

ИНДУКТИВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО RLC-КОНТУРА ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ НАПРЯЖЕНИЯ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Батыгин Ю. В.¹, Гаврилова Т. В.¹, Шиндерук С. А.¹, Сериков Г. С.¹,
Серикова И. А.¹, Черный Е. Е.¹,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Аннотация. Определена амплитудно-временная форма тока во вторичном «выходном» контуре системы из двух индуктивно связанных последовательных резонансных контуров ангармоническими сигналами, спектр которых содержит высшие гармоники с частотами, кратными основному типу колебаний, когда «входной» контур возбуждается периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения

Ключевые слова: трансформатор Тесла, RLC-контур, резонанс напряжений, ангармонический сигнал, резонансный контур, активно-реактивный контур.

Введение

Впервые резонансный преобразователь напряжения, названный по имени изобретателя «трансформатором Тесла», был запатентован ещё в начале прошлого века. Его основные составляющие – два активно-реактивных RLC-контур с индуктивной связью между ними. В целом, первичный контур с внешним источником питания представлял собой генератор переменного напряжения, работающий в резонансе на частоте вторичного контура, с обмотки которого снималось выходное напряжение.

Основным недостатком заявленного преобразователя является весьма малый вторичный ток, который с физической точки зрения представляет собой ток смещения, замыкающий выход вторичной обмотки. В этой связи трансформатор Тесла, являющийся сверхэффективным усилителем напряжения (коэффициент усиления ≥ 1000), не может работать как усилитель электрической мощности [1-3].

Однако, если его выходной контур нагрузить сосредоточенной ёмкостью и возбудить в режиме «резонанса напряжений», то преобразователь такого типа можно рассматривать уже как усилитель мощности, который представляет особый интерес в практической электротехнике.

Анализ публикаций

Для начала анализа специальной литературы по теме настоящей статьи и ясности в дальнейшем изложении более подробно осветим основную конструктивную особенность трансформатора Тесла, состоящую в том, что его

выход не замкнут электрически. Ёмкость вторичного контура является распределённой и обеспечивается пространственной связью с окружающими объектами. Этот факт определяет практическую сложность резонансного возбуждения, ввиду существенной зависимости от внешних условий. В этой связи трансформатор Тесла – беспрецедентный усилитель напряжения не нашёл достойного практического применения. Хотя справедливости ради следует указать, что данное изобретение было задумано автором в первую очередь для беспроводной передачи электрической энергии на большие расстояния [4, 5].

Говоря о «модернизированной» схеме трансформатора Тесла с ёмкостной нагрузкой вторичной обмотки, то данное устройство в режиме «резонанса напряжений» используется для питания высокоомной нагрузки повышенным напряжением, в устройствах индукционного нагрева и др. [6-10].

Следует отметить, что в теории и приложениях условия «резонанса напряжений» сформулированы, как правило, только для синусоидального сигнала, на определенной частоте и в установившемся режиме [11].

С практической точки зрения (например, работа [8]) представляет интерес индуктивное возбуждение последовательного активно-реактивного контура ангармоническими сигналами, спектр которых наряду с основной частотой колебаний содержит, так называемые, высшие гармоники с частотами, кратными основному типу колебаний [11, 12].

Цель и постановка задачи

Целью настоящего рассмотрения является получение аналитических зависимостей для амплитудно-временной формы возбуждаемого тока при резонансе напряжений во вторичном активно-реактивном контуре. Последний возбуждается с помощью индуктивной связи с первичным активно-реактивным контуром, где входной сигнал представлен временной периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения.

Научная новизна состоит в получении аналитических зависимостей для амплитудно-временной формы возбуждаемого тока при

