

УДК 621.318

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ РАБОТЕ В УНИПОЛЯРНОМ РЕЖИМЕ

А.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., А.В. Гнатов, доцент, к.т.н.,
Щ.В. Аргун, аспирант, Е.Ф. Еремина, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Раскрыты особенности построения системы контроля и управления магнитно-импульсной установки при работе в униполярном режиме. Предложен алгоритм работы системы управления установки в режиме многократного повторения разрядных импульсов. Приведено описание структурных схем системы контроля и управления, их назначение.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, магнитно-импульсная установка, система контроля и управления, тиристорные ключи, униполярный импульс.

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ УСТАНОВКИ ПРИ РОБОТІ В УНІПОЛЯРНОМУ РЕЖИМІ

О.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., А.В. Гнатов, доцент, к.т.н.,
Щ.В. Аргун, аспірант, О.Ф. Єрьоміна, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Розкрито особливості побудови системи контролю й керування магнітно-імпульсної установки при роботі в уніполярному режимі. Запропоновано алгоритм роботи системи керування установки в режимі багаторазового повторення розрядних імпульсів. Наведено опис структурних схем системи контролю та керування, їх призначення.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка металів, магнітно-імпульсна установка, система контролю й керування, тиристорні ключі, уніполярний імпульс.

CONTROL SYSTEM FEATURES OF MAGNETIC-PULSE INSTALLATION AT UNIPOLAR MODE

A. Dzyubenko, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
A. Hnatov, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
Sch. Argun, postgraduate, O. Yeriomina, Associate Professor,
Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. Construction features of monitoring and control system of magnetic pulse installation at work in unipolar mode were detected. Installation control system algorithm at work in multiple repeating mode of discharge pulses is proposed. Description of monitoring and control system structure schemes and their purposes have been conducted.

Key words: magnetic-pulse metal working, magnetic pulse installation, monitoring and control system, thyristors, unipolar pulse.

Введение

Применение методов магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) в авиа- и автомобилестроении позволяет решить обширный перечень задач современного промыш-

ленного производства. К таковым относятся, например, магнитно-импульсные штамповка профилей из металлических сплавов, жёсткое сочленение сборных конструкций, внешняя рихтовка корпусов и кузовов транспортных средств и др. [1–3].

Анализ публикаций

Существующие схемы МИОМ, как правило, работают в режиме однократного силового воздействия на обрабатываемый объект [3–5], что не дает возможности контролировать процесс обработки. Требуется громоздкие источники мощности, а это существенные затраты на создание комплекса и др. Нужно отметить, что источники мощности (магнитно-импульсные установки – МИУ), разработанные в бывшем СССР (а теперь в России), проектировались на колебательный разрядный импульс (затухающая синусоида) [4, 6], а МИУ зарубежного производства (США, Израиль, Германия) проектировались на апериодический разрядный импульс униполярной формы [5, 7–9]. Это обусловлено различными школами МИОМ и разными технологическими операциями, под которые проектировались конкретные МИУ.

Практически во всех МИУ, разработанных в середине и конце XX века, в качестве разрядного ключа использовались высоковольтные разрядники различной конструкции. Но под конец XX века появились доступные полупроводниковые электронные ключи, которые уже могли выдерживать токи в десятки килоампер. Это привело к тому, что стали появляться МИУ с электронными системами управления [3–5, 7–9]. Гармонической форме токового импульса соответствует гармоническая форма напряжения на элементах разрядного контура. Данный факт означает наличие осцилляций во времени относительно нуля. Последнее обстоятельство говорит о том, что амплитуда напряжения на разрядном ключе будет равна удвоенному значению действующего сигнала [10]. Следовательно, недостатком колебательного процесса в разрядном контуре является снижение рабочего ресурса конденсаторов в источнике мощности [11, 12]. Устранить данный недостаток можно переходом от гармонического к апериодическому токовому импульсу (сигнал униполярной формы).

