

УДК 621.7.004.7

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ УСТАНОВКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

© 2012 Р. Ю. Юсупов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

Рассмотрены принципы построения магнитно-импульсных установок с использованием компонентов нового поколения: импульсных конденсаторов с высокой удельной энергией, вакуумных и тиратронных разрядников. Установки используют энергосберегающие схемы экономичного питания. Приведены основные параметры ряда магнитно-импульсных установок, разработанных для различных областей применения.

Импульсное магнитное поле, импульсный конденсатор, управляемый разрядник, высокое напряжение.

Назначение и область применения

Традиционная область применения технологии магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ) – мелкосерийное производство с широкой номенклатурой обрабатываемых деталей, характерное для авиационной и космической отрасли машиностроения.

Оборудование МИОМ состоит из высоковольтной импульсной установки, к которой подключается сменный инструмент – индуктор с технологической оснасткой. Магнитно-импульсные установки (МИУ) предназначены для выполнения широкого спектра технологических операций: штамповки, резки, сборки, импульсной сварки плоских, объемных и трубчатых заготовок из электропроводящих материалов. МИУ применяются также в технологии монтажа электрических соединений, клепки одноударными молотками, обработки инструмента и материалов для повышения эксплуатационных свойств.

МИУ относятся к классу экологически чистых и энергосберегающих производств. Они не имеют механических движущихся частей или гидравлического привода, не создают в процессе работы вибрацию и шум. МИУ не содержат токсичных материалов, не загрязняют окружающую среду опасными выбросами. Энергосбережение определяется алгоритмом работы: в паузах между циклами заряд-разряд МИУ находится в режиме ожидания и потребляет минимальную энергию от сети,

необходимую для питания элементов управления и индикации, не более 100 Вт.

МИУ для нужд авиакосмической отрасли были созданы в 60-80 годы прошлого столетия в единичных образцах или небольшими партиями рядом организаций СССР: в Харькове, Воронеже, Смоленске, Ленинграде, Туле, Новосибирске. Конструкции таких МИУ к настоящему времени морально и физически устарели, имеют большие габариты и массу, не отвечают современным требованиям безопасности и экономичности. К концу 90-ых годов большинство разработчиков в России по ряду причин прекратили изготовление МИУ.

В научно-исследовательской лаборатории "Прогрессивные технологические процессы пластического деформирования" (НИЛ-41) СГАУ в течение последних 15 лет ведутся разработки высоко ресурсных магнитно-импульсных установок универсального и специального назначения, отвечающих современным требованиям экологической безопасности и энергосбережения. Создана гамма МИУ с различными характеристиками по запасаемой энергии, частоте разряда и производительности, которые охватывают широкий диапазон применений.

Среди них можно выделить МИУ универсального назначения для выполнения широкого круга технологических операций по традиционным схемам: обжима, раздачи трубчатых заготовок или плоско-листовой

штамповки материалов из алюминиевых и медных сплавов.

Для обработки малогабаритных деталей и технологических операций на стапеле с изделиями созданы малогабаритные МИУ мобильной конструкции с высокой частотой разряда и производительностью.

Выбор конкретного типа МИУ с необходимыми параметрами из широкой номенклатуры существующих конструкций определяется технологическими задачами и технико-экономическими показателями: производительностью, массой, габаритами.

Концепция МИУ нового поколения

МИУ представляет собой генератор однократных импульсов тока, который содержит высоковольтный емкостный накопитель энергии. Конструкция емкостных накопителей позволяет изменять параметры импульсного воздействия в широких пределах. Емкостные накопители удобны для получения импульсов тока различной формы, амплитуды и периодичности повторения. Они просты в эксплуатации, практически не требуют периодического ухода.

Основные характеристики МИУ определяются параметрами компонентов накопителя энергии: импульсных высоковольтных конденсаторов, разрядников и элементами зарядного блока (табл. 1, 2).

