

**СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ
ЗАМЕЩЕНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА
С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

**METHODS FOR DETERMINING THE PARAMETERS
OF THE EQUIVALENT CIRCUIT OF THE TRACTION INDUCTION
ELECTRIC MOTOR OF A TRACTOR
WITH AN ELECTROMECHANICAL POWER TRAIN**

Жданович Ч. И.¹, канд. техн. наук, доц.,
Калинин Н. В., ст. науч. сотр.,

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Ch. Zhdanovich¹, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
N. Kalinin², Senior Researcher,

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

²Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Перечислены возможные способы определения параметров схемы замещения тягового асинхронного электродвигателя трактора с электромеханической трансмиссией. Предложен экспериментальный способ определения параметров схемы замещения.

The possible options for determining the parameters of the equivalent circuit of a traction induction electric motor of a tractor with an electromechanical power train are listed. An experimental method for determining the parameters of the equivalent circuit is proposed.

Ключевые слова: *схема замещения, ток холостого хода, реактивное сопротивление рассеяния, активное сопротивление, реактивное сопротивление магнитной цепи.*

Keywords: *equivalent circuit, no-load current, leakage reactance, resistance, magnetic reactance.*

ВВЕДЕНИЕ

Для построения тяговой характеристики трактора с электро-механической трансмиссией по методике [1–3] необходимо знать параметры Т-образной схемы замещения электродвигателя: реактивное сопротивление рассеяния статора x_1 и приведенное реактивное сопротивление рассеяния ротора x'_2 , реактивное сопротивление магнитной цепи x_0 , активное сопротивление статора r_1 и приведенное активное сопротивление ротора r'_2 . Также нужно знать ток холостого хода I_0 .

Определение параметров схемы замещения тягового асинхронного электродвигателя (ТАД) трактора возможно:

- при проектировании электродвигателя;
- выполняя опыты с электродвигателем;
- теоретически по каталожным параметрам.

При проектировании ТАД расчеты параметров схемы замещения выполняются вместе с расчетом параметров электродвигателя [4]. Параметры схемы замещения, полученные при проектировании ТАД, могут быть у его производителя. Если нет возможности запросить значения параметров схемы замещения либо производитель не может их предоставить, определять значение параметров схемы замещения для выбранного ТАД придется самостоятельно.

В случае отсутствия возможности провести опыты с электродвигателем рассчитать параметры схемы замещения можно теоретически по каталожным параметрам, методики рассмотрены, например, в [5; 6]. Но все предложенные методики предлагают найти параметры схемы замещения с определенным приближением.

ГОСТ ИЕС 60034-28–2015 [7] регламентирует проведение опытов с асинхронным электродвигателем и предлагает формулы, позволяющие определять параметры схемы замещения на основании проводимых опытов. Существует ГОСТ 7217–87 [8], который также регламентирует определение параметров схемы замещения ТАД. На основании ГОСТ ИЕС 60034-28–2015 с использованием ГОСТ 7217–87 предложим методику для опытного определения параметров схемы замещения ТАД.

ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

Согласно ГОСТ ИЕС 60034-28–2015 [7], для определения необходимых параметров схемы замещения можно провести опыт холостого хода, построение нагрузочной характеристики, опыт короткого замыкания (испытание при заторможенном роторе) и опыт при реверсе. Согласно [7], построение нагрузочной характеристики служит альтернативой опытам при заторможенном роторе и при реверсе. Учитывая это, а также то, что опыты при реверсе и заторможенном роторе могут вызвать перегрев и разрушение двигателя, ограничимся опытом холостого хода и построением нагрузочной характеристики.

Опыт холостого хода проводится при номинальной частоте напряжения. Двигатель должен работать без нагрузки. Перед проведением опыта двигатель должен работать в течение времени, указанного в [8]. Напряжение изменится от примерно 110 % до 20 % от номинального; берется не менее десяти значений напряжений, одно из них должно соответствовать номинальному напряжению. Измеряются: напряжение U_1 , потребляемый ток I_1 , активная мощность P_1 . После испытаний измеряется температура в соответствии с [9, п. 8.6.2].

Во время *опыта нагрузки* измеряются значения: потребляемого тока I_1 (полного тока статора), потребляемого напряжения U_1 , потребляемой активной мощности P_1 и частоты вращения вала двигателя n_2 . Прилагаемая нагрузка должна изменяться примерно от 25 % до 125 % (не менее 10 точек), начинать следует с максимальных нагрузок [7].

