

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektrických měření**

# **ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA**

**Prof. Ing. Pavel SANTARIUS, CSc.**

**Ostrava, červen 2007**

# Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

## 1. ÚVOD

- 1.1. Definice pojmů
- 1.2. Druhy elektromagnetického (energetického) rušení
- 1.3. Elektromagnetická kompatibilní úroveň

## 2. HARMONICKÉ V ELEKTRICKÝCH SÍTÍCH

- 2.1. Periodická funkce, Fourierova řada
- 2.2. Harmonická analýza
  - 2.2.1. Výpočtové metody harmonické analýzy
  - 2.2.2. Měřicí metody
- 2.3. DFT (discrete Fourier transform) a FFT (fast Fourier transform)
  - 2.3.1. Diskrétní Fourierova transformace (DFT)
  - 2.3.2. Rychlá Fourierova transformace (FFT)
- 2.4. Měření a hodnocení harmonických
  - 2.4.1. Základní problémy
  - 2.4.2. Měřicí intervaly
- 2.5. Měřicí přístroje pro monitorování kvality
  - 2.5.1 Monitor kvality napětí QN
  - 2.5.2 Analyzátor sítí BK 500 Plus

## 3. ZDROJE HARMONICKÝCH

- 3.1. Klasické zdroje harmonických
- 3.2. Polovodičové měniče
- 3.3. Jiné zdroje harmonických
- 3.4. Rušivé vlivy harmonických

## 4. ŠÍŘENÍ HARMONICKÝCH

- 4.1. Obecné aspekty výpočtu šíření harmonických
- 4.2. Modelování prvků elektrické sítě

## 5. FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY

- 5.1. Výpočet frekvenčních charakteristik
- 5.2. Bezztrátové obvody
- 5.3. Měření frekvenčních charakteristik

## 6. SNIŽOVÁNÍ ÚROVNĚ HARMONICKÝCH

- 6.1. Metody snižování úrovně harmonických
- 6.2. Kondenzátory v elektrických sítích
- 6.3. Kondenzátory v sítích s harmonickými

## 7. FILTRY HARMONICKÝCH

- 7.1. Pasivní filtry
- 7.2. Aktivní filtry

## 8. KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

- 8.1. Definice
- 8.2. Kolísání napětí
- 8.3. Blikání (flickr)
- 8.4. Měření flickru
- 8.5. Možnosti potlačení kolísání napětí

## 9. NESYMETRIE NAPĚTÍ

- 9.1. Trojfázová soustava harmonických veličin
- 9.2. Trojfázová soustava neharmonických veličin
- 9.3. Měření napěťové nesymetrie

9.4. Nesymetrie napětí z připojení elektrické vozby

9.5. Možnosti snížení napěťové nesymetrie

## **10. POKLESY A PŘERUŠENÍ NAPĚTÍ**

10.1. Základní definice a pojmy

10.2. Charakter poklesů a krátkých přerušení

10.3. Kompatibilní úrovně podle ČSN IEC 1000-2-2

10.4. Směrné hodnoty podle ČSN EN 50160

10.5. Příčiny poklesů napětí a krátkých přerušení napětí

10.6. Účinky poklesů napětí a krátkých přerušení napětí

10.7. Poruchy v rozvodné síti

10.8. Poklesy napětí způsobené odběrateli

10.9. Měření poklesů a krátkých přerušení napětí

10.10. Vyhodnocování poklesů a přerušení napětí

## **11. NORMALIZACE V EMC**

11.1. Normy související s kvalitou elektrické energie

### Literatura:

[1] Arillaga J., Bradley D., Bodger P.: Power system harmonics, JOHN WILEY 1985

[2] Bohlen M.H.J.: Understanding power quality problems, IEEE Press 2000

[3] Dugan R.C., McGraham M., Beaty H.W.: Electrical power system quality, McGraw-Hill 1996

[4] Santarius P.: Elektrické stanice a vedení, skriptum VŠB Ostrava 1990

[5] Žeželenko I.V.: Vyšší harmonické v napájecích sítích prům. závodů, Energoatomizdat Moskva 2000

[6] Degaque P., Hamelin J.: Electromagnetic compatibility, Oxford University Press. 1993

[7] Korenc V., Holoubek J.: Kompenzace jalového výkonu v praxi, IN-EL Praha 1999

[8] Vaculíková P. a kol.: Elektromagnetická kompatibilita

[9] Schlabbach J., Blume D., Stephanblome T.: Voltage Quality in electrical power systems, IEE London, UK 2001

[10] Fassbinder S.: Netzstörungen durch passive und aktive Bauelemente, VDE Verlag GMBH, Berlin, 2002

# ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

## 1. ÚVOD

### *Dle ČSN EN 1000-2-4*

### **Elektromagnetická kompatibilita (electromagnetic compatibility (EMC))**

je schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení čehokoliv v tomto prostředí

#### **Z definice EMC lze odvodit dva závěry:**

- přístroj, zařízení nebo systém nemá produkovat rušení, které by překračovalo předepsané tolerance
- každý přístroj, zařízení nebo systém musí vykazovat určitou úroveň odolnosti vůči rušení.

Podle Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC) se EMC týká **celého frekvenčního spektra** (od stejnosměrného proudu až do oblasti GHz pásma)

#### **Příklad:**

Airbus A 330 - řízení palubním počítačem

- jak ovlivní spolehlivost bouřkové výboje ve vzdálenosti stovek metrů a s pulsy až 1000 V/m?
- nové materiály mají horší stínění
- proto je nutno zkoumat EMC

#### **Příklad:**

Při počátcích telegrafu bylo zjištěno, že absence ochrany před atmosférickým přepětím vede často ke zničení přístroje

Nové komponenty pracují s nízkými výkonovými úrovněmi a i s velice nízkým prahem destrukcí

<i>Komponenta</i>	<i>Práh destrukce (mJ)</i>
UHF diody	$10^{-4} - 10^{-3}$
CMOS integr. obvody	$10^{-3} - 10^{-2}$
spínací diody	$10^{-2} - 10^{-13}$
Zenerovy diody	$10^{-1} - 10$
Relé	1 - 100
Uhlíkové odpory	10

#### **Zdroje rušení (šumu)**

- přírodní (původem z atmosféry) - např. magnetické bouře, zemní proudy, kosmické rušení, bouřkové výboje
- z lidské činnosti - např. energetické rušení, zapalování aut, letecké radary (3 - 120 V/m), radiové vysílače (5 - 10 V/m)

## Vazby

- přímé spojení
- indukční vazby
- kapacitní vazby

## Omezení - stínění

### 1.1. Definice pojmů

#### ČSN EN 1000-2-4

**3.1 elektromagnetická kompatibilita (EMC)** (electromagnetic compatibility (EMC): schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení čehokoliv v tomto prostředí [IEV 161-01-07]

**3.2 elektromagnetická kompatibilní úroveň** (electromagnetic compatibility level): předepsaná maximální úroveň elektromagnetického rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje, zařízení nebo systémy provozované v konkrétních podmínkách

#### Dle IEC 60050 -161

**elektromagnetické rušení** (electromagnetic disturbance): jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit provoz přístroje, zařízení nebo systému anebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu

**energetické rušení** (power disturbance): jakýkoliv elektromagnetický jev, který se šíří vedením v energetické rozvodné síti a který může zhoršit provoz přístroje, zařízení nebo systému připojeného do této sítě anebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu (161-01-05 modifikován)

**celková úroveň rušení** (total disturbance level): úroveň daného elektromagnetického rušení způsobeného superposicí emisí ze všech jednotlivých zařízení dané sítě (viz ČSN EN 61000-2-4, čl. 3.3)

**elektromagnetická interference** (electromagnetic interference; EMI(abbreviation)): zhoršení činnosti zařízení, přenosového kanálu nebo systému způsobené elektromagnetickým rušením

#### ČSN EN 1000-2-4

**3.5 společný napájecí bod (PCC)** (point of common coupling (PCC)): bod veřejné rozvodné sítě, ve kterém je nebo má být připojena vyšetřovaná síť. K tomuto bodu nebo blízko něj mohou být také připojeny jiné sítě (odběratelé)

**4.2 odolnost (proti rušení)** (immunity (to a disturbance)): schopnost přístroje, zařízení nebo systému fungovat bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení [IEV 161-01-20]

## Kvalita elektrické energie

je definována v čl. 604-01-05 normy IEC 50(604):

**quality of supply:** an appraisal of the deviations of technical criteria outside a defined range (explicit or implicit) of the electricity supply or of the aggregate of electricity supplies within an electrical system

Tato definice je přeložena v ČSN 33 0050-604

**Kvalita dodávky elektrické energie:** vyhodnocení odchylek technických parametrů dodávané elektrické energie nebo z celkového zásobování od hodnot určených (dohodnutých nebo obecných) - viz ČSN 33 0050-604

V normě ČSN EN 50160 se používá termín *charakteristiky dodávky elektrické energie (characteristics of electricity)*, přičemž do charakteristik jsou zahrnuty:

- Kmitočet sítě
- Velikost napájecího napětí
- Odchyly napájecího napětí
- Rychlé změny napětí
- Krátkodobé poklesy napájecího napětí
- Krátká přerušení napájecího napětí
- Dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- Dočasná přepětí síťového kmitočtu mezi vodiči pod napětím a zemí
- Přechodná přepětí mezi vodiči pod napětím a zemí
- Nesymetrie napájecího napětí
- Harmonické napětí
- Meziharmonická napětí
- Napětí síťových signálů v napájecím napětí

## 1.2. Druhy elektromagnetického (energetického) rušení

- **Harmonické:** Harmonickými složkami proudu nebo napětí se rozumí složky Fourierovy řady periodické veličiny větší než 1.
- **Interharmonické:** Jsou to parazitní složky proudu nebo napětí, které se objevují mezi harmonickými a dělí se do tří skupin:
  - *diskrétní frekvence*, produkované některými zařízeními silové elektroniky (např. cyklokonvertory) s frekvencí na postranních pásmech harmonických, např.  $250 \pm \Delta f$  [Hz]
  - *spojitá spektra* v blízkosti EOP a elektrických svářeček
  - na jiných místech jako tzv. *pozadí* s nízkou amplitudou.
- **Kolísání napětí:** Je definováno jako řada **změn napětí**. Změnou napětí se rozumí změna efektivní hodnoty napětí mezi dvěma po sobě jdoucími úrovněmi, které trvají určitou, ale nestanovenou dobu. Změny napětí vyvolávají u svítidel (především u žárovek) změnu světelného toku nazývanou **flikr**. Ten působí nepříznivě na lidské oko. Změny napětí mohou být:
  - *pomalé*, v rozsahu napěťových tolerancí (odchyly napětí), mohou být periodické nebo náhodné
  - *rychlé*, někdy i se skokovými změnami, způsobenými provozem el. obloukových pecí, el. svářeček, atd.
- **Poklesy a přerušení napětí:** Poklesy napětí se definují jako snížení amplitudy pod dovolenou toleranci (např. v síti nn 230 V pod +6 % -10 %) s dobou trvání od 10 ms až do několik s. Poklesy pod 1 % napájecího napětí se nazývají přerušení napětí.

- **Nesymetrie trojfázového napětí:** Nesymetrií napětí se rozumí stav vícefázové sítě, při kterém efektivní hodnota alespoň jednoho fázového napětí je odlišná od ostatních nebo na kterém rozdíly fázových úhlů nejsou stejné. Podle toho se nesymetrie dělí na:
  - amplitudovou, fázovou, obecnou
- **Přechodné přepětí:** Přechodné přepětí je definováno jako krátkodobé přepětí s velmi krátkou dobou trvání od několik ns až do 10 ms. V elektrických sítích lze přepětí rozdělit na:
  - dlouhodobá (0,1 ms až ms)
  - střednědobá (1 až 100 ms)
  - rychlá (menší než 100 ms)

Druh jevu ovlivňujícího kvalitu napájení	Způsob popisu	Typické příčiny	Příklad eliminace jevu
Přerušování Napětí	doba trvání	poruchy v síti, působení ochran, opravy a údržba	akumulátory energie, zdroje UPS, záložní napájení
Poklesy napětí	hloubka poklesu resp. velikost napětí, doba trvání	poruchy v síti, spínání velkých zátěží	ferorezonanční transformátory CVT, akumulátory energie, zdroje UPS
Kolísání napětí	krátkodobá, dlouhodobá míra vjemu flikru P, krátkodobý, dlouhodobý činitel flikru A	Přerušovaná zátěž, rozběh motorů, elektrické obložkové pece	zařízení na dynamickou kompenzaci, setrvačníky, volba klece motoru
Harmonická Napětí	velikost a spektrum, činitel harmonického zkreslení THD	nelineární zátěž, rezonance v síti	pasivní a aktivní filtry
Nesymetrie Napětí	poměr zpětné a souřadné složky napětí	Nesymetrie zátěže, nesymetrické poruchy	symetrizační členy, rovnoměrné rozložení 1f zátěže na fáze
Přepětí	vrcholová hodnota, doba trvání, křivka průběhu přepětí	údery blesku do vedení, spínání kondenzátorů, poruchy v síti	svodiče přepětí, filtry, izolační transformátory

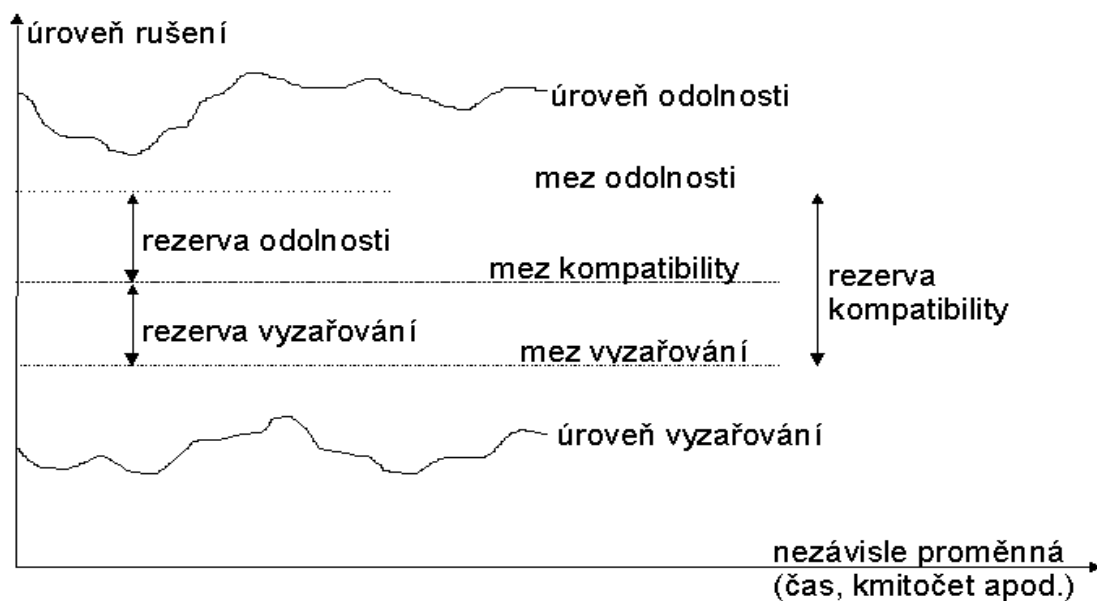
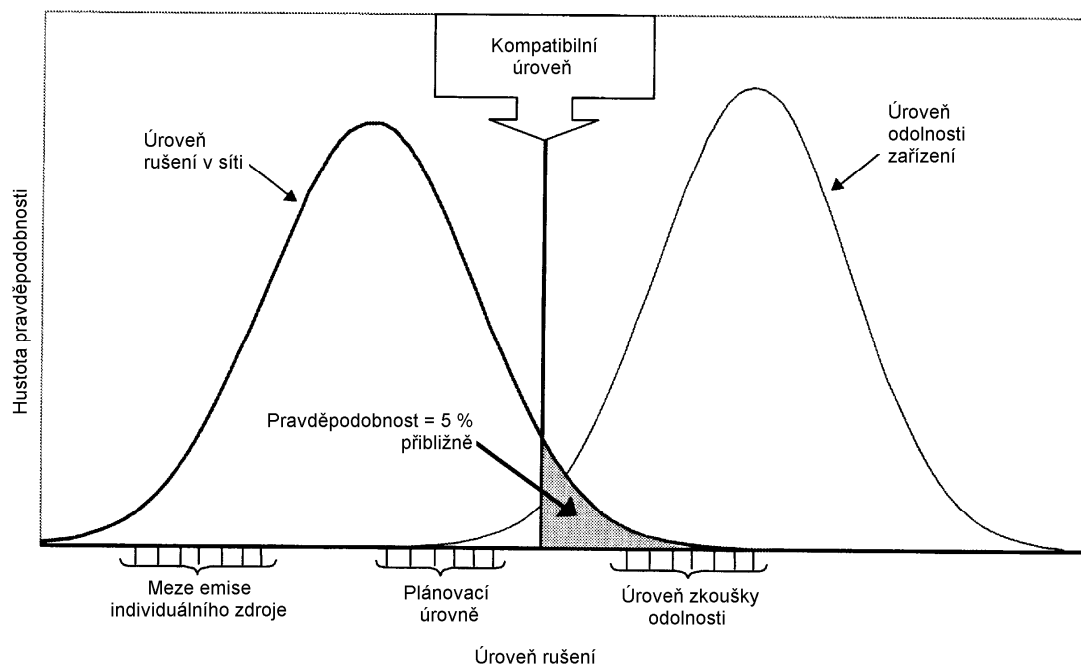
Přehled hlavních jevů ovlivňujících kvalitu dodávané elektrické energie

### 1.3. Elektromagnetická kompatibilní úroveň

(electromagnetic compatibility level):

předepsaná maximální úroveň elektromagnetického rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje, zařízení nebo systémy provozované v konkrétních podmínkách

V praxi kompatibilní úroveň není absolutní maximální hodnota ale úroveň, která může být překročena s malou pravděpodobností.



## 2. HARMONICKÉ V ELEKTRICKÝCH SÍTÍCH

Obecně vznikají harmonické v **nelineárních obvodech**

Harmonická napětí x harmonické proudy  $\Rightarrow$  nelineární spotřebič je napěťový nebo proudový zdroj

Polovodičové měniče - proudový zdroj



## 2.1. Periodická funkce, Fourierova řada

Jestliže funkce  $f(x)$  vyhovuje rovnici

$$\mathbf{f(x) = f(x + 2\pi)} \quad \left[ = \mathbf{f(x + k \cdot 2\pi)} \right]$$

pak tuto funkci nazýváme **periodickou** s periodou  $2\pi$

Poznámka:

Nejznámější periodické funkce jsou

$\sin(\omega t)$  a  $\cos(\omega t)$  kde  $x = \omega t$

Pro kmitočet  $f$  je  $\omega = 2\pi f$  a perioda funkce  $T = 1/f = 2\pi/\omega$

pak

$$\sin \omega(t + \mathbf{k \cdot T}) = \sin \omega\left(t + \mathbf{k \frac{2\pi}{\omega}}\right) = \sin(\omega t + 2\mathbf{k}\pi) = \sin \omega t$$

$\Rightarrow$  funkce je periodická

Periodickou funkci lze aproximovat pomocí **goniometrického polynomu**

$$\varphi_n(\mathbf{x}) = \mathbf{b_0} + \sum_{\mathbf{k=1}}^{\mathbf{n}} [\mathbf{a_k} \cdot \sin(\mathbf{kx}) + \mathbf{b_k} \cdot \cos(\mathbf{kx})]$$

Pomocí metody nejmenších čtverců

$$\int_0^{2\pi} [\mathbf{f(x)} - \varphi_n(\mathbf{x})]^2 \cdot \mathbf{dx} = \int_0^{2\pi} [\mathbf{F}]^2 \cdot \mathbf{dx} = \mathbf{MIN}$$

Neznámé koeficienty se určí z parciálních derivací

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{b_0}} = 0 \quad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{a_k}} = 0 \quad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{b_k}} = 0$$

$$\mathbf{b_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \mathbf{f(x)} \mathbf{dx}$$

$$\mathbf{a_k} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \mathbf{f(x)} \cdot \sin(\mathbf{kx}) \mathbf{dx}$$

$$\mathbf{b_k} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \mathbf{f(x)} \cdot \cos(\mathbf{kx}) \mathbf{dx}$$

Pro limitní operaci  $\mathbf{n} \rightarrow \infty$  dostaneme rozvoj ve **Fourierovu řadu**, přičemž periodická funkce musí splňovat tzv. *Dirichletovy podmínky* tj.:

- funkce musí být omezená

- jejich bodů nespojitostí, maxim a minim je jen konečně mnoho

Pak

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{b}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [\mathbf{a}_n \cdot \sin(\mathbf{n}\mathbf{x}) + \mathbf{b}_n \cdot \cos(\mathbf{n}\mathbf{x})]$$

Pro časovou řadu s periodou T

$$\mathbf{f}(\mathbf{t}) = \mathbf{b}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [\mathbf{a}_n \cdot \sin(\mathbf{n}\omega\mathbf{t}) + \mathbf{b}_n \cdot \cos(\mathbf{n}\omega\mathbf{t})]$$

Poznámka:

V bodech nespojitosti je součet Fourierovy řady roven aritmetickému středu jednotlivých limit zleva a zprava.

Posloupnost amplitud jednotlivých harmonických složek nazýváme **amplitudovým spektrem** a posloupnost jejich fází **fázovým spektrem**.

Pomocí těchto spekter je možno provést zápis Fourierovy řady **v komplexním tvaru**:

$$\mathbf{f}(\mathbf{t}) = \mathbf{c}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{c}_n \cos(\mathbf{n}\omega\mathbf{t} - \varphi_n)$$

kde koeficienty Fourierovy řady

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_0 &= \mathbf{b}_0 \\ \mathbf{c}_n &= \sqrt{\mathbf{a}_n^2 + \mathbf{b}_n^2} & n = 1; 2; \dots \\ \varphi_n &= \arctg\left(\frac{\mathbf{a}_n}{\mathbf{b}_n}\right) \end{aligned}$$

Pomocí komplexních členů

$$\mathbf{f}(\mathbf{t}) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{c}_n \cdot \mathbf{e}^{\mathbf{n} \cdot \mathbf{j}\omega\mathbf{t}}$$

$$\text{kde } \mathbf{c}_n = \frac{1}{\mathbf{T}} \int_0^{\mathbf{T}} \mathbf{f}(\mathbf{t}) \cdot \mathbf{e}^{-\mathbf{n} \cdot \mathbf{j}\omega\mathbf{t}} \cdot \mathbf{d}\mathbf{t}$$

Necháme-li růst periodu T do nekonečna, přechází vyjádření funkce f(t) ve **Fourierův integrál**

$$\mathbf{f}(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \mathbf{d}\omega \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{f}(\tau) \cdot \cos(t - \tau) \cdot \mathbf{d}\tau$$

V některých speciálních případech může být obecný tvar Fourierovy řady zjednodušen

a) platí-li  $f(x) = -f(-x)$  - *funkce lichá*

$$b_0 = b_1 = b_2 = \dots = b_n = \dots = 0$$

tj. obsahuje pouze členy  $\sin(\ )$

b) platí-li  $f(x) = f(-x)$  - *funkce sudá*

$$a_0 = a_1 = a_2 = \dots = a_n = \dots = 0$$

tj. obsahuje pouze členy  $\cos(\ )$

c) funkce souměrná podle osy  $x$  s periodou  $\pi$ , kde platí  $f(x) = -f(x+\pi)$

obsahuje pouze liché členy

Pro **nesinusové periodické funkce** lze definovat

*střední hodnotu*

$$\mathbf{A}_s = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{f}(t) \cdot \mathbf{d}t$$

*efektivní hodnotu*

$$\mathbf{A} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{f}^2(t) \cdot \mathbf{d}t}$$

Pro nesinusové průběhy lze efektivní hodnotu vyjádřit

$$\mathbf{A} = \sqrt{\mathbf{A}_0^2 + \mathbf{A}_1^2 + \mathbf{A}_2^2 + \dots}$$

Pro posouzení **obsahu harmonických** se definuje

Podle ČSN IEC 60050-551 Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 551: Výkonová elektronika

**(celkový) činitel harmonických - THF** (zkratka)- (total) harmonic factor - poměr efektivní hodnoty obsahu harmonických střídavé veličiny k efektivní hodnotě této veličiny

přičemž **obsah harmonických** je veličina získaná tak, že se od střídavé veličiny odečte její základní harmonická

$$\mathbf{THF} = \frac{\sqrt{\mathbf{A}_2^2 + \mathbf{A}_3^2 + \dots}}{\sqrt{\mathbf{A}_1^2 + \mathbf{A}_2^2 + \mathbf{A}_3^2 + \dots}}$$

Odlíšné české termíny jsou v kapitole 702: Kmity, signály a související zařízení  
**(celkový) činitel zkreslení** - poměr efektivní hodnoty součtu harmonických složek střídavé veličiny k efektivní hodnotě této veličiny

a v kapitole 161:

**činitel harmonického zkreslení** - poměr efektivní hodnoty obsahu harmonických a efektivní hodnoty střídavé veličiny

Podle ČSN IEC 60050-551 Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 551: Výkonová elektronika

**(celkové) harmonické zkreslení - THD** (zkratka)- total harmonic distortion - poměr efektivní hodnoty obsahu harmonických střídavé veličiny k efektivní hodnotě základní harmonické této veličiny

$$\mathbf{THD} = \frac{\sqrt{\mathbf{A}_2^2 + \mathbf{A}_3^2 + \dots}}{\mathbf{A}_1}$$

Přitom v ČSN IEC 50(101) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 101: Matematika (Tato norma je identická s IEC 50(101):1977) je však tento termín definován jinak:

**(celkové) harmonické zkreslení** - poměr efektivní hodnoty součtu vyšších harmonických k efektivní hodnotě střídavé veličiny

**Výkony** při neharmonických průbězích

*Pro sinusové průběhy*

Zdánlivý výkon

$$\mathbf{S} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{I}$$

Činný výkon

$$\mathbf{P} = \mathbf{S} \cdot \cos \varphi$$

Jalový výkon

$$\mathbf{Q} = \mathbf{S} \cdot \sin \varphi$$

$$\mathbf{S}^2 = \mathbf{P}^2 + \mathbf{Q}^2$$

účinník (power factor)

$$\cos \varphi = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}}$$

*Pro nesinusové průběhy*

$$\mathbf{S} = \mathbf{U}_{\text{ef}} \cdot \mathbf{I}_{\text{ef}} = \sqrt{\mathbf{U}_1^2 + \mathbf{U}_2^2 + \dots} \cdot \sqrt{\mathbf{I}_1^2 + \mathbf{I}_2^2 + \dots}$$

$$\mathbf{S}^2 = \sum \mathbf{U}_k^2 \cdot \mathbf{I}_k^2 + \sum \mathbf{U}_i^2 \cdot \mathbf{I}_j^2$$

$$\mathbf{P} = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{i}(t) \cdot dt = \sum \mathbf{U}_k \mathbf{I}_k \cos \varphi_k$$

$$\mathbf{Q} = \sum \mathbf{U}_k \mathbf{I}_k \sin \varphi_k$$

$$\Rightarrow \mathbf{P}^2 + \mathbf{Q}^2 = \sum \mathbf{U}_k^2 \mathbf{I}_k^2$$

$$\mathbf{S}^2 = \mathbf{P}^2 + \mathbf{Q}^2 + \sum \mathbf{U}_i^2 \mathbf{I}_j^2 = \mathbf{P}^2 + \mathbf{Q}^2 + \mathbf{D}^2 \quad \mathbf{D} - \text{deformační výkon}$$

činitel výkonu

$$\lambda = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}}$$

## 2.2. Harmonická analýza

Při harmonické analýze je nutno mít na zřeteli

- amplituda základní harmonické je obvykle větší, než amplitudy ostatních harmonických (zejména u napětí)
- kmitočet základní harmonické může kolísat
- zatím co amplituda základní harmonické napětí je prakticky konstantní, kolísá amplituda základní harmonické proudu často ve značném rozmezí

Harmonické složky periodického průběhu lze stanovit

- výpočtem
- měřením

Harmonická analýza může být

- úplná (určuje amplitudu a fázi všech harmonických)
- neúplná (určuje pouze amplitudy harmonických).

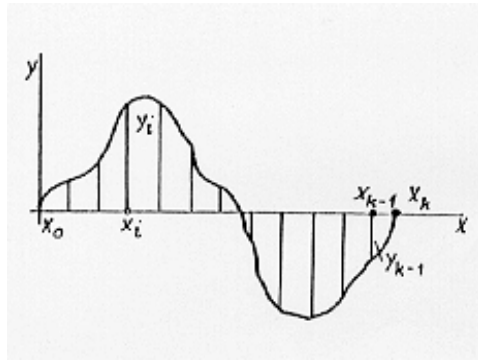
### 2.2.1. Výpočtové metody harmonické analýzy

Je-li znám analytický průběh periodické funkce, lze přímo vypočítat koeficienty  $a_n$ ,  $b_n$  (resp.  $S_n$ ,  $\varphi_n$ ) harmonických složek.

Jinak je nutno použít numerické metody

Pro určení prvních  $p$  koeficientů Fourierova rozvoje rozdělíme interval  $(0, 2\pi)$  periodické funkce  $f(x)$  na  $k$  stejných částí

Dle Shannon - Kotelnikovova teorému volíme  $k \geq 2p$  nejlépe  $k = 4p$



Dostaneme tak  $k+1$  hodnot  $y_0, y_1, y_2, \dots, y_k$

Za předpokladu  $y_0 = y_k$  (funkce nemá v počátku nespojitost) lze využít numerickou integraci a pak

$$\mathbf{b}_0 = \frac{1}{k} \sum_0^k y_i$$

$$\mathbf{a}_n = \frac{2}{k} \sum_0^k y_i \cdot \sin(\mathbf{n} \cdot \mathbf{x}_i)$$

$$\mathbf{b}_n = \frac{2}{k} \sum_0^k y_i \cdot \cos(\mathbf{n} \cdot \mathbf{x}_i)$$

### 2.2.2. Měřící metody

- rezonanční filtry pasivní
- rezonanční filtry aktivní (zesilovače se selektivní zpětnou vazbou)
- spektrální analyzátoři

*Využití výpočetní techniky pro harmonickou analýzu*

- získávání hodnot  $y_i$  pomocí A/D převodníku
- následné zpracování pomocí počítače

## 2.3. DFT (discrete Fourier transform) a FFT (fast Fourier transform)

### 2.3.1. Diskrétní Fourierova transformace (DFT)

Diskrétní Fourierova transformace je definována

$$\mathbf{X}(\omega) = \sum_{\mathbf{n}=-\infty}^{\infty} \mathbf{x}_n \cdot e^{-j\omega n \Delta t} \quad \mathbf{x}_n = \mathbf{x}(n \Delta t)$$

V praxi pro periodu pozorování  $\mathbf{T}$  je  $\mathbf{N}$  počet vzorků vzdálených  $\Delta t$  a pak

$$\Delta f = \frac{1}{\mathbf{T}} = \frac{1}{\mathbf{N} \cdot \Delta t}$$

pak

$$\mathbf{X}(m\Delta f) = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{x}_n \cdot e^{-j2\pi \cdot m\Delta f \cdot n\Delta t} \approx \mathbf{X}_m(\mathbf{f}) \approx \mathbf{X}_m$$

Přímý výpočet znamená  $N^2$  operací

### 2.3.2. Rychlá Fourierova transformace (FFT)

Označme  $\mathbf{W} = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$

pak DFT časové řady komplexních čísel je

$$\mathbf{X}_n = \sum_{j=0}^{N-1} \mathbf{x}_j \cdot \mathbf{W}^{jn}$$

Přímý výpočet této transformace vyžaduje výpočet matice

$$[\mathbf{X}_n] = [\mathbf{W}^{jn}] \cdot [\mathbf{x}_j]$$

Například pro  $N = 8$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_0 \\ \mathbf{X}_1 \\ \mathbf{X}_2 \\ \mathbf{X}_3 \\ \mathbf{X}_4 \\ \mathbf{X}_5 \\ \mathbf{X}_6 \\ \mathbf{X}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^0 \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^1 & \mathbf{W}^2 & \mathbf{W}^3 & \mathbf{W}^4 & \mathbf{W}^5 & \mathbf{W}^6 & \mathbf{W}^7 \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^2 & \mathbf{W}^4 & \mathbf{W}^6 & \mathbf{W}^8 & \mathbf{W}^{10} & \mathbf{W}^{12} & \mathbf{W}^{14} \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^3 & \mathbf{W}^6 & \mathbf{W}^9 & \mathbf{W}^{12} & \mathbf{W}^{15} & \mathbf{W}^{18} & \mathbf{W}^{21} \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^4 & \mathbf{W}^8 & \mathbf{W}^{12} & \mathbf{W}^{16} & \mathbf{W}^{20} & \mathbf{W}^{24} & \mathbf{W}^{28} \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^5 & \mathbf{W}^{10} & \mathbf{W}^{15} & \mathbf{W}^{20} & \mathbf{W}^{25} & \mathbf{W}^{30} & \mathbf{W}^{35} \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^6 & \mathbf{W}^{12} & \mathbf{W}^{18} & \mathbf{W}^{24} & \mathbf{W}^{30} & \mathbf{W}^{36} & \mathbf{W}^{42} \\ \mathbf{W}^0 & \mathbf{W}^7 & \mathbf{W}^{14} & \mathbf{W}^{21} & \mathbf{W}^{28} & \mathbf{W}^{35} & \mathbf{W}^{42} & \mathbf{W}^{49} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \mathbf{x}_3 \\ \mathbf{x}_4 \\ \mathbf{x}_5 \\ \mathbf{x}_6 \\ \mathbf{x}_7 \end{bmatrix}$$

Výpočet představuje 64 komplexních sčítání a násobení.

