

Частотно-регулируемый электропривод многодвигательного конвейера КЛМ-4500 для карьера ОАО «Разрез Березовский-1»

Отченаш В.А., Иванцов В.В.

В ОАО «Разрез «Березовский-1» работает магистральный конвейер КЛМ-4500, который состоит из двух отдельных конвейеров длиной 14,8 км каждый. В свою очередь, каждый конвейер длиной 14,8 км разбит на пять частей (перегрузок): конвейер №1 — 3 км; конвейер №2 — 3,7 км; конвейер №3 — 3,4 км; конвейер №4 — 3,4 км; конвейер №5 — 1,3 км. Все части конвейеров приводятся в движение асинхронными электродвигателями с фазным ротором (АД ФР), получающими питание от сети 10 кВ 50 Гц.

Конвейер №1 приводят в движение три электродвигателя типа АКДЗ-15-76-6УЗ ($P_n=1250$ кВт; $n_n=985$ об/мин.), установленные в начале конвейера, и один электродвигатель АКДЗ-16-62-6УЗ ($P_n=1600$ кВт; $n_n=990$ об/мин.), установленный в конце конвейера №1.

Каждый конвейер №2, №3 и №4 приводится в движение четырьмя АД ФР типа АКДЗ-16-62-6УЗ ($P_n=1600$ кВт), причем три электродвигателя установлены в начале каждого конвейера, а один электродвигатель — в конце.

Конвейер №5 приводится в движение тремя электродвигателями типа АКДЗ-15-76-6УЗ $P_n=1250$ кВт, которые установлены в начале конвейера.

Конвейер КЛМ-4500 ОАО «Разрез «Березовский-1» работает с нагрузкой ниже проектной, что делает целесообразным снижение скорости конвейера для экономии электроэнергии, продления срока службы оборудования конвейера и снижения эксплуатационных затрат.

Для плавного пуска и регулирования скорости конвейера с приводными асинхронными электродвигателями необходимо использование преобразователей частоты. Частотное регулирование скорости асинхронных электродвигателей с фазным ротором возможно осуществлять либо с установкой преобразователя частоты в цепь статора, либо с установкой преобразователя частоты в цепь ротора. ЗАО «ЭРАСИБ» предлагает использовать частотное регулирование скорости конвейера за счет установки преобразователей частоты типа «ЭРАТОН-ФР» в цепь ротора АД ФР.

Преобразователь частоты типа «ЭРАТОН-ФР» устанавливается между цепью ротора и высоковольтной сетью, питающей статор АД ФР. На рис. 1 показана структурная схема пускорегулирующего устройства (ПРУ) для одного АД ФР с преобразователем частоты типа «ЭРАТОН-ФР».

Согласно рис. 1 пускорегулирующее устройство (ПРУ) АД ФР на базе «ЭРАТОН-ФР» представляет собой последовательное соединение двух транзисторных инверторов напряжения (роторного — ИР и сетевого — ИС) с накопительным конденсатором в промежуточном звене постоянного тока. Роторный и сетевой инверторы напряжения управляются по закону синусоидальной широтно-импульсной модуляции и обеспечивают плавный пуск и регулирование скорости электродвигателя за счет обмена энергией между ротором электродвигателя и высоковольтной питающей сетью без потерь мощности в пусковых роторных сопротивлениях. Для электромагнитной совместимости сетевого инвертора с питающей сетью в преобразователе «ЭРАТОН-ФР» использован «синусный» LC-фильтр, который не пропускает высокочастотные составляющие напряжения сетевого инвертора в питающую сеть.

Роторный инвертор преобразователя «ЭРАТОН-ФР» обеспечивает плавное нарастание момента электродвигателя до пуска и плавное бесступенчатое увеличение скорости электродвигателя в процессе разгона за счет векторного управления моментом электродвигателя с сохранением постоянного заданного динамического момента (постоянного ускорения) в процессе всего пуска. Темп разгона программируется.

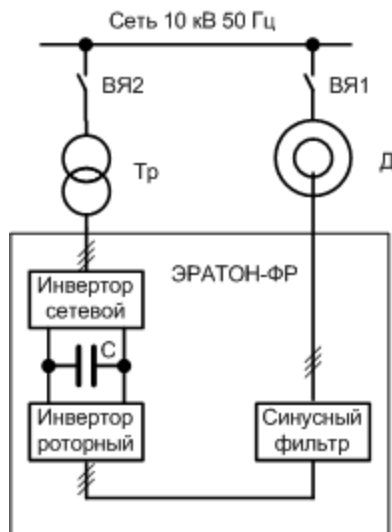


Рис.1. Структурная схема ПРУ АД ФР с преобразователем частоты «ЭРАТОН-ФР».

