

Adam Mazurkiewicz
Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

DWÓJNIK OCHRONNY TYPU RC DO KOMUTATORA SILNIKA SKOKOWEGO

RC TYPE SNUBBER OF STEPPER MOTOR COMMUTATOR

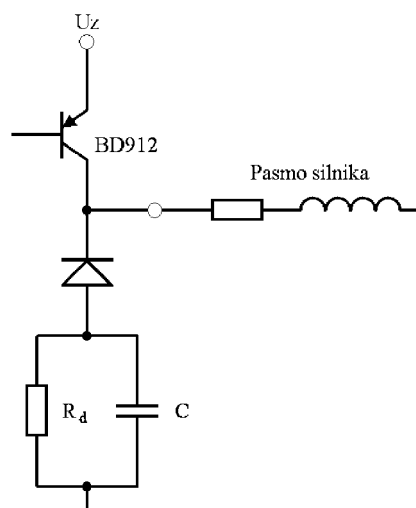
Abstract: Snubbers of a diode – resistor type used in commutators of stepper motors protect transistors of output stage against damage through voltage of self-induction. They simultaneously allow to damp the winding current in a fast way. Increasing of a snubber resistance accelerates fading of current but at the same time it enlarges the demanded voltage U_{CE0} of the transistor. Modification of a snubber including an extra capacitor has been presented in the article. The influence of capacitor's capacity on the maximum value of voltage and on the time of winding current fading has been analysed.

1. Wstęp

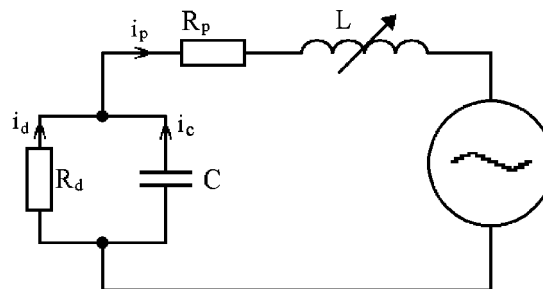
Podczas projektowania komutatora silnika skokowego wprowadza się rozwiązania, które zabezpieczają tranzystory stopnia mocy przed uszkodzeniem spowodowanym napięciem samoindukcji występującym w chwili wyłączenia pasm. W najprostszym przypadku używa się dwójnika składającego się z diody i rezystora. Jednak spadek napięcia powstający na rezystorze w chwili wyłączenia tranzystora dodaje się do napięcia zasilania, co musi być uwzględnione przy doborze napięcia U_{CEmax} tranzystorów. Przedmiotem przedstawionej dalej analizy jest dwójnik składający się z diody i rezystora z równoległe połączonym kondensatorem (rys. 1).

2. Analiza układu

Po wyłączeniu tranzystora kluczującego pasmo silnika wraz z dwójnikiem tworzy obwód pokazany na rysunku 2. Zakładając kinematyczną pracę silnika można przyjąć, że w analizowanym przedziale czasu prędkość kątowna Ω nie ulega zmianie. Wartość początkowa prądu pasma wynosi i_{p0} , a wartość początkowa napięcia na kondensatorze u_{C0} . Indukcyjność pasma zmienia się sinusoidalnie w funkcji drogi kątowej, od wartości maksymalnej L_d do minimalnej L_q . Napięcie rotacji ma przebieg sinusoidalny, o okresie zależnym od liczby zębów wirnika Z , a jego amplituda jest funkcją prędkości kątowej Ω i stałej k_U . Pomija się spadek napięcia na diodzie.



