



Hrozba nebezpečných rezonancí v elektrických sítích

Ing. Jaroslav Pawlas
ELCOM, a.s. - Divize Realizace a inženýring



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Konference Energie pro budoucnost XI, Brno – Amper 2014

1. Rezonance v elektrické síti - úvod

- Rezonance je jev, který nastává v elektrickém oscilačním obvodu, je-li buzen vnějším zdrojem, s kmitočtem shodným s kmitočtem vlastních kmitů obvodu. Při rezonanci je nejefektivnější přenos energie z vnějšího budícího zdroje do oscilačního systému.
- Budeme se zabývat rezonancí v elektrických sítích, ve frekvenční oblasti 50 Hz až 2500 Hz (1. až 50. harm.).
- Základní prvky sítě: transformátory, reaktory, venkovní a kabelová vedení, asynchronní a synchronní motory, kondenzátorové baterie a filtry - pasivní prvky, definované odporem, indukčností a kapacitou:

1. Rezonance v elektrické síti - úvod

- Transformátory, reaktory, motory – ve frekvenční oblasti do 2500 Hz se uplatňuje hlavně indukčnost a odpor, kapacita se zanedbává
- Venkovní a kabelová vedení – jsou definovaná rozprostřenými parametry R-L-C:
 - U vedení a kabelů NN můžeme kapacitu zanedbat
 - V sítích VN je vliv kapacity významný hlavně u kabelů
 - V sítích VVN je vliv kapacity významný venkovních i kabelových vedení
- Kondenzátorové baterie: jsou definované kapacitou a odporem, indukčnost se zanedbává
- Filtry: jsou definované kapacitou, indukčnostmi a odporem

1. Rezonance v elektrické síti - úvod

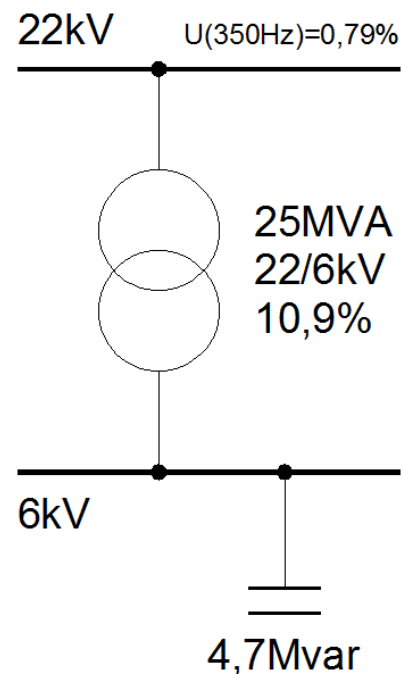
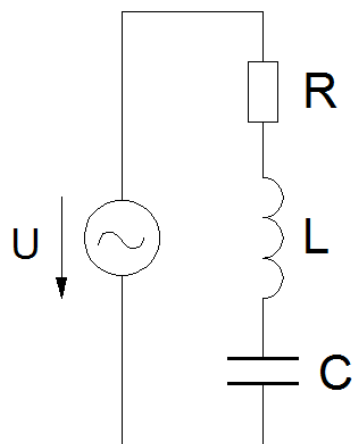
- Elektrická síť je složitý mnohofrekvenční R-L-C obvod, pro výpočet závislosti impedance sítě na frekvenci – tzv. frekvenční charakteristiky sítě – se používají speciální programy, v jednoduchých případech je ale možný i ruční výpočet.
- Jakýkoliv průběh frekvenční charakteristiky sítě sám o sobě nepředstavuje žádný problém – nebezpečná rezonance vzniká teprve působením zdroje napětí nebo proudu v blízkosti rezonanční frekvence

1. Rezonance v elektrické síti - úvod

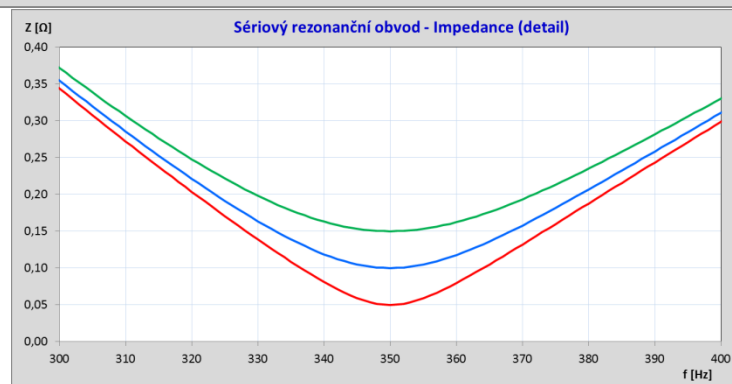
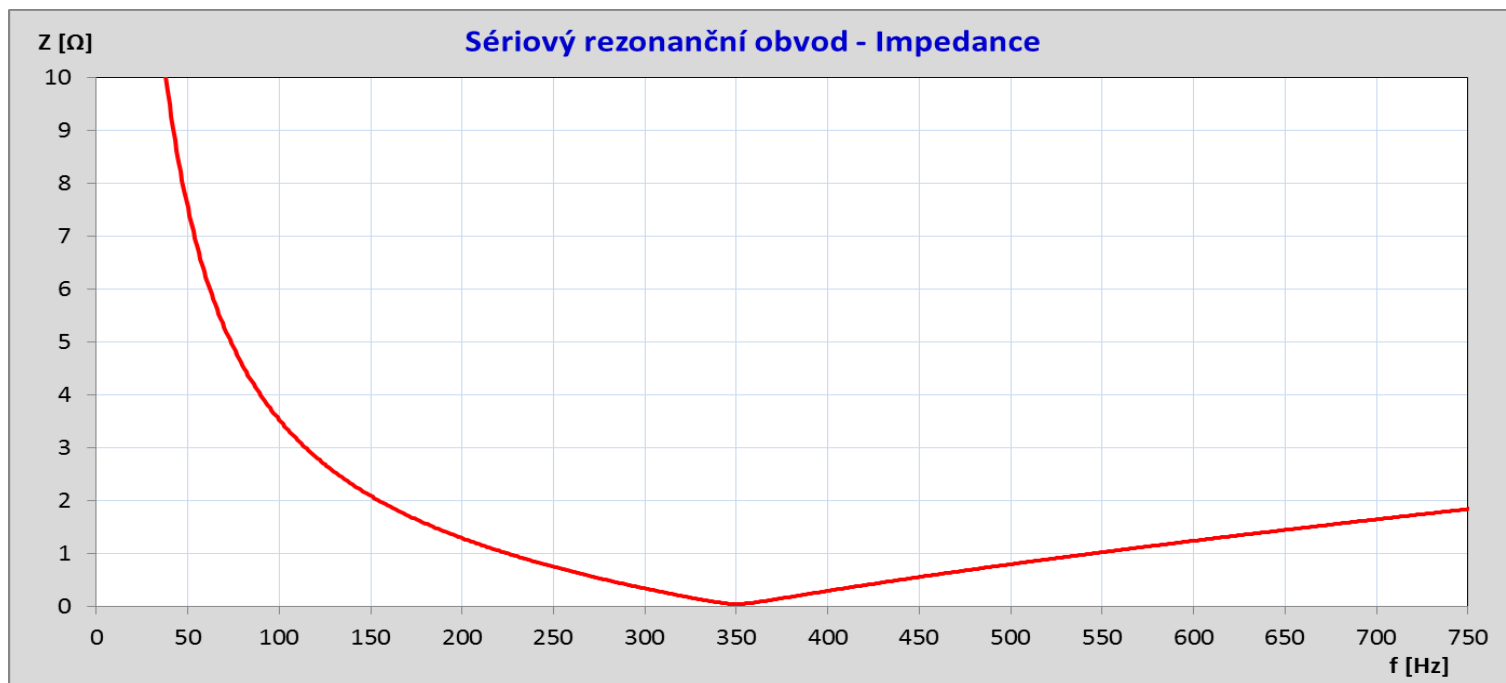
- Generátory, které jsou pro 50 Hz zdroji napětí se pro vyšší frekvence stávají pasivními R-L prvky
- Zdroji jsou nelineární spotřebiče:
 - Řízené a neřízené usměrňovače (5., 7., 11., 13., ... harmonická, někdy i 3. harmonická)
 - Frekvenční měniče (5., 7., 11., 13., ... harmonická)
 - Obloukové pece a svářečky (2., 3., 4., 5. harmonická a mezharmnické složky)
- Rezonanci mohou vybudit také vysílače HDO (hromadné dálkové ovládání) - např. 216.7 Hz
- Zdroji harmonických napětí jsou také přesycené magnetické obvody elektrických strojů

2. Jednoduché rezonanční obvody

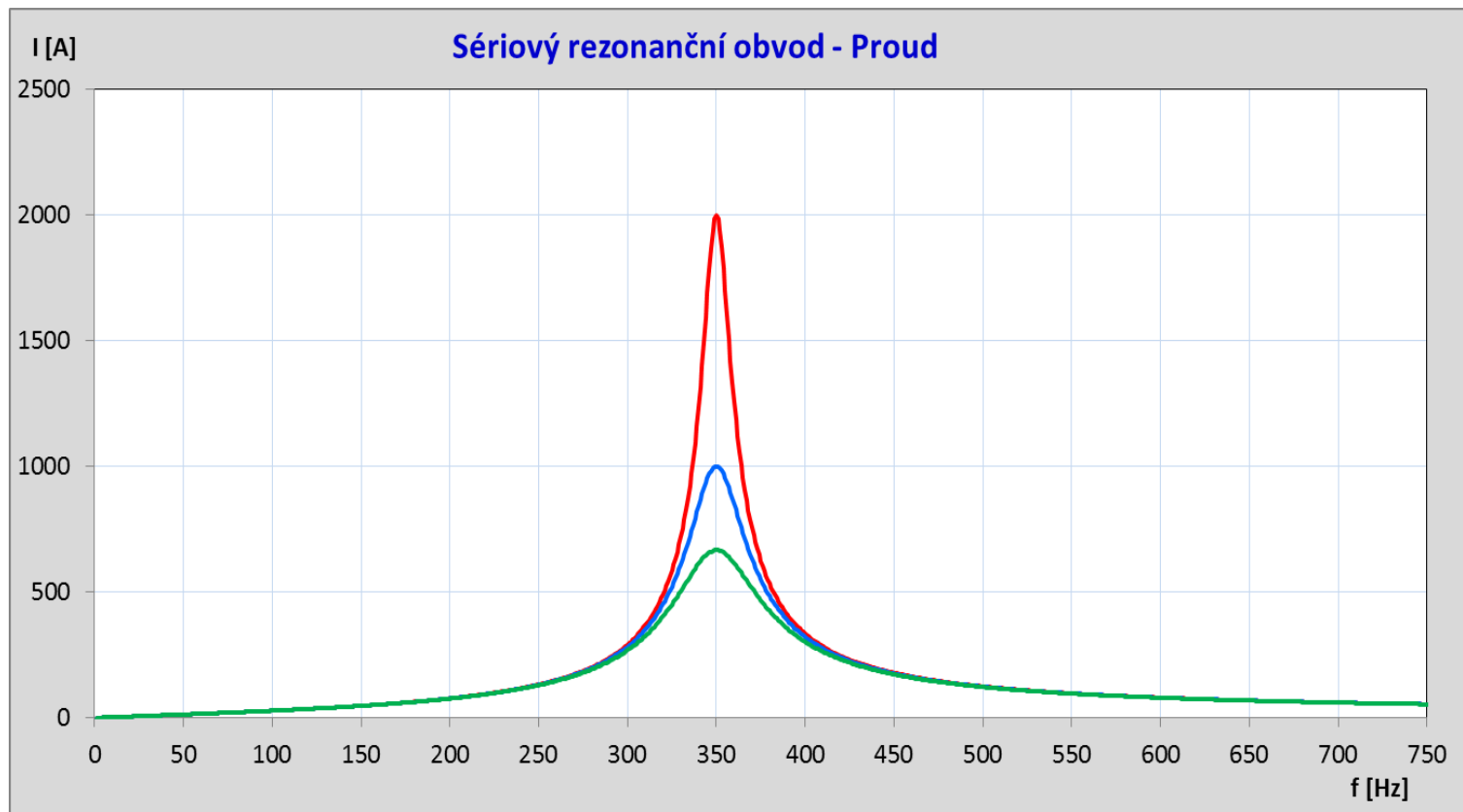
SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD



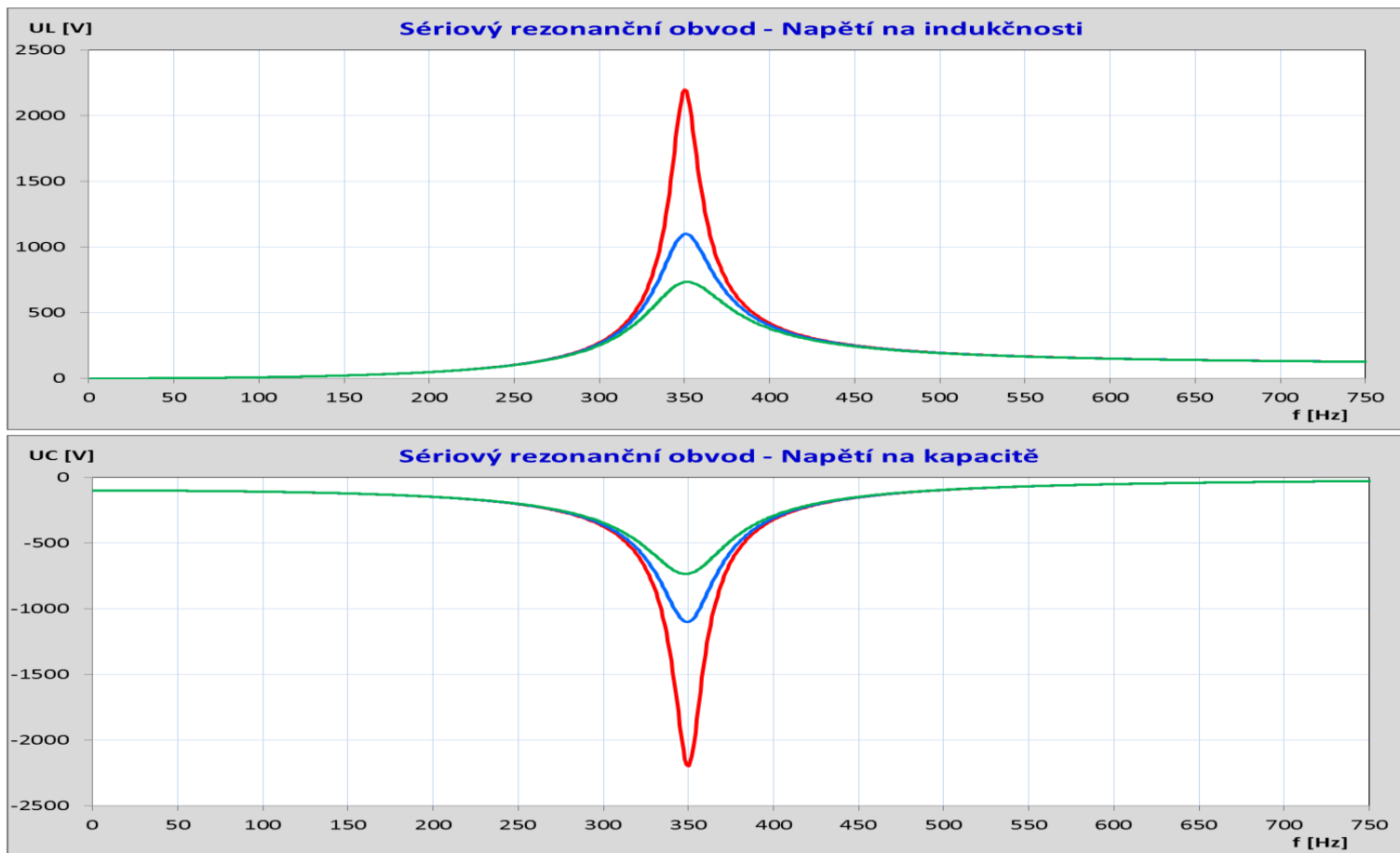
SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD



SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD

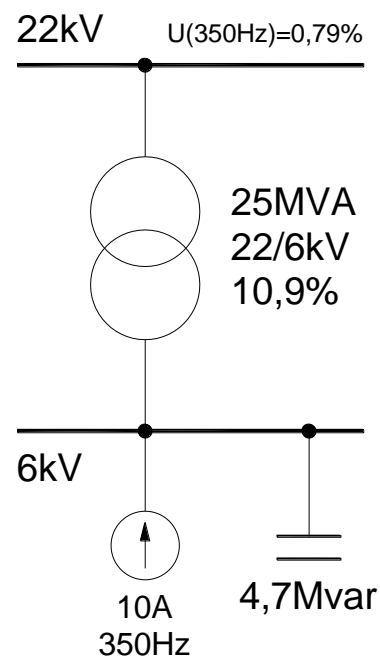
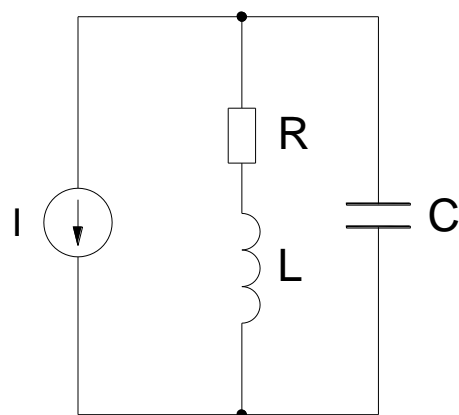


SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD

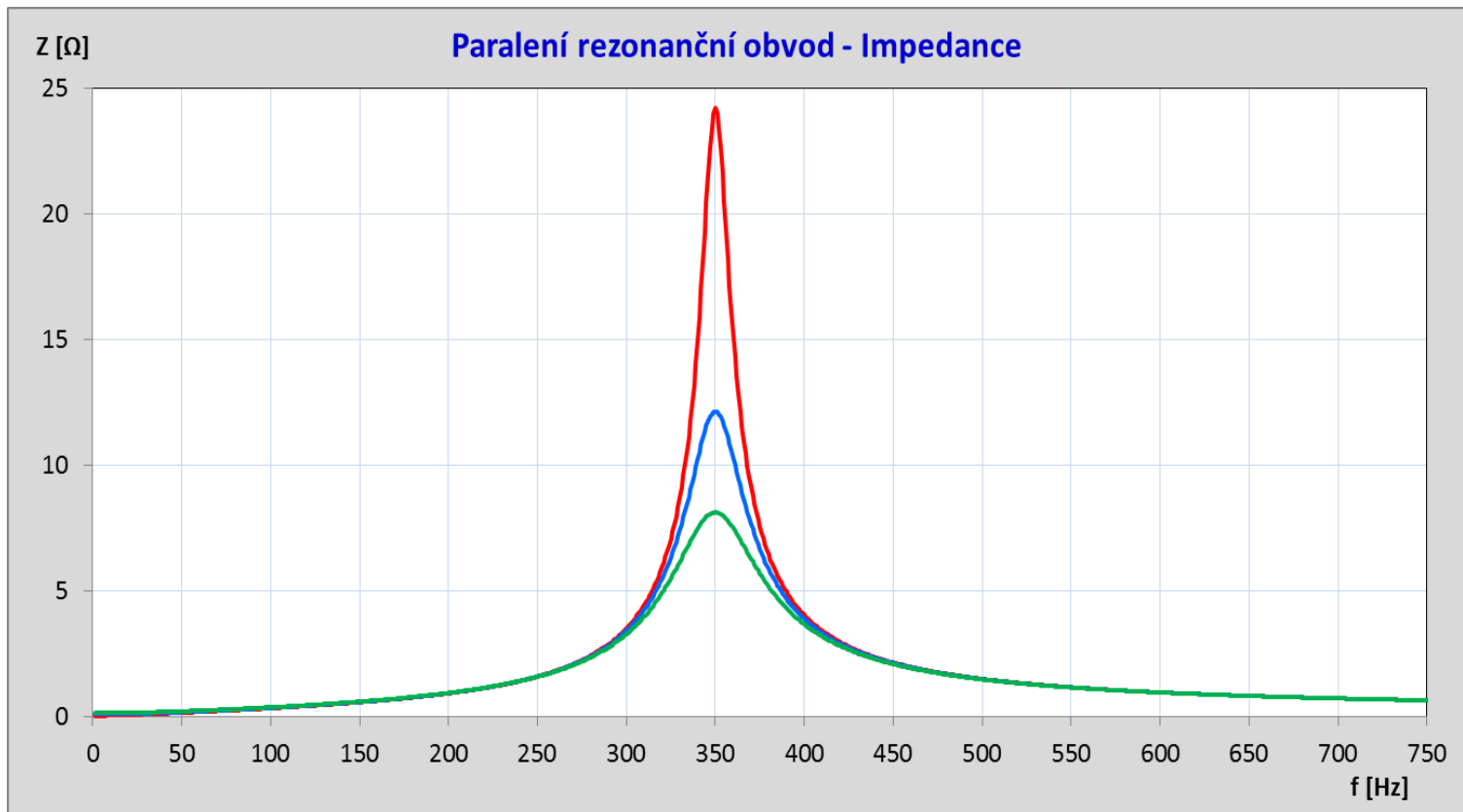


2. Jednoduché rezonanční obvody

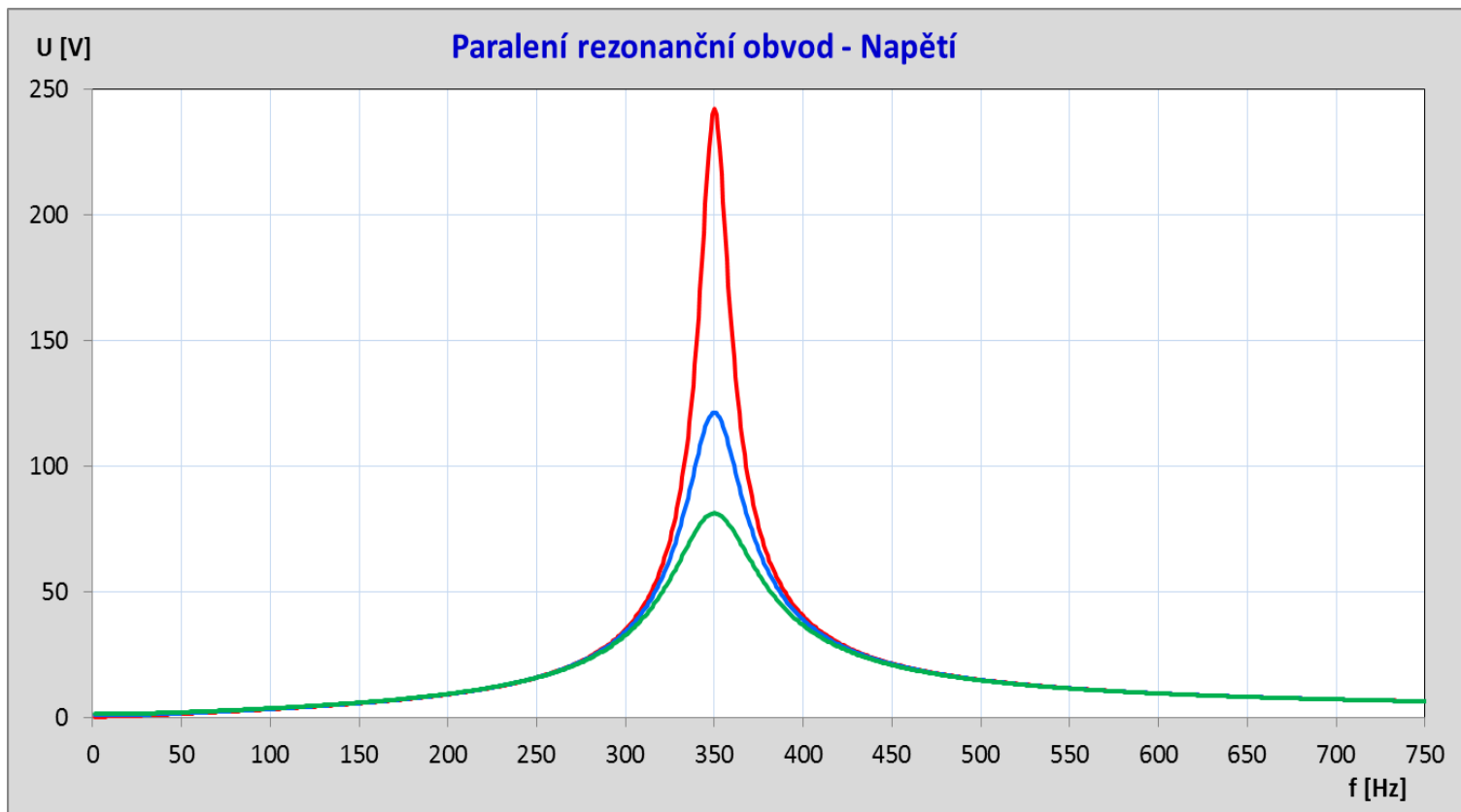
PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD



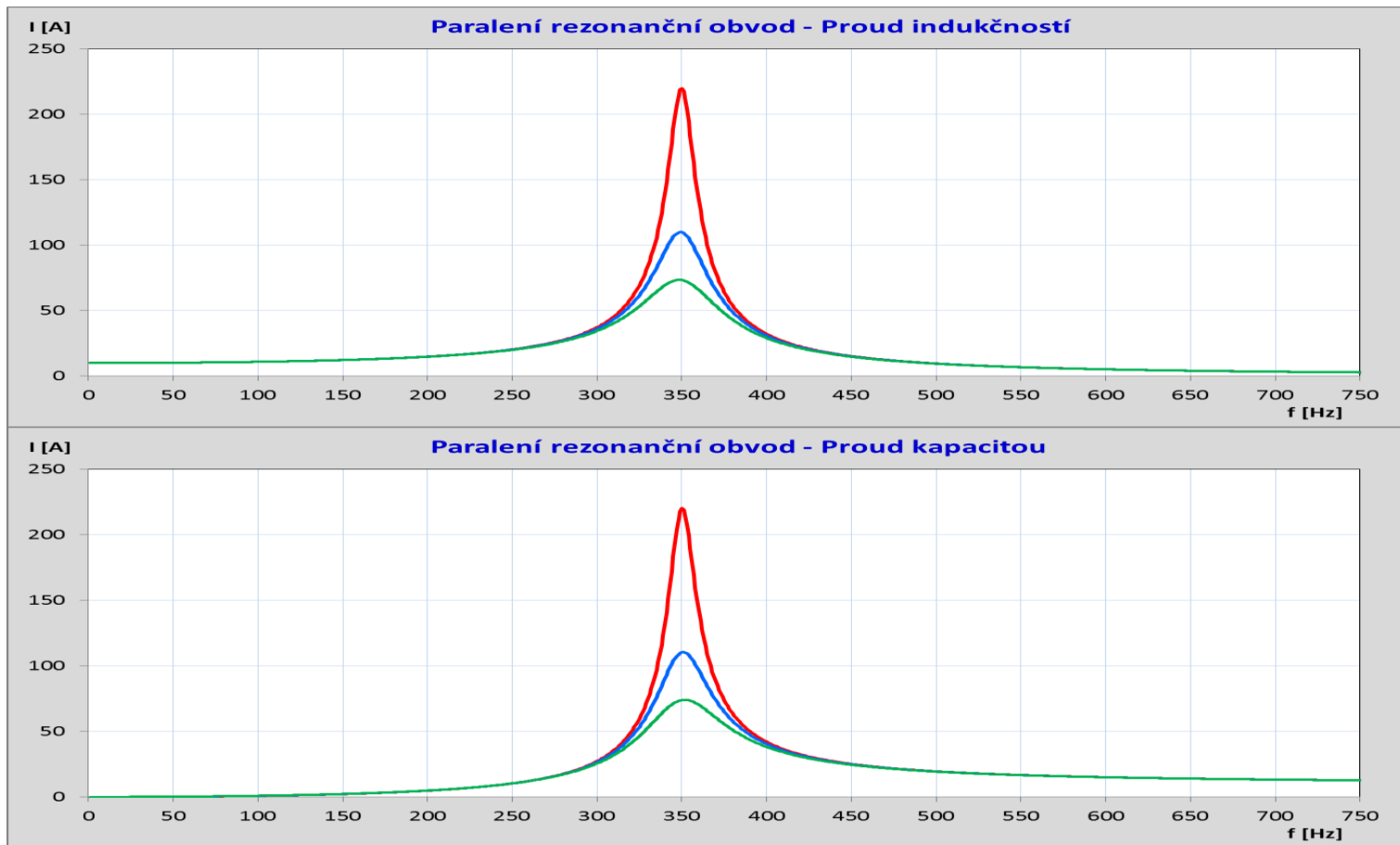
PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD



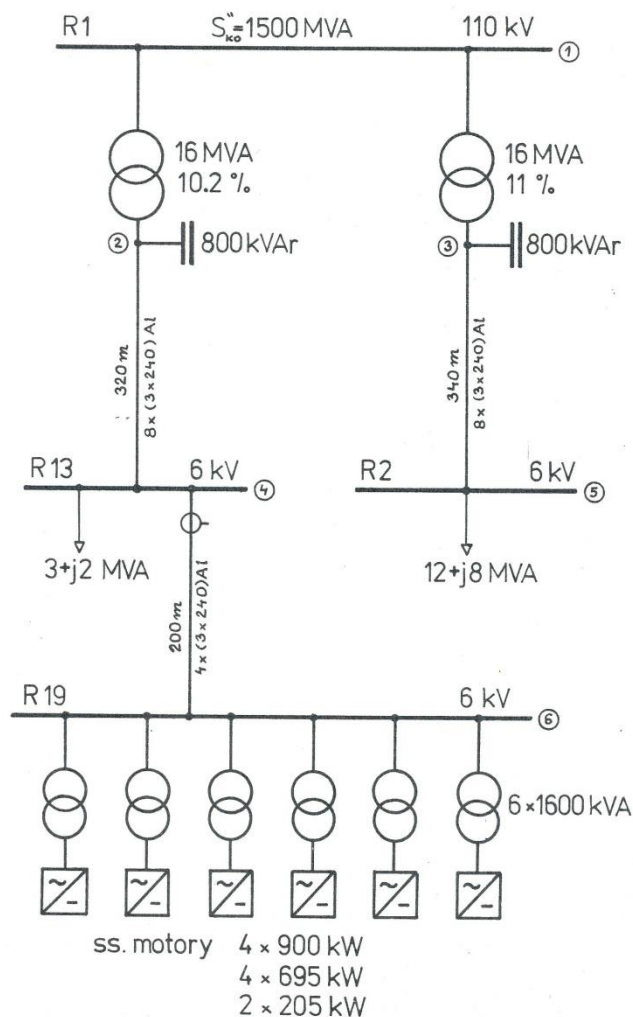
PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD



PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD



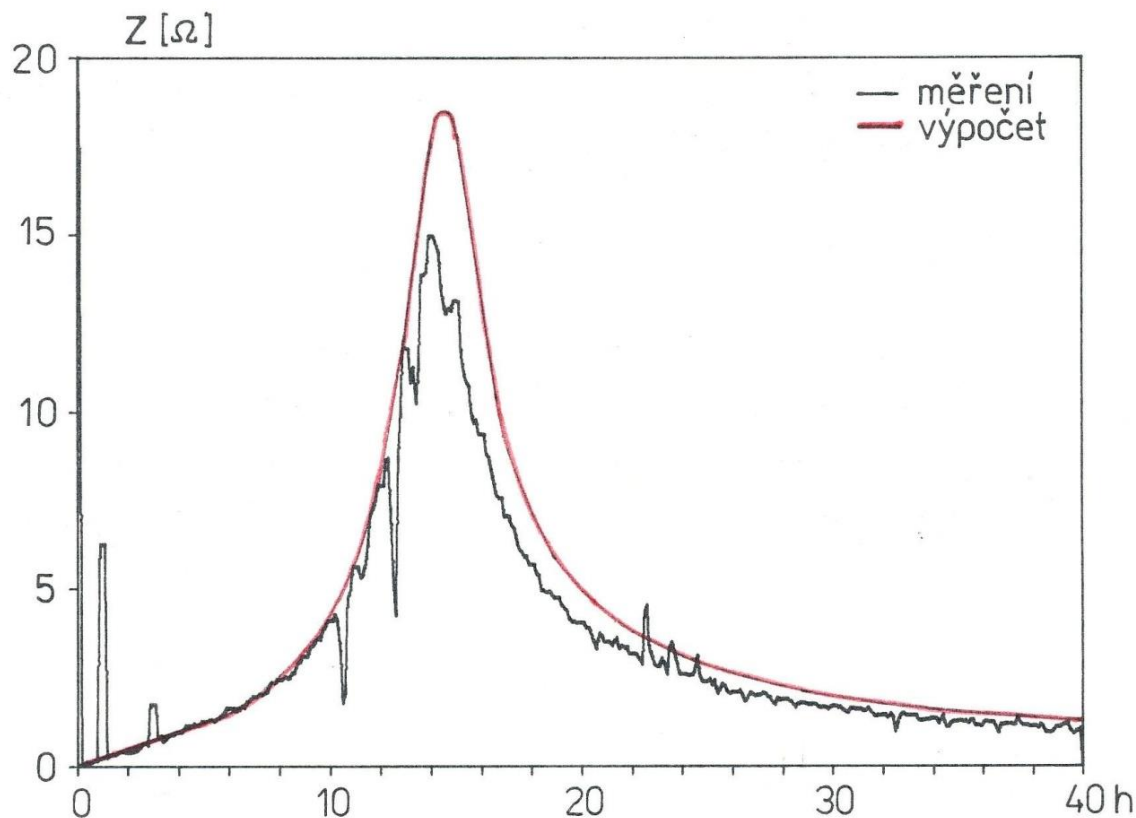
3.1 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV



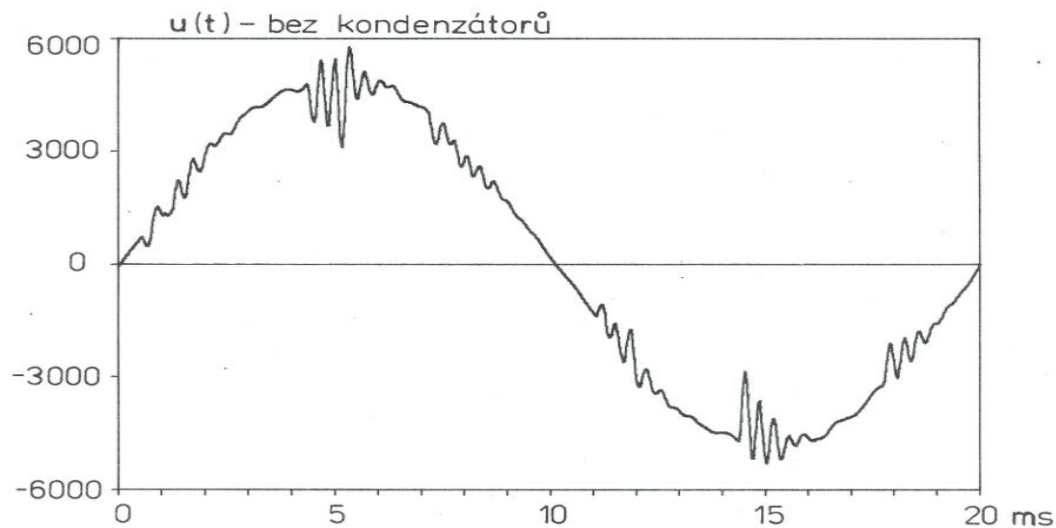
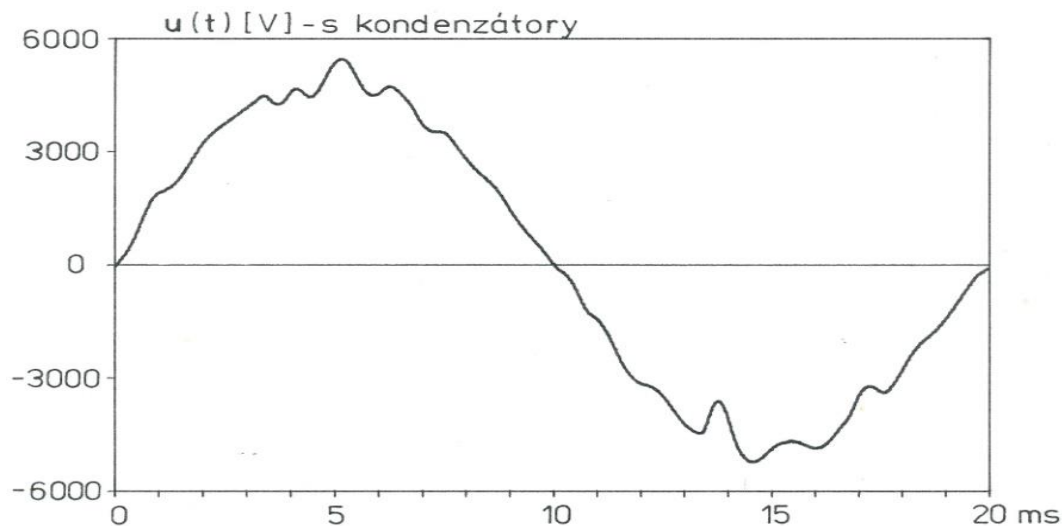
- Průmyslová síť 6 kV, napájená z transformátoru 110/6 kV, 16 MVA, s kondenzátorovou baterií 800 kvar na sekundární straně 6 kV
- Regulované pohony válcovací stolice - stejnosměrné motory o celkovém výkonu asi 6,8 MW, napájené z řízených tyristorových usměrňovačů

3.1 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV

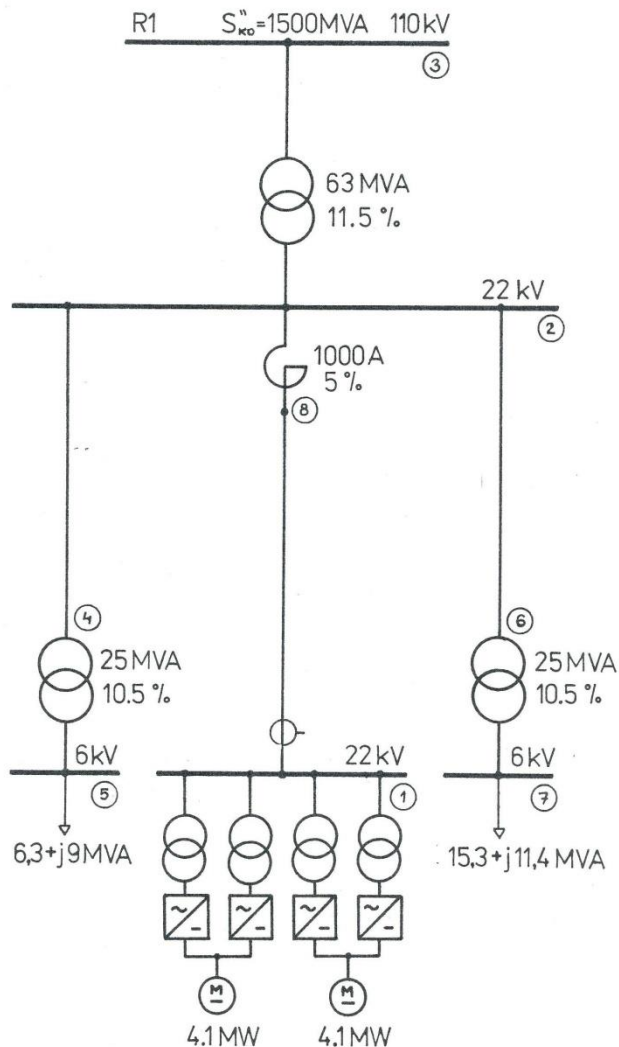
Naměřená a vypočtená frekvenční charakteristika sítě 6 kV pro uzel 6 (osa X = řád harmonické složky)



3.1 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV



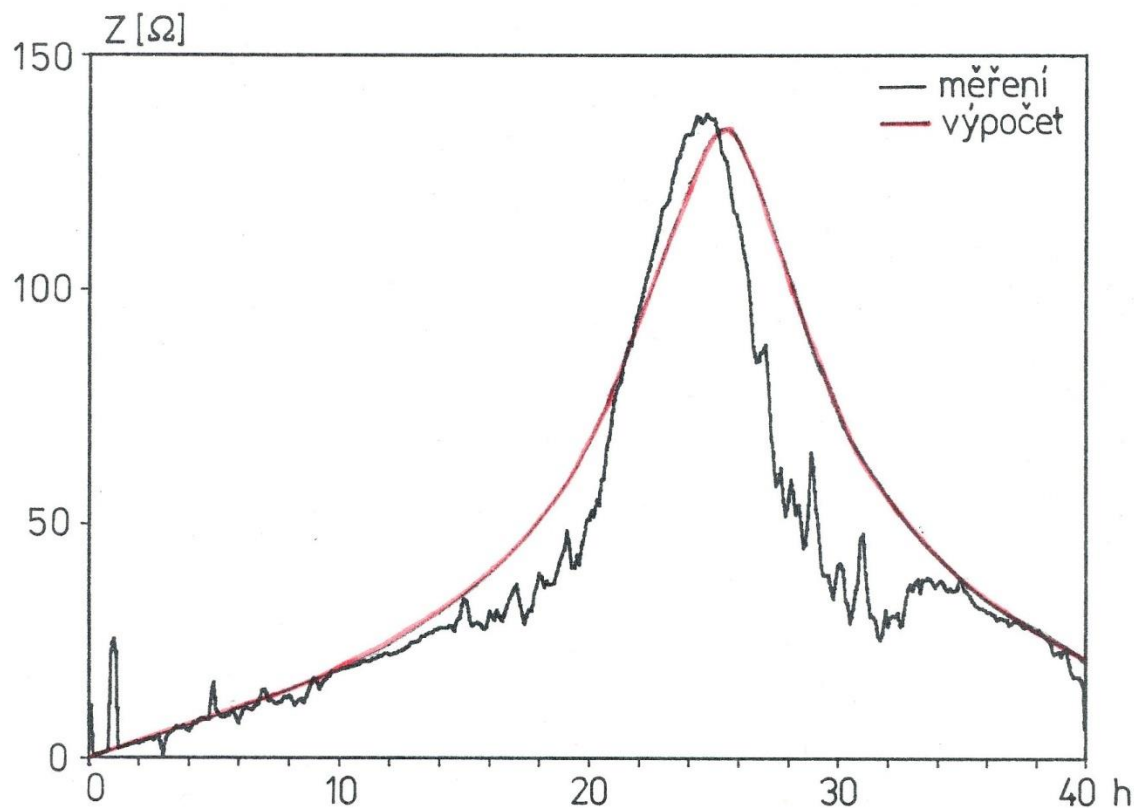
3.2 Ukázka rezonance v průmyslové síti 22 kV



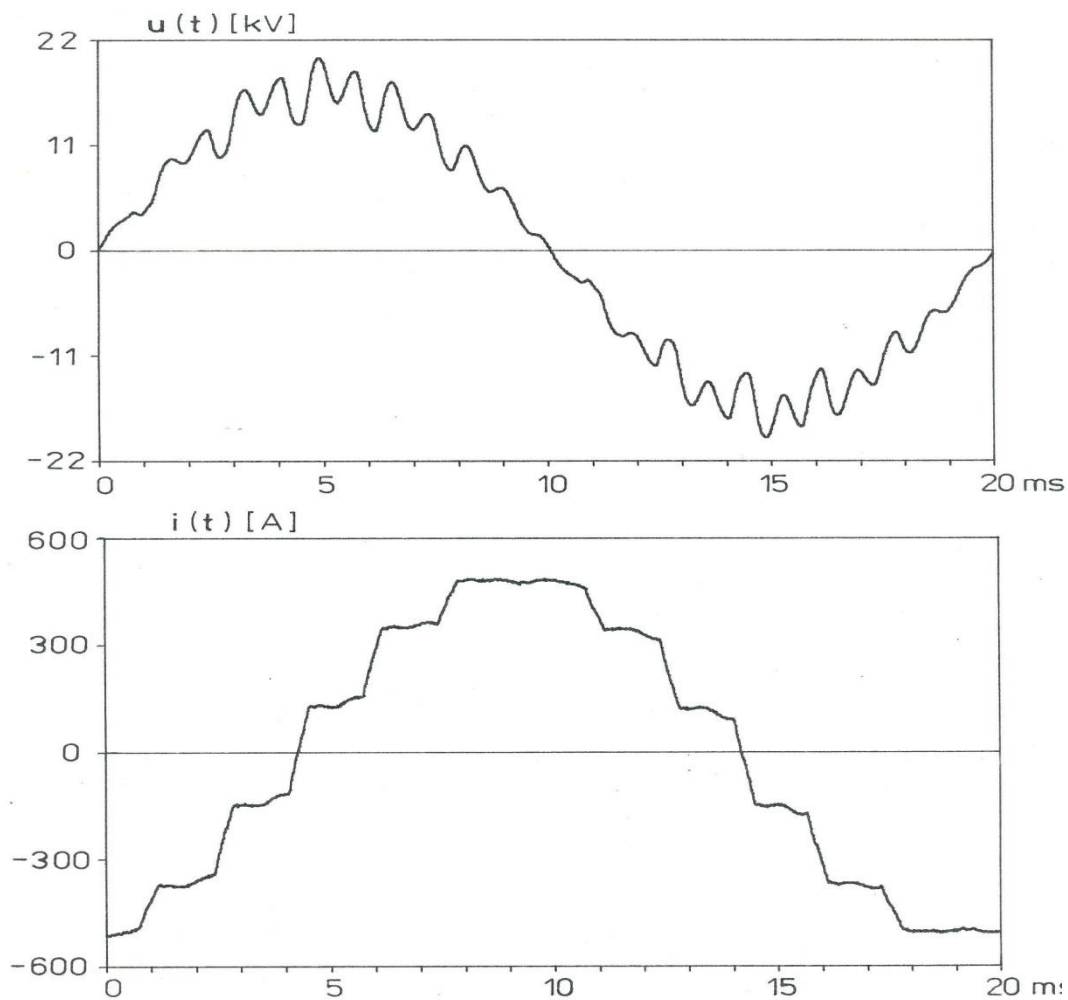
- Průmyslová síť 22 kV, napájená z transformátoru 110/22 kV, 63 MVA, bez kondenzátorů, dlouhé kabelové vedení 22kV mezi uzly 1 a 8.
- Regulované pohony reverzační válcovací stolice - stejnosměrné motory o celkovém výkonu 8,2 MW, napájené z řízených tyristorových usměrňovačů

