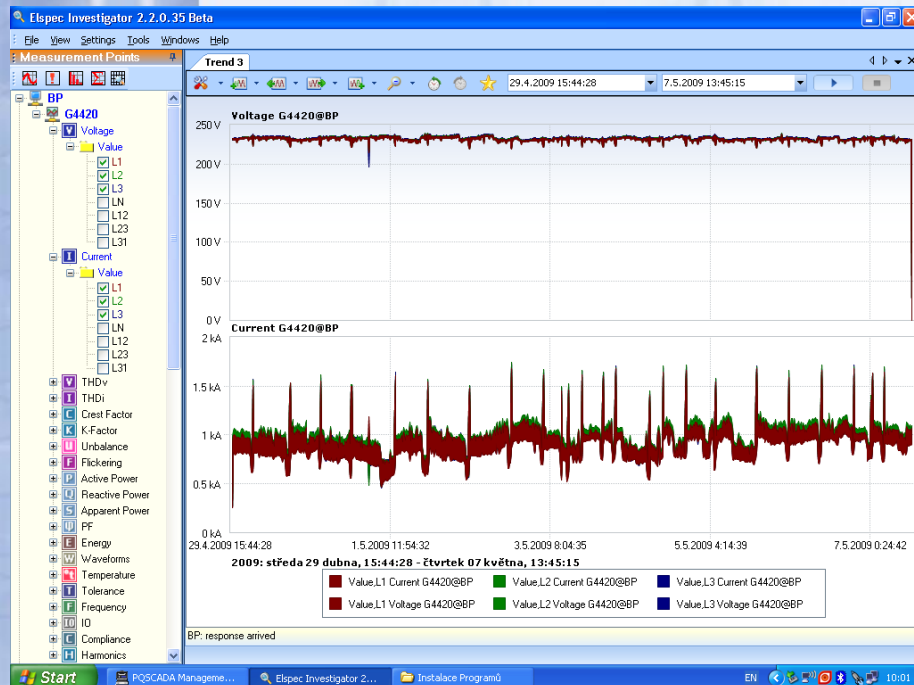


Dlouhodobý monitoring a jeho přínosy

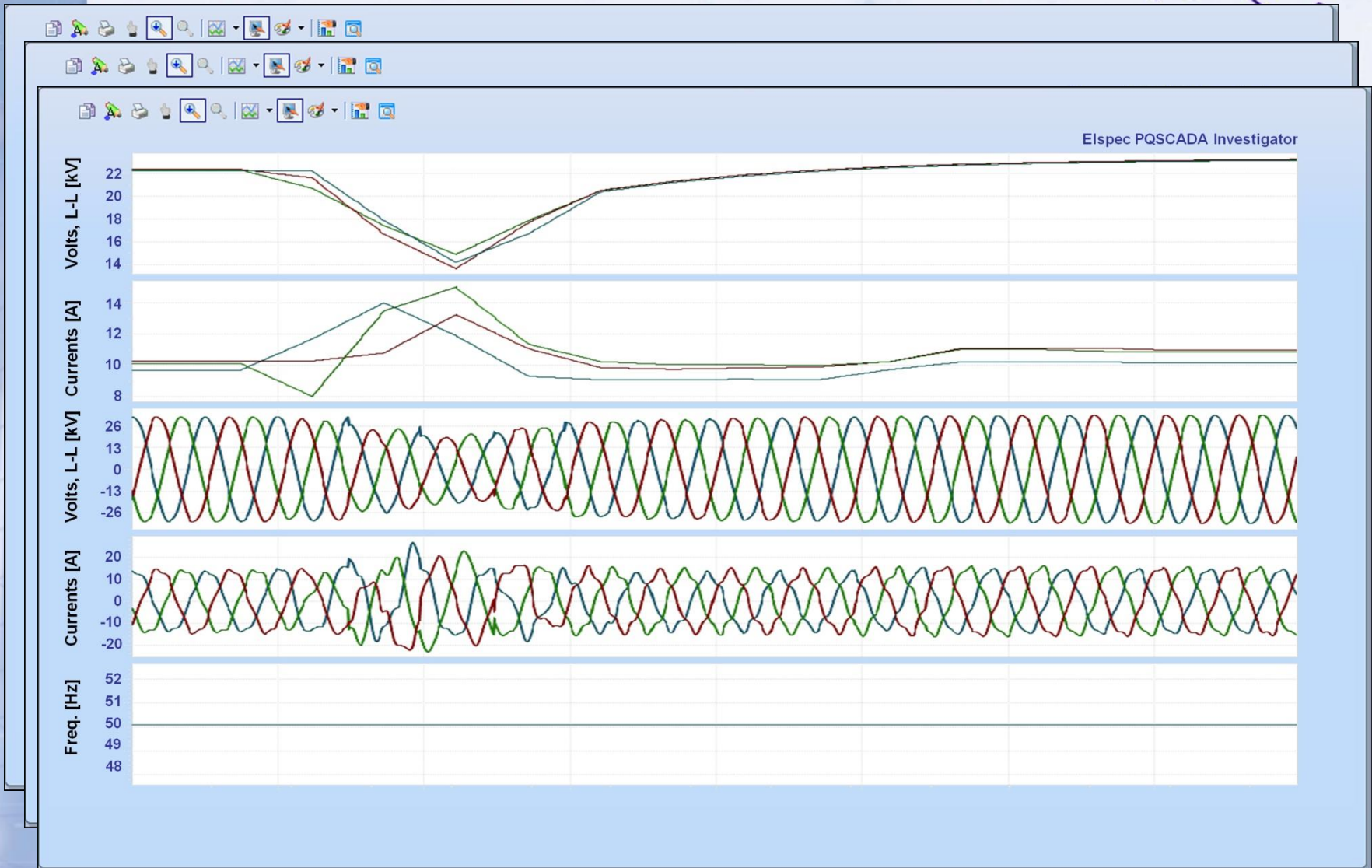


...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

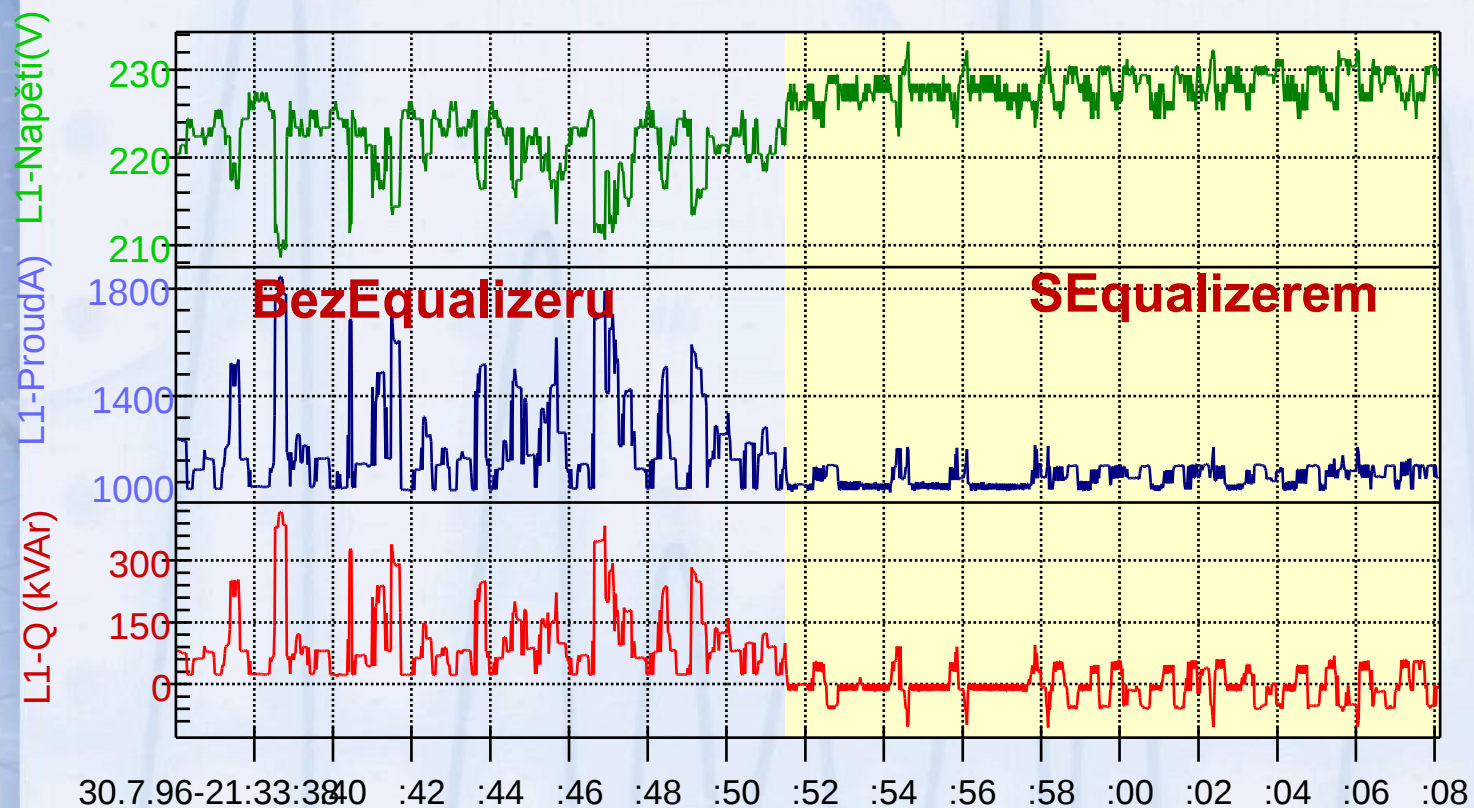
- Zařízení, které provádí kontinuální záznam klíčových parametrů kvality el. Energie
- Rychlý záznam U, I, S, P, Q, Cosf,
- **Představa o dlouhodobém vývoji a charakteru elektrické energie**
- V případě poruchy máme možnost zpětně dohledat tyto parametry a určit z nich příčinu poruchy



