

Zdzisław KONOPKA

ANALIZA STATYCZNA OBWODU SILNIKA TRAKCYJNEGO PRĄDU STAŁEGO  
PRACUJĄCEGO W UKŁADZIE IMPULSOWEGO OSŁABIENIA WZBUDZENIA

**Streszczenie.** Wyprowadzono wzory opisujące przebiegi czasowe prądu silnika i prądu wzbudzenia w stanie pracy ustalonej w przypadku równoległego i szeregowego podłączenia impulsatora w stosunku do obwodu wzbudzenia. Wyprowadzone wzory stanowią punkt wyjścia dla obliczeń podstawowych charakterystyk silnika trakcyjnego pracującego w układzie impulsowego osłabiania wzbudzenia.

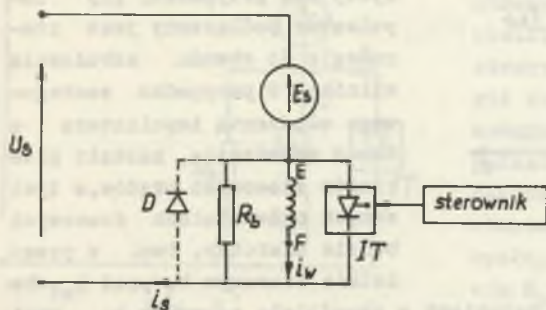
## 1. Wstęp

Rozwój techniki układów energoelektronicznych stwarza możliwości płynnej dwustrefowej regulacji prędkości obrotowej silników trakcyjnych prądu stałego. Zarówno korzyści energetyczne, jak również wyraźne poprawienie własności dynamicznych napędów trakcyjnych pracujących w układach regulacji impulsowej [9], skłaniają do wdrażania tych układów do taboru elektrycznego PKP.

Regulacja prędkości obrotowej silników trakcyjnych w pierwszej strefie odbywa się na drodze płynnej zmiany wartości średniej napięcia zasilającego, natomiast w drugiej strefie, poprzez płynne osłabianie wzbudzenia, co z kolei uzyskuje się poprzez impulsowanie w obwodzie wzbudzenia.

Istnieją dwie możliwości impulsowego osłabiania wzbudzenia silników trakcyjnych:

- przez równoległe podłączenie impulsatora w stosunku do obwodu wzbudzenia (rys. 1),
- przez szeregowe włączenie impulsatora w obwód wzbudzenia (rys. 2).

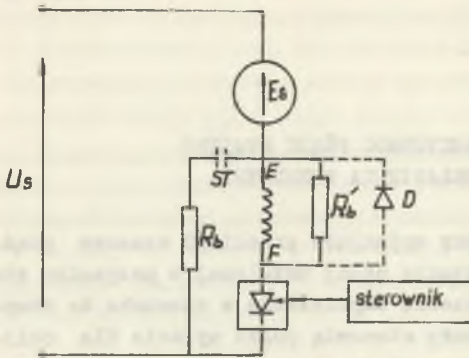


Rys. 1

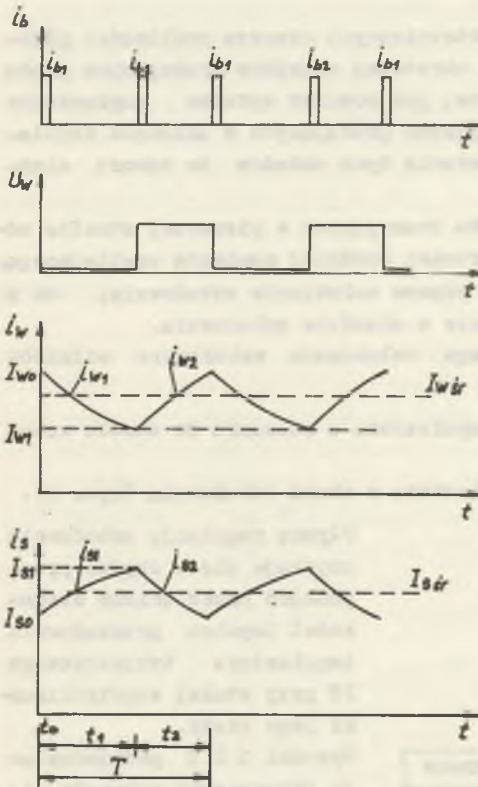
Płynną regulację wzbudzenia uzyskuje się w obydwu przypadkach przez zmianę szerokości impulsu przewodzenia impulsatora tyrystorowego IT przy stałej częstotliwości jego pracy.

