

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ФИКСИРОВАННОМ УРОВНЕ НАГРУЗКИ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Произведена серия экспериментов с электрическими импульсами тока. Получены экспериментальные данные зависимости энергии электрических импульсов от входного напряжения силового блока питания экспериментальной установки при номинальных параметрах значений длительности импульсов и частоты, а также фиксированном уровне нагрузки. Получены аналитические зависимости свидетельствуют о подтверждении явления Пинч-Эффекта – высокая концентрации энергии в области блока КЭЗ.

Ключевые слова: электрофизическая обработка, электрический взрыв проводников, электрический импульс, Пинч-Эффект, экспериментальная установка.

I.A. GETMAN

Donbass State Engineering Academy

V.V. DERZHEVETSKYI

Donetsk National Technical University

DETERMINATION OF DEPENDENCE OF ENERGY RELEASE LEVEL AT FIXED LOAD LEVEL FOR INSTALLATION OF ELECTROPHYSICAL PROCESSING OF CURRENT MATERIALS

In the course of research into the scope of the experimental setup for the electrophysical processing of conductive materials, it became to know that to date, a large amount of experimental and theoretical material concerning the electropulse treatment of conductive materials has been obtained, but some issues remain poorly studied to this day. An analysis of existing methods for studying the release of energy from an electric explosion has shown that the most important component, the so-called. electric explosion is the Pinch Effect - the effect of compression, the contraction of a high-current gas discharge (plasma formation) as a result of the interaction of the discharge current with a magnetic field, intrinsic or external.

A series of experiments with electric current pulses was made. Experimental data were obtained for the dependence of the energy of electrical pulses on the input voltage of the power supply unit of the experimental setup at the nominal parameters of the values of the pulse duration and frequency, and also the fixed level of the load. we used current and voltage sensors, an analog-to-digital converter and applied software developed in the Matlab environment for record, process, analyze and store the output parameters of the installation. As a result of modeling and carrying out of experiments it was established that there is an error of the bench model and the real installation. The discrepancies between the results obtained in the simulation and those obtained experimentally are due to the fact that the mathematical model is an idealized model, and accordingly all possible losses of current and voltage are not taken into account in it. This criterion depends on the kind and resistance of the conductors. The obtained analytical dependencies were testified to the confirmation of the phenomenon of Pinch Effect - a high concentration of energy in the area of the block of CEB. Impact of a pulsed electric current on conductive materials is very diverse and has not been sufficiently studied. Electric explosion of conductors in dense condensed media can be used as a source of high-energy impulse pressures, under the influence of which processed materials can change their structural properties, undergo destruction, and form-formation.

Keywords: electrophysical processing, electric explosion of conductors, electric impulse, Pinch-Effect, experimental setup.

Обработке токопроводящих материалов электрическим током посвящено большое количество экспериментальных исследований и теоретических работ. Особое место среди них занимает обработка импульсным электрическим током. Воздействия импульсного электрического тока на токопроводящие материалы весьма разнообразны и еще недостаточно изучены. Известно, что электрический взрыв проводников в плотных конденсированных средах может использоваться в промышленности как источник высокоэнергетических импульсных давлений, под воздействием которых обрабатываемые материалы могут изменять свои структурные свойства, подвергаться разрушению, формообразованию и т.д.

Существует малое количество реальных устройств для проведения электрофизической обработки токопроводящих материалов импульсным электрическим током, поэтому разработка новых типов таких устройств является актуальной. Анализ существующих методов исследования выделения энергии электрического взрыва показал, что наиболее важной составляющей, т.н. электрического взрыва является Пинч-Эффект – эффект сжатия, стягивания сильнооточного газового разряда (плазменного образования) в результате взаимодействия тока разряда с магнитным полем, собственным или внешним.

В ходе исследования сферы применения экспериментальной установки для электрофизической обработки токопроводящих материалов стало известно, что на сегодняшний день был получен большой экспериментальный и теоретический материал, касающийся электроимпульсной обработки токопроводящих материалов, однако некоторые вопросы до настоящего времени остаются малоизученными. С учетом принятого метода измерения выходных характеристик экспериментальной установки была разработана её структурная схема [1]. Помимо электрофизической обработки, интересным остается вопрос создания новых материалов или упрочняющих покрытий, которые нашли-бы свое применение в области энергетики, космической техники, промышленности, нанотехнологиях и в других областях науки и техники.

На данный момент существует большое количество исследований, посвященных данной проблеме в

работах Г.А. Месяца, Ю.В. Баранова, В.А. Бурцева и других учёных.

Целью проведения экспериментальных исследований является получение зависимости уровня выделения энергии от заданных параметров при фиксированном уровне нагрузки.

Задача заключается в следующем: собрать установку и подключить, в качестве заготовки (нагрузки), сопротивление номиналом 0.16 Ом; затем подключить к нагрузке датчики тока и напряжения; с помощью АЦП обработать и проанализировать полученные данные в прикладном ПО.

