

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки
до виконання курсового проекту

для студентів ЗДІА
спеціальності 7.000008 "Енергетичний менеджмент"
всіх форм навчання

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ЕМ,
протокол № 11 від 04.06.2004 р.

18.04.05 Мосиенко 1339
21.09.05 Гриньук 2953
30.10.06 Плекун 5538

Системи виробництва і забезпечення якості електричної енергії.
Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів ЗДІА спеціальності 7.000008 “Енергетичний менеджмент” всіх форм навчання
/Укл.: Ю.Г. Качан, С.А. Левченко. – Запоріжжя, 2004. – 20 с.

Укладачі: **Ю.Г. Качан, докт. техн. наук, професор**
С.А. Левченко, ст. викладач

Відповідальний за випуск : **зав. кафедрою ЕМ**
докт. техн. наук, професор Ю.Г. Качан

8/4
Запорізька державна
інженерна академія
БІБЛІОТЕКА

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ І ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

- 1.1. Передбачений в цій навчальній дисципліні курсовий проект охоплює матеріал таких розділів робочої програми як: “Характеристика якості електроенергії” та “Методи і засоби підвищення якості електроенергії”.
- 1.2. Перед виконанням курсового проекту слід опрацювати теоретичний матеріал зазначених в п. 1.1. розділів курсу, користуючись навчальною літературою, список якої наведений в кінці посібника, а також опанувати методику рішення відповідних задач в цих розділах.
- 1.3. Виконання роботи повинно супроводжуватись пояснюючим текстом з посиланням на джерело, де взяті розрахункові формули, співвідношення, тощо.
- 1.4. Курсовий проект виконується у вигляді зброшурованих аркушів формату А4, на титулі вказується група, ініціали та прізвище студента. Графічна частина виконується на форматі А1 (дозволяється використання формату А2, якщо це доцільно).
- 1.5. Електричні схеми повинні бути накреслені за допомогою відповідних технічних засобів з додержанням стандартів на їх виконання.
- 1.6. Подання формул, таблиць, рисунків повинно відповідати діючим вимогам щодо оформлення курсових і дипломних проектів.
- 1.7. Курсовий проект, після його перевірки керівником, підлягає публічному захисту, після чого виставляється оцінка.
- 1.8. Якщо робота не захищена, то всі необхідні поправки робляться в її кінці у розділі “Робота над помилками”. Вносити будь-які виправлення в пояснювальну записку або креслення після перевірки викладачем не дозволяються.

2. ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

- 2.1. Зміст курсового проекту відповідає назві “Розробка фільтросиметруючого пристрою для забезпечення якості електроенергії”.
- 2.2. Мета роботи – придбання навичок розрахунку коефіцієнтів несиметрії і несинусоїдальності напруги; оволодіння методикою розрахунку параметрів фільтро-симетруючого пристрою для покращення показників якості електроенергії.
- 2.3. Вихідні дані та об’єм роботи задаються керівником проекту кожному студенту особисто у вигляді:

ЗАВДАННЯ

на курсовий проект по дисципліні

“Системи виробництва і забезпечення якості електроенергії”

Тема “Розробка фільтросиметруючого пристрою для забезпечення якості електроенергії”

Студент гр. ЕМ- _____

Спеціальність 7.000008 “ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ”

ВИХІДНІ ДАНІ

1. Потужність однофазного навантаження (фази _____), $S = \text{_____ MVA}$
2. Коефіцієнт потужності однофазного навантаження, $\cos\varphi = \text{_____}$
3. Номінальна напруга мережі, $U_H = \text{_____ kV}$
4. Потужність КЗ у точці підключення навантаження, $S_{K3} = \text{_____ MVA}$
5. Кількість фаз вентильного перетворювача (ВП) _____
6. Потужність навантаження на ВП $S_{ВП} = \text{_____}$
7. Відносні рівні гармонік напруги у мережі $U_{11*} = \text{_____}\%$, $U_{13*} = \text{_____}\%$

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вибрати лінійні напруги, на які вмикається фільтросиметруючий пристрій, і співвідношення потужностей конденсаторів, які визначаються умовами симетрування напруги.
2. Розрахувати залишкові значення напруг гармонік і коефіцієнт несинусоїдальності.
3. Привести схему підстанції з однофазним навантаженням, джерелом гармонік, фільтросиметруючим пристроєм та іншим електрообладнанням (формат А1 або А2).

Завдання видане “_____” _____ 20 р.
Термін здачі “_____” _____ 20 р.

Завдання видав _____

3. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Довгий час розвиток енергетики нашої країни супроводжувався недооцінюванням, а часто й ігноруванням проблем якості електричної енергії, що сприяло масовому порушенню електромагнітної сумісності електричних мереж споживачів та енергоносіїв. Якість електричної енергії із року в рік погіршується, тоді як вимоги до неї все більше зростають. Зараз склалося дуже важке становище, коли новітні технологічні процеси, автоматичні лінії, обчислювальна, вакуумна, мікропроцесорна техніка, телемеханіка, при теперішній якості електричної енергії вже надійно працювати не можуть.

Інтенсифікація виробничих процесів, підвищення продуктивності праці пов'язані з удосконаленням існуючих та запровадженням нових передових технологій. З останнім пов'язане широке застосування пристроїв, які за своїм принципом дії погано впливають на якість електричної енергії в електричних мережах.

