

V. ВЫВОДЫ

Предложен метод расчета динамических процессов в электроимпульсном устройстве, основанный на синтезе многоконтурной схемы замещения, параметры которой определяются в комплексе программ Elcut при решении задачи расчета нестационарного магнитного поля с присоединенной электрической цепью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шильников П. Ю., Захаренко В. А. Электроимпульсная очистка поверхностей // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2013. № 1. С. 254–255.
2. Виноградов В. В., Зыкова Ю. А., Самохвалов Н. М. Методика расчета щелевого фильтра // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326, № 11. С. 67–73.
3. Татевосян А. С., Татевосян А. А., Захарова Н. В., Лукачева А. А. Определение параметров схемы замещения электроимпульсного устройства очистки поверхности от загрязнения // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6, № 3 С. 102–108. DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-3-102-108
4. Татевосян А. С., Чижма Б. В., Аникин В. Е., Белявский Г.О. Исследование влияния конструктивных параметров исполнительных элементов на работу электроимпульсных устройств очистки // Актуальные вопросы энергетики. 2018. С. 294–298.

УДК 621.314.261

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАТУХАНИЯ ТОКА СТАТОРА

Р. Н. Хамитов¹, В. В. Аникин²¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия²Нижевартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия

Аннотация. Надежное и энергосберегающее частотное управление погружными асинхронными электродвигателями требует исследование его работы в составе электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов на базе моделирования. Данный подход ориентирован на разработку методов идентификации параметров его схем замещения по экспериментальным данным. Целью исследования являлась разработка методики для определения параметров Т-образной схемы замещения погружных асинхронных электродвигателей с использованием интеграла кривой затухания тока обмотки статора без дополнительного перехода к частотным характеристикам. Исследование методики проводилось на базе разработанной установки для идентификации параметров схем замещения погружных асинхронных электродвигателей. Для оценки достоверности методики идентификации параметров схемы замещения погружного электродвигателя с интегральным преобразованием кривой затухания тока статора погружного электродвигателя был проведен эксперимент, показавший наибольшее расхождение между значениями параметров схемы замещения – не более 12 %. Разработанная методика идентификации параметров схем замещения погружного электродвигателя, таким образом, позволяет определять эксплуатационные параметры и характеристики электродвигателя.

Ключевые слова: погружной асинхронный электродвигатель, схема замещения, переходная характеристика, интеграл кривой затухания тока, схема включения.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-109-113

I. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в предэксплуатационной идентификации параметров схем замещения погружного электродвигателя (ПЭД) возникает при частотном и векторном регулировании скорости вращения и электромагнитного момента ПЭД для организации надежных и оптимальных режимов эксплуатации в составе электротехнических комплексов (ЭТК) установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) [1].

Методы идентификации, связанные с вращением ПЭД на поверхности, требуют для своей реализации использования совместимого с конструкцией ПЭД оборудования, заменяющего реальную нагрузку на валу в виде УЭЦН, либо наличия дорогостоящих специализированных стендов для прямо-сдаточных испытаний, которые

ми оснащаются заводы - изготовители ПЭД. Однако имеется возможность усовершенствования подхода на базе методик параметрической идентификации непосредственно по кривой затухания тока обмотки статора, не требующих трудоемкого и сложного дополнительного перехода к частотным характеристикам.

Однозначная связь параметров схем замещения ПЭД с кривой затухания тока статора делает возможной идентификацию параметров ПЭД без трудоемкого перехода к частотным характеристикам электродвигателя. В научной и технической литературе данная актуальная задача и разработка технических средств её реализации применительно к асинхронным ПЭД в составе ЭТК УЭЦН достаточного рассмотрения не получила.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При рассмотрении характеристики затухания тока обмотки статора погружного асинхронного электродвигателя (ПЭД), полученной в ходе опыта при неподвижном роторе, возможно выделить (рис. 1) пологую (хвостовую) часть, крутой участок и «сверхпереходную» быстро затухающую начальную область.

