

УДК 621.318

А.В. Гнатов, Щ.В.Аргун, И.С.Трунова

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ – ИМПУЛЬСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА, В БЕСКОНТАКТНОЙ РИХТОВКЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Статья посвящена определению основных параметров импульсных трансформаторов – согласующих устройств цилиндрического типа, разработанных в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ. В ходе исследований сняты осциллограммы разрядных импульсов и экспериментально определены коэффициент трансформации и индуктивность согласующих устройств.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, импульсный трансформатор тока, согласующее устройство, бесконтактная рихтовка, индуктор.

Введение

Постановка проблемы. В качестве согласующих устройств в технике МИОМ применяются специальные импульсные трансформаторы тока [1, 2].

Назначение согласующего устройства состоит в увеличении амплитуды сигнала и в возможности варьирования временных параметров каждого из импульсов. Согласующее устройство представляет собой импульсный повышающий трансформатор тока. Первая задача – по увеличению амплитуды импульса до требуемого уровня – решается выбором надлежащего соотношения числа витков в первичной и вторичной обмотках. Вторая – по варьированию временных параметров генерируемых импульсов – сводится к варьированию собственной частоты сигнала, поскольку каждый из них, как правило, во времени представляет собой экспоненциально затухающую синусоиду. Решение этой задачи достигается варьированием числа витков первичной обмотки импульсного трансформатора. Изменение его суммарной индуктивности ведёт к изменению частоты разрядного импульса.

По сути, согласующее устройство необходимо для согласования источника мощности – магнитно-импульсной установки (МИУ) с инструментом обработки – индукторной системой, что приводит к эффективному выполнению заданной технологической операции.

Анализ основных достижений и публикаций. Согласующие устройства можно поделить по конструктивному исполнению на дисковые плоские, цилиндрические коаксиальные и др. (специальные конструкции) [1, 2]. Так в [3, 4] описываются конструктивные особенности плоских дисковых импульсных трансформаторов тока. Причем, в [4] приводится анализ существующих конструкций импульсных трансформаторов, предназначенных для получения больших токов – порядка единиц и десятков мегампер. В [5 – 8] рассмотрены конструктивные особенности специальных импульсных трансформаторов тока. В [9] описывается индуктор, состоящий из нескольких электрически изолированных секций, каждая из которых соединена со своим трансформатором тока. Авторы работы [10] рассматривают вопросы проектирования и исследования электрической эффективности одновитковых индукторов, на основании чего делают вывод, что наиболее перспективными являются одновитковые индукторы в сочетании с импульсным трансформатором.

Авторским коллективом лаборатории электромагнитных технологий Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) разработан целый ряд согласующих устройств, использование которых позволило выполнять ранее трудно реализуемые, а порой и невозможные технологические операции по восстановлению (удалению вмятин, прогибов, деформаций) поверхности тонкостенных листовых металлов [1, 11 – 13]. Это открывает совершенно новые возможности в обрабатывающей промышленности, т.к. операции по реставрации могут выполняться бесконтактно и без разборки корпусных элементов восстанавливаемых конструкций, например, кузова автомобилей или корпуса самолетов [1, 13].

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование основных параметров – коэффициента трансформации и индуктивности, согласующих устройств цилиндрического типа, разработанных в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ (рис. 1).