V roce 1965 Cooley a Tukley navrhli algoritmus rychlé Fourierovy transformace (FFT), který vyžaduje pouze  $(N \cdot \log_2 N)$  operací

*Algoritmus "decimace v čase"*

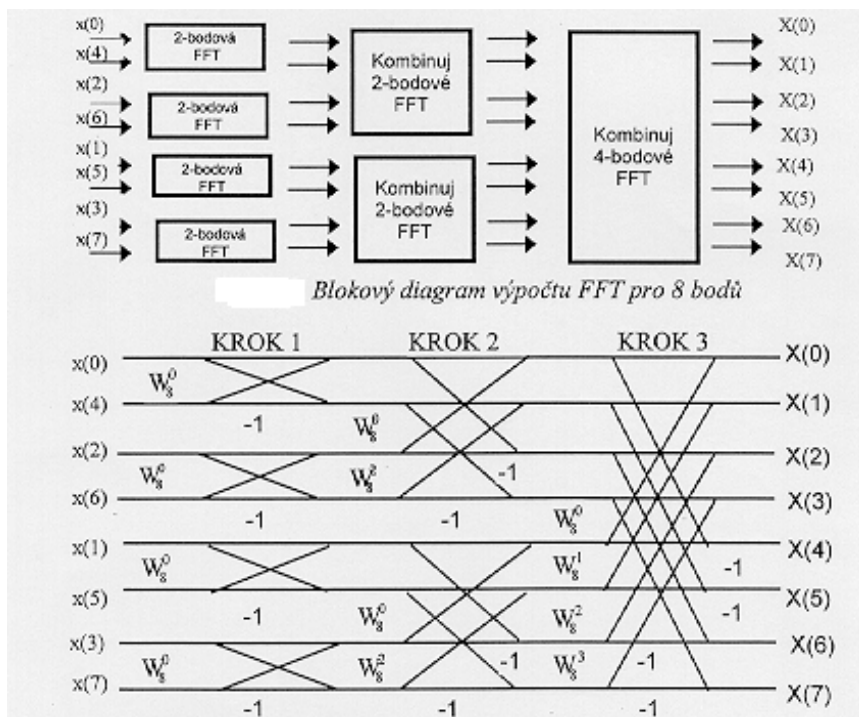
1. Začneme s transformací

$$\mathbf{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j\frac{2\pi nk}{N}} \quad k = 0,1,2,\dots,N-1$$

2. Rozepíšeme  $X(k)$  jako součet sudých a lichých členů

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(k) &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n} \cdot e^{-j\frac{2\pi(2n)k}{N}} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot e^{-j\frac{2\pi(2n+1)k}{N}} \\ &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n} \cdot e^{-j\frac{2\pi(2n)k}{N}} + e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \cdot \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot e^{-j\frac{2\pi(2n)k}{N}} \\ &= \mathbf{X}_1(k) + e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \cdot \mathbf{X}_2(k) \end{aligned}$$

Příklad pro  $N = 8$



Detailní rozkreslení diagramu pro 8 prvků

Náročnost výpočtu

N	DFT	FFT	Zrychlení
4	16	4	4,0
16	256	32	8,0
32	1024	80	12,8
128	16384	448	36,6



256	65536	1024	64,0
512	262144	2304	113,8
1024	1048576	5120	204,8

## 2.4. Měření a hodnocení harmonických

Připojení na síť obvykle přes měřicí transformátory napětí a proudu

### Základní problémy

- jak dlouho měřit - 2-3 dny, obvykle týden
- jak často vyhodnocovat - měřicí intervaly
- způsob vyhodnocení - 95% úrovně

### Měřicí intervaly

Rozlišujeme „čas sledování“ a „efektivní měřicí čas“:

- *efektivní měřicí čas* odpovídá efektivnímu trvání uvnitř kterého jsou harmonické měřeny (tj. součet po sobě následujících se časů trvání oken), mezery mezi časy oken, jestliže existují nejsou započítávány;
- *čas sledování* je celkový reálný časový úsek odpovídající efektivnímu měřicímu času plus čas mezer v průběhu tohoto času sledování.

Doporučuje se používání následujících časových intervalů:

velmi krátký interval	( $T_{vs}$ ):	3 s
krátký interval	( $T_{sh}$ ):	10 min
dlouhý interval	( $T_L$ ):	1 hodina
jednodenní interval	( $T_D$ ):	24 hodin
jednotýdenní interval	( $T_{WK}$ ):	7 dní

#### A. Velmi krátký interval $T_{vs}$

Interval je chápán jako efektivní měřicí čas a je doporučen v rozsahu 3 s až 10 s jestliže jsou dovoleny mezery mezi časy měření.

- Pro určení okamžitých účinků harmonických by měla být stanovena maximální hodnota  $c_{nmax}$  ze všech jednotlivých hodnot v  $T_{vs}$  intervalu.
- Pro určení dlouhodobých účinků harmonických by měla být stanovena efektivní hodnota dle vztahu

$$c_{nvs} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^M c_{kn}^2}{M}}$$

ze všech M jednotlivých vypočtených hodnot  $c_n$  pro celou dobu intervalu  $T_{vs}$  pro jednotlivé volené harmonické.

#### B. Krátký interval $T_{sh}$

Interval je chápán jako čas sledování a doporučuje se volit 10 min, alespoň však takový, aby bylo zajištěno minimálně 100 hodnot  $c_n$  během tohoto intervalu.

### C. Dlouhý interval $T_L$

Doporučuje se volit jej rovný 1 nebo 2 hod.

### D. Jednodenní interval $T_D$

Je uvažován jako hlavní při předkládání statických údajů o přehledu harmonických v síťovém napětí.

Pro uvažování *okamžitých účinků* je třeba zaznamenat max. hodnotu ze všech největších hodnot intervalu  $T_{vs}$ .

Měla by být vypočtena kumulativní pravděpodobnost 95% ze všech těchto hodnot.

Pro uvažování *dlouhodobých účinků* je třeba zaznamenat v paměti max. hodnotu z efektivních hodnot intervalu  $T_{vs}$ .

Měla by být vypočtena kumulativní pravděpodobnost 95% ze všech těchto hodnot.

### E. Jednotýdenní interval $T_{wk}$

Interval je určen pro ukládání dat po dnech. Měl by brát v úvahu velký rozdíl mezi pracovními a volnými dny v týdnu.

Užitečné mohou být kumulativní hodnoty 95 % po dobu jednoho týdne a delší.

## 2.5. Měřicí přístroje pro monitorování kvality

### 2.5.1 Monitor kvality napětí QN

Monitor kvality napětí QN (výrobce EGÚ Brno, a.s.) měří a předzpracovává hodnoty parametrů kvality napětí distribučních sítí nn a vn v souladu s normou **ČSN EN 50 160**.

Na základě analýzy měřeného trojfázového napětí měří

- frekvenci
- nesymetrii

Pro každou fázi samostatně měří a vyhodnocuje

- velikost efektivních hodnot napětí za jednu periodu
- kolísání napětí (flickr)
- velikosti 1. až 25. harmonické složky napětí
- velikost harmonického zkreslení napětí pro 40 harmonických
- překročení mezí u pěti signálů HDO
- u jedné volitelné fáze meziharmonické složky.

Monitor QN rovněž registruje poklesy efektivních hodnot napětí jednotlivých fází a dočasná přepětí.

Monitor kvality je automaticky pracující provozní měřicí přístroj určený pro měření v rozsahu 1 týdne.

Dobu trvání měření lze měnit změnou počtu měřených parametrů kvality a intervalu ukládání dat do paměti.

Je napájen jak ze sítě, tak i z měřených obvodů.

Je vybaven vnitřní akumulátorovou baterií, která zajišťuje měření při výpadku síťového napájení a měřených napětí.

Monitor kvality napětí QN využívá pro měření parametrů kvality prostředky **číslicového zpracování signálu**. Napětí vzorkuje 14-ti bitovým A/D převodníkem s vzorkovací frekvencí 6,4 kHz.

**Harmonická analýza** se uskutečňuje FFT algoritmem. Výsledkem zpracování je skutečná ef. hodnota v každé periodě všech tří napětí a jejich komplexní frekvenční spektrum. Na základě tohoto spektra jsou pro jednotlivá měřená napětí stanoveny velikosti harmonických složek, koeficient harmonického zkreslení a po interpolaci také velikosti signálů HDO včetně meziharmonické složky.

Velikost **nesymetrie trojfázového napětí** je vypočtena rozkladem napětí 1. harmonické na zpětnou a souslednou složku. Monitor QN měří nesymetrii v síti s vyvedeným středem (při zapojení do hvězdy).

Pro vyhodnocení **flikru** vychází z kvadrátu ef. hodnot každé periody napětí a číslicové filtrace vyjadřující fyziologické vlastnosti oka.

Statistické vyhodnocení je provedeno dle EN 50 160 a jeho výsledkem je koeficient  $P_{st}$ . Hodnota  $P_{It}$  se vypočítá z hodnot  $P_{st}$ .

**Frekvence** napětí je měřena jako počet průchodů napětí nulou za interval 10 s, vychází se z hodnot vzorků napětí vstupu U1. V případě výpadku daného napětí se přechází na měření frekvence napětí vstupu U2 a poté U3.

#### Rozsahy a přesnosti měření napětí:

	Přesnost	Rozlišení	Rozsah
<b>Napětí *)</b>	0,5 % $U_{jm}$	0,1 % $U_{jm}$	0 - 120 % $U_{jm}$
<b>Frekvence</b>	± 50 mHz	± 50 mHz	44 – 55 Hz
<b>Flicker <math>P_{st}</math></b>	0,2	0,01	0 – 3
<b>Tvarové zkreslení</b>	0,2 % při $U_{jm}$	0,1 % při $U_{jm}$	0 – 100 %
<b>Napětí harm. složek</b>	0,2 % při $U_{jm}$	0,1 %	0 – 120 % $U_{jm}$
<b>Časový údaj</b>	± 15 s / týden	1 min **)	bez omezení

\*) Frekvenční rozsah napěťových vstupů 0 – 3 kHz

\*\*\*) Rozlišení časového údaje u událostí je 20 ms

#### 2.5.2 Analyzátor sítí BK 500 Plus

Známý analyzátor sítí BK 500 byl inovován s využitím nových systémových prvků na bázi virtuální instrumentace v souladu s evropskými standarty a doporučením IEC.

Sdružený síťový analyzátor BK 500 PLUS (výrobce ELCOM Praha, a.s.) je unikátní měřicí systém pro identifikaci a analýzu rušivých a zpětných vlivů v napájecích sítích, pro měření základních a kvalitativních parametrů elektrické energie (napětí, proudy, činné, zdánlivé a jalové výkony, kolísání napětí, analýza napětí podle **ČSN EN 50 160**).

V analyzátoru BK 500 PLUS je v současné době integrováno šest přístrojů a modul naměřených dat:

- FFT analyzátor harmonických a meziharmonických pro čtyři napěťové a čtyři proudové měřené kanály
- Monitor výkonů a energií
- Flikrmetr (měřič blikání)
- Monitor napětí podle ČSN EN 50 160
- Zapisovač rychlých dějů (tranzient recorder)
- Zapisovač pomalých dějů
- Modul zpracování naměřených dat

Sdružený analyzátor sítí BK 500 PLUS, vychází z předchozích verzí analyzátoru, používá měřicí kartu firmy National Instruments a jeho firmware byl naprogramován ve vývojovém prostředí LabVIEW.

Hardware analyzátoru je založen na průmyslovém PC Dewetron 3000 vybaveném dotykovým aktivním 10,4" TFT displayem (rozlišení 800 x 600) a hlasovým výstupem.

Používá měřicích karet s rychlosti procesu měření a zpracování dat v souladu s normou ČSN EN 61000-4-7.

**Analyzátor harmonických** vyhodnocuje harmonické pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT) až do 50. harmonické, současně ve všech čtyřech napěťových a proudových kanálech.

**Měřič blikání (flikrmetr)** vyjadřuje působení kolísání napětí transformovaného na světelný tok na vizuální vjem člověka.

Flikrmetr měří a zobrazuje následující veličiny:

- efektivní (RMS) hodnota napětí
- hodnota veličiny  $P(t)$  v posledních čtyřech sekundách
- maximální hodnota veličiny  $P(t)$  za dobu měření
- střední hodnota veličiny  $P(t)$  za poslední minutu
- krátkodobá míra blikání  $P_{st}$  za posledních 10 minut
- dlouhodobá míra blikání  $P_{lt}$  za posledních 120 minut

**Monitor napětí** měří hlavní kvalitativní ukazatelé napětí v nn a vn napájecích sítích podle ČSN EN 50 160. Základním intervalem pro tento typ měření je jeden týden.

Měřenými hodnotami podle tohoto standardu jsou:

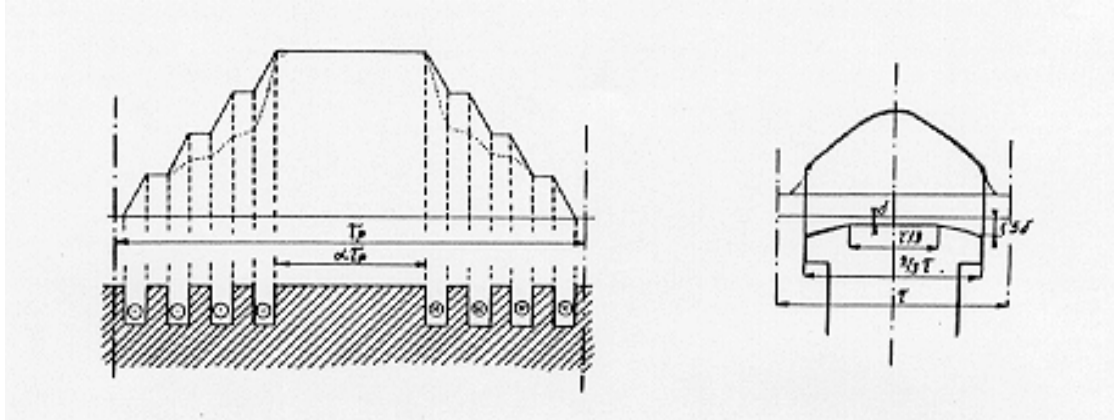
- Frekvence – střední hodnota za 10 sekund
- Střední efektivní (RMS) hodnota napětí za deset minut, maximální a minimální střední efektivní (RMS) hodnoty napětí za měřený interval
- Odchylky efektivní (RMS) hodnoty napětí v případě, že opustí interval +/- 10% od smluvní referenční hodnoty
- Dlouhodobá míra blikání  $P_{lt}$
- Harmonické napětí do 25. harmonické a THD faktor jako střední hodnota za 10 minut
- Nesymetrie – střední hodnota za deset minut

### 3. ZDROJE HARMONICKÝCH

#### 3.1. Klasické zdroje harmonických

- *synchronní generátory*

Podmínkou sinusového napětí je sinusová indukovaná indukovaná elektromotorická síla



S ohledem na symetrii konstrukce strojů je křivka svorkového napětí souměrná dle osy  $x$ , tj. platí podmínka  $f(x) = -f(x+\pi)$  a může proto obsahovat pouze liché harmonické.

Vhodnou konstrukcí stroje lze dosáhnout prakticky sinusového budícího toku

- u strojů s vyniklými póly tvarem pólu
  - u strojů s hladkým rotorem rozložením drážek - změnou  $\alpha$  dle obr.
  - úpravou vinutí statoru (zvětšení počtu drážek na pól a fázi, zkrácení kroku)
- Tím se u nezátíženého stroje zaručí prakticky sinusové napětí.

Reakční pole obsahuje výraznou třetí harmonickou, což se při zatížení stroje projeví i ve svorkovém napětí.

V trojfázové soustavě se třetí harmonická projeví jako *nulová složka*

- v zapojení do  $Y$  se objeví pouze ve fázovém napětí, ve sdruženém se vyruší
- v zapojení do  $\Delta$  způsobují třetí harmonické vyrovnávací proudy

*elektrická vedení* - vesměs uvažujeme jako lineární

*transformátory*

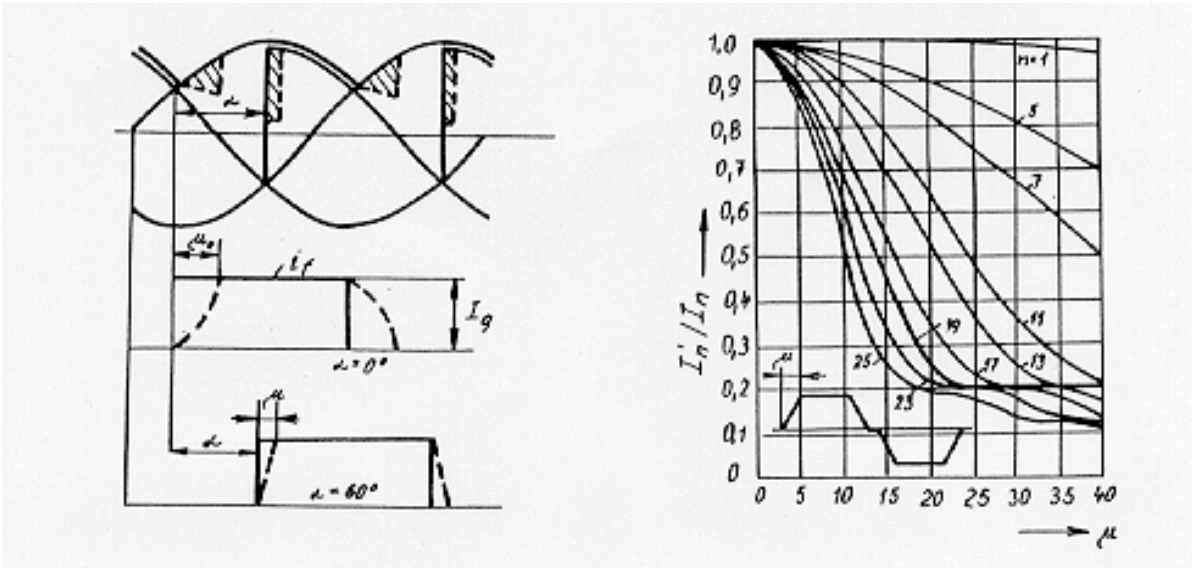
transformátor se železným jádrem má při sinusovém napájecím napětí relativně výraznou třetí harmonickou v sekundárním napětí vlivem nelineární magnetizační charakteristiky při zapojení  $Yy$  s vyvedeným uzlem se objeví třetí harmonická v sekundárním proudu a může způsobit zvýšené zatížení středního vodiče

při zapojení  $Yy$  bez vyvedení uzlu se třetí harmonická objeví v sekundárním napětí ve vinutí zapojeném do  $\Delta$  se proudy třetí harmonické uzavírají tímto vinutím

#### 3.2. Polovodičové měniče

Aplikace výkonové elektroniky až do výkonů několika MW

Neřízený usměrňovač v šestipulzním zapojení při sinusovém napájecím napětí má zjednodušeně (bez překrytí) proud v jedné fázi obdélníkový. Při použití napájecího transformátoru má primární proud rovněž obdélníkový nebo stupňovitý průběh (dle způsobu zapojení)



Rozborem zjistíme, že síťový proud obsahuje harmonické

$$n = k \cdot p \pm 1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

kde  $p$  - počet pulzů (celkový počet komutujících ventilů)

*Příklad*

- šestipulzní zapojení - 5, 7, 11, 13, 17, 19, .....harmonická
- dvanáctipulzní zapojení - 11, 13, 23, 25, .....harmonická

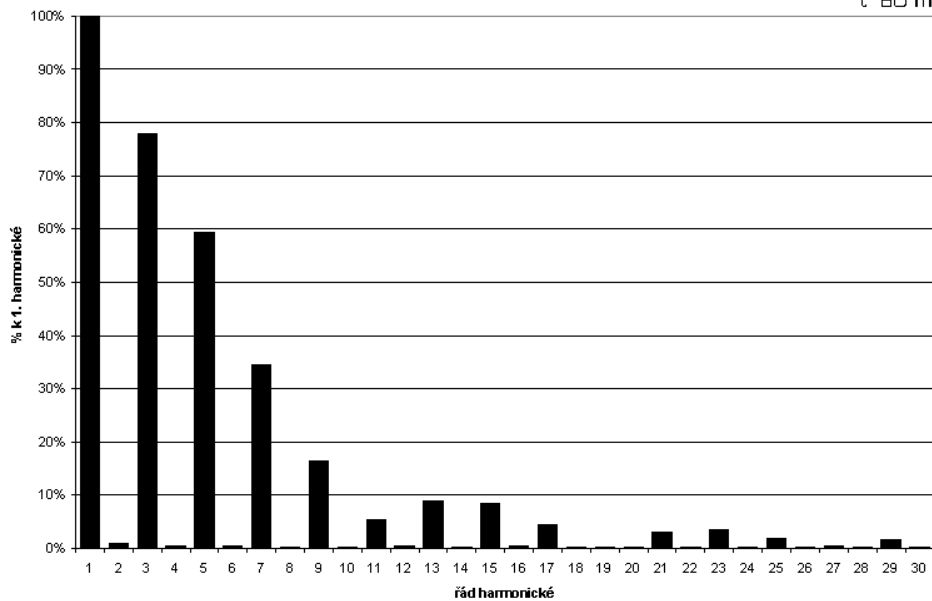
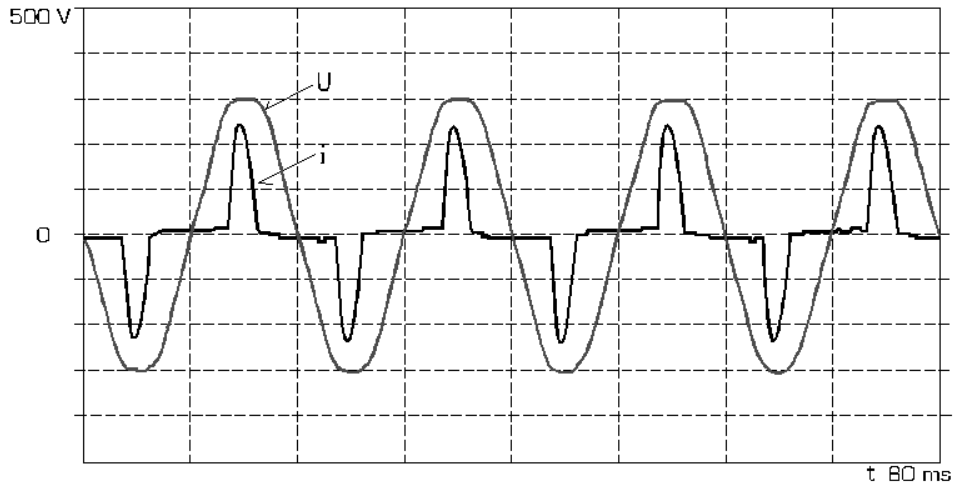
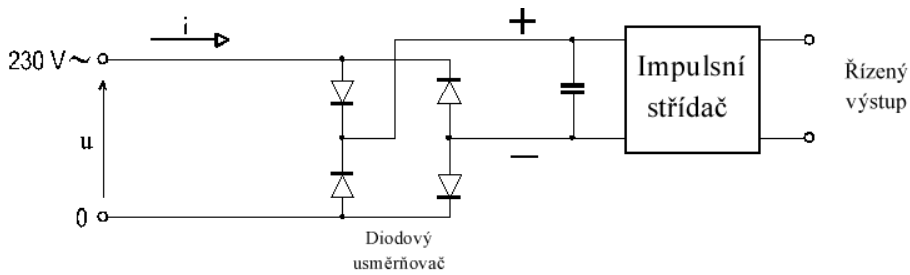
V prvním přiblížení lze amplitudy harmonických stanovit dle tzv. amplitudového zákona

$$I_n = \frac{1}{n} \cdot I_1$$

S uvažováním komutace (překrytí ventilů) se změní obdélníkový průběh na průběh čárkový a se vzrůstajícím úhlem překrytí se snižují amplitudy harmonických složek. U fázově řízených měničů je situace ještě složitější - podrobně v odborných publikacích.

### **Jednofázové polovodičové měniče**

Klasické napájení malých jednofázových spotřebičů (např. televizory) přes snižovací transformátor a usměrňovač je nahrazováno *spínanými zdroji*.



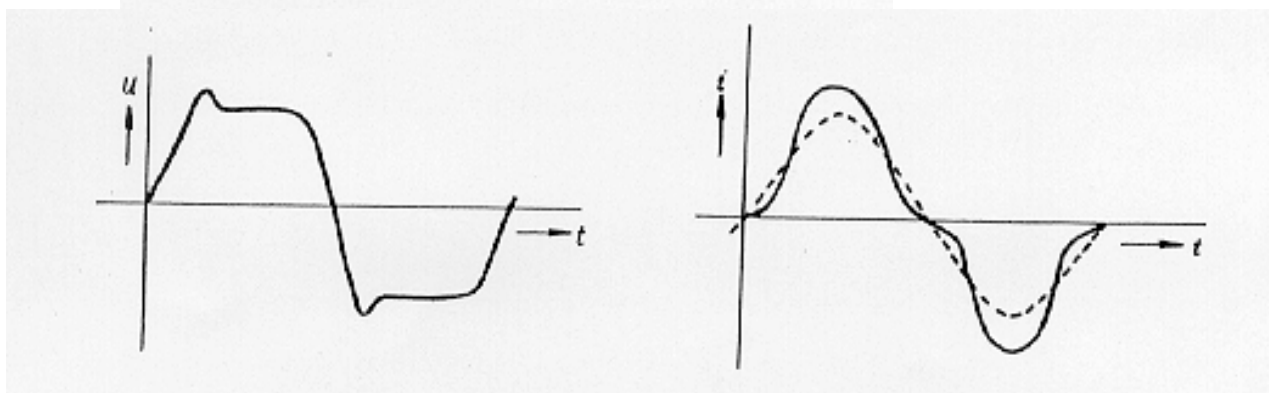
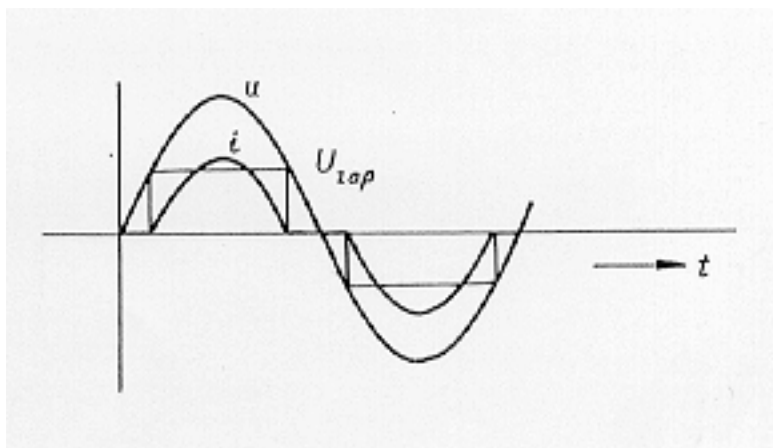
Výhoda - odstraní se těžký a rozměrný transformátor

Nevýhoda - silně deformovaný impulzní odběr, který dělá problémy při velkém množství aplikací

### 3.3. Jiné zdroje harmonických

- **elektrické obloukové pece**  
výkony řádově až MW

křivka proudu obsahuje značné procento harmonických, zejména výraznou 3., 5., ale i sudé harmonické



### osvětlovací tělesa v sítích nízkého napětí

#### a) zářivková svítidla

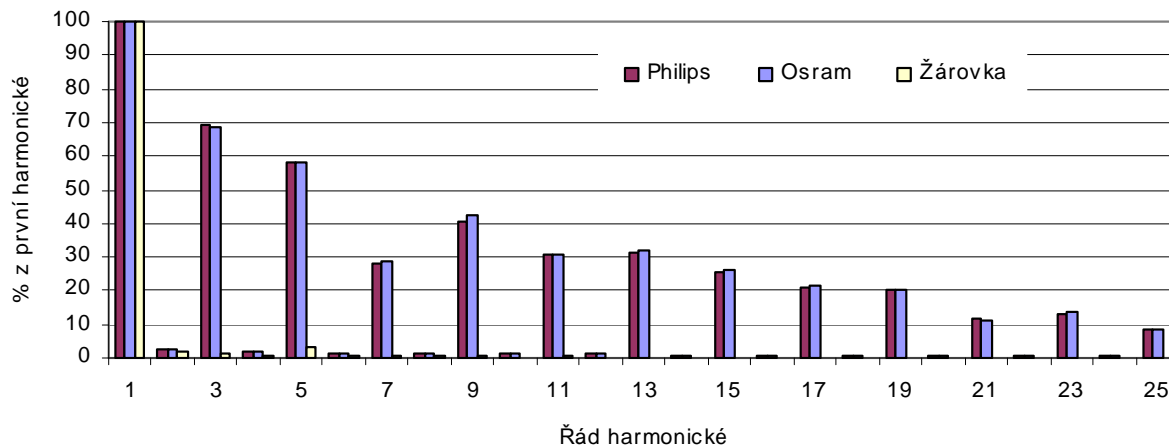
Křivka proudu obsahuje výraznou třetí harmonickou

**Pozor** při zatížení středního vodiče

#### b) kompaktní svítidla

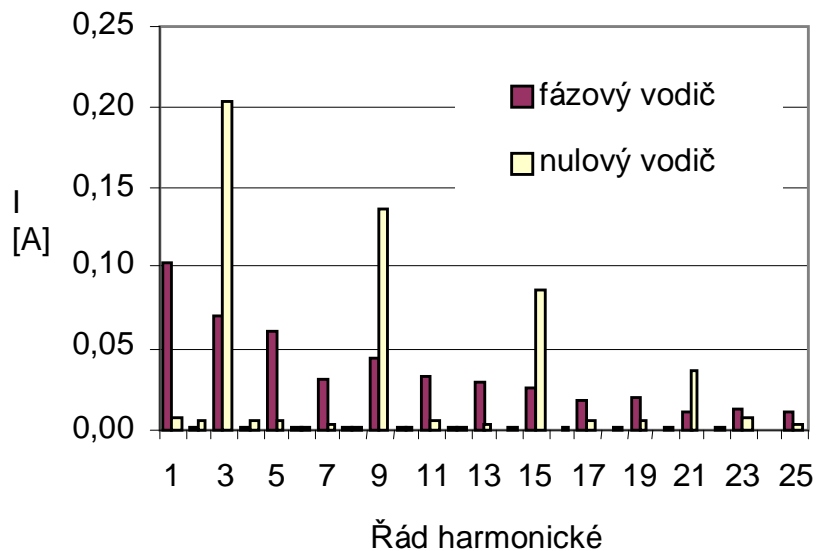
svítidla mají v křivce proudu značný obsah harmonických

Srovnání spektra kompaktních svítidel 20 W a 100 W žárovky





ukázka zatížení fázového a středního vodiče při použití tří kompaktních svítek 20 W v jednotlivých fázích



### 3.4. Rušivé vlivy harmonických

a) na související silnoproudá zařízení

- dodatečné ztráty vlivem harmonických u transformátorů, zejména napájecích polovodičové měniče
- přetěžování kompenzačních kondenzátorových baterií
- dodatečné ztráty u elektrických stojů
- vznik parazitních momentů u motorů
- vliv na dimenzování středních vodičů

b) na ostatní zařízení

- nepříznivý vliv na funkci ochran
- nepříznivý vliv na telekomunikační zařízení (harmonické vysokých řádů)
- ovlivnění měření (zejména analogových přístrojů) elektrických veličin
- vliv na přesnost měření spotřeby elektrické energie

## 4. ŠÍŘENÍ HARMONICKÝCH

### 4.1. Obecné aspekty výpočtu šíření harmonických

Zdroje harmonických obvykle působí v elektrických sítích, které jsou složité, zauzlované a s více napěťovými úrovněmi

Tyto zdroje mohou nepříznivě ovlivňovat velkou skupinu dalších zařízení, mnohdy elektricky vzdálených od zdrojů rušení.

Z hlediska **harmonických** se obvykle zkoumá šíření při **normálním provozu** a lze tedy využít metod řešení **ustáleného chodu** elektrických sítí.

Výpočet ustáleného chodu se obvykle provádí **metodou uzlových napětí**.

Předpokládá se symetrie trojfázové sítě i symetrie zátěže a proto lze obvykle řešit jednofázově.

Základní rovnice pro každou harmonickou

$$[\mathbf{I}_n] = [\mathbf{Y}_n] \cdot [\mathbf{U}_n]$$

kde  $I_n$  -uzlové proudy  
 $U_n$  -uzlová napětí  
 $Y_n$  -uzlová admitanční matice

Rozdíl v maticové rovnici pro základní harmonickou a ostatní harmonické

- pro základní harmonickou jsou na levé straně proudy zdrojů a spotřebičů
- pro ostatní harmonické jsou spotřebiče nahrazeny impedancemi a na levé straně jsou pouze proudy zdrojů harmonických

#### 4.2. Modelování prvků elektrické sítě

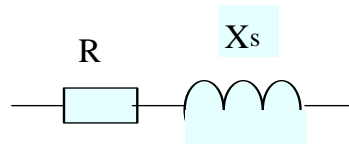
Pro vytvoření uzlové admitanční matice pro jednotlivé harmonické je nutno vytvořit náhradní schemata jednotlivých prvků elektrické sítě.

V literatuře lze nalézt řadu náhrad.

