

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ ЕМКОСТИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Плотников С.М., Рубцов К.Д., Чинков П.О.

*Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск,
Россия*

Ключевые слова: асинхронный двигатель, статор, ёмкость, реактивная мощность.

Аннотация. Показано, что пластины статора асинхронного двигателя представляют собой емкость, которую можно использовать для компенсации реактивной мощности, потребляемой двигателем. Рассмотрены асинхронные двигатели двенадцати типоразмеров мощностью от 5,5 до 90 кВт, определены значения собственных емкостей статора и емкостей, необходимых для полной компенсации реактивной мощности, представлено их графическое сравнение.

USING THE ASYNCHRONOUS MOTOR'S OWN STATOR CAPACITY TO COMPENSATE FOR REACTIVE POWER

Plotnikov S.M., Rubtsov K.D., Chinkov P.O.

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: asynchronous motor, stator, capacitance, reactive power.

Abstract. It is shown that the stator plates of an asynchronous motor represent a capacity that can be used to compensate for the reactive power consumed by the motor. Asynchronous motors of twelve standard sizes of the 4A series with a power from 5.5 to 90 kW are considered, the values of the stator's own capacitances and the capacitances necessary for full compensation of reactive power are determined, and their graphical comparison is presented.

Мероприятия по компенсации реактивной мощности позволяют уменьшить нагрузку на двигатели, провода и кабели, улучшить качество электроэнергии за счёт уменьшения искажения формы напряжения, снизить расходы на электроэнергию, а также избежать штрафов за пониженный коэффициент мощности.

Одним из способов снижения реактивной мощности, потребляемой асинхронным двигателем из сети, является подключение к двигателю батареи конденсаторов. Такая батарея является дорогостоящим оборудованием. В то же время, сам статор двигателя, набранный из отдельных изолированных друг от друга стальных пластин, представляет собой конденсатор, который можно использовать для компенсации реактивной мощности. При этом изоляционное покрытие пластин выдерживает напряжение до 150 В [1], а последовательное включение этих пластин – до 300 или 450 В, что вполне достаточно для работы без электрических пробоев.

Паспортные данные асинхронных двигателей серии 4А содержат следующие величины [2]: номинальную мощность $P_{\text{ном}}$ [кВт], номинальный

КПД η_n , наружный $d_{нар}$ и внутренний $d_{вн}$ диаметры магнитопровода [м], длину статора $L_{см}$ [м].

Величина собственной емкости статора рассчитывалась по приведенным ниже выражениям. Площадь одной пластины статора вместе с пазами

$$S_{пл} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар} - d_{вн})^2.$$

Количество пластин статора

$$n = \frac{L_{см}}{h_{пл} + h_{из}},$$

где $h_{пл}$ – ширина пластины магнитопровода статора, 0,5 мм;

$h_{из}$ – ширина слоя изоляции магнитопровода статора, 0,05 мм.

Площадь всех пластин статора вместе с пазами

$$S_{стп} = n \cdot S_{пл}.$$

Площадь всех пластин с учетом того, что пазы составляют треть площади пластины

$$S_{ст} = 0,67 \cdot S_{стп}.$$

Четыре пластины образуют три диэлектрических промежутка, а для снижения напряжения пробоя два конденсатора следует включать последовательно (рис. 1).

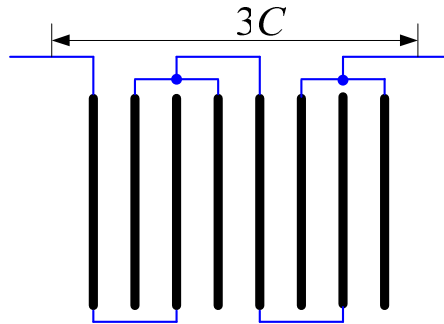


Рис. 1. Схема сборки конденсаторов из пластин статора

С учетом того, что для трех фаз конденсаторов требуется втрое больше, величину собственной ёмкости статора можно рассчитать по формуле

$$C_{см} = \frac{n}{8} \cdot \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S_{см}}{h_{из}},$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – диэлектрическая постоянная, Ф/м;

$\varepsilon = 3$ – диэлектрическая проницаемость лака.

Величина емкости [мкФ], необходимая для полной компенсации реактивной мощности при номинальной нагрузке двигателя

$$C_{\kappa} = \frac{10^6 \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi_n}{2\pi f \cdot \sqrt{3} \cdot U_n^2 \cdot \eta_n},$$

где $tg \varphi_n = tg[arccos(\cos \varphi_n)]$; f – частота, Гц;

U_n – номинальное напряжение на обмотках статора, В.

