

УДК 621.31:629.7

Болух В.Ф., Корытченко К.В., Кочерга А.Г.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ МАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ИНДУКЦИОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Введение. Рабочий процесс электромеханического индукционного преобразователя (ЭИП), обеспечивающего разгон неподвижного массивного объекта до высокой скорости на коротком активном участке, в настоящее время достаточно хорошо исследован [1–3]. Однако эффективность ЭИП, как правило, не достаточно высока и не превышает 25 %, что ограничивает области их применения [4–6].

Во многих технических системах массивный объект разгоняется до высокой скорости иными не электрическими способами, например, при помощи детонации взрывчатых веществ [7]. Поскольку указанное предварительное ускорение не обеспечивает необходимой скорости, возникает необходимость в дополнительном ускорении массивного объекта. Для этого целесообразно использовать ЭИП, обеспечивающий бесконтактное взаимодействие электропроводящего якоря, выполненного в виде цилиндрического кольца и установленного на наружной поверхности массивного объекта, с коаксиально установленным индуктором, в котором выполнено внутреннее проходное отверстие [8, 9]. В ЭИП при возбуждении неподвижного индуктора от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) возникающий ток возбуждает мощный импульс магнитного поля, наводящий в якоре вихревые токи, взаимодействие которых с указанным магнитным полем приводит к возникновению аксиальной электродинамической силы, воздействующей на электропроводящий якорь массивного объекта.

Использование предложенного комбинированного способа ускорения позволяет, как повысить скорость массивного объекта, так и уменьшить количество взрывчатых веществ, повысив безопасность и материалоемкость пусковой установки.

Однако процессы дополнительного ускорения при помощи ЭИП предварительно разогнанных массивных объектов практически не исследованы. Это связано с высокой скоростью, кратковременностью и сложностью протекания механических, электрических, магнитных и тепловых процессов, зависимых друг от друга. При несогласованности указанных процессов якорь и массивный объект с высокой кинетической энергией могут получить либо незначительный ускоряющий импульс или даже попасть под воздействие тормозной электродинамической силы.

Целью статьи является разработка методики выбора параметров электромеханического индукционного преобразователя, обеспечивающего высокую эффективность дополнительного ускорения подвижных массивных объектов.

Методика выбора параметров ЭИП. Процесс выбора параметров ЭИП, обеспечивающих для заданной нагрузки и энергии ЭНЕ максимальную эффективность работы при определенных условиях, например, минимальных превышениях температур обмоток индуктора и якоря.

В качестве основных параметров для ЭИП можно выбрать:

- C, U_0 – емкость и напряжение ЕНЭ;
- k_z – коэффициент заполнения или w_n – число витков n -ого активного элемента,

где $n = 1, 2$ – индексы индуктора и якоря;

- d_0 – диаметр провода;
- $D_{ex n}, D_{in n}$ – наружный и внутренний диаметры n -ого элемента;
- H_n – аксиальная высота n -ого элемента;
- VOL – объем проводникового материала на активные элементы преобразователя;
- Δz_0 – начальное аксиальное смещение между центрами якоря и индуктора, при котором начинается работа ЭИП.

На эти параметры ЭИП накладываются параметрические и функциональные ограничения:

для источника питания:

$$U_0 \leq U_{0max} \text{ - по напряжению ЕНЭ;}$$

для геометрии:

$$1 \leq w_n \leq Ent \left(0,5 \frac{D_{ex n} - D_{in n}}{d_0 + 2 \cdot h_s} \right) \cdot Ent \left(\frac{H_n}{d_0 + 2 \cdot h_s} \right), \tag{1}$$

где $Ent(\phi)$ – наибольшее целое число, не превосходящее ϕ ; h_s – толщина изоляции проводника активного элемента;

$$1 \leq Ent\left(0,5 \frac{D_{exn} - D_{inn}}{d_0 + 2 \cdot h_s}\right) \leq K_{wnmax}, \quad (2)$$

где K_{wnmax} – максимальное число слоев n -ого элемента;

$$0 \leq \Delta z_0 \leq 0,5 \cdot (H_1 + H_2); 0 \leq D_{in2} \leq D_{in2m}; D_{in2} + 2 \cdot (d_0 + 2 \cdot h_s) \leq D_{ex2} \leq D_{in1} - 2\Delta,$$

где D_{in2m} – максимальное значение внутреннего диаметра якоря.

