

більш точний спосіб порівняно з раніше запропонованими розрахунками. Індивідуальну характеристику термоелементів брали до уваги шляхом попереднього калібрування їх на еталонних середовищах, внаслідок чого були побудовані графіки для кожного термоелемента окремо. В дальшому за цими графіками визначали показники теплопровідності середовищ, де провадили вимірювання.

2. На підставі проведених дослідів з перфузією нирки *in situ*, у корковий шар якої був введений термоелемент, побудована крива залежності величин ефективної теплопровідності тканини від об'єму перфузованої крові. З допомогою цієї кривої за обчисленою в досліді величиною ефективної теплопровідності тканини (λ) можна визначити кровострумін в мл/хв/г тканини.

Література

1. Вышати́на А. И.— Бюлл. exper. биол. и мед., 1963, 11, 56.
2. Вышати́на А. И.— В сб.: Регуляция регионарного кровообр. (Материалы симпозиума) Л., 1965, 11.
3. Вишати́на О. І. і Левін Б. А.— Фізіол. журн. АН УРСР, 1965, XI, 2, 261.
4. Гуревич М. И. и Вышати́на А. И.— В сб.: Функцион. взаимоотнош. между различными системами организма в норме и патол. (Материалы конфер.), Иваново, 1962, 24.
5. Маршак М. Е.— В сб.: Современ. методы исслед. функций сердечно-сосуд. системы, 1963, 179.
6. Bill— Acta Physiol. Scand., 1962, 55, 111.
7. Burton A. C., (1955) — Цит. за Kramer K., Lochner W. a. Wetterer E.— Handbook of Physiology, sect. 2, Circulation, 1963, 2, 1277.
8. Dosekun F. O., Grayson J. a. Mendel D.— J. of Physiol., 1960, 150, 581.
9. Gibbs F. A.— Proc. Soc. Exp. Biol., 1933, 31, 141.
10. Graf K., Golenhofen K. u. Hensel H.— Pflüg. Arch. Ges. Physiol., 1957, 264, 44.
11. Graf K. a. Rosell S.— Acta Physiol. Scand., 1958, 42, 51.
12. Grängsjo G., Sandblom Y., Ulfendahl H. R. a. Wolgast M.— Acta Physiol. Scand., 1966, 66, 3, 366.
13. Grayson J.— Journ. of Physiol., 1952, 118, 54.
14. Hensel H., Ruff J., Golenhofen K.— Pflüg. Arch. Ges. Physiol., 1954, 259, 267.
15. Hensel H. u. Bender F.— Pflüg. Arch. Ges. Physiol., 1956, 263, 603.
16. Kanzow E.— Pflüg. Arch. Ges. Physiol., 1961, 273, 199.
17. Levy L., Graichen H., Stolwijk Y. A. Y. a. Calabresi M.— J. Appl. Physiol., 1967, 20, 5, 1026.
18. Linzell J. L.— J. of Physiol., 1953, 121, 390.
19. Mowbray J. F.— J. Appl. Physiol., 1959, 14, 647.
20. Mowbray J. F.— Proc. of the Royal Society of Medicine, Suppl., 1966, 59, 26.
21. Priebe L. u. Betz E.— Pflüg. Arch., 1967, 294, 3, R26.
22. Smith H. W.— The Kidney: Structure and Function in Health and Disease, 1951.
23. Suzuki H. a. Motokawa K.— Digest of the 6th intern. conf. of Medical Electronics and Biological Engineering. Tokyo, 1965, 62.

Надійшла до редакції
28.XII 1966 р.

