

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ SCHNEIDER ELECTRIC В МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИНАХ

СЕРГЕЙ ДОВГИЛЕНКО, К. Т. Н.

sergej.dovgilenko@se.com

В статье рассматриваются функциональные возможности преобразователей частоты Altivar Machine ATV340 и Altivar Process ATV900, позволяющие применять их в производственных машинах с большим количеством электроприводов, объединенных общим каналом управления и мониторинга и общим питанием, а также имеющих общие кинематические связи.

Развитие производства привело к появлению сложных машин с большим количеством исполнительных механизмов, приводимых в движение электродвигателями. При этом в механизмах используется либо один электродвигатель, соединенный со всеми рабочими органами через механические передачи, либо для каждого рабочего органа предназначен индивидуальный электродвигатель или даже группа электродвигателей. Машины с несколькими индивидуальными электродвигателями относятся к многодвигательным системам [1].

Использование механизма индивидуального электродвигателя для каждого рабочего органа упрощает производственные машины за счет уменьшения количества кинемати-

ческих связей, позволяет удобнее разместить рабочие органы, а также делает возможным регулирование скорости вращения отдельных рабочих органов машины. Однако чтобы обеспечить независимое управление каждым рабочим органом, требуется предусмотреть синхронный пуск и останов, поддержание требуемого соотношения моментов, возможность сложных зависимостей между скоростями разных рабочих органов и т. д. Большинство этих задач решается с помощью организации системы автоматизированного управления на базе преобразователей частоты. Преобразователи частоты в таких системах должны обеспечивать поддержание необходимого момента, быструю реакцию на его изменение, высо-

кую динамику и большую глубину регулирования скорости, а также возможность работы в двигательном и тормозном режимах. Данным требованиям отвечают преобразователи частоты Altivar Process серии ATV900 и Altivar Machine серии ATV340 компании Schneider Electric. Их основные характеристики приведены в таблице 1.

Каждый рабочий орган производственной машины выполняет определенную функцию, но их действия должны быть слаженными, чтобы обеспечить работоспособность всей машины. Для этого необходимо, чтобы все рабочие органы были организационно взаимосвязаны. Что достигается либо синхронизацией работы отдельных рабочих органов путем настройки их на определенные

**ТАБЛИЦА 1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ALTIVAR PROCESS ATV900 И ALTIVAR MACHINE ATV340**

Параметр	Altivar Process ATV900	Altivar Machine ATV340	
Диапазон мощности для трехфазного питания 380 В, кВт	0,75–800	0,75–75	
Перегрузочная способность по току, %	120	150	
Перегрузочная способность по моменту, %	180	для 0,75–22 кВт	220
		для 30–75 кВт	180
Работа с асинхронным двигателем	Векторное управление потоком в замкнутой системе. Векторное управление напряжением в разомкнутой системе. Скалярный закон управления с возможностью формирования отношения U/f по пяти точкам.		
Работа с синхронным двигателем	Векторное управление потоком. Векторное управление с обратной связью по скорости.		
Работа с датчиком обратной связи по скорости	Резольвер. Датчик с импульсными выходами 5 В/12 В: A/B/I, SSI, EnDat 2.2. Датчик с аналоговыми выходами SinCos, Hiperface, 1 Vpp.		
Тормозной транзистор (подключение тормозных сопротивлений)	До 90 кВт встроенный, при более высоких значениях нужен дополнительный модуль		

**ТАБЛИЦА 2. КОММУНИКАЦИОННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ALTIVAR PROCESS ATV900 И ALTIVAR MACHINE ATV340**

Встроенные коммуникационные интерфейсы	Modbus RTU, Ethernet IP / Modbus TCP
Дополнительные коммуникационные модули	ProfiNet, CANopen, Profibus DP, DeviceNet, EtherCAT

**ТАБЛИЦА 3. ПРИМЕРЫ МЕХАНИЗМОВ, ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ КОТОРЫХ РАБОТАЮТ В РЕКУПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ**

