

Але економічність і енергетична ефективність встановлення механічного компресора в кожному окремому випадку треба перевіряти відповідними техніко-економічним аналізом, який буде проведений в майбутньому.

Перелік посилань:

1. Соколов Е.Я, Зингер Н.М. Струйные аппараты. – 3-е изд; М.: Энергоатомиздат, 1989.- 352 с.
2. Чернобыльский И.И. Выпарные установки. К.: «Вища школа», 1970, 244с.
3. Товажнянский Л.Л, Готлінська А.П. Процеси та апарати хімічної технології: Підручник: У 2ч. –Ч. 1, Харків: НТУ «ХП», 2007.- 616с.
4. www.gea-wiegand.com
5. Ривкин С.Л, Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. 2-е изд; Москва: Энергоатомиздат, 1984.-150с.
6. Сидорко М.В.,. Магістерська дисертація «Підвищення енергоефективності роботи випарних установок за рахунок рекомпресії вторинної пари», НТУУ «КПІ» 2011.

Аналіз режимів в системах з перетворювальними навантаженнями на основі складових обмінних процесів.

Дерев'яно Д. Г., аспірант, Величко Ю. С., магістрант (НТУУ «КПІ»).

Проведений аналіз показав актуальність формування комплексної системи характеристик та критеріїв оцінки електромагнітної сумісності в системах енергопостачання різного функціонального призначення, яка має адекватно відобразити особливості роботи потужного електроенергетичного обладнання та електричних мереж. Оцінено внесок споживача в рівні напруги та струму вищих гармонік у вузлах електричної мережі, вплив споживача на якість електроенергії в мережі.

Выполненный анализ показал актуальность формирования комплексной системы характеристик и критериев оценки электромагнитной совместимости в системах энергоснабжения различного функционального назначения, которая должна адекватно отображать особенности работы мощного электроэнергетического оборудования и электрических сетей. Оценено вклад потребителя в уровни напряжения и тока высших гармоник у узлах электрической сети, влияние потребителя на качество электроэнергии в сети.

Електроенергетика України є технологічно складною, територіально розгалуженою системою, що поєднує електрогенеруючі станції, Об'єднану електроенергетичну систему (ОЕС) та розподільчі електричні мережі країни [2, 4].

Стратегічною метою розвитку електроенергетичного комплексу України є його докорінна перебудова на засадах новітніх технологій із забезпеченням маневреності, енергетичної та економічної ефективності, екологічної прийнятності, зовнішньої конкурентоспроможності та ринкових умов функціонування, що забезпечить стале, надійне, безпечне, якісне постачання електричної енергії галузям економіки і соціальної сфери країни.

Для здійснення науково-технічної підтримки інтеграції енергетичної системи України в європейську енергетичну систему важливо проаналізувати стан електромагнітної сумісності в електричних мережах України, як на окремих об'єктах (включаючи розподілені системи енергопостачання, автономні об'єкти, потужне електроенергетичне обладнання), так і на рівні системоутворюючих електричних мереж.

Однією з важливих складових забезпечення паралельної роботи ОЕС України з енергетичними системами європейських країн є відповідність показників якості електричної

енергії (ПЯЕ) в українських електричних мережах сучасним європейським стандартам.

Досягнення необхідних європейських рівнів електромагнітної сумісності (ЕМС) основного енергогенеруючого та енергоспоживаючого обладнання, ПЯЕ в Україні вимагає прискіпливої уваги до здійснення комплексу нормативно-методичних та організаційно-технологічних заходів щодо забезпечення електромагнітної сумісності, вимог до якості параметрів електроенергії на всіх рівнях ієрархії ОЕС України [2, 4].

Розробка методів, алгоритмів та технічних засобів регулювання ЕМС та оцінки взаємного впливу має базуватися на врахуванні особливостей технологічних процесів енергозабезпечення, які відбуваються на рівні локальних розподілених мереж, на використанні моделей керування зазначеними процесами та використанні інформації, одержуваної від інформаційно-керуючих систем розподілених мереж, для реалізації ефективного ієрархічного керування процесами енергозабезпечення в розподілених локальних електричних системах.