Якість електроенергії є сукупність параметрів, що характеризують особливості процесу передачі електроенергії для її використання у нормальних умовах експлуатації, які визначають безперервність електропостачання і характеризують напругу живлення (величину, несиметрію, частоту, форму хвилі).

3.1. Розрахунок несиметричних напруг.

Найбільш відомими джерелами несиметрії в трифазних системах електропостачання промислових підприємств є потужні однофазні споживачі, наприклад індукційні плавильні та нагрівальні печі, зварювальні агрегати, установки електрошлакового переплаву (ЕШП), а також трифазні електроприймачі з нерівномірним навантаженням фаз, тощо.

Коефіцієнт несиметрії напруг оцінюють як відношення напруги зворотної послідовності основної частоти, яку визначають розкладанням на симетричні складові системи лінійних напруг до номінальної лінійної напруги, %:

$$K_{20} = \frac{U_2}{U_H} = \frac{(U_{AB} + a^2 U_{BC} + a U_{CA})}{3U_H} 100, \quad (3.1)$$

де a – фазовий оператор ($a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$).

Для розрахунків несиметричних режимів, а також вірного вибору технічних засобів, призначених для зниження несиметрії, необхідне знання опорів зворотної послідовності всіх елементів електричних мереж і електрообладнання. Формули для визначення опорів зворотної послідовності елементів промислових електричних мереж зведені в табл.3.1

Таблиця 3.1.

Формули розрахунку опорів зворотної послідовності.

Електроприймачі (елементи мережі)	Формули для розрахунку опорів зворотної послідовності	Примітки
Синхронні електродвигуни	$X_{2c} = \frac{U_H^2}{S_H} \cdot X_{2*}$	При відсутності каталожних даних приймають $X_{2*} = 0,24$; U_H , кВ; S_H , МВА
Асинхронні електродвигуни	$X_{2a} = \frac{U_H^2}{S_H} \cdot X_{k*}$	$X_{k*} = \frac{1}{k_H}$, де k_H - кратність пускового струму
Двообмоточні трансформатори та реактори	$X_{2T} = \frac{U_H^2}{S_H} \cdot e_{k*}$	e_{k*} - відносне значення ЕРС КЗ. Для реакторів замість e_{k*} приймають X_{p*} .
Триобмоточні трансформатори розщепленими обмотками, подвійні реактори для кожної обмотки	$X_{2P} = \frac{U_H^2}{S_H} \cdot X_*$	X_* - відносна реактивність обмотки
Батарей конденсаторів	$X_{2BK} = \frac{U_H^2}{Q_{BK}}$	Q_{BK} , Мвар
Вентильні перетворювачі	$X_{2BP} = 2,5 \cdot \frac{U_H^2}{Q}$	Q-реактивне навантаження перетворювача, Мвар; $Z = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi$, де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності перетворювача навантаженням S.
Електродугові сталеплавильні печі	$Z_{2П} = \frac{U_H^2}{S}$	
Постачаюча енергосистема	$X_{2c} = \frac{U_H^2}{S_{КЗ}}$	$S_{КЗ}$ - потужність КЗ мережі.
Освітлювальні навантаження: 1) 3-фазна група ламп розжарювання 2) люмінесцентні та ртутні лампи	$Z_{2H} = 4 \frac{U_H^2}{P}$ $Z_{2Л} = 0,71 \frac{U_H^2}{S}$	P-активна потужність навантаження, МВт S-повна потужність навантаження, МВА.

Напругу зворотної послідовності в розподільних мережах, підключених до основних мереж енергетичних систем, можна визначити за формулою:

$$U_2 = I_2 X_{КЗ}, \quad (3.2)$$

де $X_{КЗ}$ - опір короткого замикання, Ом; I_2 - значення струму зворотної послідовності в мережі, яке обумовлене підключенням несиметричних навантажень, А.

В розподільних мережах, які живляться від автономних або малопотужних енергетичних систем ($S_{КЗ} \leq 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$), при визначенні напруги зворотної послідовності рекомендується користуватись виразом

$$U_2 = I_2 X_{2\Sigma}, \quad (3.3)$$

де $X_{2\Sigma}$ - еквівалентний опір зворотної послідовності мережі, Ом.

Струм зворотної послідовності I_2 , обумовлений підключенням однофазних навантажень I_{AB} та I_{BC} на лінійні напруги U_{AB} та U_{BC} і початкову фазу цього струму ψ_{I_2} визначають за формулами:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6} \sqrt{3I_{AB}^2 + (I_{AB} - 2I_{BC})^2} \cdot e^{j\psi_{I_2}}; \quad (3.4)$$

$$\psi_{I_2} = \arctg \frac{\sqrt{3}I_{AB}}{I_{AB} - 2I_{BC}} - \varphi_n; \quad (3.5)$$

де φ_n - фазний кут навантажень.

