

## **Мотор-вариаторы Combarco: сравнение с другими системами электропривода, оптимальные области применения**

Технический прогресс в области силовой электроники, микропроцессорных систем управления и высокоэнергетических магнитных материалов привел к тому, что современный электропривод по энергетическим характеристикам вплотную приблизился к теоретическому максимуму, определяемому конструкцией электрических машин. Привод без регулирования скорости или с неэкономичными способами регулирования уступает место приводам с частотным регулированием, которые обеспечивают высокий КПД в широком диапазоне работы. Казалось бы, прогресс механических элементов систем привода замедлился? Тем не менее, существует ряд областей применения, в которых не представляется возможным рациональным образом использовать электродвигатель и редуктор с постоянным передаточным отношением:

- Приводы с очень высокой кратностью пускового момента
- Приводы с очень высокими кратковременными перегрузками, допускающие снижение скорости (мягкую характеристику)
- Приводы с высокоинерционной нагрузкой

В перечисленных случаях электропривод с постоянным передаточным отношением редуктора не может быть оптимизирован сразу для всех режимов работы. Как правило, при проектировании таких приводов электродвигатель и редуктор подбирают под максимальный крутящий момент нагрузки, а в основных рабочих режимах привод существенно недоиспользуется по мощности. Масса, установленная мощность, а значит, и стоимость всех компонентов электропривода с постоянным передаточным отношением редуктора растут вместе с повышением перегрузочной способности. Пусковой и критический моменты асинхронного электродвигателя, как правило, не превышают номинальный более, чем в 1.5-2 раза. Электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением, современные синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, а также вентильно-индукторные электродвигатели обладают несколько более высокой перегрузочной способностью.

Ротор электродвигателя в составе привода, работающего на высокоинерционную нагрузку, в процессе пуска длительно разгоняется вместе с приводимым механизмом. Время разгона механизма при постоянном передаточном отношении редуктора больше, чем можно было бы обеспечить, заменив редуктор вариатором, способным непрерывно изменять передаточное отношение в процессе разгона.

Наиболее распространенные дисковые планетарные вариаторы имеют ограниченное применение в силу ряда недостатков. Несмотря на то, что диапазон регулирования передаточного отношения может достигать 6, перегрузочная способность таких вариаторов, то есть отношение максимального выходного крутящего момента к номинальному не превышает 2-3, причем КПД резко снижается с ростом нагрузки. Существующие вариаторы имеют малую скорость регулирования передаточного отношения и не допускают его изменения в остановленном состоянии. Поэтому, применение таких вариаторов ограничивается приводами с малым диапазоном регулирования скорости и момента.

Разработанный в ЗАО «Combarco» уникальный адаптивный дисковый планетарный вариатор конструкции проф. Н.В. Гулия позволил создать принципиально новый класс электропривода, обладающий мягкой внешней механической характеристикой с очень высоким пусковым моментом, перегрузочной способностью и возможностью автоматического регулирования

передаточного отношения при любых изменениях нагрузки. Конструкция вариаторов Combarco оптимизирована для достижения высокого КПД в широком диапазоне режимов работы. В отличие от зубчатых и червячных редукторов, вариаторы не имеют люфта и обладают функциональностью предохранительной муфты при перегрузке по выходному моменту. В приводах с высокоинерционной нагрузкой мотор-вариаторы Combarco обеспечат наименьшее время разгона до номинальной частоты по сравнению с любым другим типом привода равной мощности.

Производственная гамма ЗАО «Combarco» представлена двумя основными типами мотор-вариаторов:

**Автоматический мотор-вариатор Combarco AUTOVARIO** с прямым включением электродвигателя является недорогим решением и может применяться в нерегулируемом электроприводе, требующим мягкой механической характеристики с высокой перегрузочной способностью (до 9 раз). При этом двигатель подключается к сети напрямую, и не создает радиочастотных помех, свойственных приводам с преобразователями частоты.

*Примеры использования: мешалки, дробилки, объемные насосы, различные подъемно-транспортные механизмы.*

**Автоматический мотор-вариатор Combarco VARITECH** с частотным управлением электродвигателем может быть использован в системах регулируемого электропривода, требующего значительного диапазона регулирования, высоких динамических характеристик и очень большого пускового момента (до 12 раз превышающего номинальный). Датчик частоты вращения выходного вала обеспечивает возможность точного регулирования скорости привода.