Rys. 1. Dwójnik składający się z diody i rezystora z dołączonym równoległe kondensatorem



Rys. 2. Obwód pasma silnika skokowego wraz z dwójnikiem RC po wyłączeniu tranzystora

Przy uwzględnieniu powyższych założeń, dla obwodu pokazanego na rysunku 2 można zapisać następujący układ równań:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi}{dt} + i_p \cdot R_p + u_c - k_U \cdot \Omega \cdot \sin(\varphi_e) = 0 \quad (a) \\ i_c = C \frac{du_c}{dt} \quad (b) \\ i_d = \frac{u_c}{R_d} \quad (c) \\ i_p = i_c + i_d \quad (d) \\ \Omega \cdot Z = \frac{d\varphi_e}{dt} \quad (e) \end{array} \right. \quad (1)$$

gdzie: R_p – rezystancja pasma,
 R_d – rezystancja dwójnika.

Ponieważ prędkość Ω jest stała, równanie (e) w układzie (1) przyjmie postać

$$\Omega \cdot Z = \frac{\varphi_e}{t} \quad (2)$$

stąd

$$\varphi_e = \Omega \cdot Z \cdot t \quad (3)$$

Zgodnie z przyjętymi założeniami strumień skojarzony jest równy

$$\Psi = i_p \cdot (L_0 + L_a \cdot \cos(2 \cdot \varphi_e)) \quad (4)$$

gdzie: $L_0 = \frac{L_d + L_q}{2}$, $L_a = \frac{L_d - L_q}{2}$.

Po podstawieniu do równania (a) układu równań (1) otrzymuje się

$$\begin{aligned} & (L_0 + L_a \cdot \cos(2 \cdot \Omega \cdot Z \cdot t)) \frac{di_p}{dt} + \\ & + i_p \cdot (R_p - L_a \cdot 2 \cdot \sin(2 \cdot \Omega \cdot Z \cdot t)) + \\ & + u_c - k_U \cdot \Omega \cdot \sin(\Omega \cdot Z \cdot t) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Podstawiając równanie (b) i (c) układu równań (1) do równania (d) uzyskuje się

$$i_p = C \frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{R_d} \quad (6)$$

Ostatecznie układ równań (1) przyjmuje postać

$$\left\{ \begin{array}{l} (L_0 + L_a \cdot \cos(2 \cdot \Omega \cdot Z \cdot t)) \frac{di_p}{dt} + \\ + i_p \cdot (R_p - L_a \cdot 2 \cdot \sin(2 \cdot \Omega \cdot Z \cdot t)) + \\ + u_c - k_U \cdot \Omega \cdot \sin(\Omega \cdot Z \cdot t) = 0 \\ i_p = C \frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{R_d} \end{array} \right. \quad (7)$$

3. Obliczenia

Istotne znaczenie przy doborze elementów stopnia końcowego komutatora ma maksymalna wartość napięcia (U_m) występującego na dwójniku po wyłączeniu pasma, natomiast czas zanikania prądu w wyłączonym paśmie (t_z) wpływa na właściwości dynamiczne silnika. Wpływ rezystancji i pojemności dwójnika na powyższe parametry można wyznaczyć rozwiązując układ równań (7).

Do obliczeń przyjęto następujące wartości:

$$\begin{array}{ll} i_{p0} = 1 \text{ [A]}, & u_{c0} = 0 \text{ [V]}, \\ R_p = 12 \text{ [\Omega]}, & L_0 = 1,2 \text{ [mH]}, \\ L_a = 0,1 \text{ [mH]}, & Z = 50 \text{ \Omega} = 50 \text{ [rad/s]}, \\ k_U = 0,2 \text{ [V \cdot s/rad]}. \end{array}$$

Wyznaczenie czasu zanikania prądu pasma rozpoczyna się w chwili rozpoczęcia obliczeń (wyłączenie tranzystora) a kończy, gdy prąd zmaleje do 10% wartości początkowej.

