

## Trojfázové obvody

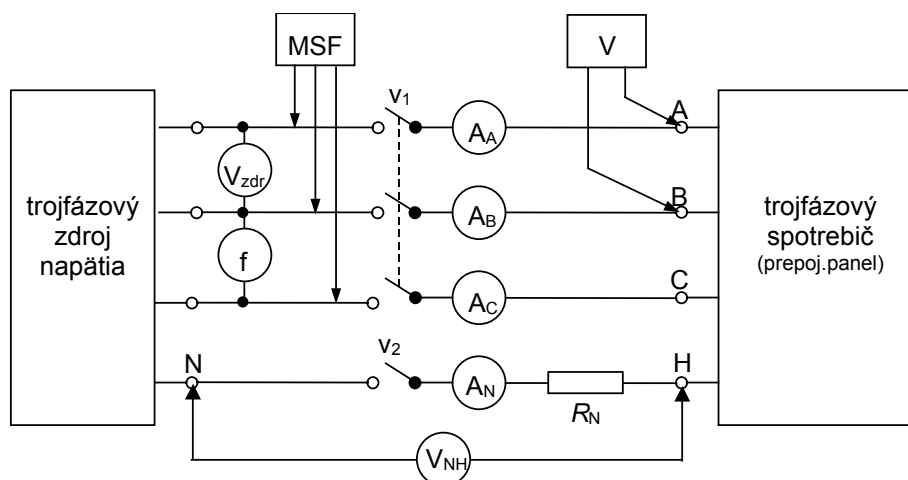
### Meranie v trojfázovom obvode s nesúmerným trojfázovým spotrebičom:

Táto vybraná úloha je časťou témy "Trojfázové obvody", ktorá je podrobne spracovaná v skriptách "Šumichrast a kol.: Teoretická elektrotechnika II., Návod na laboratórne cvičenia z Teórie obvodov", str.22 - 45. Tento stručný popis je len pomôcka k zadaniu vybranej úlohy a nenahrádza uvedené skriptá. Cieľom cvičenia je vyšetriť výpočtom a meraním overiť napätia a prúdy v trojfázovom obvode, vytvorenom spojením súmerného trojfázového zdroja a nesúmerného trojfázového spotrebiča.

### Úlohy:

- Realizujte 3-fázový obvod spojením 3-fázového súmerného zdroja a 3-fázového spotrebiča v zapojení do hviezdy:
  - spojením 3-vodičovým vedením, alebo
  - spojením 4-vodičovým vedením.
 Impedancie  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  a  $Z_N$  zostavte predpísanou kombináciou prvkov  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , ktoré sú k dispozícii na prepojovacom paneli.
- Odmerajte sled fáz, frekvenciu  $f$  a veľkosť združeného napätia  $U_{zdr}$  súmerného trojfázového zdroja napätia (napätie zdroja merajte v zaťaženom stave) a zakreslite fázorový diagram napätí zdroja.
- Vypočítajte hodnoty komplexných impedancií jednotlivých fáz  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  (resp  $Z_N$ ).
- Odmerajte veľkosti napätí na impedanciách jednotlivých fáz  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  a  $U_{NH}$ , a veľkosti prúdov  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_N$ , ktoré tečú jednotlivými fázami spotrebiča
- Namerané hodnoty napätí a prúdov porovnajte s hodnotami, získanými výpočtom trojfázového obvodu (výpočet je možné vykonať za pomoci programu, ktorý je k dispozícii na PC).
- Z vypočítaných hodnôt zostrojte fázorový diagram napätí a prúdov spotrebiča.
- Úlohy 4., 5. a 6. zopakujte pre obrátený sled fáz trojfázového zdroja napätia.

### Zapojenie meracieho zariadenia:



$V$ ,  $V_{zdr}$ ,  $V_{NH}$  – voltmetre  
 $f$  – frekvenciomer  
 $R_N$  – regulačný rezistor

$A_A$ ,  $A_B$ ,  $A_C$ ,  $A_N$  – ampérmetre  
 MSF – merač sledu fáz

**Postup merania:**

1. Podľa bodu 1. realizujeme zapojenie meracieho zariadenia. Na prepovovacom paneli nastavíme predpísané zapojenie prvkov jednotlivých fáz trojfázového spotrebiča a prostredníctvom spojovacích vodičov a meracích prístrojov pripojíme cez trojfázový spínač k trojfázovému zdroju napätia.

