

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-41-66-69>

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ДВУХСЛОЙНЫМ РОТОРОМ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Нагирняк А.А.

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Ключевые слова: энергоэффективность, промышленность, асинхронный двигатель с двухслойным ротором, энергетические показатели, тиристорные регуляторы напряжения.

Аннотация. Статья посвящена улучшению энергоэффективности асинхронных двигателей с двухслойным ротором в электроприводах углеводородной промышленности и подбору подходящих вариантов компоновки по характеристикам: по потребляемой активной мощности, току статора, суммарным потерям, коэффициенту полезного действия и т.д. Так же проводится анализ режимов скольжений. Особенности рабочих процессов, таких систем, как «редуктор – компрессор» в электроприводах газоперекачивающих агрегатов, электротранспорта, предполагает работу электродвигателя вхолостую или под малой нагрузкой. Таким рабочим процессам характерны значительные потери энергии в совокупности с низкими значениями энергетических характеристик. Повысить энергоэффективность можно с помощью тиристорного регулятора напряжения.

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF AN ASYNCHRONOUS ELECTROMECHANICAL CONVERTER WITH A DOUBLE-LAYER ROTOR IN INDUSTRY ELECTRIC DRIVES

Nagirniak A.A.

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Keywords: energy efficiency, hydrocarbon industry, asynchronous motor with a two-layer rotor, energy performance, thyristor voltage regulators.

Abstract. The article is devoted to improving the energy efficiency of asynchronous motors with a double-layer rotor in electric drives of the hydrocarbon industry and the selection of suitable layout options according to characteristics: active power consumption, stator current, total losses, efficiency, etc. Sliding modes are also analyzed. Features of working processes, systems such as “gearbox – compressor” in electric drives of gas pumping and electric transport units require the electric motor to operate idle or under low load. Such work processes are characterized by significant energy losses combined with low energy performance values. Energy efficiency can be increased using a thyristor voltage regulator.

В области разработок специальных асинхронных электромеханических преобразователей в настоящее время уделяется пристальное внимание развитию теории и принципов управления двигателями с массивным двухслойным ротором (АДДР), обладающих высокими пусковыми характеристиками и удовлетворительными эксплуатационными показателями при номинальных скольжениях.

АДДР обладают преимуществами, будучи применёнными в системах электроприводов газоперекачивающих агрегатов и электротранспорта, режимы работы которых предполагают частые пусками и реверсы, в том

числе от источников энергии соизмеримой мощности, и в системах, где требуется снижения уровней шумов и вибраций [1, 2].

В статье приведены результаты анализа режимов работы АДДР при обеспечении наилучших показателей энергоэффективности.

В дальнейшем анализ будет проводиться для квазистатических условий работы АДДР и с использованием методики, предложенной в работе [3].

Рассмотрим схему замещения (рис. 1) для одной фазы и параллельным соединением резистивного и индуктивного элементов намагничивающей ветви. Полагая режим работы полнофазным симметричным, используем следующие общепринятые условные обозначения: I_1 – ток сопротивление фазы статора, r_1 – активное сопротивление фазы статора, x_1 – индуктивное сопротивление фазы статора; I_0 , r_0 , X_0 – те же параметры для цепи намагничивания по параллельной схеме соответственно; I_{0a} , I_{0p} – активная и реактивная составляющие тока намагничивания; I_2 , r_2 , x_2 – приведенные к статору ток, активное и индуктивное сопротивление фазы ротора соответственно.

Параметры Т-образной схемы замещения определяются в соответствии с методиками, приведенными в [4-6]. Вначале, в соответствии с [7] находится зависимость магнитной проницаемости μ_r материала массивной части двухслойного ротора от скольжения S . Затем определяются эквивалентные параметры массивного цилиндра [5] и выбирается, в зависимости от режима работы скольжение S и μ_r . Далее выбирается кривая относительной мощности и ее максимум при найденном значении конструктивно-режимного параметра β [7], прямо пропорционального μ_r , линейной скорости поля вдоль расточки статора v , полюсному делению τ , S и обратно пропорционального удельному электрическому сопротивлению материала массивного цилиндра ротора АДДР. После этого определяются уточненные значения активного и индуктивного сопротивлений двухслойного ротора.

