

ОСОБЕННОСТИ В РАБОТЕ СИСТЕМ ИСТОЧНИКА МОЩНОСТИ – ГЕНЕРАТОРА МНОГОКРАТНЫХ ТОКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Проведено аналіз схемних рішень по підключенню інструменту магнітно-імпульсного впливу до джерела потужності. Розкрито особливості побудови системи контролю і управління магнітно-імпульсної установки в режимі багаторазових струмових імпульсів. Наведено опис структурних схем системи контролю та управління.

Проведен анализ схемных решений по подключению инструмента магнитно-импульсного воздействия к источнику мощности. Раскрыты особенности построения системы контроля и управления магнитно-импульсной установки в режиме многократных токовых импульсов. Приведено описание структурных схем системы контроля и управления.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ основных достижений и публикаций, постановка задачи. Классическая функциональная схема магнитно-импульсной установки (МИУ) – источника мощности, как генератора токовых импульсов для оборудования, в технике и технологиях магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ), одними из первых, была описана авторами [1]. Некоторые дополнения, обусловленные модернизацией силовых блоков и обслуживающих систем, несколько позже были отмечены в работе [2]. В качестве устройств для управления зарядом и разрядом емкостного накопителя в классических источниках мощности – МИУ используют электродные разрядники (игнитроны, тиратроны), вакуумные и воздушные трёхэлектродные разрядники (тригatronны) и различные механические двухэлектродные коммутаторы [1, 3].

К коммутирующим устройствам в МИУ предъявляются следующие требования: минимальная собственная индуктивность, малое электрическое сопротивление, способность коммутировать большие токи заданное количество включений, относительная простота конструкции. Но требования стабильности по времени срабатывания и уровню напряжения отсутствуют, ввиду того, что эти характеристики электродных разрядников являются вполне удовлетворительными для работы при высоких напряжениях и в режиме пропускания пусть даже довольно мощных, но одиночных токовых импульсов.

В источниках мощности – генераторах серии токовых импульсов рабочие напряжения достаточно низки, требования к стабильности срабатывания коммутаторов в условиях синхронизированных зарядных и разрядных процессов приобретают особую значимость, существенно возрастает число необходимых переключений в электрических цепях и др.

Существующие источники мощности, как правило, работают в режиме однократного силового воздействия на обрабатываемый объект [4], что не дает возможности контролировать процесс обработки. Они очень громоздкие и поэтому требуются существенные затраты на создание комплекса оборудования в целом. Следует отметить, что МИУ, которые разрабатывались в бывшем СССР (а теперь в России) проектировались на колебательный разрядный импульс (затухающая синусоида) [1, 4], а установки зарубежного производства (США, Израиль, Германия) проектировались на аperiodический разрядный импульс унипо-

лярной формы [5-7]. Данный факт обусловлен различными школами МИОМ и, соответственно, различными технологическими операциями, под которые проектировались конкретные источники мощности.

Все вышеперечисленные факторы ставят первоочередную задачу по выбору коммутаторов, способных стабильно выдерживать большие токи при заданном, причём очень большом, количестве включений и выключений.

Анализ современной специальной периодики показал, что в качестве разрядных ключей вместо высоковольтных коммутаторов целесообразно использовать обычные тиристоры. Но, следует, при этом, учесть и их недостатки. Как показала практика, применяемые по цене и характеристикам тиристоры весьма чувствительны к превышению не только предельного тока, но и скорости его возрастания [3-8].

Так, обеспечение практической дееспособности источника мощности – генератора многократных токовых импульсов в целом требует повышения устойчивости работы коммутаторов, особенно в нештатных ситуациях, возникающих в процессе эксплуатации установки (аварийный режим, короткое замыкание в цепи нагрузки и др.).

Следующая важная задача, это задача создания эффективной системы, объединяющей функции управления, контроля и синхронизации работы основных блоков источника мощности в режиме генерирования серии из последовательности заданного числа токовых импульсов, что, в конечном итоге, даёт возможность управлять процессом силового воздействия на обрабатываемый объект.

Цель настоящей работы – анализ схемных решений по подключению инструмента магнитно-импульсного воздействия к источнику мощности. Раскрытие основных особенностей системы контроля и управления для генератора многократных токовых импульсов.

Альтернативные схемы подключения индукторной системы – инструмента в разрядной цепи. Рассмотрим некоторые варианты по обеспечению условий безопасной работы элементов разрядного контура (в частности тиристорных коммутаторов, наиболее чувствительных и уязвимых к резким изменениям токов и напряжений) и повышению надёжности работы источника мощности в технике МИОМ.

Речь пойдёт об альтернативных схемах подключения нагрузки – индукторной системы в разрядном контуре, позволяющих формирование токовых импульсов различной временной формы.

