

Badania symulacyjne generatora szpilekowego mocy dla procesu elektroerozji

Simulation of the needle pulse power generator for EDM process

WOJCIECH MYSIŃSKI

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.78

Międzynarodowa Konferencja IMT 2016

Artykuł przedstawia rozwiązanie układowe generatora mocy EDM, który umożliwia uzyskanie bardzo krótkich impulsów prądu drażenia o bardzo dużych wartościach i o bardzo stromych zboczach. Opisano główną zasadę działania generatora szpilekowego oraz zaprezentowano model takiego generatora wraz z wynikami badań symulacyjnych w programie LTSpice.

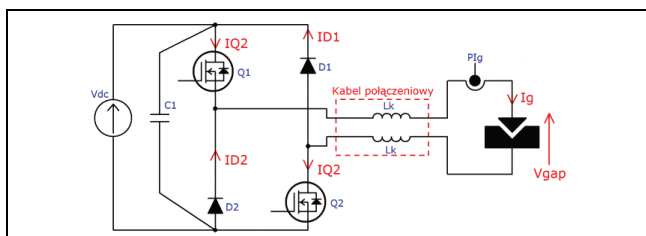
SŁOWA KLUCZOWE: proces elektroerozyjny, generator szpilekowy mocy, symulacja komputerowa, LTSpice.

The paper presents the solution of the EDM power generator, which allows reach very short pulses of current with very high peak value. The paper describes the main principles of operation of the needle generator and presents a model of such a generator with the results of simulation studies in the program LTSpice.

KEYWORDS: EDM process, needle pulse generator, computer simulation, LTSpice

Opis działania generatora szpilekowego

Aby uzyskać krótkie impulsy o bardzo wysokiej wartości prądu w elektrodrążarkach, stosuje się tzw. generator szpilekowy (*ang. needle pulse generator* lub *needle pulse energy source*), którego podstawowy uproszczony schemat przedstawiono na rys. 1. Dla osiągnięcia bardzo dużych wartości prądu, np. od 100 A do 500 A, oraz dla krótkich impulsów rzędu pojedynczych mikrosekund, typowy generator tranzystorowy nie spełnia swojej roli ze względu na duże straty energii. Bardzo krótkie, o dużej wartości szczytowej szpilki prądowej powodują zwiększone zużycie elektrody roboczej w trakcie procesu elektroerozyjnego. Z tego powodu generatory szpilekowe stosowane są głównie w drążarkach małych otworów i wycinarkach drutowych (WEDM), gdzie nie ma problemu ze zużyciem elektrody roboczej. Stromość prądu drażenia w takim układzie zawiera się od 0,1 A/ns do 1 A/ns i jest możliwe osiągnięcie czasów impulsów na poziomie kilkuset nanosekund [2-4].

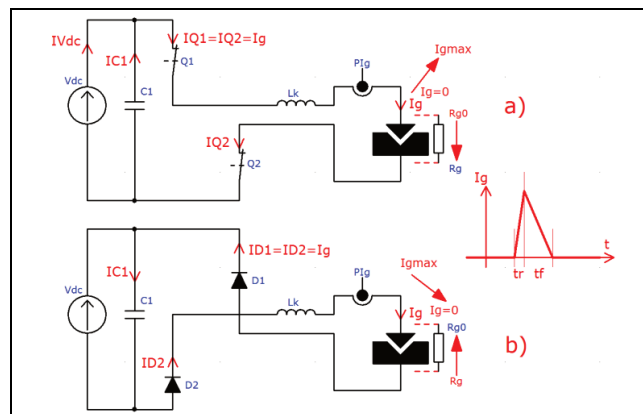


Rys. 1. Podstawowy schemat ideowy generatora szpilekowego

Zaletą zastosowania generatorów szpilekowych jest minimalizacja efektu termicznego w strefie obróbki powierzchni materiału. Jest to spowodowane tym, że czas przewodzenia prądu jest krótki, podobnie jak czas wydzielania ciepła

* Dr inż. Wojciech Mysiński (mysinski@pk.edu.pl) – Instytut Elektrotechniki i Informatyki, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechnika Krakowska

w obrębie strefy obróbki. Gęstość energii cieplnej jest bardzo wysoka przez krótki czas, a tym samym podgrzany materiał zostaje odparowany. Generator szpilekowy wykorzystuje konfigurację asymetrycznego półmostka. Zasada działania układu jest bardzo prosta i opiera się na wykorzystaniu szeregowej indukcyjności, w tym indukcyjności kabla połączeniowego. Na rys. 2 przedstawiono dwa etapy działania generatora. Gdy klucze Q_1 i Q_2 są włączone (sterowanie tranzystorami Q_1 i Q_2 jest wspólne), na szczelinie podawane jest napięcie zapłonu V_{dc} , jeżeli w szczelinie pojawią się sprzyjające warunki, to następuje zapłon, rezystancja szczeliny R_{g0} bardzo szybko maleje do wartości R_g i prąd szczeliny I_g , a tym samym prąd indukcyjności I_{Lk} , szybko rośnie (rys. 2a). Po czasie t_r prąd osiąga wartość maksymalną I_{gmax} i klucze Q_1 i Q_2 zostają wyłączone. Wtedy energia zgromadzona w indukcyjności L_k musi być rozproszona i zaczynają przewodzić diody D_1 i D_2 (rys. 2b) powodując, że prąd szczeliny szybko opada i część energii z indukcyjności kabla jest wykorzystana w szczelinie, a pozostała porcja ładuje kondensator C_1 (podnosi się napięcie na kondensatorze). Dzięki temu energia zgromadzona w kondensatorze C_1 zostanie wykorzystana w następnym cyklu [2].



