

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Б С С Р**

**Белорусский ордена Трудового Красного знамени политехнический
институт**

Н.Л. АРХАНГЕЛЬСКИЙ

На правах рукописи

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО
АСИНХРОННОГО МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С
ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ
(Специальность 05.232 - электрооборудование)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель доктор технических наук,
профессор А.М. Быстров**

Минск - 1971 г.

Работа выполнена на кафедре "Электропривод и автоматизация промышленных установок" Ивановского энергетического института имени В.И.Ленина.

Научный руководитель -- доктор технических наук, профессор

А. М. БЫСТРОВ

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Л. Б. Гейлер.

Кандидат технических наук, доцент А. М. Сутормин.

Ведущее предприятие -- Ивановское отделение ВНИИ Электропривод

Автореферат разослан " 8 " ноя 1971 г.

Защита диссертации состоится " 11 " июня 1971 года на заседании Совета по присуждению ученых степеней по энергетическим специальностям Белорусского политехнического института.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу: г. Минск 220027, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, Ученому секретарю Совета по энергетическим специальностям.

Дата защиты будет объявлена дополнительно в газете "Вечерний Минск".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат технических наук

/Л. Л. Червинский/

Развитие текстильной промышленности в нашей стране, как и других отраслях народного хозяйства, идёт по линии технического совершенствования технологического оборудования, повышения скоростей обработки подфабрикатов и внедрения автоматических поточных линий, что определяется соответствующими директивами КПСС. Создание высокопроизводительных поточных линий для обработки ткани не может быть решено без создания системы многодвигательного автоматизированного электропривода, наиболее полно удовлетворяющего всем требованиям технологических поточных линий.

В настоящее время для поточных линий отделочного производства проектируются и изготавливаются многодвигательные электроприводы постоянного тока по системе Г-Д с централизованным машинным преобразователем. Наличие в воздушной среде отделочного производства (красильные, отбельные, печатные цеха и т.п.) химически агрессивных паров кислот и щелочей при температуре $20 - 35^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 80% настоятельно выдвигает проблему создания многодвигательных регулируемых приводов переменного тока с использованием наиболее простых и надёжных асинхронных короткозамкнутых двигателей.

Исключительно высокие энергетические и эксплуатационные качества тиристоров, являющихся практически идеальными бесконтактными коммутаторами, позволяет по-новому подойти к созданию регулируемых многодвигательных электроприводов с асинхронными двигателями. Наиболее заманчивой, при этом, представляется разработка многодвигательного асинхронного привода с управляемым тиристорным преобразователем частоты, способного успешно конкурировать с регулируемым приводом постоянного тока. Как нам известно, работ, посвященных вопросам разработки и исследованию многодвигательного частотно-регулируемого асинхронного электропривода для поточных линий отделочного производства текстильной промышленности, до сих пор нет.

Реферлируемая диссертационная работа посвящается выяснению возможности и целесообразности применения частотно-регулируемого асинхронного многодвигательного электропривода с централизованным преобразователем частоты (ЩЧ) для поточных линий текстильной промышленности.

Основные задачи работы сводятся к следующему:

1. Выбор и обоснование наиболее рациональных схем статических преобразователей частоты в соответствии с требованиями к электроприводу технологических поточных линий текстильной промышленности.

2. Выбор и обоснование способов компенсации возможных рассогласований линейных скоростей в системах с ПЧ.

3. Разработка и исследование схемных решений многодвигательного асинхронного электропривода.

4. Анализ и исследование режимов работы асинхронного двигателя с тиристорным регулятором напряжения (ТРН) в цепи статора.

5. Разработка методики исследования переходных процессов в САП двигателя "ведомой" машины с различными исполнительными органами узла компенсации рассогласований.

6. Разработка методики расчета согласованного пуска и останова многодвигательного асинхронного электропривода с ПЧ.

7. Экспериментальная проверка полученных теоретических решений на лабораторной установке.

Диссертация состоит из 5 глав, 6 приложений и содержит более ста схем, графиков и осциллограмм.

Первая глава посвящена выбору и разработке принципиальных схем тиристорного преобразователя частоты (ПЧ). В этой главе дается обзор существующего состояния разработок статических ПЧ и выявляются требования к электроприводу поточных линий отделочного производства, характерной особенностью которых является постоянство статического момента.

Электропривод поточных линий должен обеспечивать:

1. Возможность плавного, одновременного и эпизодического регулирования рабочей (базисной) скорости всех машин, входящих в состав поточной линии в диапазоне от $2 : 1$ до $10 : 1$.

