

АНАЛИТИЧНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ЕДИН ВИД ПОДЕМНО УСТРОЙСТВО С ПОСТОЯНЕН МАГНИТ

Андрей Стефанов Козаров¹, Снежана Стефанова Стоянова²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

² Университет "Проф. д-р Асен Златаров", Бургас

РЕЗЮМЕ. В доклада е представен математичен модел за разработване на подемно устройство с постоянен магнит и повишени качества в сравнение с досега използвани аналози.

ANALYTIC DEPENDENCIES FOR A TYPE OF A HOISTING DEVICE WITH A CONSTANT MAGNET

Andrei Kozarov¹, Snejana Stoianova²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

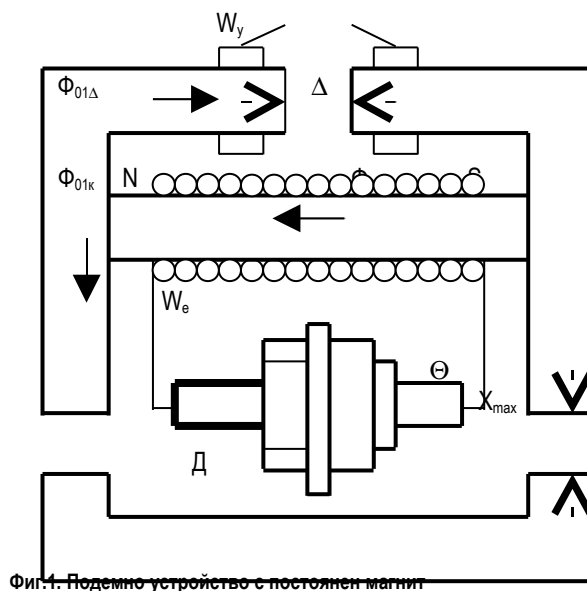
² University "Prof. d-r Asen Slatarov", Burgas

ABSTRACT. A characteristic of the device is that the slacking and attracting the magnet is carried out without demagnetization and magnetization of the constant magnet. Constructively, it is achieved by creating a parallel way for the magnetic flow. That way is parallel to the anchor. With help of the operating coil, at the time of slacking the magnetic flow of the constant magnet deflects from the anchor. At the time of attracting, through the additional magnetic conductor, a flow with opposite direction is created. This flow connects with the main flow through the anchor. The main dependencies between the parameters of proposed construction are deduced.

Въведение

Подемното устройство с постоянен магнит може да бъде управлявано без да се размагнитва постоянния магнит, като магнитният поток, създаден от постоянния магнит се отклонява от котвата чрез подходящо приложено краткотрайно магнитодвижещо напрежение [1]. Такова устройство по принцип е показано на фиг.1 в случая, когато липсва управляващо въздействие и котвата е отпусната. Тогава магнитният поток Φ_{01} , създаден от постоянния магнит е сравнително малък поради наличието на голяма въздушна междина X_{max} към котвата. При това потокът Φ_{01k} през котвата е още по-малък, тъй като част от потока Φ_{01} се отклонява през горната въздушна междина Δ , през която минава потокът $\Phi_{01\Delta}$. При това с първо приближение (пренебрегване на останалите потоци на разсейване) $\Phi_{01} = \Phi_{01k} + \Phi_{01\Delta}$. Поради малката стойност на потока $\Phi_{01\Delta}$ подемната сила не може да привлече котвата.

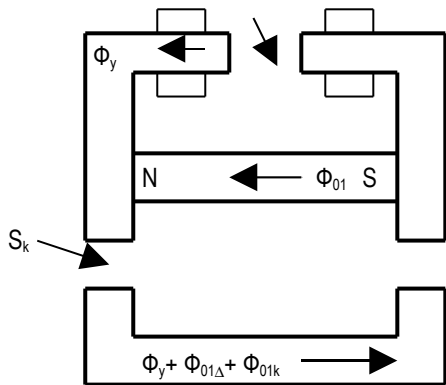
На фиг.2 е показано състоянието на системата при подаване на управляващ ток импулс върху намотката W_y , с цел привличане на котвата. Магнитодвижещото напрежение $U_{дв} = W_y i_y$, създадено от управляващата намотка, създава през въздушната междина магнитен поток Φ_y , насочен противоположно на потока $\Phi_{01\Delta}$ от предния случай. През екраниращата намотка W_e протича голям ток в проводящата посока на диода Д и този ток,



Фиг.1. Подемно устройство с постоянен магнит

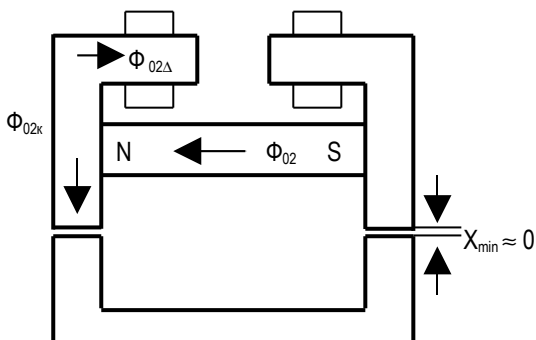
съгласно принципа на Ленц, запазва потока Φ_{01} практически непроменен. Следователно през котвата се насочва допълнително поток $\Phi_{доп.} = \Phi_{01\Delta} + \Phi_y$. Това увеличава съществено подемната сила и котвата се привлича.

S_{Δ}



Фиг. 2. Състояние на електромагнитната система при подаване на управляващ токов импулс върху управлящата намотка W_y с цел привличане на котвата

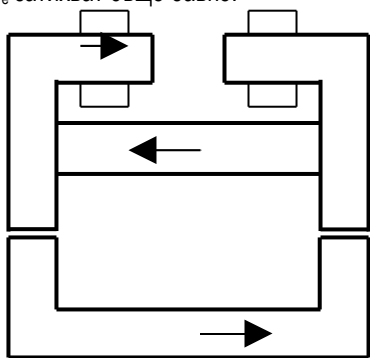
На фиг.3 е показано състоянието на системата след привличането на котвата.



Фиг. 3. Състояние на електромагнитната система след привличането на котвата

Управляващият токов импулс е затихнал. През въздушната междина Δ преминава потокът $\Phi_{02\Delta} < \Phi_{01\Delta}$. През котвата преминава потокът $\Phi_{02k} > \Phi_{01k}$. През постоянния магнит преминава потокът $\Phi_{02} = \Phi_{02\Delta} + \Phi_{02k} > \Phi_{01}$. Потокът Φ_{02} е по-голям от Φ_{01} , защото общото магнитно съпротивление, през което е затворен постоянния магнит е по-малко ($X_{\mu} > X \approx 0$). Нарастването на потока от Φ_{01} до Φ_{02} става бързо, защото диодът D не позволява протичане на ток през W_e в посока, която се противопоставя на нарастването на Φ_0 .

На фиг.4 е показано състоянието на електромагнитната система при подаване на управляващ токов импулс за отпускане на котвата. Този импулс има противоположна посока на предишния. При това голяма част от потока през котвата Φ_{02k} се отклонява от нея и се насочва към междината Δ . При това привличането на котвата рязко намалява и котвата се отпуска. След затихване на управляващия импулс системата бавно преминава в състоянието, показано на фиг.1, тъй като индуктираните токове в W_e затихват също бавно.



$$\Phi_{\Delta} \approx \Phi_{02}$$

$$N \quad \Phi_{02} \quad S$$

$$\Phi_k \approx 0$$

Фиг. 4. Състояние на електромагнитната система при подаване на управляващ токов импулс за отпускане на котвата

Постановка на задачата

Тъй като управлящите импулси трябва да имат значителна мощност, най-целесъобразно е те да се получават чрез разреждане на достатъчно голям кондензатор през управляващата намотка. Необходимо е да се създаде методика за определяне на големината на необходимия кондензатор, напрежението до което той трябва да бъде зареден за привличане и отпускане, големината на въздушната междина Δ и броя на навивките на управляващата намотка W_y . За решаване на задачата с първо приближение се приемат следните опростяващи предположения.

Пренебрегват се потоците на разсейване. Пренебрегват се магнитните съпротивления на всички части на магнитопровода с изключение на постоянния магнит. Пренебрегват се активните съпротивления на тоководещите части. Приема се още, че въздушната междина между полюсите и котвата се изменя между стойностите X_{\max} и X_{\min} .

Анализ на работните процеси

А. Отпусната котва

Изчисляването на състоянието на устройството при отпусната котва и липса на управляващ импулс за привличане е елементарно и тук не се разглежда. Това изчисляване трябва да осигури само малка стойност на подемната сила върху котвата, така че тази стойност да бъде няколко пъти по-малка от теглото на котвата.

Б. Процес на привличане

Кондензаторът е зареден до начално напрежение U_0 и в момента $t = 0$ се включва към намотката. От този момент са в сила уравненията:

$$\frac{q(t)}{C} + W_y \frac{d\Phi_y(t)}{dt} = 0$$

$$\Phi_y(t) = \frac{W_y \frac{dq}{dt}}{\frac{\Delta}{S_{\Delta} \mu_0} + \frac{2X}{S_k \mu_0}}$$

$$\frac{[\Phi_y(t) + \Phi_{01k}]^2}{S_k \mu_0} = M \left(g - \frac{d^2 X}{dt^2} \right)$$

При начални условия:

$$q(0) = U_0 C$$

$$\left(\frac{dq}{dt} \right)_{t=0} = 0 \text{ или } \Phi_y(0) = 0$$

$$X(0) = X_{\max}$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{t=0} = 0,$$

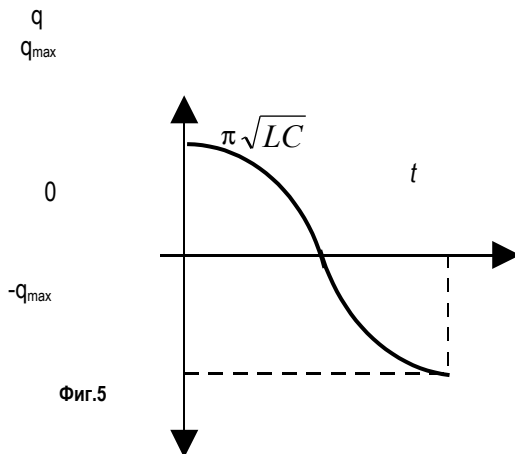
където: $\Phi_y(t)$ е потокът през въздушната междина Δ , създаден от управляващия ток $i = \frac{dq}{dt}$, а $q(t)$ е зарядът

на кондензатора. За да се избегне допълнително усложняване, с цената на малка грешка, времето от момента на включване $t = 0$ до момента в който подемната сила надмине теглото на котвата е пренебрегнато. Написаната система диференциални уравнения е нелинейна и аналитичното ѝ решение е невъзможно. Компютърното решение също е обемисто и не дава обзорими резултати, удобни за практически изводи.

Съществуват частни случаи, възможни на практика, които могат да създадат представа за характера на процесите и на най-важните зависимости между параметрите, които подлежат на определяне.

Най-лесен за изследване е случаят, при който електрическият процес (протичане през управляващата намотка на първата полувазна на тока) завършва преди котвата да е получила забележимо изменение на координатата X ($X \approx X_{\max}$), но при това, котвата е получила достатъчна скорост, така че по инерция да достигне до полюсите на електромагнита. В този случай явленията се описват със следните уравнения:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0; \left(\frac{L}{W_y} \frac{dq}{dt} + \Phi_{01k} \right)^2 \cdot \frac{1}{S_k \mu_0} = M \left(g - \frac{d^2 X}{dt^2} \right)$$



където M е масата на котвата, а $L = W_y^2 \cdot \left(\frac{\Delta}{S_k \mu_0} + \frac{2X_{\max}}{S_k \mu_0} \right)^{-1}$.

Начални условия:

$$q(0) = U_0 C; \left(\frac{dq}{dt} \right)_{t=0} = 0; X(0) = X_{\max}; \left(\frac{dX}{dt} \right)_{t=0} = 0.$$

При това, тъй като тук е прието, че токът $i = \frac{dq}{dt}$ се анулира преди координатата X да е получила забележимо изменение за някакво малко време Δt , второто диференциално уравнение може да се интегрира в граници от 0 до Δt , при което се получава:

$$\frac{1}{S_k \mu_0} \int_0^{\Delta t} \left(\frac{L}{W_y} \frac{dq}{dt} + \Phi_{01k} \right)^2 dt = M(g \Delta t + V_k)$$

(уравнение А)

Тук V_k е скоростта, получена от котвата в посока нагоре в края Δt на преходния процес за да достигне котвата до полюсите, т.е. за да се получи $X \approx 0$ е необходимо да се изпълни условието $V_k = \sqrt{2gX_{\max}}$, където g е земното ускорение.

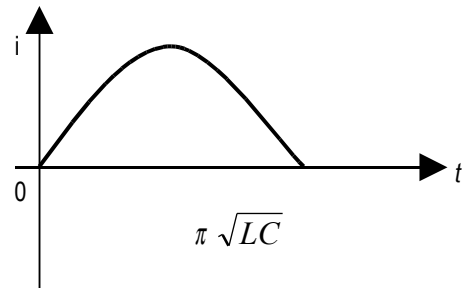
Решаването на диференциалното уравнение за заряда q при написаните начални условия дава следния израз:

$$q = U_0 C \cos \Omega t, \text{ където } \Omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ като за}$$

положителна е приета поляриността на заряда в C , показана на фигурата. Ако за положителна се приеме посоката на тока на разреждане се получава:

$$i = \frac{U_0}{\sqrt{L}} \sin \Omega t. \text{ Тъй като разреждането се осъществява}$$

през отпушен тиристор, формулите са валидни докато токът е положителен (на разреждане), т.е. за $0 \leq t \leq \pi \sqrt{LC} = \Delta t$.



Във формула (А) се замества $\frac{dq}{dt} = i$ и поради малката стойност на Δt величината $g\Delta t$ се пренебрегва пред V_k . Така се получава:

$$\frac{\pi U_0^2}{2W_y^2} (LC)^{\frac{3}{2}} + 2U_0 LC \Phi_{01k} + \pi \Phi_{01k} \sqrt{LC} \geq M \sqrt{2qX_{\max}} S_k \mu_0.$$

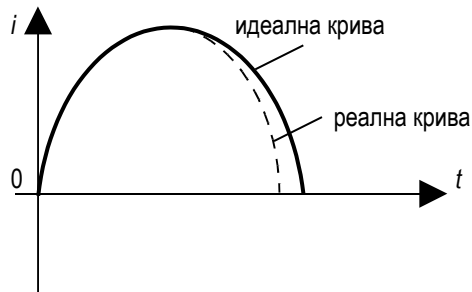
Написаната формула е точна при: $\sqrt{\frac{2X_{\max}}{g}} \gg \pi \sqrt{LC}$.

Въпреки направените опростяващи предположения полученият израз е неудобен за практическо определяне на параметрите U_0 , C и W_y при зададена геометрия на магнитната система. По-прост и удобен израз може да се получи, ако се пренебрегне потокът Φ_{01k} . Така се получава по-силно неравенство, което гарантира с по-голяма сигурност привличането на котвата:

$$\frac{\pi U_0^2}{2W_y^2} (LC)^{\frac{3}{2}} \geq M \sqrt{2gX_{\max}} S_k \mu_0$$

като се вземе предвид, че $L = \frac{\mu_0 W_y^2}{\frac{\Delta}{S_{\Delta}} + \frac{2X_{\max}}{S_k}}$ се получава:

$$\pi U_0^2 W_y C^{\frac{3}{2}} \left(\frac{S_{\Delta}}{\Delta S_k + 2X_{\max} S_{\Delta}} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\mu_0 S_k} \geq 2\sqrt{2} M \sqrt{gX_{\max}}$$



Фиг. 7.

Г. Процес на отпускане на котвата

Целта на процеса е да се отклони почти целия поток, привличащ котвата и създаден от постоянния магнит през въздушната междина Δ на магнитния шунт. За целта през управляващата намотка W_y се пропуска краткотраен токов импулс с посока, обратна на посоката при привличането на котвата. Големината на тока се определя от изказа:

$$W_y i = \Phi_{02k} \cdot \frac{\Delta}{\mu_0 S_{\Delta}}.$$

Продължителността на токовия импулс трябва да бъде поне 50 ms, тъй като за такова време котвата под действие на тежестта си се отделя от полюсите на около 1 cm.

Създаването на такъв импулс е най-лесно чрез включване на постоянно напрежение със съответната големина и полярност към управляващата bobина.

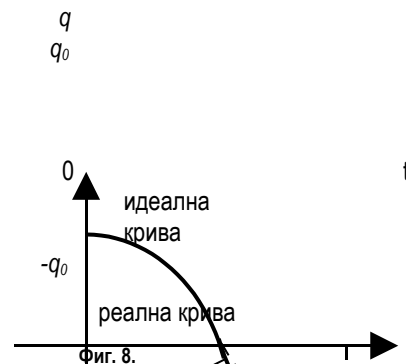
От направения анализ се вижда, че поставената задача има много решения, т.е. различни групи от стойности на U_0 , C , W_y при които се осигурява привличане на котвата.

Енергиен баланс на процеса на привличане

При направените опростяващи предположения, които водят до процес, описан с фигури 5 и 6 се получава противоречие със закона за съхранение на енергията. От фиг.5 се вижда, че в края на процеса енергията на кондензатора е равна на началната му енергия, тъй като напрежението му по абсолютна стойност в края на процеса е равно на началното. Тогава възниква въпросът откъде се е получила енергията, необходима за повдигане на котвата $\Delta E = MgX_{\max}$. Обяснението е следното. При направените предположения е пренебрегнато противо е.д.н., предизвикано от движението на котвата, което увеличава индуктивността на бобината W_y . Това противо електродвижещо напрежение е малко и за приблизителни изчисления може да се пренебрегне, но ако се прави точен баланс трябва да бъде отчетено. Отчитането му показва, че формата на разрядния ток се отличава от точната форма на синусоидална полуълна, както това е показано на фиг.7. Това води и до изменение на кривата на заряда, показано на фиг.8. Получените отклонения са малки, но напълно отговарят на баланса на енергиите, тъй като енергията, натрупана в кондензатора в началото на процеса е два порядъка по-голяма от енергията, необходима за повдигане на котвата.

В. Процес на задържане на привлечената котва.

Процесът е стационарен и елементарен за изчисление.



Фиг. 8.

Недостатък на конструкцията: теглото на електромагнита е увеличено примерно два пъти в сравнение с известните конструкции. ~~Като се има предвид, че съвременните постоянни магнити могат да задържат товари десетки и стотици пъти по-големи от собственото им тегло, този недостатък не е съществен.~~

Предимство на конструкцията: повишена сигурност при задържане на товара и повишена притегателна сила в момента на привличане на котвата.

Литература

Александров, А.К., Електрически апарати, част I, Електромагнитни и топлинни проблеми, С., ХЕРОН ПРЕС ООД, С., 2002.

Александров, А.К., Електрически апарати, С., Издателство на ТУ-София, 1999.

Препоръчана за публикуване от Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