Диаметр провода для заданного объема проводникового материала:

$$d_0 = 0,5 \left\{ \left[D_{in2} (\alpha_1 + \alpha_2) + 2\alpha_1 \Delta \right]^2 + \frac{4 \cdot VOL}{\pi \cdot k_3} \left(\sum_{i=1}^2 K_{wi} + 2K_{w2} \alpha_1 \right) \right\}^{0,5} - \alpha_1 (D_{in2} + 2\Delta) - D_{in2} \alpha_2 \left(\sum_{i=1}^2 K_{wi} + 2K_{w2} \alpha_1 \right)^{-1} - 2h_s. \quad (3)$$

Целевую функцию, которую необходимо минимизировать при определении параметров высокоэффективного ЭИП, можно записать следующим образом

$$\eta = \sum_{j=1}^J \beta_j f_j; \quad \sum_{j=1}^J \beta_j = 1, \quad (4)$$

где J – количество функциональных параметров f_j , изменяемых в диапазоне $[0, 1]$; β_j – показатель важности соответствующего параметра;

$$\eta_1 = \frac{2 \sum_{n=1}^2 \int_0^t i_n^2(t) \cdot R_n(T_n) dt}{(m_2 + P) \cdot V_0^2 + CU_0^2}; \quad (5)$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{1}{C \cdot U_0^2 (m_2 + P)} \left(\int_0^t f_z(t, z) dt \right)^2; \quad (6)$$

$$\eta_3 = 1 - (m^2 + P)(V^2 - V_0^2) C^{-1} U_0^{-2}; \quad (7)$$

$$\eta_4 = 1 - (V^2 - V_0^2) \cdot V^{-2}; \quad (8)$$

$$\eta_5 = 1 - (V - V_0) \cdot V^{-1}, \quad (9)$$

$i_n(t)$ – ток n -ого активного элемента; $R_n(T_n)$ – сопротивление n -ого активного элемента, зависящее от температуры T_n ; m_2, P – масса якоря и массивного элемента; V – скорость якоря вдоль оси z ; $f_z(t, z) = i_1(t) \cdot i_2(t) \frac{dM_{12}}{dz}$ – аксиальная электродинамическая сила, действующая на якорь; $M_{12}(z)$ – взаимдуктивность между индуктором и якорем.

Функциональный параметр η_1 характеризует эффективность преобразователя по минимуму потерь; η_2 – по величине импульса электродинамической силы, действующей на ускоряемый якорь; η_3 и η_4 – по максимуму увеличению кинетической энергии; η_5 – по максимуму увеличению скорости;

Методика поиска минимума целевой функции. Стратегия нахождения минимума целевой функции m переменных в поисковом пространстве заключается в совместном использовании глобального метода оптимизации, осуществляющего случайный поиск параметров ЭИП в заданном пространстве, предотвращая попадание в локальный экстремум, и локального метода, обеспечивающего стягивание области параметров с глобальным экстремумом до минимальных размеров [10].

Для глобальной оптимизации используем генетические алгоритмы, основанные на механизмах популяционной генетики. Каждому атрибуту объекта в фенотипе соответствует один *ген* в генотипе, представляющий собой битовую строку фиксированной длины. Признак разбивается на тетрады, преобразуемые по коду Грея. При кодировании бинарной строкой из l битов переменной x_k , которая принадлежит отрезку $[x_{\min}, x_{\max}]$, каждая строка s_k обозначает следующее значение переменной x_k :

$$x_k = x_{\min} + s_k(x_{\max} - x_{\min})/2^l, \quad (10)$$

где s_k – значение бинарного числа, кодируемого этой строкой.

