

## СХЕМНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УДАРНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНДУКЦИОННОГО ТИПА

*Показані основні фактори, що знижують ефективність ударних електромеханічних перетворювачів індукційного типу, на основі яких розроблено комплекс схемно-технічних удосконалень. Запропоновані технічні рішення, що забезпечують накопичення механічної енергії та форсування швидкості якоря, використання імпульсної модуляції струму індуктора, посилення магнітного зв'язку між індуктором та рухомим якорем, одночасне прискорення багатьох якорів, просторове розподілення індукторно-якорних елементів та застосування електромагнітного екрана комбінованої форми.*

*Показаны основные факторы, снижающие эффективность ударных электромеханических преобразователей индукционного типа, на основе которых разработан комплекс схемно-технических усовершенствований. Предложены технические решения, обеспечивающие накопление механической энергии и форсирование скорости якоря, использование импульсной модуляции тока индуктора, усиление магнитной связи между индуктором и движущимся якорем, одновременное ускорение множества якорей, пространственное распределение индукторно-якорных элементов и применение электромагнитного экрана комбинированной формы.*

### ВВЕДЕНИЕ

Ударные электромеханические преобразователи индукционного типа (УЭПИТ) с линейным перемещением якоря позволяют за малое время набирать значительную кинетическую энергию на коротком активном участке и обеспечивать ударное силовое воздействие на объект деформирования [1-3]. В УЭПИТ при импульсном возбуждении неподвижного индуктора от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) в электропроводящем якоре индуцируется ток, что приводит к возникновению электродинамических усилий (ЭДУ) и быстрому перемещению якоря с ударным элементом от индуктора в сторону объекта воздействия. Особенности УЭПИТ являются: кратковременный рабочий режим с ударными импульсными электромагнитными и динамическими нагрузками, значительно превышающими нагрузки электромеханических устройств продолжительного действия, существенное изменение магнитной связи между неподвижным индуктором и удаляемым от него якорем с ударным элементом отсутствие специального магнитопровода, что обуславливает прохождение магнитных полей в воздушной среде и рассеивание в окружающее пространство.

УЭПИТ находят применение во многих областях науки и техники, в том числе используется для встречного метания заготовок при магнитно-импульсной сварке; для испытаний изделий авиакосмической и электронной техники на ударные воздействия; для электродинамических излучателей, формирующих сложных акустических сигналы в гидро- и сейсморазведке; для магнитно-импульсного отталкивания и притяжения листовых заготовок в машиностроении; для разрушения сводов бункеров и очистки технологического оборудования от налипших материалов; для моделирования микрометеоритных ударов и др. [4-7].

Известные УЭПИТ характеризуются значительными массогабаритными показателями, обеспечивая низкую эффективность преобразования электрической энергии импульсного источника в кинетическую

энергию или механические ударные импульсы. Все это обусловлено несовершенством конструкции, неоптимальными параметрами, несогласованием пространственно-временных характеристик, различной скоростью изменения электрических, электродинамических и механических величин и др. [8].

Особенно остро указанные проблемы проявляются в автономных УЭПИТ с ограниченными массогабаритными и энергетическими параметрами, которые должны обеспечивать значительные силовые ударные импульсы. Такие устройства размещаются, например, в системном блоке компьютера и используются для защиты информации от несанкционированного доступа путем механического разрушения жесткого диска [9-11].

Целью статьи является обоснование комплекса схемно-конструктивных усовершенствований, направленных на повышение эффективности УЭПИТ.

### УЭПИТ С МЕХАНИЧЕСКИМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ И ФОРСИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

Одним из путей повышения эффективности УЭПИТ является максимальное использование ЭДУ, действующих на якорь, величина которых существенно зависит от взаимного расположения неподвижного индуктора и ускоряемого якоря.

На рис. 1 показаны токи в обмотке индуктора  $i_1$  и якоря  $i_2$ , перемещение якоря  $\Delta Z$  под действием ЭДУ  $f_z$ . Жирными линиями показаны характеристики ЭИПИТ с заторможенным якорем, а тонкими – со свободным перемещаемым якорем. Из рис. 1 следует значительное недоиспользование силового потенциала ускоряемого якоря по сравнению с неподвижным. Для расчетов была использована методика, описанная в работе [8].

Для реализации принципа начального удержания якоря в зоне сильной магнитной связи с индуктором, при котором развивается максимальная величина ЭДУ, с последующим отпуском предлагается электронно-конструктивная схема УЭПИТ, обеспечивающая механическое накопление энергии и форсирование скорости якоря [12].

