



**Тема: “Симетрування неповнофазних режимів в розподільних  
електричних мережах ”**

Виконала ст.гр. 1ЕСМ-16м:

Заєць Н.В.

Керівник дипломної роботи:

к.т.н., професор

Леонтьєв В.О.

## ***Причини виникнення несиметричних режимів:***

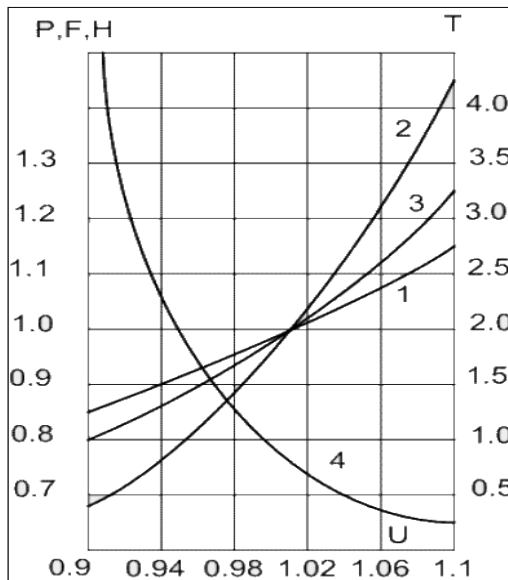
- Неоднакові навантаження в різних фазах;
- Неповнофазна робота ліній або інших елементів в мережі;
- Різні параметри ліній в різних фазах.

## ***Види несиметрії:***

- Систематична: обумовлена постійним перевантаженням однієї фази;
- Імовірнісна: відповідає непостійним навантаженням різних фаз.

## ***Вплив несиметрії напруг на елементи електричної мережі:***

### ***Лампи розжарювання***



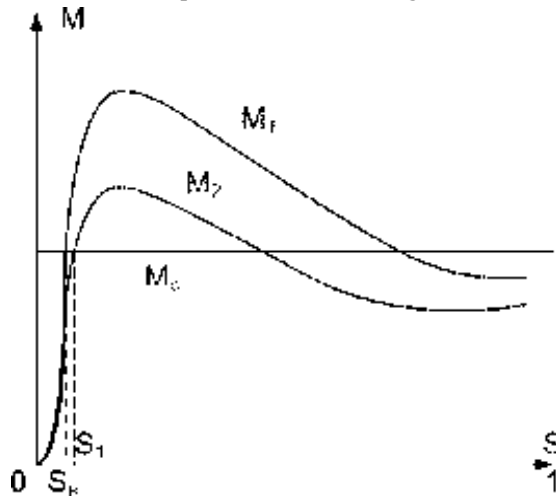
- 1 – споживана потужність,  
2 – світловий потік,  
3 – світлова віддача,  
4 – термін служби.

### ***Люмінесцентні лампи***

- Зі зниженням напруги світловий потік падає;
- Зі збільшенням напруги вище номінальної, збільшується світловий потік, потужність лампи, світлова віддача але при цьому зменшується термін служби ламп.

- При зниженій напрузі умови запалювання ламп погіршується;
- При збільшенні напруги збільшується споживана потужність та світловий потік;
- Термін служби ламп скорочується при будь-яких відхиленнях напруги.

## Електричні двигуни



Механічна характеристика двигуна при номінальній (M1) і зниженій (M2) напрузі.

$$t = 610 \ln \frac{(1,1 \cdot 1,73 \cdot k_3)^2 - k_3^2}{(1,1 \cdot 1,73 \cdot k_3)^2 - 1,4} = 610 \ln \frac{2,6 k_3^2}{3,6 k_3^2 - 1,4} \quad (2)$$

Тривалість роботи електродвигуна в однофазному режимі:

$k_3$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
$k_0$	1,21	1,3	1,38	1,47	1,56	1,64	1,73
t (сек)	770	526	374	275	196	149	104
t (хв)	12,8	8,76	6,2	4,58	3,27	2,48	1,73

- При зміні напруги змінюється механічна характеристика – залежність моменту від ковзання чи частоти: при зниженні напруги момент та частота обертання зменшується оскільки збільшується його ковзання.
- Залежність частоти обертання від напруги:

$$n = n_c \left( 1 - k_3 \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{U^2} \cdot S_{\text{НОМ}} \right)$$