*Примеры использования: приводы конвейеров, различные подъемно-транспортные механизмы, системы следящего привода.*

В таблице представлено сравнение мотор-вариаторов **Combarco AUTOVARIO/VARITECH** с другими типами электропривода – асинхронного электропривода с преобразователем частоты (далее ПЧ-АД) и планетарными дисковыми мотор-вариаторами с прямым включением электродвигателя в сеть.

Параметр	Асинхронный электропривод с преобразователем частоты	Планетарные дисковые мотор-вариаторы	Мотор-вариаторы Combarco AUTOVARIO/VARITECH
Диапазон принудительного регулирования скорости	Значительный	Средний	Авторегулирование (AUTOVARIO) Значительный (VARITECH)
Пусковой момент	Малый	Средний	Высокий
Динамическая перегрузочная способность	Малая	Средняя	Высокая
Динамика регулирования	Высокая	Низкая	Авторегулирование (AUTOVARIO) Высокая (VARITECH)
КПД в диапазоне регулирования и долговечность	Очень высокие	Низкие	Высокие

Влияние на питающую сеть в пусковом режиме (пусковой ток)	Низкое	Высокое	Низкое (VARITECH) Среднее (AUTOVARIO)
Влияние на питающую сеть в номинальном режиме (электромагнитные помехи)	Высокое	Низкое	Высокое (VARITECH) Низкое (AUTOVARIO)
Масса и габариты (при равных величинах максимального момента и номинальной частоты вращения)	Значительные	Значительные	Малые (VARITECH) Очень малые (AUTOVARIO)

**Диапазон принудительного регулирования скорости.** Во многих случаях требуется регулирование скорости электропривода. В системах, требующих «мягкой» механической характеристики (например, приводы мешалок и дробилок), могут применяться мотор-вариаторы **Combarco AUTOVARIO**, скорость вращения которых при изменении нагрузки автоматически изменяется до 9..10 раз, при этом крутящий момент изменяется в обратной пропорции. В системах, требующих принудительного регулирования скорости в широком диапазоне, могут применяться мотор-вариаторы **Combarco VARITECH**. Диапазон регулирования скорости различных типов привода составляет:

- ПЧ-АД: 1:100 и более
- Планетарные дисковые мотор-вариаторы: до 1:6
- Мотор-вариаторы **Combarco AUTOVARIO**: до 1:8 (авторегулирование)
- Мотор-вариаторы **Combarco VARITECH**: до 1:100

**Пусковой момент и динамическая перегрузочная способность.** Во многих случаях нагрузка при пуске привода может значительно превышать номинальную, особенно в механизмах, эксплуатируемых на открытом воздухе в холодное время года. Динамическая перегрузочная способность определяет работоспособность привода при резком увеличении нагрузки. Современные преобразователи частоты обладают высоким быстродействием, но перегрузочная способность асинхронного электропривода все равно редко превышает величину номинального момента более, чем в 2 раза. Перегрузочная способность существующих вариаторов определяется моментом начала интенсивного проскальзывания фрикционных элементов, которое, как правило, наступает при нагрузке, в 2..3 раза превышающей номинальную. На малых передаточных отношениях перегрузочная способность падает до 1.5 от номинального момента, так как при пуске или резком повышении нагрузки система регулирования вариатора не в состоянии быстро увеличить его передаточное отношение. Адаптивный вариатор, входящий в состав приводов **Combarco AUTOVARIO/VARITECH**, способен автоматически изменять передаточное отношение в зависимости от нагрузки, в том числе в остановленном состоянии, что совместно с перегрузочной способностью двигателя в кратковременных тяжелых режимах и при пуске обеспечивает максимальный момент, до 9..12 раз превышающий номинальный.

- ПЧ-АД: 150..200% от номинального момента
- Планетарные дисковые мотор-вариаторы: 150..300% от номинального момента
- Вариаторы **Combarco AUTOVARIO/VARITECH**: 900..1200% от номинального момента

**Динамика регулирования** определяет способность привода быстро подстроиться под изменяющиеся условия работы: задаваемую скорость и момент нагрузки. Частотно-регулируемый привод и мотор-вариаторы **Combarco VARITECH** имеют наилучшую динамику регулирования, что делает возможным их применение в системах следящего привода и других случаях, требующих быстрого регулирования скорости. Существующие мотор-вариаторы с прямым включением электродвигателя регулируются путем воздействия на элементы вариатора и имеют крайне ограниченное быстродействие регулирования. Время регулирования по всему диапазону скорости (при малом моменте инерции нагрузки) для различных типов привода (мощностью 1.5 кВт) составляет:

- ПЧ-АД: менее 1 с.
- Планетарные дисковые мотор-вариаторы: более 200 с.
- Вариаторы Combarco VARITECH: 1..2 с.