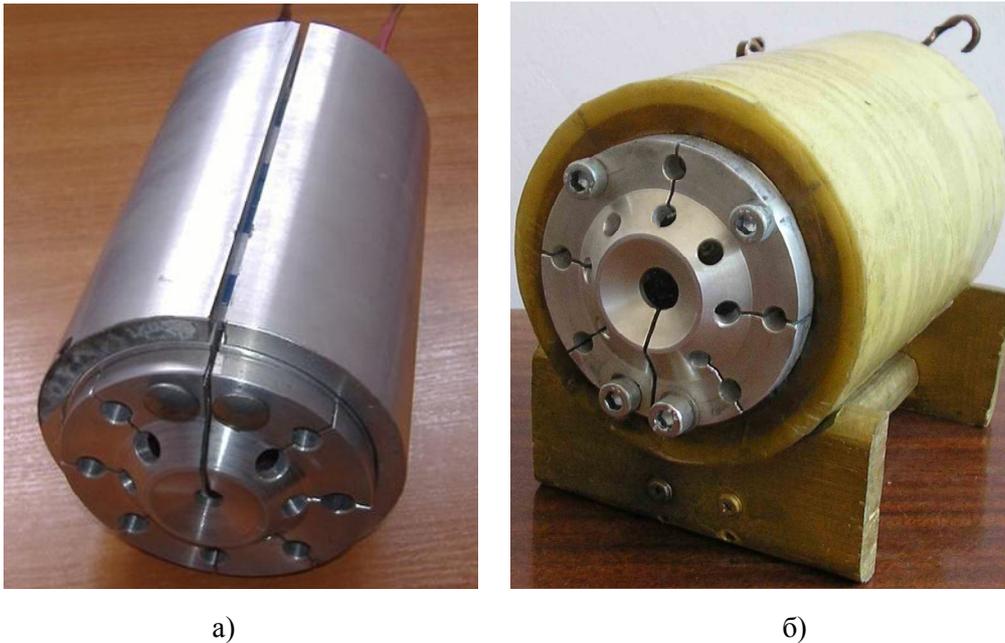


Рис. 1. Внешний вид исследуемых согласующих устройств цилиндрического типа с присоединенным индуктором-инструментом, а – с двойным вторичным разомкнутым витком; б – с одним вторичным разомкнутым витком.

Экспериментальное оборудование

Экспериментальное оборудование включало источник мощности – сильноточный генератор и индукторную систему, состоящую из одновиткового соленоида, подключаемого к электрическому выходу источника мощности через согласующее устройство – импульсный трансформатор тока цилиндрического типа.

В ходе экспериментов были исследованы 2 согласующих устройства цилиндрического типа:

- с двойным вторичным разомкнутым витком (рис. 1., а);
- с одним вторичным разомкнутым витком (рис. 1., б).

В качестве источника мощности использовалась магнитно-импульсная установка МИУС-2, разработанная и созданная в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ (рис. 2.). Магнитно-импульсная установка МИУС-2 обладает следующими техническими характеристиками:

- запасаемая энергия $W \sim 2$ кДж;
- ёмкость накопителя – $C = 1200$ мкФ;
- собственная частота – $f_0 \sim 6.5$ кГц;
- собственная индуктивность – $L \sim 500$ нГн;
- напряжение емкостного накопителя допускало регулировку в диапазоне $\sim 100 \div 2000$ В;
- частота следования генерируемых импульсов тока в режиме их многократного повторения – $1 \div 10$ Гц;
- режим многократного повторения обеспечивается электронным блоком управления, синхронизирующим процессы заряд – разряд;
- тип коммутаторов – тиристорные выключатели;
- напряжение питающей сети $\sim 380/220$ В.

В качестве нагрузки для согласующего устройства использовался одновитковый цилиндрический индуктор-инструмент, у которого рабочая область имеет форму усеченного конуса.



Рис. 2. Источник мощности – Магнитно-импульсная установка МИУС-2

Экспериментальные исследования. Обработка результатов

В ходе проведения эксперимента были проведены следующие опыты.

1. Измерение сигналов в первичной и во вторичной обмотке (непосредственно с индуктора-инструмента) согласующего устройства с двойным вторичным разомкнутым витком.
2. Измерение сигналов в первичной и во вторичной обмотке (непосредственно с индуктора-инструмента) согласующего устройства с одним вторичным разомкнутым витком.
3. Измерение параметров собственного разрядного сигнала МИУС-2 (разрядный импульс на зажимах установки).

При этом, МИУС-2 работала в своем штатном рабочем режиме генерации разрядных импульсов. Накопители емкостной энергии заряжались до напряжения $U = 1500$ В. Осциллограммы сигналов снимались с помощью цифрового осциллографа PV6501 через индукционный датчик – пояс Роговского.

Снятые осциллограммы сигналов представлены на рис. 3 – 5.

