

УДК 681.586

**К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УСТРОЙСТВА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ****МАМЕДОВ Ф.И., ДАДАШЕВА Р.Б., ГАСАНОВА У.Р.***Сумгаитский Государственный Университет*

Статья посвящена вопросу исследования преобразовательного устройства с распределенными параметрами, питание которого осуществляется от источника переменного напряжения. Исследование проведено согласно принципиальной схеме устройства. С учетом того, что индуктивные элементы, включенные к цепи переменного тока, содержат активные и индуктивные сопротивления, соединенные между собой последовательно, путем применения метода контурных токов получена формула тока в общем виде. На основе полученной формулы тока найден модуль уравнения изменения напряжения на вторичной обмотке индуктивности конечного элемента устройства.

Определена также чувствительность устройства на основе полученного аналитического соотношения.

В практике часто встречаются цепи с равномерно распределенными токоотводами на базе резистивных сопротивлений для преобразования больших линейных перемещений в электрические напряжения переменного тока [1]. Подобные задачи были исследованы для устройства, где токораспределение было осуществлено с помощью резисторов в общей точке. В качестве подвижного элемента здесь использованы короткозамкнутые контакты, охватывающие две точки, находящиеся на расстоянии, равном длине одной секции токораспределения [2].

Исследуемое устройство с распределенными параметрами содержит токоотводы, комплексное сопротивление Z , состоящее либо из последовательно соединенных индуктивного и активного, либо из индуктивного, емкостного и активного сопротивлений.

Рассматриваемое преобразовательное устройство содержит комплексные сопротивления Z , находящиеся в цепи токоотводов, равномерно намотанный проволоочный реостат-1 с секционированными n элементами, имеющими одинаковые сопротивления, между которыми осуществлены равномерные токоотводы через комплексные сопротивления $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$. В процессе работы устройства короткозамкнутые контакты подвижного элемента 3 (рис.1) связываются с технологическими объектами при измерении механических перемещений X . Для регистрации выходного напряжения, изменяющегося от перемещения X используется вольтметр-4, подключенный ко вторичной обмотке-5 конечного комплексного сопротивления индуктивного типа (рис.2).

Элементы, включенные к цепи с токоотводами, содержат индуктивные $\omega L_1, \omega L_2, \dots, \omega L_n$ и активные сопротивления R_1, R_2, \dots, R_n . Эти сопротивления соединены между собой последовательно. Согласно этому, комплексные сопротивления в цепях токоотводов определяются формулами $Z_1 = R_1 + j\omega L_1$; $Z_2 = R_2 + j\omega L_2, \dots$; $Z_n = R_n + j\omega L_n$. При исследовании схемы, приведенной на рис.2., необходимо написать систему уравнений с n неизвестными контурными токами, решение которой практически невозможно. Для упрощения исследования задачи сначала берем ограниченное

количество контуров. В первом приближении принимаем, что $n=7$, для которых система уравнений запишется в виде:

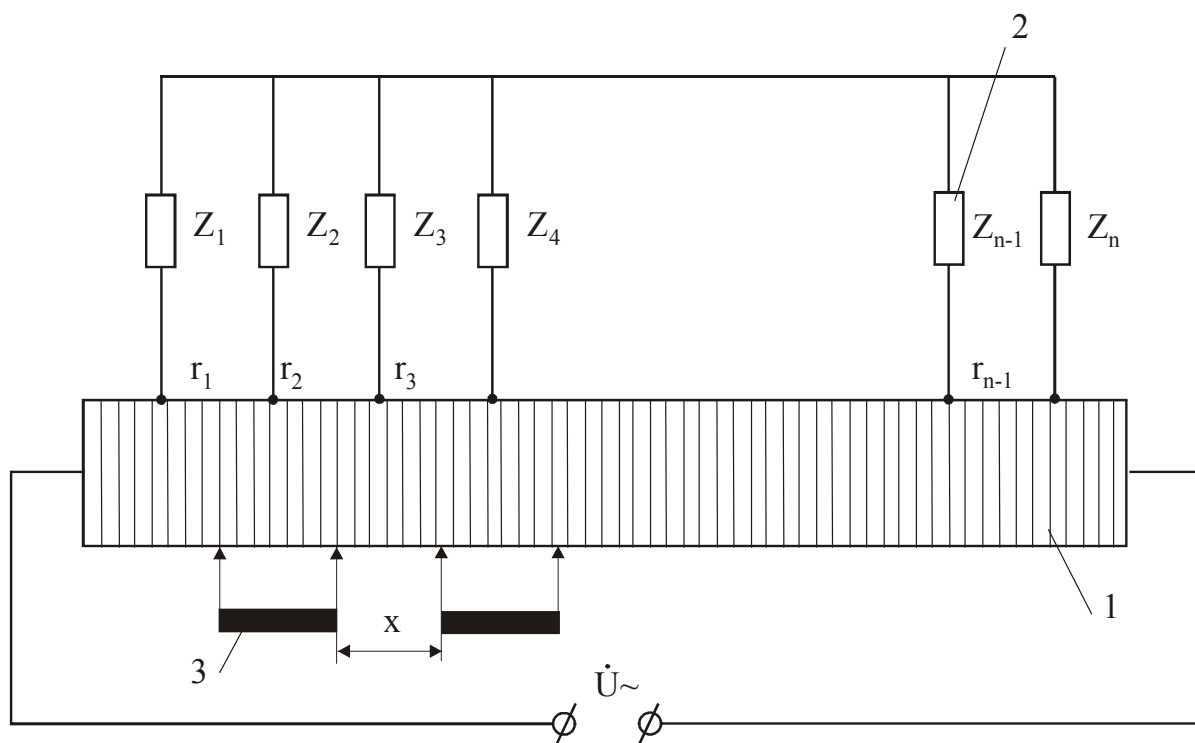


Рис.1. Принципиальная схема преобразовательного устройства с комплексными сопротивлениями

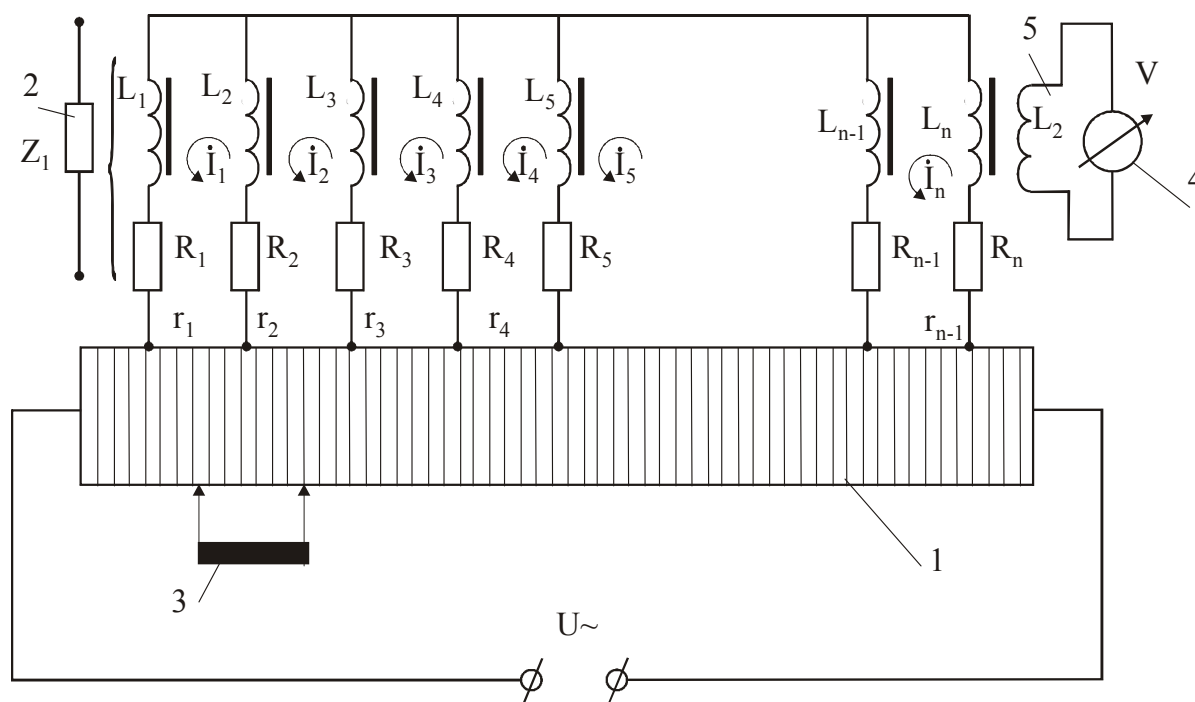


Рис.2. Принципиальная схема преобразовательного устройства с индуктивными элементами