2. Vykonáme základné merania na trojfázovom zdroji napätia v zmysle úlohy 2. Nameranú hodnotu frekvencie  $f$  využijeme na výpočet jednotlivých impedancií záťaže (úloha 3.).

Ak je pri trojfázovom zdroji vyvedený stredný vodič (bod N), môžeme takýto zdroj modelovať tromi zdrojmi napätia (fázové napätia), spojenými do uzla N. Odmerané združené napätie  $U_{zdr}$  by v prípade súmerného trojfázového zdroja (ideálneho) stačilo na stanovenie fázorov napätí potrebných na zostrojenie fázorového diagramu zdroja a pre nasledovné číselné riešenie obvodu.

Pri zvolení počiatocnej orientácie fázorov v komplexnej rovine ( $\varphi_0$ ) boli by veľkosti a fázy jednotlivých hodnôt napätí potrebných pre ďalšie počítanie definované.

Pretože trojfázový zdroj nie je ideálny ale má reálne vnútorné impedancie, budú hodnoty jednotlivých napätí zdroja v dôsledku nesúmerného zaťaženia v jednotlivých fázach rôzne. Počítanie s rôznymi hodnotami veľkostí napätí ako aj stanovenie fáz jednotlivých napätí výpočtom z nameraných hodnôt veľkostí napätí je málo presné. Preto ak je nesúmernosť v napätiach zdroja malá, môžeme s dostatočnou presnosťou postupovať tak, že napr. určíme veľkosť združeného napätia z aritmetického priemeru nameraných hodnôt jednotlivých združených napätí, a ďalej postupujeme ako by bol zdroj napätia súmerný.

3. Odmeriame veľkosti združených napätí a zapíšeme do tabuľky. Meranie na zdroji robíme v zaťaženom stave (pri pripojenej zvolenej trojfázovej záťaži).

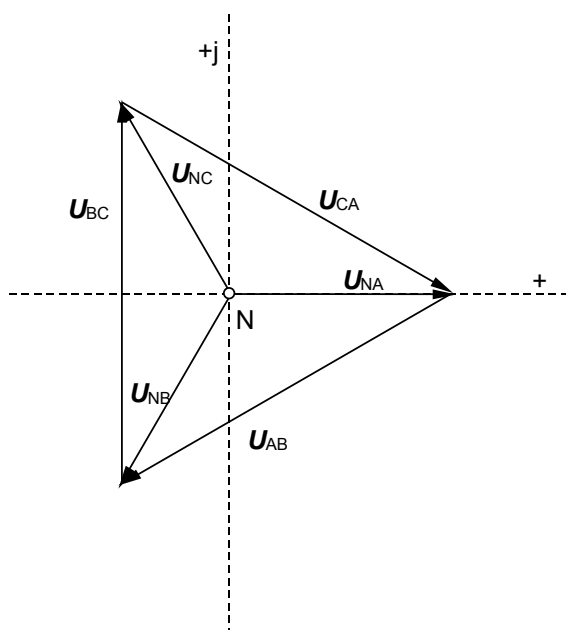
$f = \dots\dots$  Hz

$U_{AB}$ [V]	$U_{BC}$ [V]	$U_{CA}$ [V]	$U_{zdr}$ [V]	$U_f$ [V]

$$U_{zdr} = \frac{1}{3} \cdot (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})$$

$$U_f = \frac{U_{zdr}}{\sqrt{3}}$$

Fázorový diagram trojfáz. zdroja napätia pri zapojení do hviezdy:



Hodnoty fázových napätí sú:

$$U_{NA} = U_f \cdot e^{j\varphi_0}$$

$$U_{NB} = U_f \cdot e^{j\left(\varphi_0 - \frac{2\pi}{3}\right)}$$

$$U_{NC} = U_f \cdot e^{j\left(\varphi_0 + \frac{2\pi}{3}\right)}$$

Hodnoty združených napätí:

$$U_{AB} = U_{NB} - U_{NA}$$

$$U_{BC} = U_{NC} - U_{NB}$$

$$U_{CA} = U_{NA} - U_{NC}$$

Uhol  $\varphi_0$  je voliteľný uhol (pri sústave napätí podľa obrázku je  $\varphi_0 = 0$ ).