Наприклад для двигуна (АО 83-4,55 кВт, 1470 об/хв, 220/380В, 178/103А):

Перевантажувальна здатність двигуна:

$$t = T \ln \frac{k_0^2 - k_3^2}{k_0^2 - \frac{\tau}{\tau_H}} \quad (1)$$

$k_0$  - кратність струму в однофазному режимі двигуна

$k_3$  - кратність струму в трифазному режимі двигуна

$\tau$  - перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища

$\tau_H$  - номінальне перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища

$T$  - постійна часу нагрівання обмотки

**Висновок:** З наведеного аналізу випливає, що двигуни в однофазному режимі при навантаженні, близькому до номінального, можуть працювати протягом невеликого часу.

## ***Схеми симетрування неповнофазних режимів:***

- Система “два проводи-земля” (ДПЗ) в якій заземлюється вивід трансформатора обмотки однієї фази, а дві інші відносно землі під лінійною напругою – в мережах з ізолюваною нейтраллю.
- Система роботи двох фаз при відключення третьої або роботи на одній фазі при відключенні двох інших, яка використовується у мережах із глухим заземленням.
- Спосіб розосередженого заземлення.
- Включення на стороні нижчої напруги підвищувального трансформатора електричної станції до двох фаз ємнісних опорів.
- Включення у нейтраль трансформатора батареї конденсаторів.

Розглянуті вище СП можуть бути використані в мережах із глухо-заземленою нейтраллю.

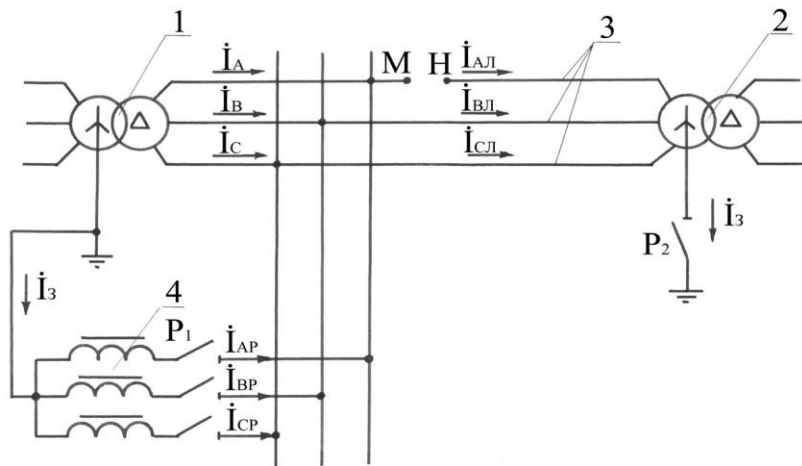
У мережах з ізолюваною нейтраллю при відсутності однієї фази виникає однофазний режим, тому застосування відомих засобів симетрування неможливе. У розглянутому випадку можуть бути використані:

- Перетворювачі однофазної напруги у трифазну,
- Індуктивно-ємнісні перетворювачі,
- Фазоперетворювальні пристрої.

## ***Вимоги до симетрувальних пристроїв:***

- Підтримка заданого режиму у всьому діапазоні зміни величини і характеру навантаження.
- Забезпечення високих енергетичних показників симетрування
- Мінімальна встановлена потужність силової частини.
- Висока надійність роботи.
- Простота системи керування.
- Мала вага та розміри.

# ССЕМ з реактором у тракті нульової послідовності



- 1 – живильна підстанція;
- 2 – приймальна підстанція;
- 3 – лінія, що працює у неповнофазному режимі;
- 4 – тристержневий реактор.

