

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА*Абдуллаев Мухаммадсайфулло**ст. преп., Андижанский машиностроительный институт,  
Узбекистан, г. Андижан,  
E-mail: [mohirbek2702@mail.ru](mailto:mohirbek2702@mail.ru)**Ахмадалиев Уткирбек Акрамжонович**ассистент, Андижанский машиностроительный институт,  
Узбекистан, г. Андижан,  
E-mail: [keenjon7@gmail.ru](mailto:keenjon7@gmail.ru)*

## INCREASING POWER COEFFICIENT OF AC ELECTRIC DRIVES

*Mukhammadsayfullo Abdullayev**Senior teacher, Andijan Machine-Building Institute,  
Uzbekistan, Andijan**Akhmadaliev Utkirbek**Assistant, Andijan Machine-Building Institute,  
Uzbekistan, Andijan*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены вопросы повышения коэффициента мощности электроприводов, в частности электроприводов переменного тока, как наиболее широко применяемые в промышленном производстве. Подробно проанализированы зависимости коэффициента мощности от потерь мощности, возникающих в электроприводах с асинхронными двигателями серии 4А. В статье выявлены причины вызывающие потери мощности и энергии в электроприводах, особенно в переходных процессах ЭП.

В настоящей статье предлагаются, наряду с традиционными способами, альтернативные пути повышения коэффициента мощности электроприводов переменного тока.

## ABSTRACT

This article discusses the issues of increasing the power factor of electric drives, in particular AC electric drives, as the most widely used in industrial production. The dependences of the power factor on power losses occurring in electric drives with 4A series induction motors are analyzed in detail. The article identifies the causes of the loss of power and energy in electric drives, especially in transient transients.

This article proposes, along with traditional methods, alternative ways to increase the power factor of AC electric drives.

**Ключевые слова:** Коэффициент мощности, потери мощности, потери энергии, реактивная мощность, циркуляция мощности, синхронные двигатели, синхронные компенсаторы, конденсаторные установки, тиристорные источники реактивной мощности, фильтрокомпенсирующие и фильтросимметрирующие устройства.

**Keywords:** Power factor, power loss, energy loss, reactive power, power circulation, synchronous motors, synchronous compensators, capacitor units, thyristor reactive power sources, filter compensating and filter balancing devices.

Электрический привод, подключённый к сети переменного тока, потребляет из неё не только активную мощность, но и реактивную. Активная мощность расходуется на полезную работу ЭП и покрывает

потери, а реактивная мощность обеспечивает создание электромагнитных полей двигателя и не совершает полезную работу. Точнее реактивная мощность не потребляется, а циркулирует между сетью

и двигателем. Реактивная мощность нагружает систему электроснабжения двигателя, вызывая дополнительные потери напряжения и энергии в её элементах. Поэтому всегда стремятся к обеспечению максимально возможного  $\cos\varphi$  электропривода, что приводит к снижению уровня циркулирующей реактивной мощности.

Работа ЭП характеризуется средневзвешенным коэффициентом мощности, который определяется следующим отношением

$$\cos\varphi_{\Sigma} = \frac{A_a}{A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ai}t_i}{\sum_{i=1}^n S_i t_i}; \quad (1)$$

где,  $S_i$  – полная или кажущаяся мощность на участке цикла

$$S_i = P_a + jQ. \quad (2)$$

В установившемся режиме с постоянной скоростью коэффициент мощности ЭП рассчитывается как

$$\cos\varphi = \frac{P_a}{S} = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + Q^2}}. \quad (3)$$

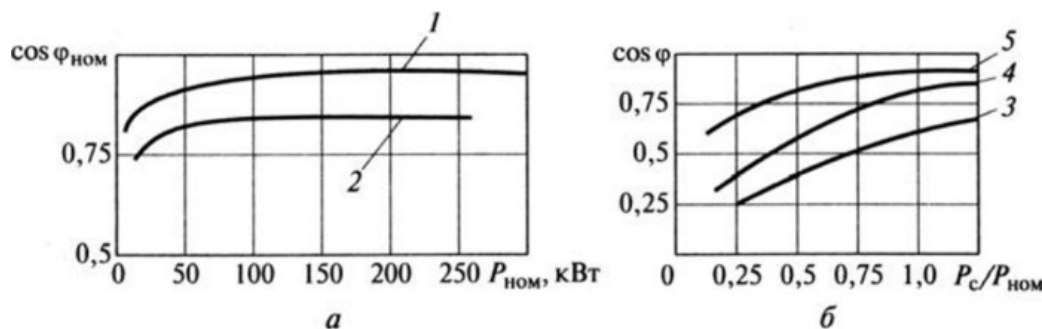


Рисунок 1. Зависимости номинального коэффициента мощности АД серий 4А от номинальной мощности и скорости вращения (а) и коэффициента мощности АД от коэффициента нагрузки (б), кривая 1 для  $p = 2$ , кривая 2 для  $p = 4$

Для большинства асинхронных двигателей  $\cos\varphi_{\text{ном}} \approx 0,8 \div 0,9$ . Для этих значений  $Q = (0,5 \div 0,75)/1$ , т.е. асинхронный двигатель на каждый киловатт активной мощности потребляет из сети 0,5—0,75 квар реактивной мощности. Чем ниже  $\cos\varphi_{\text{ср}}$ , тем большую реактивную мощность потребляет асинхронный двигатель из сети, загружая ее дополнительным током и вызывая в ней дополнительные потери.

