

УДК 62.837

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ**

**Денисов Денис Владимирович**

студент

**Найденов Андрей Александрович**

студент

[Naidenov.48@yandex.ru](mailto:Naidenov.48@yandex.ru)

**Гурьянов Дмитрий Владимирович**

кандидат технических наук, доцент

[guryanov72@mail.ru](mailto:guryanov72@mail.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В статье представлена основные сведения работы преобразователя частоты, а так же значение его работы.

**Ключевые слова:** преобразователь частоты, асинхронный двигатель, трансформаторы, дроссели.

В настоящее время у большинства специалистов, эксплуатирующих насосное оборудование, уже сложилось четкое представление о возможностях использования преобразователей частоты для привода насосов и насосных агрегатов. Понимание этого вопроса обусловлено интенсивным внедрением частотно-регулируемого привода за последние годы и накопленным опытом его эффективного использования [1].

Для всех видов перекачиваемой жидкости преобразователи частоты обеспечивают более экономичное, более эффективное и более надежное регулирование, чем известные механические способы. Независимо от области использования (добыча и транспорт нефти, электроэнергетика, жилищно-коммунальное хозяйство и т.д.) эффект от частотного регулирования насосов общеизвестен [2, 3]:

- экономия электроэнергии до 30 – 60 %;
- снижение утечек жидкостей до 5 %;
- экономия тепловой энергии до 10 %;
- увеличение срока службы оборудования в 1.5-2 раза;
- уменьшение вероятности возникновения разрывов трубопроводов;
- повышение эффективности защиты электропривода;
- улучшение экологической обстановки.

#### Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. При работе происходит искрение щеток, под воздействием электроэрозии изнашивается коллектор. Такой электродвигатель не может использоваться в запыленной и взрывоопасной среде [2, 4-6].

Асинхронные электродвигатели превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам: они просты по устройству и надежны, так как не имеют подвижных контактов [5]. Они имеют меньшие по сравнению с двигателями

постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности. Асинхронные двигатели просты в изготовлении и эксплуатации [4, 5].

Основной недостаток асинхронных электродвигателей – сложность регулирования их скорости традиционными методами (изменением питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток).

Управление асинхронным электродвигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана еще в тридцатых годах. Развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты [1, 4]. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микропроцессорных схем управления позволили различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости [7].

Известно, что регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств: механических вариаторов, гидравлических муфт, дополнительно вводимыми в статор или ротор резисторами, электромеханическими преобразователями частоты, статическими преобразователями частоты. Применение первых четырех устройств не обеспечивает высокого качества регулирования скорости, неэкономично, требует больших затрат при монтаже и эксплуатации [8].

Статические преобразователи частоты являются наиболее совершенными устройствами управления асинхронным приводом в настоящее время.

Принцип частотного метода регулирования скорости асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту  $f_1$  питающего напряжения, можно в соответствии с выражением [1, 4]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$$

при неизменном числе пар полюсов  $p$  изменять угловую скорость магнитного поля статора.

Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью. Регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения асинхронного двигателя, поэтому потери мощности при регулировании невелики. Для получения высоких энергетических показателей асинхронного двигателя – коэффициентов мощности, полезного действия, перегрузочной способности – необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение [7, 8].

Закон изменения напряжения зависит от характера момента нагрузки  $M_c$ . При постоянном моменте нагрузки ( $M_c = \text{const}$ ) напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально частоте:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const.}$$

Для вентиляторного характера момента нагрузки это состояние имеет вид:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const.}$$

При моменте нагрузки, обратно пропорциональном скорости:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const.}$$

Таким образом, для плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения вала асинхронного электродвигателя, преобразователь частоты должен обеспечивать одновременное регулирование частоты и напряжения на статоре асинхронного двигателя.

#### Функциональные возможности преобразователя частоты

Векторное управление – метод управления синхронными и асинхронными двигателями, не только формирующим гармонические токи (напряжения) фаз, но и обеспечивающим управление магнитным потоком ротора (моментом на валу двигателя).

Векторное управление применяется в случае, когда в процессе эксплуатации нагрузка может меняться на одной и той же частоте, т.е. нет четкой зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, а также

в случаях, когда необходимо получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах. Это позволяет существенно увеличить диапазон управления, точность регулирования, повысить быстродействие электропривода [3]. Этот метод обеспечивает непосредственное управление вращающим моментом двигателя. Вращающий момент определяется током статора, который создает возбуждающее магнитное поле. При непосредственном управлении моментом необходимо изменять, кроме амплитуды, и фазу статорного тока, то есть вектор тока. Этим и обусловлен термин «векторное управление».

