

УДК 621.314

Батыгин Ю.В., д.т.н., Шиндерук С.А, к.т.н., Сериков Г.С., к.т.н., Еремина Е.Ф., к.т.н.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы было проведение экспериментальных исследований резонансного усилителя мощности из двух индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров, возбуждаемых источником гармонического напряжения, анализ результатов измерений и, в конечном итоге, обоснование практической действенности предложенного резонансного усилителя мощности. Показано, что в принятой схеме с достаточной строгостью соблюдаются резонансные условия в контурах (отклонения по частотам не превышают ~0.8%). В целом сравнение результатов измерений с расчётными данными показало достаточно хорошее их согласие. Незначительные расхождения можно объяснить отклонением реальных рабочих частот в контурах от расчётных и влиянием внешних электромагнитных полей, генерируемых отдельными компонентами резонансных контуров усилителя. Выводы проведенных исследований согласуются с рекомендациями Н. Тесла, соответственно которым резонансная «накачка» вторичного «выходного» контура должна производиться достаточно малыми электрическими воздействиями со стороны первичного «входного» контура на частоте, равной собственным частотам контуров усилителя. Основным результатом проведенных на экспериментальной модели испытаний является ~ 35-кратное усиление реактивной электрической мощности.

Ключевые слова: трансформатор Тесла, резонансный усилитель электрической мощности, электромагнитные процессы, активная нагрузка.

Постановка задач настоящего рассмотрения иницирована практическим интересом к резонансным явлениям в электротехнике. На практическое использование этих явлений для решения проблем энергетики впервые указал Никола Тесла. Более ста лет назад, 22 сентября 1896 года, он предложил и запатентовал «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала». В основе предложения, названного по имени изобретателя «трансформатором Тесла», лежит явление резонанса, позволившее получить необычайно высокий коэффициент усиления напряжения ($k > 1000$) [1].

Без сомнения, идеи использования резонансных явлений, выдвинутые Николой Тесла, достойны не просто продолжения, а тщательного изучения и конечной реализации в виде совершенных преобразователей электрической энергии [2].

Исследованиям трансформатора Тесла, как высоковольтного генератора, разнообразным предложениям практического использования физических принципов, заложенных в основу его действенности, теории протекающих процессов и оценкам количественных характеристик посвящены многочисленные работы, например, [3-7]. Так, в научной монографии [3] описана техника формирования мощных наносекундных импульсов, вкратце освещены отдельные вопросы высоковольтных электрических цепей. Автором работы [4] дана ретроспектива создания высокоэффективных устройств преобразования электрической энергии, описаны практические достижения, защищённые патентами стран Европы и Америки, освещены принципы получения, так называемого, «холодного» электричества. В монографии [5], исходя из взглядов автора как электрофизика, представлена принципиальная действенность трансформатора Тесла, описаны отдельные эксперименты, предложена структурная схема генератора электрической энергии. Теоретическому анализу электромагнитных процессов в трансформаторе Тесла, расчётам его базовых характеристик посвящены работы [6, 7]. Авторами получены аналитические выражения для возбуждаемых токов и напряжений, подтвержденные экспериментальными выводами самого Н. Тесла, даны оценки амплитуд выходного напряжения при вариации рабочих частот относительно резонансного значения и др.

Авторами была предложена и теоретически обоснована работоспособность резонансного усилителя электрической мощности, принцип действия которого связывает резонансные эффекты в трансформаторе Тесла и возможности усиления тока в индуктивно связанных резонансных контурах, представленные в авторитетном издании [8]. Теоретические положения

и численные оценки действенности предложенного резонансного усилителя электрической мощности требуют экспериментального подтверждения, а собственно предложенный усилитель подлежит практической апробации.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение характеристик резонансного усилителя мощности из двух индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров, возбуждаемых источником гармонического напряжения, сравнение результатов измерений с расчётными данными и, в конечном итоге, обоснование практической действенности предложенного резонансного усилителя мощности.

