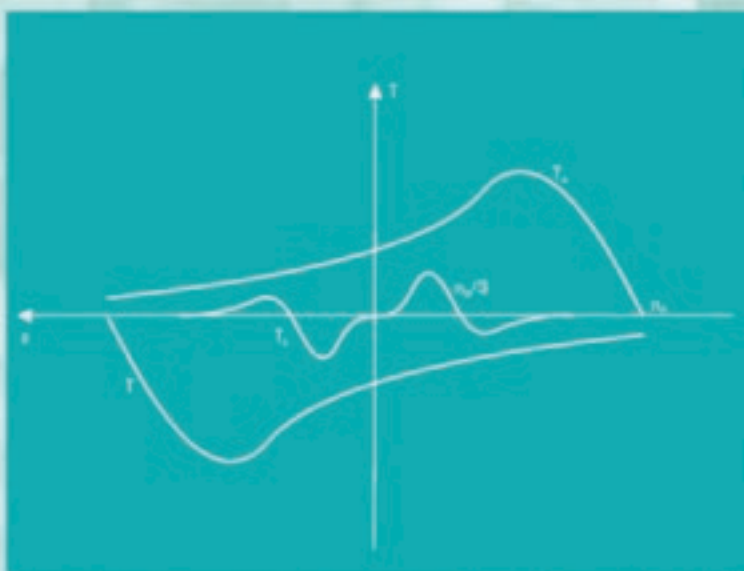
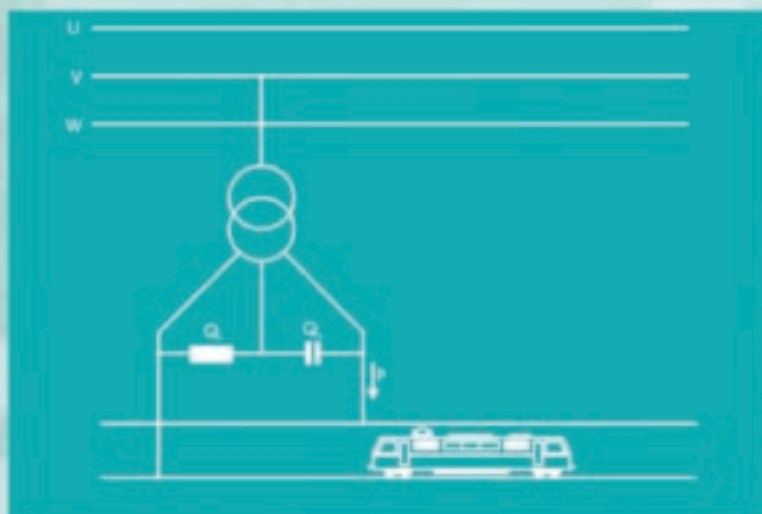


# Kvalita elektrické energie-průvodce



## *Rušení napětí* *Úvod do nesymetrie*

5.1.3



HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE

**COPPER**  
CENTRE

*Rušení napětí*

# *Rušení napětí*

## *Úvod do nesymetrie*

Dr Johan Driesen & Dr Thierry Van Craenenbroeck, Katholieke Universiteit Leuven  
Překlad: Josef Gavlas, Miloslav Kužela, Pavel Santarius, FEI Technická univerzita Ostrava,  
Leden 2005

### **Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)**

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými střediskami mědi ve světě.

### **Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)**

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské a doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činnosti pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

### **European Copper Institute (ECI)**

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací mědi (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

### **Upozornění**

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný.

European Copper Institute a Hungarian Copper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB - Technické Univerzity Ostrava.

Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



Hungarian Copper  
Promotion Centre  
Képiró u. 9  
H - 1053 Budapest  
Maďarsko  
Tel.: 00 361 266 4810  
Tel.: 00 361 266 4804  
E-mail: hcpc@euroweb.hu  
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB-TU Ostrava  
Fakulta elektrotechniky  
a informatiky  
Katedra elektroenergetiky  
17. listopadu 15  
CZ 708 33 Ostrava-Poruba  
Tel.: +420 597324279  
Tel.: +420 596919597  
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz  
Website: homen.vsb.cz/san50/



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B - 1150 Brussels  
Belgium  
Tel.: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: eci@eurocopper.org  
Website: www.eurocopper.org

# Rušení napětí

## Úvod do nesymetrie

### Úvod

Tato část se zabývá nesymetrií napětí a proudů. Pro nesymetrické proudy je důležité, že jsou způsobeny nesymetrickými napětími. Z toho vyplývá, že nesymetrické napětí je parametr určující kvalitu elektrické energie a tento text, jak již název napovídá, se týká především nesymetrických sinusových napětí.