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 Z_{11} - \dot{I}_2 Z_{12} &= \dot{U}_1 \\ -\dot{I}_1 Z_{21} + \dot{I}_2 Z_{22} - \dot{I}_3 Z_{23} &= \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 Z_{32} + \dot{I}_3 Z_{33} - \dot{I}_4 Z_{34} &= \dot{U}_3 \\ -\dot{I}_3 Z_{43} + \dot{I}_4 Z_{44} - \dot{I}_5 Z_{45} &= \dot{U}_4 \\ -\dot{I}_4 Z_{54} + \dot{I}_5 Z_{55} - \dot{I}_6 Z_{56} &= \dot{U}_5 \\ -\dot{I}_5 Z_{65} + \dot{I}_6 Z_{66} - \dot{I}_7 Z_{67} &= \dot{U}_6 \\ -\dot{I}_6 Z_{76} + \dot{I}_7 Z_{77} &= \dot{U}_7 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_7$ - комплексные значения контурных токов, $Z_{11}, Z_{22}, \dots, Z_{77}$ - полные комплексные сопротивления, соответствующие 1, 2, ..., 7 контурам, $Z_{12}, Z_{21}, Z_{32}, \dots, Z_{76}$ - общие сопротивления между контурами, $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_7$ - комплексные значения напряжений в секциях 1-2, 2-3, ... 6-7.

$$\begin{aligned} Z_{11} &= R_1 + r_1 + R_2 + j\omega(L_1 + L_2); & Z_{22} &= R_2 + R_3 + r_2 + j\omega(L_2 + L_3); \\ Z_{33} &= R_3 + R_4 + r_3 + j\omega(L_3 + L_4); & Z_{44} &= R_4 + R_5 + r_4 + j\omega(L_4 + L_5); \\ Z_{55} &= R_5 + R_6 + r_5 + j\omega(L_5 + L_6); & Z_{66} &= R_6 + R_7 + r_6 + j\omega(L_6 + L_7); \\ Z_{77} &= R_7 + R_8 + r_7 + j\omega(L_7 + L_8) \\ Z_{12} &= R_2 + j\omega L_2 = Z_{21}; & Z_{23} &= R_3 + j\omega L_3 = Z_{32}; \\ Z_{34} &= R_4 + j\omega L_4 = Z_{43}; & Z_{45} &= R_5 + j\omega L_5 = Z_{54}; \\ Z_{56} &= R_6 + j\omega L_6 = Z_{65}; & Z_{67} &= R_7 + j\omega L_7 = Z_{76} \end{aligned} \quad (2)$$

Решением системы уравнений (1) путем последовательного исключения токов $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{I}_4, \dot{I}_5, \dot{I}_6$ и для \dot{I}_7 получим:

$$\dot{I}_7 = \frac{\dot{U}_1 a_{11} + \dot{U}_2 a_{12} + \dot{U}_3 a_{13} + \dot{U}_4 a_{14} + \dot{U}_5 a_{15} + \dot{U}_6 a_{16} + \dot{U}_7 a_{17}}{b_7} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11} &= Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7; & a_{12} &= Z_{11} Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7; \\ a_{13} &= b_{11} Z_4 Z_5 Z_6 Z_7; & a_{14} &= b_{22} Z_5 Z_6 Z_7; & a_{15} &= b_{33} Z_6 Z_7; \\ a_{16} &= b_{44} Z_7; & a_{17} &= b_{55} \\ b_{11} &= Z_{11} Z_{22} - Z_2^2; & a_{14} &= b_{22} Z_5 Z_6 Z_7; \\ b_{22} &= Z_{33} b_{11} - Z_{11} Z_3^2; & a_{15} &= b_{33} Z_6 Z_7; \\ b_{33} &= Z_{44} b_{22} - b_{11} Z_4^2; & a_{16} &= b_{44} Z_7; \\ b_{44} &= Z_{55} b_{33} - b_{22} Z_5^2; & a_{17} &= b_{55} = Z_{66} b_{44} - b_{33} Z_6^2; \\ b_7 &= Z_{77} b_{55} - b_{44} Z_7^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь всегда выполняется неравенство

$$\begin{aligned} Z_1 + Z_2 &\gg r_1 \\ Z_2 + Z_3 &\gg r_2 \\ Z_3 + Z_4 &\gg r_3 \\ &\dots\dots\dots \\ Z_7 + Z_8 &\gg r_7 \end{aligned} \quad (5)$$