Векторный способ управления преобразователем частоты позволяет осуществлять гораздо более качественное управление электродвигателем, нежели скалярный.

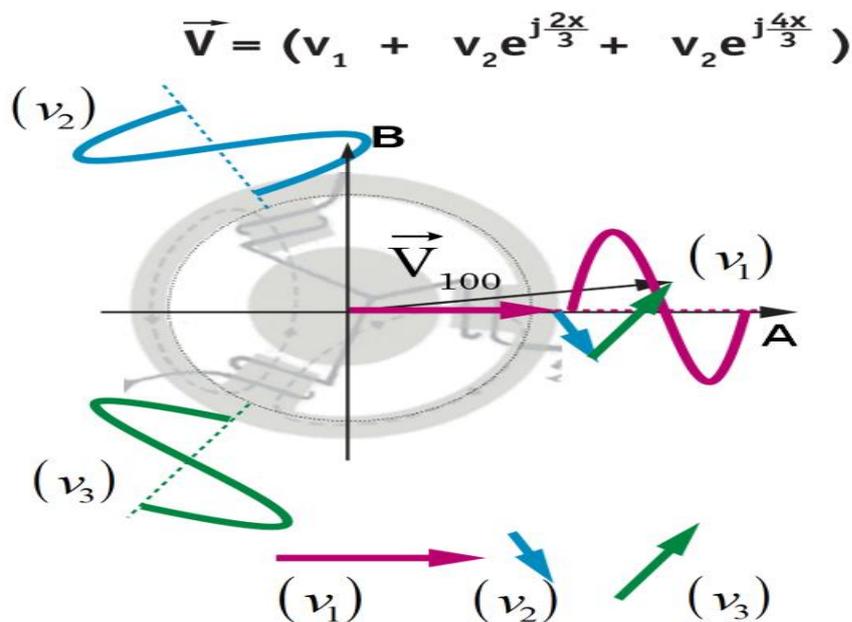


Рисунок 1 – Векторное управление

Преимущества использования регулируемого электропривода в технологических процессах.

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер,

то можно регулировать скорость его движения. Если это насос или вентилятор – можно поддерживать давление или регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространённым способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

Перспективность частотного регулирования наглядно видна из рисунка 1.

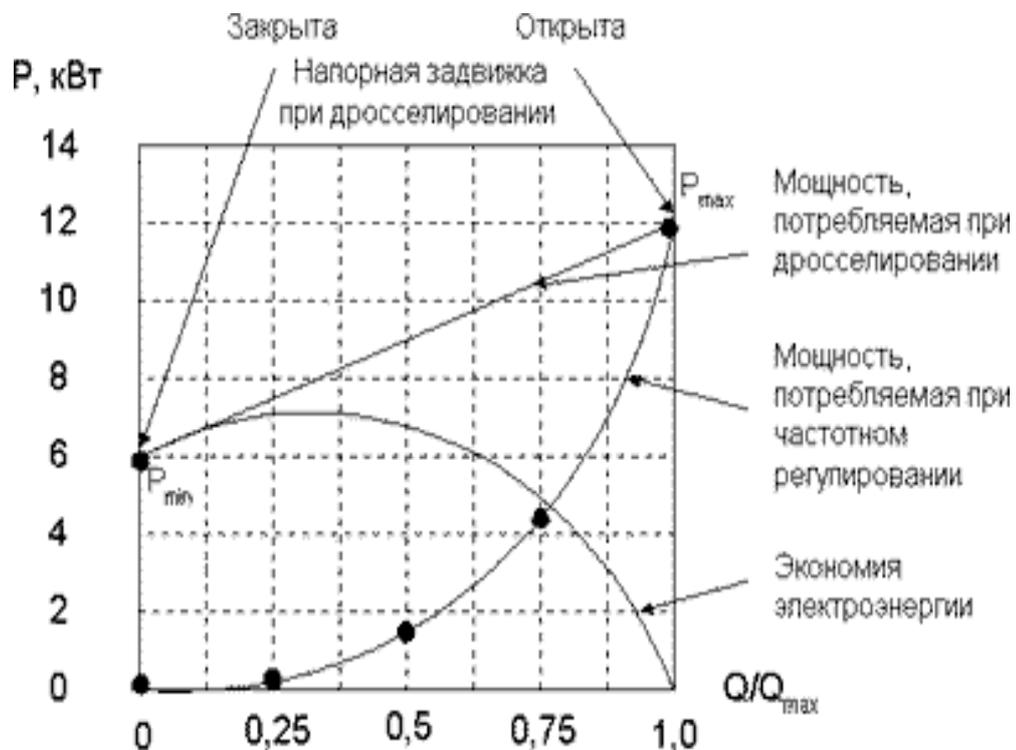


Рисунок 2 – Зависимость экономии электроэнергии от потребляемой мощности

Таким образом, при дросселировании поток вещества, сдерживаемый задвижкой или клапаном, не совершает полезной работы. Применение

регулируемого электропривода насоса или вентилятора позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества [4, 7].

