

II KONFERENCJA ENTUZJASTÓW INFORMATYKI CHEŁM 2003

Jolanta Gancarz

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie; kod 38 – 400 Krosno

tel: (013) 43 755 70; E – mail jsmg@poczta.onet.pl

Komputerowa symulacja pierwszej fazy wyładowania układu elektrohydrodynamicznego

Jolanta Gancarz

Streszczenie

W artykule został opisany proces modelowania efektu elektrohydrodynamicznego wykorzystywany do wzbudzania fali sejsmicznej. Efekt elektrohydrodynamiczny występuje podczas wyładowania elektrycznego w wodzie pod wpływem wysokiego napięcia doprowadzonego impulsowo z baterii kondensatorów do jednostkowej objętości przewodnika. Przy dostatecznie szybkim dostarczeniu mocy elektrycznej do ograniczonej objętości przewodnika towarzyszą zjawiska związane z transformacją energii elektrycznej w energię mechaniczną uderzeniowej fali ciśnienia, która może być wykorzystana jako źródło fali sejsmicznej.

W artykule przytoczono model matematyczny efektu elektrohydrodynamicznego w rozbiciu na trzy fazy. Ponadto opisano zagadnienie zależności poboru energii od parametrów drutu.

W pracy uzyskano rezultaty modelowania pierwszej fazy zjawiska eksplozji drutu. Zweryfikowano rezultaty modelowania z danymi zarejestrowanymi na stanowisku polowym.

Summary

That article describes the process of modelling the electrohydrodynamic effect which is used to arouse seismic wave. The electrohydrodynamic effect occurs during electric discharge in the water with the influence of high tension. That high tension is brought from the condenser battery to the unit content of conductor. When the electric power is brought fast enough to limited content of conductor, the occurrences connected with transformation of electric energy into mechanical energy occur. It can be used as the source of seismic wave. In that article a-three-stage mathematic model of electrohydrodynamic effect is mentioned.

Besides the issue of dependence in taking energy and parameters of wires are described.

In this work the results of modeling the first stage of occurrence the wire explosion are acquired. The results of modeling are verified with datas entered on the field.

1. Wstęp

W artykule został opisany proces modelowania efektu elektrohydrodynamicznego wykorzystywany do wzbudzania fali sejsmicznej.

Efekt elektrohydrodynamiczny występuje podczas wyładowania elektrycznego w wodzie pod wpływem wysokiego napięcia doprowadzonego impulsowo z baterii kondensatorów do jednostkowej objętości przewodnika. Przy dostatecznie szybkim dostarczeniu mocy elektrycznej do ograniczonej objętości przewodnika towarzyszą zjawiska związane z transformacją energii elektrycznej w energię mechaniczną uderzeniowej fali ciśnienia, która może być wykorzystana jako źródło fali sejsmicznej [4].

