

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи

ЛОМКО Николай Александрович

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ  
ИНДУКЦИОННЫХ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Специальность 05.09.03  
"Электротехнические комплексы и системы,  
включая их управление и регулирование"

АВТОРЕФРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев - 1995



00778137 (X)

Диссертацией является рукопись

Работа выполнена в Институте

НАН Украины, г. Киев

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины

|                        |
|------------------------|
| Борис Павлович Борисов |
|------------------------|

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор  
Николай Васильевич Панасенко

- доктор технических наук, старший  
научный сотрудник  
Анатолий Андреевич Щерба

Ведущее предприятие: Украинский научно-исследовательский ин-  
ститут электротермического оборудования  
Минмашпрома Украины (г. Харьков).

Защита состоится "27" июня 1995 г. в 11 часов,  
на заседании специализированного ученого совета 016.30.03  
в Институте электродинамики НАН Украины, по адресу:  
252680, г. Киев-57, проспект Победы, 56, тел. 446-91-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института  
электродинамики НАН Украины.

Автореферат разослан "26" мая " 1995 года.

Ученый секретарь  
специализированного ученого совета  
доктор технических наук

В.С. Федий

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы и степень исследования тематики диссертации. Внедрение новых конструкций индукционных плавильных печей (ИПП) прежде всего связано с необходимостью повышения их к.п.д., снижения удельного расхода электроэнергии, увеличения скорости плавления металла и продолжительности непрерывной работы, а также улучшения качества металла и экологии плавильного производства. Однако промышленное использование новых конструкций ИПП ограничивалось отсутствием специализированных системы их комплексного питания и управления, которые позволили бы эффективно использовать электрическую энергию в целом и обеспечить высокий уровень автоматизации электротехнологических режимов. Поэтому задача разработки и создания эффективных систем комплексного электропитания и управления для новых ИПП, является важной и актуальной. Эффективность ИПП зависит от потерь при преобразовании параметров, передаче и потреблении электроэнергии, от уровня компенсации реактивной мощности, качества электрической энергии при несимметричных и несинусоидальных режимах работы трехфазной системы электроснабжения, от отклонения параметров электрической энергии на электромагнитных системах ИПП от оптимальных.

Известны разработки основ теории и методы анализа качества электроэнергии, энергетических характеристик многофазной сети при несимметричных режимах ее работы, оптимизации режимов работы электротехнологического оборудования. Использование этих разработок позволило выполнить исследования, связанные с особенностями симметрирования различных видов нагрузок (однофазных, двухплечевых, групповых) и способами компенсации их реактивной мощности. При этом потребовалось решить ряд теоретических и практических задач, связанных с определением и стабилизацией оптимальных режимов работы всего электротехнологического комплекса, а также исследованием вопросов многофункционального использования электрооборудования при решении задачи электромагнитной совместимости электротехнологических нагрузок с питающей сетью.

Исследования по диссертационной работе были проведены в соответствии с Координационными планами фундаментальных исследований Научного совета НАН Украины по комплексной проблеме "Научные основы электроэнергетики", по проектам, утвержденным ГНТ Украины

(5.42.04/010-92 и 5.42.04/023-92), по программе "Электротехника" Минмашпрома Украины на 1992-96 г.г., а также НИР (темы "Индуктор" и "Программа"), в которых автор принимал участие в качестве ответственного исполнителя отдельных разделов.

Объектом исследования являются системы электропитания и управления для принципиально новых индукционных плавильных печей с расширенными электротехнологическими возможностями.

Целью и основными научными задачами работы является исследование, разработка, создание и внедрение систем электропитания и управления электротехнологическими процессами новых конструкций индукционных плавильных печей.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- исследования характеристик и электромагнитных параметров новых конструкций индукционных плавильных печей;
- разработки методов анализа и расчета устройств электропитания многофункционального назначения;
- анализа способов и разработки схем электропитания индукционных плавильных печей;
- разработки и внедрения систем электропитания и управления технологическими процессами в индукционных плавильных печах и электромагнитной совместимости плавильных печей с питающей сетью.

Методы исследования. Теоретические исследования проведены с применением классических методов анализа электрических цепей, элементов теории вероятностей и широким использованием ПЭВМ. Экспериментальные исследования выполнены как в лабораторных условиях на физической модели, так и в условиях литейного цеха с использованием современной измерительной аппаратуры.

Научная новизна.

- впервые исследованы вопросы влияния последовательности и продолжительности электротехнологических режимов работы электромагнитных систем принципиально новой плавильной печи МДПК-1 на ее производительность и качество расплавленного в ней металла и влияние ИПП, как резкопеременной нагрузки, на питающую сеть;
- обоснован способ амплитудно-фазового регулирования электромагнитных связей между индукторами и электромагнитами ИПП, автоматического управления последовательностью и продолжительностью различных электротехнологических режимов работы, обеспечивающий управление скоростью плавления и качеством расплавленного металла в зависимости от свойств и количества загружаемой шихты;

- для новой технологии плавления предложен способ оптимизации электротехнологических режимов работы ИПП и электромагнитной совместимости резкопеременной несимметричной нагрузки с питающей трехфазной сетью путем сочетания способов присоединения индукционных единиц ИПП и элементов симметрокомпенсирующего устройства (СКУ) в различных режимах работы при минимальной установленной мощности СКУ;

- предложена методика исследования и аналитического расчета параметров разработанных систем в наиболее "тяжелых" режимах работы индукционных плавильных печей;

- получены новые аналитические выражения, значительно упрощающие анализ схем электропитания ИПП при многофункциональном использовании в них индуктивных и емкостных элементов;

- предложены методики анализа способов подключения индукционных единиц ИПП и возможных вариантов схем электропитания ИПП, необходимые при разработке и расчете их систем электропитания.