Nejprve je zde uvedený jev definován. Následně jsou uvedeny některé základní parametry, které jsou využívány pro kvantifikaci tohoto jevu. Čtenář, který se méně zajímá o matematiku, může vynechat uvedené rovnice a přeskóčit na více popisný materiál zabývající se mezemi, příčinami a následky. Na závěr jsou sumarizovány techniky k omezení nesymetrie.

## Co je nesymetrie?

### Definice

Trojfázový systém je nazýván souměrný nebo symetrický, pokud trojfázová napětí a proudy mají stejnou amplitudu a jsou navzájem fázově posunuty o  $120^\circ$ . Pokud není jedna z podmínek splněna, je systém nazýván nesouměrným nebo nesymetrickým. V následujícím textu je implicitně předpokládáno, že časové průběhy jsou sinusové a tedy neobsahují harmonické.

### Kvantifikace

K vyčíslení nesymetrie napětí nebo proudu trojfázového systému, jsou používány tzv. „Fortescue“ nebo symetrické složky. Trojfázový systém se rozkládá na tzv. sousledný neboli stejnosměrný, zpětný a netočivý neboli nulový systém, označován indexy d, i, h (v některých literaturách jsou používány indexy 1, 2, 0). Vypočítány jsou pomocí maticových transformací fázorů trojfázového napětí a proudu. Indexy u, v, w uvádějí rozdílné fáze (někdy jsou používány indexy a, b, c). Výrazy zde uvedené jsou formulovány pro napětí U, ale tato proměnná může být nahrazena bez jakýchkoli problémů proudem I:

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_i \\ U_h \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_u \\ U_v \\ U_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

kde  $a$  je definován jako:

$$a = e^{j120^\circ}$$

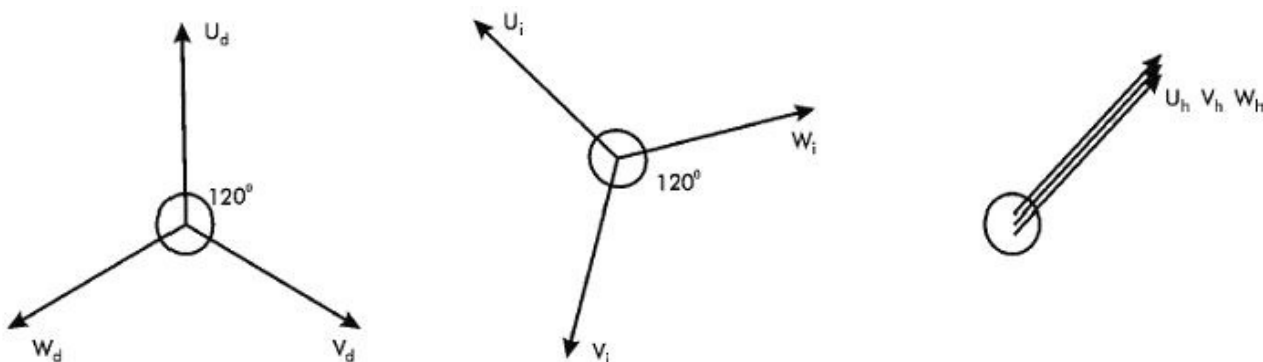
Tyto transformace jsou energeticky neměnné, takže velikost energetické veličiny s originálními nebo transformovanými hodnotami budou shodné.

Inverzní transformace jsou:

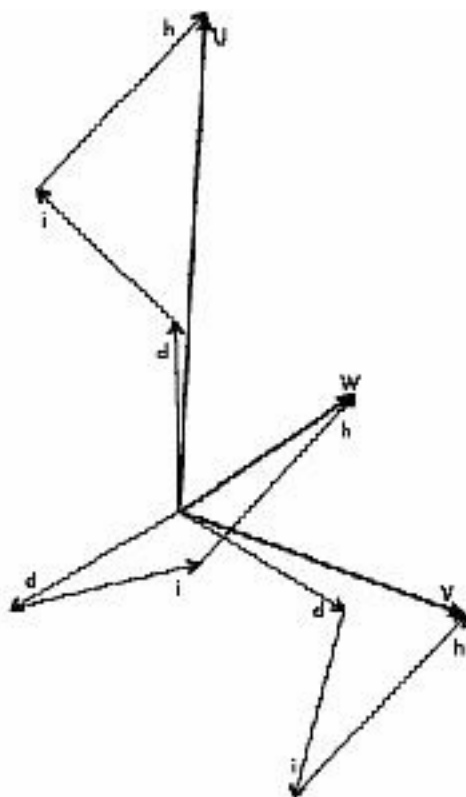
$$\begin{bmatrix} U_u \\ U_v \\ U_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_d \\ U_i \\ U_h \end{bmatrix} \quad (2)$$