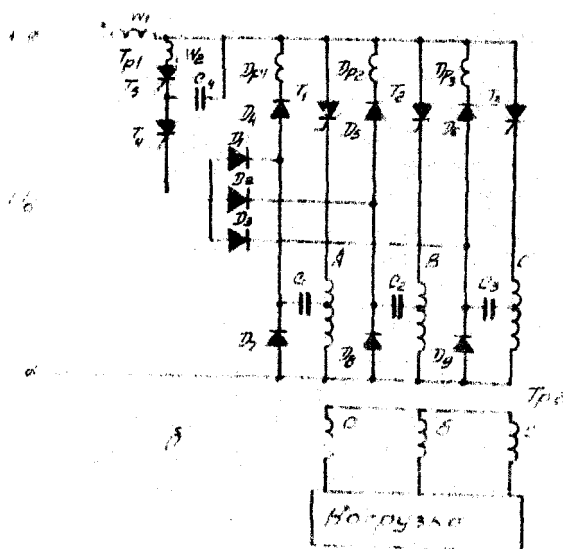
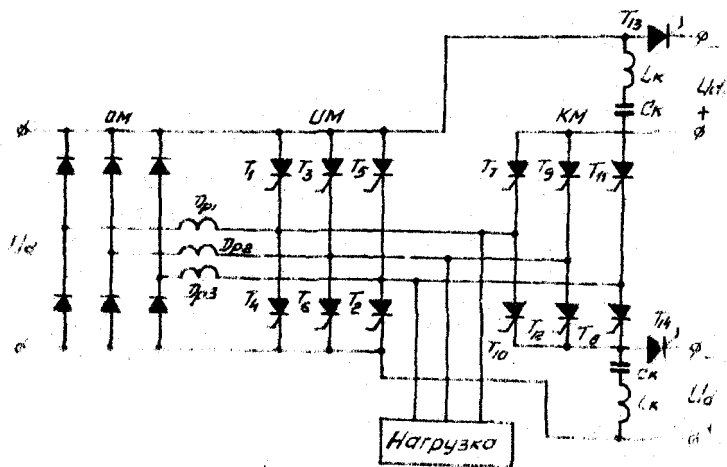
2. Возможность дополнительного изменения скорости двигателей "ведомых" машин в пределах $\pm 5 \div 10\%$ от базисной для целей компенсации возможных рассогласований линейных скоростей тканей на рабочих органах машин.

3. Возможность одновременного, плавного и согласованного пуска, останова и торможения всех машин, входящих в состав поточных линий.

В диссертационной работе рассматриваются ПЧ с инвертором напряжения, которые имеют жесткую внешнюю характеристику и обеспечивают регулирование частоты в широких пределах. Из существующего многообразия построения силовых схем ПЧ, для агрегатов с установленной мощностью двигателей 15 + 80 кВт, на данном этапе наиболее целесообразным следует считать ПЧ с звеном постоянного тока и вынесенным контуром коммутации. На рис. 1а представлена схема мостового ПЧ, где использован нерегулируемый источник постоянного тока, а регулирование напряжения ведётся широтно-импульсным способом в самом инверторе (ИМ). ПЧ имеет общее устройство коммутации в каждом из звеньев инвертора. Коммутирующее устройство заряжает конденсаторы C_k от вспомогательного источника постоянного тока, а коммутационный мост КМ разряжает их для переключения тиристоры ИМ. Тиристоры T_{13} и T_{14} работают на несущей частоте модуляции. Здесь получаем хорошее использование коммутирующих конденсаторов; упрощаем силовую часть ПЧ, за счет совмещения функций инвертора и регулятора напряжения в одном устройстве; добиваемся высокого использования двигателя. Для агрегатов с установленной мощностью не более 10 + 15 кВт разработан ПЧ на базе нулевого инвертора напряжения с выходным трехфазным трехстержневым трансформатором. На разработку такого ПЧ получено авторское свидетельство № 66039. Из проведенного анализа кривых выходного напряжения нулевого инвертора выявлен наиболее приемлемый способ формирования напряжения широтно-импульсным методом с углом открытого состояния силового тиристора 180° . В принятой схеме широтно-импульсная модуляция напряжения осуществляется по кривой ступенчатого характера с коэффициентом модуляции 0,82.

ПЧ рис. 1б имеет общее устройство гашения, состоящее из трансформатора TR_1 , зарядного тиристора T_5 , гасящего тиристора T_4 и коммутирующей емкости C_4 . При работе силового тиристора, например T_1 , в режиме широтно-импульсной модуляции конденсатор C_1 разряжается через часть первичной обмотки фазы А и отдает запасенную в нем реактивную энергию в нагрузку. Конденсаторы $C_1 - C_3$, кроме пропускания реактивного тока, осуществляют ещё логическую операцию запрета пропускания гасящего импульса на закрытый силовой тиристор.

Для обеспечения необходимого закона регулирования напряжения по отношению к частоте, каналы управления напряжением и частотой в разработанной системе управления разделены.



Диаг. 1

Во второй главе рассматриваются вопросы обоснования принципов построения систем многодвигательных асинхронных электроприводов с ЦЧ.