Научная новизна настоящей работы состоит в экспериментальном определении характеристик электромагнитных процессов в предложенной схеме резонансного усилителя, направленном на обоснование принципиальной действенности предложенного резонансного усилителя электрической мощности

Объект исследования – экспериментальная модель резонансного усилителя мощности.

Электрическая и монтажная схемы представлены на рис.1, а. общий вид экспериментальной модели – на рис. 2.

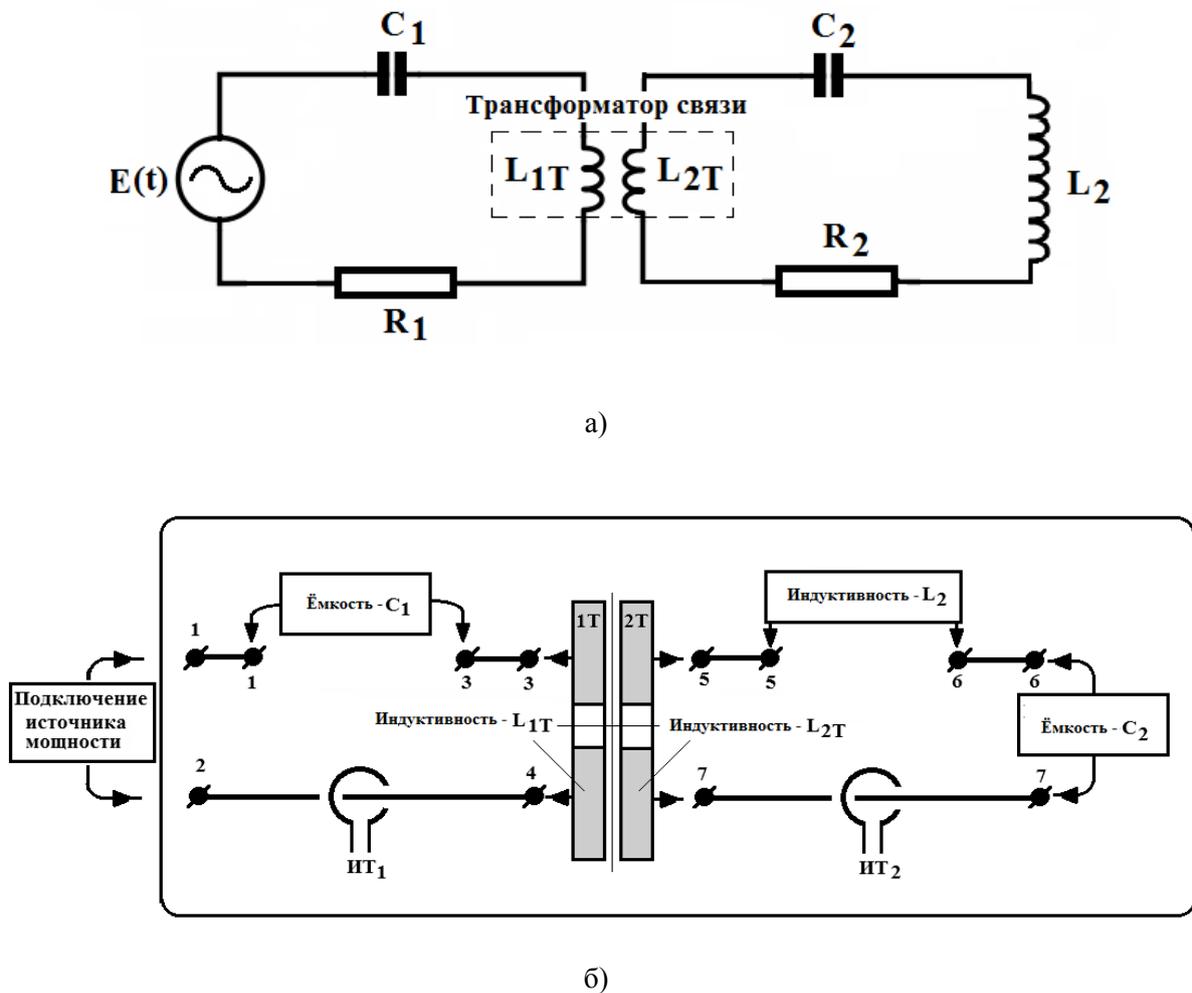


Рис.1. Экспериментальная модель резонансного усилителя мощности,

а) электрическая схема замещения,

первый контур: $E(t)$ - источник гармонического напряжения, C_1 - ёмкость, L_{1T} - индуктивность первичной обмотки трансформатора связи между контурами, R_1 - активное сопротивление; второй контур: C_2 - ёмкость, L_{2T} - индуктивность вторичной обмотки трансформатора связи между контурами, L_2 - «выходная» индуктивность, R_2 - активное сопротивление.

