

Վ.Կ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՀԱՐԹ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿՈՃԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻՑ ԲԱՂԿԱՑԱԾ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԻՆՂՈՒԿՑԻՈՆ ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Օգտվելով թվային մեթոդներից՝ կատարվել է հարթ կառուցվածքի մագնիսական ինդուկտիվ կոճերից կազմված իմպուլսային բազմաստիճան ինդուկցիոն արագացուցչի հաշվարկը՝ Maple 9.01 ծրագրային համակարգում:

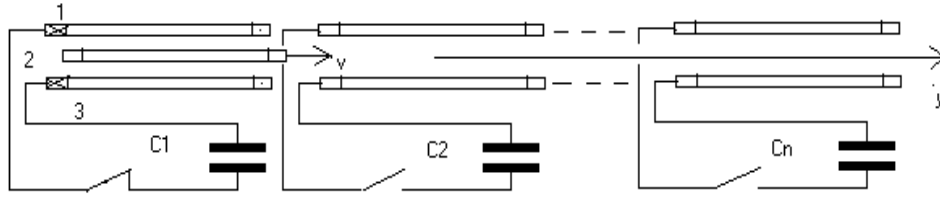
Առանցքային բառեր. հարթ կառուցվածքի ինդուկցիոն բազմաստիճան արագացուցիչ, դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ, Maple 9.01:

Հայտնի է, որ հաղորդիչ պինդ մարմիններին հնարավոր է հաղորդել նետման մեծ արագություններ էլեկտրամագնիսական ինդուկցիոն բազմաստիճան արագացուցիչների համակարգերում, որտեղ էներգիայի աղբյուրը փոքր ներքին ինդուկտիվության իմպուլսային ունակային կուտակիչներն են: Մինչև այժմ ուսումնասիրվել են միայն գլանային կառուցվածքի ինդուկտոր-նետվող մարմին համակարգից բաղկացած իմպուլսային արագացուցիչները [1-3]:

Հատուկ նպատակի որոշակի խնդիրներում հարկավոր է ունենալ ոչ գլանային նետվող մարմին, որն ունի հարթ տափօղակի տեսք: Այդ դեպքում ոչ բարդ տեխնոլոգիական միջոցներով հնարավոր է պատրաստել մեխանիկական մեծ ամրության, հարթ կառուցվածքի իմպուլսային ինդուկտիվ կոճեր (ի տարբերություն գլանայինի [4]): Ընդ որում՝ հարթ կառուցվածքի արագացուցչում հնարավոր է ստանալ էներգիայի ձևավորման ավելի բարձր արդյունավետություն, քանի որ օդային բացակա անշարժ և շարժական մասերի միջև տեսականորեն կարելի է ձգտեցնել մինչև «զրո» արժեք:

Դիտարկելով արագացուցիչը որպես կենտրոնացված պարամետրերով համակարգ և օգտվելով թվային մեթոդներից՝ հնարավոր է հաշվարկել հարթ կառուցվածով բազմաստիճան էլեկտրամագնիսական ինդուկցիոն իմպուլսային արագացուցիչը, էլեկտրամեխանիկական անցողիկ երևույթի ժամանակահատվածում:

Համակարգի նկարագիրը. Արագացուցչի (նկ.1) y առանցքի երկայնքով իրար հաջորդող, որոշակի հեռավորությունների վրա դրված են հարթ կառուցվածքի ինդուկտորները (իմպուլսային կոճեր), որոնք միացված են ունակային կուտակիչներին տիրիստորների կամ պարպիչների միջոցով: Ժամանակի որոշակի պահերին, երբ նետվող մարմինը մոտենում է տվյալ ինդուկտորին, նրա դիրքը որոշող տվիչի (նկարում պատկերված չէ) ազդանշանը բացում է տիրիստորը, արդյունքում ունակային կուտակիչը լիցքաթափվում է ինդուկտորի վրա՝ առաջացնելով իմպուլսային մագնիսական դաշտ: Այդ դաշտը նետվող մարմնում մակածելով մրրկային հոսանքներ՝ որոշակի պայմանների դեպքում առաջացնում է նրա վրա արագացնող ուժային ազդեցություն:



Նկ.1. Հարթ կոճերից բաղկացած ինդուկցիոն արագացուցչի սխեմատիկ պատկերը

Արագացուցչի մեկ աստիճանի հաշվարկի համարժեք սխեման բերված է նկ.2-ում: Առաջնային և երկրորդային շղթանների համար գրելով լարման բալանսի հավասարումը, ըստ Կիրխոֆի երկրորդ օրենքի, այնուհետև նետվող մարմնի համար ավելացնելով Նյուտոնի երկրորդ օրենքով որոշվող ուժային ազդեցությունը, ապա, հաշվի առնելով շարժման արագության և շարժման տեղափոխման կինեմատիկ կապը ու ինդուկտոր-նետվող մարմնի միջև մագնիսական դաշտի փոխինդուկտիվության գործակցի կախվածությունը տեղափոխման կորդինատից, կստանանք.

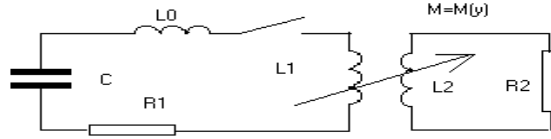
$$\begin{cases} R_1 i_1(t) + (L_0 + L_1) \frac{\partial i_1(t)}{\partial t} + \frac{\partial(i_2(t)M(y))}{\partial t} = u(t), \\ R_2 i_2(t) + L_2 \frac{\partial i_2(t)}{\partial t} + \frac{\partial(i_1(t)M(y))}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial u(t)}{\partial t} = -\frac{i_1(t)}{C}, \quad \frac{\partial v(t)}{\partial t} = \frac{i_1(t)i_2(t)}{m} \frac{\partial M(y)}{\partial y}, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = v(t), \quad y = y(t), \quad M = M(y), \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ՝ R_1 -ը, R_2 -ը, L_0 -ը, L_1 -ը, L_2 -ը, C -ն, m -ը համապատասխանաբար էլեկտրակինեմատիկ շղթայի պարամետրերն են, ինդուկտորի շղթայի էլեկտրական ակտիվ դիմադրությունը, նետվող մարմնի դիմադրությունը, ունակային կուտակչի ներքին ինդուկտիվությունը, ինդուկտորի ինդուկտիվությունը, նետվող մարմնի ինդուկտիվությունը, ունակային կուտակիչի ունակությունը և նետվող մարմնի զանգվածը, իսկ $i_1(t)$ -ն, $i_2(t)$ -ն, $u(t)$ -ն, $v(t)$ -ն, $M(y)$ -ն, $y(t)$ -ն՝ հոսանքի ուժի ակնթարթային արժեքը ինդուկտորում և նետվող մարմնում, լարման ակնթարթային արժեքը ունակային կուտակչի վրա, նետվող մարմնի արագությունը, փոխինդուկտիվության գործակիցը և տեղափոխությունը:

(1)-ում նախնական պայմաններ են.

$$\begin{cases} i_1(0) = 0, \quad i_2(0) = 0, \quad u(0) = u_0, \quad y(0) = y_0, \\ v(0) = \{0, v_1, v_2, \dots, v_n\} \Rightarrow t = 0: \end{cases} \quad (2)$$

Նետվող մարմնի սկզբնական արագության արժեքի բազմությունը ցույց է տալիս, թե արագացուցչի արագացման որ աստիճանում է լուծվում խնդիրը:



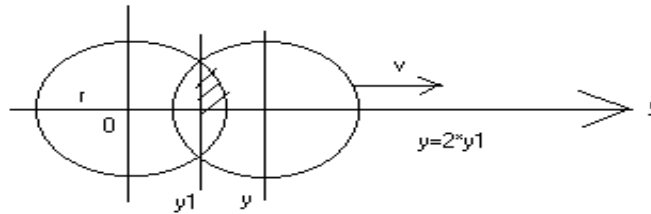
Նկ.2. Արագացուցչի մեկ աստիճանի համարժեք էլեկտրական շղթան

Որպեսզի (1) դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը հնարավոր լինի լուծել, կատարենք որոշակի ձևափոխություններ՝

$$\begin{cases} \frac{\partial(i(t)M(y))}{\partial t} = M(y)\frac{\partial i(t)}{\partial t} + i(t)\frac{\partial M(y)}{\partial y}v(t) = M(y)\frac{\partial i(t)}{\partial t} + i(t)v(t)\Phi(y), \\ \Phi(y) = \frac{\partial M(y)}{\partial y}, \end{cases} \quad (3)$$

