



## УПРАВЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ НИЗКОЙ ЗАГРУЗКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассматривается работа двигателей при низких коэффициентах загрузки. Обосновывается необходимость снижения питающего напряжения до уровня, обеспечивающего оптимальный КПД. Предлагается использовать для регулирования напряжения устройство «Normel» в режиме снижения напряжения в пределах 5%. С целью расширения диапазона регулирования предложено высшую обмотку трансформатора выполнять с отпайками в диапазоне 20% (2x10%). Коммутация отпайек осуществляется с помощью электронных IGBT-ключей, управляемых посредством микропроцессора. При таком способе регулирования достигается высокий КПД двигателя и, как следствие, снижение потребления электроэнергии.

Двигатель, регулирование напряжения, повышение КПД, IGBT-ключи.

Основными приемниками электроэнергии на промышленных предприятиях являются асинхронные двигатели, которые в процессе эксплуатации работают с нагрузками на валу отличными от номинальных. Это обусловлено как технологическим процессом производства, так и его организацией. При установленных показателях качества электроэнергии в питающей сети эффективность работы двигателей зависит от загрузки на валу. Анализ коэффициентов загрузки двигателей, используемых в различных отраслях промышленности, показывает, что только двигатели, работающие в длительном режиме, имеют высокие коэффициенты загрузки – это двигатели насосов, компрессоров, вентиляторов. Коэффициенты загрузки других потребителей варьируются в широких пределах. Так, исследования режимов работы электродвигателей технологических агрегатов бумагоделательной промышленности показали, что большинство из них имеют низкие коэффициенты загрузки: установка по производству технологической щепы – 0,3; цепной поперечный транспортер – 0,2; конвейер ленточный – 0,45; лесопильная рама первого ряда – 0,43; механизм поштучной выдачи досок – 0,3; дымососы – 0,54; бревно-поворотный станок – 0,2.

КПД электродвигателей зависит от степени их загрузки. Одним из наиболее простых способов повышения КПД при низкой загрузке является переключение обмоток статора двигателя с треугольника на звезду. Это приемлемо, если загрузка стабильно низкая и переключение обмоток обеспечивает высокий КПД. Однако при разных нагрузках КПД двигателя будет зависеть от потребляемой мощности и мощности на валу. При неизменно низкой нагрузке и постоянной частоте тока в сети способом, обеспечивающим повышение КПД двигателя, является понижение питающего напряжения.

В настоящее время известны принципы регулирования напряжения при переменной нагрузке – это применение стабилизаторов напряжения с нелинейными элементами, в качестве которых служит параллельный или последовательный резонансный контур, содержащий насыщенный дроссель и конденсатор. Широко известны тиристорные стабилизаторы напряжения, состоящие из ключей, схем сравнения и управления.

Известны также стабилизаторы со ступенчатой формой выходного напряжения, состоящие из сетевого трансформатора, коммутирующего устройства, схемы сравнения и управления.

Все перечисленные устройства обладают существенным недостатком – они искажают форму кривой напряжения питающей сети и имеют значительные массогабаритные характеристики.

Для регулирования напряжения предлагается использовать устройство «NORMEL», предназначенное для работы в сетях напряжением 400/230 В. Проведенные исследования [1] показали его высокие характеристики.

Изделие «NORMEL» обеспечивает контроль входного напряжения в диапазоне 170÷260 В и одноступенчатое регулирование ( $\pm 5\%$ ) по каждой фазе отдельно. При уровнях напряжения, выходящих за допустимые пределы, рекомендуется использовать последовательное включение нескольких устройств, что расширяет диапазон регулирования напряжения.

Изделие «NORMEL» может работать в следующих режимах: «ТРАНЗИТ», когда напряжения нагрузки и сети одинаковые; «ПОНИЖЕНИЕ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ» – в случае, когда напряжение сети выше напряжения нагрузки; «ПОВЫШЕНИЕ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ», когда напряжение сети ниже напряжения нагрузки. Мощность нагрузки может изменяться от 0 до 100%, что не сказывается на качестве нормализуемого напряжения.

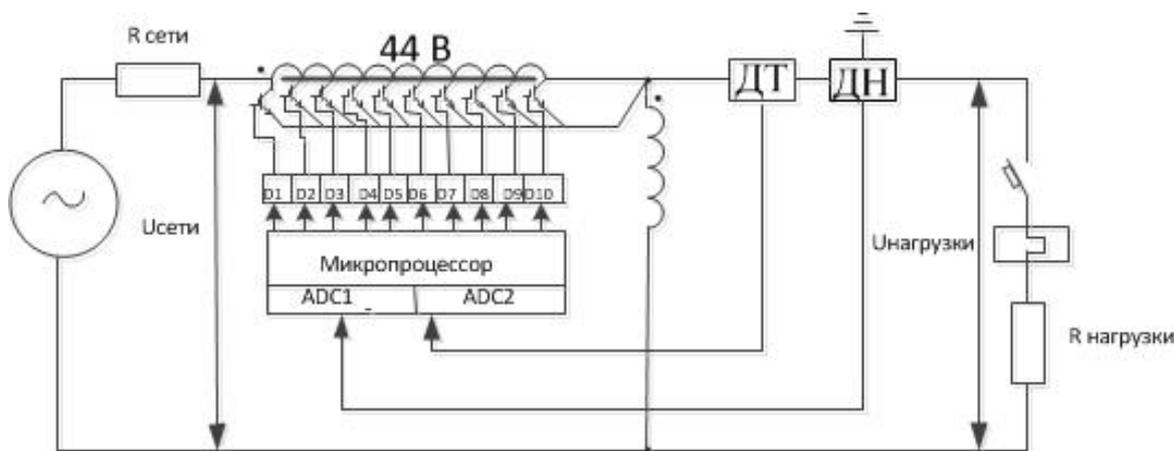


Рис. 1. Структурная схема автоматического регулирования напряжения двигателя при низкой нагрузке