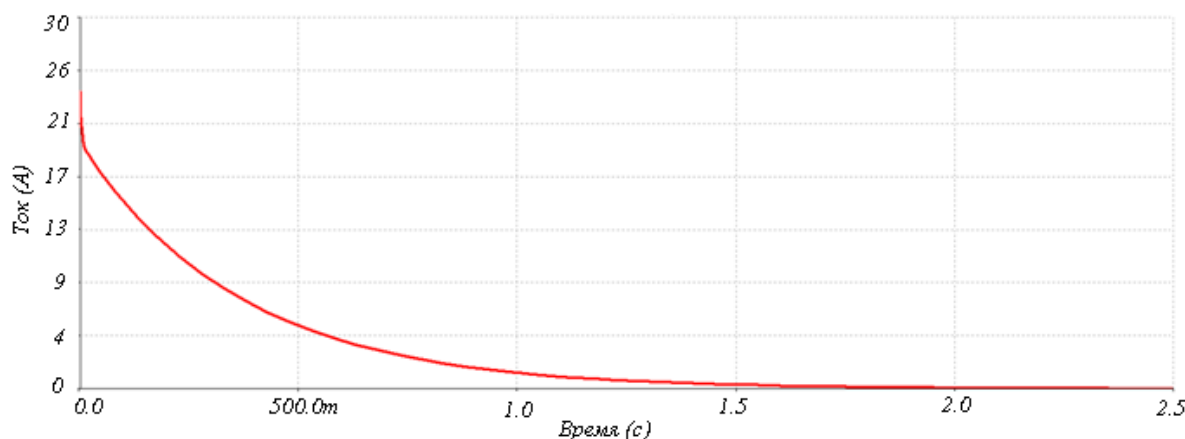


Рис. 1. Характеристики затухания тока обмотки статора ПЭД

Эти особенности переходной характеристики затухания позволяют составить эквивалентные схемы замещения ПЭД (рис.2) с заторможенным ротором в отдельности для пологого, крутого и «сверхпереходного» участков характеристики затухания [2].

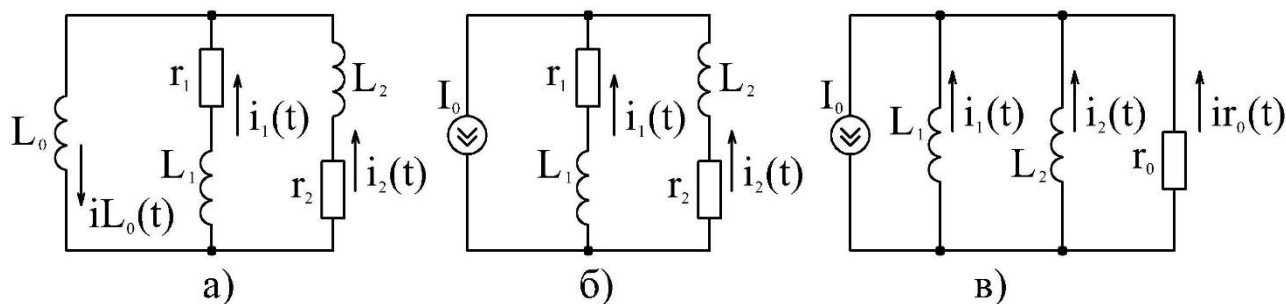


Рис. 2. Эквивалентные схемы ПЭД: а) на пологом участке кривой затухания тока статора, б) на крутом участке кривой затухания тока статора, в) на сверхпереходном участке кривой затухания тока статора в области малых времен

Эквивалентные схемы (рис. 2а, б), соответственно для пологого и крутого участков кривой затухания тока статора АД, построены на базе соотношений $r_0 \gg r_1$, $r_1 \gg R_{\text{вн.}}$, $r_0 \gg r_2$, $L_0 \gg L_1$ и $L_0 \gg L_2$, позволяющих без какой-либо значительной ошибки пренебречь:

– влиянием сопротивления r_0 , сопротивлением внешней цепи $R_{\text{вн.}}$ на постоянную времени T_1 (рис. 2, а) экспоненты, аппроксимирующей пологий участок характеристики $i_{\text{экс}}(t)$, который обусловлен процессами гашения энергии магнитного поля АД на сопротивлениях r_1 и r_2 ;

– влиянием индуктивности L_0 и сопротивлений $R_{\text{вн.}}$, r_0 на постоянную времени экспоненты T_2 , (рис. 2б) аппроксимирующей крутой (миллисекундный) участок огибающей переходной характеристики $i_{\text{экс}}(t)$, кото-

рый связан с электромагнитными процессами проникновения магнитного поля рассеяния обмотки статора АД в заторможенный ротор.

Основанием для эквивалентной схемы (рис. 2 в) являются неравенства $L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} \gg r_1 \cdot i_1(t)$, $L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \gg r_2 \cdot i_2(t)$, справедливые на сверхпереходном (десятки микросекунд) участке характеристики $i_{\text{экс}}(t)$ и соотношения $L_0 \gg L_1$ и $L_0 \gg L_2$, которые дают возможность с очень хорошим приближением не учитывать влияние индуктивности L_0 и сопротивлений r_1 и r_2 на величину постоянной времени T_3 сверхпереходной аппроксимирующей экспоненты кривой затухания тока $i_{\text{экс}}(t)$. Вследствие этого практически точное выражение для постоянной времени T_3 аппроксимирующей экспоненты принимает следующий вид:

$$T_3 = \frac{L_1 \cdot L_2}{r_0 \cdot (L_1 + L_2)}. \quad (1)$$

На основании эквивалентной схемы (рис. 2а) с учетом соотношения $(L_0 + L_1) \approx (L_0 + L_2)$ постоянная времени для медленно спадающего тока на конечном участке переходной характеристики $i_{\text{экс}}(t)$ выражается с хорошей степенью приближения через эквивалентные параметры электродвигателей следующим образом:

$$T_1 = \frac{(r_1 + r_2) \cdot (L_0 + L_1)}{r_1 \cdot r_2} \quad (3)$$

С учетом формулы

$$L_0 + L_1 = \frac{r_1 \cdot \int_0^\infty i_{\text{экс}}(t) dt}{I_0}, \quad (4)$$

