Научная статья
Original article
УДК 62-9

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF THE SUBMERGED ELECTRIC MOTOR REPLACEMENT CIRCUIT

Аникин Василий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Нижневартовский государственный университет, Россия, г. Нижневартовск
Кондратенко Павел Андреевич, студент 4 курс, факультет экологии и инжиниринга, Нижневартовский государственный университет, Россия, г. Нижневартовск

Anikin Vasily Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate, Professor, Nizhnevartovsk State University, Russia, Nizhnevartovsk
Kondratenko Pavel Andreevich, 4th year student, Faculty of Ecology and Engineering, Nizhnevartovsk State University, Russia, Nizhnevartovsk

Аннотация: В данной статье рассмотрен метод идентификации параметров схемы замещения ПЭД, основанный на регистрации при неподвижном роторе переходного процесса затухания тока обмотки статора. Методика базируется на фундаментальных работах Казовского Е.Я., Вольдека А.И., Копылова И.П., Сивокобыленко В.Ф., не требует сопряжения с механической нагрузкой ПЭД, учитывает насыщение его магнитной системы и вытеснение тока в стержнях обмотки ротора, имеет перспективу

использования при спуске погружного электродвигателя в скважину, может быть реализован с помощью компактной переносной установки или средствами частотного преобразователя.

Summary: In this article, a method for identifying the parameters of the submersible electric motor replacement circuit is considered, based on the registration of a transient process of attenuation of the stator winding current at a stationary rotor. The technique is based on the fundamental works of Kazovsky E.Ya., Voldek A.I., Kopylov I.P., Sivokobylenko V.F., does not require coupling with the mechanical load of the submersible electric motor, takes into account the saturation of its magnetic system and displacement of current in the rotor winding rods, has the prospect of use when lowering a submersible electric motor into the well, can be implemented using a compact portable installation or by means of a frequency converter.

Ключевые слова: Асинхронный электродвигатель, погружной электродвигатель, схема замещения, установка электроцентробежных насосов.

Key words: induction motor, submersible electric motor, replacement circuit, installation of electric centrifugal pumps.

Существующие методы идентификации параметров ПЭД:

1. Идентификация по опыту хх и кз

Метод требует применения дополнительного нагрузочного и регулирующего оборудования в виде синхронного электродвигателя и ПЧ. Реализация метода на глубине спуска в скважину принципиально невозможна.

2. Идентификация по каталожным данным

Метод имеет низкую точность, т.к. параметры схем замещения ПЭД изменяются из-за конструктивных и технологических разбросов, теплового режима и насыщения магнитопровода ПЭД.

3. Идентификация с питанием от полигармонического источника

Для реализации метода необходим источник несинусоидального полигармонического источника напряжения.

4. Идентификация на основе нейронных искусственных сетей и нечеткой логики

Сложность реализации данных методов пока позволяет отнести их к числу перспективных.

5. Идентификация по методу затухания постоянного тока при заторможенном роторе

Известная методика реализации метода использует трудоемкий дополнительный переход с помощью преобразования Лапласа и интеграла Фурье от характеристик затухания тока статора к частотным характеристикам входного импеданса обмотки статора ПЭД

6. Идентификация по экспериментальным данным рабочего режима при различной нагрузке

Недостатки метода - невысокая точность, необходимость измерять скольжение. Параметры обмотки статора должны быть известными

7. Идентификация на основе фильтра Калмана и генетических алгоритмов

Изначально необходима приближенная параметрическая модель ПЭД для реализации поисковых алгоритмов с применением систем дифференциальных уравнений, наблюдателя высокого порядка и других методов. Высокая чувствительность к шумам.

Обзор данных методов определения параметров схем замещения погружных асинхронных электродвигателей приводит к следующим выводам: методы идентификации, связанные с вращением погружного электродвигателя на поверхности, требует для своей реализации использования совместимого с конструкцией ПЭД оборудования, заменяющего реальную нагрузку на валу в виде ЭЦН, либо наличия дорогостоящих специализированных стендов для приемо-сдаточных испытаний, которыми оснащаются заводы изготовители ПЭД.