Rysunki 1 i 2 przedstawiają uproszczone schematy ideowe wymienionych układów.

W niniejszym artykule nie podaje się pełnego schematu ideowego układu regu-



Rys. 2



Rys. 3

dzie wzrastał a prąd  $i_{B1}$  malał, natomiast w przedziale czasowym  $t_2$  prąd  $i_{w2}$  będzie malał, a prąd  $i_{B2}$  będzie wzrastał.

lacyjnego, ani też pełnego opisu kształtowania sygnału sterującego pracą impulsatora. Analiza dotyczy bowiem stanu dynamicznie ustalonego tzn. przypadku, gdy wartość sygnału sterującego - a więc również i szerokość impulsu przewodzenia - jest stała.

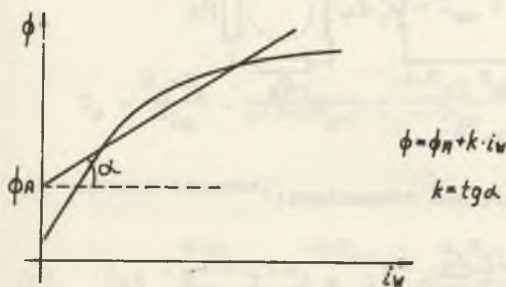
Pomimo dużej ilości prac z dziedziny regulacji impulsowej, informacje na temat regulacji prędkości obrotowej silników trakcyjnych metodą impulsowego osłabiania wzbudzenia są dość skąpe i sprowadzają się głównie do podania ogólnych schematów i krótkich ich opisów, z ewentualnym podkreśleniem zalet. Nie spotyka się prób analitycznego ujęcia zagadnienia. Celowe więc wydaje się poznanie procesów elektromagnetycznych występujących w układzie, ich charakteru, oraz wpływu parametrów obwodu silnika i struktury układu na te procesy.

Wstępną, opartą na dedukcji logicznej, analizę przebiegów prądów silnika  $i_s$  i wzbudzenia  $i_w$  przedstawiono na rys. 3. Dotyczy ona przypadku, gdy impulsator podłączony jest równolegle do obwodu wzbudzenia silnika. W przypadku szeregowego włączenia impulsatora w obwód wzbudzenia, kształt przebiegów czasowych prądów, w tych samych przedziałach czasowych będzie odwrotny, tzn. w przedziale czasowym  $t_1$  prąd  $i_{w1}$  bę-

Analizę matematyczną podanych układów przeprowadzono oddzielnie dla stanu włączenia i wyłączenia impulsatora.

Przyjęto następujące założenia upraszczające:

- a) spadek napięcia na impulsatorze w chwili jego przewodzenia jest pomijalnie mały w porównaniu z pozostałymi napięciami w obwodzie twornika,
- b) wpływ procesu komutacji impulsatora na przebiegi prądów jest pomijalny,
- c) czas  $t$  liczony jest od początku każdego przedziału okresu pulsacji,
- d) prędkość obrotowa silnika w okresie pulsacji nie ulega zmianie,
- e) przyjęto odcinkową linearyzację krzywej magnesowania.



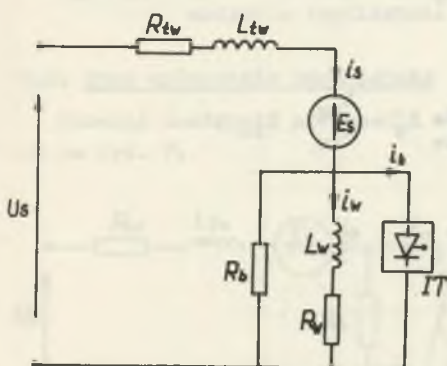
Rys. 4

Charakterystykę magnesowania obwodu magnetycznego silnika aproksymowano do dwóch odcinków (rys. 4) [1, 4].