3.2 Ukázka rezonance v průmyslové síti 22 kV

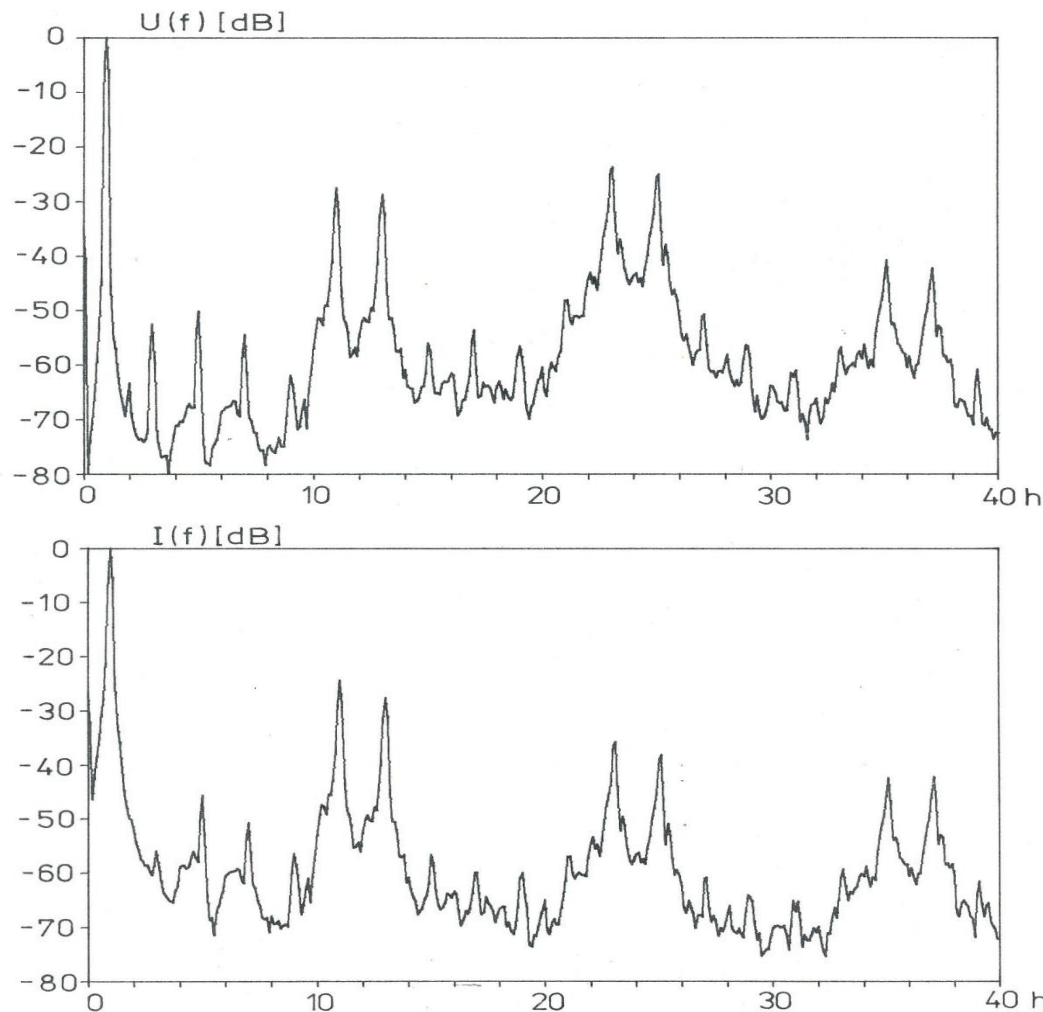
Naměřená a vypočtená frekvenční charakteristika sítě 22 kV pro uzel 1 (osa X = řád harmonické složky)



3.2 Ukázka rezonance v průmyslové síti 22 kV



3.2 Ukázka rezonance v průmyslové síti 22 kV

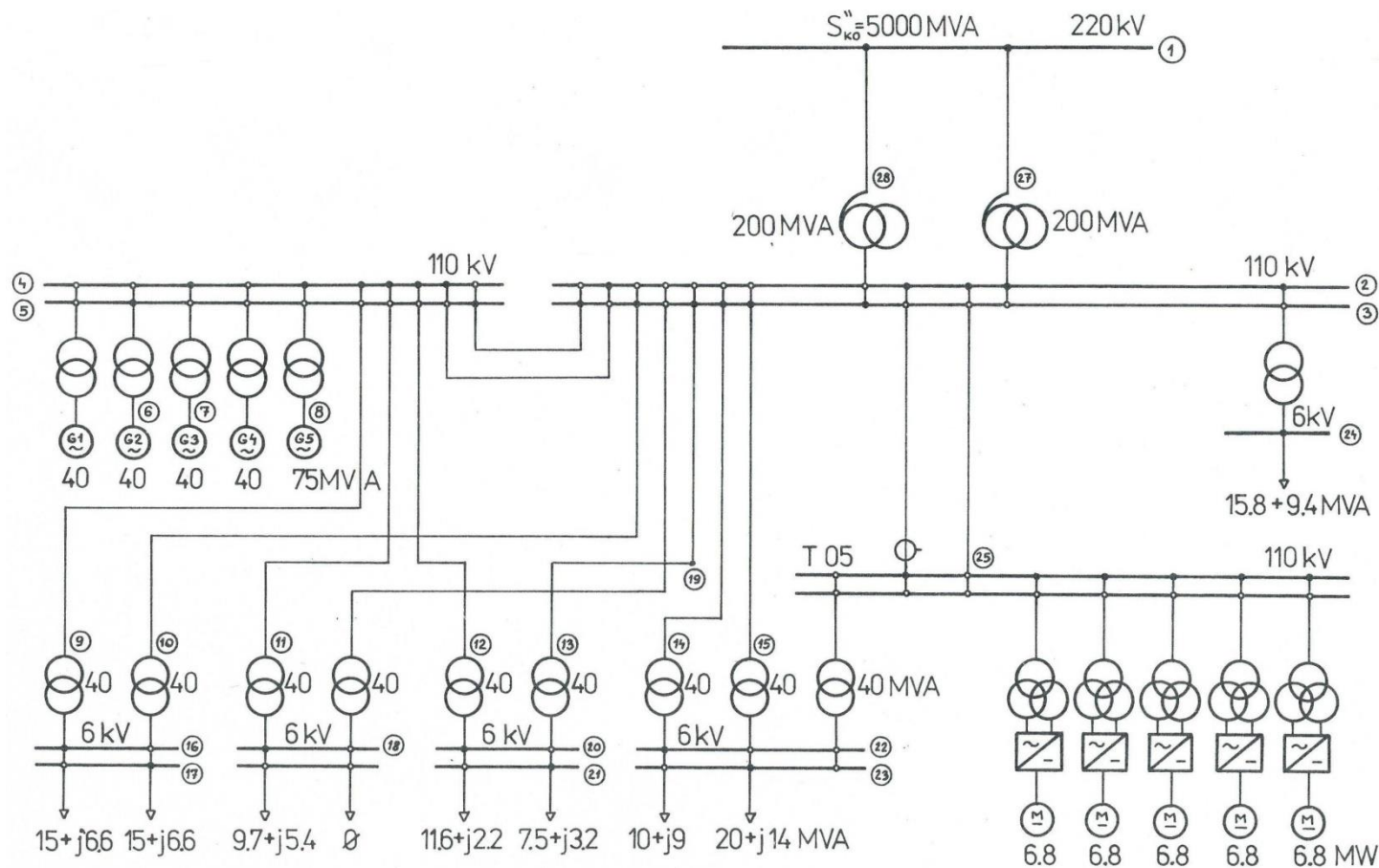


Harmonická napětí
Harmonické proudy
(1. až 40. harm.)

0dB = 100%
-10dB = 31,6%
-20dB = 10%
-25dB = 5,6%
-30dB = 3,16%
-35dB = 1,78%
-40dB = 1,00%
-50dB = 0,32%
-60dB = 0,10%
-70dB = 0,03%
-80dB = 0,01%

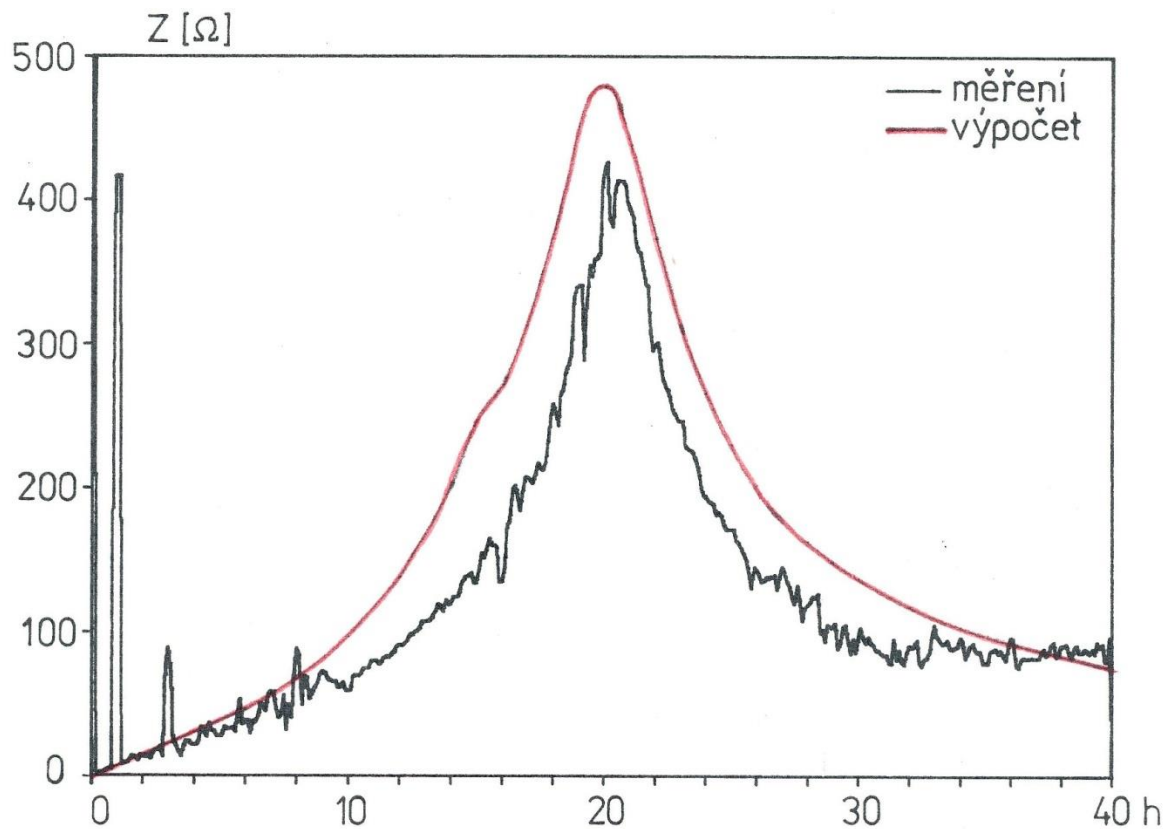
3.3 Ukázka rezonance v průmyslové síti 110 kV