Для того чтобы обеспечить надёжность работы установки не менее важным является правильная эксплуатация всех её блоков. Экспериментальная полуавтоматическая установка для исследования выделения энергии электрического взрыва питается от однофазной сети переменного напряжения 220 В 50 Гц. Потребляемая мощность установки составляет 1 кВт/ч. Для корректной работы экспериментальной установки необходимо учитывать диапазоны значений параметров установки, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Диапазоны значений параметров установки

	max	min		max	min
Напряжение $U_{вх}$ (В)	230	220	Частота $F_{вых.эксп.}$ (Гц)	10	1000
Частота $F_{вх}$ (Гц)	50	50	Длительность $T_{вых.эксп.}$ (мкс)	1	100
Мощность P потреб. (кВт)	1	1	Мощность $P_{вых.эксп.}$ (Вт)	170	110000
Напряжение $U_{вых}$ (В)	13.5	330	Ток $I_{вых.эксп.}$ (А)	25	600
Напряжение $U_{вых.эксп.}$ (В)	5.8	260	Энергия $E_{вых.эксп.}$ (Дж)	0.003	0.37

При включении установки, работу можно начинать без настройки параметров, так как в программный код управления записаны значение частоты и длительности - 100 Гц / 20мкс, которые приняты за номинальные значения. Ёмкость конденсаторной батареи составляет 200 мкФ и 400мкФ. Для проведения эксперимента необходимо соблюдать следующие требования: подключить к установке блок КЭЗ (с известным сопротивлением нагрузки); установить необходимое напряжение на трансформаторе; проверить правильность подключения всех блоков установки; включить установку; выбрать необходимый режим запуска импульсов на пульте управления (единичный / множественный); установить длительность и частоту импульсов; произвести запуск; снять и сохранить полученные результаты в прикладном программном обеспечении; выключить установку; проанализировать и сделать выводы экспериментальных данных.

Структурная схема силовых блоков установки представлена на рисунке 1.

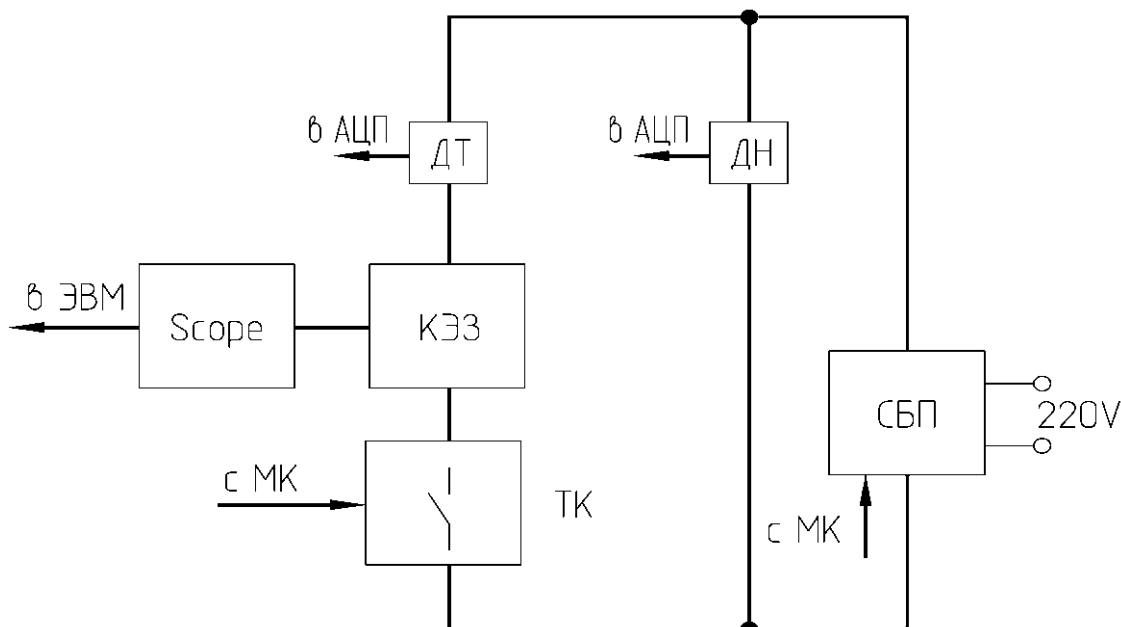


Рис. 1 Структурная схема силовых блоков установки

Электрическая схема подключения блоков установки представлена на рисунке 2.