Досягнення ЕМС елементів системи визначається вимогами, які ставляться до окремих елементів СЕП: задана якість напруги $u(t)$ та струму $i(t)$; задана якість вхідної напруги; відсутність (заданий рівень) впливу електромагнітних процесів генераторів на процеси в навантаженні; відсутність (заданий рівень) взаємного впливу однотипних елементів системи один на одного; відсутність (заданий рівень) впливу на оточуюче середовище [1 - 3].

При аналізі ЕМС в СЕП в комплексі мають розглядатися питання якості електроенергії, підвищення енергоефективності, стійкості та надійності, керованості та спостережуваності, можливості оперативного та прогнозного керування [1 - 3]. Аналіз рівнів ЕМС потребує розгляду електромагнітної обстановки та характеристик різних типів електромагнітних завад, їх впливу на електроприймачі, а також оцінки дольової участі кожного спотворюючого джерела в загальній результуючій величині впливу спотворюючих джерел. При цьому стан ЕМС може розглядатися в конкретний момент часу, на періоді, на інтервалі технологічного процесу тощо. Самі моделі оцінки ЕМС системи повинні дозволяти враховувати різні типи перешкод; наявність резонансів, кидків струмів та напруги; існування зворотних потоків енергії; перетоки енергії між елементами СЕП, між фазами з більш навантаженої до менше навантаженої; зміни та спотворення сигналів. При формуванні моделей ступінь (рівень) ЕМС у виділеному (контрольованому) перетині СЕП запропоновано низку показників (характеристик), які базуються на:

- 1) розкладі миттєвих значень струму та/чи напруги на активну і реактивну складові;
- 2) використанні обмінної потужності.

При невідповідності показників якості електроенергії нормативним вимогам ГОСТ 13109-97 виникає складна комерційно та технологічно обґрунтована задача пошуку джерел спотворень. Знайти їх можна лише шляхом визначення дольового внеску споживача (ДВС) у спотворення якості електроенергії.

Важливо розробити єдиний підхід, котрий би дозволяв при оцінці ДВС в точці загального підключення (ТЗП) забезпечити автоматизацію вимірювання та використовувати енергетичні характеристики та показники, які адекватно описують процеси в системі, без процедури ідентифікації параметрів моделі [2, 6 - 8]. Виділення різних сторін протікання енергетичних процесів в системах з перетворюючими навантаженнями дозволяє при оцінці ДВС використати розроблені моделі та алгоритми оцінки ЕМС на основі аналізу обмінних процесів. При цьому враховується, що взаємовплив елементів у загальному випадку здійснюється через нелінійні та нестационарні функціональні перетворення, а не тільки через виділення частотно залежних опорів $Z(n\omega)$ та провідностей $Y(n\omega)$. При оцінці ДВС

сумістимо переваги представлення і розрахунку процесів енергообміну на основі обмінної потужності за рахунок розкладу реактивного струму $i_p(t)$ на складові [5 -7].

Для оцінки ДВС на погіршення якості електроенергії в ТЗП запропоновані два підходи. Перший базується на використанні алгоритму оцінки взаємного впливу елементів з виділенням внеску елемента у спотворення електроенергії у вибраному вузлі та аналізу величини впливу спотворюючих факторів на електромагнітні процеси в елементі системи. Вплив елементів системи оцінюється поза залежністю від попередніх режимів роботи як системи в цілому, так і конкретних його елементів, а кількісні показники взаємного впливу визначаються сумою впливів для кожного з виділених факторів неякісності електроенергії з врахуванням критерію мінімуму втрат електроенергії. Загальний вплив у вузлі обумовлюється сумою впливів всіх елементів, що підключені до вузла.

Для оцінки ДВС обмінні процеси у вузлі для заданої діючої напруги генератора $u(t)$ розділимо за першою (індекс «1»), однією j -ю вищою (індекс « j »), всіма вищими (індекс « ∞ ») та всіма (індекс « Σ ») гармоніками згідно з наступними виразами:

$$Q_{OB}^{(1)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt; \quad (1)$$

$$Q_{OB}^{(j)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) I_{m(j)} \sin(j\omega t - \psi_j^i) dt; \quad (2)$$

$$Q_{OB}^{(\infty)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) \left(\sum_{k=2}^{N_r} I_{m(k)} \sin(\omega t - \psi_k^i) \right) dt; \quad (3)$$

$$Q_{OB}^{(\Sigma)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) \left(\sum_{k=1}^{N_r} I_{m(k)} \sin(\omega t - \psi_k^i) \right) dt; \quad (4)$$