Первая из них – это экспоненциально затухающая синусоида [1, 2]. Собственно схема и генерируемый сигнал показаны на рис. 1.

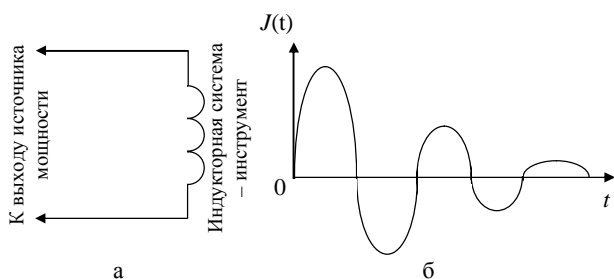


Рис. 1. Непосредственное подключение инструмента – индукторной системы к электрическому выходу источника мощности, а) схема подключения, б) временная форма генерируемого тока

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 тиристорном переключателе будет принадлежать диапазону $-U_{m2} \leq U \leq U_{m1}$ (U_{m1} , U_{m2} – первый и второй максимумы, соответственно), что можно трактовать как почти удвоение действующего сигнала [9].

По той же причине, недостатком колебательного процесса в разрядном контуре является снижение рабочего ресурса конденсаторов в источнике мощности [1, 3, 5, 9].

Избежать этих негативов можно переходом от гармонического к апериодическому токовому импульсу. Отсутствие временных осцилляций в последнем случае означает униполярность генерируемого сигнала. Его формирование можно осуществить с помощью следующих схемных решений по подключению индукторной системы – инструмента к источнику мощности [10].

Первое из них – использование выпрямительного моста из силовых диодов рис. 2.

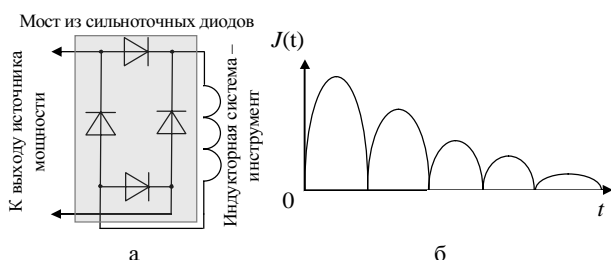


Рис. 2. Формирование униполярного импульса в разрядной цепи с помощью выпрямительного моста, а) схема подключения, б) временная форма генерируемого тока

Достоинство – строгое отсутствие временных осцилляций относительно нуля. Недостаток – необхо-

димость в четырёх силовых диодах.

Второе решение предполагает использование силовых диодов для создания собственного контура, замыкающего цепь нагрузки при поступлении отрицательных полуволн разрядного тока (модификация кроу-бар систем), рис. 3 [5, 7, 8].

Достоинство – один силовый диод. Недостаток – появление, пусть небольших, отрицательных относительно нуля значений разрядного тока.

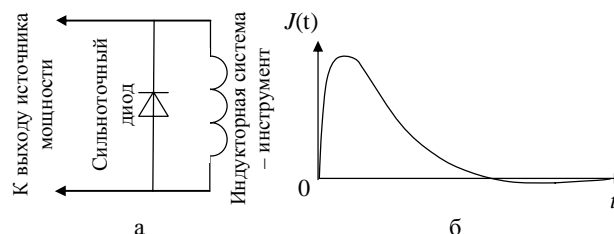


Рис. 3. Формирование униполярного импульса в разрядной цепи с помощью выпрямительного моста, а) схема подключения, б) временная форма генерируемого тока

Вывод: предложенные схемные решения по подключению инструмента метода к источнику мощности позволяют на практике осуществить выбор приемлемого варианта по формированию временной формы разрядного тока, что позволяет повысить надёжность работы всего магнитно-импульсного комплекса при выполнении производственного задания.

Система контроля и управления. Предлагаемый источник мощности должен работать в режиме генератора многократных токовых импульсов. Иными словами, он должен поставлять в цепь разряда серию сигналов, количество которых обеспечит, в конечном итоге, управляемость магнитно-импульсного силового воздействия на обрабатываемый объект.

В отличие от известных источников мощности – магнитно-импульсных генераторов силовых диодов однократных сигналов, предлагаемый источник мощности обладает той особенностью, которая существенно повышает значимость его систем контроля и управления. Подчеркнём, что они должны не только регулировать уровень заряда емкостных накопителей энергии, но и выполнять множество других функций: синхронизировать процессы «заряд-разряд», устанавливать требуемое число импульсов в серии, отображать текущую информацию о работе источника мощности и др.

Описанные предложения, обоснования и схемные решения по системе контроля и управления, в конечном итоге, позволили создать действующий источник мощности – генератор серий из заданного числа токовых импульсов.

