

STUDIUL DECLANȘATORULUI ELECTRODINAMIC PE BAZA METODEI ELEMENTULUI FINIT

D.Olaru

F.Calin

Universitatea Politehnica București

Abstract

The presented paper is focused on the optimization problem for the devices based on the action of the magnetic field implied forces. The Thomson trigger device is a special one, having high speed performances, compared with other types of similar devices. These are possible when it is used the interaction between a planar excitation winding and a massive conducting armature. The operating performances are depending on the geometrical configuration, the inertial masses involved and the control current variation. Because the presence of the magnetic field acting in continuum domains, a correct operating analysis must apply a fundamental equations mathematical model. In our case, the Finite element method is chosen. This enables the magnetic field determination, the estimation of the induced current densities and the useful magnetic resulting force. For our purposes, it is chosen a simplified, conventional configuration, but which enables to derive some optimization criteria. Because the restrictions imposed by the Finite element method program, it is impossible to use a direct approach for the problem solving. For this, we must estimate the useful force occurred when the control current has a step type variation. But our strategy decomposes the initial problem in a succession of instances, using different frequencies for the control currents. Thus, by this working mode, interesting conclusions may be derived, because an aperiodical current variation may be decomposed in an infinite sum of periodic signals.

1. INTRODUCERE

Declanșatoarele electrodinamice reprezintă dispozitive de acționare performante, utilizate în instalații electrice speciale. Deși, din punct de vedere mecanic, au o construcție simplă, obținerea prametrilor maximali pune încă probleme deosebite.

Lucrarea prezentată încearcă să abordeze problema optimizării acestui dispozitiv. Funcționarea acestuia se bazează pe apariția unei forțe electrodinamice, în regim tranzitoriu. Câmpul magnetic evoluează într-un corp masiv, unde apar curenți induși, similari celor turbionari, cu o distribuție continuă. Aceste considerente impun ca analiza dispozitivului să facă apel la un model matematic bazat ecuații generale. Din fericire, în prezent, există instrumente evaluate de calcul numeric, cum este Metoda elementului finit. Deși aceasta permite rezolvarea mai multor tipuri de probleme, totuși abordarea unui caz concret implică o serie de particularizări și ipoteze simplificatoare.

În continuare va fi prezentat modelul fizic utilizat, deosebirile față de o reprezentare riguroasă și modul de analiză a fenomenelor. Scopul urmărit este căutarea unor conexiuni conceptuale între aspectele geometrice, alegerea materialului și modul de comandă.

2. MODELUL FIZIC

Fără a reduce generalitatea problemei, pentru simplificarea analizei, se va lua în considerare o configurație elementară, care să conțină numai părțile esențiale. În Fig.1 este reprezentată, simplificat, o secțiune a armăturii mobile, din material conductor și a bobinei plate de excitație. Forța de respingere ia naștere datorită interacțiunii dintre curentul de excitație și curenții induși în armătura conductoare. Structura inițială este tri-dimensională. Totuși, pentru a simplifica rezolvarea, se va utiliza aproximația bi-dimensională, plan-paralelă.

Aceasta, evident nu va conserva distribuția curentului de excitație și a curenților induși. Totuși, caracteristicile interacțiunii prin câmp magnetic, dintre aceștia, se vor păstra, permițând aplicarea destul de riguroasă, a criteriilor de optimizare.

Datele problemei constau în geometria domeniului de calcul, constantele de material și distribuția curentului de excitație. Obiectivul final este determinarea forței de respingere. Analiza corelației dintre valoarea obținută, datele de intrare și forma distribuției de curent indus, permit deducerea unor criterii de optimizare. Acestea urmăresc reducerea cantității de material utilizate, configurația geometrică optimă și modul de variație a curentului de comandă.

Reducerea cantității de material nu reprezintă numai un deziderat economic. Aceasta antrenează o reducere a masei armăturii modile și, implicit, o micșorare a inerției acesteia, deci, o mărire a vitezei de acțiune. Aceasta este cel mai important parametru al declanșatorului electrodinamic.