Формально генетические алгоритмы можно описать следующим образом:

$$\text{ГА} = (\mathbf{P}^0, m, l, S, Q, f, \xi), \quad (11)$$

где $\mathbf{P}^0 = (a_1^0, \dots, a_m^0)$ – исходная популяция; a_i^0 – решение задачи в виде хромосомы, $i = \overline{1, m}$; m – размер популяции; l – длина каждой хромосомы популяции; S – оператор отбора; Q – отображение, определяющее рекомбинацию (кроссовер, мутация); f – функция оптимальности; ξ – критерий останова.

Работа генетических алгоритмов представляет итерационный процесс, который продолжается до тех пор, пока не выполняется заданное число поколений. \mathbf{P}^0 является случайно сгенерированной начальной популяцией. На каждом поколении реализуется отбор пропорционально приспособленности, операторы кроссовера и мутации. Оператор отбора S порождает промежуточную популяцию \mathbf{R}^t из популяции \mathbf{P}^t посредством отбора и генерации новых копий элементов \mathbf{P}^t : $\mathbf{R}^t = S(\mathbf{P}^t)$. Функция оптимальности f , обеспечивающая обратную связь от результатов оптимизации в течение поколения t , используется для отбора конкурентоспособных индивидуумов популяции.

Отбор производится на основании вероятностей $p_S(a_i^t)$, вычисленных для каждого индивида популяции:

$$p_S(a_i^t) = \frac{f(a_i^t)}{\sum_{j=1}^m f(a_j^t)}. \quad (12)$$

После завершения отбора, выполняются генетические операции: кроссовер и мутация. Обе операции имеют случайный характер (вероятность применения, выбор позиции внутри хромосомы). Соответственно элементу $a_i^t \in \mathbf{R}^t$ выбирается партнер из \mathbf{R}^t для рекомбинации и строится новая хромосома.

Кроссовер с вероятностью p_C и выполняется следующим образом:

- 1) случайный выбор партнеров для скрещивания
- 2)

$$a_1 = (a_{1,1} \dots a_{1,l}) \in \mathbf{R}^t, \quad a_2 = (a_{2,1} \dots a_{2,l}) \in \mathbf{R}^t;$$

- 3) случайный выбор точки кроссовера $x \in \{1, \dots, l-1\}$;
- 4) формирование двух новых индивидуумов
- 5)

$$a_1' = (a_{1,1} \dots a_{1,x} \ a_{2,x+1} \dots a_{2,l}) \text{ и } a_2' = (a_{2,1} \dots a_{2,x} \ a_{1,x+1} \dots a_{1,l}).$$

Мутация представляет собой случайное изменение бита:

- 1) случайный выбор с вероятностью p_M позиций $\{x_1, \dots, x_k\} \subseteq \{1, \dots, l\}$ внутри битовой строки $a = (a_1 \dots a_l) \in \mathbf{R}^t$, подверженной мутации;

$$2) \quad a = (a_1 \dots a_{x_1-1} \ \overline{a_{x_1}} \ a_{x_1+1} \dots a_{x_k-1} \ \overline{a_{x_k}} \ a_{x_k+1} \dots a_l), \quad (i = \overline{1, k}).$$

В качестве метода локальной оптимизации для поиска минимума критерия оптимальности $\Phi(X)$, определенного в n -мерном евклидовом пространстве R^n ,

$$\min_{X \in R^n} \Phi(X) = \Phi(X^*) = \Phi^* \quad (13)$$

используется метод Нелдера-Мида, осуществляющий деформацию текущего симплекса при помощи операций: отражения, редукции, сжатия и растяжения.

В результате отражения k -й вершины симплекса с координатами вершин $X_i^r, i \in [1, n+1]$, образуется новый симплекс с координатами вершин

$$X_i^{r+1} = X_i^r, i \in [1, n+1], i \neq k, X_k^{r+1} = 2X_C^r - X_k^r, \quad (14)$$

$$\text{где } X_C^r = \frac{1}{n} \sum_{i=1, i \neq k}^{n+1} X_i^r \quad (15)$$

– вектор координат центра тяжести остальных вершин симплекса. В результате выполнения редукции вершин симплекса $X_i^r, i \in [1, n+1]$ к вершине X_k получаем новый симплекс с координатами вершин

$$X_i^{r+1} = X_k^r + \gamma(X_i^r - X_k^r), i \in [1, n+1], i \neq k, X_k^{r+1} = X_k^r, \quad (16)$$

где $\gamma \in (0,1), \gamma \approx 0,5$ – коэффициент редукции.

