

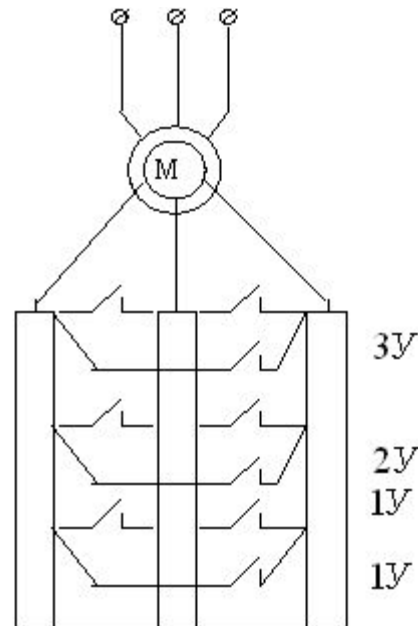


**КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**



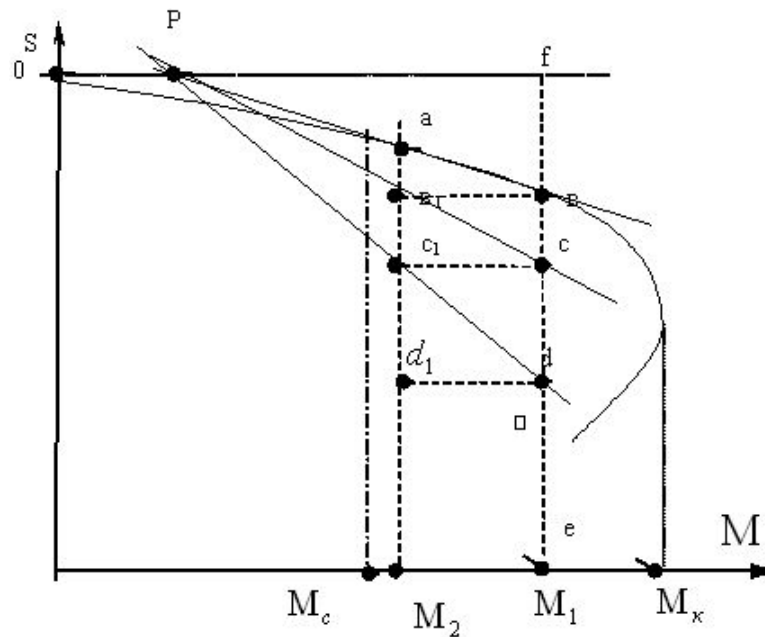
## **Системы электропривода конвейеров 2**

## АЭПТ + ФР + ПС



б)

**Схема коммутации и переключения пусковых сопротивлений с помощью трехфазного контактора переменного тока, контакты которого соединены в треугольник.**



*Пусковые характеристики асинхронных  
электродвигателей с фазным ротором.*



## Точный метод расчета ступеней пускового сопротивления в роторе АД

*При расчете пусковых сопротивлений в роторе АД задаются максимальным пусковым моментом  $M1=const$  на всех ступенях пуска. Момент переключения  $M2$  также выбирается постоянным на всех ступенях.*

*Значение  $M1$  ограничено динамическими усилиями в обмотках ротора и большим нагревом при увеличении тока ротора в зоне критического скольжения.*

*Для АД при расчетах пусковых сопротивлений принимают:*

$$M1 < 0,85 M_k; \quad M2 > (1,1 - 1,2) M_c.$$



Задавшись моментами  $M1$  и  $M2$ , находят на естественной характеристике точки  $a$  и  $b$  и проводят луч  $ab$  до пересечения его с горизонталью при  $S=0$ . Так находится точка  $P$  - полюс нормальной пусковой диаграммы. Далее из точки  $b$  проводится горизонталь до пересечения с линией  $M2=const$  (точка  $b_1$ ), проводится второй луч ( $pb_1$ ) до пересечения в точке  $c$  с линией  $M1=const$ . Таким же образом далее строится оставшаяся часть нормальной диаграммы  $cc_1dd_1e$ . Все лучи этой диаграммы, называемой также лучевой диаграммой пересекаются в точке  $P$  (полюсе) на линии  $pf$  при  $S=0$ .