Якщо відомі повні потужності навантажень S_{AB} та S_{BC} , то струм I_2 визначають за виразом:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6U_H} \sqrt{3 \cdot S_{AB}^2 + (S_{AB} - 2S_{BC})^2} \cdot e^{j\psi_{I_2}}; \quad (3.6)$$

$$\psi_{I_2} = \arctg \frac{\sqrt{3}S_{AB}}{S_{AB} - 2 \cdot S_{BC}} - \varphi_n. \quad (3.7)$$

Для однофазного навантаження:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} I_{AB} \cdot e^{j\frac{\pi}{3}} = \frac{\sqrt{3} S_{AB}}{3 U_H} e^{j(\frac{\pi}{3} - \varphi)}. \quad (3.8)$$

У випадку увімкнення однофазних навантажень на інші лінійні напруги U_{BC} або U_{CA} до значення ψ_2 , визначеного за виразами (3.5) або (3.7) (для однофазного навантаження $\psi_2 = \pi/3 - \varphi_n$), додають відповідно $\frac{2}{3}\pi$ або $\frac{4}{3}\pi$.

Для электродуговых сталеплавильных печей (ЕДСП) найбільше значення струму зворотної послідовності в режимі розплаву можна оцінити за співвідношенням $I_2=0,6I_{нп}$, де $I_{нп}$ - номінальний струм печі. Комплекс повного опору зворотної послідовності вузла мережі підприємства в цьому випадку визначається наступним чином:

$$Z_{2\Sigma} = \frac{U_H^2}{\sqrt{4S_H^2 + (S_{КЗ} + 2,67S_H - Q_{БК})^2}} \cdot e^{j\psi_{2\Sigma}}; \quad (3.9)$$

$$\psi_{2\Sigma} = \arctg \frac{1 + 2,67K_H - K_{БК}}{2K_H}; \quad (3.10)$$

де $S_H, S_{КЗ}, Q_{БК}$ - відповідно потужність узагальненого навантаження, КЗ та БК:

$$K_H = \frac{S_H}{S_{КЗ}}; \quad K_{БК} = \frac{Q_{БК}}{S_{КЗ}}. \quad (3.11)$$

Зазвичай для вузлів навантаження підприємств опір зворотної послідовності є реактивним індуктивним.

3.2. Розрахунок несинусоїдальності напруг

Джерелами вищих гармонік струму та напруги є електроприймачі з нелінійними навантаженнями: вентиляльні перетворювачі, ЕДСП, установки електродугового зварювання, газорозрядні лампи тощо.

Несинусоїдальність форми кривої напруги характеризується коефіцієнтом несинусоїдальності:

$$K_{НС} = \sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{U_1^2}} \cdot 100\% \approx \sqrt{\sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{U_H^2}} \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

де U_v та U_1 - напруги v -ї та 1-ї гармонік (фазні або лінійні); n - номер останньої з гармонік, що обліковуються.

Для розрахунку U_v необхідно попередньо визначити струм відповідної гармоніки, який залежить не тільки від характеристики електричної мережі, а й від виду нелінійного навантаження.

У таблиці 3.2 зведені порядок гармонік струму, які підлягають розрахунку і формули для їх визначення стосовно різних типів джерел. При постійному навантаженні декількох джерел гармонік, еквівалентні величини їх розраховують за виразом:

$$I_{v\Sigma} = \frac{S_{\Sigma} \cdot K_{v\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_v}, \quad (3.13)$$

де S_{Σ} - розрахункове значення повної потужності перетворювачів, МВ·А; $K_{v\Sigma}$ - коефіцієнт, який враховує наявність зсуву фаз між гармоніками струму окремих перетворювачів. Для $v=5$ приймають $K_{v\Sigma}=0,9$ і для $v=11; 13$ - $K_{v\Sigma}=0,75$.

Таблиця 3.2.

Формули розрахунку гармонік струму

Джерело вищих гармонік	Порядок гармонік	Формули розрахунку
Вентиляльні перетворювачі (нерегульовані) 6-фазна схема випрямлення 12-фазна схема випрямлення	5; 7; 11; 13 11; 13	$I_v = I_H / v$, де v - порядок гармоніки; I_H - номінальний струм перетворювача, А
Тиристорні перетворювачі ТПЧ-800 з 3-фазною мостовою схемою	5; 7; 11; 13	$I_v = I_H [1,11(v \pm 1)]$, де для $v=5; 13$ приймають "+", для $v=7; 11$ - "-"
Дугові сталеплавильні печі (у режимі розплаву)	2; 3; 4; 5; 7	$I_v = 1,25 I_H / v^2$, де I_H - номінальний струм печі, А
Силові магнітні підсилювачі УСО-80	3; 5; 7	$I_3 = 10\% I_H$ $I_5 = 25\% I_H$ $I_7 = 30\% I_H$
Установки дугової електрозварки, які живляться від випрямачів, зібраних за 3-фазною мостовою схемою	5; 7; 11; 13;	$I_v = I_1 / v^2$, де I_1 - перша гармоніка лінійного струму випрямляча зі сторони живлення, А
Газорозрядні лампи	3; 5	$I_3 = 0,1 I_1 \cdot 100$ $I_5 = 0,03 I_1 \cdot 100$, де I_1 - струм першої гармоніки, А

3.3. Розрахунок параметрів симетруючого пристрою (СП)

2. Слід зауважити, що симетруючі пристрої є джерелами реактивної ємнісної потужності. Тому СП виконують подвійні функції - симетрують напруги і компенсують реактивну індуктивну потужність підприємства, тим самим підвищуючи його $\cos \phi$.