В результате выполнения операции сжатия симплекса $X_i^r, i \in [1, n+1]$ в направлении $(X_k^r - X_C^r)$ получаем новый симплекс с координатами вершин

$$X_i^{r+1} = X_k^r, i \in [1, n+1], i \neq k, X_k^{r+1} = X_C^r + \beta(X_k^r - X_C^r), \quad (17)$$

где $\beta \in (0,1), \beta \approx 0,4-0,6$ – коэффициент сжатия, X_C^r – вектор координат центра тяжести остальных вершин симплекса.

В результате выполнения операции растяжения симплекса $X_i^r, i \in [1, n+1]$ в направлении $(X_k^r - X_C^r)$ получаем новый симплекс с координатами вершин

$$X_i^{r+1} = X_i^r, i \in [1, n+1], i \neq k, X_k^{r+1} = X_C^r + \alpha(X_k^r - X_C^r), \quad (18)$$

где $\alpha \approx 2,8-3,0$ – коэффициент растяжения, X_C^r – вектор координат центра тяжести остальных вершин симплекса (15).

Для расчета по методу Нелдера-Мида (симплекс с вершинами $X_i^r, i \in [1, n+1]$ обозначим S^r) используем следующий алгоритм:

1. Задаем начальную точку X^0 , длину ребра симплекса l и полагаем $r = 0$.
2. Находим координаты $X_i^0, i \in [1, n+1]$ всех вершин регулярного симплекса S^0 с длиной ребра l .

Вычисляем значения $\Phi(X_i^r)$ минимизируемой функции во всех вершинах симплекса.

3. Среди вершин симплекса S^r находим вершины $X_{l=kl}^r, X_{h=kh}^r, X_{s=ks}^r$, в которых функция $\Phi(X)$ принимает, соответственно, наименьшее, наибольшее и следующее за максимальным значения, а также находим значения функции $\Phi(X)$ в этих точках:

$$\Phi(X_l^r) = \min_{i \in [1, n+1]} \Phi(X_i^r), \Phi(X_h^r) = \max_{i \in [1, n+1]} \Phi(X_i^r), \Phi(X_s^r) = \max_{i \in [1, n+1], i \neq h} \Phi(X_i^r)$$

4. По формулам (14), (15) выполняем отражение вершину симплекса X_h^r относительно центра тя-

жести остальных вершин симплекса – получаем новый симплекс S^{r+1} . Вычисляем значение $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1})$ минимизируемой функции в новой вершине симплекса.

5. Если условие окончания итераций выполнено, то в качестве значения точки минимума функции $\Phi(\mathbf{X})$ принимаем ту вершину симплекса S^{r+1} , в которой $\Phi(\mathbf{X})$ имеет минимальное значение, и заканчиваем вычисления.

6. Если $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \leq \Phi(\mathbf{X}_h^r)$ и $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \leq \Phi(\mathbf{X}_l^r)$, то переходим к п.7. Если $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \leq \Phi(\mathbf{X}_h^r)$, но $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \geq \Phi(\mathbf{X}_l^r)$, то переходим к п.3. Если $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \geq \Phi(\mathbf{X}_h^r)$, то переходим к п.8.

7. Ситуация $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \leq \Phi(\mathbf{X}_h^r)$ и $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \leq \Phi(\mathbf{X}_l^r)$. По формуле (18) выполняем растяжение симплекса S^{r+1} в направлении $(\mathbf{X}_{kh}^{r+1} - \mathbf{X}_c^{r+1})$ – получаем новый симплекс S^{r+2} . Вычисляем значение минимизируемой функции в новой вершине симплекса \mathbf{X}_{kh}^{r+2} . Если $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+2}) \leq \Phi(\mathbf{X}_l^r)$, то полагаем $r = r + 2$ и переходим к п.3. Иначе полагаем $r = r + 1$ и переходим к п.3 с симплексом S^r .