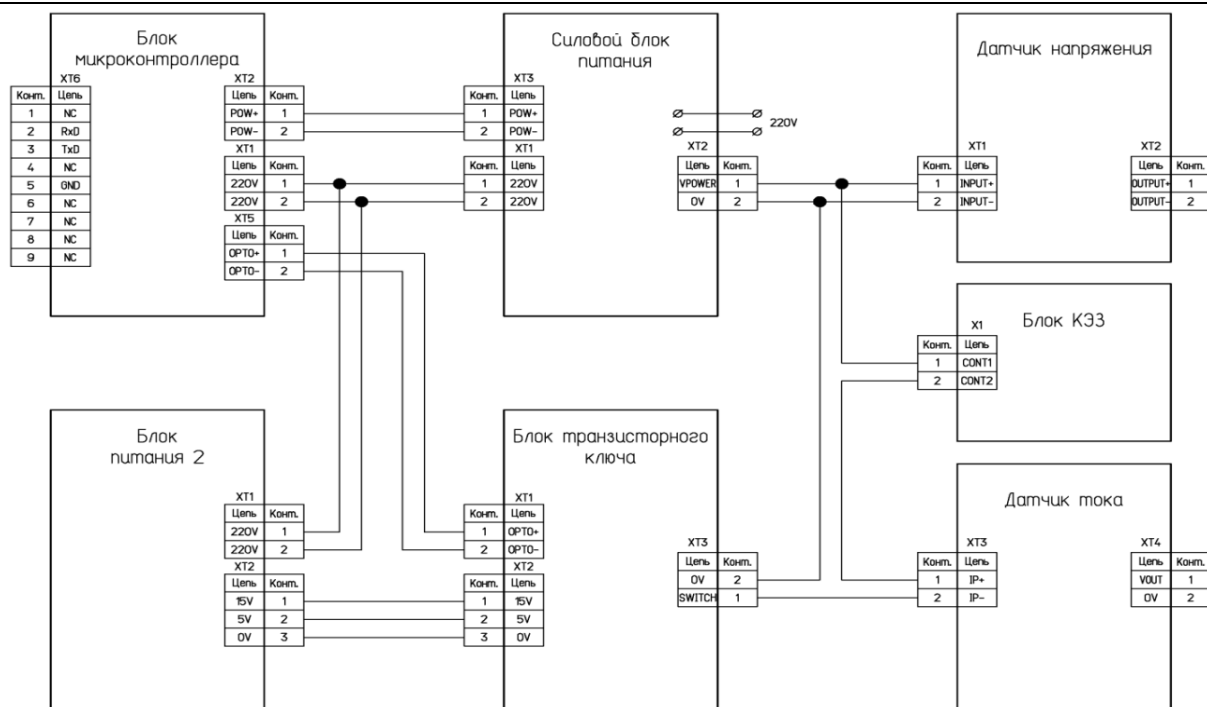


Рис. 2 Электрическая схема подключения блоков установки

Подключение производится с помощью разъёмов: XT1(СБП) – XT1(БМК), XT1(СБП) – XT2(БМК).

Разъёмы XT3(СБП) – XT2 (БМК), XT5(БМК) – XT1(БМК) - предназначены для передачи сигналов управления.

С помощью разъёмов XT3 (БМК) – XT1(ДН) – XT3(ДТ) производится последовательное подключение к контакту электрод-заготовка (X1).

Для снятия параметров и занесение их в ЭВМ предназначены разъёмы XT2 – XT4(ДН и ДТ), после чего сигналы оцифровываются в АЦП и анализируются в прикладном ПО.

На рисунке 3 изображены графики зависимостей тока, напряжения, мощности и энергии от времени.

Данные получены экспериментально при входном напряжении 13.5 В, а также при постоянной нагрузке с сопротивлением 0.16 Ом. Как видно из графика, при данных параметрах, выделившаяся энергия составляет 0.00242 Дж.