получается другое выражение для постоянной времени T_1 в иной, более удобной для применения форме [2]

$$T_1 = \frac{(r_1 + r_2) \cdot \int_0^\infty i_{\text{экс}}(t) dt}{I_0 \cdot r_2}. \quad (5)$$

Эквивалентная схема ПЭД на рис. 2б, соответствующая крутому участку переходной характеристики затухания тока статора ПЭД, позволяет выразить постоянную времени T_2 аппроксимирующей экспоненты следующим образом

$$T_2 = \frac{(L_1 + L_2)}{r_1 + r_2}. \quad (6)$$

III. ТЕОРИЯ

Определение параметров схемы замещения ПЭД.

Из уравнения 4 определяется индуктивность ветви намагничивания эквивалентной схемы ПЭД

$$L_0 = \frac{r_1 \cdot \int_0^\infty i_{\text{экс}}(t) dt}{I_0} - L_1, \quad (7)$$

которую с очень хорошим приближением можно принять равной

$$L_0 = \frac{r_1 \cdot \int_0^\infty i_{\text{экс}}(t) dt}{I_0} \quad (8)$$

Из уравнения (5) находится приведенное к статору активное сопротивление обмотки ротора ПЭД

$$r_2 = \frac{r_1 \cdot \int_0^\infty i_{\text{экс}}(t) dt}{I_0 T_1 - \int_0^\infty i_{\text{экс}}(t) dt} \quad (9)$$

Сумма индуктивностей рассеяния обмотки статора и приведенной к обмотке статора индуктивности рассеяния обмотки ротора ПЭД определяется по эквивалентной схеме (рис. 2б) и уравнению 6 как

$$L_2 + L_1 = T_2 \cdot (r_1 + r_2) \quad (9)$$

Сопротивление активных потерь в параллельной ветви намагничивания схемы замещения ПЭД выражается (рис. 2в) через постоянную времени сверхпереходного участка кривой затухания $i_{\text{экс}}(t)$ тока статора.

$$r_0 = \frac{L_1 \cdot L_2}{T_2 \cdot (L_1 + L_2)}, \quad (9)$$

где разделение $L_1 + L_2$ на L_1 и L_2 , необходимое в частности для определения сопротивления r_0 параллельной ветви намагничивания схемы замещения ПЭД, может быть выполнено следующим образом:

– путем вычисления L_1 с использованием результатов первого измерения тока $i_{\text{экс}}(t_1)$ в момент времени t_1

$$L_1 = \frac{I_0 r_1 t_1}{I_0 - i_{\text{экс}}(t_1)}; \quad (10)$$

– выбором с учетом рекомендации [3] $L_1 = L_2$, что можно считать допустимым, поскольку влияние r_0 на величину и расположение пространственных векторов напряжения, тока и потокосцепления асинхронных электродвигателей незначительно [4];

– снятием и регистрацией двух характеристик затухания тока статора, одну из которых получают при соединении обмоток статора ПЭД по схеме неполной звезды (рис. 3а), а другую – по схеме встречного соединения двух фаз (рис. 3б) при разомкнутой третьей фазе.