8. Ситуация $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+1}) \geq \Phi(\mathbf{X}_h^r)$. По формуле (17) выполняем сжатие симплекса S^{r+1} в направлении $(\mathbf{X}_{kh}^{r+1} - \mathbf{X}_c^{r+1})$ – получаем новый симплекс S^{r+2} . Вычисляем значение минимизируемой функции в новой вершине симплекса \mathbf{X}_{kh}^{r+2} . Если $\Phi(\mathbf{X}_{kh}^{r+2}) \leq \Phi(\mathbf{X}_h^r)$, то полагаем $r = r + 2$ и переходим к п.3. Иначе по формуле (16) выполняем редукцию симплекса S^r к вершине $\mathbf{X}_{l=kl}^r$ – получаем новый симплекс S^{r+1} . Вычисляем значение минимизируемой функции во всех новых вершинах симплекса S^{r+1} . Полагаем $r = r + 1$ и переходим к п.3.

Реализация задачи параметрического синтеза. Полагаем, что схема возбуждения, масса ускоряемого элемента P , объем проводника VOL , начальный зазор между обмотками Δ и внутренний диаметр якоря D_{in2} являются заданными. В качестве независимых параметров, входящих в вектор переменных проектирования, выбираются геометрические параметры ЭИП и электрические параметры ЕНЭ: высота индуктора H_1 и якоря H_2 , диаметр проводника d_0 , количество слоев n -ого элемента K_{vn} , коэффициент заполнения k_3 , начальное взаимное аксиальное смещение элементов Δz_0 , емкость C и зарядное напряжение U_0 ЕНЭ.

Для расчетов использованы функциональные зависимости, описывающие электромагнитные, механические и тепловые процессы ЭИП с учетом нелинейных параметров [10]:

$$i_n = f(U_0, C, R_n, L_n, M_{12}, V, t); \quad (19)$$

$$\Delta Z = f(i_n, M_{12}, P, m_2, K_T, \beta_a, \gamma_a, t); \quad (20)$$

$$R_n = f(T_n, \delta^*); \quad (21)$$

$$T_n = f(j_n, \rho_n, c_n, \gamma_n, \lambda_n, k_K, \alpha_{Tn}, t), \quad (22)$$

где L_n – индуктивность n -ого элемента; K_T – коэффициент динамического трения; β_a – коэффициент аэродинамического сопротивления; γ_a – плотность среды перемещения; δ^* – эффективная величина скин-слоя; $j_n, c_n, \lambda_n, \rho_n, \alpha_{Tn}$ – соответственно, плотность тока, усредненная удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, удельное сопротивление, коэффициент теплоотдачи n -ого элемента.

Блок-схема вычислительного алгоритма представлена на рис. 1, на котором показаны: $i=1 \dots m$ – количество возможных решений (размер популяции); $j=1 \dots e$ – количество возможных решений в множестве P_i ; v – размер многогранника; ε – пороговое значение размера многогранника; $N=0 \dots in$ – количество шагов операторов Нелдера-Мида.

На базе расчетного алгоритма была разработана компьютерная программа и проведены расчеты эффективности дополнительного ускорения движущихся массивных объектов при помощи ЭИП. Решения задачи является многоэкстремальным. В табл. 1 представлены наиболее эффективные ЭИП, обеспечивающие разгон объекта массой $P=3,5$ кг, движущегося с начальной скоростью V_0 . В таблице, помимо ука-

заних вище параметрів, представлені амплітуда f_{zm} і імпульс $FI_{12} = \int_0^t f_z(t, z) dt$ електродинаміче-

скої сили, що впливають на ярко, максимальні щільності токів в індукторі j_{1m} і ярко j_{2m} , підвищення температури індуктора $\theta_1 = T_1 - T_0$ і ярка $\theta_2 = T_2 - T_0$.