Виділення внеску j -го елемента у спотворення електроенергії у вузлі системи передбачає формування інтегральної моделі оцінки взаємного впливу і розщеплення моделі системи на дві ортогональні складові, які відображають відповідно протікання активного та реактивного струмів. Далі здійснюється розрахунок обмінних потужностей у розщепленій моделі на основі реактивної складової струму згідно зі співвідношеннями (1) – (4) та визначається дольовий внесок для j -го елемента:

$$\Delta_{Q_{OB,j}} = Q_{OB,j} / Q_{OBS} \quad (5)$$

$$Q_{OBS} = \sum_{j=1}^{n_{EB}} Q_{OB,j} \cdot \sum_{j=1}^{n_{EB}} Q_{OB,j} = 1 \quad (6)$$

де $Q_{OB,j}$ – обмінна потужність через перетин приєднання j -го елемента до системи; – кількість елементів системи, підключених до виділеного вузла.

Алгоритм оцінки взаємного впливу характеризується такою послідовністю кроків:

- 1) проведення аналізу електромагнітних процесів;
- 2) формування інтегральної моделі оцінки взаємного впливу;
- 3) розщеплення моделі системи на дві ортогональні складові;
- 4) розрахунок обмінних процесів (визначення величин та) у розщепленій моделі на

основі реактивної складової струму, наприклад, згідно зі співвідношеннями (1) – (4);
 5) оцінка впливу j -го елемента схеми із співвідношень (5), (6).

Аналіз ДВС на основі обмінних процесів дає можливість [4, 5]:

- аналізу обмінних процесів при наявності в системі різнойменних гармонік;
- аналізу обмінних процесів, коли окремі фрагменти системи (макромоделі) можуть бути представлені джерелами напруги і струму (ідеальними та / чи реальними);
- аналізу обмінних процесів на вищих гармонічних складових напруги та струму для систем постійного струму;
- відмовитись від ідентифікації параметрів моделей, зокрема, величин $Z(n\omega)$ та $Y(n\omega)$ на кожній із частот, кратній основній (не потрібно здійснювати переформатування (зміну) параметрів моделей, коли її елементи змінюються з плином часу).

Як критерії оцінки також можна використати наступні коефіцієнти:

$$\Delta_1 = \frac{Q_{OB}^{\Sigma}}{Q_{OB}^1}; \quad (7)$$

$$\Delta_2 = \frac{Q_{OB}^3}{Q_{OB}^1}; \quad (8)$$

$$\Delta_3 = \frac{Q_{OB}^3}{Q_{OB}^{\Sigma}}; \quad (9)$$

$$\Delta_4 = (\Delta_1 - 1) / \Delta_1; \quad (10)$$

$$\Delta_5 = \Delta_3 - \Delta_4. \quad (11)$$

Розглянемо систему, яка включає один генератор (індекс «Г») та два паралельно з'єднані навантаження (індекс «Н₁» та «Н₂» (рис. 1)).

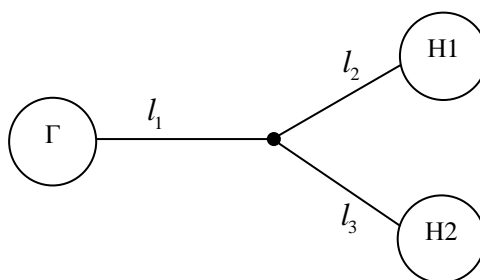


Рис. 1

Для наведеної на рис. 1 системи можна виділити наступні варіанти миттєвих сигналів напруги $u(t)$ та струму $i(t)$, які зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові варіанти для системи один генератор – два елементи

№ варіанта	Г	Е1	Е2
1	$u_1(t) + u_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$
2	$u_1(t) + u_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$	$i_1(t) + i_5(t)$

3	$u_1(t) + u_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$	$i_1(t) + i_5(t)$
4	$u_1(t) + u_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$
5	$u_1(t) + u_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$	$i_1(t) + i_3(t)$

Для оцінки ДВС обмінні процеси у вузлі для заданої діючої напруги генератора $u(t)$ розглянемо, опираючись на вирази (1) – (4).

