

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОВМЕЩЕННОМ СОГЛАСУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА С МАССИВНЫМ ОДНОВИТКОВЫМ ИНДУКТОРОМ

Запропоновано, в якості інструменту магнітно-імпульсного методу використовувати погоджувачий пристрій, суміщений з одновитковим масивним індуктором. Проведено дослідження електромагнітних процесів в суміщеному погоджувачому пристрої циліндричного типу. Визначено його основні електромагнітні параметри та характеристики.

Предложено, в качестве инструмента магнитно-импульсного метода использовать согласующее устройство, совмещенное с одновитковым массивным индуктором. Проведено исследование электромагнитных процессов в совмещенном согласующем устройстве цилиндрического типа. Определены его основные электромагнитные параметры и характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Разработки с использованием энергии электромагнитных полей в современной промышленности, например, в практике реставрации поврежденных кузовных покрытий автомобилей, в наше время являются весьма актуальными и перспективными. В связи с этим возрастает необходимость в осуществлении различных технических разработок и усовершенствований всевозможных технических систем и устройств, которые позволяют производить внешнюю бесконтактную магнитно-импульсную рихтовку [1-3]. К таким устройствам относятся согласующие устройства (СУ) – импульсные трансформаторы тока. Данные устройства применяют в практике магнитно-импульсной обработки металлов для повышения уровня энергии, передаваемой от мощных импульсных установок (источников мощности) в малоиндуктивные нагрузки [2, 4-6].

СУ в магнитно-импульсной обработке металлов являются неотъемлемыми составляющими большинства схем практической реализации передовых промышленных технологий и, как говорилось ранее, представляют собой импульсные трансформаторы тока, первичная обмотка которых подключается к выходу разрядного контура магнитно-импульсной установки – источника мощности, а вторичная – к входным клеммам индуктора – инструмента метода.

Назначение СУ состоит в преобразовании амплитудно-временных параметров тока при разряде емкостных накопителей, что позволяет существенно повысить величину силового воздействия на обрабатываемый объект [4, 5].

Среди возможных видов СУ выделяются конструкции дискового и цилиндрического типа.

Для повышения прочностных показателей и исключения высоких переходных сопротивлений (значительно увеличивающих эквивалентное сопротивление нагрузки вторичного контура), которые возникают в местах подсоединения индуктора к СУ, предложена совмещенная конструкция согласующего устройства с индуктором, что означает их изготовление в виде единого целого – инструмента магнитно-импульсного воздействия (для заданной производственной операции) [6]. Следствием такого конструктивного решения является возможность существенно повысить уровень передачи энергии в рабочую зону инструмента.

Следует отметить, что подобное узко специали-

зированное решение в принципе уже имело место в традиционной магнитно-импульсной обработке металлов [4, 7, 8]. Речь идёт о концентраторах магнитного потока, применявшихся для обжима полых цилиндрических труб.

Совмещённое СУ цилиндрического типа, представляет собой устройство с вторичной обмоткой в виде полого цилиндра, одно из оснований которого выполняет также функции исполнительного органа – инструмента.

Целью настоящей работы является исследование электромагнитных процессов совмещённого СУ цилиндрического типа с определением его основных параметров и характеристик.

На рис. 1 представлено схематическое изображение и расчетная модель исследуемого СУ.

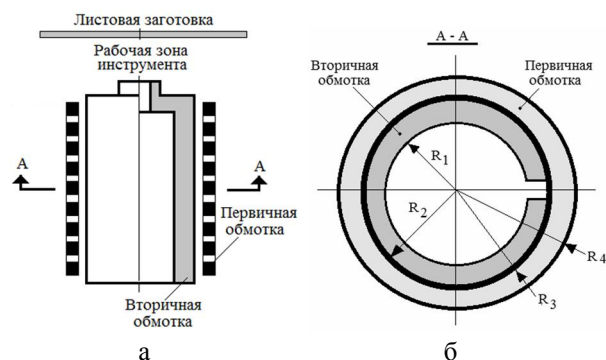


Рис. 1. Совмещённое согласующее устройство цилиндрического типа, с вторичным витком – полым цилиндром, верхнее основание которого является инструментом – одновитковым индуктором: а – схематическое изображение; б – расчётная модель

Решение проводится в полярной системе координат. Сформулируем допущения и упрощения, не влияющие на сущность предмета исследования:

- первичную обмотку – катушку с достаточно плотным размещением витков (их число – w) можно считать цельно металлическим полым цилиндром с внутренним и внешним радиусами – R_3, R_4 , соответственно;
- вторичная обмотка – полый металлический цилиндр с внутренним и внешним радиусами – R_1, R_2 , соответственно;
- цилиндры первичного и вторичного витков выполнены из одинаковых немагнитных металлов с удельной электропроводностью – γ ;

- продольный – ℓ и радиальные размеры – $R_{1,2,3,4}$ рассматриваемой системы достаточно велики, так что $\ell/R_{1,4} \gg 1$ и $R_{1,2,3,4}/h \gg 1$, где $h = (R_3 - R_2)$ – расстояние между обмотками;

- наличием продольного разреза во внутреннем цилиндре пренебрегаем и полагаем, что система обладает аксиальной симметрией, так что $\partial/\partial\varphi \approx 0$ (φ – азимутальный угол);

- в первичной обмотке согласующего устройства имеет место только азимутальная составляющая плотности тока, $J(t) = J_m j(t)$, J_m – амплитуда, $j(t)$ – временная зависимость;

- электромагнитные процессы удовлетворяют условию квазистационарности, $\omega/c\ell \ll 1$, где ω – характерная циклическая частота, c – скорость света в вакууме, ℓ – наибольший характерный геометрический размер в системе.

Для решения поставленной задачи согласно расчётной модели на рис. 1,б выделим следующие области:

1 – внутренняя полость, $r \in [0, R_1]$;

2 – металл внутреннего цилиндра, $r \in [R_1, R_2]$;

3 – диэлектрическая полость между цилиндрами, $r \in [R_2, R_3]$;

4 – металл внешнего цилиндра, $r \in [R_3, R_4]$;

5 – свободное пространство вне системы, $r \in [R_4, \infty)$.

Электромагнитные процессы в рассматриваемой системе описываются фундаментальной системой уравнений Максвелла для ненулевых компонент вектора напряжённости электрического и магнитного полей $E_\varphi(r, t) \neq 0$, $H_z(r, t) \neq 0$.

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot E_\varphi(p, r)) = -\mu_0 \cdot p \cdot H_z(p, r) & (1) \\ -\frac{\partial H_z(p, r)}{\partial r} = p \cdot \varepsilon_0 \cdot E_\varphi(p, r) & (2) \\ -\frac{\partial H_z(p, r)}{\partial r} = \gamma \cdot E_\varphi(p, r) & (3) \end{cases}$$

где p – параметр преобразования Лапласа; μ_0 , ε_0 – магнитная и диэлектрическая проницаемости свободного пространства; $E_\varphi(p, r) = L\{E_\varphi(t, r)\}$, $H_z(p, r) = L\{H_z(t, r)\}$.

Система уравнений (1) – (3) в средах с разными электрофизическими характеристиками (вакуум и металл) приводится к соответствующим дифференциальным уравнениям для напряжённости электрического поля:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot E_\varphi(p, r)) \right) - k_{1,2}^2(p) \cdot E_\varphi(p, r) = 0, \quad (4)$$

где $k_1(p)$ – волновое число в металле, $k_1(p) = \sqrt{p\mu_0\gamma}$; $k_2(p)$ – волновое число в вакууме, $k_2(p) = p/c$.

Решение поставленной задачи начнём с интегрирования уравнения (4) во внутренней и внешней областях рассматриваемой системы – 1 ($r \in [0, R_1]$) и 5 ($r \in [R_4, \infty)$).

В вакууме волновое число для реальных рабочих частот магнитно-импульсной обработки металлов (до 50÷70 кГц) [4, 9] таково, что $|k_2^2(p) = (p/c)^2| \rightarrow 0$. В пренебрежении слагаемыми, содержащими данный множитель, уравнение (4) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot E_\varphi(p, r)) \right) \approx 0. \quad (5)$$

Фундаментальная система решений уравнения (5) есть линейная комбинация степенных функций вида [10]:

$$E_\varphi(p, r) = \frac{A_1(p)}{2} \cdot r + A_2(p) \cdot \frac{1}{r}, \quad (6)$$

где $A_{1,2}(p)$ – произвольные постоянные интегрирования.

Учитывая ограниченность напряжённости электрического поля во внутренней полости системы и вне её, записываем выражения для $E_\varphi(p, r)$ в каждой из указанных областей.