որտեղ $\Phi(y)$ - ն փոխիներդուկտիվության գործակցի փոփոխման արագությունն է ըստ տեղափոխման կոորդինատի:

Փոխիներդուկտիվության գործակցի հաշվարկը. հարթ կոճերից բաղկացած էլեկտրամագնիսական համակարգը կազմված է 1 և 3 անշարժ իներդուկտորներից, որոնք ըստ առաջացրած մագնիսական հոսքի, միացված են հաջորդաբար (համաձայնեցված), և 2 շարժական իներդուկտիվ կոճից (ներտվող մարմին), որը ունի մեկ շարժման ազատության աստիճան՝ ուղղված y առանցքի երկայնքով (նկ.1,3):



Նկ.3. Փոխիներդուկտիվության գործակցի հաշվարկի սխեման

Պարզության համար կոճերը պատկերված են մեկ գալարի տեսքով: Խնդիրը կայանում է 1,3 և 2 կոճերի փոխիներդուկտիվության գործակցի հաշվարկի մեջ:

Ինչպես հայտնի է

$$M = M_{1 \rightarrow 2} + M_{3 \rightarrow 2},$$

որտեղ $M_{1 \rightarrow 2}$ և $M_{3 \rightarrow 2}$ -ը փոխիներդուկտիվության գործակիցներն են՝ համապատասխանաբար 1-2 և 3-2 կոճերի միջև: Քանի որ 1 և 3 կոճերը նույնն են, ապա

$$\begin{cases} M_{1 \rightarrow 2} = M_{3 \rightarrow 2}, \\ M = 2M_{1 \rightarrow 2} : \end{cases}$$

Այդ իսկ պատճառով, հաշվարկը կատարվել է 1-2 համակարգի համար ($M_{1 \rightarrow 2}$ -ը): Ընդհանուր դեպքում հարթ կոճերի և ռադիալ տեղափոխության ժամանակ փոխիներդուկտիվության գործակցի արտահայտությունը, որը

նկարագրված է [5]-ում և բերված է շարքի տեսքով, կիրառելի չէ, քանի որ մեր խնդրի պայմանների դեպքում այն տարամիտում է:

Ինչպես նշվեց, արագացուցչի կառուցվածքի բնորոշ գիծը ինդուկտոր-նետվող մարմնի միջև օդային բացակի փոքր չափն է: Այդ իսկ պատճառով, հաշվի առնելով այդ պայմանը, փոխինդուկտիվության գործակիցը հաշվարկենք որոշակի մոտավորությամբ:

Քանի որ փոքր հեռավորությունների դեպքում մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի ուժագծերը ուղղահայաց են գալարի ներքին մակերևույթին, այդ դեպքում գալարի շարժման ժամանակ ինդուկտոր-նետվող մարմնի կապակցող մագնիսական հոսքը կփոքրանա՝ փոխհատվող մակերեսների փոքրանալուն գուգրնթաց, որը նկ.3-ում պատկերված է պրոյեկցիայում: Այդ դեպքում կստանանք.

$$\begin{cases} \eta_1(y_1) = \int_{y_1}^{\rho} \sqrt{\rho^2 - y_1^2} \delta y_1 = \frac{3.14\rho^2}{4} - \left[\frac{y_1}{2} \sqrt{\rho^2 - y_1^2} + \frac{\rho^2}{2} \arcsin\left(\frac{y_1}{\rho}\right) \right], \\ \eta(y_1) = 4\eta_1(y_1), \end{cases} \quad (4)$$

որտեղ η_1 -ը, ρ -ն, y_1 -ը համապատասխանաբար՝ վերանշված մասի մակերեսն են, գալարի շառավիղը և գալարների շրջագծերի հատման պրոյեկցիոն կետերը միացնող գծի կոորդինատները:

Շարժման (1) հավասարումներում առկա է շարժվող գալարի կենտրոնի y - կոորդինատը, որը երկու անգամ մեծ է y_1 -ից: (4) ինտեգրալային արտահայտության մեջ անցնելով y_1 -ից y -ին և ինտեգրելով՝ կստանանք.

$$\begin{cases} y = 2y_1, \\ \eta(y) = 3.14\rho^2 - 0.5y\sqrt{4\rho^2 - y^2} - 2\rho^2 \arcsin\left(\frac{y}{2\rho}\right): \end{cases}$$

Փոխինդուկտիվության գործակցի համար կարելի գրել.