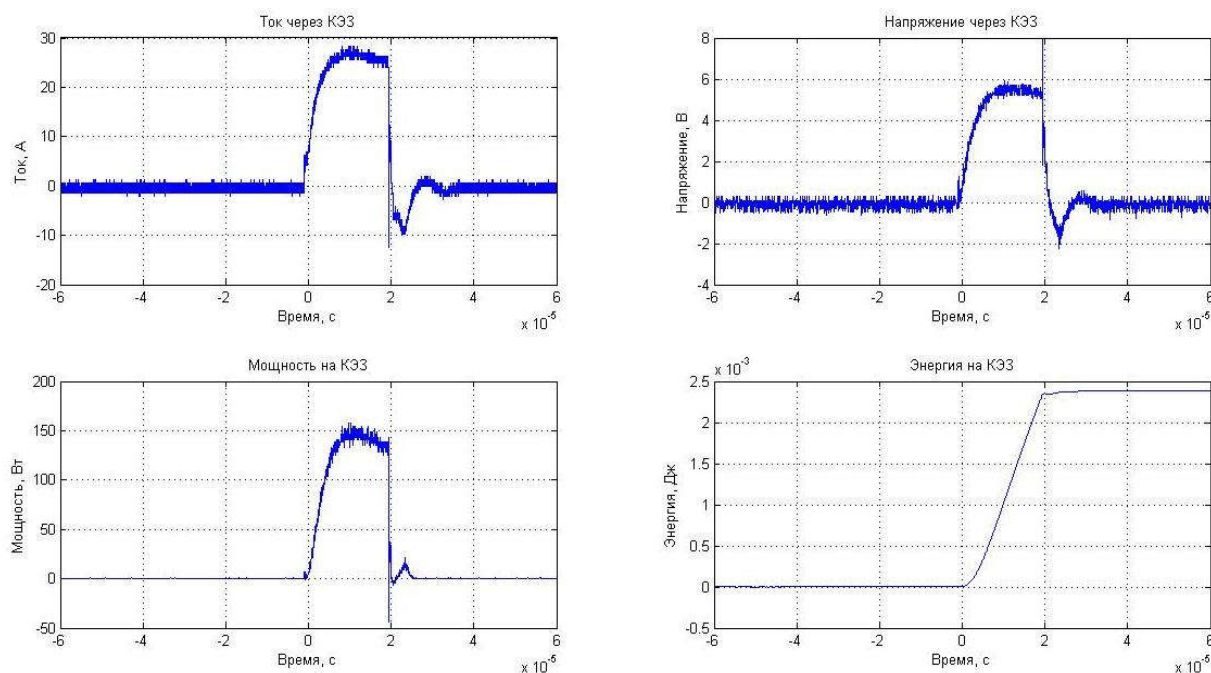


Рис. 3 Временные диаграммы при напряжении 13.5 В

На рисунке 4 изображены графики зависимостей тока, напряжения, мощности и энергии от времени.

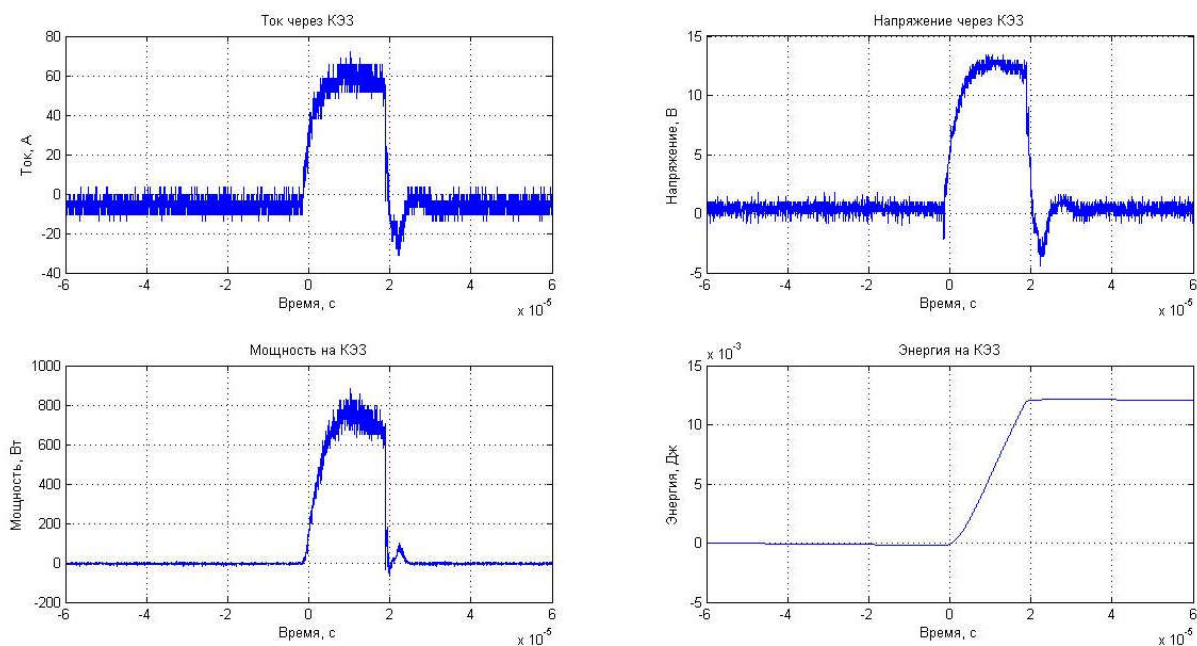


Рис. 4 Временные диаграммы при напряжении 27.8 В

Данные получены экспериментально при входном напряжении 27.8 В, а также при постоянной нагрузке с сопротивлением 0.16 Ом. Как видно из графика, при данных параметрах, выделившаяся энергия составляет 0.0118 Дж.

На рисунке 5 изображены графики зависимостей тока, напряжения, мощности и энергии от времени. Данные получены экспериментально при входном напряжении 42 В, а также при постоянной нагрузке с сопротивлением 0.16 Ом. Как видно из графика, при данных параметрах, выделившаяся энергия составляет 0.0307 Дж. Предварительно проанализировав первые три графика видно, что при увеличении напряжения мощность возрастает и соответственно энергия возрастает.