Модифікована схема осцилографа ЕНО-1 для електрофізіологічних досліджень

Г. А. Можаяв

Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

Біофізичні та електрофізіологічні дослідження здебільшого потребують застосування спеціальних осцилографів, виробництво яких ще не налагоджено. Тому часто використовуються різні типи технічних осцилографів з деякими змінами в схемах або без них [1, 2]. Одним з найбільш придатних для вимірювання і реєстрації біопотенціалів є осцилограф ЕНО-1 (нова назва СІ-4). Він має підсилювач постійного струму, трубку з подовженим післясвітінням, широкий діапазон швидкостей розгортання та інші корисні характеристики, які зумовили його широке застосування для біофізичних та електрофізіологічних досліджень. Проте існує ряд характеристик осцилографа, які значно обмежують його використання, а іноді й перешкоджають проведенню точних кількісних досліджень. До таких характеристик можна віднести: 1) несиметричний вхід, що не дозволяє визволитися від сигналу, який заважає; 2) значну нелінійність підсилювача вертикального відхилення, завдяки якій при подачі на вхід постійної напруги од-

накової величини, але різної полярності, відхилення, створювані нею, відрізняються більше, ніж на 5%, якщо величина відхилення в один бік досягає 35 мм; крім того при зміщенні променя по вертикалі змінюється перехідна характеристика підсилювача і чутливість знову-таки через нелінійність підсилювача; 3) незручно є схема затримання допоміжного імпульсу, яка має п'ять фіксованих інтервалів затримки на 11 піддіапазонів швидкостей розгортання, внаслідок чого положення затриманого імпульсу на екрані залежить від зміни швидкості розгортки, і при малих швидкостях її затриманий імпульс виявляється незручно близько від початку лінії розгортки; 4) вихід генератора допоміжних імпульсів не пропускає постійної складової, що робить неможливим одержання чисто однополярних імпульсів без додаткових пристроїв (схеми прив'язування рівня тощо). І, нарешті, затриманий імпульс має фіксовану і досить малу тривалість (50 мксек).

Взявши до уваги все викладене вище, ми поставили перед собою завдання модифікувати схему осцилографа ЕНО-1 таким чином, щоб його характеристики якнайближче відповідали тим вимогам, які можуть ставитися до осцилографа для досліджень біопотенціалів.

Технічні характеристики модифікованого осцилографа ЕНО-1

Вхід підсилювача вертикального відхилення симетричний, диференціальний.

Коефіцієнт пригнічення синфазного сигналу $H = \frac{K_{\text{прф}}}{K_{\text{синф}}} = 4000$ при $U_{\text{вх}} = 4$ в, де $K_{\text{прф}}$ — коефіцієнт підсилювання протифазного сигналу; $K_{\text{синф}}$ — коефіцієнт підсилювання синфазного сигналу.

Найбільша чутливість = 20 мв/см.

Зміна чутливості ступінчаста. Множники чутливості 1; 2; 5; 10; 20. Точність зміни чутливості $\pm 1\%$.

Нелінійність при відхиленні по вертикалі до ± 30 мм не більше 1%.

Зміщення променя по осі Y зміни перехідної характеристики і чутливості підсилювача не викликає.

Тривалість підсилення сигналу на виході підсилювача (на екрані ЕЛТ) при подачі на вхід стрибка напруги 0,8 мксек.

Генератор затриманих імпульсів видає на кожний хід розгортки один прямокутний імпульс, тривалість якого можна змінювати в діапазоні від 40 мксек до 40 мсек. Найбільша амплітуда імпульсу 75 в. Полярність позитивна і негативна.

Другий генератор затриманих імпульсів видає імпульс трикутної форми тривалістю 10 мксек на рівні 0,5 з амплітудою 10 в.

Затримані імпульси можуть бути встановлені незалежно один від одного в будь-якому місці лінії розгортки і не змінюють свого положення при зміні швидкості розгортки.

Запуск генератора розгортки може здійснюватися від генератора пускових імпульсів у режимі «внутрішній запуск», або від синхронізатора фотоапарата в очікуваному режимі. Є можливість одноразового механічного запуску генератора розгортки.

Пункти 5, 6, 10, 12, 16, 17, 18, 20, 21 і 22 технічних характеристик приладу залишилися без змін (див. описання ЕНО-1).