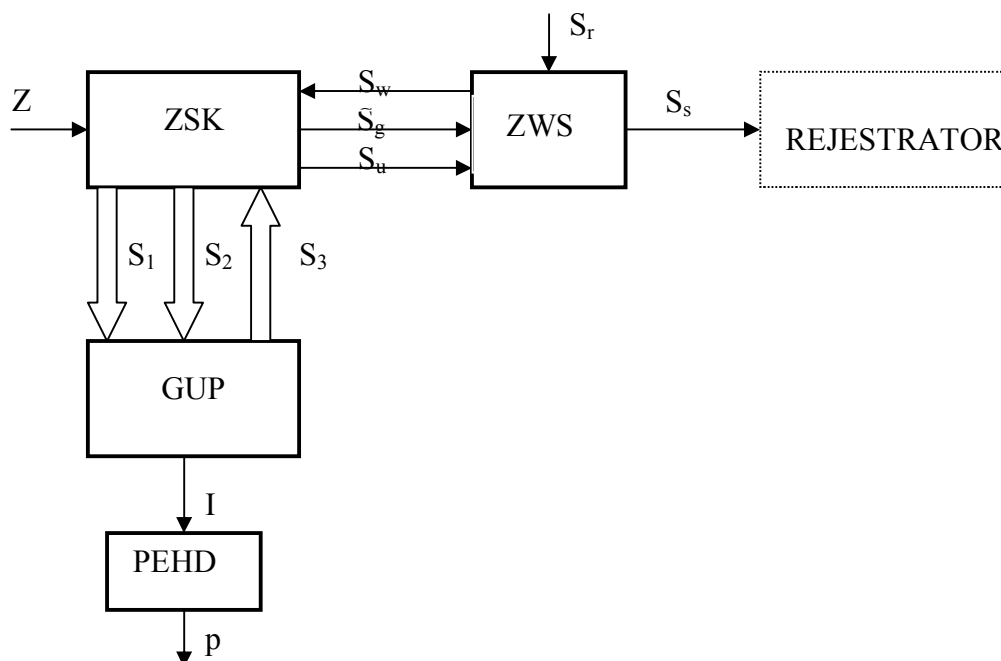
Zmiana wielkości elektrycznych obwodu rozładowania oraz wielkości mechanicznych przetwornika energii pozwala na uzyskanie żądanych parametrów sygnału wyjściowego (amplituda, pasmo częstotliwości).

Zasada działania elektrohydrodynamicznego generatora fali sejsmicznej

Elektrohydrodynamiczny generator fali sejsmicznej jest urządzeniem, w którym wykorzystuje się efekt elektrohydrodynamiczny polegający na wytworzeniu uderzeniowej fali ciśnienia podczas inicjowanego przy wysokim napięciu wyładowania elektrycznego typu iskrowego pomiędzy elektrodami zanurzonymi w wodzie lub na drodze elektroeksplozji przewodnika elektrycznego. Zasobnikiem energii dla uzyskania efektu elektrohydrodynamicznego jest bateria kondensatorów impulsowych wysokiego napięcia.

Urządzenie składa się z generatora udarów prądowych wysokiego napięcia, połączonego kablem koncentrycznym wysokiego napięcia z przetwornikiem elektrohydrodynamicznym. Ponadto w skład urządzenia wchodzi układu do zdalnego sterowania generatorem i układ do synchronizacji czasu początku zapisu aparatury rejestrującej fale sejsmiczne z momentem wywołania impulsu sejsmicznego.

Zasadę działania generatora EHD w połączeniu z rejestratorem fali sejsmicznej, przedstawia poglądowo schemat blokowy na rys. 1[1].



Rys. 1 Schemat blokowy elektrohydrodynamicznego generatora fali sejsmicznej.

Oznaczenia:

Z – zasilanie 220V, 50Hz, 300VA,

ZSK – podzespół zasilania, sterowania i kontroli generatora,

GUP – generator udarów prądowych,
PEHD – przetwornik elektrohydrodynamiczny,
ZWS – podzespół zdalnego wyzwalania generatora i synchronizacji aparatury rejestrującej, z momentem wzbudzenia fali sejsmicznej,
REJESTRATOR – cyfrowy rejestrator sygnałów sejsmicznych,
 S_1 – tory zasilania napięciami prądu stałego 220V i 24V,
 S_2 – tory sygnałów sterowania i wyzwalania generatora udarów prądowych,
 S_3 – tory sygnałów kontroli pracy generatora GUP i synchronizacji dla aparatury rejestrującej,
 I – udarowy prąd rozładowania generatora,
 p – ciśnienie fali uderzeniowej,
 S_r – sygnał ręczny (przycisk) dla rozładowania generatora GUP,
 S_g – sygnalizacja świetlna stanu gotowości generatora GUP do rozładowania ,
 S_w – sygnał elektryczny do układu zapłonu tyrystorów dla rozładowania generatora GUP,
 S_u – impuls napięcia od prądu rozładowania generatora dla układu synchronizacji,
 S_s – sygnał synchronizacji typu „zwarcie styku” dla rejestratora cyfrowego.