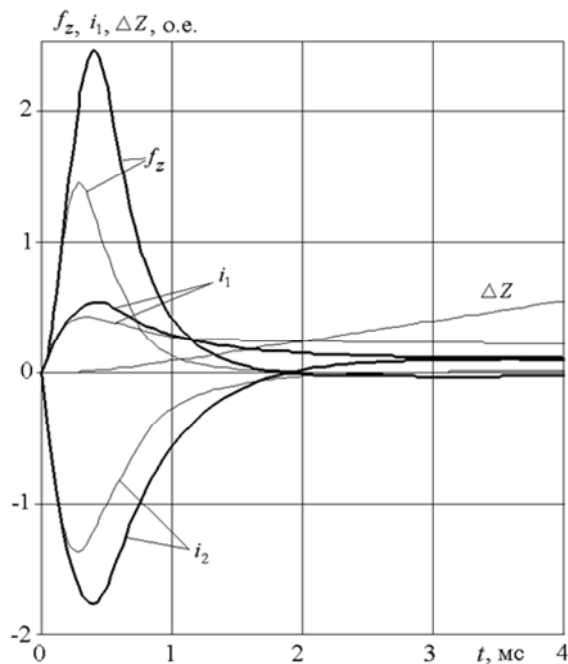


Рис. 1

В исходном состоянии между ферромагнитными стержнем 9 и сердечником 8 электромагнита возникает небольшая сила притяжения, обусловленная остаточным намагничиванием от предыдущего рабочего цикла (рис. 2). При этом направляющий стержень 9 своим наконечником 11 прижимает ударный элемент 4 к упругому элементу 10, последний воздействует на якорь 2, а якорь – на обмотку индуктора 1. Сила притяжения электромагнита мала и элемент 10 находится практически в разжатом состоянии.

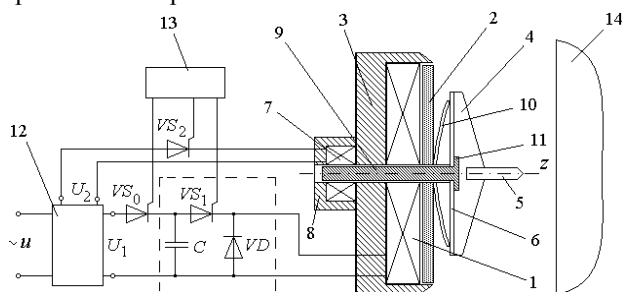


Рис. 2

На первом этапе рабочего цикла подается переменное напряжение  $u$ , которое при помощи преобразователя 12 трансформируется в постоянные напряжения  $U_1$  и  $U_2$ . При подаче сигнала с блока управления 13 на тиристор  $VS_0$  конденсатор  $C$  заряжается до напряжения  $U_1$ , а тиристор  $VS_0$  закрывается.

На втором этапе тиристоры  $VS_1$  и  $VS_2$  открываются и от источника напряжением  $U_2$  протекает постоянный ток  $I_0$  в обмотке электромагнита 7, а в обмотке индуктора 1 от заряженного конденсатора  $C$  – импульсный ток  $i_1$ . Электромагнит удерживает стержень 9 и ударный элемент 4. Импульсный ток  $i_1$  в обмотке индуктора 1 индуцирует в якоре 2 ток  $i_2$ , вследствие чего возникают ЭДУ  $f_z$ , толкающие якорь вдоль оси  $z$ . Якорь прижимает упругий элемент 10 к плоской поверхности 6 ударного элемента 10. При этом в упругом элементе 10 аккумуля-

руется механическая энергия сжатия и якорь находится в зоне эффективного магнитного взаимодействия с обмоткой индуктора 1. Ферромагнитный корпус 3 существенно уменьшает поля рассеяния, усиливая их в активном зазоре (рис. 3) и является основным конструктивным элементом УЭПИТ.

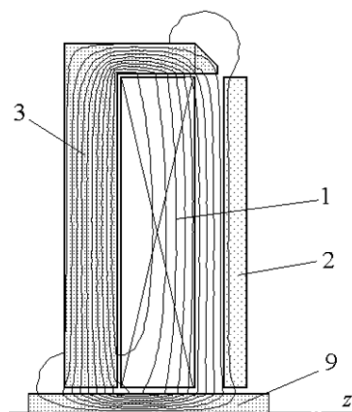


Рис. 3

На третьем этапе тиристор  $VS_1$  закрывается и ток в обмотке электромагнита 7 не протекает, вследствие чего направляющий стержень 9 отпускается. В это же время ток  $i_1$  в обмотке индуктора 1 продолжает возрастать: на якорь действуют повышенные ЭДУ  $f_z$ , а на ударный элемент 4 – дополнительная механическая сила сжатия упругого элемента 10. Ударный элемент 4 ускоряет боек 5, который воздействует на объект деформирования 14. После чего токи в обмотках индуктора и якоря затухают и тиристор  $VS_1$  закрывается.

Затем тиристор  $VS_2$  открывается и от источника постоянного напряжения  $U_2$  протекает ток  $I_0$  в обмотке электромагнита, обеспечивая притяжения стержня 9 в сторону, противоположную оси  $z$ . При этом ударный 4 и упругий 10 элементы с якорем 2 возвращаются в исходное состояние, после чего тиристор  $VS_2$  закрывается.

#### ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ТОКА ИНДУКТОРА

Одним из факторов, снижающим эффективность УЭПИТ, является возникновение "паразитных" (тормозных) ЭДУ, обусловленных фазовым сдвигом и колебательным характером тока якоря  $i_2$  по отношению к току индуктора  $i_1$ , который имеет форму однополярного аperiodического импульса. На рис. 4,а показана рассчитанная, а на рис. 4,б – измеренные токи в экспериментальном УЭПИТ дисковой конфигурации, показывающие изменение полярности тока якоря  $i_2$  после 0,6 мс, что приводит к возникновению притягивающих ЭДУ между индуктором и якорем.

Для устранения "паразитных" ЭДУ предлагается импульсная модуляция (прерывание) тока индуктора, осуществляемая с помощью современных силовых электронных ключей [13, 14].