Dále jsou uvedeny náhrady dle CIGRE (časopis ELECTRA čís. 167 8/1996)

##### a) generátory

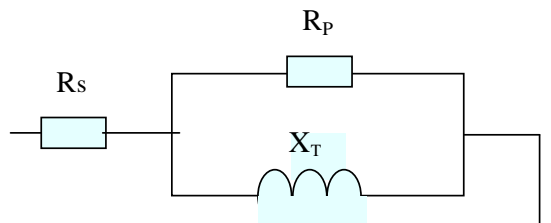
$$\mathbf{R}_1 = 0,1 \cdot \mathbf{X}_d''$$



pro harmonické

$$\mathbf{X}_n = n \cdot \mathbf{X}_d \quad \mathbf{R}_n = \sqrt{n} \cdot \mathbf{R}_1$$

##### b) transformátory



$X_T$  z napětí nakrátko

$$\mathbf{X}_n = n \cdot \mathbf{X}_T$$

$$\mathbf{R}_s = \frac{\mathbf{X}_T}{\mathbf{tg} \psi_1} \quad \mathbf{R}_p = 10 \cdot \mathbf{X}_1 \cdot \mathbf{tg} \psi_1$$

kde úhel  $\psi_1$

S (MVA)	$\mathbf{tg} \psi_1$
1	2
10	10
100	32

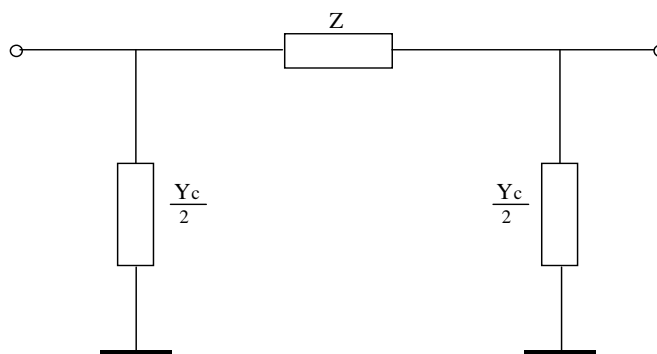
nebo též

$$\mathbf{tg} \psi_1 = \exp \left[ 0,693 + 0,796 \cdot \ln \mathbf{S} - 0,0421 (\ln \mathbf{S})^2 \right]$$

c) vedení a kabely

$$\mathbf{Z} = \mathbf{R} + \mathbf{jX}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{j}\omega\mathbf{C}$$



lze i přesněji

$$\mathbf{Z}' = \frac{\mathbf{Z} \cdot \sinh \sqrt{\mathbf{Y} \cdot \mathbf{Z}}}{\sqrt{\mathbf{Y} \cdot \mathbf{Z}}} \quad \frac{\mathbf{Y}}{2} = \mathbf{Y} \cdot \frac{\mathbf{tgh} \frac{\sqrt{\mathbf{Y} \cdot \mathbf{Z}}}{2}}{\sqrt{\mathbf{Y} \cdot \mathbf{Z}}}$$

pro respektování skin efektu se vychází z hodnot

$$\mathbf{X}_1 = 0,4 \omega / \text{km} \quad \text{pro venkovní vedení}$$

$$\mathbf{X}_1 = 0,1 \omega / \text{km} \quad \text{pro kabelová vedení}$$

pak

$$\mathbf{R}_{dc} = \frac{\mathbf{R}_1 - 0,004398 \cdot l}{0,938}$$

$$\mathbf{x} = 0,3545 \cdot \sqrt{\frac{\mathbf{n}}{\mathbf{R}_{dc} / l}}$$

kde  $l$  - délka vedení (km)  
 $\mathbf{R}_1$  - odpor při 50 Hz

pro  $x \leq 2,4$       $R_n = R_{dc} (0,35x^2 + 0,938)$   
 $x \geq 2,4$       $R_n = R_{dc} (0,35x + 0,3)$

Poznámka: V literatuře lze nalézt řadu jiných náhrad

**d) kondenzátor (sériový nebo paralelní)**

$$X_{cn} = -j \frac{1}{n\omega C}$$

**e) zátěže**

toto je nejproblémovější prvek

- v průmyslových sítích lze obvykle získat dostatek údajů
- ve veřejných distribučních sítích je situace komplikovanější - řešíme obvykle statisticky

Typy náhradních modelů

- dle CIGRE

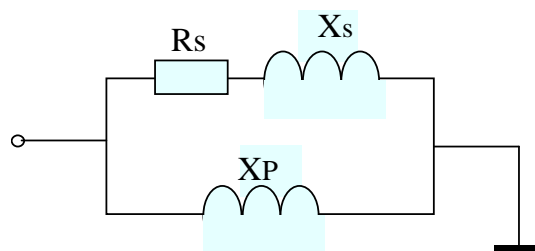
pro 5. -20. harmonickou

$$R = \frac{U^2}{P_1}$$

$$X_s = 0,073 \cdot n \cdot R$$

$$X_p = \frac{n \cdot R}{6,7 \operatorname{tg} \varphi_1 - 0,74}$$

kde  $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1}$

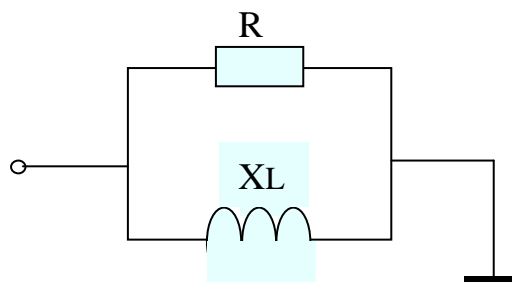


kompensační kondenzátory a kapacity kabelů je nutno modelovat separátně

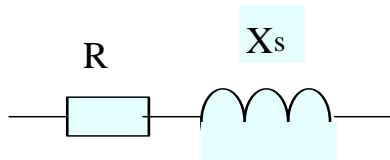
- model R/L

$$R = \frac{U^2}{P_1}$$

$$X = n \frac{U^2}{Q_1}$$



kompensační kondenzátory a kapacity kabelů je nutno modelovat separátně



- motory

$$X_1 = \frac{U^2}{S_{\text{start}}}$$

(při uzavřeném rotorovém obvodu)

$$R_1 = \frac{X_1}{3} \quad (\text{odpovídá } \cos \varphi_{\text{start}} = 0,32)$$

$$R_n = \sqrt{n} \cdot R_1$$

- složitá obecná zátěž

paralelní kombinace R,L,C

$$R_n = \frac{U^2}{0,4 \cdot P} \sqrt{n}$$

$$X_{Ln} = n \frac{U^2}{Q_L} \quad X_{Cn} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U^2}{Q_C}$$

problém je stanovit hodnoty  $Q_L$  a  $Q_C$

při použití kompenzačních kondenzátorů pro kompenzaci účinníku z  $\cos \varphi$  (obvykle 0,7) na  $\cos \varphi_k$  (obvykle 0,95) platí

$$Q = P \cdot \text{tg} \varphi$$

$$Q_k = P \cdot \text{tg} \varphi_k$$

$$Q_C = Q - Q_k = P(\text{tg} \varphi - \text{tg} \varphi_k)$$

V praxi obvykle zjistíme (změříme)  $P$ ,  $Q_k$ ,  $\cos \varphi_k$  (obvykle 0,95) a z odhadu výchozího  $\cos \varphi$  (obvykle 0,7) lze stanovit

$$Q_L = P \cdot \text{tg} \varphi \quad Q_C = P \cdot (\text{tg} \varphi - \text{tg} \varphi_k)$$

## 5. FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY

Elektrická síť je navrhována a provozována při kmitočtu **50 Hz**.

Většina prvků sítě má při tomto kmitočtu **induktivní charakter** (transformátory, podélná impedance vedení, zátěže - asynchronní motory).

V síti se ovšem objevují i **kapacity**

- příčné kapacity vedení
- kompenzační kondenzátory.

Vlivem kombinace **L,C** může docházet k rezonancím.

Objevují-li se v síti zdroje harmonických, je nebezpečí rezonancí značné.

Pro výpočet šíření harmonických a pro posouzení možných rezonančních jevů je nutno znát **frekvenční charakteristiky** elektrické sítě.

Frekvenční charakteristikou elektrické sítě rozumíme závislost impedance elektrické sítě na kmitočtu - pro posouzení harmonických obvykle v rozmezí do 50. harmonické (2,5 kHz).

Obvykle stanovujeme frekvenční charakteristiku v určitém bodě elektrické sítě, nejčastěji ve **společném napájecím bodě**.

**Poznámka:**

*Společný napájecí bod PCC (point of common coupling) je dle ČSN IEC 50 (161) bod veřejné rozvodné sítě, elektricky nejbližší příslušnému odběrateli, ve kterém je, nebo může být připojen jiný odběratel.*

Obvykle je to místo měření odběru elektrické energie.

Frekvenční charakteristiky lze stanovit

- výpočtem
- měřením

## 5.1. Výpočet frekvenčních charakteristik

K výpočtu frekvenční charakteristiky je nutno znát frekvenční závislost prvků elektrické sítě - v praxi to znamená znát přesně vlastnosti prvků elektrické sítě.

V kapitole 4 bylo rozebráno, že největší problémy působí stanovení frekvenční závislosti obecné zátěže v distribučních sítích.

Při použití metody uzlových napětí lze síť popsat rovnicí (pro symetrickou trojfázovou síť jednofázově)

$$[\mathbf{I}_n] = [\mathbf{Y}_n] \cdot [\mathbf{U}_n]$$

nebo

$$[\mathbf{U}_n] = [\mathbf{Y}_n]^{-1} \cdot [\mathbf{I}_n] = [\mathbf{Z}_n] \cdot [\mathbf{I}_n]$$

podrobněji

$$\begin{bmatrix} U_{1n} \\ U_{2n} \\ \cdot \\ U_{kn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_n^{11} & Z_n^{12} & \cdot & Z_n^{1k} \\ Z_n^{21} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_n^{k1} & \cdot & \cdot & Z_n^{kk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{1n} \\ I_{2n} \\ \cdot \\ I_{kn} \end{bmatrix}$$

jestliže je harmonický proud pouze v uzlu **p** (jeden zdroj harmonických v síti), pak vektor proudů

$$[\mathbf{I}_n] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{I}_{pn} = \mathbf{I}_n \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

pak

$$\mathbf{U}_{1n} = \mathbf{Z}_n^{1p} \cdot \mathbf{I}_n$$

$$\mathbf{U}_{2n} = \mathbf{Z}_n^{2p} \cdot \mathbf{I}_n$$

.

$$\mathbf{U}_{pn} = \mathbf{Z}_n^{pp} \cdot \mathbf{I}_n$$

.

$$\mathbf{U}_{kn} = \mathbf{Z}_n^{kp} \cdot \mathbf{I}_n$$

kde  $\mathbf{Z}_n^{pp}$  nazýváme **vlastní impedancí** uzlu **p**

Tedy diagonální prvky uzlové impedanční matice představují impedanci mezi příslušným uzlem a referenčním uzlem (obvykle zemí).

Pro stanovení **frekvenční charakteristiky** v určitém uzlu

- sestavíme *uzlové admitanční matice* pro všechny harmonické v uvažovaném rozmezí
- získáme uzlový diagonální prvek *uzlové impedanční matice* pro jednotlivé harmonické (harmonickou impedanci v tomto uzlu)

## 5.2. Bezztrátové obvody

Při zanedbání činných složek impedancí lze sestavit náhradní obvod pouze kombinací náhradních indukčností a kapacit.

Takové obvody nazýváme **bezztrátové (reaktanční) obvody**.

**Vstupní impedanci Z** lze v oprátorovém tvaru vyjádřit řetězovým zlomkem

$$Z(p) = Z_1(p) + \frac{1}{Y_2(p) + \frac{1}{Z_3(p) + \frac{1}{Y_4(p) + \dots}}}$$

po úpravě

$$Z(p) = \frac{M(p)}{N(p)} = \frac{a_0 + a_2 p^2 + \dots + a_{2k} p^{2k}}{b_1 p + b_3 p^3 + \dots + b_{2k+1} p^{2k+1}}$$

kde konstanty  $a, b$  jsou reálné konstanty

Kořeny polynomu v čitateli jsou tzv. *nulové body* ( $Z = 0$ )

ve jmenovateli jsou tzv. *póly* ( $Z = \infty$ )

#### Příklad:

Pomocí bezztrátových obvodů je provedena analýza elektrických obvodů hutního podniku s tyristorovým pohonem válcovacích stolic [1] o výkonu 10 MVA a s pomocnými pohony napájenými přes měniče [11] o výkonu 32 MVA, které měly paralelní filtry pro 5. [9] a 11. [10] harmonickou.

Analýza je provedena z pohledu velkého měniče pro pohon válcovacích stolic.

$$X_v = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{X_a} + \frac{1}{X_b}} + n \cdot X_8} - \frac{n}{X_7}} + \frac{1}{n \cdot X_6} + \frac{1}{n \cdot X_5}} + n \cdot X_4} + \frac{1}{n \cdot X_2} - \frac{n}{X_3}}}$$

kde

$$X_a = X_{L1,9} \cdot \left(n - \frac{25}{n}\right)$$

$$X_b = X_{L1,10} \cdot \left(n - \frac{49}{n}\right)$$

pak

$$X_v = \frac{0,4224 \cdot n^7 - 708,6 \cdot n^5 + 41131 \cdot n^3 - 514500 \cdot n}{-0,000169 \cdot n^8 + 0,59066 \cdot n^6 - 531,29 \cdot n^4 + 30082 \cdot n^2 - 373625}$$



### 5.3. Měření frekvenčních charakteristik

Hlavní problém je v tom, že měření je nutno provádět **za plného (nrmálního) chodu** sítě, tj. při chodu všech zdrojů i spotřebičů.  
Nelze měřit při odpojené nezatížené síti.

Z **metod měření** lze uvést

- s využitím zátěže v měřeném uzlu
- pomocí přechodného děje v měřeném uzlu
- s využitím zdroje harmonických v měřeném uzlu

#### 5.3.1. Měření frekvenčních charakteristik pomocí zátěže v měřeném uzlu

Pro elektrickou síť lze podle Thevenina napsat pro uzel **k**

$$U_{nk} = U_{nk0} - Z_{kk} \cdot I_{nk}$$

Pro zátěž, která není zdrojem harmonických (pasivní zátěž) s impedancí  $Z_{nz}$

$$U_{nk} = Z_{nz} \cdot I_{nk} = U_{nk0} - Z_{kk} \cdot I_{nk}$$

kde  $U_{nk0}$  - napětí uzlu **k** před připojením zátěže  
 $U_{nk}$  - napětí uzlu **k** po připojení zátěže  
 $Z_{kk}$  - diagonální prvek uzlové impedanční matice  
 $I_{nk}$  - proud zátěží

Pak

$$Z_{kk} = \frac{U_{nk0} - U_{nk}}{I_{nk}} = Z_{nz} \cdot \frac{U_{nk0} - U_{nk}}{U_{nk}}$$

*Prakticky:*

- připojíme zátěž a měříme harmonické napětí před a po připojení zátěže
- zátěží může být kompenzační kondenzátorová baterie, asynchronní motor s dostatečně velkým výkonem, aby vznikl dostatečně velký rozdíl napětí

*Potíže:*

- najít dostatečně výkonnou zátěž (lze obvykle v průmyslových sítích)
- mít v síti příslušnou harmonickou
- nepřesnosti při časových změnách harmonických napětí

#### 5.3.2. Měření frekvenčních charakteristik pomocí zdroje harmonických v měřeném uzlu

Podle principu superpozice

$$U_{nk} = U_{nk0} + Z_{kk} \cdot I_{nk}$$

odtud

$$Z_{kk} = \frac{U_{nk} - U_{nk0}}{I_{nk}} = Z'_{kk} - \frac{U_{nk0}}{I_{nk}}$$

Teoreticky lze měřit napětí v uzlu **k** před ( $U_{nk0}$ ) a po připojení ( $U_{nk}$ ) zdroje a spočítat  $Z_{kk}$

Je-li splněna podmínka  $\mathbf{U}_{nk} \gg \mathbf{U}_{nk0}$ , pak

$$\mathbf{Z}_{kk} \approx \mathbf{Z}'_{kk} = \frac{\mathbf{U}_{nk}}{\mathbf{I}_{nk}}$$

Jako zdroj lze použít

- zdroje v síti (např. měnič)
- externí zdroj připojený do uzlu

Měříme-li na harmonických napětích, je nebezpečí relativně velkého napětí  $\mathbf{U}_{nk0}$  sítě (tzv. spektrum pozadí)

*Příklad:*

při pozadí 10 % ,tj.  $\frac{\mathbf{U}_{nk0}}{\mathbf{U}_{nk}} = 0,1$

bude chyba            amplitudy    do 10 %  
                                 fáze                do 6°

### 5.3.3. Měření frekvenčních charakteristik pomocí přechodného děje v měřeném uzlu

Připojí se zdroj, který "vyrobí" spojitě spektrum harmonických proudů (např. sepnutí kondenzátorové baterie, rychlé změny zatížení)

Při použití Fourierovy transformace

$$\mathbf{U}_k(\mathbf{j}\omega) = \mathbf{U}_{k0}(\mathbf{j}\omega) + \mathbf{Z}_{kk}(\mathbf{j}\omega) \cdot \mathbf{I}_k(\mathbf{j}\omega)$$

odtud

$$\mathbf{Z}_{kk}(\mathbf{j}\omega) = \frac{\mathbf{U}_k(\mathbf{j}\omega) - \mathbf{U}_{k0}(\mathbf{j}\omega)}{\mathbf{I}_k(\mathbf{j}\omega)}$$

Je to vhodná metoda pro místa, kde není zdroj harmonických

Je nutno počítat s chybou vlivem tzv. pozadí sítě

### 5.3.4. Měření frekvenčních charakteristik pomocí externího zdroje harmonických v měřeném uzlu

Základní princip této metody - měříme mimo harmonické, tím je velmi dobře splněna podmínka  $\mathbf{U}_{nk} \gg \mathbf{U}_{nk0}$  a tím je v podstatě eliminován vliv tzv. pozadí

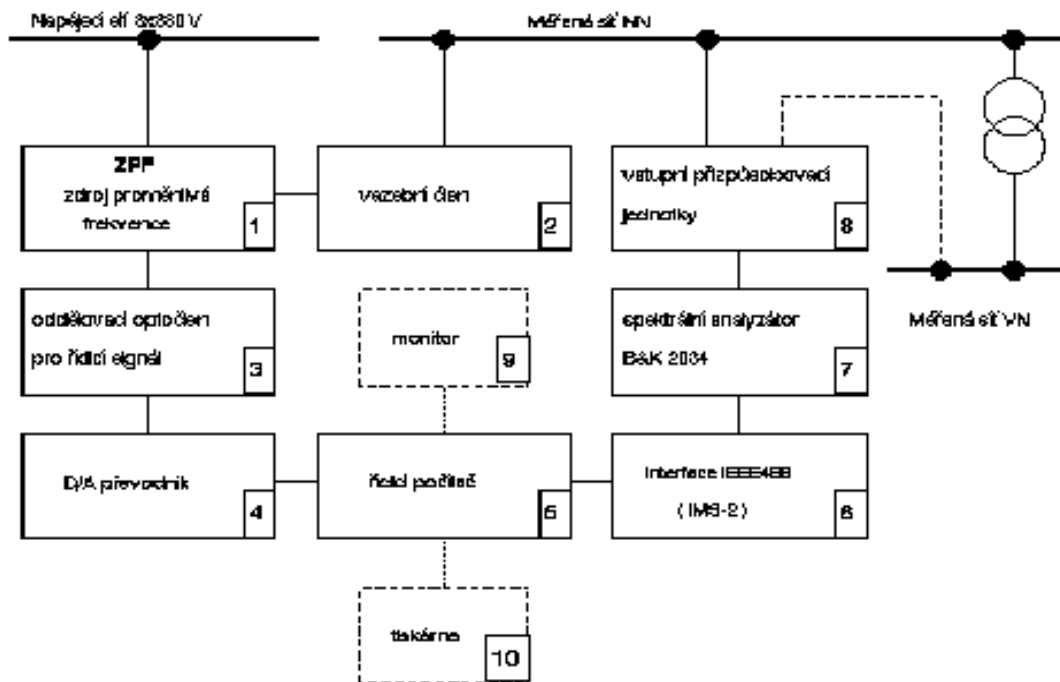
Obvykle měříme s krokem **50 Hz** (tedy např. 125,175,225,275, atd. Hz),

Lze ovšem měřit i s krokem menším (např. 10 nebo 5 Hz) - např. při testování okolí rezonanční frekvence

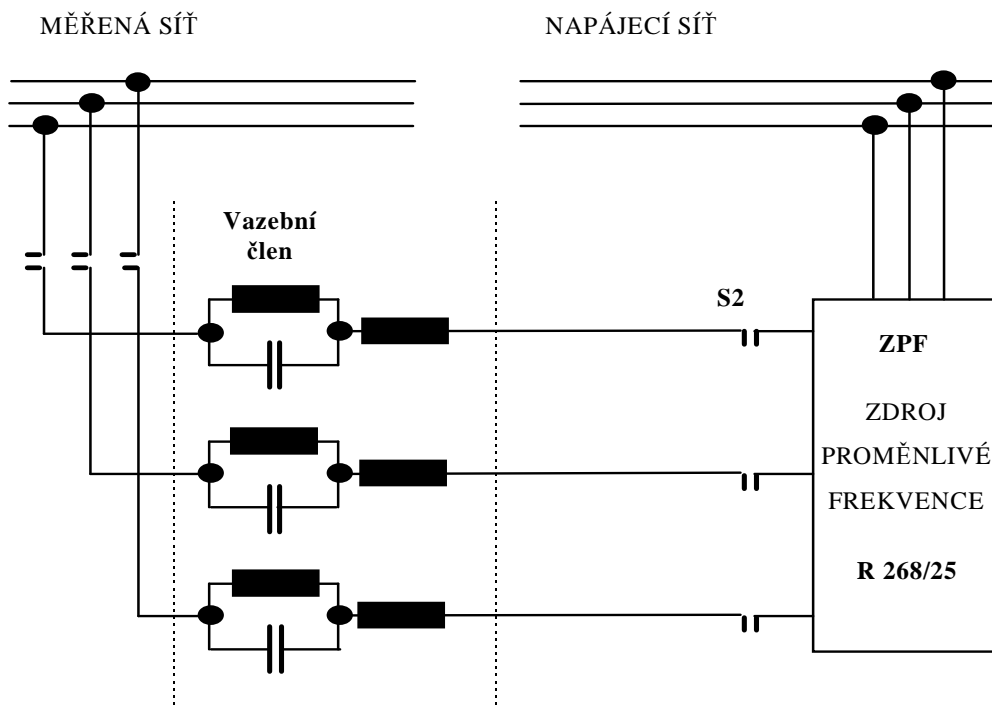
*Nevýhoda*

Měří se postupně v určitém frekvenčním rozsahu (např. 125 - 1400 Hz), což trvá asi 30 sec a může docházet v průběhu měření ke změnám impedance

## Blokové schéma automatizovaného měřicího pracoviště



## Připojení zdroje k měřené síti

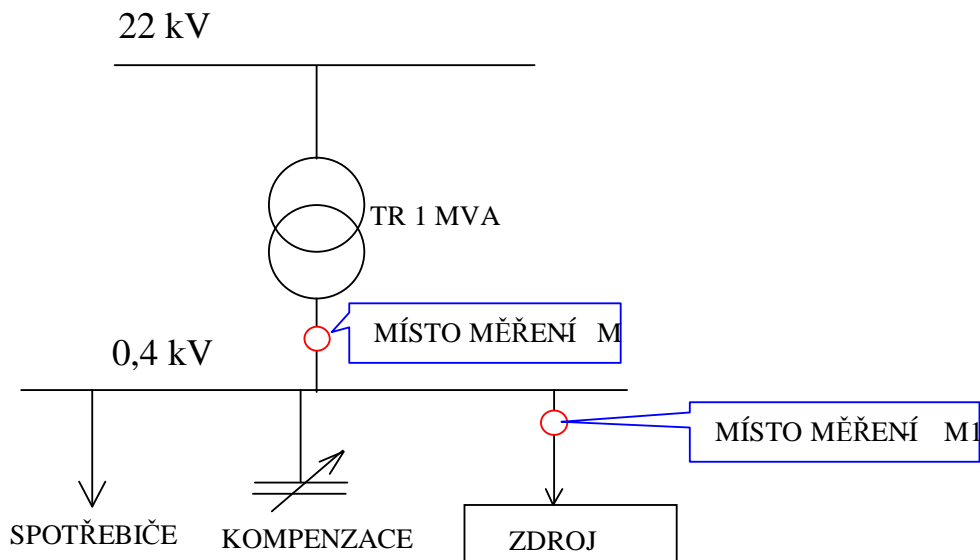


Měření je automatizováno - na nastavené frekvenci  $f$  se v místě měření odečte  $U$  a  $I$ , pomocí analyzátoru se vyhledá  $U_f$  a  $I_f$  a z těchto hodnot se spočítá amplituda a fáze impedance  $Z_f$

Trojfázový zdroj umožňuje měřit i v trojfázové síti

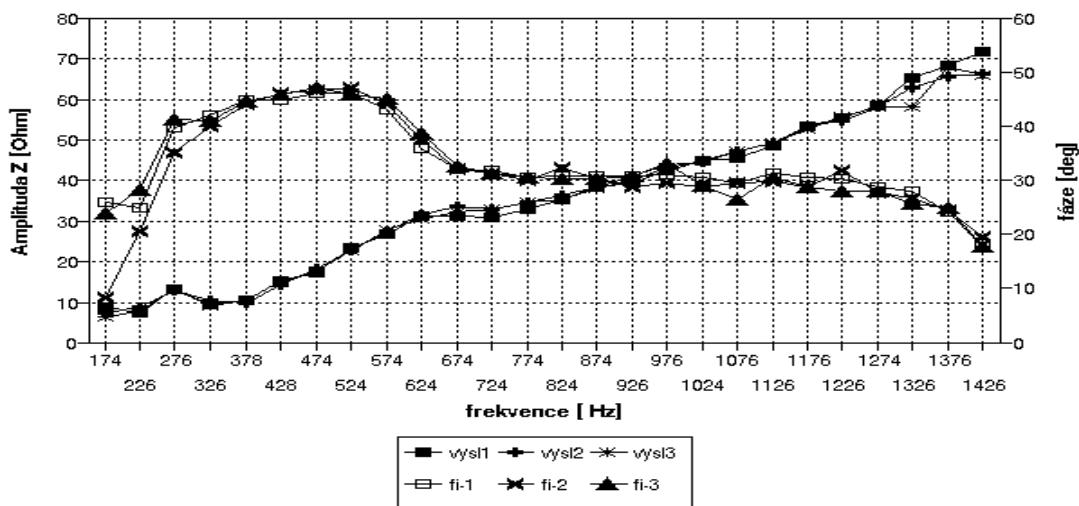
Podle místa měření lze stanovit

- U, I v místě M1 - celková impedance uzlu
- U, I v místě M - impedance napájecí sítě



Ukázka měření

### Železářny Podbrezová 24.6.1996 frek.charakteristiky impedance T102



## 6. SNIŽOVÁNÍ ÚROVNĚ HARMONICKÝCH

### 6.1. Metody snižování úrovně harmonických

Omezení harmonických u zdrojů

- použití **vícepulzních zapojení** měničů (obvykle dvanáctipulzní)

- lze řešit i "kvazivícepulzním" - dva (nebo více) šestipulzní měniče napájené s trojvlnového transformátory, kde sekundární vinutí mají fázový posun  $30^\circ$ , pak pro 5. harmonickou je posun  $150^\circ$  a pro 7. harmonickou  $210^\circ$  - nedojed k úplnému potlačení
- oddělení "špinavých" spotřebičů", které generují rušivé vlivy od ostatních vhodným zapojením sítě - např. napájení ze samostatných přípojníc

Filtry harmonických

- **pasivní rezonanční filtry** - sériový rezonanční LC obvod, naladěný na příslušnou harmonickou, který se připojí paralelně ke zdroji harmonických. Pro filtraci se obvykle připojí více paralelních rezonančních obvodů
- **aktivní filtry** - paralelně nebo sériově připojený generátor řízený vhodným regulačním systémem, který i v dynamických stavech kompenzuje harmonické složky

## 6.2. Kondenzátory v elektrických sítích

Je-li induktivní spotřebič  $Z$  napájen ze zdroje s napětím  $U_1$  přes napájecí vedení s podélnou impedancí  $Z_v = R + jX_L$ , pak je na vedení fázový úbytek napětí (při zanedbání imaginární složky)

$$\begin{aligned}\Delta U_f &= Z_v \cdot I = (R + j \cdot X_L) \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi) \\ &= RI \cdot \cos \varphi + X_L I \cdot \sin \varphi = RI \cdot \cos \varphi (1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha)\end{aligned}$$

*Obecně lze kondenzátory v elektrických sítích zapojit*

- **sériově** s napájecím vedením (sériová kompenzace) - mění se charakteristika (impedance) elektrické sítě
- **paralelně** se spotřebičem (paralelní kompenzace) - mění se charakteristika zatížení - kompenzace účinníku

### 6.2.1. Sériový kondenzátor v elektrických sítích

Připojíme-li sériový kondenzátor  $C_S$ , pak je celkový fázový úbytek napětí

$$\begin{aligned}\Delta U_f &= [R + j \cdot (X_L - X_C)] \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi) \\ &= [RI \cdot \cos \varphi + (X_L - X_C)I \cdot \sin \varphi] - j \cdot [RI \cdot \sin \varphi - (X_L - X_C)I \cdot \cos \varphi]\end{aligned}$$

Důvody použití

- zvýšení přenosové schopnosti vedení vlivem zvýšení hranice stability

$$P_{\max} = \frac{E_1 \cdot U}{X}$$

- redukce přenosových ztrát vlivem optimalizace rozložení jalového výkonu podél vedení

#### **Příklad**

Přenos 2000 MW na vzdálenost cca 1000 km

varianta **A** - 2 paralelní vedení a sériová kompenzace

náklady - vedení 90 % + kompenzace 10 %

varianta **B** - 3 paralelní vedení

náklady - vedení 135 %

Tedy varianta **B** je investičně o 35 % dražší

*Nevýhoda*

při zkratu narůstá zkratový proud vlivem zmenšení podélné impedance

*Řešení - vyřazení (zkratování) sériového kondenzátoru v průběhu zkratu*

a) *pomocí jiskřiště a paralelního spínače*

- tlumicí člen D omezuje amplitudu proudu
- obnovení funkce po ukončení poruchy 200 - 400 ms
- charakteristika - velice robustní a spolehlivé, jiskřiště se samo nezháší, střední doba obnovy funkce

b) *pomocí dvojitého jiskřiště*

- jiskřiště G2 je nařízeno na extrémně nízkou hodnotu deionizace, spínač S2 se odpojí ihned po ukončení poruchy
- obnovení funkce po ukončení poruchy za 60 - 80 ms
- jiskřiště G1 a spínač S1 slouží jako záloha
- charakteristika - robustní a spolehlivé zařízení, vlastní záložní ochrana, vysoká rychlost obnovy funkce

c) *pomocí ZnO přepěťové ochrany*

- nelineární rezistor R (ZnO) omezuje napětí kondenzátoru C při zkratové poruše
- obnovení funkce ihned po ukončení poruchy
- obvykle se zvýšená energie absorbuje v R
- jiskřiště G1 a spínač S1 slouží jako záloha
- charakteristika - statická ochrana (bez spínače), okamžitá obnova funkce sériového kondenzátoru, zvýšená účinnost pro stabilitu, snížení vlivu přechodných přepětí

Balanční ochrana u kondenzátorů

d) *pomocí regulované tlumivky*

(TCTS - Thyristor Controlled Series Capacitor)

Regulace impedance pomocí spínání tyristorů

*Poznámka:*

V sítích vn lze sériové kondenzátory využít i pro regulaci napětí (zmenšení podélné impedance)

### 6.2.2. Paralelní kondenzátor v elektrických sítích

Připojíme - li paralelní kondenzátor  $C_P$ , pak se změní (zmenší) proud v napájecí síti z  $I$  na  $I_k = I + I_C$ , což má za důsledek

- zvětšení průchodnosti napájecí sítě
- zmenšení přenosových ztrát

Potřebný **kompensační výkon** pro vykompenzování z  $\cos\varphi$  na  $\cos\varphi_k$

$$Q_C = U^2 \omega C = P(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k)$$

protože

$$I_c = U_f \omega C = I_j - I_{jk} = I_c(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k)$$

*Příklad*

Pro asynchronní motor 15 kW s  $\cos\varphi = 0,7$  je zapotřebí kompenzační výkon

- pro kompenzaci na  $\cos\varphi_k = 0,95$

$$Q_C = P(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k) = 15(1,02 - 0,338) = 10,3 \text{ kVar}$$

- pro kompenzaci na  $\cos\varphi_k = 1,0$

$$Q_C = P(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k) = 15(1,02 - 0) = 15,02 \text{ kVar}$$

**Přenosové ztráty**

před kompenzací

$$\Delta P = 3RI^2 = \frac{R}{U^2}(P^2 + Q^2)$$

po kompenzaci

$$\Delta P_k = \frac{R}{U^2}[P^2 + (Q - Q_C)^2]$$

ušetřené ztráty

$$\Delta P_{u\check{s}} = \Delta P - \Delta P_k = \frac{R}{U^2}Q_C(2Q - Q_C)$$

### 6.2.3. Prostředky ke kompenzaci

- statické kondenzátory
- rotační kompenzátory
- synchronní motory
- správná volba spotřebičů (optimální volba zejména asynchronních pohonů)

**Statické kondenzátory**

*výhody*

- malé výkonové ztráty
- nemají otáčivé části
- kompenzační výkon lze měnit přidáním dalších jednotek

nevýhoda

- obtížná regulace jalového výkonu při proměnlivém zatížení

### Způsoby regulace jalového výkonu

- kontaktní (stykačové) spínání skupin kompenzačních jednotek (o stejném nebo nesterj-ném výkonu)
- bezkontaktní spínání skupin kompenzačních jednotek - polovodičové spínače
- s využitím tzv. měniče impedance - paralelní plynule řízená tlumivka pomocí polovodi-čového spínače

### Způsoby kompenzace v elektrických sítích

- individuální (přímo u spotřebiče)
- skupinová (v podružném rozvaděči)
- centrální (v hlavní rozvodně, obvykle v PCC)

### 6.3. Kondenzátory v sítích s harmonickými

Připojíme-li kondenzátor na nesinusové napětí pak jeho výkon lze vyjádřit

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 \cdot n\omega_1 \cdot C$$

Pro zjednodušení předpokládáme v napájecím napětí kromě základní pouze jednu n-tou harmonickou, pak výkon kondenzátoru

$$Q = U_1^2 \cdot \omega_1 \cdot C + U_n^2 \cdot n\omega_1 \cdot C$$

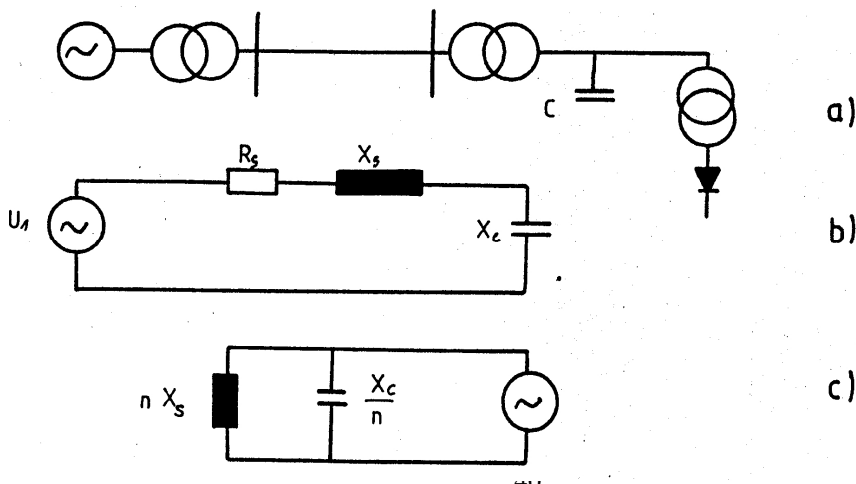
nebo pomocí proudu

$$Q = \frac{I_1^2}{\omega_1 C} + \frac{I_n^2}{n\omega_1 C}$$

Kondenzátory jsou tedy přidavně zatěžovány při nesinusovém napájecím napětí.

Při více harmonických platí zásada, že harmonické nižších řádů zatěžují kondenzátor více, než harmonické vyšších řádů.

V síti se zdroji harmonických vzniká nebezpečí **rezonančních jevů**.





Na obr. a) je uvedeno schéma sítě s kompenzovaným nelineárním spotřebičem.

Na obr. b) je uvedeno náhradní schéma pro základní harmonickou

Nahradíme-li napájecí síť reaktancí  $X_S$ , přibližně stanovenou ze zkratového výkonu  $S_k$

$$X_S = \frac{U^2}{S_k}$$

Na obr. c) je uvedeno náhradní schéma pro harmonické při zanedbání odporů.

Z hlediska zdroje harmonických tvoří kompenzační kondenzátor a napájecí síť paralelní rezonanční obvod.

Z podmínky paralelní rezonance

$$n\omega_1 C \cdot U_1^2 = \frac{1}{n\omega_1 L} U_1^2$$

Ize stanovit kritický výkon kompenzačních kondenzátorů

$$Q_{Ck} = U_1^2 \cdot \omega_1 C = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{U_1^2}{\omega_1 L} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{U_1^2}{X_S}$$

nebo pomocí zkratového výkonu  $S_k$

$$Q_{Ck} = \frac{1}{n^2} \cdot S_k$$

Kritická hodnota pro

5. harmonickou je	4 % $S_k$
7. harmonickou je	2 % $S_k$
13. harmonickou	0,5 % $S_k$

## 7. FILTRY HARMONICKÝCH

Obecně lze konstatovat, že rušivé vlivy lze potlačit přidavnými zařízeními, které provozuje

- energetika
- odběratel

Opravné prostředky mohou být

- přidavné zdroje
- paralelní filtry
- sériové filtry
- přidavné sériové, paralelní impedance

**Klasicky** jsou opravné prostředky realizovány

- stupňovou kompenzací s polovodičovými spínači
- kompenzačními filtry s fázově řízeným reaktorem

**Nově** se využívají aplikace s pulzně-šířkovou modulací (PWM - pulse width modulated) s využitím výkonových prvků

FET	IGBT	GTO
600V/100A	1200V/1000A	4kV/5kA
stovky kHz	několik kHz	do 1 kHz

## 7.1. Pasivní filtry

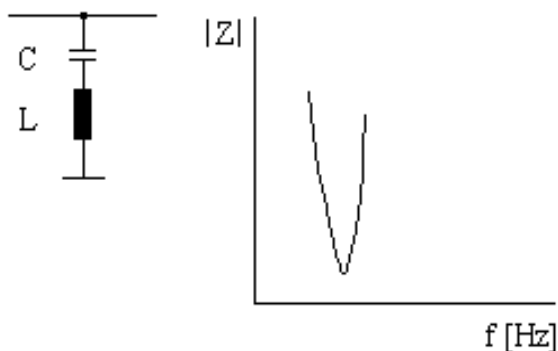
Pasivní filtry jsou sériovou, paralelní nebo sérioparalelní kombinací indukčnosti L, kapacity C a odporu R.