б) монтажная схема с обозначениями, соответствующими электрической схеме, ИТ₁, ИТ₂ - измерители тока в первом и втором контурах, соответственно

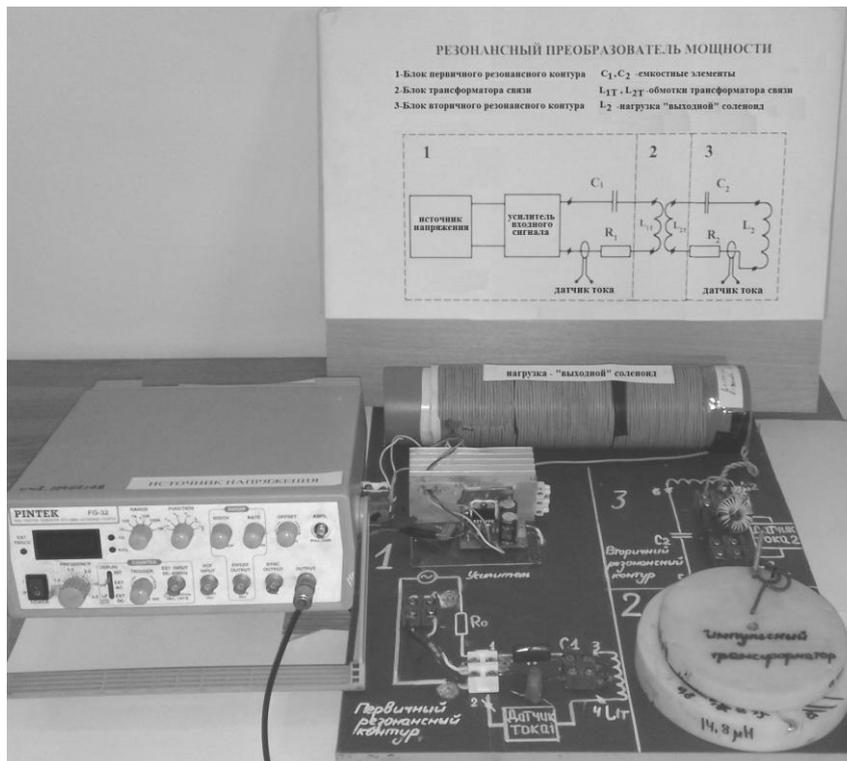


Рис.2. Общий вид экспериментальной модели.

Отметим, что монтажная схема, фактически, представляет собой конструктивное выполнение модели усилителя с нижеследующими особенностями.

Монтажная схема выполняется на листовом диэлектрике (монтажная плата).

Геометрия рисунка соединительных токопроводов и расположения элементов определяется их размерами с жёсткой фиксацией на плоскости монтажной платы.

Точки измерения, согласно расположению на монтажной схеме, должны быть выведены в виде клемм для подсоединения контактов от измерителя напряжений.

Измерители тока – пояса Роговского с известными параметрами преобразования измеряемых сигналов (тарировка) жёстко фиксируются на плате согласно монтажной схеме.

