

ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННЫХ МАШИН С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В РЕЖИМАХ ДВИГАТЕЛЯ И ГЕНЕРАТОРА

Галиновский А.М., к.т.н., доцент, Дубчак Е.М., ст. преподаватель,
Могелюк С.О., студент

КПИ им. Игоря Сикорского, кафедра электромеханики

Введение. В работе [1] приведены методы расчета характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (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 расчетных величин могут существенно сказаться на конечных результатах расчетов.

В работах [2 – 4] приведены методики расчета характеристик неявнополюсных машин переменного тока на базе уточненных схем замещения с учетом нелинейных изменений всех элементов схем. Расчеты напряжений и токов машин проводятся в векторной форме. Методики расчетов, приведенные в [2, 3], позволяет рассчитывать характеристики АД в рабочих и пусковых режимах.

На кафедре электромеханики НТУУ КПИ проведено совершенствование методик расчета параметров и характеристик асинхронных машин с короткозамкнутым ротором (АМ) на базе уточненных Т-образных схем замещения. Разработаны методики автоматизированного расчета АМ во всех режимах работы (двигатель, генератор, электромагнитный тормоз) при изменении напряжения и частоты сети. Анализ результатов расчетов генераторов ветроэнергетических установок (ВЭУ) на базе отрезка серии АД мощностью 1,5 ÷ 5 кВт [5] показал существенное влияние напряжения сети на параметры и характеристики установок. Целесообразно применение указанных выше методик для анализа характеристик АД промышленного производства в режимах двигателя и генератора при изменениях параметров сети.

Цель работы. Исследование характеристик серийных асинхронных машин с короткозамкнутым ротором средней мощности в режимах двигателя и генератора при изменениях напряжения сети, разработка рекомендаций по их улучшению.

Материалы и результаты исследований. На рис. 1 показана уточненная Т-образная схема замещения АМ. 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:

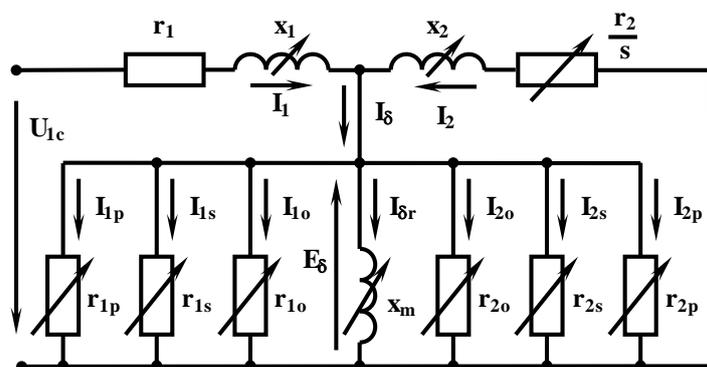


Рисунок 1 – Уточненная схема замещения асинхронной машины с короткозамкнутым ротором

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

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

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, зависящий 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:

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

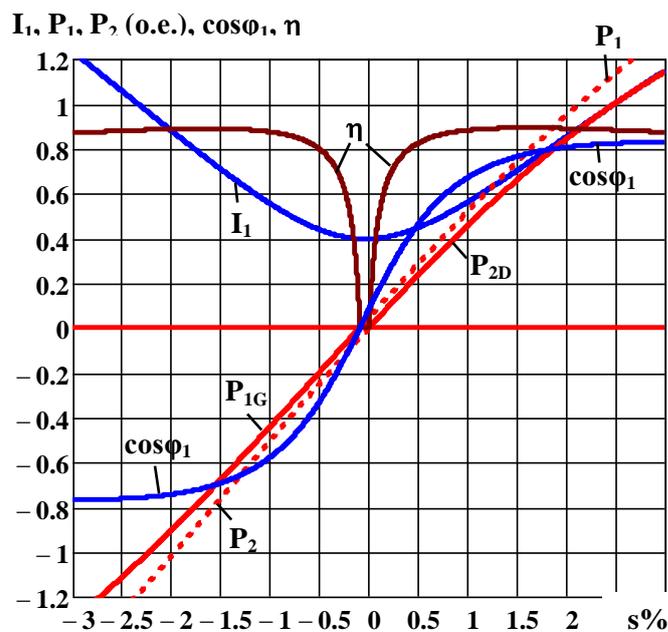
$$r_{2o50} = m \cdot E_\delta^2 / p_{2o50}; \quad r_{2s50} = m \cdot E_\delta^2 / p_{2s50}; \quad r_{2p50} = m \cdot E_\delta^2 / p_{2p50},$$

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

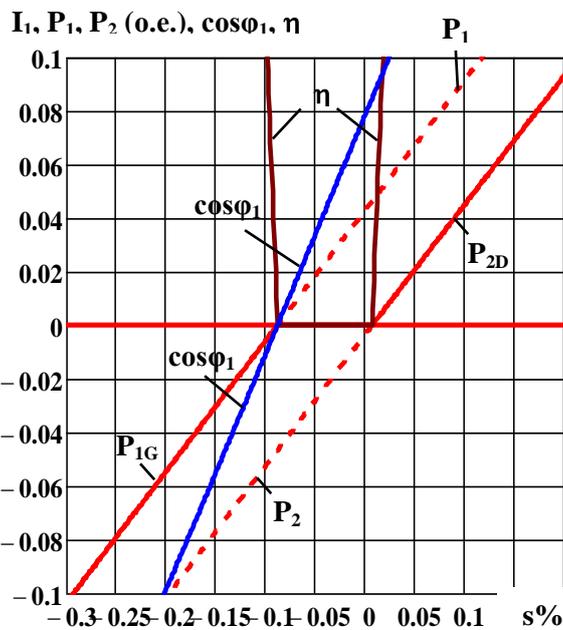
Проведен расчет параметров и исследованы характеристики АМ типа 4А180М8УЗ [5] в рабочих режимах двигателя и генератора. В соответствии с рекомендациями [1] при расчете характеристик АМ в режимах двигателя и генератора не учитываем изменения активных и индуктивных сопротивлений обмоток машины.

Данные АД в номинальном режиме работы: $P_{2N} = 15$ кВт; $U_{1N} = 380$ В; $P_1 = 17.02$ кВт; $\cos\varphi_{1N} = 0.822$; $\eta_N = 0.811$; $I_{1N} = 31.5$ А; скольжение $s_N = 0.025$.

На рис. 2 показаны зависимости $P_1, I_1, \cos\varphi_1, P_2$ и η от скольжения при $U_1 = 380$ В, где: P_1 – активная мощность, потребляемая из сети, или отдаваемая в сеть; P_{1G} – активная мощность, отдаваемая в сеть при работе АМ в режиме генератора; P_2 – мощность на валу АМ; P_{2D} – мощность на валу АМ в режиме двигателя; η – коэффициент полезного действия АМ. Величины P_1 и P_2 выделены пунктирными линиями. Мощности (P_2, P_{2D}, P_1, P_{1G}) и ток статора (I_1) приведены в относительных единицах (о.е.). За базовые приняты величины P_{2N} и I_{1N} . На рис. 2б – фрагмент рис. 2а.



а



б

Рисунок 2 – Зависимости P_1 , I_1 , $\cos\phi_1$, P_2 и η от скольжения при $U_1 = 380$ В

На рис. 3а и 3б показаны зависимости основных расчетных величин (P_1 , I_1 , $\cos\phi_1$, η), суммарных потерь АМ (Σp), индукции воздушного зазора B_δ , а также максимальных значений индукций в зубцах статора и ротора (B_{z1max} и B_{z2max}) от напряжения сети (U_1) при неизменной номинальной нагрузке на валу АМ в режиме двигателя: $P_2 = P_{2D} = P_{2N} = 15$ кВт.

На рис. 3в и 3г показаны зависимости расчетных величин P_{1G} , I_1 , $\cos\phi_1$, η , Σp , B_δ , B_{z1max} и B_{z2max} от напряжения сети при неизменной номинальной мощности ветротурбины (приводного двигателя): $P_{2T} = P_{2TN} = 17.89$ кВт = = 1.193 о.е.

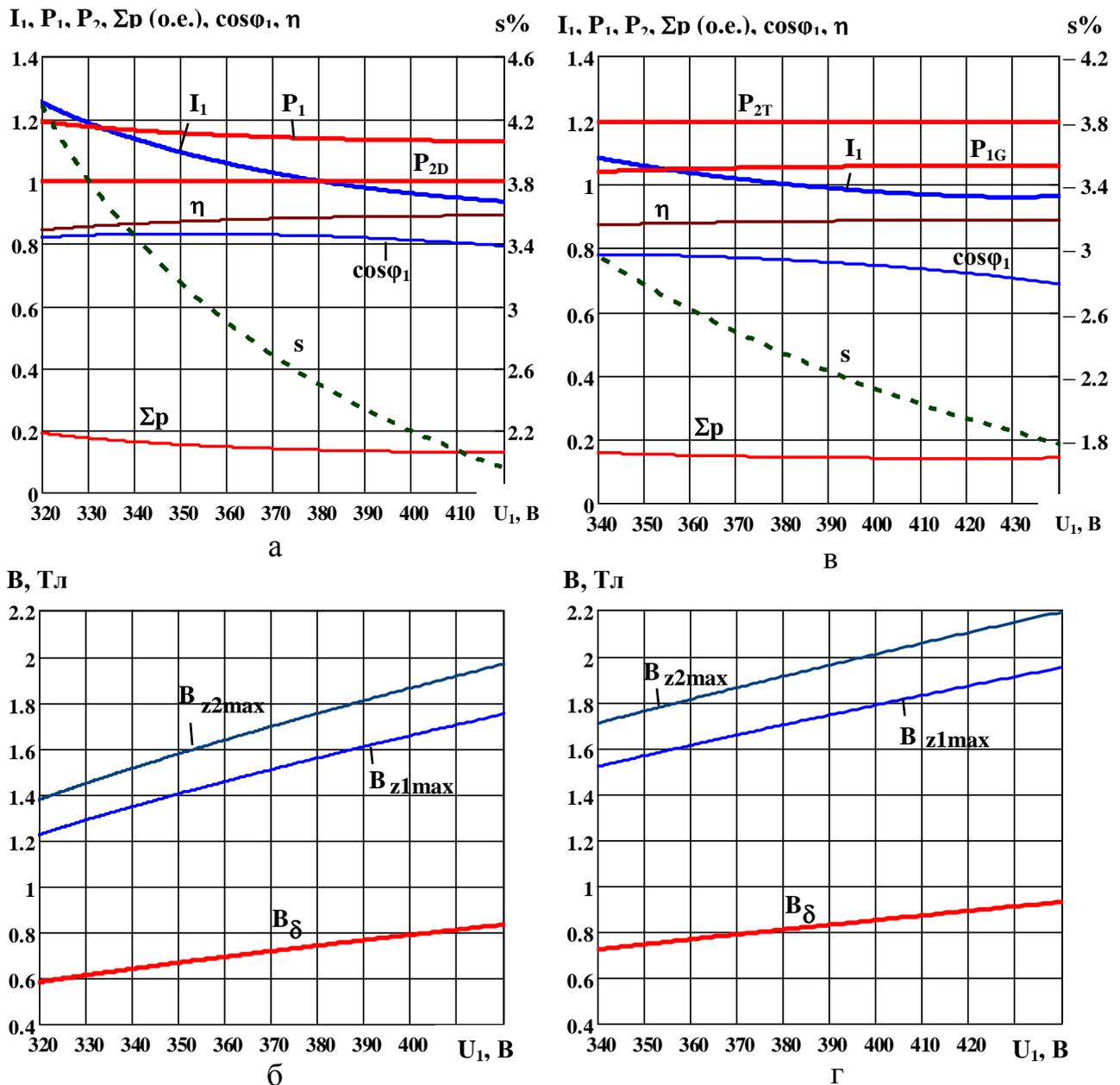


Рисунок 3 – Характеристики АМ в зависимости от напряжения сети в режимах:
а, б) – двигателя при номинальной мощности нагрузки;
в, г) – генератора при номинальной мощности ветротурбины.

Номинальной мощностью ветротурбины называем мощность P_{2T} при напряжении сети $U_1 = 380$ В и номинальном токе статора.

В таблице 1 приведены расчетные величины АД с номинальной нагрузкой на валу при напряжениях сети: $U_1 = 0.9; 1.0; 1.1$ о.е.

В таблице 2 – расчетные величины асинхронного генератора (АГ) при номинальной мощности ветротурбины и напряжениях сети: $U_1 = 0.9; 1.0; 1.1$ о.е.

В обоих случаях за базовую величину принято напряжение $U_1 = 380$ В.

Результаты исследований (рис. 3, табл. 1 и 2) показывают необходимость учета возможного изменения напряжения сети при выборе режима работы асинхронной машины.

Таблица 1 – Расчетные величины АД при изменении напряжения сети

№ п/п	U_1 о.е.	P_{2D} о.е.	P_1 о.е.	Σp о.е.	η	$\cos\varphi_1$	I_1 о.е.	s%	B_δ Тл	B_{z1max} Тл	B_{z2max} Тл
1	0.9	1	1.16	0.16	0.862	0.828	1.126	3.38	0.644	1.354	1.522
2	1.0	1	1.135	0.135	0.881	0.822	1	2.5	0.739	1.555	1.748
3	1.1	1	1.126	0.126	0.888	0.792	0.936	1.98	0.826	1.736	1.953

Таблица 2 – Расчетные величины АГ при изменении напряжения сети

№ п/п	U_1 о.е.	$P_{2Г}$ о.е.	P_{1G} о.е.	Σp о.е.	η	$\cos\varphi_1$	I_1 о.е.	s%	B_δ Тл	B_{z1max} Тл	B_{z2max} Тл
1	0.9	1.193	1.037	0.156	0.87	0.776	1.075	-2.9	0.725	1.525	1.715
2	1.0	1.193	1.05	0.143	0.88	0.761	1.0	-2.3	0.807	1.697	1.908
3	1.1	1.193	1.054	0.139	0.884	0.722	0.962	-1.9	0.884	1.858	2.089

Выводы:

1. При работе АД с короткозамкнутым ротором в сети с пониженным напряжением необходимо уменьшать нагрузку двигателя для предотвращения перегрева обмотки статора.

2. При работе генераторов ВЭУ на базе серийных АД с короткозамкнутым ротором в сети с повышенным напряжением возможно существенное увеличение B_{z2max} , что необходимо учитывать при проектировании ВЭУ. С целью улучшения характеристик ВЭУ целесообразно рассмотреть возможность изменения числа витков обмотки статора асинхронной машины.

3. Разработанные методики автоматизированных расчетов параметров и характеристик асинхронных машин на базе уточненных схем замещения целесообразно применять при проектировании.

Перечень ссылок

1. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перер. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с. – (Основы наук).

2. Галиновский А.М., Бобер В.А., Давыдов А.Н., Вишневский А.С. Совершенствование методики расчета рабочих и пусковых характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Проблеми енергоресурсозбереження в електромеханічних системах. Наука, освіта, практика. Наукове видання. Кременчук: КНУ, 2011, – Вип. 1/2011 (1), – с. 276 - 277.

3. Галиновский А.М., Вишневский А.С. Статические и динамические характеристики асинхронных машин с переменными параметрами. Електротехнічні та комп'ютерні системи. Одеський НПП, Київ, «Техніка», 2011, №03 (79),- с. 258-260.

4. Галиновский А.М., Бобер В.А., Давыдов А.Н., Вишневский А.С. Особенности проектирования асинхронизированных машин. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 2/2011 (14). – с. 110 – 115.

5. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/ А. Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соколенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с., ил.