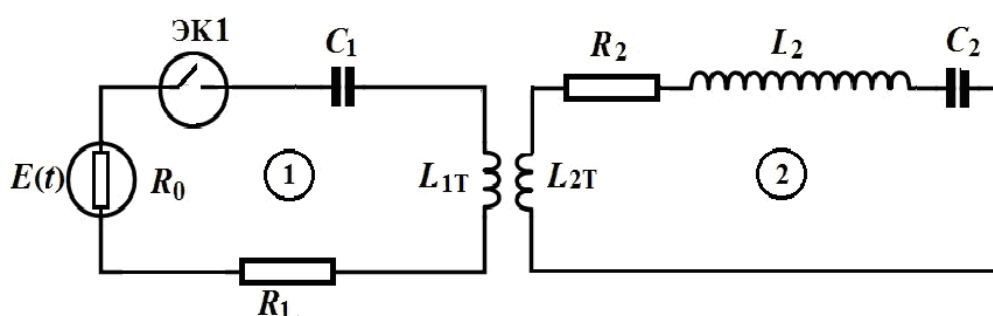


Рис. 1. Схема замещения системы из индуктивно связанных резонансных контуров: R, L, C – элементы возбуждающего контура 1, $E(t)$ – источник напряжения с внутренним сопротивлением $R_0, R_2, (L_{1T} + L_{2T}), C_2$ – элементы возбуждаемого резонансного контура 2

В соответствии с поставленной целью необходимо сделать выбор основных параметров системы:

- Контур 1 связан воздушным трансформатором, индуктивность первичной обмотки которого – L_{1T} , вторичной – L_{2T} .

- Первичный контур – 1 содержит последовательно соединённые индуктивность – L_{1T} (индуктивность первичной обмотки трансформатора связи), ёмкость – C_1 , активное сопротивление всех проводов – R_1 , внутреннее активное сопротивление источника напряжения – R_0 , причём последние достаточно малы, так что их сумма много меньше реактивных сопротивлений контура $(R_0 + R_1) \ll \omega_1 \cdot L_{1T}$ и $(R_0 + R_1) \ll \frac{1}{\omega_1 \cdot C_1}$, где $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_{1T} \cdot C_1}}$ – собственная частота контура.

- Вторичный контур – 2 содержит индуктивность – L_{2T} (индуктивность вторичной обмотки трансформатора связи), отдельная «выходная» индуктивность – L_2 , ёмкость – C_2 , активное сопротивление соединительных проводов – R_2 , величина которого настолько мала, что $R_2 \ll \omega_2 \cdot (L_{2T} + L_2)$, где

резонансе напряжений во вторичном активно-реактивном контуре системы из двух индуктивно связанных контуров, возбуждаемой временной периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения, что, фактически, представляет собой возбуждение резонанса ангармоническими сигналами.

Постановка задачи

Расчётные модели системы из индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров и временной формы возбуждающего напряжения представлены на рис. 1.

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L_{2T} + L_2) \cdot C_2}} \text{ – собственная частота контура.}$$

Выбор достаточно малых активных сопротивлений в индуктивно связанных контурах системы обусловлен стремлением к минимуму диссипативных потерь электрической энергии.

- Частоты первичного и вторичного контуров равны, так что $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ – резонансная частота системы.

- Источник питания генерирует последовательность ангармонических импульсов напряжения с амплитудой – E_m , временной функцией – $E(t)$ и частотой следования $\omega_0 = 2\pi/T$ (T – период), равной резонансной частоте системы – ω , так что $\omega_0 = \omega$.

Отметим, что принимаемая постановка задачи позволяет сконцентрироваться на проблеме формирования резонансных квазигармонических тока и напряжения в системе из двух индуктивно связанных резонансных последовательных активно-реактивных контуров при её возбуждении произвольными ангармоническими электрическими сигналами.

Графически иллюстрирует последователь-

ность униполярных прямоугольных импульсов рис. 2.

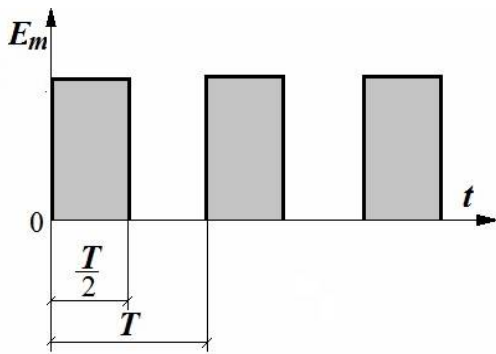


Рис. 2. Временная форма возбуждающих импульсов напряжения

Расчётные соотношения

При решении поставленной задачи воспользуемся операторным методом расчёта электрических цепей [6].