Siła elektromotoryczna silnika  $E_s$  określona jest wówczas zależnością:

$$E_s = C(\Phi_A + k i_w)n = C \Phi_A n + Ck i_w n = E_A + A i_w$$

2. Analiza układu impulsowego osłabienia wzbudzenia silnika trakcyjnego w przypadku równoległego podłączenia impulsatora w stosunku do obwodu wzbudzenia



Rys. 5

Schemat zastępczy układu przedstawiono na rys. 5. Zastosowana dodatkowa rezystancja bocznikująca uzwojenie wzbudzenia  $R_b$  z jednej strony poprawia pracę impulsatora w chwili jego wyłączenia, a z drugiej strony zapewnia rozładowanie energii elektromagnetycznej uzwojenia wzbudzenia w chwili włączenia impulsatora.

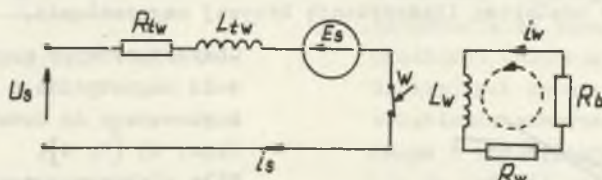
Łącznie z rezystancją  $R_b$  można zastosować diodę rozładowczą, która spełni to samo zadanie co rezystancja  $R_b$  w chwili zwierania uzwojenia wzbudzenia przez impulsator, a jednocześnie - wygładzając przebieg

prądu wzbudzenia - poprawi warunki komutacji silnika. Diodę bocznikującą zaznaczono na rys. 1 i rys. 2 linią przerywaną.

Jak już wspomniano, analiza układu zostanie przeprowadzona dla quasi-ustalonego stanu dynamicznego jego pracy, oddzielnie dla stanu włączenia i wyłączenia impulsatora IT.

### 2.1. Stan włączenia impulsatora

Schemat zastępczy układu, dla przyjętych założeń upraszczających przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6

Ten stan pracy można opisać następującymi równaniami:

$$R_{tw} I_s + pL_{tw} I_s = \frac{U}{p} - \frac{EA}{p} - A I_w + L_{tw} I_{s0} \quad (1)$$

$$(R_w + R_b) I_w + pL_w I_w = L_w I_{w0} \quad (2)$$

gdzie:

$I_{w0}$ ,  $I_{s0}$  - wartości prądów wzbudzenia i silnika w chwili włączenia impulsatora (rys. 3 czas  $t_0$ ).

Po uporządkowaniu otrzymamy:

$$I_s (1 + pT_{s1}) = \frac{U - EA}{R_{tw}} \cdot \frac{1}{p} - \frac{A}{R_{tw}} I_w + \frac{L_{tw}}{R_{tw}} \cdot I_{s0},$$

$$I_w (1 + pT_{w1}) = \frac{L_w}{R_w + R_b} \cdot I_{w0},$$

gdzie:

$$T_{s1} = \frac{L_{tw}}{R_{tw}}, \quad T_{w1} = \frac{L_w}{R_w + R_b},$$

a ponieważ  $R_b \gg R_w$  ( $R_b = 10 R_w$ )

$$T_{w1} = \frac{L_w}{R_b}$$

Powyższe uproszczenie wprowadza wprawdzie pewien błąd przy określaniu stałej czasowej  $T_{w1}$  niemniej jednak jest to błąd porównywalny z błędami wprowadzonymi przez inne założenia upraszczające wymienione w punkcie 1, a w szczególności przez linearyzację krzywej magnesowania i w związku z tym przyjęcie stałej wartości indukcyjności wzbudzenia  $L_w$ .  
Rozwiązanie równań jest następujące:

$$i_{w1} = I_{w0} e^{-t/T_{w1}} \quad (3)$$

$$I_s = \frac{U_s - E_A}{R_{tw}} \cdot \frac{1}{p(1+pT_{s1})} - \frac{A \cdot T_{w1} I_{w0}}{R_{tw}} \frac{1}{(1+pT_{s1})(1+pT_{w1})} + \frac{T_{s1} I_{s0}}{1+pT_{s1}}$$

a w postaci czasowej

$$i_{s1} = \frac{U_s - E_A}{R_{tw}} (1 - e^{-t/T_{s1}}) - \frac{A T_{w1} I_{w0}}{R_{tw}(T_{s1} - T_{w1})} (e^{-t/T_{s1}} - e^{-t/T_{w1}}) + I_{s0} e^{-t/T_{s1}} \quad (4)$$

gdzie:

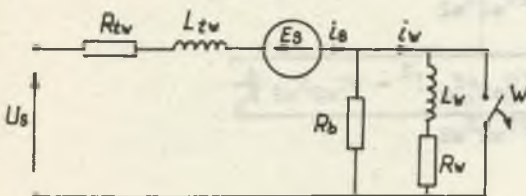
$i_{s1}$   $i_{w1}$  - przebiegi czasowe prądów silnika i wzbudzenia dla czasu przewodzenia impulsatora (rys. 3).