Коэффициент мощности асинхронного двигателя существенно зависит от его нагрузки. При холостом ходе коэффициент мощности двигателя невелик, так как относительно велика доля реактивной мощности по сравнению с активной. По мере увеличения нагрузки возрастает и  $\cos\varphi_{\text{ср}}$ , достигая /своего максимального значения примерно в области номинальной нагрузки асинхронного двигателя. В качестве примера на рис.1, б приведены зависимости  $\cos\varphi_{\text{ср}}$  от кратности механической нагрузки  $P_c/P_{\text{ном}}$  для двигателей серии 4А при различных уровнях номинальных  $\cos\varphi_{\text{срном}} = 0,9$  (кривая 5), 0,8 (кривая 4) и 0,6 (кривая 3).

Угол  $\varphi$  – это сдвиг фаз между векторами напряжения сети и потребляемым током ЭП: если привод потребляет реактивную мощность, то существует сдвиг фаз  $\cos\varphi < 1$ , если ЭП не потребляет реактивную мощность, то  $\cos\varphi = 1$ .

Работа ЭП постоянного тока, выполненного по системе «Управляемый выпрямитель – двигатель постоянного тока» также характеризуется коэффициентом мощности. [1]

Активная и реактивная мощности, входящие в формулы (1), (2) и (3), для трёхфазного асинхронного двигателя в установившемся режиме могут быть рассчитаны по следующим формулам

$$P_a = P_1 = 3U_{1\phi} I_1 \cos\varphi = P_{\text{мех}} + \Delta P = M\omega + K + V_1 + V_2; \quad (4)$$

$$Q = 3I_{\mu}^2 x_{\mu} + 3I_1^2 x_1 + 3I_2^2 x_2'. \quad (5) \text{ или}$$

$$Q = 3U_{\phi} I_{\mu} + 3I_2^2 x_k' = 3U_{\phi} I_{\mu} + M\omega_o s x_k / R_2'. \quad (6)$$

Ниже на рис.1,а приведены зависимости номинального коэффициента мощности асинхронных двигателей различных номинальных мощностей  $P_{\text{ном}}$  и чисел пар полюсов  $p$ . Характерным для них является более высокое значение  $\cos\varphi_{\text{ср}}$  для двигателей большой мощности и скорости вращения. [2]

Асинхронные двигатели являются основными потребителями реактивной мощности в системах электроснабжения, поэтому повышение коэффициента их мощности представляет собой важную технико-экономическую задачу. Основные мероприятия по повышению  $\cos\varphi_{\text{ср}}$  асинхронных двигателей состоят в следующем:

1. Замена малозагруженных двигателей двигателями меньшей мощности.
2. Ограничение времени работы двигателей на холостом ходу, что объясняется характером зависимости  $\cos\varphi_{\text{ср}}$  от нагрузки двигателя, приведенной на рис.1, б.
3. Снижение подводимого к двигателю напряжения, показанное с помощью зависимостей на рис.2, которые демонстрируют, что при снижении напряжения  $U_j$  уменьшается ток намагничивания, что приводит к снижению потребляемой двигателем реактивной мощности и тем самым к уменьшению потерь мощности в двигателе и элементах системы электроснабжения.

4. Применение устройств компенсации реактивной мощности. Для компенсации реактивной мощности и повышения тем самым *созр* электроприводов могут использоваться различные средства компенсации. К их числу относятся:

а) фильтрокомпенсирующие и фильтросимметрирующие устройства, обеспечивающие одновременно компенсацию реактивной мощности, фильтрацию высших гармоник и уменьшение отклонений напряжения по фазам;

б) синхронные двигатели;

в) синхронные компенсаторы, представляющие собой синхронные двигатели, работающие без нагрузки;

г) конденсаторные установки;

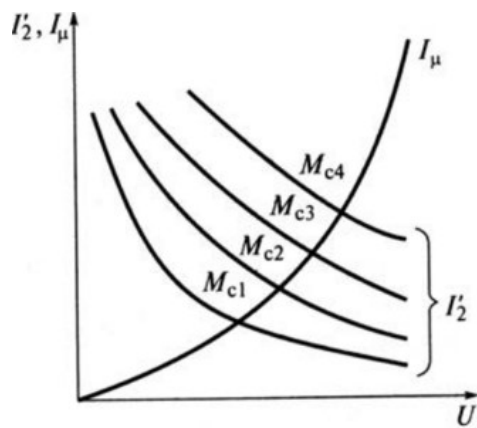
д) тиристорные источники реактивной мощности.