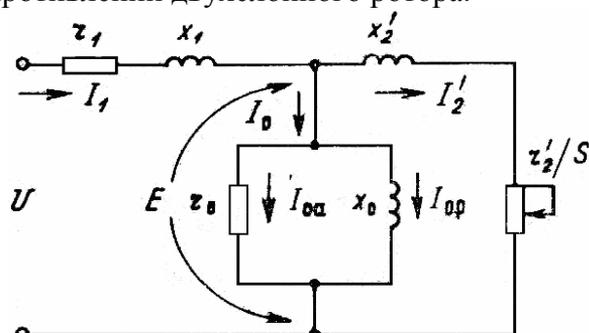


Рис. 1. Т-образная схема замещения асинхронного режима

Потери в АДДР, без учета механических и добавочных потерь Δp , равны

$$\Delta p = 3(I_1^2 r_1 + I_2'^2 r_2' + I_{0a}^2 r_0). \quad (1)$$

Найдем зависимость потерь Δp от момента M на валу АД и напряжения статора U :

$$\Delta p = M\omega_0 \{ [1 + r_1/r_2' + (r_1/r_2')(x_2'/X_0)^2 + (r_0/r_2')(x_2'/r_0)^2] S + [r_1/X_0^2 + r_2'/r_0]/S \}. \quad (2)$$

где ω_0 – частота вращения холостого хода

Находим минимум потерь Δp_{min}

$$\Delta p_{min} = M \omega_0 \{ [r_1 + r_2' + r_1 (x_2' / X_0)^2 + r_0 (x_2' / r_0)^2] (r_1 / X_0^2 + 1 / r_0) \}^{0,5}. \quad (2)$$

Для того, чтобы обеспечить минимизацию потерь в асинхронном двигателе, необходимо регулировать напряжение статора таким образом, чтобы ЭДС E изменялась по закону, т.е.

$$E = \{ M \omega_0 r_2' / (3 S_{онм\Delta P}) [1 + (S_{онм\Delta P} x_2' / r_2')^2] \}^{0,5}, \quad (3)$$

где $S_{онм\Delta P}$ – значение скольжения при оптимальных потерях.

Возможны и другие способы оптимизации энергетических показателей, в частности:

– по минимуму тока статора I_1

$$I_1 = \sqrt{M \omega_0 [S / r_2' + r_2' / (X_0^2 S) + S / r_2' (x_2' / X_0)^2] / 3}. \quad (4)$$

где s – номинальное скольжение;

– по минимуму потребляемой активной мощности P_{1a}

$$P_{1a} = M \omega_0 + 3 I_1^2 r_1 + 3 I_{0a}^2 r_0; \quad (5)$$

– по максимуму относительного значения активной составляющей тока статора I_{1a}^*

$$\bar{I}_{1a} = \frac{I_{1a}}{I_1} = \frac{X_0 (r_1 + r_2' / S)}{\sqrt{X_0^2 (r_1 + r_2' / S)^2 + [(r_1 + r_2' / S)^2 + X_0 (x_1 + x_2') + (x_1 + x_2')^2]}}. \quad (6)$$

Рассчитаем показатели для способа оптимизации по минимуму потерь, применив указанную методику, для нагрузки на валу составляющей 10% от номинального значения, и используя параметры схемы замещения АДПР: $X_0 = 85,81$ Ом; $x_1 = 0,3948$ Ом; $x_2' = 1,3460$ Ом; $r_1 = 0,0611$ Ом; $r_2' = 0,2108$ Ом; $r_0 = 5948,9$ Ом; при номинальных данных: синхронная частота вращения $\omega_0 = 314$ с⁻¹; момент нагрузки на валу 2547,8 Нм.

Данные, полученные в результате расчетов энергетических показателей по указанной методике сведены в таблице 1.