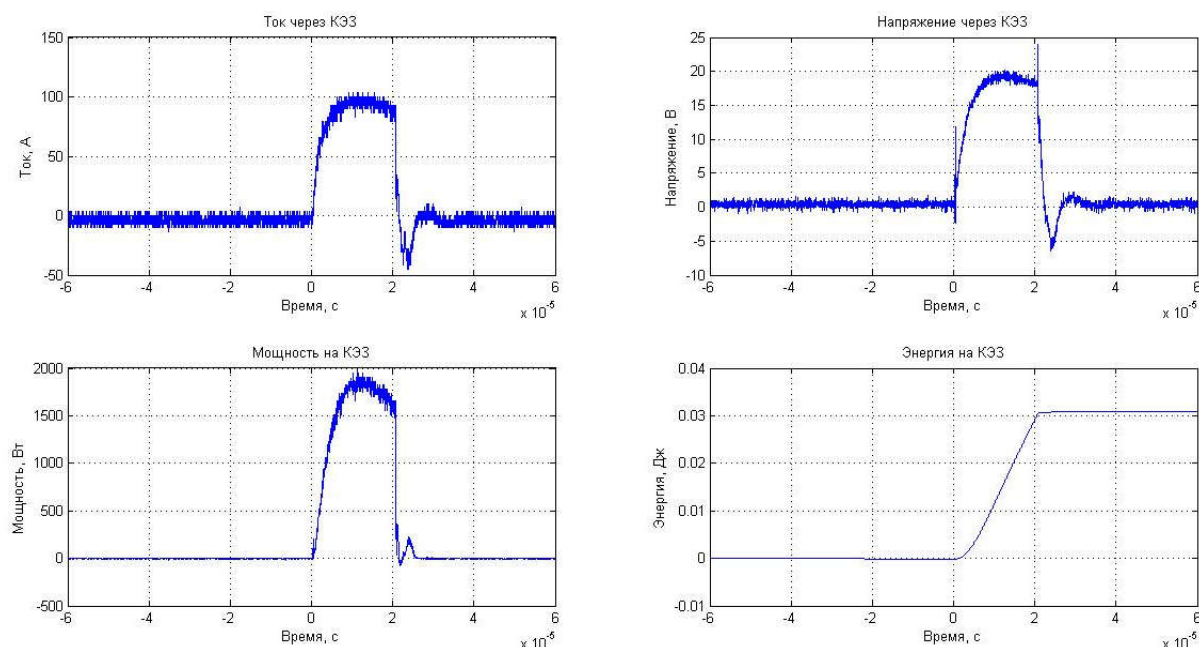


Рис.5 Временные диаграммы при напряжении 42 В

На рисунке 6 изображены графики зависимостей тока, напряжения, мощности и энергии от времени. Данные получены экспериментально при входном напряжении 56.8 В, а также при постоянной нагрузке с сопротивлением 0.16 Ом. Как видно из графика, при данных параметрах, выделившаяся энергия составляет 0.0557 Дж.

