

Донецкий государственный технический университет

На правах рукописи

БАРИНБЕРГ Владимир Александрович

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ПОДАЧИ  
ЗАГОТОВОК В ШТАМП НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО  
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Специальность 05.09.03. - Электротехнические комплексы  
и системы, включая их управление и регулирование

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ДОНЕЦК - 1994



00756872 (Z)

Донецком государственном техническом университете, г. Донецк.

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор

ДУДНИК М.З.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор

КАРАСЬ С.В.

кандидат технических наук,  
доцент

ШАВЕЛКИН А.А.

Ведущая организация - проектно-конструкторский технологический институт Государственного комитета Украины по угольной промышленности (ПКТИ Госуглепрома Украины, г. Донецк)

Защита диссертации состоится " 24 " февраля 1994 г.  
в 14<sup>30</sup> на заседании специализированного совета К.068.20.01 при  
Донецком государственном техническом университете, ауд. I.201.  
Адрес: 340000, г. Донецк, ул. Артема, 58, ДонГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1994 г.

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
канд. техн. наук, доцент

Коцегуб П.Х.

АВ - 29.021

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одним из основных этапов холодной штамповки металлических деталей является подача материала в рабочую зону прессы. Поэтому создание автоматизированного электропривода (ЭП) подачи - важная часть автоматизации процесса штамповки в целом. В то же время известные на сегодняшний день ЭП подачи на основе вращающихся электродвигателей неизбежно содержат сложные многоступенчатые механические передачи, подверженные износу. Такие устройства, несмотря на высокую стоимость, имеют низкую надежность, сложны в наладке и обслуживании. Поэтому их применение часто оказывается экономически нецелесообразным, особенно в мелкосерийном производстве, где до сих пор применяется ручная подача. Следовательно, актуальной является задача создания надежного, универсального ЭП подачи деталей в штамп, лишённого сложных механических узлов.

Линейный асинхронный двигатель (ЛАД) применительно к ЭП подачи обладает важным преимуществом по сравнению с традиционным вращающимся двигателем - возможностью непосредственного воздействия на рабочий орган, минуя сложную механическую передачу. Существующие линейные ЭП технологического назначения обычно реализуют непрерывное перемещение деталей и заготовок - вторичных элементов (ВЭ) ЛАД. В то же время для подачи в штамп характерно шаговое движение заготовки. Традиционные линейные шаговые двигатели не приспособлены для выполнения дискретных перемещений массивных деталей, так как требуют специальным образом изготовленной ВЭ. Поэтому создание линейного ЭП подачи заготовок в штамп потребовало проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований ЭП на основе ЛАД в режиме дискретных перемещений.

Работа является составной частью исследований по созданию эффективных транспортно-технологических установок на основе линейных двигателей, проводимых кафедрой "Электрические машины" ДГТУ в рамках проблемы "Исследование электромагнитных процессов и рабочих характеристик в новых схемах технологических цепей и электропривода промышленных установок" и хозяйственной темы № 01910050042 "Разработка устройства для подачи проводящей ленты в рабочую зону прессы".

Цель работы - разработка ЭП для подачи заготовок в штамп на основе ЛАД для повышения эффективности штамповочного производства.

Идея работы заключается в создании режима дискретных перемещений линейного асинхронного ЭП путем чередования участков разгона и динамического торможения ЛАД.

Научные положения, разработанные лично диссертантом, и их научная новизна.

1. Способ управления линейным ЭП, отличающийся тем, что движение вторичного элемента ЛАД происходит в результате чередования участков разгона и динамического торможения, что позволяет получить режим устойчивых дискретных перемещений. Для снижения бросков переходных усилий и повышения точности позиционирования в дискретном режиме используется принцип управления пуском асинхронного двигателя с незатухшим магнитным полем.

2. Метод расчета характеристик режима дискретных перемещений линейного ЭП, заключающийся в том, что зависимости перемещения вторичного элемента от времени включения двигателя в режимы разгона и динамического торможения определяются по известным параметрам ЭП и аналитическим решениям уравнения движения, полученным на основе линеаризации механической характеристики ЛАД. Электромагнитное усилие ЛАД при работе на пониженном от тиристорного регулятора напряжении предложено рассчитывать не по углу отпирания тиристорov, а по действующему значению напряжения и углу нагрузки, что значительно облегчает настройку ЭП в режиме дискретных перемещений.

