

*к.т.н., с.н.с. Глебин А.Г.
(УНПА, г. Стаханов, Украина)
к.т.н., с.н.с. Кобец Д.В.,
к.т.н., с.н.с. Ушаков В.И.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ДВУХМОСТОВОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА СО СВОЙСТВАМИ ИСТОЧНИКА ТОКА

Наведено результати теоретичних досліджень джерела стабілізованого струму для живлення електротехнологічних установок. Розроблено математичну імітаційну модель системи автоматичної стабілізації струму, побудованого на основі двомостового тиристорного резонансного інвертора.

Актуальной задачей в современной электротехнике является создание мощных источников тока, большая потребность в которых испытывается в электрометаллургии, электротехнологии и электротермии. Применение источников тока повышает эффективность технологических процессов, разрешает многие технические противоречия, обеспечивает новыми полезными свойствами и технические возможности, недостижимые при питании от источников напряжения.

К необходимым для практики источникам тока предъявляются требования как общего характера (высокие энергетические и удельно-экономические показатели, простота, надежность и т.п.), так и связанные с режимами работы потребителей электроэнергии: неизменность тока при возмущениях со стороны нагрузки, возможность регулирования тока в диапазоне не менее 1:10, его стабилизации на заданных уровнях и др.

В качестве основы, на базе которой создаются различные типы источников питания электротехнологических установок индукционного нагрева (индукционной закалки, плавки металлов и т. п.) получили широкое распространение тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) [1]. Повышение эффективности работы этих установок, как правило, связано с улучшением характеристик и показателей применяемого ТПЧ.

В различных работах предлагается использовать в качестве источников тока устройства, построенные на основе параметрического принципа стабилизации тока. Наглядным примером параметрического стабилизатора тока является Г-образная схема Бушера [2], образующая индуктивно-

емкостной преобразователь (ИЕП). Однако также хорошо известен тот факт, что качество стабилизации тока в нагрузке подобной схемы существенно зависит от параметров силовой схемы ИЕП. Как и любая схема параметрической стабилизации, Г-образная схема Бушера чувствительна к неидеальностям реактивных элементов, образующих ее.

Авторами данной статьи предложен принцип построения регулируемого источника стабилизированного тока, основанный на объединении параметрической стабилизации и стабилизации, реализованной за счет замкнутой системы автоматического регулирования. На рисунке 1 показана схема стабилизатора тока, объединяющая в своем составе входной дроссель 1, конденсатора 2, нагрузку 3, которые собраны в Г-образную схему ИЕП, и питаются от регулируемого источника напряжения 4 с входным сумматором 5, регулятором 6 и датчиком тока нагрузки 7.

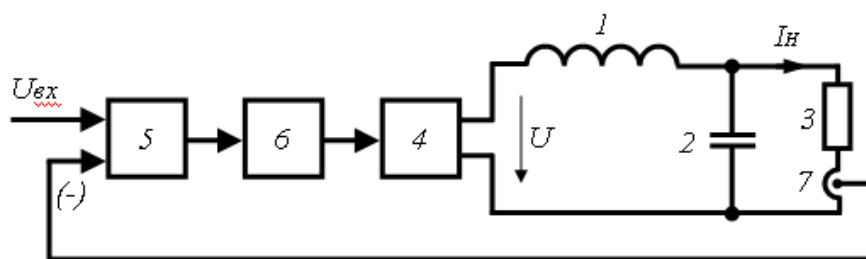


Рисунок 1 – Регулируемый стабилизатор тока

Применение регулируемого источника напряжения питания ИЕП позволяет ликвидировать недостатки ИЕП, а также изменять величину стабилизируемого тока в нагрузке. В качестве источника регулируемого напряжения в таком стабилизаторе используется двухмостовой тиристорный резонансный инвертор, силовая часть которого показана на рисунке 2.

Известно несколько способов регулирования выходного напряжения тиристорных преобразователей [3]. В силу своих известных положительных качеств, широкое распространение получили способ регулирования, основанный на изменении частоты управляющих импульсов, и способ, основанный на изменении фазового сдвига между основными гармониками выходного напряжения двух преобразователей частоты, работающих на общую нагрузку.