Сумарна потужність батарей конденсаторів двофазного симетруючого пристрою знаходять за формулою:

$$Q_{\Sigma} = 2\sqrt{3} K I_2 U_{НБ} \sin(\psi_2 + \xi), \quad (3.14)$$

4. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

де $P_{AB(BC)}$ - коефіцієнти, що розраховуються за формулою:

$$P_{AB(BC)} = \frac{1}{1 + \frac{3K_{pAB(BC)}v_p^2}{1 - v_{q^*}^2}} \quad (3.19)$$

Тут v_p - номер гармоніки, на частоту якої настроєн ФСП; v_{q^*} - відносна частота v_q -й гармоніки, яка протікає крізь ФСП; $K_{pAB(BC)}$ - відносна потужність батареї ФСП. Останні дві величини визначаються за формулами:

$$v_{q^*} = \frac{v_p}{v_q} \quad (3.20)$$

$$K_{pAB(BC)} = \frac{Q_{BK}^{AB(BC)}}{S_{K3}} \quad (3.21)$$

де S_{K3} - потужність КЗ на шини ФСП.

Сумарна потужність БК ФСП задається умовами фільтрації гармонік і не повинна перевищувати оптимальної реактивної потужності для заданого вузла мережі. Якщо потужність БК ФСП буде недостатньою за умовами перевантаження їх струмами вищих гармонік, потрібно знизити частоту налаштування фільтра.

При значенні $K_p \leq 1.5 \cdot 10^{-2}$ відхилення частоти налаштування від резонансної допускається у межах $\pm 5\%$. У цьому випадку рекомендується приймати $v_p = 5$ при наявності в мережі шестифазних вентильних перетворювачів і $v_p = 11$ - при наявності дванадцятифазних перетворювачів. Відносні значення гармонік напруги у складі лінійних напруг мережі після установки ФСП, налаштованого на частоту v_q -й гармоніки і увімкненого на лінійні напруги U_{AB} та U_{BC} (по відношенню їх значень до установки ФСП), знаходять за формулами:

$$U_{v^*AB} = \frac{P_{AB} \sqrt{3(1 + P_{BC} + P_{BC}^2)}}{1 + P_{AB} + P_{BC}} \quad (3.22)$$

$$U_{v^*BC} = \frac{P_{BC} \sqrt{3(1 + P_{AB} + P_{AB}^2)}}{1 + P_{AB} + P_{BC}} \quad (3.23)$$

$$U_{v^*CA} = \frac{\sqrt{3(P_{AB}^2 + P_{BC}^2 + P_{AB} \cdot P_{BC})}}{1 + P_{AB} + P_{BC}} \quad (3.24)$$

При $K_p \geq 1.5 \cdot 10^{-2}$ можна вважати $U_{v^*AB(BC)} = 1 - \sigma_{vq^*}^{AB(BC)}$.

Приклад 1

Визначити коефіцієнт несиметрії лінійних напруг на шини підстанції.

Вихідні дані:

- потужність однофазного навантаження $S_{AB} = 2,5$ МВА, $S_{BC} = 2,5$ МВА;
- потужність узагальненого навантаження $S_H = 12$ МВА;
- потужність встановленої батареї конденсаторів $Q_{BK} = 3,6$ Мвар;
- коефіцієнт потужності однофазного навантаження $\cos\varphi = 0,8$;
- номінальна напруга мережі $U_H = 6$ кВ;
- потужність КЗ в точці підключення навантаження $S_{K3} = 144$ МВА.

За виразом (3.6) визначимо струм зворотної послідовності:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6U_H} \sqrt{3 \cdot S_{AB}^2 + (S_{AB} - 2S_{BC})^2} = \frac{\sqrt{3}}{6 \cdot 6} \sqrt{3 \cdot 2500^2 + (2500 - 2 \cdot 2500)^2} = 240 \text{ А.}$$

Згідно формулам (3.11)

$$K_H = \frac{S_H}{S_{K3}} = \frac{12}{144} = 0,083; \quad K_{BK} = \frac{Q_{BK}}{S_{K3}} = \frac{3,6}{144} = 0,025$$

Модуль опору зворотної послідовності з формули (3.9) з урахуванням значень K_H та K_{BK}

$$Z_{2\Sigma} = \frac{U_H^2}{\sqrt{4S_H^2 + (S_{K3} + 2,67S_H - Q_{BK})^2}} = \frac{6,3^2}{144 \sqrt{4 \cdot 0,083^2 + (1 + 2 \cdot 67 \cdot 0,083 - 0,025)^2}} = 0,207 \text{ Ом.}$$

Напруга зворотної послідовності визначається за формулою:

$$U_2 = \sqrt{3} I_2 Z_2 = \sqrt{3} \cdot 240 \cdot 0,207 = 82,5 \text{ В.}$$

Коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності

$$K_{2w} = \frac{U_2}{U_H} = \frac{82,5}{6000} \cdot 100\% = 1,4\%$$

Висновок: так як коефіцієнт несиметрії $K_{2w} \leq 2\%$ установка СП не потрібна

Приклад 2

Однофазна піч потужністю $S_{AB} = 5$ МВА, $\cos\varphi = 1$ підключена до мережі 6 кВ електросталеплавильного цеху, який живиться від місцевої енергетичної системи. Потужність КЗ у точці підключення $S_{K3} = 144$ МВА. Значення

реактивної потужності трифазних електроприймачів, яку потрібно скампенсувати, становить $Q = 5400$ квар. Вибрати батареї конденсаторів СП.