# Úvod do nesymetrie

Sousledná složka odpovídá kladnému točivému poli, zatím co zpětná složka zápornému točivému poli (Obrázek 1). V případě střídavých elektrických strojů to představuje fyzikálně správnou interpretaci pro točivé magnetické pole.



Obrázek 1 – Grafické zobrazení symetrických složek  
-všimněte si opačného značení sousledné složky (vlevo) a zpětné složky (uprostřed)



Obrázek 2 – Grafický rozklad při použití složek z Obrázku 1  
(příslušné příspěvky ke třem fázím U, V, W jsou připočteny jako fázory tak, aby byla obdržena aktuální nesymetrie systému.)

Nulové (homopolární) složky mají stejný fázový posun a pouze oscilují. V systému bez středního vodiče očividně nemohou nulové složky proudů téci, avšak může se objevit podstatný rozdíl napětí mezi „nulovým napětím“ v nulovém bodě soustavy při zapojení do Y a zátěží.

Obrázek 2 zobrazuje rozklad nesymetrického systému do jednotlivých složek.

Měření těchto složek není v praxi jednoduché, zvláště pro sousledné a zpětné složky. Digitální měřicí přístroje pracující na základě výše zmíněných matematických vztahů pro vzorky napětí a proudů, směřují k jednodušší implementaci, než která je možná s klasickým analogovým zařízením.

Poměr amplitudy zpětné a sousledné složky napětí  $U$  a proudu  $I$  je měřítkem nesymetrie – označován jako činitel nesymetrie  $\rho$  (v %):

$$\rho_U = \frac{U_i}{U_d} \cdot 100\% \quad (3)$$

Tyto ukazatelé jsou například používány v normách, které se zabývají kvalitou elektrické energie, jako EN 50160 nebo IEC řada 1000-3-x. Podobný ukazatel se někdy využívá pro poměr amplitudy nulové a souměrné složky. Je označován jako činitel nevyváženosti.

# Úvod do nesymetrie

Jednodušší, přibližný způsob pro výpočet činitele nesymetrie je

$$\rho_U = \frac{S_L}{S_K} \cdot 100\% \quad (4)$$

Tento výpočet užívá pouze zdánlivý výkon zátěže  $S_L$  a zkratový výkon  $S_K$  napájecího obvodu. Kompletní měřicí procedury k určení těchto parametrů jsou popsány v normách. Používají statistické techniky k určení průměru (3)-(4), pro určitý definovaný časový interval.

## Limity

Mezinárodní normy (tzn. EN-50160 nebo řada IEC 1000-3-x) určují meze pro činitele nesymetrie, definované dle (3), a to <2 % pro nn a vn systémy a <1 % pro vvn, měřené jako 10-ti minutové hodnoty, s okamžitým maximem 4%. Tento limit může být místy redukován, dokonce níže než 0,25%, jako např. v britské části kanálu La-Manche, kde je trakce representována velkou jednofázovou zátěží. Důvod pro zpřísněný limit na vvn systémy je, že jsou navrhovány tak aby byly použity na maximální kapacitu se symetrickou trojfázovou zátěží. Každá nesymetrie způsobí, že často vysoce zatížená přenosová síť je provozována se špatnou účinností. Při návrhu distribučních systémů (nižších napětí), kde napájení jednofázové zátěže je jeden z hlavních účelů, musí být na tuto skutečnost brán ohled, a tedy systém a připojované zátěže musí být navrhovány a realizovány tak, aby byly více odolné k nesymetrii.

Jako příklad je stanovení zkratový výkon pro dvojité vysokorychlostní vlakové tratě s jmenovitým výkonem 2x15 MVA (typické pro francouzské TGV soupravy). Použitím koeficientu (4), byl stanoven zkratový výkon nejméně 3 GVA k udržení 1% úrovně napěťové nesymetrie. To vysvětluje, proč je nezbytné napájení velmi vysokým napětím.