3. Математическая модель ЛАД с боковыми токопроводящими шинами в областях воздушного зазора, не занятых узким вторичным элементом, отличающаяся учетом изоляционного промежутка в месте контакта боковые шины - вторичный элемент. Разработанная модель позволяет рассчитывать и выбирать боковые шины для улучшения силовых показателей ЛАД за счет эффекта экранирования первичной цепи.

4. Метод расчета ЛАД с узким вторичным элементом, заключающийся в том, что для определения параметров упрощенной схемы замещения предложен коэффициент, учитывающий поперечный краевой эффект, ширину вторичного элемента и слабую реакцию вторичных токов. Разработанный метод повышает достоверность результатов при проектировании ЛАД для подачи заготовок в штамп.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается тем, что исходные посылки исследований базируются на фундаментальных положениях электродинамики; в ходе анализа используется корректный аппарат алгебры и математического анализа; все полученные в работе выводы подвергаются экспериментальной

проверке, причем имеет место удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных результатов (расхождение не превышает 15%).

Научное значение работы заключается в развитии теории линейного ЭП путем разработки методов расчета режима дискретных перемещений, математической модели ЛАД с боковыми токопроводящими шинами и исследования ЛАД с резко выраженным поперечным краевым эффектом.

Практическая ценность работы состоит в разработке принципиальных схем и алгоритмов расчета линейного ЭП подачи заготовок в штамп. Применение такого ЭП взамен существующих механизмов позволит увеличить надежность и производительность процесса штамповки, исключить малоквалифицированный ручной труд.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Результаты диссертации составили основу для разработки привода подачи латунной ленты в штамп. Устройство, состоящее из линейного двигателя и системы управления, было изготовлено и установлено в штамповочном цехе Донецкого УПО "Электроаппарат". Испытания и последующая эксплуатация подтвердили работоспособность и прогнозирувавшиеся преимущества линейного ЭП подачи.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на 6-й Всесоюзной научно-технической конференции "Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов" (г. Бишкек, 1991 г.), на научно-технической (подотраслевой) конференции "Проблемы электромашиностроения" (г. Санкт-Петербург, 1991 г.), на республиканском научно-техническом семинаре "Нетрадиционные электромеханические преобразователи" (г. Севастополь, 1992 г.), на Международном научно-техническом семинаре "Электромеханические системы с компьютерным управлением на автотранспортных средствах" (г. Суздаль, 1993 г.), семинаре научного совета АН Украины по комплексной проблеме "Научные основы электроэнергетики" (г. Донецк, 1991 г.)

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 печатных работ, из них 2 авторских свидетельства на изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Содержание работы изложено на 102 страницах машинописного текста, иллюстрировано 49 рисунками, перечень использованной литературы включает 74 наименования. Приложение представлено на 4 стр.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, сформулированы ее цель и основная идея, кратко охарактеризованы научная новизна, практическая ценность и реализация выводов работы.

В первой главе дан краткий анализ электроприводов устройств подачи металлических заготовок в штамп, сформулированы требования, предъявляемые к приводу подачи. Отмечено, что в настоящее время известно два типа устройств подачи: универсальные и входящие в состав прессов-автоматов. Применение последних из-за дороговизны оправдано лишь при крупносерийном производстве. Электропривод универсальных устройств нерегулируемый, содержит многоступенчатые механические передачи и поэтому ему присущи недостатки сложных механических систем: громоздкость, трудность в наладке и обслуживании, низкая надежность.

Краткий обзор состояния исследования в области линейного асинхронного ЭП позволяет сделать вывод о целесообразности применения этого вида привода для подачи металлических заготовок в штамп. Существующие системы ЭП с ЛАД реализуют лишь поступательное непрерывное движение ВЭ, в то время как механизм подачи осуществляет дискретное перемещение материала.

В заключении главы сформулированы основные задачи и цель исследования, а также метод его проведения – математическое моделирование с последующей экспериментальной проверкой результатов.