### 2.2. Stan wyłączenia impulsatora

Schemat zastępczy układu dla stanu wyłączenia impulsatora przedstawiono na rys. 7.

Korzystając z metody oczkowej ten stan pracy układu opisano następującym układem równań:

$$\left. \begin{aligned} I_s (R_{tw} + R_b + pL_{tw}) - I_w R_b &= \\ = \frac{U_s - E_A}{p} - A I_w + L_{tw} I_{s1} \end{aligned} \right\}$$



Rys. 7

$$- I_s R_b + I_w (R_w + R_b + pL_w) = L_w I_{w1} \quad (5)$$

gdzie:

$I_{w1}$ ,  $I_{s1}$  - wartości prądów wzbudzenia i silnika w chwili wyłączenia impulsatora.

Po uporządkowaniu oraz założeniu że  $R_b \gg R_{tw}$ ,  $R_b \gg R_w$  otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} I_s (1 + pT_{s2}) &= \frac{1}{p} \frac{U - E_A}{R_b} + \frac{R_b - A}{R_b} I_w + T_{s2} I_{s1} \\ I_w (1 + pT_{w2}) &= I_s + T_{w2} I_{w1} \end{aligned} \right\}$$

gdzie:

$$T_{s2} = \frac{L_{tw}}{R_b}, \quad T_{w2} = \frac{L_w}{R_b}.$$

Rozwiązanie układu równań (6) daje następujące zależności dla prądu silnika i prądu wzbudzenia:

$$I_s = \frac{U - E_A}{R_b T_{s2} T_{w2}} \frac{1}{p(p+a)(p+b)} + \left[ \frac{U - E_A}{R_b T_{s2} T_{w2}} + \frac{(R_b - A) I_{w1}}{R_b T_{s2}} + \frac{I_{s1}}{T_{w2}} \right] \frac{1}{(p+a)(p+b)} + I_{s1} \frac{p}{(p+a)(p+b)},$$

$$I_w = \frac{U - E_A}{R_b T_{s2} T_{w2}} \frac{1}{p(p+a)(p+b)} + \frac{1}{(p+a)(p+b)} \left( \frac{I_{s1}}{T_{w2}} + \frac{I_{w1}}{T_{s2}} \right) + I_{w1} \frac{p}{(p+a)(p+b)},$$

przy czym:

$$a = - \frac{-(T_{s2} + T_{w2}) - \sqrt{(T_{s2} + T_{w2})^2 - 4T_{s2}T_{w2} \frac{A}{R_b}}}{2T_{s2}T_{w2}},$$

$$b = - \frac{-(T_{s2} + T_{w2}) + \sqrt{(T_{s2} + T_{w2})^2 - 4T_{s2}T_{w2} \frac{A}{R_b}}}{2T_{s2}T_{w2}}$$

W postaci czasowej otrzymamy:

$$i_{s2} = \frac{U-E_A}{R_b T_{s2} T_{w2}} \frac{1}{ab} \left[ 1 + \frac{1}{a-b} (be^{-at} - ae^{-bt}) \right] + \left[ \frac{U-E_A}{R_b T_{s2} T_{w2}} + \frac{(R_b-A)I_{w1}}{R_b T_{s2}} + \frac{I_{s1}}{T_{w2}} \right] \frac{1}{a-b} (e^{-bt} - e^{-at}) + \frac{I_{s1}}{a-b} (a e^{-bt} - b e^{-at}), \quad (7)$$

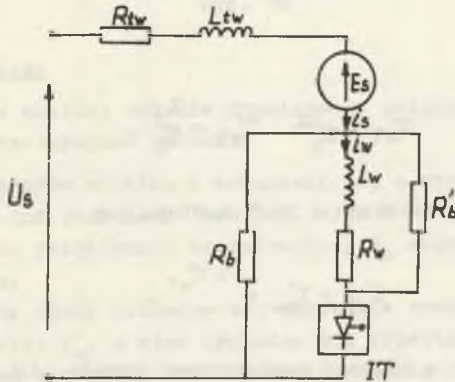
$$i_{w2} = \frac{U-E_A}{R_b T_{s2} T_{w2}} \cdot \frac{1}{ab} \left[ 1 + \frac{1}{a-b} (be^{-at} - ae^{-bt}) \right] + \frac{1}{a-b} (e^{-bt} - e^{-at}) \left( \frac{I_{s1}}{T_{w2}} + \frac{I_{w1}}{T_{s2}} \right) + \frac{I_{w1}}{a-b} (ae^{-bt} - be^{-at}),$$

gdzie:  $i_{s2}$ ,  $i_{w2}$  są to przebiegi czasowe prądów silnika i wzbudzenia dla czasu blokowania impulsatora (rys. 3).

3. Analiza układu impulsowego osłabiania wzbudzenia silnika szeregowego w przypadku szeregowego włączenia impulsatora w obwód wzbudzenia

Schemat zastępczy układu przedstawiono na rys. 8.

Analizę pracy układu przeprowadzono również dla dwóch charakterystycznych stanów: wyłączenia i włączenia impulsatora.



Rys. 8

### 3,1. Stan wyłączenia impulsatora

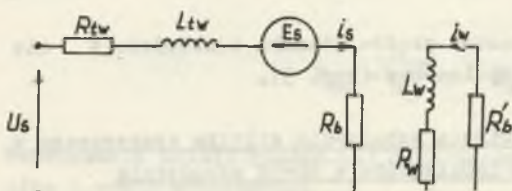
Schemat zastępczy układu przedstawiono na rys. 9. Ten stan pracy opisują następujące równania:

$$(R_{tw} + R_b) I_s + p L_{tw} I_s = \frac{U - E_a}{p} - A I_w + L_{tw} I'_{so}, \quad (10)$$

$$(R_w + R_b) I_w + p L_w I_w = L_w I'_{wo}, \quad (11)$$

gdzie:

$I'_{wo}$ ,  $I'_{so}$  - wartości prądów wzbudzenia i silnika w chwili blokowania impulsatora.



Rys. 9

Po uporządkowaniu oraz uproszczeniu wynikającym z warunku  $R_b \gg R_{tw}$ ;  $R_b \gg R_w$  otrzymamy:

$$I_s (1 + p T'_{s1}) = \frac{1}{p} \frac{U - E_a}{R_b} -$$

$$- \frac{A}{R_b} I_w + T'_{s1} I'_{so},$$

$$I_w (1 + p T'_{w1}) = T'_{w1} I'_{wo},$$

gdzie:

$$T'_{s1} = \frac{L_{tw}}{R_b} \quad T'_{w1} = \frac{L_w}{R_b}.$$

Przebieg czasowy prądu wzbudzenia jest następujący

$$i'_{w1} = I'_{wo} e^{-t/T'_{w1}}. \quad (12)$$

Przebieg prądu silnika w postaci operatorowej wyraża się zależnością:

$$I_s = \frac{U - E_a}{R_b} \frac{1}{p(1 + p T'_{s1})} - \frac{A T'_{w1} I'_{wo}}{R_b} \frac{1}{(1 + p T'_{s1})(1 + p T'_{w1})} + \frac{T'_{s1} I'_{so}}{1 + p T'_{s1}},$$



a w postaci czasowej:

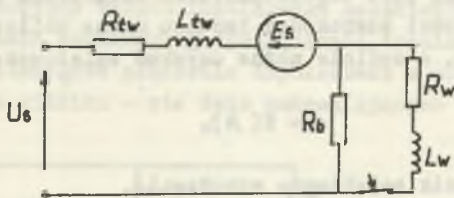
$$i'_{s1} = \frac{U-E_A}{R_b} (1-e^{-t/T'_{s1}}) - \frac{AT'_{w1} I'_{w0}}{R_b} (e^{-t/T'_{s1}} - e^{-t/T'_{w1}}) + I'_{s0} e^{-t/T'_{s1}} \quad (13)$$

### 3.2. Stan włączenia impulsatora

Schemat układu przedstawia rys. 10. Korzystając z metody oczkowej obwód ten można opisać następującym układem równań:

$$\left. \begin{aligned} I_s (R_{tw} + R_b + pL_{tw}) - I_w R_b &= \frac{U-E_A}{p} - A I_w + I'_{s1} L_{tw} \\ -I_s \cdot R_b + I_w (R_w + R_b + pL_w) &= I_w I'_{w1} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Układ równań (14) jest identyczny z układem równań (5). Stąd też przebiegi prądów silnika i wzbudzenia będą wyrażały się zależnościami (7) i (8).