На основании анализа различных способов компенсации возможных рассогласований линейных скоростей на рабочих органах производственных машин выявлены наиболее перспективные:

1. С использованием магнитного усилителя (МУ);

2. С применением тиристорного регулятора напряжения (ТРН) в цепи статора двигателя "ведомой" машины.

Обе системы обеспечивают однозонное регулирование скорости вниз от естественной характеристики и, следовательно, предпочтение следует отдать двигателям с повышенным скольжением.

Система с применением ТРН по статическим характеристикам эквивалентна дроссельному электроприводу, однако она имеет ряд преимуществ: тиристоры, как коммутрующие аппараты не вносят дополнительной инерционности в систему регулирования двигателя "ведомой" машины, потери мощности в тиристорах незначительны, мощность управления мала. В качестве датчика компенсатора данные системы позволяют использовать бесконтактные системы, что повышает надежность работы системы автоматического регулирования, а различные схемные решения дают возможность использовать нелинейную выходную характеристику для обеспечения требуемой величины чувствительности регулятора.

Выбранные способы компенсации возможных рассогласований автоматически устанавливают величину напряжения на двигателе "ведомой" машины в соответствии с нагрузочным моментом и величиной установленного соотношения скоростей между смежными машинами, поэтому выбор рационального закона частотного управления многодвигательным приводом с ЦЧ определяется, в основном, рабочими характеристиками двигателя "ведомой" машины.

Анализ характеристик двигателей при частотном управлении в *Мет. - конст.* проведен по полной схеме замещения, где величина абсолютного скольжения является функцией частоты и напряжения и находится из выражения:

$$\beta = z_2'' \left\{ \frac{D \frac{(U_{\text{ин}} \alpha \gamma')^2}{M} - z_1 (B \alpha + E)}{z_1^2 A + X_K''^2 (B \alpha + 2E) \alpha} - \sqrt{\left[\frac{D \frac{(U_{\text{ин}} \alpha \gamma')^2}{M} - z_1 (B \alpha + E)}{z_1^2 A + X_K''^2 (B \alpha + 2E) \alpha} \right]^2 - \frac{z_1^2 + (B \alpha + 2E) \alpha}{z_1^2 A + X_K''^2 (B \alpha + 2E) \alpha}} \right\} \quad (1)$$

Токи схемы замещения в общем случае зависят от момента и абсолютного скольжения и выражаются соотношениями:

$$I_1 = \sqrt{\left(\frac{z_2''}{cB} \cdot \frac{1}{\beta} + \frac{2z_0'}{cB} + \frac{AB}{z_2'' BC} \right) M} \quad (2)$$

$$I_2'' = \sqrt{\frac{M}{c z_2''} \cdot \beta} \quad (3)$$

$$I_0' = \sqrt{\frac{z_2''^2 \cdot \frac{1}{\beta} + X_K''^2 \beta}{cB z_2''} \cdot M} \quad (4)$$

где: $A = z_0'^2 + (X_0' + X_1' + X_2'')^2$; $X_K'' = X_1' + X_2''$;
 $B = z_0'^2 + X_0'^2$; $E = z_1 \cdot z_0'$; $C = \frac{171}{\omega_{\text{ин}}}$; $D = \frac{cB}{2}$;
 $z_2'' = z_2' \sigma^2$; $z_0' = z_0 \sigma$; $X_1' = X_1 \sigma$; $X_2'' = X_2' \sigma^2$; $X_0' = X_0 \sigma$

$$\sigma = \sqrt{1 + \frac{X_1'^2 + 2X_0 X_1}{z_0'^2 + X_0'^2}} \quad \text{-- модуль коэффициента приведения параметров двигателя.}$$

На основании выражений 1 + 4 составлена программа расчета характеристик (I_1 , I_2' , $I_0 = \varphi(\alpha, \gamma')$; η , $\cos \varphi$, потери) асинхронного двигателя на ЭЦВМ "Урал-2". Проведенный анализ полученных характеристик показал, что в системах с ШЧ с двигателями типа АОС следует считать рациональным закон пропорционального регулирования $\frac{U}{f} = \text{const}$ ($\alpha = \gamma$) в зоне частот выше 35 + 40 гц. Коэффициент завышения напряжения по отношению к зако-

пу $\alpha = \gamma$ при частотах ниже 40 гц должен выбираться из условия минимума потерь в двигателе "ведущей" машины.

Глава третья посвящена вопросам исследования частотно-регулируемого многодвигательного электропривода с ТРН в цепи статора двигателя "ведомой" машины.

Асинхронный двигатель является специфической активно-индуктивной нагрузкой, фазовый угол которого φ , зависящий от скольжения и частоты, изменяется в широких пределах. В данном случае устройство управления должно выдавать сигнал такой величины и длительности, чтобы обеспечить надёжное включение тиристоров во всей зоне возможных углов включения, определяемых значением угла φ . Поэтому была разработана система управления ТРН на базе быстродействующих полуволновых магнитных усилителей, в основу которой положены: простота, технологичность, точность угла регулирования, помехоустойчивость. Управление тиристором идёт пачкой импульсов с частотой 2 + 3 кГц. Длительностью, соответствующей углу регулирования, который лежит в пределах 0 + 180°. Отклонение последнего при изменении частоты от 5 до 75 гц не более 15%, что вполне приемлемо в системах с ЦПЧ.

