

## АППРОКСИМАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕЛИНЕЙНОСТИ

*Истомина Н.Н., ассист.*

*Кременчугский государственный политехнический университет  
имени Михаила Остроградского*

*39600, г. Кременчуг, Полтавская обл., ул. Первомайская, 20*

*E-mail: [noriel-lomion@yandex.ru](mailto:noriel-lomion@yandex.ru)*

**Введение.** При производстве и эксплуатации электрической машины (ЭМ) в любой отрасли промышленности становятся все более актуальными исследования переходных процессов, протекающих в машине и в питающей сети при различных режимах работы.

Задача исследования переходных процессов заключается в том, чтобы выяснить, по какому закону и как долго будет наблюдаться заметное отклонение токов в ветвях и напряжений на участках цепи от их установившихся значений.

Существует несколько методов диагностики асинхронного двигателя (АД), которые базируются на анализе переходных процессов [1].

**Анализ предыдущих исследований.** В общем случае обмотки АД представляются как объекты с сосредоточенными параметрами, поэтому судить об их физическом состоянии по результатам моделирования переходных процессов не представляется возможным [2]. В [3] изложены общие принципы представления обмоток как цепей с распределенными параметрами, что позволяет рассматривать переходные процессы в отдельных участках обмотки (рис. 1). В [4], [5] представлены результаты моделирования переходных процессов по току и напряжению в статорной обмотке АД при наличии различных нелинейностей.

В настоящее время существует возможность записывать данные переходных процессов ЭМ в файлы данных. Эти файлы содержат большое количество точек, что затрудняет их обработку и анализ. Если исследуемая электрическая цепь содержит нелинейные элементы, это отражается на характере переходного процесса и затрудняет его анализ. Поэтому актуальной задачей является разработка и уточнение математического аппарата обработки переходных процессов.

**Цель работы.** Повышение достоверности и точности обработки переходных процессов АД.

**Материал и результаты исследований.** Исследования проводились на примере двигателя типа 4А132М2В3 со следующими данными: номинальная мощность на валу двигателя – 130 кВт; номинальное скольжение – 16 %; номинальный КПД – 93%; номинальный коэффициент мощности – 0,9; количество пар полюсов – 1; кратность максимального момента – 2,2; кратность пускового момента – 1,2.

В работе рассматривалась математическая модель статорной обмотки АД, представленная цепью с распределенными параметрами с разбиением на 6 составляющих [4].

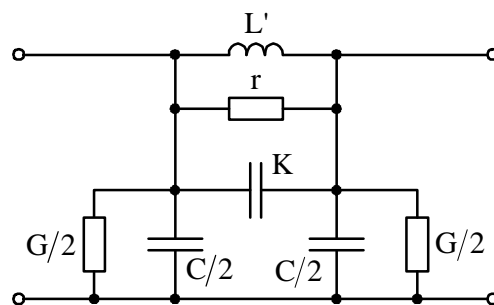


Рисунок 1 – Π-образная схема замещения одного звена цепи, эквивалентной фазной обмотке электрической машины

Передачная функция элементарного участка статорной обмотки АД имеет вид:

$$W(S) = \frac{T_1 S^2 + T_2 S + 1}{T_3 S^2 + T_4 S + 1}, \quad (1)$$

где  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  – постоянные времени, которые определяются индуктивностью катушки  $L'$ , ее активным сопротивлением  $r$ , продольной емкостью  $K$ , поперечной емкостью  $C$  и активной проводимостью  $G$ , эквивалентной диэлектрическим потерям в корпусной изоляции.

Для исследуемого двигателя функция (1) имеет вид:

$$W(S) = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 0,473S + 1}{47 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 0,475 \cdot S + 1}. \quad (2)$$

Исследования проводились согласно схеме, представленной на рис. 2, где НЭ – нелинейный элемент (в нашем случае звено усиления с зоной нечувствительности).

Для различного положения НЭ снимались переходные характеристики по напряжению и току для статорной обмотки.

Для исследуемого НЭ были получены и аппроксимированы переходные характеристики методом наименьших квадратов (МНК).