Pasivní filtry

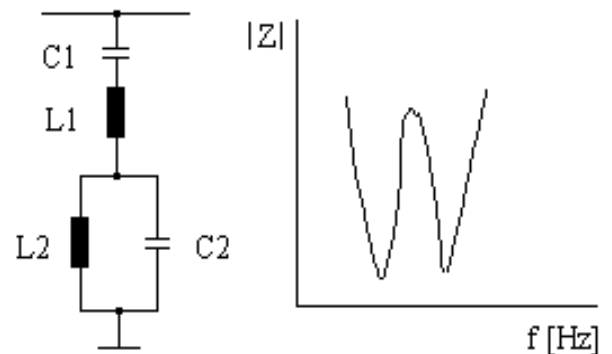
- při základní frekvenci dodávají do sítě jalovou energii
- snižují obsah harmonických v napájecí síti na požadovanou úroveň

Pasivní filtry lze rozdělit na dva základní typy

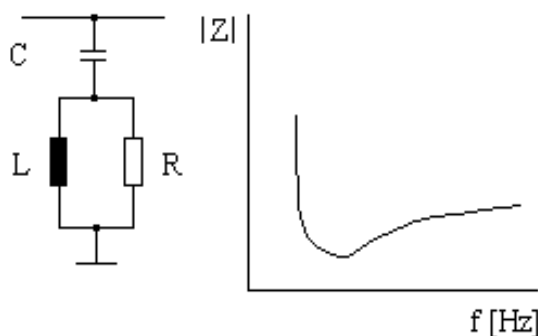
- s velkou selektivitou, které mohou být naladěny na jednu (obr. a) nebo dvě (obr. b) frekvence
- s malou selektivitou – širokopásmové hornopropustní filtry, které mohou být realizovány jako filtry prvního, druhého (obr. c) a třetího (obr. d) řádu.



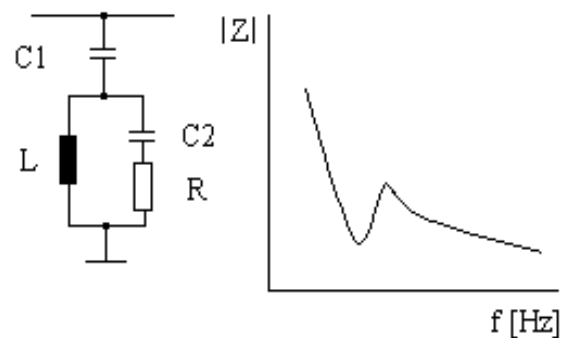
a)



b)



c)

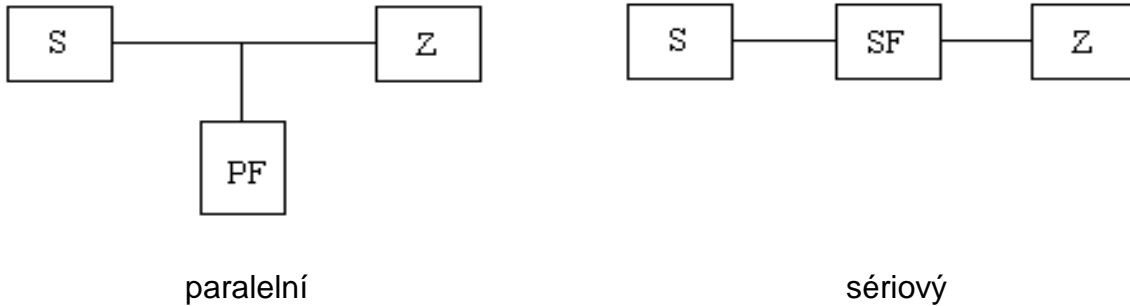


d)

Filtry jsou vzájemně kombinovány podle spektra harmonického proudu generovaného nelineárním spotřebičem.

Filtry jsou používány

- sériové (využívají paralelní rezonance napětí **U** – použití u HDO, aby impedance ne-snižovala úroveň signálu na určité frekvenci)
- paralelní (využívají sériové rezonance proudu **I**)



V principu se jedná o jednoduché sériové a paralelní rezonanční rezonanční obvody

*Sériový obvod*

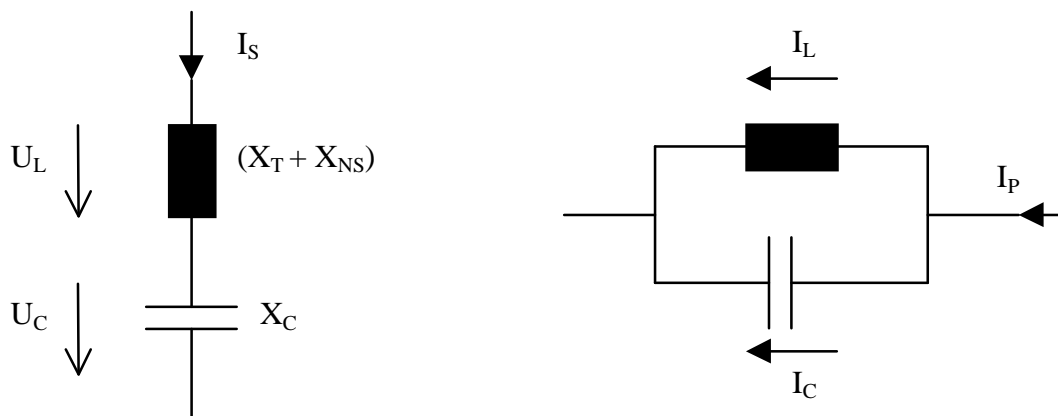
podmínka rezonance

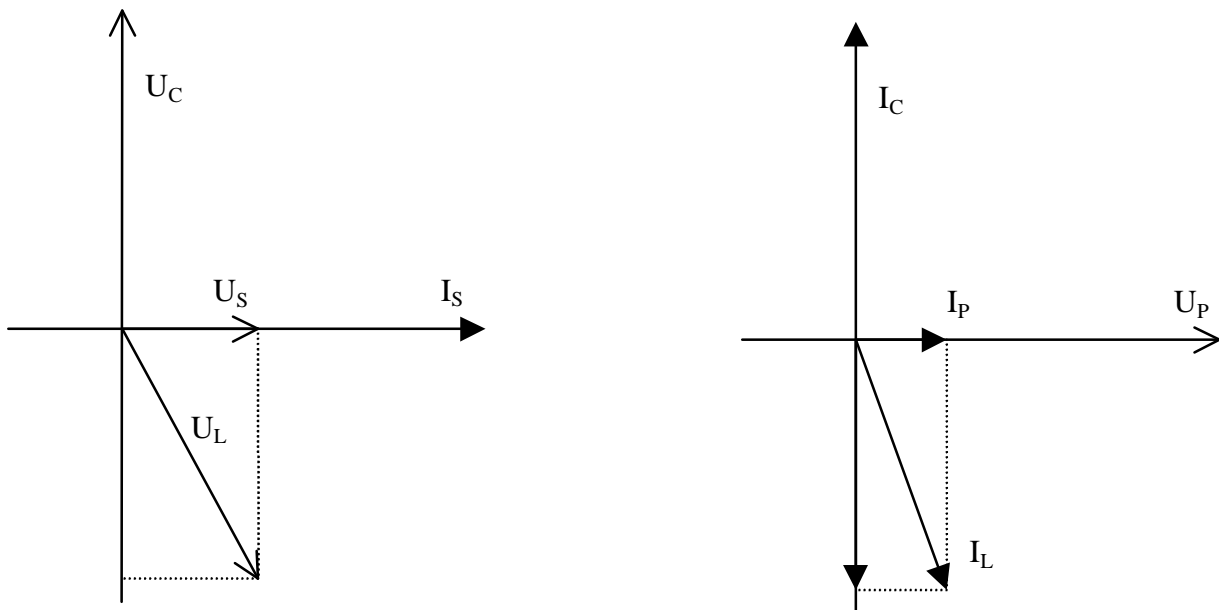
$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \Rightarrow f_{\text{rez}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

*Paralelní obvod*

podmínka rezonance

$$\frac{1}{2\pi fL} = 2\pi fC \Rightarrow f_{\text{rez}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$





### 7.1.1. Výpočet parametrů filtrů

Při návrhu filtrů, nebo filtračně - kompenzačních zařízení (**FKZ**) se obvykle vychází

- z průběhu činného a jalového výkonu
- z parametrů nelineárního spotřebiče (zdroje harmonických)

Úkolem FKZ je

- dodat potřebný kompenzační jalový výkon, přičemž dynamika musí zabezpečit pokrytí i velmi rychlých změn (např. u válcovacích tratí)
- omezit rušivé vlivy nelineárního spotřebiče na napájecí síť tak, aby v PCC (společném napájecím bodě) byly splněny podmínky buď dle ČSN, nebo sjednané podmínky s dodavatelem elektrické energie

Pasivní filtry se realizují vhodnou kombinací **L, C**. Obvykle se volí kondenzátory ze jmenovité řady a dopočítávají se velikosti tlumivek, které se vyrobí (kusově).

Připojíme-li LC filtr s rezonanční frekvencí pro  $n$ -tou harmonickou na konstantní napětí základní harmonické  $U_1$ , pak platí při rezonanci

$$nX_1 = \frac{X_{C1}}{n} \Rightarrow X_{L1} = \frac{X_{C1}}{n^2}$$

$$U_1 = U_{C1} - U_{L1} = (X_{C1} - X_{L1}) \cdot I = \left(X_{C1} - \frac{X_{C1}}{n^2}\right) \cdot I = \frac{n^2 - 1}{n^2} X_{C1} I = \frac{n^2 - 1}{n^2} U_{C1}$$

na kondenzátoru se na základní harmonické objeví poněkud vyšší napětí

$$U_{C1} = \frac{n^2}{n^2 - 1} U_1$$

Pro jednotlivé harmonické

n	3	5	7	11	13
$\frac{n^2}{n^2 - 1}$	1,125	1,042	1,021	1,008	1,006

Je zřejmé, že od 5. harmonické zvýšení nepřesáhne 5 %.

Protéká-li kondenzátorem proud základní harmonické  $I_1$  a proud filtrované harmonické  $I_n$ , je kondenzátor více zatěžován (viz dříve) a celkový výkon

$$Q = \frac{I_1^2}{\omega_1 C} + \frac{I_n^2}{n \omega_1 C}$$

nebo

$$Q = U_1^2 \cdot \omega_1 \cdot C + U_n^2 \cdot n \omega_1 \cdot C$$

Výrobce kondenzátorů obvykle udává provozní podmínky při zatěžování harmonickými.

Například dle dřívější normy ČSN 35 8206

- kondenzátor musí dovolit trvalý provoz při zvýšení napětí o 10 %
- kondenzátor musí snést trvalý provoz při 30 % zvýšení proudu

Pak

$$U_1 = 1,1 U_N \frac{n^2}{n^2 - 1}$$

kde  $U_1$  - dovolené zvýšení napětí na kondenzátoru  
 $U_N$  - jmenovité napětí sítě  
 $n$  - řád harmonické

Proud, který musí trvale vydržet kondenzátor

$$I_C = 1,3 \frac{Q_{NC}}{U_{NC}}$$

kde  $I_C$  - trvalý proud kondenzátoru  
 $Q_{NC}$  - jmenovitý výkon kondenzátoru  
 $U_{NC}$  - jmenovité napětí kondenzátoru

Proud základní harmonické, je-li jmenovité napětí odlišné od napětí sítě

$$I_{1C} = \frac{U_1 \cdot Q_{NC}}{3s \cdot U_{NC}^2}$$

kde  $s$  je počet kondenzátorů v sérii

Dovolený proud harmonické

$$I_{nC} = \sqrt{I_C^2 - I_{1C}^2}$$

### **Příklad**

Pro kondenzátory

$Q = 100 \text{ kVar}$  a  $U_{NC} = 7,35 \text{ kV}$  s kapacitou  $C = 5,89 \mu\text{F}$

jsou dovolené proudy

$I_5 = 11,46 \text{ A}$   $I_7 = 11,77 \text{ A}$   $I_{11} = 11,95 \text{ A}$   $I_{13} = 11,98 \text{ A}$

### **Příklad**

Pro těžní stroj o zdánlivém výkonu  $S = 5,36 \text{ MVA}$  při napětí  $22 \text{ kV}$  je proud základní harmonické  $I_1 = 140,7 \text{ A}$

Filtry se realizují v zapojení do hvězdy.

Pro napětí fázové  $12,7 \text{ kV}$  je nutno zapojit 2 kondenzátory do série a výsledná kapacita je  $C_v = 2,945 \mu\text{F}$ .

Trojfázový kompenzační výkon je pak  $600 \text{ kVar}$ .

Pro potřeby kompenzace volíme 6 paralelních větví.

Celkový trojfázový kompenzační výkon je  $Q = 3600 \text{ kVar}$  a celková kapacita  $C_v = 17,67 \mu\text{F}$

*Parametry 5. harmonické*

$$L_5 = \frac{1}{n^2 \omega_1^2 \cdot C} = \frac{1}{5^2 \cdot 314^2 \cdot 17,67} = 22,9 \text{ mH}$$

$$Q_k = Q_1 \left( \frac{U_f}{2U_C} \right)^2 \frac{n^2}{n^2 - 1} = 3600 \left( \frac{12,7}{2 \cdot 7,35} \right)^2 \cdot \frac{25}{24} = 2800 \text{ kVar}$$

Podobně se stanoví parametry filtrů pro 7., 11., a 13. harmonickou.

## **7.2. Aktivní filtry**

**Aktivní filtry** lze uvažovat jako paralelně nebo sériově zapojené generátory řízené vhodným regulačním systémem tak, aby i v dynamických stavech byla zajištěna požadovaná kompenzace nevhodných **harmonických složek**.

Způsobem zapojení aktivního filtru do sítě pak lze vylepšit proud, napětí nebo obojí.

Existují dva způsoby filtrace harmonických pomocí aktivních filtrů

- generování příslušné harmonické v protifázi
- generování „zbytkové“ křivky.

Stejně jako pasivní i aktivní filtry se používají sériové, paralelní a kombinované.

*Použití aktivních filtrů*

- síťové kondicionéry - pro filtraci harmonických, stabilizaci napětí, kompenzaci účinníku
- rychlé kompenzátory účinníku
- symetrizace zatížení
- potlačení flikru

#### *Aplikace aktivních filtrů*

- kompenzace na jednotkový účinník - vytváří se proud a napětí ve fázi (kompenzace jalové složky proudu)
- kompenzace na sinusový průběh - vytváří některé harmonické v protifázi, nebo "zbytkovou křivku"
- kompenzace na konstantní výkon - pro trojfázové systémy

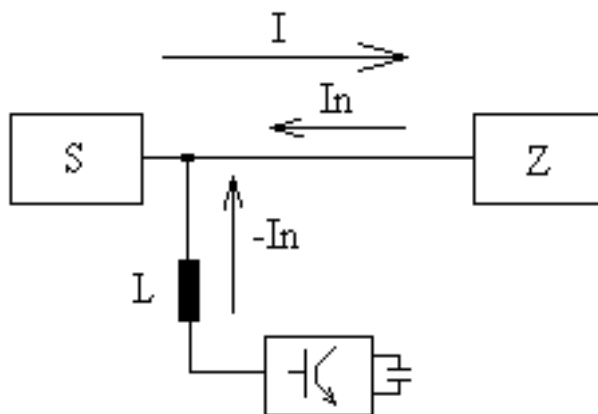
### 7.2.1. Paralelní aktivní filtry

Paralelní (také derivační) filtry se používají k filtraci **harmonických proudů**, ke kompenzaci jalového výkonu a nesymetrické zátěže a k omezování flikru.

Filtry chrání síť proti vlivu zátěže.

Připojují se přes vazební tlumivku L a tvoří jej obvykle řízený generátor proudu zapojený paralelně k zátěži.

Filtr je schopen odstranit nežádoucí harmonické proudy generováním shodné složky opačného směru - součtem obou složek  $+I_n$  a  $-I_n$  vznikne sinusový proud.



Princip zapojení paralelního (derivačního) filtru

### 7.2.2. Sériové aktivní filtry

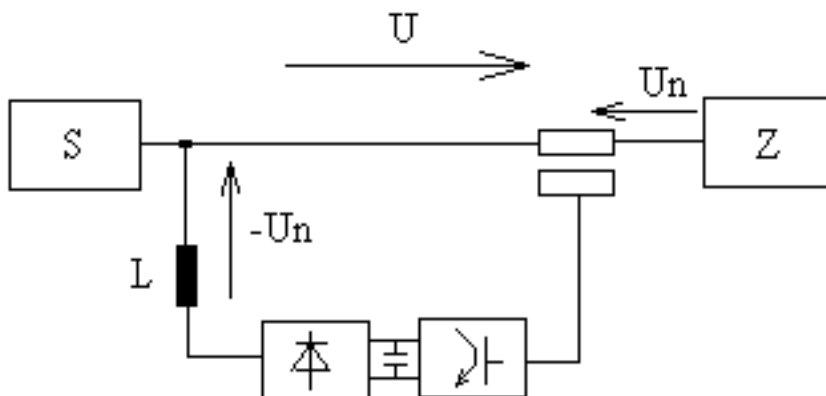
Sériový filtr se používá k filtraci **harmonických napětí** a ke kompenzaci nesymetrického napětí.

Je zapojen mezi svorky sítě a svorky spotřebiče, je tvořen generátorem napětí.

Filtr chrání zátěž před vlivem sítě.

Je možno ho také použít k úpravě napětí na požadovaný tvar, je-li potřeba čisté napětí za filtrem např. kvůli počítačům.

Není možno použít tento filtr k zajištění sinusového proudu.



Princip zapojení sériového filtru

**Linkový kondicionér** je zařízení, které pracuje na principu sériové kompenzace. Je to aplikace sériového aktivního filtru.

Upravuje napětí sítě sériově zapojenými transformátory, které jsou napájených měničem s pulsně šířkovou modulací.

Je to výkonový stabilizátor napětí pro veřejný rozvod s širokým rozpětím vstupního napětí, který vyrovnává krátkodobé poklesy.

Kondicionér zpracovává jen část výkonu nezbytně nutného k doplnění deficitu vzniklého úbytky na vedení nebo ke zklidnění odběru.

Nejčastěji se využívá jako koncové zařízení na výběžcích rozvodných sítí, vyznačujících se delšími vedeními – linkami s nadprůměrnou impedancí.

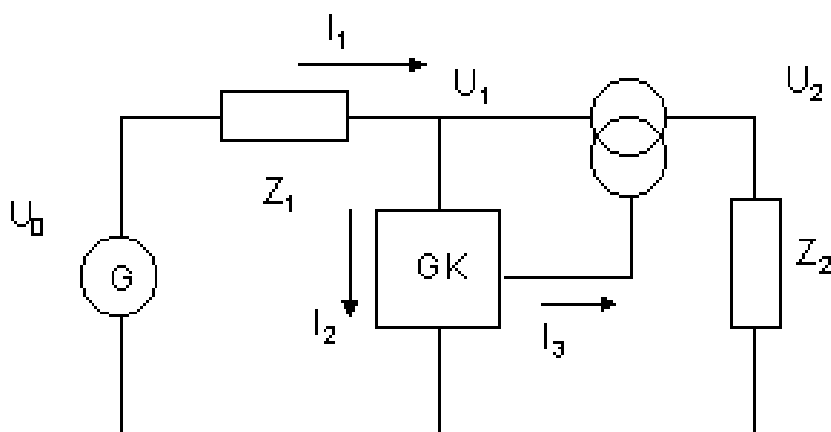


Schéma připojení linkového kondicionéru



**G** síťový zdroj (např. transformační stanice)  
**GK** linkový kondicionér (měničová část)  
 $I_1$  proud do zátěže  
 $I_2$  proud do měniče kondicionéru  
 $I_3$  proud do primáru TS ( $I_3 = I_1 / p$ )  
 $U_0$  napětí síťového zdroje  
 $U_1$  napětí na vstupu kondicionéru  
 $U_2$  napětí na výstupu kondicionéru ( $U_2 = U_0$ )  
**TS** sériový transformátor kondicionéru  
 $Z_1$  impedance vedení (linky)  
 $Z_2$  impedance zátěže

Kondicionér není zdrojem energie a proto vyrovnání výstupního napětí má své fyzikální meze.

Linkový kondicionér reguluje efektivní hodnotu napětí v každé následující periodě, symetrizuje a odstraňuje flicker.

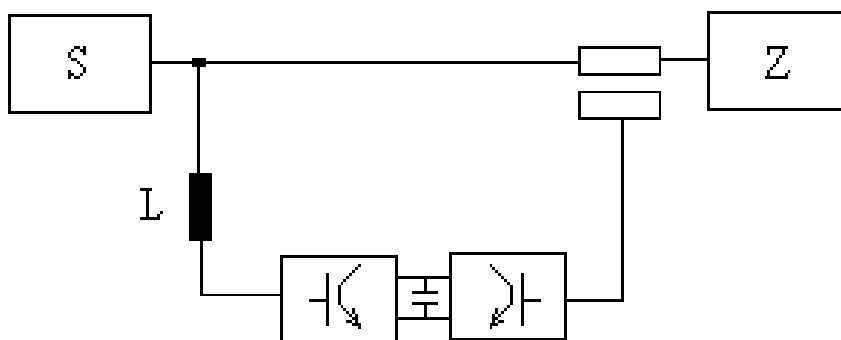
V provedení velice rychlém (aktivní sériový filtr), pak umožňuje odstranit deformační výkon (vyhladit křivku napětí) resp. odstranit určité harmonické v napětí. Dále umožňuje vylepšit bilanci výkonů činného a jalového.

V praxi pro použití v distribučních sítích plně vyhovuje regulace na požadovanou efektivní hodnotu výstupního napětí popř. v provedení s možností eliminace flikru.

### 7.2.3. Kombinované aktivní filtry

Tyto filtry jsou kombinací paralelních a sériových filtrů.

Takovýmto spojením lze dosáhnout vhodného průběhu jak napětí v místě filtru tak i odebíraného proudu.



Princip zapojení kombinovaného filtru

### 7.2.4. Provedení aktivních filtrů

Filtry jsou tvořeny můstkovým zapojením polovodičových spínačů.

Jako tyto spínače se používají IGBT (insulated gate bipolar transistors) tranzistory, což jsou bipolární tranzistory s izolovaným hradlem (řídící elektrodou). IGBT je integrovaná kombinace unipolární a bipolární součástky. Jedná se o stejné zapojení jako můstkový střídač. I činnost je podobná, jedná se o převrácený chod.

Filtry lze podle stejnosměrného zdroje rozlišit stejně jako střídače na

- **filtry s proudovým zdrojem** – jako zdroj proudu se používá indukčnost. Funkce filtru je analogická usměrňovači s indukční zátěží. Proud indukčností je udržován na požadované hodnotě tokem činného proudu měničem
- **filtry s napětiovým zdrojem** – jako zdroj napětí se používá kondenzátor. Bez spínání tranzistorů pracuje měnič jako diodový usměrňovač s usměrněným napětím rovným amplitudě sdruženého napětí sítě. Důležitými parametry filtrů je napětí na kondenzátoru a maximální strmota nárůstu proudu. Při zvyšování strmosti nárůstu proudu se při konstantní spínací frekvenci měniče zvětšuje zvlnění proudu.

## 8. KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

### 8.1. Definice

Základní definice týkající se kolísání napětí jsou uvedeny v ČSN IEC 50(161):

#### **161-08-01 změna A2 (voltage change) změna napětí**

změna efektivní nebo vrcholové hodnoty napětí mezi dvěma po sobě jdoucími úrovněmi, které trvají určitou, avšak nestanovenou dobu

POZNÁMKA - Zda se zvolí efektivní nebo maximální hodnota závisí na aplikaci; zvolený typ hodnoty je třeba specifikovat.

#### **161-08-02 (relative voltage change ) relativní změna napětí**

poměr změny napětí ke jmenovité hodnotě napětí

#### **161-08-03 (duration of a voltage change) trvání změny napětí**

časový interval vzestupu nebo poklesu napětí z počáteční hodnoty do konečné hodnoty

#### **161-08-04 (voltage change interval ) interval změny napětí**

časový interval, který uplyne od začátku jedné do začátku následující změny napětí

#### **161-08-05 změna A2 (voltage fluctuation) kolísání napětí**

řada změn napětí nebo spojitá změna efektivní nebo maximální hodnoty napětí

POZNÁMKA - Zda se zvolí efektivní nebo maximální hodnota závisí na aplikaci; zvolený typ hodnoty je třeba specifikovat.

#### **161-08-06 zm. A2 (voltage fluctuation waveform ) tvar kolísání napětí**

průběh kolísání napětí v časové oblasti

#### **161-08-07 (magnitude of a voltage fluctuation ) velikost kolísání napětí**

rozdíl mezi největší a nejmenší efektivní nebo maximální hodnotou napětí během kolísání napětí

**161-08-08** (rate of occurrence of voltage changes) **četnost změn napětí**  
počet změn napětí za jednotku času

**161-08-13 změna A1** (flicker ) **blikání (flikr)**

pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase

NÁRODNÍ POZNÁMKA - Kromě českého termínu *blikání* se používá také český termín *flikr* (viz PNE 33 3430-0)

Anglický termín *flicker* je příkladem termínu, na jehož překlad jsou různé požadavky ze strany odborníků a ze strany ostatní technické veřejnosti. Tento termín byl přeložen jako *blikání*. Tento překlad termínu si v rámci připomínkování vynutila ostatní technická veřejnost, zatímco odborníci, kteří s tímto termínem pracují (v souvislosti s úzkou návazností na kolísání napětí elektrické rozvodné sítě) vyžadují jimi používaný termín *flikr*.

**161-08-14 změna A1** (flickermeter ) **měřič blikání (flikrmetr)**

přístroj určený pro měření jakékoliv veličiny týkající se blikání

NÁRODNÍ POZNÁMKA - Kromě českého termínu *měřič blikání* se používá také český termín *flikrmetr*

**161-08-15 změna A1** (threshold of flicker perceptibility ) **práh vnímání blikání**

minimální hodnota kolísání intenzity jasu nebo spektrálního rozložení, která vyvolává pocit blikání u vybraného vzorku obyvatelstva

NÁRODNÍ POZNÁMKA - Kromě českého termínu *práh vnímání blikání* se používá také český termín *práh vnímání flikru*

**161-08-16 změna A1** (threshold of flicker irritability ) **práh dráždivosti blikání**

maximální hodnota kolísání jasu nebo spektrálního rozložení vyvolávajícího blikání, které vybraný vzorek obyvatelstva snáší bez nepříjemností

NÁRODNÍ POZNÁMKA - Kromě českého termínu *práh dráždivosti blikání* se používá také český termín *práh dráždivosti flikru*

**161-08-17 změna A1** (fusion frequency) **kmitočet splynutí; kritický kmitočet blikání**

kmitočet změny dráždění nad nímž není blikání pro daný souhrn podmínek vnívatelné

NÁRODNÍ POZNÁMKA - Kromě českého termínu *kritický kmitočet blikání* se používá také český termín *kritický kmitočet flikru*

**161-08-18 změna A2** (short-term flicker indicator) **krátkodobá míra vjemu flikru**  
(symbol:  $P_{st}$ )

míra flikru vyhodnocená po stanovený časový interval relativně krátkého trvání

POZNÁMKA - Doba trvání je typicky 10 minut ve shodě s IEC 61000-4-15.

**161-08-19 změna A2** (long-term flicker indicator) **dlouhodobá míra vjemu flikru**  
(symbol:  $P_{lt}$ )

míra flikru vyhodnocená po stanovený časový interval relativně dlouhého trvání, používající po sobě jdoucí hodnoty krátkodobé míry vjemu flikru

POZNÁMKA - Doba trvání je typicky 2 hodiny, používá se 12 po sobě jdoucích hodnot  $P_{st}$ , ve shodě s IEC 61000-4-15.

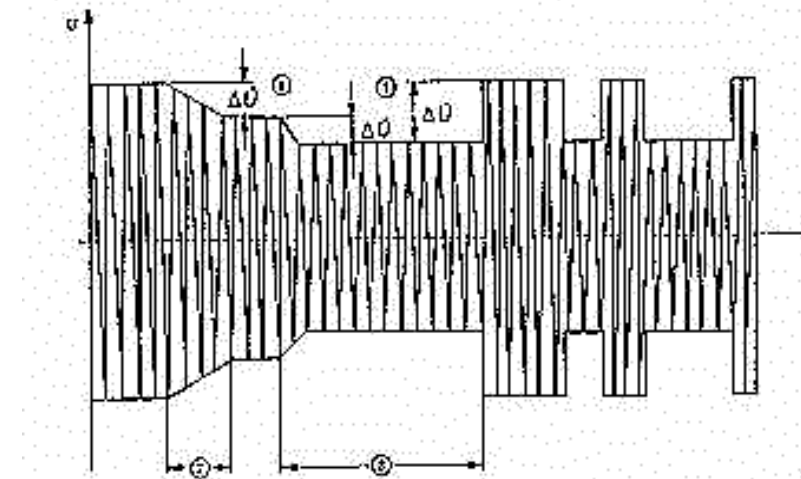
**161-08-20 změna A2** (short interruption (of supply voltage)) **krátké přerušení** (napájecího napětí)

nepřítomnost napájecího napětí po dobu časového intervalu jehož trvání je mezi dvěma stanovenými mezemi

POZNÁMKA. - Za krátké přerušení je považováno zmenšení napájecího napětí na méně než 1 % jmenovitého napětí s dolní mezí trvání typicky několik desetín sekundy a horní mezí typicky asi jedna minuta (nebo, v některých případech, až tři minuty).

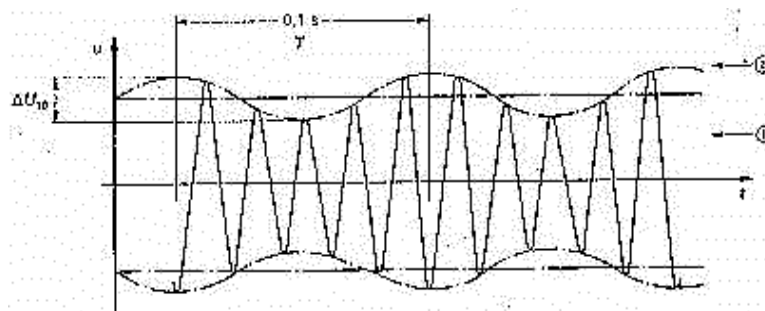
## 8.2. Kolísání napětí

**Kolísání napětí** je řada změn napětí nebo spojitá změna efektivní nebo maximální hodnoty napětí



**Tvar kolísání napětí** je průběh kolísání napětí v časové oblasti

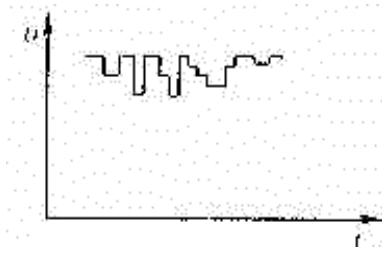
- *sinusový*



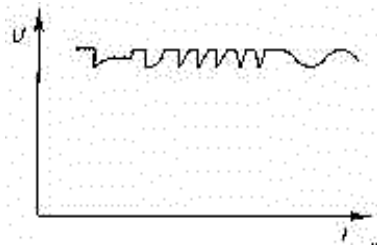
- *typ a*) - periodické pravoúhlé změny napětí stejné velikosti (například spínání jednoduchého odporového zatížení - např. sporák)



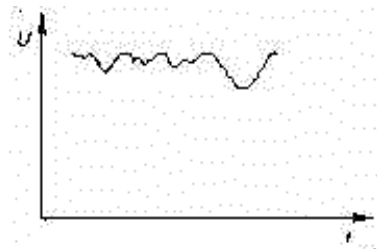
- *typ b)* - řada skokových změn nepravidelných v čase. Jejich velikost může nebo musí být stejná a jejich polarita může být negativní i pozitivní (např. mnohonásobné spínání více zátěží)



- *typ c)* - jasně rozlišitelné změny zatížení, které nejsou všechny skokovými změnami (např. spínání neodporové - motorické zátěže)



- *typ d)* - řada náhodných nebo spojitých kolísání zátěží (např. cyklicky nebo náhodně se měnící zatížení - těžní stroj, EOP)



## Změny napětí

### a) v toleranci napětí

- pomalé periodické nebo náhodné (odchytky x poklesy napětí)
- rychlé, někdy i skokové (EOP, svářečky)

### b) mimo tolerance napětí

- poklesy 10 - 90 %  $U_n$
- přerušení < 1 %  $U_n$
- nárůsty 110 - 120 %  $U_n$   
(anglicky SWELL - vyboulení, vyduť)

## Z hlediska časového

### a) krátkodobé

- mžikové 0,5 - 30 cyklů
- okamžité 30 cyklů - 3 sec

- dočasné 3 sec - 1 min
- b) dlouhodobé > 1 min
  - přerušení < 1 %  $U_n$
  - podpětí pod 90 %  $U_n$
  - přepětí nad 110 %  $U_n$

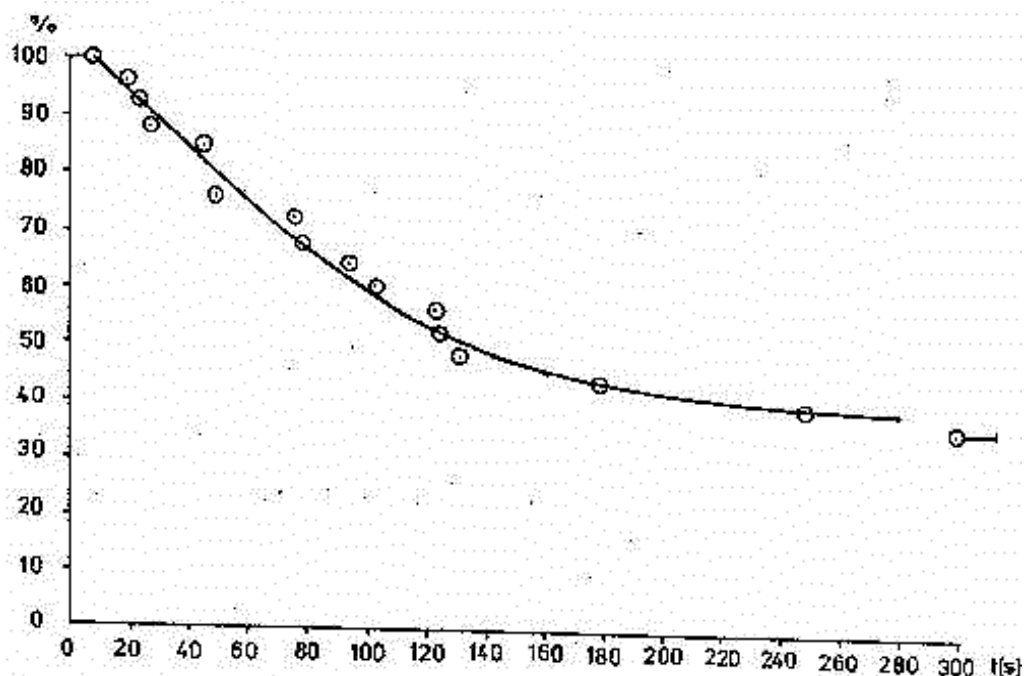
### 8.3. Blikání (flikr)