Во второй главе описан принцип построения линейного ЭП для дискретного перемещения ВЭ, решены уравнения движения и предложен алгоритм расчета ЭП. Режим дискретных перемещений линейного двигателя реализуется посредством чередования подключения его к трехфазной сети с электромагнитным торможением. Дискретность перемещения получается в результате чередования разгона ВЭ и стопорения его динамическим торможением. Для ограничения ударных пусковых усилий, а также для создания одинаковых начальных условий в каждом шаге предложено использовать известный из теории вращающихся АД принцип управления пуском с незатухшим магнитным полем. Если торможение осуществляется питанием двух фаз постоянным током, то безударный пуск произойдет при подключении третьей фазы в момент достижения в ней максимума напряжения. Описанный алгоритм реализуется с помощью трехфазного тиристорного коммутатора с блоком управления.

Для создания режима дискретных перемещений необходимо одно-

значно определить длительность временных интервалов включения ЭП для разгона и торможения. Считается, что известны основные параметры двигателя, движение происходит под действием двух сил — электромагнитной  $F_e$  и сопротивления  $F_c$ , причем  $F_c = \text{const}$ . Сила  $F_e$  представляется формулой Клосса для линейного движения. Тогда решение задачи сводится к двукратному интегрированию основного уравнения динамики. Показано, что в таком виде получить аналитическое решение невозможно. Поэтому механическая характеристика ЛАД аппроксимируется прямой — касательной в точке короткого замыкания ( $s=1$ ). Уравнение линеаризованной механической характеристики имеет вид

$$F_e^* = \frac{2F_{кр} s_{кр}}{(1+s_{кр}^2)^2} \left[ 2 + s(s_{кр}^2 - 1) \right]. \quad (1)$$

Приводится исследование погрешностей линеаризации, из которого следует, что такое упрощение в данном случае оправдано. Результатом решения являются зависимости перемещения при разгоне  $l_p$  от времени включения ЭП в режим разгона  $t_p$ :

$$l_p = V_0 \frac{Bk - 1 + 2Ak}{Bk} \left[ t_p + \frac{\tau_B}{Bk} \exp(-t_p Bk/\tau_B) \right], \quad (2)$$

$$\text{где } A = \frac{2s_{кр}}{(1+s_{кр}^2)^2}; \quad B = \frac{2(s_{кр}^2 - 1)}{(1+s_{кр}^2)^2} s_{кр};$$

$$k = \frac{F_{кр}}{F_c}; \quad \tau_B = \frac{mV_0}{F_c}.$$

Процесс динамического торможения исследуется по аналогичной схеме. Показана возможность аппроксимации тормозной характеристики параболой и прямой. На основе анализа погрешностей приближения определено, при каких значениях скольжений следует прибегнуть к тому или иному виду аппроксимации. Решение уравнения динамики торможения позволяет найти зависимость тормозного пути от времени торможения.

В заключении главы приведен алгоритм расчета дискретного режима линейного ЭП, с помощью которого по известным параметрам и

заданной величине шага можно рассчитать необходимую длительность интервалов времени работы двигателя в режимах разгона и динамического торможения.

Третья глава посвящена особенностям расчета и проектирования ЛАД для работы в дискретном режиме. Спецификой линейного двигателя для подачи заготовок является достаточно узкий индуктор. В частности, не исключены случаи, когда ВЭ может оказаться уже индуктора. В то же время, для создания необходимого тягового усилия приходится проектировать ЛАД с достаточно большим полюсным делением  $\tau$ . Все это приводит к резкому проявлению поперечного краевого эффекта в ЛАД и снижению тягового усилия.

Анализ электромагнитных процессов в ЛАД с неферромагнитным ВЭ ведется с использованием общепринятых для двухмерной модели допущений. На основе известных решений уравнений поля для магнитной индукции в воздушном зазоре получены выражения для коэффициентов ослабления  $K_{oc}$  и размагничивания  $k_r$ . В схеме замещения ЛАД с узким ВЭ (рис. 1, сплошные линии) сопротивление намагничивающего контура  $x_{\mu}$  разделено на две части, пропорциональные отношению ширины индуктора  $s$  к ширине ВЭ  $a$ . Приведенные сопротивления вторичной цепи шунтируют сопротивление  $ax_{\mu}/c$ . С использованием выражений для  $K_{oc}$  и  $k_r$  получены соотношения для расчета вторичных сопротивлений  $r'_{2*}$  и  $x'_2$ . Показана возможность пренебрежения вторичным сопротивлением рассеяния в ЛАД с низкой добротностью ( $\epsilon \leq 2,5$ ). В этом случае приведенное вторичное активное сопротивление