Слід зазначити, що навантаження Н1 для четвертого варіанту являє собою активно-індуктивне навантаження (R_1 та L_1), а елемент Е2 – суто активне (R_2). Для п'ятого варіанту Н1 представлено у вигляді активно-ємнісного навантаження (R_1 та C_1), а Н2 – активного (R_2).

Параметри елементів СЕП для останніх двох варіантів змінюються наступним чином: R_1 змінюється від 1,05 до 16,05 Ом з кроком 0,5 Ом; R_2 варіюється від 20 до 95 Ом з кроком 2,5 Ом; R_2 приймає значення від 1 до 16 Гн з кроком 0,5 Гн; C_1 змінюється від 1 до 16 Ф; ψ_1^i та ψ_3^i варіюються від 0 до 360° з кроком 12°.

Порівняємо між собою всі варіанти в залежності від зміни кута ψ_1^i . Крива «а» відповідає четвертому варіанту, крива «б» □ п'ятому варіанту, «в» □ першому, «г» □ другому, «д» □ третьому (рис. 1, а – ж).

Як бачимо, криві , що відповідають четвертому та п'ятому варіантам, мають одну точку максимуму (при $\psi_1^i = 180^\circ$, а залежності $Q_{OB}^1 = f(\psi_1^i)$ для варіантів один – чотири, по-перше, майже не відрізняються між собою за амплітудою, а по-друге, всі залежності мають дві точки максимуму (93° і 276°) і три точки мінімуму (0°, 180°, 360°).

Проаналізувавши залежності $Q_{OB}^3 = f(\psi_1^i)$, можна сказати, що всі функції приймають максимальне значення при $\psi_1^i = 180^\circ$, але, як бачимо, дані залежності мають різний характер зміни амплітудних значень на всьому діапазоні ψ_1^i : криві варіантів один та два є більш пологими, чотири і три – майже не змінюються, а функція п'ятого варіанту змінюється найбільш круто.

Проаналізувавши співвідношення $Q_{OB}^\Sigma = f(\psi_1^i)$, можна відмітити, що залежності для варіантів один – чотири, по-перше, майже не відрізняються між собою за амплітудою, а по-друге, всі залежності мають дві точки максимуму (93° і 276°) і три точки мінімуму (0°, 180°, 360°).

За рахунок того, що варіанти один – п'ять мають точки мінімуму функцій $Q_{OB}^1 = f(\psi_1^i)$; $Q_{OB}^\Sigma = f(\psi_1^i)$ при $\psi_1^i = 180^\circ$, то всі криві $\Delta_i = f(\psi_1^i)$ для цих варіантів при цьому ж значенні кута ψ_1^i приймають максимальне значення. Також слід зазначити, що всі залежності $\Delta_i = f(\psi_1^i)$ мають однаковий характер на інтервалах $0 \square 31^\circ$ і $337 \square 360^\circ$ (монотонно спадають та зростають відповідно).