### Автоматическая оптимизация энергопотребления (АОЭ)

Это специализированный алгоритм, который применяется в системах с переменным моментом для регулирования скорости центробежных насосов и вентиляторов. При выходе на задание частотный преобразователь ОВЕН ПЧВ автоматически снижает уровень выходного напряжения, точно адаптируясь к изменяющейся токовой нагрузке и уменьшая тем самым расход энергии и акустический шум двигателя.

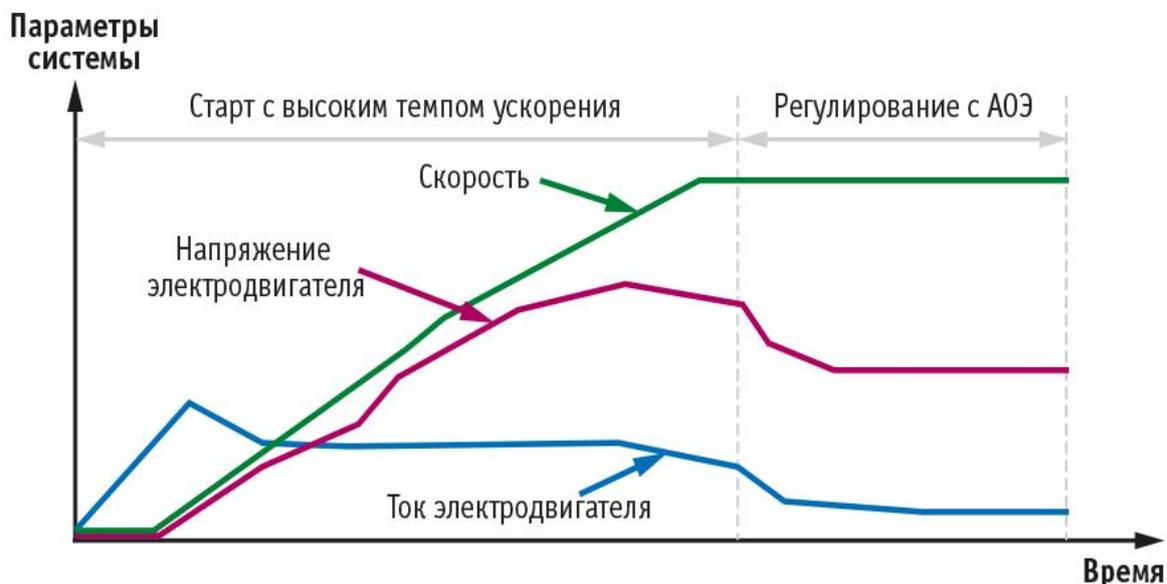


Рисунок 3 – Графическая интерпретация оптимизации энергопотребления

### Спящий режим

Многие приводы, в особенности центробежные насосы, не допускают работы на частотах вращения ниже 20–30 Гц. Для энергоэффективного управления такими приводами необходим режим работы с периодическими остановками, более известный как «спящий режим». Такой алгоритм, с одной стороны, защищает привод от перегрева и повышенного износа, связанных с работой на низких частотах, с другой стороны – обеспечивает эффективное управление приводом с поддержанием управляемого параметра (давление, уровень, температура и т.д.) в заранее определенных границах. «Спящий

режим» часто применяется в управлении насосами, градирнями, вентиляторами АВО и т.д. [4, 8]



Рисунок 3 – Спящий режим

### Пропуск резонансных частот (байпас)

Преобразователи частоты ОВЕН ПЧВ поддерживают функцию байпаса скоростей, когда пользователь имеет возможность исключить из алгоритма работы системы нежелательные для него диапазоны частот вращения привода (например, вызывающие повышенный шум при работе из-за резонанса с внешними частотами).