В случае, когда $z_1 = z_2 = \dots = z_n = z$, формула (3) представляется в виде:

$$i_7 = \frac{\dot{U}_1 + 2\dot{U}_2 + 3\dot{U}_3 + \dots + 6\dot{U}_6 + 7\dot{U}_7}{8 \cdot Z} \quad (6)$$

На основе полученной формулы (6) можем записать выражение тока в общем виде:

$$i_n = \frac{e^{-j\varphi}}{(n+1) \cdot z} \cdot \sum_{k=1}^n k \dot{U}_k \quad (7)$$

где $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$; $z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$, k - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров реостата.

В процессе перемещения подвижного элемента напряжения секций также получают приращение $\Delta \dot{U}$. При переходе подвижного элемента от первой секции ко второй в первой секции изменение напряжения от его перемещения увеличивается, а во второй секции оно уменьшается, т.е.

$$\dot{U}_{10} + \Delta \dot{U} + 2(\dot{U}_{20} - \Delta \dot{U}) = \dot{U}_{10} + 2\dot{U}_{20} + \Delta \dot{U} - 2\Delta \dot{U} = \dot{U}_{10} + 2\dot{U}_{20} - \Delta \dot{U} \quad .$$

При переходе подвижного элемента от второй секции к третьей имеем:

$$2(\dot{U}_{20} + \Delta \dot{U}) + 3(\dot{U}_{30} - \Delta \dot{U}) = 2\dot{U}_{20} + 3\dot{U}_{30} + 2\Delta \dot{U} - 3\Delta \dot{U} = 2\dot{U}_{20} + 3\dot{U}_{30} - \Delta \dot{U} \quad .$$

Аналогично, получим изменение напряжения при переходе подвижного элемента от третьей секции к четвертой, от четвертой к пятой и т.д.

При дальнейшем перемещении подвижного элемента приращение напряжений секций складываются, получается прямо пропорциональной к перемещению X и записывается в виде:

$$\dot{U}_{np} = \sum \Delta \dot{U} = k \cdot X \quad , \quad (8)$$

где k - коэффициент пропорциональности, относящийся к каждой секции.

$$k = \frac{\dot{U}}{n \cdot \ell} \quad ,$$

где n - число секций; ℓ -длина каждой секции; \dot{U} - напряжение питания.

Принимая во внимание, что реостат -1 распределен на одинаковые секции и снабжен равномерными токоотводами, напряжения в секциях можно принять равными, т.е.

$$\dot{U}_{10} = \dot{U}_{20} = \dot{U}_{30} = \dots = \dot{U}_{n0} = \dot{U}_0 \quad .$$

При этом ток, проходящий через конечные комплексные сопротивления, будет равен:

$$i_n = \frac{n\dot{U}_0 \cdot e^{-j\varphi}}{(n+1) \cdot z} - \frac{k \cdot e^{-j\varphi}}{(n+1) \cdot z} \cdot X \quad . \quad (9)$$

Напряжение на вторичной обмотке индуктивности конечного элемента записывается в виде (рис.2).

$$\dot{U}_2 = -j\omega \cdot M \cdot \left[\frac{n \cdot \dot{U}_0 \cdot e^{-j\varphi}}{(n+1) \cdot z} - \frac{k \cdot e^{-j\varphi}}{(n+1) \cdot z} \cdot X \right] \quad (10)$$

или для изменения этого напряжения будем иметь:

$$\Delta \dot{U}_2 = -j\omega M \cdot \frac{k \cdot e^{-j\varphi}}{(n+1) \cdot z} \cdot X \quad . \quad (11)$$

Модуль полученного напряжения записывается в виде:

$$\Delta U_2 = \omega M \cdot \frac{K_m}{(n+1) \cdot z} \cdot X \quad , \quad (12)$$

где

$$K_m = \pi \cdot D \rho \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{W}{\ell} \cdot I \quad , \quad (13)$$

D- диаметр витка реостата; ρ -удельное сопротивление материала его проводника; S- площадь поперечного сечения проводника; I- ток, проходящий через реостат; W- общее число витков реостата.