Система дифференциальных уравнений в пространстве изображений по Лапласу при нулевых начальных условиях где $U_{C1,2}$ – напряжения на емкостях

$$\left\{ U_{C1,2}(0) = \frac{dU_{C1,2}(0)}{dt} = 0 \right\}$$

имеет вид [6, 7]:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{pC_1} + (R_1 + R_0) + pL_{1T} \right) \cdot I_1(p) + \\ \left(\frac{1}{pC_1} + (R_1 + R_0) + pL_{1T} \right) \cdot I_1(p) + \\ + pM_{12} \cdot I_2(p) = E(p); \\ \left(\frac{1}{pC_2} + R_2 + p(L_{2T} + L_2) \right) \cdot I_2(p) + \\ + pM_{12} \cdot I_1(p) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

где p – оператор Лапласа;

$I_{1,2}(p) = L\{I_{1,2}(t)\}$ – токи в контурах;

$M_{1,2} = k \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}}$ – взаимоиндуктивность

обмоток трансформатора связи между контурами;

$k \in [0,1]$ – коэффициент электромагнитной

связи.

Из системы (1) находим L – изображение тока, возбуждаемого во вторичном контуре.

$$I_2(p) = \frac{E(p)}{M_{12}} \times \frac{p^3}{p^4 - \alpha(p^2 + 2\delta_1 p + \omega_1^2)(p^2 + 2\delta_2 p + \omega_2^2)} \quad (2)$$

где $\alpha = \left[\frac{(L_{2T} + L_2)}{k \cdot L_{2T}} \right]$, $\alpha \in \left[\frac{1}{k}, \infty \right)$, для $k \leq 1$;

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{(R_0 + R_1)}{2L_{1T}}, \\ \delta_2 &= \frac{R_2}{2(L_{2T} + L_2)}, \end{aligned} \right\} \text{ – декременты затухания;}$$

ния;

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{\sqrt{L_{1T} \cdot C_1}}, \\ \omega_2 &= \frac{1}{\sqrt{(L_{2T} + L_2) \cdot C_2}} \end{aligned} \right\} \text{ – собственные частоты резонансных контуров.}$$

тоты резонансных контуров.

Как представляется из априорных феноменологических соображений, принципиальный ответ на вопрос о формировании вторичного тока можно получить в упрощающем предположении равенства электродинамических параметров резонансных контуров:

$$\left\{ \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_2 = \delta; \\ \omega_1 &= \omega_2 = \omega. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Как следствие из соотношений (3) вытекает равенство добротностей первичного и вторичного контуров.

Действительно, $Q_1 = \frac{\omega L_{1T}}{(R_0 + R_1)} = \frac{\omega}{2\delta}$ и

$Q_2 = \frac{\omega(L_{2T} + L_2)}{R_2} = \frac{1}{2\delta}$, то есть $Q_1 = Q_2 = Q$.

Выражение (2) с учётом равенств (3) принимает вид:

$$I(p) = \frac{E(p)}{M} \cdot F(p), \quad (4)$$

где $F(p) = \frac{p^3}{p^4 - \alpha \cdot (p^2 + 2\delta p + \omega^2)^2}$.

Переходя в (4) в пространство оригиналов, находим временную зависимость резонансного тока во вторичном контуре [12].

$$I_2(t) = \frac{1}{M_{12}} \cdot \int_0^t F(t-x) \cdot E(x) dx, \quad (5)$$

где $F(t) \leftrightarrow F(p)$.

Полюсы функции $F(p)$ суть величины [12]:

$$\begin{cases} p_{1,2} = -\delta_{e1} \pm i\sqrt{\omega_{e1}^2 - \delta_{e1}^2}, \\ p_{3,4} = -\delta_{e2} \pm i\sqrt{\omega_{e2}^2 - \delta_{e2}^2}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\delta_{e1} = \delta \cdot \frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}-1)}$; $\delta_{e2} = \delta \cdot \frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}+1)}$ – декременты затухания;

$$\omega_{e1} = \omega \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}-1)}}; \omega_{e2} = \omega \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{\alpha}}{(\sqrt{\alpha}+1)}} – \text{собственные частоты резонансных контуров.}$$

Её оригинал находим по второй теореме разложения [12].

Пренебрегая слагаемыми порядка $\left\{ \frac{\delta_{e1}}{\omega_{e1}} \ll 1, \frac{\delta_{e2}}{\omega_{e2}} \ll 1 \right\}$ согласно постановке задачи о достаточной малости активных сопротивлений, получаем, что:

$$F(t) \approx -\frac{1}{2\sqrt{\alpha}} \operatorname{Re} \left\{ e^{(-\delta_{e1} + i\omega_{e1})t} + e^{(-\delta_{e2} + i\omega_{e2})t} \right\} \quad (7)$$

Для дальнейшего использования функции $F(t)$ зависимость (7) можно упростить, если учесть, что реально, как правило, $\sqrt{\alpha} \gg 1$.

