

**Юрій Батигін<sup>1</sup>, Світлана Шиндерук<sup>2</sup>, Євген Чаплигін<sup>3</sup>,  
Тетяна Гаврилова<sup>4</sup>, Денис Фендриков<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [yu.v.batygin@gmail.com](mailto:yu.v.batygin@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1278-5621>. ResearcherID: [G-7765-2014](https://orcid.org/0000-0002-1278-5621)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [s.shinderuk.2016102@ukr.net](mailto:s.shinderuk.2016102@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6354-4174>. ResearcherID: [G-8375-2015](https://orcid.org/0000-0002-6354-4174)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [chaplygin.e.a@gmail.com](mailto:chaplygin.e.a@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1448-6091>. ResearcherID: [G-4398-2015](https://orcid.org/0000-0003-1448-6091)

<sup>4</sup>кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [gavrilova.hnadu@gmail.com](mailto:gavrilova.hnadu@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3677-2219>. ResearcherID: [G-5638-2016](https://orcid.org/0000-0002-3677-2219)

<sup>5</sup>аспірант кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [097931417e@gmail.com](mailto:097931417e@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-6412>. ResearcherID: [G-7718-2021](https://orcid.org/0000-0002-9702-6412)

## **РЕЗОНАНСНИЙ ПІДСИЛОВАЧ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ. ПРОПОЗИЦІЯ, АНАЛІЗ, ЧИСЛОВІ ОЦІНКИ**

*Метою цієї роботи є обґрунтування реальної дієвості запропонованої схеми резонансного підсилювача активної електричної потужності, представленої послідовністю з чотирьох індуктивно пов'язаних активно-реактивних контурів. Перший – вхідний із джерелом гармонічного сигналу, що підлягає посиленню. Другий – у режимі резонансу напруг формує посилену реактивну потужність. Третій – з додатковим стороннім джерелом напруги в режимі резонансу струмів здійснює виведення потужності другого контуру без зворотного впливу на процеси посилення. Четвертий контур, індуктивно пов'язаний із третім контуром, містить вихідне навантаження – резистор, що моделює виділення посиленої активної потужності. Проведений аналіз та числові оцінки характеристик протікаючих процесів у запропонованій схемі резонансного підсилювача активної електричної потужності дозволяючи обґрунтувати його принципову дієздатність.*

**Ключові слова:** гармонічний сигнал; реактивна потужність; вихідне навантаження; резистор; активна потужність.

Рис.: 2. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Резонанс, як ключ до енергетичного сплеску в коливальних системах різної фізичної природи, нині вивчений недостатньо. Наприклад, добре відомі та зафіксовані історичні факти механічного руйнування мостових конструкцій, неочевидних у сенсі фізичної причинності резонансних явищ у теплообмінних процесах, електротехнічних ланцюгах та багато іншого. Їх аналіз приводить до постановки фундаментального питання про появу джерела, енергія якого дозволяє виконати роботу, неможливу в межах традиційного розуміння причинно-наслідкового зв'язку фізичних процесів. Висуваються різноманітні гіпотези, сутність яких у своїй більшості зводиться до існування деякої вселенської субстанції (наприклад, це «темна» матерія, фізичний вакуум, ефір та ін.), що має величезний енергетичний потенціал. Залежно та умовами реалізації, останній може виявлятися як теплова, ядерна, нарешті, електромагнітна енергія [1-3]. Відволікаючись від робіт із фундаментальних проблем Світобудови, слід особливо виділити безперечний інтерес світової громадськості до практично доступних технічних розробок, спрямованих на вирішення завдань сучасної електроенергетики [4; 5].

**Постановка проблеми.** Пошук нових альтернативних підходів до вирішення проблем сучасної електроенергетики, пов'язаних із виснаженням наявних природних ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Різні варіанти резонансних перетворювачів енергії сонячних батарей розробляються системами електроживлення космічних апаратів [6]. Авторами робіт [7; 8] проведено теоретичні дослідження електромагнітних процесів у трансформаторі Тесла – першому технічно реалізованому пристрою резонан-

