

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ МАШИН С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Галиновский А.М., к.т.н., доцент, Бобер В.А, инженер, Самчук Б.Р., студент магистратуры

КПИ им. Игоря Сикорского, кафедра электромеханики

Введение. В течение большого периода времени считалось, что методики расчетов параметров и характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АД) промышленного производства являются достаточно хорошо изученными. Однако с начала 21-го века появилось много публикаций, посвященных совершенствованию методик расчетов АД при работе в мощной сети и в режиме электропривода с частотным управлением, а также асинхронных генераторов (АГ), в качестве которых применены АД промышленного производства. Большое количество публикаций в значительной степени связано с необходимостью повышения энергетических показателей асинхронных машин (АМ) в разных режимах работы.

В работе [3] синтезирован новый алгоритм идентификации электрических параметров АД, позволяющий определять параметры его схемы замещения при неподвижном и вращающемся роторе. Рекомендуется использовать результаты работы при разработке систем векторного управления АД.

В работе [4] предложены схемы замещения, а также уточнены математические модели АД с учетом нелинейности кривой намагничивания, явления гистерезиса и вихревых токов. Исследованы статические, энергетические и динамические характеристики АД. Проведен гармонический анализ токов АД в режиме холостого хода. Модели АД рекомендовано применять при разработке систем управления энергоэффективными режимами работы электропривода.

В работе [2] приведены методы расчета характеристик АД, которые базируются на системе уравнений токов и напряжений Г-образной схемы замещения. Расчеты проводятся в скалярной форме с рядом допущений. Поэтому неточности в определении некоторых величин могут существенно сказаться на конечных результатах расчетов.

В работе [5] отмечено наличие проблем проектирования АД за классическими методиками, электромагнитные расчеты в которых основаны на методе магнитной цепи. Приведены принципы численно-полевого определения электромагнитных и энергетических параметров спроектированных АД. Подчеркнуто, что система определения параметров АД может быть применена для проверки расчетов спроектированных АД и их уточненного проектирования.

В работе [6] приведена автоматизированная методика расчета параметров и характеристик АД с учетом нелинейности параметров уточненной Т-образной схемы замещения. Сопоставлены рабочие характеристики АГ ветроэнергетических установок малой мощности на базе АД при изменении напряжения сети, разработаны рекомендации по их улучшению.

Цель работы. Совершенствование методик расчетов параметров и характеристик АД при изменении напряжения и частоты источника питания.

Материалы и результаты исследований. Уточненная T-образная схема замещения АМ показана на рис. 1. Принятые обозначения: U_{1c} – напряжение сети; E_{δ} – результирующая ЭДС; I_1, I_2 – токи обмоток статора и ротора; $I_{\delta}, I_{\delta r}, I_{1o}, I_{1s}, I_{1p}, I_{2o}, I_{2s}, I_{2p}$ – полный ток, реактивный и активные токи намагничивающего контура; r_1, x_1, r_2, x_2 – активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора; s – скольжение; x_m – главное индуктивное сопротивление. Параметры ротора приведены к статору.

Активные сопротивления намагничивающего контура:

$$r_{1o} = r_{1o50} \cdot (50/f_1)^{\beta}; \quad r_{1s} = r_{1s50} \cdot (50/f_B)^{1.5}; \quad r_{1p} = r_{1p50} \cdot (50/f_B)^2;$$

$$r_{2o} = r_{2o50} \cdot (50/f_2)^{\beta}; \quad r_{2s} = r_{2s50} \cdot (50/f_B)^{1.5}; \quad r_{2p} = r_{2p50} \cdot (50/f_B)^2.$$

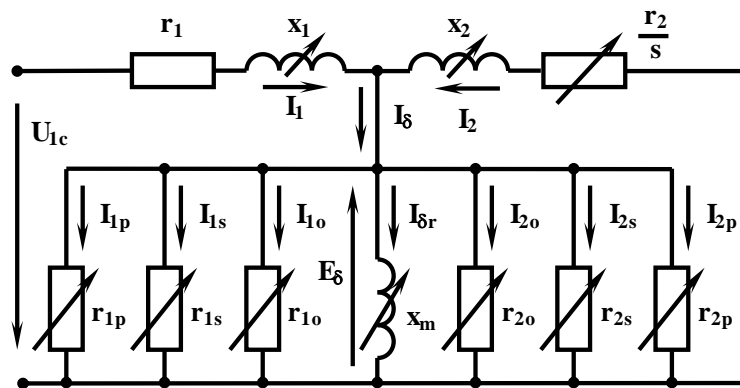


Рисунок 1 – Уточненная схема замещения АМ

Первые нижние индексы («1», «2») присвоены величинам статора и ротора соответственно. Вторые нижние индексы присвоены величинам сопротивлений, на которых выделяются соответствующие потери в стали: «o» – основные; «s» – поверхностные; «p» – пульсационные. Обозначения частот: f_1 – частота сети; f_2 – частота ротора; f_B – частота вращения вала. β – показатель степени, зависимый от марки и толщины листа стали магнитопровода. $r_{1o50}, r_{2o50}, r_{1s50}, r_{2s50}, r_{1p50}, r_{2p50}$ – сопротивления намагничивающего контура при частотах $f_1 = f_2 = f_B = 50$ Гц:

$$r_{1o50} = m \cdot E_{\delta}^2 / p_{1o50}; \quad r_{1s50} = m \cdot E_{\delta}^2 / p_{1s50}; \quad r_{1p50} = m \cdot E_{\delta}^2 / p_{1p50};$$

$$r_{2o50} = m \cdot E_{\delta}^2 / p_{2o50}; \quad r_{2s50} = m \cdot E_{\delta}^2 / p_{2s50}; \quad r_{2p50} = m \cdot E_{\delta}^2 / p_{2p50},$$

где $p_{1o50}, p_{1s50}, p_{1p50}, p_{2o50}, p_{2s50}, p_{2p50}$ – потери в стали при $f = 50$ Гц.

Алгоритмы расчета характеристик АМ показаны на рис. 2.

Алгоритм расчета по рис. 2, а рассмотрен в [6]. В этом алгоритме задаемся массивом скольжения s размером k_n и начальным значением величины ЭДС E_{δ} .

В алгоритме расчета по рис. 2, б задаемся начальным значением тока I_2 . Алгоритм расчета, отличающийся большей точностью, рекомендуется применять при расчете диаграмм токов и механических характеристик АМ.

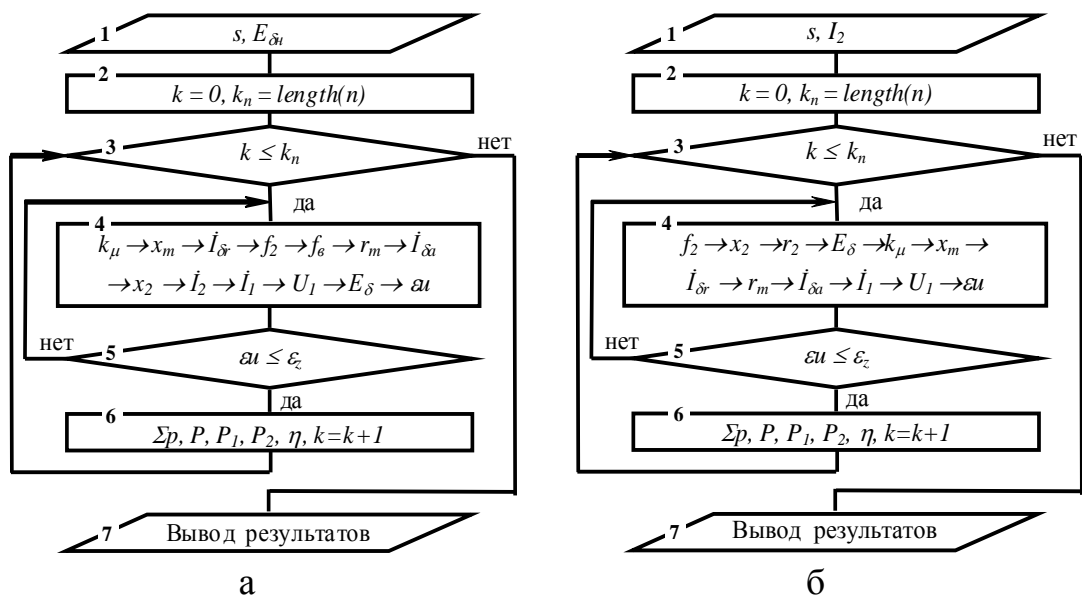


Рисунок 2 – Алгоритмы расчета АМ

При расчете АМ (алгоритм по рис. 2, б) с заданной величиной напряжения сети U_{1c} задаемся массивом скольжения s размером k_n и начальным значением величины тока I_{2H} . Для k -ой точки массива в блоке вычислений 4 определяем величины $f_2, x_2, r_2, E_\delta, k_\mu, x_m, \dot{I}_{\delta r}, r_m, \dot{I}_{\delta a}, \dot{U}_1, \epsilon_u$.

$$\text{Напряжение сети} \quad \dot{U}_1 = -\dot{E}_{\delta H} e^{j\theta} + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 x_1.$$

$$\text{Уточненное значение тока} \quad I_2 = I_{2H} / |U_{1c} / U_1|.$$

$$\text{Погрешность расчета} \quad \epsilon_u = |1 - U_{1c} / U_1|.$$

Если погрешность ϵ_u больше заданной величины ϵ_z , то повторяем расчет с уточненным значением I_2 .

В блоке вычислений 6 рассчитываем суммарные потери Σp , мощности P_1 и P_2 , КПД и др. величины по известным методикам.