Вид привода	Условие
Электроприводы подъемных механизмов кранов и порталов	При спуске грузов
Электроприводы наклонных конвейеров	При движении вниз
Приводы разматываемых барабанов (разматывателей) станов холодной прокатки, текстильных, печатных или бумагоделательных станков	Постоянно, для поддержания натяжения
Приводы входной и выходной моталки в реверсивных прокатных станах	При изменении направления движения после каждого пропуска металла
Приводы разгрузочной части в агломерационной машине конвейерного типа	Постоянно, для плавного спуска тележек с верхней ветви агломерационной машины на нижнюю

повторяющиеся циклы, либо за счет управления электроприводами рабочих органов от общей системы управления, объединенной с ними информационными каналами. В тех случаях, когда применяются преобразователи частоты, предпочтительнее вариант с общей системой управления. Для подключения преобразователей частоты Altivar Process ATV900 и Altivar Machine ATV340 к автоматизированной системе управления используются коммуникационные интерфейсы, аналоговые или дискретные входы-выходы, а также их комбинация. В таблице 2 приведен перечень коммуникационных интерфейсов этих преобразователей частоты.

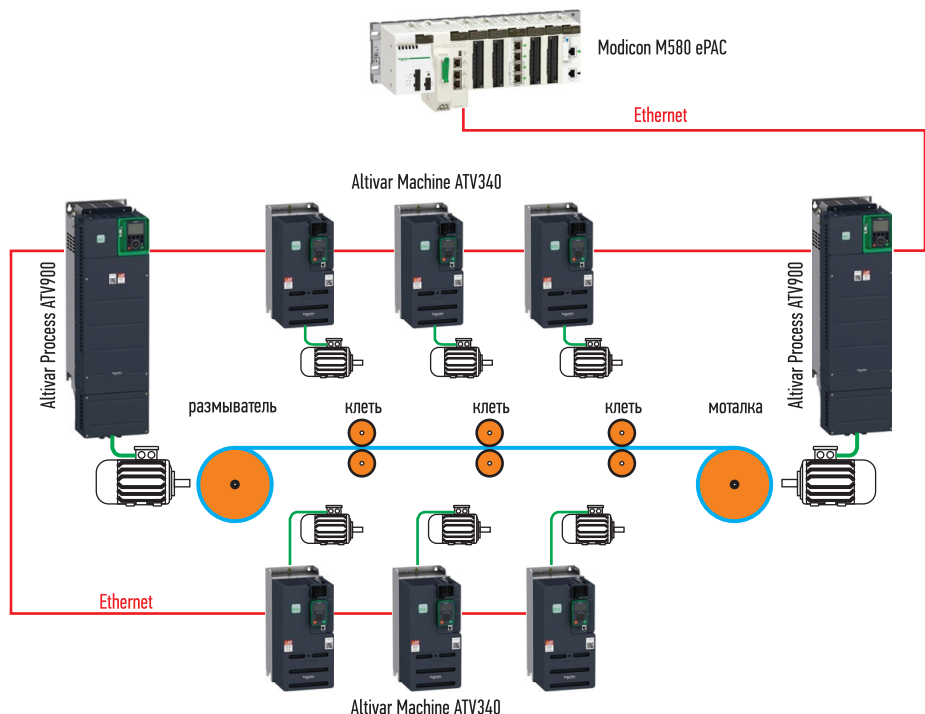
Рассмотрим вариант структуры системы управления преобразователями частоты для стана холодной прокатки (рис. 1). В состав прокатного стана входят электроприводы моталки, разматывателя и электроприводы рабочих клеток, каждый из них связан по каналу Ethernet с программируемым логическим контроллером. Полоса металла, скрученная в рулон, с разматывателя проходит сквозь несколько клеток, уменьшающих ее толщину, и снова наматывается в рулон на моталке. В процессе работы стана система управления контролирует угловую скорость моталки, разматывателя и скорости валков, а также линейную скорость ленты, обеспечивает строгую зависимость между угловыми скоростями всех элементов для сохранения нужной толщины полосы металла и ее целостности.

