ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
(ВНИИФТРИ)

МЕТОДИКА

ПОВЕРКИ УСИЛИТЕЛЕЙ ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

МИ 196—79

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1980

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНА Всесоюзным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ)

Директор **В. К. Коробов**
Руководитель темы **А. А. Сокова**
Исполнитель **И. А. Клочко**

ПОДГОТОВЛЕНА К УТВЕРЖДЕНИЮ сектором госиспытаний и стандартизации ВНИИФТРИ

Руководитель сектора **И. И. Турунцова**
Исполнитель **И. Ш. Генфон**

УТВЕРЖДЕНА Научно-техническим советом ВНИИФТРИ 30 июля 1976 г. (протокол № 7)

УДК 615.471 : 616.073.7 : 089.6

МЕТОДИКА

ПОВЕРКИ УСИЛИТЕЛЕЙ ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

МИ 196—79

Настоящая методика распространяется на усилители внутриклеточных потенциалов (УВП) с входным током не более 10^{-11} А, предназначенные для измерения внутриклеточных потенциалов от 1 до 200 мВ в диапазоне частот от 1 до 10 кГц, с погрешностью 10 % и более, и устанавливает методы и средства их первичной и периодических поверок.

1. ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки УВП выполняют операции, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Операция поверки	Номер пунктов методики	Обязательность проведения операции при:	
		выпуске из производства и после ремонта	эксплуатации и хранении
Внешний осмотр	4.1	Да	Да
Опробование	4.2	Да	Да
Определение погрешности коэффициента усиления и его нестабильности	4.3.1	Да	Да
Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики	4.3.2	Да	Нет
Определение входной емкости	4.3.3	Да	Нет
Определение входного тока	4.3.4	Да	Да
Определение постоянной времени усилителя контура положительной обратной связи (ПОС)	4.3.5	Да	Нет
Определение шумового сопротивления усилителя контура ПОС	4.3.6	Да	Да
Определение дрейфа нуля	4.3.7	Да	Нет
Определение погрешности напряжения калибратора амплитуды	4.3.8	Да	Нет

© Издательство стандартов, 1980

2. СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

При проведении поверки УВП применяют средства измерения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Средство поверки	Основная нормативно-техническая характеристика
Источник регулируемого постоянного напряжения (например, батарея «МАРС» и два потенциометра СП-5)	Диапазон задаваемых напряжений 0—1,5 В Делитель: два переменных сопротивления 1,5 кОм и 150 Ом
Вольтметр постоянного тока (например, В2-19)	Диапазон измерений 1 мВ — 10 В, погрешность измерения, не более 1 %
Осциллограф (например, С1-64)	Полоса пропускания 1—50 кГц; погрешность измерения амплитуды и интервалов времени, не более 5 %
Вольтметр переменного тока синусоидальных и шумовых напряжений (например, В3-40)	Диапазон измерений 10^{-3}—10^{3} В; погрешность измерения 2,5 %, диапазон частот от 5 Гц до 50 кГц
Генератор сигналов прямоугольной формы (например, Г5-6А)	Диапазон длительностей выдаваемых прямоугольных импульсов 10 мкс — 1 мс; длительность фронта не более 1 мкс; амплитуда выходного сигнала 0—1 В
Генератор сигналов синусоидальной формы (например, Г3-56/1)	Диапазон задания частоты 20 Гц — 50 кГц; погрешность установки частоты не более 1 %; амплитуда выходного сигнала 0—1 В
Измеритель емкостей (например, Е8-3)	Диапазон измерения емкостей 0,03—100 пФ; погрешность ±0,02 пФ ±1 ед. счета
Частотомер (например, Ч3-38)	Диапазон измерения 10 Гц—50 кГц; погрешность измерения не более ±1 %.
Электрический эквивалент микроэлектрода	Приведен в приложении
Самописец (например, Н-37)	Диапазон регистрации напряжений 1—150 мВ
Термостат	Пределы регулирования температуры от 0 до 60°С; емкость не менее 0,5 м³
Калибровочный резистор	Сопротивление 1 ГОм ±10%

3. УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

При проведении поверки необходимо соблюдать условия, соответствующие нормальным, приведенным в ГОСТ 22261—77.