Funcționarea dispozitivului se bazează, în mod esențial, pe distribuția de curent indus în structura conductoare. Aceasta este definită local de vectorul densității de curent \mathbf{J} . În aproximația bi-dimensională, acest vector va fi inclus în planul domeniului de calcul, față de care curenții de excitație și cei induși sunt ortogonali. Domeniul de calcul trebuie să țină seama de toate fenomenele de câmp caracteristice problemei. De aceea, acesta trebuie să includă întreaga structură, frontiera sa fiind plasată la o distanță suficient de mare, astfel încât, parametrii de câmp să devină neglijabili. Condiția de frontieră aleasă în acest caz, consideră potențialul magnetic vector \mathbf{A} , ca fiind nul. Prezența materialelor cu proprietăți diferite este specificată prin valoarea constantelor de material, definite pentru anumite subdomenii. În cazul nostru avem proprietăți conductoare pentru zona secțiunii bobinei de excitație și pentru armătura mobilă.

3. MODELUL MATEMATIC

Modelul matematic utilizează aproximația discretă rezolvată cu Metoda elementului finit. Aceasta se bazează pe divizarea domeniului de calcul în elemente triunghiulare (în acest caz). Pentru acestea este definită baza de funcții, utilizate pentru reprezentarea soluției discrete. În situația obișnuită, aceste funcții se aleg cu variație liniară, având fiecare dintre ele, valoarea maximă în nodul corespunzător și valoare nulă în nodurile vecine. De aceea, mai poartă numele și de funcții piramidale. Se pot utiliza însă, și baze de funcții cu variație polinomială de ordin superior, a căror domeniu de definiție implică mai multe noduri. Nodurile rețelei de discretizare coincid cu vârfurile subdomeniilor triunghiulare.

Rezolvarea, presupune calculul eșantioanelor soluției. În cazul nostru, este căutată distribuția curenților induși, în zona conductoare, sub forma componentelor vectorului densității de curent. Aceștia, la rândul lor, influențează distribuția de câmp. Forța ponderomotoare poate fi calculată cu ajutorul integralei tensorului lui Maxwell, pe conturul susceptibil la deplasare, în zona câmpului util.

Precizia rezolvării este determinată, în special, de relația între viteza de variație a soluției exacte, față de poziția în domeniu, și dimensiunea maximă a subdomeniului triunghiular corespunzător. Aceasta are loc deoarece variația soluției este aproximată ca o variație liniară, la nivelul fiecărui subdomeniu. Cu cât, pentru o anumită porțiune, numărul subdomeniilor este mai mare, cu atât soluția aproximativă obținută poate varia mai rapid.