Тогда $\{\omega_{e1} \approx \omega_{e2} \approx \omega, \delta_{e1} \approx \delta_{e2} \approx \delta\}$ и окончательно функция $F(t)$ запишется в виде:

$$F(t) \approx -\frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot e^{-\delta t} \cos(\omega \cdot t). \quad (8)$$

Зависимость (8) подставим под знак интеграла (5).

После введения фазы, как произведения резонансной частоты на время, и несложных тождественных преобразований получим выражение для тока, возбуждаемого во вторичном контуре произвольным напряжением источника – $E(t)$.

$$I_2(\varphi) = k \cdot \sqrt{\frac{L_2 T}{L_1 T}} \cdot \frac{1}{\omega \cdot (L_2 T + L_2)} \times \int_0^\varphi e^{-\delta_0(\varphi-x)} \cos(\varphi-x) \cdot E(x) dx, \quad (9)$$

где $\varphi = \omega \cdot t$ – фаза,

$\delta_0 = \delta/\omega$ – относительный декремент затухания.

Следует отметить, что полученная зависимость для возбуждаемого тока справедлива для любой временной формы возбуждающего напряжения и может служить основой для дальнейшего теоретического анализа процессов в системе из двух индуктивно-связанных последовательных резонансных активно-реактивных контурах при их возбуждении произвольным ангармоническим напряжением. При подключении прямоугольных сигналов к входу системы в выражение (9) следует подставить соответствующую функцию – $E(t)$.

Выводы

Определены аналитические зависимости амплитудно-временной формы тока во вторичном «выходном» контуре системы из двух индуктивно связанных последовательных резонансных контуров, когда первичный «входной» контур возбуждается периодической последовательностью из прямоугольных униполярных импульсов напряжения что, фактически, представляет собой возбуждение резонанса ангармоническими сигналами.

Полученные аналитические зависимости станут базовыми для последующего анализа и численных оценок с последующим переходом к экспериментам для обоснования практической дееспособности способов возбуждения резонансных контуров ангармоническими сигналами.

Работа проводилась кафедрой физики ХНАДУ в рамках Научного исследования: «Энергоберегающие малозатратные технологии питания и ремонта транспортных средств» 08-53-19, финансируемого Министерством образования и науки Украины.

Литература

1. Tesla N. Lectures. Patents. Articles. 2019. URL: <https://ru.scribd.com/document/329266819/Nikola-Tesla-Lectures-Patents-Articles> (дата обращения 20.03.2019).
2. Tesla N. My Inventions: and Other Writings // First Edition, First edition. Mineola, New York: Dover Publ. 2016. 144 p.
3. Tesla N., Shedleski T. Inventions of Nikola Tesla: A Complete Set of Patents. Paperback Publ. 2014. 610 p.
4. Яворский В. Энергия из ниоткуда. *Наука и жизнь*. 1998. №10. С. 78–79.
5. P.H. Plesch: High Vacuum Techniques for Chemical Syntheses and Measurements. Cambridge Uni-

- iversity Press. 2009. 167 p.
6. Agheb E., Hayati Soloot A., Niayesh K., Hashemi E., Jadidian J. On the Optimum Design of Air-Cored Tesla Transformers. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*. 2009. vol.115. №.6. P. 1152–1154.
 7. Резонансный усилитель мощности тока промышленной частоты. 2010. URL: <http://allpowr.su/ru/33> (дата обращения 20.03.2019).
 8. Пат. 95481 України. Спосіб індукційного нагріву металевих елементів автомобільних конструкцій Оpubл. 25.12.2014.
 9. Индуктор, индукционное оборудование. 2014. URL: [www.индуктор – авто.рф](http://www.индуктор-авто.рф) (дата обращения 25.03.2019).
 10. Craven, R. M., Smith, I. R., Novac, B. M. Optimizing the secondary coil of a Tesla transformer to improve spectral purity. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2014. vol.42, №.1, P. 143–148.
 11. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. Л: Энергия. 2006. 220с.
 12. Korn G.A. Korn T.M. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulas for Reference and Review* 2nd ed. New York: Dover Publ. Inc. 2000. 1152 p.