Перед проведением поверки устанавливают и подготавливают к работе УВП и применяемые средства измерения, прогревают применяемые приборы в соответствии с их эксплуатационной документацией, экранируют контактные соединения, подключают присоединительные устройства, заземляют все применяемые приборы и УВП.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

4.1. Внешний осмотр. При внешнем осмотре проверяют: наличие технического описания и инструкции по эксплуатации, наличие необходимой комплектности для проведения поверки, отсутствие механических повреждений, мешающих нормальному функционированию прибора.

Приборы не комплектные или имеющие механические повреждения к дальнейшей поверке не допускают.

4.2. Опробование. При опробовании на осциллографе проверяют действие органов управления и регулирования.

Приборы, имеющие неисправности, непригодны, и к дальнейшей поверке их не допускают.

4.3. Определение метрологических параметров.

4.3.1. Погрешность коэффициента усиления и его нестабильность определяют косвенным методом без электрода. Для этого измеряют напряжение на входе $U_{вх}$ и на выходе $U_{вых}$ поверяемого УВП. В качестве источника входного сигнала используют генератор синусоидального напряжения. Частота устанавливается равной 20 Гц.

Схема измерений приведена на рис. 1.

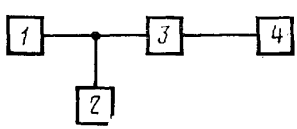

Рис. 1. Схема определения погрешности коэффициента усиления и неравномерности АЧХ:
1—генератор сигналов синусоидальной формы; *2, 4*—вольтметр переменного тока; *3*—УВП

Погрешность коэффициента усиления $\delta_у$ в процентах вычисляют по формуле

$$\delta k = \frac{k_и - k_н}{k_н} \cdot 100, \qquad (1)$$

где $k_и = U_{вых}/U_{вх}$ — измеренное значение коэффициента усиления; $k_н$ — номинальное значение коэффициента усиления.

Нестабильность коэффициента усиления $\delta_н$ в процентах вычисляют по формуле

$$\delta_н = \left(1 - \frac{U_{вых1} + U_{вых2} + U_{вых3} + U_{вых4}}{4\ U_{вых1}}\right) \cdot 100, \qquad (2)$$

где $U_{вых2}$, $U_{вых3}$ и $U_{вых4}$ соответственно выходные напряжения, измеренные при постоянном уровне напряжения $U_{вх}$ через 15, 30 и 45 мин после измерения напряжения $U_{вых1}$.

Значения погрешности коэффициента усиления и его нестабильность не должны превышать указанных в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

4.3.2. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики определяют косвенным методом по разности максимального и минимального значений амплитуд, измеряемых на выходе УВП. Сигнал, подаваемый на вход УВП, имеет синусоидальную форму; поочередно устанавливаются следующие значения частоты: 0, 20, 100 Гц, $f_{0,9}/10$ и $f_{0,9}$. Значение частоты $f_{0,9}$ приведено в эксплуатационной документации на поверяемый прибор, где также указано значение входного напряжения, которое поддерживается постоянным.

Схема измерения представлена на рис. 2.

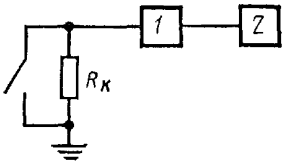

Рис. 2. Схема определения входного тока:
1—УВП; *2*—вольтметр постоянного тока

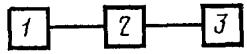

Рис. 3. Схема определения постоянной времени усилителя ПОС:
1—электрический эквивалент микроэлектрода; *2*—УВП; *3*—частотомер

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики δf в процентах рассчитывают по формуле

$$\delta f = \frac{U^{\pm}_{\text{вых max}} - U_{100}}{U_{100}} \cdot 100, \qquad (3)$$

где $U^{+}_{\text{вых max}}$—значение измеренной амплитуды выходного сигнала УВП, максимально отличающейся от U_{100} в положительную сторону, мВ; $U^{-}_{\text{вых max}}$ — значение измеренной амплитуды выходного сигнала УВП, максимально отличающейся от U_{100} в отрицательную сторону, мВ; U_{100} — измеренная амплитуда выходного сигнала на частоте 100 Гц, мВ.

