

6. Федотов Т. С., Тезиси докладов на первой научной сессии Ин-та эксперим. хирург. аппаратуры и инструментов, 1956, с. 26.

7. Щербакова Т. Т., Марцинкевич М. К., Брюхоненко С. С., Труды конф., посвящ. проблеме патофизиологии и терапии терминальных состояний в клинике и практике неотложной помощи, Медгиз, 1954, с. 213.

8. Янковский В. Д., Труды конф., посвящ. проблеме патофизиологии и терапии терминальных состояний в клинике и практике, Медгиз, 1954, с. 188.

9. Cohen Morley, Warden Herbert E., Lillehei C. Walton, Physiologic and metabolic changes during autogenous lobe oxygenation with total cardiac by-pass employing the azidos flow principle. Surg. Gynecol. and Obstetr., 98, № 5, 1954, p. 523.

10. Warden Herbert E., Cohen Morley, Read Raimond C., Lillehei C. Walton, Controlled cross circulation for open intracardiac surgery. Physiologic studies and results of creation and closure of ventricular septal defect. J. Thoracic Surg., 82, № 3, 1954, p. 331.

Надійшла до редакції
15.XI 1960 р.

Катодний повторювач на пентоді для роботи з мікроелектродами

І. С. Марура

Лабораторія електрофізіології Інституту фізіології
ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР, Київ

При застосуванні методу внутріклітинного вимірювання електричних потенціалів дослідник натрапляє на певні труднощі, пов'язані з високим електричним опором мікроелектродів. Цей опір досягає десятків мільйонів ом і в поєднанні з вхідною ємністю лампи першого каскаду посилення може бути причиною неправильного відображення швидких електричних коливань. Крім того, більш або менш помітний струм сітки посилювальної лампи викличе на мікроелектроді падіння напруги, яке може призвести до значної неточності результатів вимірювань. Струм сітки може впливати також на досліджувану клітину.

Перед дослідником стоїть завдання максимально зменшити вплив вхідної ємності лампи, а також добитися малих величин струму сітки. Це завдання можна розв'язати за допомогою катодного повторювача. Катодні повторювачі дістали широке застосування завдяки простій будові, що поєднується з малими частотними і фазовими викривленнями у широкому діапазоні частот. Ця властивість пов'язана з тим, що вхідна ємність електронної лампи у катодному повторювачі значно менша, ніж її вхідна ємність у звичайному посилювальному каскаді. Це досягається 100%-ним від'ємним зворотним зв'язком.

Коефіцієнт посилення катодного повторювача не може перевищувати одиниці, тому правильніше його називати коефіцієнтом передачі. Коефіцієнт передачі можна виразити такою формулою:

$$K = \frac{u_{\text{вих}}}{u_{\text{вх}}} = \frac{SR_k}{1 + SR_k}, \quad (I)$$

де S — крутизна характеристики лампи, R_k — опір катодного навантаження. Вхідна ємність лампи катодного повторювача дорівнює приблизно:

$$C_{\text{вх}} \approx C_{\text{са}} + C_{\text{ск}}(1 - K). \quad (II)$$

Таким чином ефективна ємність сітка — катод зменшується у $\frac{1}{1-K}$ раз, ємність сітка — анод не зменшується.

З формули I ми бачимо, що для одержання більш високого коефіцієнта передачі, треба застосувати лампу з крутою характеристикою і ставити досить високий опір катодного навантаження. Тому для катодного повторювача вигідно використати пентод. Крім крутості характеристики, великою перевагою пентодів перед тріодами є дуже мала ємність сітка — анод. Вона не перевищує сотих часток пікофаради. Ці міркування примусили нас виготовити катодний повторювач на пентоді 6Ж1Ж, хоч у літературі є вказівки, що струм сітки у пентодів значний і зменшити його важко.

Настук і Годжкін при використанні пентода для катодного повторювача робили індивідуальний вибір лампи, щоб одержати малий струм сітки.