References

1. Tesla N. Lectures. Patents. Articles. 2019. Retrived from: <https://ru.scribd.com/document/329266819/Nikola-Tesla-Lectures-Patents-Articles> (accessed: 20.03.2019).
2. Tesla N. (2016) *My Inventions: and Other Writings*. First Edition, First edition. Mineola, New York: Dover Publ.
3. Tesla N., Shedleski T. (2014) *Inventions of Nikola Tesla: A Complete Set of Patents*. Paperback Publ.
4. Iavorskii V. (1998) Energiia iz niotkuda [Energy from nowhere] *Nauka i zhizn'*, 10, 78–79 [in Russian].
5. P.H. Plesch (2009) *High Vacuum Techniques for Chemical Syntheses and Measurements*. Cambridge University Press.
6. Agheb E., Hayati Soloot A., Niayesh K., Hashemi E., Jadidian J. (2009) On the Optimum Design of Air-Cored Tesla Transformers. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*, 115(6), 1152–1154.
7. Rezonansnyj usilitel' moshhnosti toka promyshlennoj chastoty [Resonant power amplifier current industrial frequency] Retrived from: <http://allpowr.su/ru/33> (accessed: 20.03.2019) [in Russian].
8. Pat. 95481 Ukrayiny'. Sposib indukciynogo nagrivu metalivih elementiv avtomobil'nih konstrukcij. [The method of induction heating of metal elements automotive structures]. Opubl. 25.12.2014 [in Ukrainian].
9. Индуктор, индукционное оборудование [Inductor,

induction equipment]. Retrived from: [www.индуктор – авто.рф](http://www.индуктор-авто.рф) (accessed: 25.03.2019) [in Russian].

10. Craven, R. M., Smith, I. R., Novac, B. M. (2014) Optimizing the secondary coil of a Tesla transformer to improve spectral purity. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 42(1), 143–148.
11. Atabekov G.I. (2006) *Osnovy teorii cepej*. [Fundamentals of the theory circuit]. L: Jenergija.
12. Korn G.A. Korn T.M. (2000) *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulas for Reference and Review* 2nd ed. New York: Dover Publ. Inc.

Батыгин Юрий Викторович¹, д.т.н., проф., заведующий кафедрой физики, +380577073653, yu.v.batygin@gmail.com;

Гаврилова Татьяна Владимировна¹, к.ф.-м.н., доц. кафедры физики, +380577073727, gavrilovala.tatyana@i.ua

Шиндерук Светлана Александровна¹, к.т.н., доц. кафедры физики, +380577073727, s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Сериков Георгий Сергеевич¹, к.т.н., доц. кафедры автомобильной электроники, +380577003852, georgy301212@gmail.com;

Серикова Ирина Алексеевна¹, к.т.н., доц. кафедры автомобильной электроники, +380671085237, irinaserikova_ae_khadi@ukr.net;

Черный Евгений Евгеньевич¹, студент, +380674301464, e.cherniy@ukr.net.

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Inductive excitation of a serial RLC-circuit with rectangular voltage pulses. Calculated relations

Abstract. Problem. The “voltage resonance” conditions in the well-known theories and applications, as a rule, are formulated only for a sinusoidal signal, at a certain frequency and in a steady state. Inductive excitation of a sequential active-reactive circuit with anharmonic signals from a practical point of view is of greater interest. **Goal.** The purpose of this work is to obtain design ratios for the characteristics of inductive excitation of voltage resonance in a system of two inductively coupled sequential active-reactive circuits by anharmonic signals, the spectrum of which, along with the fundamental frequency of oscillations, contains so-called higher harmonics with frequencies multiple to the main type of oscillations. **Methodology.** With the help of limiting transitions to the corresponding, the reliability of the found basic analytical dependences for the excited currents and voltages is shown. The obtained calculated relations are based on rigorous mathematical approach using the apparatus of the theory of electrical circuits. **Results.** The amplitude-time form of the excited current is found by solving the transient problem. The dependence obtained allows us to analyze the flowing processes, determine the effect

of circuit electrical parameters and establish the contribution of higher harmonics to the formation of the output signal, as well as calculate specific indicators of the effectiveness and efficiency of the system under consideration under anharmonic excitation. **Originality.** The scientific novelty consists in obtaining the calculated amplitude-time dependence for the current in the secondary circuit with inductive excitation of the voltage resonance in a system of two inductively connected successive active-reactive circuits by anharmonic signals, whose spectrum, together with the fundamental frequency of oscillations, contains the so-called highest harmonics with frequencies multiples of the main type of vibrations. **Practical value.** The results of the analysis are necessary for the design of electrical devices with resonant components. For example, to supply high-resistance loads with increased voltage, in induction heating devices, etc.