*При этом необходимо задаться скольжениями на искусственной характеристике  $S_u$ , соответствующими уровням переключения пусковых ступеней. В данном примере - 3 пусковые ступени.*

*Расчет пусковых сопротивлений основан на использовании соотношения :*

$$R_2 = r_2 \frac{S_u}{S_e}$$

*где  $R_2$  - полное активное сопротивление линии ротора (включая пусковые сопротивления);*

*$r_2$  – внутреннее реальное активное сопротивление ротора (не приведенное);*

*$S_e$  - скольжение на естественной характеристике.*

*Скольжение на естественной и искусственных механических характеристиках измеряют отрезками на вертикали для момента  $M_1$  .*



# КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



***Это графоаналитический метод расчета. Используется при наличии семейства универсальных механических характеристик, на основе которых строится нормальная пусковая (лучевая) диаграмма, а затем производится расчет ступеней пусковых сопротивлений.***



## **Приближенный метод расчета ступеней пускового сопротивления в роторной цепи АД.**

**Аналитический метод, сущность которого заключается в линеаризации механических характеристик и в расчетах в относительных относительно номинальных параметров двигателя.**

**Вводится параметр отношения моментов  $M_1$  и  $M_2$  :**

$$\lambda = \frac{M_1}{M_2} = \frac{M_1^*}{M_2^*},$$

где  $M_1^*$   $M_2^*$  - моменты переключения в относительных единицах, приведенные к  $M$  ном.





*Для нормального пуска:*

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{S_n M_2^*}}$$

*$S_n$  - номинальное скольжение АД;  
 $m$  – количество пусковых ступеней.*

*Необходимо задаться  $M_2^*$  по соотношению  $M_2^* > (1,1 - 1,2) M_c$  и после определения  $\lambda$  найти  $M_1^* = \lambda M_2^*$ .*

*Величину  $M_1^*$  надо проверить, чтобы она удовлетворяла соотношению:  $M_1^* < 0,7 M_{к*}$ .*



**Величины сопротивлений отдельных пусковых ступеней, находятся по соотношениям (в абсолютных или относительных единицах):**

$$r_{\text{доб3}} = r_2 (\lambda - 1); \quad r_{\text{доб2}} = r_{\text{доб3}} \lambda; \quad r_{\text{доб1}} = r_{\text{доб2}} \lambda;$$

$$R_{23} = r_2 \lambda; \quad R_{22} = R_{23} \lambda; \quad R_{21} = R_{22} \lambda.$$



**Если число пусковых ступеней не задано, то его надо определить предварительно по соотношению:**

$$m = \frac{\ell q \frac{1}{S_x M_1^*}}{\ell q \frac{M_1^*}{M_2^*}}$$

**где значениями  $M_1^*$  и  $M_2^*$  надо задаться и варьировать, ориентируясь на принятый способ пуска (форсированный или нормальный).**



## **Достоинства электропривода АЭПТ + ФР + ПС**

- **Увеличенный пусковой момент.**
- **Возможность формирования нескольких искусственных механических характеристик.**
- **Возможность обеспечения пусковых режимов ленточных конвейеров.**

### **Недостатки**

- **Нестабильность пусковых характеристик.**
- **Регулирование связано с большими потерями энергии, выделяемой в роторе.**
- **Невозможность длительного поддержания скорости, меньшей номинальной.**

Регулируемые по скорости электроприводы:  
2.1. АЭПТ + ФР + тиристорный коммутатор в цепи ротора