Импульсные конденсаторы с бумажно-масляным диэлектриком, традиционно использовавшиеся в МИУ, имеют большие габариты и массу, низкий ресурс работы, а наличие большого количества заполняющего масла увеличивает риск экологической и пожарной опасности.

Удельная энергоемкость пленочных конденсаторов нового поколения, например, серии КПИМ (Россия) и SP35 (Италия) составляет 0,3...0,4 кДж/кг и значительно в 5...10 раз превосходит показатели бумажно-масляных конденсаторов серии ИК. Ресурс пленочных конденсаторов достигает $10^5...10^6$ импульсов, что на 2...3 порядка выше бумажно-масляных [1].

Таблица 1 - Сравнительные параметры импульсных конденсаторов для МИУ

Тип	U (кВ)	L (мкГн)	Ресурс (цикл)	Масса (кг)
Пленочные				
КПИМ	7 - 50	12	10^5	30
SP35	9 - 25	30	10^6	26
Бумажно-масляные				
ИК	6 - 50	40 - 60	$3 \cdot 10^3$	120
PX	5 - 40	30 - 40	10^5	60

Для коммутации импульсных токов в накопителях энергии МИУ ранее использовались воздушные или ртутные разрядники (игнитроны). Воздушные разрядники требуют настройки режимов в процессе эксплуатации, имеют узкий диапазон напряжения коммутации и низкий ресурс работы, который определяется сильной эрозией электродов и изоляторов. Игнитроны требуют периодической тренировки и содержат в своем составе ртуть.

Таблица 2 - Сравнительные параметры высоковольтных разрядников МИУ

Тип	U (кВ)	I_{max} (кА)	Ресурс (цикл)	Масса (кг)
Вакуумные РВУ	1 - 35	300	10^5	5
Тиратрон ТДИ	1 - 25	150	$5 \cdot 10^5$	2,5
Ртутный ИРТ	1 - 20	100	10^4	3
Воздушный	5 - 40	1000	10^3	10 - 20

Разрядники нового поколения, например, вакуумные, серии РВУ и тиратроны серии ТДИ, по сравнению с воздушными и ртутными, не требуют обслуживания и настройки в процессе эксплуатации, имеют высокий ресурс и не содержат экологически опасных материалов. Вакуумные разрядники работают в широком диапазоне коммутируемого напряжения 1...35 кВ и выдерживают однократные перегрузки по току при аварийном пробое

изоляции в нагрузке [2].

Зарядное устройство накопителя энергии в большой степени определяет экономичность, производительность, габариты и массу МИУ. Схемы ограничения зарядного тока на пассивных R-L-C цепях, имеют большие габариты и, как правило, определяют низкое качество потребляемой энергии (неравномерность нагрузки по фазам, большие пусковые токи).

От указанных недостатков свободны схемы зарядных устройств с тиристорными фазо-импульсными регуляторами зарядного тока или преобразователями частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), которые обеспечивают оптимальный закон заряда. В такой схеме трехфазное напряжение сети 380В частотой 50Гц преобразуется в прямоугольные импульсы частотой 1кГц амплитудой 600В. В процессе заряда изменяется скважность выходных импульсов, за счет чего осуществляется плавное регулирование зарядного тока. Процесс заряда накопителя энергии МИУ с преобразователем частоты мощностью 25кВА представлен на рис. 1.

Частота преобразования 1кГц ограничена предельными электрическими характеристиками магнитопровода высоковольтного трансформатора и быстродействием диодов выпрямителя зарядного блока.

