Jan MUĆKO

Politechnika Bydgoska, Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki

System generowania ślizgającego się łuku elektrycznego zasilany z falownika w warunkach rezonansu

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne oraz wyniki symulacji i eksperymentów systemu składającego się z przekształtnika AC/DC/DC/AC z wyjściowym falownikiem napięcia, transformatorem wysokiego napięcia i reaktorem typu dysza plazmowa, do generowania łuku ślizgającego się. Częstotliwość napięcia wyjściowego falownika dostrojona była do częstotliwości drgań rezonansowych nietłumionego obwodu składającego się z indukcyjności rozproszeń transformatora i pojemności obwodu wyjściowego. Po pozytywnych wynikach badań eksperymentalnych zostało zbudowanych kilka urządzeń zastosowanych do obróbki plazmowej tworzyw sztucznych oraz nasion. Zbudowane urządzenia miały możliwość regulowania mocy w zakresie do kilkuset W, a częstotliwości prądu łuku wynosiła około 30 kHz.

Słowa kluczowe: reaktor plazmowy, dysza plazmowa, ślizgający się łuk elektryczny, falownik rezonansowy.

Wprowadzenie

Plazma nietermiczna wyładowań barierowych oraz ślizgającego się łuku elektrycznego znajduje wiele zastosowań, między innymi w procesie obróbki powierzchniowej tworzyw sztucznych, dezynfekcji i sterylizacji, usuwania zanieczyszczeń, aktywacji powierzchni nasion [1, 2], aktywacji wody. Ślizgające się wyładowanie łukowe jest nieliniowym rezystancyjnym odbiornikiem energii elektrycznej. Do zapłonu wyładowań wymagane jest wytworzenie wysokiego napięcia na elektrodach reaktora plazmowego. Po zapłonie wymagane jest szybkie ograniczenie prądu reaktora, aby utrzymać nietermiczny charakter wyładowania [3]. Wymagania te spełnia szeregowy układ rezonansowy (rys. 1a) z obciążeniem włączonym równolegle do kondensatora obwodu rezonansowego, pobudzanego z częstotliwością drgań obwodu nietłumionego [4].



Rys.1. Przekształtnik z wyjściowym falownikiem rezonansowym zasilający dyszę plazmową ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym: a) uproszczony schemat ilustrujący działanie "rezonansowego stabilizatora prądu", b) schemat ideowy urządzenia zasilającego dyszę plazmową, c) model symulacyjny urządzenia i łuku ślizgającego się

Obwód ten (rys. 1a) to uproszczony schemat zastępczy transformatora wysokiego napięcia (indukcyjności rozproszeń) wraz z dodatkowym dławikiem rezonansowym i pojemnościami wyjściowymi składającymi się z pojemności elektrod dyszy plazmowej i zastępczej pojemności międzyzwojowej transformatora. W warunkach rezonansu elementów *L* i *C* i zasilaniu ze źródła napięcia sinusoidalnego ten obwód może być stosowany do podtrzymywania wartości prądu niezależnie od zmiany parametrów obciążenia (w tym przypadku łuku ślizgającego się). Stosując metodę analizy dla pierwszej harmonicznej i rachunek liczb zespolonych, możemy opisać obwód pośredni *LC* stosując równanie (1). Działanie obwodu pośredniego jako źródła prądu jest możliwe, jeśli parametr macierzy A11 = 0.

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + Z_1 Y_2 & Z_1 \\ Y_2 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_2 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & j\omega L \\ j\omega C & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_2 \\ I_2 \end{vmatrix}$$
(1)

Wyznaczając prąd wyjściowy z równania (1) $I_2=U_1/j\omega L$ możemy wywnioskować, że prąd jest proporcjonalny do napięcia wejściowego i jest niezależny od parametrów obciążenia, a więc od parametrów związanych z łukiem ślizgającym się. Spostrzeżenia te były założeniami dla opracowania urządzeń (rys. 1b) do generowania ślizgającego się łuku elektrycznego. Zbudowano model laboratoryjny, określono parametry elementów użytych do budowy. Znajomość tych parametrów pozwoliła opracować model urządzenia użyty do symulacji (rys. 1c).