$$r'_{2*} = \frac{x_{\mu}^*}{\epsilon} \xi_r \quad (3)$$

$$\text{где } x_{\mu}^* = ax_{\mu}/c; \quad \xi_r = \frac{aa}{aa - ih aa}; \quad a = \frac{\omega}{v_0} = \frac{\pi}{\tau}$$

На основе схемы замещения получены выражения для расчета критических параметров механической характеристики ЛАД: максимальной силы  $F_k$  и критического скольжения  $s_k$ . Формулы для  $s_k$  позволяют оценить эту величину на этапе предварительного проектирования, когда параметры схемы замещения еще не известны.

Рекомендации и основные соотношения по выбору главных размеров и электромагнитных нагрузок ЛАД базируются на разработанной в ДТУ методике их проектирования. Важным в данном случае является выбор оптимальных соотношений длины индуктора  $l_n$  и полюсного

деления ЛАД  $t$ . Поскольку эти две величины взаимосвязаны, а на длину накладываются основные технологические ограничения, предложен алгоритм выбора  $t_n$  и  $t$  методом последовательных приближений с расчетом заданного пускового усилия и параметров шагового режима. Отдельно рассмотрен вопрос расчета коэффициента ЭДС  $k_e$ . Полученные формулы позволяют определить  $k_e$  до расчетов схемы замещения.

В заключении главы описан алгоритм пректирования ЛАД для работы в дискретном режиме. На первом этапе выбираются рациональные значения  $t$  и  $t_n$ , затем производится электромагнитный расчет. На втором этапе рассчитывается шаговый режим и производится корректировка длительностей интервалов времени разгона и торможения ЛАД.

В четвертой главе решены задачи, связанные с расчетом линейного ЭП при изменении параметров ВЭ. Возникновение этой проблемы обусловлено требованием универсальности привода, т. е. возможности переналадки ЭП для подачи заготовок различных размеров и материалов.

Возможно два способа управления режимом дискретных перемещений при изменении ВЭ.

При первом способе изменяется (уменьшается или увеличивается) подводимое к ЛАД напряжение. В этом случае при расчете необходимо учитывать несинусоидальность напряжения на выходе тиристорного регулятора.

Второй способ заключается в увеличении электромагнитной мощности, передаваемой индуктором во вторичную цепь при неизменном (номинальном) напряжении на обмотках ЛАД. Реализовать его предложено размещением в воздушном зазоре, не занятом ВЭ, токопроводящих шин. При установке боковых шин (БШ) в зазор происходит шунтирование сопротивления взаимной индуктивности, возрастает первичный ток и среднее значение индукции над ВЭ. Следовательно, увеличивается ток во ВЭ и выходная мощность привода. Если оставить в силе все допущения, принятые в гл.3 (в частности, допущение о плоскопараллельном характере распределения магнитного поля по ширине ЛАД), то задача о ВЭ и двух БШ распадается на две отдельные задачи о двух проводящих телах в зазоре ЛАД.

Схема замещения ЛАД с БШ представлена на рис.1 (приведенное сопротивление шин обозначено пунктиром). Схема рис.1 приводится к традиционной Т-образной, определяются параметры приведенной схемы, находятся критические значения механической характеристики привода. Рассматривается задача определения величины приведенного

сопротивления шин, которое необходимо ввести в схему замещения, чтобы получить требуемое увеличение усилия двигателя. Значение этого сопротивления

$$r_{ш}^* = \frac{x_{ш} (H - 2F) \pm \left[ x_{ш}^2 (2F - H)^2 - 4(F^2 + G^2 - HF)(F^2 + (x_{ш}' + G)^2 - HF) \right]^{1/2}}{2(F^2 + G^2 - HF)}, \quad (4)$$

$$\text{где} \quad F = r_1 + \lambda_1 x_{ш}^* ; \quad G = x_1 + \lambda_1 r_2' ;$$

$$\lambda_1 = \frac{r_2' x_{ш}^*}{r_2'^2 + x_{ш}^{*2}} ; \quad H = \frac{U_1}{f(I_{1a} + \lambda_1 x_{ш}^*/r_2') - \lambda_1 (x_{ш}^*/r_2')}$$