Теоретическая и практическая ценность работы определяется тем, что предложенные автором методики исследования и расчета электротехнологических параметров индукционных плавильных печей и схем их электропитания позволяют разрабатывать эффективные системы электропитания и управления, применение которых обеспечивает оптимальные электротехнологические режимы ИПП при эффективном использовании электроэнергии. Практически это доказано на действующей в литейном цехе Киевского завода "Маяк" индукционной плавильной печи с расширенными электротехнологическими возможностями МДПК-1, для которой создана система электропитания и управления производительностью, качеством расплавленного в ней металла и электромагнитной совместимостью с питающей трехфазной сетью.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку новых научных результатов, которые выносятся на защиту:

- результаты исследования электротехнологических параметров новых конструкций индукционных плавильных печей.

- методика анализа схем электропитания ИПП.

- аналитические выражения и программы расчета на ПЭВМ систем электропитания многофункционального назначения.

- способ регулирования амплитуд и фаз напряжений на электромагнитных системах ИПП для управления производительностью и качеством расплавленного металла с одновременным обеспечением электромагнитной совместимости ИПП с питающей трехфазной сетью.

- система комплексного электропитания для двух индукционных тигельных плавильных печей ИАТ-0,4.

- система электропитания и управления режимами работы новой индукционной плавильной печи повышенной производительности МДПК-1.

Реализация результатов работы. Результаты исследований при непосредственном участии автора использованы при разработке и внедрении систем электропитания ИПИ:

1. Система управления производительностью принципиально новой индукционной плавильной печи МДПК-1, качеством расплавленного в ней металла и электромагнитной совместимостью с питающей сетью на Киевском заводе "Маяк".

2. Система комплексного электропитания для двух индукционных плавильных печей ИАТ-0,4 на Киевском ПО "Радар".

3. Симметрокомпенсирующее устройство для индукционной плавильной печи ИЧТМ-10М1 на Киевском заводе им.Лепсе.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на Всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения производительности плавильно-литейных агрегатов и улучшения качества литой заготовки из цветных металлов и сплавов", г.Кольчугино, 1984г.; на VIII Всесоюзном научно-техническом совещании по электротермии и электротермическому оборудованию", г.Чебоксары, 1985г.; на IV Республиканской научно-технической конференции "Современные проблемы энергетики. Преобразование, стабилизация параметров и транспорт электроэнергии", г.Киев, 1985г.; на Научном семинаре по комплексной проблеме "Научные основы электроэнергетики", секция 3 "Оптимизация систем питания электрооборудования электротехнологических установок", г.Киев, 1987г. и 1994г.; на Объединенном научном семинаре отделов ИЭД НАН Украины, 1995г.

Публикации. Результаты исследований по теме диссертационной работы отражены в четырех научно-технических статьях, препринте, а также в двух научно-технических отчетах по законченным НИР ("Индуктор" и "Система") Института электродинамики НАН Украины. Получено одно авторское свидетельство СССР на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 143 страницах, и приложения, изложенного на 26 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 16 таблиц и список основной использованной литературы.

## II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, сформулирована цель работы, приводится изложение того нового, что внесено автором в исследование проблемы разработки и создания систем электропитания и управления индукционных плавильных печей, а также сформулированы основные положения работы, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены вопросы теоретического и экспериментального исследования характеристик и параметров индукционных плавильных печей. Дана характеристика принципиально новой ИПП повышенной производительности МДПК-1, которая имеет две сдвоенные индукционные единицы (ИЕ). Проанализированы функциональные возможности сдвоенной ИЕ. Приведены: разработанная автором схема электротехнологического экспериментального стенда, используемого при исследовании электромагнитных параметров индукционных единиц ИПП, а также основные электротехнические характеристики и параметры ИЕ.

Приведены параметры и результаты исследований, которые выполнены для индукционных плавильных печей ИЧТМ-10М1 и ИАТ-0,4. Показано, что в условиях, когда исследовать точно параметры ИЧТМ-10М1 во всех режимах работы затруднительно из-за значительных токов, протекающих в наиболее "тяжелых" режимах, целесообразно воспользоваться изложенной методикой расчета.

Отмечено, что производительность ИПП зависит прежде всего от скорости подогрева и расплавления металла, а также от скорости и направления движения расплавленного металла. Показано, как в сдвоенной индукционной единице при наличии в рабочей зоне электромагнита, обеспечивается циркуляция расплавленного металла. Отмечено, что интенсивность движения расплавленного металла (электромагнитный напор) может регулироваться либо изменением тока в канале  $I_k$ , обусловленного регулированием мощности индукторов, либо изменением индукции  $B_n$ , обусловленной изменением напряжения на электромагните, т.е. одну и ту же величину электромагнитного напора можно получить при различных затратах электроэнергии.