Значение неравномерности амплитудно-частотной характеристики не должно превышать указанного в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

4.3.3. Входную емкость $C_{вх}$ определяют методом непосредственной оценки при помощи измерителя емкостей на входной клемме УВП с отключенным электродом. Значение входной емкости не должно превышать указанного в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

4.3.4. Входной ток определяют косвенным методом, измеряя методом непосредственной оценки напряжение на выходе УВП, вызванное прохождением входного тока УВП через калибровоч-

ное сопротивление $R_к$, измеряемое в МОм. Схема измерения приведена на рис. 3.

Входной ток УВП в амперах вычисляют по формуле

$$I_{вх} = \frac{|U_{вых} - U_0| \cdot (R_к + R_{вх}) \cdot 10^{-9}}{k_н \cdot R_к \cdot R_{вх}}, \quad (4)$$

где $k_н$ — установленный коэффициент усиления (максимальное его значение); $U_{вых}$ — измеренное напряжение на выходе УВП при подключенном сопротивлении $R_к$, мВ; U_0 — измеренное напряжение на выходе УВП при замкнутом сопротивлении $R_к$, мВ.

Максимальное допустимое значение U_0 оговаривается в эксплуатационной документации. Значение сопротивления калибровочного резистора также приведено в эксплуатационной документации.

Полученное значение входного тока не должно превышать указанного в эксплуатационной документации.

4.3.5. Постоянную времени усилителя контура ПОС T_0 определяют косвенным методом по частоте резонанса $f_р$ системы «электрический эквивалент микроэлектрода—усилитель», измеряемой на границе срыва генерации. Схема измерений приведена на рис. 4. При подключенном ко входу усилителя электрическом эквиваленте микроэлектрода ручкой регулировки глубины ПОС добиваются самовозбуждения системы, затем глубину ПОС уменьшают до границы срыва генерации. Частоту резонанса $f_р$ в килогерцах измеряют частотомером, подключенном к входу усилителя.

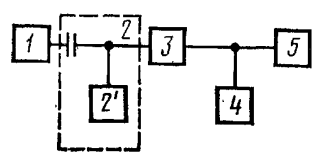

Рис. 4. Схема определения шумового сопротивления усилителя контура ПОС:
1—генератор сигналов прямоугольной формы; *2*—электрический эквивалент микроэлектрода; *3*—усилитель внутриклеточных потенциалов; *4*—вольтметр переменного тока (шумовых напряжений); *5*—осциллограф

Постоянную времени усилителя контура ПОС в миллисекундах определяют по формуле

$$T_0 = \frac{2{,}5 \cdot 10^4}{f_р^2 \cdot R_э \cdot (C_{вх} + C_э)}, \quad (5)$$

где $R_э$ и $C_э$ — параметры электрического эквивалента микроэлектрода в МОм и пФ, указанные в эксплуатационной документации; $C_{вх}$ — емкость входа усилителя, пФ, определенная в п. 4.3.3. Значение постоянной времени T_0 не должно превышать приведенного в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

4.3.6. Шумовое сопротивление усилителя контура ПОС $R_{шк}$ определяют косвенным методом, измеряя в критическом режиме работы системы «электрический эквивалент микроэлектрода — УВП» на ее выходе методом непосредственной оценки длительность среза контрольного импульса и среднее квадратическое напряжение

шума. Схема измерения приведена на рис. 5. Процедура измерений: от генератора прямоугольных импульсов через переходную емкость C_1, встроенную в электрический эквивалент микроэлектрода, на вход УВП подают контрольный сигнал и по отсутствию выброса на его переходной характеристике, контролируемой на выходе УВП осциллографом, устанавливают критический режим.

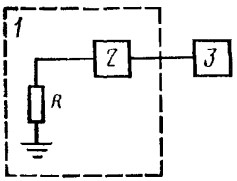

Рис. 5. Схема определения дрейфа нуля:
1—термостат; *2*—УВП; *3*—самописец

Затем измеряют длительность среза импульсной переходной характеристики $t_{0,37}$ от вершины пика до уровня 0,37 ее спада. После этого выключают генератор прямоугольных импульсов и вольтметром шумового напряжения на выходе УВП измеряют среднее квадратическое значение напряжения шума $\overline{U}^2_{\text{ш. вых}}$ в милливольтах.