Из многообразия схемных решений ТРН в работе исследуются наиболее распространенные схемы с встречно включенными тиристорами или с симисторами в каждой фазе (симметричные схемы ТРН) и схемы с встречно включенным диодом и тиристором (несимметричные схемы ТРН). Наличие высших гармонических составляющих тока в системах с ТРН оказывает существенное влияние на область их применения для целей регулирования скорости двигателя.

Анализ составляющих тока статора с различными схемами ТРН рассмотрен на примере двигателя АОС-52-6. Относительное значение величины тока первой гармоники (K_1) с различными углами регулирования θ в функции скольжения для несимметричной (а) и симметричной (б) схемами ТРН показано на рис. 2.

Для другого двигателя (i) серии АОС величину K_{i2} можно уточнить по выражению:

$$K_{i2} = K_i \cdot E \quad (5)$$

где: $E(s) = 1 + \frac{\cos \varphi_i - \cos \varphi_i}{\cos \varphi_i}$

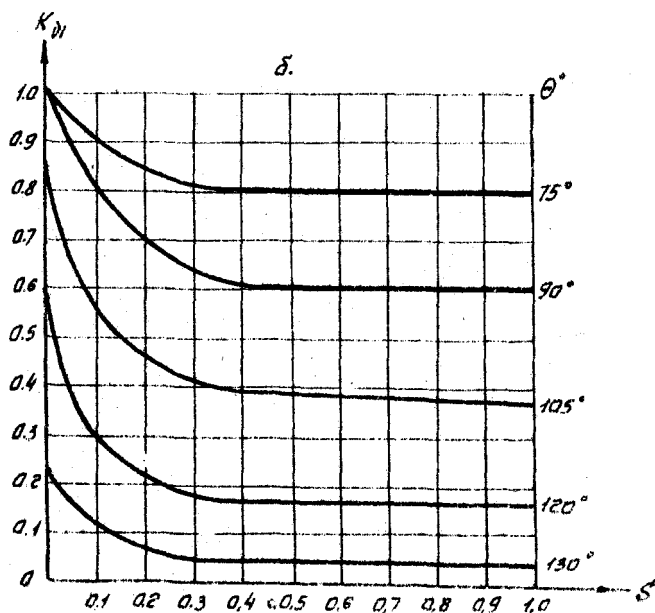
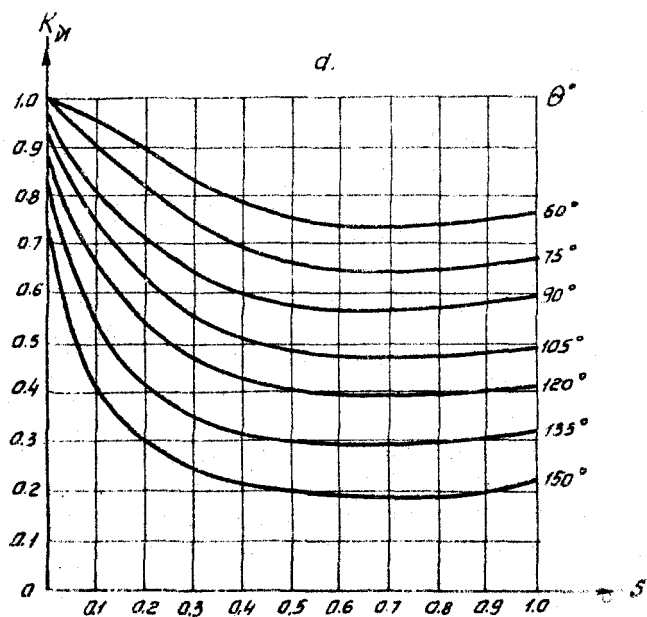


Рис. 2.

Как показали эксперименты, относительная величина высших гармонических составляющих тока ($\nu = 2, 4, 5 \dots$) мало зависит от скольжения в зоне двигательного режима, поэтому их величина с достаточной степенью точности может быть рассчитана по выражению:

$$K_{\nu=2,4,5,\dots}' = K_0(\theta') + [K'(\theta') - K_0(\theta')](1 - \cos \varphi) \quad (6)$$

где: $K_0(\theta')$ — относительная величина соответствующей гармонической составляющей тока при работе ТРН на активную нагрузку;

$K'(\theta')$ — при работе ТРН на индуктивную нагрузку.