Celem pracy jest modelowanie i komputerowa symulacja zjawiska, którego obrazy dla danych parametrów zostały zarejestrowane na stanowisku polowym.

Jeżeli baterie kondensatorów o dostatecznie dużym zasobie energii rozładować w krótkim czasie poprzez cienki drut, to przepływ prądu wywołuje gwałtowne nagrzanie masy drutu, a następnie wyparowanie o charakterze eksplozji [2]. O możliwościach roboczych fali uderzeniowej otrzymanej w wyniku eksplozji drutu decyduje ilość energii dostarczonej do elementu, który podlega eksplozji. Można wykazać, że dla danego obwodu energia pobrana przez drut zależy od parametrów drutu i że dla określonej średnicy występuje maksimum. Zdolność robocza fali uderzeniowej zależy od średnicy i materiału eksplodującego drutu.

2. Rezultaty obliczeniowe systemu równań różniczkowych

Model matematyczny zgodnie z danymi literaturowymi [3] rozpatruje się w rozbiciu na trzy fazy.

Pierwsza faza obejmująca zjawisko nagrzewania eksplodujących przewodników od T_0 do temperatury płynięcia T_{pl} .

Po nagrzaniu eksplodującego przewodnika do temperatury Θ_{pl} rozpoczyna się proces jego topienia, opisany jako faza topienia eksplodującego przewodnika.

Zakłada się, że proces topienia eksplodującego przewodnika zachodzi izotermicznie

($T = T_{pl}$) a jego termiczne rozszerzenie do czasu topienia jest małe. Topienie przewodnika rozpoczyna się równomiernie na całej powierzchni. Granica rozdzielająca stały metal do roztopionego przesuwa się podczas topienia do osi symetrii przewodnika.

Kolejną fazą jest faza nagrzewania roztopionego przewodnika od T_{pl} do temperatury wrzenia T_{wrz} .

Przy rozpatrywaniu fazy nagrzewania eksplodującego przewodnika wyżej temperatury topienia będziemy brać od uwagę tylko jego radialne rozszerzenie, a także zmianę indukcyjności eksplodującego przewodnika.

Efekt elektrohydrodynamiczny można symulować komputerowo metodą Rungego – Kuty czwartego rzędu. W tym celu równania różniczkowe opisujące zjawisko elektrohydrodynamiczne formalnie można przedstawić za pomocą następującego systemu równań [3]:

$$\frac{di}{d\tau} = \frac{1}{l_k + l_{pr}} \left[u - \alpha_0 i (a_k + z_{pr} + \frac{\Delta l_{pr}}{R} k_v M i^2) \right], \quad (1)$$

$$\frac{du}{d\tau} = -i, \quad (2)$$

$$\frac{d\Theta}{d\tau} = 2 B \alpha_0 M i^2, \quad (3)$$

$$\frac{dv}{d\tau} = \frac{k_v \alpha_0}{\sqrt{R^3}} M i^2 - A \frac{\alpha_0 a_p k_{pl} P}{v N h_{\Theta pl}} i^2, \quad (4)$$

przy czym

$$\left. \begin{aligned} P &= 1 + c_1 (n_{\Theta} \Theta - 1), & Q &= 1 + c_2 (n_{\Theta} \Theta - 1), \\ N &= [(1 + k_{pl}) v^2 - 2v] D + 1, & l_{pr} &= l_p + \frac{\Delta l_{pr}}{2} \ln R, \\ R &= 1 - k_v (n_{\Theta} \Theta - 1), & z_{pr} &= a_p k_{pl} \frac{PQR}{N}, \\ M &= \frac{z_{pr}}{q_0 [1 + b_1 (2n_{\Theta} \Theta - 1)]}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

gdzie: τ - czas; u - napięcie na okładzinach kondensatora; i – prąd w obwodzie wyładowania;
 Θ - temperatura; v – promień eksplodującego przewodnika; $l_k, l_p, a_k, a_p, q_0, \alpha_0, h_{\Theta pl}$ –
 bezwymiarowe współczynniki

