

Krzysztof KRYKOWSKI

Tadeusz RODACKI

Jacek TOPORKIEWICZ

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki
Politechniki Śląskiej

UKŁAD ZASILANIA BEZWŁADNOŚCIOWYCH NAPIĘDÓW WIBRACYJNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowe optymalne rozwiązania tyrystorowego zasilacza podajników wibracyjnych. Proponowany układ łączy w sobie zalety dwóch stosowanych w praktyce rozwiązań: układu z siłą prądomotoryczną i układu z tyrystorem impulsującym, nie posiada jednak ich wad.

1. WPROWADZENIE

Do napędu podajników przenoszących produkty sypkie często stosuje się bezwładnościowe napędy wibracyjne. Podstawową częścią takiego napędu jest silnik wibracyjny, zwany w skrócie wibratorem. Z elektrycznego punktu widzenia wibrator a właściwie jego uzwojenie stanowi dławik o znikomej rezystancji. Jeśli idzie o praktyczne układy formowania prądów wibratora to sprowadzają się one zazwyczaj do jednego z dwóch podstawowych rozwiązań:

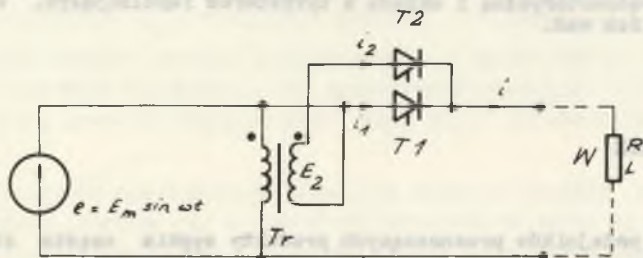
- układy z dodatkową siłą prądomotoryczną,
- układy z tyrystorem impulsującym.

Zasadę pracy napędu wibracyjnego, ogólną analizę pracy podstawowych typów zasilaczy wibratorów, ze zwróceniem uwagi na ich praktyczne rozwiązania oraz wnioski i zalecenia odnośnie doboru zasilaczy i wymagań, jakie powinien spełniać optymalny zasilacz do wibratorów przedstawiono w pracy [1]. Z zamieszczonych tam rozważań wynika, że optymalny zasilacz do wibratorów bezwładnościowych powinien charakteryzować się prostą konstrukcją, w zakresie wymaganych małych sił drgających powinien posiadać właściwości zbliżone do zasilacza z tyrystorem impulsującym, w zakresie wymaganych dużych sił drga-

jących korzystniejsze są natomiast układy o właściwościach z siłą prądomotoryczną pod warunkiem, że będą one pracowały bez dodatkowego rezystora zabezpieczającego współpracę zespołu prostowniczego z układem prądu przemiennego.

2. OPIS I ZASADA DZIAŁANIA UKŁADU OPTIMALNEGO

Ponieważ wymaga się, aby przy małych siłach drgający układ zasilania pracował jako układ z tyrystorem impulsującym, zaś przy wymaganych dużych siłach jak układ z dodatkową siłą prądomotoryczną należy zastosować sterowanie sekwencyjne takie, by po wyczerpaniu się możliwości sterowania w układzie z tyrystorem impulsującym można płynnie przejść na układ zasilacza z prostownikiem symulującym siłę prądomotoryczną. Równocześnie wymaga się, by występujące w układzie tyrystory były tak połączone, aby nie występowała konieczność wprowadzenia dodatkowego pomocniczego rezystora, jak to jest w klasycznych rozwiązaniach z siłą prądomotoryczną [1].



Rys. 1. Schemat ideowy obwodów głównych proponowanego układu

Wymagania te spełnia układ zasilacza o obwodach głównych przedstawionych na rys. 1. Układ składa się z dwóch tyrystorów: głównego T_1 i pomocniczego T_2 oraz transformatora Tr .

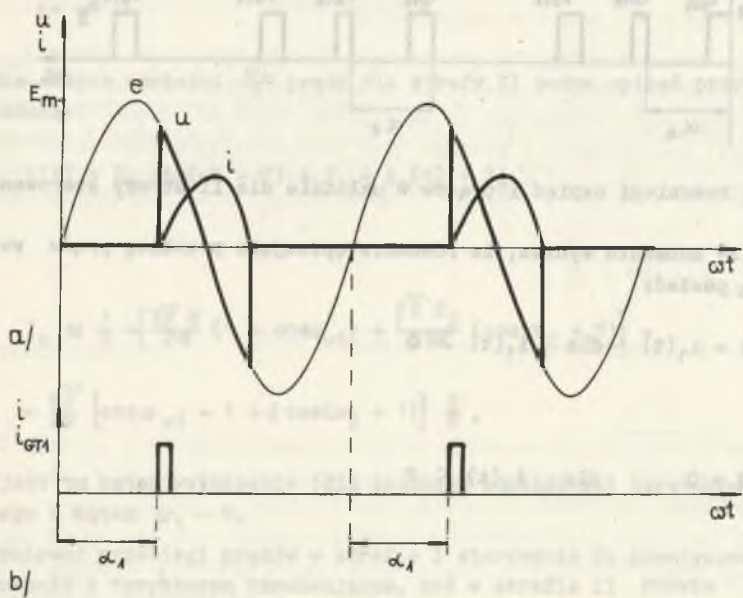
Tyrystor główny T_1 zasila wibrator bezpośrednio napięciem sieci i przy małych wysterowaniach pracuje analogicznie jak tyrystor impulsujący. Przy dużych wysterowaniach zastępuje w pewnym stopniu rezystor pomocniczy zapewniając ciągłość przepływu prądu.

Tyrystor T_2 włączony w obwód strony wtórnej transformatora Tr szeregowo z wibratorem pozwala zasilać wibrator dodatkowym napięciem stałym, co jest równoważne układowi z dodatkową siłą prądomotoryczną. Koniecznym warunkiem poprawnej pracy układu jest podłączenie transformatora Tr zgodnie z rys. 1. Układ sterowania tyrystorami powinien zapewnić obie strefy pracy.

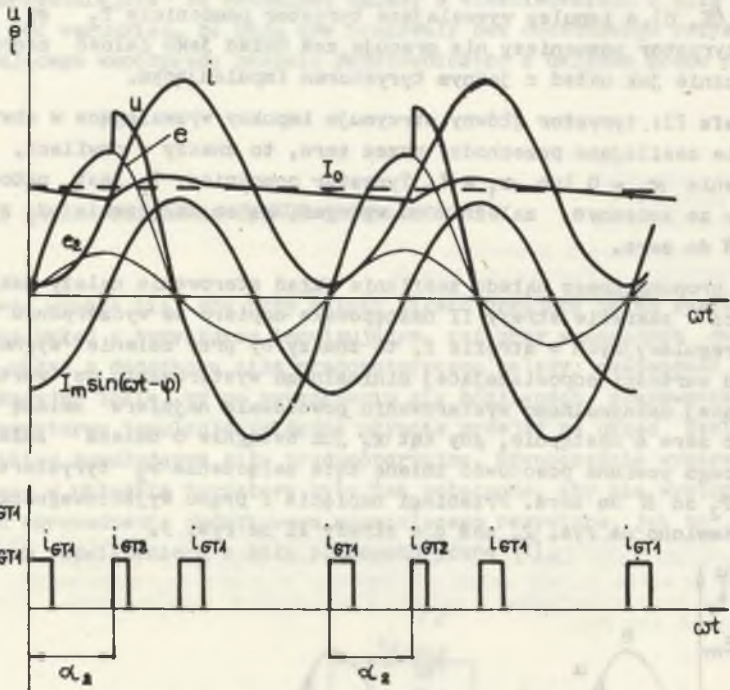
Strefa I: kąt załączenia α_1 tyrystora głównego T_1 zmienia się w przedziale $(\pi, 0)$, a impulsy wyzwalające tyrystor pomocniczy T_2 są blokowane, czyli tyrystor pomocniczy nie pracuje, zaś układ jako całość zachowuje się identycznie jak układ z jednym tyrystorem impulsującym.

Strefa II: tyrystor główny otrzymuje impulsy wyzwalające w chwilach, gdy napięcie zasilające przechodzi przez zero, to znaczy w chwilach, gdy kąt załączenia $\alpha_1 = 0$ lub $\alpha_1 = \pi$. Tyrystor pomocniczy T_2 jest natomiast wyzwalany ze zmiennym, zależnie od wymagań, kątem załączenia α_2 z przedziału od π do zera.

Dla proponowanego układu zasilania układ sterowania należy tak rozwiązać, by praca w zakresie strefy II następowała dopiero po wyczerpaniu się możliwości regulacyjnych w strefie I, to znaczy by przy zmianie sygnału zadającego od wartości odpowiadającej minimalnemu wysterowaniu do wartości odpowiadającej maksymalnemu wysterowaniu powodowała najpierw zmianę kąta α_1 od π do zera a następnie, gdy kąt α_1 już osiągnie 0 dalsza zmiana sygnału zadającego powinna powodować zmianę kąta załączenia α_2 tyrystora pomocniczego T_2 od π do zera. Przebiegi napięcia i prądu wyjściowego dla strefy I przedstawiono na rys. 2, zaś dla strefy II na rys. 3.



Rys. 2. Przebiegi napięć i prądów w układzie dla I strefy sterowania



Rys. 3. Przebiegi napięć i prądów w układzie dla II strefy sterowania

Z analizy schematu wynika, że równania opisujące przebieg prądu w strefie I mają postać:

$$i(t) = i_1(t) \quad \text{dla} \quad i_1(t) \geq 0$$

oraz

$$i(t) = 0 \quad \text{dla} \quad i_1(t) < 0$$

gdzie:

$$i_1(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) + I_m \sin(\alpha_1 - \varphi) e^{-\frac{\omega t - \alpha_1}{\text{tg} \varphi}}$$

$$I_m = \frac{\sqrt{2} E}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \text{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R}.$$

W strefie II zachodzi:

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad \text{dla} \quad i_1(t) + i_2(t) \geq 0$$

lub

$$i(t) = 0 \quad \text{dla} \quad i_1(t) + i_2(t) < 0$$

gdzie:

$$i_1(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) - I_m \sin \varphi e^{-\frac{\omega t}{\text{tg} \varphi}},$$

$$i_2(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) + I_m \sin(\alpha_2 - \varphi) e^{-\frac{\omega t - \alpha_2}{\text{tg} \varphi}},$$

$$\varepsilon = \frac{I_2}{I_1}.$$

Dla dużych wartości $\frac{\omega L}{R}$ prądy dla strefy II można opisać przybliżoną zależnością:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) + I_0 = i_2(t) + I_0$$

gdzie:

$$I_0 \approx \frac{1}{R} \left[\frac{\sqrt{2} E}{2\text{tg} \varphi} (1 - \cos \alpha_{w1}) + \frac{\sqrt{2} E_2}{2\text{tg} \varphi} (\cos \alpha_2 + 1) \right] =$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{2\text{tg} \varphi} \left[\cos \alpha_{w1} - 1 + \varepsilon \cos(\alpha_2 + 1) \right] \frac{E}{R},$$

α_{w1} jest tu kątem wyłączenia (dla zadanego obciążenia) tyrystora T_1 zależanego z kątem $\alpha_1 = 0$.

Ponieważ przebiegi prądów w strefie I sterowania są identyczne, jak przy sterowaniu z tyrystorem impulsującym, zaś w strefie II prawie identyczne jak przy zasilaniu z dodatkową siłą prądomotoryczną, więc przebiegi siły drgającej w strefie I będą identyczne jak przy sterowaniu z tyrystorem impulsującym, zaś w strefie II praktycznie takie same jak w układzie z dodatkową siłą prądomotoryczną. Zabezpiecza to płynną regulację składowej siły drgającej wibratora w szerokim zakresie wymaganych parametrów wyjściowych.

Przy konstrukcji układu należałoby jeszcze zwrócić uwagę na dwa szczególne techniczne:

- 1) sterowanie obu tyrystorów powinno odbywać się z jednego zadajnika,
- 2) katody obu tyrystorów: głównego i pomocniczego są na tym samym potencjale, można więc zrezygnować z separowania galwanicznego układów wyzwalania, czyli inaczej mówiąc można zastosować sterownik pracujący na potencjale katod tyrystorów, który by nie wymagał żadnych dodatkowych separacji galwanicznych za wyjątkiem separacji obwodów sterowania od napięć zasilających.

3. PRAKTYCZNA REALIZACJA UKŁADU

Przy praktycznej realizacji układu zasilania pojawiają się dodatkowo problemy: doboru transformatora, tyrystorów oraz sterownika elektrycznego.

D o b ó r t r a n s f o r m a t o r a

Oznaczając przez R całkowitą rezystancję obwodu wibratora, przez I_{om} maksymalną wartość składowej stałej, zaś przez I_m maksymalną wartość składowej przemienną prądu wibratora, to maksymalna wartość prądu skutecznego strony wtórnej transformatora wystąpi przy pełnym wysterowaniu tyrystora T_2 (gdy tyrystor T_2 będzie przewodził przez pół okresu) i wynosi:

$$I_2 \max = \sqrt{\frac{I_{om}^2}{2} + \frac{I_m^2}{2}}$$

Równocześnie maksymalne napięcie wyprostowane wynosi

$$U_d \max = \frac{\sqrt{2} E_2}{\delta}$$

i będzie spełniał zależność

$$U_d \max = I_{om} R$$

Wprowadzając współczynnik $k > 1$ uwzględniający wahania napięcia, zmiany rezystancji itp. można uzyskać wyrażenie na napięcie strony wtórnej transformatora

$$E_2 = \frac{\delta}{\sqrt{2}} k R I_{om}$$

Powyższy wzór pozwala określić przekładnię transformatora ξ . Moc strony wtórnej transformatora określona jest wzorem:

$$S_2 \max = E_2 I_2 \max = \frac{k\pi}{2} R I_{om} \sqrt{I_{om}^2 + I_m^2}.$$

D o b ó r t y r y s t o r ó w

Maksymalna wartość średnia prądu płynącego przez tyrystor T1 w czasie półokresu napięcia zasilającego wynosi:

$$I_{T1(AV)} \approx I_{om} + \frac{2}{\pi} I_m.$$

Zatem prąd graniczny tyrystorów powinien spełniać warunek

$$I_T(AV) > I_{om} + \frac{2}{\pi} I_m.$$

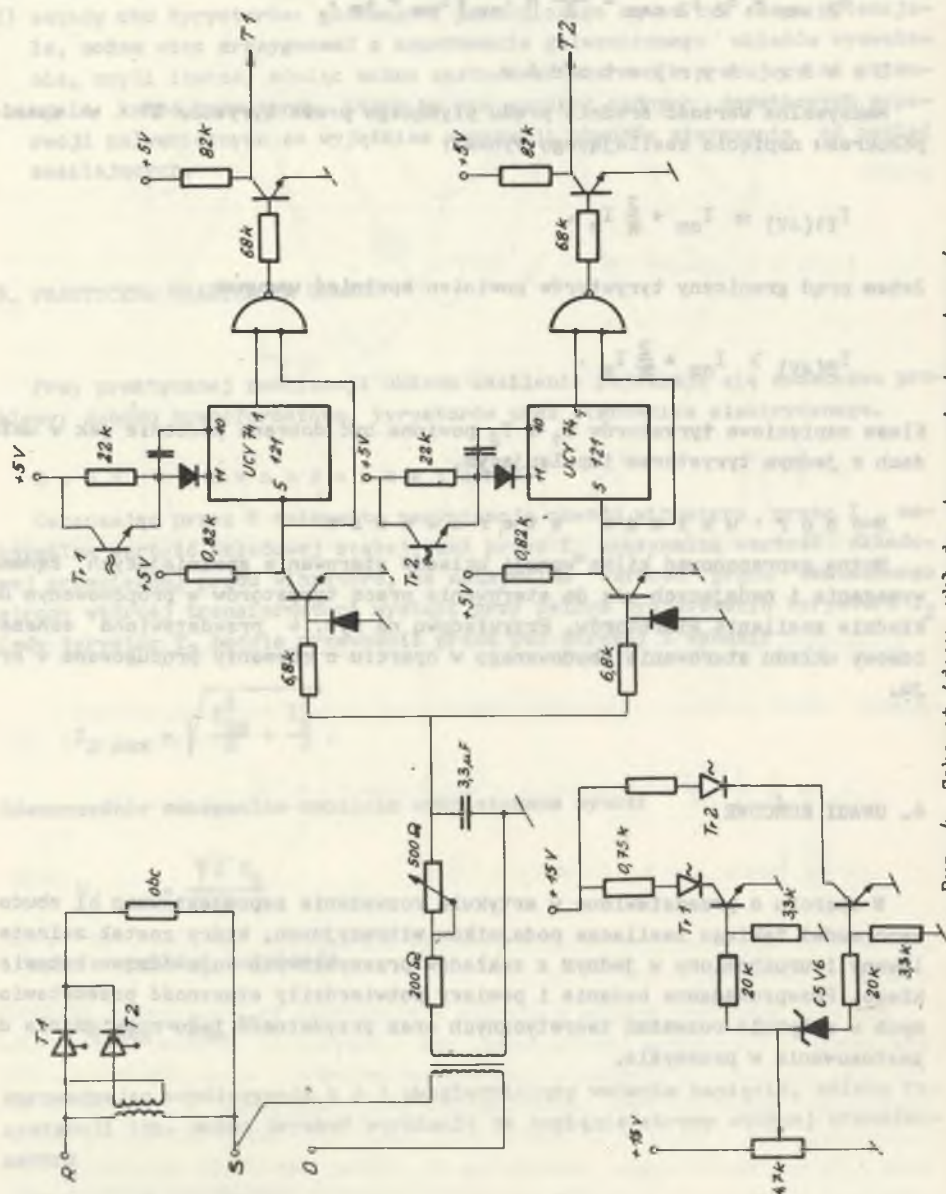
Klasa napięciowa tyrystorów T₁ i T₂ powinna być dobrana podobnie jak w układach z jednym tyrystorem impulsującym.

D o b ó r u k ł a d u s t e r o w a n i a

Można zaproponować kilka wersji układów sterowania spełniających żądane wymagania i nadających się do sterowania pracą tyrystorów w proponowanym układzie zasilania wibratorów. Przykładowo na rys. 4 przedstawiono schemat ideowy układu sterowania zbudowanego w oparciu o elementy produkowane w kraju.

4. UWAGI KOŃCOWE

W oparciu o przedstawione w artykule rozważania zaprojektowano i zbudowano model takiego zasilacza podajników wibracyjnych, który został zainstalowany i uruchomiony w jednym z zakładów przemysłowych województwa katowickiego. Przeprowadzone badania i pomiary potwierdziły słuszność przedstawionych w artykule rozważań teoretycznych oraz przydatność tego rozwiązania do zastosowania w przemyśle.



Rys. 4. Schemat ideowy układu sterowania tyrystorami

LITERATURA

- [1] Krykowski K., Rodacki T., Toporkiewicz J.: Energoelektroniczne układy zasilania bezwładnościowych napędów wibracyjnych. Zesz. Nauk. Pol. Sl. Elektryka nr 88, Gliwice 1985.
- [2] Rodacki T., Krykowski K. i inni: Tyrystorowy układ zasilania podajników wibracyjnych. Zgłoszenie patentowe.
- [3] Lucjiński J.: Układy tyrystorowe. WNT, Warszawa 1972.
- [4] Tunia H., Winiarski B.: Układy elektroniczne w automatyce napędowej. WNT, Warszawa 1975.

Recenzent: doc. dr inż. Józef Danczewicz

Wpłynęło do redakcji dn. 15 kwietnia 1984 r.

СИСТЕМА ПИТАНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ПРИВОДОВ

Резюме

В статье представлено новое оптимальное решение тиристорного питателя для вибрационных питателей. Предлагаемая система сочетает в себе достоинства применяемых на практике решений: системы с токодвигущей силой и системы с пульсирующим тиристором, однако нет у неё их недостатков.

SUPPLY SYSTEM FOR INERTIAL VIBRATOR DRIVES

Summary

In the paper a new optimum thyristor supply for vibrating feeders is presented. The proposed supply system possesses advantages of two practical applied alternative solutions: system with Current source and system with pulse thyristor, without faults of these systems.