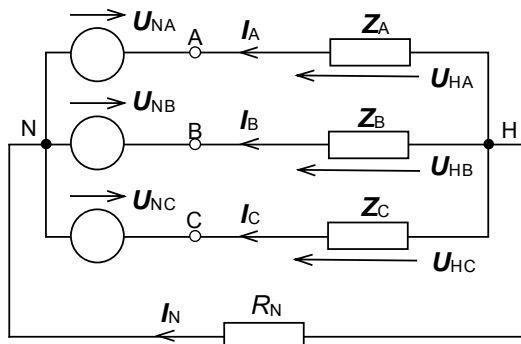
4. Podľa bodu 4. odmeriame veľkosti napätí na jednotlivých fázach trojfázového spotrebiča a prúdy tečúce jednotlivými fázami. Namerané hodnoty zapíšeme do nasledujúcej porovnávacej tabuľky:

$f = \dots\dots$  Hz sled fáz:.....

hodnoty	$U_{HA}$ [V]	$U_{HB}$ [V]	$U_{HC}$ [V]	$U_{HN}$ [V]	$I_A$ [A]	$I_B$ [A]	$I_C$ [A]	$I_N$ [A]
namerané								
vypočítané								

5. Vypočítame požadované napätia a prúdy do tabuľky. Na výpočet hodnôt použijeme vzťahy vhodné na riešenie náhradného obvodu, ktorým modelujeme vyšetrovaný trojfázový obvod.

Pri zvolenom zapojení zdroja aj spotrebiča do hviezdy podľa nasledujúceho obrázku vychádzame zo vzťahu pre uzlovú metódu (uzlové napätie  $U_{NH}$ ).



Napätia na jednotlivých impedanciách:

$$U_{HA} = U_{NA} - U_{NH}$$

$$U_{HB} = U_{NB} - U_{NH}$$

$$U_{HC} = U_{NC} - U_{NH}$$

Prúdy vo vedení:

$$I_A = \frac{U_{NA} - U_{NH}}{Z_A}$$

$$I_B = \frac{U_{NB} - U_{NH}}{Z_B}$$

$$I_C = \frac{U_{NC} - U_{NH}}{Z_C}$$

$$I_N = \frac{-U_{NH}}{Z_N}$$

Napätie medzi uzlami N a H:

$$U_{NH} = \frac{\frac{U_{NA}}{Z_A} + \frac{U_{NB}}{Z_B} + \frac{U_{NC}}{Z_C}}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_N}}$$

Pri spojení trojfázového zdroja so spotrebičom troma vodičmi (bez nulového vodiča) a zadaných združených napätiach zdroja je možné vypočítať prúdy trojfázového spotrebiča spojeného do hviezdy nasledovne

$$I_A = \frac{U_{CA} \cdot Z_B - U_{AB} \cdot Z_C}{Z_A \cdot Z_B + Z_B \cdot Z_C + Z_C \cdot Z_A}$$

$$I_B = \frac{U_{AB} \cdot Z_C - U_{BC} \cdot Z_A}{Z_A \cdot Z_B + Z_B \cdot Z_C + Z_C \cdot Z_A}$$

$$I_C = \frac{U_{BC} \cdot Z_A - U_{CA} \cdot Z_B}{Z_A \cdot Z_B + Z_B \cdot Z_C + Z_C \cdot Z_A}$$

pričom napätia na impedanciách sú:

$$U_{HA} = Z_A \cdot I_A$$

$$U_{HB} = Z_B \cdot I_B$$

$$U_{HC} = Z_C \cdot I_C$$

6. Z vypočítaných hodnôt napätí a prúdov spotrebiča zostrojíme vo vhodných mierkach pre napätie a prúd fázorový diagram napätí a prúdov.

7. Meranie a výpočet opakujeme pre obrátený sled fáz.