Należy także zabezpieczyć wypełnienie następujących równań i warunków początkowych:

- dla pierwszej fazy ($0 \leq \tau \leq \tau_1$) - fazy nagrzewania eksplodującego drutu od temperatury T_0 do temperatury płynięcia T_{pl} :

$$\text{przy } \tau = 0 \begin{cases} u = 1, & \Theta = 1, \\ i = 0, & v = 1. \end{cases} \quad (6)$$

$A = 0, B = 1, D = 1, n_{\Theta} = 1$, a także formalnie przyjmuje się $\Delta l_{pl} = 0, k_{\gamma} = 0, c_2 = 0, k_{pr} = 1$;

- dla drugiej fazy ($\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$) - fazy płynięcia eksplodującego drutu:

$$\text{przy } \tau = \tau_1 \begin{cases} u = u_{\tau_1}, & \Theta = \Theta_{pl}, \\ i = i_{\tau_1}, & v = 1, \quad \xi = 1. \end{cases} \quad (7)$$

$A = 1, B = 0, D = 1, n_{\Theta} = \Theta_{pl}/\Theta$, a także formalnie przyjęto $\Delta l_{pr} = 0, k_{\gamma} = 0, c_2 = 0$,

- dla trzeciej fazy ($\tau_2 \leq \tau \leq \tau_3$) - fazy nagrzewania roztopionego drutu od T_{pl} do temperatury wrzenia T_{wrz}

$$\text{przy } \tau = \tau_2 \begin{cases} u = u_{\tau_2}, & \Theta = \Theta_{pl}, \\ i = i_{\tau_2}, & v = 1, \quad . \end{cases} \quad (8)$$

$A = 0, B = 1, D = 0, n_{\Theta} = \Theta_{pl}/\Theta$.

W przypadku bardzo cienkich drutów już stosunkowo małe prądy wystarczają do nagrzania drutu do temperatury wrzenia i przegrzania. Drut eksploduje zanim osiągnie określone maksimum wynikające z parametrów obwodu i drutu. Ponieważ masa drutu jest mała, zatem tylko nieznaczna część energii zgromadzonej w zasobniku (bateriach kondensatora) może być pobrana przez drut i przetworzona na energię fali uderzeniowej, a pozostała energia idzie na straty w następczym wyładowaniu gazowym.

W miarę wzrostu średnicy drutu relacje stają się korzystniejsze, ponieważ rośnie zarówno masa drutu jak i ciśnienie elektromagnetyczne stabilizujące masę drutu. Maksymalny pobór energii występuje w przypadku drutu o średnicy, przy której pokrywają się chwile przegrzania drutu i maksimum prądu. Wówczas wielkie ciśnienie elektromagnetyczne zapewnia długotrwałą stabilizację masy drutu i umożliwia przez to silne przegrzanie. Ponieważ nagrzewana masa jest duża, znaczna część nagromadzonej energii zostaje wyzwolona przez eksplodujący drut. Jeszcze dalej powiększając średnicę drutu, to nagromadzona energia nie starczy nawet do przegrzania drutu, w końcu nie starczy jej nawet do osiągnięcia temperatury wrzenia materiału [2].

Rezultaty modelowania pierwszej fazy zjawiska elektrohydrodynamicznego.