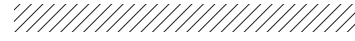
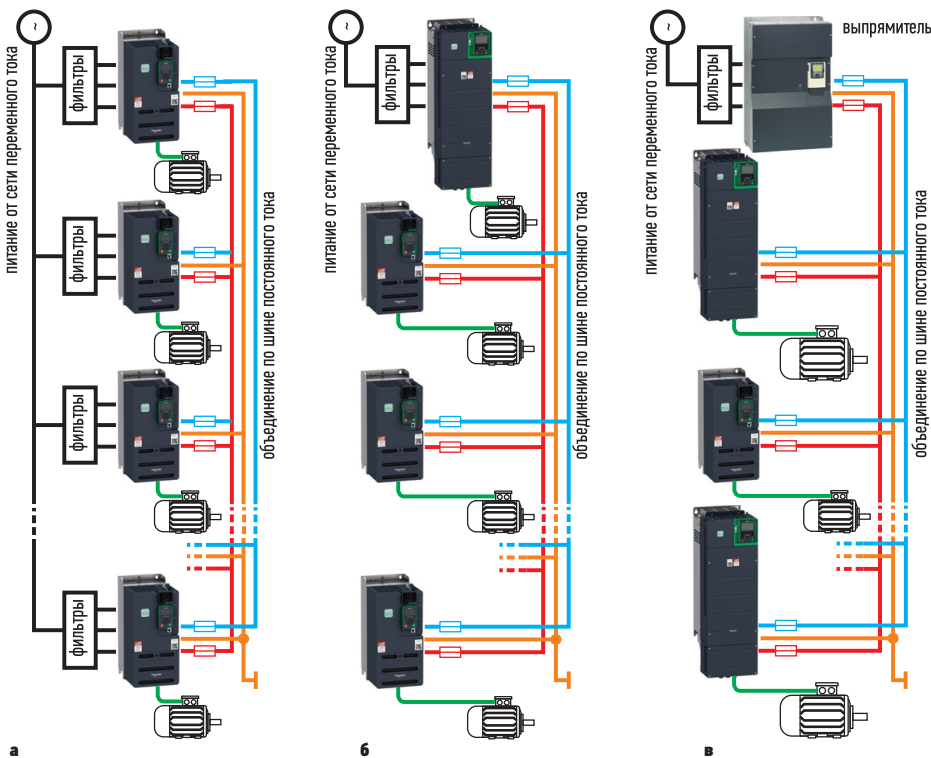
На производстве в состав многодвигательных промышленных систем могут входить электродвигатели, которые периодически или постоянно работают в режиме рекуперации электроэнергии. В таблице 3 приведены примеры электропривода механизмов в случае, когда возможен периодический или постоянный режим рекуперации.

Электроэнергию, отдаваемую в сеть электродвигателями при рекуперации, могут потреблять другие электродвигатели, питаю-

щиеся от той же сети. В случае использования электродвигателей с преобразователями частоты рекуперация электроэнергии в сеть осуществляется с помощью управляемого выпрямителя напряжения. Для этой цели компания Schneider Electric разработала преобразователи частоты с активным выпрямителем напряжения Altivar Process ATV980 [3]. При применении неуправляемого выпрямителя возврат электроэнергии в сеть невозможен. В этом случае для использования

**РИС. 1.** ▾ Структура системы управления преобразователями частоты для стана холодной прокатки





выпрямителю, который питается от сети переменного тока (рис. 2в).

Первый вариант объединения, по звену постоянного тока, возможен только для преобразователей частоты с одинаковой топологией выпрямителя. В том случае, если многодвигательная система состоит из большого количества электродвигателей с разными номинальными мощностями, целесообразно применять вариант, когда все преобразователи частоты питаются только постоянным током от одного общего выпрямителя.

Также компания Schneider Electric выпускает системы преобразователей частоты Altivar Process ATV990 для управления несколькими электродвигателями, часть из которых периодически или постоянно работает в режиме рекуперации электроэнергии. При этом они могут иметь как общий неуправляемый выпрямитель (ATV991), так и управляемый (ATV992), который осуществляет возврат электроэнергии в сеть.

Электродвигатели одного рабочего органа производственной машины могут быть объединены между собой жесткой, фрикционной или упругой связью. Особенностью такого объединения является одинаковое и одновременное управление электродвигателями рабочего органа. При объединении нескольких электродвигателей на одну нагрузку скорость всех электродвигателей одинакова, а момент должен распределяться равномерно между всеми электродвигателями.