Key words: Tesla transformer, inductively coupled circuits, Q -factor, transformation ratio, voltage amplifier.

Batygin Yuriy Victorovich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Physics Chair, +380577073653, yu.v.batygin@gmail.com;

Gavrilova Tatyana Vladimirovna¹, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, +380577073727, gavrilova.tatyana@i.ua;

Shinderuk Svetlana Alexandrovna¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Physics Chair, +38(057)707-37-27, s.shinderuk.2016102@ukr.net;

Serikov Georgiy Sergeevich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the of the Vehicle Electronics Chair, +380577003852, georgiy301212@gmail.com;

Sierikova Irina Alekseevna¹, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +3806 71085237, irinaserikova_ae_khadi@ukr.net;

Cherniy Evgeniy Evgenievich¹, student, +380674301464, e.cherniy@ukr.net.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

Індуктивне збудження послідовного RLC-контурі прямокутними імпульсами напруги. Розрахункові співвідношення

Анотація. Постановка проблеми. У відомих теорії і додатках умови «резонансу напруг» сформульовані, як правило, тільки для синусоїдального сигналу, на певній частоті і в усталеному режимі. Проте з практичної точки зору представляє інтерес індуктивне збудження послідовного активно-реактивного контуру ангармонічними сигналами. **Мета.** Метою цієї роботи є отримання розрахункових співвідношень для характеристик індуктивного збудження резонансу напруг в системі з двох індуктивно зв'язаних послідовних активно-реактивних

контурів ангармонічними сигналами, спектр яких поряд з основною частотою коливань містить, так звані, вищі гармоніки з частотами, кратними основному типу коливань. **Методика.** За допомогою граничних переходів до відповідних аналогів в авторитетних спеціальних публікаціях показана достовірність знайдених базових аналітичних залежностей для струмів, що збуджуються і напруг. Отримані розрахункові співвідношення базуються на фізично «прозорих» феноменологічних положеннях і строгому математичному підході з використанням апарату теорії електричних ланцюгів. **Результат.** Рішенням завдання про перехідний процес знайдена амплітудно-часова форма струму, що збуджується. Отримана залежність дозволяє проаналізувати процеси, що протікають, визначити вплив схемних електричних параметрів і встановити внесок вищих гармонік в формування вихідного сигналу, а також обчислити конкретні показники дієвості та ефективності розглянутої системи при ангармонічному збудженні. **Наукова новизна** полягає в отриманні розрахункових амплітудно-часових залежностей для струму у вторинному контурі при індуктивному збудженні резонансу напруг в системі з двох індуктивно зв'язаних послідовних активно-реактивних контурів ангармонічними сигналами, спектр яких поряд з основною частотою коливань містить, так звані, вищі гармоніки з частотами, що є кратними основному типу коливань. **Практична значимість.** Отримані вирази необхідні для аналізу і проектування електротехнічних пристроїв з резонансними компонентами, наприклад, для живлення високоомного навантаження підвищеною напругою, в пристроях індукційного нагріву та ін.

Ключові слова: трансформатор Тесла, RLC-контур, резонанс напруг, ангармонічний сигнал, резонансний контур, активно-реактивний контур.

Батигін Юрій Вікторович¹, д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики, +380577073653, yu.v.batygin@gmail.com;

Гаврилова Тетяна Володимирівна¹, к.ф.-м.н., доц. кафедри фізики, +380577073727, gavrilova.tatyana@i.ua

Шиндерук Світлана Олександрівна¹, к.т.н., доц. кафедри фізики, +380577073727, s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Серіков Георгій Сергійович¹, к.т.н., доц. кафедри автомобільної електроніки, +380577003852, georgiy301212@gmail.com;

Серікова Ірина Олексіївна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, irinaserikova_ae_khadi@ukr.net;

Чорний Євген Євгенович¹, студент, +380674301464, e.cherniy@ukr.net.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.