Визначимо силу струму зворотної послідовності однофазного навантаження та його аргумент з формули (3.8)

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{S_{AB}}{U_H} = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{5000}{6} = 483 \text{ А}, \quad \psi_2 = \pi/3.$$

$$\psi_2 = \frac{\pi}{3} - \varphi$$

Опір КЗ

$$X_{K3} = \frac{U_H^2}{S_{K3}} = \frac{6^2}{144} = 0,25 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт несиметрії лінійної напруги

$$K_{2U} = \frac{\sqrt{3} I_2 X_{K3}}{U_H} = \frac{\sqrt{3} \cdot 483 \cdot 0,25}{6000} 100\% = 3,5\%.$$

Потужність батареї конденсаторів, необхідної для повного усунення несиметрії напруги ($K=1$), визначимо за формулою (3.14) з урахуванням положення вектора I_2 у III області ($\xi = \pi/3$)

$$Q_{\Sigma} = 2\sqrt{3} K I_2 U_{HB} \sin(\psi_2 + \xi) = 2\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 483 \cdot 6,3 \sin(60^\circ + 60^\circ) = 9100 \text{ квар.}$$

При потужності батареї 5400 квар несиметрія напруги зменшиться до

$$K_{2U*3AN} = K_{2U} \left(1 - \frac{Q}{Q_{\Sigma}}\right) = 3,5 \left(1 - \frac{5400}{9100}\right) = 1,3\%, \quad \text{—}$$

що буде вже допустимо.

Розподіл батарей по фазам відповідно рис.3.1 при $\psi_2 = \pi/3$:

$$Q_{BK}^{AB} = 5400 \cdot 0,34 = 1800 \text{ квар}; \quad Q_{BK}^{CA} = 5400 \cdot 0,66 = 3600 \text{ квар.}$$

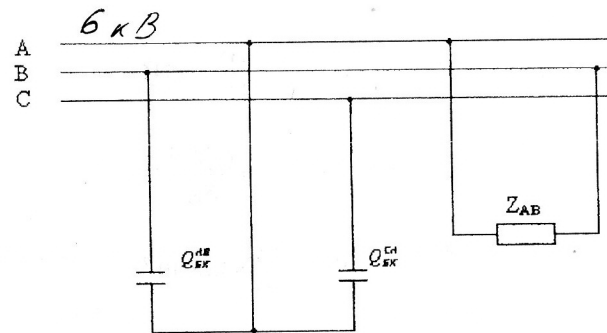


Рис. 3.3. Схема підключення батарей конденсаторів СП для симетрування напруг

Висновок: Розрахований СП знизить несиметрію напруг з 3,5% (що не відповідало нормально допустимому значенню 2%) до 1,3%.

Приклад 3

Вибрати ФСУ для мережі, розглянутій у прикладі 2. Джерело гармонік – дванадцятифазний вентиляльний перетворювач (ВП). Потужність навантаження на ВП $S_{ВП} = 15000$ кВА. Відносні рівні гармонік напруги в мережі: $U_{11*} = 5,4\%$; $U_{13*} = 4,6\%$.

Коефіцієнт несинусоїдальності складає

$$K_U = \sqrt{U_{11*}^2 + U_{13*}^2} = \sqrt{5,4^2 + 4,6^2} = 7,1 \%,$$

що перевищує нормально допустиме значення (5 %) для мереж напругою 6 кВ.

Потужність БК за умовами симетризування обирають таким же чином як і у прикладі 2. Батареї конденсаторів, які увімкнені на лінійні напруги U_{AB} та U_{CA} , з'єднують послідовно з реакторами; частота налаштування фільтруючого кола 550 Гц ($\nu_p = 11$).

Струми гармонік перетворювача

$$I_{11} = \frac{S_{ВП}}{\sqrt{3} U_H \cdot \nu_p} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 11} = 130 \text{ А};$$

$$I_{13} = \frac{S_{ВП}}{\sqrt{3} U_H \cdot \nu_q} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 13} = 110 \text{ А.}$$

Для розрахунку залишкової напруги гармонік розрахуємо спочатку коефіцієнти ν_{q*} за формулою (3.20) та K_p^{AB} та K_p^{CA} за формулою (3.21):

$$v_{q^*} = \frac{v_p}{v_q} = \frac{11^2}{13^2} = 0,716;$$

$$K_p^{AB(CA)} = \frac{Q_{BK}^{AB(CA)}}{S_{K3}};$$

$$K_p^{AB} = \frac{1,8}{144} = 1,25 \cdot 10^{-2};$$

$$K_p^{CA} = \frac{3,6}{144} = 2,5 \cdot 10^{-2}.$$

Коефіцієнти ρ_{AB} та ρ_{CA} знайдемо за формулою (3.19):

$$\rho_{AB(CA)} = \frac{1}{1 + \frac{3K_p^{AB(CA)}v_p^2}{1 - v_{q^*}^2}};$$

$$\rho_{AB} = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot 1,25 \cdot 10^{-2} \cdot 11^2}{1 - 0,716^2}} = 0,06;$$

$$\rho_{CA} = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot 11^2}{1 - 0,716^2}} = 0,03.$$