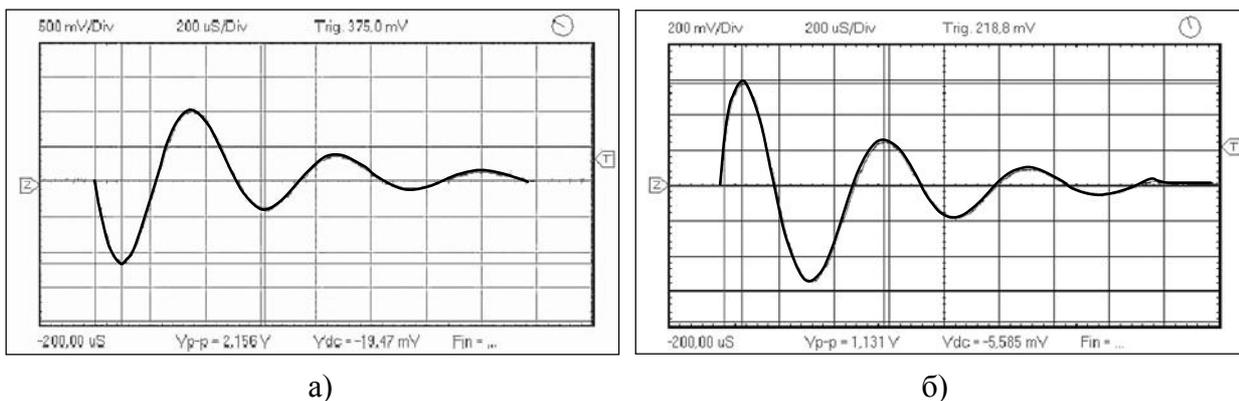


Рис. 3. Осциллограммы сигнала с согласующего устройства с двойным вторичным разомкнутым витком, а – первичная обмотка; б – вторичная обмотка – индуктор.

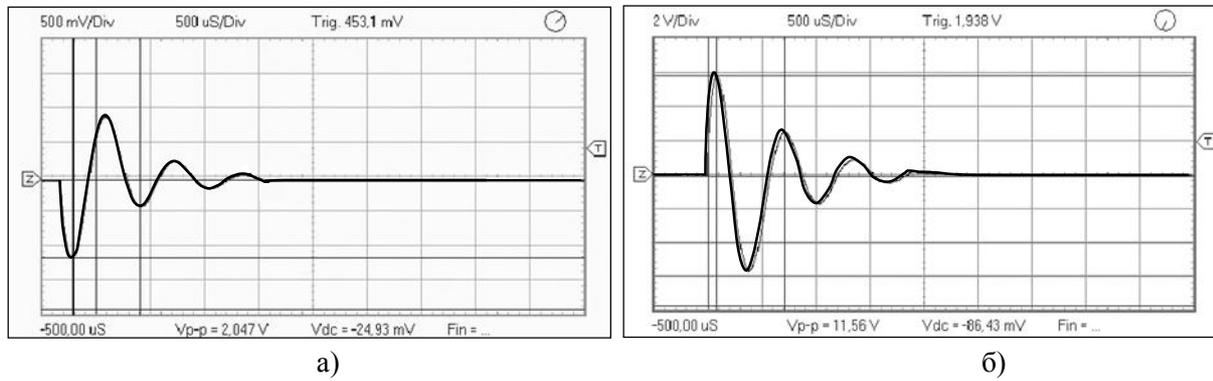


Рис. 4. Осциллограммы сигнала с согласующего устройства с одним вторичным разомкнутым витком, а – первичная обмотка; б – вторичная обмотка – индуктор.

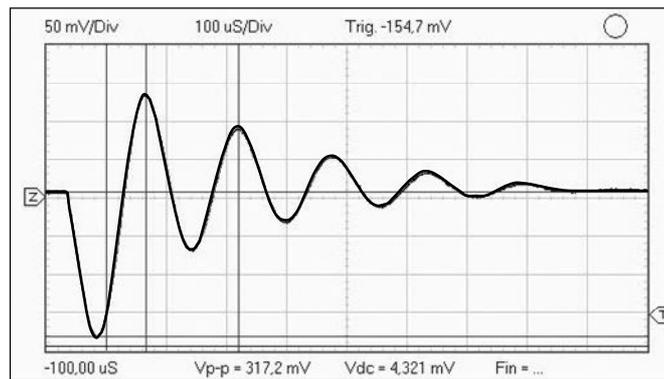


Рис. 5. Осциллограмма собственного разрядного импульса МИУС-2.

Параметр индуктивности L вычислялся по снятым осциллограммам по формуле:

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C}$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – круговая частота разрядного импульса, рад/с;

C – ёмкость накопителя МИУС-2, Ф.

Результаты обработки снятых осциллограмм сведены в табл. 1.

Таблица 1

Обработка экспериментальных исследований согласующих устройств

МИУС-2, Со- гласующее устройство	Амплитуда тока в первичной обмотке, I_1 , кА	Амплитуда то- ка во вторич- ной обмотке, I_2 , кА	Кoeffици- ент транс- формации, $K_{тр}$	Частота сигнала, f , кГц	Индуктив- ность L , нГн
МИУС-2	-	-	-	6,5	500
С двойным вторичным ра- зомкнутым витком	13,78	69,116	5,02	1,9	5353
С одним вто- ричным ра- зомкнутым витком	13,4	67	5	1,6	7754

ВЫВОДЫ

Проведенные экспериментальные исследования с последующей их обработкой позволяют сделать следующие выводы.

1. Произведена обработка экспериментальных данных и определены основные параметры исследуемых согласующих устройств цилиндрического типа.

2. Проведенные исследования показали, что коэффициент трансформации исследуемых согласующих устройств одинаков и равен ~ 5 , а индуктивности отличаются на $\sim 30\%$. Данное отличие обусловлено наличием, у одного из согласующих устройств 2-х разомкнутых витков во вторичной обмотке, причем эти витки соединены параллельно. Все остальные параметры идентичны: количество витков в первичной обмотке, геометрические размеры и металл обеих обмоток.

3. Индуктивность согласующих устройств на порядок отличается от собственной индуктивности установки, следовательно, для эффективного их применения в методах и технологиях МИОМ необходимо, чтобы присоединяемый к ним индуктор-инструмент обладал индуктивностью гораздо меньшей, чем согласующие устройства. Индуктивность индуктора-инструмента должна быть соизмеримой с индуктивностью установки, либо меньше её.

1. 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.
2. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / Белый И. В., Фертик С. М., Хименко Л. Т. - Харьков: Вища школа. 1977. - 189 с. Пат. 1464646 ФРГ, МКИ В 21 D 26/14, Н 01 F (7с 26/14, 21 D 2/49, 21 G 1/02). Vorrichtung zur Formung von Werkstücken durch Anwendung magnetischer Impulse / Broton F. D., Hayward G. B. заявитель и патентообладатель Gulf General Atomic Incorp., San Diego, California (США). – № Р 1464646.9-14 (G 39271) ; заявл. 29.11.63; опубл. 19.05.71. Приор. 30.11.62. – № 3231842, США.
4. Гончаренко Г. М. Импульсный согласующий трансформатор / Г. М. Гончаренко, В. А. Галкин, Ю. И. Гужавин, Ю. А. Попов, И. А. Галкин // Высоковольтная импульсная техника. – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 1976. – Вып. 3. – С. 27 – 34.
5. А. с. 792298 СССР, МКИ Н 01 F 19/08, В 21 D 26/14. Импульсный трансформатор / Л. Т. Хименко (СССР). – № 2607647/24-07 ; Харк. политехн. ин-т им. В.И. Ленина. Авт. изобрет.– заявл. 24.04.78 ; опубл. в Б.И., 1980, № 48.
6. А. с. 675456 СССР, МКИ Н 01 F 19/08, В 21 D 26/14. Импульсный трансформатор / Л. Т. Хименко (СССР). – № 2482198/27-07 ; Харк. политехн. ин-т им. В.И. Ленина. Авт. изобрет. – заявл. 03.05.77 ; опубл. в Б.И., 1979, № 27.
7. А. с. 756496 СССР, МКИ Н 01 F 19/08, В 21 D 26/14. Импульсный трансформатор / Л. Т. Хименко (СССР). – № 2574788/24-07 ; Харк. политехн. ин-т им. В.И. Ленина. Авт. изобрет. – заявл. 27.01.78 ; опубл. в Б.И., 1980, № 30.
8. А. с. 548341 СССР, МКИ В 21 D 26/14. Согласующее устройство к магнитно-импульсной установке / Л. Т. Хименко (СССР).– № 2101814/27 ; Харк. политехн. ин-т им. В.И. Ленина. Авт. изобрет. – заявл. 04.02.75 ; опубл. в Б.И., 1977, № 8.
9. Пат. 146403 ГДР, МКИ В 21 D 26/14. Vorrichtung zur elektromagnetischen Hochenergieimpulsumformung / Scheibe H. P., Fischer V. – № 216169 ; заявл. 11.10.79; опубл. 11.02.81.
10. Галкин В. А. Исследование и разработка одновитковых индукторов / В. А. Галкин, О. М. Мосолов, Ю. А. Попов, Е. М. Шалунов // Высоковольтная импульсная техника. – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 1976. – Вып. 3. – С. 55 – 62.
11. Пат. 53969 Україна, В21 Д 26/14. Узгоджувальний пристрій-циліндричний з двома співвісними вторинними витками / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Сериков Г. С., Чаплигін Є. О., Драченко С. О.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u201004291 ; заявл. 13.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
12. Анализ электродинамических процессов в согласующем устройстве «дискового» типа : тези наукових праць VIII Українсько-Польської конференції молодих науковців [«Механіка та інформатика»], (Хмельницький, 12 – 14 травня 2011 р.). / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, И. С. Трунова. – Хмельницький: Хмельницький національний університет. 2011. – 214 с. – С. 19 – 21.
13. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов / Ю. В. Батыгин, С. Ф. Головащенко, А. В. Гнатов, Д. О. Смирнов // Електротехніка і електромеханіка.– Харків. – 2010. – № 3. – С. 39 – 41.