сного підсилювача напруги. Отримані результати та чисельні оцінки добре узгоджуються з якісними висновками великого винахідника. Практичним інтересом до резонансного посилення потужності зумовлено появу патенту [9]. Предмет винаходу належить до резонансних систем ударного збудження електроенергетики, але може бути знайти застосування у вторинних джерелах безперебійного живлення, пристроях ехолокації і передавачі електромагнітних коливань для створення надпотужних зондувальних сигналів. Зрештою, робота [10] присвячена експериментальному обґрунтуванню дієвості резонансного підсилювача електричної потужності.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На думку авторів, основним результатом виконаних досліджень є експериментальний факт отримання реактивної потужності, що в  $\sim 33$  рази перевищує вхідну потужність джерела. Нарешті, з практичного погляду цікавить схемна розробка резонансного підсилювача електричної енергії, на виході якого, на відміну від попереднього аналога, генерується активна потужність для виконання робіт різного призначення.

**Метою статті** є пропозиція електричної схеми резонансного підсилювача активної електричної потужності, аналіз та числові оцінки протікаючих характеристик електромагнітних процесів для обґрунтування реальної дієвості цієї пропозиції.

**Виклад основного матеріалу.** Електрична схема, принцип дії.

На рис. 1 запропоновано схему заміщення пропонованого резонансного підсилювача активної електричної потужності, що складається з чотирьох резонансних контурів.

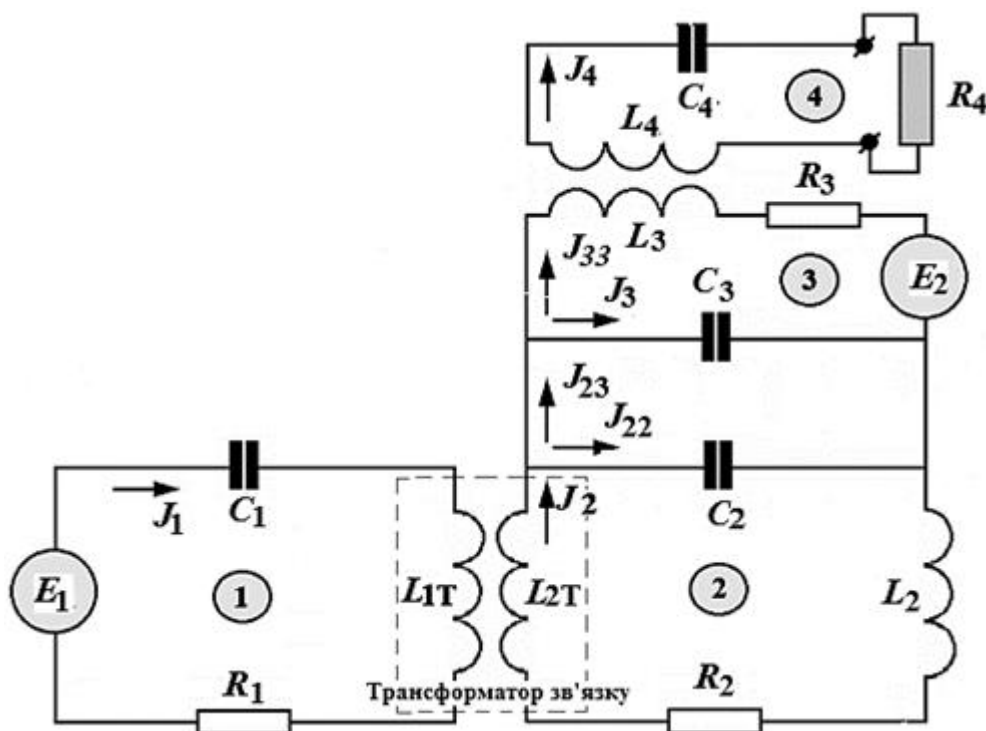


Рис. 1. Схема заміщення активного резонансного підсилювача електричної потужності

Перший з них – 1 із джерелом гармонічної напруги –  $E_1$  є вхідним, струм і напруга якого за допомогою трансформатора зв'язку « $L_{1T} - L_{2T}$ » передається в другий послідовний контур – 2, де посилена реактивна потужність із вихідного елемента ємності –  $C_2$  знімається вже на вхід паралельного резонансного контуру – 3. Останній індуктивно пов'язані з послідовним контуром – 4, вихідний елемент якого моделюється резистором –  $R_4$ , у якому виділяється посилена активна електрична потужність.