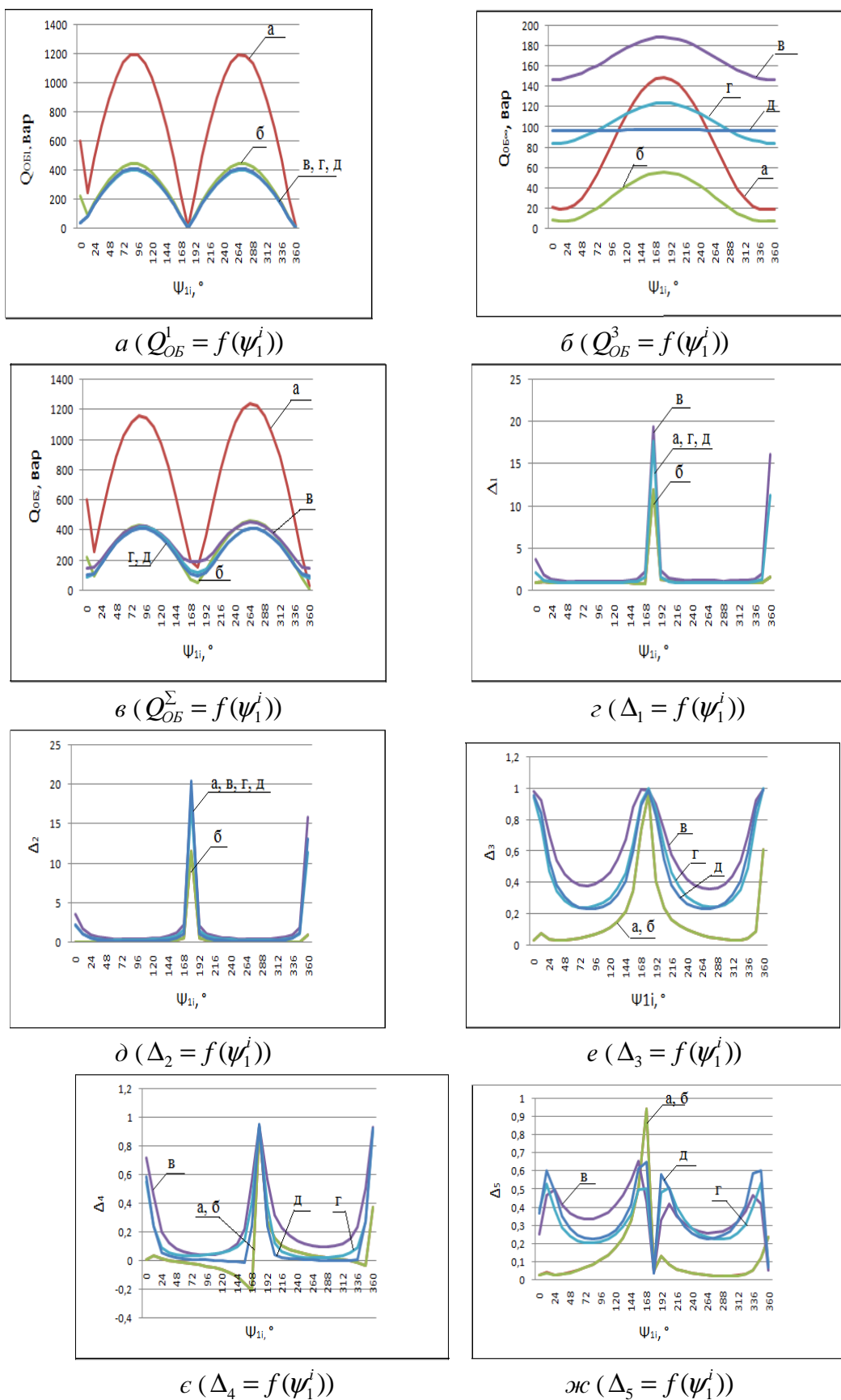


Рис. 1

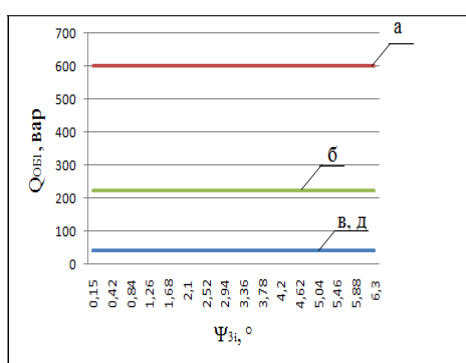
Порівняємо між собою залежності $Q_{OB}^i = f(\psi_3^i)$ і $\Delta_i = f(\psi_3^i)$ для усіх варіантів, крім другого, оскільки даний варіант названу складову не містить (рис. 2, а – ж).

Залежність $Q_{OB}^1 = f(\psi_3^i)$ майже не змінюється на всьому діапазоні кута ψ_3^i для всіх варіантів. Найбільше амплітудне значення відповідає четвертому варіанту.

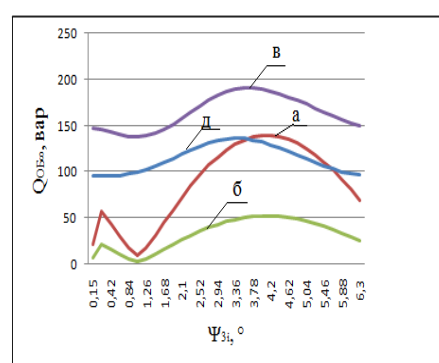
Графіки функцій $Q_{OB}^3 = f(\psi_3^i)$ для усіх варіантів круто зростає до $\psi_3^i = 200-215^\circ$, а потім круто спадає.