В процессе разгона конвейера роторные инверторы многодвигательного электропривода обеспечивают выравнивание моментов (токов роторов) электродвигателей. После окончания разгона конвейера роторные инверторы обеспечивают стабилизацию скорости конвейера и выравнивание нагрузки электродвигателей. Стабилизация номинальной скорости конвейера с ЧРЭП «ЭРАТОН-ФР» обеспечивается с точностью 1%, а выравнивание токов роторов с точностью 5%.

Сетевой инвертор преобразователя «ЭРАТОН-ФР» возвращает мощность скольжения двигателя в питающую сеть 10 кВ 50 Гц через согласующий трансформатор без потерь мощности в пусковых резисторах, что обеспечивает экономию электроэнергии при пусках и позволяет регулировать скорость конвейера в широких пределах без потерь мощности в пускорегулирующих устройствах электропривода.

При пуске конвейера по мере разгона электродвигателей мощность скольжения роторов уменьшается, и нагрузка сетевых инверторов снижается. К концу разгона электродвигателя сетевой инвертор преобразователя «ЭРАТОН-ФР» практически не нагружен активной мощностью скольжения АД ФР. По мере разгона конвейера и снижения мощности скольжения сетевые инверторы переводятся в режим генерации в сеть реактивной мощности, т.е. пускорегулирующее устройство переводится в режим компенсатора реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности обеспечивает разгрузку сети от реактивных токов и не требует затрат на установку дополнительных компенсаторов реактивной мощности.

Преобразователи частоты «ЭРАТОН-ФР» обеспечивают режим рекуперативного торможения электродвигателей с фазным ротором. За счет этого ПРУ с преобразователями частоты «ЭРАТОН-ФР» обеспечивает режим торможения конвейера с рекуперацией энергии движущихся масс в питающую сеть, что также повышает энергоэффективность конвейера.

ПРУ с преобразователями частоты «ЭРАТОН-ФР» обеспечивает работу конвейера на пониженной скорости 0,2 – 0,3 номинальной для ремонта, навески и замены ленты конвейера без ограничения продолжительности данного режима. При этом мощность скольжения возвращается в питающую сеть без потерь в роторных резисторах.

ПРУ с преобразователями частоты «ЭРАТОН-ФР» обеспечивает неограниченное число пусков конвейера.

ПРУ на базе ЧРЭП «ЭРАТОН-ФР» позволяет регулировать скорость конвейера в широких пределах без потерь мощности в цепях ротора электродвигателей, что обеспечивает энергоэффективность конвейера и существенное сокращение эксплуатационных затрат. Снижение скорости конвейера при снижении загрузки приводит к экономии электроэнергии, уменьшению износа механического оборудования конвейера, снижению эксплуатационных затрат, увеличению межремонтных периодов.

Преобразователи частоты «ЭРАТОН-ФР» позволяют разогнать электродвигатели конвейера до скорости выше синхронной, если номинальный момент электродвигателей

превышает момент сопротивления на сверхсинхронной скорости, т.е. если есть запас по моменту электродвигателей на сверхсинхронной скорости. Это обеспечит рост производительности конвейера без дополнительных инвестиций.

Перечисленные выше достоинства пускорегулирующих устройств электродвигателей с фазным ротором на базе ЧРЭП «ЭРАТОН-ФР» делают перспективным использование данных ПРУ на многодвигательных конвейерах при условии приемлемой цены и малых сроков окупаемости первоначальных затрат.

Силовая схема, конструктивное исполнение и стоимость собственно преобразователя частоты «ЭРАТОН-ФР» (без учета трансформатора) определяется параметрами роторной цепи асинхронного электродвигателя:

- напряжением между кольцами ротора при нулевой скорости,
- номинальным током ротора при номинальной нагрузке конвейера,
- максимальным током ротора при пуске нагруженного конвейера.

Поскольку на конвейере КЛМ-4500 используются электродвигатели двух типоразмеров с близкими параметрами роторных цепей (одинаковый ток ротора 665 А и близкие значения напряжений между кольцами 1430 В и 1110 В), преобразователи частоты «ЭРАТОН-ФР-1600-1430-665» и «ЭРАТОН-ФР-1250-1110-665» для электродвигателей АКДЗ-16-62-6УЗ (1600 кВт) и АКДЗ-15-76-6УЗ (1250 кВт) соответственно выполняются по однотипным схемам, имеют одинаковую конструкцию и близкие цены. Конструктивно каждый преобразователь частоты «ЭРАТОН-ФР-1600-1430-665» и «ЭРАТОН-ФР-1250-1110-665» размещен в шести шкафах. Размеры одного шкафа (ВхШхГ) — 2200х700х500 мм. Масса одного шкафа — 200 кг. Стоимость одного преобразователя частоты «ЭРАТОН-ФР-1600-1430-665» для электродвигателя АКДЗ-16-62-6УЗ (1600 кВт) составляет сумму **5800 тыс. руб.** с НДС. Суммарная стоимость 13-ти преобразователей частоты «ЭРАТОН-ФР-1600-1430-665» составит сумму **75400 тыс. руб.** с НДС. Стоимость одного преобразователя частоты «ЭРАТОН-ФР-1250-1110-665» для электродвигателя АКДЗ-15-76-6УЗ (1250 кВт) составляет сумму **5600 тыс. руб.** с НДС. Суммарная стоимость 6-ти преобразователей частоты «ЭРАТОН-ФР-1250-1110-665» составит сумму **33600 тыс. руб.** с НДС. Общая стоимость всех 19-ти преобразователей частоты на одну часть из двух частей конвейера КЛМ-4500 составит сумму **109000 тыс. руб.** с НДС. Стоимость преобразователей на две части конвейера **218 млн. руб.**