Материал шин определяется по рассчитанному сопротивлению  $r_{ш}'$  и графиком рис.2, где  $\bar{W} = r_{ш}^*/\gamma_{ш}$ ,  $r_{ш}^* = x_{ш}'/r_{ш}'$ ,  $\gamma_{ш}$  - удельное сопротивление материала шин. На первом этапе, задаваясь коэффициентом увеличения мощности  $f$ , рассчитывается сопротивление  $r_{ш}^*$ . Затем из графиков рис.2 по известным значениям  $(t-a)$  (где  $t$  - ширина БШ) и  $\tau$  находится параметр  $\bar{W}$ , что позволяет определить расчетное удельное сопротивление шин. Действительное значение  $\gamma_{ш}$  принимается как ближайшее большее к расчетному удельному сопротивлению реального цветного металла. После этого определяется действительное значение  $r_{ш}'$  в схеме замещения и рассчитываются характеристики ЭП с БШ.

Доказано, что выступающие за края индуктора лобовые части БШ практически не влияют на эквивалентное сопротивление шин в схеме замещения. Поэтому создавать лобовые участки целесообразно лишь с целью увеличения теплоотвода.

В случае, когда ЭП с данным ВЭ обладает запасом по мощности, для достижения требуемых параметров режима дискретных перемещений необходимо изменять напряжение, подводимое к обмоткам ЛАД от ТРН. Хотя выходное напряжение ТРН при фазовом управлении имеет резко выраженный несинусоидальный характер, при расчете тягового усилия допустимо учитывать лишь первую гармонику напряжения. При этом возникает задача определения зависимости между действующими значениями фазного напряжения и первой гармоники напряжения.

В процессе исследования ЭП моделировался трехфазной активно-индуктивной нагрузкой с неизменными и не зависящими от скольжения параметрами; влияние ЭДС вращения не учитывалось. На основании анализа кривой напряжения получены аналитические выражения для

определения действующего значения напряжения ТРН в зависимости от характера нагрузки и угла отпирания тиристорov. Дальнейшее решение в аналитическом виде невозможно, так как система уравнений содержит трансцендентные функции. Решение на ЦЕМ позволило получить семейство зависимостей действующего значения напряжения ТРН  $U_{\Sigma}^*$  от угла отпирания тиристорov  $\alpha_T$  при разном характере нагрузки  $\varphi$ . С использованием известных зависимостей действующего значения первой гармоники напряжения от угла  $\alpha_T$  построены графики для определения первой гармоники напряжения по действующему значению напряжения ТРН. На рис.3 приведена соответствующая зависимость для  $\varphi = \pi/2$ .

Предложен алгоритм расчета дискретного режима линейного ЭП при изменении параметров ВЭ. Синтез двух методик расчета - ЛАД с БШ и тиристорного регулятора - позволил создать схему проектирования ЭП, учитывающую особенности технологии процесса подачи заготовок в штамп.

Пятая глава посвящена синтезу системы управления линейным ЭП в режиме дискретных перемещений. Общая структура системы управления является традиционной для асинхронных ЭП с фазовым управлением. Эта структура включает в себя силовую часть, систему импульсно-фазового управления (СИФУ) и логическую часть. Разработано три варианта логической части схемы.

Первый вариант реализует описанный выше принцип дискретного перемещения чередованием симметричного режима ТРН с питанием двух фаз через два тиристора по схеме динамического торможения. Недостатком такой схемы является то, что торможение осуществляется всегда одними и теми же тиристорами. При продолжительной работе неравномерному нагреву подвергаются тиристоры и обмотка ЛАД. Второй вариант логической части позволяет избавиться от указанного недостатка. Это достигается тем, что поочередно в режим динамического торможения включаются все шесть тиристорov ТРН.