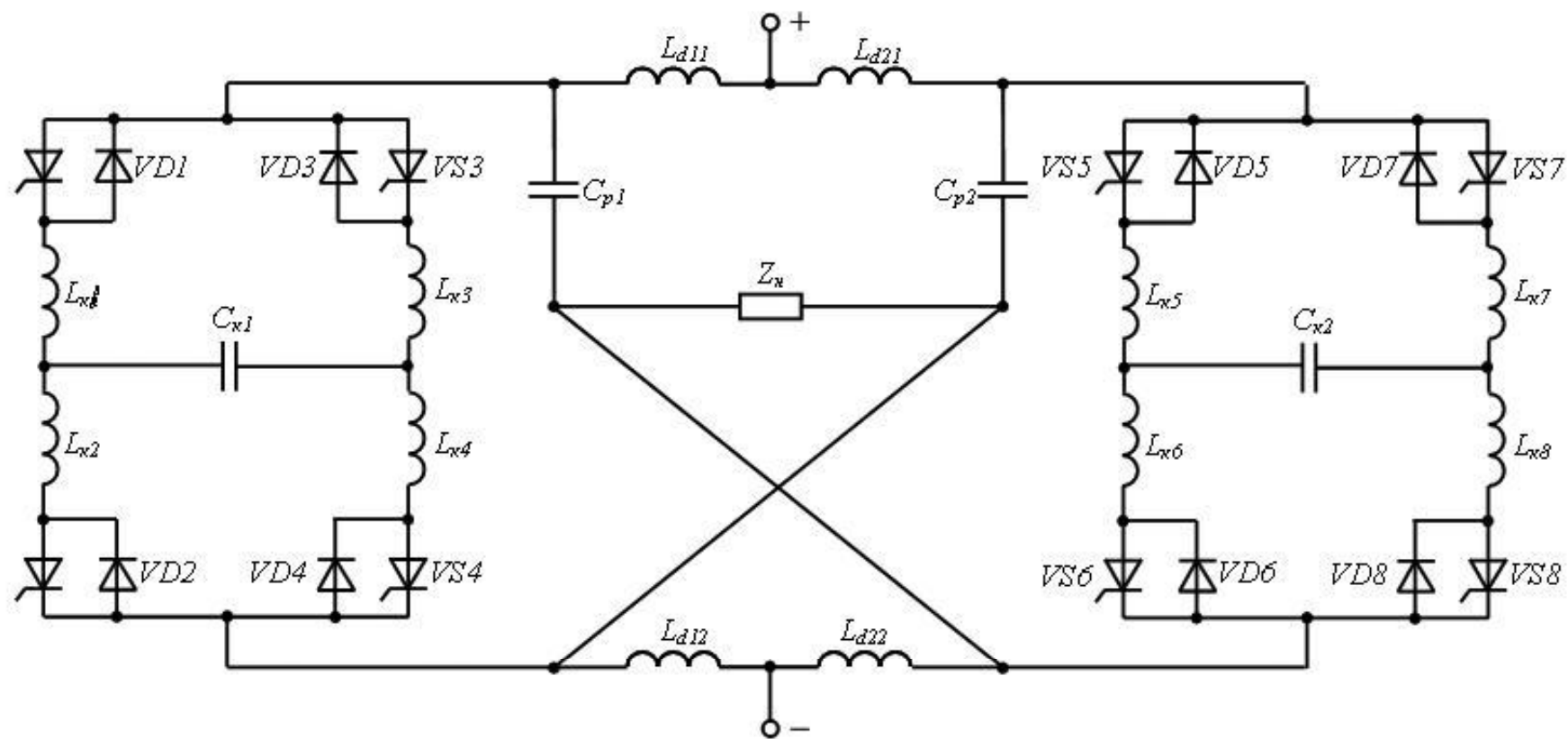


Рисунок 2 – Принципиальная схема силовой части двухмостового тиристорного преобразователя

Достоинствами первого способа являются простота реализации и широкий диапазон регулирования при высокодобротной нагрузке. Достоинствами второго способа является широкий диапазон регулирования и возможность использования тиристорного преобразователя для питания изменяющейся нагрузки, когда частота при этом должна оставаться неизменной.

Кроме этого существенным требованием, предъявляемым к такому ТПЧ, должно быть сохранение регулировочных свойств преобразователя при изменении параметров его нагрузки в широких пределах и синусоидальность выходного напряжения [4].

С другой стороны система управления таким преобразователем должна реализовать несколько функций. Во-первых, необходимо реализовать функцию преобразования уровня входного сигнала в выходную частоту для обеспечения плавного регулирования выходной частоты. Во-вторых, необходимо реализовать функцию, позволяющую плавно изменять фазовый сдвиг между управляющими импульсами тиристорных мостов. В то же время основной функцией системы управления источника тока должно быть регулирование выходного напряжения ТПЧ при помощи регулятора с обратной связью.