**Blikání (flikr)** je pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase

**Práh vnímání blikání (flikru)** je minimální hodnota kolísání intenzity jasu nebo spektrálního rozložení, která vyvolává pocit blikání u vybraného vzorku obyvatelstva

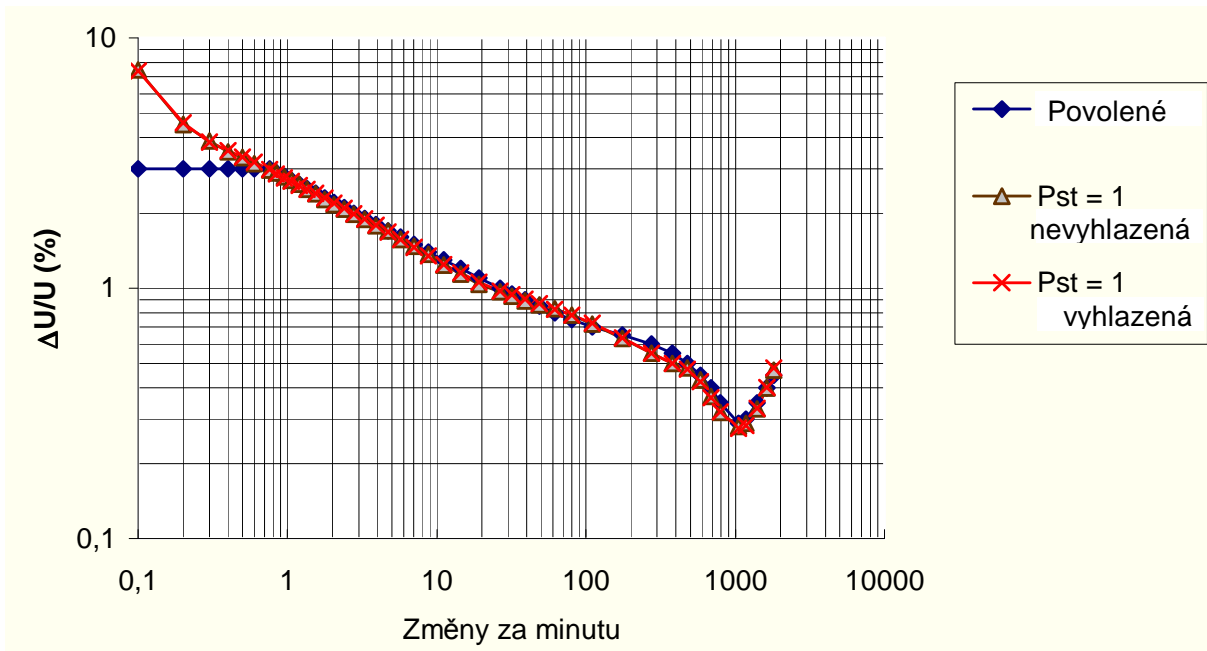
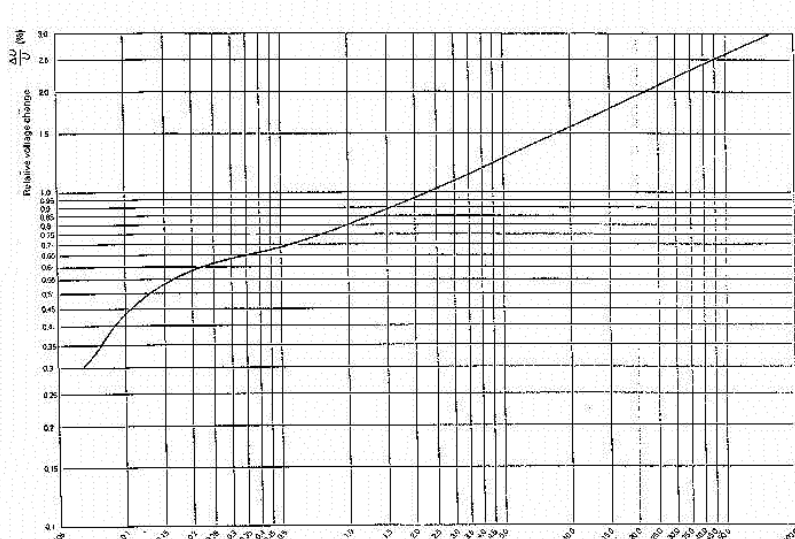
#### 8.3.1. Perioda sledování

- ukázalo se, že minimum je 5 min
- na 25 osobách byla provedena zkouška s vlivem pravoúhlých změn napětí 1 % s výskytem 1000 krát za minutu (tj. 16,7 změn za sec)
- každý účastník měl označit dobu, kdy se blikání stává netolerovatelným
- více než 90 % tolerovalo změny po dobu 27 sec (tedy  $27 \times 16,7 = 450$  změn)
- relativní změna napětí 1 % má "paměť času" (viz obr.) 2,26 sec, což je při 450 změnách 17 min



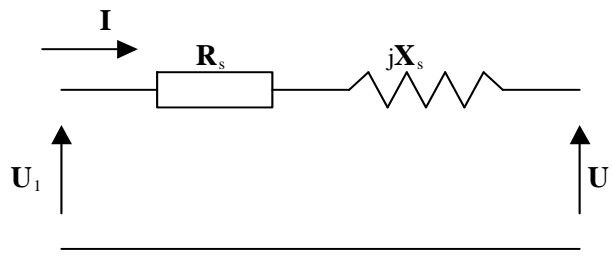
Z výše uvedené úvahy je odvozena perioda sledování v rozmezí 5 až 15 min - volí se (st - short time)

$$t_{st} = 10 \text{ min}$$



8.3.2. Původ flikru

Charakteristiky napěťových změn lze popsat pomocí modelu napájecí sítě



Napětí na spotřebiči  $U$  je menší než  $U_1$  vlivem úbytku napětí, způsobeného proudem odebíraným spotřebičem – při respektování fázového posuvu – tekoucím přes odpor a reaktanci vedení.

Úbytek napětí, přibližně s uvažováním reálné část lze vyjádřit takto

$$U = |U_1| - (\mathbf{I}_c \mathbf{R}_s + \mathbf{I}_j \mathbf{X}_s) = |U_1| - \frac{1}{3U^*} (\mathbf{P} \mathbf{R}_s + \mathbf{Q} \mathbf{X}_s)$$

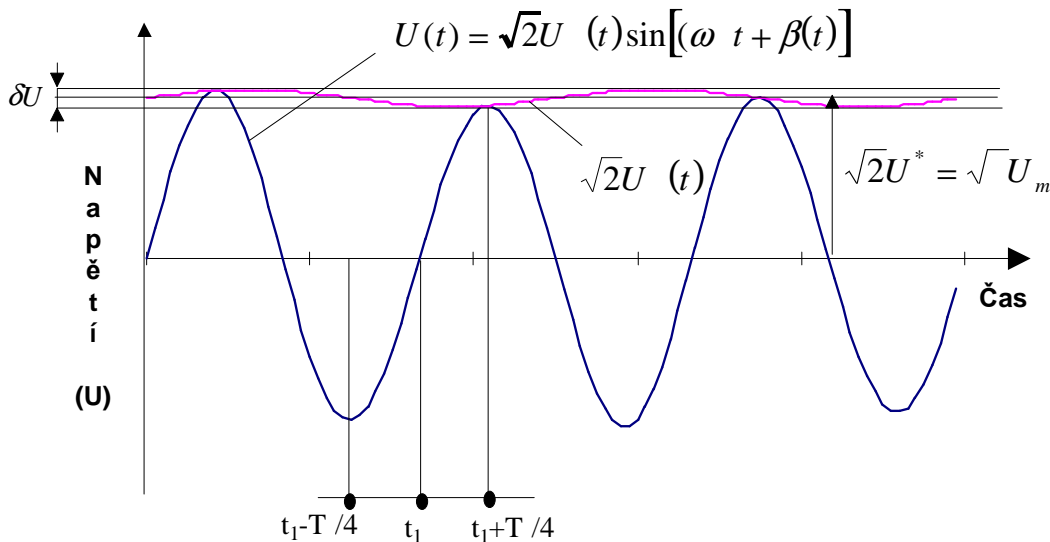
(kde  $U$  je v reálné ose)

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že změny napětí závisí na změnách činného  $P$  a jalového  $Q$  výkonu.

Změny napětí při změnách zatížení lze vyjádřit takto

$$\delta U \cong \frac{1}{3U^*} (\mathbf{R}_s \delta \mathbf{P} + \mathbf{X}_s \delta \mathbf{Q}) = \Delta \mathbf{I}_c \mathbf{R}_s + \Delta \mathbf{I}_j \mathbf{X}_s = \delta(\Delta U)$$

V případě konstantního zatížení je  $\delta P = 0$  a  $\delta Q = 0$  pak i  $\delta U = 0$  a napětí se s časem nemění.



Definice efektivní hodnoty napětí v čase  $t_1$  je dána vztahem

$$U(t) = \sqrt{\frac{2}{T} \int_{t_1 - T/4}^{t_1 + T/4} u^2(t) \cdot dt}$$

kde  $T = 20 \text{ ms}$  a  $\omega = 2\pi/T$ .

Označme  $U_{(\text{stř})}$  střední hodnotu těchto efektivních hodnot

$$U_{(\text{stř})} = \lim \left[ \frac{1}{T} \int_0^T U(t) \cdot dt \right] = U^*$$

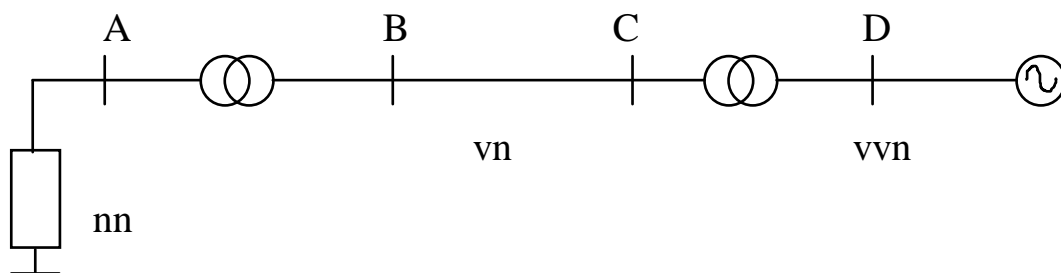


Člověk je citlivý nejen na změny napětí, ale i na jejich frekvenci (viz výše)

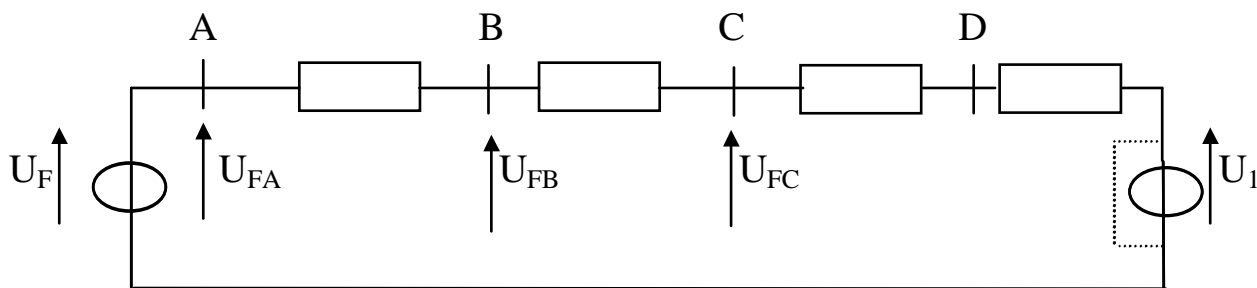
### Spotřebiče a provozní stavy v napájecí síti způsobující flickr:

- spínání velké zátěže
- rozběh velkých motorů (speciálně je-li periodicky opakován)
- proměnlivá zátěž (např. řízený ohřev s velkým výkonem)
- svářečky
- elektrické obloukové pece (EOP)

### 8.3.3. Šíření flickru v síti



Nejprve budeme řešit případ, kdy zdroj flickru je v síti nízkého napětí a nebudeme uvažovat jiné zdroje rušení. Rušení generovaná v síti nízkého napětí a šířena do sítě vysokého napětí ukazuje další obrázek



U<sub>1</sub> je napětí sítě, body B a C jsou umístěny v síti vn, resp. vvn, zatím co bod A reprezentuje stranu nn sítě.

Napětí U<sub>F</sub> je rušení způsobené zařízením v síti nn. Efekt rušení v napájecí síti bude menší, protože napětí U<sub>F</sub> se rozdělí v poměru sériových impedancí.

Pak lze stanovit hodnoty flickru na všech napěťových úrovních (body A,B,C) dle vztahu

$$U_{FA} : U_{FB} : U_{FC} = \frac{1}{S_k^{(A)}} : \frac{1}{S_k^{(B)}} : \frac{1}{S_k^{(C)}}$$

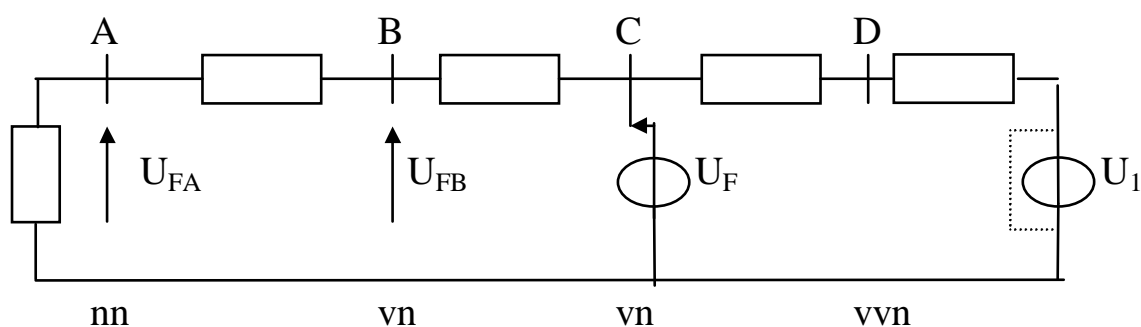
kde  $S_k$  jsou zkratové výkony v bodech A,B,C.  
Uvažujeme-li pouze body A,B pak

$$\frac{U_{FA}}{U_{FB}} = \frac{S_k^{(B)}}{S_k^{(A)}}$$

Je-li flickr úměrný změnám napětí, pak krátkodobá míra vjemu blikání  $P_{st}$  na těchto dvou úrovních je

$$P_{st}^{(B)} = \frac{P_{st}^{(A)} S_k^{(A)}}{S_k^{(B)}}$$

Tyto vztahy lze užít i pro další napěťové úrovně změnou příslušných indexů.



Výsledky potvrzují dřívější úvahy, že rušení generovaná v síti nn se redukuje v síti vn, tedy jejich vliv je lokální.

Charakteristiky zdrojů rušení v sítích vn a vvn jsou méně příznivé.

$U_1$  je napětí sítě, body B,C a D jsou měřené body sítě vn a vvn, bod A je umístěn v síti nn. Rušivé napětí  $U_F$  je generováno v bodě C sítě vn.

Jelikož reaktance mezi body A a C je mnohem menší, než mezi bodem A a zemí, objeví se  $U_F$  prakticky nezměněné v bodě A.

Tedy

$$P_{st}^{(A)} \approx P_{st}^{(B)} \approx P_{st}^{(C)}$$

V bodě D bude efekt rušení značně nižší, podobně jako v případě zdroje v síti nn.

Je to dáno tím, že reaktance mezi body C a D je téměř rovna reaktanci mezi bodem D a zemí.

Proto lze stanovit

$$P_{st}^{(D)} = \frac{P_{st}^{(C)} S_k^{(C)}}{S_k^{(D)}}$$

#### 8.4. Měření flickru

Je obtížné objektivně změřit rušivý vliv flikru. Metoda, vyvinutá UIE/IEC pro měření flikru vychází z modelu, který simuluje řetězec „napěťová změna – světelný zdroj – oko – proces vnímání v lidském mozku“ dává pozorovateli spolehlivým způsobem reakce na různé druhy flikru.

Napěťové změny mají dvě charakteristiky a obě ovlivňují rušivý vliv flikru: amplituda a frekvence.

#### 8.4.1. Model soustavy žárovka - oko

Kolísání napětí má za následek kolísání světelného toku se značně nepříznivým dopadem na kvalitu zrakového vnímání

Světelný tok žárovky je funkcí teploty žárovkového vlákna a při malých změnách lze předpokládat

- světelný tok je přímo úměrný teplotě
- odpor žárovky je konstantní

Jako referenční žárovku uvažujeme 60 W, 230 V

Pro vyšetření závislosti teploty vlákna žárovky  $T$  na čase vycházíme z výkonové bilance

$$P_e = P_a + P_z$$

akumulovaný    vyzářený

$$P_e = P_s + (P_e - P_s) = P_s \left(1 - \frac{P}{P_s}\right)$$

kde  $P_s$  - střední hodnota elektrického příkonu  
 $P = P_e - P_s$  - odchylka příkonu od střední hodnoty

Když je  $T_s$  teplota vlákna při  $P_s$   
 $\theta = T - T_s$  odchylka od střední hodnoty

pak platí

$$P_z = P_s \left(1 + \frac{\theta}{T_s}\right) \quad P_a = P_s \left(1 + \frac{\theta}{T_s}\right)$$

kde  $M$  hmotnost vlákna žárovky  
 $c$  měrné teplo

Dále lze napsat diferenciální rovnici

$$\frac{d\theta}{dt} + \theta = T_s \frac{P}{P_s}$$

Při napětí na žárovce

$$u(t) = U_m \cos \omega t$$

je

$$P_e = \frac{U_m^2}{2R} (1 + \cos 2\omega t) \quad \frac{P}{P_s} = \cos 2\omega t$$

Ustálená odchylka světelného toku

$$\Phi(t) = \frac{\mathbf{K}}{\sqrt{1 + 4\omega^2 \tau^2}} \cos(2\omega t - \arctg 2\omega \tau)$$

kde

$$\tau = \frac{cMT_s}{P_s}$$

Pro referenční žárovku 60 W, 230 V je  $K = 3,8$  a  $\tau = 23$  sec  
Při amplitudově modulovaném kolísání napětí

$$u(t) = U_m (1 + m \cdot \cos \Omega t) \cdot \cos \omega t$$

pro kmitočty do 25 Hz zanedbáme členy s vyšším kmitočtem, pak

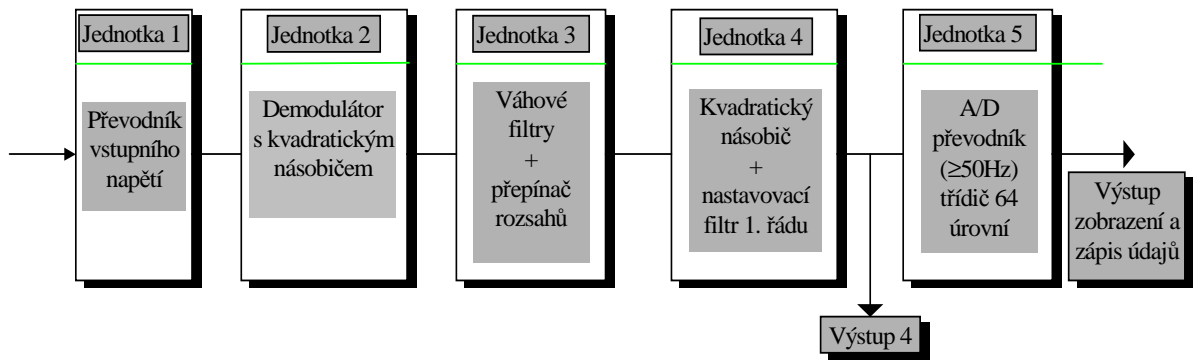
$$\frac{P}{P_s} = \frac{2m}{1 + \frac{m^2}{2}} \cos \Omega t + \frac{\frac{m^2}{2}}{1 + \frac{m^2}{2}} \cos 2\Omega t$$

a ustálená odchylka světelného toku

$$\begin{aligned} \Phi(t) = & \frac{2m}{1 + \frac{m^2}{2}} \frac{\mathbf{K}}{\sqrt{1 + \Omega^2 \tau^2}} \cos(\Omega t - \arctg \tau) \\ & + \frac{\frac{m^2}{2}}{1 + \frac{m^2}{2}} \frac{\mathbf{K}}{\sqrt{1 + (2\Omega \tau)^2}} \cos(2\Omega t - \arctg 2\tau) \end{aligned}$$

#### 8.4.2. Měřič blikání

Rušivý vliv flikru se určuje pomocí speciálního přístroje – flikrmetru (měřiče blikání).



Přístroj, doporučený normu pro měření flickru sestává z 5 jednotek

Účelem **jednotky 1** je přijmout vstupní napětí a generovat vnitřní referenční napětí. Pak může být měření flickru prováděno nezávisle na napětí sítě a výsledky mohou být zpracovány v procentech.

V **jednotce 2** se oddělí napěťové změny způsobující flickr od základního napětí (50 Hz). To se provádí s využitím kvadratické demodulace.

**Jednotka 3** obsahuje dva filtry a volič rozsahu. První filtr odstraní stejnosměrnou složku a složku s dvojnásobným kmitočtem sítě na výstupu demodulátoru. Druhý filtr tvoří přenosovou funkci flickrmetru, což je odezva na kolísání napětí (filtr simuluje frekvenční odezvu lidského zraku na změny svítivosti žárovky, způsobené sinusovou modulací napětí).

Přenosová funkce bloku 3 je definována

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + s/\omega_2}{\left(1 + s/\omega_3\right) \cdot \left(1 + s/\omega_4\right)}$$

kde  $s$  - Laplaceova komplexní proměnná

$$k = 1,74802$$

$$\lambda = 2\pi 4,05981$$

$$\omega_1 = 2\pi 9,15494$$

$$\omega_2 = 2\pi 2,27979$$

$$\omega_3 = 2\pi 1,22535$$

$$\omega_4 = 2\pi 21,9$$

**Jednotka 4** obsahuje kvadratickou násobičku a dolní propust prvního řádu.

Simulace lidského vnímání flickru pomocí řetězce - žárovka, oko a mozek – je provedena kombinací jednotek 2,3 a 4. Tedy výstup z jednotky 4 představuje okamžitý vjem flickru.

**Jednotka 5** obsahuje mikroprocesor, který provádí průběžné hodnocení úrovně flickru a umožňuje přímý výpočet důležitých parametrů.

Výstup z jednotky 4 lze využít i pro dodatečné zpracování, které bude popsáno dále.

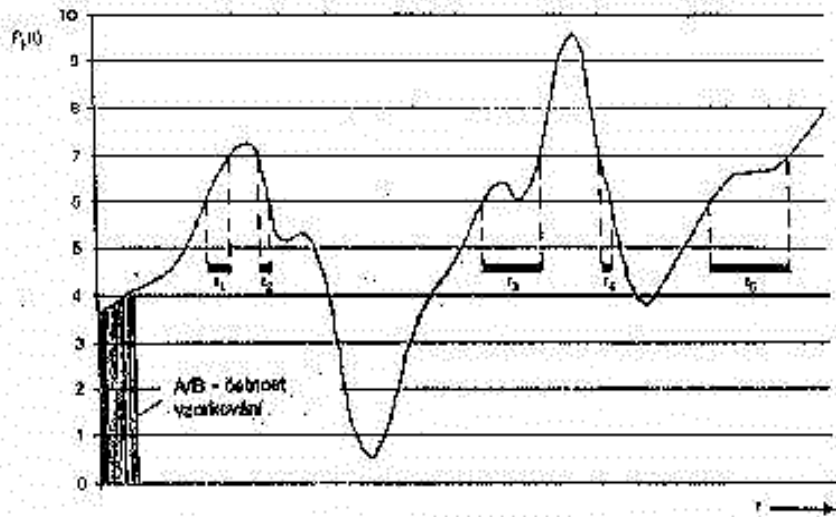
Jelikož je flickr náhodná veličina vlivem stochastických změn zatížení, předpokládáme, že během sledované periody (v uvažovaném časovém intervalu) se může hodnota flickru měnit v širokém intervalu a nepředvídatelně.

Je důležité zjistit nejen nejvyšší hodnotu, ale i zjistit v kolika procentech překročí hodnota flickru určitou úroveň během sledované periody.

K tomuto účelu se využívají statistické metody s následujícím postupem

- nejdříve se roztřídí hodnoty naměřených úrovní flickru na výstupu jednotky 4
- po skončení sledované periody se spočítá distribuční funkce.

Délka sledované periody je 10 min.

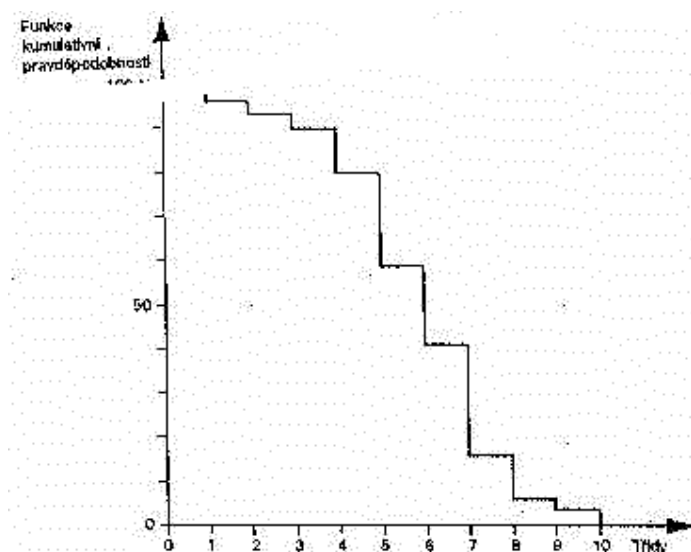


Dle normy je definován algoritmus pro stanovení krátkodobé míry vjemu blikání

$$P_{st} = \sqrt{(K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots + K_n P_n)}$$

kde  $K_1$  až  $K_n$  jsou váhové koeficienty

$P_1$  až  $P_n$  jsou úrovně překročení v distribuční funkci (percentily).



V algoritmu dle IEC je definováno 5 úrovní

$P_{0,1}$  je úroveň, která je překročena jen v 0,1% doby ve sledované periodě

$P_1$  je úroveň, která je překročena jen v 1% doby ve sledované periodě

$P_3$  je úroveň, která je překročena jen v 3% doby ve sledované periodě

$P_{10}$  je úroveň, která je překročena jen v 10% doby ve sledované periodě

$P_{50}$  je úroveň, která je překročena jen v 50% doby ve sledované periodě

Odpovídající váhové koeficienty jsou

$K_{0,1}$  pro úroveň 0.1% = 0,0314

$K_1$  pro úroveň 1% = 0,0525

$K_3$  pro úroveň 3% = 0,0657

$K_{10}$  pro úroveň 10% = 0,28

$K_{50}$  pro úroveň 50% = 0,08

U zátěží, které způsobují během provozu konstantní rušení a mají stabilní cyklus ZAP/VYP bylo pozorováno, že malé změny v délce cyklu mohou změnit jednu z percentil  $P$  a tím i vypočtenou hodnotu flikru.

Aby se zamezilo nestabilitě při výpočtu, byly zavedeny pro výpočet tzv. vyhlazené hodnoty percentil

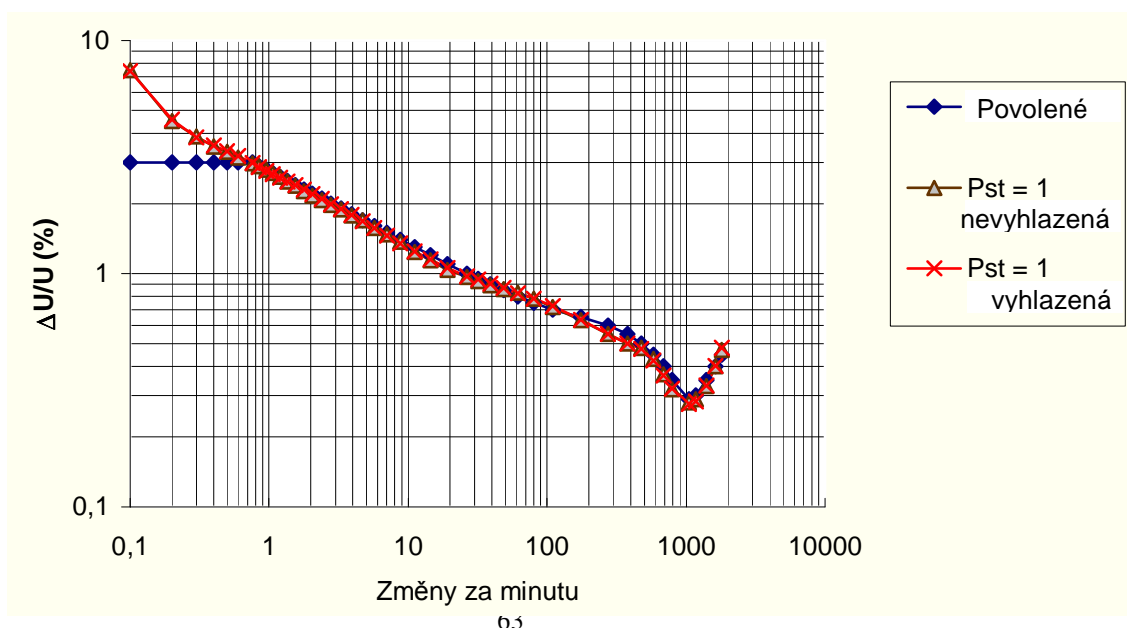
$$P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}$$

$$P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}$$

$$P_{3s} = \frac{P_{2,2} + P_3 + P_4}{3}$$

$$P_{1s} = \frac{P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}}{3}$$

Hodnota  $P_{0,1}$  se nevyhlazuje, protože se nemůže náhle změnit vlivem zabudované časové konstanty 0,3s ve flikrmetru.



Hraniční křivka byla mírně upravena dle tohoto algoritmu v oblasti 1 až 0,1 změn/min, byla prodloužena k 7,5% na 0,1 změn/min.

Další malý rozdíl je na pravé straně obrázku mezi limitní křivkou a úrovní jednotky vjemu (viz. vyhlazená a nevyhlazená hodnota  $P_{st}$ ).

Chyba měřicí metody je pod 5%.

Test byl potvrzen v praxi a ukázal, že tato metoda dává správné výsledky pro různé typy rušení, přičemž tato metoda byla vyvinuta tak, že lidé vnímají rušivý vliv flikru pro  $P_{st}=1$ .

Krátkodobá míra vjemu blikání  $P_{st}$  v intervalu 10 min je vhodná pro ověření jednoho zdroje rušení.

Pro ověření skupiny zdrojů rušení jako například skupiny zátěží s delším a proměnlivým pracovním cyklem, se používá dlouhodobé míry vjemu blikání  $P_{lt}$ , která se vypočítá pro intervaly 2 hod. s využitím 12 hodnot  $P_{st}$  dle vztahu

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

Podle normy ČSN EN 50160 nesmí 95% hodnota  $P_{lt}$  během libovolné měřené týdenní periody překročit hodnotu 1,0.

## 8.5. Možnosti potlačení kolísání napětí

- připojení do sítě s dostatečným zkratovým výkonem, případně zvětšení zkratového výkonu

### Poznámka:

Zvětšit zkratový výkon lze

- a) zvětšením průřezu napájecího vedení
  - b) připojením synchronního generátoru nebo kompenzátoru
  - c) využitím sériové kompenzace
  - d) připojením do vyšší napěťové hladiny
- u více kolísajících zařízení omezit souběh provozu těchto zařízení
  - použití speciálních kotev při rozběhu motoru
  - u svařeček
    - změna tvaru napěťového pulsu
    - využití stejnosměrných agregátů
    - změna taktu svařování
  - u EOP
    - statická nebo dynamická kompenzace
    - změna regulace elektrod
    - využití reaktorů
    - přechod na stejnosměrné EOP



## 9. NESYMETRIE NAPĚTÍ

Nesymetrické zatížení v trojfázové soustavě způsobuje nesymetrický odběr proudů a tím i nesymetrii napájecího napětí.

Nesymetrie napětí (resp. proudů) způsobuje zvýšení přenosových ztrát a nevytíženost trojfázového vedení

### 9.1. Trojfázová soustava harmonických veličin

Trojfázová soustava **harmonických veličin** (napětí nebo proudů)  $f_A(t)$ ,  $f_B(t)$ ,  $f_C(t)$ , jež jsou reprezentovány svými fázory  $F_A$ ,  $F_B$ ,  $F_C$  je **souměrná**, mají-li tyto veličiny

- stejnou efektivní hodnotu  $F_A = F_B = F_C$
- vzájemný fázový posun  $\frac{2\pi}{3}$ .

Trojfázová soustava **harmonických veličin** je vyvážená, jestliže platí

$$f_A(t) + f_B(t) + f_C(t) = 0$$

pro její fázory tedy platí  $F_A + F_B + F_C = 0$ .

Nesouměrné trojfázové soustavy **harmonických veličin** (napětí a proudů) lze řešit **metodou souměrných složek**, jejíž podstatou je rozklad nesouměrné trojfázové soustavy na tři soustavy souměrné.

S nimi provedeme analýzu obvodu a z nalezených výsledků přejdeme k nesouměrné soustavě.

Podmínkou je použití metody souměrných složek v **lineárních obvodech**.

Každou trojfázovou soustavu tvořenou fázory  $F_A$ ,  $F_B$ ,  $F_C$  lze tedy jednoznačně rozložit na tři trojfázové soustavy:

- soustavu souslednou, index „1“  
 $F_{A1} = F_1$ ,  $F_{B1} = a^2 F_1$ ,  $F_{C1} = a F_1$
- soustavu zpětnou, index „2“  
 $F_{A2} = F_2$ ,  $F_{B2} = a F_2$ ,  $F_{C2} = a^2 F_2$
- soustavu nulovou – netočivou, index „0“  
 $F_{A0} = F_{B0} = F_{C0} = F_0$

kde operátor  $a = -0,5 + j(\sqrt{3}/2)$

Zpětným složením fázorů  $F_{A0}$ ,  $F_{A1}$ ,  $F_{A2}$  dostaneme fázory  $F_A$ ,  $F_B$ ,  $F_C$  původní nesouměrné soustavy.

Tedy pro napětí a proudy

$$U_A = U_0 + U_1 + U_2$$

$$I_A = I_0 + I_1 + I_2$$

$$U_B = U_0 + a^2 U_1 + a U_2$$

$$I_B = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

$$U_C = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

$$I_C = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

Jakákoliv odchylka od třífázové sítě může být tedy popsána sčítáním tří fázorů.