Представлені варіанти ЕІП мають ЕНЭ з відносно високими напругами $U_0 = 36-95$ кВ, але невеликими ємкостями $C = 28-40$ мкФ. Во всіх варіантах збудження індуктора починається в положенні, коли ярко зміщений відносно нього по ходу руху на відстань $\Delta z_0 = 5-8$ мм. За один робочий імпульс виникає суттєвий нагрів індуктора і ярка, причому у останнього в 2-3 рази сильніше.

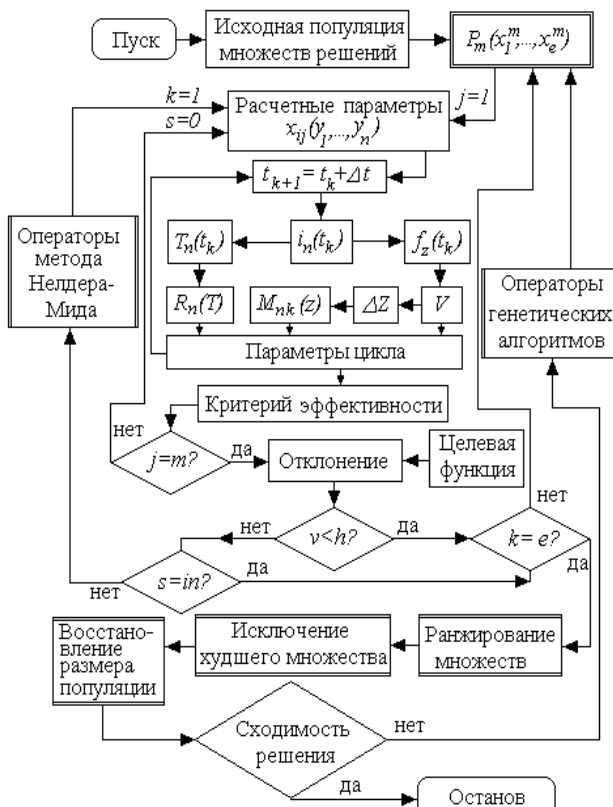


Рисунок 1 – Блок схема расчетного алгоритма

В зависимости от различных параметров можно выявить выраженный экстремум функции эффективности, что необходимо при проектировании и работе ЭИП [11]. На рис. 2 показана топография критерия эффективности ЭИП в зависимости от начального смещения ярка и емкости ЕНЭ при фиксированных остальных результатах, только при определенном сочетании указанных параметров может быть достигнута эффективность ЭИП, существенно превосходящая эффективность известных преобразователей.

Вариант ЭИП №6, обеспечивающий наибольшую эффективность работы свыше 90% (глобальный экстремум), имеет следующие основные геометрические параметры: $D_{ex1} = 0,103$ м, $D_{in1} = 0,083$, $H_1 = 0,110$, $D_{ex2} = 0,082$ м, $D_{in2} = 0,070$, $H_1 = 0,108$, $d_0 = 3,8$ мм. В момент подключения индуктора к ЕНЭ его коэффициент магнитной связи с ярком высок и составляет $K_M = 0,993$. Из всех представленных вариантов у него наименьшее напряжение ЭНЭ $U_0 = 25,82$ кВ, наименьшие значения амплитуды $f_{zm} = 792,5$ кН и импульса $FI_{12} = 57,6$ Нс электродинамической силы, плотности токов и нагрева индуктора и ярка.

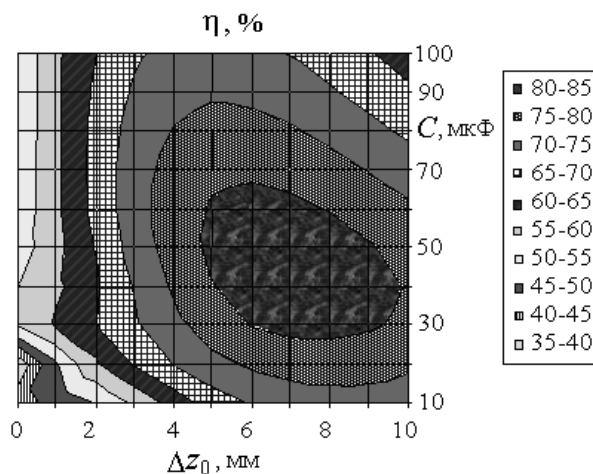


Рисунок 2 – Топография критерия эффективности ЭИП в зависимости от начального смещения ярка и емкости ЕНЭ