Rys. 10

### 4. Wnioski z analizy

Przeprowadzona analiza układów impulsowego osłabienia wzbudzenia pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

- Przebiegi prądów silnika i wzbudzenia są w obydwu przypadkach wykładnicze, ich charakter jest taki sam.
- Zastosowanie rezystancji bocznikującej \$R\_b\$ zapewnia prawidłową pracę impulsatora.
- Zastosowanie diody rozładowczej wprowadzi zmniejsza amplitudę zmian prądów \$i\_s\$ oraz \$i\_w\$, a więc wygląda ich przebiegi, niemniej jednak należy wziąć pod uwagę fakt, że zmniejszenie stałych czasowych przebiegów umożliwi większą regulację ich wartości średnich. Celowość stosowania diody rozładowczej należałoby sprawdzić doświadczalnie.
- Wyglądzenie przebiegu prądu silnika można uzyskać przez włączenia dodatkowej indukcyjności w obwód silnika.
- W układzie z szeregowym włączeniem impulsatora w obwód wzbudzenia ten sam impulsator może być wykorzystany do płynnej regulacji napię-

oia zasilającego (rys. 2, stycznik JT otwarty), a następnie do płynnej regulacji wzbudzenia (stycznik ST zamknięty). Jest to niewątpliwie korzystne w układach z dwustrefową regulacją prędkości obrotowej, niemniej jednak w przypadku pracy tego impulsatora w układzie regulacji wzbudzenia, w chwili blokowania impulsatora silnik zasilany jest napięciem obniżonym o spadek napięcia na rezystancji  $R_p$ . Powoduje to oczywiście zmniejszenie się wartości średniej napięcia zasilania silnika co z kolei prowadzi do zmniejszenia się prędkości obrotowej. Tak więc z jednej strony prędkość zwiększona jest przez osłabienie wzbudzenia, a z drugiej strony maleje na skutek zmniejszenia się napięcia silnika. Należałoby więc w praktycznym układzie sprawdzić czy uzyskuje się pożądaný efekt regulacji prędkości obrotowej.

Wyprowadzone zależności na przebiegi czasowe prądów silnika i wzbudzenia dla poszczególnych przedziałów okresu pulsacji umożliwiają obliczenie wartości średniej tych prądów dla zadanej wartości szerokości impulsu przewodzenia. Stosunek wartości średniej prądu wzbudzenia do wartości średniej prądu silnika jest współczynnikiem osłabienia wzbudzenia. Tak więc dla zadanej wartości szerokości impulsu można obliczyć współczynnik osłabienia wzbudzenia, a ogólnie można uzyskać zależność:

$$\alpha = f(\beta),$$

gdzie:  $\alpha$  - współczynnik osłabienia wzbudzenia,

$\beta$  - współczynnik wypełnienia,

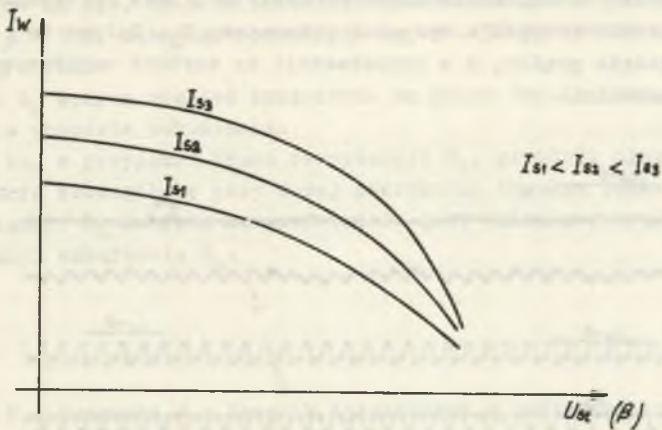
$$\beta = \frac{t_1}{T},$$

$t_1$  - czas przewodzenia impulsatora,

$T$  - okres impulsowania.

Wyprowadzone zależności umożliwiają również obliczenie charakterystyki zewnętrznej impulsatora, a więc zależności wielkości wyjściowej od wielkości wejściowych, dla dowolnych silników trakcyjnych.