Показана возможность усовершенствования (развития) метода путем разработки методик параметрической идентификации непосредственно по кривой затухания $i_1(t)$ тока обмотки статора, не требующих трудоемкого и сложного дополнительного перехода к частотным характеристикам

Проведен анализ схем соединения обмоток статора ПЭД при однополярном питании ПЭД постоянным током. Установлено, что результирующее потокосцепление ПЭД при однофазном питании по схеме неполной звезды получается аналогичным как при питании трехфазных обмоток статора, соединенных звездой, синусоидальным током, действующее значение которого равно постоянному току.

Сущность метода: воздействуют на обмотку статора постоянным напряжением, измеряют в ней установившейся ток, отключают обмотку от источника напряжения и одновременно замыкают ее накоротко, регистрируют кривую затухания тока и по полученным данным определяют параметры схем замещения.

Достоинства метода: не требует сопряжения с нагрузкой, учитывает насыщение магнитной системы ПЭД и вытеснение тока в стержнях обмотки ротора, имеет перспективу использования при спуске ПЭД в скважину, осуществим на поверхности с помощью компактной переносной установки

Предлагаются решения: для упрощения реализации метода предлагается разработать методики прямой идентификации параметров схем замещения ПЭД непосредственно по характеристики затухания постоянного тока обмотки статора

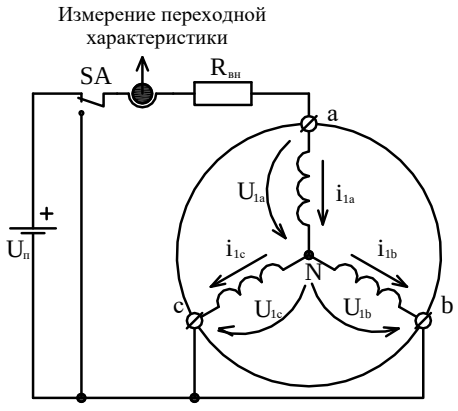


Рис.1 - Схема снятия переходной характеристики затухания тока статора

Классическая Т-образная схема ПЭД с одноконтурной цепью ротора является достаточно корректной для практического решения задач эксплуатации ПЭД в составе УЭЦН.

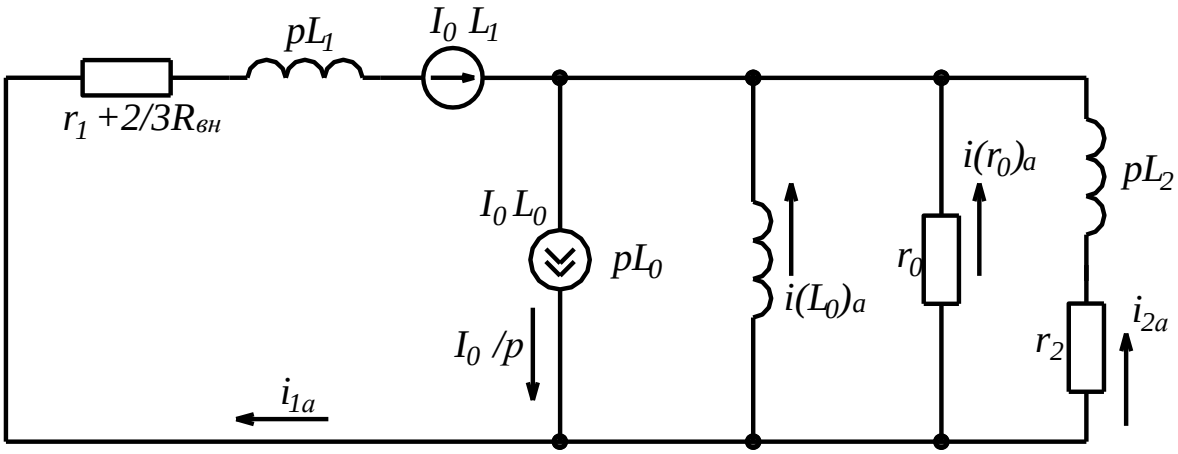


Рис.2 – Схема замещения фазы «а» ПЭД с одноконтурной цепью ротора.

Разработана методика прямой идентификации схем замещения ПЭД, основанная на дифференцировании начального участка кривой затухания тока обмотки статора ПЭД, для определения индуктивности рассеяния L_1 и других параметров схем замещения ПЭД через производную тока статора.

Анализ переходной характеристики затухания (рис.3) позволяет выделить пологую (хвостовую) часть, крутой (миллисекундный) участок и «сверхпереходную» быстро затухающую начальную область.

