

## ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ВАРЬИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.

*Пряшников Ф.Д., Гусева Е.В.*

*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности  
fdp@ukr.net, guseva@rg.sevsky.net*

*The problem of maintenance of the set parameters of quality of an electropower system is solved. The method of a choice of set of parameters of the loading, providing quality of electric energy is offered.*

**Введение.** Развитие электроэнергетики требует нового подхода к решению проблемы выбора нагрузок электроэнергетических систем, однозначно определяющего характер и величину нагрузок при заданных режимах работы электроэнергетической системы. Проблема выбора нагрузок при заданных параметрах работы системы сводится к решению многокритериальной задачи.

**Постановка задачи.** Математическая модель электроэнергетической системы рассматривается в виде системы дифференциальных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, e, \lambda) \\ y = \varphi(x, e, \lambda) \end{cases} \quad (1)$$

где  $x \in R^n$  - вектор состояния;

$\lambda \in \Lambda \subset R^r$  - вектор варьируемых параметров;

$y \in R^m$  - вектор выхода;

$e \in R^q$  - вектор напряжений источников.

На вектор выхода  $y(t)$  наложены ограничения  $y \in Y$ , отражающие требования к качеству электрической энергии. Решается задача определения множества  $\Lambda^* \subset \Lambda$  такого, что

$$\lambda \in \Lambda^* \Leftrightarrow y \in Y.$$

Множество  $\Lambda^*$  позволяет указать допустимые значения параметров, при которых обеспечивается заданное качество электроэнергии, а также решать задачи многокритериальной оптимизации.

Актуальность проблемы. Электрическая энергия должна удовлетворять заданным показателям качества, регламентируемым ГОСТом. Существенное влияние на показатели качества оказывает величина и характер нагрузки ЭЭС. Актуальной является задача выбора параметров нагрузки, обеспечивающих заданные показатели качества[1].

**Основная часть.** Основными показателями качества электрической энергии являются отклонения амплитуды и частоты от номинальных значений. В работе предлагается метод построения множества  $\Lambda^*$  для случая, когда множество  $Y$  отражает ограничение на отклонения амплитуды установившегося режима от номинальной, а в качестве варьируемого параметра выбирается сопротивление активной нагрузки.

Рассматривается линейная электроэнергетическая система с одним источником ( $q = 1$ ), напряжения  $e(t) = A \sin(\omega t)$  выходом ( $m = 1$ )  $y = I(t)$ , представляющим напряжение на активно-индуктивной нагрузке и варьируемыми параметрами  $\lambda_1 \lambda_2$ . Для рассматриваемого случая система (1) принимает вид:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A(\lambda_1, \lambda_2)x(t) + B(\lambda_1, \lambda_2)e(t) \\ y(t) = C(\lambda_1, \lambda_2)x(t) \end{cases} \quad (2)$$

где:  $A(\lambda_1, \lambda_2), B(\lambda_1, \lambda_2), C(\lambda_1, \lambda_2)$  - матрицы размерностей, соответственно,  $[n \times n], [n \times 1], [1 \times n]$ .

Применяя к системе (2) изображение Лапласа для изображения координаты выхода получим

$$Y(s) = C(\lambda_1, \lambda_2)(sI - A(\lambda_1, \lambda_2))^{-1}(B(\lambda_1, \lambda_2) - E(s) + x_0) \quad (3)$$

где  $Y(s), E(s)$  - изображение по Лапласу напряжения на активной нагрузке и напряжения источника;

$I$  - единичная матрица;

$x_0$  - начальный вектор состояния;

$s$  - комплексная переменная преобразования Лапласа;

$(sI - A(\lambda_1, \lambda_2))^{-1}$  - обратная матрица.

Выражение (3) может быть записано в виде

$$Y(s) = W(s, \lambda_1, \lambda_2)E(s) + W_0(s, \lambda_1, \lambda_2)x_0, \quad (4)$$

где  $W(s, \lambda_1, \lambda_2) = C(\lambda_1, \lambda_2)(sI - A(\lambda_1, \lambda_2))^{-1}B(\lambda_1, \lambda_2)$ ,  $W_0(s, \lambda_1, \lambda_2) = C(\lambda_1, \lambda_2)(sI - A(\lambda_1, \lambda_2))^{-1}$

- дробно-рациональные функции аргументов  $s$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

Для устойчивой электроэнергетической системы в установившемся режиме напряжение на нагрузке определяется выражением [2]:

$$y(t, j\omega) = W(j\omega, \lambda_1, \lambda_2)Ae^{j\omega t} \quad (5)$$

где  $Ae^{j\omega t}$  - обобщенное гармоническое воздействие.

Амплитуда напряжения на выходе определяется выражением

$$A_{\text{вых}} = |W(j\omega, \lambda_1, \lambda_2)|A \quad (6)$$

Ограничение  $A_{\text{вых min}} \leq A_{\text{вых}} \leq A_{\text{вых max}}$  определяют неравенства в пространстве параметров  $\lambda$ .

$$A_{\text{вых min}} \leq |W(j\omega, \lambda_1, \lambda_2)|A \leq A_{\text{вых max}} \quad (7)$$

Искомое множество  $\Lambda^*$  определяется решениями неравенств (7).