Рабочие параметры экспериментальной модели:

Источник гармонического напряжения:

амплитуда – $E_m \geq 1,0$ В;

рабочая частота – $f = 25$ кГц.

Первый контур:

собственная частота, $f_1 = 25$ кГц (после настройки $\sim 24,89$ кГц);

первичная обмотка трансформатора связи – $L_{1T} \approx 14,8$ мкГн;

конденсатор ёмкостью – $C_1 = 2,763$ мкФ;

суммарное активное сопротивление элементов контура – $R_1 = 0,1$ Ом.

Второй контур:

собственная частота, $f_2 = 25,0$ кГц (после настройки $\sim 24,93$ кГц);

вторичная обмотка трансформатора связи – $L_{2T} \approx 14,8$ мкГн;

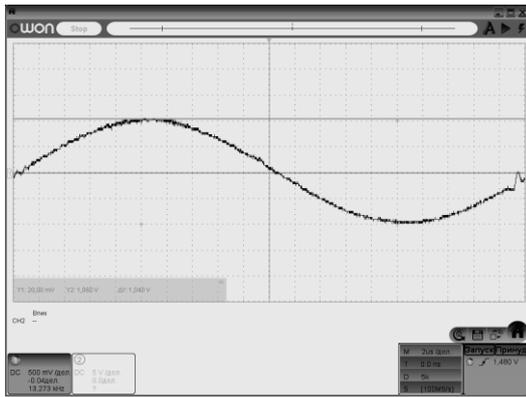
«выходная» индуктивность преобразователя – $L_2 \approx 169,2$ мкГн;

конденсатор ёмкостью – $C_2 = 0,22$ мкФ;

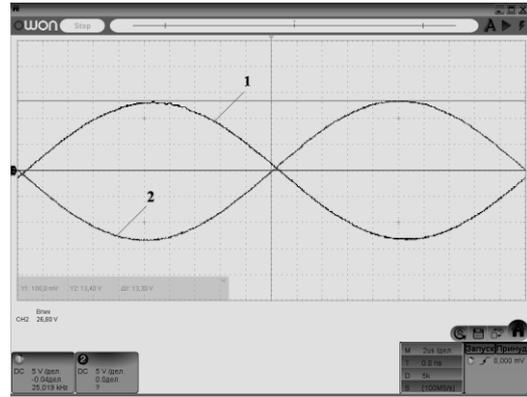
суммарное активное сопротивление – $R_2 = 0,35$ Ом.

После подсоединения источника мощности к входным клеммам и тщательной настройки контуров к работе в резонансном режиме были проведены измерения напряжений и токов согласно монтажной схеме объекта исследования.

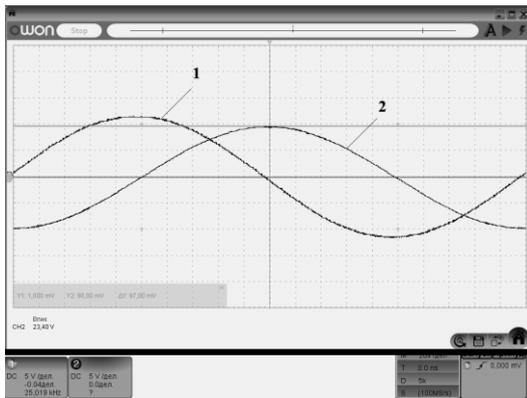
На рис.3. и рис.4. представлены характерные осциллограммы токов и напряжений, иллюстрирующие электромагнитные процессы в исследуемом усилителе электрической мощности.