Третий вариант системы управления ЭП реализует принцип безударного пуска ЭП (рис.4). Логическая часть схемы рис.4 состоит из пяти ключей К1-К5; пяти элементов И-НЕ, задающего генератора ЗГ, блока выбора режима работы БВР, триггера Т и фазоизмерительного устройства ФИУ. Режим дискретных перемещений реализуется чередованием симметричной работы СИФУ1-СИФУ3 (т.е. работы схемы в качестве тиристорного регулятора) и динамического торможения тиристорами Т2, Т3. Каждое подключение привода после динамического торможения синхронизируется с переходом через нуль линейного напряже-

ния. Этим достигается ограничение бросков пусковых усилий и создание одинаковых начальных условий частых пусков ЭП в дискретном режиме.

В шестой главе приведены результаты экспериментальных исследований линейного ЭП. Эксперименты проводились на лабораторном стенде с двумя линейными двигателями. ТРН был собран на базе трех промышленных однофазных регуляторов напряжения типа РН-163. Для регистрации процессов динамики ЭП в режиме дискретных перемещений применялись синхронизированные киносъёмка и осциллографирование с последующей расшифровкой кинограмм и осциллограмм.

В ходе экспериментов была установлена адекватность принятой модели и схемы замещения. Отклонение опытных значений вторичных сопротивлений от расчетных не превышало 15%. Результаты исследования динамики линейного ЭП подтвердили работоспособность его в режиме дискретных перемещений. Эксперименты показали преимущество (по точности обработки шага) схемы с ограничением переходных пусковых усилий. Погрешность отклонения экспериментальных значений дискретных перемещений от расчетных не превышала 15%. Результаты исследований динамики пуска ЛАД подтвердили возможность существенного подавления переходных усилий.

Тепловые исследования ЛАД с БШ доказали возможность и целесообразность использования проводящих шин в двигателях с уакии ВЭ. Перегрев ЛАД при размерах лобовых участков шин (5...7) (с-а) вызван лишь увеличением тока в обмотках, тепло от шин к индуктору практически не передается.

Экспериментально полученные внешние характеристики ТРН дали хорошую сходимость с аналогичными расчетными (наибольшая погрешность не превышала 15%).

В заключении подведен общий итог работы и сформулированы выводы по результатам проведенных исследований.

В приложении приведены технические данные опытных образцов линейных ЭП и представлены документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Эффективным средством решения задачи автоматизации процесса штамповки является создание регулируемого ЭП с ЛАД для подачи заготовок, выполняющих роль ВЭ, в зону обработки. Разработан способ реализации режима дискретных перемещений линейного ЭП,

закрывающийся в поочередном подключении обмоток ЛАД к симметричному трехфазному и выпрямленному напряжению. Дискретность перемещения получается в результате чередования разгона ВЭ и стопорения его динамическим торможением. Для ограничения ударных пусковых усилий и обеспечения равномерности шага предложено использовать известный из теории вращающихся АД принцип управления пуском с незатухшим магнитным полем. Описанный алгоритм реализуется с помощью трехфазного тиристорного коммутатора с блоком управления.

2. Аналитически и экспериментально изучен режим дискретных перемещений линейного ЭП. Решено уравнение динамики ЭП, получены зависимости, которые дают возможность определить параметры силовой части привода и схемы управления, обеспечивающие отработку заданных дискретных перемещений. Разработан алгоритм расчета линейного ЭП для перевода его в дискретный режим.

3. Исследована работа ЛАД с резко выраженным поперечным краевым эффектом. Получены упрощенные выражения для расчета коэффициентов размагничивания и ослабления, входящие в формулы для определения вторичных сопротивлений. В схеме замещения ЛАД с узким (меньшим по ширине, чем индуктор) ВЭ сопротивление взаимной индукции делится на две части пропорционально ширине индуктора и ВЭ. На основе схемы замещения получены выражения для расчета параметров механической характеристики. Даны рекомендации по выбору основных размеров и параметров при проектировании ЛАД, предназначенного для работы в режиме дискретных перемещений.