Идея, предложенная авторами [13, 14] и положенная в основу МИУ, состоит в замене мощного однократного силового воздействия серией относительно малых импульсов, суммарное действие которых должно быть достаточным для достижения заданного уровня деформирования объекта обработки. Также предлагается уйти от традиционного (для

территории бывшего СССР) колебательного разрядного импульса и перейти к униполярному разрядному импульсу [15].

Цель и постановка задачи

Раскрытие особенностей построения системы контроля и управления МИУ при работе в униполярном режиме. Предложение алгоритма работы и структурных схем системы контроля и управления установкой.

Магнитно-импульсная установка МИУС-2

Для достижения поставленной цели в качестве исследуемой была выбрана установка МИУС-2, разработанная в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ и обладающая следующими техническими характеристиками [5]:

- запасаемая энергия $W \sim 2$ кДж;
- напряжение питающей сети $\sim 380/220$ В.
- ёмкость конденсаторов – $C = 1200$ мкФ;
- собственная частота – $f_0 \sim 7$ кГц;
- собственная индуктивность – $L \sim 440\text{--}500$ нГн;
- напряжение заряда емкостных накопителей $U \sim 100\text{--}2100$ В;
- частота следования разрядных импульсов $f_{\text{имп}} \sim 1\text{--}10$ Гц;
- тип коммутаторов – тиристорные ключи;
- режим работы:
 - а) апериодический (разрядный импульс униполярной формы);
 - б) колебательный (разрядный импульс – затухающая синусоида).

Алгоритм работы системы контроля управления МИУ

На пульте управления МИУ задается уровень напряжения заряда конденсаторных батарей и количество разрядных импульсов, после чего нажимается кнопка «Пуск» (рис. 1, 2).

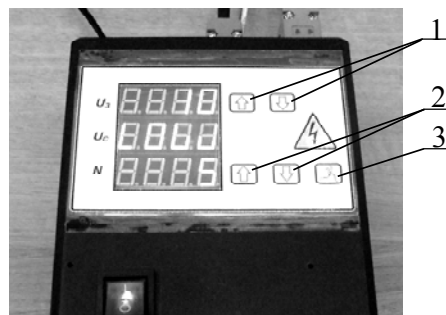


Рис. 1. Пульт управления МИУ

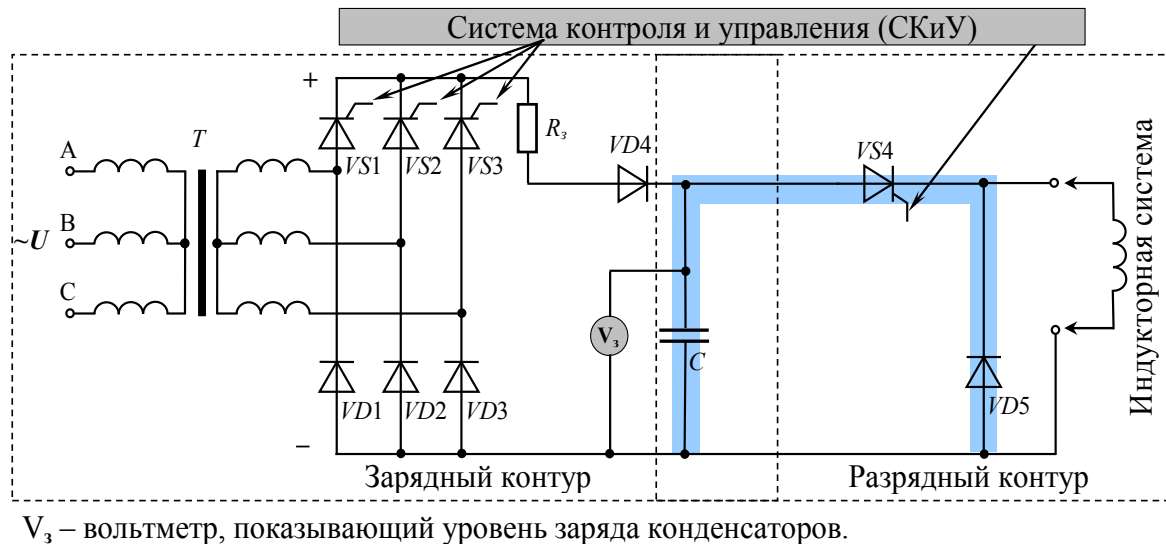


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная МИУ

Система контроля и управления (СКиУ) (рис. 2) дает команду на открытие электронных ключей-тиристоров $VS1-VS3$ в зарядном контуре. При достижении напряжения на конденсаторах заданного уровня СКиУ даёт команду на отключение тиристоров $VS1-VS3$. После их отключения в зарядном контуре система управления дает команду на включение тиристора $VS4$ в разрядном контуре. Тиристор $VS4$ закрывается после полного разряда конденсаторных батарей. После закрытия электронного ключа в разрядном контуре СКиУ даёт команду на открытие тиристоров $VS1-VS3$ и цикл повторяется.

Управляемый заряд накопительной емкости до заданного напряжения осуществляется от повышающего трехфазного трансформатора посредством управления тиристорами выпрямительного моста. Сдвиг сигнала управления тиристорами относительно фазы действующего напряжения позволяет ограничивать количество энергии, поступающей на заряд емкости за период. При достижении заданного уровня напряжения управление тиристорами моста прекращается и включается тиристор разрядного контура. Известно, что запирающие тиристора происходят при снижении протекающего через него тока меньше значения тока удержания $I_{уд}$. Поэтому, во избежание выхода из строя тиристор моста, задержка времени между отключением управления тиристорами моста и включением тиристора разрядного контура должна составлять не менее $1/(2f)$. При полученных параметрах разрядного контура для полного разряда емкости необходимо около 3 мс. После чего процесс может повториться.

Для задания и формирования системы контроля и управления МИУ необходимо четко сформулировать предъявляемые к ней технические требования.

Начальными условиями, к данным техническим требованиям, выступают рабочие сигналы зарядного и разрядного контуров.

Структурные схемы и назначение системы контроля и управления

СКиУ МИУ служит для управления работой всей установки. Она должна обеспечивать:

- работу установки, как в однократном, так и в серийном режиме разрядных импульсов;
- управляемый процесс заряда и разряда накопительного конденсатора через обмотку индуктора;
- заряд конденсаторных батарей до заданного напряжения в диапазоне от 200 В до 2100 В (шаг 50 В);
- серийный режим генерации разрядных импульсов (от 1 до 100 импульсов);
- безопасную работу силовых тиристоров в импульсном режиме;
- управление и отображение основных параметров (напряжение заряда, количество циклов, текущее напряжение конденсатора).

Ввиду необходимости в процессе управления выдерживать различные строго заданные временные интервалы, основные функции управления были возложены на микроконтроллер. Общая структура системы контроля и управления МИУ приведена на рис. 3.

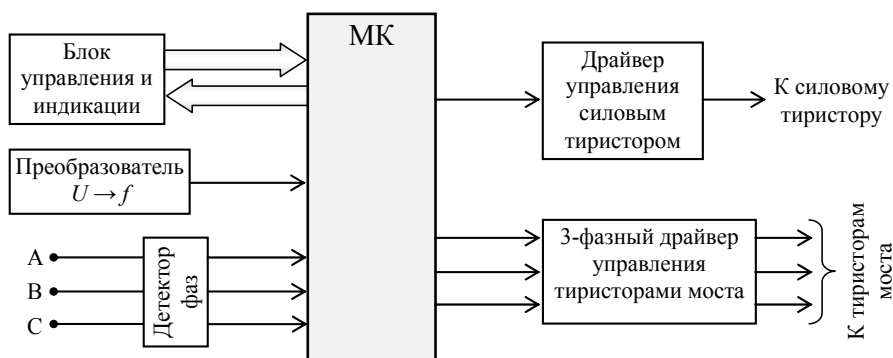


Рис. 3. Структурная схема системы контроля и управления МИУ

Блок управления и индикации обеспечивает интерфейс оператора: возможность управления зарядным напряжением и количеством последовательных циклов, а также отображение текущего напряжения конденсатора.

Непосредственное измерение напряжения на конденсаторе (~ 2 кВ), даже посредством резистивного делителя, не представляется возможным, т.к. очень высока вероятность выхода из строя аналоговых входов микроконтроллера.

Поэтому для реализации функции вольтметра использована схема преобразователя напряжение-частота (ПНЧ). ПНЧ относится к классу интегрирующих преобразователей, поэтому обладает следующими достоинствами: хорошей точностью при минимальном числе необходимых прецизионных компонентов, низкой стоимостью, высокой помехоустойчивостью, малой чувствительностью к изменениям питающего напряжения, отсутствием дифференциальной нелинейности. С делителя напряжения сигнал поступает на вход ПНЧ, который на выходе формирует частотный сигнал с пропорциональной частотой. По частоте сигнала микроконтроллер рассчитывает напряжение на конденсаторе и отображает его на индикаторе.

Для формирования сигналов управления тиристорами моста необходимо иметь четкое представление о моментах перехода напряжения через ноль каждой фазы. Детектор фаз представляет собой три схемы фиксации перехода напряжения через ноль, собранные по схеме «звезда». На выходе каждой такой схемы находится компаратор, который формирует цифровой сигнал для микроконтроллера.

На основании полученных сигналов микроконтроллер производит отсчет времени, отдельно для каждой фазы, и вырабатывает управляющий сигнал для открытия конкретного тиристора.

Силовые полупроводниковые тиристоры на токи единицы – десятки килоампер имеют достаточно большой размер кристалла (диаметром 30–100 мм), что определяет особенность их работы, особенно когда речь идет об импульсных режимах. Весь протекающий через тиристор ток должен быть практически мгновенно и равномерно распределен по всей поверхности его кристалла. Иначе локальные неоднородности в структуре полупроводниковых слоев, неизбежно имеющие место в любом полупроводниковом приборе, могут привести к локальным повреждениям структуры тиристора.

Для решения задачи равномерного и быстрого распространения сигнала управления в схеме СУ были применены специальные схемы драйверов управления тиристорами (рис. 4). Драйвер формирует импульс тока управления специальной формы со скоростью нарастания не менее 10 А/мкс, что позволяет тиристорам мгновенно переходить в проводящее состояние. Параметры формы импульса тока управления определяются по динамической диаграмме цепи управления конкретного тиристора.

При работе установки в разрядном контуре протекают импульсные токи, достигающие десятков килоампер, что негативно влияет на помехозащищенность микроконтроллера и системы управления в целом.

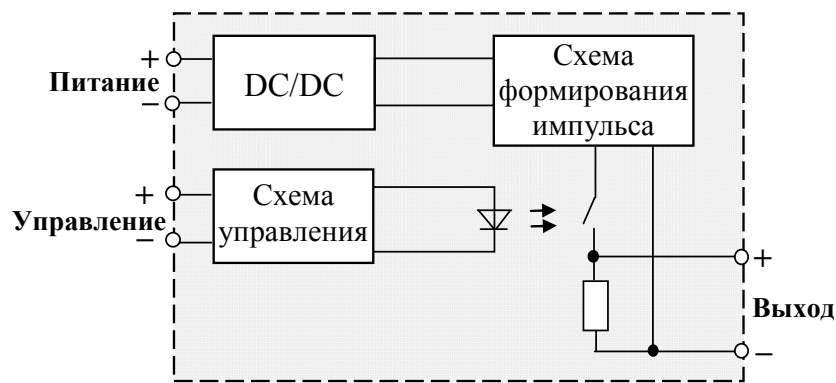


Рис. 4. Структурная схема драйвера управления тиристором

Учитывая этот важный фактор, между микроконтроллером и блоками системы была задействована оптронная развязка, а также полная изоляция всех блоков по питанию.

Управление СКиУ

СКиУ МИУ управляется оператором с помощью пульта управления, на котором предусмотрены следующие кнопки:

1. Кнопки увеличения/уменьшения напряжения заряда конденсаторных батарей;
2. Кнопки увеличения/уменьшения количества разрядных импульсов;
3. Кнопка «Пуск» – заряда/разряда конденсаторных батарей.

СКиУ МИУ также обеспечивает разряд конденсаторных батарей после прекращения работы или в случае непредвиденных ситуаций (аварийный режим, пропадание питания, обрыв в цепи нагрузки и пр.).

Выводы

Раскрыты основные особенности системы контроля и управления магнитно-импульсной установки при работе в униполярном режиме.

Сформирован алгоритм работы системы управления установки при работе в режиме многократного повторения разрядных импульсов.

Описаны структурные схемы системы контроля управления, их назначение.

Литература

1. Батыгин Ю.В. Притяжение тонкостенных металлических листов магнитным полем одновиткового индуктора / Ю.В. Ба-

- тыгин, А.В. Гнатов, С.А. Щиголева // Электричество. – 2011. – №4. – С. 55–62.
2. Батыгин Ю.В. Цилиндрический виток индуктора с разрезом как инструмент для магнитно-импульсной обработки металлов / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов // Электричество. – 2011. – № 12. – С. 53–59.
3. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Магнитно-импульсные технологии для формовки кузовных элементов автомобиля: монография / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, Е.А. Чаплыгин. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 208 с.
4. Туренко А.Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Т. 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: монография / А.Н. Туренко, Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 240 с.
5. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Магнитно-импульсные технологии бесконтактной рихтовки кузовных элементов автомобиля: монография / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, Е.А. Чаплыгин. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 242 с.
6. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хименко. – Х.: Вища школа, 1977. – 190 с.
7. Need an electromagnetic dent remover on hand. Fluxtronic offers the best: the Portable Flux 3 dent remover [Электронный ресурс] – 2009. – Режим доступа: <http://www.fluxtronic.com/product.php>.
8. Пат. US 2008/0163661 A1 USA (США). Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan; заявитель и

- патентообладатель Ostrolenk faber gerb & soffen, New York. – № 11/910,788; заявл. 11.05.2006; опубл. 10.07.2008.
9. Welcome to BETAG Innovation [Электронный ресурс] – 2012. – Режим доступа: www.beulentechnik.com.
10. Рогачёв К.Д. Современные силовые запираемые тиристоры [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.elimex.com.ua
11. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля / Г. Кнопфель. – М.: Мир, 1972. – 392 с.
12. Дашук П.Н. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / П.Н. Дашук, С.Л. Зайенц, В.С. Комельков и др. – М.: Атомиздат, 1970. – 420 с.
13. Пат. 44933 України, В21 Д 26/14. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів / Ю.В. Батигін, О.Ю. Бондаренко, А.В. Гнатов, Г.С. Сериков, Є.О. Чаплигін; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u200903072; заявл. 01.04.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. №20.
14. Батигін Ю.В. Расчётные характеристики магнитно-импульсной установки для обработки металлов серий импульсов / Ю.В. Батигін, А.В. Гнатов, В.В. Воробьёв и др. // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип. «Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика». – 2011. – №12. – С. 86–95.
15. Пат. 73733 України, В21 Д 26/14. Генератор багаторазових уніполярних імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Аргун Щ.В., Дзюбенко О.А., Дробінін О. М; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т., – № u201202178; заявл. 24.02.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. №19.

Рецензент: Ю.В. Батигін, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 10 декабря 2012 г.