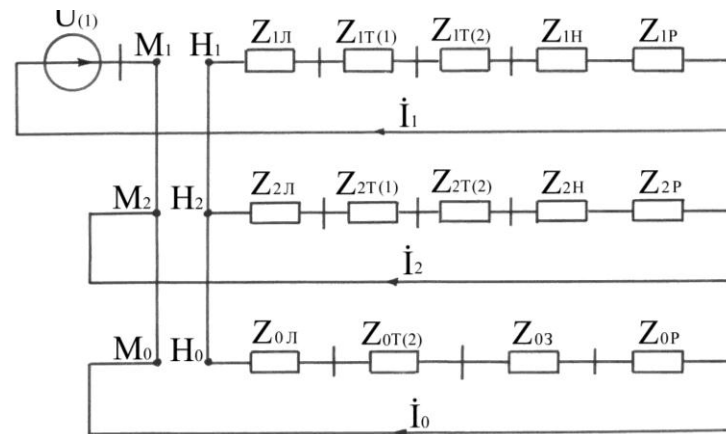
Рівняння для визначення параметрів неповнофазного режиму:

Струми прямої, зворотної, нульової послідовності :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} Z_{0\Sigma} / Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (11)$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{0\Sigma} + Z_{2\Sigma}} \quad (12)$$

$$\dot{I}_0 = -\dot{I}_1 \frac{Z_{2\Sigma}}{Z_{0\Sigma} + Z_{2\Sigma}} \quad (13)$$



Комплексна схема заміщення відносно місця розриву М-Н

Струми в лініях:

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_{AL} \\ \dot{I}_{BL} \\ \dot{I}_{CL} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Фазні значення напруги прямої, зворотної і нульової послідовностей:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{1H} &= \dot{I}_1 Z_{1H} \\ \dot{U}_{2H} &= \dot{I}_2 Z_{2H} \\ \dot{U}_{0H} &= \dot{I}_0 Z_{0T(2)} \end{aligned} \quad (16)$$

По кожній фазі реактора протікають 1/3 струму, тоді:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AP} &= \dot{I}_{AP(1)} + \dot{I}_{AP(2)} + \dot{I}_{P(0)} \\ \dot{I}_{BP} &= \dot{I}_{BP(1)} + \dot{I}_{BP(2)} + \dot{I}_{P(0)} \\ \dot{I}_{CP} &= \dot{I}_{CP(1)} + \dot{I}_{CP(2)} + \dot{I}_{P(0)} \end{aligned} \quad (17)$$

Для реактора струми прямої і зворотної послідовностей приблизно рівні струму холостого ходу і мають малу величину, тому :

$$\dot{I}_{AP} = \dot{I}_{BP} = \dot{I}_{CP} \cong 1/3 \dot{I}_3 = \dot{I}_{P(0)} \quad (18)$$

Струми, що протікають в джерелі живлення:

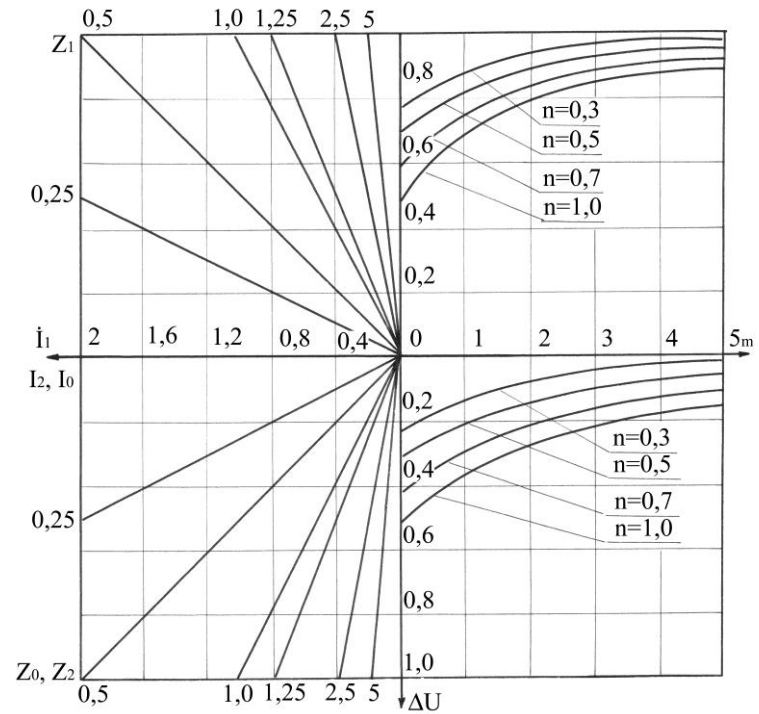
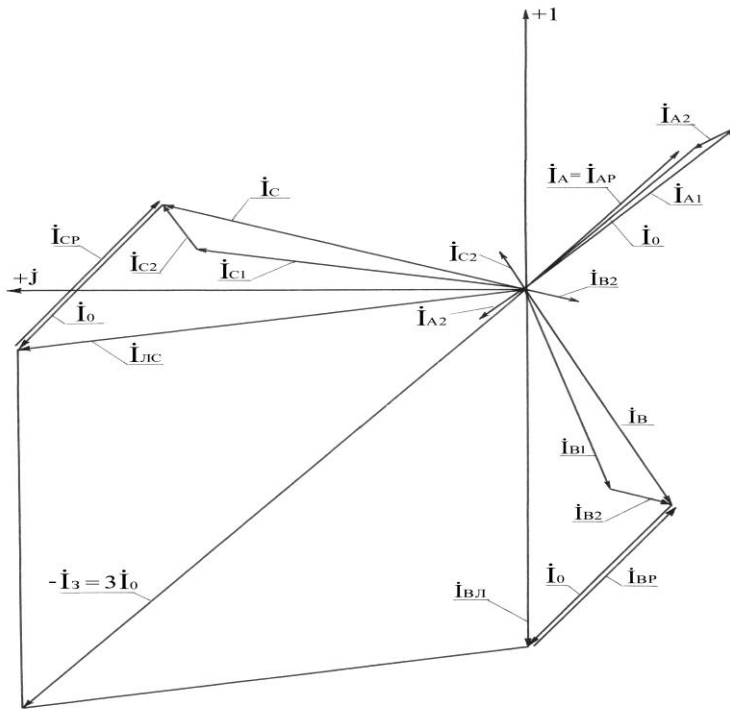
$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AP} \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BP} + \dot{I}_{BL} \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CP} + \dot{I}_{CL} \quad (19)$$

Для оцінювання практичної можливості використання запропонованої методики наведений приклад розрахунку ЛЕП-10 кВ у неповнофазному режимі при відключенні фази А.

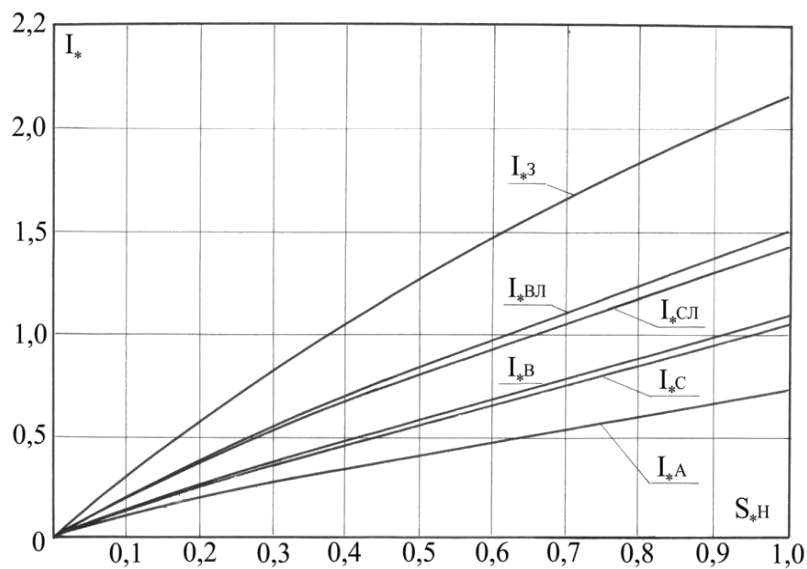
Модулі фазних струмів, А							Лінійні значення напруги на шинах навантаження, В		
$I_{AL}$	$I_{BL}$	$I_{CL}$	$I_3$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$
0	13,48	13,25	20,75	6,92	9,39	9,07	350	380	361

Для ілюстрації розрахунку наведена векторна діаграма симетричних складових і повних струмів:

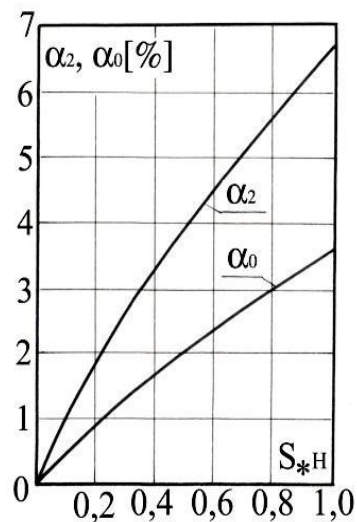
У практичних розрахунках виникає необхідність визначати симетричні складові струмів лінії і напруги в місці розриву. При цьому можна використовувати наступні номограми.



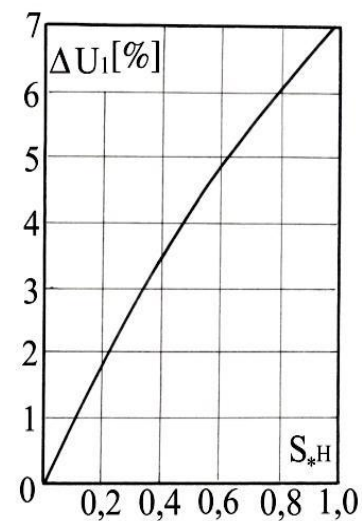
Залежність відносних значень струмів в ССНР з реактором у контурі нульової послідовності від потужності



Залежність відносних значень ступені несиметрії і напруги нульової послідовності (а), напруги прямої послідовності (б) від потужності навантаження



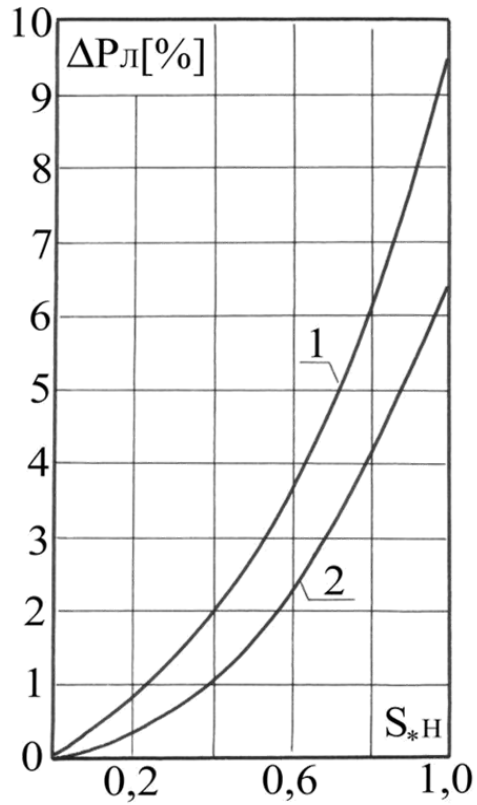
(а)



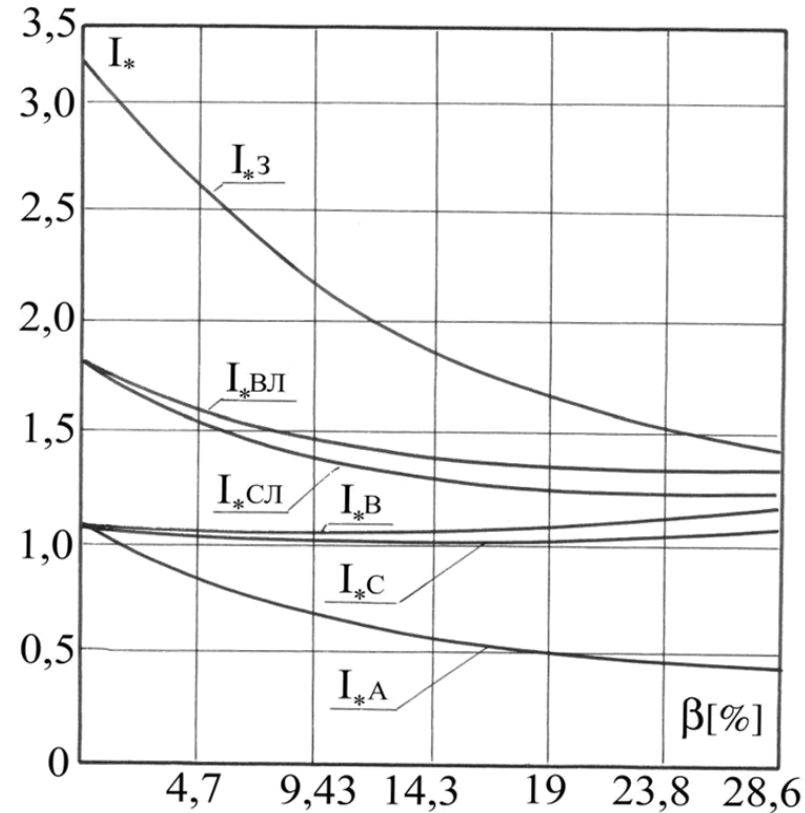
(б)