При проектировании и исследовании тиристорных преобразователей для электротермических установок важное место занимает анализ электромагнитных переходных и установившихся процессов. В электротермических установках тиристорные преобразователи работают в условиях постоянного воздействия различных возмущений: пуск и выключение установки, наличие перепадов питающего напряжения, резкие изменения нагрузки, связанные со сменой нагреваемых металлических изделий. В настоящее время анализ динамических режимов, вызванных подобного рода возмущениями производится с помощью численных методов, обладающих рядом достоинств (легкая алгоритмизация, малое время счета). В связи со сложностью анализируемых процессов целесообразным является имитационное моделирование в специальных прикладных программных средах, таких как MATLAB и др. Целью моделирования анализируемого источника тока является исследование качества регулирования и стабилизации выходного тока тиристорного преобразователя, нагруженного на нагрузку с изменяющимися параметрами.

Моделирование источника тока производилось в среде MATLAB, с использованием блоков раздела SimPowerSystems [5]. При моделировании рассматриваемого источника тока была создана модель силовой части (рис. 3), при этом модели активных, реактивных и ключевых элементов схем принимались идеальными.

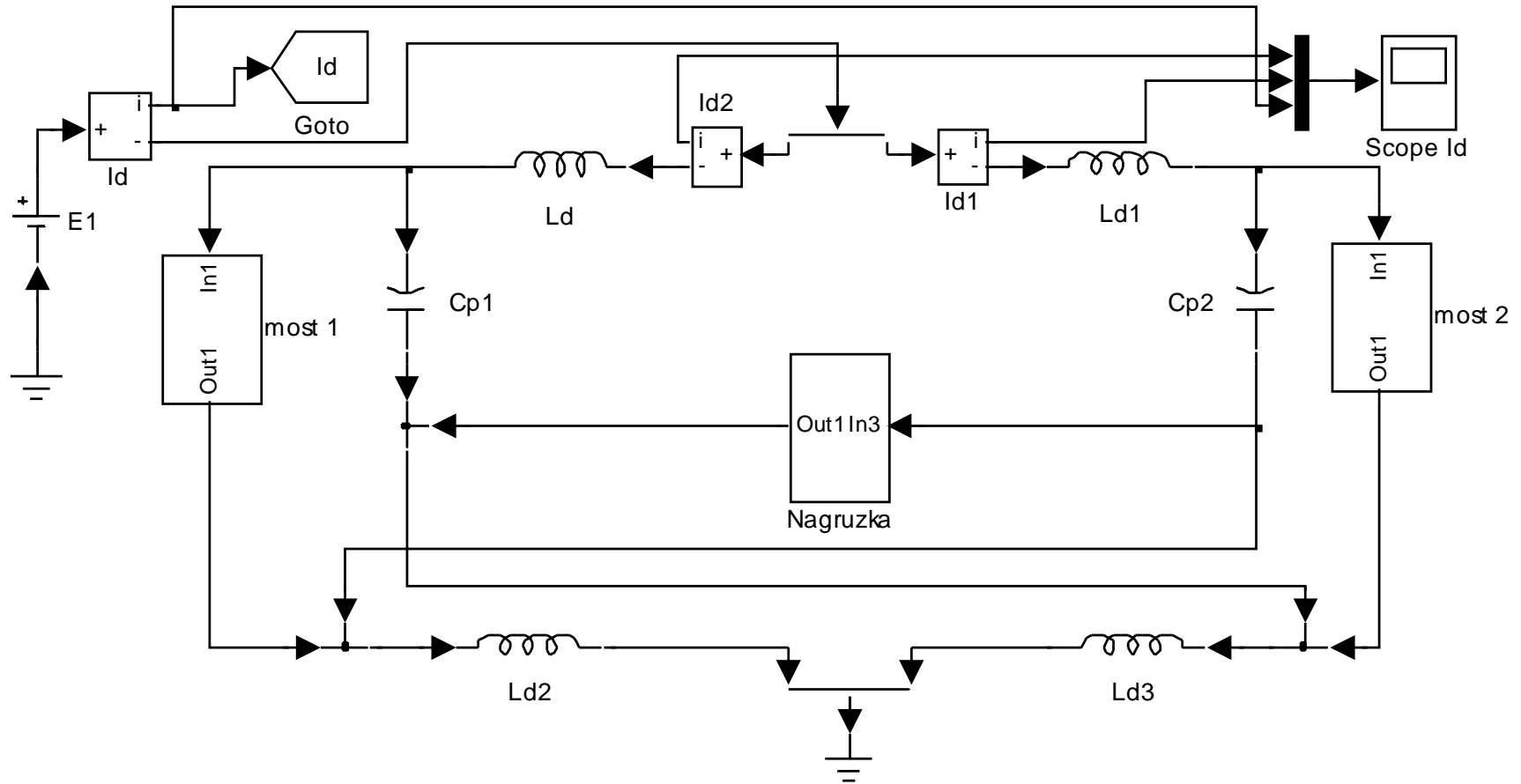


Рисунок 3 – Модель силовой части ТПЧ

Тиристорные мосты двухмостового ТПЧ собраны в отдельные подсистемы (рис. 4), которые структурно подобны. На рисунке 5 представлена модель нагрузки, также созданная в виде подсистемы.