Таблиця 1

№ п/п	V_0 , м/с	C , мкФ	U_0 , кВ	Δz_0 , мм	f_{zm} , кГц	FI_{12} , Нс	η , %	j_{1m} , кА/мм ²	j_{2m} , кА/мм ²	θ_1 , К	θ_2 , К
1	150	32	63,25	5	4407,6	285,5	85,25	6,05	10,34	12,0	25,9
2	150	30	57,74	5	3703,6	246,3	86,27	5,52	9,46	10,0	21,9
3	150	28	51,64	6	2746,9	204,4	87,29	4,44	7,55	7,6	16,2
4	150	31	44,72	6	2075,8	159,4	88,32	3,86	6,57	5,6	12,4
5	150	29	36,51	5	1519,3	110,1	88,74	3,52	6,03	3,9	9,1
6	150	27	25,82	6	702,5	57,6	90,75	2,25	3,83	1,9	4,3
7	100	39	38,73	7	2281,0	206,5	84,34	3,96	6,73	5,8	15,5
8	100	20	94,87	8	8358,0	499,9	83,87	7,43	12,62	16,6	39,1

На рис. 3 представлен электромеханические и энергетические характеристики ЭИП №6, из которых можно сделать следующие выводы. Ток в индукторе и якоре, при использовании схемы возбуждения со свободным колебанием тока индуктора имеют выраженный негармонический характер: короткий, но сильный начальный импульс и последующий импульс противоположной полярности со значительно большей длительностью и меньшей амплитудой. Но поскольку токи находятся практически все время в противофазе, на якорь действует электродинамическая сила f_z одной полярности с двумя выраженными максимумами. Указанный характер силы обуславливает резкий начальный рост кинетической энергии ΔW_{kin} якоря с массивным элементом и более плавный последующий подъем. Таким образом, от момента включения ЭИП перемещение якоря с массивным объектом Δz имеет возрастающий характер, вызванный как начальной, так и приобретенной скоростями.

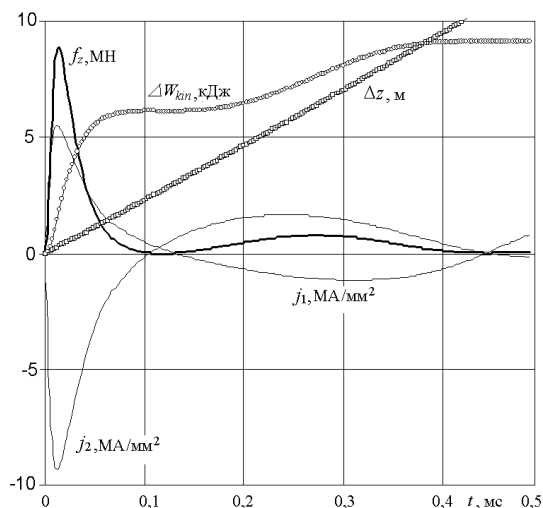


Рисунок 3 – Электромеханические и энергетические характеристики ЭИП №6

Вывод. Предложено для дополнительного ускорения движущихся массивных объектов использовать электромеханический индукционный преобразователь. Разработана методика выбора параметров высокоэффективного преобразователя, основанная на нахождении минимума целевой функции в поисковом пространстве при совместном использовании глобального метода оптимизации, осуществляющего случайный поиск параметров преобразователя в заданном пространстве, и локального метода, обеспечивающего стягивание области параметров с глобальным экстремумом до минимальных размеров. Для глобальной оптимизации использованы генетические алгоритмы, а в качестве метода локальной оптимизации используется метод Нелдера-Мида, осуществляющий деформацию текущего симплекса.