Mnohem detailnější podklady můžeme nalézt v IEC 61000-2-x, jako části norem EMC a EN 50160, popisující charakteristiky napětí ve společném napájecím bodě (PCC). Vedle toho mnohé evropské státy a elektroenergetické společnosti, které zde provozují elektrické sítě, často používají dodatečná pravidla pro „emise“ nesouměrných proudů.

## Čím je nesymetrie způsobena?

Dispečer systému se snaží zajistit, aby měl systém symetrické napětí v PCC mezi distribuční sítí a zákaznickovou vlastní sítí. Při normální podmínkách, jsou tato napětí určena:

- svorkovým napětím generátorů
- impedancí elektrického systému
- proudovým odběrem zátěží přes přenosovou a distribuční síť.

Systémová napětí na straně generátorů jsou vysoce symetrická z důvodu konstrukce a principu činnosti synchronních generátorů, které se používají v systémových elektrárnách. Z tohoto důvodu systémové elektrárny nepřispívají k nesymetrii. Dokonce s indukčními (asynchronními) generátory, jaké jsou používány v některých typech větrných elektráren, dostaneme symetrické trojfázové napětí. Bohužel, tam, kde jsou použity stále více populárnější výkonnostně malé generátorové jednotky, které jsou instalovány ve spotřebitelské síti a začíná narůstat jejich podíl ve výrobě elektřiny, je situace naprosto rozdílná. Mnoho z těchto relativně malých jednotek, jako jsou například fotovoltaiické články, jsou připojeny do sítě nn přes jednofázové elektronické střídače. Připojovací bod má relativně velkou impedanci (zkratový výkon je relativně malý), což vede k potenciální velké nesymetrii napětí (vzorec (4)) a je to důvod pro připojení k vyšší úrovni napětí.

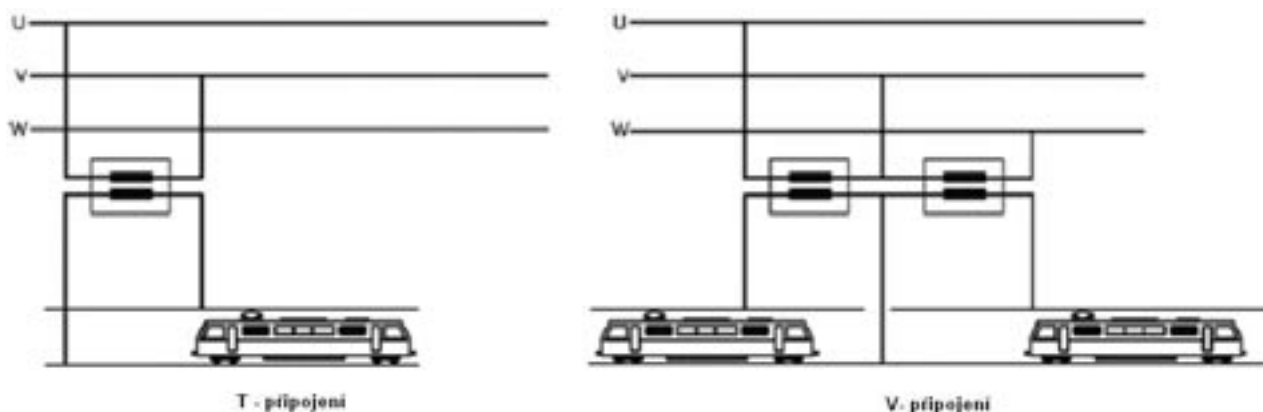
Impedance prvků elektrického systému není úplně stejná ve všech fázích. Geometrická konfigurace venkovních vedení, nesouměrnost vzhledem k zemi způsobí například rozdíly



# Úvod do nesymetrie

v elektrických parametrech vedení. Obecně tyto rozdíly jsou velmi malé a jejich účinek může být zanedbán, pokud jsou učiněna preventivní opatření, jako jsou křížení vedení.

Ve většině praktických příkladů je nesouměrnost zátěží hlavním důvodem nesymetrie. Ve velmi vysokém a vysokém napětí jsou zátěže převážně trojfázové a symetrické, ačkoliv i velké jedno- či dvofázové zátěže mohou být připojeny, jako např. střídavé vlakové trakce (například tzv. vysokorychlostní vlaky, Obrázek 3) nebo obloukové pece (velké tavící systémy kovů, které využívají nepravidelných intenzivních elektrických oblouků).