Гармонические составляющие токов статора и ротора определяются по выражениям:

$$\bar{I}_w = I_1(S) \cdot K_{\nu}(\theta', S); \quad \bar{I}_{2\nu}'^2 = \frac{I_{1\nu}^2}{A_{\nu}} \quad (7)$$

где:
$$A_{\nu} = \frac{z_2'^2}{S_{\nu}^2 \cdot \alpha^2 \cdot \nu^2 \cdot \chi_0^2}$$

Момент, создаваемый ν -ой гармоникой, определится:

$$M_{\nu} = \frac{n_1 z_2'}{\omega_{1H}} \cdot \frac{I_{2\nu}'^2}{S_{\nu} \cdot \alpha \cdot \nu} \quad (8)$$

На основании вышеописанной методики составлена программа расчета на ЭЦВМ "Урал-2" механических и рабочих характеристик асинхронного привода с ТРН. Как показали многократные эксперименты и расчет, в системах с ТРН зона критического момента с увеличением угла регулирования смещается в область меньших скольжений, что объясняется следующими факторами:

1. Изменяются параметры двигателя — с увеличением угла возрастает индуктивное сопротивление. Это подтверждается характером изменения $\cos \varphi$ — он уменьшается с увеличением угла.
2. Изменяется коэффициент тока первой гармоники (K_1), который возрастает с уменьшением скольжения. Явление смещения зоны критического момента в большей степени наблюдается в несимметричной системе ТРН, т.е. возрастание относительной величины первой гармоники тока в этой системе начинается уже со скольжения $S \approx 0,6$, в то время как в симметричной системе с значения $S \approx 0,4$.

Отрицательный вращающий момент от второй гармоники тока в несимметричной системе ТРН достигает своего максимального значения при углах регулирования, близких к 120° , и составляет около 5% от номинального момента. В симметричной системе ТРН отрицательный вращающий момент от пятой гармоники не превышает величины 0,6% от номинального.

Как видно, моменты от высших гармонических тока на механическую характеристику двигателя при регулировании его скорости с помощью ТРН существенного влияния не оказывают.

Анализ потерь в двигателе с несимметричной схемой ТРН показал, что с увеличением угла регулирования момент и потери уменьшаются, причем, момент падает быстрее, т.к. величина потерь на один ваттометр нагрузки с увеличением угла возрастает. Аналогичное явление, но в меньшей степени, наблюдается и в симметричной системе ТРН. Рост относительного значения потерь вызывается дополнительными потерями от высших гармонических тока. Максимальное значение дополнительных потерь в несимметричной системе ТРН в 3 - 4 раза выше соответствующих потерь симметричного ТРН, причем, это увеличение тем выше, чем глубже регулирование скорости. Анализ характеристик привода с ТРН показал, что несимметричная система, как более простая и надежная, может быть использована для регулирования скорости двигателя в диапазоне не более $1,25 : 1$, что вполне достаточно для многодвигательных систем с ЦЧ. Применение симметричной схемы ТРН позволяет создавать многодвигательные асинхронные электроприводы при питании от сети промышленной частоты с небольшим диапазоном регулирования скорости (не выше $2 : 1$).

В четвертой главе исследуются переходные процессы в системе многодвигательного асинхронного электропривода с ЦЧ и тиристорным регулятором напряжения в цепи статора двигателя "ведущей" машины.

В данной работе переходные процессы рассматриваются с учетом деформации ткани звеном запаздывания в САП двигателя "ведущей" машины.

В общем случае переходные процессы в многодвигательном асинхронном электроприводе без учета электромагнитных процессов в двигателях описываются следующими уравнениями:

1. Электропривод "ведущей" машины "п"

$$\frac{d\omega_n}{dt} = \frac{K_n}{J_n} - \frac{K_n}{J_n \omega_0} \omega_n - \frac{1}{J_n} M_{срn} \quad (9)$$

$$M_n(\omega_n) = K_n \cdot S$$

$$U_n = \frac{P_{срn}}{i_n} \omega_n \quad (10)$$

2. САР двигателя "ведомой" машины $i = I + (II-I)$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{1}{J_i} M_i - \frac{1}{J_i} M_{срi} \quad (II)$$

$$M_i = \varphi(\omega_i; \theta_i) \quad (I2)$$

$$U_i = \frac{P_{\theta_i}}{i_i} \omega_i \quad (I3)$$

$$\Delta U_i = U_{i+1} - U_i \quad (I4)$$

$$U_{Ki} = \frac{1}{2m} \Delta U_i \exp(-p\tau_z) \quad (I5)$$

$$U_{Ki} = \frac{1}{2m} \Delta U_i \frac{\gamma_0 - \gamma_1 \tau_z p + (\tau_p)^2}{\gamma_0 + \gamma_1 \tau_z p + (\tau_p)^2} \quad (I5)$$