Підсилювач вертикального відхилення

Підсилювач осцилографа побудований за балансною схемою, і, здається, досить зробити виведення від сітки другої половини лампи L_2 на передню панель, щоб вхід став симетричним. Однак диференціальні властивості такого підсилювача виявляються дуже поганими. Коефіцієнт пригнічення синфазного сигналу (H) має порядок 600. Внаслідок нелінійності характеристик першого каскаду відбувається модуляція протифазного сигналу синфазним, і, фактично, H виявляється значно нижче 600. Підсилення можна змінювати тільки плавно потенціометром плавного регулювання приблизно в 12 разів. У ряді випадків цього недостатньо, а, головне, незручно, тому що треба мати калібрований потенціометр, або після зміни підсилення проводити калібрування чутливості. Ще одним недоліком повільного регулювання підсилення цього типу є зміна перехідної характеристики одного з плечей, в результаті чого на виході підсилювача з'являються викидання, якщо вхідним синфазним сигналом є прямокутний імпульс. Крім того, слід відзначити, що регулятор корекції нуля впливає на диференціальність підсилювача, і здебільшого положення оптимальної корекції і найбільшого пригнічення синфазного сигналу не збігаються.

Схема, наведена на рис. 1, була розроблена з метою усунення згаданих недоліків. Збільшення опору в катодних ланцюгах першого і другого каскадів значною мірою знизило нелінійність характеристики першого каскаду і підвищило диференціальні властивості другого. Потенціометр зміщення променя по вертикалі перенесений з ланцюга

анодів другого каскаду в ланцюг сітки для того, щоб регулювання зміщення не призводило до порушення диференціальності підсилювача. Застосування сухого елемента для ланцюга зміщення в якійсь мірі є недоліком схеми, але воно виправдовується простотою і повною відсутністю впливу зміщення по «У» на диференціальність підсилювача. Потенціометр R_1 призначений для балансування нуля, потенціометр R_4 — для симетрування підсилювача після зміни L_2 або ж для вирівнювання плечей у тому випадку, коли до входу підключаються катодні повторювачі, змонтовані в безпосередній близькості до реєструючих електродів. Їмності C_1, C_2, C_3 забезпечують ідентичність пере-

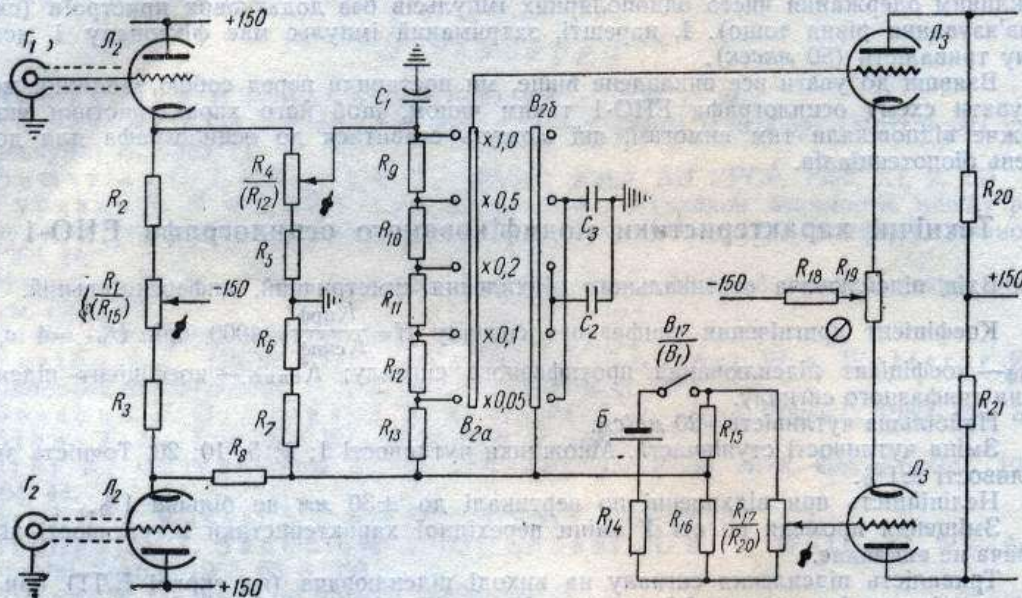


Рис. 1. Перший та другий каскади підсилювача вертикального відхилення.