Импульсная модуляция аperiodического импульса тока в момент времени  $t'_{int} = t'_{f0}$ , при котором ЭДУ принимают нулевые значения, позволяет устранить последующие тормозные ЭДУ  $f_z$  и сохранить часть энергии в ЕНЭ.

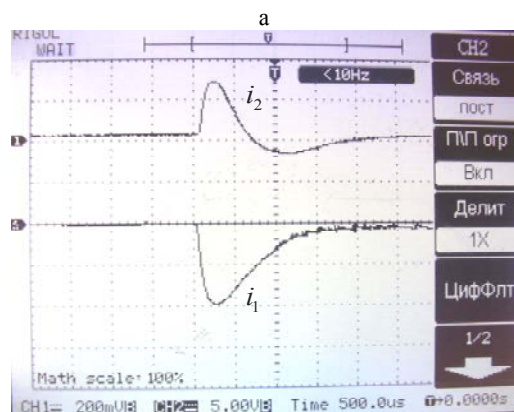
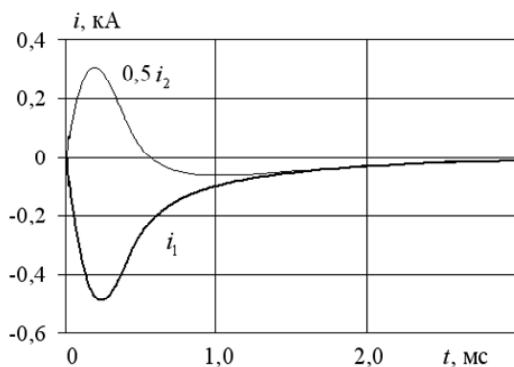


Рис. 4

На рис. 5 помимо токов в индукторе  $i_1$  и якоре  $i_2$  и ЭДУ  $f_z$  показаны  $u_c$  – напряжение ЕНЭ и  $FI(t) = \int_0^t f_z(t, z) dt$  – импульс ЭДУ, действующий на ускоряемый якорь.

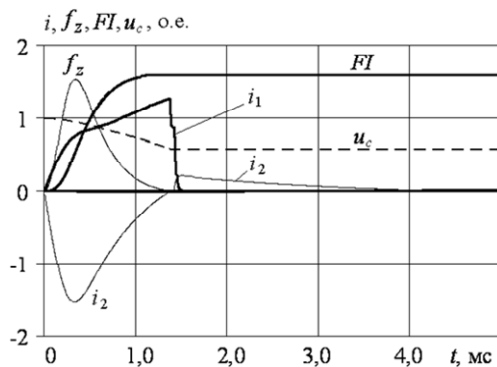


Рис. 5

Модифицированный вариант УЭПИТ, обеспечивающий более полное использование энергии ЕНЭ, содержит дисковый 1' и цилиндрический 1'' индукторы, взаимодействующие с дисковым 2' и цилиндрическим 2'' якорями, соответственно. Индукторы закреплены в корпусе 3, а якоря – на силовом элементе 4 с ударником 5, установленным напротив объекта деформирования 6 (рис. 6).

Дисковый и цилиндрический индукторы параллельно подключены к ЕНЭ  $C$  с помощью тиристоров  $VT_1, VT_2$  соответственно, и шунтированы обратными диодами  $VD_1, VD_2$  соответственно (рис. 7). Импульсная модуляция позволяет осуществить последова-

тельное возбуждение дискового, а затем цилиндрического индукторов, обеспечивающих двухступенчатое ускорение силового элемента с полным использованием энергии ЕНЭ.

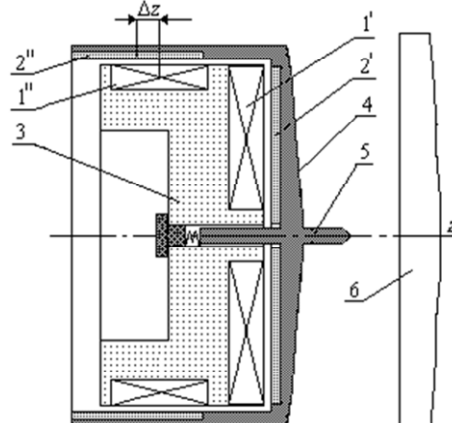


Рис. 6

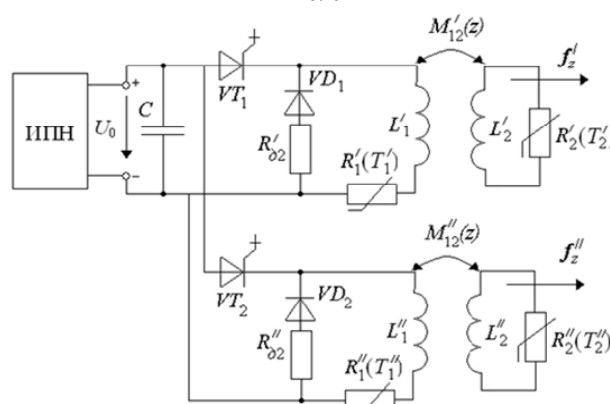


Рис. 7

Подключение цилиндрического индуктора к ЕНЭ, осуществляемое в момент времени, следующий за прерыванием тока в дисковом индукторе (параметры  $R_1', L_1'$ ), позволяет направить сохраненную энергию в цилиндрический индуктор (параметры  $R_1'', L_1''$ ) на создание дополнительных ЭДУ  $f_z''$ , действующих на цилиндрический якорь.