Особливість представленої схеми в тому, що паралельний контур – 3 містить стороннє джерело гармонічної напруги –  $E_2$ . Його призначення полягає у створенні умов для режиму резонансу струмів, у якому виключається зворотний вплив на процеси в послідовному контурі, що підсилює – 2.

Відношення активної потужності на виході контуру – 4 (у резистивному навантаженні –  $R_4$ ) до потужності джерела енергії у вхідному контурі – 1 є кількісний показник перетворення електромагнітної енергії за допомогою схеми резонансного підсилювача активної електричної потужності.

Постановка задачі.

- Вхідний послідовний контур 1 містить ємність –  $C_1$ , індуктивність –  $L_{1T}$  (первинна обмотка трансформатора зв'язку між контурами 1 – 2), активний опір –  $R_1$  та джерело гармонічної напруги –  $E_1(t) = E_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  ( $E_1$  – амплітуда,  $\omega$  – частота,  $t$  – час).

- Посилюючий послідовний контур 2 містить індуктивність –  $L_{2T}$  (первинна обмотка трансформатора зв'язку між контурами 1 – 2), ємність –  $C_2$  (вихідний елемент), індуктивність –  $L_2$  та активний опір –  $R_2$  (опір обмоток індуктивностей та з'єднувальних проводів).

- Паралельний контур 3 містить ємність –  $C_3$ , активний опір –  $R_3$  (опір обмоток індуктивностей та з'єднувальних проводів), індуктивність –  $L_3$  та стороннє джерело гармонічної напруги –  $E_2(t) = E_2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  ( $E_2$  – амплітуда).

$$\begin{aligned} R_4 \cdot J_4 + i\omega(k_{34} \cdot \sqrt{L_3 L_4}) \cdot J_{33} &= 0 \\ (i\omega L_3 + R_3) \cdot J_{33} + i\omega(k_{34} \cdot \sqrt{L_3 L_4}) \cdot J_4 - E_2 &= U_{C_3} \\ J_3 &= i\omega C_3 \cdot U_{C_3} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $k_{34} \in [0, 1]$  – коефіцієнт рівня електромагнітного зв'язку між контурами 3 та 4;

$L_4$  – індуктивність, Гн;

$C_4$  – ємність, Ф;

$R_4$  – активний опір навантаження, Ом;

$J_{33}, J_3$  – струми у гілках контуру – 3, А;

$L_3$  – індуктивність, Гн;

$R_3$  – активний опір, Ом;

$E_2$  – стороннє джерело гармонічної напруги, В;

$C_3$  – ємність у гілці  $J_3$ , Ф;

$U_{C_3}$  – напруга на ємності  $C_3$ , В;

Із системи лінійних рівнянь алгебри (1) знаходимо збуджувані струми [9].

$$\begin{aligned} J_4 &= -\frac{i\omega(k_{34} \cdot \sqrt{L_3 L_4})}{R_4} \cdot J_{33}, \\ J_{33} &= \frac{U_{C_3} + E_2}{(i\omega L_3 + R_3 \cdot (1 + k_{34}^2 \cdot Q_3 \cdot Q_4))}, \\ J_3 &= i\omega C_3 \end{aligned} \quad (2)$$

де  $Q_3 = \frac{\omega L_3}{R_3} \cdot Q_4 = \frac{\omega L_4}{R_4}$  – добротності контурів 3 та 4 відповідно.

Підсумовуючи струми в гілках паралельного контуру з урахуванням резонансу, знаходимо струм у виводі від ємності –  $C_2$ :

$$J_{23} = J_3 + J_{33} = \frac{\left( E_2 + iU_{C_3} \left( \frac{1}{Q_3} + k_{34}^2 \cdot Q_4 \right) \right)}{R_3 \cdot \left( iQ_3 + (1 + k_{34}^2 \cdot Q_3 \cdot Q_4) \right)}. \quad (3)$$

З (3) отримуємо, що для виконання наступної умови:

$$E_2 = -i \cdot U_{C_3} \cdot \left( \frac{1}{Q_3} + k_{34}^2 \cdot Q_4 \right). \quad (4)$$

На практиці необхідну амплітуду напруги стороннього джерела можна визначити, варіюючи її величину до отримання нульового струму у висновках до контуру – 3 від ємності –  $C_2$  у контурі – 2.