Функціональна залежність $Q_{OB}^\Sigma = f(\psi_3^i)$ для усіх варіантів монотонно зростає до $\psi_3^i = 200-400^\circ$, а потім монотонно спадає.

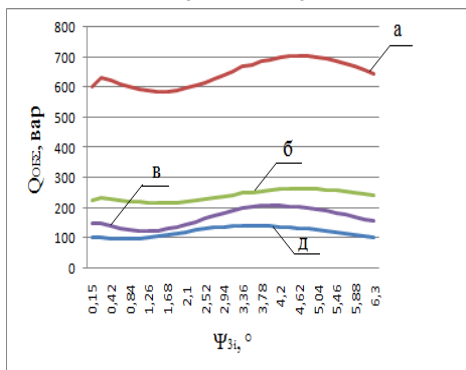
За рахунок того, що залежності $Q_{OB}^i = f(\psi_3^i)$ мають наведений вище характер, то і $\Delta_i = f(\psi_3^i)$ матимуть той же характер зміни амплітудних значень відповідно



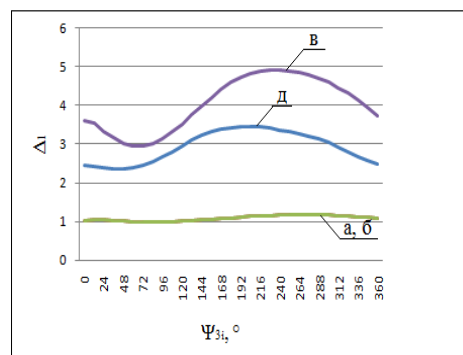
а ($Q_{OB}^1 = f(\psi_3^i)$)



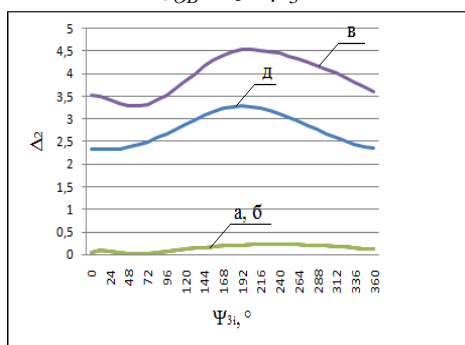
б ($Q_{OB}^3 = f(\psi_3^i)$)



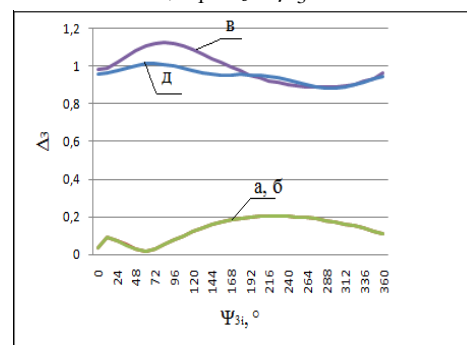
в ($Q_{OB}^\Sigma = f(\psi_3^i)$)



г ($\Delta_1 = f(\psi_3^i)$)



д ($\Delta_2 = f(\psi_3^i)$)



е ($\Delta_3 = f(\psi_3^i)$)