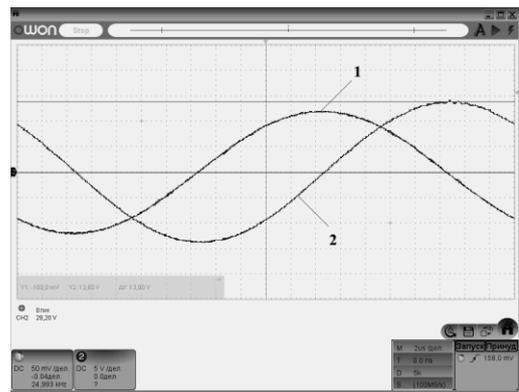
а)



б)



в)



г)

Рис.3. Первый контур,

- а) напряжение на выходе источника гармонического напряжения;
- б) напряжение на индуктивности – 1, напряжение на ёмкости – 2;
- в) напряжение на ёмкости – 1, ток – 2;
- г) ток в индуктивности – 1, напряжение на индуктивности – 2.

Оценки результатов измерений.

1) Первый контур – «входной» контур усилителя, строгость выполнения условий резонанса: условие резонанса

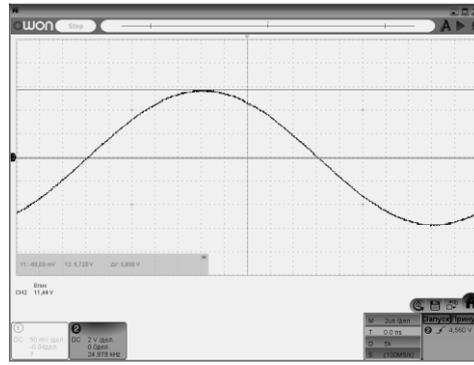
$$\delta_1 = \frac{\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1}}{0.5 \cdot \left(\omega L_{1T} + \frac{1}{\omega C_1} \right)} = 0,08; \quad (1)$$

2) Второй контур – «выходной» контур усилителя, строгость выполнения условий резонанса: условие резонанса

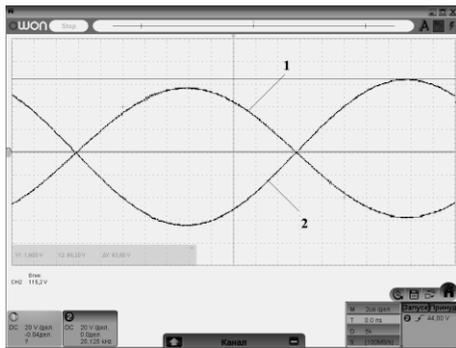
$$\delta_2 = \frac{\omega(L_{2T} + L_2) - \frac{1}{\omega C_2}}{0.5 \cdot \left(\omega(L_{2T} + L_2) + \frac{1}{\omega C_2} \right)} = 0,005; \quad (2)$$

определение коэффициента уровня электромагнитной связи между обмотками трансформатора связи,

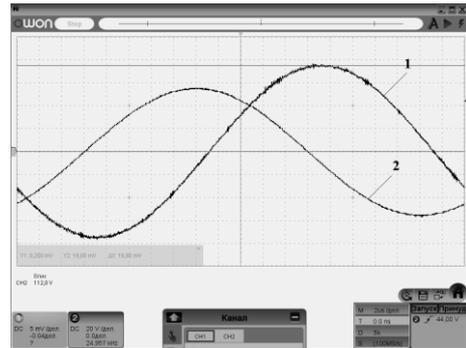
$$k_{12e} = \frac{R_2}{\omega \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}}} \cdot \frac{J_2}{J_1} = 0,093 \text{ (расчёт – 0,08)}. \quad (3)$$



а)



в)



б)

Рис.4. Второй контур,
 а) напряжение на вторичной обмотке трансформатора связи;
 б) напряжение на «выходной» индуктивности – 1, напряжение на ёмкости – 2;
 в) ток в «выходной» индуктивности – 1, напряжение – 2.

Результаты измерений сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов.