**КПД в диапазоне регулирования и долговечность.** В сравнении с существующими мотор-вариаторами, приводы **Combarco AUTOVARIO/VARITECH** имеют более высокий КПД в широком диапазоне режимов работы за счет планетарной схемы, оптимизированного прижима фрикционных элементов и разгруженных от сил прижима опор. В режимах, близких к номинальным, адаптивные вариаторы, входящие в состав приводов **Combarco AUTOVARIO/VARITECH**, обеспечивают КПД до 96%. В тяжелых режимах работы привода электродвигатель остается в номинальном режиме, сохраняя высокий КПД, что позволяет добиться минимального энергопотребления. В качестве смазочных материалов применяются специальные высокотяговые масла (Santotrac, BTM). Все эти факторы обеспечивают наивысшую долговечность приводов **Combarco AUTOVARIO/VARITECH** по сравнению со всеми существующими мотор-вариаторами.

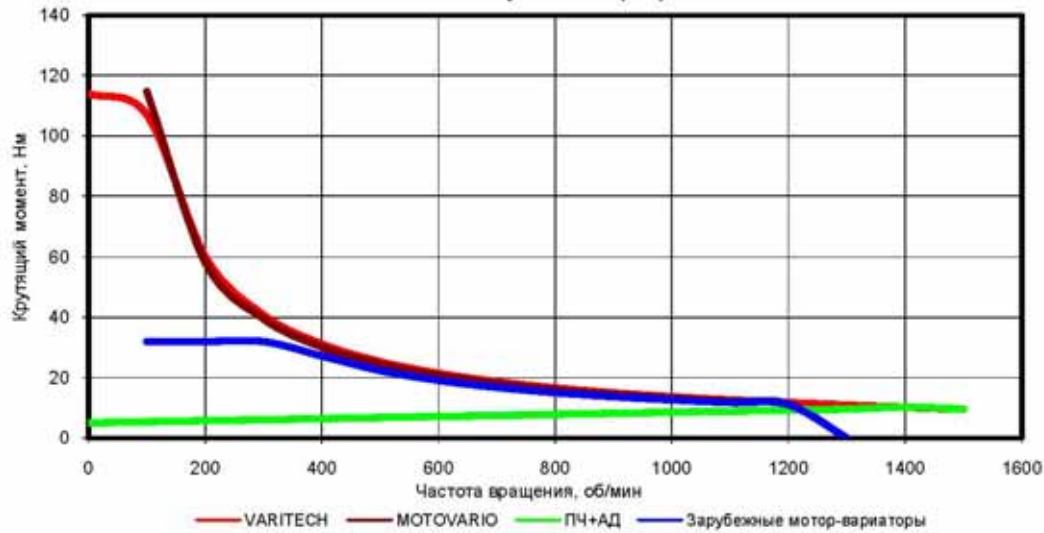
**Влияние на питающую сеть в пусковом режиме (пусковой ток).** При прямом пуске асинхронного электродвигателя, присоединенного к вариатору, пусковой ток в несколько раз превышает номинальный, причем с ростом момента инерции нагрузки негативное влияние на питающую сеть увеличивается. Мотор-вариаторы **Combarco AUTOVARIO** за счет адаптивной характеристики передаточного отношения обеспечивают быстрый переход электродвигателя в номинальный режим при пуске, что во многих случаях снижает пусковую нагрузку на сеть по сравнению с существующими мотор-вариаторами. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод, равно как и мотор-вариаторы **Combarco VARITECH**, не перегружают питающую сеть в процессе пуска.

**Влияние на питающую сеть в номинальном режиме (электромагнитные помехи).** Электроприводы, содержащие преобразователи частоты, являются источниками электромагнитных помех, которые могут нарушить работу различных электронных устройств. Однако, грамотный монтаж преобразователей, применение дросселей, экранированных кабелей и радиочастотных фильтров в значительной степени решают эту проблему.