$$M_{1 \rightarrow 2}(y) = \kappa(y) \sqrt{L_1 L_2}, \quad (5)$$

որտեղ $\kappa(y)$ -ն, L_1 -ը, L_2 -ը համապատասխանաբար ինդուկտոր-նետվող մարմնի մագնիսական կապի գործակիցը և ինդուկտիվություններն են:

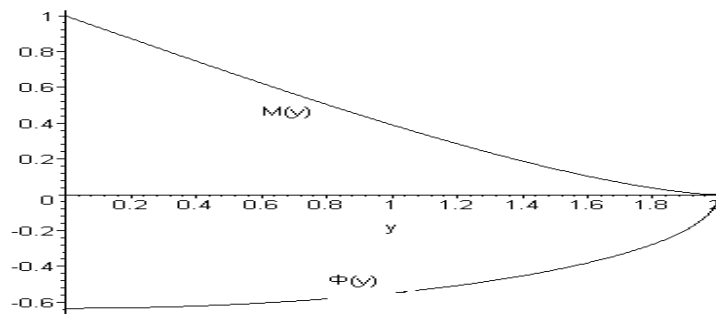
Որպեսզի (5)-ում գտնենք փոխինդուկտիվության գործակցի և նշված մակերեսի փոփոխության կախվածությունը, օգտվենք հետևյալ արտահայտություններից.

$$\begin{cases} L_1 = \frac{B_1 \eta_0}{I_1}, L_2 = \frac{B_2 \eta_0}{I_2}, \eta_0 = 3.14\rho^2, \\ I_1 = \frac{B_1 \eta(y)}{M_{1 \rightarrow 2}(y)}, I_2 = \frac{B_2 \eta(y)}{M_{2 \rightarrow 1}(y)}, \\ M_{2 \rightarrow 1}(y) = M_{1 \rightarrow 2}(y) = M(y), \end{cases} \quad (6)$$

որտեղ B -ն, I -ն, η_0 -ը համապատասխանաբար մագնիսական դաշտի ինդուկցիան, հոսանքի արժեքը և գալարի մակերեսը են:

(6)-ը տեղադրելով (5)-ի մեջ՝ մագնիսական հոսքի կապի և փոխինդուկտիվության գործակիցների համար կստանանք (նկ. 4).

$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa(y) = \frac{\eta(y)}{\eta_0} = \left(\frac{4}{3.14\rho^2} \right) \left[\frac{3.14\rho^2}{4} - \frac{y\sqrt{4\rho^2 - y^2}}{8} - \frac{\rho^2}{2} \arcsin\left(\frac{y}{2\rho}\right) \right], \\ M(y) = \sqrt{L_1 L_2} \left(\frac{4}{3.14\rho^2} \right) \left[\frac{3.14\rho^2}{4} - \frac{y\sqrt{4\rho^2 - y^2}}{8} - \frac{\rho^2}{2} \arcsin\left(\frac{y}{2\rho}\right) \right], \\ \Phi(y) = \sqrt{L_1 L_2} \left(\frac{1.27}{\rho^2} \right) \left[-\frac{\sqrt{4\rho^2 - y^2}}{8} + \frac{0.125y^2}{\sqrt{4\rho^2 - y^2}} - \frac{\rho}{2\sqrt{4 - \frac{y^2}{\rho^2}}} \right] : \end{array} \right. \quad (7)$$



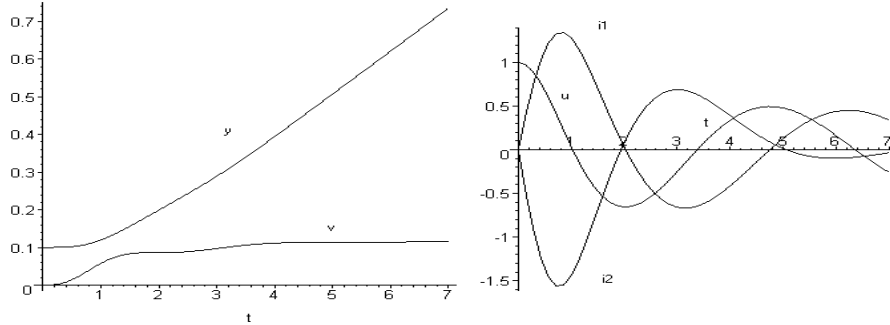
Նկ. 4. Փոխինդուկտիվության գործակցի և նրա փոփոխման արագության կախվածությունը կոորդինատից, երբ $L_1 = L_2 = 1$, $\rho = 2$