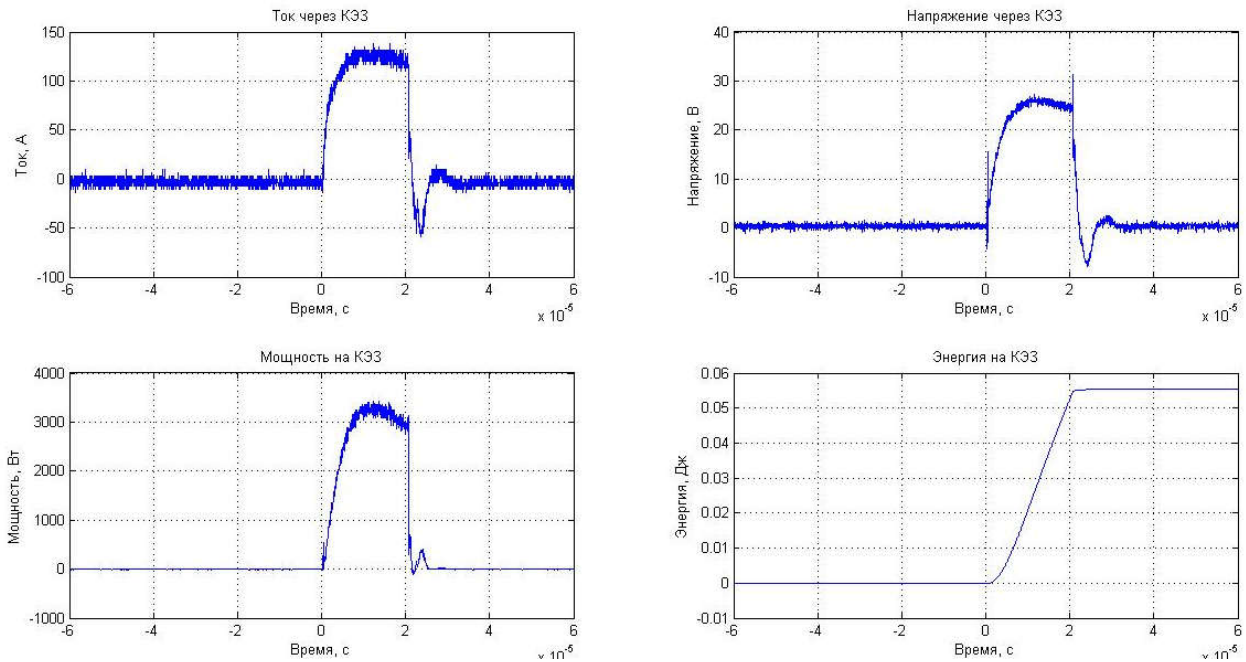


Рис. 6 Временные диаграммы при напряжении 56.8 В

На рисунке 7 изображены графики зависимостей тока, напряжения, мощности и энергии от времени. Данные получены экспериментально при входном напряжении 72 В, а также при постоянной нагрузке с сопротивлением 0.16 Ом.

Как видно из графика, при данных параметрах, выделившаяся энергия составляет 0.0908 Дж.

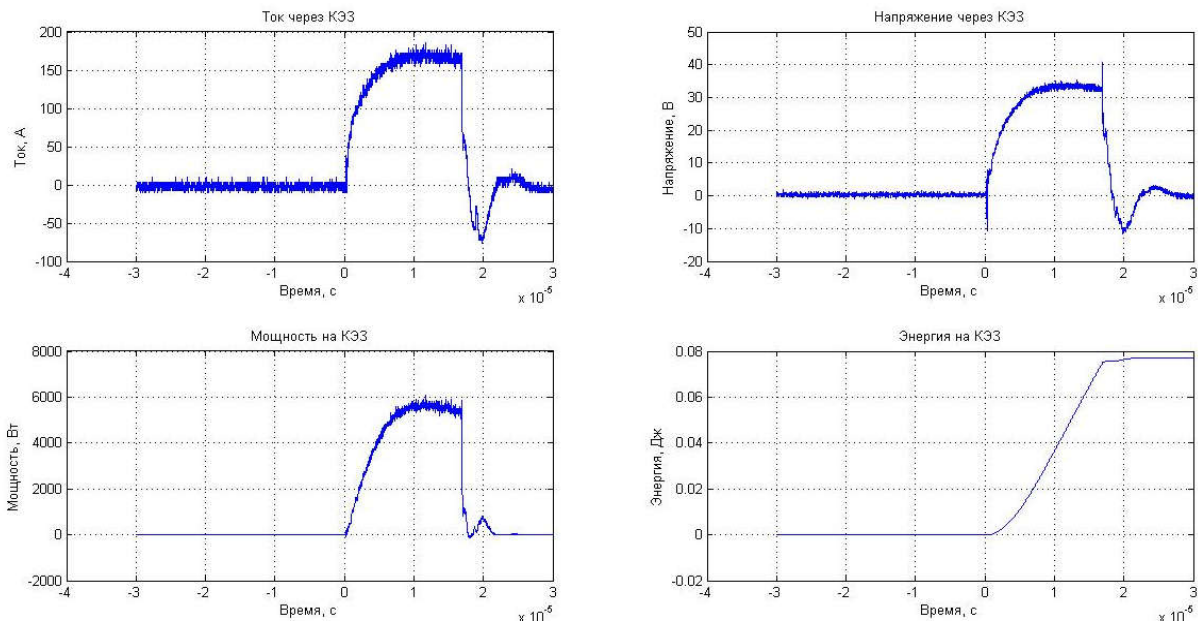


Рис. 7 Временные диаграммы при напряжении 72 В

На рисунке 8 изображены графики зависимостей тока, напряжения, мощности и энергии от времени. Данные получены экспериментально при входном напряжении 143 В, а также при постоянной нагрузке с сопротивлением 0.16 Ом. При данных параметрах, выделившаяся энергия составляет 0.37 Дж.

В результате полученных данных можно утверждать, что при увеличении входного напряжения, выделившаяся энергия постоянно растёт. Это видно из построенных графиков.