4. Решена задача расчета ЭП при изменении параметров ВЭ (вследствие переналадки ЭП для подачи заготовок различных размеров и материалов). Показано, что при этом иногда целесообразно снижение по сравнению с номинальным напряжения питания индуктора (с помощью ТРН). Для работы на несинусоидальном пониженном напряжении разработана методика определения напряжения первой гармоники по действующему значению выходного напряжения ТРН. В качестве способа улучшения силовых характеристик ЭП с узким ВЭ предложено использовать в нем дополнительные токопроводящие шины в воздушном зазоре ЛАД. Получены выражения и графики для выбора материала и размеров шин с целью получения заданного увеличения вторичной мощности.

5. Разработана функциональная схема линейного ЭП для работы в дискретном и непрерывном режимах. Схема обеспечивает условия безударного пуска ЛАД после режима динамического торможения.

6. Экспериментально подтверждена возможность работы ЭП с ЛАД

в режиме дискретных перемещений. Полученные характеристики удовлетворяют требованиям, предъявляемым к механизмам подачи материала в штамп.

7. Результаты диссертации составили основу для разработки привода подачи латунной ленты в штамп. Устройство, состоящее из линейного двигателя и системы управления, было изготовлено и установлено в штамповочном цехе Донецкого УПО "Электроаппарат". Испытания и последующая эксплуатация подтвердили работоспособность и прогнозировавшиеся преимущества линейного ЭП подачи.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дудник М.З., Баринберг Вл.А. К вопросу создания асинхронно-шагового двигателя / Донецкий политехн. ин-т. - 1991. - 13 с. - Деп.: УкрНИИТИ, 2.01.91г, № 46.

2. Дудник М.З., Баринберг Вл.А. Аналитическое исследование шагового режима линейного асинхронного двигателя // Бесконтактные регулируемые электрические машины / ВНИИЭлектромашиностроения.- Л., 1991.- С. 81-93.

3. Дудник М.З., Баринберг Вл.А. Шаговый электропривод на базе линейных асинхронных двигателей // Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов: Тез. докл. всесоюз. науч.- техн. конф. - Бишкек, 26 октября 1991 г.- Бишкек, 1991.- с.52.

4. Дудник М.З., Баринберг Вл.А. Линейный асинхронно-шаговый двигатель //Проблемы электромашиностроения: Крат. тез. докл. науч. - техн. конф., Ленинград, 15-17 октября 1991 г.- Л., 1991.- С.96.

5. Дудник М.З., Баринберг Вл.А. Внешняя характеристика ТРН при работе с ЛАД// Электромеханические системы с компьютерным управлением на автотранспортных средствах: Тез. докл. Международного науч. -техн. семинара, Суздаль, 22-26 февраля 1993 г.- М.: МГААТМ, 1993, С.88-89.

6. А.с. № 1757075 СССР, МКИ Н 02 Р 7/62. Устройство для управления асинхронным двигателем / Дудник М.З., Баринберг Вл.А. (СССР). - № 4926594/07; Заявлено 12.02. 91; Опубл. 23.08.92, Всл. № 31. - 4 с.

7. Устройство для управления асинхронным двигателем/ Дудник М.З., Баринберг Вл.А., Иккерт А.Е. и др. - Решение о выдаче патента Украины по заявке № 5018101 от 17.05.93; Заявлено 24.12.91.