Параметры индукторов и электромагнитов индукционных единиц ИПП зависят не только от величин питающих их напряжений, но и от угла сдвига начальных фаз между ними ( $\psi_c$ ). Из анализа приведенной векторной диаграммы сдвоенной ИЕ, работающей в режиме "плавление", следует, что питающая трехфазная сеть не обеспечивает необ-

ходимого по требованиям технологии соотношения начальных фаз напряжений на электромагнитных системах ИПП. Следовательно, для увеличения производительности плавильной печи необходимо применение фазообразовательных устройств, обеспечивающих на электромагнитных системах ИПП необходимые величины и фазы напряжений.

Рассмотрены особенности энергетических процессов в трехфазной сети при подключении ИПП. Отмечено, что плавильные печи, как правило, являются однофазными и двухплечевыми низкосинусными нагрузками с изменяющимися параметрами. Поэтому применяемые в схемах электропитания ИПП фазообразовательные устройства должны обеспечивать необходимые электротехнологические режимы работы с учетом электромагнитной совместимости ИПП с питающей сетью.

Во второй главе рассмотрены вопросы многофункционального использования электрооборудования в системах электропитания ИПП.

Рассмотрен вопрос многофункционального использования трансформаторов и автотрансформаторов. Приведены расчетные соотношения для случая, когда для регулирования величины и фазы напряжения на нагрузке используется однофазный автотрансформатор-делитель напряжения, подключенный на линейное напряжение (рис.1,б). Согласно векторной диаграмме (рис.1,в), линейные напряжения по модулю равны, т.е.  $|U_{AB}| = |U_{BC}| = |U_{CA}| = U_A$ . Для коэффициента трансформации, равного  $K = U_A / U_{AB}$ , модуль и аргумент вектора напряжения на нагрузке:

$$U_{CA} = (U_A / K) \cdot \sqrt{K^2 + 1 - K} ; \psi_{U_{CA}} = \arcsin(\sqrt{3 / (2 \cdot \sqrt{K^2 + 1 - K})}) + 270^\circ$$

При подключении автотрансформатора на другие линейные напряжения  $U_{BC}$  и  $U_{CA}$  для определения аргумента необходимо к рассчитанному арксинусу прибавить минимальный (начальный) угол относительно оси +1, начиная с которого возможно перемещение нагрузки по ответвлениям автотрансформатора (для  $U_{AB} \rightarrow 150^\circ$ , для  $U_{BC} \rightarrow 30^\circ$ ).

Выражение для типовой мощности автотрансформатора-делителя напряжения имеет вид:

$$S_{AT} = S_H \cdot \frac{1 - 1/K}{\sqrt{K^2 + 1 - K}}$$

На рис.1,в показана схема подключения двух нагрузок  $S_1$  и  $S_2$  к одному автотрансформатору-делителю напряжения. Разность начальных фаз напряжений на нагрузках в этой схеме находится в диапазонах от  $0^\circ$  до  $60^\circ$  и от  $120^\circ$  до  $180^\circ$ .

Учитывая, что коэффициенты трансформации  $K_1 = U_{AB} / U_{a1B} = U_A / U_{a1}$  и  $K_2 = U_A / U_{a2B}$ , мощность автотрансформатора-делителя напряжения в э

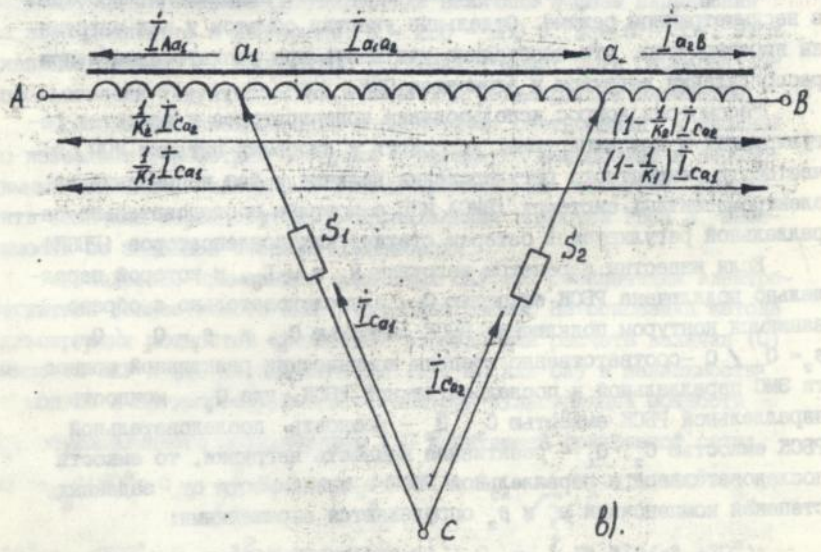
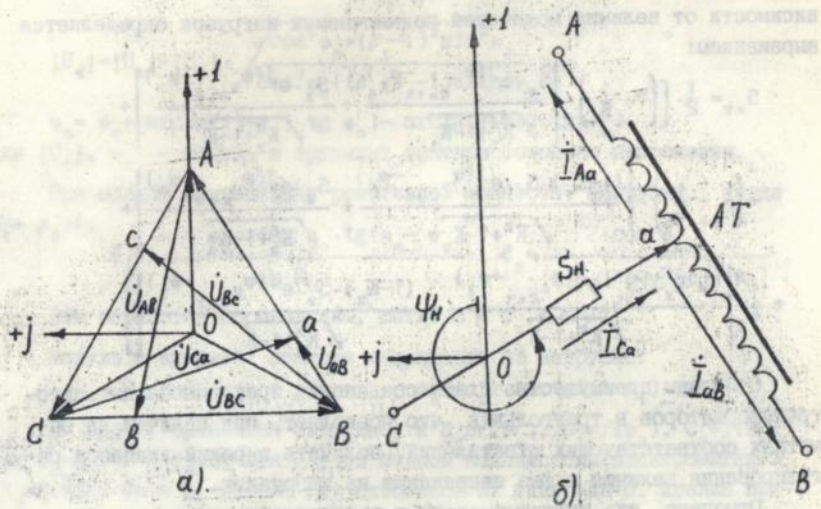