Wyniki symulacji i eksperymentu

Parametry użyte do symulacji (rys. 1c) odpowiadały rzeczywistym, zmierzonym parametrom transformatora (indukcyjności magnesowania i rozproszeń, L1, L2, L3), kondensatora (C4) blokującego składową stałą oraz pojemności wyjściowej (C5). Zespół źródeł sterowanych, łączników i rezystancji (V1...Vn, S1...Sn, R_out1...R_outn) symulował zmiany czasowe rezystancji łuku. Zmiany rezystancji powodowały zmiany napięcia łuku. Określono szybkość zmian rezystancji dla założonej prędkości powietrza dostarczanego do dyszy tak, aby odpowiadały szybkości narastania napięcia łuku w układzie rzeczywistym. Rysunek 2 przedstawia wybrane przebiegi uzyskane eksperymentalnie oraz symulacyjnie. Można zauważyć dużą zbieżność tych wyników. Korzystając z wyników symulacji opracowane zostały układy przemysłowe, do obróbki plazmowej tworzyw (rys. 3) i nasion.



Rys. 2. Oscylogramy przebiegów napięć i prądów transformatora uzyskanych eksperymentalnie (a, b, c) i symulacyjnie (d, e, f): a, b, d, e) napięcie połowy uzwojenia wtórnego i prąd uzwojenia pierwotnego; c, f) napięcie i prąd uzwojenia pierwotnego



Rys. 3. Widok dyszy plazmowej podczas obróbki elementów z tworzywa sztucznego (a), rozkład temperatury wokół dyszy (b) i widok generatora do jednoczesnego zasilania dwóch dysz plazmowych (c)

Wnioski

- Przedstawione urządzenie energoelektroniczne sterowane zgodnie z opisaną w artykule metodą, działając jako źródło prądu, zapewnia zarówno skuteczny zapłon ślizgającego się łuku elektrycznego jak i ograniczenie prądu wyładowania. Utrzymywany jest nietermiczny charakter wyładowania.
- Zapewniona jest prosta metoda regulacji mocy poprzez regulację napięcia zasilającego falownik. Moc maksymalna ograniczona jest poprzez odpowiedni dobór dodatkowego dławika rezonansowego (L_rd na rys. 1b, L4 na rys.1c) dla założonego maksymalnego napięcia zasilającego falownik.
- Wykonano kilka poprawnie działających urządzeń o mocy maksymalnej ok. 400W. Znalazły one zastosowanie do powierzchniowej obróbki tworzyw (rys. 3a, eksperymentalna linia produkcyjna w IMPiB w Toruniu). Urządzenia te wykorzystano także do celów badawczych (dezynfekcja i/lub sterylizacja suszu roślinnego, obróbka plazmowa nasion) na Wydziale Rolnictwa i Biotechnologii PBŚ.

Literatura

- 1. J. Mućko, R. Dobosz, R. Strzelecki, *Dielectric Barrier Discharge Systems with HV Generators and Discharge Chambers for Surface Treatment and Decontamination of Organic Products*, Energies, 2020, 13(19) 10.3390/en13195181.
- 2. D. Pańka i inni, Can Cold Plasma Be Used for Boosting Plant Growth and Plant Protection in Sustainable Plant Production?, Agronomy 2022, 12, 841. https://doi.org/10.3390/agronomy12040841.
- 3. H. D. Stryczewska, Supply Systems of Non-Thermal Plasma Reactors. Construction Review with Examples of Applications, Appl. Sci. 2020, 10(9), 3242; https://doi.org/10.3390/app10093242.
- 4. J. Mućko, R, Strzelecki, J. Kozakiewicz, S. Lutomirski, *Resonant Inverters with improved output characteristics in application for corona discharge treatment*, 1999, 8th European Conference on Power Electronics and Applications At: Lausanne.

Autor: dr hab. inż. Jan Mućko, prof. PBŚ, Politechnika Bydgoska, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: mucko@pbs.edu.pl, https://orcid.org/0000-0001-7190-438X