Конструкция устройства не содержит в схеме силовых полупроводниковых элементов, т. е. не является источником высших гармоник. Процесс нормализации происходит без разрыва питающей цепи и искажения синусоид напряжения и тока.

Устройство препятствует проникновению в нагрузку из сети импульсных высокочастотных помех.

Основные отличия изделия «NORMEL» от общеизвестных стабилизаторов напряжения состоят в следующем:

- любой стабилизатор предназначен для удержания его выходного напряжения на заданном уровне с погрешностью  $\pm 1...2\%$  и, как правило, имеет низкий КПД и нелинейную вольтамперную характеристику, что приводит к искажению синусоидальной формы напряжения;

- стабилизаторы автотрансформаторного типа характеризуются быстрым изнашиванием кинематического механизма.

Принцип работы энергосберегающего устройства переменного напряжения «NORMEL» основан на применении трансформатора типа ОСМ, регулирующего напряжение и включаемого по различным схемам. Устройство не создает искажений формы кривой напряжения питающей сети. Недостатком устройства является одноступенчатое регулирование напряжения в пределах  $\pm 5\div -5\%$  в диапазоне 170–260 В, что не обеспечивает высокого КПД при низких коэффициентах загрузки потребителей электроэнергии [2].

С целью увеличения диапазона регулирования напряжения устройства в сетевой обмотке трансформатора предлагается предусмотреть автоматическое регулирование с шагом  $-20\%$  ( $-2\% \times 10$ ) посредством применения IGBT-ключей (рис. 1).

В каждую фазу сети включается трансформатор ОСМ как автотрансформатор с полярностью, обозначенной точками. Обмотка высшего напряжения  $W1$  индуцирует в обмотке низшего напряжения  $W2$  ЭДС численно равную напряжению  $U_2$ , направленному встречно напряжению сети. Напряжение на нагрузке равно разности сетевого напряжения и  $U_2$ . Основная мощность из сети в нагрузку передается за счет электрической связи. Доля мощности, передаваемой из сети в нагрузку за счет электромагнитной связи,

в  $K$  раз меньше мощности, передаваемой за счет электрической связи (здесь  $K=W1/W2$  – коэффициент трансформации трансформатора), это обеспечивает уменьшение мощности регулировочного трансформатора в  $K$  раз по сравнению с мощностью нагрузки.

В представленной схеме обмотка высшего напряжения имеет 10 отпаек с шагом  $2\%$  в сторону снижения напряжения. Коммутация отпаек осуществляется с помощью IGBT-ключей, управляемых посредством микропроцессора. Значения тока и напряжения в цепи питания нагрузки с датчиков тока (ДТ) и напряжения (ДН) подаются на аналого-цифровые преобразователи ADC1, ADC2. В памяти микропроцессора записана информация значений токов при различной нагрузке двигателя и значения напряжений, при которых КПД двигателя будет наивысшим. В результате сравнения полученной информации с микропроцессора через драйверы  $D1...D10$  подается сигнал на открытие соответствующего IGBT-ключа, при этом часть обмотки трансформатора шунтируется. Напряжение на двигателе снижается на величину, определяемую напряжением шунтированной части обмотки, КПД двигателя при этом повышается.

Применение устройства «NORMEL» с предложенным диапазоном изменения напряжения в каждой фазе двигателя позволяет также снизить несимметрию напряжения на обмотках, что приводит к дополнительному повышению КПД двигателя.

При работе двигателя с пониженным напряжением  $15\%$  и более возможно размыкание контактов пускателя. Во избежание этого предлагается использовать питание пускателей от источников постоянного тока.

#### Литература

1. Старкова, Л. Е. Экономия электроэнергии в низковольтных сетях / Л. Е. Старкова // Энергоэффективные технологии в современном учреждении: материалы Междунар. энергетического форума. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – С. 113–118.
2. Старкова, Л. Е. Качество электрической энергии: учеб. пособие / Л. Е. Старкова. – Вологда: ВоГУ, 2015. – 87 с.

**L.E. Starkova**  
Vologda State University

### **POWER CONSUMPTION MANAGING OF UNDERUSED ENGINES**

The article examines the performance of engines with the low use coefficient. It grounds the need to reduce the supply voltage to a level that provides optimal efficiency. The author proposes to use the device “NORMEL” in the voltage reduction mode, which regulates the voltage in the range of 5%. In order to expand the range of regulation, it was proposed to carry out the high winding of the transformer with tapings in the range of - 20% (2x10%). The switching of taps is performed using IGBT keys controlled by a microprocessor. With this method of regulation, a high engine efficiency and, as a result, a reduction in electricity consumption are achieved.

Engine, voltage regulation, efficiency increase, IGBT keys