Залишкові значення напруг 13-ї гармоніки мережі по відношенню до їх значень до установки ФСП визначимо за формулами (3.22), (3.23) та (3.24):

$$U_{13^*AB} = \frac{p_{AB} \sqrt{3(1 + p_{CA} + p_{CA}^2)}}{1 + p_{AB} + p_{CA}} = \frac{0,06 \sqrt{3(1 + 0,03 + 0,03^2)}}{1 + 0,06 + 0,03} = 0,1;$$

$$U_{13^*CA} = \frac{p_{CA} \sqrt{3(1 + p_{AB} + p_{AB}^2)}}{1 + p_{CA} + p_{AB}} = \frac{0,03 \sqrt{3(1 + 0,06 + 0,06^2)}}{1 + 0,06 + 0,03} = 0,05;$$

$$U_{13^*BC} = \frac{\sqrt{3(p_{AB}^2 + p_{CA}^2 + p_{AB} \cdot p_{CA})}}{1 + p_{AB} + p_{CA}} = \frac{\sqrt{3(0,06^2 + 0,03^2 + 0,06 \cdot 0,03)}}{1 + 0,06 + 0,03} = 0,127.$$

Таким чином, після установки ФСП, значення напруг 13-ї гармоніки у фазах стали такими:

$$U_{13^*AB}^{ФСП} = U_{13^*AB} \cdot U_{13^*} = 0,1 \cdot 4,6 = 0,46\%;$$

$$U_{13^*CA}^{ФСП} = U_{13^*CA} \cdot U_{13^*} = 0,05 \cdot 4,6 = 0,23\%;$$

$$U_{13^*BC}^{ФСП} = U_{13^*BC} \cdot U_{13^*} = 0,127 \cdot 4,6 = 0,58\%.$$

Коефіцієнт несинусоїдальності при застосуванні ФСП складає

$$K_U^{ФСП} = \sqrt{U_{13^*}^2 + U_{13^*}^2} = \sqrt{0 + 0,58^2} = 0,58 \%,$$

що задовольняє допустимому значенню коефіцієнта несинусоїдальності.

Необхідно перевірити, чи задовольняє потужність БК умові (3.15)

$$Q_{BK}^{AB(CA)} \geq 1,2 U_{HE} I_{v\Sigma}^{AB(CA)},$$

де $I_{v\Sigma}^{AB(CA)}$ - діючі значення струму вищих гармонік, які протікають крізь фільтруючі кола, налаштовані на частоту v_p - й гармоніки.

Для цього визначимо коефіцієнти $\sigma_{vq^*}^{AB}$ та $\sigma_{vq^*}^{CA}$ за формулами (3.17) та (3.18):

$$\sigma_{v13^*}^{AB} = \frac{\sqrt{1 + p_{CA} + p_{CA}^2}}{(1 + p_{CA} + p_{AB})} = \frac{\sqrt{1 + 0,03 + 0,03^2}}{1 + 0,03 + 0,06} = 0,93;$$

$$\sigma_{v13^*}^{CA} = \frac{\sqrt{1 + p_{AB} + p_{AB}^2}}{(1 + p_{CA} + p_{AB})} = \frac{\sqrt{1 + 0,06 + 0,06^2}}{1 + 0,03 + 0,06} = 0,95.$$

За формулою (3.16):

$$I_{v\Sigma}^{AB} = \sqrt{\sum (I_{vq} \cdot \sigma_{vq^*}^{AB})^2} = \sqrt{130^2 + (110 \cdot 0,93)^2} = 165 \text{ А};$$

$$I_{v\Sigma}^{CA} = \sqrt{\sum (I_{vq} \cdot \sigma_{vq^*}^{CA})^2} = \sqrt{130^2 + (110 \cdot 0,95)^2} = 167 \text{ А}.$$

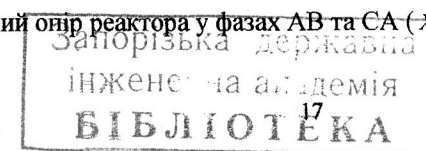
За умовою (3.15):

$$Q_{BK}^{AB} \geq 1,2 U_{HE} I_{v\Sigma}^{AB} = 1,2 \cdot 6,3 \cdot 165 = 1247 \text{ квар};$$

$$Q_{BK}^{CA} \geq 1,2 U_{HE} I_{v\Sigma}^{CA} = 1,2 \cdot 6,3 \cdot 167 = 1263 \text{ квар}.$$

Як видно умова виконується: $1800 > 1247$ та $3600 > 1263$.