№	Позиции измерений и расчетов		Первый контур				Второй контур			
			Клеммы				Клеммы			
	Измеряемые и расчетные величины		1-2, E	1-3, C ₁	3-4, L _{1T}	2-4, J ₁	5-7, L _{2T}	5-6, L ₂	6-7, C ₂	7-7, J ₂
1	Напряж ение, В	Эксперимент	1,0	11,0	11,0	-	5,8	56,4	62,4	-
		Расчет	1,0	11,58 (5%)	11,58 (5%)	-	6,19 (7%)	70,8 (25%)	76,2 (22%)	-
2	Ток, А	Эксперимент	5,46	-	-	5,46	-	-	-	3,39
		Расчет	5,0 (9%)	-	-	5,0 (9%)	-	-	-	2,7 (25%)
3	Мощно сть, ВА	Эксперимент	5,46	60,06	60,06	-	19,66	191,2	211,5	-
		Расчет	5,0 (9%)	58,25 (3%)	58,25 (3%)	-	16,7 (17%)	189,2 (0,2%)	205,7 (3%)	-

В строках «Расчёт» проценты (внизу) – это расхождения экспериментальных и расчётных данных.

Отношение «выходной» мощности преобразователя к «выходной» мощности источника

$$\frac{U_{L_2} \cdot J_2}{E \cdot J_1} = \left\{ \begin{array}{l} 35.0 - \text{эксперимент} \\ 37.8 - \text{расчёт} \end{array} \right\},$$

(расхождение ~ 9%).

Отношение «выходной» мощности преобразователя к «выходной» мощности первого контура:

$$\frac{U_{L_2} \cdot J_2}{U_{L_{1T}} \cdot J_1} = \left\{ \begin{array}{l} 3.2 - \text{эксперимент} \\ 3.3 - \text{расчёт} \end{array} \right\},$$

(расхождение ~ 3%).

Резюме:

1. В принятой схеме с достаточной строгостью соблюдаются резонансные условия в контурах (отклонения по частотам не превышают ~0.8%).

2. Отклонения результатов измерений в сравнении вычислениями можно объяснить отклонением реальных от расчётных рабочих частот в контурах и влиянием внешних электромагнитных полей (влияние поля «выходного» соленоида на электромагнитные процессы в трансформаторе связи).

3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования согласуются с рекомендациями Н.Тесла, соответственно которым резонансная «накачка» вторичного «выходного» контура должна производиться достаточно малыми электрическими воздействиями со стороны первичного «входного» контура на частоте, равной собственным частотам контуров усилителя.

4. В целом, полученные результаты иллюстрируют реальные возможности многократного усиления мощности в принятой схеме резонансного преобразователя электромагнитной энергии, основанной на использовании идеи «трансформатора Тесла».

Выводы. Экспериментально определены характеристики резонансного усилителя мощности из двух индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров, возбуждаемых источником гармонического напряжения.

Сравнение результатов измерений с расчётными данными показало достаточно хорошее их согласие, что свидетельствует о достоверности результатов проведенных исследований.

Экспериментально обоснована практическая действенность предложенного резонансного усилителя мощности.

В экспериментальной модели получено ~ 35-кратное усиление электрической мощности.

Дальнейшие перспективы – исследования, направленные на эффективное преобразование полученной реактивной мощности в «выходном» элементе предложенного усилителя в активную электрическую мощность для потребления в нагрузке любого назначения.

Проведенные экспериментальные исследования предложенной схемы резонансного усилителя электрической мощности представляют практический интерес для дальнейшего совершенствования настоящего предложения с выходом на разработки устройств преобразования выходной реактивной мощности при подключении активной нагрузки. Весьма перспективным в направлении проведенных исследований видится поиск условий наиболее эффективной действенности предложенной схемы резонансного усилителя электрической мощности и способов подключения нагрузки.

Информационные источники

1. Н.Тесла, Лекции и статьи. – М: Изд. Tesla Print. 2003.
2. В.А. Эткин, Теоретические основы бестопливной энергетики. © 2013 – Etkin V.A. Published in Canada by Altaspera Publishing & Literary Agency Inc.
3. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М: Наука. 2004. – 704 с.
4. Piter Lindemann. The Free Energy Secrets of Cold Electricity. – Publishing House: Clear Tech Inc. 2000.
5. Ацюковский В.А., Трансформатор Тесла. Жуковский: Изд.ООО «Петит». 2004. – 24с.