На рис. 8 в относительных единицах показаны токи в индукторах  $i_1$  и якорах  $i_2$  с указанием действующих на якоря ЭДУ  $f_z$  (дисковые элементы обозначены одним верхним штрихом, а цилиндрические – двумя).

Поскольку центр масс  $\Delta z$  цилиндрического якоря смещен относительно центра масс цилиндрического индуктора в направлении объекта воздействия (рис. 6), то направление ЭДУ  $f_z''$  совпадает с направлением ЭДУ  $f_z'$ , полученного от дискового якоря, дополнительно ускоряя его за счет повышенной величины импульса ЭДУ  $FI$ , прикладываемого к силовому элементу УЭПИТ (рис. 8).

Максимальный импульс ЭДУ  $FI$  достигается при равенстве импульсов, передаваемых силовому элементу от дискового ( $FI'$ ) и цилиндрического ( $FI''$ ) якорей. Но уменьшать время прерывания тока в дисковом индукторе  $t'_{int}$  свыше определенного значения нецелесообразно, поскольку это не позволяет воспользоваться в полной мере его возможностями (рис. 9).

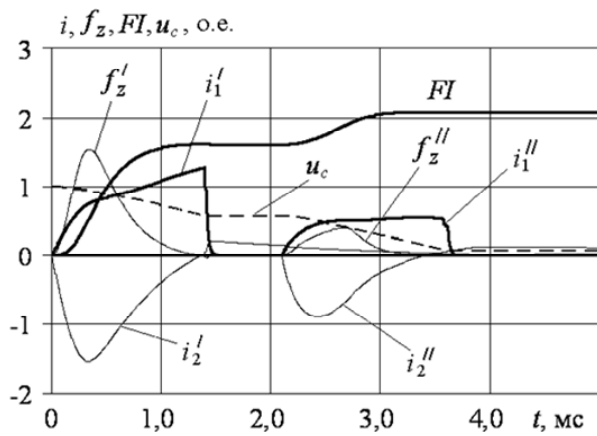


Рис. 8

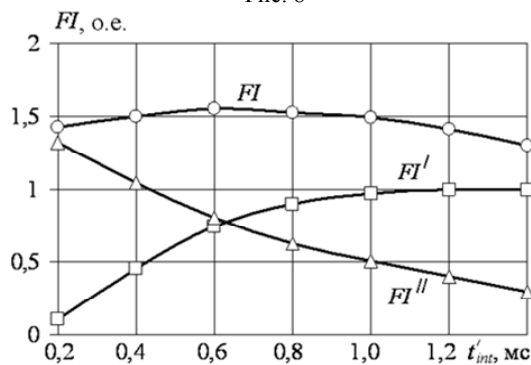


Рис. 9

### УЭПИТ С УСИЛЕННОЙ МАГНИТНОЙ СВЯЗЬЮ ЯКОРЯ И ИНДУКТОРА

При перемещении якоря даже при нахождении индуктора в ферромагнитном сердечнике магнитная связь между ними уменьшается, что снижает эффективность УЭПИТ. Для устранения этого недостатка предлагается конструктивная схема УЭПИТ, у которого обмотка индуктора и якорь при любом его положении охвачены замкнутым ферромагнитным сердечником.

В этом устройстве ток в обмотке индуктора 1 образует затухающий импульс магнитного поля, которое многократно усиливается, проходя через ферромагнитный сердечник 2, закрытый ферромагнитной крышкой 3 (рис. 10). При этом сохраняется сильная магнитная связь между обмоткой индуктора 1 и якорем 4 при любом их взаимном расположении.

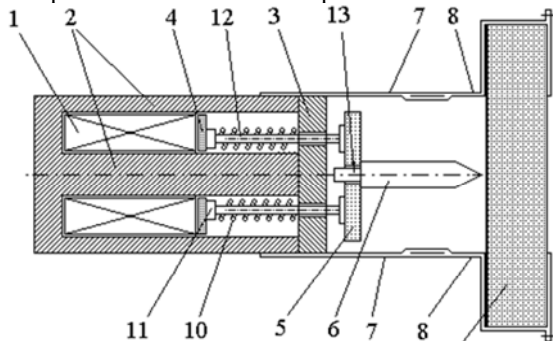


Рис. 10

Механическая сила от якоря 4 передается на ударный диск 5, а от него – к бойку 6. Зубцы частей 7 и 8 опорных стоек находятся во взаимном зацеплении

и выполнены с таким наклоном, что не происходит взаимное удлинение опорных стоек. При работе осуществляется перемещение бойка 6, который своим заостренным концом проникает в объект деформирования 9. При отталкивании якоря 4 от обмотки индуктора 1 происходит сжатие возвратных пружин 10 и демпфирование удара якоря по крышке 3 сердечника.

После прекращения силового импульса под действием возвратных пружин 10 через плоские выступы 11 направляющих стержней 12 якорь 4 возвращается к плоской поверхности индуктора 1. Вслед за этим под действием подтягивающей пружины происходит взаимное перемещение частей 7 и 8 двух боковых опорных стоек путем дискретного перезацепления их зубцов (по типу храпового механизма). Такой процесс происходит до тех пор, пока не происходит контакт концевого выступа 13 ударного диска 5 с тыльной стороной бойка 6. При этом объект деформирования 9 приближается к индуктору 1 на величину проникновения в него заостренной части бойка 6, устрняя в последующем движение заостренного конца бойка по воздуху.