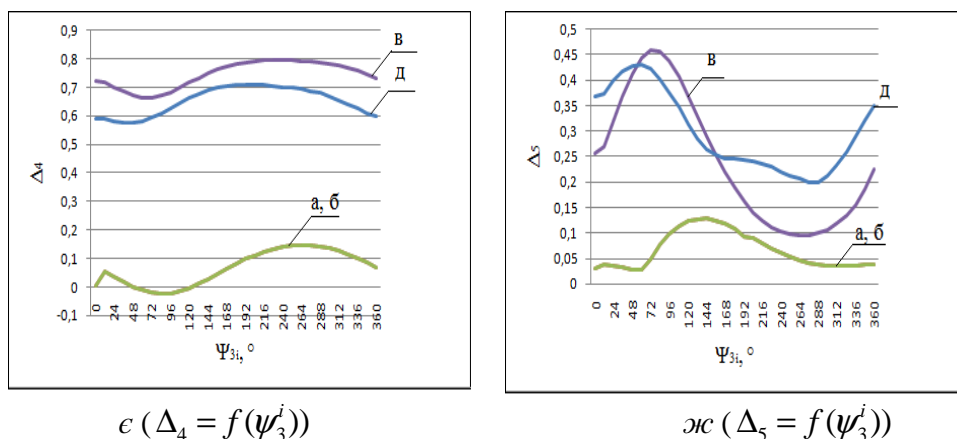
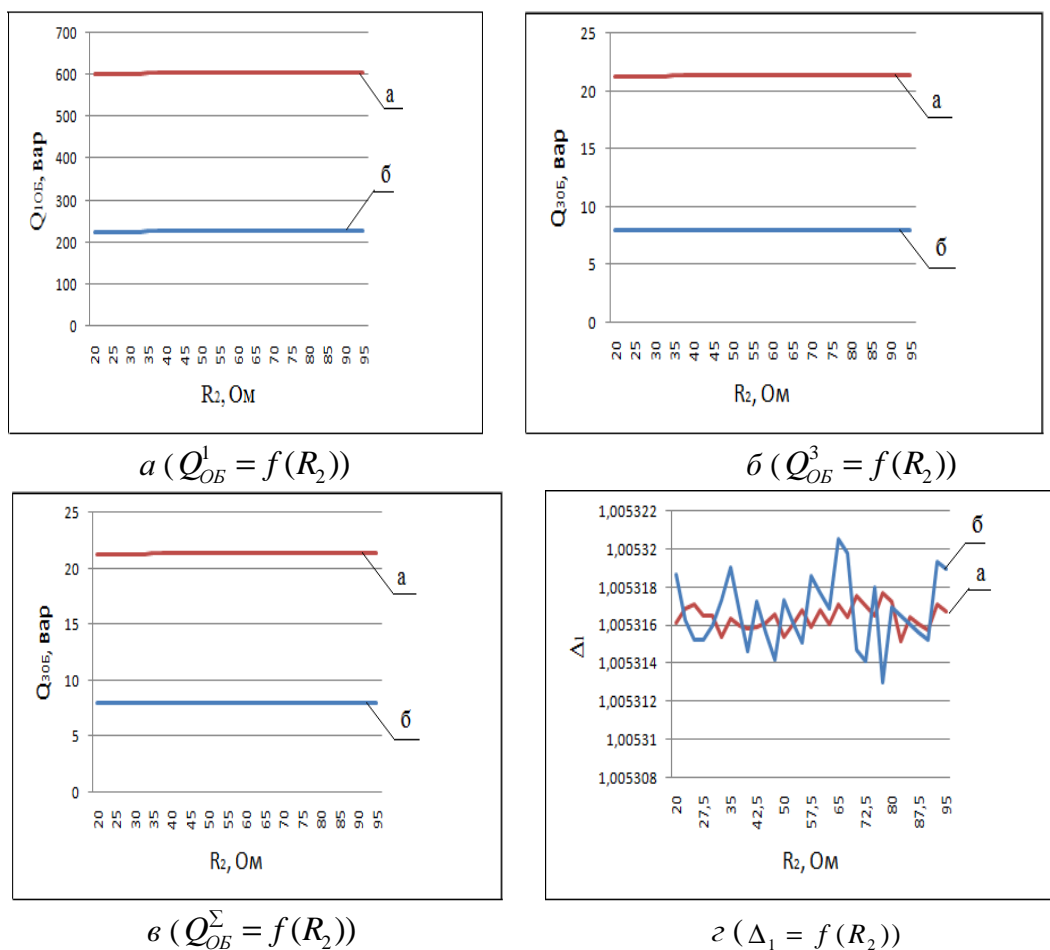


Рис. 2

Тепер порівняємо між собою залежності $Q_{OB}^i = f(R_2)$ і $\Delta_i = f(R_2)$, що відповідають варіантам чотири та п'ять.

Названі залежності зображені на рис. 3, а – ж.

Як бачимо, дані залежності ведуть себе однаково (круто зростають), але амплітудні значення для четвертого варіанту на багато перевищують ті ж значення для п'ятого. Δ_i для обох варіантів з інженерною точністю 2 % можна вважати постійними, але для четвертого варіанту відхилення від середнього значення менше, ніж для п'ятого.