Obrázek 3 – Připojení střídavé trakce jako příklad připojení nesymetrické zátěže

Nízkonapěťové zátěže jsou obvykle jednofázové, jako např. výpočetní technika, světelná technika a proto je obtížné garantovat symetrii mezi fázemi. V projektu elektrické sítě, která napájí tyto zátěže, jsou zátěže rozděleny do jednotlivých fází trojfázových systémů, např. jedna fáze na podlaží činžovního domu nebo kancelářské budovy nebo střídavé propojení řadových domů. I přesto symetrie náhradní zátěže na napájecím transformátoru kolísá z důvodu statistického rozptylu provozních cyklů různých individuálních zátěží.

Neobvyklé stavy systému také způsobí nesymetrii fází. Typickými příklady jsou zkrat mezi fází a zemí, mezi fázemi a nebo přerušení vodiče. Tyto poruchy způsobí poklesy napětí v jedné nebo více fázích a mohou také nepřímo způsobit přepětí jiných fází. Chování systému je potom nesymetrické, ale tyto jevy jsou obvykle klasifikovány jako náhodné poruchy (které jsou popsány v části Průvodce určené tomuto jevu), pokud ochrany elektrické sítě vypnou tuto poruchu.

## Jaké jsou následky?

Citlivost elektrických zařízení na nesymetrii se liší zařízení od zařízení. Krátký přehled nejčastějších problémů je uveden dále:

### Indukční stroje

Jsou to asynchronní motory s vnitřně buzeným otáčivým magnetickým polem. Amplituda je úměrná velikosti sousledné a/nebo zpětné složky. Smysl otáčení pole zpětné složky je opačný k poli sousledné složky. Proto, v případě nesymetrického napájení celkové točivé magnetické pole bude „eliptické“ namísto kruhového. Indukční stroje čelí třem druhům problémů z důvodů nesymetrie.

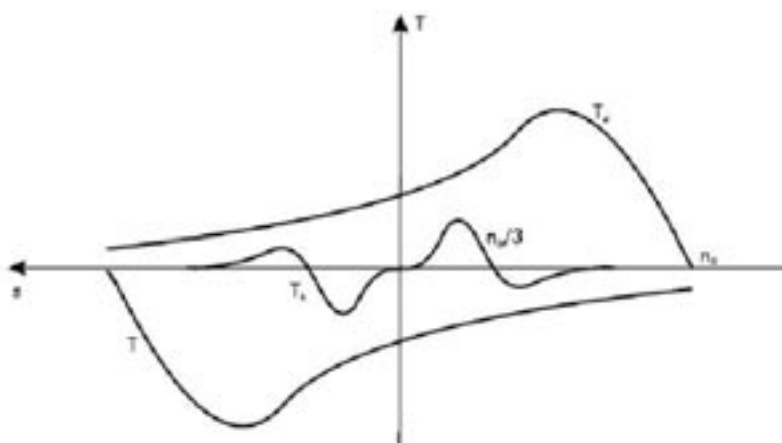
Za prvé, u strojů je snižován točivý moment vlivem brzdícího točivého momentu zpětné složky. Obrázek 4 ukazuje různé momentové charakteristiky indukčních strojů při nesymetrickém napájení. Aktuální ustálený průběh je vážený součet těchto průběhů s druhou mocninou koeficientů nesymetrie. Oblast normálního provozování je téměř přímý úsek charakteristiky sousledné složky  $T_d$  (část začínající na vrcholu křivky v momentu zvratu a končící průsečíkem