Расчеты параметров схемы замещения и других величин, требуемых для их определения, проводится по [7] на основании данных опытов холостого хода и нагрузки.

ГОСТ ИЕС 60034-28–2015 не позволяет точно определить отношение x_1/x'_2 по экспериментальным данным. Для определения сопротивлений рассеяния нужно по [7] принять: $x_1/x'_2=1$ – для обычных электродвигателей, $x_1/x'_2 = 0,67$ – для двигателей с глубокопазым ротором или двойной беличьей клеткой. Согласно [4, с. 159–160], $x_1/x'_2 = 0,7...1$. ГОСТ 7217–87 для определения значения x_1 отдельно от x'_2 предлагает воспользоваться ГОСТ 10169–77 [10] для синхронных двигателей. Определение x_1 по [10] создает дополни-

тельные трудности: необходимо выполнить в требуемом порядке операции по демонтажу ротора, нужна эталонная катушка, нужно ее правильно подключить и т. д. Расчеты показывают, что для двигателя, используемого в электромеханической трансмиссии трактора [1–3], можно принять $x_1/x'_2 = 1$, как предлагает [7] для обычных электродвигателей. При этом погрешность расчетов по [3] составит 0,02 % по сравнению с использованием значений, предоставленных изготовителем ТАД трактора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определить параметры схемы замещения $x_0, x_1, x'_2, r_1, r'_2$ асинхронного электродвигателя, необходимые для выполнения тягового расчета трактора по методике [1–3], можно по ГОСТ ИЕС 60034-28–2015 [7]. Для этого необходимо выполнить опыт холостого хода и снять нагрузочную характеристику, после чего рассчитать параметры схемы замещения по формулам, приведенным в [7]. При проведении опыта холостого хода измеряются: напряжение, ток, активная мощность; для нагрузочной характеристики также измеряются обороты вала двигателя. Оба опыта проводятся при номинальной частоте напряжения.

Распределение суммарной индуктивности рассеяния на статорную (ей соответствует x_1) и роторную (ей соответствует x'_2) основывается на определенных допущениях. Для двигателя, используемого в электромеханической трансмиссии [1–3], это приводит к очень малой погрешности (0,02 %). Определить x_1 отдельно от x'_2 экспериментальным путем можно по ГОСТ 10169–77, что потребует использования эталонной катушки и проведения работ по демонтажу ротора двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович, Ч. И. Реализация тяговых возможностей трактора с электромеханической трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 1 (54). – С. 5–14.
2. Жданович, Ч. И. Тяговый КПД трактора с электромеханической трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // Актуальные вопросы машиностроения: сб. научн. тр. / Объедин. ин-т машино-

строения НАН Беларуси; редкол.: С. Н. Поддубко [и др.]. – Минск, 2020. – № 9. – С. 131–135.

3. Жданович, Ч. И. Выбор способа регулирования тягового асинхронного электродвигателя трактора и построение механической характеристики / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // Наука и техника – 2015. – № 3. – С. 60–64.

4. Гольдберг, О. Д. Проектирование электрических машин / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко. – М.: «Высшая школа», 1984. – 431 с.

5. Прищепов, М. А. К вопросу о расчете параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным / М. А. Прищепов // Агропанорама. – 2021. – №3 (145). – С. 23–27.

6. Еремочкин, С. Ю. К вопросу выбора достоверного метода расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя / С. Ю. Еремочкин, А. А. Жуков, Д. В. Дорохов // Вестник НГИЭИ. 2022. № 12 (139). С. 43–53.

7. Машины электрические вращающиеся. Часть 28. Методы испытаний для проведения параметров эквивалентной схемы замещения трехфазных низковольтных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором: ГОСТ ИЕС 60034-28-2015. – Введ.: 01.11.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 30 с.

8. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний: ГОСТ 7217-87. – взамен ГОСТ 7217-79. – Введ. 01.01.1988. – Минск: Госстандарт, 2014. – 42 с.

9. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики: ГОСТ ИЕС 60034-1-2014 – взамен ГОСТ МЭК 60034-1-2007. – Введ. 01.05.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 62 с.

10. Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний: ГОСТ 10169-77. – взамен ГОСТ 10169-68. – Введ. 01.01.78. – Минск, Госстандарт – 84 с.

Представлено 15.05.2023