За допомогою (2) та (4) визначаємо напругу та струм в активному навантаженні –  $R_4$ :

$$\begin{cases} U_4 = U_{C_3} \cdot \left( k_{34}^2 \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right) \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}}; \\ J_4 = \frac{U_{C_3}}{R_4} \cdot \left( k_{34}^2 \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right) \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}}. \end{cases} \quad (5)$$

При виконанні умови (4), що забезпечує режим резонансу в паралельному контурі – 3, струм у виведенні від ємності –  $C_2$  до контуру – 3 дорівнює нулю ( $J_{23} = 0$ ), та електромагнітні процеси в резонансних контурах – 2 та 1 протікають незалежно від процесів у контурах – 3 та 4.

Зазначена обставина дозволяє проаналізувати збудження контурів – 2 та 1 джерелом гармонічної напруги –  $E_1$  поза функціональним зв'язком з контурами – 3 та 4.

Система рівнянь стану має вигляд [11]:

$$\begin{cases} E_1 = \left( i \left( \omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) + R_1 \right) \cdot J_1 + i \cdot M_{12} \cdot J_2; \\ -i\omega \cdot M_{12} \cdot J_1 = \left( i \left[ \omega \cdot L_{2S} - \frac{1}{\omega C_2} \right] + R_2 \right) \cdot J_2; \end{cases} \quad (6)$$

де  $J_{1,2}$  струми в контурах 1 та 2 відповідно;

$M_{12} = k_{12} \cdot \sqrt{L_{1T} L_{2T}}$  – взаємодуктивність,  $k_{12} \in [0, 1]$  коефіцієнт рівня електромагнітного зв'язку між контурами 1 – 2;

$L_{2S} = (L_{2T} + L_2)$  – сумарна індуктивність, контур 2.

У разі виконання умов резонансу:

$\left\{ \left( \omega \cdot L_{2S} - \frac{1}{\omega C_2} \right) = 0, \left( \omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) = 0 \right\}$  система рівнянь (6) набуває вигляду:

$$\begin{cases} E_1 = J_1 \cdot R_1 + i\omega M_{12} \cdot J_2; \\ -i\omega M_{12} \cdot J_1 = R_2 \cdot J_2. \end{cases} \quad (7)$$

З (7) отримуємо вирази для збуджуваних струмів.

$$\begin{cases} J_1 = E \cdot \frac{R_2}{((\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2)}; \\ J_2 = -i \cdot \frac{E_1}{Z} \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{де } Z = \frac{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}{\omega M_{12}}.$$

Зазначимо, що  $Z$  має сенс модуля еквівалентного індуктивного опору, що зв'язує напругу джерела потужності –  $E_1$  з резонансним струмом у другому контурі, оскільки, як випливає з виразу для  $J_2$ , тут має місце суворо індуктивний зв'язок.

Відповідний вираз перепишемо у вигляді, зручному для подальшого аналізу.

$$J_2 = -i \cdot \frac{E_1}{Z}, \quad (9)$$

$$\text{де } Z = \frac{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}{\omega M_{12}}.$$

Функціональна залежність  $Z = Z \cdot (\omega M_{12})$  повинна мати мінімум, що визначає максимум струму  $J_2$  як функції аргументу  $-(\omega M_{12})$ .

Необхідна умова існування екстремуму для функції –  $Z = Z \cdot (\omega M_{12})$  запишеться у вигляді [12]:

$$\frac{dZ(\omega M_{12})}{d(\omega M_{12})} = \frac{(\omega M_{12})^2 - R_1 \cdot R_2}{(\omega M_{12})^2} = 0. \quad (10)$$

З виразу (10) випливає, що модуль еквівалентного опору як функція аргументу –  $(\omega M_{12})$ , досягає мінімуму при  $(\omega M_{12})_{\min} = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$ . А власне мінімум опору –  $Z_{\min} = 2\sqrt{R_1 \cdot R_2}$ .