Рис. I

висимости от величин мощностей подключаемых нагрузок определяется выражением:

$$S_{\text{AT}} = \frac{1}{2} \cdot \left[ \left( 1 - \frac{1}{K_1} \right) \cdot \left| \frac{S_1 \cdot e^{j(\psi_{u_{c_{a1}}} - \varphi_1)}}{\sqrt{K_1^2 + 1 - K_1}} + \frac{S_2 \cdot e^{j(\psi_{u_{c_{a2}}} - \varphi_2)}}{\sqrt{K_2^2 + 1 - K_2}} \right| + \right. \\ \left. + \left( \frac{1}{K_1} - \frac{1}{K_2} \right) \cdot \left| \frac{(1 - K_1) \cdot S_1 \cdot e^{j(\psi_{u_{c_{a1}}} - \varphi_1)}}{\sqrt{K_1^2 + 1 - K_1}} + \frac{S_2 \cdot e^{j(\psi_{u_{c_{a2}}} - \varphi_2)}}{\sqrt{K_2^2 + 1 - K_2}} \right| + \right. \\ \left. + \frac{1}{K_2} \cdot \left| \frac{(1 - K_1) \cdot S_1 \cdot e^{j(\psi_{u_{c_{a1}}} - \varphi_1)}}{\sqrt{K_1^2 + 1 - K_1}} + \frac{(1 - K_2) \cdot S_2 \cdot e^{j(\psi_{u_{c_{a2}}} - \varphi_2)}}{\sqrt{K_2^2 + 1 - K_2}} \right| \right].$$

Отмечены преимущества схемы соединения трех однофазных автотрансформаторов в треугольник, что позволяет, при наличии на обмотках соответствующих ответвлений, получить широкий диапазон регулирования величин и фаз напряжения на нагрузках.

Отмечено, что трансформаторы и автотрансформаторы, используемые в качестве электромагнитных делителей напряжения, работают в несимметричном режиме. Отдельные участки обмоток у них загружены неравномерно, что необходимо учитывать при расчете схем и при распределении нагрузок и элементов СКУ.

Рассмотрен вопрос использования конденсаторов в качестве регулирующих и компенсирующих устройств в системах питания ИПП, в частности, емкостного регулирования величин и фаз напряжений на электромагнитных системах (ЭМС) ИПП с помощью последовательно-параллельной регулируемой батареи статических конденсаторов (РБСК).

Если известны параметры нагрузки  $R_0$  и  $\omega \cdot L_0$ , к которой параллельно подключена РБСК емкостью  $C_1$ , а последовательно с образовавшимся контуром подключена РБСК емкостью  $C_2$ , и  $\beta_1 = Q_k / Q_L$ ,  $\beta_2 = Q_n / Q_L$  - соответственно степени компенсации реактивной мощности ЭМС параллельной и последовательной РБСК, где  $Q_k$  - мощность параллельной РБСК емкостью  $C_1$ ,  $Q_n$  - мощность последовательной РБСК емкостью  $C_2$ ,  $Q_L$  - реактивная мощность нагрузки, то емкости последовательной и параллельной РБСК в зависимости от заданных степеней компенсации  $\beta_1$  и  $\beta_2$  определяется выражениями:

$$C_1 = \frac{\beta_1 \cdot \sin \varphi_0}{\omega \cdot |Z_0|}; \quad C_2 = \frac{1 + \beta_1 \cdot (\beta_1 - 2) \cdot \sin^2 \varphi_0}{\beta_2 \cdot \omega \cdot Z_0 \cdot \sin \varphi_0}.$$

Модуль и аргумент вектора напряжения на нагрузке:

$$|U_H| = |U_1| = |U_C| \cdot \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi_0 + (\beta_1 - 1)^2 \sin^2 \varphi_0}{\cos^2 \varphi_0 + (\beta_1 + \beta_2 - 1)^2 \sin^2 \varphi_0}}$$

$$\psi_H = \psi_C + \arctg[(1 - \beta_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_0] - \arctg[(1 - \beta) \cdot \operatorname{tg} \varphi_0],$$

где  $|U_C|$ ,  $\psi_C$  - модуль и аргумент вектора сетевого напряжения.

При полной компенсации реактивной мощности нагрузки, когда  $\beta_1 + \beta_2 = 1$ :

$$C_1 = \frac{\sin \varphi_0 - \cos \varphi_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi_H - \psi_C)}{\omega \cdot Z_0}; \quad C_2 = \frac{2 \cdot \cos \varphi_0}{\omega \cdot Z_0 \cdot \sin 2(\psi_H - \psi_C)}$$

Эти выражения справедливы, когда  $0 < C_1 < L_0 / Z_0^2$ .