Так, для $r \in [0, R_1]$,

$$E_\varphi^{(1)}(p, r) = \frac{A_1(p)}{2} \cdot r. \quad (7)$$

Для $r \in [R_4, \infty)$,

$$E_\varphi^{(4)}(p, r) = A_2(p) \cdot \frac{1}{r}. \quad (8)$$

С помощью (2) и выражений (7), (8) находим напряжённости магнитного поля.

Для $r \in [0, R_1]$,

$$H_z^{(1)}(p, r) = -\frac{A_1(p)}{p \cdot \mu_0}. \quad (9)$$

Независимость напряжённости магнитного поля от радиальной координаты во внутренней полости согласуется с аналогичным результатом, полученным ранее авторами [11], и объясняется принятыми физическими условиями работы рассматриваемой электродинамической системы.

Для $r \in [R_4, \infty)$,

$$H_z^{(4)}(p, r) \approx 0. \quad (10)$$

Достоверность результата (10) подтверждается выводами работ [9, 11], в соответствии с которыми касательная составляющая напряжённости магнитного поля плоской волны практически не проникает сквозь металл, в свободное полупространство.

Общий интеграл уравнения (6) для напряжённости электрического поля в металле внутреннего цилиндра (вторичный виток), область – 2, $r \in [R_1, R_2]$, запишется в виде [10]:

$$E_\varphi^{(2)}(p, r) = C_1(p) \cdot I_1(k_1(p)r) + D_1(p) \cdot K_1(k_1(p)r), \quad (11)$$

где $I_0(z)$, $K_0(z)$ – модифицированные функции Бесселя первого порядка; $C_1(p)$, $D_1(p)$ – произвольные постоянные интегрирования.

С помощью (2) и (11) находим напряжённость магнитного поля.

Для $r \in [R_1, R_2]$,

$$H_z^{(2)}(p, r) = -\sqrt{\frac{\gamma}{p \cdot \mu_0}} \cdot (C_1(p) \cdot I_0(k_1(p) \cdot r) - D_1(p) \cdot K_0(k_1(p) \cdot r)), \quad (12)$$

где $I_0(z)$, $K_0(z)$ – модифицированные функции Бесселя первого порядка.

Выражения (11) и (12) можно переписать в виде экспоненциальных зависимостей от радиальных переменных.

Как было указано ранее, рабочие частоты маг-

нитно-импульсной обработки металлов не превышают $\sim 50\div 70$ кГц [4, 9]. Например, для $f \sim 2$ кГц и реально возможных радиальных размеров рассматриваемой системы $R_1 \approx 0,025\div 0,25$ м при $\gamma = 6 \cdot 10^7$ 1/Ом·м (медь) справедлива оценка:

$$\sqrt{\omega \cdot \mu_0 \cdot \gamma \cdot R_1} \gg 1 \text{ и } |k_1(p) \cdot R_{1,2,3,4}| \gg 1. \quad (13)$$

С использованием асимптотических разложений модифицированных функций Бесселя, справедливых при выполнении неравенств (13), из (11) и (12) после необходимых тождественных преобразований получаем следующие зависимости для компонент напряжённости электрического и магнитного полей в металле вторичного витка (постоянные величины, появляющиеся в процессе преобразований, включаем в константы интегрирования) [10].

Для $r \in [R_1, R_2]$,

$$\begin{cases} E_{\varphi}^{(2)}(p, r) \approx \frac{1}{\sqrt{r}} \cdot \left(C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot r} + D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot r} \right) \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} H_z^{(2)}(p, r) \approx -\frac{1}{\sqrt{r}} \cdot \frac{\gamma}{k_1(p)} \cdot \left(C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot r} - D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot r} \right) \end{cases} \quad (15)$$

Выражения (9) и (10), аналогично зависимостям (14) и (15), переписем в виде совокупности формул, определяющих поле во внутренней полости системы.

