

УДК 629-33

ВЫБОР МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРА
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ
THE CHOICE OF POWER GENERATOR
IN ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION

Ч.И. Жданович, канд. техн. наук, доц., Н.В. Калинин
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

C. Zhdanovich, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, N. Kalinin
Belorussian National Technical University, Minsk, Belarus

В статье выведена зависимость для определения требуемой мощность тягового асинхронного генератора при известной мощности тягового асинхронного электродвигателя.

The paper considers a dependence for definition demanded the power of the traction induction generator at the known consumed power of the traction induction electric motor.

ВВЕДЕНИЕ

Все составляющие электромеханической трансмиссии (рассматривается трансмиссия с асинхронным генератором и электродвигателем аналогично [1]) имеют определённый КПД, в т.ч. и электрические машины. При работе на неноминальном режиме КПД асинхронной электрической машины может сильно отличаться от её КПД в номинальном режиме. Поэтому если принять КПД постоянным, то на неноминальных режимах работы асинхронной электрической машины погрешность расчёта может возрасти. В [2] видно, что при отклонении от номинального режима работы асинхронной машины, работающей в качестве тягового асинхронного электродвигателя (ТАД), мощность потерь может возрасти в несколько раз.

Выведем формулу для определения мощности, потребляемой асинхронным генератором от ДВС, в зависимости от мощности, потребляемой ТАД, и сверим расчёты по ней с имеющимися экспериментальными данными.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ МОЩНОСТИ НА ВХОДЕ
ГЕНЕРАТОРА ПРИ ИЗВЕСТНОЙ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ
МОЩНОСТИ ТАД

Обозначим $P_{2Г}$ мощность, потребляемую генератором, а $P_{1Г}$ – мощность, отдаваемую генератором. Тогда КПД генератора, учитывающий все потери:

$$\eta_{Г} = \frac{P_{1Г}}{P_{2Г}}. \quad (1)$$

Мощность, потребляемая ТАД, будет несколько меньше $P_{1Г}$. Для определения $P_{1Г}$ при известной потребляемой мощности ТАД следует учесть потери в преобразователе.

Согласно диаграмме потерь асинхронного генератора [3, стр. 56], активная мощность на роторе $P'_{2Г}$ будет меньше мощности $P_{2Г}$ на величину механических и добавочных потерь.

В [3, стр. 56] предлагается пренебречь механическими и добавочными потерями как несущественными.

Тогда можно принять $P_{2Г} \approx P'_{2Г}$.

$P'_{2Г}$ рассчитывается согласно [3, стр.15, (9)]

$$P'_{2Г} = m_{1Г} r'_2 \frac{1 - S_{Г}}{S_{Г}} I'^2_{2Г}, \quad (2)$$

где $I'_{2Г}$ – ток ротора генератора; r'_2 – приведённое активное сопротивление обмотки ротора; $m_{1Г}$ – число пар полюсов генератора; $S_{Г}$ – скольжение генератора.

$P_{1Г}$ найдём согласно [4, стр. 191]:

$$P_{1Г} = m_{1Г} \cdot U_{1Г} \cdot I_{1aГ}, \quad (3)$$

где $I_{1aГ}$ – активный ток статора генератора; $U_{1Г}$ – напряжение генератора.

Ток ротора найдём согласно [5, стр. 62]. Выражение для активного тока статора выведем из зависимостей в [5, стр.64 (3.18), стр. 10 (1.17)]

с учётом геометрических соотношений и без учёта активных потерь холостого хода.

Подставив эти значения в (2) и (3), получим (4) и (5):

$$P_{1Г} = m_{1Г} \cdot U_{1Г} \cdot \frac{U_{1Г} \cdot \left(r_1 + \frac{c_{1Г} \cdot r_2'}{s_r} \right)}{\left(r_1 + \frac{c_{1Г} \cdot r_2'}{s_r} \right)^2 + k_f^2 \cdot (\chi_1 + c_{1Г} \cdot \chi_2')^2} \quad (4)$$

$$P_{2Г} = \frac{m_{1Г} \cdot r_2' \cdot U_{1Г}^2 \cdot (1 - s_r)}{s_r \left(\left(r_1 + \frac{c_{1Г} \cdot r_2'}{s_r} \right)^2 + k_f^2 \cdot (\chi_1 + c_{1Г} \cdot \chi_2')^2 \right)} \quad (5)$$

где k_f – отношение текущего значения f_r частоты напряжения к номинальному значению $f_{r,n}$; χ_1 и χ_2' – индуктивные сопротивления обмотки статора и ротора (для ротора – приведённое); r_1 – активное сопротивление обмотки статора.

Коэффициент c_1 показывает, во сколько напряжение статора больше ЭДС статора. Поскольку в генераторном режиме ЭДС будет больше, а не меньше [3, стр.58], примем в генераторном режиме $c_{1Г} = 1/c_1$, где c_1 – значение коэффициента при работе машины в режиме электродвигателя [6].