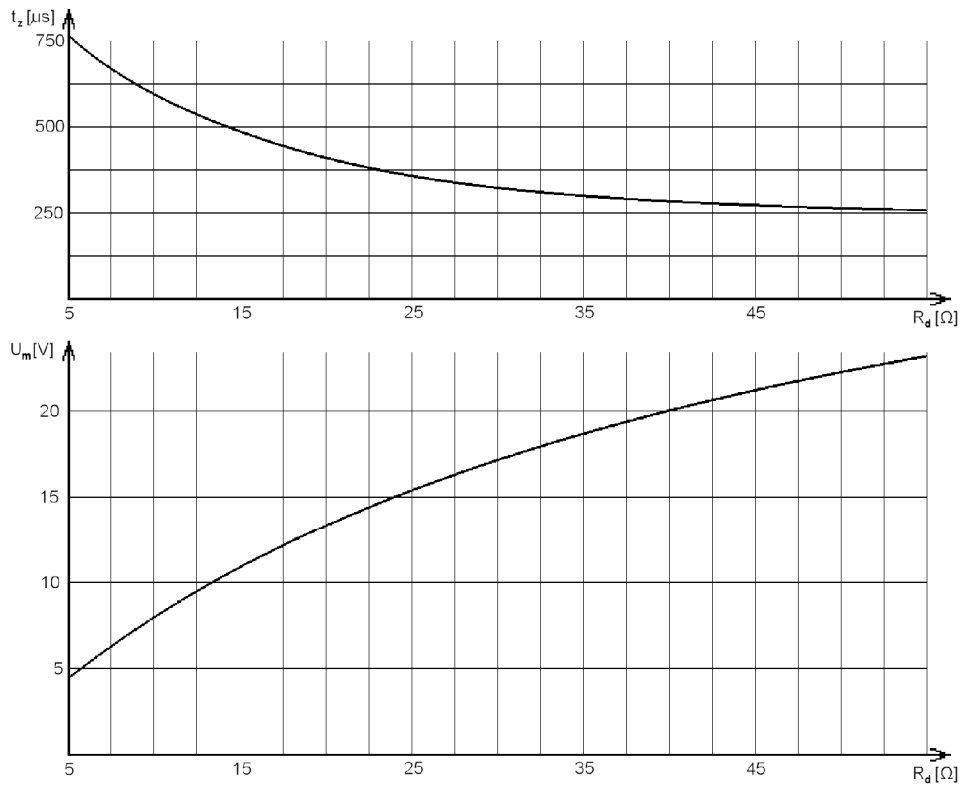
Wpływ rezystancji dwójnika, przy stałej pojemności $C = 500$ [nF], na maksymalną wartość napięcia na zaciskach dwójnika i czas zanikania prądu pasma jest pokazany na rysunku 3. Rezystancja dwójnika zmienia się w przedziale 5÷55 [Ω].

Wzrost rezystancji dwójnika przyspiesza zanikanie prądu pasma. Podobna zależność występuje w przypadku dwójnika składającego się jedynie z diody i rezystora. Jednak w tym przypadku maksymalna wartość napięcia występuje w chwili wyłączenia tranzystora. Można ją wyznaczyć z zależności