Система управления (рис. 6) объединяет в себе функции регулирования частоты и фазового сдвига. Частота импульсов управления пропорциональна сигналу на входе 1. Импульсы управления на выходах 1 и 2 подаются на тиристоры первого моста. Импульсы управления на выходах 3 и 4, сдвинуты на величину задержки во времени, пропорциональной сигналу на входе 2, и подаются на тиристоры второго моста.

Структура регулирования представляет собой классический вариант ПИ-регулятора с единичной отрицательной обратной связью по действующему значению выходного напряжения (рис. 7). Сигнал регулятора подается на вход формирователя временной задержки (рис. 8). Таким образом, возможна стабилизация выходного напряжения преобразователя на заданном уровне с достаточно высокой точностью за счет статической ошибки, равной нулю.

В ходе проведенных исследований на математической модели источника тока были получены основные характеристики – регулировочные и нагрузочные. На рисунке 9 представлено семейство регулировочных характеристик, полученных при различных сопротивлениях нагрузки. Как видно из графиков, при работе на изменяющуюся нагрузку в системе питания наблюдается эффект насыщения, связанный с недостаточным количеством подводимой энергии на входе ТПЧ. Область насыщения составляет от 10 до 30% от всего диапазона использования данного источника по току. Однако, наличие такой зоны не будет вызывать существенных искажений в работе источника, так как системы питания индукционных установок как правило загружены на 60-70% в силу технологических особенностей (обеспечение температурной стабильности, повторяемости процесса и проч.). В рабочей зоне наблюдается линейность характеристики, что свидетельствует о хороших регулировочных свойствах и широком диапазоне регулирования тока.

На рисунке 10 представлены нагрузочные характеристики, которые показывают качество работы источника на различных уровнях стабилизации тока. В зоне номинальных параметров нагрузки и параметров, близких к холостому ходу характеристики имеют абсолютную жесткость. Это обеспечивается работой ПИ-регулятора. При параметрах нагрузки близких к короткому замыканию, благодаря свойствам ТПЧ, построенного на базе мостовых резонансных инверторов, наблюдается ограничения тока короткого замыкания.

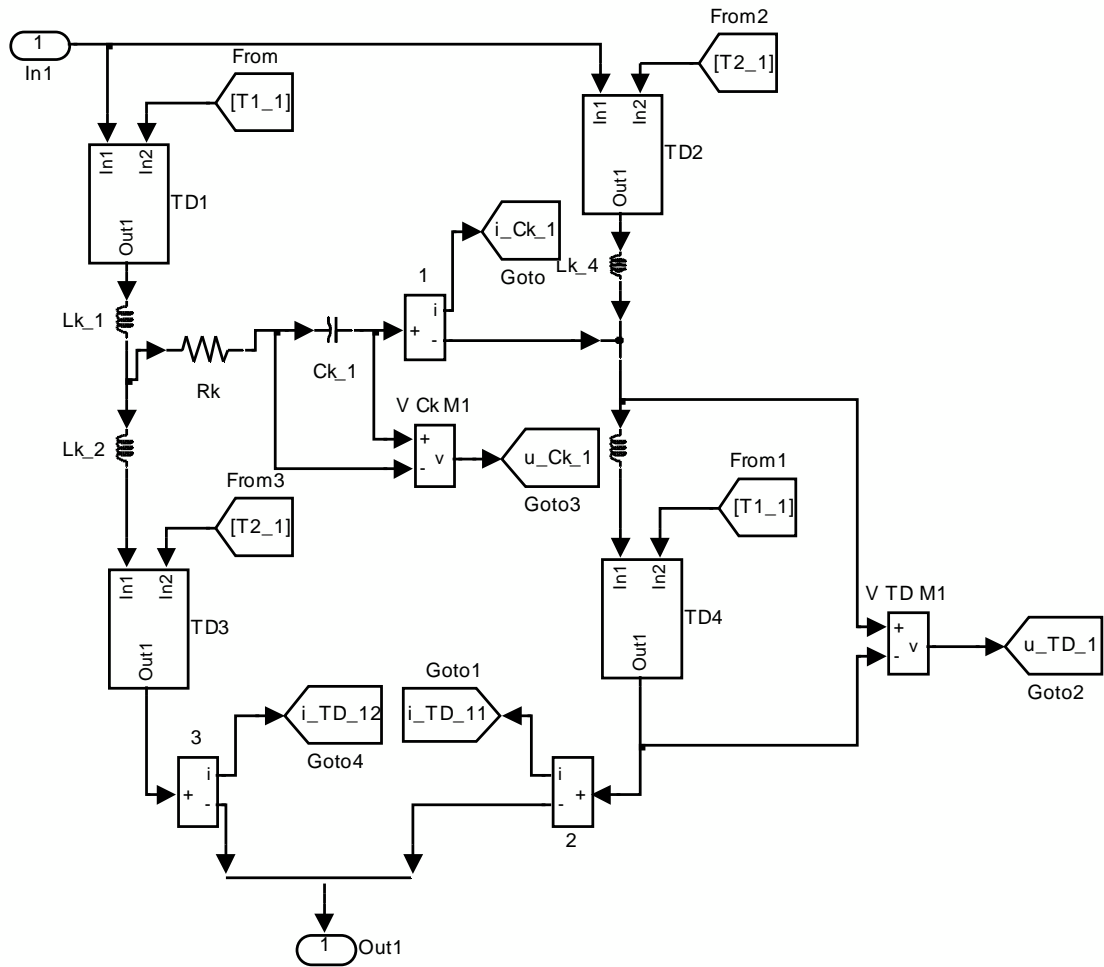


Рисунок 4 – Подсистема most1.

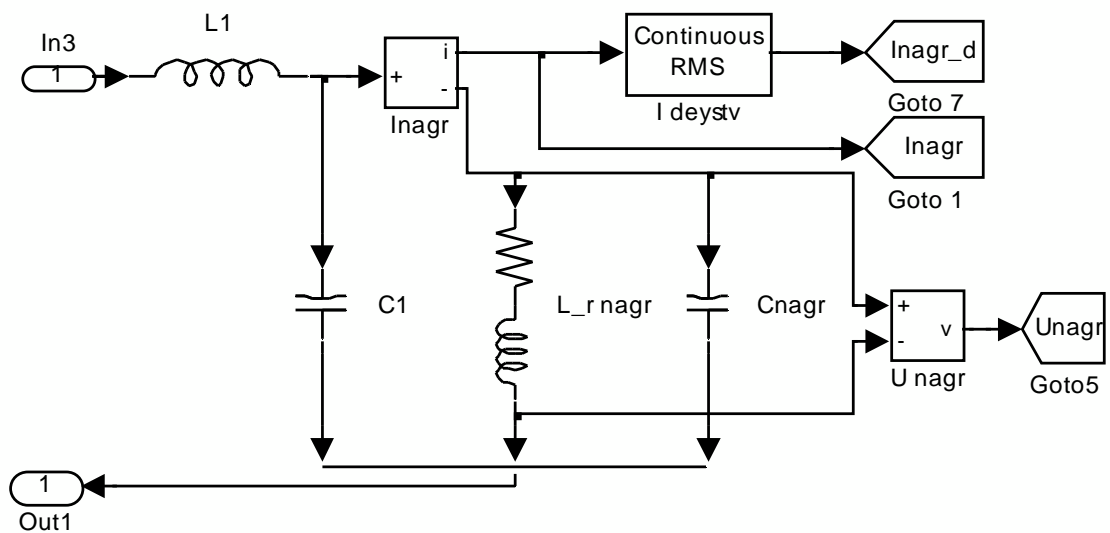


Рисунок 5 – Подсистема Nаgruzka.

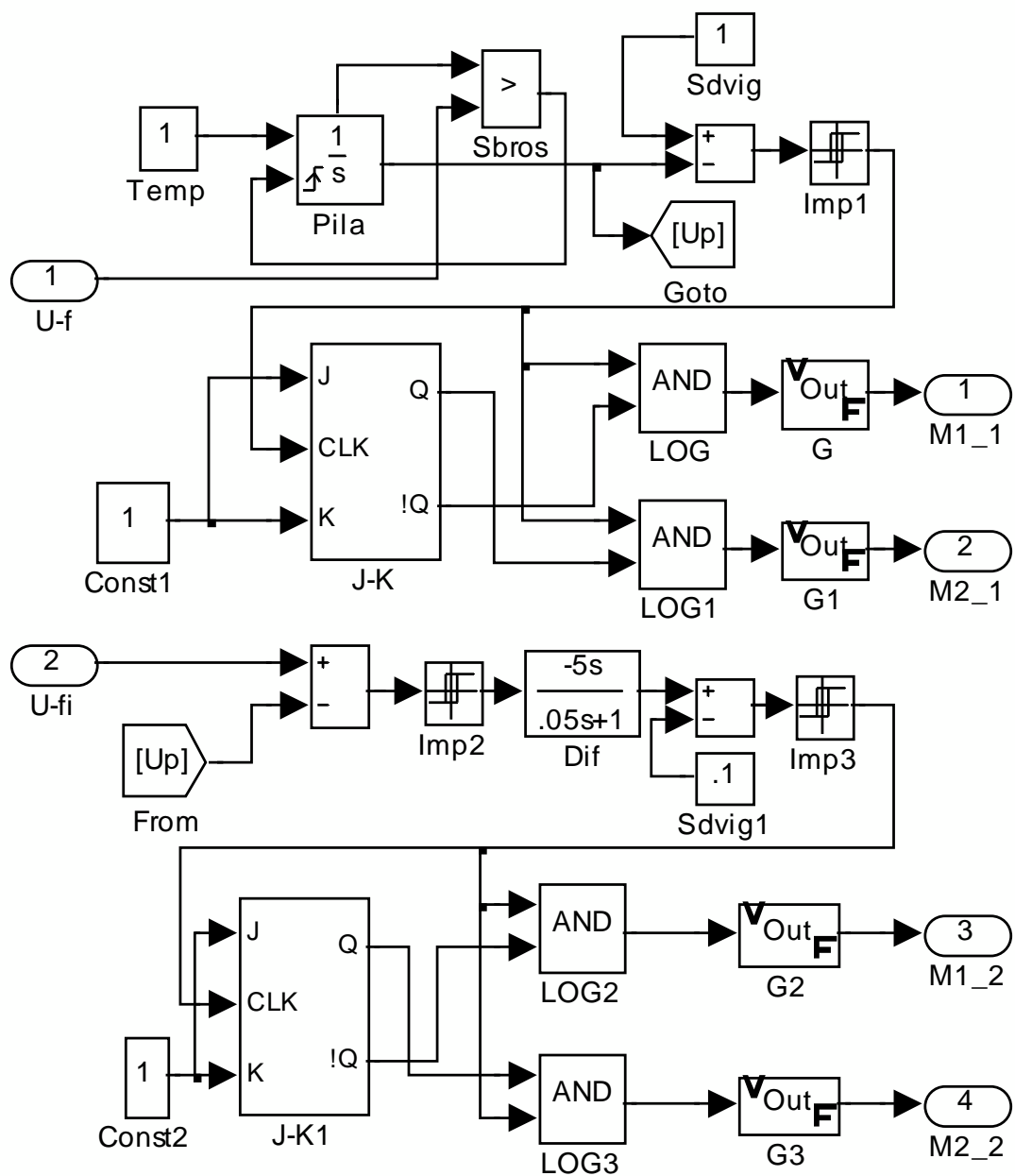


Рисунок 6 – Система управления частотой и фазовым сдвигом

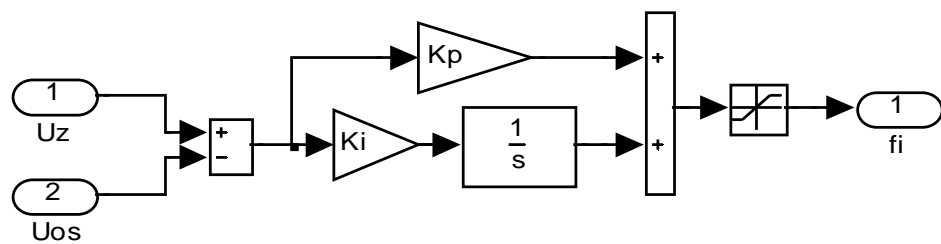


Рисунок 7 – Подсистема стабилизации выходного напряжения

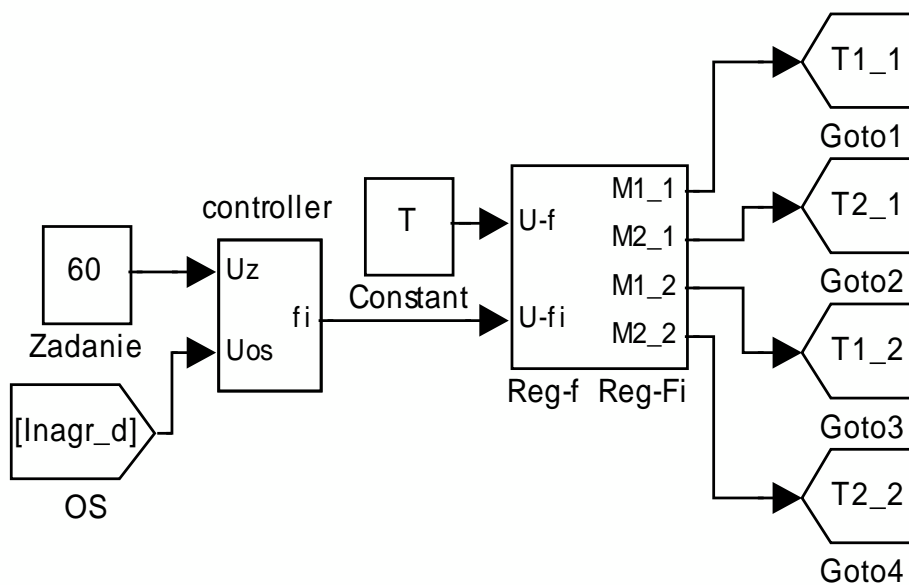


Рисунок 8 – Подсистема формирования временной задержки

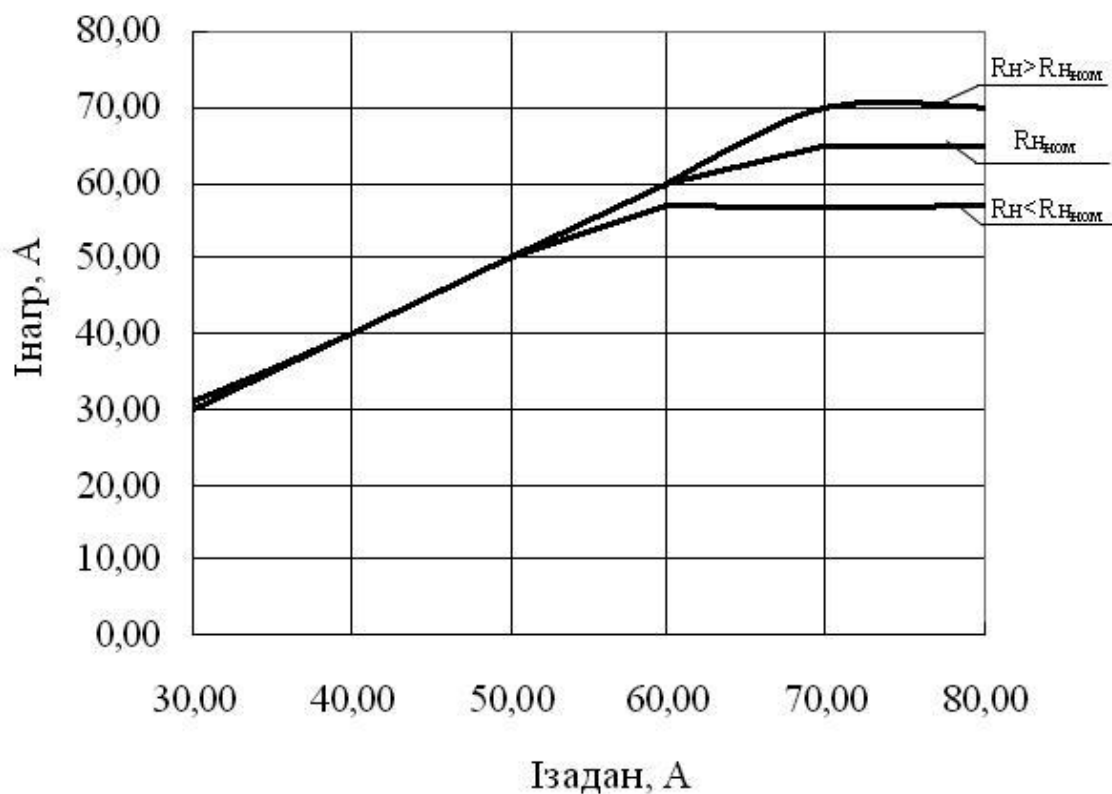


Рисунок 9 – Регулировочные характеристики источника тока

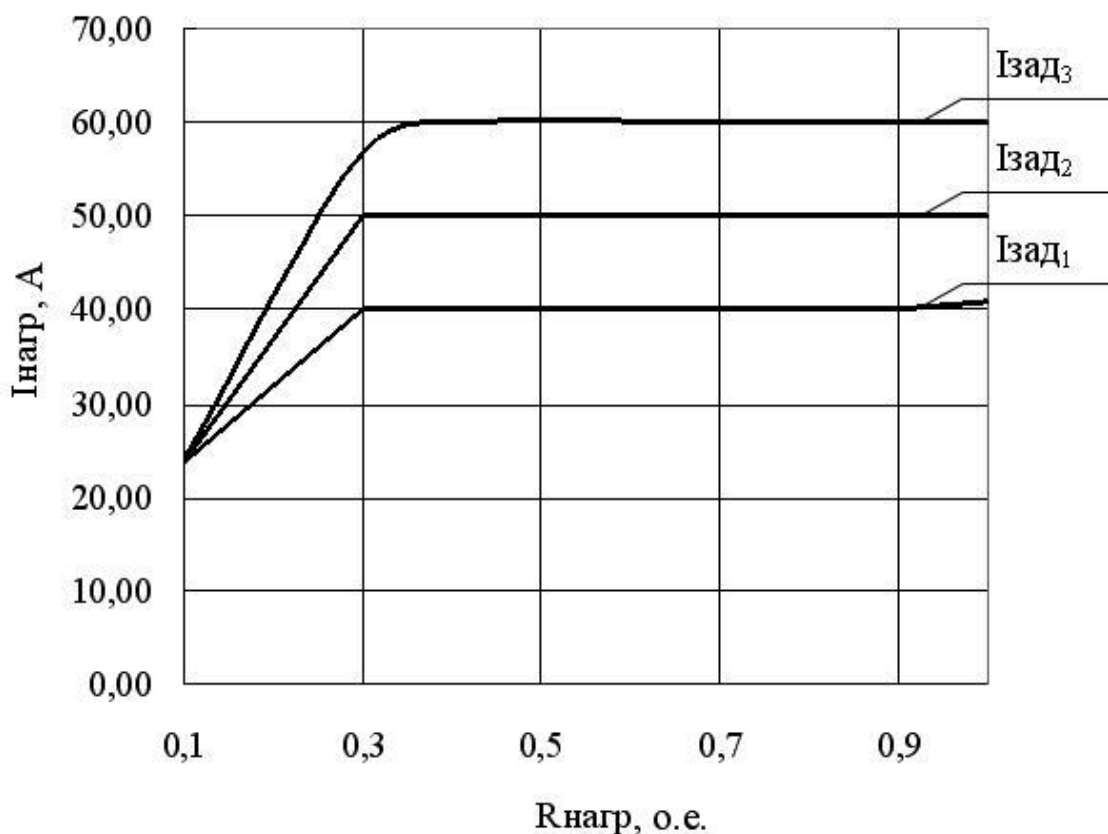


Рисунок 10 – Нагрузочные характеристики источника тока

Таким образом, представленные характеристики демонстрируют высокие регулировочные и стабилизирующие свойства источника тока при работе на нагрузку с изменяющимися параметрами. Причем данный источник способен работать в режиме короткого замыкания, так как за счет ограничения тока обеспечивается защита технологической нагрузки и преобразователя от аварийных перегрузок.

Выводы. Предложен принцип построения источника стабилизированного тока, основанный на комбинировании параметрической и координатной стабилизации.