Применение нескольких электродвигателей, объединенных на одну нагрузку, позволяет использовать электродвигатели меньшей мощности и меньших габаритов, чем в случае применения одного электродвигателя, уменьшить суммарный момент инерции и нагрузку на зубчатые передачи и другие элементы конструкции, а также упростить кинематические связи механизма. В промышленности объединение электродвигателей на общую нагрузку используется в таких механизмах, как вращающиеся печи, мельницы, конвертеры, грохоты, прокатные станы, конвейеры, краны и т. д.

При применении преобразователей частоты для регулирования скорости вращения рабочих органов производственной машины возможны следующие варианты

**РИС. 2. ▲**  
Варианты объединения преобразователей частоты Altivar по шине постоянного тока:  
а) первый вариант;  
б) второй вариант;  
в) третий вариант

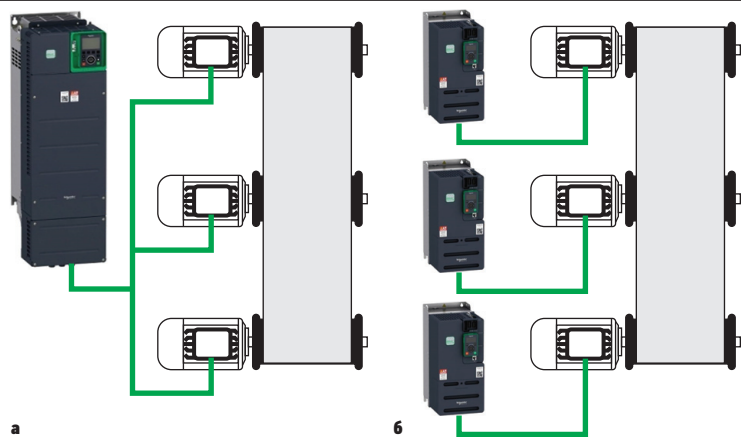
энергии рекуперации электродвигателями, работающими в двигательном режиме, преобразователи частоты всех электродвигателей объединяют по звену постоянного тока [4]. Такое объединение приводит к уменьшению потребления общей электроэнергии из сети. При этом возможно сокращение числа и номиналов тормозных устройств и тормозных резисторов, на которых рассеивается энергия рекуперации.

Для преобразователей частоты Altivar Machine ATV340 и Altivar Process ATV900 применяют три вари-

анта объединения по звену постоянного тока [4]:

- все преобразователи частоты объединены по звену постоянного тока и каждый питается от сети переменного тока (рис. 2а);
- все преобразователи частоты объединены по звену постоянного тока и только один, мощность которого больше или равна сумме мощностей всех электродвигателей системы, питается от сети переменного тока (рис. 2б);
- все преобразователи частоты объединены по звену постоянного тока и подключены к общему

**РИС. 3. ►**  
Варианты управления объединенными на одну нагрузку электродвигателями:  
а) подключение к одному преобразователю частоты;  
б) подключение отдельного преобразователя частоты к каждому электродвигателю



управления объединенными на одну нагрузку электродвигателями: подключение всех электродвигателей к одному преобразователю частоты (рис. 3а) или использование индивидуального преобразователя частоты для каждого электродвигателя (рис. 3б).

В случае подключения нескольких электродвигателей к одному преобразователю частоты на его выходе формируется напряжение в соответствии с некоторым абстрактным электродвигателем, имеющим усредненные характеристики по всем электродвигателям. Из-за того, что характеристики электродвигателей одного конструктивного исполнения могут отличаться друг от друга, их механические характеристики также разнятся. При этом могут отличаться как синхронные скорости, так и жесткости механических характеристик. Также электродвигатели могут работать в различных условиях: например, может быть неодинаково распределена нагрузка между ними или может неодинаково осуществляться охлаждение. В результате одни электродвигатели будут нагружать другие и даже возможен переход части электродвигателей в генераторный режим. При этом преобразователь частоты не отслеживает эти процессы, что является недостатком такого способа управления. Другой недостаток подключения нескольких электродвигателей к одному преобразователю частоты — преобразователь не может обеспечить защиту каждого электродвигателя в отдельности.