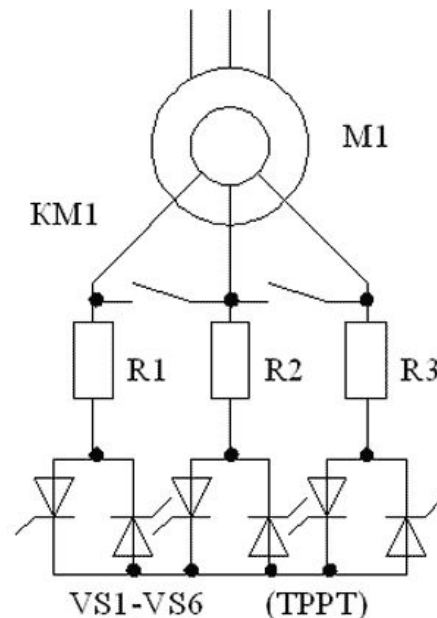


Рисунок 1 – Силовая схема электр опривода  
с тиристорным регулятором роторного тока

**Улучшение эксплуатационных характеристик асинхронных электроприводов шахтного магистрального ленточного конвейера достигается на основе применения тиристорного регулятора роторного тока.**



***Силовая схема содержит тиристорный коммутатор (на трёх парах встречно-параллельно соединённых тиристоров), включенных в цепь ротора асинхронного двигателя (АД) с резисторной нагрузкой. Перевод двигателя привода конвейера на естественную механическую характеристику по окончании разгона осуществляется контакторным короткозамыкателем КМ1 цепи ротора.***

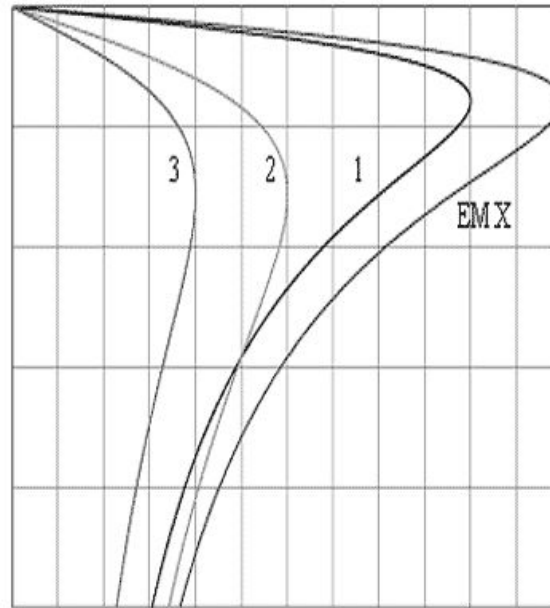
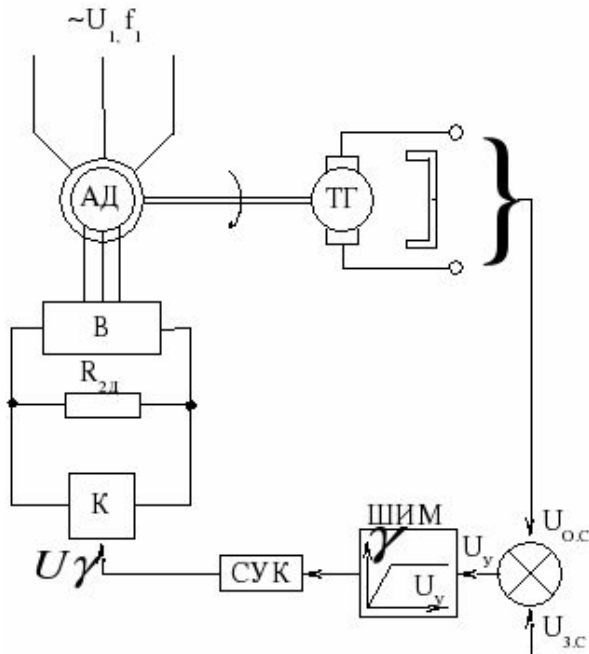


Рисунок 2 - Характеристики АД при  
использовании ТРРТ

***ТРРТ*** позволяет получать семейство искусственных механических характеристик 1 – 3) двигателя с меньшими значениями максимального момента в сравнении с естественной механической характеристикой двигателя (при фазовом регулировании тиристоров ).