Если пользоваться (1), (4), (5), то нужно использовать много параметров, входящих в (4) и (5). Если вместо этого рассчитывать потери согласно [7] и прибавлять их к $P_{1Г}$, то нужно будет учитывать те же параметры. А параметры, в свою очередь, могут зависеть от $P_{1Г}$, способа регулирования генератора [3] и задаваемой характеристики ДВС. Чтобы упростить задачу, попробуем найти зависимость $P_{2Г}' = P_{1Г}$ и при этом часть параметров исключить.

Выразим k_f^2 из (4) и (5), затем приравняем правые части полученных выражений, исключив k_f^2 . После преобразований выразим $P_{2Г}'$ через $P_{1Г}$:

$$P_{2Г}' = \frac{r_2' \cdot (1 - s_r)}{r_1 \cdot s_r + c_{1Г} \cdot r_2'} P_{1Г} \quad (6)$$

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

Т.е. в выражении (6) в отличие от (4), (5) нет параметров χ_1, χ_2 , которые зависят от частоты тока статора [6]; так же нет и напряжения. Формула (6) позволяет находить мощность $P_{2Г}$ при известной мощности $P_{1Г}$.

Проверим по протоколу испытаний [8], насколько работает данная формула. Посчитаем ошибку:

$$\varepsilon = \frac{|P_{2Г(\text{э})} - P_{2Г}|}{P_{2Г(\text{э})}} \cdot 100\% ,$$

где $P_{2Г(\text{э})}$ – значение мощности $P_{2Г}$ из протокола испытаний для соответствующего значения мощности $P_{1Г}$ из протокола испытаний; $P_{2Г}$ – мощность, рассчитанная по (6) для соответствующего значения мощности $P_{1Г}$ из протокола испытаний.

В таблице 1 обозначены: $S_{Г,н}$ – номинальное скольжение генератора, $P_{1Г,н}$ – значение мощности, выдаваемое генератором в номинальном режиме.

Таблица 1 - Определение погрешности расчёта по (6)

$s_{Г} / s_{Г,н}$	$P_{1Г} / P_{1Г,н}$	$f_{Г} / f_{Г,н}$	$\varepsilon\%$
1	0,73	0,68	1,60
0,59	1,22	1,37	0,18
0,57	1,22	1,37	0,93
0,62	1,17	1,17	0,45
0,65	1,17	1,17	0,19

Т.о., можно сделать вывод, что формула (6) даёт очень малую погрешность (меньше процента) при потреблении генератором мощности, большей на 18-22% максимальной мощности, выдаваемой ДВС, при повышенной частоте напряжения и небольшую погрешность (1,60%) при потреблении 70% мощности, которую может отдать ДВС, номинальном скольжении и пониженной частоте напряжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были выведена формула для определения мощности на входе генератора в зависимости от потребляемой мощности ТАД. Сравнение с имеющимися экспериментальными исследованиями

показало, что данная формула даёт очень малую погрешность расчёта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович, Ч. И. Определение максимального момента на колесах трактора с электромеханической трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // Проблемы проектирования и развития тракторов, мобильных машин, городского электротранспорта: материалы Международ. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию кафедры «Тракторы» БНТУ, Минск, 23–24 нояб. 2013 г. / редкол.: В. П. Бойков, Ч. И. Жданович. Минск: БНТУ, 2013. С. 54–59.

2. Жданович Ч.И., Калинин Н.В. Анализ эффективности использования накопителей энергии на тракторе с электромеханической трансмиссией. Наука и техника. 2017;16(1):73-82.

3. Н.Д. Торопцев. Асинхронные генераторы для автономных электроэнергетических установок. – Москва, НТФ "Энергопрогресс", "Энергетик", 2004.

4. Кацман М.М. Электрические машины: учеб. Для студентов средн. проф. учебных заведений - М.М. Кацман. – Москва, Высшая школа, 2000. – 463с.

5. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников; под ред. Л.Г. Мамиконянца – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.

6. Жданович Ч.И., Калинин Н.В. Выбор способа регулирования тягового асинхронного электродвигателя трактора и построение механической характеристики. Наука и техника. 2015;(3):60–64.

7. Жданович, Ч. И. Зависимость характеристик трактора с электромеханической трансмиссией от температуры обмоток тягового электродвигателя трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // Проблемы проектирования и развития тракторов, мобильных машин, городского электротранспорта: материалы Международ. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию кафедры «Тракторы» БНТУ, Минск, 23–24 нояб. 2013 г. / редкол.: В. П. Бойков, Ч. И. Жданович. Минск: БНТУ, 2013. С. 60–67.

8. Электрогенератор асинхронный ТАГ2М280-310 и электродвигатель асинхронный ТАД2М280-310. ТУ16-12 ВАКИ. 526622. 128 ТУ, 2012 г.