Шумовое сопротивление $R_{\text{шк}}$ в килоомах рассчитывают по формуле

$$R_{\text{шк}} = \frac{\overline{U}^2_{\text{ш. вых}} \cdot t_{0,37} \cdot T_0 \cdot}{R_{\text{э}}(C_{\text{вх}} + C_{\text{э}}) \cdot k_0 \cdot N}, \qquad (6)$$

где k_0 — коэффициент усиления УВП, определенный по п. 4.3.3; $C_{\text{вх}}$ — емкость входа усилителя, пФ, определенная по п. 4.3.4; T_0 — постоянная времени усилителя контура ПОС, мкс, определенная по п. 4.3.6, мкс; N — постоянный коэффициент, равный $4 \cdot 10^{-6}$ Дж. Полученное значение $R_{\text{шк}}$ не должно превышать указанного в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

4.3.7. Дрейф нуля находят косвенным методом по отклонению от нулевого уровня напряжения на выходе УВП, измеряемого методом непосредственной оценки при подключенном к входу УВП сопротивлении $R_{\text{э}}$.

Нулевой уровень устанавливают через 30 мин после включения УВП.

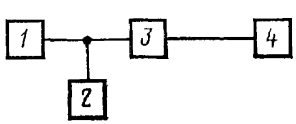

Рис. 6. Схема определения погрешности напряжения калибратора амплитуды:
1—источник постоянного напряжения; *2*—вольтметр постоянного тока; *3*—УВП; *4*—осциллограф

В зависимости от конструкции УВП дрейф нуля определяют в виде одной из двух зависимостей — температурной или временной. Схема измерения приведена на рис. 6. Процедура измерения: для определения температурной зависимости дрейфа нуля УВП помещают в термостат и, изменяя его температуру от 20 до 40°С за 15 мин, записывают значение $U_{дрT}$ на самописце.

Дрейф нуля при t=°С в милливольтах рассчитывают по формуле

$$U_{дрt} = \frac{U_{др\ t_1} + U_{др\ t_2} + U_{др\ t_3} + U_{др\ t_4}}{4\ k \cdot (t_к - t_н)}, \qquad (7)$$

где $U_{дрt_1}$; $U_{дрt_2}$; $U_{дрt_3}$; $U_{дрt_4}$ — максимальные отклонения от нулевого уровня за 15 мин через 15, 30, 45 и 60 мин после начала записи, мВ; $t_н$ и $t_к$ — температуры в начале и конце записи дрейфа соответственно; k — коэффициент усиления УВП.

Дрейф нуля $U_{дрT}$ за 15 мин в милливольтах определяют при температуре 20°С и рассчитывают по формуле

$$U_{др\ T} = \frac{U_{др\ T_1} + U_{др\ T_2} + U_{др\ T_3} + U_{др\ T_4}}{4\ kT}, \qquad (8)$$

где $U_{др\ T_1}$, $U_{др\ T_2}$, $U_{др\ T_3}$ и $U_{др\ T_4}$ — максимальные отклонения от нулевого уровня за 15 мин через 15, 30, 45 и 60 мин после начала записи, мВ.

Значение $R_э$ оговорено в эксплуатационной документации.

Значение дрейфа нуля не должно превышать указанного в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

4.3.8. Погрешность напряжения калибратора амплитуды определяют методом полного замещения сигналов калибратора постоянным напряжением, подаваемым на вход УВП и контролируемым на его выходе осциллографом. Процедура измерений: при включенном калибраторе амплитуды усиление на осциллографе устанавливают так, чтобы сигнал калибратора амплитуды занимал 60—80 % рабочей части экрана. На вход УВП от источника постоянного напряжения при включенном калибраторе подают сигнал, контролируемый вольтметром и подбираемый до совпадения амплитуд обоих сигналов на экране осциллографа.

Погрешность напряжения калибратора амплитуды $\delta_к$ в процентах определяют по формуле

$$\delta_к = \left| \frac{U_к - U_н}{U_н} \right| \cdot 100, \qquad (9)$$

где $U_п$ — напряжение калибратора амплитуды, приведенное в эксплуатационной документации, мВ; $U_к$ — постоянное напряжение на входе УВП, контролируемое вольтметром, мВ. Значение погрешности напряжения калибратора амплитуды УВП

не должно превышать указанного в эксплуатационной документации на поверяемый прибор.

5. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

5.1. Результаты поверки заносят в протокол, в котором указывают: наименование поверяемого прибора; его номер; тип; год выпуска; организацию, проводившую поверку; результаты поверки; дату поверки. Протокол подписывает поверитель.

5.2. На УВП, прошедшие поверку в соответствии с требованиями настоящей методики, выдают аттестат установленной формы или делают отметку в паспорте.

5.3. УВП, не удовлетворяющие требованиям настоящей методики, признают непригодными, к применению не допускают, и на них выдают справку с указанием причин непригодности.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ МИКРОЭЛЕКТРОДА

Электрический эквивалент микроэлектрода применяют для определения постоянной времени и шумового сопротивления (эквивалентного сопротивления шума) усилителя контура ПОС.

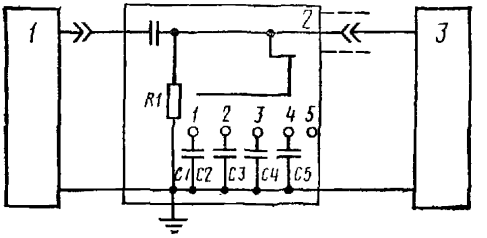

Рис. 1. Схема электрического эквивалента микроэлектрода:

1—генератор сигналов прямоугольной формы; *2*—электрический эквивалент микроэлектрода; *3*—УВП

Электрический эквивалент (рис. 1) состоит из RC — цепи, емкостной параметр которой можно изменять с помощью переключателя *П*.

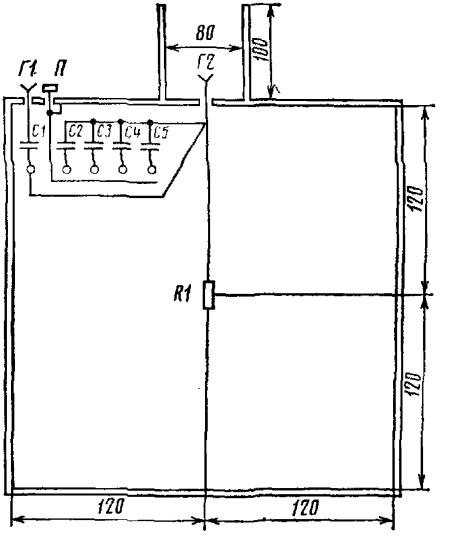

Рис. 2. Функциональное расположение узлов и деталей электрического эквивалента микроэлектрода

Подведение контрольного сигнала к сопротивлению *R1* осуществляется через емкость *C1*. Гнездо *Г1* предназначено для подключения генератора сигналов прямоугольной формы, гнездо *Г2* — для соединения входа УВП с электрическим эквивалентом микроэлектрода.

Конструктивно электрический эквивалент микроэлектрода выполнен в виде металлического ящика (из латуни и алюминия) с толщиной стенок не менее 1,5 мм. В центре ящика расположен сменный высокоомный резистор *R1* (рис. 2), сопротивление которого благодаря специальным зажимам можно выбрать из входящих в комплект электрического эквивалента микроэлектрода резисторов 30, 50, 100, 500 и 1000 МОм.

Характеристики электрического эквивалента микроэлектрода следующие: выходное сопротивление (гнездо «Вход УВП») — 30 МОм ±5 %; 50 МОм ±5 %; 100 МОм ±5 %, 500 МОм ±10 %) и 1000 МОм ±10 %; суммарная распределенная емкость корпуса сменного резистора не более 0,05 пФ; выходная емкость 14; 19; 24; 29 и 34 пФ ±10 %); напряжение наводки на вход УВП не более 40 мкВ$_{эф}$; сопротивление изоляции гнезда «Вход УВП» не менее 10 ГОм.

МЕТОДИКА

поверки усилителей внутриклеточных потенциалов

МИ 196—79

Редактор *Н. А. Еськова*
Технический редактор *Г. А. Макарова*
Корректор *Г. М. Фролова*

Сдано в наб. 31.01.80 Подп. в печ. 25.03.80 Т—07612 Ф-т издания 60×90^1/$_{16}$ Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать высокая 0,75 п. л. 0,62 уч.-изд. л. Тир. 3000 экз. Цена 3 коп. Изд. № 6392/4

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов 123557, Москва, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 124

gost.e-ecolog.ru