Tyto jsou definovány následovně:

$$\begin{aligned} F_0 &= (F_A + F_B + F_C)/3 && \text{nulová složka} && (1) \\ F_1 &= (F_A + a F_B + a^2 F_C)/3 && \text{sousledná složka} && (2) \\ F_2 &= (F_A + a^2 F_B + a F_C)/3 && \text{zpětná složka} && (3) \end{aligned}$$

Tedy pro napětí a proudy

$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) && I_0 &= \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C) \\ U_1 &= \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2U_C) && I_1 &= \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2I_C) \\ U_2 &= \frac{1}{3}(U_A + a^2U_B + aU_C) && I_2 &= \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C) \end{aligned}$$

Poznámka:

V literatuře lze nalézt i aplikace jiných složkových metod

- nejznámější metoda souměrných složek (autor C.L. Fortescue -1918)
- metoda diagonálních složek  $\alpha, \beta, 0$  (autorka E. Clarkeová - 1938)
- metoda složek S,D,Z (autor E.W. Kimbark - 1939)
- metoda složek R,S,T (autor N. Koga - 1956)

Trojfázová nesouměrná soustava i každá z jejích tří souměrných složek je v Gaussově rovině zobrazena fázory, jimž přísluší vektory, které se vesměs otáčejí v matematicky kladném smyslu úhlovou rychlostí  $\omega$  kolem počátku.

Sousledná složka má týž sled fází jako daná nesouměrná soustava a zpětná složka má opačný sled fází.

Nulová složka je tvořena třemi stejnými fázory.

Trojfázová soustava, jejíž nulová složka je rovna nule, je **vyvážená**.

Pro posouzení kvality přenosu elektrické energie se používá **činitel nesouměrnosti** (v normách týkajících se kvality elektrické energie nazývaný **činitel nesymetrie**), definovaný jako poměr amplitudy (nebo efektivní hodnoty) zpětné a sousledné složky

$$\rho = \frac{F_2}{F_1} \quad \text{popřípadě} \quad \rho = \frac{F_2}{F_1} \cdot 100 \quad \text{v [\%]}$$

a **činitel nevyváženosti**, definovaný jako poměr amplitudy (nebo efektivní hodnoty) nulové a sousledné složky

$$\eta = \frac{F_0}{F_1} \quad \text{popřípadě} \quad \eta = \frac{F_0}{F_1} \cdot 100 \quad \text{v [\%]}$$

Pro výpočet nulové, sousledné a zpětné složky a tudíž i pro výpočet činitele nesymetrie potřebujeme znát nejen efektivní hodnoty fázových napětí, ale i jejich fázové natočení.

Pro výpočet nulové, sousledné a zpětné složky napětí a napětového výpočet činitele nesymetrie existuje metoda, která umožňuje výpočet těchto hodnot pouze z velikosti sdružených napětí

$$\rho_U = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2 - \sqrt{3(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)^2 - 6(U_{AB}^4 + U_{BC}^4 + U_{CA}^4)}}{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2 + \sqrt{3(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)^2 - 6(U_{AB}^4 + U_{BC}^4 + U_{CA}^4)}}$$

kde  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  jsou efektivní hodnoty sdružených napětí.

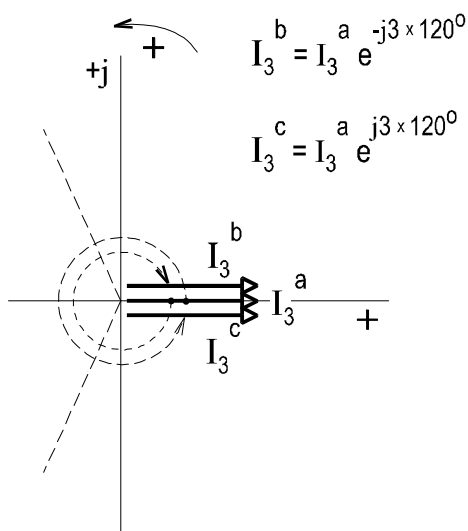
Tato definice, na rozdíl od předchozí, není použitelná pro výpočet proudové nesymetrie.

## 9.2. Trojfázová soustava neharmonických veličin

Aplikujme metodu souměrných složek **neharmonických veličin**.

Veličiny  $f_A(t)$ ,  $f_B(t)$ ,  $f_C(t)$ , jež jsou reprezentovány svými fázory  $F_{An}$ ,  $F_{Bn}$ ,  $F_{Cn}$  tvoří **souměrnou soustavu**, mají-li tyto veličiny

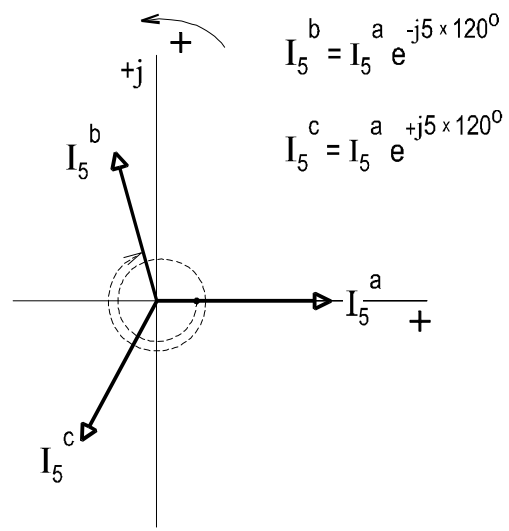
- stejnou efektivní hodnotu  $F_{An} = F_{Bn} = F_{Cn}$
- jejich vzájemný posun je  $(n \cdot \frac{2\pi}{3})$



třetí harmonická



pouze nulová složka



pátá harmonická



pouze zpětná složka

Trojfázová soustava **neharmonických veličin** je vyvážená, jestliže platí

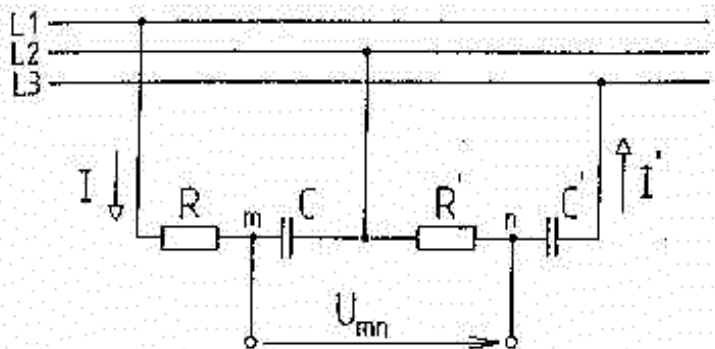
$$f_A(t) + f_B(t) + f_C(t) = 0$$

Souměrnost soustavy se jednoznačně prokáže po zjištění amplitud (nebo efektivních hodnot) a fází jednotlivých harmonických.

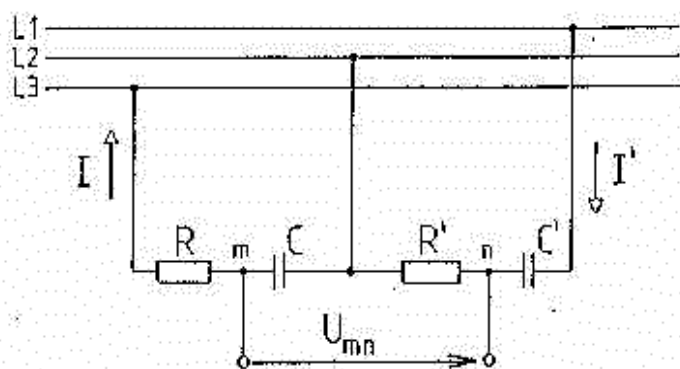
### 9.3. Měření napět'ové nesymetrie

Použití statických filtrů

a) pro soustavu souslednou



b) pro soustavu zpětnou



Prvky  $R, C$  jsou navrženy tak, že proud v této větvi je posunut proti napětí o  $60^\circ$   
 Prvky  $R', C'$  jsou navrženy tak, že proud v této větvi je posunut proti napětí o  $30^\circ$

#### Poznámka:

Pasivní prvky jsou frekvenčně závislé (kapacity) a proto pro neharmonické průběhy nelze této metody použít - chyba je v desítkách procent

Jsou vyvinuty speciální přístroje, například

- měřič nesymetrie KETE SU Žilina
- modul pro měření nesymetrie v BK 500 (ELCOM, a.s. Praha)

### 9.4. Nesymetrie napětí z připojení elektrické vozby

Elektrická trakce jako jednofázový spotřebič s velkým výkonem působí relativně velkou nesymetrií napětí

Poznámka:

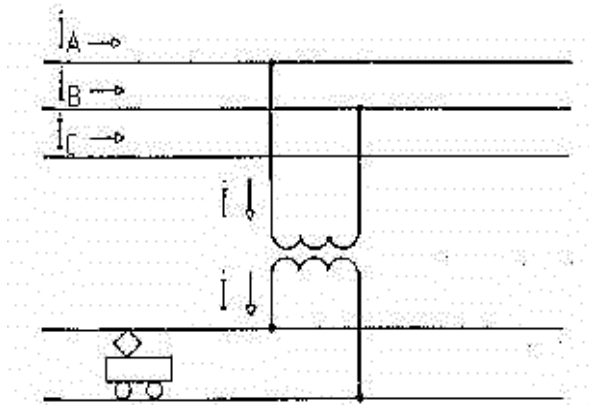
Elektrická trakce - stejnosměrná x střídavá

**Stejnoseměrná elektrická trakce** je napájena přes měničnu a představuje na střídavé straně symetrické zatížení

**Střídavá elektrická trakce** (25 kV, 50 Hz) je připojena přímo do střídavé sítě a způsobuje problémy z hlediska nesymetrie napětí.

9.4.1. Připojení střídavé elektrické trakce

a) jedním transformátorem



$$I_A = I$$

$$I_B = -I$$

$$I_C = 0$$

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2I_C) = \frac{1}{3}I(1 - a)$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C) = \frac{1}{3}I(1 - a^2)$$

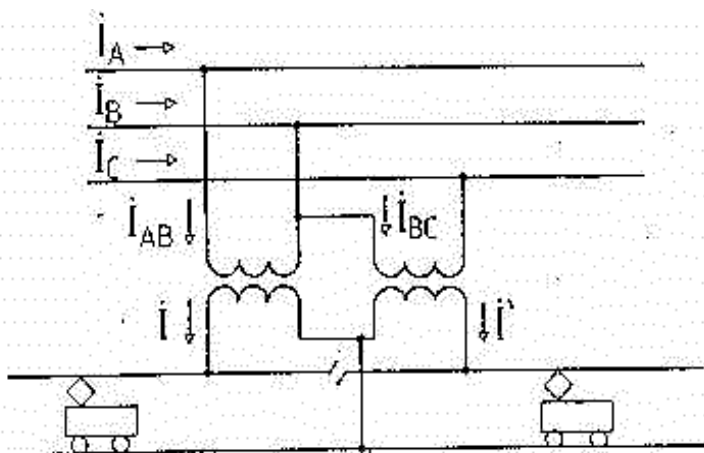
$$|I_1| = \frac{1}{3}I \cdot \left| 1 + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}}I$$

$$|I_2| = \frac{1}{3}I \cdot \left| 1 + \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}}I$$

Součinitel proudové nesymetrie

$$\rho_I = \frac{|I_2|}{|I_1|} \cdot 100 \quad (\%)$$

b) dvěma transformátory



$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{AB} &= \mathbf{I} \\ \mathbf{I}_{BC} &= \mathbf{I}' \\ \mathbf{I}_{CA} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_A &= \mathbf{I}_{AB} - \mathbf{I}_{CA} = \mathbf{I} \\ \mathbf{I}_B &= \mathbf{I}_{BC} - \mathbf{I}_{AB} = \mathbf{I}' - \mathbf{I} \\ \mathbf{I}_C &= \mathbf{I}_{CA} - \mathbf{I}_{BC} = -\mathbf{I}' \end{aligned}$$

$$\mathbf{I}_1 = \frac{1}{3}(\mathbf{I} + \mathbf{a}\mathbf{I}' - \mathbf{a}\mathbf{I} - \mathbf{a}^2\mathbf{I}')$$

$$\mathbf{I}_2 = \frac{1}{3}(\mathbf{I} + \mathbf{a}^2\mathbf{I}' - \mathbf{a}^2\mathbf{I} - \mathbf{a}\mathbf{I}')$$

Součinitel proudové nesymetrie (po úpravě)

$$\rho_{\mathbf{I}} = \frac{|\mathbf{I}_2|}{|\mathbf{I}_1|} \cdot 100 = \frac{|\mathbf{I}(1 + \mathbf{a}) - \mathbf{a}\mathbf{I}'|}{|\mathbf{I} + \mathbf{a}\mathbf{I}'|} \cdot 100 \quad (\%)$$

Zde velikost proudové nesymetrie závisí na velikosti odběrů v úsecích i na fázových posuvech proudů (na účinníku)

Upravíme pro

$$\mathbf{I}' = \mathbf{k} \cdot \mathbf{I}$$

$$\varphi' = \varphi + \delta$$

pak

$$\rho_{\mathbf{I}} = \sqrt{\frac{1 + \mathbf{k}^2 - 2\mathbf{k} \cdot \cos(\delta + 60^\circ)}{1 + \mathbf{k}^2 + 2\mathbf{k} \cdot \cos \delta}}$$

Při smíšeném zatížení jednofázovém + trojfázovém

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{I}_{3f}}{\mathbf{I}_{1f}}$$

- pro T spojení

$$\rho_{\mathbf{I}} = \frac{1}{1 + \sqrt{3} \cdot \mathbf{m}}$$

- pro V spojení

$$\rho'_{\mathbf{I}} = \frac{1}{2 + \sqrt{3} \cdot \mathbf{m}}$$

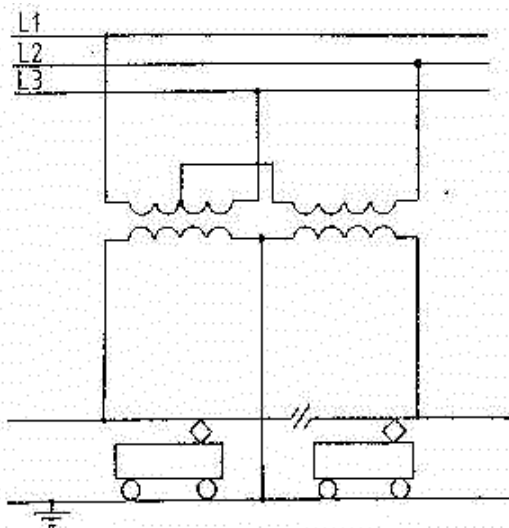
## 9.5. Možnosti snížení napěťové nesymetrie

a) speciální konstrukce transformátorů

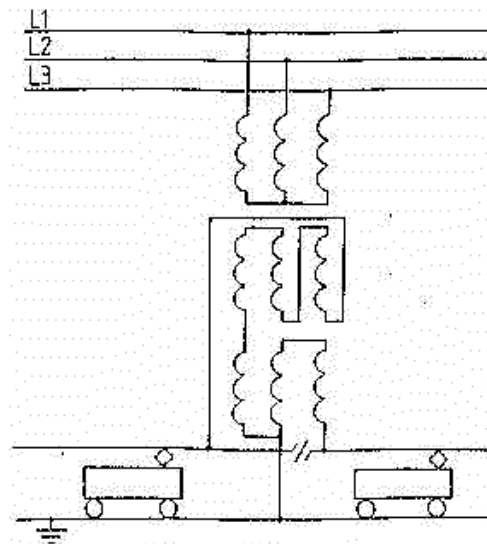
- Scottův transformátor - je nejvíce rozšířen, ale u ČD se nepoužívá
- Leblancův transformátor
- trojfázový transformátor

b) připojení symetrizačních členů

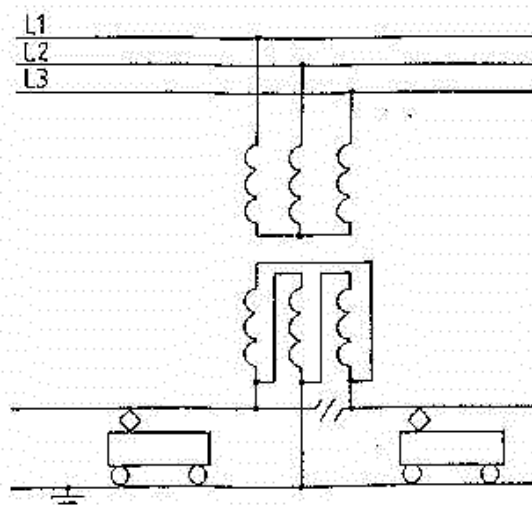
Scottův transformátor



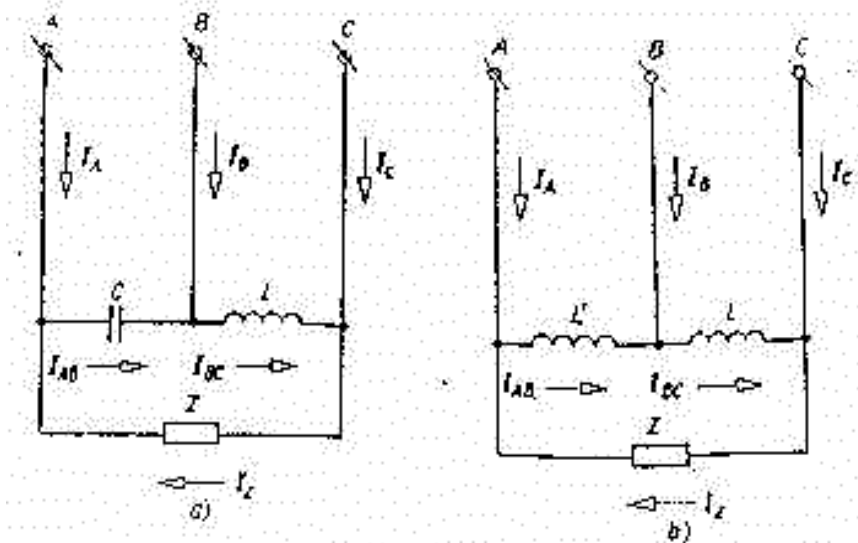
Leblancův transformátor



Trojfázový transformátor



### 9.4.1. Symetrizace obecné jednofázové zátěže



pro  $\cos \varphi_z > 0,866$

pro  $\cos \varphi_z < 0,866$

$$\mathbf{I}_A = \mathbf{I}_{AB} - \mathbf{I}_z \quad \mathbf{I}_B = \mathbf{I}_{BC} - \mathbf{I}_{AB} \quad \mathbf{I}_C = \mathbf{I}_z - \mathbf{I}_{BC}$$

Lze odvodit pro velikost symetrizačních prvků

$$C = - \frac{\mathbf{I}_z \cdot \cos(120^\circ - \varphi_z)}{0,866 \cdot \omega U}$$

$$L = \frac{U}{\mathbf{I}_z \cdot \omega(0,557 \cos \varphi_z + \sin \varphi_z)}$$

a pro  $\cos \varphi_z < 0,866$

$$L' = \frac{0,866U}{\mathbf{I}_z \omega \cdot \cos(120^\circ - \varphi_z)}$$

Lze odvodit, že fázový posuv ve fázi symetrizované zátěže

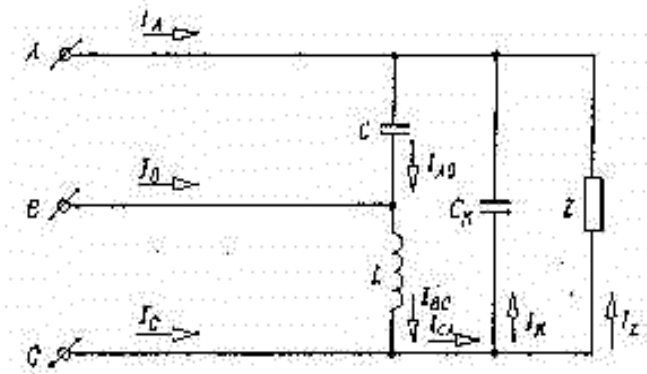
$$\varphi = 90^\circ - \mathbf{arctg}(0,33 \cot \varphi_z)$$

tedy účinník trojfázové zátěže závisí **pouze** na účinníku obecné jednofázové zátěže a nezávisí na její velikosti

### 9.4.2. Symetrizace a kompenzace

Je výhodné současně se symetrizací provést i kompenzaci účinníku





Lze odvodit

$$C_k = \frac{I_z}{\omega U} (\sin \varphi_z - \cos \varphi_z \cdot \operatorname{tg} \delta_{CA})$$

$$C = \frac{I_z \cdot \cos \varphi_z}{\omega U} (0,5567 - \operatorname{tg} \delta_{CA})$$

$$L = \frac{U}{\omega I_z \cdot \cos \varphi_z (0,557 + \operatorname{tg} \delta_{CA})}$$

kde

$$\delta_{CA} = \operatorname{arc cot g} [3 \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi_C)]$$

přičemž  $\varphi_C$  je požadovaný účinník ve fázi **C**

a platí  $\cos \varphi_C = \cos \varphi_A = \cos \varphi_B$

**Příklad:** pro  $\cos \varphi_C = 0,95$

$$C_k = \frac{I_z}{\omega U} (\sin \varphi_z - 0,11 \cos \varphi_z)$$

$$C = \frac{0,468 I_z \cos \varphi_z}{\omega U}$$

$$L = \frac{1,457 U}{\omega I_z \cos \varphi_z}$$

Poznámka:

Celá úvaha o symetrizaci jednofázové zátěže předpokládá aspoň přibližně **konstantní** zátěž

Při proměnlivé zátěži by musely být symetrizační (i kompenzační) prvky proměnlivé

## 10. POKLESY A PŘERUŠENÍ NAPĚTÍ

### 10.1. Základní definice a pojmy

**napájecí napětí** (*supply voltage*): efektivní hodnota napětí v dané době v předávacím místě, měřená po dobu daného intervalu

**jmenovité napětí sítě ( $U_N$ )** (*nominal voltage of a system ( $U_N$ )*): napětí, na které je rozvodná síť navržena nebo označena a k němuž se vztahují některé provozní charakteristiky

**změna napětí** (*voltage variation*): nárůst nebo pokles obvykle způsobený proměnlivostí celkového zatížení distribuční sítě nebo její části

**rychlá změna napětí** (*rapid voltage change*): jednotlivá rychlá změna efektivní hodnoty napětí mezi dvěma nebo více po sobě následujícími úrovněmi napětí, které trvají určitou, avšak nestanovenou dobu

**kolísání napětí** (*voltage fluctuation*): řada změn napětí nebo cyklická změna obálky napětí

**odchylna napětí** (*voltage variation*): nárůst nebo pokles napětí obvykle způsobený proměnlivostí celkového zatížení distribuční sítě nebo její části

**dočasné přepětí o síťovém kmitočtu** (*temporary power frequency overvoltage*): přepětí v daném místě, které má relativně dlouhou dobu trvání

**Poznámka:** Dočasná přepětí mají původ obvykle ve spínacích operacích nebo ve zkratech (např. náhlá snížení zatížení, jednofázové poruchy a nelinearity).

**přechodné přepětí** (*transient overvoltage*): krátkodobé oscilační nebo neoscilační přepětí obvykle silně tlumené a s dobou trvání několik milisekund nebo méně

**Poznámka:** Přechodná přepětí jsou obvykle způsobena bleskem, spínáním nebo působením pojistek. Doba čela je od méně než jedné mikrosekundy až po několik milisekund.

**krátkodobý pokles napájecího napětí** (*supply voltage dip*):

náhlý pokles napájecího napětí na hodnotu mezi 90 % a 1 % dohodnutého napětí ( $U_c$ ), po kterém následuje obnovení napětí během krátkého časového úseku. Konvenční doba trvání krátkodobého poklesu napětí je mezi 10 ms a 1 minutou. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím. Změny napětí, které nesnižují napájecí napětí na méně než 90 % dohodnutého napětí se nepovažují za poklesy napětí.

**přerušování napájecího napětí** (*supply interruption*):

stav, při kterém je napětí v předávacím místě menší než 1 % dohodnutého napětí  $U_c$  přerušování napájení může být tříděno na:

- **předem dohodnuté** (*prearranged*), při kterých jsou spotřebitelé elektrické energie předem informováni, umožňující provádění plánovaných prací na distribuční síti;
- **poruchové** (*accidental*), způsobená trvalými nebo přechodnými poruchami většinou spojenými s vnějšími vlivy, poruchami na zařízení nebo rušením;

**poruchové přerušování** je tříděno na:

- **dlouhodobé přerušení** (long interruption) (delší než tři minuty) způsobené trvalou poruchou,
- **krátkodobé přerušení** (short interruption)(do tří minut) způsobené přechodnou poruchou.

## 10.2. Charakter poklesů a krátkých přerušení

Poklesy a krátká přerušení napětí jsou nepředvídatelné, většinou náhodné jevy, které se nejlépe popisují statistickým způsobem.

**Pokles napětí** je redukce napětí v bodě elektrické sítě následovaná obnovením napětí po krátkém časovém úseku od poloviny periody sítě do několika sekund.

**Krátké přerušení napětí** je vymizení napájecího napětí po dobu nepřekračující 3 minuty.

Krátké přerušení napětí může být považováno za pokles napětí s hloubkou 100%.

**Hloubka poklesu napětí** je definována jako rozdíl mezi napětím během poklesu napětí a jmenovitým napětím sítě (viz obrázek 1). Hloubka se vyjadřuje v procentech jmenovitého napětí.

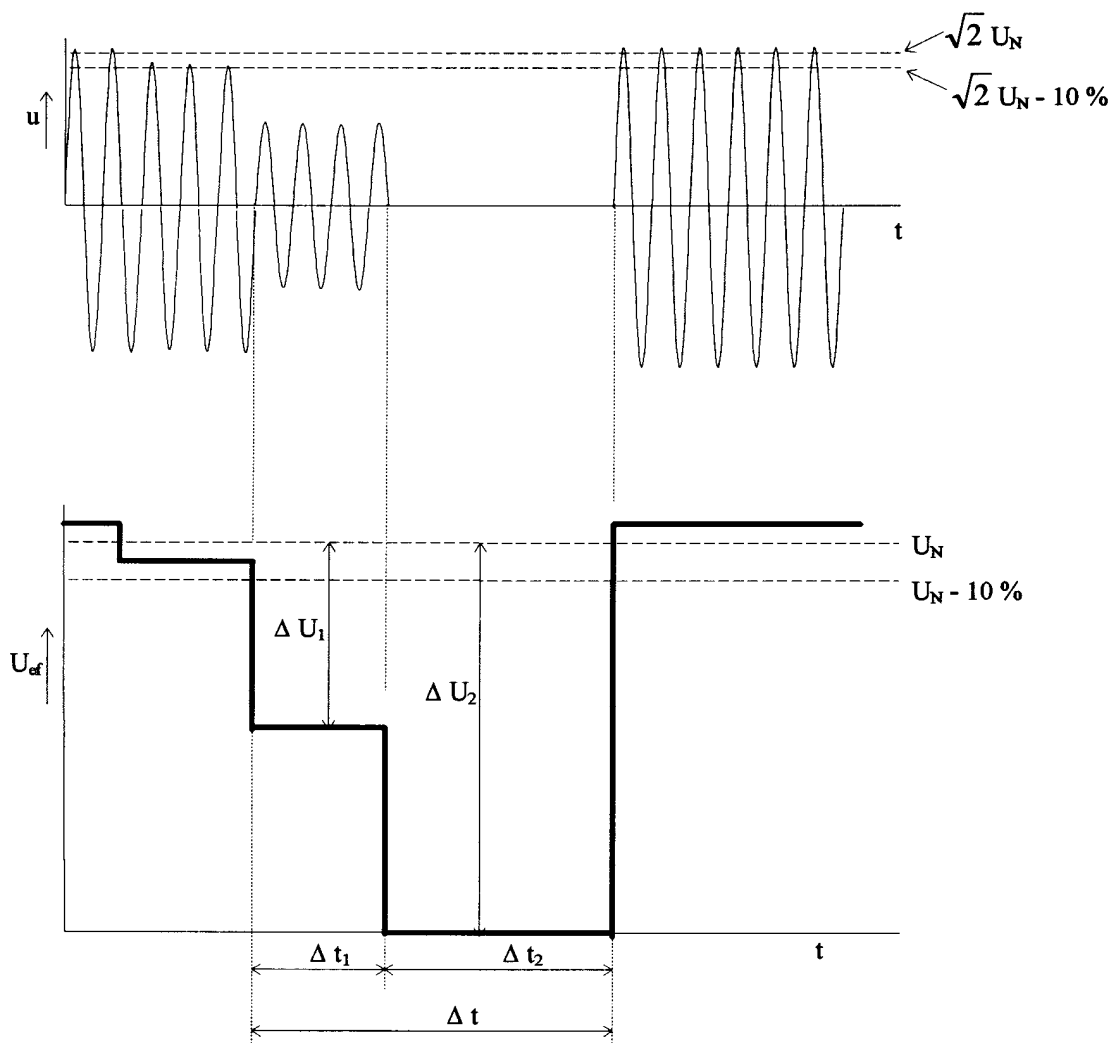
Pokles napětí jehož hloubka je konstantní během jeho trvání může být charakterizována dvěma hodnotami, **hloubkou  $\Delta U$  a trváním  $\Delta t$** .

Několik poklesů napětí může být charakterizováno dvěma nebo více páry hodnot ( $\Delta U$ ,  $\Delta t$ ). Takové poklesy komplexního tvaru jsou však poměrně vzácné a pro praktické účely mohou být charakterizovány jejich maximální hloubkou a celkovým trváním.

Změny napětí, které nezmenšují napětí sítě v bodu, který se vyšetřuje, na méně než 90% jmenovitého napětí, nejsou považovány za poklesy napětí. Tyto změny jsou v oblasti odchylek napětí (způsobenými stupňovitými změnami zatížení) a v oblasti kolísání napětí (viz PNE 33 3430-2), způsobeného rychlými a opakujícími se změnami zatížení (viz první změna napětí v obrázku 1).

**POZNÁMKA** K pochopení je podstatné, že určitému počtu poklesů napětí se v rozvodných sítích nevyhneme a že pro většinu zařízení je běžné akceptovat riziko omezeného počtu nesprávného fungování způsobeného tímto typem rušení.

Dva parametry  $\Delta U$  a  $\Delta t$ , hloubka a trvání, nemohu být v rozvodných sítích prakticky omezovány pasivními prvky (filtry). Jedinou možností je překlenutí poklesů a krátkých přerušení napětí z náhradního zdroje.



**Obrázek 1 - Znázornění poklesu a přerušení napětí**

Pro danou síť může být, jako její charakteristická vlastnost, stanovena četnost výskytu poklesů napětí s hloubkami a trváními obsaženými v daném intervalu. Hloubky však nejsou nutně stejné ve všech fázích.

### 10.3. Kompatibilní úrovně podle ČSN IEC 1000-2-2

Jestliže se porucha vyskytne v přenosovém systému, ve kterém jsou velmi rychlé ochrany, mohou poklesy napětí trvat desetinu sekundy. Je-li porucha v síti nižší napěťové úrovně opatřené ochranami, mohou poklesy napětí trvat několik sekund.

Většina poklesů napětí trvá mezi 100 ms a 1500 ms.

Podle použitého typu zařízení automatického opětovného zapínání ve venkovní síti mohou některé poklesy napětí dosahovat formy přerušení dodávky trvajících od desetin sekundy do několika desítek sekund.

Je možné provést statistické vyhodnocení průměrného počtu zemních spojení na 100 km síťových vedení za rok pro každou napěťovou úroveň, avšak takto odhadnuté hodnoty je nutno aplikovat se zvláštní opatrností, jelikož velmi závisí na místních podmínkách.

V současnosti lze jako přibližné vodítko podle ČSN IEC 1000-2-2 prohlásit, že odběratel ve městě může být v průměru jednou až čtyřikrát za měsíc postižen poklesy napětí způsobenými mimo objekty odběratele, které překračují 10 % jmenovitého síťového napětí. Trvání těchto poklesů napětí je obvykle mezi 60 ms a 3 s, ale jsou možná také trvání kolem 10 ms, tehdy když jsou poruchy vypínány pojistkami.

Ve venkovských oblastech, obvykle napájených venkovními vedeními, jsou poklesy napětí mnohem častější, ale žádné užitečné odhady četností výskytu takovýchto poklesů nejsou k dispozici.

#### 10.4. Směrné hodnoty podle ČSN EN 50160

Za normálních provozních podmínek může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během roku od několika desítek až do jednoho tisíce.

Většina krátkodobých poklesů napětí (přibližně 70%) má dobu trvání menší než 1 sekundu a hloubku poklesu menší než 60 % (tzn. že nepřekračují hodnotu 40%  $U_N$ ). Mohou se však občas vyskytnout krátkodobé poklesy napětí s větší hloubkou a dobou trvání.

V některých oblastech se mohou velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí s hloubkou poklesu mezi 10 % a 15 %  $U_N$  jako následek spínání zatížení u odběratelů.

Pro účely diagnostiky a predikce poklesů je účelné statistické zpracování výsledků měření. Příklad výsledků takového zpracování je uveden v tabulce 3 (viz příloha B normy ČSN EN 61000-4-11).

**Tabulka 13 - Četnost výskytu poklesů a přerušení napětí v distribuční síti**

Hloubka poklesu	Doba trvání			
	10 ms až 100 ms	100 ms až 500 ms	500 ms až 1 s	1 s až 3 s
10 až 30 %	61	66	12	6
30 až 60 %	8	36	4	1
60 až 100 %	2	17	3	2
100 %	0	12	24	5
	Počet poruch za rok			

#### 10.5. Příčiny poklesů napětí a krátkých přerušení napětí

Poklesy a krátká přerušení napětí mohou být způsobeny

- spínacími operacemi při nichž jsou zapínány velké odběry
- zkratovými poruchami a následnou funkcí ochran (např. opětovného zapínání viz kapitola 4). Tyto poruchy mohou pocházet z odběratelských sítí, z veřejných rozvodných sítí nebo mohou být způsobeny atmosférickými vlivy.

Poklesy napětí jsou také způsobeny změnami jalového a činného proudu odebíraného zátěžemi připojenými k síti a tak způsobujícími změny úbytku napětí na impedanci sítě. V určitých případech mohou být poklesy napětí způsobeny změnami zkratového výkonu sítě, způsobenými změnami ve skladbě generátorů nebo změnami v konfiguraci sítě.

### **10.6. Účinky poklesů napětí a krátkých přerušení napětí**

Poklesy napětí a krátká přerušení napětí mohou rušit zařízení připojená do rozvodné sítě.

Typy nepříznivých vlivů, které mohou být způsobeny poklesem nebo krátkým přerušením napětí jsou:

- zhášení výbojek;
- narušení funkce regulačních přístrojů;
- změny rychlosti nebo zastavování motorů;
- vypínání stykačů;
- výpočetní chyby počítačů a ztráta dat v paměti;
- chybná funkce měřicích přístrojů vybavených elektronikou;
- ztráta synchronního chodu synchronních motorů a generátorů;
- komutační chyby tyristorových můstků pracujících ve střídačovém režimu.

### **10.7. Poruchy v rozvodné síti**

Poruchy v rozvodné síti jsou hlavní příčinou krátkých přerušení napětí a tím i dodávky energie. Ve velké většině případů poruchy mají za následek průtok zkratového proudu, který musí být eliminován vypnutím části sítě ohrožené poruchou. Pro rychlé obnovení dodávky energie jsou někdy (dle uspořádání rozvodné sítě) používány ochrany s opětovným zapínáním.

#### ***Příčiny poruch***

- externí (atmosférické a náhodné příčiny nezávislé na stavu sítě)
- interní (poruchy souvisící s ukončením životnosti některého zařízení sítě).

**Externí příčiny** jsou následující:

- podmínky počasí (bouřka, blesk, mlha, sníh, mráz atd.), které ovlivňují zejména venkovní vedení;
- náhodné příčiny: dotyk s cizími částmi (větve stromů, ptáci atd.), kolize vozidel se sloupy vedení, narušení kabelů při výkopech atd.;
- přenos poruchy z průmyslové sítě.