У термінах параметрів схеми контурів 2 і 1 умова реалізації мінімальної величини еквівалентного опору має вигляд:

$$\omega \cdot k_{12} \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}} = \sqrt{R_1 \cdot R_2}. \quad (11)$$

З виразу (11) випливає оцінка значення коефіцієнта електромагнітного зв'язку –  $k_{12}$ , забезпечує максимум вторинного струму –  $J_2$ :

$$k_{12-\max} = \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{(\omega \cdot L_{1T}) \cdot (\omega \cdot L_{2T})}}. \quad (12)$$

Фізично, знайдений мінімум еквівалентного опору, що зв'язує вторинний струм з напругою джерела потужності –  $E_1$  і визначальний максимум посилення потужності, можна пояснити мінімально можливою зворотною перекачуванням енергії з вторинного контуру – 2 в первинний – 1. Причому цей стан речей забезпечується рівнем електромагнітного зв'язку між контурами згідно з формулою – (12).

Для обчислення інтегрального коефіцієнта перетворення активної електричної потужності у запропонованій схемі резонансного підсилювача запишемо формули для струму у першому контурі – 1 та напруги у «вихідному» елементі –  $L_2$  контуру – 2.

$$J_1 = \frac{E}{2R_1};$$

$$UC_2 = -E_1 \cdot \frac{1}{2\omega C_2 \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}} = \left\| \frac{1}{\omega C_2} = \omega L_{2s} \right\| = -E_1 \cdot \frac{\omega L_{2s}}{2\sqrt{R_1 \cdot R_2}}. \quad (13)$$

Враховуючи, що  $U_{C_3}$ , після підстановки вираз для  $U_{C_2}$  у (5) знаходимо напругу і струм в активному опорі навантаження –  $R_4$ .

$$\begin{cases} U_4 = -E_1 \cdot \frac{\omega L_{2s}}{2\sqrt{R_1 \cdot R_2}} \cdot \left( k_{34} \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right); \\ J_4 = -E_1 \cdot \frac{\omega L_{2s}}{2R_4 \sqrt{R_1 \cdot R_2}} \cdot \left( k_{34} \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right). \end{cases} \quad (14)$$

Відповідно до (13) і (14) амплітуди потужності в контурі – 1, у контурі – 2 та на «виході» резонансного підсилювача активної електричної потужності в контурі – 4 будуть визначатися наступними залежностями.

$$\begin{cases} P_{1m} = \frac{E_1^2}{2R_1}; \\ P_{2m} = \frac{E_1^2}{R_1} \cdot \frac{Q_2}{4}; \\ P_{4m} = E_1^2 \cdot \frac{R_2}{4R_4 \cdot R_1} \cdot Q_2^2 \cdot \left( k_{34}^2 \cdot \frac{L_4}{L_3} \right), \end{cases} \quad (15)$$

де  $Q_2 = \frac{\omega L_{2s}}{R_2}$  – добротність контуру – 2.

Коефіцієнти перетворення електричної потужності в контурах запропонованої схеми резонансного підсилювача знаходяться як відношення відповідних величин з виразів (15):

$$\begin{cases} \text{а) з контура 1 в контур 2,} \\ K_{1-2} = \frac{P_{2m}}{P_{1m}} = \frac{Q_2}{2}; \\ \text{б) з контура 2 в контур 4,} \\ K_{2-4} = \frac{P_{4m}}{P_{2m}} = \left( \frac{L_{2s}}{L_3} \right) \cdot k_{34}^2 \cdot Q_4; \\ \text{б) з контура 1 в контур 4,} \\ K_{1-4} = \frac{P_{4m}}{P_{1m}} = \frac{Q_2}{2} \cdot \left( \frac{L_{2s}}{L_3} \right) \cdot k_{34}^2 \cdot Q_4. \end{cases} \quad (16)$$

**Аналіз, числові оцінки.** З фізичних міркувань, очевидно, що з точки зору максимуму ефективності перетворювача в цілому, внесок стороннього джерела гармонічної напруги у реалізацію резонансу струмів у паралельному контурі повинен бути мінімальним. Як впливає з залежностей (4) і (16) для цього необхідна досить висока доброт-

ність –  $Q_3 \gg 1$  досить слабкий електромагнітний зв'язок із послідовним контуром у поєднанні з його малою добротністю –  $k_{34}^2 \cdot Q_4 \ll 1$ . Водночас залежність коефіцієнта посилення потужності –  $K_{1-4}$  з (16) вимагає збільшення параметра –  $K_{34}^2 \cdot Q_4$ .