Індуктивний опір реактора у фазах АВ та СА ($X_L = U_{HE}^2 / v_p^2 \cdot Q_{LB}$):



8/11

$$X_p^{AB} = \frac{6,3^2}{11^2 \cdot 1,8} = 0,18 \text{ Ом};$$

$$X_p^{CA} = \frac{6,3^2}{11^2 \cdot 3,6} = 0,09 \text{ Ом}.$$

Індуктивність реактора у фазах ($L = X_p / 2\pi\nu_p$):

$$L_{AB} = \frac{0,09}{2 \cdot 3,14 \cdot 11} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$L_{CA} = \frac{0,18}{2 \cdot 3,14 \cdot 11} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

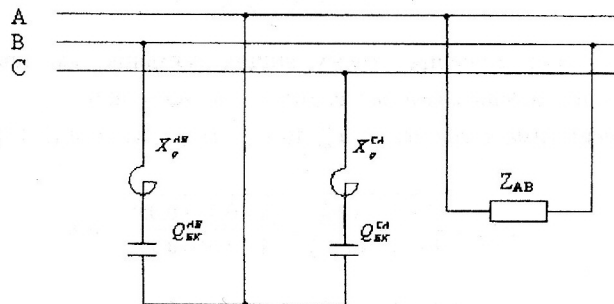


Рис. 3.3. Схема підключення ФСП для симетрування напруг і зниження гармонік напруг

Висновок: Розрахований ФСП знизив значення гармонік до 0,46 % у фазі А, до 0,23 % у фазі ВС, та до 0,58 % у фазі СА, що менше нормально допустимого значення 5 % для мереж напругою 6 кВ. Вибрані у прикладі 2 БК задовольняють умові на перевантаження.

1. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Проектирование и расчет/ А. С. Овчаренко, М. Л. Рабинович, В. И. Мозырский, Д. И. Розинский. – К.: Техніка, 1985. - 279 с.
2. Жежеленко И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 168 с.
3. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций. Учебник для студентов вузов. – М.: Энергия, 1976. - 552 с.
4. Усатенко С. Г., Каченюк Т. К., Терехова М. В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.

ЗАВДАННЯ
на курсовий проект по дисципліні
“Системи виробництва і забезпечення якості електроенергії”
Тема “Розробка фільтросиметруючого пристрою для забезпечення якості
електроенергії”

Студент гр. ЕМ-_____

Спеціальність 7.000008 “ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ”

ВИХІДНІ ДАНІ

1. Потужність однофазного навантаження (фази _____), $S = \text{_____ MVA}$
2. Коефіцієнт потужності однофазного навантаження, $\cos\varphi = \text{_____}$
3. Номінальна напруга мережі, $U_H = \text{_____ кВ}$
4. Потужність КЗ у точці підключення навантаження, $S_{K3} = \text{_____ MVA}$
5. Кількість фаз вентиляного перетворювача (ВП) _____
6. Потужність навантаження на ВП $S_{ВП} = \text{_____}$
7. Відносні рівні гармонік напруги у мережі $U_* = \text{_____}\%$, $U_* = \text{_____}\%$

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вибрати лінійні напруги, на які вмикається фільтросиметруючий пристрій, і співвідношення потужностей конденсаторів, які визначаються умовами симетрування напруги.
2. Розрахувати залишкові значення напруг гармонік і коефіцієнт несинусоїдальності.

Завдання видане “_____” _____ 20 р.
Термін здачі “_____” _____ 20 р.

Завдання видав

ЗАВДАННЯ

на курсовий проект по дисципліні

“Системи виробництва і забезпечення якості електроенергії”

Тема “Розробка фільтросиметруючого пристрою для забезпечення якості електроенергії”

Студент гр. ЕМ-_____

Спеціальність 7.000008 “ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ”

ВИХІДНІ ДАНІ

1. Потужність однофазного навантаження (фази ____), $S = \text{_____ MVA}$
2. Коефіцієнт потужності однофазного навантаження, $\cos\varphi = \text{_____}$
3. Номінальна напруга мережі, $U_H = \text{_____ кВ}$
4. Потужність КЗ у точці підключення навантаження, $S_{KЗ} = \text{_____ MVA}$
5. Кількість фаз вентиляного перетворювача (ВП) _____
6. Потужність навантаження на ВП $S_{ВП} = \text{_____}$
7. Відносні рівні гармонік напруги у мережі $U_{*} = \text{_____}\%$, $U_{*} = \text{_____}\%$

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вибрати лінійні напруги, на які вмикається фільтросиметруючий пристрій, і співвідношення потужностей конденсаторів, які визначаються умовами симетрування напруги.
2. Розрахувати залишкові значення напруг гармонік і коефіцієнт несинусоїдальності.

Завдання видане “___” _____ 20 р.
Термін здачі “___” _____ 20 р.

Завдання видав

де $U_{нв}$ – номінальна напруга батарей конденсаторів; K – відносна величина зменшення несиметрії. Значення кута ξ беруть рівним $-\pi/3$ при $90^\circ \leq \psi_2 \leq 210^\circ$; 0 – при $210^\circ \leq \psi_2 \leq 330^\circ$; $+\pi/3$ – при $-30^\circ \leq \psi_2 \leq 90^\circ$ (I, II, та III області на рис. 3.1). Лінійні напруги, на які вмикають конденсатори та їхній розподіл потужностей:

$$\frac{Q_{BC}}{Q_\Sigma} \text{ та } \frac{Q_{CA}}{Q_\Sigma}; \quad \text{або} \quad \frac{Q_{AB}}{Q_\Sigma} \text{ та } \frac{Q_{BC}}{Q_\Sigma}; \quad \text{або} \quad \frac{Q_{AB}}{Q_\Sigma} \text{ та } \frac{Q_{CA}}{Q_\Sigma}$$

вибирають за кривими (рис. 3.1) в залежності від аргументу ψ_2 струму I_2 .