$R_1 - 36 \text{ к}\Omega$, $R_2, R_3 - 83 \text{ к}\Omega$, $R_4 - 1 \text{ к}\Omega$, $R_5, R_6 - 20 \text{ к}\Omega$, $R_7, R_8 - 470 \text{ к}\Omega$, $R_9 - 10 \text{ к}\Omega$, $R_{10} - 6 \text{ к}\Omega$, $R_{11} - 2 \text{ к}\Omega$, $R_{12}, R_{15} - 1 \text{ к}\Omega$, $R_{14} - 1,1 \text{ к}\Omega$, $R_{15}, R_{16} - 200 \Omega$, $R_{17} - 470 \Omega$, $R_{18} - 20 \text{ к}\Omega$, $R_{19} - 180 \Omega$, $R_{20}, R_{21} - 10 \text{ к}\Omega$, $C_1 - 5-30 \text{ нф}$, $C_2 - 160 \text{ нф}$, $C_3 - 110 \text{ нф}$, $L_2 - 6\text{Н}2\text{П}$, $L_3 - 6\text{Н}1\text{П}$, $B - 1,6\text{-ФМЦ-У-3.2}$.

хідних характеристик плечей підсилювача. Точність ступінчастої зміни підсилення визначається точністю підбору і стабільністю у часі опору ділянки $R_9 - R_{13}$. Решта елементів схеми не потребує пояснень. При монтажі особливу увагу слід звертати на добру ізоляцію від шасі $R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}, B_{17}$ та B , тому що інакше буде спостерігатися порушення диференціальності підсилювача при зміщенні променя по вертикалі.

Схема, наведена на рис. 1, може забезпечити при відповідній установці потенціометра R_4 повне пригнічення синфазного сигналу, якщо амплітуда його не перевищує 2—3 в. Збільшення амплітуди синфазного сигналу понад 4 в призводить до розбалансу підсилювача і до появи на екрані складової синфазного сигналу за рахунок нелінійності характеристики ламп. Саме з цієї причини в технічних характеристиках вказана величина синфазного сигналу на вході при коефіцієнті пригнічення синфазного сигналу H^* . При менших значеннях вхідного синфазного сигналу H можна зробити рівним нескінченності.

Ще одна зміна, яка вноситься до схеми підсилювача, пов'язана з нелінійністю відхилення променя при подаванні на вхід однакових напруг різної полярності. Ця нелінійність зумовлена недостатнім зв'язком по ланцюгу катода ламп кінцевого каскаду та поганим режимом роботи ламп третього і четвертого каскадів. Загальний опір в ланцюгу катода має величину порядку 400 ом (якщо прийняти динамічний опір стабіловольту 300 ом), чого явно недостатньо для симетричної роботи ламп вихідного каскаду, якщо сигнали, що подаються на сітки, мають різні амплітуди. Цілковито прийнятні результати можна одержати при виключенні з катодного ланцюга кінцевого каскада стабіловольта СГ-4 і включення замість нього опору 8 ком. Струм на стабіловольт, який живить каскади підсилювача, що передують, подається з виходу випрямляча, який живить електронний стабілізатор, через опір 7,5 ком.

* Найбільш імовірне значення амплітуди синфазного сигналу, при якому починається розбаланс підсилювача, не визначалося, але окремі екземпляри лампи (6Н2-П) підвищують діапазон допустимого синфазного сигналу до 7 в.