Предлагаемая конструкция УЭПИТ обладает высокой технологичностью за счет выполнения основных конструктивных элементов простой формы, характеризуется легкостью сборки и настройки, обеспечивая устрание полей рассеяния в окружающее пространство.

### УЭПИТ С МУЛЬТИЯКОРЕМ

Для обеспечения множественного пространственно распределенного ударного циклического воздействия на объект предлагается УЭПИТ с мультякорем, содержащий множество подвижных ударных элементов.

В исходном состоянии участок фиксирующей сетки 1 с установленными в него множеством якорей 2 располагается в зазоре 3 между индуктором 4 и объектом воздействия 5 (рис. 11). При этом у каждого якоря 2 плоская электропроводящая поверхность 2a прилегает к индуктору 1, а заостренный конец 2b направлен в сторону объекта воздействия 5.

При работе в электропроводящих частях якорей 2 индуцируются токи и на них со стороны индуктора действуют ЭДУ, под действием которой якоря одновременно выходят из сетки 1 и перемещаются в направлении объекта 5.

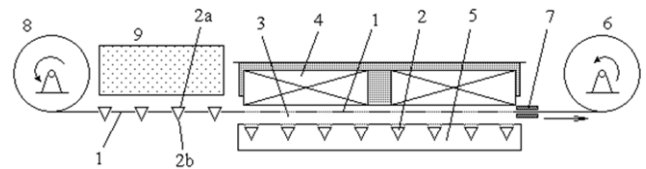


Рис. 11

Если электропроводящая и ударная части каждого якоря 2 выполнены с возможностью разъединения, то при импульсе тока в индукторе 4 ударные части выходят из сетки 1 и проникают вглубь объекта 5. Сетка 1 при этом растягивается. После окончания импульса тока сетка возвращается в исходное положение с электропроводящими частями, в то время как ударные части якорей 2 остаются внутри объекта 5.

Если электропроводящая и ударная части якорей 2 зафиксированы между собой, то при импульсе тока в индукторе 4 все якоря выходят из сетки 1 и проникают вглубь объекта 5.

После того, как якоря 2 вышли из фиксирующей сетки 1, то под действием, например сжатой пружины, приложенной к приводному барабану 6, происходит перемещение сетки 1 через дозирующее устройство 7, сматываясь с подгорможенного барабана 8. При этом участок сетки с пустыми ячейками наматывается на приводной барабан 6, а на его место в зазор 3 перемещается участок с заполненными из подающего устройства 9 новыми якорями 2. Таким образом, дозирующим устройством 7 автоматически формируется дискретность перемещения сетки 1 и обеспечивается ее фиксация в зазоре 3 между индуктором 4 и объектом воздействия 5, что важно при циклической работе УЭПИТ.

### УЭПИТ С ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИНДУКТОРНО-ЯКОРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Для ряда технических устройств, например цифрового USB флеш-накопителя при необходимости уничтожения хранящейся на нем информации, помимо операции пробивания необходима операция деформации путем ударного изгиба. Для этого предлагается конструкция автономного УЭПИТ с распределенными в пространстве индукторами и якорями, одновременно воздействующими на объект деформирования. Объект деформирования 1 фиксируется в центре каркаса 2 УЭПИТ путем сжатия плоских пружин 3 (рис. 12).

В исходном состоянии энергия от автономного источника постоянного напряжения 4, например аккумулятора напряжением 9 В, подается на преобразователь 5, где постоянное напряжение преобразуется в переменное повышенной частоты, например 20 кГц (рис. 13). Это переменное напряжение подается на повышающий трансформатор 6, где увеличивается, например до 350 В, и после выпрямителя 7 заряжает ЕНЭ С. При этом засвечивается светодиод 8, что свидетельствует о полном заряде ЕНЭ и готовности УЭПИТ к работе.

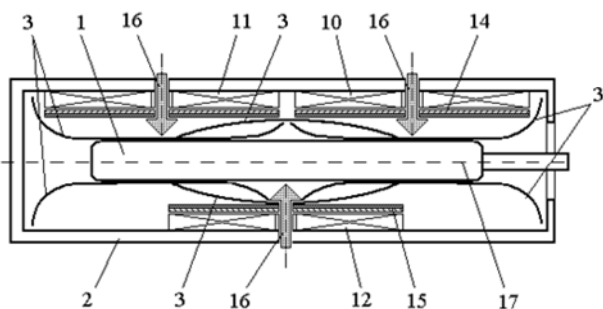


Рис. 12

При поступлении сигнала о начале работы нажимается пусковая кнопка 9. Открывается электронный ключ  $VS$ , происходит разряд ЕНЭ С и в индукторах 10, 11 и 12 возникает ток, который из-за наличия обратного диода 13 имеет одну полярность, что позволяет использовать в качестве ЕНЭ компактный электролитический конденсатор повышенной энерго-

емкости. Механическая сила от каждого электропроводящего диска 14 передается на ударные диски 15 якоря, а от них – к расширенной части бойка 16. При этом происходит перемещение, соответственно, якорей и бойков к продольной оси 17 каркаса 2. Застренным концом каждый боек 16 осуществляет деформирование объекта 1 путем пробивания отверстия и/или его механического излома.