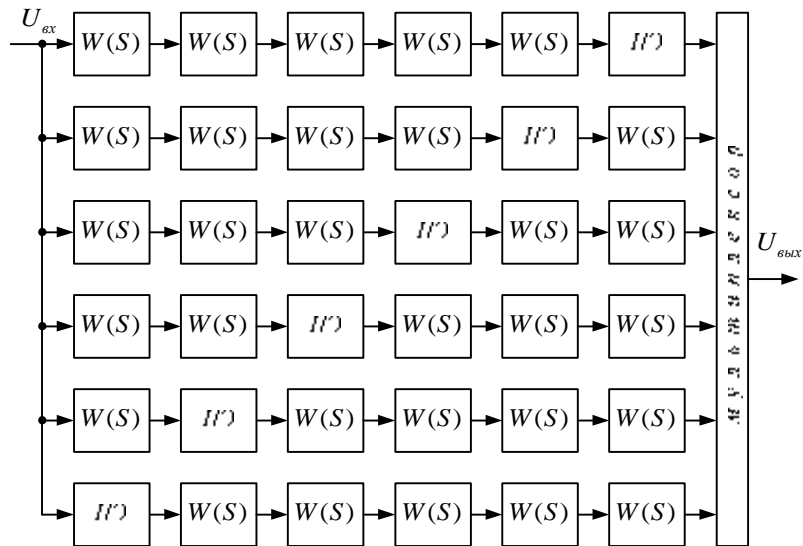


Рисунок 2 – Структурная схема модели обмотки, как цепи с распределенными параметрами, при различном положении НЭ

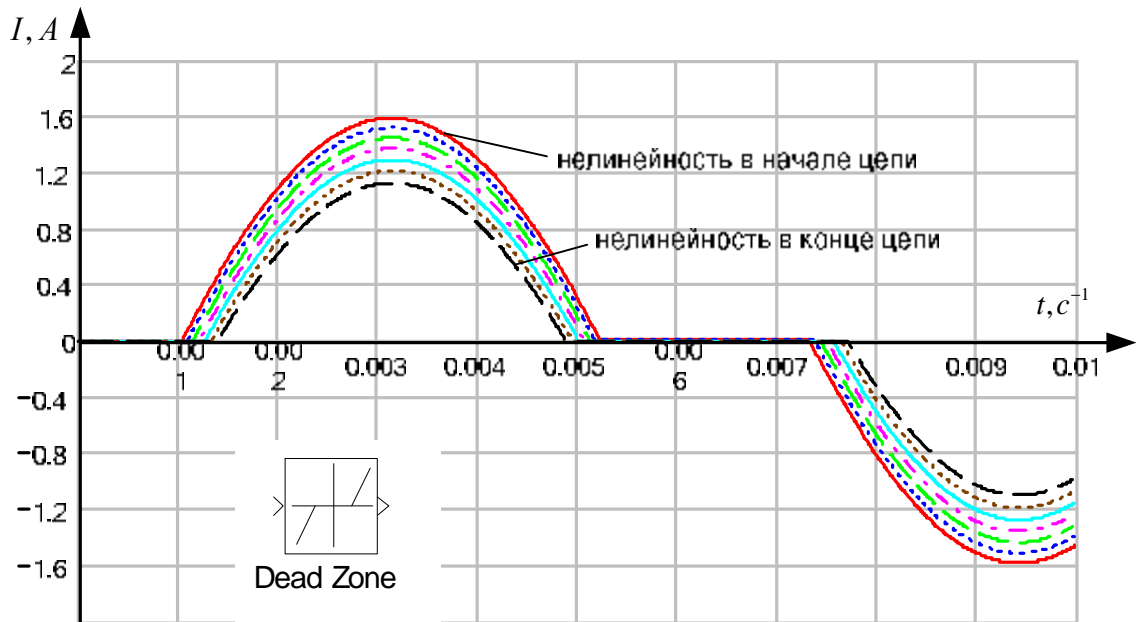


Рисунок 3 – График переходного процесса  $I(t)$  для нелинейности типа звено усиления с зоной нечувствительности  $(-10;10)$  при синусоидальном входном воздействии ( $U = 10 \text{ В}$ ,  $f = 100 \text{ Гц}$ )

Далее для обработки данных использовались рекуррентные формулы [2], согласно которым можно записать систему уравнений для определения коэффициентов МНК в матричном виде:

– элементы матрицы аргументов,

$$X_{i,j} = \sum_{e=0}^n (t_e)^{i+j}; \quad (3)$$

– элементы матрицы правой части,

$$B_i = \sum_{e=0}^n (t_e^i \cdot I_e); \quad (4)$$

– матрица искомых коэффициентов аппроксимации,

$$a = X^{-1} \cdot B, \quad (5)$$

где  $e$  – номер элемента матрицы-вектора аргументов или функций, определяется количеством элементов аппроксимируемой функции  $n$ ;  $i, j$  – номера элемента уравнения и самого уравнения в системе (1), определяются степенью аппроксимирующего полинома  $K$ ,  $i = 0, 1 \dots K$ ,  $j = 0, 1 \dots K$ .