Модуль и аргумент вектора напряжения на нагрузке:

$$U_H = U_C / |\cos(\psi_H - \psi_C)|; \quad \psi_H = \psi_C + \arctg[(1 - \beta_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_0].$$

На рис.2. приведены зависимости  $U_H = f(\psi_H)$ ,  $C_1 = f(\psi_H)$ ,  $C_2 = f(\psi_H)$  при  $U_C = 220$  В и  $\psi_C = 0^\circ$  для случая полной компенсации электромагнита ( $R_0 = 0,4828$  Ом и  $L_0 = 0,0342$  Гн) сдвоенной ИЕ типа МДН-6. Анализ приведенных зависимостей показывает, что с помощью емкостей  $C_1$  и  $C_2$  возможно одновременное регулирование величины и фазы напряжения на электромагните в диапазоне:  $U_H = 220 - 380$  В;  $\psi_H = 0^\circ - 55^\circ$ . Этот диапазон зависит от параметров нагрузки и может быть расширен при использовании индуктивностей в качестве регулирующих элементов.

Проведенные исследования и расчетные соотношения позволяют по известным параметрам нагрузки и питающего напряжения и необходимым (заданным) величине и фазе напряжения на нагрузке определить величины последовательно-параллельных емкостей РВСК в зависимости от заданной степени компенсации.

Исследовано применение емкостных СКУ для обеспечения электромагнитной совместимости ИПП с питающей сетью. На основании метода пульсирующих мощностей предложены формулы для расчета величин (Q) емкостей СКУ и фаз их подключения (АВ, ВС или СА) в зависимости от модуля и аргумента суммарного вектора пульсирующей мощности  $N_E$ , обусловленного подключением ИПП к питающей трехфазной сети:

$$30^\circ < \tau_{N_E} < 150^\circ; \quad Q_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot N_E \cdot \sin(\tau_{N_E} + 150^\circ); \quad Q_{CA} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot N_E \cdot \sin(330^\circ - \tau_{N_E});$$

$$150^\circ < \tau_{N_E} < 270^\circ; \quad Q_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot N_E \cdot \sin(90^\circ - \tau_{N_E}); \quad Q_{BC} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot N_E \cdot \sin(\tau_{N_E} + 30^\circ);$$

$$270^\circ < \tau_{N_E} < 30^\circ; \quad Q_{BC} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot N_E \cdot \sin(210^\circ - \tau_{N_E}); \quad Q_{CA} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot N_E \cdot \sin(\tau_{N_E} - 90^\circ).$$

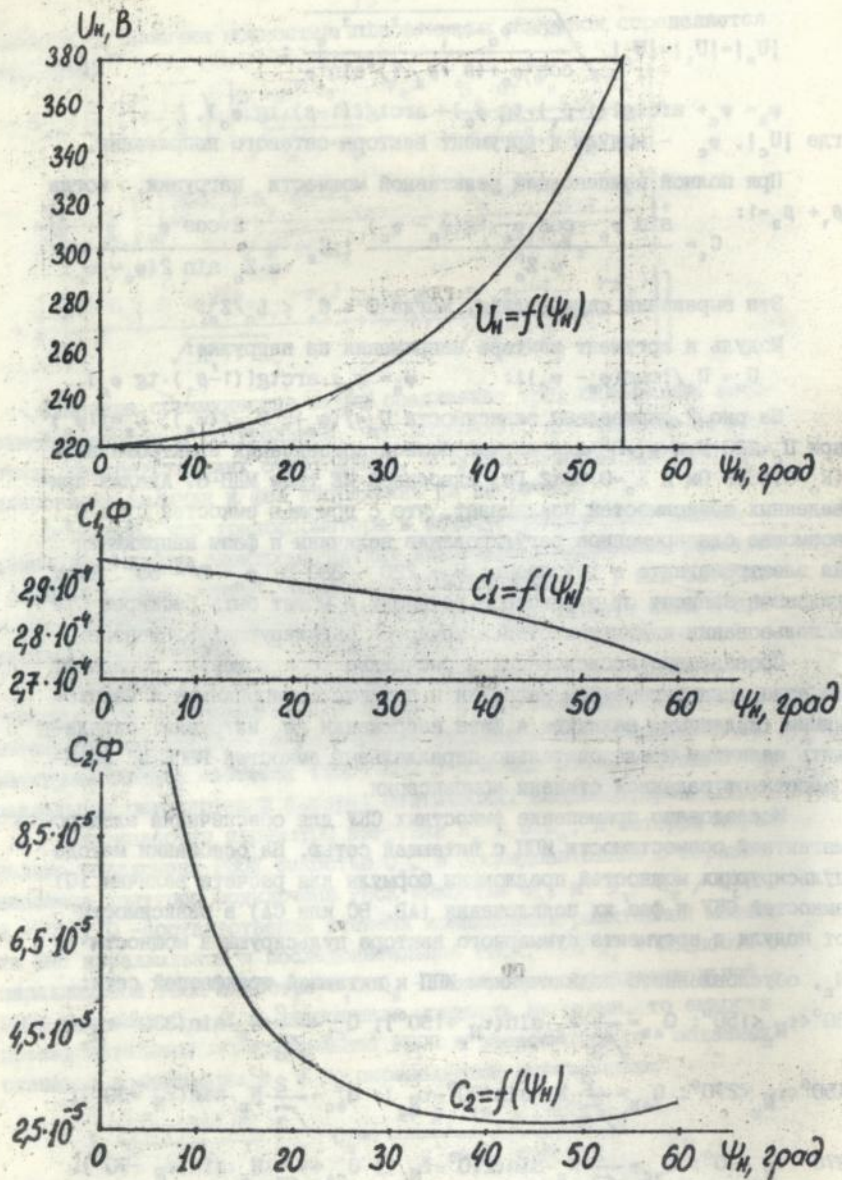


Рис. 2

Исследованы вопросы, применения конденсаторов в системах электроснабжения с полупроводниковыми преобразователями, являющимися для питающей сети генераторами высших гармоник. Представлены зависимости вероятностей безотказной работы конденсаторов  $p(t)$  и их интегральных функций распределения  $F(t)$  от коэффициента несинусоидальности  $K_{нс}$ . Показано, что мощность тепловыделения в конденсаторах при несинусоидальном напряжении резко возрастает и при  $K_{нс} > 3\%$  долговечность конденсаторов резко сокращается.

В главе приведены программы расчета на ПЭВМ, позволяющие анализировать функциональные возможности индуктивных и емкостных устройств электропитания многофункционального назначения.

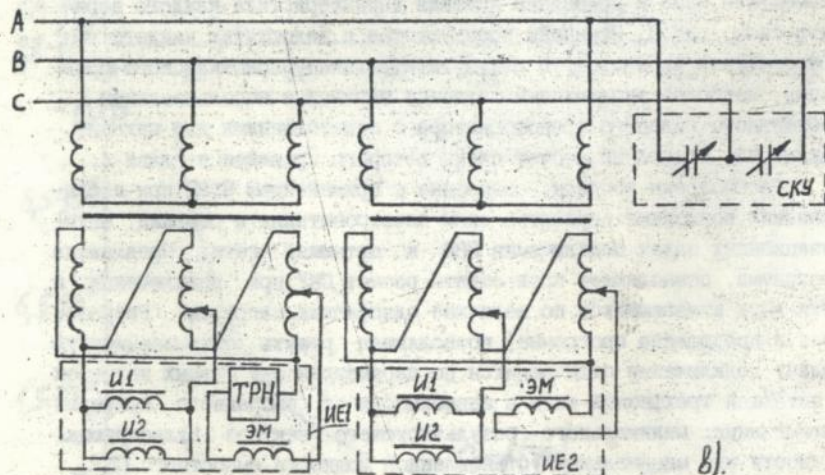
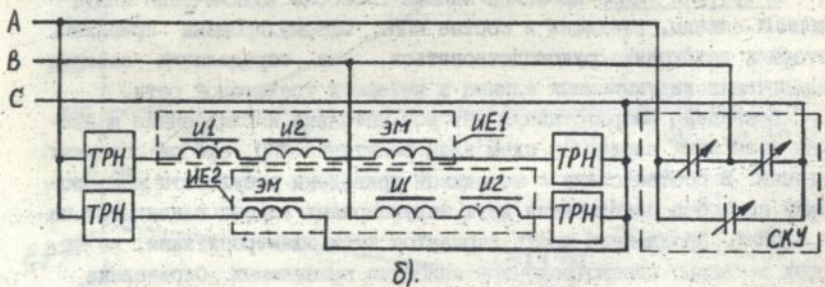
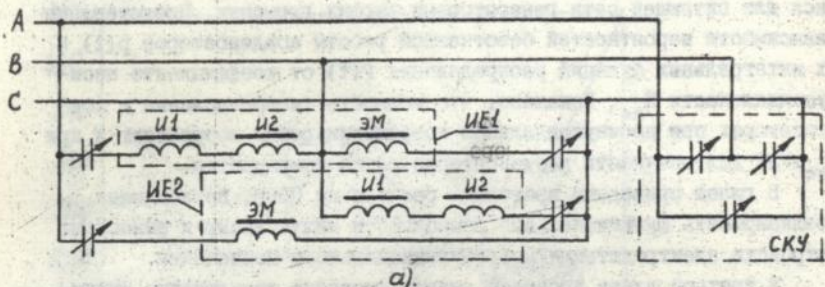
В третьей главе проведен анализ способов подключения индукционных единиц, входящих в состав ИПП. Сформулированы принципы, которыми необходимо руководствоваться, при определении способа подключения индукционных единиц к питающей трехфазной сети.

Приведена разработанная автором методика исследования и анализа возможных вариантов схем электропитания ИПП, выбора схемных решений. В соответствии с методикой приведены результаты исследований способов подключения двух индукционных единиц плавильной печи МДПК-1. Предложено шесть вариантов схем электропитания, из которых детально рассмотрено три наиболее приемлемых. Определена элементная база и приведена краткая характеристика каждого варианта схем, рис. 3. Отмечены преимущества и недостатки каждого из предложенных вариантов. В результате технико-экономического сравнения, наиболее экономичным является вариант с использованием трехфазного силового трансформатора с ответвлениями для питания каждой ИЕ, подробный расчет схемы которого приведен в главе 4.

Рассмотрены вопросы, связанные с применением ПЭВМ при исследованиях возможных вариантов схем электропитания и решении оптимизационных задач подключения ИПП к питающей сети. Предложена программа, позволяющая производить расчет СКУ при подключении к сети двух изменяющихся по величине однофазных нагрузок. Разработана и предложена программа, позволяющая решать оптимизационную задачу подключения отличающихся по параметрам однофазных нагрузок к питающей трехфазной сети в зависимости от выбранного критерия оптимизации: минимального результирующего вектора пульсирующей мощности или минимальной установленной мощности емкостного СКУ.