Для аналитического решения уравнения (15) разложено в систему по методу Лининга и Беттина:

$$a) \quad U_{Ki} = U_{Ki1} + \frac{1}{2m} \Delta U_i$$

$$б) \quad \frac{dU_{Ki1}}{dt} = U_{Ki2} - \frac{\gamma_1}{m\tau_z} \Delta U_i$$

$$в) \quad \frac{dU_{Ki2}}{dt} = -\frac{\gamma_1}{\tau} U_{Ki2} - \frac{\gamma_0}{\tau^2} U_{Ki1} + \frac{\gamma_1^2}{m\tau^2} \Delta U_i$$

$$\frac{d\Delta h_i}{dt} = U_{Ki} \quad (I6)$$

$$U_{ji} = M_K(h_{0i} + \Delta h_i); \quad M_K = \varphi(h) \quad (I7)$$

$$\text{при } (h_0 + \Delta h) \leq 0 \quad U_j = 0$$

$$\frac{dU_{yi}}{dt} = \frac{K_1}{T_\Phi} U_{yi} - \frac{K_1 \cdot K_{oc}}{T_\Phi} \omega_i - \frac{1}{T_\Phi} U_{yi} \quad (18)$$

при $\left(\frac{K_1}{T_\Phi} U_{yi} - \frac{K_1 \cdot K_{oc}}{T_\Phi} \omega_i \right) \leq 0; U_{yi} = 0$

$$\Theta_i^\circ = 180(1 - U_{yi}^*); \quad U_{yi}^* = \frac{U_y}{U_{y_{max}}} \quad (19)$$

при $U_{yi}^* \geq 1 \quad \Theta_i^\circ = 0$

В приведенных уравнениях:

R_ϵ - радиус приводного вала производственной машины;

m - число петель в компенсаторе ткани;

i - передаточное отношение от вала двигателя к валу производственной машины;

T_j - время запаздывания передачи сигнала возмущения по ткани;

k_0, k_i - коэффициенты разложения в ряд Лада;

M_k - коэффициент чувствительности регулятора в/м;

h - перемещение компенсатора.

Аналитическое исследование переходных процессов по приведенному алгоритму проводилось на ЭЦВМ "Урал-2" по методу Рунге-Куты для четырехдвигательного агрегата ЛИС-140-ПЛ. Расчетные показатели переходных процессов при принятых допущениях с достаточной степенью точности совпадают с экспериментальными. Учет ткани звеном запаздывания вносит погрешность в сторону ухудшения переходного процесса, т.е. величина перерегулирования и время процесса выше по сравнению с опытными на 3 - 5%.

Приведенные исследования показали, что в многодвигательных электроприводах отделочных машин текстильной промышленности, построенных по одноконтурному принципу взаимодействий, когда управление вводится от компенсатора, достаточно исследование переходных процессов одной замкнутой САУ двигателя "ведомой" машины, коэффициент инерционности которой наибольший из всех приводов, входящих в состав поточной линии. В соответствии с приведенным алгоритмом разработана модель САУ двигателя "ведомой" машины и проведены исследования влияния коэффициента чувствительности регулятора на динамические характеристики привода. Исследования на модели и экспериментальной двухдвигательной установке показа-

ли, что введение нелинейной зависимости коэффициента чувствительности регулятора позволяет создавать многодвигательные системы со скоростью обработки ткани до 200 м/мин, где ход компенсатора не превышает 35 ± 40 см. Для осуществления согласованного останова двигателей предложен способ с коррекцией пути прохождения ткани между смежными машинами с зависимым от положения компенсатора током динамического торможения, где используются те же элементы системы управления и ТРН.

В пятой главе исследуются системы многодвигательного частотно-регулируемого электропривода с использованием для целей компенсации рассогласований магнитного усилителя в цепи статора двигателя "ведомой" машины.

На основе экспериментальных и теоретических исследований показано, что инерционность магнитного усилителя (МУ) при работе с асинхронным двигателем в системе с ЦЧ при частотах 15 $\pm$ 75 гц практически обусловлена постоянной времени цепи управления, для расчета которой используется усредненная зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля.

Разработана схема управления с встречно включенными нелинейными зависимостями намагничивающих сил цепи управления и обратной связи по напряжению на рабочих обмотках МУ. Такое включение связей позволило получить монотонные переходные процессы с возможным рассогласованием линейных скоростей на рабочих органах машин $\pm 1\%$.

Разработана схема модели САУ двигателя "ведомой" машины с предложенными связями. Исследования на моделирующей установке МН-7 и экспериментальном двухдвигательном агрегате позволили выявить граничные зависимости коэффициента чувствительности регулятора в данных системах.

Выявлено, что системы ЦЧ-МУ-АИ целесообразно применять в многодвигательных электроприводах с максимальной скоростью обработки ткани не более 60 $\pm$ 70 м/мин, где в диапазоне изменения скоростного режима линии 5 : 1 получаем монотонные переходные процессы, а отработка возмущений происходит при максимальном ходе компенсатора не более 0,5 $\pm$ 0,55 м.

В приложениях приведены описание и расчет элементов системы управления, программы, таблицы, графики и показана экономическая целесообразность исследуемых систем с ЦЧ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.