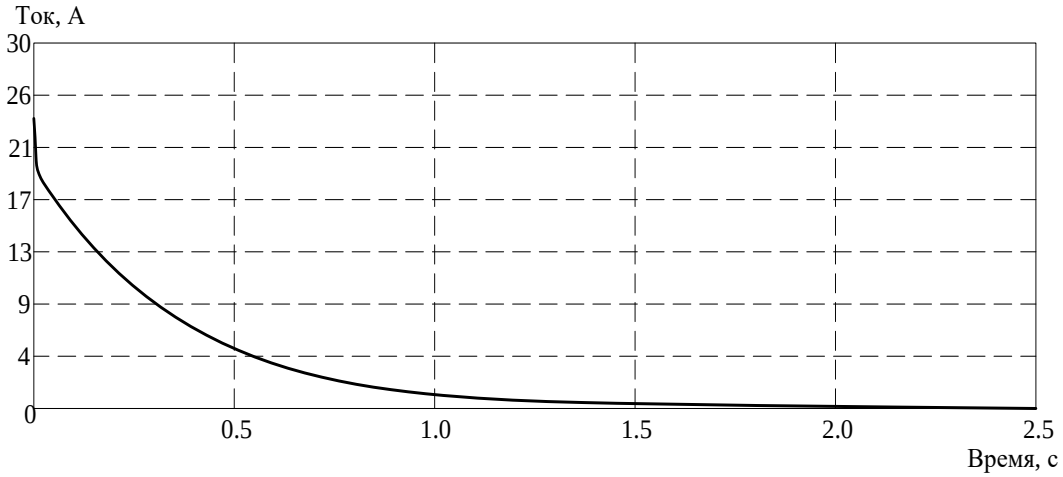
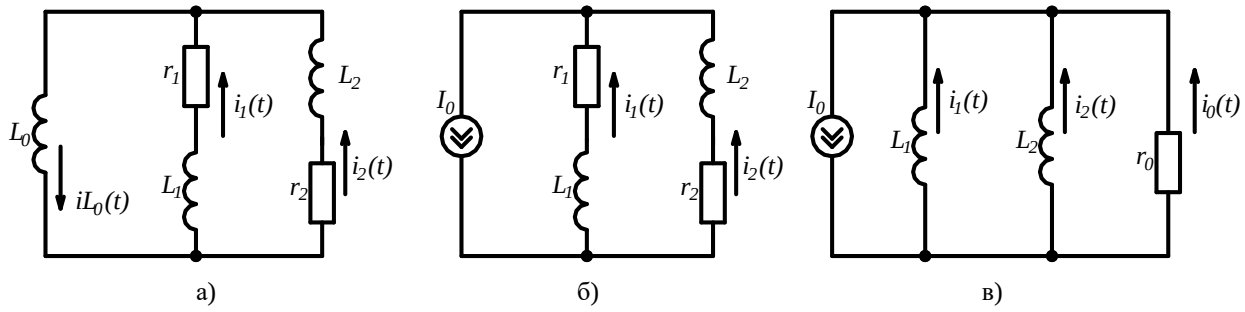


Рис. 3 – Характеристика затухания тока статора ПЭД 90-117-1300

Эти особенности переходной характеристики затухания тока обмотки статора ПЭД позволяют составить эквивалентные схемы замещения ПЭД (рис.4) с заторможенным ротором в отдельности для каждого участка характеристики.



а) б) в)

Рис. 4 – Эквивалентные схемы ПЭД: а) на пологом участке кривой затухания тока статора $r_0>>r_1$, $r_1>>R_{вн}$, $r_0>>r_2$, $L_0>>L_1$, и $L_0>>L_2$;

б) на крутом участке кривой затухания тока статора, $r_0>>r_1$, $r_1>>R_{вн}$, $r_0>>r_2$, $L_0>>L_1$, и $L_0>>L_2$

в) на сверхпереходном участке кривой затухания тока статора в области малых времен $L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} \gg r_1 \cdot i_1(t), L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \gg r_2 \cdot i_2(t)$

Постоянная времени T_1 аппроксимирует пологий участок характеристики $i_{эксп}(t)$, который согласно (рис. а), обусловлен процессами гашения энергии магнитного поля АД на сопротивлениях r_1 и r_2 и выражается с хорошей степенью приближения через эквивалентные параметры электродвигателя:

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

Эквивалентная схема ПЭД (рис б) для крутого участка переходной характеристики затухания тока статора ПЭД позволяет выразить постоянную времени T_2 аппроксимирующей экспоненты следующим образом:

$$T_2 = \frac{L_1 + L_2}{r_1 + r_2}$$

Постоянная времени экспоненты T_3 (рис в) связана с электромагнитными процессами проникновения магнитного поля рассеяния обмотки статора АД в заторможенный ротор и представляется выражением:

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

Таким образом возможно выразить параметры Т-образной схемы замещения ПЭД с одноконтурной цепью ротора через постоянные времени T_1, T_2, T_3 и интеграл от оцифрованной переходной характеристики следующими расчетными соотношениями при известном $r_1 >> R_{вн}$

$$L_0 = \frac{r_1 \cdot \int_0^\infty i_{эксп}(t)\,dt}{I_0} \qquad r_0 = \frac{L_1 \cdot L_2}{T_2 \cdot (L_2 + L_1)}$$

$$r_2 = \frac{r_1 \cdot \int_0^\infty i_{эксп}(t)\,dt}{I_0 \cdot T_1 - \int_0^\infty i_{эксп}(t)\,dt}$$

$$L_2 + L_1 = T_2 \cdot (r_1 + r_2) \qquad L_1 = \frac{I_0 \cdot r_1 \cdot t_1}{i_{эксп}(t_1) - I_0}$$

Ссылка на патент: https://patentdb.ru/patent/2623834

Литература

1. Аникин В.В. Идентификация параметров погружных асинхронных электродвигателей установок электроцентробежных насосов для добычи нефти. / А.Ю. Ковалев, Е. М. Кузнецов, В.В. Аникин // Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы V Международной науч.- прак. конф.– Саратов: ФГБОУ ВПО Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2014. – С. 178 –183.

2. Аникин, В.В. Расчет и построение рабочих характеристик погружного асинхронного электродвигателя по параметрам Т-образной схемы замещения/ Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвященной 20-летию создания кафедры электроэнергетики: в 2 т. Том 2 / отв. ред. А. Н. Халин. – Тюмень : ТИУ, 2019. – С. 212-216.
3. Глазырин А. С. Способы и алгоритмы эффективной оценки переменных состояния и параметров асинхронных двигателей регулируемых электроприводов: дисс. д-ра. техн. наук. – Омск, 2017. – 343 с.
4. Гридин В. М. Расчет параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным // Электричество. – 2012. – №5. – С. 40 –44.
5. Ковалев В.З., Хамитов Р.Н., Кузнецов Е.М., Аникин В.В., Бессонов В.О. Определение эксплуатационных параметров погружных асинхронных электродвигателей по идентификационнным параметрам Т-образной схемы замещения // Омский научный вестник №6. – 2018. – № 6(162). – С. 36 – 40.

Literature

1. Anikin V.V. Identification of parameters of submersible asynchronous electric motors of electric centrifugal pumps for oil production. / A.Y. Kovalev, E. M. Kuznetsov, V.V. Anikin // Actual problems of agroindustrial power engineering. Materials of the V International Scientific Conference.-prak. Conf.– Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, 2014. –P. 178 -183.
2. Anikin, V.V. Calculation and construction of performance characteristics of a submersible asynchronous electric motor according to the parameters of a T-shaped replacement circuit/ Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex : materials of the National scientific and

practical conference of students, postgraduates, scientists and specialists with international participation dedicated to the 20th anniversary of the creation of the Department of Electric Power Engineering: in 2 vols. Volume 2 / ed. by A. N. Khalin. – Tyumen : TIU, 2019. – P. 212-216.

3. Glazyrin A. S. Methods and algorithms for effective evaluation of state variables and parameters of asynchronous motors of regulated electric drives: dissertation of Dr. technical sciences. – Omsk, 2017. – 343 p.
4. Gridin V. M. Calculation of parameters of the asynchronous motor replacement scheme according to catalog data // Electricity. – 2012. – No. 5. – P. 40 -44.
5. Kovalev V.Z., Khamitov R.N., Kuznetsov E.M., Anikin V.V., Bessonov V.O. Determination of operational parameters of submersible asynchronous electric motors by identification parameters of a T-shaped replacement circuit // Omsk Scientific Bulletin №6. – 2018. – № 6(162). – P. 36 – 40.

© Аникин В.В., Кондратенко П.А., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Аникин В.В., Кондратенко П.А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.