Rys. 2. Poszczególne etapy pracy generatora szpilekowego

W układzie idealnym szybkość narastania prądu i wartość szczytowa prądu zależą od: napięcia zasilania V_{dc} , czasu ładowania t_r , warunków obciążenia na szczelinie (spadku napięcia na szczelinie) i oczywiście samej indukcyjności L_k .

$$I_{gmax} = \frac{V_{dc} - V_g}{L_k} * t_r$$

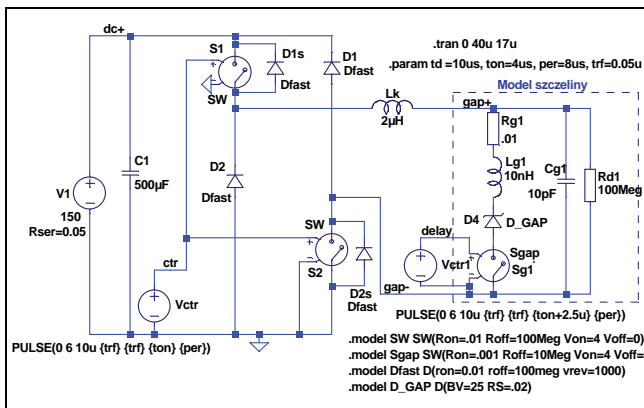
gdzie: V_g – średnie napięcie na szczelinie po zapłonie, ok. 25 V, L_k – indukcyjność szeregową, V_{dc} – napięcie zasilania układu, t_r – czas narastania prądu od momentu zapłonu.

Przy tak krótkich impulsach prądu o tak dużej wartości szczytowej nie da się pominąć rezystancji pasożytniczych w obwodzie. Będą to głównie: rezystancja kabla zasilającego szczelinę, rezystancje połączeń w układzie mocy,

rezystancja szeregową źródła napięcia, rezystancja szeregową kondensatora oraz spadki napięcia na tranzystorach i diodach. Połączenie kablowe będzie też posiadało pojemność pasywną, która w tym przypadku powinna być jak najmniejsza. Z tego powodu kształt narastania i opadania prądu nie będzie idealnie liniowy, tylko lekko wykładniczy. W takim układzie bardzo trudno jest zmieniać indukcyjność, z tego względu ten typ generatora pracuje ze stałą szybkością narastania prądu, a wartość maksymalną prądu – a tym samym energię rozładowania – kontroluje się czasem włączenia kluczy (czasem narastania prądu t_r). Aby zminimalizować efekt termiczny, zalecany jest krótki czas impulsu, czyli krótki czas narastania prądu, ale to powoduje, że prąd maksymalny jest mniejszy, co przekłada się na mniejszą energię impulsu i mniejszą szybkość obróbki materiału [1, 4].

Symulacja układu generatora szpilekowego

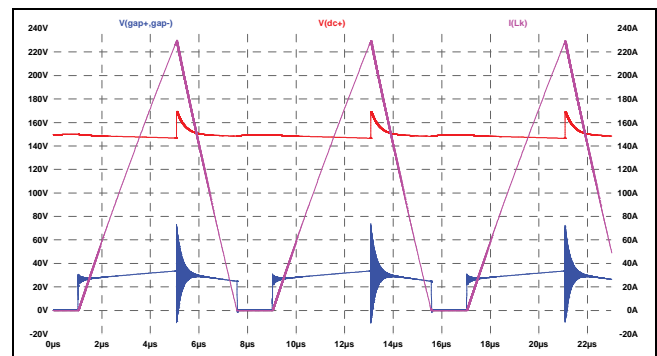
Na rys. 3 przedstawiono schemat ideowy układu generatora wraz z modelem szczeliny międzyelektrodowej, który został zastosowany do symulacji komputerowej w programie LTspice. W celu przyspieszenia symulacji zostały wprowadzone pewne uproszczenia w obwodzie. Tranzystory mocy w tym układzie zostały zastąpione sterowanymi kluczami $S1$ i $S2$, które są sterowane ze źródła napięcia prostokątnego $Vctr$. Stopień mocy generatora jest zasilany ze źródła napięcia stałego $V1$ o wartości 120 V i wewnętrznej rezystancji $Rser = 0,05 \Omega$. Równolegle do zasilania jest wpięty kondensator $C1$, który ma zadeklarowaną pojemność 500 μF , rezystancję szeregową ($rs = 0,01 \Omega$) i indukcyjność szeregową ($ls = 20 \text{ nH}$). Stopień mocy tworzą dwa klucze $S1$ i $S2$ oraz dwie diody $D1$ i $D2$. Diody $D1s$ i $D2s$ reprezentują diody zwrotne, które są umieszczone w tranzystorach mocy, np. typu Mosfet lub IGBT. Element Lk reprezentuje indukcyjność szeregową, która łączy wyjście generatora i szczelinę międzyelektrodową.