Разработана имитационная модель источника стабилизированного тока для питания электротермической индукционной установки, которая включает в себя модель нагрузки, представленную эквивалентными параметрами, модель силовой части двухмостового ТПЧ, модель системы управления, в которой реализованы функция управления фазовым сдвигом импульсов отпираания триггеров и функция стабилизации выходного тока преобразователя с помощью ПИ-регулятора.

Получены регулировочные и нагрузочные характеристики источника стабилизированного тока. Анализ характеристик показал, что дан-

ный источник обладает высоким качеством стабилизации тока при изменении нагрузки в широких пределах.

Предложенная модель также может быть использована для исследования динамических режимов в системе питания индукционной установки при изменении параметров нагрузки, и построения таких систем.

Приведены результаты теоретических исследований источника стабилизированного тока для питания электротехнологических установок. Разработана математическая имитационная модель системы автоматической стабилизации тока, построенного на основе двухмостового тиристорного резонансного инвертора.

Theoretical researches results of the stabilised current source for a supply of electrotechnological installations. The mathematical imitating model of current automatic stabilization system constructed on the basis of two-bridge tiristor the resonant inverter is developed.

Библиографический список.

1. Гусев Ю.М., Рогинская Л.Э., Шуляк А.А., Белкин А.К. Технологические процессы с применением тиристорно-индукционных комплексов//Технічна електродинаміка. Спеціальний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 1998. – Ч. 2. – С. 20-22.

2. Автономный резонансный инвертор в режиме параметрической стабилизации тока / Волков И.В., Губаревич В.Н., Матвеев В.Ю., Кабан В.П.//Техническая электродинамика. – 1982. – №6. – С. 22-27.

3. Тиристорные преобразователи частоты/А.К. Белкин, Т.П. Костюкова, Л.Э. Рогинская, А.А. Шуляк. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 263 с.: ил

4. Щерба А.А. Системы электропитания повышенной частоты с блоками рекуперации энергии для индукционных установок с изменяющимся энергопотреблением / Щерба А.А., Ушаков В.И., Кобец Д.В., Саратовский Р.Н.//Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2006. – Ч.4. – С. 112 – 115.

5. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. – 528 с.: ил.