Табл. 1. Оценка способов оптимизации энергетических показателей асинхронного режима

Способ оптимизации	Оптимизированное скольжение $S'_{опт}$, о.е.	$\Delta p_{уточн.}$, кВт	$I_{1уточн.}$, А	$P_{1уточн.}$, кВт	I_{1a}^* уточн.	$E_{уточн.}$, В
ΔP_{min}	0,0106	10,94	133,8	2315	0,8	769,0
I_{1min}	0,0054	11,08	62,15	668,2	0,895	3236
I_{1amax}^*	0,00257	14,64	82,14	2746	0,943	4784
P_{1min}	0,0058	11,11	86,14	1196	0,876	3124
Нерег.	0,0035	12,11	94,7	4716	0,454	4008

Заключение

Результаты расчетов указывают на значительное снижение мощности потерь при увеличении доли активной составляющей в общем токе статора.

Анализ электромеханического процесса, проведенный по статическим характеристикам, дает возможность определить оптимальное скольжение при

условиях минимума потерь, минимума потребляемой активной мощности, максимума тока статора и относительного максимума активного тока статора.

Список литературы

1. Высоцкий В.Е., Гуляев И.В., Нагирняк А.А., Олейников А.М., Чушев В.Д. Особенности работы асинхронного двигателя с двухслойным ротором в судовых насосных установках // Электротехника. – 2019. – №1. – С. 2-7.
2. Высоцкий В.Е., Чушев В.Д., Нагирняк А.А. Малошумный асинхронный двигатель с двухслойным ротором для модельных испытаний // Энергетические установки и технологии. – 2017. – Т. 3, №3. – С. 33-38.
3. Анисимов В.А., Горнов А.О., Бычков М.Г., Рожанковский Ю.В., Сидоров Н.В. Энергосберегающие технические решения в электроприводе. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 54 с.
4. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А., Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным // Электричество. – №4. – 1998. – С. 38-42.
5. Могильников В.С. Асинхронные двигатели с массивными и двухслойными роторами. – Симферополь: Изд-во Таврика. – 1967. – 93 с.
6. Могильников В.С., Олейников А.М. Теория, технология и режимы работы асинхронных двигателей с двухслойным ротором: монография. – 2-е изд. перераб. и доп. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – 350 с.
7. Могильников В.С., Олейников А.М., Стрельников А.И. Асинхронные двигатели с двухслойным ротором. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 120 с.

References

1. Vysotsky V.E., Gulyaev I.V., Nagirniak A.A., Oleynikov A.M., Chushev V.D. Features of the operation of an asynchronous motor with a double-layer rotor in ship pumping installations // Electrical engineering. 2019, no. 1, pp. 2-7.
2. Vysotsky V.E., Chushev V.D., Nagirniak A.A. Low-noise induction motor with a two-layer rotor for model testing // Power plants and technologies. 2017, vol. 3, no. 3, pp. 33-38.
3. Anisimov V.A., Gornov A.O., Bychkov M.G., Rozhankovsky Yu.V., Sidorov N.V. Energy-saving technical solutions in electric drives. – М.: Publ. house MPEI, 1991. – 54 p.
4. Moshchinsky Yu.A., Bepalov V.Ya., Kiryakin A.A., Determination of the parameters of the equivalent circuit of an asynchronous machine using catalog data // Electricity. 1998, no. 4, pp. 38-42.
5. Mogilnikov V.S. Asynchronous motors with massive and double-layer rotors. – Simferopol: Tavrika Publ. house, 1967. – 93 p.
6. Mogilnikov V.S., Oleinikov A.M. Theory, technology and operating modes of asynchronous motors with a two-layer rotor: monograph. – 2nd ed. reworked and additional – Sevastopol: SevNTU Publ. house, 2008. – 350 p.
7. Mogilnikov V.S., Oleynikov A.M., Strelnikov A.I. Asynchronous motors with a two-layer rotor. – М.: Energoatomizdat, 1983. – 120 p.

Нагирняк Александр Анатольевич старший преподаватель alexnagirnyak@mail.ru	Nagirnyak Alexander Anatolievich senior lecturer
---	--

Received 08.04.2024