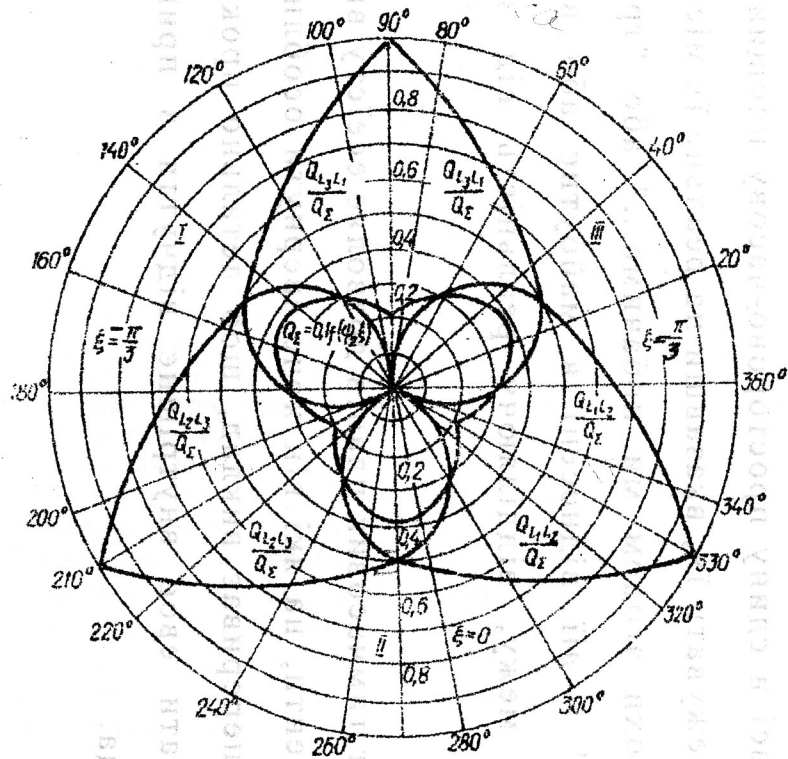


Рис. 3.1. Номограма для розрахунку симетруючого пристрою

Номограмою користуються таким чином. Спочатку визначають кути ψ_2 і ξ . Значення кута ψ_2 відкладають на зовнішньому колі і проводять від нього лінію до центру кола. Значення кута ξ вказує на область номограми (I, II, або III). Точки перетину проведеної лінії з кривими вказують на які фази вмикаються конденсатори і їхню частку від Q_Σ .

Припустимо, що вектор струму I_2 знаходиться у області II ($\psi_2=300^\circ$, $\xi=0$). Згідно номограми конденсатори підключаються на фази AB і BC.

$$\frac{Q_{AB}}{Q_\Sigma} = 0,65; \quad \frac{Q_{BC}}{Q_\Sigma} = 0,35$$

Тоді схема СП буде мати наступний вигляд (рис. 3.2):

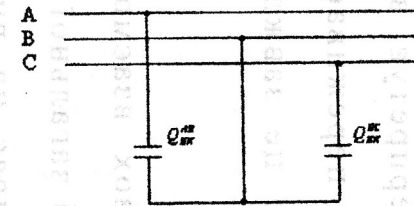


Рис. 3.2. Схема підключення батарей конденсаторів СП

3.4. Розрахунок параметрів фільтросиметруючого пристрою (ФСП).

Пристрій уявляє собою несиметричний фільтр, який підключається на дві лінійні напруги мережі. Вибір лінійної напруги, на яку підключаються фільтруючі кола ФСП, та співвідношення потужностей конденсаторів, що вмикаються у фази фільтра, визначаються умовами симетрування напруги (див підрозділ 3.3). Потужність БК, яка вмикається на лінійну напругу U_{AB} (U_{BC}), повинна задовольняти умові

$$Q_{БК}^{AB(BC)} \geq 1,2 U_{нв} I_{v\xi}^{AB(BC)}, \quad (3.15)$$

де $I_{v\xi}$ – діюче значення струму вищих гармонік, які протікають крізь фільтруюче коло, налаштоване на частоту v_p -ї гармоніки. Струм $I_{v\xi}^{AB(BC)}$ визначають за виразом:

$$I_{v\xi}^{AB(BC)} = \sqrt{\sum (I_{vq} \cdot \sigma_{vq}^{AB(BC)})^2}, \quad (3.16)$$

де I_{vq} – струм v_q -ї гармоніки, А; $\sigma_{vq}^{AB(BC)}$ – частка струму I_{vq} , що тече крізь плече фільтра, яке підключене на напругу U_{AB} (U_{BC}).

Коефіцієнти σ_{vq} при підключенні фільтра на напругу U_{AB} та U_{BC} :

$$\sigma_{vq}^{AB} = \frac{\sqrt{1 + P_{BC} + P_{BC}^2}}{1 + P_{BC} + P_{AB}}, \quad (3.17)$$

$$\sigma_{vq}^{BC} = \frac{\sqrt{1 + P_{AB} + P_{AB}^2}}{1 + P_{BC} + P_{AB}}, \quad (3.18)$$