Генерування затриманих імпульсів

Для затримання імпульсів щодо початку розгортки застосовуються компаратори напруги (рис. 2, Λ_{21} і Λ_{23}). Робота таких схем описана в літературі [1, 6]. Застосування компараторів як затримуючих схем дозволяє дуже просто вирішити питання розміщення стимулюючого імпульсу в будь-якому місці лінії розгортки і позбавляє необхідності додаткових регулювань при зміні її швидкості. Напруга розгортки, що лінійно знижується і від якої спрацьовують компаратори, знімається з катода лампи Λ_{28} . Підключення до катодного повторювача генератора розгортки (Λ_{28}) двох дільників на-

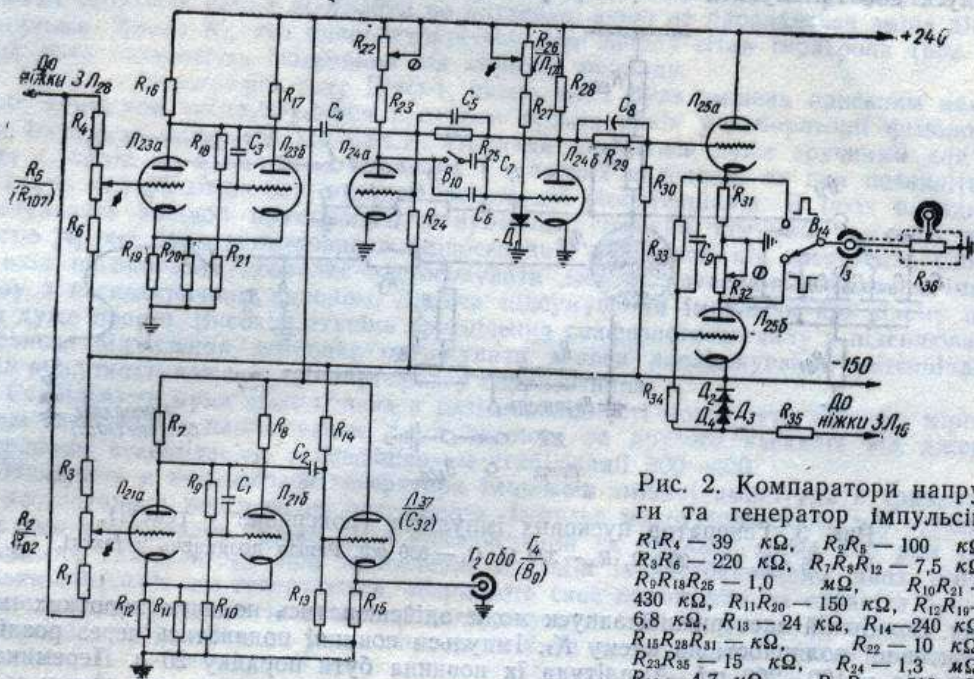


Рис. 2. Компаратори напруги та генератор імпульсів.

$R_1 R_4 - 39 \text{ к}\Omega$, $R_2 R_5 - 100 \text{ к}\Omega$,
 $R_3 R_6 - 220 \text{ к}\Omega$, $R_7 R_8 R_{12} - 7.5 \text{ к}\Omega$,
 $R_9 R_{18} R_{25} - 1.0 \text{ м}\Omega$, $R_{10} R_{21} - 430 \text{ к}\Omega$, $R_{11} R_{20} - 150 \text{ к}\Omega$, $R_{12} R_{19} - 6.8 \text{ к}\Omega$, $R_{13} - 24 \text{ к}\Omega$, $R_{14} - 240 \text{ к}\Omega$,
 $R_{15} R_{28} R_{31} - \text{к}\Omega$, $R_{22} - 10 \text{ к}\Omega$,
 $R_{23} R_{35} - 15 \text{ к}\Omega$, $R_{24} - 1.3 \text{ м}\Omega$,
 $R_{26} - 4.7 \text{ м}\Omega$, $R_{27} R_{34} - 510 \text{ к}\Omega$,
 $R_{29} - 2.0 \text{ м}\Omega$, $R_{30} - 2.6 \text{ м}\Omega$,
 $R_{32} - 36 \text{ к}\Omega$, $R_{33} - 3.0 \text{ м}\Omega$, $R_{36} - 22 \text{ к}\Omega$, $C_1 C_3 C_4 - 10 \text{ нф}$, $C_2 - 110 \text{ нф}$, $C_5 - 12 \text{ нф}$, $C_6 - 160 \text{ нф}$, $C_7 - 1440 \text{ нф}$, $C_8 C_9 - 5-30 \text{ нф}$, $D_1 - D_{205}$, $D_2 D_3 D_4 - 813$, $\Lambda_{21} \Lambda_{23} \Lambda_{24} \Lambda_{25} - 6\text{H}8$, $\Lambda_{37} - 6\text{H}15$.