**Interní příčiny** jsou následující:

- průraz izolace zařízení sítě (izolátory vedení, kabely, transformátory, vypínače atd.),
- chybná funkce ochran;
- chybná manipulace obsluhy sítě.

- **Charakter poruch**

Porucha může být přechodná, která je buď samozhášecí nebo nezpůsobující poškození zařízení (přeskok podél řetězce izolátorů při atmosférickém přepětí). Při takovéto poruše zařízení může být po krátké době uvedeno znovu do provozu.

Naproti tomu při trvalé poruše musí být porušené zařízení buď opraveno nebo nahrazeno.

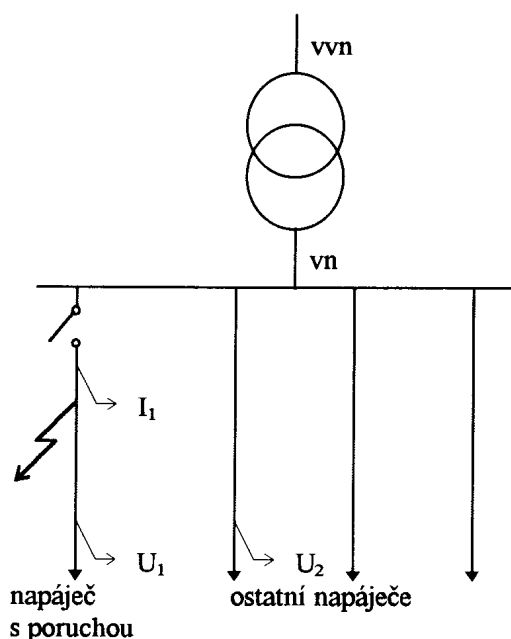
Podle způsobu průtoku poruchového proudu se rozlišuje: zemní spojení, dvoufázový zkrat a třífázový zkrat.

- **Opětovné zapínání (OZ)**

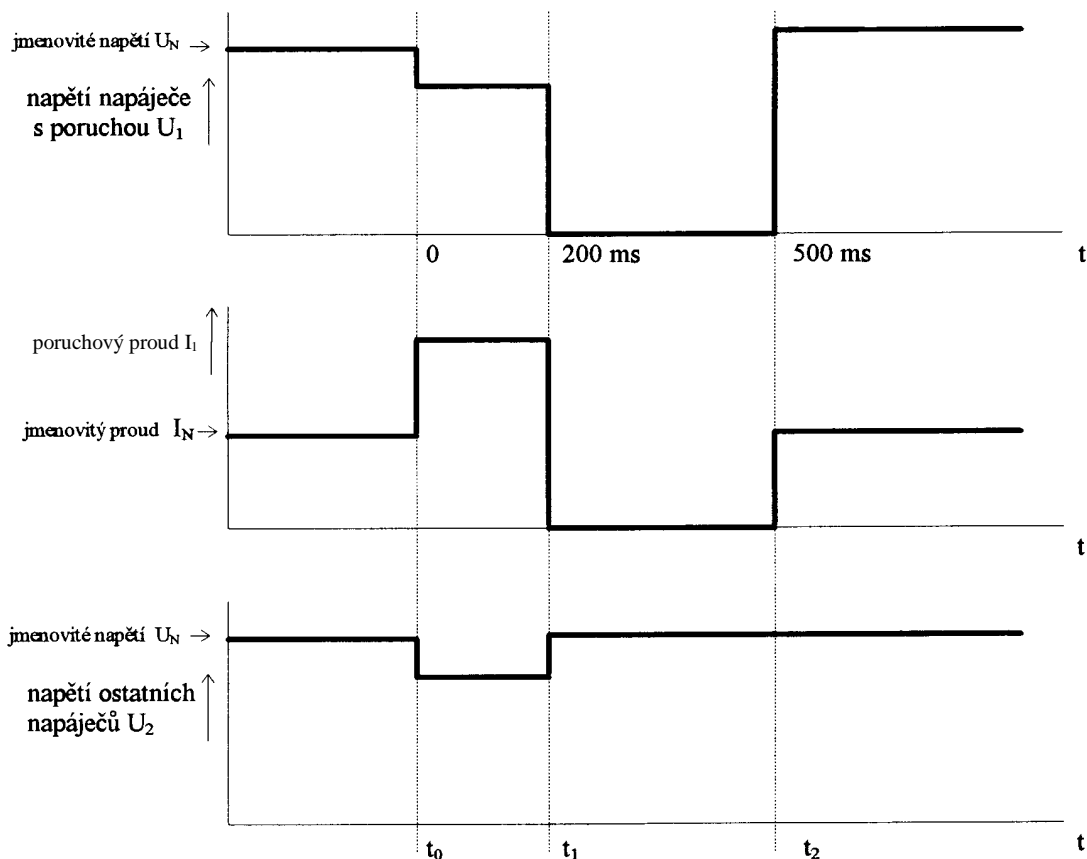
Nejčastější příčinou poklesů a krátkých přerušení napětí je porucha a následná funkce systému opětovného zapínání, který chrání venkovní vedení proti škodám vznikajícím přeskoky na izolátorech.

Příklad funkce OZ v rozvodné síti vysokého napětí je uveden na obr. 2.

Dojde-li k poruše na napájecím vedení číslo 1 potom u odběratele připojeného na toto vedení dojde ke krátkodobému přerušení napětí (doba trvání řádově desetiny sekundy). U odběratele, který je připojen na jiné vedení (např. vedení číslo 2 na obrázku 2) dojde k poklesu napětí. Stejně poklesne napětí na vysokonapěťových sběrnicích v rozvodně (viz obrázek 3).



**Obrázek 2 - Příklad funkce OZ v rozvodné síti vysokého napětí**



**Obrázek 3 - Průběhy napětí a proudu při funkci OZ**

- **Šíření poklesů napětí v síti**

Poklesy napětí způsobené poruchou se přenášejí do ostatní sítě jako redukované poklesy napětí.

Krátká přerušení napětí napáječe s poruchou se přenášejí jen do distribuční sítě tohoto napáječe. S ohledem na odlišný charakter útlumu poklesů napětí rozlišuje se jejich přenos přes transformátory a jejich šíření v jednotlivých napěťových úrovních sítě.

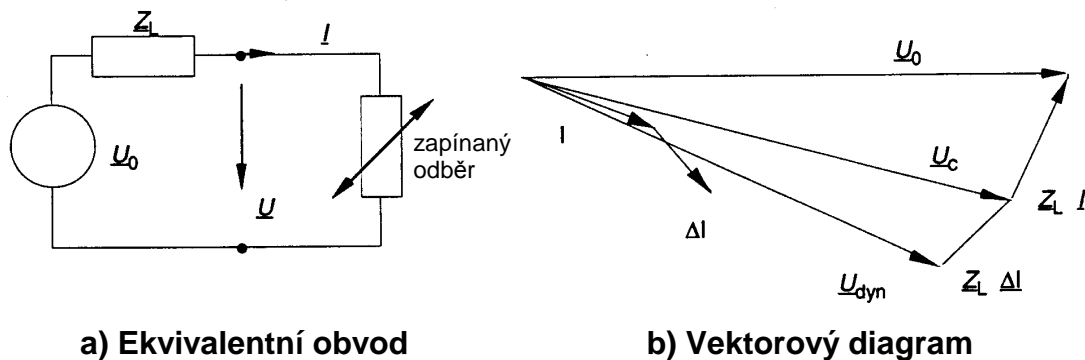
## 10.8. Poklesy napětí způsobené odběrateli

### ***Poklesy napětí způsobené zapínáním odběrů***

Poklesy napětí jsou způsobeny změnami jalového a činného proudu odebíraného zátěžemi připojenými k síti a tak způsobujícími změny úbytku napětí na impedanci sítě (viz obrázek 4).

Relativně velká dynamická změna  $\Delta I$  způsobující  $\Delta U_c$ , která je následkem připojení nebo odpojení relativně velké zátěže nebo velké změny impedance zátěže, doprovázející rozběh motoru nebo provoz obloukové pece, dokonce i uvnitř dohodnutého pásma napětí, je považována za rušivý jev.





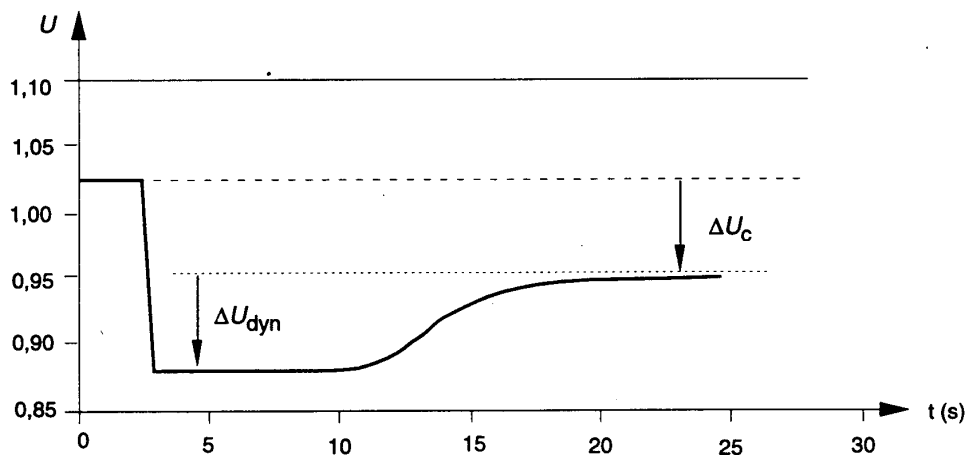
Obrázek 4 - Ustálený stav a dynamické změny napětí

### Příklady zátěží způsobujících relativně velké změny napětí

Typické příklady jsou:

- provoz obloukových pecí;
- provoz svářeček;
- rozběhy motorů;
- spínání kondenzátorů.

Obrázek 5 znázorňuje, jak by rozběhy motorů mohly změnit provozní napětí. Rozběhy několika motorů mohou být reprezentovány stejným vztahem vektorového součtu individuálních rozběhových proudů.



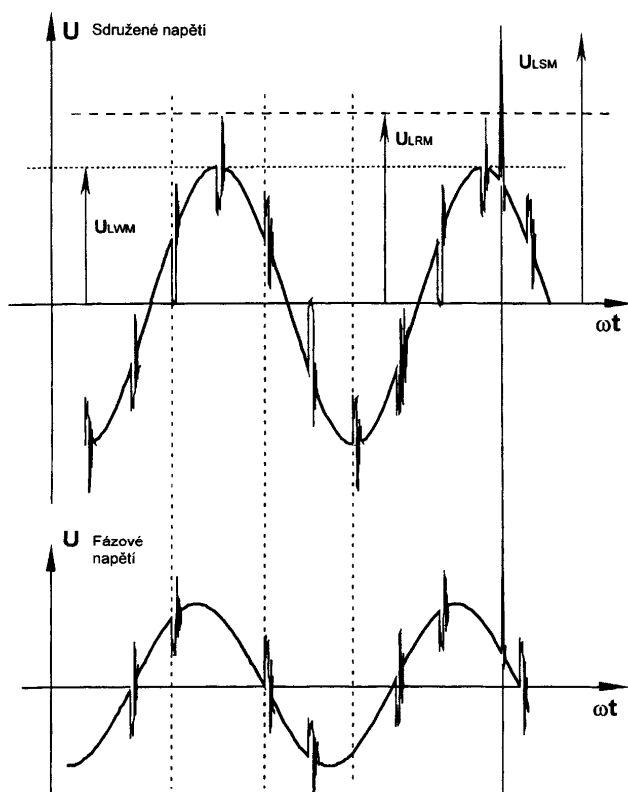
$\Delta U_c$ : ustálený stav změny napětí  
 $\Delta U_{dyn}$ : dynamická změna napětí

Obrázek 5 - Ustálený stav a dynamické změny napětí

### Komutační poklesy

Komutační poklesy jsou způsobeny mezifázovými zkraty, které se objevují na svorkách tyristorového měniče. Toto se vyskytne, když proud je komutován z jedné napájecí fáze do další. Velikost komutačního poklesu pozorovaného kdekoliv v napájecí

síti závisí na poměru napájecí impedance a oddělovací reaktance v tyristorovém měniči.



**POZNÁMKA** Typický rozsah poměrných hodnot je uveden jen pro porovnání. Obrázek předpokládá, že mezi svorkami řízeného pohonu a měničem není žádná impedance.

**Obrázek 6 - Typický tvar vlny komutačních poklesů - Rozlišení od neopakujícího se přechodového jevu**

### 10.9. Měření poklesů a krátkých přerušení napětí

Poklesy a krátká přerušení napětí lze měřit jakýmkoliv přístrojem určeným pro analýzu parametrů kvality síťového napětí, který splňuje následující požadavky:

- současné měření sdruženě a fázově, na napěťových vstupech 57, 100, 230 V ve všech fázích
- přesnost měření 2%
- schopnost záznamu informací v době poklesu napětí
- možnost nastavení prahu záznamu na 10% pod jmenovitou hodnotu
- schopnost záznamu minimálního napětí při poklesu (půlperioda)
- schopnost záznamu trvání poklesu od 1 půlperiody do 60 sekund
- uchování naměřených údajů a nastavených parametrů při přerušení síťového napětí

**POZNÁMKA** - S ohledem na podmínky nastavování OZ se v našich sítích požaduje možnost záznamu trvání poklesu do 3 minut.

Měřiče poklesů a krátkých přerušení napětí obvykle pracují ve třech krocích:

- v prvním kroku je síťové napětí upraveno a digitalizováno;
- v druhém kroku jsou vypočítávány efektivní hodnoty síťového napětí během každé půlperrody a porovnávány s prahovou hodnotou (např. jmenovité napětí zmenšené o dovolenou odchylku). Dojde-li poklesu efektivní hodnoty napětí pod tuto prahovou hodnotu, považuje to měřič za počátek poklesu;
- v třetím kroku měřič indikuje konec poklesu jako okamžik, kdy efektivní hodnota napětí je opět vyšší než prahová hodnota. Přitom do paměti se uloží doba trvání poklesu a jeho maximální hloubka (tj. minimální napětí) případně celý jeho průběh. Do paměti je možné ukládat také začátek a konec poklesu a dobu trvání vyhodnocovat např. při pozdějším zpracování. Pro zvažování a hledání souvislostí s dalšími jevy v síti je to výhodnější.

Pro získání co nejvíce informací o kvalitě napětí s dostatečnou přesností a možností interpretace se doporučuje dodržovat následující zásady:

- měřič poklesů by měl být umístěn co nejbližší odběratele, který je poklesy ohrožen;
- měření poklesů musí být prováděno po dostatečně dlouhou dobu. Měření podobu jednoho měsíce se považuje za minimum;
- pokud je to možné provede se porovnání výskytu změřených poklesů s výskytem funkce vypínačů;
- je třeba si uvědomit, že jedním měřičem poklesů nejde určit místo původu poklesů;
- na závěr se provádí porovnání změřených parametrů poklesů napětí s výsledky zkoušky odolnosti zařízení odběratele proti poklesům napětí podle ČSN EN 61000-4-11.

## 10.10. Vyhodnocování poklesů a přerušení napětí

### Disdip tabulka

Pro vyhodnocování poklesů a přerušení napětí navrhla UNIPEDA (International Union of Producers and Distributor of Electric Energy) tzv. Disdip tabulku.

Po dané měřené místo jednotlivé buňky tabulky ukazují počty napěťových poklesů o odpovídající hloubce a trvání v závislosti na měřícím období, které obvykle činí jeden rok [10].

	$20 \leq t < 100$	$100 \leq t < 500$	$0,5 \leq t < 1$	$1 \leq t < 3$	$3 \leq t < 20$	$20 \leq t < 60$	$60 \leq t < 180$
L1/L2/L3	100	500	1	3	3	60	180
% Un	ms	ms	s	s	s	s	s
$90 > u \geq 85$	3 / 0 / 4	19 / 20 / 22	2 / 3 / 4	1 / 1 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0
$85 > u \geq 70$	3 / 3 / 1	23 / 21 / 17	1 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0
$70 > u \geq 40$	1 / 0 / 0	2 / 5 / 7	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0
$40 > u \geq 1$	0 / 0 / 0	1 / 1 / 1	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0
$1 > u \geq 0$	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0

Tabulka 2 – Disdip tabulka pro vyhodnocování poklesů napětí

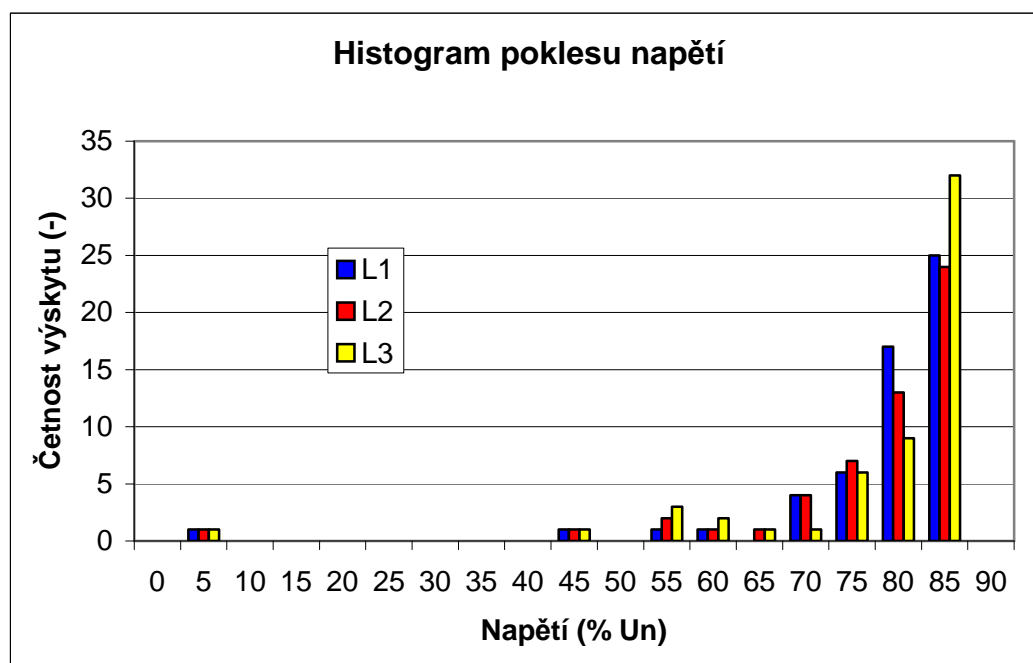
Celkem bylo změřeno: 56 událostí ve fázi L1  
54 událostí ve fázi L2  
56 událostí ve fázi L3

**Poznámka:** Směrné hodnoty poklesů napětí norma ČSN 50 160 uvádí od několika desítek po jen tisíc (viz výše kapitola 4.1.2.).

### Vyhodnocování pomocí histogramů

Dvou rozměrný histogram graficky zobrazuje třídy stejné délky s různou četností. Výšky sloupců jsou tedy úměrné frekvenci výskytu jevu v daném intervalu.

V následujícím obrázku je uveden histogram poklesů napětí pro jednotlivé fáze L1, L2, L3. Na vodorovnou osu je vynesena velikost napájecího napětí v době poklesu v %  $U_N$  s krokem 5 %  $U_N$ , na svislé ose je uvedena četnost výskytu.

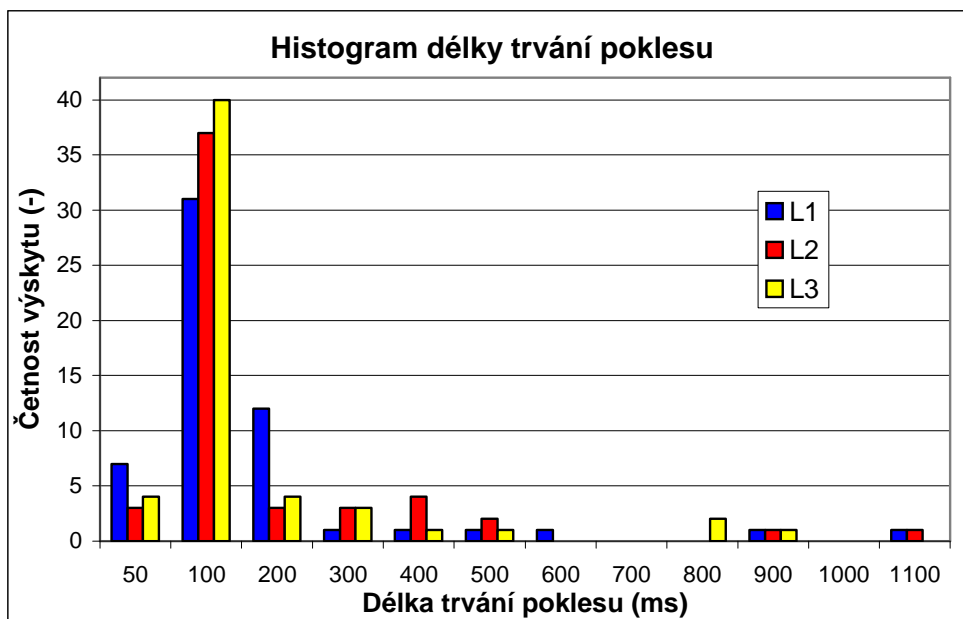


Obr. č. 7: Histogram poklesů napětí

Na uvedeném histogramu je vidět, že četnost výskytů poklesů napětí je nejčastější v rozmezí 85 - 90 %  $U_N$ , tzn. těsně pod povolenou toleranci  $\pm 10$  %  $U_N$ .

**Poznámka:** Norma ČSN 50 160 uvádí, že většina krátkodobých poklesů napětí má hloubku poklesu menší než 60 % (tzn. že nepřekračují hodnotu 40%  $U_N$  -viz kapitola 4.1.2.).

Další histogram ukazuje četnost výskytu poklesů napětí v závislosti na délce trvání poklesů. Na vodorovnou osu jsou vyneseny délky poklesů v ms s krokem 100 ms, na svislé ose je uvedena četnost výskytu.

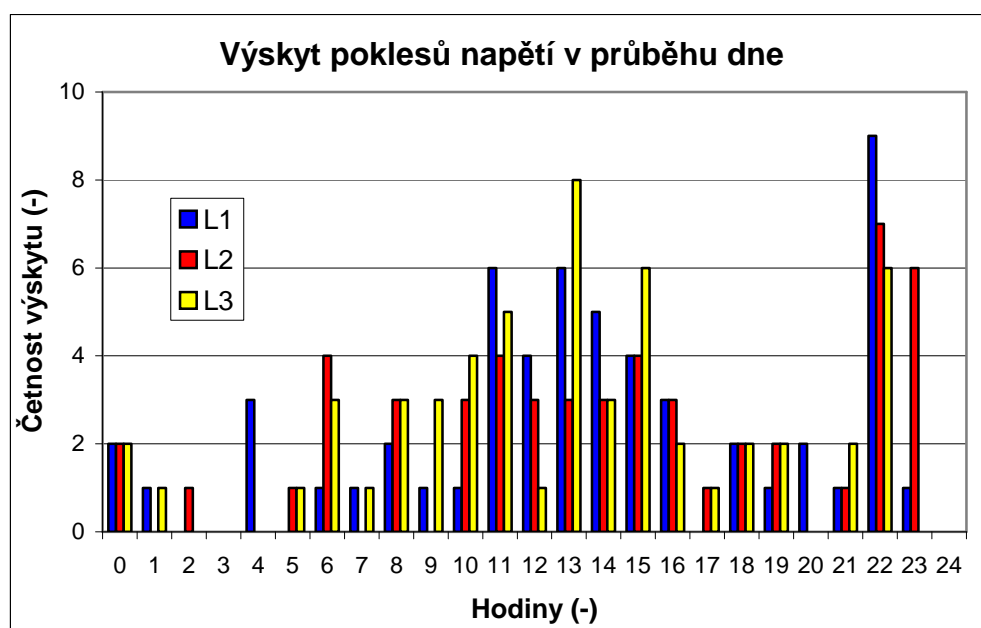


Obr. č. 8: Histogram délky trvání poklesů

Nejčastější poklesy trvají od 100 do 200 ms a to ve všech třech měřených fázích.

**Poznámka:** Norma ČSN 50 160 uvádí, že většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání menší než 1 sekundu (viz kapitola 4.1.2.).

Následující histogram ukazuje výskyt poklesů napětí v časovém rámci jednoho dne. Na vodorovnou osu jsou vyneseny hodinové intervaly dne, na svislé ose je uvedena četnost výskytu.

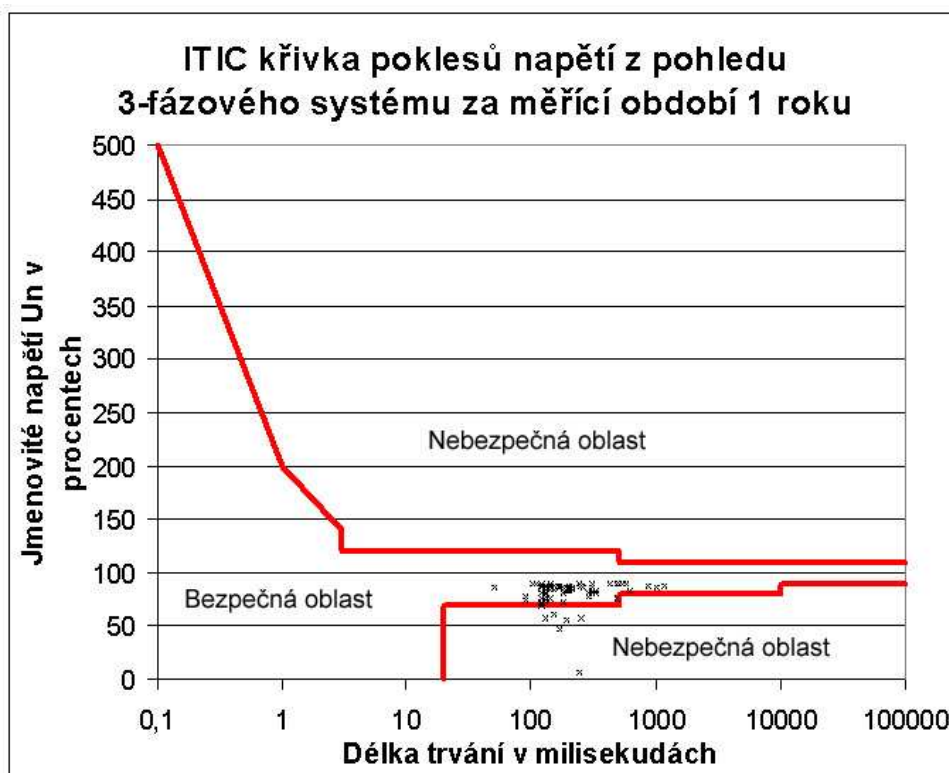


Obr. č. 9: Histogram výskytu poklesů napětí během dne

Jak je vidět z obr. č. 9 poklesy napětí úzce souvisí s lidskou činností. Četnost výskytu poklesů a přerušení napětí je úměrná dennímu diagramu zatížení. Tato četnost má 3 špičky. První špička nastává kolem šesté hodiny, druhá je mezi 13 -14 hodinou a třetí špička nastává po 22 hodině. Na tuto třetí špičku má zřejmě vliv signál HDO, resp. spínání spotřebičů signálem HDO.

### Křivka ITIC (CBEMA)

V roce 1996 se pracovní skupina ITIC (Information Technology Industry Council) dohodla pro novou revizi tzv. CBEMA křivky. Tato nová CBEMA křivka (známá jako ITIC křivka) více odráží charakteristiky, které můžeme očekávat u **typických jednofázových počítačů, počítačových zařízení, a další typů zařízení informačních technologií jako kopírovací stroje a faxy**. Obrázek č. 10 ukazuje ITIC křivku. Plné čáry představují závislost maximálního a minimálního přípustného napětí (s ohledem na bezchybnou funkci zařízení) na čase. Plocha vymezená těmito dvěma čarami definuje „*bezpečnou oblast*“ pro chod zařízení, oblast mimo tuto vymezenou plochu nazýváme „*nebezpečná oblast*“.



Obr. č. 10: Zrevidovaná CBEMA křivka - ITIC křivka

Zatímco ITIC křivka slouží jako srovnávací test pro citlivost zařízení, je použitelná jen pro zařízení informačních technologií. Není určena pro široký okruh zařízení jako pohony s řízenou rychlostí, pro stejnosměrná zařízení, relé a stykače. Tyto zařízení jsou značně používané v průmyslovém odvětví a jsou často nejvíce ovlivněny poklesy napětí.

## 11. NORMALIZACE V EMC

**Zákon č. 142/91 Sb.** zrušil závaznost norem ( s výjimkou bezpečnostních)

Nahrazen **zákonem č. 22/97 Sb.** (o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů)

V § 4 tohoto zákona je stanoveno, že

"Norma poskytuje pro obecné a opakované používání pravidla, směrnice nebo charakteristiky činností nebo jejich výsledků zaměřené na dosažení optimálního stupně uspořádání ve vymezených souvislostech.

Vztah norem ČSN a norem evropských (EN) a mezinárodních (IEC)

### 11.1. Normy související s kvalitou elektrické energie

<http://homen.vsb.cz/~san50/>

Mezinárodní normy vztahující se k elektromagnetické kompatibilitě jsou značeny IEC 61000 (EN 61000).

Soubor IEC 61000 je vydáván v několika částech podle následující struktury:

#### Část 1: **Všeobecně**

Všeobecné úvahy (úvod, základní principy).  
Definice, terminologie.

#### Část 2: **Prostředí**

Popis prostředí.  
Třídění prostředí.  
Kompatibilní úrovně.

#### Část 3: **Meze**

Meze emise.  
Meze odolnosti (pokud nespádají pod zodpovědnost komisí výrobku)

#### Část 4: **Zkušební a měřicí technika**

Měřicí technika.  
Zkušební technika.

#### Část 5: **Směrnice o instalacích a zmírňování vlivů**

Směrnice pro instalaci.  
Metody a prostředky zmírňování vlivů.

#### Část 6: **Kmenové normy**

#### Část 9: **Různé**

Každá část je dále rozdělena do několika částí, které jsou vydávány jako **mezinárodní normy, technické specifikace nebo jako technické zprávy**, z nichž některé byly již vydány jako oddíly. Jiné budou vydávány s číslem části, za kterým následuje pomlčka a druhé číslo označující další dělení (například: 61000-6-1).

V České republice se postupně tyto normy přejímají a jsou vydávány s označením, které přidává k původnímu číslu písemný kód ČSN EN nebo ČSN IEC.

### **Přehled norem EMC**

- základní normy (basic standards)
- kmenové normy (generic standards)

je uveden v příloze

### **Norma uvádějící očekávané úrovně jednotlivých parametrů kvality dodávané elektrické energie**

Vodítkem pro zjištění, které parametry veřejné distribuční sítě je nutno sledovat je norma **ČSN EN 50 160**.

*Jedná se o následující ukazatele:*

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí
- odchylky napájecího napětí
- rychlé změny napětí včetně blikání
  - velikost rychlých změn napětí
  - závažnost blikání
- krátkodobé poklesy napětí
- krátkodobá přerušení napájecího napětí
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí
- nesymetrie napájecího napětí
- harmonická napětí
  - velikost jednotlivé harmonické napětí
  - velikost činitele celkového tvarového zkreslení THD
- meziharmonická napětí
- napětí signálů v napájecím napětí

Evropská norma EN 50 160 byla připravena CENELEC a tento orgán ji také v roce 1994 schválil. Zároveň doporučil evropským zemím vydání identické národní normy během roku 1995.

U nás byla tato norma jako závazná norma přijata až v červenci 2000 pod označením ČSN EN 50 160.

Tato norma definuje vlastnosti napájecího napětí v odběrném místě odběratele připojeného do veřejné distribuční sítě.

Platí pro síť nízkého i vysokého napětí v normálních provozních podmínkách.



*Norma neplatí pro tyto stavy:*

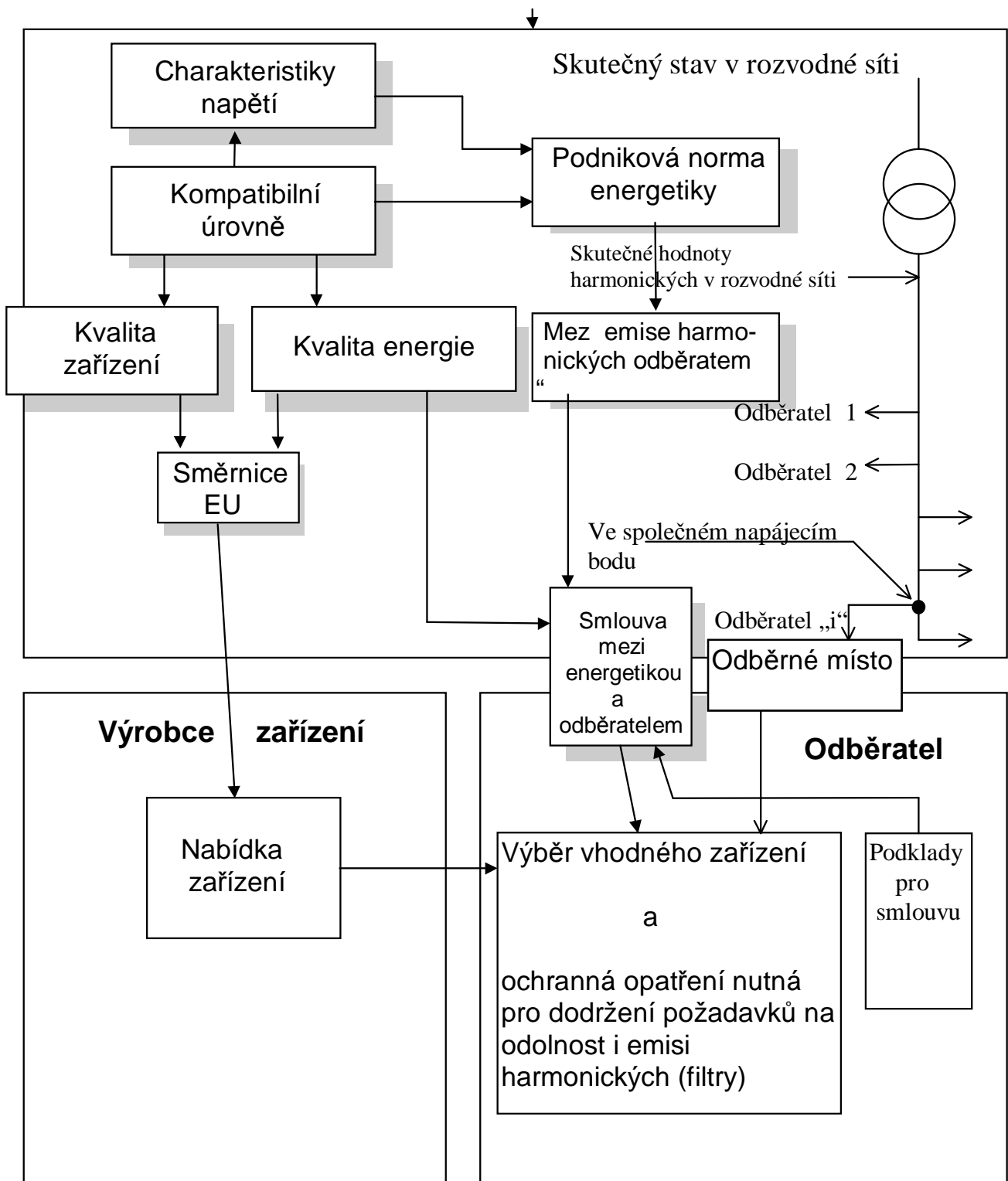
- pro provoz po poruše
- pro mimořádné situace způsobené povětrnostními a přírodními katastrofami
- pro mimořádné situace vyvolané opatřeními veřejných orgánů apod.