4. REZULTATE NUMERICE

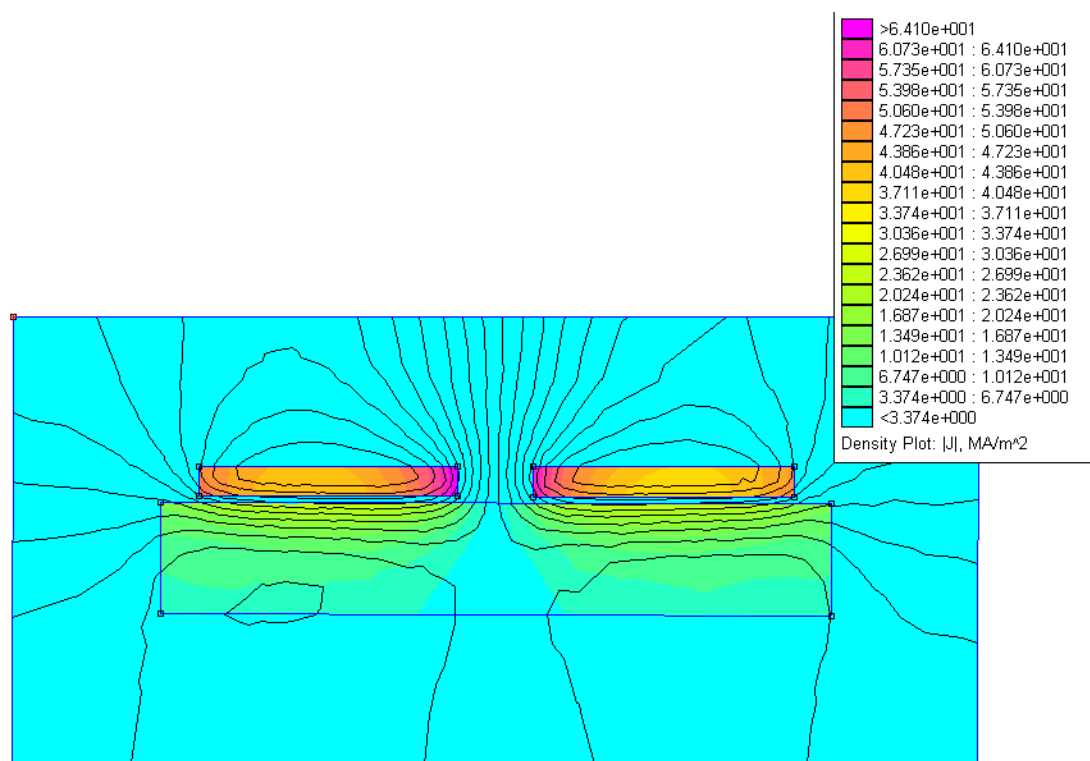


Fig.1. Configurația câmpului magnetic și a distribuția densității de curent în modul (100Hz).

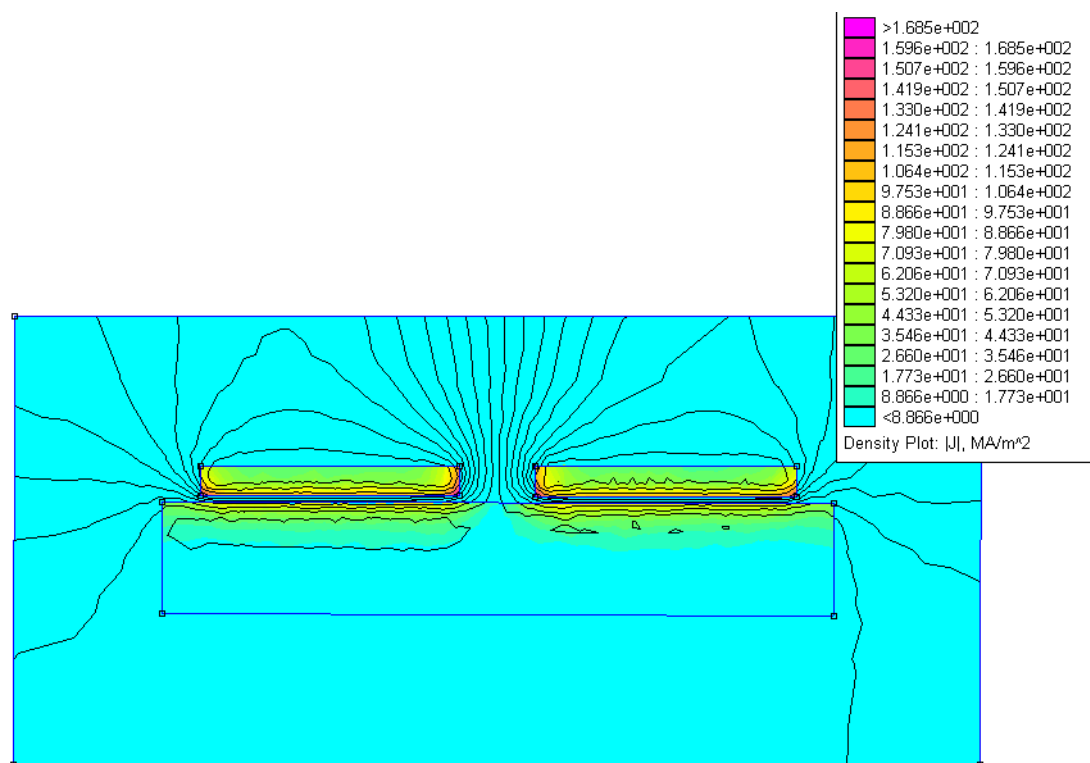


Fig.2. Configurația câmpului magnetic și a distribuția densității de curent în modul (1000Hz).