Отже, очевидно, що в оцінці ефективності запропонованого пристрою мінімум напруги стороннього джерела –  $E_2$  залежність (4) та коефіцієнт посилення  $K_{1-4}$  формула (16) є основними параметрами. Слід наголосити, коефіцієнт перетворення залежить не тільки від параметра –  $K_{34}^2 \cdot Q_4$ , але й від добротності вторинного контуру підсилювача –  $Q_2$ , а також відношення –  $\left(\frac{L_{2s}}{L_3}\right)$ . Наявність останніх двох залежностей дозволяє регулювати величину коефіцієнта посилення у досить широких межах, незважаючи на можливе зменшення величини –  $K_{34}^2 \cdot Q_4$ . У цьому вибір даного параметра, в першу чергу, повинен орієнтуватися на залежність (4) і потім (16).

На закінчення проведеного аналізу відзначимо, що у експериментальній моделі перетворювача необхідну амплітуду напруги стороннього джерела можна визначити, варіюючи її величину до отримання нульового струму у висновках джерела реактивної потужності.

Числові оцінки ефективності запропонованого підсилювача резонансної активної потужності були виконані для розробленої експериментальної моделі з фіксованими параметрами, які було обрано за досвідом виконаних попередніх досліджень [10]:  $\omega = 2\pi \cdot 25000$  Гц,  $L_{1T} = L_{2T} = L_3 = 14,8$  мкГн,  $L_2 = 169$  мкГн,  $R_2 = 0,35$  Ом,  $R_1 = R_3 = 0,1$  Ом,  $k_{34} = 0,1$ .

Результати обчислень наведено на рис. 2.

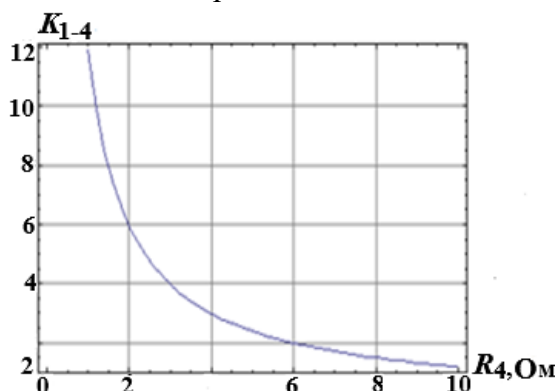


Рис. 2. Ефективність посилення активної потужності від опору навантаження без урахування введеної потужності стороннього джерела

Основним коментарем залежності на рис. 2 є висновок про те, що ефективна робота запропонованого підсилювача активної потужності з відносно високим коефіцієнтом перетворення електричної енергії можлива для активних низькоомних навантажень. Так, зі значення –  $R_4 < 6$  Ом величина –  $K_{1-4} > 2$ .

**Висновки.** Запропоновано схему резонансного підсилювача активної електричної потужності, представлена послідовністю індуктивно пов'язаних активно-реактивних контурів.

Відмінною особливістю цієї пропозиції є запровадження додаткового стороннього джерела гармонічної напруги, що дозволяє виключити зворотний вплив вихідних струмів та напруг на процеси їхнього резонансного посилення.

На підставі чисельних оцінок та аналізу характеристик протікаючих електромагнітних процесів, сформульовані висновки про реальну дієвість запропонованого підсилювача.

#### Список використаних джерел

1. Лоренц Г. А. Теорії та моделі ефіру : пер. з англ. / Г. А. Лоренц ; за ред. А. К. Тимірязєва. – Л. : ОНТІ, 1936. – 68 с.