Síť velkého hutního podniku s regulovanými pohony válcovny 5 x 6,8 MW, připojenými do sítě 110 kV, dlouhé kabely 110 kV

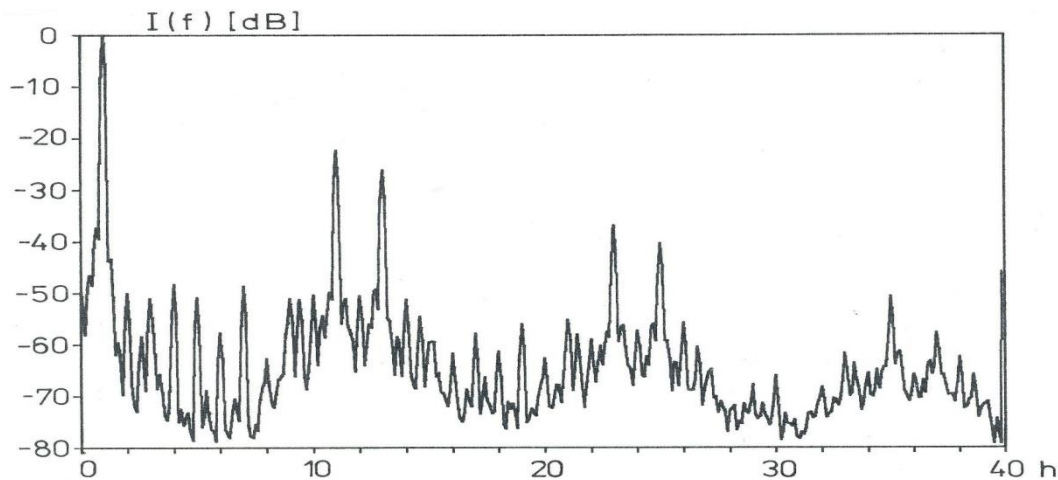
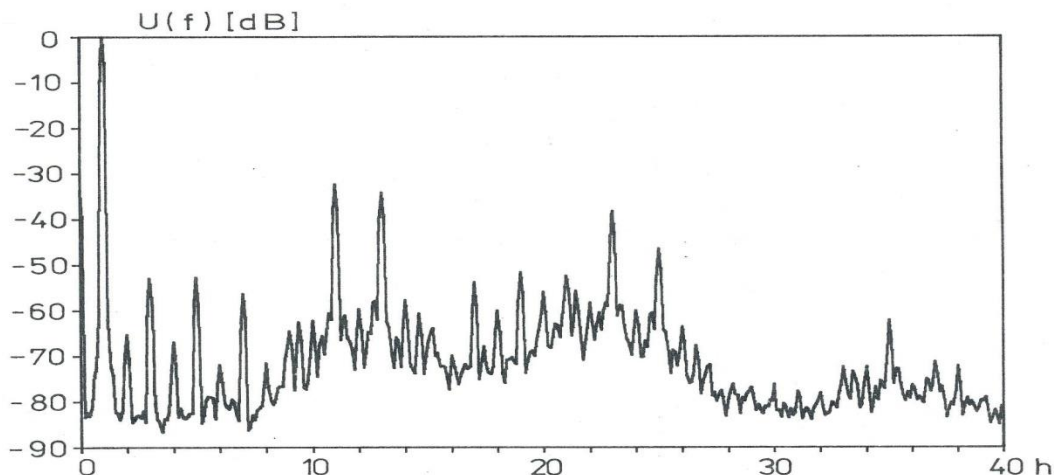


3.3 Ukázka rezonance v průmyslové síti 110 kV

Naměřená a vypočtená frekvenční charakteristika sítě 110 kV pro uzel 25 (osa X = řád harmonické složky)



3.3 Ukázka rezonance v průmyslové síti 110 kV

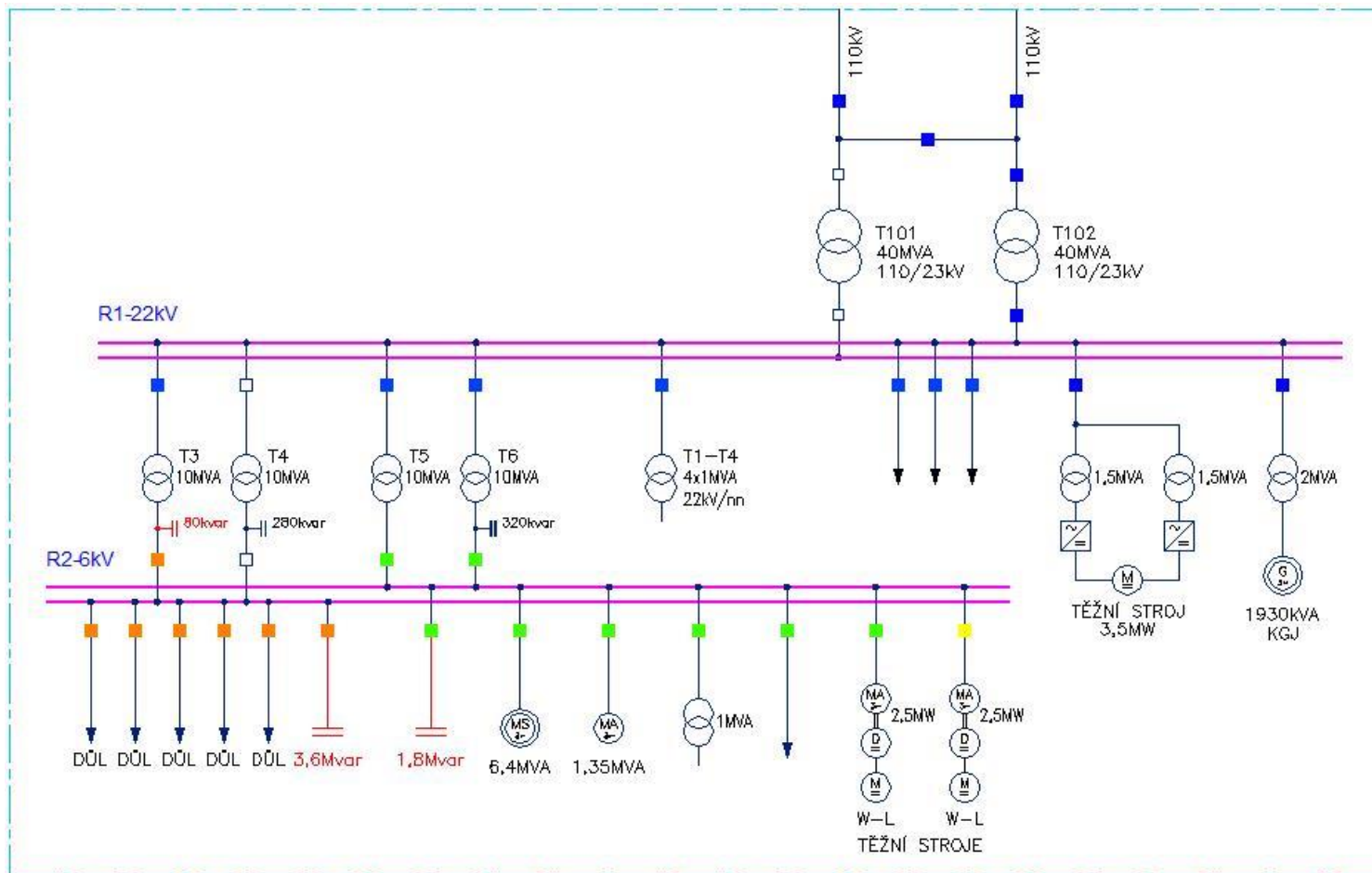


Harmonická napětí
Harmonické proudy
(1. až 40. harm.)

- 0dB = 100%
- 10dB = 31,6%
- 20dB = 10%
- 25dB = 5,6%
- 30dB = 3,16%
- 35dB = 1,78%
- 40dB = 1,00%
- 50dB = 0,32%
- 60dB = 0,10%
- 70dB = 0,03%
- 80dB = 0,01%

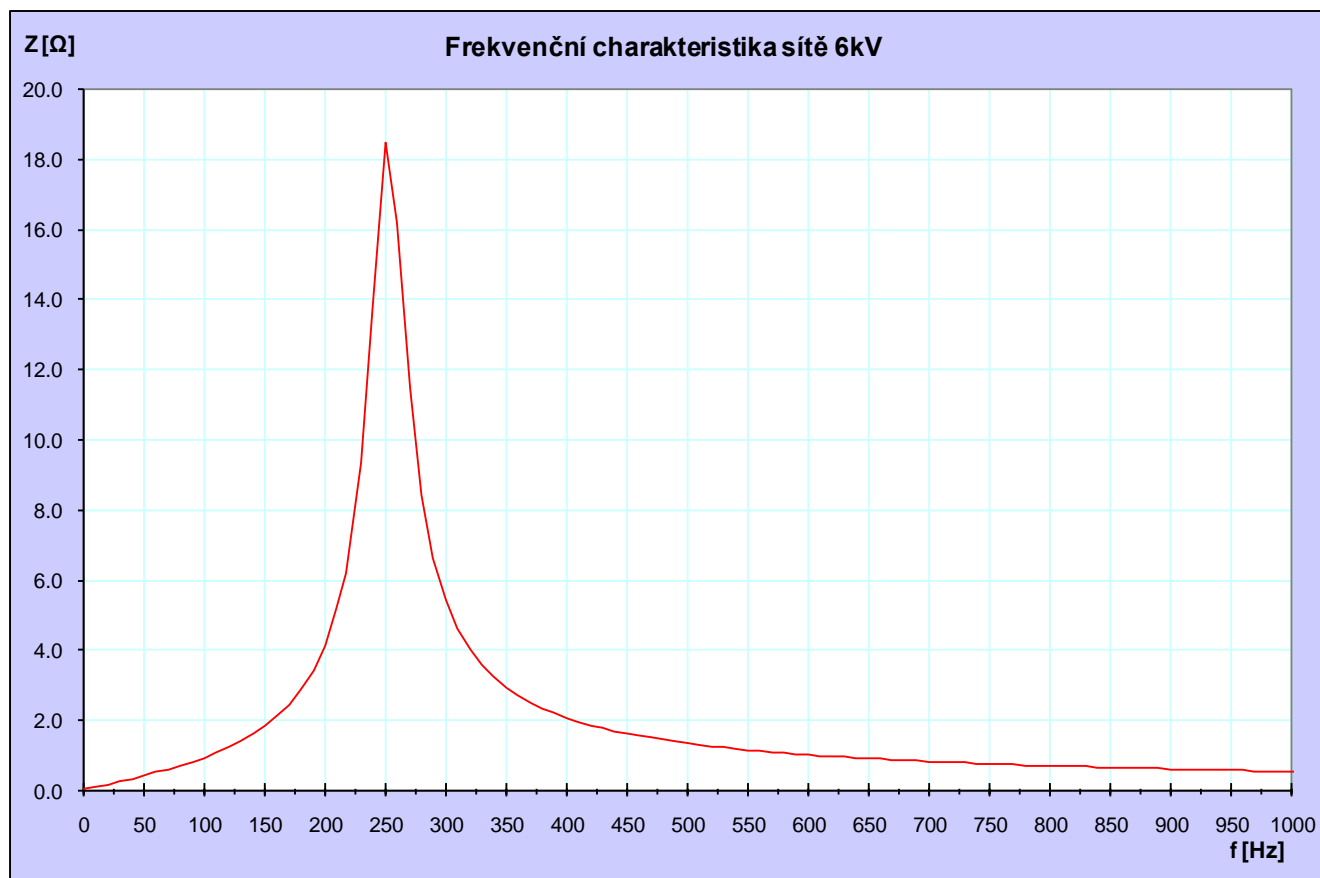
3.4 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV

Důlní síť 6 kV, regulovaný pohon těžního stroje v síti 22 kV



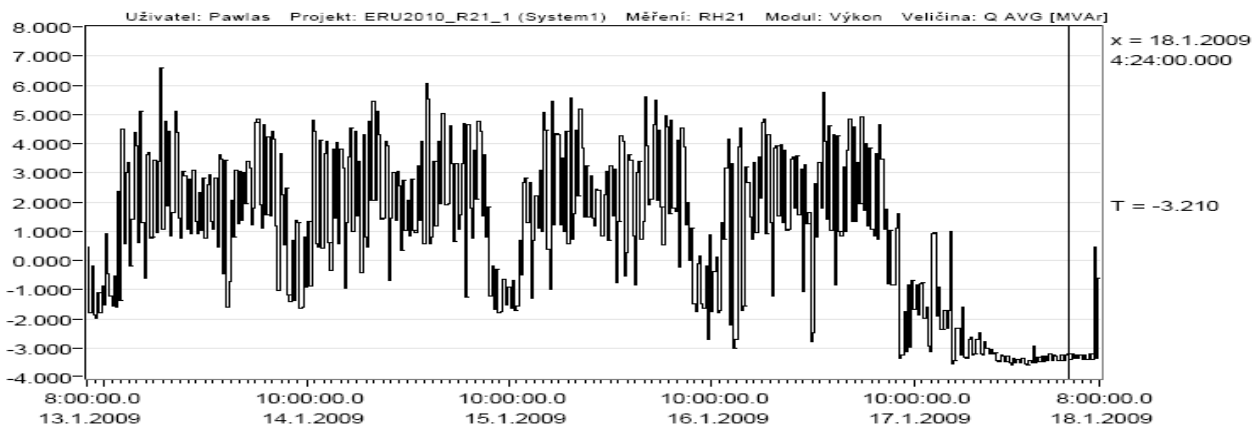
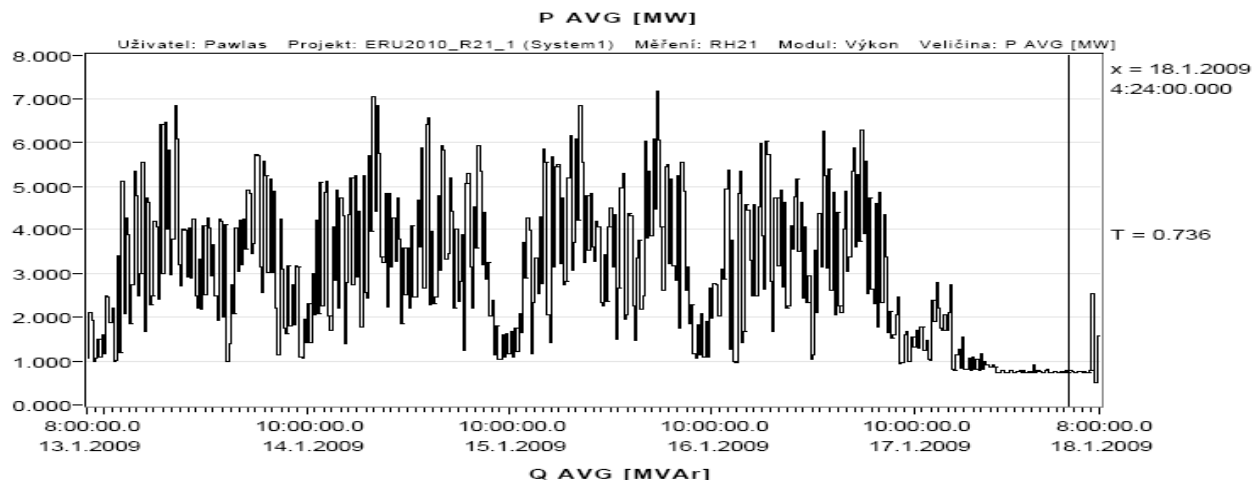
3.4 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV

Vypočtená frekvenční charakteristika důlní části sítě 6 kV



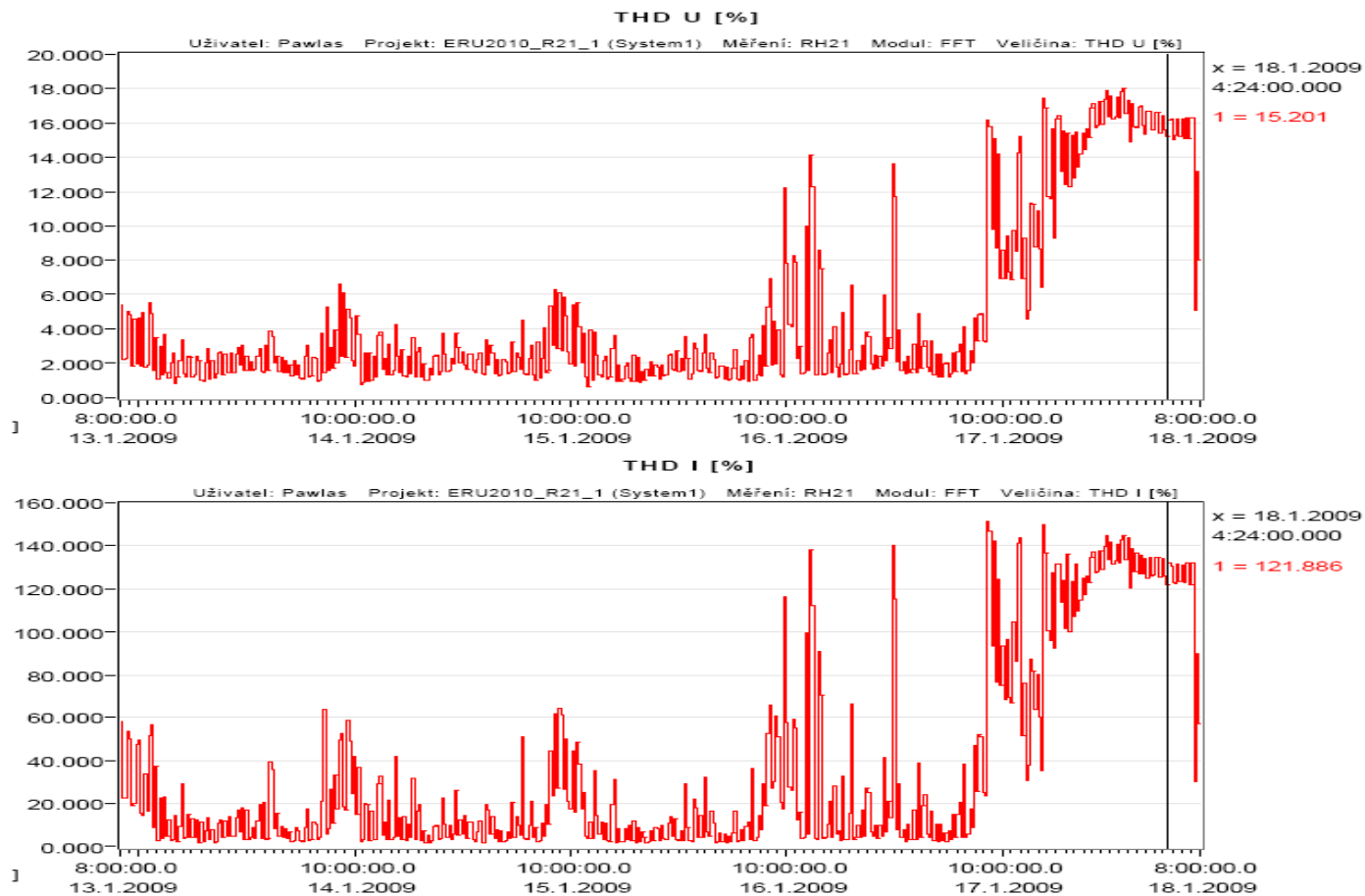
3.4 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV

Činný a jalový výkon na přívodu transformátor T3



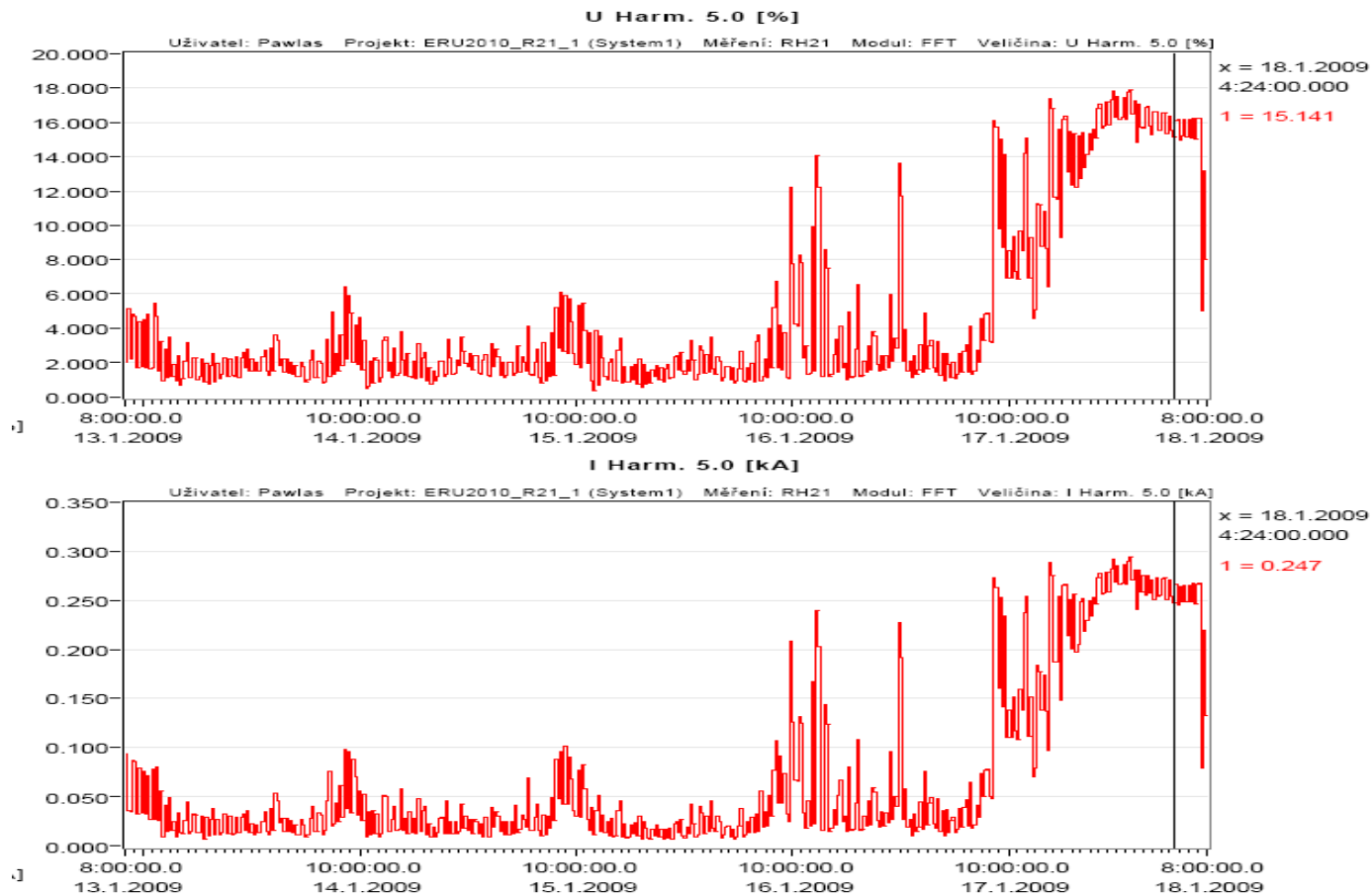
3.4 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV

Celkové harmonické zkreslení napětí a proudu v síti 6 kV



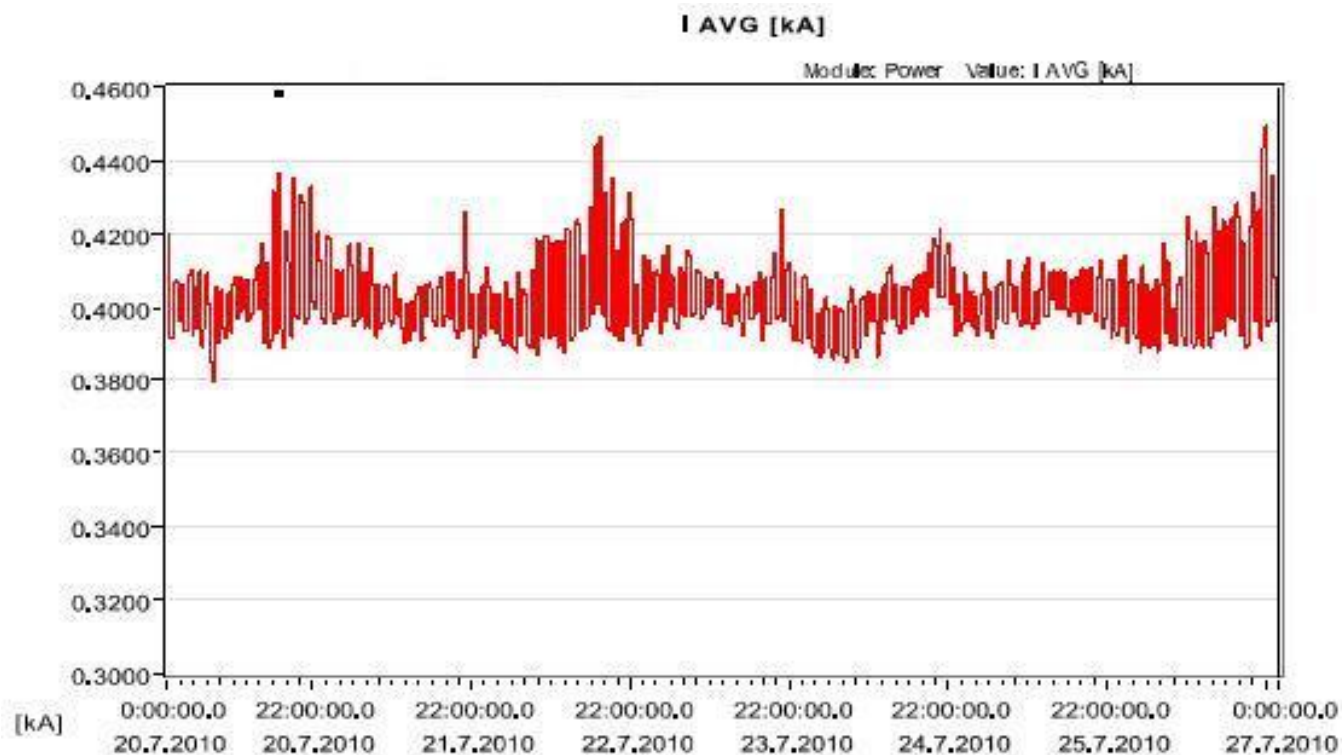
3.4 Ukázka rezonance v průmyslové síti 6 kV

Napětí a proud 5.harmonické v síti 6 kV



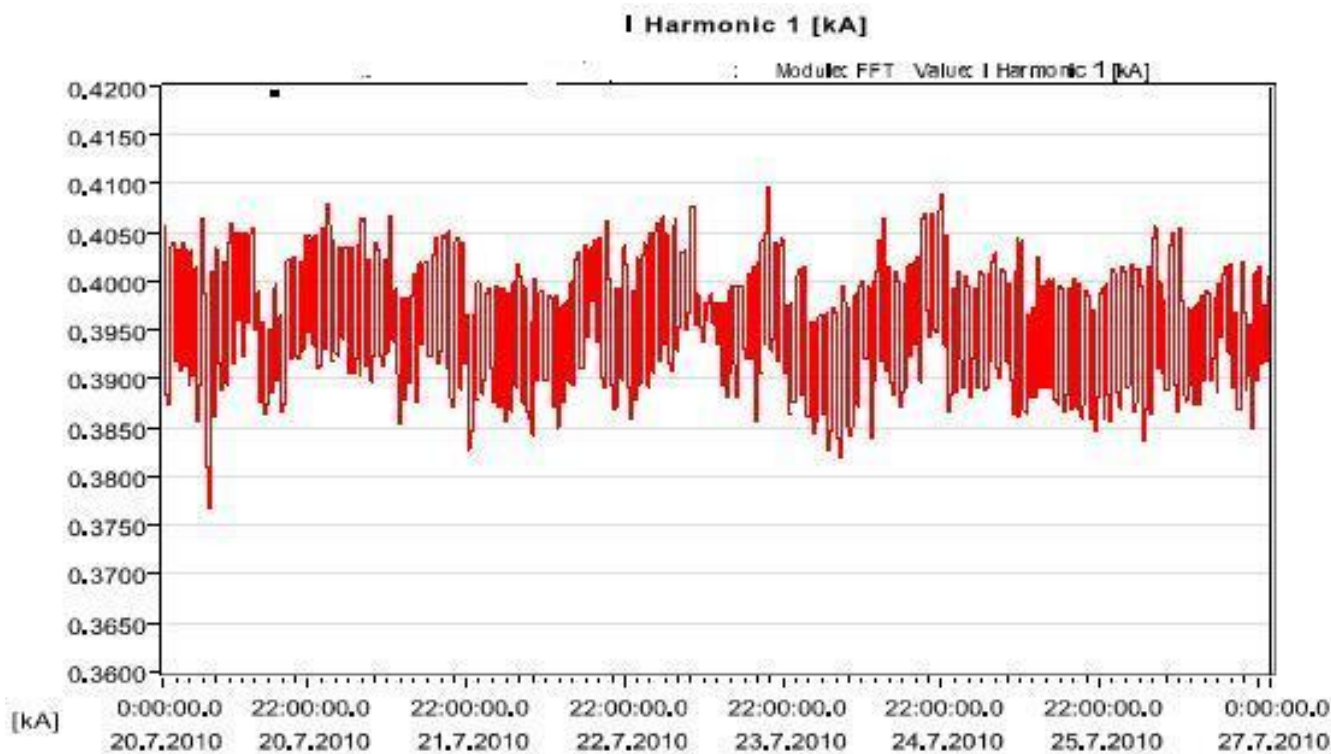
3.5 Vliv HDO 216,7 Hz na filtr 5. harmonické

Ef. hodnota proudu filtru 5. harmonické – 4,2 Mvar, 6 kV, 387 A



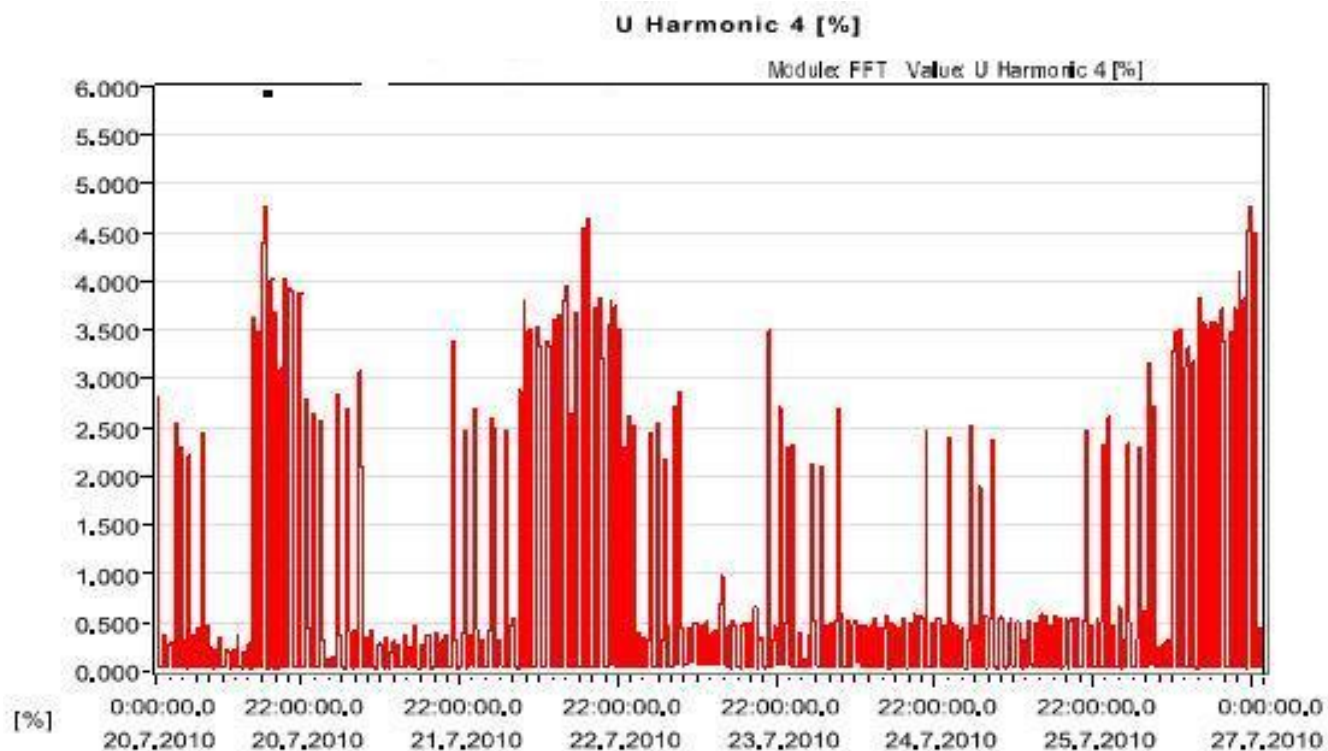
3.5 Vliv HDO 216,7 Hz na filtr 5. harmonické

Proud 1. harm. filtru 5. harmonické – 4,2 Mvar, 6 kV, 387 A



3.5 Vliv HDO 216,7 Hz na filtr 5. harmonické

Napětí 4. harm. filtru 5. harmonické – 4,2 Mvar, 6 kV, 387 A



3.5 Vliv HDO 216,7 Hz na filtr 5. harmonické

Proud 4. harm. filtru 5. harmonické – 4,2 Mvar, 6 kV, 387 A