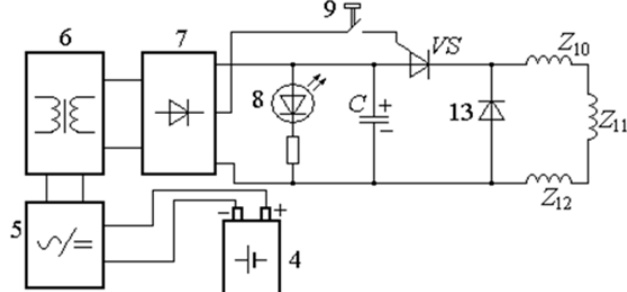


Рис. 13

После затухания импульсного тока в индукторах и электропроводящих дисках якорей под действием плоских пружин 3 происходит возврат якорей в исходное состояние. Возбуждаемое магнитное поле за счет ферромагнитного каркаса 2 усиливается в зоне якорей, что приводит к увеличению механической силы удара, и практически не выходит в окружающее пространство. Предлагаемое устройство обладает малыми габаритами за счет однократного рабочего цикла и использования малоомощного автономного источника постоянного напряжения, за счет того, что он может довольно долго заряжать малым током ЕНЭ.

### УЭПИТ С НАРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ЭКРАНОМ КОМБИНИРОВАННОЙ ФОРМЫ

Ферромагнитные сердечники и экраны существенно ухудшают массогабаритные показатели УЭПИТ. Альтернативой им выступает тонкостенный электромагнитный экран (ТЭЭ) [15]. Однако при этом возникает вопрос о его влиянии на рабочие показатели УЭПИТ. Кроме того, возрастают расход активных материалов, масса и габариты УЭПИТ.

Базовым вариантом является УЭПИТ дисковой конфигурации без экрана, состоящий из обмотки индуктора 1, возбуждаемой аperiодическим импульсом тока от ЕНЭ, коаксиально установленных массивного якоря 2 и ударного элемента 4, который воздействует на объект 5 (рис. 14).

В общем случае, ТЭЭ 3 состоит из дисковой 3а и цилиндрической 3б частей и имеет следующие геометрические параметры:  $D_{ex3}$ ,  $D_{in3}$  – внешний и внутренний диаметры дисковой части соответственно;  $H_3$  – высота цилиндрической части;  $\Delta_{13}$  – аксиальное расстояние между центром индуктора и цилиндрической частью 3б;  $\Delta_{z3}$ ,  $\Delta_{r3}$  – толщина 3а и 3б частей соответственно;  $\Delta_{z13}$  – аксиальное расстояние между индуктором и дисковой частью 3а;  $\Delta_{r13}$  – радиальное расстояние между индуктором и цилиндрической частью 3б.

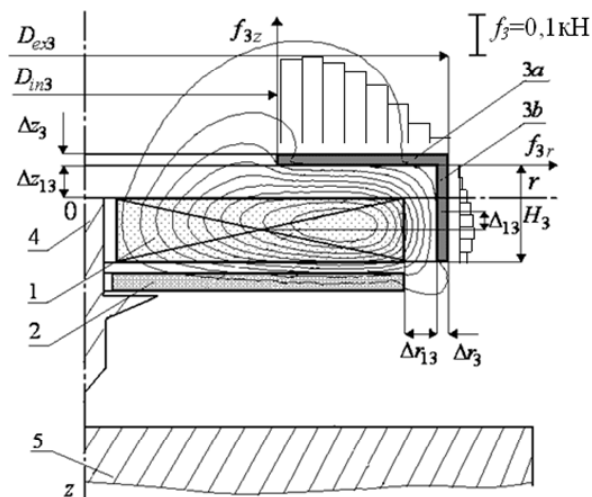


Рис. 14

Геометрические размеры ТЭЭ целесообразно представить в виде безразмерных параметров:

$$\zeta_a = \frac{2 \cdot \Delta z_3}{D_{ex1}}; \zeta_b = \frac{2 \cdot \Delta r_3}{D_{ex1}}; \chi = \frac{\Delta z_{13}}{H_1}; \varepsilon = \frac{D_{in3}}{D_{ex1}};$$

$$\lambda = \frac{D_{ex3} - D_{in1}}{D_{ex1}}; \xi = \frac{H_3}{H_1}; \delta = \frac{2 \cdot \Delta r_{13}}{D_{ex1}}; \psi = \frac{\Delta r_{13}}{H_1}.$$

На рис. 14 также показано распределение магнитного поля в момент действия максимальных ЭДУ на ускоряемый якорь. В базовом варианте УЭПИТ значительная часть магнитного поля рассеивается в окружающее пространство как в радиальном, так и, особенно, в аксиальном направлениях. При наличии ТЭЭ с дисковой 3a и цилиндрической 3b частями происходит существенное уменьшение магнитных полей во внешнем окружающем пространстве и перераспределение их в активной зоне УЭПИТ.

В качестве КПД УЭПИТ используем показатель [8]:

$$\eta(t) = \frac{\{FI(t)\}^2}{m_{ank} \cdot C \cdot U_0^2},$$

где  $m_{ank}$  – общая масса ускоряемой части УЭПИТ, включающую якорь и ударный элемент;  $C$ ,  $U_0$  – емкость и зарядное напряжение ЕНЭ.