Струм керуючої сітки пентода досить чутливий до напруги на екранній сітці. Стара́ний вибір цієї напруги дозволив нам досягти того, що струм сітки не перевищує $1 \cdot 10^{-11}$ ампера і при досить тривалій роботі лампи практично не змінюється. Змінний опір в електричному колі екранної сітки дозволяє регулювати цю величину, при цьому треба підбирати такий опір, щоб при регулюванні можна було змінювати напрямок

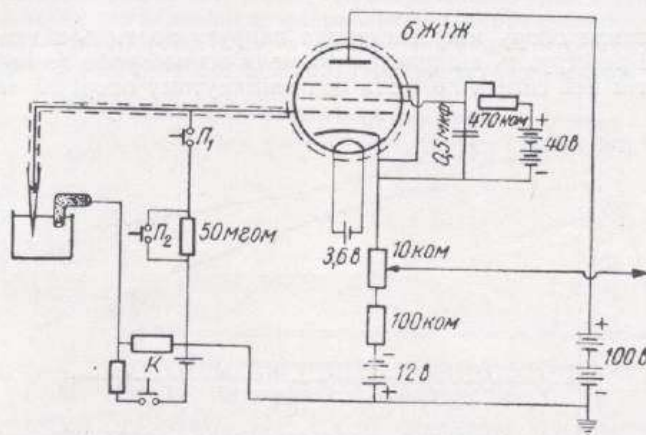


Рис. 1. Схема катодного повторювача.

струму сітки. Індивідуальний вибір лампи не обов'язковий. Заміна однієї лампи іншою потребує тільки регулювання напруги на екранній сітці. Таке регулювання треба робити лише тоді, коли нова лампа працювала приблизно 50 годин.

Перед початком роботи з катодним повторювачем треба також регулювати струм сітки. Це треба робити після того, як лампа відпрацювала не менш ніж 30 хвилин.

У лампі 6Ж1Ж ємність сітка—катод становить 3,5 пікофаради, ємність сітка—анод 0,007 пікофаради. Внаслідок високого коефіцієнта передачі ефективна ємність

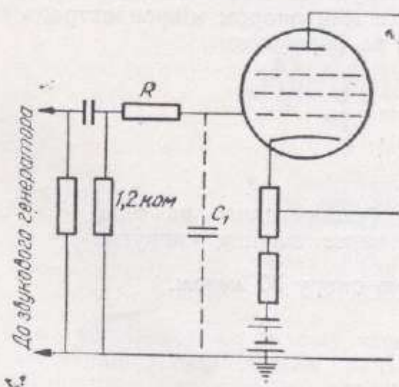


Рис. 2. Схема зняття частотної характеристики для визначення входної ємності.
 C_1 — входна ємність лампи, R — опір 47 мегом.

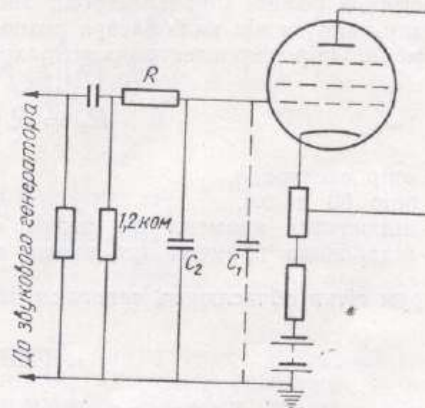


Рис. 3. Схема для зняття частотної характеристики з еквівалентним опором 15 мегом і еквівалентною ємністю мікроелектрода — 2 пікофаради.
 C_1 — входна ємність лампи, C_2 — еквівалентна ємність мікроелектрода, R — опір 15 мегом.

сітка—катод значно зменшується і не перевищує 0,5 пікофаради, що практично дорівнює входній ємності лампи.

Вхідна ємність лампи 6С1Ж у катодному повторювачі Голова і Костюка не може бути меншою від 1,5 пікофаради. Така ж входна ємність і у катодного повторювача на пентагріді ІАІП Бизова і Бонгарда.