При расчете АГ с номинальной мощностью ветротурбины P_{TN} и изменением напряжения сети:

$$\text{уточненное значение тока} \quad I_2 = I_{2H} / |P_{TN} / P_2|;$$

$$\text{погрешность расчета} \quad \epsilon_p = |1 - P_{TN} / P_2|.$$

Если погрешность ϵ_p больше заданной величины ϵ_z , то повторяем расчет с уточненным значением I_2 .

При расчете АД с номинальной нагрузкой P_{2N} изменении напряжения сети уточненное значение тока $I_2 = I_{2H} / |P_{2N} / P_2|$, погрешность расчета $\epsilon_p = |1 - P_{2N} / P_2|$.

При расчете механических характеристик АМ к входным величинам относится массив скольжений s для каждой расчетной величины частоты f . Разработанная методика позволяет рассчитывать механические характеристики АД при разных законах регулирования ($U_1/f = \text{const}$, $E_\delta/f = \text{const}$ и другие).

Для примера на рис. 3 показаны механические характеристики АД типа 4А225М8УЗ [1] при частотном регулировании. Расчет проведен при $U_1/f = \text{const}$.

Данные АД в номинальном режиме работы: $P_{2N} = 30$ кВт; $U_{1N} = 380$ В; $\eta_N = 0.912$; $\cos\varphi_{1N} = 0.818$; $I_{1N} = 61.1$ А; $P_1 = 32.9$ кВт; $s_N = 0.0169$; $M_N = 388.5$ Н·м.

n, о.е.

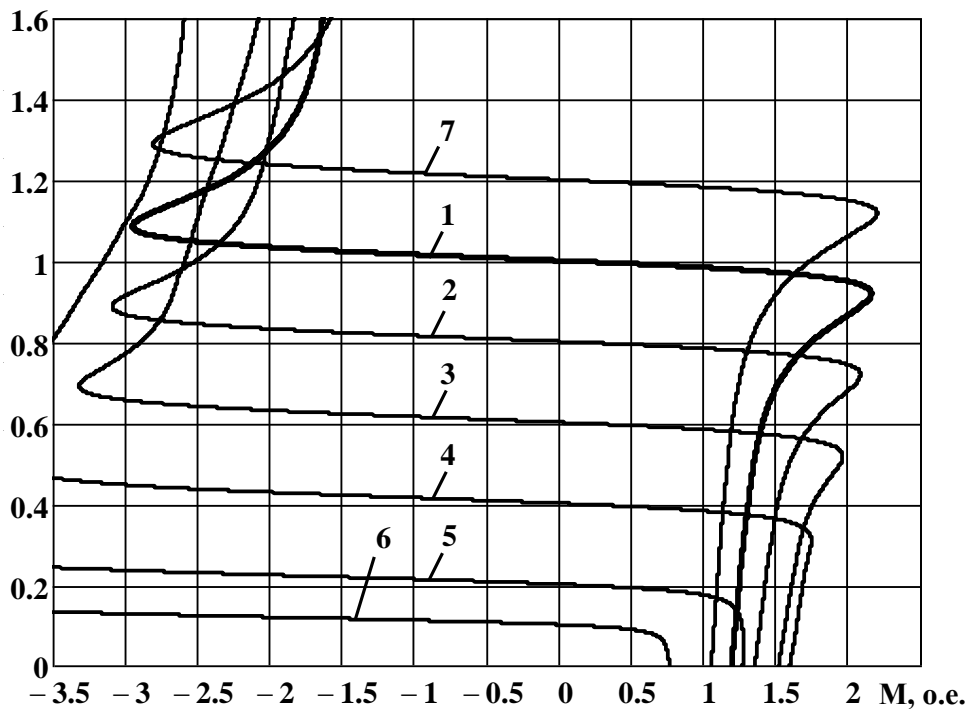


Рисунок 3 – Механические характеристики АД при $U_1/f = \text{const}$ и частотах (Гц): 1 – 50; 2 – 40; 3 – 30; 4 – 20; 5 – 10; 6 – 5; 7 – 60.

Вывод. Методика автоматизированного расчета позволяет выполнять расчеты характеристик АМ во всех режимах работы с учетом изменений параметров уточненной Т-образной схемы замещения, напряжения и частоты сети.

Перечень ссылок

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/ А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перер. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
3. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Приступа Д.Л. Индексация параметров асинхронного двигателя на основе адаптивного наблюдателя полного порядка // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, – 4/2012 (20). – с. 10-13.
4. Загірняк М.В., Огарь В.А., Чечевой В.В., Лященко В.П. Характеристики асинхронных двигателей с учетом изменения свойств магнитной системы // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, – 1/2013 (21). – с. 97-106.
5. Милых В.И., Шилкова Л.В. Численно-полевой поверочный анализ проектных параметров трехфазных асинхронных двигателей // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, – 1/2016 (33). – с. 58-64.
6. Галиновский А.М. Параметры и характеристики генераторов ветроэнергетических установок малой мощности на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – НТУ «ХПІ», 2018, – № 32. – с. 45 – 50.