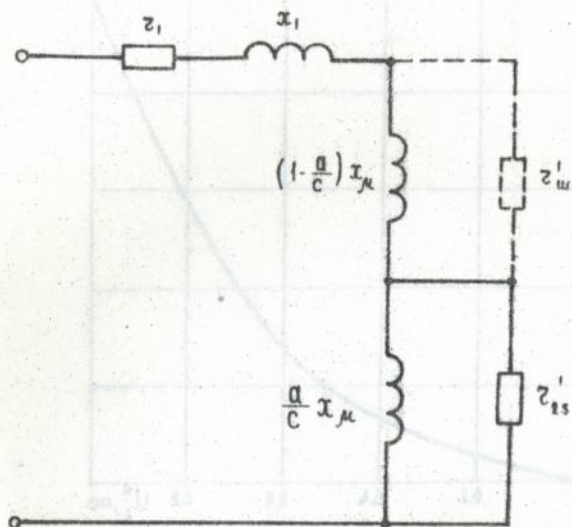


Рис.1. Схема замещения ЛАД

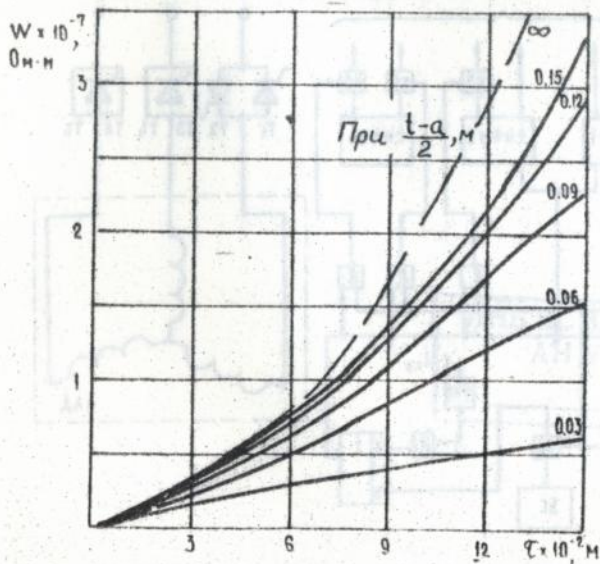


Рис.2. Зависимости для определения материала БШ

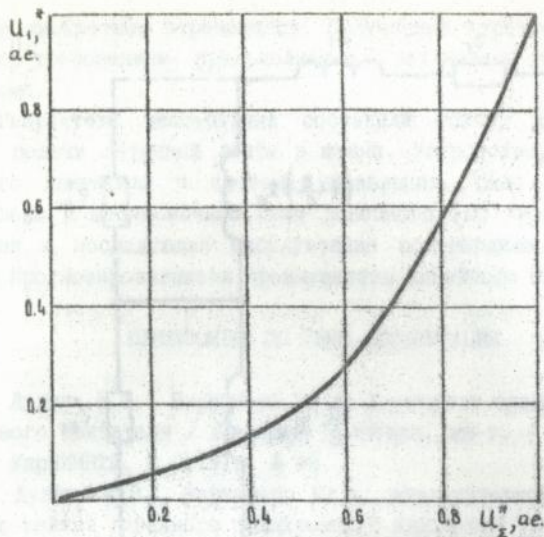


Рис.3. Зависимость  $U_1^* = (U_{\Sigma}^*)$  при  $\varphi = \pi/2$

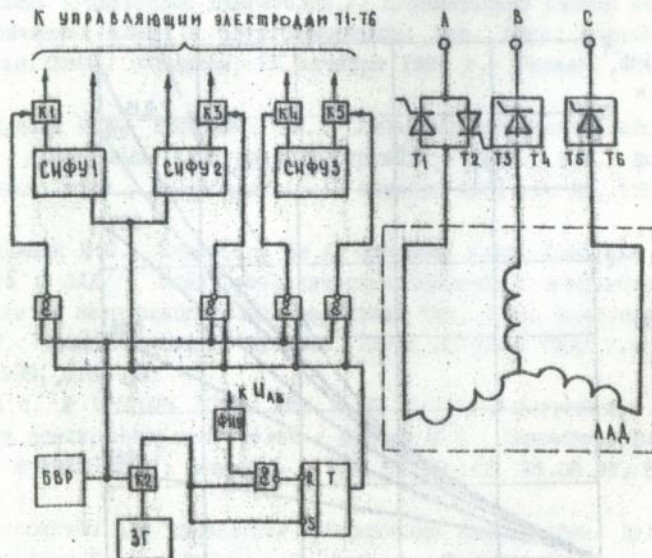


Рис.4. Функциональная схема управления линейным ЭП

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

459106



Зак. 126 тир. 100 экз. Ротапринт упрстат

459106

AB 29.02

**AB 29.021**

for 250 mg. 100 mg. 50 mg. 25 mg. 10 mg. 5 mg. 2.5 mg. 1 mg. 0.5 mg. 0.25 mg. 0.1 mg. 0.05 mg. 0.025 mg. 0.01 mg. 0.005 mg. 0.0025 mg. 0.001 mg. 0.0005 mg. 0.00025 mg. 0.0001 mg. 0.00005 mg. 0.000025 mg. 0.00001 mg.

AB 29.021