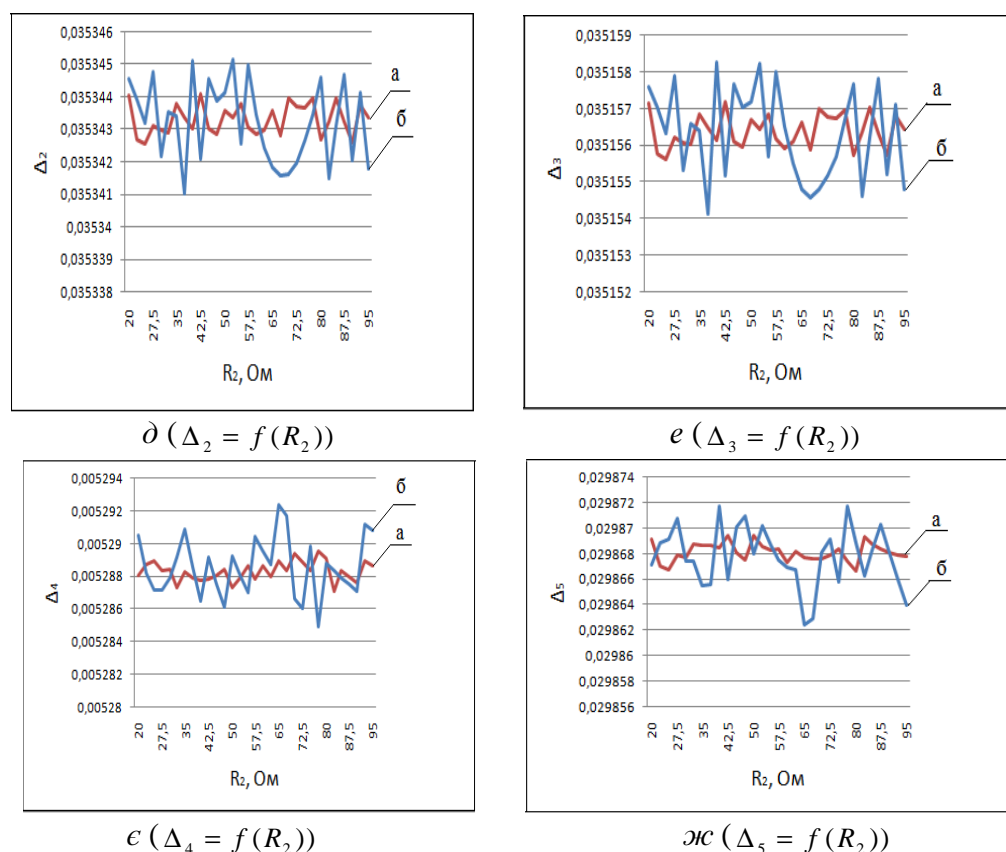


Рис. 3

Аналіз графіків, наведених на рис. 1 – 3 показує складний характер впливу параметрів навантаження на величину ДВС, а також можливість появи екстремумів в залежності від співвідношень амплітуди та фази окремих гармонік струму навантажень.

1. Денисюк С.П. Аналіз взаємного впливу елементів системи електроживлення з перетворювачами // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб.наук.праць. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – № 2 (17). – С. 13 – 17.

2. Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Пріоритети в забезпеченні електромагнітної сумісності в електричних мережах України // Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – Ч.1, 2007. – С. 84 – 87.

3. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Особливості забезпечення електромагнітної сумісності в електричних мережах України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб.наук.праць. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – № 1 (16), Частина 1. – С. 27 – 30.

4. Денисюк С.П. Загальні властивості енергетичних характеристик систем з перетворювачами електричної енергії // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. Електроенергетика. – Київ: ІЕД НАНУ, 1999. – С. 46 – 59.

5. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.

6. Тигунцев С.Г., Луцкий И.И. Определение и учет вклада потребителя в качество электрической энергии // Промышленная энергетика. – 2003. – № 7. – С. 40–

7. Геворкян В.М., Трошин П.В. Сравнение методов оценки фактического вклада субъектов электрических сетей в ухудшение качества электрической энергии // Пром. энергетика. – 2008. – № 7. – С. 46–50.

8. Геворкян В.М., Трошин П.В. Сравнение методов оценки фактического вклада субъектов электрических сетей в ухудшение качества электрической энергии // Пром. энергетика. – 2008. – № 7. – С. 46–50.