Влияние конфигурации ТЭЭ на работу УЭПИТ оценивается с помощью обобщенного критерия

$$K_{rez} = \sum_{i=1}^4 K_i,$$

где  $K_1 = \beta_1 \cdot \eta^*$ ;  $K_2 = \beta_2 / B^*$ ;  $K_3 = \beta_3 / V^*$ ;  $K_4 = \beta_4 / G^*$  – составляющие обобщенного критерия;  $\eta^*$  – нормированное значение КПД в момент соприкосновения ударного элемента с объектом деформирования;  $B^*$  – нормированное значение индукции магнитного поля в зоне наблюдения в момент максимальных ЭДУ, действующих на ускоряемый якорь;  $V^*$  – нормированный объем УЭПИТ, характеризующий его габариты;  $G^*$  – нормированная масса активного материала;  $\beta_i$  – весовые коэффициенты составляющих обобщенного критерия, удовлетворяющие соотношению

$$\sum_{i=1}^4 \beta_i = 1.$$

Нормирование параметров производится относительно соответствующих параметров базового варианта УЭПИТ без экрана.

Во время работы на ТЭЭ действуют ЭДУ  $f_3$ , которые в отличие от ЭДУ, действующих на ускоряемый якорь, носят негативный характер, поскольку снижают механическую надежность экрана. Для анализа ЭДУ  $f_3$  используются безразмерные параметры, нормированные относительно максимальных ЭДУ  $f_{2m}$  действующих на якорь базового варианта УЭПИТ

$$f_{3z}^* = |f_{3z}| f_{2m}^{-1}; \quad f_{3r}^* = |f_{3r}| f_{2m}^{-1};$$

$$f_3^* = \sqrt{(f_{3z}^*)^2 + (f_{3r}^*)^2} f_{2m}^{-1}.$$

На рис. 14 показаны эпюры сил, действующих на ТЭЭ комбинированной формы в момент максимальных ЭДУ  $f_{2m}$ , ускоряющих якорь. Дискретность распределения ЭДУ обусловлена представлением ТЭЭ в виде конечного числа элементарных короткозамкнутых контуров, используемых при расчете. На эпюре, относящейся к дисковой части ТЭЭ, отображено распределение аксиальных  $f_{3z}$ , а на эпюре для цилиндрической части ТЭЭ – распределение радиальных  $f_{3r}$  ЭДУ, поскольку именно эти составляющие усилий являются преобладающими в данных частях экрана. Следует отметить существенно большее силовое воздействие, оказываемое на дисковую часть 3a по сравнению с цилиндрической частью 3b ТЭЭ, а также неравномерность механического нагружения отдельных участков экрана.

Как показывают расчеты, обобщенный критерий  $K_{rez}$  комбинированного экрана, имеющего дисковую и цилиндрическую части, имеет значительно большее значение, нежели у дискового и цилиндрического экранов, прежде всего за счет более сильного экранирования магнитного поля в окружающем пространстве (табл.). ТЭЭ № 2, полученный уменьшением внутреннего диаметра  $D_{in3}$  и увеличением высоты  $H_3$ , полностью закрывает собой тыльную и боковую части индуктора, за исключением небольшого функционального отверстия по оси УЭПИТ. Его обобщенный критерий  $K_{rez}$  имеет большее значение, чем у ТЭЭ № 1 благодаря более сильному экранированию магнитного поля. При этом не происходит увеличения объема УЭПИТ, а увеличение активного материала слабо влияет на критерий  $K_{rez}$ . ТЭЭ № 3...6, представляющие собой модификации ТЭЭ № 2 за счет последовательного увеличения внутреннего диаметра  $D_{in3}$ , обеспечивают более низкие значения критерия  $K_{rez}$  прежде всего за счет возрастания магнитного поля  $B$  в зоне наблюдения.

Таким образом, обоснована конфигурация наружного электромагнитного экрана, в наибольшей мере удовлетворяющая предъявляемым к ней требованиям.

Параметры эффективности УЭМП с ЭЭ

№	Геометрические параметры				Параметры эффективности			
	$\varepsilon$	$\lambda$	$\xi$	$\psi$	$10FI_3^*$	$\eta^*$	$B^*$	$K_{rez}$
1	0,80	0,30	1,0	-0,5	0,93	0,76	0,44	1,28
2	0,06	1,04	1,6	-0,3	2,08	0,59	0,22	2,04
3	0,20	0,90	1,6	-0,3	2,05	0,59	0,22	2,03
4	0,40	0,70	1,6	-0,3	1,87	0,61	0,25	1,83
5	0,60	0,50	1,6	-0,3	1,46	0,66	0,30	1,60
6	0,80	0,30	1,6	-0,3	0,08	0,74	0,42	1,33

### ВЫВОДЫ

1. Показаны основные факторы, снижающие эффективность УЭПИТ, обусловленные несовершенством конструкции, неоптимальными параметрами, несогласованием пространственно-временных показателей, различной скоростью изменения электрических, электродинамических и механических величин.