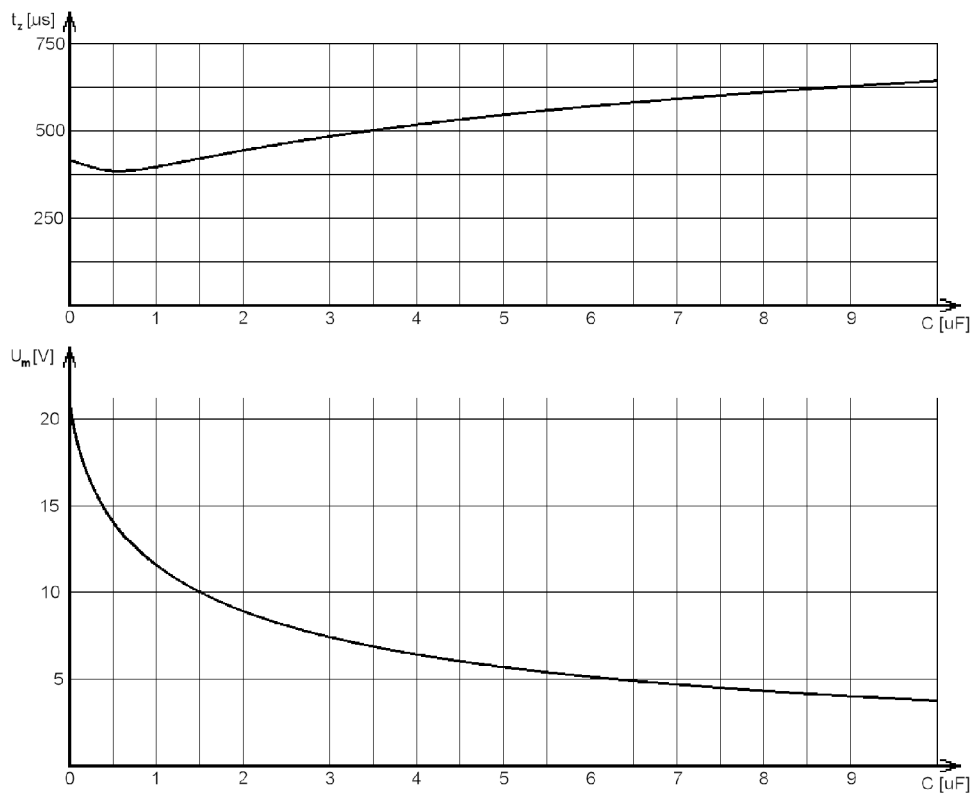
$$U_m = i_{p0} \cdot R_d \quad (8)$$

i jest ona liniowo zależna od rezystancji dwójnika. W przypadku analizowanego dwójnika RC zależność maksymalnej wartości napięcia od rezystancji dwójnika ma przebieg eksponentyjalny, a napięcie osiąga wyraźnie mniejsze wartości.

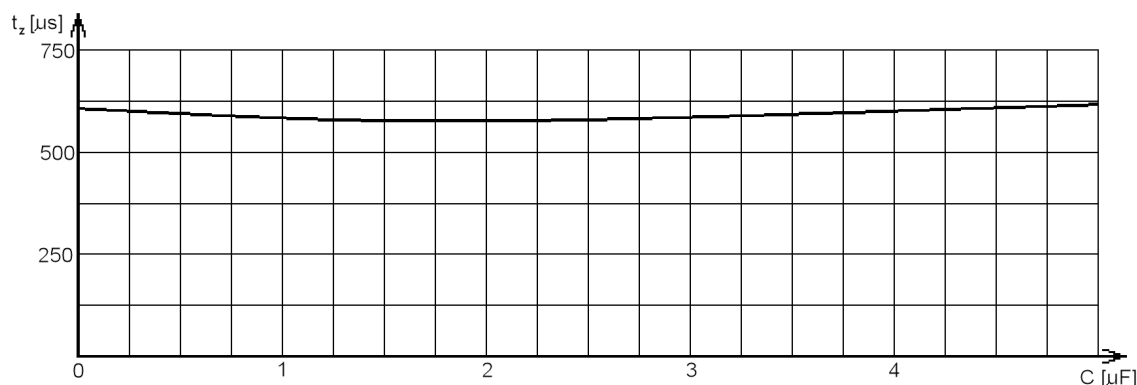
Wpływ pojemności dwójnika, przy stałej rezystancji $R_d = 22$ [Ω], na maksymalną wartość napięcia na zaciskach dwójnika i czas zanikania prądu pasma jest pokazany na rysunku 4.



