

CZESŁAWA KOLMEROWA, MIECZYSLAW KRAUSE

WTÓRNIK KATODOWY I JEGO ZASTOSOWANIE W FIZJOLOGII

Z Zakładu Elektroniki Przemysłowej Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Kierownik: prof. dr inż. T. Zagajewski

i z Zakładu Fizjologii Śląskiej A. M. w Zabrze-Rokitnicy

p. o. Kierownika: dr M. Krause

Niniejsza praca poświęcona jest niektórym trudnościom, na jakie napotyka badacz zajmujący się badaniem potencjałów, wytwarzanych przez generatory biologiczne. Generatorami tego typu są komórki żywego ustroju, które albo samodzielnie (jak np. komórki węzła zatokowego) lub pod wpływem czynników zewnętrznych (np. neurony lub włókna mięśniowe) wykazują krótkotrwałe różnice potencjałów zwane potencjałami czynnościowymi. Jedną z charakterystycznych cech generatorów biologicznych jest ich bardzo duży opór wewnętrzny. Opór ten dotyczy głównie błony komórkowej. Dla neuronu ruchowego kota wynosi on około $1M\Omega$ (Eccles 1957).

Do badania pojedynczych biogeneratorów trzeba ze względu na ich mikroskopijne wymiary stosować elektrody, których zakończenie mierzy od 0,5 do kilku mikronów. Te tzw. mikroelektrody są szklanymi kapilarami wypełnionymi metalem (Pt, Ag) lub roztworem elektrolitu (płyn Ringera lub 3 M KCl). Ich opór waha się w granicach od 10 do 20 $M\Omega$. Zredukowanie oporu mikroelektrod jest bardzo trudne. W przypadku mikroelektrod metalowych trzeba by zwiększyć ich średnicę, przez co stałyby się one niezdadne do odprowadzania potencjałów z pojedynczych komórek. W elektrodach wypełnionych roztworem elektrolitu można by zwiększyć stężenie elektrolitu, ale wówczas wskutek dużej różnicy stężeń substancji rozpuszczonych między roztworem wypełniającym mikroelektrodę i protoplazmą komórki, szybkość dyfuzji elektrolitu z mikroelektrody do wnętrza komórki byłaby duża i wkrótce doszłoby do zmiany składu protoplazmy, a co za tym idzie do zaburzeń w czynności komórki. Tak więc odprowadzając potencjały czynnościowe z pojedynczego biogeneratorsa trzeba się liczyć z łącznym oporem wynoszącym kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt $M\Omega$. Z drugiej strony opór wejściowy przyrządu rejestrującego nie może być mniejszy od oporu badanego obiektu. Wynika to z następują-

cych powodów: jeśli siłę elektromotoryczną biogeneratora przedstawimy sobie jako baterię E (ryc. 1), zaś sumę oporów biogeneratora i mikroelektrody jako opór r , to na zaciskach A i B otrzymamy różnicę potencjałów, którą pragniemy zmierzyć. Jeśli do zacisków A i B przyłączymy woltomierz, którego opór wejściowy wynosi R , wówczas popłynie prąd, i powstanie spadek napięcia na oporach r i R , proporcjonalny do wielkości tych oporów. Różnica potencjałów na zaciskach generatora będzie wynosiła teraz nie E , lecz $\frac{R}{R+r} E$. Jeśli r będzie małe w stosunku do R , wówczas

większa część siły elektromotorycznej wytwarzanej w obrębie generatora ulegnie redukcji w obrębie samego generatora. Jeśli np. łączny opór

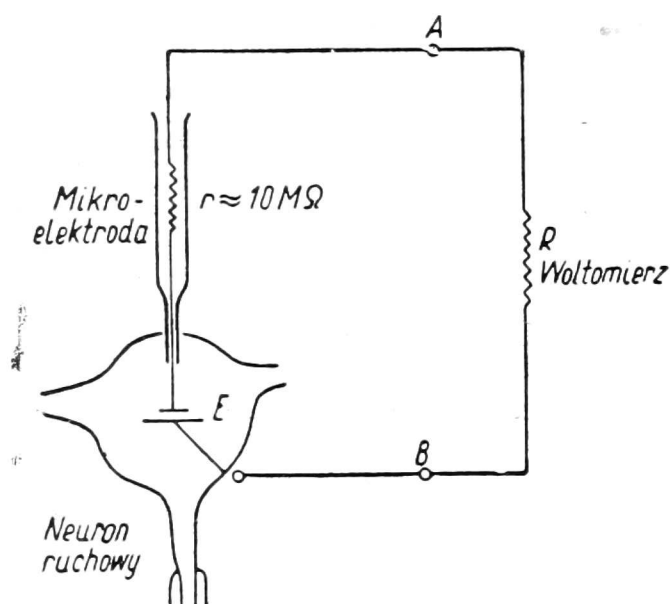
wewnętrzny komórki i mikroelektrody wynosiłby $10\,000\ \Omega$, to napięcie mierzone woltomierzem o oporze wejściowym równym $1\,000\,000\ \Omega$ wynosiłoby $\frac{1\,000\,000}{1\,010\,000} E$, czyli nie

mniej niż 99% faktycznej wartości E . Gdyby opór wejściowy woltomierza wynosił tylko $100\ \Omega$, wówczas mierzone napięcie miałoby wielkość