Potřebné vlastnosti přístrojů



Příklad z automobilového průmyslu



Náprava stavu

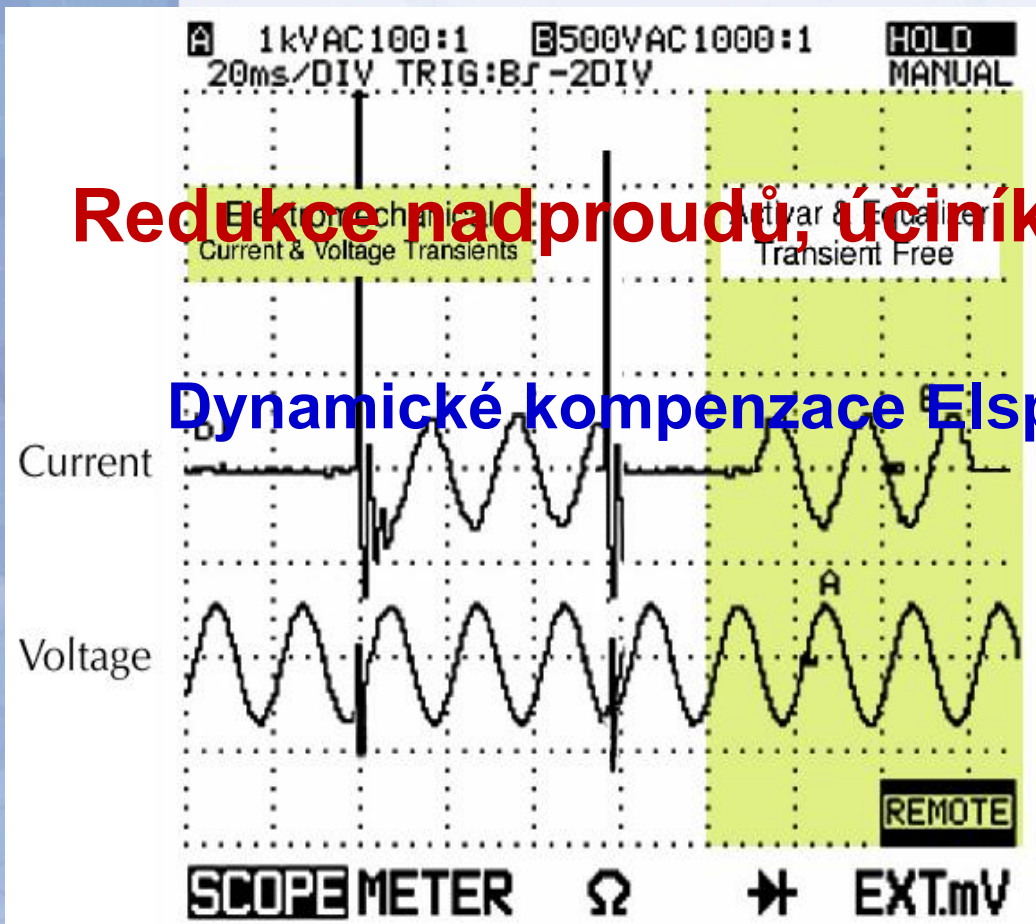
Stabilizace napětí – Účinník - Harmonické složky