# Úvod do nesymetrie

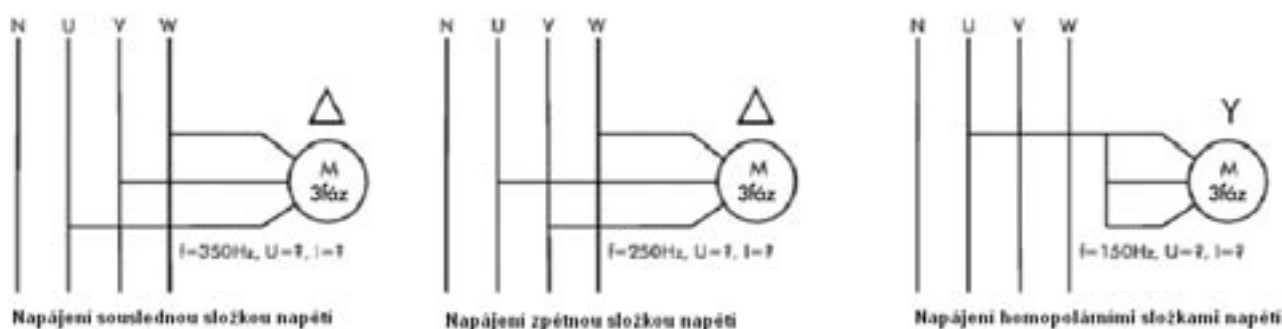
horizontální osy při synchronní rychlosti), charakteristiky zpětné a nulové složky  $T_i$  a  $T_h$  jsou obě záporné. Tyto charakteristiky můžeme změřit na motoru zapojeném dle Obrázku 5.

Za druhé, ložiska mohou být poškozena zvýšenými vibracemi vyvolanými točivými složkami s dvojnásobnou frekvencí.

Nakonec, stator a zvláště pak rotor jsou nadměrně oteplovány, což vede k rychlejšímu tepelnému stárnutí. Toto teplo je způsobeno indukcí proudů způsobených točivým (v relativním smyslu) zpětným magnetickým polem, z pohledu rotoru. Abychom mohli omezit toto nadměrné oteplení, musí mít motor snížené zatížení, což znamená instalování stroje o větším jmenovitém výkonu.



Obrázek 4 – Momentová charakteristika (skluz) indukčního stroje při nesymetrických napájecích podmínkách



Obrázek 5 – Napájecí schéma indukčního motoru s určitými složkami nesymetrie

## Synchronní generátory

Synchronní generátory jsou střídavé stroje, například používané v lokálních výrobnách jako jsou teplárny. Projevují se obdobným jevem jako výše popsany u asynchronního stroje, ale nejdůležitější je nadměrné oteplování. Speciální péče musí být věnována návrhu tlumícího vinutí na rotoru, kde jsou proudy indukované zpětnými a nulovými složkami.

## Zatížitelnost transformátorů, kabelů a vedení

Zatížitelnost transformátorů, kabelů a vedení je redukována vlivem zpětných složek. Provozní limit je ve skutečnosti určen jmenovitou efektivní hodnotou celkového proudu, který se částečně skládá také z „neužitečných“ nesousledných složek proudu. Toto musí být bráno v úvahu při nastavování hranice účinnosti ochran, které reagují na celkový proud. Maximální zatížitelnost může být vyjádřena činitelem snížení zatížení, který je udáván výrobcem, dle kterého je možno vybrat větší zařízení, které je schopno zvládnout zátěž.

# Úvod do nesymetrie

---

## Transformátory

Transformátory, které jsou vystaveny zpětným složkám napětí, transformují je stejným způsobem jako sousledné složky napětí. Reakce na nulovou složku napětí závisí na zapojení primáru a sekundáru a zejména pak na přítomnosti středního vodiče. Pokud například jedna strana má trojfázové čtyřvinutové zapojení, nulové složky proudu mohou protékat. Pokud je na druhé straně vinutí zapojené do trojúhelníka, nulové složky proudů jsou transformovány to cirkulujících (a způsobujících teplo) proudů v trojúhelníku. Sdružený konfázní magnetický tok prochází přes konstrukční části transformátoru a způsobuje nežádoucí ztráty v takových částech, jako je nádoba, někdy je zapotřebí dodatečné snížení zatížení.

## Elektronické výkonové měniče

Tyto jsou přítomny v mnoha zařízeních, jako jsou regulační pohony, PC zdroje, úsporné lampy atd. Musí čelit dodatečným, netypickým harmonickým i když činitel harmonického zkreslení THD zůstává více či méně konstantní. Při návrh pasivních filtrů, musíme brát tuto skutečnost v potaz. Toto téma je popsáno v jiné Části tohoto Průvodce.

Zařízení, která jsou zmiňována výše, jsou trojfázové zátěže. Samozřejmě, jednofázové zátěže také mohou ovlivňovat kolísání napětí v napájecí síti, jako výsledek nesymetrie.