2. Еткін В. А. До вирішення проблеми термодинамічних нерівностей / В. А. Еткін // Вісті Сиб. від. АН СРСР. Сер. техн. наук. – 1988. – Вип. 4. – № 15. – С. 34–39.
3. Тесла Н. Лекції та статті / Н. Тесла. – М. : Изд. Tesla Print, 2003. – 386 с.
4. Батигін, Ю. В. Фізико-технічні аспекти отримання енергії з навколишнього простору за допомогою трансформатора Тесла / Ю. В. Батигін // Теоретичні та прикладні проблеми взаємодії науки та техніки : збірник матеріали II Всеукраїнського науково-практичного семінару, присвяченого 85-річчю Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 11–12 листопада 2015 р., м. Харків. – Х. : Лідер, 2016. – С. 156–162.
5. Павлов Г. В. Резонансні перетворювачі в енергоефективних електротехнічних системах / Г. В. Павлов, А. В. Обрубов // Енергозбереження, енергетика, енергоаудит. Спец. Випуск. Т. 1. – 2014. – № 9. – С. 13–23.
6. Резонансні перетворювачі енергії сонячної батареї / А. В. Осипов, Ю. А. Шиняков, М. М. Чорна, А. А. Ткаченко // Решетнівські читання. – 2015. – Т. 1. – № 19. – С. 290-292.
7. Резонанс у вторинному контурі трансформатора Тесла при збудженні гармонічною напругою / Ю. В. Батигін, Є. О. Чаплігін., С. О. Шиндерук., О. С. Сабокар // Вісник НТУ "ХПІ". Математичне моделювання у техніці та технологіях. – 2017 – № 30. – С. 25–31.
8. Batygin Yu. V. The quantitative indices of induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer / Yu. V. Batygin, S. A. Shinderuk, G. S. Serikov // Danish Scientific Journal. – 2018. – No. 11. – Pp. 72–79.
9. Пат. 103215 України, В21 Д 26/14. Резонансний підсилювач потужності / Лиховид Ю. М.; заявник та патентовласник Лиховид Ю. М. – № у 2015 04915 ; заявл. 20.05.2015 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.
10. Батигін Ю. В. Резонансний підсилювач електричної потужності. Експериментальні дослідження / Ю. В. Батигін, Г. С. Серіков, С. О. Шиндерук // Перспективні технології та прилади : зб. наукових праць. – 2018. – № 13. – С. 18–24.
11. Атабеков Г. І. Основи теорії ланцюгів / Г. І. Атабеков. – Л. : Енергія, 2006. – 220 с.
12. Корн Г. Довідник з математики / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 831 с.

### References

1. Lorents, H.A., & Tymiriaziev, A.K. (Ed.). (1936). *Teorii ta modeli efiru [Theories and models of ether]*. ONTI.
2. Etkin V.A. (1988). Do vyrishennia problemy termodynamichnykh nerivnostei [To solve the problem of thermodynamic inequalities]. *Visti Syb. vid. AN SRSR. Ser. tekhn. nauk – Vesti Sib. from. Academy of Sciences of the USSR. Ser. technical Science*, 4(15), 34-39.
3. Tesla, N. (2003). *Lektsii ta statii [Lectures and articles]*. Tesla Print.
4. Batyhin, Yu.V. (2016). Fyzyko-tekhnichni aspekty otrymannia enerhii z navkolyshnoho prostoru za dopomohoiu transformatora Tesla [Physical and technical aspects of obtaining energy from the surrounding space using a Tesla transformer]. *Teoretychni ta prykladni problemy vzaemodii nauky ta tekhniki: zbirnyk materialiv II Vseukrainskoho naukovopraktychnoho seminaru, prysviachenoho 85-richchiu Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu – Theoretical and applied problems of the interaction of science and technology: collection of materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Seminar, dedicated to the 85th anniversary of Kharkiv National Automobile and Highway University* (pp. 156-162). Lider.
5. Pavlov, H.V., & Obrubov, A.V. (2014). Rezonansni peretvoriuvachi v enerhoefektyvnykh elektrotekhnichnykh systemakh [Resonant converters in energy-efficient electrotechnical systems]. *Enerhozberezhennia, enerhetyka, enerhoaudyt. Spets. Vypusk – Energy conservation, energy, energy audit. Spec. Output*, 1(9), 13-23.
6. Osypov, A.V., Shyniakov, Yu.A., Chorna, M.M., & Tkachenko, A.A. (2015). Rezonansni peretvoriuvachi enerhii soniachnoi batarei [Resonant solar battery energy converters]. *Reshetnivski chytannia – Reshetnev readings*, 1(19), 290-292.
7. Batyhin, Yu.V., Chaplihin, Ye.A., Shynderuk, S.A., & Sabokar, O.S. (2017). Rezonans u vtorynnomu konturi transformatora Tesla pry zbudzhenni harmonichnoiu napruhoiu [Resonance in the secondary circuit of the Tesla transformer when excited by a harmonic voltage]. *Visnyk NTU “KhPI”. Matematychni modeliuvannia u tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Bulletin of NTU “KhPI”. Mathematical modeling in engineering and technology*, (30(1252)), 25-31.