## Замкнутая схема импульсного регулирования скорости асинхронного двигателя с помощью резистора в цепи ротора



В схеме с импульсным регулированием  $R$  в цепи выпрямленного тока ротора для получения жестких характеристик использована ООС по скорости двигателя. В роторную цепь АД включен неуправляемый трехфазный выпрямитель  $B$ , к выходу которого подключен резистор  $R_{2Д}$ . Параллельно резистору включен управляемый ключ  $K$ . Управление ключом осуществляет широтно-импульсный модулятор ШИМ. При поступлении на вход ШИМ сигнала ошибки  $U_y = U_{з.с} - U_{о.с}$  он генерирует импульсы управления ключом  $K$ .





$R_{ср} = R_p + R_{доп}(1-Y)$ , где  $Y = t / T$   
 $Y$  - скважность следования импульсов.

*При этом происходит периодическое замыкание и размыкание  $K$ .*

*При замыкании  $K$  шунтируется ротор*

$$Y = 1,$$

$$R_{ср} = R_p$$

*Работа двигателя на естественной характеристике*

*При размыкании  $K$*

$$Y = 0$$

$$R_{ср} = R_p + R_{доп}$$

*Работа двигателя на искусственной характеристике*



## ***Достоинства электропривода АЭПТ + ФР + тиристорный коммутатор в цепи ротора***

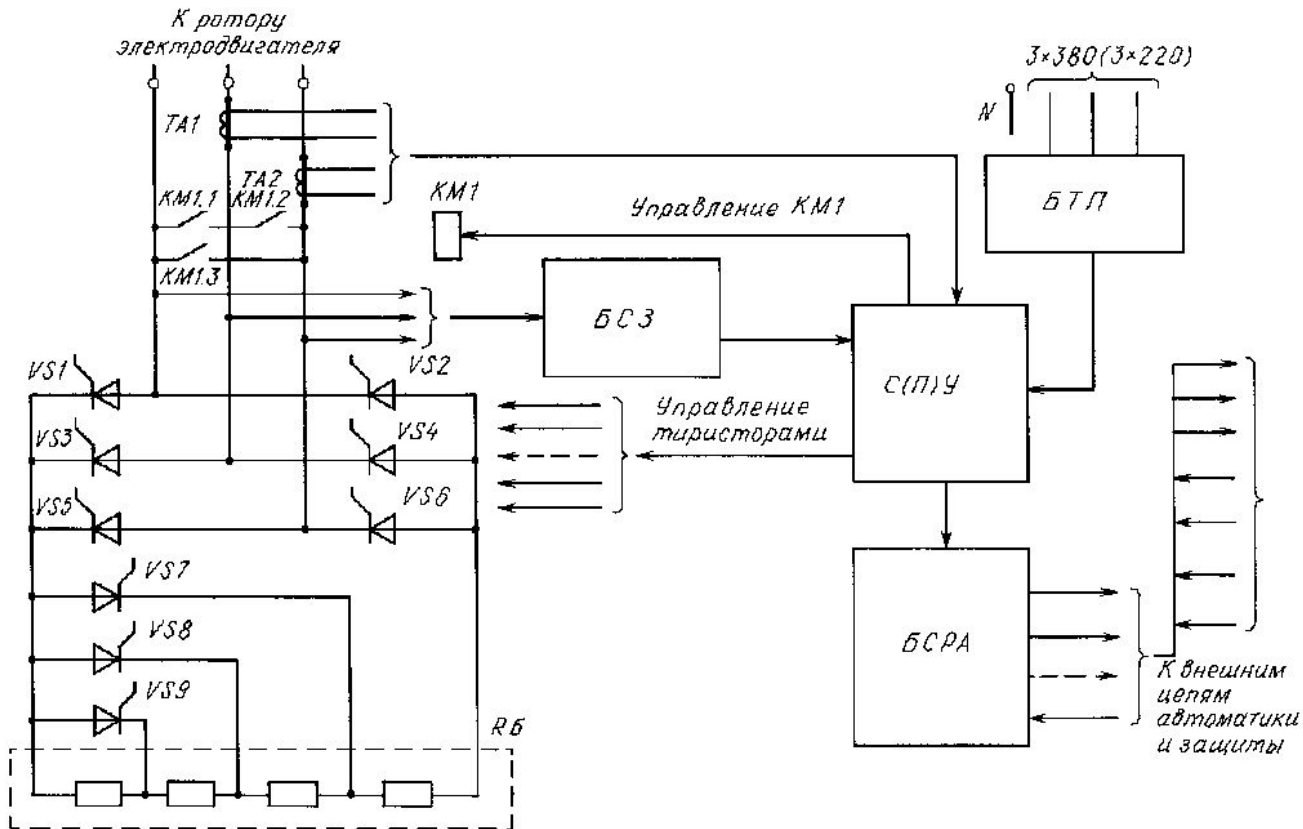
- Возможности плавного регулирования скорости при пусках конвейера.***
- Возможности формирования любой промежуточной механической характеристики в диапазоне изменения скважности от 0 до 1.***
- Возможности стабилизации скорости на любой искусственной механической характеристике.***