При применении для каждого электродвигателя индивидуального преобразователя частоты электродвигатели также могут нагружать друг друга. Однако ввиду того, что электродвигатели электрически не связаны между собой, можно управлять созданием момента для отдельных электродвигателей.

Для преобразователей частоты Altivar Machine ATV340 и Altivar Process ATV900 есть два варианта структуры управления электродвигателями, объединенными на одну общую нагрузку и управляемыми от индивидуального преобразователя частоты:

- электродвигатели работают на общую нагрузку и их преобразователи частоты связаны инфор-

мационно только по заданию скорости вращения;

- электродвигатели работают на общую нагрузку и их преобразователи частоты связаны информационно по заданию скорости вращения и сигналу, пропорциональному моменту на валу одного из электродвигателей.

При объединении преобразователей частоты Altivar Machine ATV340 или Altivar Process ATV900 только по заданию скорости вращения компенсации взаимного нагружения электродвигателей осуществляется за счет функции «выравнивание нагрузки» [2]. Данная функция позволяет обеспечить более «мягкую», чем естественная, механическую характеристику электродвигателя. Что, в свою очередь, дает возможность сделать одинаковыми механические характеристики всех электродвигателей. Следовательно, одинаковое повышение момента нагрузки будет провоцировать одинаковое снижение скорости вращения роторов всех объединенных электродвигателей. Что в итоге позволит избежать взаимной нагрузки электродвигателей друг другом.

Если выбран второй вариант, то при объединении преобразователей частоты Altivar Machine ATV340 или Altivar Process ATV900 по заданию скорости вращения и сигналу, пропорциональному моменту на валу одного из электродвигателей, возможно автоматическое выравнивание нагрузки между электродвигателями. При этом преобразователь частоты, который передает сигнал, ведущим, а остальные — ведомыми. Ведомые преобразователи частоты будут управлять электродвигателями так, чтобы уравновесить нагрузку. Для Altivar Machine ATV340 и Altivar Process ATV900 возможно объединение ведущего преобразователя частоты с ведомым либо по аналоговому сигналу, либо по Ethernet через MultiDrive Link [2]. Во втором случае возможно объединение до десяти преобразователей частоты.

В зависимости от того, жесткой или упругой кинематической связью объединены электродвигатели ведущего и ведомых преобразователей частоты, возможен различный выбор настройки системы «ведущий-ведомый»: «Rigid» (для

жесткого объединения) и «Elastic» (для упругого объединения). Эти два варианта настройки различаются тем, что в режиме «Elastic» возможно устранение нежелательных колебаний, возникающих из-за упругой связи, за счет настройки встроенных фильтров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электропривод на основе преобразователей частоты Altivar Machine ATV340 и Altivar Process ATV900 обладает функциональными свойствами, необходимыми для работы в многодвигательных промышленных машинах:

- большой перегрузкой по моменту;
- быстрой реакцией на его изменение;
- большой глубиной регулирования скорости;
- обеспечением работы в четырех квадрантах механической характеристики;
- возможностью «делиться» энергией рекуперации с другими электроприводами;
- выравниванием нагрузки при жесткой, фрикционной и упругой кинематических связях между несколькими электродвигателями;
- большим набором коммуникационных интерфейсов.

Благодаря этому возможно построение высокодинамичных производственных машин с небольшим количеством механических передач, с более удобным и компактным размещением рабочих органов, с меньшими моментами инерции вращающихся частей, с гибким управлением технологическим процессом вследствие управления скоростью каждого рабочего органа. Также использование данных преобразователей позволяет снизить общее энергопотребление промышленными машинами, в состав которых входят электроприводы, работающие в генераторном режиме. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ферстер Г. Г. Электрооборудование и электроснабжение установок гидромеханизации. М.: Энергия. 1977.
2. Altivar Process. Преобразователи частоты ATV930, ATV950, ATV960, ATV980. Руководство по программированию. 2016.
3. Преобразователи частоты Altivar Process ATV900. Каталог. 2017.
4. ATV900 DC bus sharing. Technical note. 2017.