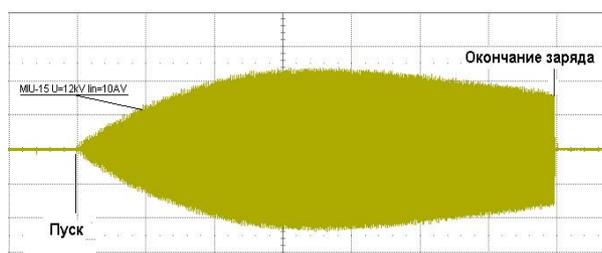


Рис. 1. Осциллограмма тока потребления МИУ с регулируемым ШИМ-преобразователем частоты

Благодаря повышенной частоте питания снижаются масса и габариты зарядного устройства в 2...3 раза по сравнению с традиционным устройством на промышленной частоте 50Гц. Кроме того, появляется возможность использования для заряда накопителей энергии недорогих стандартных однофазных трансформаторов напряжением класса 10кВ для получения

рабочего напряжения МИУ до 20кВ без конструктивных доработок. Такая схема заряда обеспечивает «мягкий» пуск МИУ и высокое качество потребляемой энергии за счет равномерной нагрузки по фазам питающей сети [3].

Проведены исследования параметров новых компонентов в области рабочих режимов магнитно-импульсных технологий. По результатам исследований разработан типовой ряд МИУ с использованием перспективных компонентов, конструктивных и схемных решений с целью увеличения ресурса, стабильности работы и собственной частоты разряда.

Конструкции типового ряда МИУ

Разработанные МИУ модульно-блочной конструкции состоят из отдельных модулей емкостных накопителей энергии, коммутируемых синхронно на общую нагрузку; блока коммутаторов тока; зарядного блока; блока дозирования энергии и технологического блока.

□ Конструктивное исполнение ряда МИУ с запасаемой энергией 50...20 кДж - стационарные конструкции.

□ МИУ с энергией 3...10 кДж – мобильные, с возможностью перемещения в пределах участка эксплуатации.

□ МИУ с энергией 1...0,3 кДж – настольного исполнения, для обработки малогабаритных изделий.

По функциональному назначению разработанные установки разделяются:

- мощные МИУ с частотой разрядного тока 30...40 кГц для формовки, калибровки крупногабаритных изделий;

- МИУ универсального назначения с частотой разряда 40...60 кГц для операций штамповки, сборки, сварки;

- высокочастотные МИУ с запасаемой энергией 10...15 кДж, с частотой 100 кГц и выше для обработки тонкостенных изделий и заготовок с низкой электропроводностью;

- специализированные МИУ с изменяемыми параметрами разрядной цепи, частота разряда изменяется в пределах 60...200 кГц, запасаемая энергия 0,5...3,5 кДж.

В табл. 3 приведены основные параметры ряда МИУ, разработанные в НИЛ-41 СГАУ:

Таблица 3

Тип	W кДж	F кГц	Габариты (м)	Масса (кг)
МИУ-50	50	30	1,8x0,8x1,7	900
МИУ-30	31	40	1,6x0,5x1,7	800
МИУ-15	18	50	1,2x0,8x1,5	500
МИУ-10НЧ	10	30	0,6x0,6x1,5	200
МИУ-10ВЧ	10	100	0,8x0,6x1,5	300
МИУ-3НЧ	4,5	35	0,6x0,7x0,8	100
МИУ-У	3,5	65	0,5x0,8x1,1	200
МИУ-1	1,2	75	0,6x0,4x0,5	80
МИУ-300	0,5	100	0,5x0,3x0,5	50

На рисунках 2...7 представлены примеры конструкции МИУ нового поколения.



Рис. 2. Установка МИУ-50

Конструкция МИУ стационарная, предназначена для обработки крупногабаритных заготовок из алюминиевых и медных сплавов толщиной 1...6 мм. Выполняется в различных конструктивных модификациях универсального и специального применения. Разработаны варианты низкочастотной и высокочастотной МИУ-50.



Рис. 3. Установка МИУ-30

Конструкция стационарная, универсального назначения, предназначена для обработки заготовок из алюминиевых сплавов толщиной до 5 мм, калибровки элементов трубопроводов из нержавеющей сталей в самолетостроении.