В каждом из наборов параметров может быть запрограммировано по две полосы частот для частотных преобразователей ПЧВ1,2 и три полосы частот для частотных преобразователей ПЧВ3. Также преобразователи частоты ОВЕН ПЧВ3 имеют встроенный полуавтоматический алгоритм поиска резонансных частот для упрощения пуско-наладки частотных преобразователей вентиляционных систем.

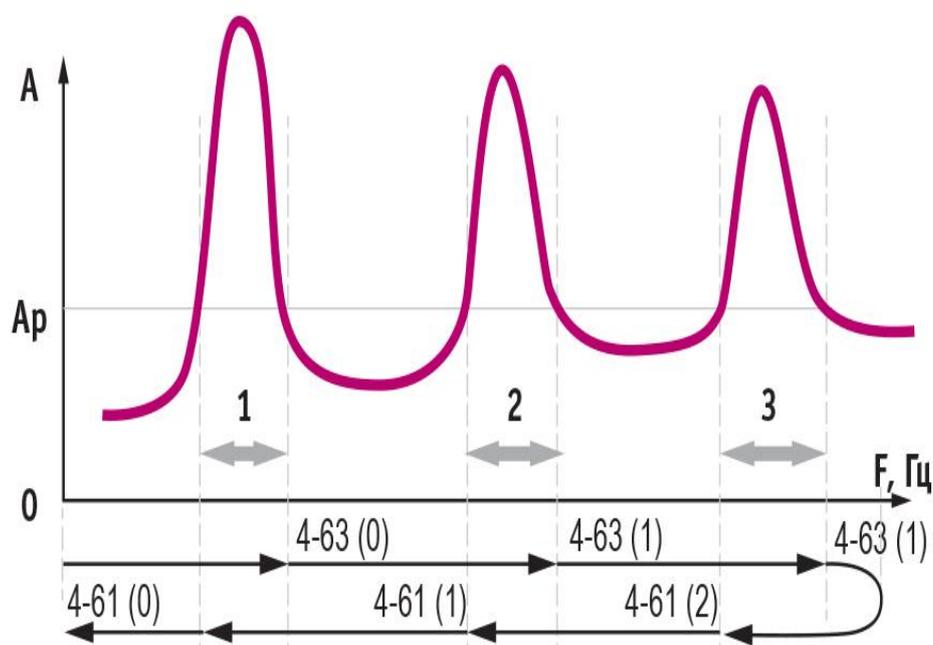


Рисунок 4 – Пропуск резонансных частот

### Структура частотного преобразователя

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей: звена постоянного тока (неуправляемого выпрямителя), силового импульсного инвертора и системы управления. Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока. Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора электродвигателя [1, 4, 5].

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что применение частотно-регулируемого электропривода является экономически выгодным и эффективным. Поэтому необходимо использовать его повсеместно для получения продукции самого высокого качества без лишних затрат на электроэнергию и ремонты приводных электродвигателей.

### Список литературы:

1. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. Образования. - М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. - 368 с.
2. Фефелов, В.А. Анализ работы электрооборудования трансформаторных подстанций Мичуринского РЭС средствами тепловизионного контроля / В.А. Фефелов, Д.В. Гурьянов, А.В. Чувилкин // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 3. – С. 137
3. Гурьянов, Д.В. Анализ электроснабжения ООО «Экспериментальный центр М-КОНС-1» / Д.В. Гурьянов, Л.В. Симбирских // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 4. – С. 32.
4. Трехфазный привод. Основы. - КЕВ Antriebstechnik GmbH, Германия, 1996. - 88 с.: ил.
5. Никитин, В.И. Автоматический расчёт линий электропередач / В.И. Никитин, А.Н. Нефедов // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 42.
6. Швылев, А.В. Моделирование работы трансформатора при переходных процессах / А.В. Швылев, А.Н. Нефедов // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 4. – С. 69.
7. Материалы с диска “ООО “ВЭМЗ - Спектр””.
8. Бутенко, В.В. Экономия электрической энергии на трансформаторной подстанции промышленного предприятия / В.В. Бутенко, А.Н. Нефедов // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 203.

UDC 62.837

## AUTOMATED CONTROL WITH A FREQUENCY CONVERTER

**Denisov Denis Vladimirovich**

student

**Naydenov Andrey Aleksandrovich**

student

[Naidenov.48@yandex.ru](mailto:Naidenov.48@yandex.ru)

**Guryanov Dmitry Valeryevich**

Candidate of Technical Sciences, associate Professor

[guryanov72@mail.ru](mailto:guryanov72@mail.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The basic information about the operation of the frequency converter, as well as the value of its operation, is presented.

**Key words:** frequency converter, asynchronous motor, transformers, chokes.