Четвертая глава посвящена разработке, исследованию и внедрению устройств электропитания индукционных плавильных печей.

Варианты схемных решений силового электропитания МДПК-1



ТРН-тиристорный регулятор напряжения, СКУ-симметрокомпенсирующее устройство, ИЕ1, ИЕ2-индукционные единицы, И1, И2-индукторы, ЭМ-электромагнит.

Рис. 3

В первом разделе приводится расчет устройства электропитания для двух плавильных печей ИАТ-0,4, одновременно работающих в литейном цехе ПО "Радар". Рассмотрены варианты схем, обеспечивающих как индивидуальное, так и групповое симметрирование. Разработанное устройство обеспечивает плавильные печи необходимыми электро-технологическими параметрами и включает общее для двух печей регулируемое СКУ, автоматически обеспечивающее электромагнитную совместимость плавильных печей с питающей трехфазной сетью при всех возможных сочетаниях режимов их работы. Приводится схема электропитания и результаты испытаний в промышленных условиях.

Второй раздел главы посвящен разработке, расчету и внедрению системы питания и управления принципиально новой плавильной печи МДПК-1. Приводятся основные технические требования к разрабатываемой системе питания и управления. Дан подробный расчет силовой схемы питания и СКУ. В соответствии с основными требованиями разработана программируемая электронная система автоматического управления (рис.4). Приводятся данные исследований режимов работы разработанной системы питания и управления МДПК-1 в промышленных условиях. Отмечены основные преимущества разработанной системы питания и управления производительностью плавильной печи МДПК-1, качеством расплавленного в ней металла и электромагнитной совместимостью с питающей сетью по сравнению с исходной системой питания.

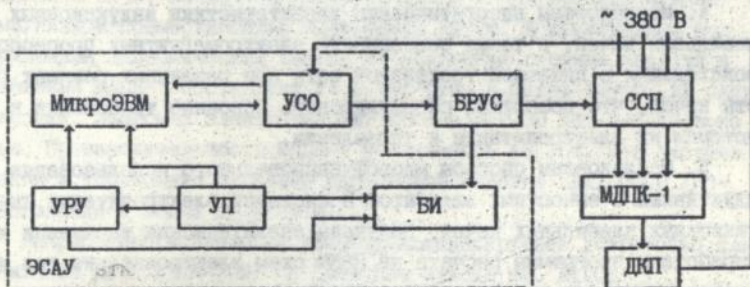


Рис.4. Структурная схема автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) плавления металла в МДПК-1: ЭСАУ - электронная система автоматического управления, УРУ - устройство режимов управления, УП - устройство программирования, УСО - устройство сопряжения с объектом, БИ - блок индикации, ССП - силовая схема питания, БРУС - блок ручного управления и сопряжения, ДКП - датчики контроля параметров.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе выполнены аналитические и экспериментальные исследования, а также практические разработки систем электропитания и управления для новых индукционных плавильных печей, на основании чего можно сделать следующие выводы.

1. Исследованы параметры индукционных плавильных печей, в том числе принципиально новых установок повышенной производительности, и их особенности как электрической нагрузки. Предложены методики, позволяющие производить расчеты электромагнитных параметров новых индукционных плавильных печей.

2. Исследованы влияния последовательности и продолжительности электротехнологических режимов работы электромагнитных систем принципиально новой индукционной плавильной печи МДПК-1 на ее производительность и качество расплавленного в ней металла.

3. Предложен и реализован в опытно-промышленной установке способ амплитудно-фазового регулирования электромагнитных связей между индукторами и электромагнитами индукционной плавильной печи, автоматического управления последовательностью и продолжительностью различных электротехнологических режимов работы, обеспечивающий автоматическое управление производительностью печи и качеством расплавленного в ней металла.

4. Исследованы энергетические характеристики индукционных плавильных печей, а также особенности электромагнитных процессов, происходящих в питающей трехфазной сети при различных режимах работы печей, что позволило сформулировать основные требования к системам их электропитания и управления.

5. Исследованы способы многофункционального использования индуктивных и емкостных элементов в системах электропитания индукционных плавильных печей. Получены аналитические выражения и разработаны программы расчета на ЭВМ схем электропитания при использовании в них индуктивных и емкостных элементов.

6. Проведен анализ применения емкостных симметрирующих устройств для электромагнитной совместимости индукционных плавильных печей с питающей сетью. Предложена методика оценки целесообразности применения емкостного симметрирующего устройства в системах электропитания индукционных плавильных печей с полупроводниковыми преобразователями и связанной с этим несинусоидальностью напряжения.

7. Для новой технологии плавления предложен способ оптимизации электротехнологических режимов работы индукционной плавильной печи и автоматического обеспечения электромагнитной совместимости резкопеременной несимметричной нагрузки с питающей трехфазной сетью путем сочетания вариантов присоединения индукционных единиц и элементов емкостного симметрокомпенсирующего устройства в различных режимах работы при минимальной установленной мощности симметрокомпенсирующего устройства.

8. Предложена программа расчета на ПЭВМ оптимизации режимов подключения однофазных нагрузок, обеспечивающей электромагнитную совместимость индукционных плавильных печей с питающей сетью и минимум установленной мощности элементов емкостного симметрокомпенсирующего устройства.

9. Предложена методика исследования способов электропитания индукционных плавильных печей, программы расчета и анализа на ПЭВМ схем электропитания и определения диапазона изменения их электротехнологических параметров.