V současné době se zpracovává revize normy EN 50 160. Dle materiálu ERGEG (European Regulators' Group for Electricity and Gas, Contact: Council of European Energy Regulators ASBL, 28 rue le Titien, 1000 Bruxelles) jsou shrnuty současné poznatky a návrhy na změny v normě EN 50 160. Stručně lze návrhy definovat takto:

1. Jsou některé parametry kvality, jejichž definice a pravidla pro měření musí být lépe definovány. Jedná se zejména o rychlé změny napětí, krátkodobé poklesy a zvýšení napájecího napětí.
2. Meze pro změny napětí – zamezit klauzuli „95% času“ a zamezit dlouhým časovým intervalům pro průměrování měřené veličiny
3. Meze jsou nutné pro všechny napěťové úrovně, v revidované normě bude uvažováno i napětí vvn
4. Indikativní hodnoty pro události v napětí (zejména krátkodobé poklesy a zvýšení napájecího napětí) jsou často příliš vágní a nejsou déle akceptovatelné.
5. Musí být brána v úvahu pravidla pro všechny partnery, obecně se předpokládá odpovědnost energetických společností, výrobců zařízení a konečných zákazníků, je nutná koordinace mezi technickými normami
6. Realistické a dokonce rozdílné úrovně kvality napětí musí být definovány ve vztahu k síťovým charakteristikám

Zavedení přísnějších norem než EN 50 160 může způsobit vyšší investice do sítí. Na druhé straně zvýšení kvality napětí může vést k užítku pro ekonomiku a i pro celou společnost. Zavedení nových limitů dle doporučení ERGEG může vést ke zlepšení zejména u nejhůře zásobovaných zákazníků. Na druhé straně regulátoři nemohou dovolit zhoršení současných úrovní kvality napětí, které jsou často lepší, než v EN 50 160.

V roce 2006 byl schválený konečný návrh revize normy EN 50 160, předpokládá se schválení do konce března 2007 a předpokládá se uvedení v České republice v červnu 2008. Jedinou podstatnou změnou je potvrzení tolerancí napětí NN +/- 10%.



Vazba jednotlivých kategorií evropských norem na podnikovou normu energetiky a na smluvní řešení dodavatelsko-odběratelských vztahů

## Přehled norem EMC k 9-10/2006

<b>BASIC STANDARDS</b>			<b>ZÁKLADNÍ NORMY</b>	
			* : schválena k přímému používání (bez překladu)	
<i>EN</i>	<i>IEC</i>	<i>TEXT</i>	<i>ČSN</i>	<i>TEXT</i>
		<b>International Electro-technical Vocabulary</b>		<b>Mezinárodní elektro-technický slovník</b>
	60050(161) (1990)	Chapter 161: Electromagnetic compatibility. A1:97;A2:98	33 4201 IEC ... (12.93)	Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita. A1:8.99;A2:11.00
<b>SUMMARY OF IEC 1000 SERIES STANDARDS: EMC</b>			<b>PŘEHLED NOREM ŘADY IEC 1000: EMC</b>	
		<b>Part 1: General</b>		<b>Část 1: Všeobecně</b>
	1000-1-1 (1992)	Application and interpretation of fundamental definitions and terms.	33 3431 IEC ... (10.95)	Použití a interpretace základních definic a termínů.
	1000-1-2 (2001)	Methodology for the achievement of the functional safety of electrical and electronic equipment with regard to electromagnetic phenomena.	33 3431 IEC ... (11.02)	Metodika pro dosažení funkční bezpečnosti elektrického a elektronického zařízení s ohledem na elektromagnetické jevy.
	61000-1-3 (2002)	The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems.		
	61000-1-4 pr	Rationale for limiting power-frequency conducted harmonic and interharmonic current emissions from equipment, in the frequency range up to 9 kHz.		
	61000-1-5 pr	High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems.		

		<b>Part 2: Environment</b>		<b>Část 2: Prostředí</b>
	1000-2-1 (1990)	Description of the environment - Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems.	33 3431 IEC ... (10.93)	Popis prostředí - elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích. oprava 1:06.00
61000-2-2 (2002)	61000-2-2 (2002)	Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.	33 3432 EN ... ed.2 (01.03)	Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí.
	1000-2-3 (1992)	Description of the environment - Radiated and non-network-frequency-related conducted phenomena.	33 3431 IEC ... (10.95)	Popis prostředí vyzařovaných jevů a jevů šířených vedením nevztahujících se k síťovému kmitočtu.
61000-2-4 (2002)	61000-2-4 (2002)	Part 2-4: Environment - Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.	33 3432 EN... ed.2 (06.03)	Část 2-4: Prostředí - Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech.
	1000-2-5 (1995)	Classification of electromagnetic environments. Basic EMC publication.		
	1000-2-6 (1995)	Assessments of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances.	33 3431 IEC ... (03.01)	Určování úrovní emise nízkofrekvenčních rušení šířených vedením v síťovém napájení průmyslových závodů.
	61000-2-7 (1998)	Low frequency magnetic fields in various environments.		
	61000-2-8 TR (2002)	Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results.	33 3431-2-8 - - - (11.05) *	Část 2-8: Prostředí - Krátkodobé poklesy a krátká přerušení napětí ve veřejných napájecích sítích s výsledky statistického měření.
61000-2-9 (1996)	61000-2-9 (1996)	Description of HEMP environment - Radiated disturbance.	33 3432 EN ...	Popis prostředí HEMP - vyzařované rušení. Základní norma EMC.

			(12.97)	
61000-2-10 (1999)	61000-2-10 (1998)	Description of HEMP environment - Conducted disturbance.	33 3432 EN ... (10.99)	Popis prostředí HEMP. Rušení šířená vedením.
61000-2-11 pr	61000-2-11 (1999)	Classification of HEMP environments . Basic EMC Publication.		
61000-2-12 (2003)	61000-2-12 (2003)	Compatibility levels for low frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems.	33 3432 EN... pr	Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích vysokého napětí.
61000-2-13 pr	61000-2-13 pr	High-power electromagnetic (HPEM) environments. Radiated and conducted disturbance.		
	61000-2-14 pr	Overvoltages on public electricity distribution networks.		
		<b>Part 3: Limits</b>		<b>Část 3: Meze</b>
	61000-3-1 pr	Overview of emission standards and guides. Technical report.		
61000-3-2	61000-3-2	<i>shifted into the head PRODUCT STANDARDS</i>	33 3432 EN ...	<i>přesunuto do oddílu NORMY VÝROBKŮ</i>
61000-3-3	1000-3-3	<i>shifted into the head PRODUCT STANDARDS</i>	33 3432 EN ...	<i>přesunuto do oddílu NORMY VÝROBKŮ</i>
	61000-3-4 (1998)	Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.	33 3431 IEC ... (04.02)	Omezování emise harmonických proudů v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A.
	1000-3-5 (1994)	Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A. A1:pr	33 3431 IEC ... (03.01)	Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A.
	61000-3-6	Assessment of emission		

	(1996)	limits for distorting loads in MV and HV power systems. Basic EMC publication.		
	61000-3-7 (1996)	Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems. Basic EMC publication.		
	61000-3-8 (1997)	Signalling on low-voltage electrical installations. Emission levels, frequency bands and electromagnetic disturbance levels.		
	61000-3-9 pr	Limits for interharmonic current emissions (equipment with input power $\leq 16$ A per phase and prone to produce interharmonics by design).		
	61000-3-10 pr	Emission limits in the frequency range 2 kHz to 9 kHz.		
61000-3-11 (2000)	61000-3-11 (2000)	<i>shifted into the head</i> PRODUCT STANDARDS	33 3432 EN ... pr	<i>přesunuto do oddílu</i> NORMY VÝROBKŮ
61000-3-12 (2005)	61000-3-12 (2004)	<i>shifted into the head</i> PRODUCT STANDARDS	EN ... pr	<i>přesunuto do oddílu</i> NORMY VÝROBKŮ
		<b>Part 4: Testing and measurement techniques</b>		<b>Část 4: Zkušební a měřicí technika</b>
61000-4-1 (2000)	61000-4-1 (2000)	Overview of IEC 61000-4 series.	33 3432 EN ... (05.01)	Přehled o souboru IEC 61000-4.
	61000-4-1 ed.3.0 pr	Overview of IEC 61000-4 series.		
61000-4-2 (1995)	61000-4-2 (1995)	Electrostatic discharge immunity test. A1:1998	33 3432 EN ... (07.97)	Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti. Základní norma EMC. A1:7.99,Z1:11.01

	61000-4-2 ed.1.2 (2001)	Electrostatic discharge immunity test.		
61000-4-2 pr	61000-4-2 ed.2.0 pr	Electrostatic discharge immunity test.		
61000-4-3 (2002)	61000-4-3 ed.2.1 (2002)	Radiated, radio-frequency, electromagnetic field im- munity test. A1:2002	33 3432 EN ... Ed.2 (01.03)	Vyzařované vysoko- frekvenční elektromag- netické pole. Zkouška odolnosti. A1:06.03
61000-4-3 ed.3 (2006)	61000-4-3 ed.3 (2006)	Radiated, radio-frequency, electromagnetic field im- munity test. dow:1.3.09		
61000-4-4 (1995)	61000-4-4 (1995)	Electrical fast transi- ent/burst immunity test. A1,A2:2001	33 3432 EN ... (07.97)	Rychlé elektrické přecho- dové jevy/skupiny impulsů - zkouška odolnosti. Z1:11.01,A2:4.02,Z2:5.05
61000-4-4 (2004)	61000-4-4 ed.2.0 (2004)	Electrical fast transi- ent/burst immunity test. dow:1.10.07	33 3432 EN ... Ed.2 (05.05)	Část 4-4: Zkušební a mě- řicí technika - Rychlé elek- trické přechodné je- vy/skupiny impulzů - Zkouška odolnosti.
61000-4-5 (1995)	61000-4-5 (1995)	Surge immunity test. A1:2001	33 3432 EN ... (07.97)	Rázový impuls - zkouška odolnosti. Z1:11.01
	61000-4-5 ed.1.1 (2001)	Surge immunity test.		
	61000-4-5 ed.2.0 pr	Surge immunity test.		
61000-4-6 (1996)	61000-4-6 (1996)	Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields. A1:2001	33 3432 EN ... (11.97)	Odolnost proti rušením šířeným vedením indukovaným vysokofrekvenčními poli. Z1:11.01
	61000-4-6 ed.1.1 (2001)	Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields.		
61000-4-6 pr	61000-4-6 ed.2.0 (2003)	Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields. A1:pr		

61000-4-7 (1993)	61000-4-7 (1991)	General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.	33 3432 EN ... (08.94)	Všeobecný pokyn o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich. Z1:07.03
61000-4-7 (2002)	61000-4-7 (2002)	Part 4-7: Testing and measurement techniques. General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto. dow(corr):1.1.07 Cor.1:2004	33 3432 EN ... ed.2 (07.03)	Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich. Opr.1:10.04
61000-4-8 (1993)	61000-4-8 (1993)	Power frequency magnetic field immunity test. A1:2001	33 3432 EN ... (01.96)	Magnetické pole síťového kmitočtu - zkouška odolnosti. Z1:11.01
	61000-4-8 ed.1.1 (2001)	Power frequency magnetic field immunity test.		
61000-4-9 (1993)	61000-4-9 (1993)	Pulse magnetic field immunity test. A1:2001	33 3432 EN ... (01.96)	Pulsy magnetického pole - zkouška odolnosti. Základní norma EMC. Z1:11.01
	61000-4-9 ed.1.1 (2001)	Pulse magnetic field immunity test.		
61000-4-10 (1993)	61000-4-10 (1993)	Damped oscillatory magnetic field immunity test. A1:2001	33 3432 EN ... (02.96)	Tlumené kmity magnetického pole - zkouška odolnosti. Základní norma EMC. Z1:11.01
	61000-4-10 ed.1.1 (2001)	Damped oscillatory magnetic field immunity test.		
61000-4-11 (1994)	61000-4-11 (1994)	Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. A1:2001	33 3432 EN ... (02.96)	Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí. Zkoušky odolnosti. Z1:11.01, Z2:3.05
	61000-4-	Voltage dips, short in-		



	11 ed.1.1 (2001)	terruptions and voltage variations immunity tests.		
61000-4-11 (2004)	61000-4-11 ed.2.0 (2004)	Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. dow 1.6.07	33 3432 EN... ed. 2 (03.05)	Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti.
61000-4-12 (1995)	61000-4-12 (1995)	Oscillatory waves immunity test. A1:2001;A2:pr	33 3432 EN ... (07.97)	Oscilační vlny. Zkoušky odolnosti. Základní norma EMC. Z1:11.01
	61000-4-12 ed.1.1 (2001)	Oscillatory waves immunity test.		
	61000-4-12 ed.2.0 pr	Oscillatory waves immunity test.		
61000-4-13 (2002)	61000-4-13 (2002)	Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests.	33 3432 EN ... (01.03)	Harmonické a meziharmonické včetně signálů v rozvodných sítích na střídavém vstupu/výstupu napájení. Nízkofrekvenční zkoušky odolnosti.
61000-4-14 (1999)	61000-4-14 (1999)	Voltage fluctuation immunity test. A1:2004	33 3432 EN ... (05.00)	Kolísání napětí. Zkouška odolnosti. A1:03.05
	61000-4-14 ed.1.1 (2002)	Voltage fluctuation immunity test.		
61000-4-15 (1998)	61000-4-15 (1997)	Flickermeter - functional and design specifications. A1:2003	33 3432 EN ... (07.99)	Měřič blikání. Specifikace funkce a dimenzování. A1:12.03
61000-4-16 (1998)	61000-4-16 (1998)	Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz. A1:2004	33 3432 EN ... (08.99)	Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 kHz. A1:03.05
	61000-4-	Test for immunity to con-		

	16 ed.1.1 (2002)	ducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz.		
61000- 4-17 (1999)	61000-4- 17 (1999)	Ripple on d.c. input power port immunity test. A1:2004	33 3432 EN ... (07.00)	Zvlnění na stejnosměrném napájecím vstupu. Zkouška odolnosti. A1:03.05
	61000-4- 17 ed.1.1 (2002)	Ripple on d.c. input power port immunity test.		
	61000-4- 18 pr	Oscillatory wave immunity test.		
61000- 4-20 (2003)	61000-4- 20 (2003)	Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides. A1:pr	33 3432 EN... (01.04)	Část 4-20: Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagne- tickým polem (TEM).
61000- 4-21 (2003)	61000-4- 21 (2003)	Reverberation chamber test methods.	33 3432 EN... (07.04)	Část 4-21: Zkušební a měřicí technika - Měřicí metody pro odrazové ko- mory.
61000- 4-23 (2000)	61000-4- 23 (2000)	Test methods for protecti- ve devices for HEMP and other radiated disturban- ces.	33 3432 EN ... (11.01)	Část 4-23: Zkušební a měřicí technika. Zkušební metody zařízení pro ochranu proti HEMP a jinému vyzařovanému ru- šení.
61000- 4-24 (1997)	61000-4- 24 (1997)	Test methods for protecti- ve devices for HEMP con- ducted disturbance. Basic EMC publication.	33 3432 EN ... (08.98)	Zkušební metody pro ochranné prostředky pro rušení HEMP šířené ve- dením. Základní norma EMC.
61000- 4-25 (2002)	61000-4- 25 (2001)	HEMP immunity test methods for equipment and systems.	33 3432 EN ... (01.03)	Část 4-25: Zkušební a měřicí technika. Zkušební metody odolnosti zařízení a systémů proti HEMP.
61000- 4-27 (2000)	61000-4- 27 (2000)	Unbalance, immunity test.	33 3432 EN ... (09.01)	Nesymetrie. Zkouška odolnosti.
61000- 4-28 (2000)	61000-4- 28 (1999)	Variation of power frequency - immunity test. A1:2004	33 3432 EN ...	Kolísání síťového kmi- točtu. Zkouška odolnosti. A1:03.05

			(12.00]	
	61000-4-28 ed.1.1 (2002)	Variation of power frequency - immunity test.		
61000-4-29 (2000)	61000-4-29 (2000)	Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power ports - immunity tests.	33 3432 EN ... (09.01)	Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí na vstupech stejnosměrného napájení. Zkouška odolnosti.
61000-4-30 (2003)	61000-4-30 (2003)	Power quality measurement methods. A1:pr	33 3432 EN... (01.04)	Metody měření kvality energie.
	61000-4-32 pr	HEMP simulator compendium.		
	61000-4-33 (2005)	Measurement methods for high-power transient parameters.		
61000-4-34 pr	61000-4-34 (2005)	Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase.	33 3432 EN ... pr	Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti pro zařízení se vstupním fázovým proudem větším než 16 A.
		<b>Part 5: Installation and mitigation guidelines</b>		<b>Část 5: Směrnice o instalacích a zmírňování vlivů</b>
	61000-5-1 (1996)	General considerations. Basic EMC publication.		
	61000-5-2 (1997)	Earthing and cabling.		
	61000-5-3 (1999)	HEMP protection concepts.		
	61000-5-4 (1996)	Immunity to HEMP - Specification for protective devices against HEMP radiated disturbance. Basic EMC publication.		
61000-5-5	61000-5-5 (1996)	Specification of protective devices for HEMP con-	33 3432	Specifikace ochranných prvků pro rušení HEMP

(1996)		ducted disturbance.	EN ... (10.97)	šířené vedením. Základní norma EMC.
	61000-5-6 (2002)	Mitigation of external EM influences.		
61000-5-7 (2001)	1000-5-7 (2001)	Degrees of protection provided by enclosures against electromagnetic disturbances (EM code).	33 3432 EN ... (12.01)	Stupně ochrany kryty proti elektromagnetickým rušením (EM kód).
		<b>Part 6: Generic standards</b>		<b>Část 6: Kmenové normy</b>
		<i>shifted into the head</i> <b>GENERIC STANDARDS</b>		<i>přesunuto do oddílu</i> <b>KMENOVÉ NORMY</b>
		<b>Various</b>		<b>Různé</b>
50147-1 (1996)		Anechoic chambers. Part 1: Shield attenuation measurement.	33 4211 EN ... (08.97)	Bezodrazové komory. Část 1: Měření útlumu stínění.
50147-2 (1996)		Anechoic chambers. Part 2: Alternative test site suitability with respect to site attenuation.	33 4211 EN ... (08.97)	Bezodrazové komory. Část 2: Volba vhodného zkušebního místa se zřetelem k jeho útlumu.
50147-3 pr		EMC. Basic immunity standard. Part 3: Emission measurements in fully anechoic rooms.		
50160 (1999)		Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. Corr:2004	33 0122 EN ... (06.00)	Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě. Opr.1:11.04
50171 (2001)		Central power supply systems.	36 0630 EN... (01.02)	Centrální napájecí systémy.
50204 ENV (1995)		Radiated electromagnetic field from digital radiotelephones. Immunity test.		
50217 CLC/TS (2005)		Guide for in-situ measurements - In situ measurement of disturbance emission.	33 3437 CLC/T S ...	Pokyny pro měření v místě instalace - Měření rušivé emise v místě instalace.

			(08.06)	
50351 pr		Basic standard for the calculation and measurement methods relating to the influence of electric power supply and traction systems on telecommunication systems.		
50352 pr		Limits relating to the influence of electric power supply and traction systems on telecommunication systems.		
50357 (2001)		Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications.	36 7903 EN ... (10.02)	Hodnocení vystavení člověka elektromagnetickým polím ze zařízení pro elektronickou ochranu zboží (EAS), vysokofrekvenční identifikaci (RFID) a z podobných aplikací.
50383 (2002)		Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz - 40 GHz).	36 7906 EN ... (02.04)	Základní norma pro výpočet a měření intenzity elektromagnetického pole a SAR při vystavení člověka základnovým stanicím a pevným koncovým stanicím pro bezdrátové telekomunikační systémy (110 MHz až 40 GHz).
50400 (2006)		Basic standard to demonstrate the compliance of fixed equipment for radio transmission (110 MHz - 40 GHz) intended for use in wireless telecommunication networks with the basic restrictions or the reference levels related to general public exposure to radio frequency electromagnetic fields, when put into service. dow 1.1.09		
50420 (2006)		Basic standard for the evaluation of human ex-		

		posure to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz). dow 1.1.09		
50422 CLC/T R (2003)		Guide for the application of the European Standard EN 50160.	33 0122 (03.05)	Pokyn na používání evropské normy EN 50160.
	725 (1981)	Considerations on reference impedances for use in determining the disturbance characteristics of household appliances and similar electrical equipment.	33 3444 IEC ... (08.94)	Vztažné impedance pro užití při určování rušivých charakteristik domácích spotřebičů a podobných elektrických zařízení.
	60725 pr	A1: Considerations of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current $\leq 75$ A per phase.		
	816 (1984)	Guide on measurement of short duration transients on low voltage power and signal lines..	33 3445 IEC ... (08.94)	Pokyny k metodám měření krátkodobých přechodových jevů na vedeních nízkého napětí a na signálních vedeních.
60868 (1993)	868 (1986)	Flickermeter - Functional and design specification.	33 3447 EN ... (01.95)	Měřič blikání. Specifikace funkce a dimenzování.
60868-0 (1993)	868-0 (1991)	Part 0: Evaluation of flicker severity.	33 3447 EN ... (01.95)	Část 0: Vyhodnocení míry vjemu blikání.
	61024-1 (1990)	Protection of structures against lightning. Part 1: General principles.		
	61024-1-1 (1993)	Section 1: Guide A - Selection of protection levels for lightning protection systems.		
	61024-1-2	Part 1-2: General princi-		

	(1998)	ples. Guide B - Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems.		
	61312-1 (1995)	Protection against lightning electromagnetic impulse - Part 1: General principles.		
	61312-2 (1999)	Part 2: Shielding of structures, bonding inside structures and earthing.		
	61312-3 (2000)	Part 3: Requirements of surge protective devices (SPDs).	34 1393 IEC... (05.03)	Ochrana před elektromagnetickým impulsem vyvolaným bleskem - Část 3: Požadavky na přepětová ochranná zařízení (SPDs).
	61312-4 (1998)	Part 4: Protection of equipment in existing structures.		
61642 (1997)	61642 (1997)	Industrial a.c. networks affected by harmonics - Application of filters and shunt capacitors.	35 8215 EN ... (04.99)	Průmyslové sítě pro střídavý proud ovlivněné vyššími harmonickými - Použití filtrů a paralelních kondenzátorů.
	61663-1 (1999)	Lightning protection - Telecommunication lines - Part 1: Fibre optic installations.		
62226-1 (2005)	62226 (2004)	Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body - Part 1: General.	36 7910 EN ... (08.05) *	Vystavení elektrickým a magnetickým polím na nízkých a středních kmitočtech -Metody pro výpočet hustoty proudu a vnitřního elektrického pole indukovaných v lidském těle - Část 1: Všeobecná.
62226-2-1 (2005)	62226-2-1 (2004)	Part 2-1: Exposure to magnetic fields - 2D models.	36 7910 EN ... (08.05)	Část 2-1: Vystavení magnetickým polím - 2D modely.
62305-1 (2006)	62305-1 (2006)	Protection against lightning - Part 1: General principles. dow:1.2.09		

62305-2 (2006)	62305-2 (2006)	Part 2: Risk management. dow:1.2.09		
62305-3 (2006)	62305-3 (2006)	Part 3: Physical damage to structures and life hazard. dow:1.2.09		
62305-4 (2006)	62305-4 (2006)	Part 4: Electrical and electronic systems within structures. dow:1.2.09		
	<b>CISPR</b>	<b>CISPR 16 Radio disturbance and immunity</b>		<b>CISPR 16 Rádiové rušení</b>
	16 (1987)	C.I.S.P.R. specification for radio interference measuring apparatus and measurement methods.	33 4210 CISPR ... (02.94) *	Specifikace CISPR pro přístroje a metody měření vysokofrekvenčního rušení.
	16 Ed. 2.0 pr	Reorganization of CISPR 16.		
	16-1 (1993)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus. A1: 1997	33 4210 CISPR ... (04.96)	Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení. Část 1: Přístroje na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení. A1:2.99
55016-1 pr	16-1 (1999)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus. A1: 2002,A2:2003	33 4210 CISPR ... ed.2 (07.03)	Specifikace metod a přístrojů pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti proti vysokofrekvenčnímu rušení. Část 1: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti proti vysokofrekvenčnímu rušení. A1:10.03; A2:07.04
	16-1 Ed.2.1 (2002)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1: Radio disturbance and immunity		



		measuring apparatus.		
55016-1-1 (2004)	16-1-1 (2003)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Measuring apparatus. dow:1.9.07 A1:2005 dow 1.7.08	33 4210 EN ... (09.05)	Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-1: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Měřicí přístroje. A1:04.06
55016-1-2 (2004)	16-1-2 (2003)	Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Ancillary equipment - Conducted disturbances. dow:1.9.07 A1:2005 dow 1.2.08	33 4210 EN ... (09.05)	Část 1-2: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Pomocná zařízení - Rušení šířené vedením. A1:12.05
55016-1-3 (2004)	16-1-3 (2003)	Part 1-3: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Ancillary equipment - Disturbance power. dow:1.9.07	33 4210 EN ... (09.05)	Část 1-3: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Pomocná zařízení - Rušivý výkon.
55016-1-4 (2004)	16-1-4 (2003)	Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Ancillary equipment - Radiated disturbances. dow:1.9.07 A1:2005 dow 1.3.08; A2:2005 dow 1.12.08	33 4210 EN ... (09.05)	Část 1-4: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Pomocná zařízení - Rušení šířené zářením. A1:1.06; A2:9.06;
55016-1-5 (2004)	16-1-5 (2003)	Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1 000 MHz. dow:1.9.07	33 4210 EN ... (09.05)	Část 1-5: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Zkušební stanoviště pro kalibraci antény pro 30 MHz až 1 000 MHz.
55016-2 pr	16-2 (1996)	Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity. A1:1999, A2:2002	33 4210 CISPR ... (04.98)	Část 2: Metody měření rušení a odolnosti. A1:1.01; A2:10.03
	16-2 Ed.1.1 (1999)	Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity.		

		A1:1999, A2:2002		
55016-2-1 (2004)	16-2-1 (2003)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity - Conducted disturbance measurements. dow:1.9.07 A1:2005 dow:1.8.08	33 4210 EN ... (10.05)	Část 2-1: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušení šířeného vedením. A1:5.06
55016-2-2 (2004)	16-2-2 (2003)	Part 2-2: Methods of measurement of disturbances and immunity - Measurement of disturbance power. dow:1.9.07 A1:2005 dow:1.12.07; A2:2005 dow:1.8.08	33 4210 EN ... (10.05)	Část 2-2: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušivého výkonu. A1:12.05; A2:5.06
55016-2-3 (2004)	16-2-3 (2003)	Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements. dow:1.9.07 A1:2005 dow:1.6.08,	33 4210 EN ... (10.05)	Část 2-3: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušení šířeného zářením. A1:1.06; A2:5.06
55016-2-4 (2004)	16-2-4 (2003)	Part 2-4: Methods of measurement of disturbances and immunity - Immunity measurements. dow:1.9.07	33 4210 EN ... (10.05)	Část 2-4: Metody měření rušení a odolnosti - Měření odolnosti
	16-3 (2000)	Part 3: Reports and recommendations of CISPR. A1: 2002		
	TR16-3 (2003)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 3: CISPR technical reports.		
55016-4 pr	16-4 (2002)	Part 4: Uncertainty in EMC measurements.		
	TR16-4-1 (2003)	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit		

		modelling - Uncertainties in standardized EMC tests.		
55016-4-2 (2004)	16-4-2 (2003)	Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Uncertainty in EMC measurements. dow:1.9.07	33 4210 EN ... (10.05)	Část 4-2: Nejistoty, statistické hodnoty a stanovení mezí - Nejistoty při měření EMC.
	TR16-4-3 (2003)	Part 4-3: Uncertainties, statistics and limit modelling - Statistical considerations in determination of EMC compliance of mass-produced products.		
	TR16-4-4 (2003)	Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling - Statistics of complaints and a model for the calculation of limits.		

Last updated: 2 October 2006

<b>GENERIC STANDARDS</b>			<b>KMENOVÉ NORMY</b>	
<b>H</b> : harmonised standard under Dir. 89/336/EEC published in OJ of EU (2006/C 201) 24.8.2006			<b>H</b> : harmonizovaná norma k NV č. 18/2003 Sb. vyhlášená ve Věstnicích ÚNMZ (do 09/2006 včetně)	
<b>EN</b>	<b>IEC</b>	<b>TEXT</b>	<b>ČSN</b>	<b>TEXT</b>
50371 (2002)		Generic standard to demonstrate the compliance of low power electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz - 300 GHz).	36 7905 EN ... (09.02)	Kmenová norma pro prokazování shody nízkovýkonového elektronického a elektrického zařízení se základními omezeními pro vystavení člověka elektromagnetickým polím (10 MHz až 300 GHz) - Obyvatelstvo.
50392 (2004)		Generic standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic	36 7909 EN... (10.04)	Kmenová norma k prokazování shody elektronických a elektrických zařízení se základními omezeními při vystavení člověka elektromagnetickým polím (0 Hz až 300

		fields (0 Hz - 300 GHz).		GHz).
		<b>IEC 1000</b>		<b>IEC 1000</b>
		<b>Part 6: Generic standards</b>		<b>Část 6: Kmenové normy</b>
61000-6-1 H (2001)	61000-6-1 (1997)	Part 6-1: Immunity for residential, commercial and light-industrial environments.	33 3432 EN ...H (07.02)	Část 6-1: Odolnost. Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu.
61000-6-1 Ed.2 pr	61000-6-1 Ed.2 pr	Part 6-1: Immunity for residential, commercial and light-industrial environments.		
61000-6-2 H (2001)	61000-6-2 (1999)	Part 6-2: Immunity for industrial environments.	33 3432 EN ...H ed.2 (07.02)	Část 6-2: Odolnost pro průmyslové prostředí. Z1:2.06
61000-6-2 H Ed.2 (2005)	61000-6-2 Ed.2 (2005)	Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments. dow:1.6.08	33 3432 EN ... ed. 3 (02.06)	Část 6-2: Kmenové normy - Odolnost pro průmyslové prostředí.
61000-6-3 H (2001)	61000-6-3 (1996)	Part 6-3: Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments. A11H:2004 dow:1.7.07	33 3432 EN...H (07.02)	Část 6.3: Emise. Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu. A11H:5.05
	61000-6-3 Ed.2 pr	Section 3: Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments.		
61000-6-4 H (2001)	61000-6-4 (1997)	Part 6-4: Emission standard for industrial environments..	33 3432 EN ...H (08.02)	Část 6.4: Emise. Průmyslové prostředí.
	61000-6-4 Ed.2 pr	Section 4: Emission standard for industrial environments.		
	61000-6-5 (2001)	Part 6.5: Immunity for power station and substation environments.		
61000-6-6 pr	61000-6-6 (2003)	Part 6-6: HEMP immunity for indoor equipment.		
	61000-	Part 6-7: Generic standard		

	6-7 pr	for in-situ measurements.		

Last updated: 5 September 2006

## Pravidla provozování distribučních sítí

### Příloha 3 - Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení.

Cílem Pravidel provozování distribučních soustav (**PPDS**) je vypracovat a zveřejnit předpisy, které stanoví minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k **DS** a pro její užívání.

Příloha 3 Pravidel provozování distribuční soustavy (**PPDS**) vychází z Energetického zákona 458/2000 Sb. [5] a z Vyhlášky Energetického regulačního úřadu . o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice [6], které mj. ukládají **PPDS** definovat kvalitu elektřiny, stanovit její parametry a podmínky jejího dodržování uživateli **DS**.

**Jednotlivé charakteristiky napětí** elektrické energie, popisující kvalitu elektřiny dodávané z veřejné distribuční sítě, **vycházejí z normy ČSN EN 50160 pro sítě nn a vn v platném znění**. Tytéž charakteristiky platí i pro elektřinu dodávanou regionálními výrobci ve společném napájecím bodě.

Dále Příloha 3 definuje pro hladinu napětí 110 kV a předávací místa **PS/DS** charakteristiky elektřiny dodávané z **PS**.

### Vyhláška 540/2005 Sb. - Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice

Tato vyhláška stanoví požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, lhůt pro uplatnění nároku na náhrady, a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb.

Z hlediska kvality dodávané elektrické energie se vyhláška zabývá

- přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny - každé poruchové, plánované nebo vynucené přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny po dobu delší než 3 minuty, bez ohledu na příčinu vzniku přerušení,
- poruchovým přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny
- vynuceným přerušením distribuce elektřiny
- plánovaným přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny
- mimořádným přerušením distribuce

Požadovaná kvalita dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice a její parametry jsou vyjádřeny prostřednictvím standardů kvality dodávek a souvisejících služeb.

a) **garantované standardy** přenosu nebo distribuce elektřiny a garantované standardy dodávek uvedené v § 5 až 20, stanovující kvalitu přenosu nebo distribuce elektřiny a dodávek elektřiny, která musí být dosažena v každém individuálním případě, a

b) **obecný standard** přenosu nebo distribuce elektřiny uvedený v § 21, sloužící k porovnání výkonnosti a jejího časového vývoje provozovatelů distribučních soustav a posouzení výkonnosti a jejího časového vývoje provozovatele přenosové soustavy.

Za nedodržení garantovaných standardů se podle energetického zákona poskytuje náhrada ve výši stanovené touto vyhláškou.

Z garantovaných standardů je zajímavý:

#### § 8 Standard kvality elektřiny

Standardem kvality elektřiny se rozumí distribuce elektřiny s odpovídajícími parametry velikosti a odchylky napájecího napětí a frekvence, které jsou **v souladu s Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování distribučních soustav nebo s parametry napětí a frekvence sjednanými ve smlouvě** mezi konečným zákazníkem a provozovatelem distribuční soustavy.

U obecných standardů je zajímavé:

#### § 21 Standard plynulosti přenosu nebo distribuce elektřiny

(1) Standardem plynulosti přenosu nebo distribuce elektřiny je přenos nebo distribuce elektřiny splňující hodnoty ukazatelů přenosu nebo distribuce elektřiny.

(2) Ukazatele přenosu nebo distribuce elektřiny jsou

a) u provozovatele distribuční soustavy

1. četnost přerušení distribuce elektřiny daná počtem přerušení distribuce elektřiny za kalendářní rok; četnost přerušení se udává ve tvaru přerušení/rok/zákazník,
2. souhrnná doba trvání všech přerušení distribuce elektřiny v minutách za kalendářní rok; souhrnná doba se uvádí ve tvaru minuta/rok/zákazník,
3. průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny v minutách za kalendářní rok; průměrná doba trvání se uvádí ve tvaru minuta/přerušení,

b) u provozovatele přenosové soustavy

1. průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v minutách za kalendářní rok,
2. průměrný počet přerušení přenosu elektřiny vztažený na jeden transformátor, s výjimkou vazebních transformátorů 400/220 kV.