6. Ю.В.Батыгин, Е.А.Чаплыгин, Шиндерук С.А., Сабокарь О.С., Резонанс во вторичном контуре трансформатора Тесла при возбуждении гармоническим напряжением. // Вісник НТУ «ХП». Серія: математичне моделювання в техніці та технологіях. №30(1252).2017. – с.21-27.

7. Yu.V.Batygin, S.A. Shinderuk, S. Serikov, The quantitative indices of the induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer. // Danish Scientific Journal, №11-1, 2018, p. 72-79.

8. К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин, Теоретические основы электротехники. 4-е издание. Том 1. –СПб: «Питер». 2003. – с.317 – 318.

Батигін Ю.В., д.т.н., Шиндерук С.О., к.т.н., Сєріков Г.С., к.т.н., Єрьоміна О.Ф., к.т.н.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

РЕЗОНАНСНИЙ УСИЛИТЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цієї роботи було проведення експериментальних досліджень резонансного підсилювача потужності з двох індуктивно зв'язаних послідовних активно-реактивних контурів, порушуваних джерелом гармонійного напруги, аналіз результатів вимірювань і, в кінцевому підсумку, обґрунтування практичної дієвості запропонованого резонансного підсилювача потужності. Показано, що в прийнятій схемі з достатньою строгістю дотримуються резонансні умови в контурах (відхилення по частотах не перевищують ~ 0.8%). В цілому порівняння результатів вимірювань з розрахунковими даними показало досить гарну їх згоду. Незначні розбіжності можна пояснити відхиленням реальних робочих частот в контурах від розрахункових і впливом зовнішніх електромагнітних полів, що генеруються окремими компонентами резонансних контурів підсилювача. Висновки проведених досліджень узгоджуються з ре-комендації Н. Тесла, відповідно до яких резонансна «накачування» вторинного «вихідного» контуру повинна проводитися досить малими електричними діями з боку первинного «вхідного» контуру на частоті, що дорівнює власним частотам контурів підсилювача. Основним результатом проведених на експериментальній моделі випробувань є ~ 35-кратне збільшення реактивної електричної потужності.

Ключові слова: трансформатор Тесла, резонансний підсилювач електричної потужності, електромагнітні процеси, активне навантаження.

Yu. Batygin, Ph.D., S. Shynderuk, Ph.D., S. Serikov, Ph.D., E. Yeryomina, Ph.D.
Kharkov national automobile-highway university

RESONANT ELECTRIC POWER AMPLIFIER. EXPERIMENTAL RESEARCH

The purpose of this work was to conduct experimental studies of a resonant power amplifier from two inductively connected sequential active-reactive circuits excited by a harmonic voltage source, analyzing the measurement results and, ultimately, justifying the practical effectiveness of the proposed resonant power amplifier. It is shown that in the adopted scheme resonant conditions in the contours are observed with sufficient rigor (deviations in frequencies do not exceed ~ 0.8%). In general, a comparison of the measurement results with the calculated data showed good agreement between them. Minor discrepancies can be explained by the deviation of the real operating frequencies in the circuits from the calculated ones and the influence of external electromagnetic fields generated by individual components of the resonant circuits of the amplifier. The findings of the studies are consistent with the recommendations of N. Tesla, according to which the resonant "pumping" of the secondary "output" circuit should be made with sufficiently small electrical effects from the primary "input" circuit at a frequency equal to the own frequencies of the amplifier circuits. The main result of the tests carried out on the experimental model is ~ 35-fold amplification of reactive electric power.

Keywords: Tesla transformer, resonant amplifier of electrical power, electromagnetic processes, resistive load.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2018