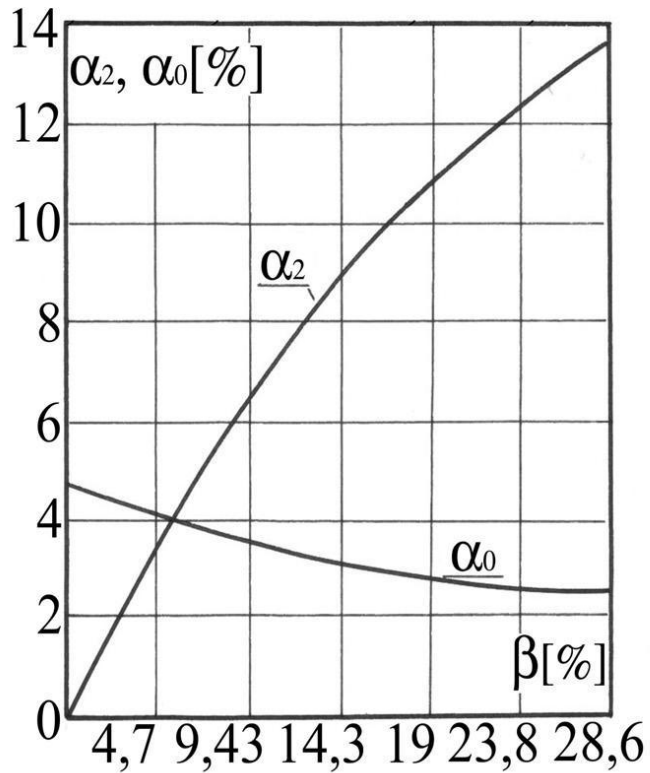
- Зміна втрат потужності:
- 1 – в ССНР з реактором в контурі нульової послідовності;
  - 2 – при трьохфазному режимі від потужності навантаження.



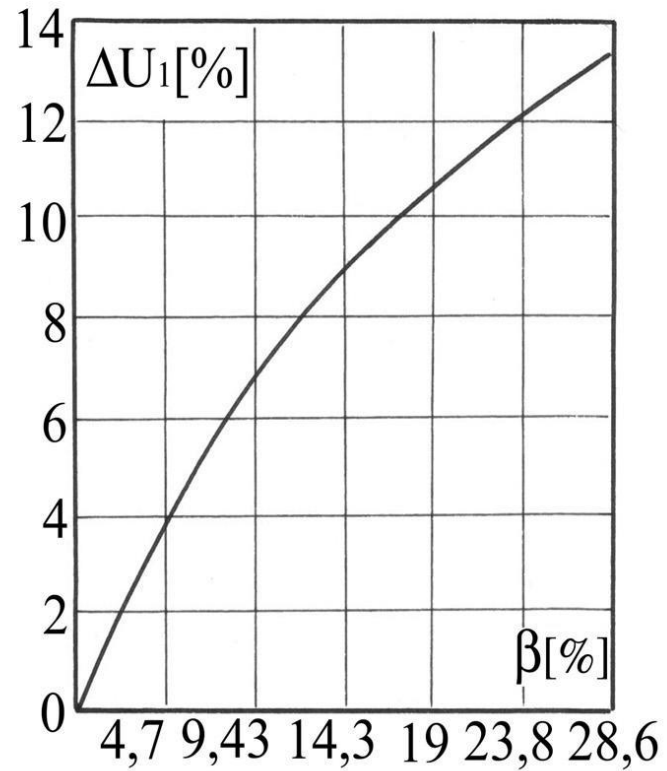
Зміна відносних значень струмів в ССНР з реактором у контурі нульової послідовності від узагальненого параметра  $\beta = 100 Z_{*0\Sigma} / Z_{*1\Sigma}$