## Jak můžeme nesymetrii zmírnit?

Ke snížení účinků vlivu nesymetrie může být provedeno několik kroků, s různým stupněm technické obtížnosti. Prvním a nejdůležitějším řešením je přeskupení nebo rozložení zátěží takovým způsobem, aby se systém stal více symetrický. Pro některé aplikace existuje možnost omezení nesymetrie změnou pracovních parametrů.

Aby bylo možno omezit vliv zpětných složek proudu, které vyvolávají zpětné složky poklesů napájecího napětí, je nezbytná nízká vnitřní impedance systému. Toto můžeme dosáhnout připojením nesymetrických zátěží do uzlů s vyšší zkratovou úrovní, nebo dalším systémovým opatřením vedoucím ke snížení vnitřní impedance.

Další typ techniky vedoucí ke snížení nesymetrie je použití speciálních transformátorů, jako jsou Scottův a Steinmetzův transformátory:

- Scottův transformátor se skládá ze dvou jednofázových transformátorů, se speciálním poměrem vinutí, připojených k trojfázovému systému. Transformátory jsou připojen takovým způsobem, že na výstupu je generováno dvojfázové ortogonální napětí, které dovoluje připojení dvoufázového systému. Tato sestava dodává symetrickou trojfázový výkon do soustavy.
- Steinmetzův transformátor je ve skutečnosti je v principu trojfázový transformátor s přídatnou výkonovou symetrizující zátěží, která se skládá z kondenzátoru a cívky dimenzované proporcionálně k jednofázové zátěži (Obrázek 6). Když se jalový výkon cívky a kondenzátoru rovná činné energii zátěže, dělené, jeví se zátěž z pohledu trojfázové sítě jako symetrická. Trojfázový jmenovitý výkon transformátoru se rovná činnému výkonu jedné fáze zátěže. Je třeba poznamenat, že vyrovnaní je pouze ideální pro činný výkon odpovídající hodnotě pro který byl systém navržen.

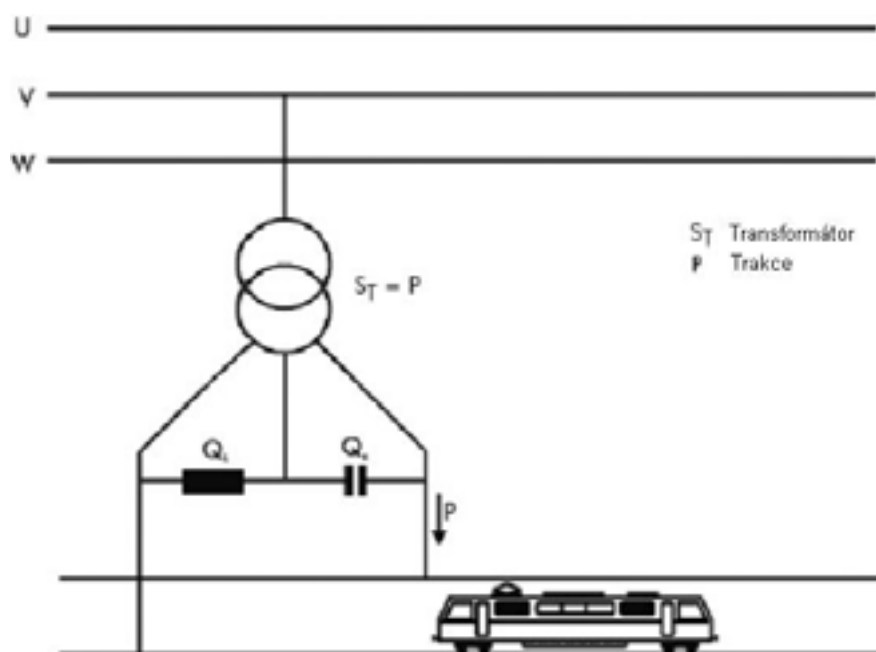
Na závěr je potřeba zmínit ještě jednu možnost k omezení nesymetrie a to pomocí výkonových elektronických obvodů, jako jsou například statické kompenzátory jalového výkonu. Tyto fungují na principu, jako kdyby rychle měnily doplňkové impedance a tím kompenzovaly změny



# Úvod do nesymetrie

v impedanci zátěží v jednotlivých fázích. Jsou také schopny kompenzovat nepotřebnou jalovou energii. Vzhledem k tomu, že se jedná převážně o drahá zařízení, jsou používána pouze pro velké zátěže (např. obloukové pece) v případech, že jiná řešení jsou nedostatečná.