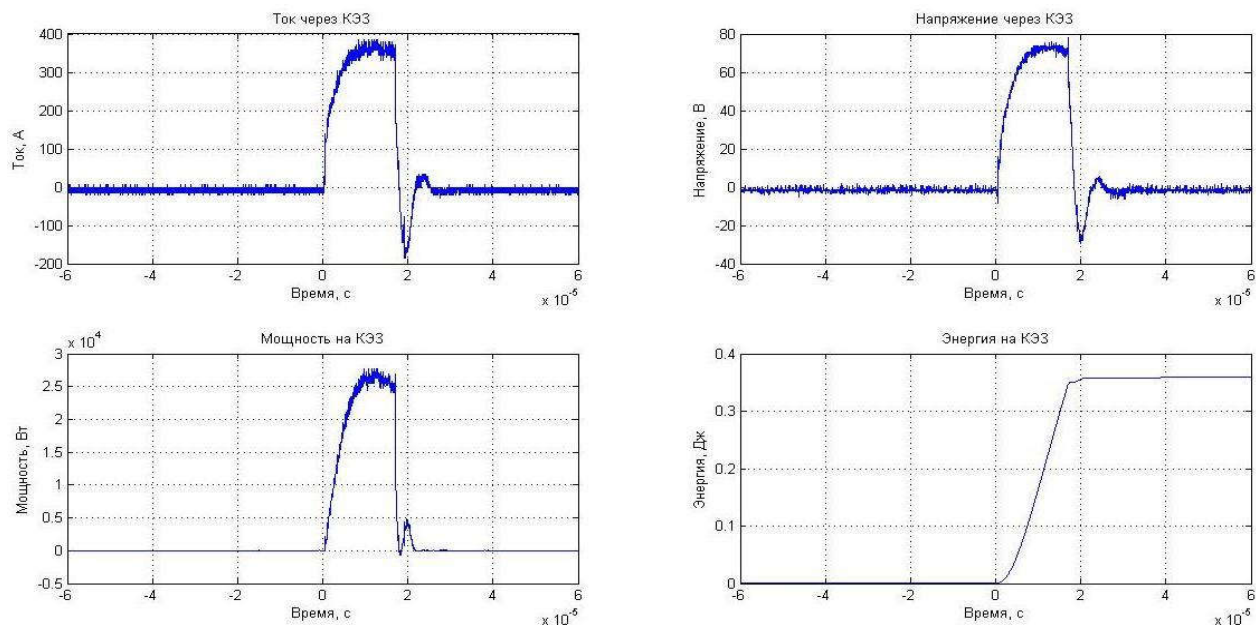


Рис. 8 Временные диаграммы при напряжении 143 В

На рисунке 9 приведены зависимости напряжения на нагрузке, тока, мощности и энергии от действующего значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

При анализе данных, зависимости мощности от реального напряжения, можно предположить, что характеристика имеет квадратичную зависимость, в виде параболы.

Напряжение U_p это реальное напряжение, которое приложено к заготовке. Его величина зависит от рода и длины проводников. Все экспериментальные данные получены с учётом потерь.

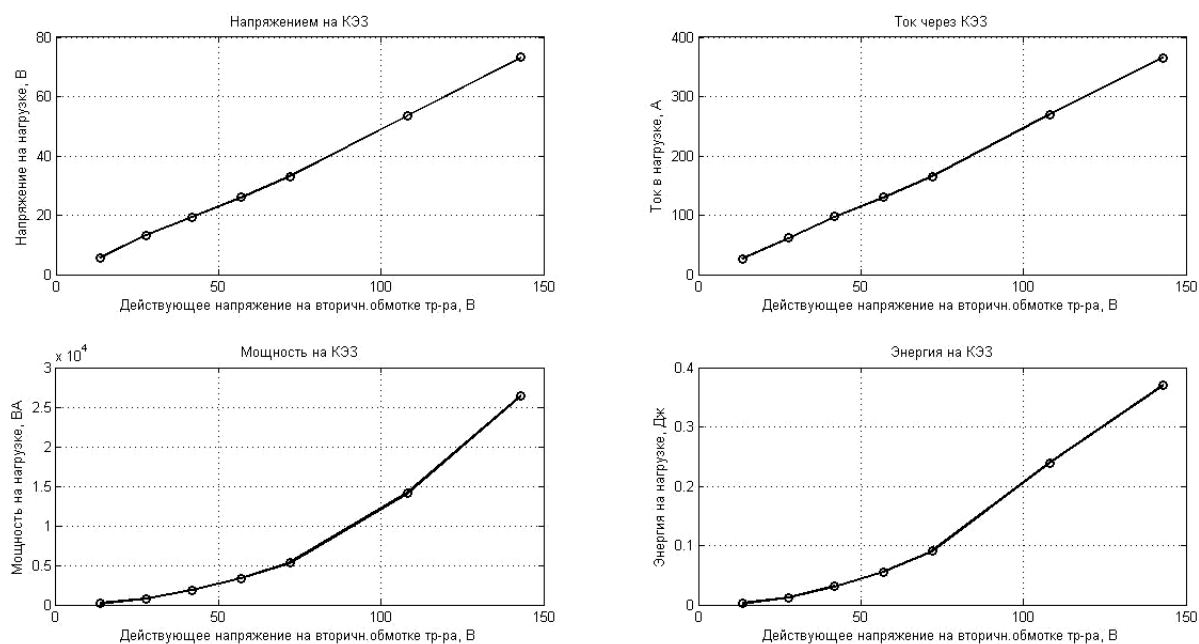


Рис. 9 Зависимости основных параметров установки от выходного напряжения на трансформаторе

Полученные результаты сведены в таблицу 2.