Структурная схема и назначение. Система контроля и управления МИУ должна обеспечивать:

- серийный режим генерации разрядных импульсов (от 1 до 100 импульсов);
- управляемый процесс заряда и разряда конденсаторных батарей установки через обмотку индуктора;

- заряд конденсаторных батарей до заданного напряжения в диапазоне от 200 В до 2000 В (шаг 50 В);
- безопасную работу силовых тиристоров в импульсном режиме;
- управление и отображение основных параметров (напряжение заряда, количество циклов, текущее напряжение конденсатора).

Ввиду необходимости выдерживать различные строго заданные временные интервалы, основные функции управления были возложены на микроконтроллер.

Общая структура системы контроля и управления МИУ приведена на рис. 4.

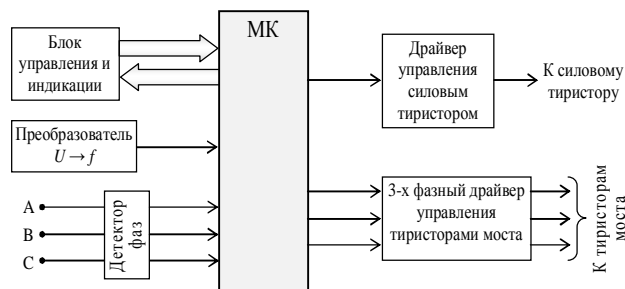


Рис. 4. Структурная схема системы контроля и управления МИУ

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, поскольку очень высока вероятность выхода из строя аналоговых входов микроконтроллера. Поэтому для реализации функции вольтметра была использована схема преобразователя напряжение-частота.

Преобразователь напряжение-частота относится к классу интегрирующих преобразователей, поэтому обладает соответствующими 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 преобразователя напряжение-частота, 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 вы-

рабатывает 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 распределён 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 обеспечения равномерного и быстрого распространения сигнала управления в схеме системы управления были применены специальные схемы драйверов управления тиристорами (рис. 5).

Драйвер формирует импульс тока управления специальной формы со скоростью нарастания не менее 10 А/мкс, что позволяет тиристорному мгновенно переходить в проводящее состояние. Параметры формы импульса тока управления определяются по динамической диаграмме цепи управления конкретного тиристора.

При работе МИУ в разрядном контуре протекают импульсные токи, значение которых достигает десятков килоампер, что негативно влияет на помехозащищенность микроконтроллера и системы управления в целом. Для улучшения этого немаловажного фактора между микроконтроллером и блоками системы была задействована оптронная развязка, а также полная изоляция всех блоков по питанию.

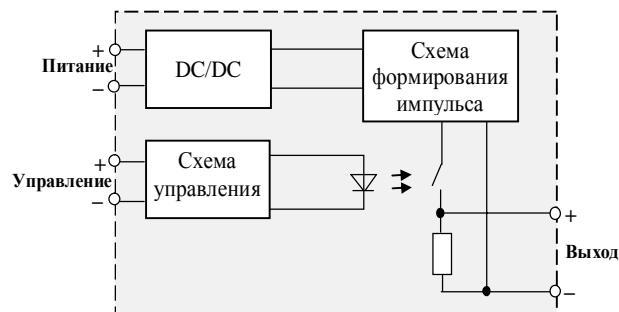


Рис. 5. Структурная схема драйвера управления тиристором

Система контроля и управления 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

Основные результаты настоящей работы сводятся к следующим положениям.

1. Проведен анализ основных достижений и публикаций по разрядным ключам в источниках мощности – магнитно-импульсных установках
2. Предложенные схемные решения по подключению инструмента магнитно-импульсного воздействия к источнику мощности позволяют на практике осуществить выбор приемлемого варианта по форми-

рованию временной формы разрядного тока, что позволяет повысить надёжность работы всего магнитно-импульсного комплекса при выполнении производственного задания.

3. Предложены, обоснованы и описаны схемные решения по системам контроля и управления, применение которых, в конечном итоге, позволят создать действующий источник мощности – генератор серий из заданного числа токовых импульсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. – Х. : Вища школа, 1977. – 189 с.
2. Батыгин Ю.В. Возможности магнитно-импульсной технологии для рихтовки кузовных элементов автомобилей / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Г.С. Сериков, Е.А. Чаплыгин // Физические и компьютерные технологии, ХНПК "ФЭД", Харьков 2007. – С. 352-355.
3. Магнитно-импульсная обработка металлов. Реферативный сборник Ч.1. – Рижский политехнический институт. – Рига, 1982. – 202 с.
4. 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: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 208 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. Need an electromagnetic dent remover on hand. Fluxtronic offers the best: the Portable Flux 3 dent remover [Электронный ресурс] – 2009. – Режим доступа: www.fluxtronic.com.
7. Welcome to BETAG Innovation [Электронный ресурс] – 2012. – Режим доступа: www.beulentechnik.com.
8. Гнатов А.В. Магнитно-импульсная установка – источник мощности, обеспечивающий серийный режим генерации разрядных импульсов / А.В. Гнатов, А.М. Дробинин // Вестник ХНАДУ. – Х.: ХНАДУ, 2011. – № 55. – С. 130-134.
9. Ивашин В.В. Конструкция мощного импульсовибрационного источника сейсмических волн (ИСВ) и выбор его основных конструктивных параметров / В.В. Ивашин, И.М. Чуркин // Силовые полупроводниковые и импульсные электромеханические преобразовательные устройства. Сб. статей. – Куйбышев, 1976. – С. 17-24.
10. Пат. 73733 України, В21 Д 26/14. Генератор багаторазових уніполярних імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів / Батигін Ю.В., Гнатов А.В., Аргун Ш.В., Чаплигін Є.О., Дзюбенко О.А., Дробинні О.М.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u 2012 02178 заявл. 24.02.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. №19.

Bibliography (transliterated): 1. Belyj I.V. Spravochnik po magnitno-impul'snoj obrabotke metallov / Belyj I.V., Fertik S.M., Himenko L.T. - H. : Vischa shkola, 1977. - 189 s. 2. Batygin Yu.V. Vozmozhnosti magnitno-impul'snoj tehnologii dlya rihтовki kuzovnyh `elementov avtomobilej / Yu.V. Batygin, V.I. Lavinskij, G.S. Serikov, E.A. Chaplygin // Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii, HNPК "F'ED", Har'kov 2007. - S. 352-355. 3. Magnitno-impul'snaya obrabotka metallov. Referativnyj sbornik Ch.1. - Rzhskij politehnicheskij institut. - Riga, 1982. - 202 s. 4. Batygin Yu.V. Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnyh tehnologij. Magnitno-impul'snye tehnologii dlya formovki kuzovnyh `elementov avtomobilya: monografiya / Yu.V. Batygin, A.V. Gnatov, E.A. Chaplygin. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. - 208 s. 5. Batygin Yu.V. Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnyh tehnologij. Magnitno-impul'snye tehnologii beskontaktnoj rihтовki kuzovnyh `elementov avtomobilya: monografiya / Yu.V. Batygin, A.V. Gnatov, E. A. Chaplygin. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012 - 242 s. 6. Need an electromagnetic dent remover on hand. Fluxtronic offers the best: the Portable Flux 3 dent remover [Elektronnij resurs] - 2009. - Rezhim dostupu: www.fluxtronic.com <<http://www.fluxtronic.com/product.php>>. 7. Welcome to BETAG Innovation [Elektronnij resurs] - 2012. - Rezhim dostupu: www.beulentechnik.com <<http://www.beulentechnik.com>>. 8. Gnatov A.V. Magnitno-impul'snaya ustanovka - istochnik moschnosti, obespechivayuschij serijnyj rezhim generacii razryadnyh impul'sov / A.V. Gnatov, A.M. Drobiniin // Vestnik HNADU. - H.: HNADU, 2011. - № 55. - S. 130-134. 9. Ivashin V.V. Konstrukciya moschnogo impul'snovibracionnogo istochnika sejsmicheskikh voln (ISV) i vybor ego osnovnykh konstruktivnyh parametrov / V.V. Ivashin, I.M. Churkin // Silovye poluprovodnikovye i impul'snye `elektromehaniicheskie preobrazovatel'nye ustrojstva. Sb. statej. - Kujbyshev, 1976. - S. 17-24. 10. Pat. 73733 Ukraїni, V21 D 26/14. Generator bagatorazovih unipolyarnih impul'siv strumu dlya magnitno-impul'snoi obrobki metaliv / Batigin Yu.V., Gnatov A.V., Argun Sch.V, Chaplygin E.O., Dzyubenko O.A., Drobinni O.M.; zayavnik ta patentovlasnik Harkivsk'ij nac. avtom.-dorozhn. un-t. - № u 2012 02178 zayavl. 24.02.2012; opubl. 10.10.2012, Byul. №19.

Поступила 19.12.2012

Аргун Щасяна Валиковна,
Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет
кафедра физики
61002, Харьков, ул. Петровского, 25
тел. (057) 700-368-53,
e-mail: shasyana@gmail.com

Argun Shs.V.

Working features of power source systems – a multiple current pulse generator.

An analysis of circuit designs as to connecting a magnetic pulse action tool to a power source has been carried out. Design features of a magnetic pulse installation control and monitoring system in a multiple current pulse mode have been revealed. The description of the control and monitoring system block diagrams has been presented.

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