2. Предложены технические решения, обеспечивающие:

- накопление механической энергии упругого сжатия, удержание в зоне сильной магнитной связи с индуктором и форсирование скорости якоря;
- использование импульсной модуляции тока индуктора для устранения "паразитных" ЭДУ и ступенчатого ускорения ударного элемента;
- усиление магнитной связи между индуктором и ускоряемым якорем во всех его положениях;
- одновременное ускорение множества якорей при использовании одного индуктора;
- пространственное распределение индукторно-якорных и ударных элементов, обеспечивающих пробивную и изгибную деформацию объекта;
- использование ТЭЭ комбинированной формы, учитывающего снижение внешнего магнитного поля, эффективность работы и массогабаритные показатели УЭПИТ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.Balikci, Z.Zabar, L.Birenbaum et al., "Improved performance of linear induction launchers", IEEE Trans. Magnetics, vol. 41. – № 1. – 2005. – pp. 171-175.
2. Карпунин В.Ф. Особенности схемы встречного метания заготовок при магнитно-импульсной сварке // Труды междунауч. техн. конф. Магнитно-импульсная обработка материалов. Пути совершенствования и развития. – Самара: Изд. учеб. лит. – 2007. – С. 99-103.
3. Татмышевский К.В., Козлов С.А. Магнитно-импульсные установки для испытаний изделий авиакосмической техники на ударные воздействия // Авиакосмическое приборостроение. – 2005. – № 12. – С. 52-57.
4. Стрижаков Е.Л., Хахин Н.А., Бацемакин Д.С. Автоматизированная установка для магнитно-импульсной сварки // Автоматическая сварка. – 2004. – № 2. – С. 53-55.
5. Гурин А.Г., Набока Б.Г., Гладченко В.Я. Волновые явления в электродинамических излучателях и формирование сложных гидроакустических сигналов // Техн. электродинамика. – 2001. – № 2. – С. 3-6.
6. Батыгин Ю.В., Бондаренко А.Ю., Чаплыгин Е.А. Электродинамические процессы в цилиндрической индукционной индукторной системе для магнитно-импульсного притяжения листовых заготовок // Авиационно-космическая

техника и технология. – 2007. – №11 (47). – С. 109-117.

7. Тютюкин В.А. Магнитно-импульсный способ разрушения сводов и очистки технологического оборудования от налипших материалов // Электротехника. – 2002. – № 11. – С. 24-28.
8. Болух В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукин И.С. Энергетические процессы и эффективность индукционно-динамического преобразователя ударного действия // Электротехника і електромеханіка. – 2009. – № 2. – С. 9-14.
9. Пат. РФ № 2305329, МКИ G11В 5/024. Способ защиты информации и устройство для его осуществления / Болух В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукин И.С. – З. № 2005120956. – Заявлено 04.07.2005. – Опубл. 28.08.2007. Бюл. № 24.
10. Пат. № 80585 Україна, МПК G11В 5/024, G11В 33/06, H02К 41/025. Пристрій для захисту інформації, розміщеної на носії запису, від несанкціонованого доступу / Болух В.Ф., Марков О.М., Лучук В.Ф., Щукин І.С. – З. № 200505448. – Заявлено 07.06.2005. – Надруковано 10.10.2007, Бюл. № 16. – 6 с.
11. Болух В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукин И.С. Устройство защиты компьютерной информации от несанкционированного доступа на основе индукционно-динамического двигателя // Электротехніка і електромеханіка. – 2008. – № 2. – С. 5-10.
12. Пат. України № 50561, МПК H02К 33/00, B06В 1/02. Спосіб роботи електромеханічного ударного пристрою індукційного типу / Болух В.Ф., Рассоха М.О. – Заявл. 11.01.2010. – Надрук. 10.06.2010. Бюл. № 11, 2010.
13. Пат. 011246 ЕП, МПК H01F 7/06. Электродинамический привод / В.И. Кульгин, И.О. Кирилюк, В.А. Когородский, С.Г. Ломов. – Заявл. 19.07.2006. – Опубл. 27.02.2009.
14. Болух В.Ф., Рассоха М.О. Імпульсні переривання струму індуктора електромеханічного імпульсного перетворювача // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 41. – С. 8-15.
15. Болух В.Ф., Рассоха М.О. Вплив геометрії електромагнітного екрана на роботу ударного електромеханічного перетворювача дискової конфігурації // Электротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 3. – С. 11-16.

Поступила 20.08.2010

*Болух Владимир Федорович, д.т.н., проф.*

*Щукин Игорь Сергеевич, к.т.н., доц.*

Национальный технический университет

"Харьковский политехнический институт"

ООО Фирма "ТЭТРА Ltd",

61002, Украина, Харьков, ул. Фрунзе, 21

тел. (057) 7076427

e-mail: bolukh@kpi.kharkov.ua, tech@tetra.kharkiv.com

*V.F. Bolyukh, I.S. Schukin*

### **Schematic constructive improvement of impact electromechanical induction type converters.**

The principal factors reducing the efficiency of impact electromechanical induction type converters are presented. On the basis of the factors, a package of schematic and technical improvements has been developed. Engineering solutions providing mechanical energy accumulation, the armature speedup, inductor current pulsed modulation utilization, magnetic coupling amplification between the inductor and the moving armature, multiple armatures simultaneous acceleration, inductor-armature elements spatial distribution, and a combined-shape electromagnetic screen application have been proposed.

**Key words – electromechanical induction type converters, schematic constructive improvement, mechanical energy accumulation, pulsed modulation, electromagnetic screen.**