(1) *համակարգի լուծումը.* (1)-ը մեկ փոփոխականի ոչ գծային առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ է, որը բնութագրում է էլեկտրամեխանիկական երևույթները անցողիկ ժամանակահատվածի շրջանում, որտեղ նախնական պայմանները (2)-ն են, իսկ փոխինդուկտիվության և նրա փոփոխման արագության կախվածությունը կոորդինատից որոշվում է (7)-ից:

Նշված հավասարումների համակարգը լուծենք թվային մեթոդներով (Ռունգե-Կուրտ-Ֆելբերգի 4 և 5 կարգի մեթոդ՝ կախված գտնվող մեծության փոփոխման արագության արժեքից)՝ Maple 9.01 համակարգում, նախապես այն ձևափոխելով անչափանի (հարաբերական) մեծությունների տեսքի, որոնց արտահայտությունները բերված են ստորև.

$$\left\{ \begin{array}{l} y' = \frac{y}{2\rho}, u' = \frac{u}{U_0}, t' = \frac{t}{U_0\sqrt{L_1C}}, L00' = \frac{L_0}{L_1}, L01' = \frac{L_2}{L_1}, \\ M(y)' = \frac{M(y)}{L_1}, R1' = \frac{R_1}{\sqrt{L_1C}}, R2' = \frac{R_2}{\sqrt{L_1C}}, v' = \frac{v}{\sqrt{L_1C}}, m' = \frac{m}{C^2U_0^2L_1}, \\ \Phi(y)' = \left(\frac{2\rho}{L1}\right)\Phi(y), i_{1,2}' = \frac{i_{1,2}}{U_0\sqrt{L_1C}} : \end{array} \right.$$

Հաշվարկի արդյունքում ստացվում են էլեկտրակինեմատիկ հարաբերական ակնթարթային մեծությունները, որոնք արագացման մեկ աստիճանի համար պատկերված են նկ 5-ում:



Նկ 5. Հաշվարկի արդյունքները գրաֆիկական տեսքով երբ՝
 $\rho = 1, m' = 10, R1' = 0,1, R2' = 0,05, v' = 0, L00' = 0,1, L01' = 0,5$

Փոփոխելով խնդրի հարաբերական պարամետրերը՝ հնարավոր է գտնել արագացուցչի յուրաքանչյուր աստիճանի համար լավագույն բաձարձակ պարամետրերը, երբ նրա արդյունավետությունը (օ.գ.գ.-ն) առավելագույնն է:

Բազմաստիճան արագացուցչի յուրաքանչյուր հաջորդ աստիճանի հաշվարկում անհրաժեշտ է (2) նախնական պայմաններում փոփոխել միայն սկզբնական արագության արժեքը, որը հավասար է նախորդ արագացման աստիճանի վերջնական արագությանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Бондалетов В.Н.** Индукционное ускорение проводников // ЖТФ. –М., 1967. – Вып.2. –С. 280-287.
2. **Новгородцев А.Б., Шнерсон Г.А.** Энергетические соотношения в колебательном контуре, используемом для ускорения проводников электромагнитными силами // Энергетика и транспорт. –М.,1970. – №2. –С. 154-161.
3. **Андреев А.Н.** Индукционное ускорение и высокоскоростной привод //Электричество. –М.,1973.-№10.
4. **Монтгомери Д.Б.** Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. –М.: Мир, 1971. –465 с.
5. **Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.** Расчет индуктивностей. –М.: Наука, 1986. –436 с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 25.04.2004:

В.К. КАЗАРЯН

РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ С ПЛОСКИМИ КАТУШКАМИ

Произведен расчет численными методами в Maple 9.01 импульсного электромагнитного индукционного ускорителя с плоскими катушками.

Ключевые слова: многокаскадный электромагнитный импульсный ускоритель плоской конструкции, дифференциальное уравнение, Maple 9.01.

V.K. GHAZARYAN

CALCULATION OF PULSED ELECTROMAGNETIC PLANE COIL GUN

The calculation of pulsed electromagnetic plane coil with numerical methods in Maple 9.01 is performed.

Keywords: induction multilevel accelerator with flat structure, differential equation system, Maple 9.01.