8. Batygin, Yu.V., Shinderuk, S.A., & Serikov, G.S. (2018). The quantitative indices of induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer [The quantitative indices of induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer]. *Danish Scientific Journal*, (11), 72-79.

9. Lykhovid, Yu.M. (2015). *Rezonansnyi pidsyliuvach potuzhnosti* (Patent Ukrainy na korysnu model № 103215).

10. Bathyin, Yu.V., Sierikov, H.S., & Shynderuk, S.A. (2018). Rezonansnyi pidsyliuvach elektrychnoi potuzhnosti. Eksperymentalni doslidzhennia [Resonant amplifier of electric power. Experimental studies]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Promising technologies and devices*, (13), 18-24.

11. Atabekov, H.I. (2006). *Osnovy teorii lantsiuhiv* [Basics of chain theory]. Enerhiia.

12. Korn, H., Korn, T. (1973). *Dovidnyk z matematyky* [Handbook of mathematics]. Nauka.

Отримано 02.10.2022

UDC 621.318

**Yuriy Batygin<sup>1</sup>, Svitlana Shinderuk<sup>2</sup>, Evgen Chaplygin<sup>3</sup>,  
Tetyana Gavrilo<sup>4</sup>, Denis Fendrykov<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, professor of the physics department  
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [yu.v.batygin@gmail.com](mailto:yu.v.batygin@gmail.com). ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1278-5621>. ResearcherID: [G-7765-2014](https://orcid.org/0000-0002-1278-5621)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Physics Department  
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [s.shinderuk.2016102@ukr.net](mailto:s.shinderuk.2016102@ukr.net). ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6354-4174>. ResearcherID: [G-8375-2015](https://orcid.org/0000-0002-6354-4174)

<sup>3</sup> PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Physics department  
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [chaplygin.e.a@gmail.com](mailto:chaplygin.e.a@gmail.com). ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1448-6091>. ResearcherID: [G-4398-2015](https://orcid.org/0000-0003-1448-6091)

<sup>4</sup> PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Physics Department  
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [gavrilo.hnadu@gmail.com](mailto:gavrilo.hnadu@gmail.com). ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3677-2219>. ResearcherID: [G-5638-2016](https://orcid.org/0000-0002-3677-2219)

<sup>5</sup> PhD student of the Physics Department

Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [097931417e@gmail.com](mailto:097931417e@gmail.com). ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9702-6412>. ResearcherID: [G-7718-2021](https://orcid.org/0000-0002-9702-6412)

## RESONANT AMPLIFIER OF ACTIVE ELECTRICAL POWER. SUGGESTION, ANALYSIS, NUMERICAL ASSESSMENTS

*The purpose of this work is to substantiate the real effectiveness of the proposed active electric power resonant amplifier circuit, represented by a sequence of four inductively coupled active-reactive circuits. The first of them is the input with a source of a harmonic signal to be amplified. The second one generates amplified reactive power in the voltage resonance mode. The third one carries out the output of power from the second circuit without the reverse influence of the amplification processes with an additional third-party voltage source in the current resonance mode. The fourth circuit inductively connected to the third circuit contains an output load - a resistor that simulates the release of amplified active power. The analysis and numerical assessments of the characteristics of the processes in the proposed scheme of the resonant amplifier of active electric power made it possible to substantiate its fundamental capability. Quantitative estimates for the experimental model made it possible to give recommendations on the choice of the parameters of the circuit elements of the resonant amplifier, which has sufficiently high efficiency indicators for low-resistance output active loads.*

*The results obtained are based on the conclusions of a generalized theoretical analysis of electromagnetic processes and numerical estimates for its experimental implementation. The proposed scheme for the resonant amplification of active electric power, the rationale for its fundamental effectiveness, the theory and numerical assessments of the characteristics of the ongoing processes are of practical interest for further experimental studies, as well as for formulating recommendations for the manufacture of operating samples of this proposal are very promising directions. The results of the conducted research are seen as a theoretical search for the conditions for the highest efficiency and an experimental study of electromagnetic processes in the proposed circuit of a resonant amplifier of active electric power.*

**Keywords:** harmonic signal; reactive power; output load; resistor; active power; scheme elements; low resistance loads; output loads.

Fig.: 2. References: 12.