Для $r \in [0, R_1]$,

$$\begin{cases} E_{\varphi}^{(1)}(p, r) = \frac{A_1(p)}{2} \cdot r, \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} H_z^{(1)}(p, r) = -\frac{A_1(p)}{p \cdot \mu_0}. \end{cases} \quad (17)$$

Равенство нулю напряжённости магнитного поля вне системы – (10) и закон полного тока для первичной обмотки при достаточно малом изоляционном зазоре между ней и вторичной обмоткой (строго, если $h \rightarrow 0$) позволяют записать, что:

$$H_z^{(2)}(p, r = R_2) \approx \frac{J(p) \cdot w}{\ell}. \quad (18)$$

где L – изображение тока, индуцированного в металле внутреннего цилиндра, также может быть определено с помощью закона полного тока [12].

$$H_z^{(2)}(p, r = R_1) - H_z^{(2)}(p, r = R_2) \approx \frac{J_1(p)}{\ell}. \quad (19)$$

Зависимость (18) подставим в выражение (19). Получим, что:

$$H_z^{(2)}(p, r = R_1) \approx \left(\frac{J_1(p) + J(p) \cdot w}{\ell} \right). \quad (20)$$

Следует отметить достоверность формулы (20). Данная запись полностью согласуется с законом полного тока для контура, ограничивающего возбуждающий и индуцированный токи (внешний и внутренний проводящие цилиндры), поскольку вне системы напряжённость стремится к нулю (10).

Условия непрерывности тангенциальных компонент вектора напряжённости электромагнитного поля на границах раздела областей 1 – 2, $r = R_1$, дополненные зависимостью (20), приводят к системе линейных

алгебраических уравнений относительно неизвестных произвольных постоянных в выражениях (14), (15) и тока, индуцированного во вторичной обмотке рассматриваемого согласующего устройства.

$$\begin{cases} \frac{1}{\sqrt{R_1}} \cdot \left(C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot R_1} + D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot R_1} \right) = \frac{A_1(p) \cdot R_1}{2}, \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} \frac{\gamma}{k_1(p) \sqrt{R_1}} \cdot \left(C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot R_1} - D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot R_1} \right) = \frac{A_1(p)}{p \cdot \mu_0}, \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} \frac{\gamma}{k_1(p) \sqrt{R_1}} \cdot \left(C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot R_1} - D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot R_1} \right) \approx \approx \left(\frac{J_1(p) + J(p) \cdot w}{\ell} \right). \end{cases} \quad (23)$$

Исключив $A_1(p)$ из уравнений (21) и (22), находим связь следующего вида:

$$C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot R_1} = \left(\frac{k_1(p) \cdot R_1 + 2}{k_1(p) \cdot R_1 - 2} \right) \cdot D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot R_1}. \quad (24)$$

При выполнении условия (13) выражение (24) принимает вид:

$$C_1(p) \cdot e^{k_1(p) \cdot R_1} \approx D_1(p) \cdot e^{-k_1(p) \cdot R_1}. \quad (25)$$

Связь (25) подставим в уравнение (23). После перехода в пространство оригиналов, находим, что:

$$J_1(t) \approx -w \cdot J(t). \quad (26)$$

Достоверность результата (26) подтверждается сравнением с аналогичной зависимостью для индуцированных токов в СУ с двумя вторичными витками в виде коаксиальных полых цилиндров, между которыми размещена первичная многovitковая обмотка [3]. В пределе, когда толщина внешнего цилиндра-витка стремится к нулю, индуцированный ток, так же как и в (26), пропорционален току индуктора с коэффициентом пропорциональности, равным числу витков в первичной обмотке.

Зависимости, полученные при проведении настоящих вычислений, приводят к следующему выводу: при достаточной длине системы ($\ell \gg R_{\max}$, R_{\max} – максимальный радиус) и выполнении двойного неравенства (13) ($\sqrt{\omega \cdot \mu_0 \cdot \gamma \cdot R_{\min}} \gg 1$, R_{\min} – минимальный радиус) величина коэффициента трансформации по току достигает своего максимального значения, равного числу витков в первичной обмотке рассмотренного согласующего устройства.

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенных исследований предложена система конструктивного совмещения согласующего устройства и инструмента (одновитковый индуктор) для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов, что позволяет существенно повысить уровень передачи энергии от источника мощности в рабочую зону инструмента.

2. Установлено, что для определённой геометрии системы, временных параметров тока в первичной

обмотке и проводимости металла вторичной обмотки коэффициент трансформации по току достигает своего максимального значения, равного числу витков в первичной обмотке рассмотренного согласующего устройства.