Величину C_k можно определить также по упрощенной формуле [3].

Рассчитанные значения емкостей и значения получаемых коэффициентов мощности представлены в таблице 1.

Табл. 1. Расчетные значения

$P_{ном.}, \text{ кВт}$	n	$C_{ст}, \text{ мкФ}$	$C_k, \text{ мкФ}$	$\cos \varphi_2,$
5,5	236	114	109	0,91
7,5	227	110	176	1
11,0	236	184	230	1
15,0	205	242	295	1
18,5	241	336	338	1
22	207	341	509	1
30	270	552	679	1
37	243	498	885	1
45	298	753	962	1
55	334	1422	1046	0,91
75	370	1766	1689	0,88
90	425	2330	1903	0,89

На рисунке 2 представлены зависимости собственной емкости статора и емкости, необходимой для полной компенсации реактивной мощности.

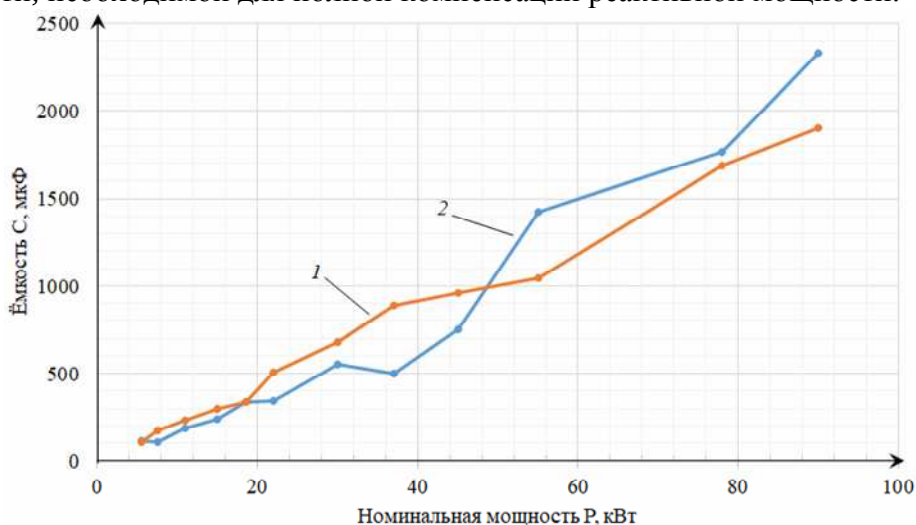


Рис. 2. Зависимости собственной ёмкости статора (2) и емкости, необходимой для полной компенсации реактивной мощности (1)

Расчеты показали, что для двигателей с паспортными мощностями от 7,5 до 45 кВт за счет емкости, образуемой изолированными пластинами статора, возможна полная компенсация потребляемой двигателем реактивной мощности. Для двигателей с мощностями 5,5, 55, 75 и 90 кВт компенсация возможна до коэффициента мощности 0,88-0,91.

Использование собственной емкости двигателя для снижения потребляемой им реактивной мощности возможно при незначительном конструктивном изменении пластин статора, заключающемся в креплении к ним электрических выводов в определенной последовательности.

Список литературы

1. Плотников С.М., Плотникова С.П., Колмаков О.В. Определение критического скольжения асинхронного двигателя // Известия вузов. Электромеханика. – 2017. – №3. – С.40-44. DOI: 10.17213/0136-3360-2017-3-40-44.
2. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
3. Плотников С.М., Колмаков О.В. Метод расчёта ёмкости компенсирующего конденсатора асинхронных двигателей малой мощности // Известия вузов. Электромеханика. – 2016. – №5. – С. 64-71. DOI: 10.17213/0136-3360-2016-4-59-63

References

1. Plotnikov S.M., Plotnikova S.P. Kolmakov O.V. Determination of critical sliding asynchronous motor // Electromechanics, 2017, no. 3, pp. 40-44. DOI: 10.17213/0136-3360-2020-5-27-31.
2. 4A series asynchronous motors. Reference book. – Moscow: Energoizdat, 1982. – 504 с.
3. Plotnikov S.M., Kolmakov O.V. The calculation of the compensating capacitor of the asynchronous motors of low power // Electromechanics, 2016, no. 5, pp. 64-71. DOI: 10.17213/0136-3360-2016-4-59-63

Плотников Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры СОД	Plotnikov Sergey Mikhailovich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of Department SOD
Рубцов Кирилл Дмитриевич – студент	Rubtsov Kirill Dmitrievich – student
Чинков Павел Олегович – студент	Chinkov Pavel Olegovich – student
smplonikov@rabler.ru	

Received 03.02.2022