Для зменшення ефективної входної ємності лампа і ввід керуючої сітки містяться у катодному екрані і знаходяться на мікроманіпуляторі поблизу досліджуваного

об'єкту. При перевірці частотної характеристики ми скористалися методом, який запропонували Бизов і Бонгард (рис. 1, 2).

Зроблені обчислення після зняття частотної характеристики з великим опором — 47 мегом підтвердили те, що вхідна ємність катодного повторювача дорівнює приблизно 0,5 пікофаради. Ми зняли також частотну характеристику з обчисленням опору і ємності мікроелектрода. Еквівалентний опір мікроелектрода був взятий — 15 мегом, а його ємність — 2 пікофаради. Ця ємність може бути значно більшою, вона залежить від глибини занурення мікроелектрода і дорівнює приблизно 1 пікофараді на 1 мм занурення.

Для вимірювання опору мікроелектрода напругу подають від калібровача безпосередньо на вхід і реєструють відхилення променя осцилографа (з посилювачем постійного струму). Потім цей сигнал подають при ввімкнутому опорі 50 мегом і зануреному

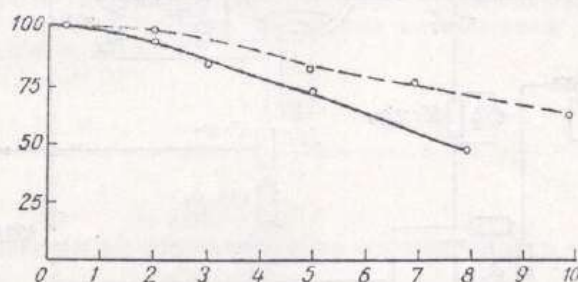


Рис. 4. Частотна характеристика катодного повторювача.

Переривиста лінія показує характеристику без урахування ємності мікроелектрода з опором 47 мегом. За допомогою цієї характеристики можна обчислити вхідну ємність лампи. Суцільною лінією показана частотна характеристика з урахуванням ємності і опору мікроелектрода. Еквівалентний опір мікроелектрода 15 мегом. Еквівалентна ємність 2 пікофаради. На осі ординат — відносна амплітуда в процентах (за 100% прийнята найбільша амплітуда); на осі абсцис частота у кілогерцах.

у фізіологічний розчин мікроелектроді. Знову реєструється відхилення променя. В цьому випадку напруга від калібровача розподіляється між опором мікроелектрода й опором 50 мегом. Опір мікроелектрода розраховується за формулою:

$$R_e = R \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right), \quad (III)$$

де R_e — опір електрода,

R — опір 50 мегом,

V_1 — відхилення променя при подачі сигналу безпосередньо на вхід,

V_2 — відхилення променя при подачі сигналу через дільник напруги.

Струм сітки обчислюють також за допомогою опору 50 мегом.

ЛІТЕРАТУРА

- Бизов А. Л., Бонгард М. М., Катодный повторитель для работы с микроэлектродом, Физиол. журн. СССР, 45, 1959, 110.
 Бялик Г. И., Ламповые широкополосные усилители. Госэнергоиздат, 1960.
 Голов Д. А. и Костюк П. Г., Входной каскад усилителя для внутриклеточного отведения потенциалов, Физиол. журн. СССР, 42, 1956, 117.
 Каминир Л. Б., Катодный повторитель, М.—Л., 1955.
 Костюк П. Г., Микроэлектродная техника, Изд-во АН УССР, К., 1960.
 Томас Мартин, Электронные цепи, Воениздат, 1958.
 Nastuk W., Hodgkin A., The electrical activity of single fibres, J. cell. Comp. Physiol., 35, 39, 1950.

Надійшла до редакції
20.X 1960 р.

До

Мето
функції м
тику А. С
ніші. Розр

широкої
лістокард
грамм люд
Розв
при різни

ментальни
ратурі ми
балістокар
рі методи
готовкою
Дарбі із
хребта со
Т₆—L₅ хр
одержані
у собак в
спеціальн
балістокар
має власн
грамм у со
датчик В.
При цьом
кальних а
Вивч
ності, ми

9 — Физиоло