Если выразим ток I через напряжение питания и примем число секций $n=7$, получим:

$$I = \frac{U_n}{R_p} \quad , \quad (14)$$

где R_p - полное сопротивление реостата. Учитывая (14) в (13) и (12), для ΔU_2 получим:

$$\Delta U_2 = \frac{\omega \cdot M \cdot \pi \cdot D \cdot \rho \cdot W}{8S \cdot \ell \cdot R_p} \cdot \frac{U_n}{z} \cdot X \quad , \quad (15)$$

где ω –угловая частота питающего напряжения; M- взаимная индуктивность между первичной и вторичной обмотками катушки, включенной в конечной секции. На рис.3 приведена рабочая характеристика преобразовательного устройства.

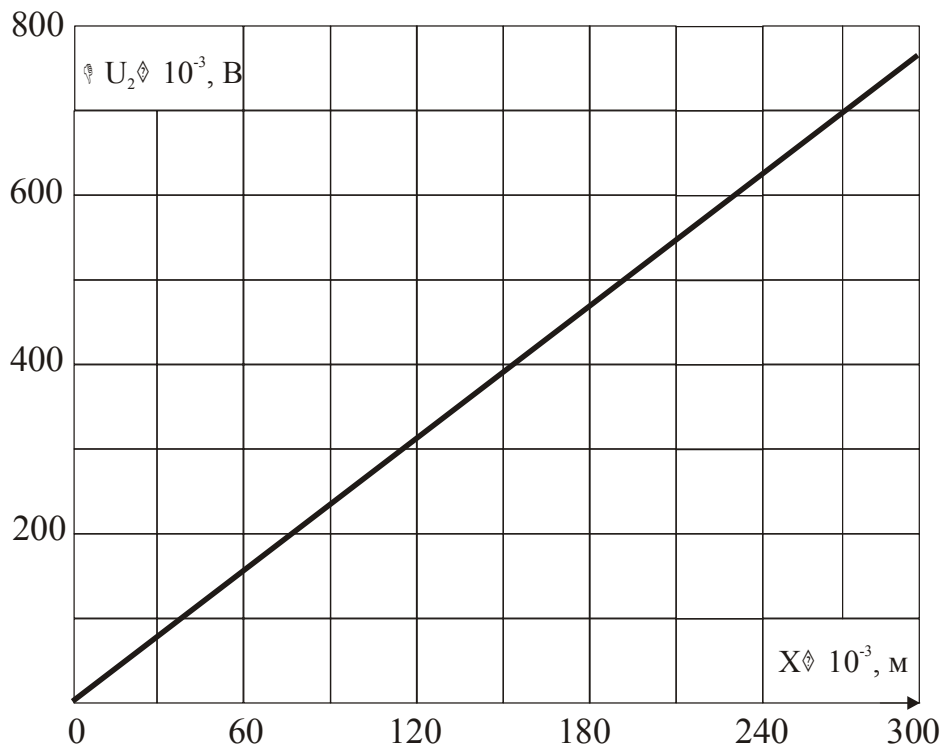


Рис. 3. Рабочая характеристика устройства

Далее рассмотрим исследование чувствительности устройства. Производя преобразование в (15), для чувствительности будем иметь:

$$\beta_k = \frac{k}{\sqrt{1 + \Pi_k^2}} \quad (16)$$

где

$$\Pi_k = \frac{R}{\omega L}, \quad \beta_k = \frac{\Delta U_2}{X}, \quad K = \frac{M \cdot \pi \cdot D \cdot \rho \cdot W \cdot U_n}{8S \cdot \ell \cdot R_p \cdot L} \quad (17)$$

Если обращать внимание на то, что $L_n=L_2=L$ и соответственно $M = K_c \sqrt{L_n L_2} = K_c L$, где K_c - коэффициент связи между обмотками индуктивной катушки, то для чувствительности устройства получим

$$\beta_k = \frac{K_c \cdot \pi \cdot D \cdot \rho \cdot W \cdot U_n}{8S \cdot \ell \cdot R_p} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \Pi_k^2}} \quad (18)$$

Имея ввиду, что все параметры, входящие в (17), являются постоянными, то исследование чувствительности по $n_k = R / \omega L$ является более важным вопросом. Поэтому на рис.4. приведена зависимость $\beta_k = F(n_k)$. Как видно из рис.4, с ростом n_k чувствительность устройства уменьшается