Графіки зміни відносних значень ступеня несиметрії і напруги нульової послідовності (а); зниження напруги прямої послідовності (б) у залежності від узагальненого параметра  $\beta = 100 Z_{*0\Sigma} / Z_{*1\Sigma}$



(a)



(б)

## Техніко-економічна частина

Вхідні дані:

Живильна підстанція - 110/35 кВ обладнана трансформатором

ТДТНЖ - 25000/110, приймальна підстанція - 35/10 кВ має в своєму складі трансформатор

ТДНС -16000/35. ЛЕП 35 кВ має довжину 16 км та виконана проводом АС – 120/19.

Для симетрувальної схеми використовується реактор РТМ - 20000/35 У1 і роз'єднувачі ОДЗ - 35/630.

Повна потужність навантаження S складає 20 МВА, згідно статистичних даних обриви однієї з фаз

ЛЕП 35 кВ стануться в середньому пав= 5 разів в рік на 100 км ЛЕП. Планові відключення лінії відбуваються 40 разів на рік. Час потрібний на ліквідацію обриву tпер становить 1 година.  $\cos \varphi = 0,9$ .

Капітальні витрати на встановлення СП:

$$K_{сп} = 101024 + 4 \cdot 12000 = 149024 \text{ (грн)}.$$

Збиток від недовідпущеної електроенергії:

$$З_6 = 38880 \cdot 2 = 77760 \text{ (грн)}.$$

Затрати без СП будуть характеризуватись лише збитками по недовідпуску електроенергії, тоді:

$$З_1 = 0.12 \cdot 0 + 0 + 77760 = 77760 \text{ (грн)}.$$

Затрати на встановлення СП:

$$З_2 = 0.12 \cdot 149024 + (1188+1200+4470,72+5960,96+13412,16) + 0 = 44114.72 \text{ (грн)}.$$

Термін окупності і абсолютний економічний ефект становить:

$$T_{ок} = \frac{149024}{77760 - \frac{16}{100} \cdot 77760} = 3 \text{ (роки)}$$

$$E = \frac{149024}{3} \cdot (1 - 0.12 \cdot 3) = 31791.8 \text{ (грн)}$$

## Висновок:

В наш час несиметричні режими роботи мережі слід вважати нормальними режимами оскільки у зв'язку з наявністю в системі великої кількості джерел несиметрії, уникнути дане явище або повністю нейтралізувати його вплив на параметри роботи електроенергетичної системи неможливо. Основними джерелами несиметрії в електричних мережах (ЕМ) є:

- Неоднакові навантаження в різних фазах;
- Підключення енергоємних несиметричних споживачів;
- Неповнофазна робота ліній або інших елементів ЕМ;
- Різні параметри ліній в різних фазах.

Несиметричні режими негативно впливають на роботу приймачів та приносять значні збитки, тому виникає необхідність в засобах симетрування напруги, оскільки спотворення зірки напруг в ЕМ є джерелом великих втрат

Проведений аналіз показав, що найбільш ефективним шляхом підвищення надійності електропостачання споживачів і поліпшення якості електроенергії при неповнофазних режимах ЛЕП є розробка, дослідження і впровадження централізованих схем симетрування, що забезпечують тривалу роботу мережі в неповнофазному режимі.

Для ефективного симетрування неповнофазних режимів доцільне використання запропонованих ССЕМ з реактором і конденсатором в тракці нульової послідовності, а також СП, у тому числі на основі однофазних трансформаторів;

Розроблені методи дозволяють проводити розрахунки, аналіз і оптимізацію СП.

Аналіз ССЕМ у різних режимах навантаження показав, що СП забезпечують симетричний режим приймальних підстанцій.