

УДК 621.318

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИСТОЧНИКЕ ЭНЕРГИИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ

Щ.В. Аргун, старший преподаватель, ХНАДУ

*Аннотация.* Проведено моделирование электродинамических процессов в магнитно-импульсной установке для комплекса бесконтактной рихтовки. Проведен расчёт основных характеристик процесса заряда ёмкостного накопителя в течение определённого временного интервала при заданном уровне потребляемой мощности. Расчётные данные дополнены осциллограммами реальных характеристик процессов заряда-разряда.

*Ключевые слова:* магнитно-импульсная установка, переходной процесс, бесконтактная рихтовка, разрядный контур

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ДЖЕРЕЛІ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМПЛЕКСУ БЕЗКОНТАКТНОГО МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО РИХТУВАННЯ

Щ.В. Аргун, старший викладач, ХНАДУ

*Анотація.* Проведено моделювання електродинамічних процесів в магнітно-імпульсній установці для комплексу безконтактного рихтування. Проведено розрахунок основних характеристик процесу заряду ємнісного накопичувача протягом певного часового інтервалу при заданому рівні споживаної потужності. Розрахункові дані доповнені осцилограмами реальних характеристик процесів заряду-розряду.

*Ключові слова:* магнітно-імпульсна установка, перехідний процес, безконтактна рихтування, розрядний контур

## THE MODELING OF ELECTRODYNAMICAL PROCESSES IN ENERGY SOURCE FOR THE NON-CONTACT MAGNETIC-PULSE STRAIGHTENING COMPLEX

Sch. Argun, senior teacher, KhNAHU

*Abstract.* The modeling of electrodynamic processes in magnetic-pulse installation for non-contact straightening complex has been carried out. Calculation of basic characteristics of capacitive storage charging process within a certain time gap at a given level of consumption power has been led. Estimates are supplemented by oscillograms of the real charge-discharge processes characteristics.

*Key words:* magnetic-pulse installation, transitional process, non-contact straightening, discharging circuit.

### Введение

Реализация источника энергии в современных магнитно-импульсных технологиях предполагает однократное силовое воздействие на обрабатываемый объект с амплитудой,

достаточной для требуемого уровня его деформирования и выполнения заданной операции.

Источниками энергии являются мощные магнитно-импульсные источники, представля-

ющие собой высоковольтные электротехнические устройства (5...10 кВ и выше) с соответствующим набором необходимых компонент. К таковым относятся батареи импульсных конденсаторов, рассчитанные на работу под высоким напряжением, высоковольтные коммутаторы, системы автоматики, контроля, защитные устройства и др. [1, 2].

### Анализ публикаций

Анализ литературных данных показал, что высоковольтные магнитно-импульсные установки (МИУ), разработанные ранее, предусматривали генерирование однократного токового импульса высокой амплитуды для получения мощного одноразового ударного воздействия на обрабатываемый объект. Иной режим работы этих установок невозможен по техническим причинам [1, 2].

### Цель и постановка задачи

Провести моделирование электродинамических процессов в МИУ для комплекса бесконтактной рихтовки. Провести расчёт основных характеристик процесса заряда ёмкостного накопителя в течение определённого временного интервала при заданном уровне потребляемой мощности.

### Источник энергии – МИУ

Разработанный в «Лаборатории электромагнитных технологий» ХНАДУ источник энергии – магнитно-импульсный ремонтный комплекс обеспечивает многократное силовое воздействие для рихтовки. Т.е. он позволяет перейти от мощного однократного силового воздействия к серии довольно малых импульсов, суммарное действие которых должно быть достаточным для достижения заданного уровня деформирования объекта обработки, то есть, практической реализации соответствующей производственной задачи [3, 4].

Принципиальная схема источника энергии, как генератора многократных токовых импульсов, представлена на рис. 1.

Схема управления на рис. 1 обеспечивает синхронную работу коммутаторов  $K_1$  и  $K_2$  в течение каждого цикла заряд–разряд так, что при заряде ёмкости коммутатор  $K_1$  открыт, а  $K_2$  – закрыт. При достижении требуемого

напряжения на конденсаторах  $K_1$  – разрывает зарядный контур, а  $K_2$  – замыкает разрядную цепь.