Неравенства (7) представляют систему неравенств

$$\begin{cases} |W(j\omega, R_n, L_n)| \geq \frac{A_{\text{вых min}}}{A} \\ |W(j\omega, R_n, L_n)| \leq \frac{A_{\text{вых max}}}{A} \end{cases} \quad (8)$$

С достаточной степенью точности электроэнергетическая система может быть представлена схемой замещения, представленной на рисунке 1 [1].

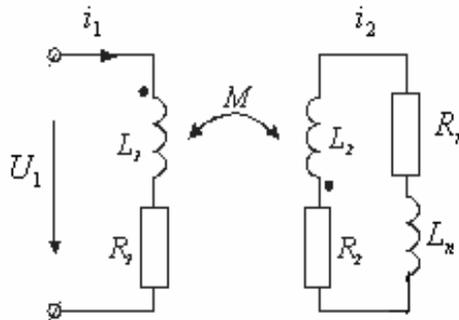


Рисунок 1- Схема замещения линейного трансформатора с активно-индуктивной нагрузкой.

Рассматривается математическая модель трансформатора, представленная в виде дифференциальных уравнений имеет вид [2]:

$$\begin{cases} u_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = -r_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} \end{cases} \quad (9)$$

где:  $L_1$  и  $L_2$  – собственные индуктивности обмоток;

$M$  – взаимная индуктивность обмоток.

$$\text{Напряжение на нагрузке } u_2 = i_2 \cdot R_n + L_n \frac{di_2}{dt} \quad (10)$$

Используя преобразование Лапласа, модель (9) с учетом (10) в комплексной форме имеет вид:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -sL_1 - r_1 & -sM \\ 0 & 1 & sM & sL_2 + r_2 \\ 0 & 1 & 0 & -R_n - sL_n \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \\ i_1(s) \\ i_2(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ e \end{pmatrix} \quad (11)$$

Рассматривается линейный трехфазный двухобмоточный трансформатор. Для выбранной схемы замещения, система неравенств (8) примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{-MR_n s - s^2 ML_n}{R_n L_1 s + R_n R_1 + L_1 L_2 s^2 + R_1 L_n s + L_1 R_2 s + R_1 L_2 s + R_1 R_2 - s^2 M^2 + L_1 L_n s^2} \right|_{s=j\omega} \leq \frac{A_{\text{вых max}}}{A} \\ \left| \frac{-MR_n s - s^2 ML_n}{R_n L_1 s + R_n R_1 + L_1 L_2 s^2 + R_1 L_n s + L_1 R_2 s + R_1 L_2 s + R_1 R_2 - s^2 M^2 + L_1 L_n s^2} \right|_{s=j\omega} \geq \frac{A_{\text{вых min}}}{A} \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{-MR_n s - s^2 ML_n}{R_n L_1 s + R_n R_1 + L_1 L_2 s^2 + R_1 L_n s + L_1 R_2 s + R_1 L_2 s + R_1 R_2 - s^2 M^2 + L_1 L_n s^2} \right|_{s=j\omega} \geq \frac{A_{\text{вых min}}}{A} \end{array} \right. \quad (13)$$

Рассматривается значение  $\omega=314$ , что соответствует частоте напряжения 50 Гц.

Уравнения (12) и (13) представляют собой эллипсы.

Внутренние точки множества  $\Lambda^*$  расположены между эллипсами, определяемыми уравнениями (12), (13).

Подтверждение результата реализовано среде MATHCAD.

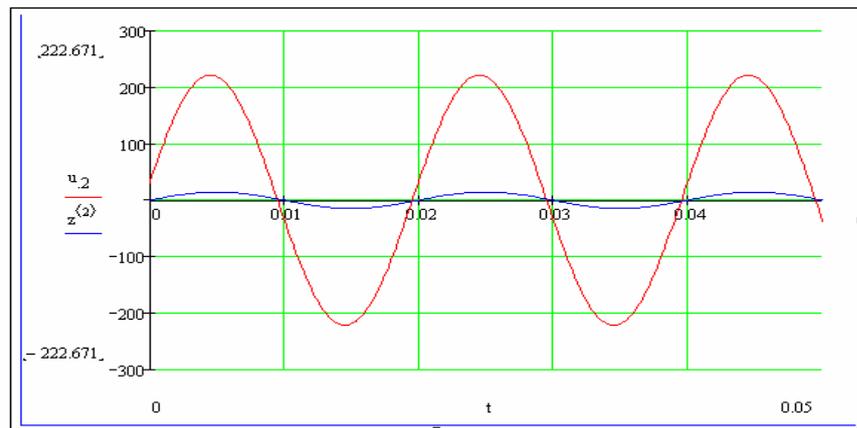


Рисунок – 2 График напряжения выходной цепи трансформатора для  $A_{\text{вых max}} = 223\text{В}$ ,  $R_n = 15,8\text{Ом}$ ,  $L_n = 7,14 \cdot 10^{-3}\text{Гн}$ .

#### Вывод.

В статье рассмотрен способ выбора множества параметров активно-индуктивной нагрузки трансформатора, обеспечивающих заданные показатели качества электроэнергии. Достоверность результатов подтверждена расчетом, выполненными в среде MATHCAD.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Веников, И.В. Литкенс. Математические основы теории автоматического управления режимами электросистем. - М: Высшая школа, 1989.-197с
2. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. – К.: Наук. думка, 2006. – 264с.
- 3.Р.Дорф, Р.Бишоп. Современные системы управления. Пер.с англ. Б. И. Копылова, -М: Лаборатория Базовых Знаний,2002. – 832с

Рекомендовано д.т.н. Ковальовим О.П.