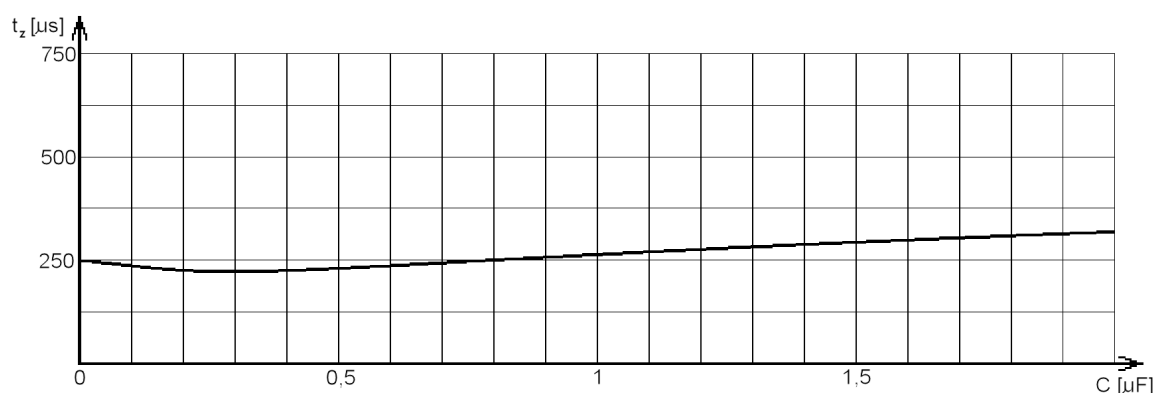
Rys. 3. Wpływ rezystancji dwójnika, przy stałej pojemności $C = 500 [nF]$, na czas zanikania prądu pasma (t_z) i maksymalną wartość napięcia na zaciskach dwójnika (U_m)



Rys. 4. Wpływ pojemności dwójnika, przy stałej rezystancji $R_d = 22 [\Omega]$, na czas zanikania prądu pasma (t_z) i maksymalną wartość napięcia na zaciskach dwójnika (U_m)



Rys. 5. Przebieg czasu zanikania prądu pasma w funkcji pojemności dwójnika dla rezystancji $R_d = 10 [\Omega]$



Rys. 6. Przebieg czasu zanikania prądu pasma w funkcji pojemności dwójnika dla rezystancji $R_d = 50 [\Omega]$

Wzrost pojemności powoduje zmniejszanie maksymalnego napięcia. Przebieg ma charakter eksponentialny. Największe zmiany napięcia maksymalnego występują przy małych pojemnościach. Zwiększanie pojemności kondensatora powoduje początkowo zmniejszanie wartości czasu zanikania prądu pasma, ale po osiągnięciu wartości minimalnej zwiększa ją. Wartość minimalna czasu zanikania prądu pasma jest zależna od wartości rezystancji dwójnika. Przykładowe przebiegi wyznaczone dla $R_d = 10 [\Omega]$ i $R_d = 50 [\Omega]$ są pokazane na rysunkach 5 i 6. Wzrost rezystancji powoduje przesunięcie minimum w kierunku mniejszych pojemności.

4. Podsumowanie

Zastosowanie w dwójniku ochronnym równolegle połączonych elementów RC powoduje zmniejszenie napięcia jakie występuje na nim przy wyłączeniu pasma. Unika się napięciowego „przewymiarowania” tranzystorów stopnia mocy. Dodatkowo przy małych wartościach pojemności kondensatora dwójnika maleje wartość czasu zanikania prądu wyłączanego pasma.

Dla przyjętych do obliczeń wartości i pojemności ok. 560 [nF] uzyskuje się (w odniesieniu do dwójnika bez kondensatora) zmniejszenie napięcia o blisko 40% i zmniejszenie wartości czasu zanikania prądu o prawie 10% (rys. 4). Dalsze zwiększanie pojemności nie ma uzasadnienia.

5. Literatura

- [1] Mazurkiewicz A.: *Wpływ sposobu załączania pasma na parametry dynamiczne silnika skokowego*, Przegląd Elektrotechniczny Nr 1, 2005
- [2] Bodson M., Chiasson J., Novotnak R., Rekowski R.: *High-performance nonlinear feedback control of a permanent magnet stepper motor*, IEEE Trans. On Control System Technology, Vol. 1, No 1, March 1993

Autor

Dr inż. Adam Mazurkiewicz - madam@prz.edu.pl
 Politechnika Rzeszowska,
 Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
 Katedra Elektrodynamiki i Układów
 Elektromaszynowych,
 ul. W.Pola 2, 35-959 Rzeszów