3. Предложенное совмещенное согласующие устройство может рассматриваться как инструмент для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых ферромагнитных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батыгин Ю.В. Притяжение тонкостенных металлических листов магнитным полем одновиткового индуктора / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, С.А. Щиголева // *Электричество*. – 2011. – № 4. – С. 55-62.
2. Батигін Ю.В. Прогресивні технології в автотранспортних засобах / ч. II: Фізичні основи магнітно-імпульсних технологій безконтактного рихтування кузовних елементів автомобіля : навчальний посібник / Батигін Ю.В., Гнатов А.В., Трунова І.С., Чаплигін Є.О. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 176 с.
3. Батыгин Ю.В. Расчет электродинамических процессов в согласующем устройстве цилиндрического типа с двумя разомкнутыми вторичными витками / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, И.С. Трунова // *Вестник ХНАДУ*. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – В. 56. – С. 30-36.
4. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хищенко. Харьков: Вища школа. 1977. – 189 с.
5. Туренко А.Н., Батыгин Ю.В., Гнатов А.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Т. 3: Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: Монография. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 240 с.
6. Пат. 69467 Україна, МПК В21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок з використанням узгоджувального пристрою / Батигін Ю.В., Гнатов А.В., Аргун Ш.В., Смирнов Д.О., Трунова І.С., Чаплигін Є.О. Щіголева С.О.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u201113344; заявл. 14.11.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.
7. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов / Г.А. Шнеерсон. Л.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
8. Комельков В.С. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Комельков В.С., Дашук П.Н., Зайенц С.Л. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с.
9. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Л.Т. Хищенко. – Т.1; под ред. Ю.В. Батыгина. – [2-е изд.]. – Харьков: МОСТ-Торнадо, 2003. – 284 с.
10. Дж. Мэтьюз. Математические методы физики / Дж.Мэтьюз, Р.Уокер; [пер. с англ. канд.физ.-мат наук В.П. Крайнова]. – Москва: Атомиздат, 1972. – 399 с.
11. Батыгин Ю.В. Особенности магнитно-импульсной "раздачи" тонкостенных трубчатых заготовок / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский // *Электричество*. – 2005. – № 11. – С. 62-68.
12. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с.

- Bibliography (transliterated):** 1. Batygin Yu.V. Prityazhenie tonkostennykh metallicheskikh listov magnitnym polem odnovitkovogo induktora / Yu.V. Batygin, A.V. Gnatov, S.A. Schigoleva // *Elektrichestvo*. – 2011. – № 4. – S. 55-62. 2. Batigin Yu.V. Progresivni tehnologii v avtotransportnih zasobah / ch. II: Fizichni osnovi magnitno-impul'snih tehnologij bezkontaktного rihtuvannya kuzovnih elementiv avtomobilya : navchal'nij posibnik / Batigin Yu.V., Gnatov A.V., Trunova I.S., Chaplugin E.O. - Harkiv: HNADU, 2011. - 176 s. 3. Batygin Yu.V. Raschet `elektrodinamicheskikh processov v soglasuyuschem ustrojstve cilindricheskogo tipa s dvumya razomknutymi vtorichnymi vitkami / Yu.V. Batygin, A.V. Gnatov, I.S. Trunova // *Vestnik HNADU*. - Har'kov: HNADU, 2012. - V. 56. - S. 30-36. 4. Belyj I.V. Spravochnik po magnitno-impul'snoj obrabotke metallov. / I.V. Belyj, S.M. Fertik, L.T. Himenko. Har'kov: Vischa shkola. 1977. - 189 s. 5. Turenko A.N., Batygin Yu.V., Gnatov A.V. Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnykh tehnologij. - T. 3: Teoriya i `eksperiment prityazheniya tonkostennykh metallov impul'snymi magnitnymi polyami: Monografiya. - Har'kov: HNADU, 2009. - 240 s. 6. Pat. 69467 Ukraina, MPK B21D 26/14. Sposib magnitno-impul'snoi obrobki tonkostinnih metalievih zagotovok z vikoristannyam uzgodzhuval'nogo pristroyu / Batigin Yu.V., Gnatov A.V., Argun Sch.V., Smirnov D.O., Trunova I.S., Chaplugin E.O. Schigoleva S.O.; zayavnik ta patentovlasnik Harkivskij nacional'nij avtomobil'no-dorozhnij universitet. - № u201113344; zayavl. 14.11.2011; opubl. 25.04.2012, Byul. № 8. 7. Shneerson G.A. Polya i perehodnye processy v apparature sverhsil'nyh tokov / G.A. Shneerson. L.: `Energoizdat, 1981. - 200 s. 8. Komel'kov V.S. Tehnika bol'shih impul'snyh tokov i magnitnyh polej / Komel'kov V.S., Dashuk P.N., Zajenc S.L. - M.: Atomizdat, 1970. - 472 s. 9. Batygin Yu.V. Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnykh tehnologij / Yu.V. Batygin, V.I. Lavinskij, L.T. Himenko. - T.1; pod red. Yu.V. Batygina. - [2-e izd.]. - Har'kov: MOST-Tornado, 2003. - 284 s. 10. Dzh. M'et'yuz. Matematicheskie metody fiziki / Dzh.M'et'yuz, R.Uoker; [per. s angl. kand.fiz.-mat nauk V.P. Krajnova]. - Moskva: Atomizdat, 1972. - 399 s. 11. Batygin Yu.V. Osobennosti magnitno-impul'snoj "razdachi" tonkostennykh trubchatyh zagotovok / Yu.V. Batygin, V.I. Lavinskij // `Elektrichestvo. - 2005. - № 11. - S. 62-68. 12. Tamm I.E. Osnovy teorii `elektrichestva: Ucheb. posobie dlya vuzov. - 11-e izd., ispr. i dop. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 616 s.

Поступила 24.12.2012

Трунова Ирина Сергеевна,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра автомобильной электроники
61002, Харьков, ул. Петровского 25
тел. (057) 7003852, e-mail: trynova_irinka@mail.ru

Trunova I.S.

Research into electromagnetic processes in a combined cylindrical-type matching device with a massive single-turn inductor.

Application of a matching device combined with a massive single-turn inductor is proposed as a tool of the magnetic-pulse method. Research into electromagnetic processes in a combined cylindrical matching device has been carried out. The basic electromagnetic parameters and characteristics of the device have been determined.

Key words – magnetic-pulse metal working, external magnetic-pulse straightening, matching device, transformer ratio.

обмотке и проводимости металла вторичной обмотки коэффициент трансформации по току достигает своего максимального значения, равного числу витков в первичной обмотке рассмотренного согласующего устройства.

3. Предложенное совмещенное согласующие устройство может рассматриваться как инструмент для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых ферромагнитных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батыгин Ю.В. Притяжение тонкостенных металлических листов магнитным полем одновиткового индуктора / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, С.А. Щиголева // *Электричество*. – 2011. – № 4. – С. 55-62.
2. Батигін Ю.В. Прогресивні технології в автотранспортних засобах / ч. II: Фізичні основи магнітно-імпульсних технологій безконтактного рихтування кузовних елементів автомобіля : навчальний посібник / Батигін Ю.В., Гнатов А.В., Трунова І.С., Чаплигін Є.О. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 176 с.
3. Батыгин Ю.В. Расчет электродинамических процессов в согласующем устройстве цилиндрического типа с двумя разомкнутыми вторичными витками / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, И.С. Трунова // *Вестник ХНАДУ*. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – В. 56. – С. 30-36.
4. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хищенко. Харьков: Вища школа. 1977. – 189 с.
5. Туренко А.Н., Батыгин Ю.В., Гнатов А.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Т. 3: Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: Монография. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 240 с.
6. Пат. 69467 Україна, МПК В21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок з використанням узгоджувального пристрою / Батигін Ю.В., Гнатов А.В., Аргун Ш.В., Смирнов Д.О., Трунова І.С., Чаплигін Є.О. Щіголева С.О.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u201113344; заявл. 14.11.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.
7. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов / Г.А. Шнеерсон. Л.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
8. Комельков В.С. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Комельков В.С., Дашук П.Н., Зайенц С.Л. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с.
9. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Л.Т. Хищенко. – Т.1; под ред. Ю.В. Батыгина. – [2-е изд.]. – Харьков: МОСТ-Торнадо, 2003. – 284 с.
10. Дж. Мэтьюз. Математические методы физики / Дж.Мэтьюз, Р.Уокер; [пер. с англ. канд.физ.-мат наук В.П. Крайнова]. – Москва: Атомиздат, 1972. – 399 с.
11. Батыгин Ю.В. Особенности магнитно-импульсной "раздачи" тонкостенных трубчатых заготовок / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский // *Электричество*. – 2005. – № 11. – С. 62-68.
12. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с.