Rys. 2 przedstawia efekty rozwiązania równań (1) – (4) z początkowymi warunkami (6) z następującymi wartościami bezwymiarowych współczynników: $l_K = 0,9828$; $l_p = 0,0172$; $a_K = 0,9155$; $a_p = 0,0845$; $\alpha_0 = 0,1304$; $q_0 = 0,00179$; $h_{\text{opl}} = 0,003735$, co odpowiada parametrom wykorzystanym w eksperymentalnych ustawieniach: $C_0 = 9\mu\text{F}$, $L_{0K} = 3,58\mu\text{H}$, $R_{0K} = 0,075\Omega$ przy eksplozji miedzianego przewodnika o średnicy $2r_0 = 0,38$ mm, długości 50mm w wodzie przy $V_0 = 25\text{kV}$. Przy obliczeniach przyjęto $T_0 = 293$ K; $T_{pl} = 1356$ K; $\gamma_0 = 8,93 \cdot 10^3$ kg/m³; $H_m = 21,39 \cdot 10^4$ J/kg; $\mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7}$ H/m; $k_{pl} = 2,1$.

czas		prąd	napięcie	temperatura
0.690t		u 0.000000	1.000000	1.000000
0.720t	i	u 0.029948	0.999625	1.000069
0.750t	i	u 0.059756	0.998354	1.000744
0.780t	i	u 0.089399	0.996191	1.002680
0.810t	i	u 0.118850	0.993140	1.006528
0.840t	i	u 0.148083	0.989209	1.012950
0.870t	i	u 0.177073	0.984404	1.022625
0.900t	t	u 0.205794	0.978732	1.036274
0.930t	t	u 0.234220	0.972203	1.054681
0.960t	t	u 0.262327	0.964824	1.078725
0.990t	t	u 0.290089	0.956607	1.109415
1.020t	t	u 0.317481	0.947561	1.147936
1.050t	t	u 0.344478	0.937699	1.195706
1.080t	t	u 0.371056	0.927031	1.254450
1.110t	t	u 0.397188	0.915572	1.326286
1.140t	t	u 0.422851	0.903335	1.413847
1.170t	t	u 0.448017	0.890334	1.520429
1.200t	t	u 0.472662	0.876585	1.650188
1.230t	t	u 0.496757	0.862103	1.808403
1.260t	t	u 0.520276	0.846906	2.001812
1.290t	t	u 0.543187	0.831010	2.239070
1.320t	t	u 0.565459	0.814435	2.531352
1.350t	t	u 0.587056	0.797200	2.893161
1.380t	t	u 0.607940	0.779326	3.343412

Rys2. Przebiegi uzyskane w drodze modelowania metodą Rungego – Kuty.

Poszczególne wykresy na rys.2 przedstawiają: napięcie na okładzinach kondensatora u , natężenie prądu w obwodzie wyładowania i , temperaturę t .

Podsumowanie

W pracy uzyskano rezultaty modelowania pierwszej fazy zjawiska eksplozji drutu. Dokonano weryfikacji efektów modelowania poprzez analizę uzyskanych wykresów natężenia prądu z obrazami natężenia prądu i ciśnienia zarejestrowanymi na oscyloskopie podczas badań polowych. Uzyskane efekty modelowania potwierdzają także dane literaturowe [3]. W toku dalszych badań przewiduje się symulacje dla drugiej fazy zjawiska.

Literatura

- [1] M. Duszyńska J. Staszczak, Zastosowanie elektrohydrodynamicznego generatora fali sejsmicznej w geologii inżynierskiej, Biul. Inf. Geofizyka, 1979, nr 2.
- [2] W. Bertoldi, H. Kressner, R. Winkler, O poborze energii przez eksplodujące druty i porównanie z wyładowaniami iskrowymi w wodzie, Przegląd elektrotechniczny, lipiec 1967.
- [3] N. N. Stołowicz, Elektrowzrywyne přeobrazowatieli energii, Nauka i Technika, Mińsk, 1983.
- [4] J. Staszczak, J. Gancarz, Urządzenie elektrohydrodynamiczne do wzbudzania drgań sejsmicznych, Zgłoszenie patentowe nr P-351 418 z mocą od dnia 28.12.2001r.
- [5] J. Staszczak, J. Gancarz, Iskiernik sterowany, Zgłoszenie patentowe nr P-355 248 z mocą od dnia 29.07.2002r.