пруги $R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6$ (рис. 2) потребує збільшення анодної напруги, що досягається переключенням анода лампи Λ_{28} з $+240 \text{ в}$ на $+380-420 \text{ в}$ (див. схему ЕНО-1). Перепад напруги, що виникає на аноді Λ_{21a} при переході схеми з одного стійкого стану до іншого, через диференціюючий ланцюжок подається на сітку катодного повторювача — обмежувача Λ_{37} . Імпульс малої тривалості, що знімається з виходу катодного повторювача, може бути використаний для запускання зовнішнього імпульсного генератора або іншого пристрою. Перепад напруги на аноді Λ_{23a} запускає схему на лампі Λ_{24} , що генерує прямокутний імпульс. Тривалість імпульсу можна змінити в 10 разів повільно опором R_{26} і грубо перемикачем B_{10} . Повний діапазон змін може бути розширений використанням трьох- або чотирьохпозиційного перемикача й відповідних емностей. Мінімальна тривалість імпульсу обмежена часом наростання і спаду, порядку 10 мсек . Призначення опорів R_{22} — підрегулювання тривалості при зміні Λ_{24} . Вихідний каскад на лампі Λ_{25} дозволяє одержувати імпульси позитивної і негативної полярності. Опір R_{32} служить для врівноваження амплітуд імпульсів. Регулювання амплітуди імпульсу провадиться винесеним потенціометром R_{36} , який з'єднується з осцилографом коаксіальним кабелем.

Генератор імпульсів внутрішнього запуску

Фотореєстрація осцилограм не викликає ускладнень при періодичній розгортці та стійкому зображенні на екрані. Інша справа, коли треба фотографувати одноразовий пробіг променя, який триває кілька мсек . Доводиться заздалегідь відкривати затвор фотоапарату, а потім запускати генератор розгортки. Більш зручною є система, коли генератор розгортки запускається від контактів синхронізатора фотоапарату, які замикаються при натисканні на спускову кнопку затвора. Схема генератора пускових імпульсів, що дозволяє запускання генератора розгортки від фотоапарату, показана на рис. 3. Це дещо змінена схема генератора пускових імпульсів, застосованого в

осцилографі ЕНО-1. Зміни схеми викликані ще й тим, що для запуску тригера на лампах Λ_{26} та Λ_{27} потребується імпульс негативної полярності. Переведення генератора розгортки з режиму внутрішнього запуску в очікуваний здійснюється загальмуванням генератора пускових імпульсів збільшенням негативного зміщення на сітці тиратрона Λ_{22} . Для цього використовується вільна група перемикача B_{12}^* . Замикання сітки на землю через опір 390 ом приводить до запалювання тиратрона й розряду C_1 через тиратрон і R_{94} . На R_{94} виникає негативний імпульс, викликаний одноразовим спрацюванням схеми розгортки. Паралельно до контактів синхронізатора ввімкнено контакти тумблера B_3 , перемикання якого дозволяє проводити одноразовий механічний запуск або гальмувати генератор розгортки, що працює у режимі внутрішнього