Вместе с тем при неизменном моменте нагрузки  $M$  при этом происходит увеличение тока ротора  $I_2$ , что может привести к дополнительному нагреву двигателя. Поэтому этот способ энергосбережения может использоваться при пониженных нагрузках двигателя, не превышающих 40—50% от номинальной.

*Переключение «треугольник» — «звезда».* Этот способ снижения напряжения возможен при равенстве номинального фазного напряжения обмотки статора двигателя и линейного напряжения сети. При нагрузках двигателя, близких к номинальному уровню, обмотки статора включены по схеме «треугольника» «Д» и двигатель работает при номинальном напряжении обмоток статора с полным магнитным потоком.

При снижении нагрузки обмотки статора двигателя переключаются на схему «звезды» «Y», к ним подводится пониженное в  $\sqrt{3} = 1,73$  раза напряжение, за счет чего снижаются ток намагничивания и реактивная мощность. Важно отметить, что при этом потери мощности в двигателе в зависимости от коэффициента его нагрузки  $\kappa_n$  могут как уменьшаться, так и увеличиваться.

Анализ показывает, что при коэффициенте нагрузки  $\kappa_n < 0,7$  потребляемая двигателем реактивная мощность в схеме «звезды» всегда меньше, чем в схеме «треугольника». Снижение потерь мощности в двигателе при переходе на схему «звезды» будет иметь место начиная со значений коэффициента нагрузки двигателя  $\kappa_n < 0,4$ . [2]

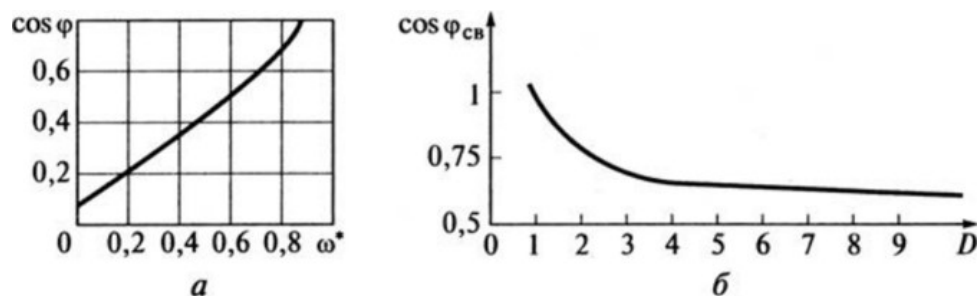


**Рисунок 2.** Зависимости токов ротора и намагничивания асинхронного двигателя от напряжения на его статоре

Система УВ—ДПТ питается от сети переменного тока и потребляет при этом реактивную мощность. Это определяется тем, что регулирование напряжения на якоре двигателя происходит за счет задержки открытия тиристорov управляемого выпрямителя. Вследствие этого происходит сдвиг фазы потребляемого ЭП тока по отношению к напряжению сети и ЭП начинает потреблять реактивную мощность из сети. Кроме того, работа системы У В—ДПТ вызывает искажение синусоидальной формы напряжения системы электроснабжения. Это оказывает вредное воздействие на другие ЭП, что выражается в повышенном нагреве электродвигателей, снижении их мощности и КПД, усилении вибрации и шума при их работе.

Искажение синусоидальной формы напряжения приводит к появлению высших гармоник напряжения, которые нарушают нормальную работу других потребителей электроэнергии, устройств автоматики, защиты и сигнализации, создает помехи в линиях связи. Несинусоидальность напряжений и токов приводит к дополнительным погрешностям измерительных приборов, а также оказывает отрицательное воздействие и на батареи конденсаторов, применяемых для компенсации реактивной мощности, вызывая их перегрузку по току и напряжению. Все это определяет важность общей задачи по необходимости повышения качества сетевого напряжения.

Коэффициент мощности вентильного ЭП постоянного тока определяется углом управления тиристорov управляемого выпрямителя и его нагрузкой, от которой зависит угол коммутации. Снижение скорости (увеличение диапазона регулирования) приводит к уменьшению коэффициента мощности ЭП.



**Рисунок 3. Зависимости коэффициента мощности системы «преобразователь – двигатель» от относительной скорости (а) и диапазона регулирования**

Анализ зависимости  $\cos\varphi$  от относительной скорости  $\omega^*$  при номинальной нагрузке на валу двигателя (рис.3,а) показывает, что уменьшение коэффициента мощности происходит пропорционально снижению скорости, т.е. увеличению диапазона регулирования. [3]

Повышения коэффициента мощности системы УВ – ДПТ, кроме выше рассмотренных способов, путём использования специальных законов управления УВ и способов коммутации их вентиляей. К их числу относятся поочерёдное и несимметричное управление преобразователями, а также искусственная коммутация вентиляей преобразователей. [2]

#### Список литературы:

1. Ключев В.И. Теория электропривода. Москва Энергоатомиздат: 2001.
2. Бекишев Р.Ф., Дементьев Ю.Н. Общий курс электропривода. Томск: 2010.
3. Khashimov A.A., Pampias I.K., Energy saving Solid State Drives. Asynchronous Motors for Technological Machines and Installations; ISBN 978-960-93-3063-3, Athens, 2011