10. На действующей в литейном цехе Киевского завода "Маяк" индукционной плавильной печи с расширенными электротехнологическими возможностями МДПК-1 доказана эффективность созданной системы электропитания и управления производительностью индукционной плавильной печи, качеством расплавленного в ней металла и электромагнитной совместимостью с питающей сетью. Документально подтвержденный экономический эффект от внедрения системы питания и управления МДПК-1 составляет 24,0 тыс руб. в ценах 1991г. на одну установку. Экономия электроэнергии составляет 30 кВт-ч/Т годового литья. Производительность МДПК-1 увеличилась на 30%. Эта система питания и управления отмечена серебряной медалью ВДНХ СССР (Постановление № 874-Н от 4/XI-88г.).

Разработано и внедрено симметрокомпенсирующее устройство для плавильной печи ИЧТМ-10М1 на Киевском заводе им. Лепсе.

Разработано и внедрено устройство электропитания для двух индукционных плавильных печей ИАТ-0,4 на Киевском ПО "Радар".

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ.

1. А.с. № 1280679 Тиристорный ключ. / Баронова Е.А., Жук А.К., Анисимов Я.Ф., Борисов Б.П., Зубык Ю.П., Ломко Н.А. - Опубл. в Б.И., 1986, № 48.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

2. Борисов В.П., Ломко Н.А. Многофункциональное использование индуктивных и емкостных элементов в системах питания электрических печей. - Киев, 1994. - 31 с. - (Препр./НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 765).

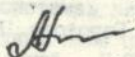
3. Борисов В.П., Зубык В.П., Ломко Н.А. Системы питания магнитодинамических установок с емкостными делителями напряжения. В кн.: Пути повышения производительности плавильно-литейных агрегатов и улучшения качества литой заготовки из цветных металлов и сплавов. /Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф./, - Кольчугино, М., 1984. ЦНТТОЦМ.

4. Борисов В.П., Шнурко В.К., Буденный В.Ф., Бердинских В.А., Ломко Н.А., Костюченко Н.Б. Автоматизация и источники питания магнитодинамических установок. VIII Всесоюзное науч.-техн. совещание по электротермии и электротермическому оборудованию. /Тез. стенод. докл./ - Чебоксары, 1985г.

5. Борисов В.П., Шнурко В.К., Ломко Н.А., Смирнов А.С., Буденный В.Ф., Кузькин В.В. Автоматизированные системы управления и регулирования преобразователями напряжения электротехнологических магнитодинамических установок. В сб.: Современные проблемы энергетики. Преобразование, стабилизация параметров и транспорт электроэнергии. /Тез докл. IV Респ. научн.-техн. конф./ - Киев, ИЭД АН УССР, 1985. ДСП.

6. Борисов В.П., Шнурко В.К., Зубык В.П., Ломко Н.А. и др. Разработать и создать систему питания магнитодинамической установки для гибких автоматизированных комплексов литья под давлением, функционирующим в составе АСУ ТП цеха. - Отчет ИЭД АН УССР по НИР "Программа", 1990, в Гос. регистр. 01860087251.

Личный вклад. В работах, опубликованных в соавторстве, диссертанту принадлежит: в [1,3,4,5] - постановка и решение задач исследования, проведение экспериментов, в [2] - получение аналитических выражений и расчетных соотношений для оценки возможности многофункционального использования индуктивных и емкостных элементов в системах электропитания ИПП, в [6] - самостоятельное выполнение отдельного раздела НИР.



Институт электродинамики  
НАН Украины

## АНОТАЦІЯ

Ломко М.О. Системи електроживлення індукційних плавильних печей.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи, включаючи їх управління та регулювання, Інститут електродинаміки НАН України, Київ, 1995.

Досліджені параметри індукційних плавильних печей, в тому числі нових конструкцій. Розроблені методики аналізу і розрахунку пристроїв електроживлення багатофункціонального призначення, розробці і розрахунку систем електроживлення індукційних плавильних печей. Для принципово нової індукційної плавильної печі з розширеними електротехнологічними можливостями розроблена і впроваджена система електроживлення і програмованого керування на основі амплитудно-фазового регулювання напруги на електромагнітних системах, що забезпечує керування продуктивністю плавильної печі і якістю розплавленого в ній металу.

## ANNOTATION

Lomko N.A. Power supply systems of induction melting furnaces. Thesis for a candidate's degree on a profession line 05.09.03 – electrotechnical complexes and systems including their control and adjustment. Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1995.

Parameters of induction melting furnaces including new designs are investigated. Methods of analysis and calculation of power supply devices of multifunctional purpose are elaborated. Development and analysis of power supply systems of induction melting furnaces have been conducted. System of power supply and programmed control on the basis of amplitude-phase voltage control across electromagnetic systems has been elaborated and introduced for a principally new induction melting furnace with expanded electrotechnological possibilities that provides a control of melting furnace capacity and a quality of metal melted in it.

Ключові слова: системи електроживлення, програмоване керування, індукційна плавильна піч, електротехнологічні режими роботи, електромагнітна сумісність, багатофункціональність.

Ав 32.472

Подписано к печати 16.05.1995 г. Формат 60x84/16  
Бумага офсетная Усл.-печ.лист, 1,0. Уч.-изд.лист 1,0.  
Тираж 100. Заказ 231. Бесплатно

---

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,  
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.