1. В связи с тем, что многодвигательный электропривод от-делочных машин охватывает диапазон мощностей от единиц до нескольких десятков киловатт, однозначное решение выбора преобразователя частоты не может быть обосновано. Для мощностей выше 10 + 15 квт. следует отдать предпочтение мостовым схемам с явно-выраженным звеном постоянного тока и широтно-импульсным регулированием напряжения в инверторе. Для агрегатов малой мощности, менее 10 + 15 квт, целесообразно применение разработанного нами преобразователя частоты на базе нулевого инвертора.

2. Предложены и разработаны схемы преобразователя частоты на базе нулевого инвертора, обеспечивающие устойчивую работу асинхронного электропривода в диапазоне частот 5 + 75 гц и позволяющие реализовать любой требуемый закон частотного управления.

3. Разработана методика выбора рационального закона частотного управления, обеспечивающего наиболее полное использование двигателей многодвигательного электропривода в системе с централизованным преобразователем частоты (ЩЧ). Показано, что при использовании регулятора напряжения (ТРН или МУ) в цепи статора двигателей "ведомых" машин для целей компенсации возможных рассогласований линейных скоростей на рабочих органах машин, следует считать рациональным закон пропорционального регулирования $f = const$ в зоне частот выше 35 + 40 гц. Коэффициент завышения напряжения по отношению к закону $\alpha = f$ при частотах ниже 40 гц. должен выбираться из условия минимума потерь в двигателе "ведущей" машины, если его мощность сопоставима с мощностью двигателей "ведомых" машин или из условия устойчивой работы двигателей "ведомых" машин, если мощность двигателя "ведущей" машины значительно превышает мощность двигателей "ведомых" машин.

4. Предложена методика и разработана программа расчета на ЭЦВМ "Урал-2" рабочих характеристик (КПД, $\cos \varphi$, скольжения, потерь в двигателе) частотно-регулируемого асинхронного электропривода, позволяющая определить коэффициент использования двигателя по моменту из условия допустимого теплового нагрева в режиме $M_{cr} = const$ с выбранным законом частотного управления.

5. Разработаны и экспериментально проверены схемы много-
двигательного частотно-регулируемого асинхронного электроприво-
да с двумя способами изменения скоростей "ведомых" машин для
целей компенсации возможных рассогласований:

а) с тиристорным регулятором напряжения (ТРН);

б) с магнитным усилителем (МУ);

в цепи статора. Данные системы, при связи отдельных машин через
компенсатор с бесконтактным датчиком рассогласования, показали
хорошую работоспособность и могут быть рекомендованы в промыш-
ленность.

6. Разработана методика расчета механических характеристик
асинхронного электропривода с симметричной и несимметричной схе-
мами тиристорного регулятора напряжения; в основу которой поло-
жены графоаналитический метод расчета по найденным кривым изме-
нения относительного значения тока первой гармоники от скольже-
ния для двигателей типа АОС.

7. Разработан алгоритм и программа расчета на ЭЦМ "Урал-2"
рабочих характеристик асинхронного электропривода с различными
схемами ТРН. Показано, что несимметричная схема ТРН, обладая бо-
лее простой схемой управления и большей надежностью по сравне-
нию с симметричной, может быть использована с малым диапазоном
регулирования скорости (не более $1,2 : 1 \neq 1,25 : 1$) только для
целей компенсации возможных рассогласований линейных скоростей
в системах с ПЧ. Применение симметричной схемы ТРН позволяет
создать регулируемые многодвигательные электроприводы без ис-
пользования ПЧ, при питании двигателей от сети промышленной час-
тоты с небольшим диапазоном регулирования скорости машин (не бо-
лее $2 : 1$);

8. Разработан алгоритм расчета переходных процессов в много-
двигательном асинхронном электроприводе с ПЧ и ТРН. Показано,
что в разработанных системах, имеющих однокон. упр. цепь воздей-
ствий возмущений по тяге, при анализе переходных процессов дос-
статочно проводить исследование САР на устойчивость одной "ведо-
мой" машины, имеющей наибольший коэффициент инерционности, наи-
большее рассогласование вниз от базисной скорости, наименьший ста-
тистический момент. Данный вывод справедлив и для системы многодвиг-
ательного электропривода с

9. Разработана методика расчета и исследования переходных процессов в САР двигателя "ведомой" машины с ТРН и МУ в цепи статора на аналоговых вычислительных машинах (АВМ). Методы математического моделирования, развитые в работе, позволяют решать практические задачи анализа режимов работы двигателя "ведомой" машины, а так же выбрать параметры САР по заданным динамическим свойствам.

10. На основе теоретических и экспериментальных исследований динамики частоты регулируемого многодвигательного привода с ТРН и МУ выявлены граничные зависимости коэффициента чувствительности регулятора в системах с ЦЧ, что позволяет при заданном ходе компенсатора вводить требуемую характеристику датчика компенсатора, или по заданной характеристике последнего выбрать предельное минимальное значение хода компенсатора.