Рис. 4. Установка МИУ-10ВЧ

Конструкция передвижная. Высокочастотная МИУ универсального назначения для обработки тонкостенных заготовок из алюминия, меди, стали толщиной 0,5...3 мм.



Рис. 5. Установка МИУ-3НЧ

Низкочастотная МИУ предназначена для обработки заготовок из алюминиевых и медных сплавов толщиной 1...3 мм.



Рис. 6. Установка МИУ-У

Специализированная МИУ с изменяемыми параметрами разрядного контура. Предназначена для обработки тонкостенных малогабаритных заготовок толщиной 0,2...1 мм.



Рис. 7. Установка МИУ-300

Малогабаритная МИУ настольного исполнения. Предназначена для изготовления и сборки облегченных разъемов бортовой кабельной сети летательных аппаратов.

В НИЛ-41 СГАУ разработаны и внедрены в производство 28 единиц МИУ нового поколения на различных предприятиях аэрокосмической отрасли и в научных учреждениях в России и за рубежом:

- на предприятиях в Китае, Швейцарии, Финляндии - 8 ед.;
- ОАО «Авиакор» (г. Самара) – 1 ед.

- ГКНПЦ им. Хруничева, центр им. Келдыша (г. Москва) - 9 ед.,

- ОАО «Машиностроительный завод» (г. Электросталь М.О.) -1 ед.,

- ОАО «Пегас» (г. Кострома) – 1 ед;

- для учебно-научных целей и выставочной деятельности в СГАУ (г. Самара) – 8 ед.

Преимущества использования МИУ нового поколения:

- в конструкции МИУ используются импульсные конденсаторы высокой удельной энергии и экологически чистые вакуумные разрядники с высоким ресурсом работы, не требующие настройки и периодического обслуживания;

- для питания МИУ используется система «мягкого пуска», что позволяет увеличить экономичность и качество потребления энергии за счет равномерной нагрузки по фазам питающей сети и снижения пусковых токов;

- габариты и масса МИУ снижены в 3...5 раз по сравнению с функциональными аналогами.

Библиографический список

1. Ермилов, И.В. Современные импульсные высоковольтные конденсаторы с пленочным диэлектриком [Текст] / И.В. Ермилов // Электронные компоненты. – 2005. - №4.

2. Алферов, Д.Ф. Управляемые вакуумные разрядники: Основные свойства и применение [Текст] / Д.Ф. Алферов, В.П. Иванов, В.А. Сидоров – «Электро», -2002,- №2.

3. Патент № 75598 РФ, МПК В21D 26/14, Установка для магнитно-импульсной обработки металлов [Текст]/ Юсупов Р.Ю., Глушенков В.А., заявитель и патентообладатель СГАУ и ООО «НТФ «Заряд».- № 2008109607/22; заявл. 11.03.08; опубл. 20.08.08, Бюл. №23.

MULTIPURPOSE AND SPECIALIZED PULSE-MAGNETIC INSTALLATIONS OF NEW VINTAGE

© 2012 R. Yu. Yusupov

Samara State Aerospace University
named after Academician S.P. Korolyov (national research university)

In the paper consideration is being given to principles of construction of pulse-magnetic installations with the use of components of new vintage: impulse capacitors of high specific energy, vacuum and thyatron dischargers. The installations use energy saving schemes of economy-type supply. Main parameters of a number of pulse-magnetic installations developed for different fields of application are given.

Pulse-magnetic field, pulse capacitor, triggered switch, high voltage.

Информация об авторах

Юсупов Ринат Юнусович, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Прогрессивные технологические процессы пластического деформирования», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: vvz@ssau.ru. Область научных интересов: магнитно-импульсная обработка материалов, силовая импульсная электроника.

Yusupov Rinat Yunusovich, Research Officer of the “Advanced Technological Processes of Plastic Deforming” Research Laboratory, Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (national research university). E-mail: vvz@ssau.ru. Area of research: pulse-magnetic processing of materials, Power Pulse Electronics.