Установлены общие закономерности наиболее эффективных вариантов преобразователей и показано, что их эффективность существенно выше, чем у известных преобразователей.

Литература

1. Balicki A., Zabar Z., Birenbaum L. et al. Improved performance of linear induction launchers // IEEE Trans. Magnetics. – 2005. – Vol. 41, № 1. – P. 171–175.

2. Chemerys V.T., Bolyukh V.F. Prospectives of new coilgun design development // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – № 3. – С. 44–52.
3. Чемерис В.Т., Машталир В.В., Гусак Ю.А. Простой алгоритм для расчета индукционного ускорения электропроводящих тел в метательном устройстве // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – № 4. – С. 40–49.
4. Карпухин В.Ф. Особенности схемы встречного метания заготовок при магнитно-импульсной сварке // Труды междунар. науч.техн. конф. Магнитно-импульсная обработка материалов. Пути совершенствования и развития. – Самара: Изд. учеб. лит. – 2007. – С. 99–103.
5. Татмышевский К.В., Семенович М.Л., Козлов С.А. Магнитно-импульсные метательные установки для проведения ударных испытаний взрывательных устройств боеприпасов и средств бронезащиты // Известия РАН. – 2005. №4. – С. 22–31.
6. Татмышевский К.В., Марычев С.Н., Козлов С.А. Магнитно-импульсные метательные средства поражения для систем активной защиты объектов особой важности // Современные технологии безопасности. – 2005. № 4. – С. 8–11.
7. Lipinski R.S., Beard S., Bover J. Space application for contactless coilguns //IEEE Trans. Magnetics. – 1993. – Vol. 29, № 1. – P. 691–695.
8. Коритченко К.В., Кочерга А.Г., Болюх В.Ф. Система електродинамічного прискорення бронейних снарядів до танкової гармати // Збірка тез доповідей 3 Всеукраїнської наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ». – Львів, 13–14 квітня 2010. – Київ: Академія сухопутних військ. – С.86.
9. Болюх В.Ф., Корытченко К.В., Кочерга А.Г. Индукционно-динамическое ускорение массивных объектов, обладающих начальной скоростью // Электротехника і електромеханіка.– 2010. – №6. – С. 8–12.
10. Болюх В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукин И.С. Синтез параметров высокоэффективного электромеханического преобразователя ударного действия // Технічна електродинаміка. Тем. випуск: Проблеми сучасної електротехніки. – 2008. – Ч. 2. – С. 63–68.
11. Чемерис В.Т., Болюх В.Ф., Машталир В.В. О возможности применения в минометах калибра 82 мм индукционного способа метания мин // Артиллерийское и стрелковое вооружение.– 2010.– № 2.– С. 50–58.

УДК 621.31:629.7

Болюх В.Ф., Корытченко К.В., Кочерга А.Г.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ МАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ИНДУКЦИОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Предложено для дополнительного ускорения движущихся массивных объектов использовать электромеханический индукционный преобразователь. Разработана методика выбора параметров высокоэффективного преобразователя, основанная на нахождении минимума целевой функции в поисковом пространстве при совместном использовании глобального и локального методов оптимизации. Для глобальной оптимизации использованы генетические алгоритмы, а в качестве метода локальной оптимизации используется метод Нелдера-Мида, осуществляющий деформацию текущего симплекса. Установлены общие закономерности наиболее эффективных вариантов преобразователей и показано, что их эффективность существенно выше, чем у известных преобразователей.

Bolyukh V.F., Korutchenko K.V., Kocherga A.G.

EFFICACY OF ADDITIONAL ACCELERATION FOR OF MOVING MASSIVE SUBJECT BY INDUCTIVE ELECTROMECHANICAL CONVERTER

The electromechanical induction converter for additional acceleration of moving massive objects is offered to use. The method for selection parameters of the highly effective converter, based on determination of minimum of objective function in search space combined with using global and local optimization methods is developed. For global optimization genetic algorithms are used, and as a method of local optimization Nelder-Mid's method which is carrying out deformation of the current simplex is used. The general laws of the most effective variants of converters are established and it is shown, that their efficiency is much higher, than at known converters.