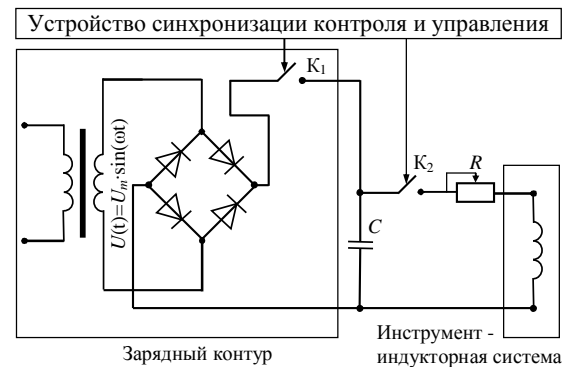


Рис. 1. Принципиальная схема МИУ – источника энергии для многократного генерирования разрядных импульсов

Узловыми вопросами работоспособности предлагаемого источника энергии являются вопросы работоспособности выделенных составляющих: зарядного и разрядного контуров. Здесь, помимо синхронизации процессов в них, встаёт проблема соответствия практически возможного уровня мощности, потребляемой из сети в течение реального временного интервала, уровню электромагнитной энергии, запасаемой ёмкостным накопителем.

Реализация этого вопроса обеспечивается, в первую очередь, должной работой её зарядного устройства, так как частота повторения генерируемых сигналов в серии, в основном, будет определяться временем заряда ёмкостных накопителей энергии (напомним, что  $t_p \ll t_3$ ).

### Моделирование электромагнитных процессов

Произведя расчёт основных характеристик процесса заряда ёмкостного накопителя в течение строго определённого времени при заданном уровне потребляемой мощности с последующим сопоставлением временных и амплитудных параметров процесса в разрядном контуре МИУ, получим аналитические выражения.

Ток через ёмкость:

$$i_C(t) = \frac{1}{R} \cdot (u(t) - u_C(t)). \quad (1)$$

Мгновенная мощность:

$$p(t) = u_C(t) \cdot i_C(t). \quad (2)$$

Среднее значение мощности, потребляемой из сети:

$$\overline{p(t)} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u_C(t) \cdot i_C(t) \cdot dt, \quad (3)$$

где  $T$  – время заряда.

Т.к. ток через ёмкость может протекать только в одном «положительном» направлении, обусловленном расположением вентилей в выпрямительном устройстве. Условие «положительности» следует из (1). То есть, для временных интервалов, где  $t_n \in [t_{ni}, t_{ne}]$ , в зарядной цепи протекает ток ( $n = 1, 2, 3, t_{n(i-e)}$  – граничные значения), если удовлетворяется неравенство:

$$i_C(t_n) = \frac{1}{R} \cdot (u(t_n) - u_C(t_n)) \geq 0, \quad (4)$$

Зарядное напряжение на ёмкостном накопителе системы:

$$u_C(t_n) = U_{0n} + \frac{U_m}{\tau} \int_{t_{ni}}^{t_{ne}} \exp\left(-\frac{x-t_n}{\tau}\right) \cdot |\sin(\omega x)| dx, \quad (5)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$

где  $U_{0n}$  – напряжение на ёмкости в момент времени  $t_{0i}$ .

Совокупность выражений (4), (5), (1), (2) и (3) в указанной последовательности позволяют рассчитывать все основные характеристики процесса заряда ёмкостного накопителя в рассматриваемой магнитно-импульсной системе.

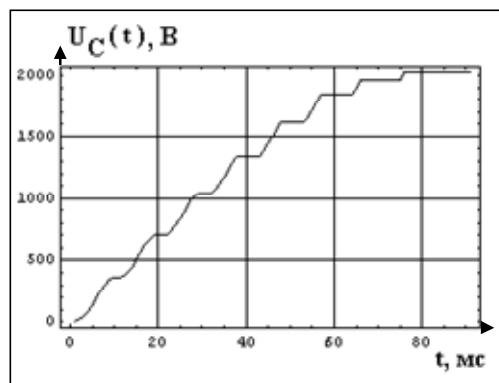
### Численные оценки

Для полноты и большей иллюстративности в описании работы предлагаемой МИУ были проведены простейшие численные оценки процессов в типичной схеме её зарядного контура [2].