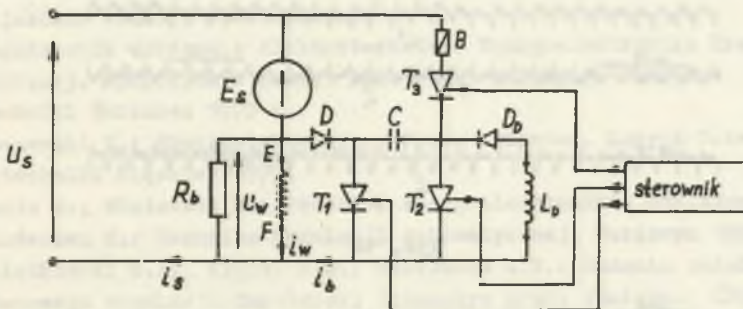
Charakterystyka zewnętrzna impulsatora jest określona zależnością  $I_w = f(I_s, U_{st})$ , a więc jest to zależność prądu wzbudzenia od prądu silnika i od wartości sygnału sterującego, lub od wartości współczynnika  $\beta$ . Charakterystyka ta wyznaczona doświadczalnie, ma przebieg pokazany na rys. 11. Z uwagi na pracochłonność obliczeń, charakterystyka ta może być praktycznie obliczona jedynie przy użyciu maszyny cyfrowej, znajomość jej przebiegu jest jednak konieczna przy analizie dynamicznej układu regulacji prędkości obrotowej silnika szeregowego z zastosowaniem impulsowego osłabienia wzbudzenia.



Rys. 11

### 5. Badania laboratoryjne

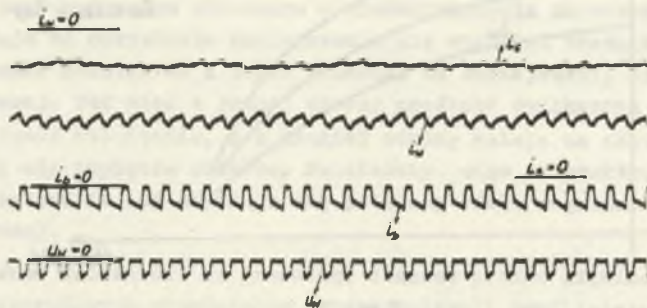
Badania laboratoryjne układu impulsowego osłabienia wzbudzenia przeprowadzono dla przypadku równoległego podłączenia impulsatora do uzwojenia wzbudzenia, gdyż szeregowe włączenie impulsatora w obwód wzbudzenia - w przypadku badanego silnika - nie dało zadowalających rezultatów.



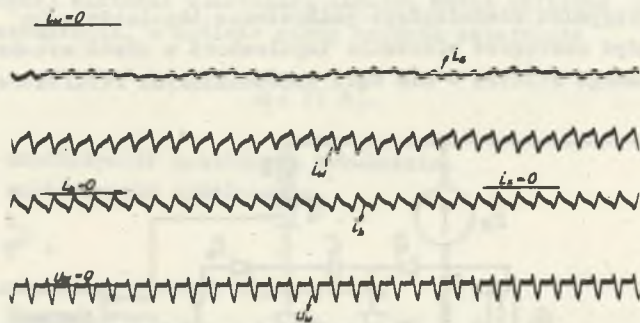
Rys. 12

Schemat badanego układu przedstawiono na rys. 12. W trakcie badań wyznaczono między innymi oscylogramy przebiegów prądów: silnika  $i_s$ , wzbudzenia  $i_w$  oraz prądu płynącego przez bocznikujący impulsator  $i_b$ . Przebiegi czasowe prądów  $i_s$ ,  $i_w$ ,  $i_b$  oraz napięcia  $U_w$  w układzie z dodatkową rezystancją bocznikującą  $R_b$  przedstawia rys. 13, natomiast przebiegi czasowe tych samych wielkości lecz bez rezystancji  $R_b$  - rys. 14 i 15. Przebiegi na rys. 13 oraz 14 i 15 świadczą wyraźnie o różnicy w charakterze pracy impulsatora w tych przypadkach. Przy braku rezystancji  $R_b$  impulsator, w chwili jego blokowania, nie jest w pełni wyłączony (prąd  $i_b$  nie

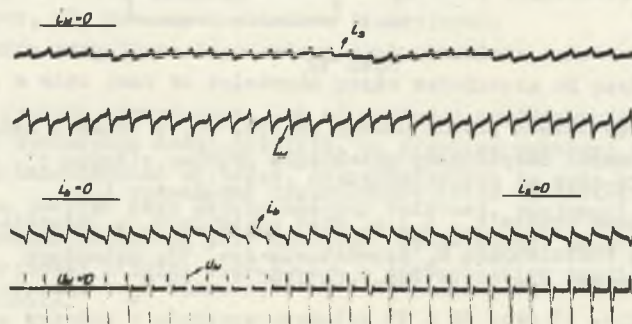
maleje do zera, co wyraźnie widać na rys. 15), lecz przewodzenie prądu  $i_b$  w tym okresie przejmuje tyristor pomocniczy  $T_2$ . Wpływa to istotnie na wartości średnie prądów, a w konsekwencji na wartość współczynnika osłabienia wzbudzenia.



Rys. 13



Rys. 14



Rys. 15

Przedstawione na rys. 13 i 14 przebiegi wyznaczono dla współczynnika wypełnienia  $\beta = 60\%$ , natomiast przebiegi na rys. 15 wyznaczono przy współczynniku  $\beta = 78\%$ .

Rezystancja  $R_b$  wpływa również korzystnie na pracę impulsatora, likwidując przebiegi w obwodzie wzbudzenia.

Przebiegi te, w przypadku braku rezystancji  $R_b$ , powodują niestabilną pracę impulsatora szczególnie przy dużej szerokości impulsu (duże  $\beta$ ). Wartość rezystancji  $R_b$  dobrana doświadczalnie jest dziesięciokrotnie większa od rezystancji wzbudzenia  $R_w$ .

#### LITERATURA

- [1] Paszek W., Szczucki F.: Łącznik tyrystorowy w zastosowaniu do sterowania napędów elektroczarów dołowych. Zesz. Nauk. Pol. Sl. Elektryka z. 38, 1973 r.
- [2] Gabryś W., Kałuża F., Konopka Z.: Impulsowa regulacja wzbudzenia szeregowych silników trakcyjnych lokomotyw elektrycznych. Zesz. Nauk. Pol. Sl. Elektryka z. 45, 1975 r.
- [3] Konopka Z.: Układ impulsowej regulacji wzbudzenia szeregowych silników trakcyjnych lokomotywy spalinowo-elektrycznej. Zesz. Nauk. Pol. Sl. Elektryka z. 45, 1975 r.
- [4] Giziński Z.: Hamowanie impulsowe szeregowych silników prądu stałego w pojazdach trakcji elektrycznej. Zagadnienie wybrane z elektrotechniki. Energoelektronika Trakcji Elektrycznej. Sympozjum z okazji Roku Nauki Polskiej. Instytut Elektrotechniki Warszawa 1973 r.
- [5] Kuczewski Z.: Energoelektronika. Praca zbiorowa. Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej 1975.
- [6] Tunia H., Winiarski B.: Podstawy energoelektroniki. PWN, Warszawa 1975.
- [7] Findeisen W.: Technika regulacji automatycznej. Warszawa 1969.
- [8] Wołotkowski S.A., Kigiel G.A., Radkowska G.W.: Badania układu tyrystorowej regulacji impulsowej lokomotyw prądu stałego. (Dniepropietrowski Instytut Górnictwa). Przegląd Elektrotechniczny nr 7, 1975. (Tłum. z ros. Giziński Z.).
- [9] Homienko I., Riabczew G.G., Kasatkin V.P.: Tiristoro-impulsowe regulowanie wzbudzenia tiagowych dwigateli wagonów metropolitienia. Elektrizestwo nr 6, 1971.

СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕПИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
РАБОТАЮЩЕГО В РЕЖИМЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Р е з ю м е

Выведены формулы изображающие временные процессы тока двигателя и тока возбуждения в системе параллельного включения и последовательного включения импульсатора относительно обмотки возбуждения. Выведены формулы позволяют исчислить основные характеристики тягового двигателя, работающего в режиме импульсного регулирования возбуждения.

STATIC ANALYSIS OF TRACTION WITH PULSE CONTROL INDUCED CIRCUIT

С и ж н а ю

The paper presents mathematical formulas describing pulse control of a DC motor and of the induced current in case of pulsator being connected in series or parallel to induced circuit.

The formulas are the ground for calculations of fundamental characteristics of traction motor working in the pulse control induced circuit.