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Redukce nadproudů, účinníku a harmonických

Dynamické kompenzace Elspec Equalizer



Ing. Jaroslav Smetana

Elspec Equalizer



- Kompenzace reaktivní energie perioda po periodě (celkový čas provedení od 2-10msec)
- Spínače kapacit v pevné fázi bez přechodových jevů
- Úspora energie
- Řešení pro problémy s kvalitou energie
- Harmonická filtrace
- Prevence výpadků napětí
- Redukce napěťového Flickeru
- Self testing a komplexní vytváření protokolů
- Zahrnuje výkonný analyzátor kvality

Hlavní části systému

Blue Panther
instruments



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

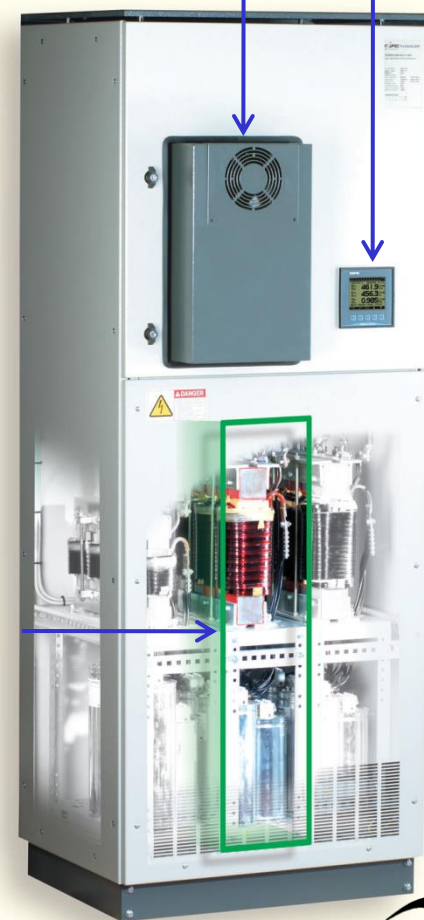
Analyzátor/
kontrolér



Spínací modul

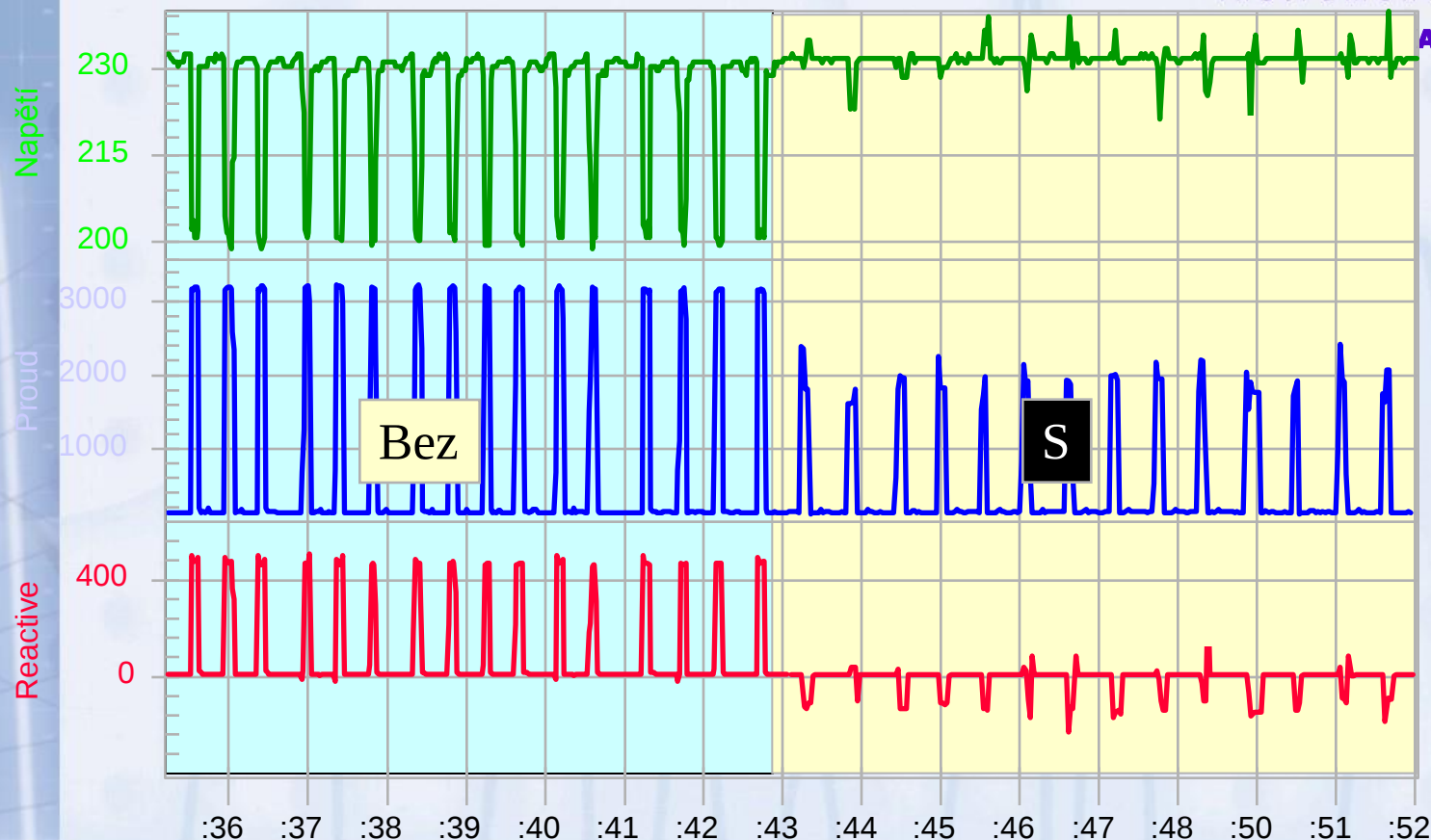


Modul
Kapacitor/Induktor



ESPEC

Kompenzace bodových svářeček



Bez kompenzace:

Špičkový proud = 3200 Amp.
Špička kVAr = 3*500 kVAr
Pokles napětí = 32 Volt

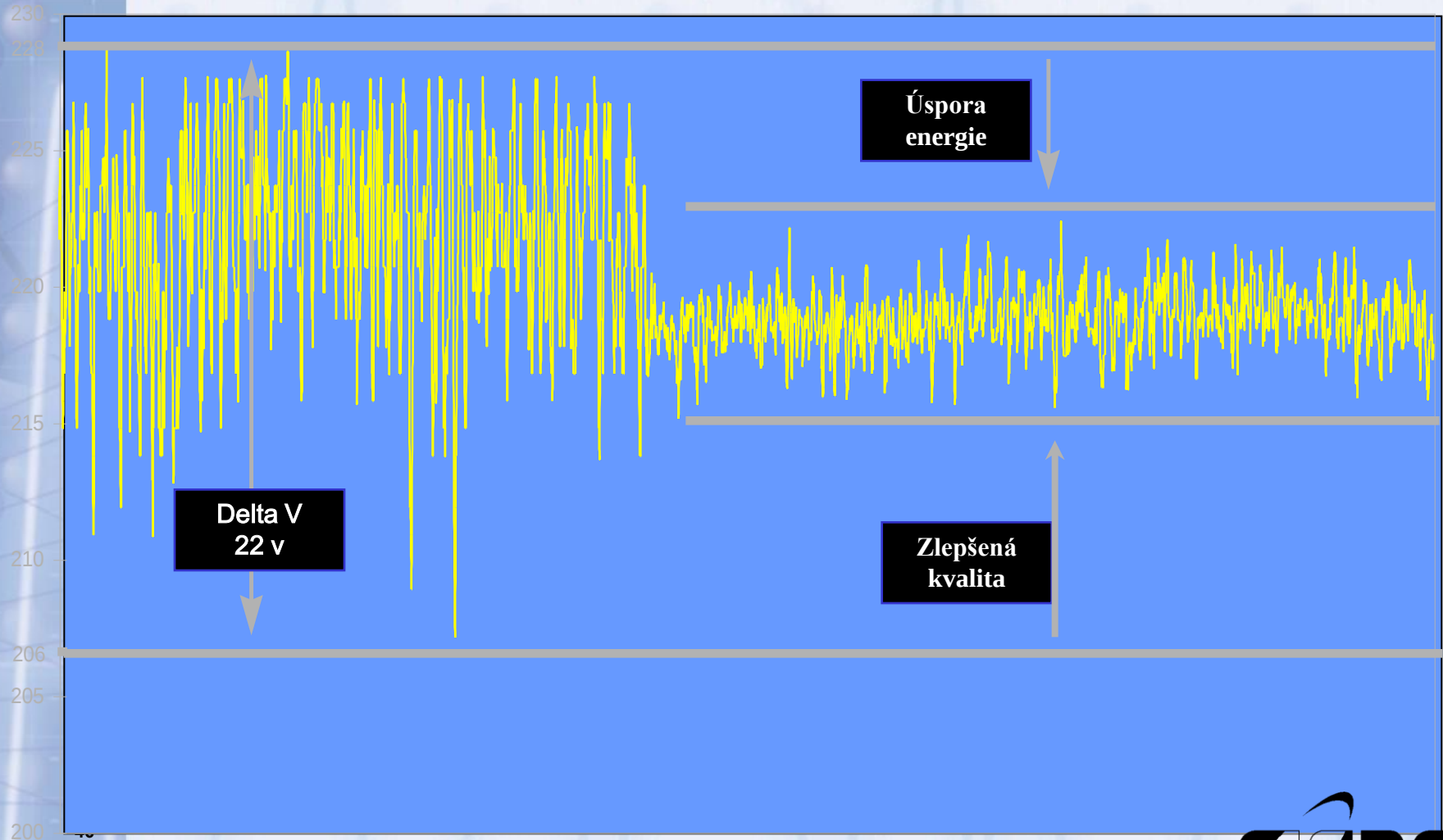
S kompenzací:

Špičkový proud = 2100 Amp.
Špička kVAr = 3*50 kVAr
Pokles napětí = 8 Volt

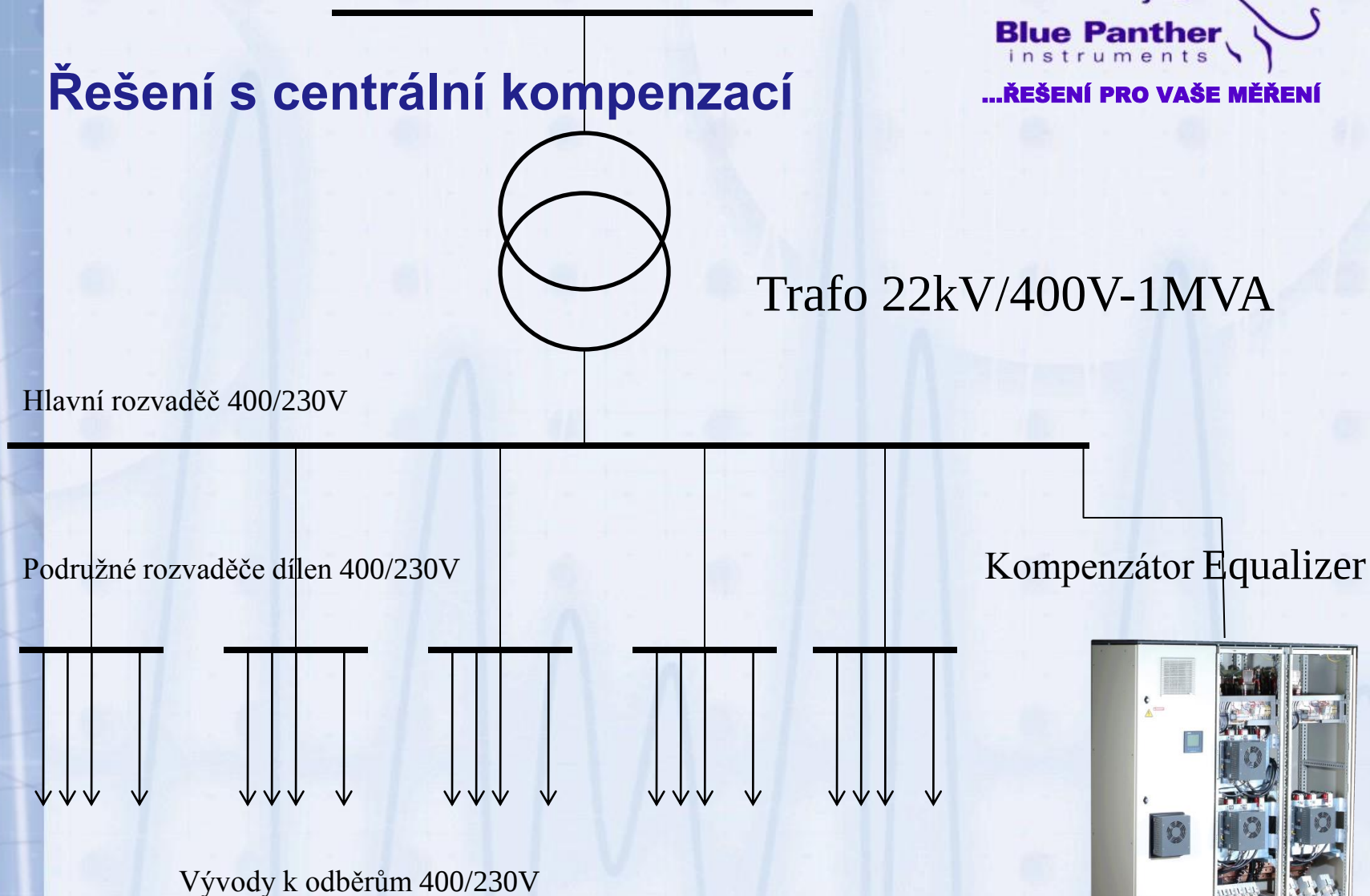
Úspory energie a zlepšení kvality



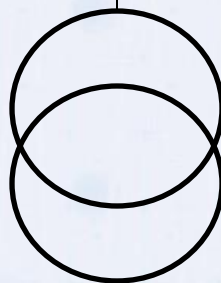
...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



Řešení s centrální kompenzací



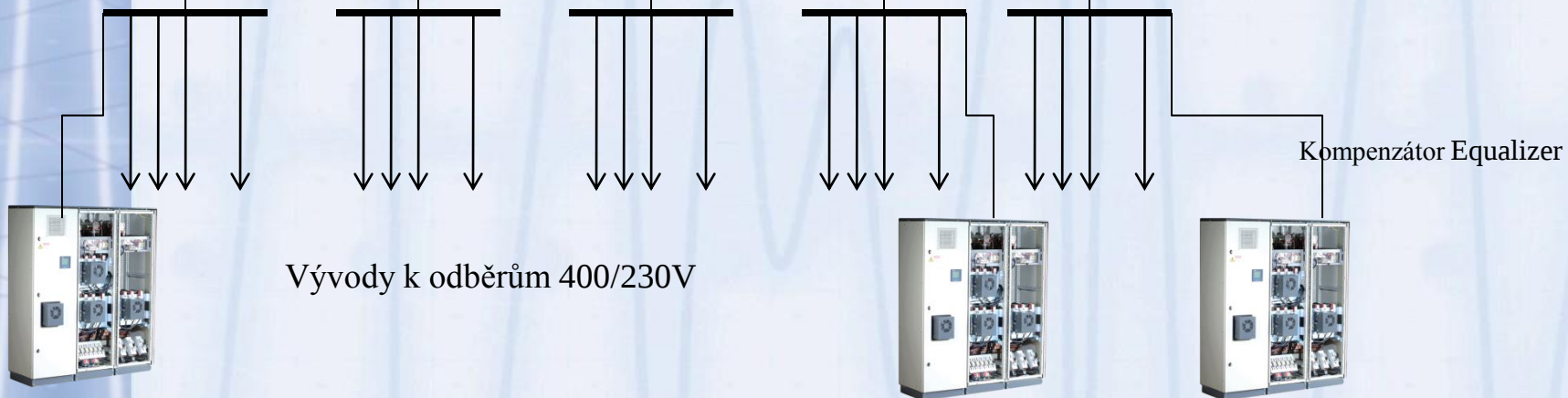
Řešení s decentralizovanou kompenzací



Trafo 22kV/400V-1MVA

Hlavní rozvaděč 400/230V

Podružné rozvaděče dílen 400/230V



Espec Equalizer



- Redukuje napěťové rychlé změny napětí
- **Spoří energii**
- Snižuje výrobní náklady
- **Redukuje náklady na údržbu a výpadky výroby**

Dotazy ?

**Děkuji za pozornost
Ing. Jaroslav Smetana**