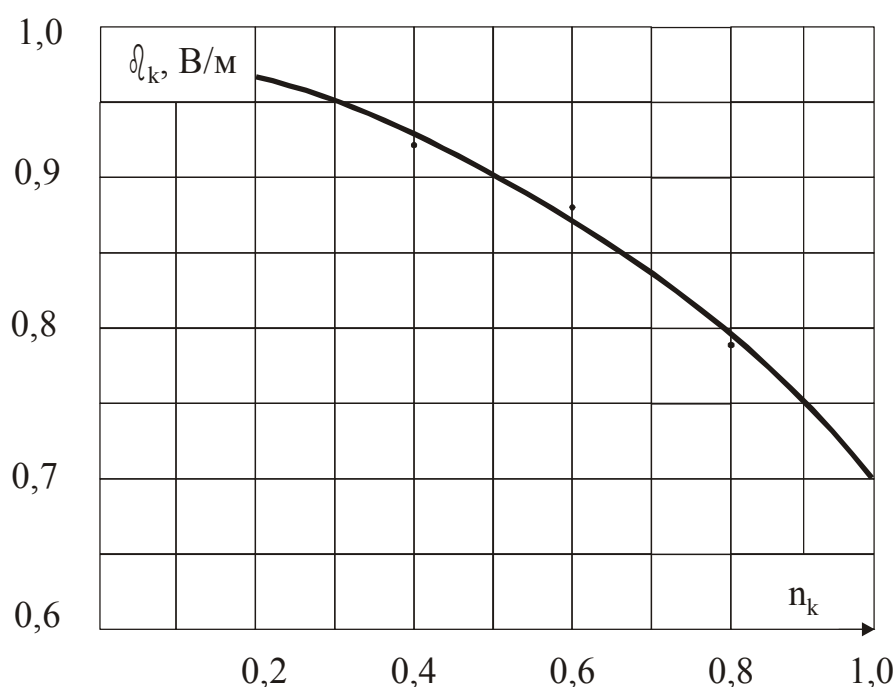


Рис. 4. Зависимость $\beta_k = F(n_k)$

При $n_k=1$, т.е. когда $\omega L \gg R$, чувствительность получается минимальной. В результате исследований установлено, что для обеспечения нормальной работы преобразовательного устройства необходимо иметь $n_k=0,6$; $\beta_k = 0,875$ В/м .

1. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.Б. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. М., Машиностроение, 1985, 536 с.
2. Мамедов Ф.И., Дадашева Р.Б. Юсифов А.А., Гасанова У.Р. Определение параметров датчика сопротивлений с разветвленными токоотводами. М., Автоматизация и современные технологии. 2004, №19, с.18-22.

PAYLANMIŞ PARAMETRLƏRLİ ÇEVİRİCİ QURĞUNUN TƏDQIQI MƏSƏLƏLƏRİNƏ DAİR

MƏMMƏDOV F.İ., DADAŞOVA R.B., HƏSƏNOVA Ü.R.

Məqalə dəyişən gərginlik mənbəindən qidalanan paylanmış parametrlərli çevirici qurğunun tədqiqinə həsr edilmişdir. Tədqiqat qurğunun prinsipial sxeminə uyğun aparılmışdır. Dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulan, bir-birlərilə ardıcıl birləşdirilmiş induktiv elementlərin aktiv və induktiv müqavimətlərdən ibarət olduqlarını nəzərə almaqla, kontur cərəyanları metodunun tədqiq edilməsi vasitəsilə cərəyanın ümumi şəkildə ifadəsi alınmışdır. Cərəyanın alınmış ifadəsi əsasında qurğunun sonuncu elementinin induktivliyinin ikinci dolağındakı gərginliyin dəyişməsi tənliyinin modulu tapılmışdır.

Alınmış analitik münasibət əsasında qurğunun həssaslığı da təyin edilmişdir.

ON THE QUESTION OF THE STUDY OF CONVERSIONAL DEVICE WITH PORTIONED PARAMETER

MAMEDOV F.I., DADASHOVA R.B., HASANOVA U.R.

The article is dedicated to the study of the conversional device with portioned parameter supplied by the variable voltage source. The analysis has been carried out according to the principal scheme of the device. By considering the inductive elements consisting of active and inductive, resistances, connected systematically and to the alternating current circulation, here has been received a general formula of the current investigated by the outline current method. On the base of the received formula of the current, has been found out the module of the equation of the voltage change in the second winding of the inductivity of the last element of the device.

The device sensitivity has also been defined on the base of the analytical correlation.