Další typy výkonových prostředků, které mohou ovlivnit symetrii systémů, stejně tak jako ostatní problémy s kvalitou elektrické energie jsou stále vyvíjeny, ale nejsou připraveny pro obecné využití.



Obrázek 6 – Jednofázová zátěž připojená do trojfázové sítě s použitím Steinmetzova transformátoru

## Závěr

Nesymetrie je závažný problém kvality elektrické energie, který ovlivňuje zejména nízkonapěťové distribuční systémy, jako jsou například v kancelářských budovách, kde se hojně využívá počítačová technika a osvětlení. Nicméně, tento problém můžeme kvantifikovat relativně jednoduchým způsobem porovnáním s normovanými metodami. Tento text vysvětluje hlavní příčiny nesymetrie a upřesňuje důležité následky. Speciální pozornost je věnována točivým strojům, převážně indukčním, a transformátorům.

Jsou zde stručně hrnuty hlavní techniky omezení tohoto specifického problému

## *Poznámky*

---

# Network Partners

## Copper Benelux

168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090  
Fax: 00 32 2 777 7099  
Email: mail@copperbenelux.org  
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

## Copper Development Association

Verulam Industrial Estate  
224 London Road  
St Albans AL1 1AQ  
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205  
Fax: 00 44 1727 731216  
Email: copperdev@compuserve.com  
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

## Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonnhof 5  
D-40474 Duesseldorf  
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323  
Fax: 00 49 211 4796 310  
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de  
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

## ECD Services

Via Cardinal Maffi 21  
I-27100 Pavia  
Italy

Tel: 00 39 0382 538934  
Fax: 00 39 0382 308028  
Email: info@ecd.it  
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

## European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: eci@eurocopper.org  
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

## Hevrox

Schoebroekstraat 62  
B-3583 Beringen  
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420  
Fax: 00 32 11 454 423  
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendriks

## HTW

Goebenstrasse 40  
D-66117 Saarbruecken  
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279  
Fax: 00 49 681 5867 302  
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

## Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4  
I-20142 Milano  
Italy

Tel: 00 39 02 89301330  
Fax: 00 39 02 89301513  
Email: info@iir.it  
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

## KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10  
B-3001 Leuven-Heverlee  
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20  
Fax: 00 32 16 32 19 85  
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

## Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2  
PL-50-136 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502  
Fax: 00 48 71 78 12 504  
Email: pcpm@miedz.org.pl

Contact: Mr P Jurasz

## TU Bergamo

Viale G Marconi 5  
I-24044 Dalmine (BG)  
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07  
Fax: 00 39 035 56 27 79  
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

## TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27  
PL-50-370 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192  
Fax: 00 48 71 32 03 596  
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz

**Dr Johan Driesen**

Katholieke Universiteit Leuven

Electrical Engineering

Kasteelpark Arenberg 10

3001 Leuven Belgium

Tel: 00 32 16 321020

Fax: 00 32 16 321985

E-mail: [johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be](mailto:johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be)

Web: [www.esat.kuleuven.ac.be](http://www.esat.kuleuven.ac.be)

**Dr Thierry Van Craenenbroeck**

Katholieke Universiteit Leuven

Electrical Engineering

Kasteelpark Arenberg 10

3001 Leuven Belgium

Tel: 00 32 16 321020

Fax: 00 32 16 321985

Web: [www.esat.kuleuven.ac.be](http://www.esat.kuleuven.ac.be)



**HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE**

Hungarian Copper  
Promotion Centre  
Képiró u. 9  
H - 1053 Budapest  
Magarsko  
Tel.: 00 361 266 4810  
Tel.: 00 361 266 4804  
E-mail: [hpcp@euroweb.hu](mailto:hpcp@euroweb.hu)  
Website: [www.hpcpinfo.org](http://www.hpcpinfo.org)



VŠB-TU Ostrava  
Fakulta elektrotechniky  
a informatiky  
Katedra elektroenergetiky  
17. listopadu 15  
CZ 708 33 Ostrava-Poruba  
Tel.: +420 597324279  
Tel.: +420 596919597  
E-mail: [pavel.santarius@vsb.cz](mailto:pavel.santarius@vsb.cz)  
Website: [homen.vsb.cz/san50/](http://homen.vsb.cz/san50/)



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B - 1150 Brussels  
Belgium  
Tel.: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)