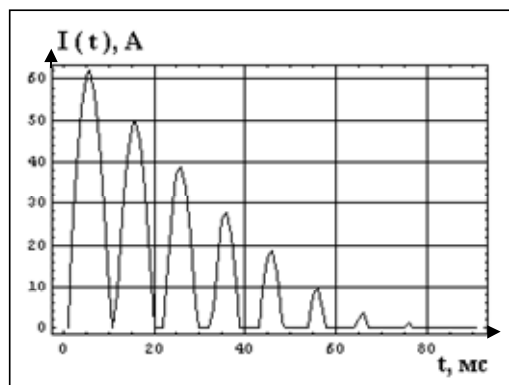
Наиболее иллюстративным является график, представленный на рис. 2.

Численные оценки для экстремального режима работы МИУ:

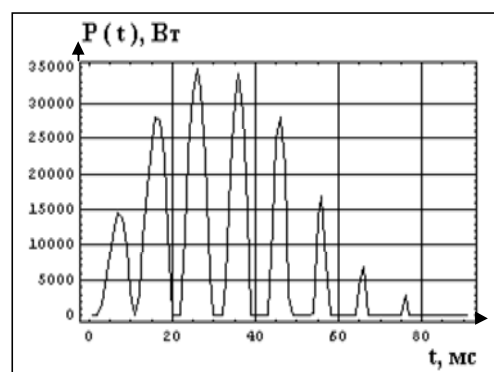
$U_m \approx 2000$  В, средняя потребляемая мощность порядка 7,3 кВт. В расчётах полагаем, что разрядный ток отсутствует. Как показывают оценки, для реализации такого режима следует принять  $R_1 \approx 30$  Ом.



а)



б)



в)

Рис. 2. Заряд ёмкостного накопителя при  $R \approx 30$  Ом: а) зарядное напряжение; б) зарядный ток; в) мгновенная мощность

Сравнение интегральных характеристик, рассчитанных при вариации исходных данных, позволяет ориентироваться при выборе па-

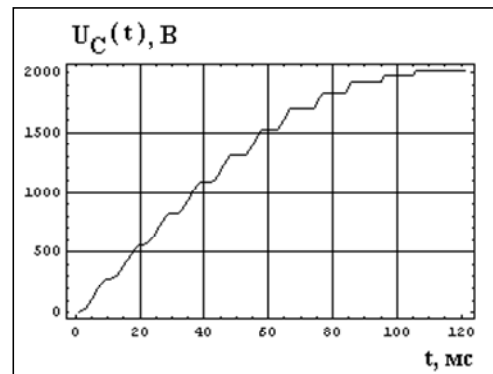
раметров зарядной цепи при проектировании реальных источников мощности с питанием от промышленной сети напряжения с её реальными возможностями для осуществления магнитно-импульсных технологий по бесконтактной рихтовке. Как и следовало ожидать, определяющее влияние на наиболее интересные показатели действенности и эффективности зарядного устройства оказывает величина токоограничивающего сопротивления. Правильный выбор последнего обеспечивает требуемую частоту следования разрядных импульсов (задание по требованиям производственной операции) и величину потребляемой мощности (возможности питающей сети).

Так, при  $R \approx 100$  Ом показатели процесса заряда можно было бы назвать приемлемыми с точки зрения возможностей питающей сети. Ток в максимуме составляет до 14 А при средней потребляемой мощности порядка 1,09 кВт. Но частота следования генерируемых импульсов до 4 Гц в три раза ниже, чем в случае  $R \approx 30$  Ом. При этом следует учесть, что повышение рабочего напряжения заряда емкостных накопителей повлечёт за собой снижение частоты и увеличение мощности, потребляемой за время заряда.