11. Разработан способ согласованного останова машин поточной линии в системах с ТРН, основанный на управлении током динамического торможения двигателя "ведомой" машины в функции пути прохождения ткани между двумя смежными машинами. Применение подобного торможения не накладывает дополнительных ограничений на выбор хода компенсатора. Кроме того, в разработанных системах с ТРН, последний выполняет роль не только регулятора напряжения, но и бесконтактного командоаппарата, отключающего двигатель от сети при обрыве ткани или появлении недопустимой слабину в ней, и ограничивает токи и моменты в период пуска линии.

12. Разработана инженерная методика выбора темпа нарастания и спадания частоты при условии согласованного частотного пуска и останова многодвигательного асинхронного электропривода с ЦЧ. Показано, что темп частотного пуска и останова в основном обусловлены технологической связью между машинами. Пуск линии на малую начальную частоту (заправка) до 10 + 15 гц. не накладывает ограничений на величину хода компенсатора, выбранного из условия заданного качества переходных процессов по коэффициенту чувствительности регулятора.

13. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что системы многодвигательных частотно-регулируемых электроприводов с МУ могут быть рекомендованы для агрега-

тов с небольшим возможным рассогласованием ($\pm 5 \pm 10\%$) и скоростях обработки ткани до 50 ± 60 м/мин; в этом случае ход компенсатора составляет $0,4 \pm 0,6$ метра. При больших рассогласованиях и скоростях обработки ткани следует применять способ компенсации рассогласований с использованием ТРН в цепи статора двигателя "ведомой" машины. Эти системы обладают лучшими динамическими показателями, а ход компенсатора лежит в пределах $0,25 \pm 0,3$ метра.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ БЫЛИ ДОЛЖЕНЫ И ОБСУЖДЕНЫ:

1. На Всесоюзном семинаре "Управляемые кремневые вентили (тиристоры) в электроприводе и промышленной автоматике", Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1968 г.

2. На Всесоюзной научно-технической конференции "Производство и применение средств силовой преобразовательной техники в народном хозяйстве", ВДНХ, Москва, 1968 г.

3. На V Всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводу, г. Тбилиси, 1968 г.

4. На Всесоюзной научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу в текстильной и легкой промышленности, г. Иваново, 1970 г.

5. На итоговых научно-технических конференциях Ивановского энергетического института им. В.И.Ленина в 1967, 1968, 1969, 1970 годах.

По работе подавались заявки на выдачу авторского свидетельства:

на "Нулевой тиристорный инвертор с раздельным регулированием частоты и напряжения"

№ И160427 /24-7 от 29/У-1967 г.

№ И199002 /24-7 от 24/ХІ-1967 г.

и получено авторское свидетельство № 266039.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

1. Архангельский Н.Л., Королев А.Н. Нулевой инвертор с улучшенной кривой выходного напряжения. Сборник "Управляемые кремневые вентили (тиристоры) в электроприводе и промышленной автоматике", Ленинград. 1968 г.

2. Архангельский Н.Л., Королев А.Н. Нулевой тиристорный инвертор с отдельным регулированием частоты и напряжения. Авторское свидетельство № 266039, "Бюллетень изобретений", № II, 1970 г.

3. Архангельский Н.Л., Королев А.Н., Быстров А.М. "Частотно-регулируемый асинхронный многодвигательный электропривод машин и поточных линий текстильной промышленности", материалы Всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводе. Информстандартелектро, Москва, 1968 г.

4. Архангельский Н.Л., Королев А.Н. Преобразователь частоты для электроприводов в текстильной промышленности, материалы научно-технической конференции. ИЭИ, г.Иваново, 1968 г.

5. Архангельский Н.Л., Быстров А.М. Результаты исследования согласованной работы двигателей в системе частотно-регулируемого электропривода с централизованным преобразователем частоты (ЩЧ), материалы научно-технической конференции, ИЭИ, г.Иваново, 1969 г.

6. Архангельский Н.Л., Быстров А.М. Переходные процессы в многодвигательном асинхронном электроприводе с централизованным преобразователем частоты, материалы научно-технической конференции, ИЭИ, г.Иваново, 1970 г.

7. Быстров А.М., Архангельский Н.Л. Многодвигательный асинхронный электропривод с тиристорными регуляторами напряжения, материалы Всесоюзной научно-технической конференции по автоматизированному электроприводе в текстильной и легкой промышленности, Информэлектро, Москва, 1970 г.

Отпечатано на ротационной машине с форм "ЭРА". Подписано к печати 27/IV-71 г. КЕ-01365. Формат издания 60х84 1/16. Печ.л. 1,25. Усл.п.л. 1,16. Заказ 2086/р. Тираж 200 экз.

Типография УУЗ Мин. ЭиЭ СССР, г. Иваново, ул. Ермака, 41.