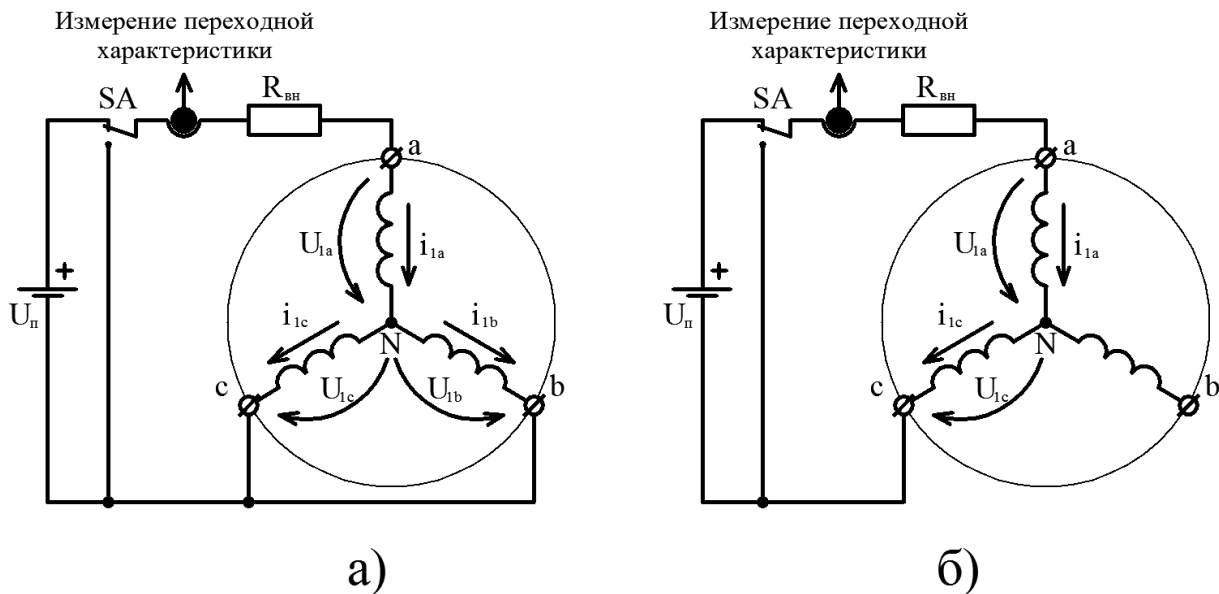


Рис. 3. Схемы соединения обмоток двигателя при получении переходной характеристики ПЭД

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для оценки достоверности методики идентификации параметров схемы замещения погружного электродвигателя с интегральным преобразованием кривой затухания тока статора ПЭД был проведен эксперимент по идентификации параметров схемы замещения ПЭД типов ЭД(Т) – ЭД(Т)12-117-380. Эксперимент проводился на разработанной установке для определения параметров схем замещения асинхронных электродвигателей [5]. Результаты представлены в табл. 1 вместе с известными значениями параметров схем замещения ПЭД, полученными по каталожным данным двигателя.

ТАБЛИЦА 1
РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПЭД ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА

Параметры Двигатель	r_2 , Ом	L_1 , мГн	L_2 , мГн	r_0 , Ом	L_0 , мГн	I_0 , А	r_1 , Ом
ЭД(Т)12-117-380						10,5	0,517
каталог	1,945	2,937	2,937	323,3	115,2		
эксперимент	2,276	3,041	3,252	343,72	116,1		
погр. δ , %	12,0	3,5	10,7	6,3	0,8		

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эксперимент показавший наибольшее расхождение между значениями параметров схемы замещения – не более 12 % (сопротивление роторной цепи), наименьшее расхождение между значениями параметров схемы замещения – 0,8 % (индуктивность цепи намагничивания), что является приемлемым для целей оценки качества послеремонтных ПЭД в условиях работы сервисных и ремонтных организаций и непосредственно на кустовой площадке нефтедобычи.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика идентификации параметров схем замещения погружного электродвигателя, таким образом, позволяет определять эксплуатационные параметры и характеристики электродвигателя в составе ЭТК УЭЦН в зависимости от его скольжения [6]. Методика, реализованная в виде программного продукта [7], целесообразна для применения на предприятиях по ремонту погружного электрооборудования и для определения измененного технического состояния ПЭД после ремонтного обслуживания и контроля его эксплуатационных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев В. З., Мальгин Г. В., Архипова О. В. Математическое моделирование электротехнических комплексов нефтегазодобычи в задачах энергосбережения. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. 221 с.
2. Пат. 2623834 РФ, МПК G 01 R 27/26. Способ определения электромагнитных параметров асинхронных электродвигателей / Кузнецов Е. М., Ковалев А. Ю., Аникин В. В. № 2016104186; заявл. 09.02.16; опубл. 29.06.17, Бюл. № 19.
3. Кади-Оглы Е. Ф. Сравнительный анализ и оценка эффективности способов регулирования погружных асинхронных двигателей: дис.... канд. техн. наук. СПб, 2002. 134 с.
4. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: ИГЭУ, 2008. 298 с.
5. Ковалев А. Ю., Кузнецов Е. М., Аникин В. В. Установка для определения параметров схем замещения асинхронных электродвигателей // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. 162 с.
6. Ковалев В. З., Хамитов Р. Н., Кузнецов Е. М., Аникин В. В., Бессонов В. О. Определение эксплуатационных параметров погружных асинхронных электродвигателей по идентификационным параметрам Т-образной схемы замещения // Омский научный вестник. 2018. № 6. С. 36–40.
7. Аникин В. В., Кузнецов Е. М., Ковалев В. З. Идентификация параметров схемы замещения погружного асинхронного электродвигателя: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 23747 от 27.08.2018. М. : ОФЭРНиО, 2018.