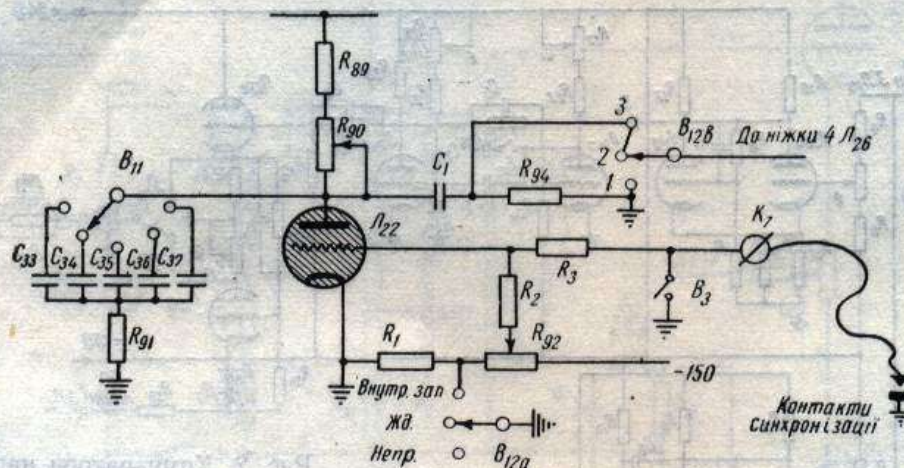


Рис. 3. Генератор пускових імпульсів (пояснення у тексті).

R_1 — $56 \text{ к}\Omega$, R_2 — $20 \text{ к}\Omega$, R_3 — 390Ω , C_1 — 830 нф . Решта позначень у тексті.

запуску. Зовнішній електричний запуск може здійснюватись подачею коротких імпульсів позитивної полярності на клему K_7 . Імпульси повинні подаватись через розділовий конденсатор у 100 — 200 нф . Амплітуда їх повинна бути порядку 20 в . Перемикач B_{11} і потенціометр R_{90} (див. схему ЕНО-1) повинні встановлюватись при цьому у положення найбільшої частоти повторення внутрішнього запуску. Діапазон частот внутрішнього запуску може бути змінений у бажаному напрямку відповідною зміною ємностей C_{34} — C_{37} .

Конструктивне розміщення елементів і настройка схеми

Елементи схеми вхідних каскадів підсилювача вертикального відхилення розміщуються в межах екранованого відсіку. Для виводу на передню панель сітки лампи Λ_2 (рис. 1) можна використати як гніздо входу синхронізатора Γ_2 , так і шестиконтактний роз'єм типу А, встановлений замість Γ_1 . Останнє переважає в тому разі, коли нитки накалювання ламп Λ_2 і Λ_3 живляться від зовнішнього джерела струму.

Настроювання підсилювача слід починати з другого каскаду. При замкненні коротко сітках Λ_3 (схема зміщення при цьому залишається включеною послідовно в ланцюг сітки) і поданому синфазно на сітки Λ_2 прямокутному імпульсі з амплітудою 1 — 2 в обертанням потенціометра R_{19} треба звести до нуля відхилення променя на екрані в момент імпульсу. Якщо це не вдається, або величина зміщення променя по вертикалі вгору або вниз виявляється недостатньою при найкращому пригніченні синфазного сигналу, то слід змінити лампу Λ_3 . Наступний етап настройки — підгонка постійних часу плечей підсилювача, яка проводиться при синфазному подаванні сигналу (1 — 2 в) на вхід підсилювача і різних положеннях аттенюатора. Гострі викидання, що виникають в момент початку і кінця прямокутних імпульсів, усуваються регулюванням C_1 при положенні аттенюатора $\times 1$ і підбором відповідних ємностей, які припадають до контактів другої групи перемикача аттенюатора при інших його положеннях. В нашому випадку виявилось достатньо двох конденсаторів C_2 і C_3 . Робочим регулюванням підсилювача є: балансування нуля, що здійснюється установкою R_1 у таке положення, при якому перемикання аттенюатора не приводить до зміщення лінії

* Невеликі зміни здійснюються у з'єднанні груп контактів B_{126} і B_{126} . Зокрема, провід, що з'єднує контакт 1 групи B_{126} з контактом 2 групи B_{126} виключається, а контакти групи B_{126} з'єднуються відповідно до схеми на рис. 3.