In Fig.1 este prezentată configurația geometrică a domeniului de calcul. Aceasta include secțiunea armăturii mobile, realizată din aluminiu masiv. Înfașurarea de excitație, sub forma unei bobine plate, este reprezentată de două pânze de curent, cu sensuri contrare.

In Fig.1 și Fig.2 sunt prezentate rezultatele rezolvării numerice, pentru problema specificată mai sus, pentru un curent de excitație cu frecvența de 100Hz, respectiv 1000Hz. Configurația câmpului magnetic este redată sub formă de linii de forță, iar distribuția densității de curent, în valoare absolută, este reprezentată sub formă de nuanțe de culoare, corespunzătoare legendei alăturate.

Analiza rezultatelor, pentru cele două situații, relevă aspectele următoare. Atât valoarea densității curenților induși, cât și adâncimea de pătrundere a acestora, depinde de frecvența de excitație. Rezultă că, dacă această frecvență crește, valoarea curenților induși crește, dar adâncimea de pătrundere a acestora scade, odată cu distanța de interacțiune dintre acestea. Ambele fenomene ar avea drept consecință creșterea forței rezultante. Totuși, acest efect poate să nu aibă evoluția așteptată, din următorul considerent. Creșterea densității de curent, într-o zonă îngustă, duce la mărirea puterii disipate și la un efect de mărire a rezistenței echivalente în zona de evoluție a curenților. Aceasta are ca rezultat micșorarea eficienței de funcționare a declanșatorului.

Analiza funcționării s-a făcut pentru anumite frecvențe fixe ale curentului de excitație. In cazul real evoluția acestuia este de tip treaptă. Aceasta conține, de fapt, un spectru de frecvențe continuu și extins. In realitate însă, evoluția curentului are o creștere cu viteză finită, datorită inductanței bobinei de excitație. Rezultă un conținut mai mult sau mai puțin bogat în frecvențe înalte. Viteza de evoluție este determinată, în mod hotărâtor, și de circuitul de comandă. Prin creșterea tensiunii sursei se poate spori viteza de creștere a curentului.

Rezultă că eforturile de creștere a pantei curentului, mai ales că acestea sunt costisitoare, trebuie să fie justificate de o mărire corespunzătoare a forței.

Din cele specificate mai sus, rezultă următoarele criterii de optimizare:

- zona armăturii solide trebuie să acopere zona de evoluție a curenților induși;
- forma de evoluție a curentului de comandă trebuie corelată cu reducerea adâncimii de pătrundere a curenților induși și cu creșterea forței utile;
- secțiunea conductoarelor de comandă trebuie adaptată distribuției densității de curent.

5. CONCLUZII

Lucrarea prezentată a avut ca scop aplicarea Metodei elementului finit, pentru determinarea câmpului magnetic și a altor mărimi implicate, în scopul stabilirii unor criterii de optimizare pentru declanșatorul electro-dinamic. S-au identificat astfel caracteristicile specifice acestui mod de lucru. Aspectul cel mai important este separarea analizei pentru componente de frecvențe diferite. Se poate astfel stabili o dependență între creșterea forței și a frecvenței componentelor de curent. Urmărind criterii economice, se poate alege corect pragul de saturație al acesteia.

REFERENCES

- [1] *G.Hortopan* – Aparate de comutație, vol.1, Ed.Tehnică, București 1993.
- [2] *G.Mândru, M.Rădulescu* – Analiza numerică a câmpului electro-magnetic, Ed.Dacia 1986.
- [3] *G.Strang, G.Fix* – An analysis of the Finite Element Method, Prentice-Hall, 1973
- [4] *V.Olariu, C.Bratianu* – Modelarea numerică cu elemente finite, Ed.Tehnică, București 1986.
- [5] *G.I.Marciuk* – Metode de analiză numerică, Ed.Academiei R.S.R. 1983.