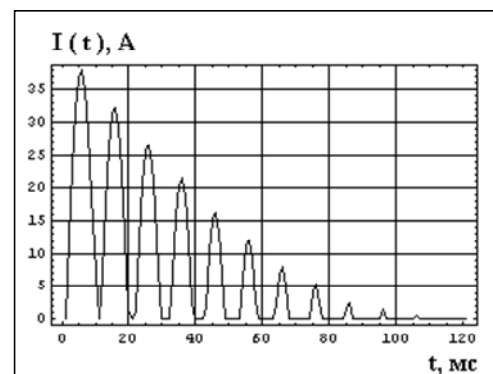
Очевидно, к желаемым показателям зарядного процесса можно приблизиться, выбрав токоограничивающее сопротивление из диапазона  $R \in [30, 100]$  Ом, например,  $R \approx 50$  Ом, рис. 3.

В рассмотренном случае для  $R \approx 50$  Ом интегральные характеристики процесса отличны от экстремальных ( $R \approx 30$  Ом) и приближаются к реально возможным показателям с точки зрения практики. Так, частота следования генерируемых сигналов будет составлять 8...10 Гц, зарядный ток в максимуме до 40 А, среднее значение потребляемой мощности до 4,2 кВт.

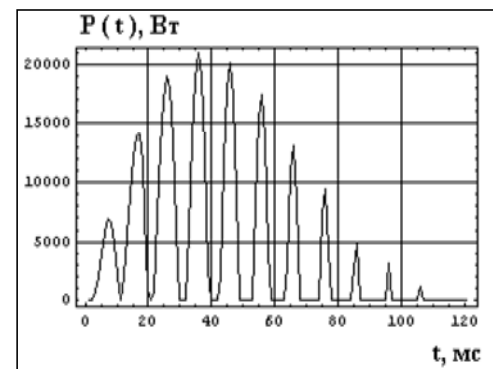
Очевидно, что расчёты можно было бы продолжить и взять, например,  $R \approx 75$  Ом. Но с практической точки зрения эти дополнения не представляют интереса, поскольку тенденция ясна и диапазон токоограничивающих сопротивлений локализован. Что касается конкретного выбора величины  $R \approx 50...100$  Ом, то это уже задача экспериментальных исследований.



а)



б)



в)

Рис. 3. Заряд емкостного накопителя во времени  $R \approx 50$  Ом; а) напряжение на ёмкости; б) зарядный ток; в) мгновенная мощность.

### Выводы

Проведено моделирование электродинамических процессов в МИУ для многократного генерирования разрядных импульсов, позволяющей проводить бесконтактную рихтовку автотранспортных средств серией силовых воздействий.

Выполнены численные оценки параметров МИУ для многократного генерирования раз-

рядных импульсов в различных временных и энергетических режимах.

Показано, определяющее влияние на работу зарядного устройства оказывает величина токоограничивающего сопротивления, и его выбор обеспечивает требуемую частоту следования разрядных импульсов (задание по требованиям производственной операции) и величину потребляемой мощности (возможности питающей сети).

Показано, что в экстремальном режиме при наименьшем  $R \approx 30$  Ом частота следования импульсов в разрядном контуре установки может достигать 12 Гц и выше, при этом средняя мощность, потребляемая из рабочей сети, будет составлять 7,3 кВт.

Показано, что при  $R \approx 50$  Ом показатели процесса заряда до напряжения  $U \approx 2000$  В (близкого к максимуму) существенно приближаются к реально возможным с точки зрения практики. Так, среднее значение потребляемой мощности будет составлять до 4,2 кВт, зарядный ток в максимуме – до 40 А, а частота следования генерируемых сигналов 8...10 Гц.

## Список литературы

1. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / Белый И. В., Фертик С. М., Хименко Л. Т. – Харьков : Вища школа, 1977. – 189 с.
2. Ивашин В. В. Конструкция мощного импульсовибрационного источника сейсмических волн и выбор его основных конструктивных параметров / В. В. Ивашин, И. М. Чуркин // Силовые полупроводниковые и импульсные электро-механические преобразовательные устройства. Сб. статей. – Куйбышев, 1976. – С. 17 – 24.
3. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями / Туренко А. Н., Батыгин Ю. В., Гнатов А. В. ; монография. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 240 с.
4. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский // Харьков: Изд. НТУ «ХПИ», 2001. – 270 с.