Тогда общий вид аппроксимирующей функции для МНК

$$P_m(t, a) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_m t^m$$

можно записать в матричном виде

$$P(t) = \sum_{i=0}^K a_i \cdot t^i. \quad (6)$$

По аппроксимированным характеристикам определялись следующие показатели переходных процессов: время задержки  $T_{a1}$ , точка возрастания

выходного сигнала А, точка перегиба кривой С, постоянная времени части кривой до точки перегиба  $T_{a2}$ , постоянная времени после точки перегиба  $T_{a3}$ , точка первого согласования Е, время первого согласования  $T_{a4}$ , общее время переходного процесса  $T_a$ .

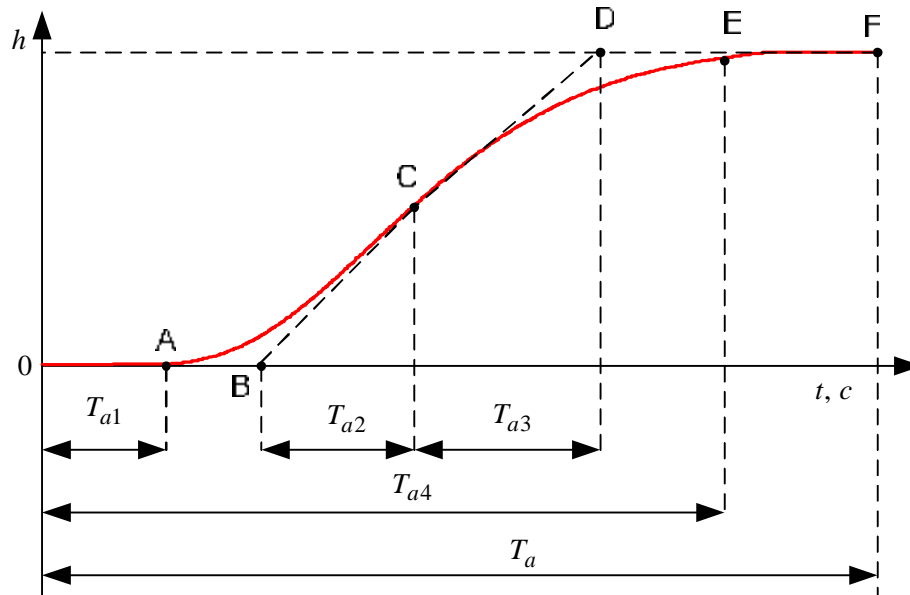


Рисунок 4 – График обобщенного переходного процесса

**Выводы.** Для нелинейности типа звено усиления с зоной нечувствительности при синусоидальном входном воздействии графики переходных процессов четко разделяются при следующих параметрах входного воздействия: амплитуде напряжения от 10 до 20 В и частоте то 100 до 1000 Гц. При увеличении значений параметров данной нелинейности наблюдалось большее разделение характеристик и уменьшение постоянной времени переходного процесса.

При единичном ступенчатом входном воздействии графики переходных процессов  $^2(t)$  для различного положения обоих видов нелинейностей не разделяются.

Также был автоматизирован процесс аппроксимации и обработки переходных процессов для исследуемого типа НЭ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постников И.М. Обобщенная теория и переходные процессы в электрических машинах: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 319 с.
2. Истомина Н.Н. Определение зависимости постоянных времени переходных процессов в обмотке асинхронного двигателя как цепи с распределенными параметрами от положения нелинейного элемента // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 3 (50). – Ч. 2. – С. 113–116.

3. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.

4. Истомина Н.Н. Моделирование обмотки статора асинхронного двигателя как линии с распределенными параметрами, содержащей нелинейность // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 4 (45). – Ч. 2. – С. 61-65.

5. Истомина Н.Н., Устименко Е.В. Анализ переходных процессов в статорной обмотке асинхронного двигателя // Збірник матер. VII Всеукр. НТК молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації». – Кременчук: КДПУ, 2009. – С. 76–89.

Стаття надійшла 06.04.2009 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.