$\frac{100}{10\,100} E$ czyli 0,01 faktycznej wartości napięcia generatora. Jak powiedziano, opór wejściowy przyrządu pomiarowego winien być duży,

w każdym razie znacznie większy od sumy oporów biogeneratora i mikroelektrody.

Do rejestracji i pomiarów potencjałów czynnościowych biogeneratorów używa się dziś najczęściej oscylografów katodowych. Wymagają one jednak do odchylenia wiązki elektronów stosunkowo dużych napięć (rzędu $100\ \text{V}$) i dlatego potencjały czynnościowe pojedynczych biogeneratorów rzędu $100\ \text{mV}$ muszą być wzmocnione przed dojściem do płytek Y oscylografu. Wzmocnienie następuje w przedwzmacniaczu i wzmacniaczu oscylografu katodowego. Opór wejściowy przedwzmacniacza wynosi kilka $\text{M}\Omega$. Np. opór wejściowy używanego w pracowni biofizyki Zakładu Fizjologii Śl. A. M. przedwzmacniacza Cossor typ 1440 wynosi $5,6\ \text{M}\Omega$. Zastosowanie większych oporów wejściowych w przyrządach rejestrujących odbija się niekorzystnie na pracy tych przyrządów. Tymczasem otrzymanie dokładnego pomiaru potencjałów czynnościowych biogeneratora jest uwarunkowane tym, aby opór wejściowy przyrządu rejestrującego był co najmniej 10 razy większy od oporu generatora. Jednym z rozwiązań jest włączenie



Ryc. 1.

między biogenerator i przedwzmacniacz tzw. wtórnik katodowy. Układ ten wprowadzony do fizjologii w r. 1938 przez *Tönnesa* przedstawia ryc. 2.

Wtórnik katodowy różni się od zwykłego wzmacniacza oporowego tym, że anoda lampy wzmacniającej połączona jest bezpośrednio z biegunem dodatnim źródła zasilania anodowego, zaś opór użyteczny R_k znajduje się między katodą i ujemnym biegunem źródła zasilania anodowego. Opór obciążenia może być włączony równolegle do oporu R_k lub też R_k może być właśnie oporem obciążenia.

Nazwa wtórnik pochodzi stąd, że napięcie wyjściowe jest powtórzeniem napięcia sygnału wejściowego pod względem wartości i kierunku. Gdyby sygnał wejściowy był doprowadzony między siatkę *a*

i katodę (punkty 2 i 5 na ryc. 2) układ byłby zwykłym stopniem oporowym ze zmienioną kolejnością włączenia w obwodzie anodowym oporu obciążenia i źródła zasilania. Układ wtórnik powoduje, że całe napięcie wyjściowe odejmuje się od sygnału wejściowego, co stanowi stuprocentowe ujemne sprzężenie

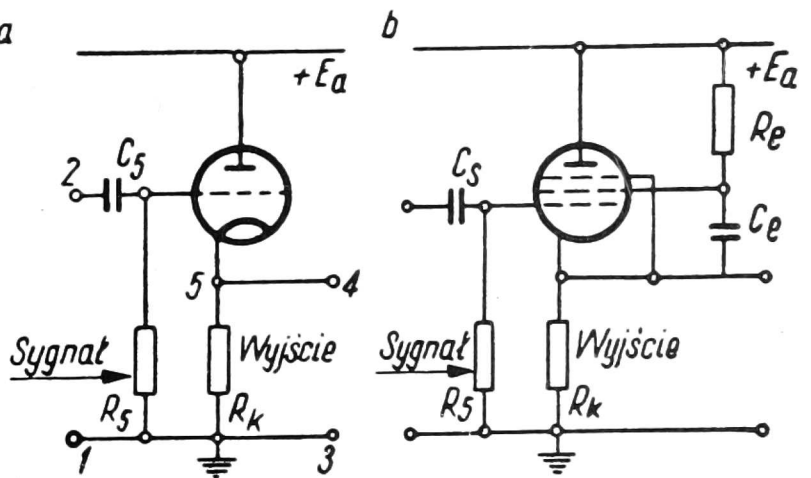
zwrotne. Na oporze R_k składowa stała prądu anodowego I_{ao} powoduje równocześnie spadek stałego napięcia równy $I_{ao} \cdot R_k$, który podany na siatkę ustala punkt pracy lampy.

We wtórniku katodowym współczynnik wzmocnienia napięciowego jest zawsze mniejszy od jedności (ale bliski jedności), zaś wzmocnienie prądowe i wzmocnienie mocy jest duże.

Innymi cennymi zaletami wtórnik katodowy jest bardzo mała pojemność wejściowa (rzędu paru pF, nawet przy pracy na triodach), duży opór wejściowy i mały opór wyjściowy. Te właściwości dają możliwość szerokiego wykorzystania wtórnik katodowy dla celów fizjologii i elektrotechniki medycznej.

Jako stopień wejściowy wtórnik katodowy zapewnia duży opór wejściowy układu, co umożliwia pracę ze źródłami o dużym oporze wewnętrznym (biogeneratory łącznie z mikroelektrodami). Wzrost impedancji wejściowej, jaką można uzyskać wynosi w na ogół stosowanych układach (tzn. dla dużego współczynnika wzmocnienia lampy K_a i oporu R_k rzędu oporu wewnętrznego lampy ϱ) około $(\frac{1}{2} \div \frac{1}{3}) \cdot K_a$.

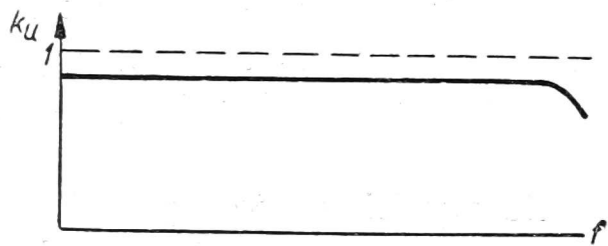
W stopniach pośrednich wtórnik katodowy daje możliwość pewnego poszerzenia pasma przepuszczenia wzmacniacza oraz zmniejszenia wpływu



Ryc. 2.

pasżytnicznych sprzeżeń między stopniami, wywołujących niepożąpane zjawiska w układzie.

W stopniach wyjściowych wtórnik katodowy odgrywa rolę członu dopasowującego oporność obciążenia do oporności wzmacniacza. Z tego powodu



Ryc. 3.

bywa niekiedy nazywany „transformatorem oporowym”. Dynamiczny zakres takiego stopnia jest szerszy (w przybliżeniu rośnie $S \cdot R_k$ -krotnie, gdzie S jest nachyleniem charakterystyki lampy) niż wzmacniacza z oporowym stopniem wyjściowym przy równie szerokim paśmie przepuszczania. Dla wtórnika ka-

todowego, zbudowanego na lampie o dużym współczynniku wzmocnienia K_a , impedancja wyjściowa jest w przybliżeniu równa odwrotności nachylenia charakterystyki lampy S .

Charakterystyka częstotliwości wtórnika katodowego (ryc. 3) wykazuje dużą stałość współczynnika wzmocnienia w szerokim paśmie przypuszczania od częstotliwości $f = 0$ (tzn. dla impulsów napięcia stałego) do częstotliwości rzędu dziesiątków kc/s.

Oprócz tego zaletą wtórnika jako układu o ujemnym sprzężeniu zwrotnym są małe zniekształcenia nielinowe i stabilność pracy. Wskazówki praktyczne potrzebne do wykonania wtórnika katodowego można znaleźć w podanym piśmiennictwie.

Ч. Кольмер, М. Краузе

KATODNY PÓWTORITEL I EGO PRZYMENIENIE W FIZIOLOGII

Cz. Kolmerowa, M. Krause

CATHODE FOLLOWER AND ITS USE IN PHYSIOLOGY

PIŚMIENICTWO

1. *Byzow A. L., Bongard M. M.*: Fizjoł. Żurnał S. S. S. R., 1959, 45, 110.
2. *Donaldson P. E. K.*: Electronic apparatus for biological research, London, 1958.
3. *Eccles J. C.*: The physiology of nerve cells. Baltimore, 1957.
4. *Haapanen L., Ottoson D.*: Acta Physiol. Scand., 1954, 32, 271.
5. *Klensch H.*: Einführung in die biologische Registriertechnik, Stuttgart, 1954.
6. *Muralt A.*: Neue Ergebnisse der Nervenphysiologie, Berlin, 1958.
7. *Whitfield I. C.*: An introduction to electronics for physiological workers, London, 1953.

Otrzymano: dnia 30. 10. 1959.