Rys. 3. Schemat ideowy generatora wraz z modelem szczeliny międzyelektrodowej w programie LTspice

Obciążeniem generatora jest szczelina międzyelektrodowa, która została zamodelowana jako nieliniowe obciążenie. $Rg1$ i $Lg1$ reprezentują indukcyjność i rezystancję podłączenia, $Cg1$ – pojemność szczeliny, $Rd1$ – rezystancję dielektryka. Model diody Zenera i klucz sterowany $Sg1$ przedstawiają moment zapłonu i spadek napięcia na szczelinie w trakcie wystąpienia procesu elektroerozyjnego. Na rys. 4 przedstawiono przebieg prądu przez indukcyjność $I(Lk)$ i napięcie na szczelinie $V(gap+ gap-)$. Jak można zauważyć, prąd narasta i opada prawie liniowo, a w napięciu na szczelinie pojawiają się przebiegi i oscylacje w momencie włączania/wyłączania kluczy $S1$ i $S2$. Na wykresie zamieszczono przebieg napięcia zasilania $V(dc+)$ i – jak można zauważyć – w momencie wyłączenia kluczy następuje doładowanie kondensatora $C1$. Przy symulacji takich układów mocy należy zadeklarować niektóre parametry pasywności

elementów, aby wyniki były bardziej wiarygodne i zbliżone do tych, które później można otrzymać w urządzeniu rzeczywistym. Dzięki temu można też wcześniej wykryć problemy, jakie pojawiają się w układzie rzeczywistym, np. przepięcia na elementach kluczujących i oscylacje w obwodzie mocy. Główną wadą tej topologii jest zależność napięcia zapłonu od szybkości narastania prądu. Dlatego zalecane jest dołączenie do obwodu mocy modułu tylko do zapłonu (praca równoległa). Może to być prosty układ zasilany wysokim napięciem zbudowany w oparciu o statyczny generator tranzystorowy. Prąd zapłonowy jest dużo mniejszy od właściwego prądu generatora szpilekowego i z tego powodu straty energii nie będą duże.



Rys. 4. Przebieg napięcia na szczelinie $V(gap+, gap-)$, prąd szczeliny $I(Lk)$ i napięcie zasilające $V(dc+)$ w generatorze szpilekowym

Podsumowanie

Na etapie projektowania rzeczywistego generatora przeprowadzono badania symulacyjne stopnia mocy, które potwierdzają możliwość otrzymania krótkich impulsów prądu w trakcie elektrodrążenia. Zaprezentowane wyniki to tylko mały fragment badań symulacyjnych, które należy przeprowadzić, aby w pełni zweryfikować działanie i parametry generatora. Przy projektowaniu i wykonaniu kompletnego zespołu generatora EDM należy jeszcze uwzględnić dodatkowe układy i elementy, aby generator działał poprawnie, np. układ napięcia zapłonu, układ wstępnej polaryzacji szczeliny, możliwość wyłączania generatora w trakcie zwarcia. Podstawowy schemat generatora jest prosty, ale trudny do realizacji, ponieważ szczelina międzyelektrodowa jest obciążeniem typowo nieliniowym, bardzo często występują zwarcia lub brak zapłonu, a to powoduje – w układzie, gdzie jest indukcyjność i do tego bardzo duże stromości i wartości szczytowe prądu – pojawienie się bardzo niebezpiecznych przebiegów i szpilek prądowych. Dlatego należy wstawić do obwodu mocy układy i elementy zabezpieczające tranzystory i diody.

LITERATURA

- Krönig O., Herzig M., Hackert-Oschätzchen M., Kühn R., Zeidler H., Schubert A. „Micro Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide with Ultra-Short Pulse”. *Key Engineering Materials. Material Forming ESAFORM 2015*. Vol. 651:653 (2015): pp. 759:764.
- Läuter M., Casanueva R., Schulze H.P., Azcondo F.J., Wollenberg G. „Development trends of process for special applications of spark erosion”. *Nonconventional Technologies Review*. Vol. 1, No. 1 (2008): pp. 13:20.
- Schulze H.P., Burkert S., Borkenhagen D., Gmelin T., Leone M. „Specification of the Pulse Energy Sources of the Micromachining using Micro-Pulse Electrochemical Machining (μPECM)”. *16th International Symposium on Electromachining (ISEM XVI)*, 2010.
- Wollenberg G., Schulze H.P., Lauter M. „Process energy supply with pulses smaller than 200 ns and their thermal effects on Micro-EDM 200 ns and their thermal effects on Micro-EDM”. *17th International Conference on Computer-Aided Production Engineering (CAPE)*, 2001. ■