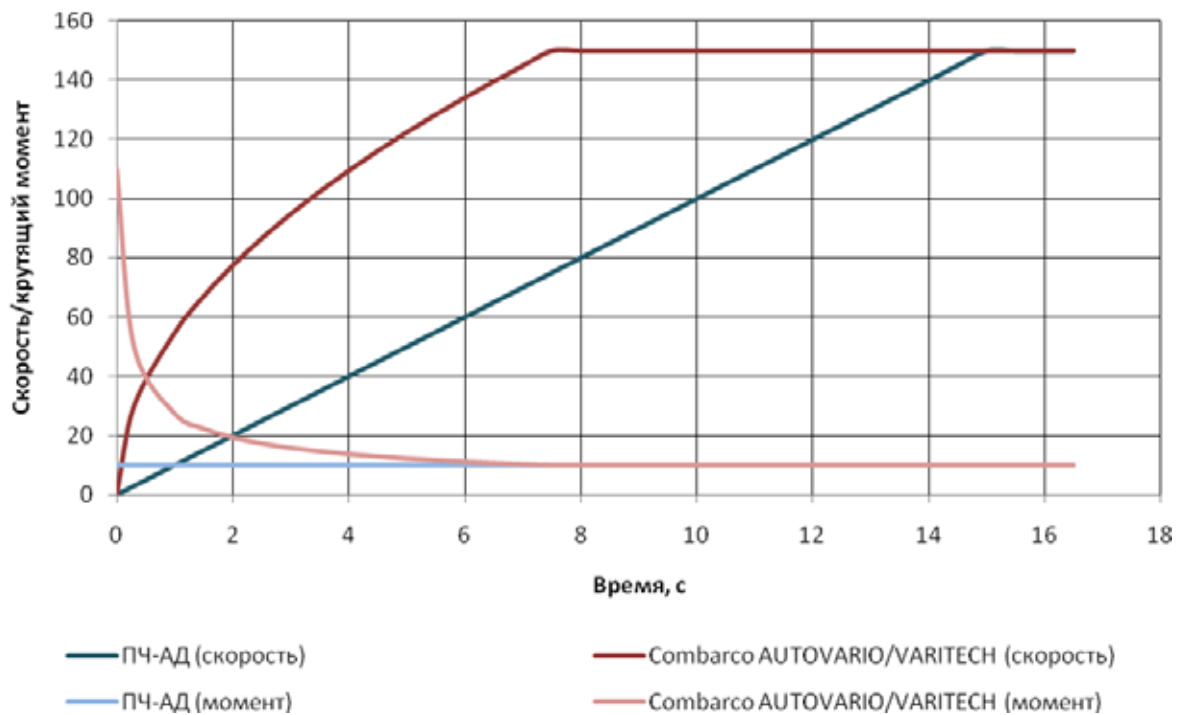
**Масса и габариты (при равных величинах максимального момента и номинальной частоты вращения).** Для тяжелых условий работы, с высокими пусковыми и перегрузочными моментами электропривод подбирают по величине максимального момента. При этом в номинальном режиме работы привод оказывается существенно недогруженным по крутящему моменту и току. Применение мотор-вариаторов **Combarco AUTOVARIO/VARITECH** в таких случаях позволит существенно уменьшить массу и габариты приводов. Примерные величины массы приводов различных типов (для величины максимального момента 150 Нм и номинальной частоты 1500 об/мин) составляют:

- ПЧ-АД: 90 кг (двигатель и преобразователь частоты на 9 кВт)
- Зарубежные мотор-вариаторы: 80 кг (двигатель на 6 кВт)
- Вариаторы **Combarco AUTOVARIO/VARITECH**: 20..25 кг (двигатель и преобразователь частоты на 1.5 кВт)

**Предельные механические характеристики в длительном режиме (S1)**



**Разгон высокоинерционной нагрузки**



Существует ряд производственных механизмов с высоким приведенным моментом инерции и необходимостью частых пусков (конвейеры, центрифуги, приводы манипуляторов). Если допускаются повышенные ускорения, применение мотор-вариаторов **Combarco AUTOVARIO/VARITECH** в подобных случаях позволит как минимум вдвое уменьшить время разгона до номинальной скорости, что повысит производительность механизма при той же мощности разгонного привода.

Таким образом, мотор-вариаторы Combarco обладают комплексом уникальных потребительских свойств, которые позволяют значительно снизить массу, металлоемкость и стоимость приводов, работающих в особо тяжелых условиях. Также вариаторы Combarco могут быть применены в сочетании с редукторами любого типа для получения необходимых механических характеристик привода.