Обмоточные данные, мощность и стоимость согласующего трансформатора для преобразователей частоты «ЭРАТОН-ФР» определяются мощностью электродвигателя, конфигурацией силовой схемы преобразователя частоты, требуемым диапазоном регулирования скорости электродвигателя (конвейера), типом зависимости момента электродвигателя при регулировании скорости, величиной реактивной мощности электродвигателя и необходимой степенью ее компенсации. Для преобразователей частоты «ЭРАТОН-ФР-1600-1430-665» и «ЭРАТОН-ФР-1250-1110-665» необходим специальный согласующий трансформатор с шестью гальванически несвязанными трехфазными вторичными обмотками. Мощность согласующего трансформатора определяется активной мощностью скольжения ротора электродвигателя в режиме S1 на минимальной скорости конвейера и компенсируемой реактивной мощностью электродвигателя. В таблице 1 приведены зависимости активной, реактивной и полной мощности согласующего трансформатора для двух преобразователей частоты (1600 кВт и 1250 кВт) при регулировании скорости электродвигателей с номинальным моментом на валу.

Из данных таблицы 1 следует, что, например, при скорости конвейера 0,6 номинальной для возврата активной мощности скольжения из ротора электродвигателя АКДЗ-16-62-6УЗ (1600 кВт) в питающую сеть трансформатор должен передавать активную мощность 640 кВт.

Таблица 1

Параметр	«ЭРАТОН-ФР-1600-1430-665»						«ЭРАТОН-ФР-1250-1110-665»					
Q, кВА	910						710					
n*	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
P, кВт	0	160	320	480	640	800	0	125	250	375	500	625
S, кВА	910	924	965	1029	1113	1212	710	721	753	803	868	946

Для компенсации 910 кВА реактивной мощности этого электродвигателя трансформатор должен быть рассчитан на полную мощность не менее 1113 кВА при скорости 0,6 номинальной. Для выполнения аналогичных условий работы электродвигателя мощностью 1250 кВт потребуются трансформатор с полной мощностью не менее 868 кВА.

Поскольку каждый конвейер разбит на пять частей с расположением нескольких электродвигателей рядом друг с другом, целесообразно использовать один согласующий трансформатор для питания группы преобразователей частоты, осуществляющих управление данной группой электродвигателей. На рис.2, рис.3 и рис.4 показаны три структурные схемы группового питания преобразователей частоты различных частей конвейера. В таблице 2 приведены мощности и стоимость согласующих трансформаторов при групповом питании преобразователей частоты пяти частей конвейера.

Таблица 2

Наименование Подстанции	Электродвигатели	$P_{\text{всум.}}$ кВт	$P_{\text{тр.}}$ кВт	$S_{\text{тр.}}$ кВА	$P_{\text{тип.}}$ кВт	$S_{\text{тип.}}$ кВА	Цена $P_{\text{тип}}$ тыс. руб.	Цена $S_{\text{тип}}$ тыс. руб.
Нач 1	3 x 1250 =	3750	1500	2604	1600	3150	1450	2250
Кон 1 + Нач 2	4 x 1600 =	6400	2560	4452	2500	4500	1900	2850
Кон 2 + Нач 3	4 x 1600 =	6400	2560	4452	2500	4500	1900	2850
Кон 3 + Нач 4	4 x 1600 =	6400	2560	4452	2500	4500	1900	2850
Кон 4 + Нач 5	1600+3x1250=	5350	2140	3717	2500	4500	1900	2850
Итого							9050	13650

В последних двух столбцах таблицы 2 приведена стоимость «сухих» многообмоточных преобразовательных трансформаторов для одной части конвейера КЛМ-4500 при скорости конвейера 0,6 номинальной для двух вариантов:

1. Трансформаторы рассчитаны только на активную мощность преобразователей частоты $P_{\text{тип}}$ без компенсации реактивной мощности электродвигателей. Суммарная стоимость трансформаторов одной части конвейера в этом случае составит сумму **9050 тыс. руб.** с НДС. На весь конвейер КЛМ-4500 стоимость удваивается и равна **18100 тыс. руб.**

2. Трансформаторы рассчитаны на активную мощность трансформаторов и на компенсацию реактивной мощности электродвигателей. Суммарная стоимость трансформаторов для одной части КЛМ-4500 в этом случае составит сумму **13650 тыс. руб.** с НДС. Стоимость трансформаторов для всего КЛМ-4500 равна **27300 тыс. руб.**

Для подключения пяти согласующих трансформаторов к сети 10 кВ 50 Гц дополнительно потребуется пять высоковольтных ячеек общей стоимостью порядка **1500 тыс. руб.** с НДС.

Таким образом, для плавного пуска конвейера КЛМ-4500 и регулирования его скорости в диапазоне 0,6 — 1,0 номинальной скорости потребуется оборудование на базе частотно-регулируемого электропривода по цепи ротора типа «ЭРАТОН-ФР» на общую сумму, не превышающую **250 млн. рублей.**

Решение аналогичной задачи за счет частотно-регулируемого электропривода с установкой высоковольтных (10 кВ) преобразователей частоты в цепь статора асинхронных электродвигателей потребует приобретения оборудования у фирм, предлагающих даже относительно недорогую продукцию, на общую сумму не менее **430 млн. рублей.**

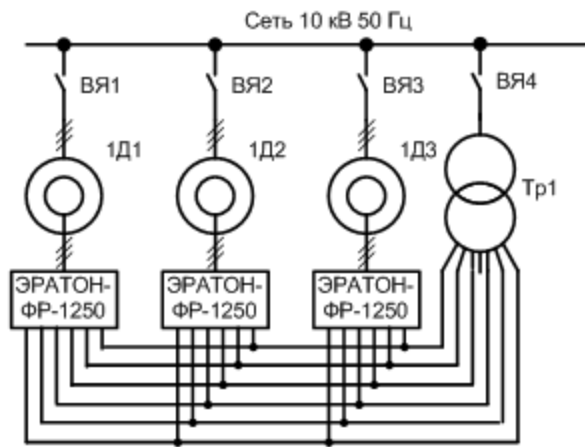


Рис. 2. Структурная схема станции управления в начале конвейера №1

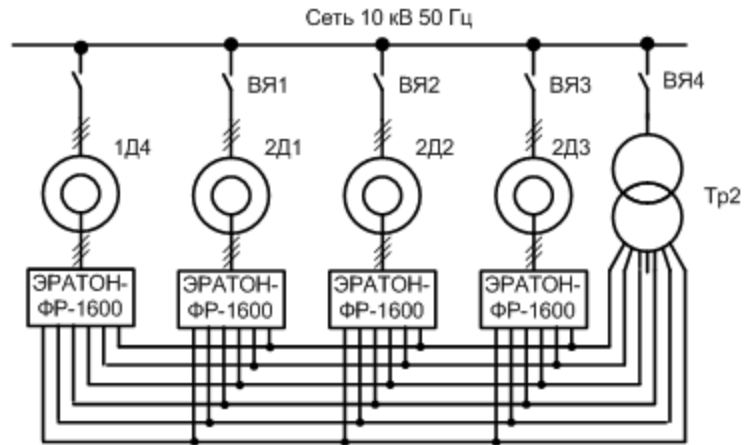


Рис. 3. Структурная схема станции управления в конце конвейера №1 и начале конвейера №2

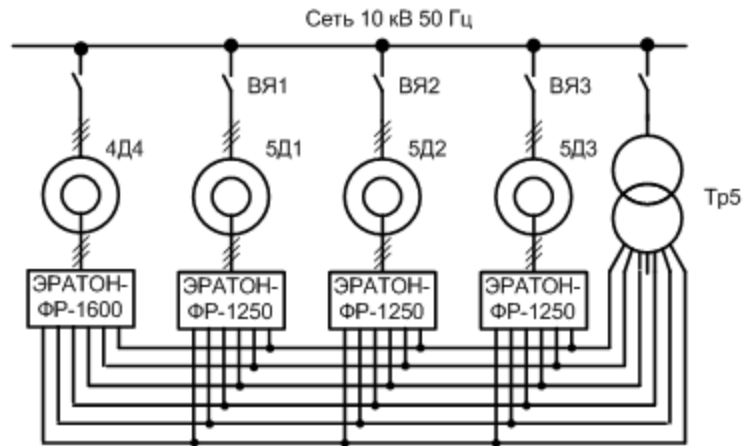


Рис. 4. Структурная схема станции управления в конце конвейера №4 и начале конвейера №5