- Bibliography (transliterated):** 1. Batygin Yu.V. Prityazhenie tonkostennykh metallicheskikh listov magnitnym polem odnovitkovogo induktora / Yu.V. Batygin, A.V. Gnatov, S.A. Schigoleva // *Elektrichestvo*. – 2011. – № 4. – S. 55-62. 2. Batigin Yu.V. Progresivni tehnologii v avtotransportnih zasobah / ch. II: Fizichni osnovi magnitno-impul'snih tehnologij bezkontaktного rihtuvannya kuzovnih elementiv avtomobilya : navchal'nij posibnik / Batigin Yu.V., Gnatov A.V., Trunova I.S., Chaplugin E.O. – Harkiv: HNADU, 2011. – 176 s. 3. Batygin Yu.V. Raschet `elektrodinamicheskikh processov v soglasuyuschem ustrojstve cilindricheskogo tipa s dvumya razomknutymi vtorichnymi vitkami / Yu.V. Batygin, A.V. Gnatov, I.S. Trunova // *Vestnik HNADU*. – Har'kov: HNADU, 2012. – V. 56. – S. 30-36. 4. Belyj I.V. Spravochnik po magnitno-impul'snoj obrabotke metallov. / I.V. Belyj, S.M. Fertik, L.T. Himenko. Har'kov: Vischa shkola. 1977. – 189 s. 5. Turenko A.N., Batygin Yu.V., Gnatov A.V. Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnykh tehnologij. – T. 3: Teoriya i `eksperiment prityazheniya tonkostennykh metallov impul'snymi magnitnymi polyami: Monografiya. – Har'kov: HNADU, 2009. – 240 s. 6. Pat. 69467 Ukraina, MPK B21D 26/14. Sposib magnitno-impul'snoi obrobki tonkostinnih metalievih zagotovok z vikoristannyam uzgodzhuval'nogo pristroyu / Batigin Yu.V., Gnatov A.V., Argun Sch.V., Smirnov D.O., Trunova I.S., Chaplugin E.O. Schigoleva S.O.; zayavnik ta patentovlasnik Harkivskij nacional'nij avtomobil'no-dorozhnij universitet. – № u201113344; zayavl. 14.11.2011; opubl. 25.04.2012, Byul. № 8. 7. Shneerson G.A. Polya i perehodnye processy v apparature sverhsil'nyh tokov / G.A. Shneerson. L.: `Energoizdat, 1981. – 200 s. 8. Komel'kov V.S. Tehnika bol'shih impul'snyh tokov i magnitnyh polej / Komel'kov V.S., Dashuk P.N., Zajenc S.L. – M.: Atomizdat, 1970. – 472 s. 9. Batygin Yu.V. Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnykh tehnologij / Yu.V. Batygin, V.I. Lavinskij, L.T. Himenko. – T.1; pod red. Yu.V. Batygina. – [2-e izd.]. – Har'kov: MOST-Tornado, 2003. – 284 s. 10. Dzh. M'et'yuz. Matematicheskie metody fiziki / Dzh.M'et'yuz, R.Uoker; [per. s angl. kand.fiz.-mat nauk V.P. Krajnova]. – Moskva: Atomizdat, 1972. – 399 s. 11. Batygin Yu.V. Osobennosti magnitno-impul'snoj "razdachi" tonkostennykh trubchatyh zagotovok / Yu.V. Batygin, V.I. Lavinskij // *Elektrichestvo*. – 2005. – № 11. – S. 62-68. 12. Tamm I.E. Osnovy teorii `elektrichestva: Ucheb. posobie dlya vuzov. – 11-e izd., ispr. i dop. – M.: FIZMATLIT, 2003. – 616 s.

Поступила 24.12.2012

Трунова Ирина Сергеевна,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра автомобильной электроники 61002, Харьков, ул. Петровского 25
тел. (057) 7003852, e-mail: trynova_irinka@mail.ru

Trunova I.S.

Research into electromagnetic processes in a combined cylindrical-type matching device with a massive single-turn inductor.

Application of a matching device combined with a massive single-turn inductor is proposed as a tool of the magnetic-pulse method. Research into electromagnetic processes in a combined cylindrical matching device has been carried out. The basic electromagnetic parameters and characteristics of the device have been determined.

Key words – magnetic-pulse metal working, external magnetic-pulse straightening, matching device, transformer ratio.