## **Промышленные устройства плавного пуска серии УПТФ для асинхронных двигателей с фазным ротором**

**Предназначены для бесконтактного плавного пуска асинхронных двигателей с фазным ротором. Основное применение устройств - запуск высоковольтных асинхронных двигателей мощностью 200... 1600 кВт для ленточных конвейеров.**

**Простота, надежность и относительно небольшая цена обеспечили ОАО «Электропривод» более 1000 поставок УПТФ за 30 лет с момента их разработки. Например, при реализации проекта на разрезе «Березовский» ОАО «Электропривод» поставил УПТФ для почти 60 конвейеров, половина из которых многодвигательные, в т.ч. многодвигательный конвейер 4x1600кВт.**





**БСЗ - блок синхронизации и защиты; БСРА - блок согласования, реле и автоматики; БТП - блок трансформаторов питания; С(П)У - система (плата) управления; КМ1.1 - КМ1.3 - контакты контактора; КМ1 - катушка контактора; Rб - блок балластных резисторов; ТА1, ТА2 - трансформаторные датчики тока; VS1-VS6 - силовые тиристоры трехфазного мостового управляемого выпрямителя; VS7-VS9 - тиристорные ключи; N – нейтраль.**

**Силовая схема устройства состоит из трехфазного мостового управляемого выпрямителя, подключенного к выводам контактных колец асинхронного электродвигателя, балластного резистора, величина которого в процессе пуска изменяется шунтированием тиристорными ключами. На входе тиристорного выпрямителя установлены трансформаторные датчики тока.**

**Изменением угла управления выпрямителя по сигналам системы управления осуществляется плавное регулирование тока ротора электродвигателя и, тем самым, его момента от нулевого до максимального значения, определяемого величиной балластного резистора.**

**После окончания пуска электродвигателя его роторная цепь закорачивается контактором.**



**УПТФ для многодвигательного мощного конвейера обеспечивает:**

- **Плавное нарастание момента электродвигателей до начала движения, обеспечивающее выбор люфтов и зазоров в механических передачах и натяжение конвейерной ленты.**
- **Плавный безударный пуск конвейера за время от 10 до 60 секунд с сохранением постоянного заданного ускорения в процессе пуска за счет обеспечения постоянного динамического момента электродвигателей (не более 1,3 номинального момента электродвигателя).**
- **За счет формирования благоприятных характеристик пуска электродвигателей (выбора зазоров, люфтов, плавного натяжения резино-тросовых лент, канатов) и плавного разгона с постоянным динамическим моментом повышается надежность и долговечность работы приводимых механизмов.**
- **Выравнивание нагрузки (моментов) электродвигателей после достижения номинальной скорости.**
- **Кратковременная (до 10 минут) работа холостого конвейера на пониженной скорости (0,2–0,3 номинальной) для ремонта, навески и замены ленты конвейера.**
- **Допустимое число пусков конвейера в час не менее трех.**



**За счет формирования благоприятных характеристик пуска электродвигателей (выбора зазоров, люфтов, плавного натяжения резино-тросовых лент, канатов) и плавного разгона с постоянным динамическим моментом повышается надежность и долговечность работы приводимых механизмов.**

**УПТФ работают также в режиме многодвигательного привода с одним ведущим и несколькими ведомыми агрегатами - для особо длинных конвейеров.**

**Возможна также работа на пониженной скорости. При использовании УПТФ плавное нарастание момента электродвигателей до пуска конвейера обеспечивается регулированием роторного выпрямителя, а относительно плавный пуск конвейера за заданное время обеспечивается ступенчатым регулированием пусковых сопротивлений тиристорными коммутаторами УПТФ. Выравнивание нагрузки (моментов) электродвигателей после пуска конвейера осуществляется за счет сопротивлений невыключаемых ступеней роторных резисторов. Кратковременная работа конвейера на пониженной скорости также обеспечивается за счет введения пусковых сопротивлений в цепь ротора электродвигателей. Торможение конвейера осуществляется без рекуперации энергии в сеть самовыбегом или механическим тормозом.**



**Широкое применение УПП типа УПТФ на конвейерах оправданно при редких пусках и остановках и при отсутствии необходимости длительного регулирования скорости конвейера. Частые пуски и регулирование скорости приводных электродвигателей с фазным ротором с помощью устройств типа УПТФ сопровождаются значительными непроизводительными затратами электроэнергии. .**

**При каждом пуске конвейера с постоянным моментом сопротивления и постоянным ускорением электроэнергия  $\mathcal{E}_п$  (кВт · час), затрачиваемая на нагрев пусковых роторных сопротивлений одного электродвигателя, может быть определена с достаточной для инженерных расчетов точностью по следующему выражению:**

$$\mathcal{E}_п = 0,5 \cdot P_n \cdot M^*п \cdot T_п : 3600,$$

**где  $P_n$  — номинальная мощность приводного электродвигателя в кВт;  
 $M^*п$  — пусковой момент электродвигателя относительно номинального;  
 $T_п$  — время пуска электродвигателя до номинальной скорости в сек.**





**При значении пускового момента  $M^*_{п} = 1,3$  пуск одного приводного электродвигателя груженого конвейера мощностью 630 кВт за 10 секунд с помощью УПТФ сопровождается потреблением электроэнергии, затрачиваемой на нагрев пусковых роторных сопротивлений, равным 1,14 кВт · час.**

**При относительно редких технологических остановках и пусках с помощью УПТФ груженого конвейера происходят относительно небольшие непроизводительные затраты электроэнергии.**



**Величина электроэнергии, затрачиваемая на нагрев пусковых роторных сопротивлений одного УПТФ при работе конвейера на пониженной скорости  $Э_{пс}$  (кВт · час), приближенно определяется:**

$$Э_{пс} = P_n \cdot M^* \cdot (1 - n^*) \cdot T_{пс},$$

**где  $P_n$  — номинальная мощность приводного электродвигателя;  
 $M^*$  — момент электродвигателя при пониженной скорости относительно номинального;  
 $n^*$  — скорость конвейера относительно номинальной;  
 $T_{пс}$  — время работы электродвигателя на пониженной скорости в часах.**



**При снижении скорости нагруженного конвейера с помощью УПП типа УПТФ на непроизводительный нагрев пусковых роторных сопротивлений затрачивается электроэнергия, сопоставимая с электроэнергией, затрачиваемой на совершение полезной работы по транспортировке груза.**

**При  $M^* = 0,9$  снижение скорости конвейера до  $n^* = 0,5$  сопровождается непроизводительными затратами электроэнергии на нагрев пусковых сопротивлений одного УПТФ, управляющего двигателем мощностью 630 кВт, равными 283 кВт · час.**

**Непроизводительные потери в этом режиме по отношению к затратам на полезную работу составляют 100%**



**КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**



***Спасибо за внимание!***

***Зав кафедрой автоматизации  
производственных процессов  
д.т.н., проф. Брейдо Иосиф Вульфович  
Тел. +77212(565184)  
+77771343827  
E-mail: [jbreido@kstu.kz](mailto:jbreido@kstu.kz)  
[jbreido@mail.ru](mailto:jbreido@mail.ru)***