На рисунке 10 приведена вольтамперная характеристика, построенная по полученным данным в результате проведения экспериментов.

В дальнейшем планируется уменьшать сопротивление нагрузки и время подачи импульсов с целью уменьшения нагрева проводника и увеличения плотности тока на заготовке, что в свою очередь ещё более расширит диапазон исследований выделения энергии.

Результаты проведения экспериментов

U (В)	13.5	27.8	42	56.8	72	108	143
U _p (В)	5.6	13.2	19.3	26	33	53.5	73.2
I _p (А)	27	61.5	98	130	165	270	365
P (Вт)	150	750	1850	3320	5300	14100	26400
E (Дж)	0.00242	0.0118	0.0307	0.0557	0.0908	0.239	0.37

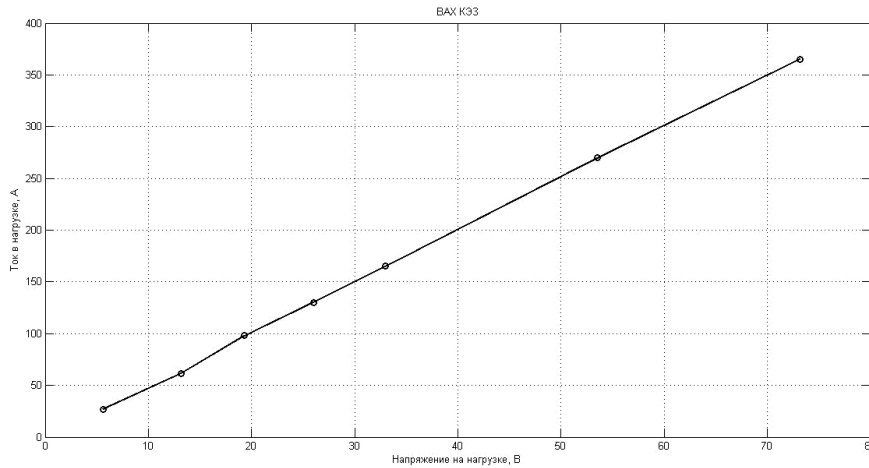


Рис. 10 Вольтамперная характеристика

Выводы

В результате моделирования и проведения экспериментов было установлено, что существует погрешность стендовой модели и реальной установки. Такой критерий является допустимым для данного устройства.

Расхождения результатов полученных при моделировании и полученных экспериментально обусловлены следующими факторами. Математическая модель является идеализированной моделью, поэтому все возможные потери тока и напряжения в ней не учитываются. Этот критерий зависит от рода и сопротивления проводников. Частота и напряжение питающей сети постоянно изменяется, что влечет за собой отклонения результатов полученных экспериментальным путем. Особенности конструкции установки и воздействие окружающей среды на проводники влекут за собой искажение полученных данных, в результате воздействия электромагнитных полей, индуктивности.

Литература

1. Гетьман И.А. Исследование параметров установки электрофизической обработки токопроводящих материалов /И.А. Гетьман, В.В., Держевецкий, С.В. Гончаренко// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Міжнародний науково-технічний журнал. Хмельницький. – 2017. №1(57). – С. 87-93.

2. Физика высоких плотностей энергии / Под ред. П. Калдинова, Г. Кнопфеля. М.:Мир, 1974.

3. Ударные волны и экстремальные состояния вещества / Под ред. В.Е. Фортова, Л.В. Альтшулера, Р.Ф. Трунина, А.И. Фунтикова. М.: Наука, 2000.

References

1. Getman I.A. Issledovanie parametrov ustanovki elektrofizicheskoy obrabotki tokoprovodyaschih materialov /I.A. Getman, V.V., Derzhevetskiy, S.V. Goncharenko// Vимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Mizhnarodniy naukovo-tehnichniy zhurnal. Hmel'niitskiy. – 2017. №1(57). – S. 87-93.

2. Fizika vy'sokix plotnostej e'nergii / Pod red. P. Kaldiriva, G. Knopfelya. M.:Mir, 1974.

3. Udarny'e volny' i e'kstremal'ny'e sostoyaniya veshhestva / Pod red. V.E. Fortova, L.B. Al'tshulera, R.F. Trunina, A.I. Funtikova. M.: Nauka, 2000.

Рецензія/Peer review : 12.11.2017 р.

Надрукована/Printed :20.01.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією