

С. А. БАЖАНОВ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ
ИЗМЕРЕНИЯ



СВЯЗЬИЗДАТ

С. А. БАЖАНОВ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ
ПО ВОПРОСАМ СВЯЗИ И РАДИО
МОСКВА 1941

Редактор *Б. С. Григорьев*

Тираж 4000 экз. 13\ХП 1940 г.
А16510. 10 печ. л.+1 вклейка. 10,67 авт. л. В печ. л. 47 000.
Цена 6 р. 50 к., переплет 1 р. 50 к.

Отпечатано с матриц. 13-я типография ОГИЗ треста
«Полиграфкнига». Москва, Девиновский, 30. Зак. № 157.

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	Стр. 6
---------------------	--------

Часть первая

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Глава I. Единицы электрических измерений	7—13
--	------

Проявления электрического тока, используемые для количественных измерений: а) химическое, б) тепловое, в) магнитное. Электростатическое взаимодействие заряженных электричеством проводников. Единицы электрических измерений: ампер, вольт, ом, ватт, кулон, джоуль, фарада, генри, герц. Кратные величины электрических единиц. Условные обозначения. Частота, длина волны

Глава II. Определения и основная классификация электроизмерительных приборов	14—18
--	-------

Электроизмерительные приборы. Измерительная установка. Точность измерения. Погрешность. Чувствительность прибора. Классификация. Пределы измерений. Цена деления. Шкала. Отсчет по шкале

Глава III. Системы электроизмерительных приборов	18—32
--	-------

Магнитоэлектрические (*МЭ*) приборы. Электромагнитные (*ЭМ*) приборы. Электродинамические (*ЭД*) приборы. Электростатические (*ЭС*) приборы. Тепловые (*Т*) приборы

Глава IV. Гальванометры	33—49
-----------------------------------	-------

Устройство стрелочных гальванометров. Что измеряют гальванометрами. Шунты. Добавочные сопротивления. Градуировка приборов постоянного тока: гальванометра, амперметра и вольтметра. Включение вольтметров и амперметров

Глава V. Измерение переменных токов <i>МЭ</i> приборами с преобразователями	49—62
---	-------

Преобразователи переменного тока в постоянный. *МЭ* прибор с кристаллическим детектором. *МЭ* приборы с купроксными выпрямителями (купроксные приборы). Самодельные купроксы. Градуировка купроксных приборов. Термоэлектрические (*ТЭ*) приборы. Градуировка *ТЭ* приборов. Самостоятельное изготовление наружной терморпары

Глава VI. Ламповые вольтметры	62—67
---	-------

Принцип устройства ламповых вольтметров. Диодный ламповый вольтметр. Триодный ламповый вольтметр

Часть вторая

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Глава VII. Измерение электрических сопротивлений	68—76
--	-------

Определение электрического сопротивления по току и напряжению. Измерение сопротивлений методом сравнения. Измерение сопротивлений с помощью вольтметра с известной величиной сопротивления. Омметры. Измерение сопротивлений мостовыми схемами. Мост Уитстона. Мост Кольрауша

Глава VIII. Измерение активных сопротивлений	77—80
--	-------

Определение. Метод вариации активного сопротивления

Глава IX. Измерение емкостей	81—93
--	-------

Измерение емкостей по току и напряжению. Резонансные методы (пять способов). Метод Зейбта. Измерения с помощью мостовых схем: первая схема, вторая схема (мост Сотти). Измерение емкости антенны. Собственная емкость катушек

Глава X. Измерение индуктивностей	94—103
---	--------

Измерение индуктивностей по току и напряжению. Резонансные методы: первый способ; второй способ — фильтр-пробки. Измерения индуктивностей мостовыми схемами: первая схема; вторая схема (мост Максвелла). Измерение индуктивности антенны. Измерение индуктивности катушек с железными сердечниками, по обмоткам которых протекает постоянный ток

Глава XI. Измерение частот и длин волн	104—116
--	---------

Измерение частот методами их сравнения. Измерение радиочастот. Ламповый волномер. Измерение низких (звуковых) частот. Ламповые звуковые генераторы. Зуммер. Резонансные методы измерения частоты

Глава XII. Измерение частот и длин волн (продолжение). Волномеры	116—126
--	---------

Резонансный волномер. Зуммерный волномер. Индикаторы резонанса. Измерение высоких частот посредством волномеров. Измерение собственной длины волны антенны: первый способ; второй способ (Мартенса). Градуировка волномеров

Глава XIII. Измерение электрической мощности	127—132
--	---------

Формулы расчета мощности. Измерение мощности, потребляемой радиоприемником. Измерение мощности, отдаваемой приемником или усилителем низкой (звуковой) частоты. Измерение мощности коротковолнового передатчика

	<i>Стр.</i>
Глава XIV. Снятие характеристик	132—142
Снятие характеристик ламп. Частотные характеристики. Децибелы. Амплитудные характеристики	
Глава XV. Лаборатория радиолюбителя	143—148
Выбор электроизмерительного прибора. Вольтмиллиамперметр постоянного и переменного тока. Универсальные измерительные установки. Другие приборы радиолюбительской лаборатории	
Глава XVI. Дополнения	149—158
Измерение напряжений и токов в приемнике. Влияние величины сопротивления прибора на точность измерений. Связи между контурами при резонансных измерениях. Регистрация результатов измерений. Построение графиков	
Библиографический перечень материалов по различным вопросам электро- радиоизмерений, помещенных в журнале „Радиофронт“ в 1935— 1939 гг.	159—160

ОТ АВТОРА

Книга рассчитана на радиолюбителя средней квалификации, знающего основы электротехники и радиотехники в объеме программы техминимума первой ступени, а по ряду вопросов — и второй ступени. В книге изложены способы электрических и радиотехнических измерений и описаны наиболее доступные радиолюбителю средства измерений.

Большее внимание уделяется описанию способов измерений. Самостоятельному изготовлению измерительных приборов в книге отводится меньшее место.

Книга вводит читателя в область необходимых простых радиотехнических измерений, указывает способы измерений, описывает применяемые средства — приборы, установки и т. п. Описания дополнены практическими указаниями по проведению того или иного измерения. Приведены библиографические данные по журналу «Радиофронт», пользуясь которыми, читатель может почерпнуть более полные сведения о конструктивном оформлении того или иного прибора или установки в самом журнале.

В задачу автора не входило дать радиолюбителю полное описание конструкции для самостоятельного изготовления того или иного измерительного прибора.

Основным положением, которым руководствовался автор в своей работе, было желание возможно полнее ознакомить радиолюбителя с интересной и важной отраслью техники измерений. Выбирая для описания из большого числа разнообразных существующих способов измерений только наиболее простые, автор одновременно стремился отвлечь радиолюбителя от слепого экспериментирования или непродуманного копирования той или иной вновь описанной конструкции.

По мнению автора книги может оказаться полезной при прохождении раздела «Измерения» по программам радиолюбительских кружков и в некоторой степени заполнит пробел в радиолюбительской литературе.

Все замечания и предложения по данной книге автор просит пересылать издательству по адресу: Москва, центр, пер. Стопани, 7, Связьиздат.

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Г Л А В А I

ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Проявления электрического тока, используемые для количественных измерений

Измерения электрического тока основаны на оценке того эффекта, который производит измеряемый ток. Определяя этот эффект с количественной стороны, мы тем самым осуществляем измерения электрического тока.

Для осуществления измерений можно использовать следующие проявления электрического тока:

а) Химическое

Ток, проходя по растворам солей (по электролитам), выделяет из этих растворов вещества, осаждающиеся на помещенных в электролит электродах. Так, если через водный раствор азотно-кислого серебра (ляписа) пропустить постоянный электрический ток, то на катоде (электроде, соединенном с отрицательным полюсом источника тока) будет выделяться из раствора металлическое серебро. Количество выделяющегося серебра будет пропорционально силе тока и времени его протекания. Увеличивая силу тока, мы увеличиваем количество выделяющегося в единицу времени вещества. Определяя вес вещества и время, получаем возможность оценивать силу тока. За единицу силы электрического тока, как мы увидим далее, принят такой ток, который в 1 сек. отлагает из водного раствора азотно-кислого серебра 1,118 мг чистого серебра.

Электрический ток, проходя через слегка подкисленную воду (абсолютно чистая вода является непроводником), разлагает во-

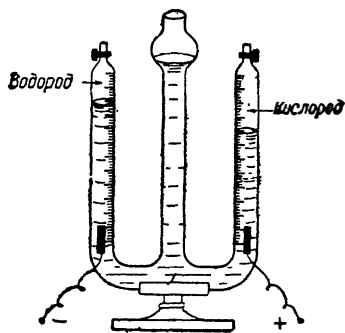


Рис. 1. Химическое действие тока. Электролиз воды в приборе Гофмана

ду на ее составные части — газы водород и кислород (на рис. 1 показан прибор Гофмана для разложения воды). Чем больше сила тока, тем больше будут объемы выделившихся в единицу времени газов.

б) Тепловое

Электрический ток, проходя по различным проводникам и полупроводникам, вызывает их нагревание.

О величине силы тока можно судить либо по количеству выделяющегося тепла или температуре проводника, либо по величине удлинения проводника от нагревания

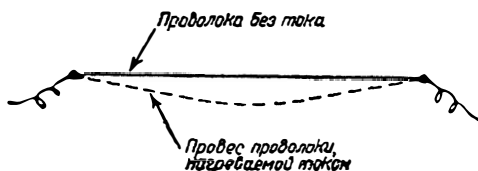


Рис. 2. Тепловое действие тока. Удлинение нити от нагревания током

В описываемых далее тепловых электроизмерительных приборах использовано удлинение тонкой металлической нити, нагреваемой измеряемым током. В термоэлектрических приборах, также описываемых нами дальше, используется явление термоэлектричества, имеющее место при нагреве стыка пары разнородных металлов.

в) Магнитное

Электрический ток, протекая по проводнику, создает вокруг этого проводника магнитное поле. Если поблизости находится

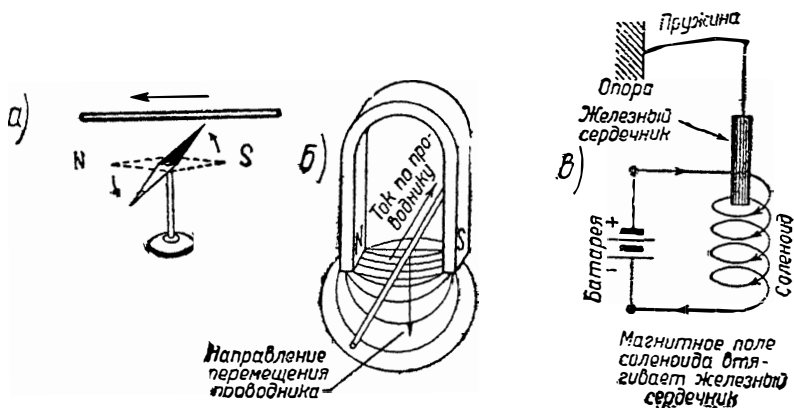


Рис. 3. Магнитные действия тока: а) отклонение стрелки компаса; б) перемещение проводника с током в магнитном поле; в) втягивание железного сердечника в магнитное поле

магнитная стрелка (рис. 3а), то она отклонится на тем больший угол, чем больше сила тока, протекающего по проводнику.

Проводник с током, находясь в магнитном поле, стремится переместиться под воздействием магнитного поля тем сильнее, чем больше сила тока, протекающего по проводнику,— рис. 3 б.

Ток, протекающий по обмотке соленоида, создает магнитное поле, которое с тем большим усилием втягивает внутрь соленоида железный сердечник (рис. 3 в), чем больше сила тока.

Всеми этими магнитными проявлениями тока можно воспользоваться для количественных измерений электрического тока.

Электростатическое взаимодействие заряженных электричеством проводников

Это свойство наглядно выражено во взаимном притягивании или отталкивании заряженных электричеством тел (рис. 4). Из-

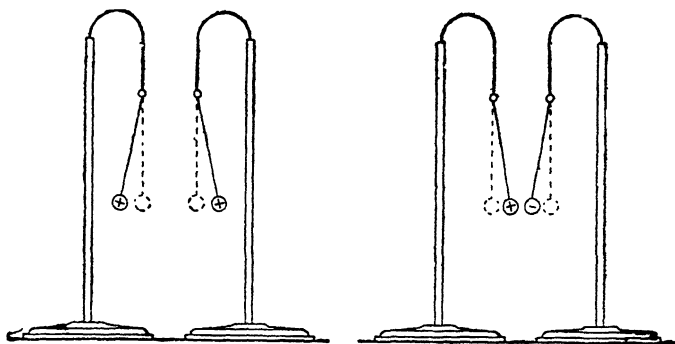


Рис. 4. Электростатическое взаимодействие заряженных тел

вестно, что тела, заряженные разноименными зарядами, притягиваются, а заряженные одноименными — отталкиваются. Определяя силу взаимодействия между телами, мы можем судить о величине зарядов или о величине электрического напряжения.

Всеми перечисленными выше проявлениями электричества можно воспользоваться для осуществления электрических измерений. Как мы увидим из дальнейшего, различные электроизмерительные системы основаны на том или ином использовании этих проявлений электричества.

Единицы электрических измерений

Сущность всякого измерения сводится к сравнению измеряемого объекта с каким-либо однородным с ним образцом, с какой-либо величиной, принятой за единицу. Взвешивая предмет, мы сравниваем его с весом гирь, выражаем его вес в условных единицах — граммах, килограммах, тоннах и т. п. Длину мы вы-

ражаем в условно принятых единицах — сантиметрах, метрах, километрах и т. д.

Для измерения электрических зарядов и токов также установлены единицы измерений. Эти единицы приняты в качестве стандартных во всех странах мира.

Все измерения электрического тока заключаются в том, что данный электрический ток или данный электрический заряд тем или иным способом сравнивают по действию с такими электрическими токами или зарядами, которые приняты в качестве стандартных единиц.

По утвержденному у нас в СССР общесоюзному стандарту ОСТ-515 существуют следующие единицы электрических измерений (являющиеся международными):

1. Единица силы тока — ампер.

«Международный ампер. Сила неизменяющегося электрического тока, который отлагает 0,001 118 00 грамма серебра в секунду, проходя через водный раствор азотнокислого серебра».

2. Единица электрического напряжения и электродвижущей силы (эдс) — вольт.

«Международный вольт. Электрическое напряжение или электродвижущая сила, которые в проводнике, имеющем сопротивление в один ом, производят ток силой в один ампер».

3. Единица электрического сопротивления — ом.

«Международный ом. Сопротивление при неизменяющемся электрическом токе и при температуре таящего льда ртутного столба длиной в 106,300 сантиметров, имеющего сечение, одинаковое по всей длине, и массу в 14,4521 грамма».

4. Единица электрической мощности — ватт.

«Международный ватт. Мощность неизменяющегося электрического тока силой в один ампер при напряжении в один вольт».

5. Единица количества электричества — кулон.

«Международный кулон. Количество электричества, протекающее через поперечное сечение проводника в течение одной секунды при токе силой в один ампер».

6. Единица работы электрического тока — джоуль (или ватт-секунда).

«Международная ватт-секунда (международный джоуль). Работа, совершаемая электрическим током в течение одной секунды при мощности тока в один ватт».

7. Единица электрической емкости — фарада.

«Международная фарада. Емкость конденсатора, заряжаемого до напряжения в один вольт одним кулоном».

8. Единица индуктивности и взаимной индуктивности — генри.

«Международный генри. Самоиндукция¹⁾ электрической цепи, в которой индуктируется электродвижущая сила в один вольт при равномерном изменении тока в этой же цепи со скоростью одного ампера в одну секунду.

Взаимная индукция¹⁾ в системе двух электрических цепей, в одной из которых индуктируется электродвижущая сила в один вольт при равномерном изменении тока в другой цепи со скоростью одного ампера в одну секунду».

Перечисленные выше единицы в ряде измерений могут оказаться чрезмерно крупными (например, когда измеряются весьма слабые электрические токи или очень малые напряжения). Но столь же часто встречается необходимость пользоваться более крупными единицами, например, при определении мощности крупных электрических станций, радиостанций и т. д.

Для обозначения кратных величин применяются следующие приставки:

в 100, т. е. 10^2	раз более основной единицы — приставка гекто,
в 1000, т. е. 10^3	» » » » кило,
в 1 000 000, т. е. 10^6	» » » » мега,
в 1000, т. е. 10^3	» менее » » милли,
в 1 000 000, т. е. 10^6	» » » » микро,
в 1 000 000 000 000, т. е. 10^{12}	» » » » микромикро.

Приводим некоторые наиболее часто применяющиеся единицы и их условные (по ОСТ-515) обозначения:

Вольт	— V или <i>v</i>
Милливольт	— mV или <i>mv</i>
Киловольт	— kV или <i>kV</i>
Микровольт	— μ V или <i>mkv</i>
Ампер	— A или <i>a</i>
Миллиампер	— mA или <i>ma</i>
Микроампер	— μ A или <i>mkA</i>
Ом	— Ω или <i>om</i>

¹⁾ В соответствии с введенным с 1 января 1934 г. стандартом ОСТ-5579 коэффициент самоиндукции именуется „индуктивностью“, а коэффициент взаимной индукции — „взаимной индуктивностью“. Таким образом, наряду с терминами „самоиндукция“ и „взаимоиндукция“ (или „взаимная индукция“), характеризующими самое явление, существуют термины „индуктивность“ и „взаимная индуктивность“, характеризующие количественную сторону данного явления (коэффициент).

Чтобы в дальнейшем изложении не затруднять читателя разбором этих положений (являющихся, кстати, чисто условными), термины „самоиндукция“ и „взаимоиндукция“ (или „взаимная индукция“) всюду заменяются соответственными терминами: „индуктивность“ и „взаимная индуктивность“.

Мегом	— $M\Omega$ или <i>мгом</i>
Килоом	— $k\Omega$ или <i>ком</i> (нестандартная единица)
Ватт	— W или <i>вт</i>
Милливатт	— mW или <i>мвт</i>
Киловатт	— kW или <i>квт</i>
Гектоватт	— hW или <i>гвт</i>
Генри	— H или <i>гн</i>
Миллигенри	— mH или <i>мгн</i>
Микрогенри	— μH или <i>мкгн</i>
Фарада	— F или <i>ф</i>
Микрофарада	— μF или <i>мкф</i>
Микромикрофарада	— $\mu\mu F$ или <i>мкмкф</i>
Кулон	— C или <i>к</i>
Микрокулон	— μC или <i>мкк</i>
Ампер-час	— Ah или <i>а-ч</i>
Ваттсекунда	— Ws или <i>вт-с</i>
Джоуль	— J или <i>дж</i>
Ватт-час	— Wh или <i>вт-ч</i>
Гектоватт-час	— hWh или <i>гвт-ч</i>
Киловатт-час	— kWh или <i>квт-ч</i>

Дальнейшее знакомство с методами и средствами измерения как в области электрических, так и в области радиотехнических измерений мы будем осуществлять, исходя из приведенной выше практической (международной) системы единиц.

В радиоловительской практике привились еще и другие единицы измерения емкости, индуктивности и взаимной индуктивности: *сантиметр емкости* и *сантиметр индуктивности* (или взаимной индуктивности). Эти единицы, по существу, принадлежат другим—абсолютным—системам (которые мы в нашей книге не рассматриваем), но поскольку эти две единицы в радиоловительской практике употребляются довольно часто, мы остановимся на их соотношении с основными единицами стандарта ОСТ-515.

$$\begin{array}{l}
 \text{Емкости} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ ф} = 10^6 \text{ мкф} = 10^{12} \text{ мкмкф} = 9 \cdot 10^{11} \text{ см} \\ 1 \text{ мкф} = 10^{-6} \text{ ф} = 10^6 \text{ мкмкф} = 9 \cdot 10^5 \text{ см} \\ 1 \text{ мкмкф} = 10^{-12} \text{ ф} = 10^{-6} \text{ мкф} = 0,9 \text{ см} \\ 1 \text{ см} = 1,11 \cdot 10^{-12} \text{ ф} = 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ мкф} = 1,11 \text{ мкмкф} \end{array} \right. \\
 \text{Индуктивности} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ гн} = 10^3 \text{ мгн} = 10^6 \text{ мкгн} = 10^9 \text{ см} \\ 1 \text{ мгн} = 10^{-3} \text{ гн} = 10^3 \text{ мкгн} = 10^6 \text{ см} \\ 1 \text{ мкгн} = 10^{-6} \text{ гн} = 10^{-3} \text{ мгн} = 10^3 \text{ см} \\ 1 \text{ см} = 10^{-9} \text{ гн} = 10^{-6} \text{ мгн} = 10^{-3} \text{ мкгн} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Электротехнические и особенно радиотехнические измерения в значительной своей части содержат определение той частоты переменного электрического тока, при которой производится измерение. Что касается радиотехники, то там измерения частот

или длин волн являются одними из наиболее существенных и важных.

Приведем здесь перечень единиц, служащих для измерения частоты и длины волны.

По существующему общесоюзному стандарту ОСТ-5037 *единицей частоты является герц* (Hz или *гц*) — „частота периодически изменяющейся во времени величины, период которой равен одной средней солнечной секунде“.

Кратными единицами являются: *килогерц* (обозначение kHz или *кгц*), равный 1000 *гц*, и *мегагерц* (MHz или *мгц*), равный 1 000 000 *гц*.

Обращаем внимание на то, что наиболее распространенные в среде радиолюбителей термины „цикл в секунду“, „килоцикл в секунду“, „период в секунду“ (иногда просто „цикл“, „килоцикл“, „мегацикл“ или „период“) для обозначения частоты являются нестандартными и в силу этого их применение не может быть рекомендовано.

Отметим, что выражение „герц в секунду“ лишено смысла: достаточно и обязательно применить только термин „герц“.

Что касается термина „длина волны“, то он применяется все реже и реже. Дело в том, что длина волны не является чем-либо постоянным и меняется в зависимости от того, в какой среде происходит распространение волн.

По стандарту ОСТ-7768 под длиной волны понимают „расстояние, проходимое периодическим возмущением в течение одного периода“. Если, к примеру, источник колебаний создает за одну секунду 1000 колебаний, т. е. если частота колебаний равна 1000 *гц*, и если эти колебания распространяются со скоростью 1000 *м/сек*, то, очевидно, длина волны будет равна одному метру. Но если эти же самые колебания будут распространяться в другой среде, с другой скоростью, то длина волны изменится, хотя частота воспроизводимых колебаний останется неизменной.

Так как скорость распространения электромагнитных колебаний в пространстве, окружающем нас, приблизительно равна 300 000 *км/сек*, то известное всем радиолюбителям соотношение

$$\text{длина волны в метрах} = \frac{300\,000\,000}{\text{частота в герцах}}$$

(или формула $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$, где λ — длина волны в метрах, c — скорость распространения электромагнитных волн в пространстве, равная $3 \cdot 10^8$ *м/сек*, и f — частота колебаний в герцах) справедливо только для этой среды и верно лишь приблизительно (более точно $c = 2,9982 \cdot 10^8$ *м/сек*, — по ОСТ-5037).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСНОВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Электроизмерительные приборы

Электрическим измерительным прибором называется такой прибор, с помощью которого осуществляется сравнение измеряемой электрической величины (напряжения, силы тока, мощности и т. д.) с единицей измерения (вольт, ампер, ватт и т. д.). Радиолюбителю в основном придется иметь дело только с такими измерительными приборами, которые непосредственно показывают измеряемую величину.

От измерительных приборов следует отличать *измерительные установки*, в которых могут применяться несколько измерительных приборов, помимо разных вспомогательных приспособлений и деталей (переключателей, реостатов, электронных ламп, клемм, соединительных проводов, трансформаторов и т. д.).

Приборы различаются между собой по *системам, качеству и назначению*. Системы электроизмерительных приборов разбираются нами подробно дальше (стр. 18).

Качество приборов в основном определяется точностью показаний и чувствительностью.

Под *точностью прибора* понимают степень достоверности результатов измерения, получаемых с помощью данного прибора. Чем более достоверен результат, тем больше (выше) точность прибора. Точность прибора определяется отклонением его показания от действительного значения измеряемой величины, т. е. *погрешностью*. Чем отклонение больше, т. е., чем больше погрешность, тем менее точен прибор. Точность определяют величиной погрешности, выраженной в процентах по отношению к максимальному показанию, обозначенному на шкале прибора, т. е. *к пределу показаний прибора*. Предположим, что предел показаний прибора составляет 10 а и что отклонение измеренного значения от истинного или действительного составляет 0,5 а. Выражая точность показаний этого прибора в процентах от предельного значения (оно называется также номинальным), обозначенного на шкале, получаем

$$\text{погрешность} = \frac{0,5}{10} \cdot 100 = 5\%$$

Отклонение от действительного показания может быть как в сторону больших значений, так и в сторону меньших, т. е. прибор может давать либо преуменьшенные, либо преувеличенные значения. Отклонение в сторону больших значений обозначают знаком плюс (+), а в сторону меньших — знаком минус (—).

По новому стандарту ОСТ-40008 электроизмерительные приборы разделяются на 5 классов по точности: 0,2; 0,5; 1; 1,5 и

2,5. Эти цифры указывают допускаемую погрешность в процентах от номинального (максимального, указанного на шкале) значения, причем отклонение может быть в сторону больших или меньших значений. Приборы с еще меньшей точностью, т. е. с большим значением погрешности, являются внеклассными.

Под чувствительностью прибора понимают отношение перемещения стрелки-указателя к изменению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение. Количественно чувствительность оценивается тем значением измеряемой величины, которое вызывает отклонение стрелки-указателя прибора на одно деление, например, 3 ма на деление, или 0,2 в на деление и т. д.

Прибор тем чувствительнее, чем от меньших значений силы тока, напряжения или другой измеряемой величины отклонится его стрелка на одно деление. Ниже, например, мы описываем стрелочные гальванометры ФИЛУ (см. стр. 34); у них на шкале обозначена чувствительность — величина силы тока в амперах (обычно порядка $0,1 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-6}$ а или $0,1 \div 2$ мка), вызывающего отклонение стрелки на одно деление шкалы.

Нужно отметить, что более точный прибор не обязательно должен быть одновременно и более чувствительным, как не обязательно и то, что более чувствительный прибор должен быть более точным.

Точность и чувствительность — понятия и термины различные. У чувствительного прибора стрелка отклоняется от миллионных долей ампера или тысячных долей вольта, но его показания могут оказаться недостаточно точными. В то же время, например, точный прибор, рассчитанный на измерение высоких напряжений или больших значений силы тока, является относительно гораздо менее чувствительным: чтобы его стрелка отклонилась на одно деление, потребуется подвести к прибору значительную силу тока или значительное напряжение.

Если вопрос о потреблении мощности приборами на установках и в цепях сильных токов (электростанции, электросети и т. д.) не имеет никакого значения, то в области тех измерений, с которыми приходится иметь дело, в частности, радиолюбителю, потребление мощности прибором от измеряемой цепи имеет в ряде случаев самое важное, решающее значение. Очень важно, чтобы измерительный прибор не изменял заметно режима измеряемой цепи. Часто приходится изыскивать какие-либо специальные меры и использовать только такие измерительные установки, которые не изменяют режима измеряемой цепи и не отбирают от нее мощности. На некоторых таких способах и средствах мы остановимся дальше.

По роду измеряемого тока приборы могут быть разделены на:

а) приборы, измеряющие только постоянный электрический ток, — это так называемые *приборы постоянного тока*;

б) приборы, измеряющие только переменный ток, — *приборы переменного тока*;

в) приборы, измеряющие и постоянный и переменный электрические токи,— приборы постоянно-переменного тока.

Это разделение является чисто условным, так как среди приборов переменного тока пришлось бы выделить группу приборов, показания которых остаются правильными только в пределах промышленных частот (50—100 гц), группу высокочастотных приборов, группу приборов для измерений на низких частотах и т. д. Четкого разделения здесь провести нельзя: один и тот же прибор может применяться в различных частотных пределах, в зависимости от допускаемой характером измерений точности.

Далее по своему назначению приборы разделяются на:

а) приборы, измеряющие силу электрического тока,— амперметры, миллиамперметры, микроамперметры;

б) приборы, измеряющие электрическое напряжение,— вольтметры, милливольтметры, киловольтметры;

в) приборы, измеряющие электрическую мощность,— ваттметры, милливаттметры, киловаттметры;

г) приборы, измеряющие электрические сопротивления,— омметры, мегомметры;

д) приборы, измеряющие электрическую энергию,— электрические счетчики.

На других приборах и установках, служащих для измерения емкостей, индуктивностей, частоты тока и т. д., мы остановимся дальше.

Пределы измерений

У одних приборов, более чувствительных, предел измерений ограничивается, скажем, несколькими микроамперами или миллиамперами, милливольтами, а у других — сотнями и тысячами.

Таких приборов, которые в пределах показаний одной шкалы одинаково хорошо измеряли бы и малые доли вольта или ампера и десятки и сотни вольт или ампер, не существует. Дальше мы расскажем о расширении пределов измерения прибора,

дающем возможность однопределный прибор превратить в многопределный или многошкальный.

Показание стрелочного прибора прочитывается на шкале, т. е. отмечается то деление шкалы, у которого останавливается конец стрелки-указателя. Но не у всех делений обозначено значение измеряемой величины. В этом можно убедиться хотя бы по рис. 5, на котором приведена шкала одного из измерительных приборов — вольтметра. Значения измеряемых величин обозначены только у 6 делений, всего же делений на шкале — 51. Проводящему измерения следует научиться безошибочно прочитывать показание прибора. Для этого надо всегда определять цену деления шкалы.

Ценой деления шкалы называется значение измеряемой величины, соответствующее одному промежутку между двумя смежными отметками или делениями (черточками). Определим цену деления шкалы рис. 5. Между значениями 0 и 50 расположено 50 промежутков. Следовательно, на долю каждого промежутка между делениями приходится $\frac{50}{50} = 1 \text{ в}$, — это и будет ценой деления.

Если стрелка не останавливается точно у какого-нибудь деления, а между ними, то надо на-глаз определить ее положение в долях целого значения цены деления. Например, стрелка остановилась в положении, показанном на рис. 5. Цена деления шкалы 1 в. От последнего деления стрелка находится на расстоянии, приблизительно равном половине деления. Следовательно, показание прибора составляет 33,5 в.

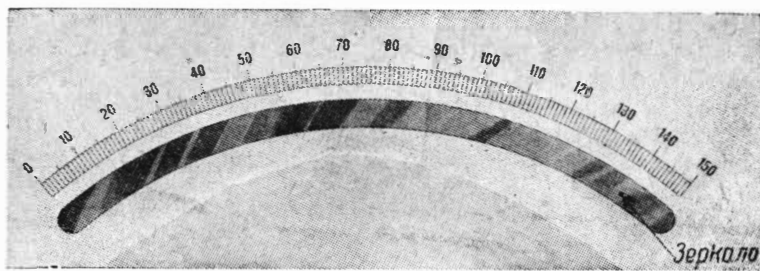


Рис. 6. Зеркальная шкала лабораторного электроизмерительного прибора

Очень часто, особенно начинающими, делаются ошибки отсчета. Поэтому следует раньше хорошенько ознакомиться со шкалой прибора, точно определить цену деления и, как говорят, «привыкнуть к шкале». Эта «привычка» между прочим, может привести и к недоразумениям при переходе к другой шкале, в особенности у многопредельных приборов, у которых одна и та же шкала служит для измерения до различных пределов. Чтобы не делать ошибок отсчета, рекомендуется всегда проверять прочитанное показание. У многопредельных приборов, у которых переход к другому пределу осуществляется поворотом переключателя, перестановкой штепселей или пересоединением подводных проводников, надо всякий раз обращать внимание на положение переключателя и штепселей и присоединение проводников. Рекомендуется выработать постоянную привычку — не торопиться с получением отсчета (если не требуется быстрый отсчет) и всякий раз проверять себя. Затрата времени на производство отсчета может оказаться во много раз меньше затраты времени на повторение измерений. Еще раз повторим: невнимательность при отсчете и неправильное прочтение показаний прибора часто приводят к совершенно неправильным результатам.

У точных приборов, в особенности лабораторных, шкала имеет вырез (рис. 6) около делений, через который видно зеркало. Такие шкалы называются *зеркальными*. Показание любого электроизмерительного прибора надо прочитывать, рассматривая шкалу под прямым углом, нормально к ее поверхности. Если же рассматривать ее сбоку, то конец стрелки, находящийся на некоторой высоте над поверхностью шкалы, может оказаться как бы переместившимся либо в сторону меньших, либо больших делений. Это явление носит название параллакса (смещения). Имея под руками прибор, не трудно убедиться в том, что ошибка отсчета вследствие параллакса может быть значительной.

Чтобы уменьшить эту ошибку и применяется зеркальная шкала. Показания прибора с зеркальной шкалой надо прочитывать так, чтобы стрелка закрывала свое отображение в зеркале шкалы: при таком положении исключается ошибка вследствие параллакса. Стрелка у таких приборов делается ножевидной, обращенной ребром к шкале и наблюдателю. Такая стрелка занимает очень небольшой участок шкалы, благодаря чему увеличивается точность отсчета.

На шкалах электроизмерительных приборов наносятся различные условные знаки, характеризующие свойства этих приборов. Некоторые условные обозначения мы приводим в таблице рис. 7.

Г Л А В А III

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В зависимости от того, какое проявление электрического тока положено в основу действия электроизмерительного прибора, различают несколько систем приборов. Мы остановимся только на таких системах, которые либо чаще всего применяются в радиолюбительской практике, либо позволяют более широко ознакомиться с возможностями электрических измерений вообще. Приведем краткие описания конструкций и принципов действия электроизмерительных приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, тепловой и электростатической систем.

Магнитоэлектрические (МЭ) приборы

Часто эти приборы называются приборами Депре (по имени их предложившего); другое их название — приборы с подвижной рамкой или катушкой.

Принцип действия таких электроизмерительных приборов заключается в следующем: проводник с током, помещенный в постоянное магнитное поле (рис. 3 б и 8), стремится перемещаться





















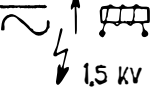
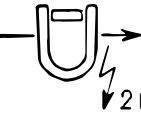
Знак	Пояснение	Знак	Пояснение
	Магнитоэлектрическая система с механической противодействующей силой ^{х)}		Термоэлектрическая система
	То же - без противодействующей силы		Детекторная система
			Электронная (ламповая) система
	Электромагнитная система		Электростатическая система
	Электродинамическая система без железа, с механической противодействующей силой	—	Постоянный ток
			Переменный однофазный ток (50 гц)
		Постоянный и переменный ток (50 гц)	
	То же - с железом (ферродинамическая система)		Трехфазный ток (50 гц)
			Переменный ток иной частоты (напр. 3-фазн 60 гц)
	Тепловая система		Изоляция прибора испытана на напряжении 2000 в
<i>х) т.е. с системой, подвижная часть которой при отсутствии тока имеет определенное равновесие</i>			Вертикальное положение прибора при измерении
			Горизонтальное положение прибора при измерении
			Наклонное положение (напр. под углом 60°)
<p>Примеры:</p> <p> Прибор электромагнитной системы для измерения постоянного и переменного тока, вертикальное положение. Изоляция прибора испытана напряжением 1500 вольт.</p> <p> Магнитоэлектрический прибор для измерения постоянного тока, горизонтальное положение. Изоляция прибора испытана напряжением 2000 в.</p>			

Рис. 7. Некоторые наиболее часто встречающиеся стандартные обозначения на шкалах электронизмерительных приборов

с тем большим усилием, чем больше сила тока в проводнике. Направление перемещения определяется известным из учебников электротехники или физики правилом левой руки.

Измеряемый ток в *МЭ* приборах протекает по проводнику, свитому в виде рамки (см. 2 на рис. 8), причем эта рамка укреплена на оси и может вращаться вокруг нее. Рамка помещена в поле сильного постоянного магнита 1 и к ней прикреплена стрелка-указатель 7, изготовляемая чаще всего из алюминия (для уменьшения веса).

Ток, протекающий по виткам рамки, будет создавать свое магнитное поле, вследствие чего рамка будет испытывать стремление повернуться так, чтобы направления магнитных силовых линий обоих полей совпали. Вращению рамки противодействуют спиральные пружинки 4, которые стремятся возвратить ее в исходное положение. В результате действия двух сил (стремящейся повернуть рамку до совпадения направлений магнитных сило-

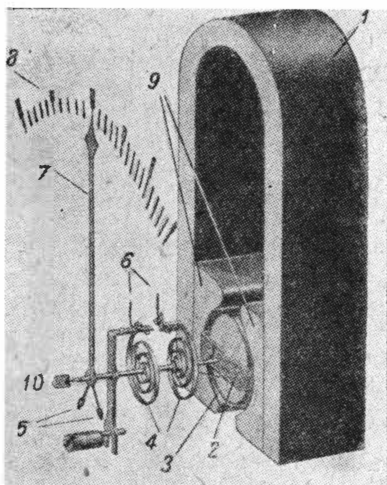


Рис. 8. Принципиальное устройство *МЭ* приборов

1 — подковообразный магнит, 2 — рамка, 3 — междужелезное пространство, 4 — спиральные пружинки, 5 — противовесы, 6 — подводка тока, 7 — стрелка, 8 — шкала, 9 — полюсные наконечники, 10 — цапфа

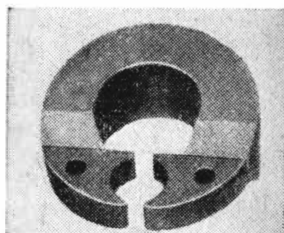


Рис. 9. Полукольцевой магнит с полюсными наконечниками для *МЭ* прибора

вых линий и противодействующей силы пружинок) рамка будет поворачиваться на некоторый угол. Этот угол будет тем больше, чем больше сила измеряемого тока, протекающего по виткам рамки. Жестко связанная с рамкой стрелка при повороте рамки движется над шкалой 8 с делениями. По этим делениям можно судить о том, на какой угол отклонилась рамка от начального положения, т. е. можно судить о силе протекающего по виткам рамки тока. Эти деления могут быть либо произвольными, либо непосредственно в значениях измеряемой величины, — в миллиамперах, амперах, вольтах и т. п.

Подводка измеряемого тока к подвижной рамке осуществляет-

ся через спиральные пружинки (см. 4 на рис. 8)¹⁾. Концы полуосей рамки опираются на подпятники (цапфы), обычно изготавливаемые из агата, рубина или других твердых пород камней, что значительно уменьшает трение.

В качестве постоянного магнита берется сильный подковообразный (1 на рис. 8) или в виде полукольца магнит (рис. 9) из специальной магнитной стали. Если поле магнита будет слабым, то чувствительность прибора окажется малой.

Чтобы сделать магнитное поле, воздействующее на рамку, возможно более равномерным и тем самым сохранить пропорциональность между силой измеряемого тока и углом поворота рамки, последнюю помещают в междужелезное пространство (рис. 10) — в узкое пространство между полюсными наконечниками и массивным цилиндром из мягкого железа.

В этом случае поле получается равномерным на всем протяжении пути, по которому перемещается рамка. Такая конструкция магнитной цепи, помимо этого, ослабляет сопротивление всей цепи магнитному потоку, что позволяет получать более сильные магнитные поля.

Мы уже указывали

на то, что чем больше сила измеряемого тока в витках рамки (или,

что то же самое, чем больше напряжение, подводимое к рамке), тем на больший угол повернется рамка, тем на большее деление укажет стрелка на шкале. У приборов магнитоэлектрического типа поворот рамки пропорционален силе тока, т. е. вдвое или втрое большему току соответствует и вдвое или втрое больший угол поворота. Следовательно, шкала получается равномерной: все деления находятся на равных расстояниях друг от друга (см. рис. 11, 12, 13 и 13а). Когда мы перейдем к знакомству с приборами других типов, мы увидим, что шкала далеко не всегда может быть получена равномерной. Равномерность шкалы магнитоэлектрических приборов является большим их преимуществом по сравнению с приборами других типов.

Недостатком МЭ приборов является то обстоятельство, что они могут измерять только постоянный ток. Если по виткам рамки пропустить переменный ток, то рамка будет менять на-

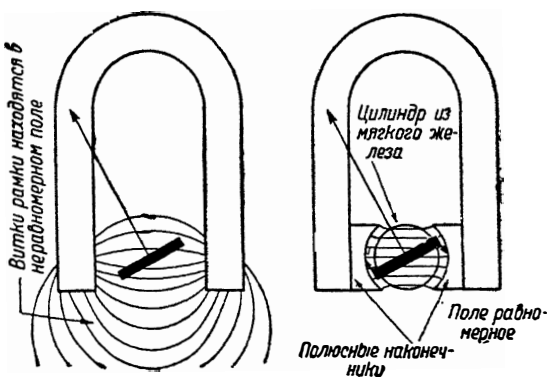


Рис. 10. Получение равномерного магнитного поля в междужелезном пространстве

¹⁾ На рис. 8 обе пружинки показаны рядом. Это сделано для большей наглядности чертежа. В действительности пружинки находятся на каждой полуоси, с разных сторон рамки.

правление вращения с частотой измеряемого тока. Но так как рамка обладает инерцией, то уже при сравнительно небольшой частоте (3—5 гц) она перестанет успевать поворачиваться и останется на месте. Стрелка МЭ прибора не будет отклоняться от нуля, если по рамке протекает переменный ток, частота которого больше 3—5 гц. При меньшей частоте стрелка будет совершать колебания из одного конца шкалы к другому (если нуль находится посередине шкалы).

Для облегчения подвижной части прибора, что необходимо для уменьшения трения и, следовательно, для увеличения чувств-

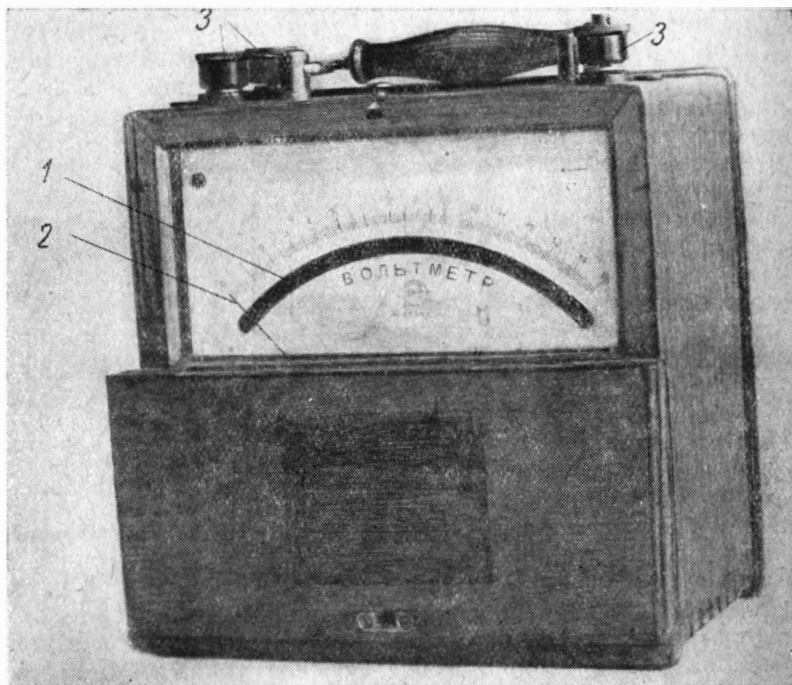


Рис. 11. Вольтметр МЭ системы переносного типа ДВИ. Шкала 0—15—150 в зеркальная, равномерная
1 — зеркало, 2 — ножевидная стрелка-указатель, 3 — клеммы

вительности прибора, намотка рамки осуществляется тонким проводом.

Витки рамки либо совершенно не имеют каркаса и сохраняют форму рамки, будучи склеены изоляционным лаком, либо наматываются на легкий каркас из алюминия. При поворотах такой рамки в магнитном поле в ее каркасе наводятся электрические токи, создающие, в свою очередь, свои магнитные поля. В результате создается некоторое торможение, успокоение рамки при ее перемещениях. Благодаря этому стрелка, связанная

с рамкой, почти не совершает колебаний около деления, а весьма быстро устанавливается неподвижно, что ускоряет отсчет. При производстве большого числа измерений, а также при измерениях, требующих быстрого отсчета, последнее обстоятельство имеет большое значение. Такое успокоение рамки называется *демпфированием*. В приборах других систем, как мы увидим дальше, применяются и другие способы успокоения, не только магнитные. Чем лучше в этом отношении прибор, тем быстрее он дает показание. Если успокоение излишне велико, то стрелка бу-

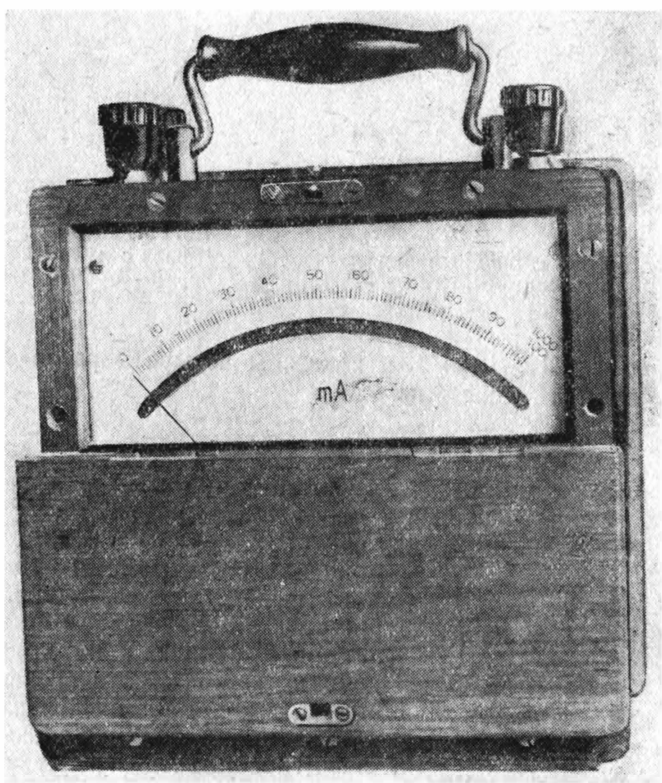


Рис. 12. Миллиамперметр МЭ системы переносного типа. Шкала 0—10—100—1000 мА, зеркальная, равномерная

дет слишком медленно перемещаться по шкале, что также является недостатком.

Для измерений постоянного тока МЭ приборы являются самыми лучшими. Эти приборы относятся к группе наиболее точных приборов: в хороших МЭ приборах достижима точность порядка 0,1% и даже выше. Потребление мощности от измеряемой цепи сравнительно невелико. Из всех типов электроизмери-

тельных приборов МЭ приборы в радиоловительской практике, в частности, найдут себе наиболее широкое применение.

МЭ приборы относятся к группе наиболее чувствительных приборов. Это также способствует их широкому распространению.

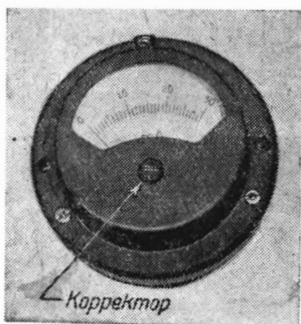


Рис. 13. Щитовой миллиамперметр МЭ системы, тип 5МЛ, шкала 0—30 ма

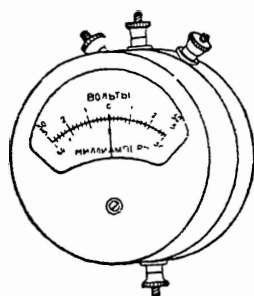


Рис. 13а. Вольтмиллиамперметр МЭ системы, тип 5МШ („карманный“). Шкала с нулем посередине, 30—0—30 в, 3—0—3 в, 30—0—30 ма

На рис. 11, 12, 13 и 13а показаны четыре образца отечественных приборов МЭ системы.

Электромагнитные (ЭМ) приборы

Иначе эти приборы называются приборами с мягким железом. Их принцип действия основан на магнитном воздействии поля соленоида (провода, свитого в катушку), по которому протекает измеряемый ток, на кусок мягкого железа (рис. 3в). На рис. 14 изображен соленоид, внутри которого укреплен на пружине сердечник из мягкого железа. По виткам соленоида пропускается электрический ток, и возникающее при этом магнитное поле втягивает в соленоид железный сердечник с прикрепленной к нему стрелкой-указателем. Концы стрелки при этом перемещаются по делениям шкалы и указывает измеряемую величину. Чем больше сила тока, протекающего по обмотке соленоида, тем сильнее будет втягиваться железный сердечник, тем на большее число делений переместится стрелка по шкале. Прямой пропорциональности между силой измеряемого тока и перемещением стрелки у ЭМ прибора не получается: обычно в начале

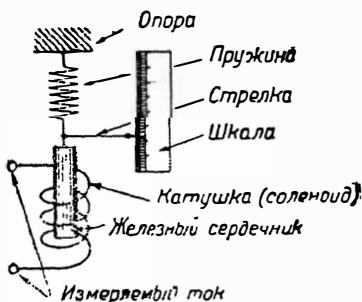


Рис. 14. Принципиальное устройство приборов ЭМ системы, конструкция Кольрауша

большее число делений переместится стрелка по шкале. Прямой пропорциональности между силой измеряемого тока и перемещением стрелки у ЭМ прибора не получается: обычно в начале

И конце шкалы деления располагаются ближе одно к другому, т. е. шкала получается неравномерной (рис. 15, 16 и 17). У хороших ЭМ приборов специальными мерами удается сделать шкалу более равномерной, но все же и в этом случае она в известной части остается неравномерной, что относится к недостаткам приборов этой системы.

Конструктивно принцип ЭМ приборов осуществляется в настоящее время различно. Конструкция (Кольрауша), представленная на рис. 14, почти не применяется, так как пружина с течением времени вытягивается, ослабевает и прибор теряет свою градуировку. Чаше можно встретить конструкцию, приведенную на рис. 15. Здесь железный сердечник выполнен в виде тонкого диска, эксцентрично насаженного на ось. При втягивании его в соленоид он поворачивается вокруг оси, поворачивается и связанная с диском стрелка.

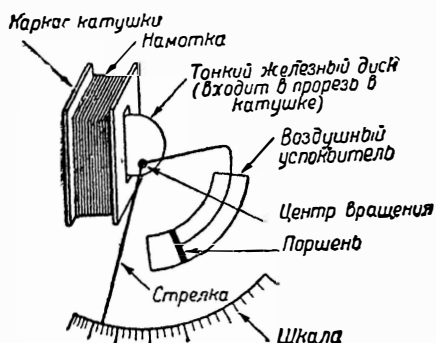


Рис. 15. Схематическое устройство прибора ЭМ системы, конструкция с втягивающимся в катушку железным диском

На рис. 16 представлена еще одна довольно часто встречающаяся конструкция ЭМ приборов: здесь в поле соленоида 1 находятся две железные пластинки — одна неподвижная, а другая подвижная, связанная со стрелкой-указателем. Так как обе пластинки намагничиваются полем соленоида одноименно, то они стремятся оттолкнуться, причем в движение приходит подвижная пластинка, которая увлекает за собой стрелку.

Приборы ЭМ системы не имеют своих постоянных магнитных полей, как МЭ приборы. Поэтому ЭМ приборы пригодны для измерений постоянного и переменного токов. Так как на-

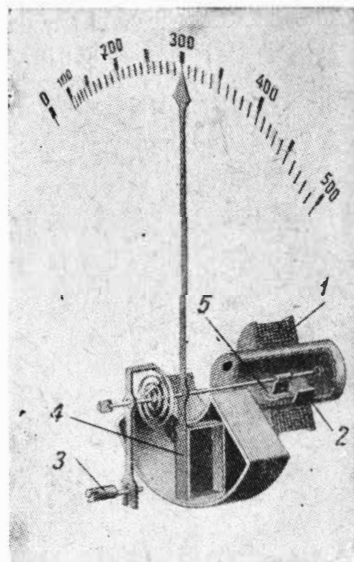


Рис. 16. Конструкция ЭМ прибора с отталкивающимися железными пластинками (репульсионного типа).

1 — катушка, 2 — неподвижная железная пластинка, 3 — корректор, 4 — успокоитель, 5 — подвижная железная пластинка, укрепленная на оси

ходящийся в магнитном поле железный сердечник успевае́т перемагничиваться, если частота измеряемого тока невелика (50—100 гц), то измерения токов промышленных частот с помощью ЭМ приборов вполне возможны.

ЭМ приборы являются наиболее распространенными среди технических приборов переменного (50-герцного) тока. Измерения высокочастотных токов и токов верхних звуковых частот с помощью ЭМ приборов не могут быть осуществлены, так как по мере повышения частоты увеличивается индуктивное сопротивление обмотки катушки и совершенно меняется результирующее воздействие поля измеряемого тока на железный сердечник. Приборы ЭМ системы, рассчитанные на измерение средних звуковых частот, встречаются относительно редко.

Градуировка ЭМ прибора, рассчитанного на измерение постоянного тока, несколько изменяется при переходе на переменный ток и, наоборот, показания ЭМ прибора, градуированного для переменного тока, не сохраняются неизменными при

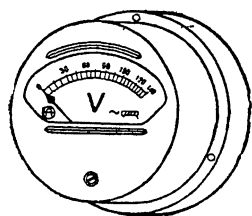


Рис. 17. Технический щитковый ЭМ прибор.

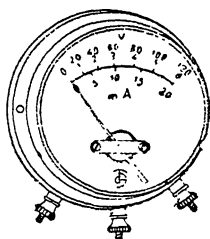


Рис. 18. Радилюбительский вольтмиллиамперметр ЭМ типа (поляризованный), шкала 0—6—120 в и 0—20 ма

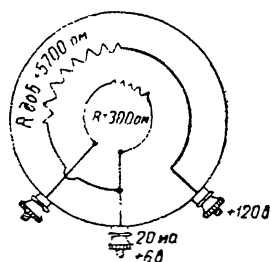


Схема прибора

переходе на постоянный ток. Поэтому ЭМ приборы иногда снабжаются шкалой с двумя рядами делений — для постоянного и переменного токов.

К достоинствам ЭМ приборов, помимо возможности измерения постоянных и переменных токов, относится дешевизна: ЭМ приборы в 2—4 раза дешевле равноценных по качеству МЭ приборов. Это способствует их широкому распространению: ЭМ приборы (рис. 17) можно встретить всюду — на щитах электростанций, в промышленных электросиловых установках, в лабораториях и т. д.

К отрицательным особенностям этих приборов, помимо неравномерности шкалы, следует отнести недостаточную точность, особенно у приборов технических. В среднем погрешность ЭМ приборов составляет 1—1,5% от номинального значения и только у лучших доходит до 0,3%.

ЭМ приборы чувствительны к внешним магнитным полям, благодаря чему применение магнитных успокоителей становится

затруднительным и не осуществляется; вместо них применяются воздушные успокоители (рис. 15 и 16). Поршень, связанный с подвижной частью прибора, перемещается в закрытом воздушном пространстве, что и создает торможение подвижной системы. Однако, это не обеспечивает такого же успокоения, как у МЭ приборов: стрелка ЭМ приборов успокаивается не столь быстро.

Имеется еще одна категория ЭМ приборов — *поляризованные ЭМ приборы*. Они годятся *только для измерения постоянного тока*. Мы на них останавливаемся потому, что одно время нашей промышленностью выпускались специально для радиолюбителей комбинированные вольтмиллиамперметры на 6—120 в и 20 ма (рис. 18) именно этого типа.

В принципе устройство таких приборов весьма простое (рис. 19).

В приборе всего три основных части: подковообразный постоянный магнит, катушка, по виткам которой протекает измеряемый (постоянный!) ток, и пластинка из мягкого железа, связанная со стрелкой-указателем и укрепленная на оси. Никаких пружин, фиксирующих положение куска железа и связанной с ним стрелки, здесь нет. Постоянный магнит своим полем фиксирует положение стрелки на нуле шкалы. При пропускании тока по катушке кусок железа будет поворачиваться, испытывая на себе действие результирующего магнитного поля (постоянного магнита и катушки).

Эти приборы, отличающиеся совершенно недостаточной точностью (порядка 5—10%), применяются, в частности, в автомобилях (амперметр заряда-разряда аккумуляторов).

В практике измерений радиолюбителя ЭМ приборы могут найти себе весьма ограниченное применение: для измерения напряжения питающей сети переменного тока, напряжения аккумуляторной батареи, напряжения накала подогревных ламп и т. п. Более ответственные измерения этими приборами не могут быть выполнены.

Электродинамические (ЭД) приборы

Принципиальное устройство ЭД приборов представлено на рис. 20. Измеряемый ток протекает последовательно по двум катушкам — подвижной (вращающейся) 5 и неподвижной 6. Каждая катушка при этом создает свое магнитное поле. В результате взаимодействия магнитных полей катушек подвижная катушка

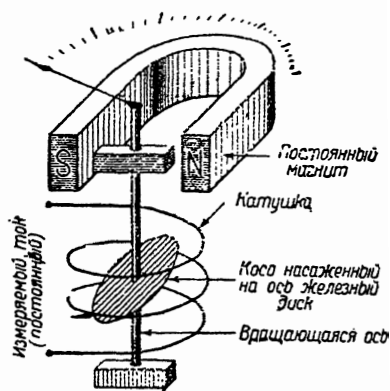


Рис. 19. Схематическое устройство ЭМ поляризованного прибора

ка и связанная с ней стрелка-указатель 2 приходят в движение, поворачиваясь вокруг оси. Конец стрелки при этом перемещается по делениям шкалы 1, что и дает возможность наблюдателю произвести отсчет.

Стрелка останавливается в положении, при котором вращающий момент подвижной системы оказывается равным вращающему моменту спиральных пружин 7, стремящихся возвратить подвижную систему в исходное, нулевое положение. Как только прекращается ток через катушки, пружинки возвращают стрелку к нулевому делению шкалы. Через эти же спиральные пружинки осуществляется подводка тока к подвижной катушке.

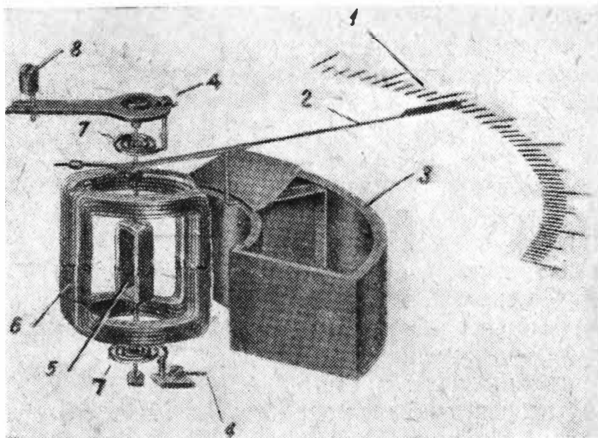


Рис. 20. Принципиальное устройство ЭД приборов

1 — шкала, 2 — стрелка, 3 — успокоитель, 4 — подводка тока, 5 — вращающаяся катушка
6 — неподвижная катушка, 7 — пружинка, 8 — корректор

Чтобы точно устанавливать стрелку у нулевого деления шкалы, пользуются корректором 8; этот корректор несколько перемещает стрелку вправо или влево.

Магнитные успокоители в ЭД приборах не применяются совершенно, так как ЭД приборы чувствительны к посторонним магнитным полям, что относится к числу недостатков этих приборов. Поэтому приходится применять воздушные успокоители (см. 3 на рис. 20).

ЭД приборы годятся для измерений постоянного и переменного низкочастотного токов, однако, на постоянном токе у ЭД приборов имеются серьезные конкуренты — МЭ приборы.

Среди всех приборов, непосредственно (т. е. без предварительного преобразования) измеряющих переменные токи, ЭД приборы являются наиболее точными. На промышленных частотах (50-герцовый ток) погрешность этих приборов в лучших конст-

рукциях составляет около $0,1\%$, т. е. сравнима с величиной погрешности лучших МЭ приборов по постоянному току. Однако, высокая стоимость этих приборов (они в равноценном оформлении в $1\frac{1}{2}$ —2 раза дороже МЭ приборов) является значительным препятствием к их применению.

Для измерений при высокой частоте эти приборы не годятся, — именно это обстоятельство и ограничивает возможности их использования в радиотехнических измерениях. Радиолюбителю удобнее и проще измерения при высокой и звуковой частотах осуществлять с помощью МЭ приборов, используя для этого выпрямление с помощью купроксов (на низкой частоте) или электронных ламп, а также пользуясь МЭ приборами с термопарой (см. дальше).

К недостаткам ЭД приборов следует отнести также неравномерность шкалы, большое потребление мощности при измерении и чувствительность к перегрузкам.

Электростатические (ЭС) приборы

Принцип действия электростатических приборов, как показывает самое их название, основан на электростатическом взаимодействии зарядов. Известно, что противоположно (по знаку) заряженные тела стремятся притянуться (рис. 4). Это явление и использовано в конструкции ЭС прибора (рис. 21). В нем имеются две системы пластин — подвижная и неподвижная, которые не имеют между собой непосредственного электрического соединения. При подведении к пластинам напряжения, вследствие электростатического взаимодействия между ними, подвижная система придет в движение и, следовательно, переместится связанная с ней стрелка-указатель. Полярность измеряемого тока не имеет значения: плюс может быть подан либо к подвижной системе, а минус — к неподвижной, либо наоборот, т. е. ЭС приборы могут применяться как для измерений постоянного, так и переменного тока. Частотный диапазон весьма широк:

ЭС приборы применимы для измерений на частотах до сотен тысяч, а некоторые конструкции — до миллиона герц и выше. В данном отношении предел измерений определяется емкостью самого прибора, так как при высоких частотах и сравнительно больших

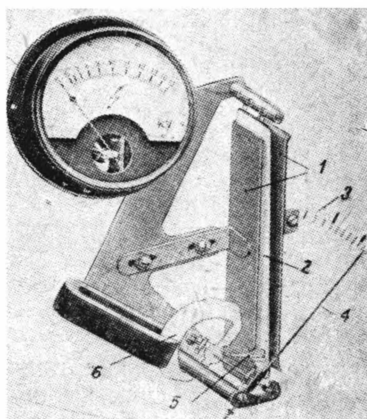


Рис. 21. Принципиальное устройство технического электростатического вольтметра

1 — неподвижные пластины, 2 — подвижная пластина, 3 — шкала, 4 — стрелка, 5 — тяга к стрелке, 6 — успокоитель

емкостях прибора сопротивление такого вольтметра может стать очень небольшим и он будет сильно шунтировать измеряемую цепь.

ЭС приборы практически почти совершенно не потребляют мощности от измеряемой цепи.

В радиолюбительской практике ЭС приборы вряд ли найдут применение, во-первых, вследствие дороговизны и, во-вторых, потому, что технические модели этих приборов изготавливаются только на большие напряжения (от сотен вольт и выше). Только лабораторные модели ЭС приборов имеют менее высокие

пределы измерений — до 150 в; новейшие модели имеют шкалы до 20 в (отсчет возможен от 1 в). Лабораторные модели, однако, очень дороги.

Конструкция и внешний вид лабораторного ЭС прибора показаны на рис. 22. Подвижная система у таких приборов подвешивается на тонкой нити и перед измерением прибор должен быть выверен по уровню. Если при измерениях подвижная система коснется неподвижной, то произойдет короткое замыкание с вытекающими отсюда последствиями.

Шкала у ЭС приборов неравномерная. Точность показаний — до 1%. На показания прибора сильное влияние оказывают посторонние

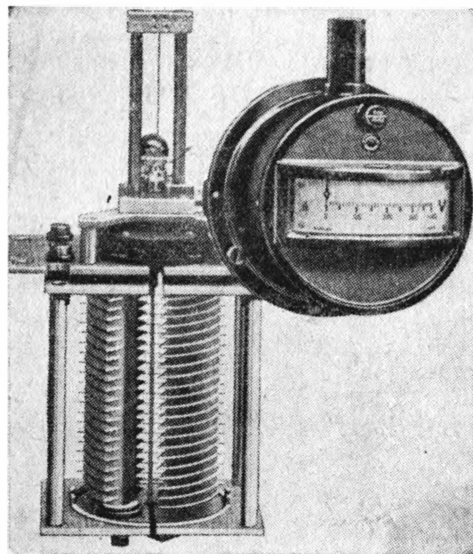


Рис. 22. Электростатический вольтметр многокамерной конструкции

электрические поля. При использовании ЭС вольтметров в радиотехнических резонансных схемах приходится принимать во внимание собственную емкость прибора, составляющую несколько десятков сантиметров. Эта емкость внесет расстройку и, следовательно, может изменить режим измеряемой цепи.

Тепловые (T) приборы

При пропускании электрического тока по проводникам имеет место расширение этих проводников вследствие нагревания током, — линейное и объемное. Чем больше сила протекающего тока, тем более высокой будет температура проводника, тем больше будет его удлинение. Свободно подвешенная металлическая нить, если концы ее закреплены неподвижно (рис. 2),

будет при этом провисать,— это явление удлинения металлических нитей при протекании по ним электрического тока и использовано в конструкциях *T* приборов.

Как показывает рис. 23, на котором представлено принципиальное устройство *T* приборов, к середине закрепленной у концов металлической нити 1 (из сплава платины с иридием или серебром) прикреплена другая металлическая нить 2, оттягивающая нить 1 книзу. Нить 2 закреплена другим своим концом на основании прибора. С этой оттягивающей нитью 2, в свою очередь, соединена шелковая нить 5, охватывающая небольшой вращающийся на неподвижной оси блок с прикрепленной к нему стрелкой-указателем.

Противоположный конец шелковой нити 5 прикреплен к оттягивающей пружине 7. В отсутствие тока через нить 1 вся система находится в состоянии равновесия и стрелка-указатель стоит на нуле шкалы. При удлинении нити 1 от нагревания ее измеряемым током оттягивающая пружина 7 получает возможность оттянуть шелковую нить 5 влево. При этом блок будет поворачиваться по часовой стрелке и конец стрелки-указателя переместится по делениям шкалы. Чем больше сила измеряемого тока, тем больше будет удлинение нити, тем на большее деление отклонится стрелка.

Чем меньше измеряемый ток, тем тоньше должна быть металлическая нить, так как удлинение зависит от температуры, а температура будет тем выше, чем больше сопротивление нити, чем меньше ее объем и чем больше сила тока. При малом объеме нити — при малом ее диаметре — заметное удлинение получается уже при малых значениях измеряемого тока. Укажем, что при диаметре проволоки в 0,03 мм можно измерять токи максимум до 100 мА, — больший по величине ток уже будет угрожать целостности нити.

Для измерения больших величин силы тока, порядка нескольких ампер и больше, можно было бы применить нити большего диаметра. Однако, прибор с нитью большого диаметра, вследст-

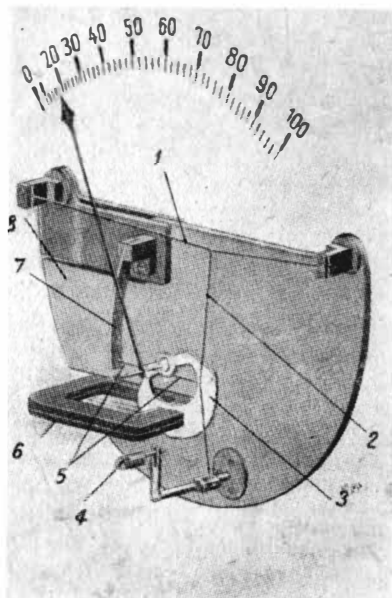


Рис. 23. Принципиальное устройство теплового прибора

1 — металлическая нить, через которую протекает измеряемый ток, 2 — оттягивающая нить, 3 — алюминиевый диск успокоителя, 4 — корректор, 5 — шелковая нить, 6 — магнит успокоителя, 7 — оттягивающая пружина, 8 — основание прибора

Вне ее тепловой инерции, очень медленно давал бы свои показания и еще медленнее реагировал бы на изменения измеряемой величины. Применение толстых нитей в T приборах не гарантирует от значительных ошибок в показаниях при измерении токов высокой частоты. Поэтому в тепловых приборах на большие токи применяют способ параллельного соединения нескольких нитей (или, чаще, тонких полосок из иридиевой платины), причем только к одной из них прикрепляют систему со стрелкой-указателем. Шкала прибора градуируется по величине общего тока, протекающего по всем параллельно соединенным нитям или полоскам.

Приборы T типа годятся для измерения как постоянного, так и переменного токов, так как с точки зрения конечного эффекта — удлинения нити — безразлично, каким током производится ее нагрев. Показания T приборов почти не зависят от частоты — до миллиона герц и выше. Другое достоинство T приборов заключается в том, что внешние магнитные поля не оказывают никакого влияния на показания. Это дает возможность применить магнитные успокоители.



Рис. 24. Тепловой миллиамперметр типа ТИР, шкала 0—80 ма, предназначенный для включения в цепь антенны маломощного радиопередатчика

Не менее существенным достоинством является то, что на показания T прибора не влияет форма кривой измеряемого тока. Это зачастую заставляет отказываться от других систем приборов и пользоваться только T приборами.

К недостаткам T приборов относятся: а) зависимость показаний от окружающей температуры, б) медленная установка стрелки, в) неравномерность шкалы, г) непостоянство нуля (у всех T приборов имеется регулятор для установки стрелки на нуль, см. 4 на рис. 23), д) большое потребление мощности при измерениях, е) недостаточная точность показаний и ж) чувствительность к перегрузке током.

В радиотехнике тепловые приборы, тем не менее, находят себе применение довольно часто, особенно при измерениях высокочастотных токов в цепи антенны передатчиков. Радиоблестелю тепловые приборы на небольшие силы токов могут потребоваться для включения в контур индикатора резонанса при проведении различных измерений и т. д. На рис. 24 показан тип теплового прибора, получивший у нас широкое распространение.

ГЛАВА IV ГАЛЬВАНОМЕТРЫ

Гальванометрами называются электроизмерительные приборы большой чувствительности, шкалы которых размечены не в значениях измеряемой величины (т. е. не в вольтах или амперах или производных от них более мелких единицах), а просто в градусных или произвольных делениях.

Существует большое разнообразие систем и конструкций гальванометров и чем на меньшие величины токов или напряжений рассчитан гальванометр, тем в большей степени нуждается он в квалифицированном обслуживании. Мы остановимся только на стрелочных гальванометрах МЭ системы (рис. 27, 27а и 28), так как радиолюбителю придется встречаться в своей практике именно с такими гальванометрами. Отметим, что помимо

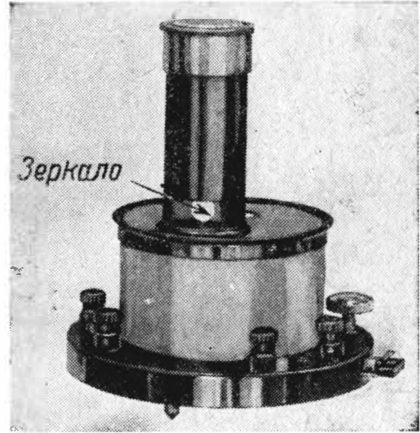


Рис. 25. Зеркальный гальванометр

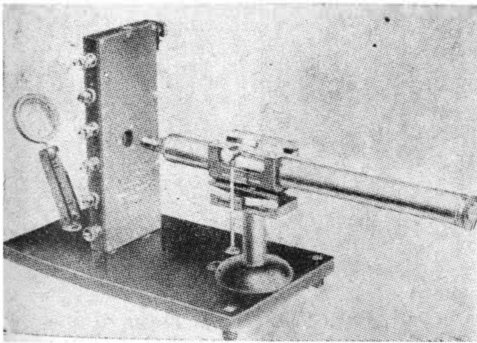


Рис. 26. Струнный гальванометр. Отклонение нити наблюдается в микроскоп. Слева — зеркальце, освещающее нить отраженным светом

стрелочных гальванометров и струнных (рис. 26). У первых отсчет производится посредством пучка света, направляемого на маленькое зеркальце, прикрепленное к проводникам, помещенным в магнитном поле. При прохождении измеряемого тока по проводникам зеркальце поворачивается и при этом перемещается отражаемый пучок света, проектируемый на шкалу.

У гальванометров второго типа — струнных — отсчет производится по величине отклонения струны, находящейся в сильном постоянном магнитном поле. Отклонение струны вызывается

измеряемым током, проходящим по струне.

В отличие от струнных и зеркальных гальванометров стре-

лочный гальванометр указывает наблюдателю измеряемую электрическую величину концом стрелки, перемещающейся по шкале с делениями.

Физический институт Ленинградского университета (ФИЛУ)



Рис. 27. Стрелочный МЭ гальванометр производства ФИЛУ, тип Н, шкала зеркальная, двусторонняя, с 20 делениями в каждую сторону от нуля посередине

1 — клеммы для подводки измеряемого тока, 2 — арретир, 3 — корректор

изготавливает МЭ стрелочные гальванометры двух типов — Н и С. Первый тип — Н, снимок которого приведен на рис. 27, имеет двустороннюю шкалу с нулем посередине и по 20 делений в каждую сторону от нулевого деления. Гальванометр ФИЛУ типа С, в принципиальном отношении не отличающийся от гальванометра Н, имеет одностороннюю шкалу со стандартными делениями (рис. 28). На рис. 27 а показан общий вид стрелочного гальванометра типа МО, получившего широкое распространение в практике профессиональных лабораторных измерений.

Не отличаясь в принципиальном отношении от

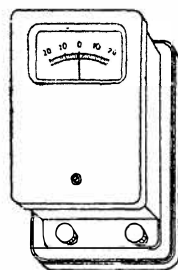


Рис. 27а. Стрелочный гальванометр МЭ системы, тип МО. Шкала с нулем посередине и 20 делениями в каждую сторону от нуля

описанных ранее МЭ приборов, стрелочные гальванометры ФИЛУ имеют несколько видоизмененную конструкцию, что обуславливается значительно большей чувствительностью гальванометров. Рамка не имеет полуосей и спиральных пружин: ее положение в

междужелезном пространстве, фиксируется двумя металлическими нитеобразными полосками, прикрепленными к пружинящим пластинам (рис. 29). По этим тонким нитям к рамке подводится измеряемый ток. Упругости нитей вполне достаточно для того, чтобы в отсутствие тока через витки рамки вернуть последнюю в исходное положение. Таким образом, нити заменяют собой оси и спираль-

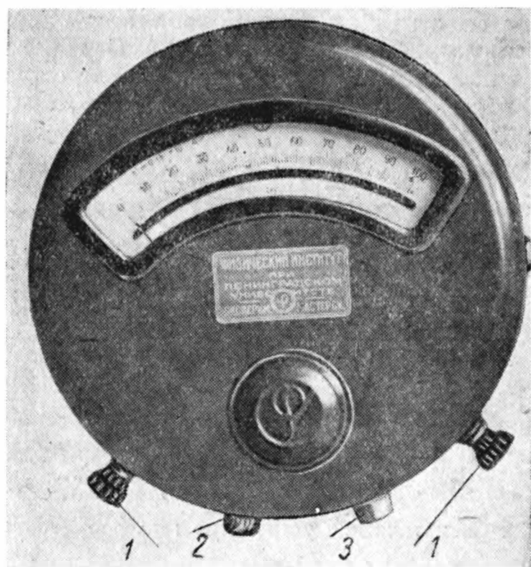


Рис. 28. Стрелочный МЭ гальванометр ФИЛУ тип С.
Шкала зеркальная, односторонняя, 100 делений
1 — клеммы, 2 — арретир, 3 — корректор

ные пружинки, которые имеются в менее чувствительных МЭ приборах.

Такое конструктивное оформление требует исключительно осторожного обращения с прибором, так как нити можно легко оборвать. При всех переносках и вообще в то время, когда прибором не пользуются, следует арретировать (т. е. задерживать, неподвижно закреплять) подвижную систему гальванометра. Для этого прибор снабжен особым устройством — *арретиром*, которое несколько приподнимает рамку вместе со стрелкой и прижимает ее к железному шару (выполняющему такое же назначение, как и железный цилиндр в обычном приборе МЭ системы), удерживая от перемещения рамку и связанную с ней стрелку. Перед каждым измерением следует предварительно освободить рамку, так как легко можно вывести прибор из строя чрезмерным по величине током (практика пользования прибора-

ми показывает, что начинающие радиолюбители стараются в таких случаях вызвать отклонение стрелки увеличением тока).

Помимо этого приспособления в гальванометре имеется еще другое, позволяющее немного поворачивать всю подвижную систему для точной установки стрелки на нуль. Это осуществляется другим регулятором, выведенным наружу прибора (рис. 27 и 28); при повороте регулятора, называемого *корректором нуля*, происходит закручивание нити, вслед за которой увлекается и рамка со стрелкой. Это позволяет до измерения устанавливать стрелку прибора точно на нуль. Стрелка выполнена из алюминия и на конце, у шкалы, имеет ножевидную форму. Шкала

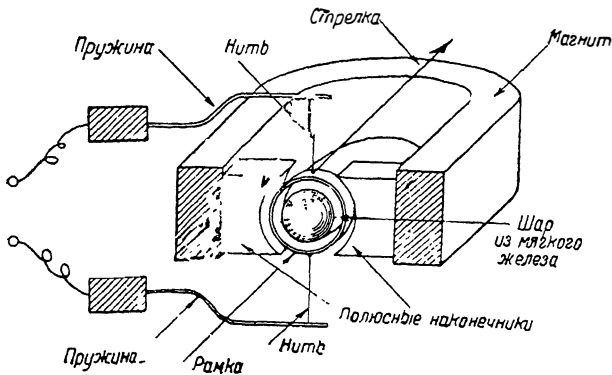


Рис. 29. Схематическое устройство гальванометра ФИЛУ

снабжена зеркалом, — о назначении таких зеркал мы уже говорили раньше.

Гальванометры ФИЛУ выпускаются с различными величинами сопротивлений рамки и с различной чувствительностью. Величина сопротивления рамки прибора и чувствительность обозначены на шкале каждого такого прибора. Обычно величины сопротивлений изменяются в пределах от 11—15 до 2200—2400 *ом*, а средняя чувствительность прибора¹⁾ в пределах от $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ а} = 0,1 \text{ мкд}$ до $2 \cdot 10^{-6} \text{ а} = 2 \text{ мка}$.

Все сказанное в отношении осторожного обращения с приборами в особенной степени относится к гальванометрам ФИЛУ, так как в случаях их повреждения починка зачастую обходится дороже приобретения нового прибора.

¹⁾ Цену деления шкалы гальванометра следует определять делением величины тока или напряжения, производящего отклонение стрелки прибора до последнего деления шкалы, на число промежутков между нанесенными на шкале делениями. В этом случае мы получаем среднее значение цены деления, численно определяющее среднюю чувствительность прибора.

Указанную на шкале гальванометра ФИЛУ чувствительность надо считать именно средней чувствительностью.

К недостаткам гальванометра типа Н следует отнести ограниченность шкалы, если подходить к этому прибору с точки зрения использования его в качестве измерительного прибора (этот гальванометр, в основном, предназначен в качестве нулевого индикатора, т. е. прибора, указывающего момент отсутствия тока в той или иной цепи или схеме). Можно было бы шкалу прибора несколько расширить переводом нулевого деления к левому или правому краям шкалы. С помощью корректора стрелку прибора удастся переместить на 5—10 делений, не больше. Это, тем не менее, дает некоторое расширение шкалы в одну сторону. Известны способы перевода нулевого деления шкалы в самое ее начало, однако, эти способы, зачастую приводящие к порче прибора начинающими, не могут быть рекомендованы и поэтому здесь не приводятся.

Что измеряют гальванометрами ?

Для каких измерений предназначаются гальванометры, — для измерений напряжений или сил токов? Покажем, что между первым и вторым измерениями нет никакого принципиального различия.

Стрелочный гальванометр ФИЛУ, например, с одной стороны, является микроамперметром, так как измеряет миллионные доли ампера. Если чувствительность гальванометра составляет $1,5 \cdot 10^{-6}$ а, т. е. 1,5 мка, то при 20 делениях предел измерений составит $20 \times 1,5 = 30$ мка, т. е. стрелка прибора отклонится до последнего деления шкалы при пропускании через прибор тока силой 30 мка.

Для того, чтобы через прибор протекал ток такой силы, мы должны подвести к прибору напряжение, величина которого, очевидно, должна быть равна

$$U = I_{\text{макс}} \cdot R_{\text{приб}},$$

где U — напряжение, в вольтах, $I_{\text{макс}}$ — предел измерения прибора, в амперах и $R_{\text{приб}}$ — сопротивление самого прибора, в омах. Если сопротивление $R_{\text{приб}} = 200$ ом, то напряжение должно быть равно

$$U = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ в} = 6 \text{ мв.}$$

Если напряжение будет превышать это значение, то стрелка прибора может выйти за пределы шкалы и при дальнейшем увеличении напряжения создастся опасность для целостности прибора из-за чрезмерного по величине тока.

Итак, этот гальванометр может служить и в качестве милливольтметра, т. е. прибора, измеряющего тысячные доли вольта.

Если стрелка гальванометра, имеющего чувствительность $0,5 \cdot 10^{-6} a$ и сопротивление 170 ом , отклонилась на 14 делений шкалы, то это означает, что сила измеряемого тока равна

$$I_{изм} = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 14 = 7 \cdot 10^{-6} a = 7 \text{ мка}$$

или что подводимое к прибору напряжение составляет

$$U_{изм} = I_{изм} \cdot R_{приб} = 7 \cdot 10^{-6} \cdot 170 = 1,19 \cdot 10^{-3} \text{ в} = 1,19 \text{ мв.}$$

Предостережение. Непосредственное подключение гальванометра к какому-либо источнику тока — аккумулятору, гальваническому элементу и т. д., напряжение которого измеряется вольтами, *грозит неминуемой гибелью прибора*, так как сила тока через прибор установится чрезмерно большой. Наибольшее допустимое напряжение, которое может быть подведено к прибору, не должно превышать предела измерения по напряжению, определяемого по формуле

$$U_{макс} = I_{макс} \cdot R_{приб},$$

где $U_{макс}$ — максимальное допустимое напряжение, в вольтах (предел измерений по напряжению); $I_{макс}$ — предел измерения по току, в амперах; $R_{приб}$ — сопротивление прибора, в омах

В свою очередь

$$I_{макс} = (\text{чувствительность по току}) \times (\text{число делений шкалы}).$$

Расширение пределов измерения по току (шунты)

Вспользуемся законом электротехники, гласящим, что токи в параллельно включенных сопротивлениях обратно пропорциональны величинам этих сопротивлений. Приключим параллельно клеммам гальванометра сопротивление $R_{ш}$ (рис. 30). Тогда

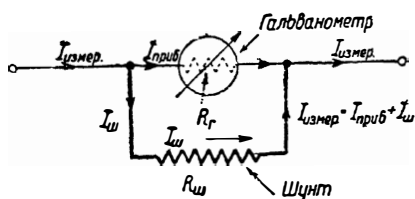


Рис. 30. Шунтирование гальванометра

уже не весь измеряемый ток, а только часть его. Эта часть будет тем меньше, чем меньше будет сопротивление $R_{ш}$ по сравнению с сопротивлением $R_{Г}$ прибора. В пределе, когда сопротивление $R_{ш}$ будет почти равно

нулю, мы замкнем прибор накоротко и весь ток потечет уже не по прибору, а по сопротивлению $R_{ш}$, которое представит собой для тока путь с очень малым сопротивлением по сравнению с сопротивлением прибора. Такое сопротивление $R_{ш}$ называется шунтом (от английского слова „shunt“, означающего ответвление, запасный путь).

Изменяя величину сопротивления шунта $R_{ш}$, мы будем менять соотношение между токами через прибор и шунт. Предположим, что нам надо измерить силу тока в 10 ма с помощью гальванометра, через который можно пропускать максимально 50 мка . Включаем параллельно клеммам гальванометра шунт с таким расчетом, чтобы излишек тока $10\text{ ма} - 50\text{ мка} = 10\,000\text{ мка} - 50\text{ мка} = 9950\text{ мка}$ пропустить через шунт. Ток через шунт, следовательно, должен в $\frac{9950}{50} = 199$ раз превышать ток через прибор. Для этого сопротивление прибора R_r должно во столько же раз превышать сопротивление шунта $R_{ш}$. Если при этом сопротивление прибора равно 250 ом , то сопротивление шунта должно быть равно $\frac{250}{199} = 1,255\text{ ом}$. Для измерения еще *больших* по величине токов с помощью гальванометра пришлось бы ввести в шунт еще большую часть измеряемого тока, т. е. *уменьшить* сопротивление шунта.

Снабдив гальванометр набором сменных шунтов, мы могли бы получить возможность с помощью всего лишь одного прибора измерять различные силы токов—от самых малых, измеряемых совершенно без шунта, до очень больших. На рис. 31 показан амперметр с наружным шунтом.

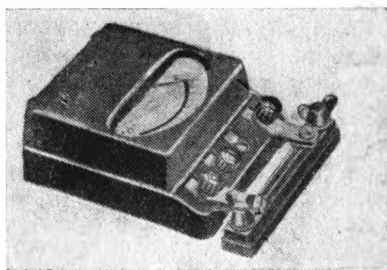


Рис. 31. Амперметр с наружным шунтом

Формула, по которой можно подсчитать сопротивление шунта

$$R_{ш} = \frac{R_{приб.}}{\frac{I_{изм.}}{I_{макс.}} - 1},$$

где $R_{ш}$ — сопротивление шунта, в омах; $R_{приб.}$ — сопротивление прибора, в омах; $I_{макс.}$ — предел измерения прибора (без шунта) по току, в амперах; $I_{изм.}$ — предел измерения прибора (с шунтом) по току, в амперах.

Проиллюстрируем применение формулы на примере. Имеется гальванометр со следующими данными: $R_{приб.} = 400\text{ ом}$, предел измерения по току $I_{макс.} = 50\text{ мка}$. Требуется расширить предел измерения до $I_{изм.} = 50\text{ ма}$. Определить сопротивление шунта.

Находим

$$R_{ш} = \frac{400}{\frac{0,050}{0,00005} - 1} = 0,40004\text{ ом} \approx 0,4\text{ ом}.$$

При малых величинах сопротивления шунта большое значение приобретает способ соединения шунта с прибором. Если шунт выносной, т. е. если он соединяется с прибором помощью подводящих проводов, то сопротивление этих проводов может стать сравнимым с сопротивлением шунта и исказить результаты расчетов. Градуировку прибора с таким шунтом следует производить с заранее заготовленными проводами и впоследствии при измерениях с использованием этого шунта пользоваться только этими же подводящими проводами.

Приборы, служащие для измерения токов порядка ампер и выше, называются *амперметрами*.

Расширение пределов измерения по напряжению (добавочные сопротивления)

Мы указывали, что к гальванометру ФИЛУ можно подводить лишь весьма малые по величине напряжения, измеряемые тысячными долями вольта. Между тем чаще встречается необходимость осуществлять измерения значительно больших напряжений, порядка нескольких вольт, а иногда десятков и сотен вольт. Это можно осуществить с помощью гальванометра, если последовательно ему включить добавочное сопротивление (рис. 32). Величина этого сопротивления $R_{доб}$ должна быть такой,

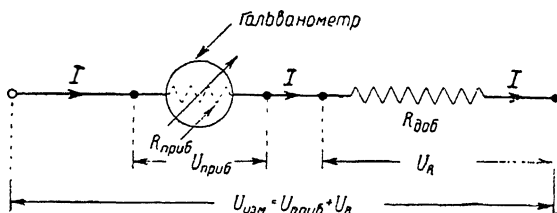


Рис. 32. Присоединение добавочного сопротивления к гальванометру

чтобы на $R_{доб}$ падало напряжение, представляющее собой избыток над пределом измерения данного гальванометра. Иначе говоря, если к гальванометру можно подвести напряжение не более $U_{макс} = 100$ мв, а измеряемое напряжение $U_{изм} = 100$ в, то на добавочном сопротивлении должно получиться падение напряжения

$$U_{R_{доб}} = U_{изм} - U_{макс} = 100 - 0,1 = 99,9 \text{ в.}$$

Чем чувствительнее прибор и чем больше величина измеряемого напряжения, тем больше должна быть величина добавочного сопротивления. Покажем это на примере. Требуется изготовить вольтметр постоянного тока с пределом измерения

10 в. В нашем распоряжении, предположим, оказались два гальванометра: один с чувствительностью $1^\circ = 0,1 \cdot 10^{-6} a = 0,1 \text{ мка}$ и сопротивлением 2000 ом , а другой с чувствительностью $2 \cdot 10^{-6} a = 2 \text{ мка}$ и сопротивлением 10 ом ; число делений на шкале каждого прибора 20. Следовательно, пределы измерения приборов будут:

	по току	по напряжению
у первого	$0,1 \cdot 10^{-6} \times 20 = 2 \cdot 10^{-6} a$	$2 \cdot 10^{-6} \times 2000 = 4 \text{ мв}$
у второго	$2 \cdot 10^{-6} \times 20 = 40 \cdot 10^{-6} a$	$40 \cdot 10^{-6} \times 10 = 0,40 \text{ мв}$

Излишнее (выше предела) напряжение будет составлять: у первого прибора $10 - 0,004 = 9,996 \text{ в}$, а у второго $10 - 0,0004 = 9,9996 \text{ в}$. Эти напряжения должны быть поглощены добавочными сопротивлениями, величины которых будут во столько раз больше сопротивлений соответствующих приборов, во сколько раз величины поглощаемых напряжений больше соответствующих пределов измерений по напряжению.

У первого гальванометра величина добавочного сопротивления, таким образом, должна быть в $9,996:0,004 = 2499$ раз больше сопротивления прибора, равного 2000 ом , т. е. $4\,998\,000 \text{ ом} \approx 5 \text{ мгом}$.

У второго гальванометра, соответственно,

$$10 \times \frac{9,9996}{0,0004} = 249\,990 \approx 250\,000 \text{ ом}.$$

Полученные данные содержат готовый ответ на вопрос о том, какой гальванометр оказывается лучшим для изготовления вольтметра — с большой или малой чувствительностью. Получить стабильное сопротивление в 5 мгом очень затруднительно. Кроме того, сопротивление изоляции самого прибора иногда может понижаться до величин того же порядка. В таких условиях сопротивление прибора шунтируется по величине равным сопротивлением изоляции. Очевидно, это значительно изменит градуировку прибора.

Правильнее воспользоваться прибором с *меньшей* чувствительностью, так как сопротивления порядка $250\,000 \text{ ом}$ могут быть легче изготовлены и понижение изоляции прибора (например, под влиянием влажности) не будет играть столь решающей роли. Это делает градуировку прибора более стабильной. Кстати, и цена на гальванометры с меньшей чувствительностью значительно меньше.

Приводим формулу, которой удобно пользоваться для расчета величины добавочного сопротивления вольтметра

$$R_{доб} = \frac{U_{изм}}{I_{пред}} - R_{приб},$$

где $R_{доб}$ — величина добавочного сопротивления, в омах; $U_{изм}$ — предел измерения по напряжению, который устанавливается для изготавливаемого вольтметра, в вольтах; $I_{пред}$ — предел измере-

ний самого прибора по току, в амперах, и $R_{\text{приб}}$ — сопротивление прибора в омах.

Добавочные сопротивления должны быть стабильными, поэтому, как правило, рекомендуется делать их *проволочными*.

При необходимости воспользоваться для изготовления добавочного сопротивления непроволочными сопротивлениями следует, в первую очередь, отдать предпочтение сопротивлениям, известным под маркой „СС“. Во вторую очередь можно воспользоваться малогабаритными опрессованными сопротивлениями.

Применение сопротивлений типа Каминского для указанной цели нежелательно. В случае, если все же ими пришлось бы воспользоваться, то следует помнить, что эти сопротивления с течением времени меняют свою величину и прибор надо время от времени градуировать вновь.

Если трудно достать сопротивление требуемой величины, то можно получить нужное сопротивление последовательным соединением двух или более отдельных сопротивлений. При этом следует тщательно пропаять места соединений.

Расхождение величины сопротивления на 1—2% от расчетного значения в целом ряде случаев вполне допустимо.

Градуировка приборов постоянного тока

Градуировкой электроизмерительного прибора называется установление зависимости между отклонением стрелки прибора и электрическими величинами, которые вызвали это отклонение.

В большинстве случаев процесс градуировки сводится к сравнению показаний градуируемого прибора с показаниями образцового (эталонного) прибора. Градуировка является обязательной в отношении всех электроизмерительных приборов, как изготовленных вновь, так и бывших в употреблении, но утративших с течением времени или в результате порчи точность своих показаний.

Разберем здесь три случая градуировки: гальванометра, вольтметра и амперметра.

Градуировка гальванометра

Градуировку гальванометра можно осуществить по схеме, которая представлена на рис. 33. Здесь Γ — градуируемый гальванометр, V — образцовый вольтметр, R — электрическое сопротивление известной величины, Π — потенциометр, B — источник постоянного напряжения. Вольтметр V измеряет то напряжение, которое получается на последовательном соединении сопротивления R и гальванометра Γ .

Если сопротивление гальванометра R_{Γ} известно, то, измерив напряжение U помощью вольтметра V , величину силы тока через гальванометр определим по следующей формуле

$$I = \frac{U}{R + R_{\Gamma}},$$

где I — в амперах, U — в вольтах и R и R_{Γ} — в омах.

Если же сопротивление гальванометра точно не известно, но известен порядок величины (например, десятки ом), то следует сопротивление R взять во много раз больше R_G , что даст возможность пренебречь в расчетах величиной сопротивления гальванометра R_G .

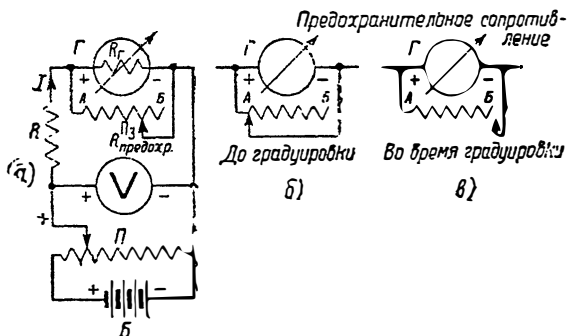


Рис. 33. Градуировка гальванометра G по образцовому вольтметру V и известному по величине сопротивлению R

Меняя величину напряжения U с помощью потенциометра Π , мы получаем возможность вызвать отклонение стрелки на одно, два и больше делений и таким образом определить для всей шкалы гальванометра, чему соответствует отклонение стрелки до любого деления шкалы, — какой силе тока или какому напряжению.

Данные градуировки наносятся на график (рис. 34): по горизонтальной оси откладываются деления шкалы, а по вертикальной — величины сил токов или напряжений, которые вызвали эти отклонения. Пользуясь этим графиком, можно затем быстро определять токи и напряжения (непосредственно в долях ампера или вольта), которые вызвали данное отклонение. Например, стрелка гальванометра отклонилась при каком-то измерении до 15-го деления. По графику (рис. 34) определяем, что такое отклонение могло быть вызвано либо напряжением 1,48 мв, либо током силой 2,95 мка.

Обращаем внимание собираю-

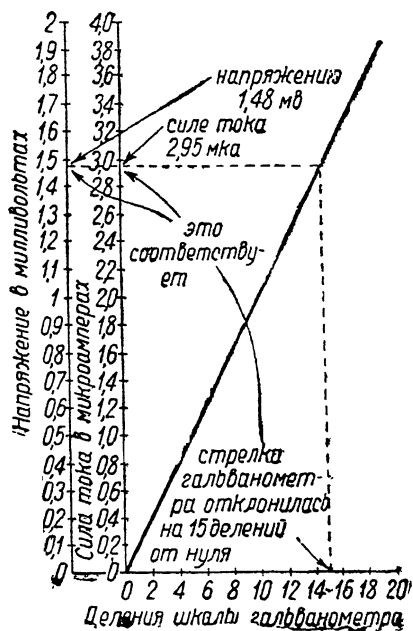


Рис. 34. Примерный график градуировки гальванометра

щихся произвести такую градуировку на два обстоятельства. Первое — сопротивление вольтметра V в данном случае не имеет никакого значения, что позволяет пользоваться любыми вольтметрами постоянного тока, но, безусловно, достаточно точными. Второе обстоятельство: при градуировке гальванометра можно очень легко его повредить, если подвести к нему чрезмерно высокое напряжение. Рекомендуется шунтировать гальванометр переменным сопротивлением $R_{предохр}$ (рис. 33), максимальная величина которого составляла бы менее половины сопротивления самого гальванометра. Перед градуировкой ползунок $Пз$ этого сопротивления надо передвинуть по направлению к точке A (рис. 33 б), чтобы совершенно замкнуть гальванометр. Подав с помощью потенциометра $П$ небольшое напряжение, следует немного передвинуть ползунок $Пз$ вправо, к точке B , чтобы стрелка немного отклонилась. Если при выводе ползунка $Пз$ в крайнее правое положение (точка B) стрелка прибора не отклоняется,

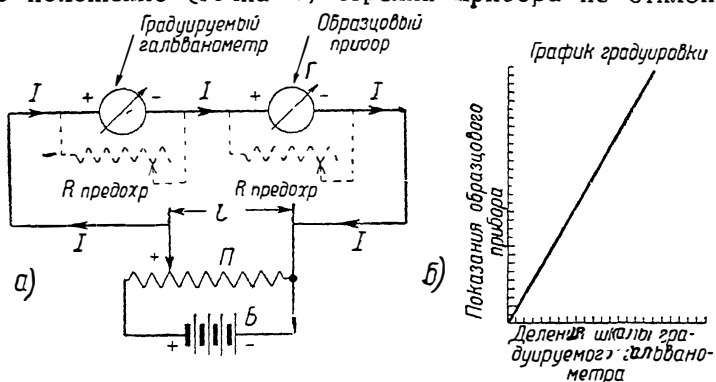


Рис. 35. Градуировка гальванометра по образцовому прибору, измеряющему силу тока

следовательно, подводимое напряжение мало и его следует увеличить с помощью потенциометра $П$. Ползунок $Пз$ снова переводится к точке A , прибавляется напряжение с помощью $П$, снова ползунок $Пз$ переводится вправо, и т. д. до получения отклонения. Градуировку гальванометра следует производить лишь тогда, когда сопротивление, шунтирующее гальванометр Γ , *совершенно разомкнуто*, — это положение показано на рис. 33в. Манипуляция с сопротивлением $R_{предохр}$ следует осуществлять только для предохранения прибора при получении первых точек градуировки.

Заметим, что способ предохранения гальванометра от повреждений (электрическим током) путем шунтирования его сопротивлением можно применять и не только во время градуировки, но и вообще при всяких измерениях с помощью гальванометров.

Градуировка гальванометра может быть выполнена и по другой схеме (рис. 35). В данном случае гальванометр градуируется

по образцовому прибору, измеряющему силу тока. Приборы включены последовательно, благодаря чему сила тока через оба прибора будет одна и та же. Наблюдая за отклонениями стрелок приборов, заносят данные по градуировке в протокол измерений и по этим данным строят график градуировки. По вертикальной оси откладываются показания образцового прибора (непосредственно в микроамперах или других долях ампера), а по горизонтальной — деления шкалы градуируемого гальванометра.

По такой схеме гальванометры градуируются по силе тока, а не по напряжению (сопротивления приборов только в частном случае одинаковы, вообще же они различны, вследствие чего падения напряжения на них будут различными). Если встретилась необходимость градуировать гальванометры по напряжению, то они должны быть соединены параллельно (рис. 36). В этом случае к градуируемому и к образцовому гальванометру, вне зависимости от величин их сопротивлений, будет подводиться одинаковое напряжение. Градуировка осуществляется изменением подводимого напряжения и регистрацией отклонений стрелок приборов. Как и раньше, по данным градуировки строится график.

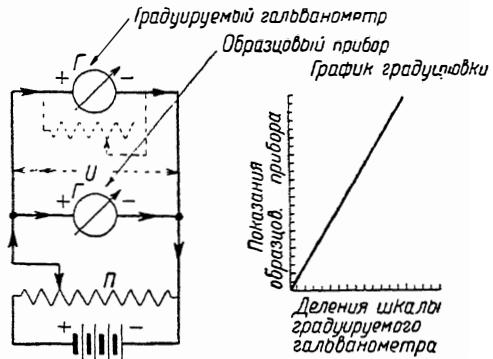


Рис. 36. Градуировка гальванометра по образцовому прибору, измеряющему напряжение

быть соединены параллельно (рис. 36). В этом случае к градуируемому и к образцовому гальванометру, вне зависимости от величин их сопротивлений, будет подводиться одинаковое напряжение. Градуировка осуществляется изменением подводимого напряжения и регистрацией отклонений стрелок приборов. Как и раньше, по данным градуировки строится график.

Градуировка амперметра

Градуировка амперметра производится точно таким же образом, как градуируется гальванометр по току: через оба амперметра — образцовый и градуируемый — при градуировке должны протекать совершенно одинаковые токи. Это возможно только в случае последовательного соединения этих амперметров — см. рис. 37.

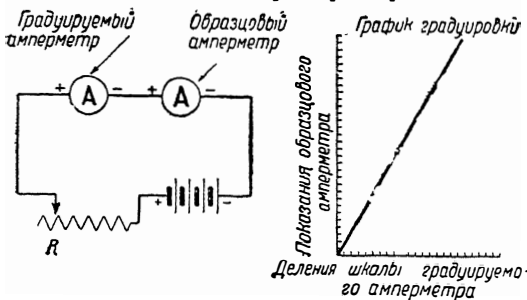


Рис. 37. Градуировка амперметра по образцовому амперметру

Различия в сопротивлениях приборов при этом не играет. Определяя по образцовому

амперметру силу тока и регистрируя для каждого данного значения силы тока отклонение стрелок образцового и градуируемого приборов, получают данные для вычерчивания графика градуировки. По горизонтальной оси откладывают деления шкалы градуируемого прибора, а по вертикальной оси — величины сил токов, измеренные образцовым амперметром.

Градуировка вольтметра

Градуировка вольтметра производится точно таким же образом, как градуировка гальванометров по напряжению. К обоим вольтметрам (рис. 38) при градуировке должны подводиться совершенно одинаковые по величинам напряжения, — это становится возможным только при параллельном соединении образцового и градуируемого вольтметров. Вне зависимости от величины сопротивлений вольтметров в этом случае к каждому из них подводятся совершенно одинаковые напряжения. Измеряя напряжение с помощью образцового вольтметра и регистрируя для

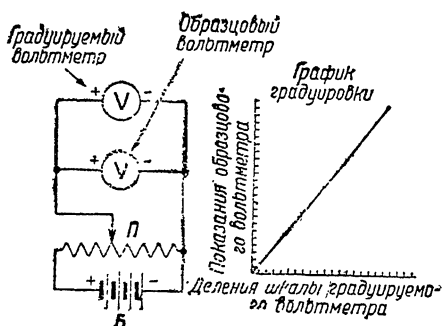


Рис. 38. Градуировка вольтметра по образцовому вольтметру

каждого данного значения подводимого напряжения отклонение стрелки градуируемого вольтметра, получают возможность вычертить график градуировки. По горизонтальной оси откладываются деления шкалы градуируемого вольтметра, а по вертикальной — величины напряжений в вольтах (по показаниям образцового вольтметра).

Отметим в заключение, что способы градуировки приборов постоянного тока (на градуировке приборов переменного тока мы остановимся несколько дальше) могут видоизменяться в зависимости от условий, наличия измерительных приборов и т. д. Каков бы ни был способ градуировки, он сводится к определению той электрической величины, которая вызвала данное отклонение стрелки градуируемого прибора. Пользуясь вычислениями, основанными на законе Ома, или же определяя электрические величины с помощью образцовых приборов, получают возможность градуировать любой прибор.

Включение вольтметров и амперметров

Мы уже указывали на то, что электроизмерительный прибор не должен изменять режима в измеряемой цепи. Из всего того, что нам говорились в этой главе в отношении шунтов и доба-

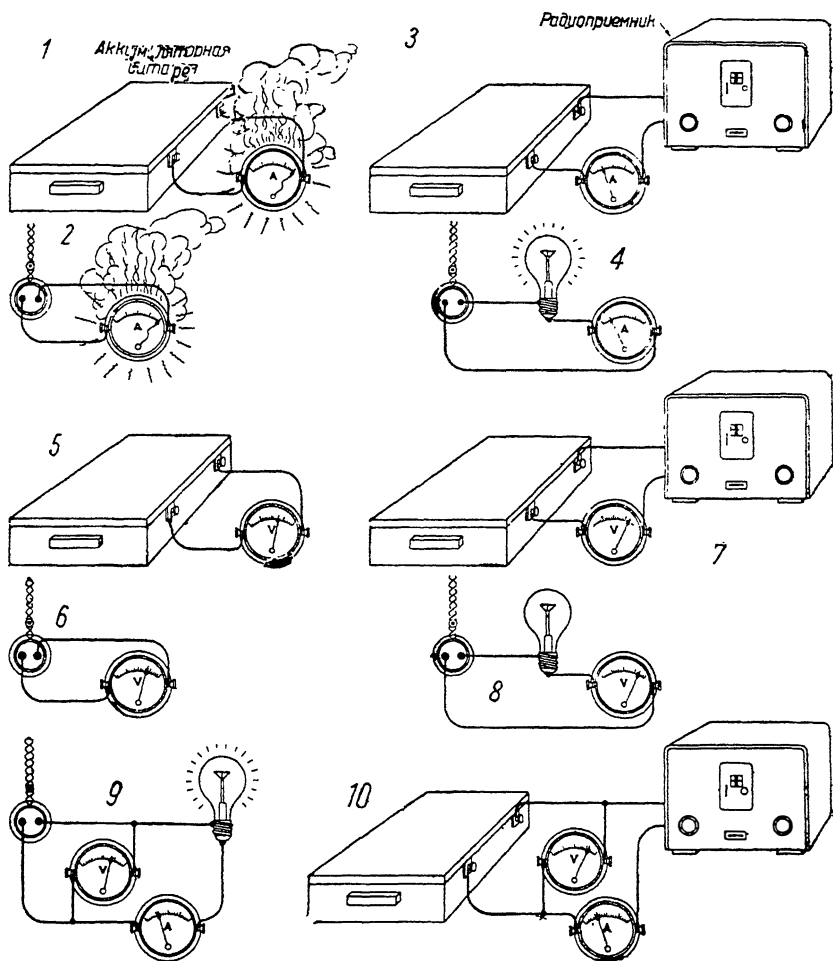


Рис. 39. Правильные и неправильные присоединения электроизмерительных приборов: 1 — амперметр непосредственно подключен к клеммам аккумуляторной батареи, что равносильно ее короткому замыканию, в результате — гибель прибора и возможный выход из строя батареи; 2 — то же самое — в отношении сети электрического освещения (в лучшем случае перегорает предохранитель); 3 и 4 — правильные включения амперметра — последовательно с нагрузкой (радиоприемник, лампа и т. п.); 5 и 6 — правильные включения вольтметра при измерениях напряжения батареи или сети; 7 и 8 — неправильные включения вольтметров — последовательно с нагрузкой (поскольку сопротивление вольтметра много больше сопротивления нагрузки — радиоприемника, лампы, то все напряжение будет падать на вольтметре, а не на нагрузке; вольтметр покажет почти полное напряжение источника тока, но нагрузка не получит нормального питания); 9 и 10 — правильные включения вольтметров и амперметров при подключенной нагрузке

вочных сопротивлений, следует, что *вольтметр обладает большим сопротивлением, а амперметр незначительным*. Если амперметр подключить к источнику тока так, как это показано на рис. 39₁ и 39₂, то, очевидно, это может привести к немедленной гибели прибора, так как сопротивление амперметра невелико и сила тока в цепи установится чрезмерно большой.

Амперметр включается для измерения силы тока, протекающего через какую-либо цепь, так, как это показано на рис. 39₃, 39₄, 39₅ и 39₁₀, последовательно с нагрузкой. Сила тока в цепи в этом случае будет определяться, главным образом, величиной сопротивления нагрузки. Чтобы амперметр мало влиял на режим цепи, его сопротивление должно быть незначительным, минимальным. С этой точки зрения прибор для измерения силы тока будет тем лучше, чем меньше его сопротивление.

Вольтметр измеряет электрическое напряжение. Если бы его сопротивление было незначительным, то при каждом измерении напряжения (рис. 39₅, 39₆, 39₉ и 39₁₀) он закорачивал бы между собой точки присоединения. Измерить напряжение в таких условиях не удалось бы. Поэтому сопротивление вольтметра должно быть велико и чем больше, тем лучше. Критерием в этом отношении является величина сопротивления прибора в омах, приходящаяся на один вольт измеряемого напряжения: у хороших с этой точки зрения высокоомных вольтметров на каждый измеряемый вольт напряжения приходится по 500—1000 ом и более сопротивления прибора.

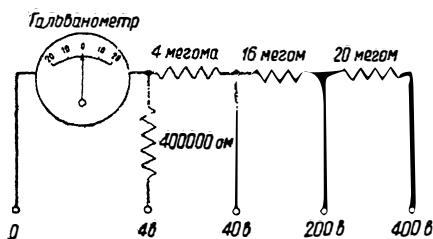


Рис. 40. Схема высокоомного вольтметра лаборатории журнала „Радиофронт“

шкалой до 50 в и с сопротивлением 50 000 ом окажется лучшим, нежели вольтметр со шкалой 400 в и с сопротивлением 200 000 ом. В первом случае на каждый измеряемый вольт напряжения приходится 1000 ом, а во втором только 500 ом.

Чем более высокоомным вольтметром пользуются для измерений, тем в меньшей степени он влияет на измеряемую цепь. На рис. 40 приведена схема высокоомного вольтметра «Радиофронта», предназначенного для радиолюбителей. Для изготовления вольтметра использован гальванометр ФИЛУ типа Н с ценой деления $1^\circ = 0,5 \text{ мка}$. У этого вольтметра на каждый измеряемый вольт напряжения приходится сопротивление в 100 000 ом, а общее сопротивление прибора при измерении по шкале с пределом 400 в составляет 40 мгом. Таким вольтметром можно осуществлять измерения в цепях приемника, по которым протекают слабые токи, без опасения за режим работы.

В дальнейшем мы более подробно остановимся на вопросе о влиянии величины сопротивления прибора на точность измерений.

Нужно помнить, что *вольтметр* включается *параллельно* нагрузке (рис. 39_в и 39₁₀), а *амперметр* — *последовательно* (рис. 39_а, 39₄, 39_в и 39₁₀). Сопротивление амперметра должно быть незначительным (чтобы не изменить режима в цепи), а сопротивление вольтметра — по тем же соображениям — как можно большим.

Г Л А В А V

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ МЭ ПРИБОРАМИ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

В результате проведенного нами выше ознакомления с отдельными системами и типами электроизмерительных приборов мы можем прийти к выводу, что лучшими приборами среди прочих систем, применимых на *постоянном токе*, являются МЭ приборы. Но среди систем приборов *переменного тока* такой выбор сделать затруднительно.

ЭД приборы не годятся для измерений при высокой частоте: даже на частотах звукового диапазона их показания сильно отличаются от истинных значений. Помимо этого, ЭД приборы весьма дороги.

ЭМ приборы дешевы, но они также неприменимы на высоких частотах; на звуковых частотах они имеют большую погрешность.

Также не приходится говорить и об использовании радиолюбителями ЭС приборов: технические ЭС приборы изготавливаются на высокие напряжения, а лабораторные образцы весьма дороги. Кроме того, собственная емкость ЭС приборов служит помехой при осуществлении резонансных измерений.

Тепловые приборы недостаточно точны, хотя их применение, в особенности в качестве индикаторов высокочастотного тока в антенне, волномерах и некоторых других схемах может быть рекомендовано. Непостоянство нуля, большая потребляемая от измеряемой цепи мощность и большая стоимость лабораторных — более точных — образцов Т приборов ставит под сомнение широкое применение Т приборов в практике измерений радиолюбителя.

Лучшим средством измерения переменных токов, которое может быть рекомендовано радиолюбителям, является использование МЭ прибора в соединении с каким-либо устройством, пред-

варительно преобразующим измеряемый переменный ток в ток постоянный. Такими преобразователями являются: а) выпрямители — кристаллический детектор, меднозакисный (купроксный) и ламповый и б) термоэлемент.

Выпрямитель представляет собой такое электрическое устройство, которое обладает односторонней проводимостью, т. е. которое пропускает через себя электрический ток в одном направлении и задерживает (совершенно или почти совершенно) ток обратного направления. Благодаря этому переменный ток превращается в однонаправленные импульсы постоянного тока, величина которых в известной степени пропорциональна амплитуде

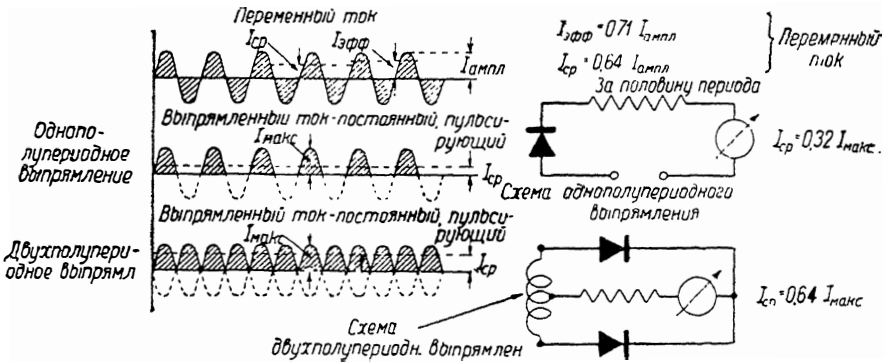


Рис. 41. Одно- и двухполупериодное выпрямление переменного тока. Указаны осциллограммы и соотношения между амплитудными, эффективными и средними величинами

дам переменного тока. Если такие импульсы постоянного тока (термин «постоянный» относится не к величине, а к направлению) пропустить через рамку МЭ прибора, то последняя повернется на тем больший угол, чем больше величина импульсов. Показания МЭ прибора будут представлять собой среднее значение выпрямленного тока или напряжения (рис. 41).

Если измеряемый ток синусоидален, то по среднему значению можно определить максимальное значение импульса и затем перейти к величинам переменного тока — эффективному и амплитудному. Для справки мы на рис. 41 приводим соотношения различных величин переменного и выпрямленного постоянного токов. Следует напомнить, что соотношения напряжений получаются такими же, как и соотношения токов.

У других преобразователей — термоэлементах — сведения приведены дальше.

Перед тем как пользоваться таким МЭ прибором с преобразователем тока (выпрямителем или термопарой) надлежит осу-

щёстить градуировку. На рис. 42 показан принцип градуировки: градулируемый прибор подключают параллельно (при градуировке вольтметра — рис. 42а) или последовательно (при градуировке амперметра или миллиамперметра — рис. 42б) образцовому

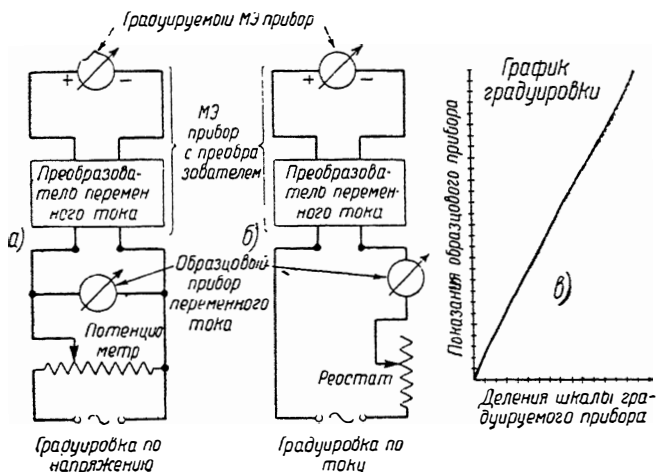


Рис. 42. Принципиальные схемы и график градуировки МЭ приборов с преобразователями на переменном токе

прибору переменного тока. Изменяя напряжение или силу тока, отмечают показания образцового прибора и, одновременно, показания градулируемого прибора. Затем либо вычерчивают график градуировки (рис. 42в), либо показания наносят непосредственно на шкалу градулируемого прибора.

МЭ прибор с кристаллическим детектором

Кристаллический детектор является контактным выпрямителем переменного тока. С таким детектором приходилось иметь дело всем радиолюбителям, хотя бы однажды занимавшимся приемом радиовещательных станций на детекторный приемник. Известно, что детектор представляет собой довольно ненадежное в отношении постоянства и устойчивости действия устройство: достаточно небольшого сотрясения, чтобы сбить пружинку с кристалла и потерять чувствительную точку. В этом отношении лучшими оказываются так называемые «постоянные» детекторы, детекторы с «постоянной точкой», но и в этом случае нельзя быть уверенным в том, что градуировка сохранится с течением времени. Поэтому применение детектора кристаллического типа в качестве преобразователя тока для измерительных целей может быть рекомендовано только в тех случаях, когда не важно знать абсолютное значение какой-либо величины, а лишь требуется определить, как эта величина изменяется: увеличивается, уменьшается или остается неизменной, т. е. для про-

ведения относительных, сравнительных измерений, в качестве индикатора.

Применение кристаллического детектора весьма удобно при некоторых измерениях на высокой частоте (например, при всякого рода резонансных измерениях), при измерениях с помощью мостовых схем переменного тока и т. д.

Итак, соединение простого кристаллического детектора с МЭ гальванометром служит для радиолюбителя очень хорошим индикатором переменного тока, в особенности высокочастотного тока. Для абсолютных измерений (т. е. измерений в принятых электрических единицах) такая комбинация «детектор + МЭ прибор» не может быть рекомендована.

МЭ приборы с купроксными выпрямителями (купроксные приборы)

В отличие от кристаллического детектора купроксный выпрямитель обладает постоянством режима выпрямления — тряска не

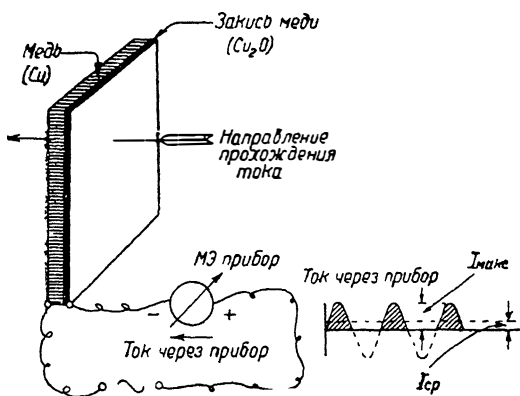


Рис. 43. Упрощенная схема работы медно-закисного (купроксного) выпрямителя

на рис. 43. На поверхности медной пластинки прокаливанием получают слой закиси меди. Пропускание тока получается в направлении от слоя закиси к слою меди. Если снять характеристику этого выпрямителя, т. е. определить, как изменяется сила тока через выпрямитель от величины и направления подводимого напряжения, то получится кривая, по своему виду похожая на приведенную на рис. 44. Как показывает эта кривая, в одну сторону (от слоя закиси к меди) ток проходит, а в обратном направлении пропускается настолько малый ток, что можно им в первом приближении пренебречь и считать, что купроксный выпрямитель пропускает ток только в одном направлении. Нужно отметить, что такой вид характеристики получается

изменяет его выпрямляющего действия. Это способствует широкому использованию МЭ приборов с купроксными выпрямителями для измерений переменного тока.

Размеры купроксов (купроксных выпрямителей) настолько малы, что купроксы могут свободно поместиться внутри корпуса МЭ прибора.

Упрощенная схема работы купроксного выпрямителя показана

только в сравнительно небольших пределах изменения напряжений переменного тока на купроксе.

Выпрямленный ток подводится к МЭ прибору.

На рис. 45а приведена простейшая схема купроксного вольтметра, а на рис. 45б такая же схема купроксного миллиамперметра. В практических условиях схема, приведенная на рис. 45а, применима лишь для малых напряжений (порядка нескольких вольт, не больше). Для более высоких напряжений переменного тока эта схема неприменима по следующим причинам: когда к купроксному вольтметру ток подводится в направлении, указанном сплошной стрелкой (рис. 45б), то через последовательное соединение прибора, купрокса и добавочного сопротивления протекает ток. На добавочном сопротивлении прибора $R_{доб}$ получается падение напряжения, благодаря чему к самому прибору и к купроксу подводятся напряжения, не опасные для их работы. При обратном направлении (это направление обозначено на рис. 45 в стрелками с оперением) купрокс почти совершенно не пропустит через себя ток. На добавочном сопротивлении $R_{доб}$ не получится никакого падения напряжения и все напряжение будет подано на купрокс. Это на-

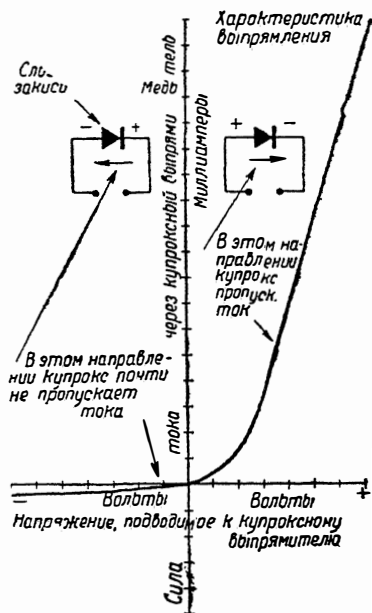


Рис. 44. Характеристика купроксного выпрямителя

купрокс почти совершенно не пропустит через себя ток. На добавочном сопротивлении $R_{доб}$ не получится никакого падения напряжения и все напряжение будет подано на купрокс. Это на-

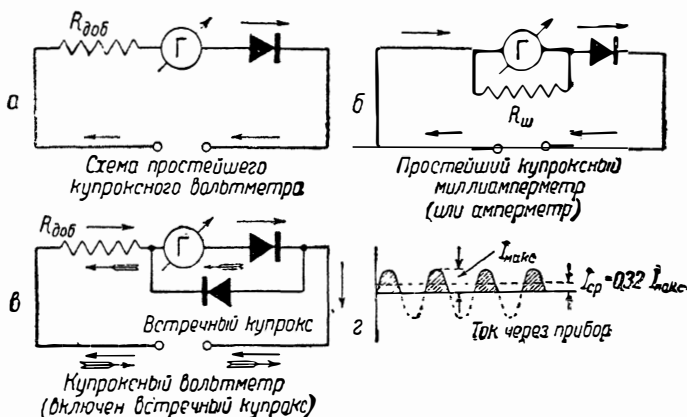


Рис. 45. МЭ приборы с купроксными выпрямителями. Использовано однополупериодное выпрямление

пряжение может оказаться чрезмерным и выпрямляющий слой будет пробит. Порча купрокса может привести и к порче самого прибора. Поэтому необходимо включить в схему так называемый «встречный» купрокс, — как показано на рис. 45 в. Через этот купрокс будут проходить импульсы тока обратного направления, и опасность пробоя купрокса в цепи прибора будет устранена.

В схемах рис. 45 для измерения используется только одна половина периода (один полупериод) переменного тока. Это понижает чувствительность прибора. Можно использовать оба полупериода, — для этого применяется схема Греца (рис. 46).

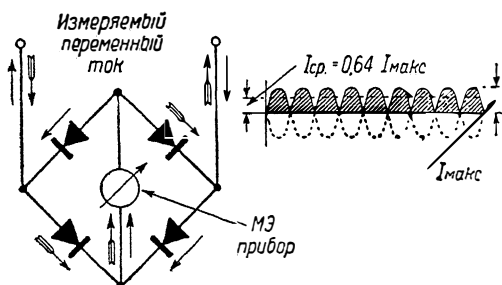


Рис. 46. МЭ прибор с купроксными выпрямителями, соединенными по схеме Греца (двухполупериодное выпрямление)

направление протекания импульсов тока в этой схеме обозначены стрелками. Не трудно убедиться в том, что через прибор в данном случае будут протекать в одинаковом направлении оба полупериода переменного тока. Среднее значение выпрямленного тока, на которое реагирует МЭ прибор, будет в данной схеме увеличено вдвое по сравнению со схемой однополупериодного выпрямления: до 64% от величины I_{\max} вместо 32% при однополупериодном выпрямлении. При измерении одной и той же величины силы переменного тока стрелка МЭ прибора, включенного в схему Греца, будет отклоняться на вдвое больший угол. Это равносильно повышению чувствительности прибора в два раза.

Купроксные выпрямители, выпущенные у нас в продажу, носят название «цветекторов». Если радиолюбителю не удастся их достать, то можно попытаться изготовить купроксные выпрямители самому.

Самодельные купроксы ¹⁾

Медную проволоку толщиной 3—5 мм нарезают на куски длиной 2—3 см, которые затем прокаливают в течение пяти минут на электрической печке или на примусе. После прокаливания куски в горячем состоянии быстро погружают в нашатырный спирт. Самый процесс изготовления купрокса на этом заканчивается. Один вывод от купрокса берется от поверхности куска (без зачистки ее), другой — от зачищенного (на расстоянии 5 мм от края) конца. Купрокс должен проводить ток в направлении от незачищенной поверхности (слой закиси меди) к меди.

¹⁾ См. библиогр. перечень, А9.

Испытание купрокса проводится по схеме рис. 47. Если прибор ИП ничего не показывает (он должен измерять только постоянный ток, так как это — прибор МЭ типа) — купрокс негоден. Если стрелка отклоняется — купрокс годен и может быть использован. Из всех купроксов отбирают тот, при котором получается наибольшее отклонение стрелки прибора.

Этот, казалось бы простой, процесс требует навыка, но радиолюбителю все же можно порекомендовать в случае надобности заняться самодельным изготовлением купроксов по этому способу.

К положительным свойствам купроксных приборов следует отнести:

а) Несложность устройства и безотказность действия.

б) Возможность применения в диапазоне частот от самых низких и до 5—6 тыс. герц. В этом пределе показания прибора почти не зависят от частоты. (На более высоких частотах погрешность показаний увеличивается: прибор показывает значения меньше действительных).

в) Большая чувствительность прибора, особенно при двухполупериодном выпрямлении измеряемого тока (схема Грецца).

г) Сравнительно небольшая потребляемая мощность при измерении.

д) Равномерность шкалы в значительной части ее длины.

е) Независимость показаний от влияния магнитных и электрических полей.

Недостатками купроксных приборов являются:

а) Невозможность применения при высокочастотных измерениях. По мере увеличения частоты показания прибора уменьшаются, что объясняется шунтирующим действием собственной емкости купроксных выпрямителей: часть тока проходит через купрокс как через емкость, вследствие чего остается неучтенной прибором. Благодаря этому применение купроксных приборов на частотах выше звуковых становится почти невозможным. Можно считать, что рабочим частотным диапазоном купроксных приборов является диапазон 50—10 000 гц.

б) Зависимость показаний прибора от формы кривой измеряемого тока. Это объясняется тем, что МЭ прибор измеряет среднее значение выпрямленного тока, а не эффективное. Для синусоидального переменного тока, при котором производится градуировка, соотношение между средним значением выпрямленного тока и действующим (эффективным) значением переменного тока является вполне определенным и постоянным (см. рис. 41). Если же форма кривой изменяется, то меняется и указанное соотношение, вследствие чего показания прибора перестают быть правильными. Расхождение будет тем большим,

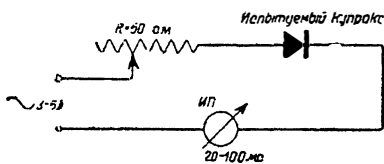


Рис. 47. Схема испытания купроксного выпрямителя

чем в большей степени форма кривой тока отличается от синусоидальной.

в) Подверженность влияниям температурных условий.

Купроксный прибор может быть рекомендован радиолюбителям в качестве прибора, с помощью которого можно осуществлять почти все требуемые измерения на переменном токе, — от токов самых низких частот и в пределах почти всего спектра звуковых частот радиовещания. Стоимость купроксного прибора в основном определяется стоимостью МЭ прибора.

Точность показаний купроксного прибора для радиолюбительских измерений оказывается вполне достаточной.

Градировка купроксных приборов

Градировка купроксных приборов возможна только на переменном токе. Обычно градуировка производится на 50-герцном токе. При наличии образцового прибора переменного тока такая градуировка ничем не отличается от градуировки приборов

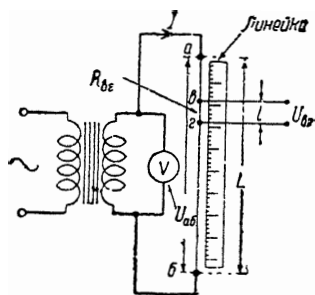


Рис. 48. Способ получения малых напряжений переменного тока для градуировки приборов

постоянного тока. Но вся трудность заключается именно в получении образцового прибора переменного тока на малые значения (доли вольта или несколько вольт). Если имеется образцовый прибор на большие значения (десятки вольт), то можно порекомендовать следующий способ, схематически представленный на рис. 48. Подбирают трансформатор (звонковый или другой) с таким расчетом, чтобы имеющимся образцовым вольтметром еще можно было измерить напряжение на его вторичной обмотке. Предположим, что нам надо проградировать купроксный вольтметр на 1 в, а в нашем распоряжении имеется образцовый вольтметр, на шкале которого мы еще можем сделать уверенный расчет в 4 в. Если приключить ко вторичной обмотке звонкового трансформатора потенциометр, у которого сопротивление пропорционально длине проволоки, из которой он изготовлен, то с помощью такого потенциометра можно будет произвести градуировку купроксного прибора напряжениями, измеряемыми даже долями вольта.

Возьмем отрезок проволоки с большим удельным сопротивлением (манганин, никелин, константан и пр.) длиной в один метр. Укрепим проволоку на доске и подключим концы проволоки ко вторичной (четыревольтовой) обмотке трансформатора.

Рядом с проволокой-потенциометром укрепим линейку с миллиметровыми делениями. Если на всем потенциометре падает напряжение 4 в, то, очевидно, на каждом сантиметре длины проволоки такого потенциометра будет получаться

падение напряжения величиной $4:100 = 0,04$ в. В таких условиях достаточно лишь определить расстояние между точками подключения проводников, чтобы сразу же определить напряжение между этими точками. Так, для случая подключения проводников к точкам *в* и *г* (рис. 48) величина напряжения между этими точками составит

$$U_{вг} = U_{аб} \frac{l}{L},$$

где $U_{вг}$ — напряжение между точками *в*—*г*, $U_{аб}$ — напряжение между точками *а*—*б* (т. е. падение напряжения на потенциометре, измеряемое прибором *V*), l — длина проволоки между точками *в*—*г*, L — длина проволоки между точками *а*—*б* (длина всего проволочного потенциометра). Длины в данном случае берутся в одинаковых единицах измерения.

Указанный способ дает достаточно точные результаты только в том случае, если сопротивление $R_{вг}$ проволочного потенциометра мало по сравнению с сопротивлением градуируемого прибора, к которому подключаются проводники с напряжением. В противном случае не сохранится условие пропорциональности между длинами проволоки и сопротивлениями и результаты градуировки окажутся искаженными.

Термоэлектрические (ТЭ) приборы

В практике измерений переменного тока применяются так называемые *термоприборы*. Это — обычные приборы *МЭ* типа, снабженные термоэлементом, который служит преобразователем переменного тока в постоянный. Измеряемый переменный ток подводится к термоэлементу, а от термоэлемента получается уже постоянный ток, измеряемый *МЭ* прибором. Проградуировав такой термоприбор, т. е. установив зависимость между величиной отклонения стрелки *МЭ* прибора и величинами тока или напряжения, которые вызвали это отклонение, можно пользоваться таким прибором для измерений переменного тока в весьма широких частотных пределах.

Схематическое устройство такого прибора показано на рис. 49.

Термоэлемент состоит из двух проволок (рис. 50) из разнородных металлов (например, из железа и константана, меди и константана, сурьмы и висмута и т. д.), концы которых сварены между собой.

Если это место сварки подогреть, а свободные концы оставлять холодными, то на свободных и не подвергающихся нагреву концах проволок разнородных металлов возникнет эдс, величина которой будет тем больше, чем больше нагрев места спая металлов. В термоэлементах измерительных приборов место спая термопары приваривается к проволочке, через которую пропускается измеряемый ток. Ток нагревает

проволочку, а следовательно, и место спая. Эта проволочка поэтому называется *подогревателем*.

Величина сопротивления подогревателя практически остается неизменной, будет ли ток через подогреватель постоянным или же переменным, низкочастотным или высокочастотным. Поэтому можно считать, что на всех частотах для нагрева подогревателя до определенной температуры через него потре-

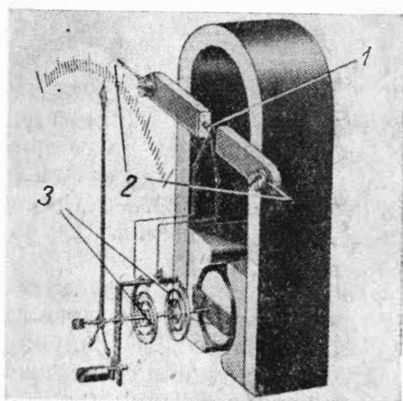


Рис. 49. Схематическое устройство прибора ТЭ системы

1 — термоэлемент, 2 — концы подвода измеряемого переменного напряжения к подогревателю термопары, 3 — подвода постоянного напряжения от термопары к рамке МЭ прибора (через пружинки)

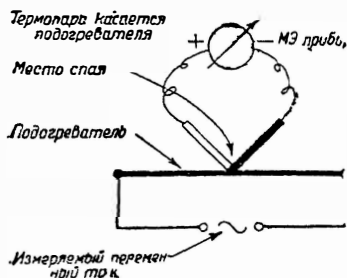


Рис. 50. Схематическое представление об устройстве термопары

буется пропустить одинаковую силу тока (эффективное значение). В конечном итоге, показания такого МЭ прибора, снаб-

женного термоэлементом описанного нами устройства (получившим название «*термопара*»), практически не зависят от частоты тока. Такой термоприбор позволяет измерять переменные токи в пределах очень широкого диапазона частот, — до частот, соответствующих ультракоротким волнам (десятки миллионов герц).

Чтобы уменьшить погрешность показаний, термопара заключается в стеклянную колбочку, из которой выкачивается воздух (*вакуумная термопара*). На рис. 51 приведен фотоснимок такой термопары. В этом случае предотвращается неравномерное охлаждение термопары окружающим ее воздухом. Отметим, что имеются

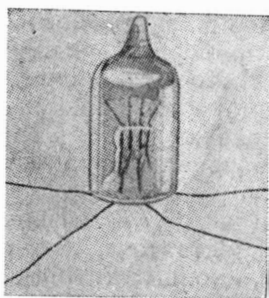


Рис. 51. Вакуумная термопара

термопары (главным образом на большие силы тока), не находящиеся в вакууме (*наружные термопары*).

Обычно размеры термопары невелики и почти всегда позволяют поместить термопару внутри корпуса самого прибора.

- К достоинствам *ТЭ* приборов следует отнести:
 - а) Независимость показаний от частоты в весьма широких частотных пределах.
 - б) Достаточно высокую точность (погрешность у лабораторных образцов порядка 0,5% и около 1% у лучших щитковых *ТЭ* приборов).
 - в) Допустимость кратковременной перегрузки током (до 50%).
 - г) Защита *МЭ* прибора, включенного в качестве измерителя. при значительной перегрузке током сгорает, обычно, только термоэлемент.

д) Сохранение градуировки неизменной.

К недостаткам *ТЭ* приборов следует отнести:

- а) Неравномерность шкалы: в начале шкалы деления располагаются более сжато, тесно.
- б) Зависимость показаний прибора от окружающей температуры.
- в) Потребление мощности при измерении, что может в некоторых случаях поставить проводящего измерение перед необходимостью отказаться от применения *ТЭ* приборов.

Градуировка *ТЭ* приборов

Градуировка *ТЭ* прибора имеет целью установление зависимости между величиной измеряемого тока, протекающего по подогревателю, и получающейся электродвижущей силой термоэлемента или же величиной отклонения стрелки *МЭ* прибора, к которому подключен термоэлемент. Большим преимуществом в этом отношении является возможность градуировки *ТЭ* прибора с простой термопарой **постоянным током**: будучи отградуирован на постоянном токе, такой *ТЭ* прибор сохраняет градуировку и в области токов звуковой и высокой частоты, не говоря уже о промышленных частотах (50—100 гц).

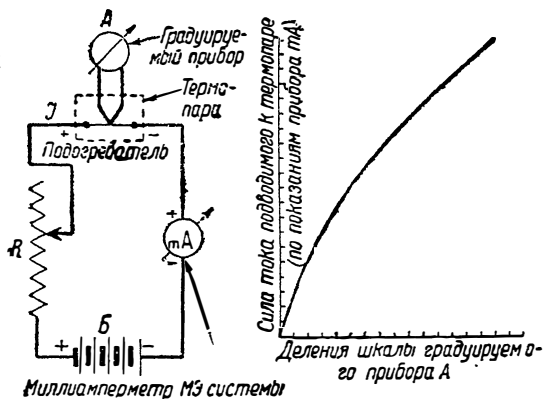


Рис. 52. Схема и график градуировки термопары на постоянном токе

Самая **градуировка постоянным током** производится следующим образом: сила подводимого к термопаре постоянного тока (рис. 52) измеряется *МЭ* прибором (миллиамперметром *mA*). Сначала с помощью реостата *R* к термопаре подводится небольшое напряжение от источника постоянного тока (например, от батареи *Б*), затем это напряжение постепенно увеличивается и при

этом отмечаются показания прибора mA и градуируемого прибора A . Через подогреватель термопары нельзя пропускать ток, сила которого превышала бы указанную заводом (при самостоятельном изготовлении термопар — см. указания на стр. 62). Результаты градуировки представляются в виде графика (рис. 52), у которого по вертикальной оси откладываются значения силы подводимого к термопаре тока, а по горизонтальной — деления шкалы градуируемого прибора A , отмечаемые стрелкой.

Такую градуировку на постоянном токе следует проделать **обязательно дважды**: сначала при одном направлении тока через подогреватель, а потом — при обратном. Из двух полученных таким образом значений берут среднее. **Эффективное значение измеряемого переменного тока**, который вызовет отклонение стрелки ТЭ прибора на какое-либо число делений, будет соответствовать силе постоянного тока, которым градуировался прибор и который вызвал точно такое же отклонение стрелки прибора.

Следует помнить, что выполненная градуировка действительна только для **данной** термопары и **данного** прибора: заменяя термопару или прибор, следует осуществить новую градуировку.

Нужно, однако, отметить, что не всякие термоэлементы можно градуировать на постоянном токе. С целью увеличения чувствительности термоэлемента очень часто прибегают к более сложному его устройству, включающему в себя несколько термопар. В этом случае обязательна градуировка на **переменном** токе.

Процесс градуировки термоэлементов на переменном токе не отличается от описанных нами ранее способов градуировки купроксных приборов. В качестве образцового прибора переменного тока можно воспользоваться другим термоприбором, уже отградуированным. Пользуясь проведенными нами указаниями в отношении градуировки приборов, радиолюбитель сможет получить требуемые величины сил токов и напряжений и произвести градуировку термопары на переменном токе. Градуировка на переменном токе производится только один раз, а не два раза, как в случае градуировки на постоянном токе.

Приобретая термоэлемент, надлежит достоверно выяснить, каким током (по величине и по основному признаку — переменным или постоянным) следует его градуировать. Подведение к термоэлементу большего напряжения, чем это указано, может привести к перегоранию подогревателя, т. е. гибели термоэлемента.

Самостоятельное изготовление наружной термопары

Термопары наружного типа (без заключения термопары в вакуум) на токи порядка от 300 mA и выше можно изготавливать самому. Приводим описание практически применяющегося способа изготовления таких термопар.

Термопара изготавливается из двух проволок — нихромовой и константановой, диаметром 0,05—0,12 мм (за неимением нихромовой проволоки можно применить железную или медную). Сварка проволок осуществляется так, как это показано на рис. 53. Здесь использован силовой трансформатор радиоприемника. Напряжение от сети переменного тока подводится к сетевой обмотке. Накальная обмотка (в ее цепи включен реостат) присоединена одним концом к медной пластинке, а другим — к медному стержню, которым осуществляется самая сварка. Проволочки кладутся на медную пластину одна на другую крестом, под прямым углом одна к другой. При невключенном трансформаторе стержнем нажимают на проволоки в месте их перекрещивания, плотно прижимая одну к другой. Затем включают напряжение на очень непродолжительное время — порядка одной — двух секунд. Этого

времени оказывается достаточно для того, чтобы сварить место соединения проволок. Сила нажима и величина силы тока для получения хорошей сварки подбирается опытом. В результате сварки получается так называемый **термокрест**. Можно воспользоваться непосредственно самим термокрестом, пропуская измеряемый ток по одной паре разнородных сваренных проволок и измеряя МЭ прибором эдс, получающуюся на концах другой пары разнородных проводников (эта возможность показана на рис. 53 внизу). Однако, лучше осуществить конструкцию обычной термопары с подогревателем.

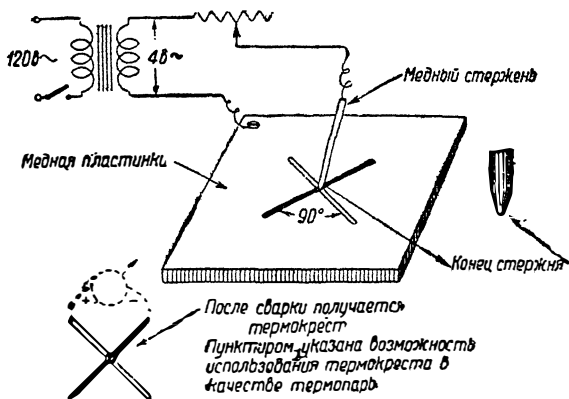


Рис. 53. Сварка термокреста

В качестве подогревателя применяют платиновую или серебряную проволоку тем меньшего диаметра, чем на меньшие силы токов рассчитывается термопара. Для измерения силы тока до 1 а диаметр платинового подогревателя должен быть взят порядка 0,15 мм. За неимением платиновой или серебряной проволоки можно, в крайнем случае, воспользоваться никелиновой.

Сварка подогревателя с термокрестом осуществляется теми же средствами и тем же способом, как и в случае сварки термокреста. В результате этой сварки место спая разнородных проволок должно быть приварено к подогревателю, к его средней части.

Длина подогревателя берется около 20—25 мм, а длина каж-

дой проволоки термокреста около 10 мм. Свободные концы термопары и подогревателя крепко прижимаются металлическими пластинками, монтируемыми на небольшой эбонитовой колодке. Всего таких пластинок-зажимов будет, следовательно, четыре: две — для подогревателя и две — для самой термопары (два другие конца термокреста отрезаются у места сварки). Если применить хорошие слюдяные прокладки, то пластинки можно расположить одну над другой, сжимая их общим винтом.

Для предотвращения влияния потоков воздуха на термопару все устройство заключается в плотную картонную коробку.

Градуировка такой термопары производится постоянным током, описанным выше способом.

Максимальная величина тока, пропускаемого при градуировке или при последующих измерениях через подогреватель, во избежание гибели термопары, не должна быть больше той, при которой электродвижущая сила термопары достигает 13—15 мВ при платиновом подогревателе и 9—11 мВ при других подогревателях (серебро, никелин). Таким образом, именно это и определяет собой предел измерений с данной термопарой. Если подогреватель имеет большой диаметр, то потребуется и большая сила тока, чтобы получить от термопары эдс указанной величины.

Снабжая такой термопарой гальванометр, получим в свое распоряжение миллиамперметр переменного тока с пределом измерений, зависящим от свойств подогревателя. Показания такого прибора практически не будут зависеть от частоты. Только в области самых коротких и ультракоротких волн показания прибора будут несколько расходиться с действительными значениями измеряемых величин.

Г Л А В А VI

ЛАМПОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ

Ламповым вольтметром называется прибор, измеряющий напряжение при помощи электронной лампы, ток которой питает индикатор. Измерение ламповым вольтметром постоянных токов лишено практического смысла и не осуществляется.

В простейшем виде ламповый вольтметр содержит две основные части: электронную лампу, работающую в режиме детектирования, и индикатор тока — чувствительный МЭ прибор. Переменный ток, подводимый к лампе, выпрямляется ею и преобразуется в однонаправленные импульсы постоянного тока. Эти импульсы подводятся к чувствительному МЭ прибору — гальванометру, который учитывает среднее значение выпрямленного тока. В этом заключается принцип действия описываемых нами ламповых вольтметров.

В схеме лампового вольтметра в качестве выпрямителей могут применяться как диоды, так и лампы с большим числом электродов (триоды и др.). В зависимости от типа лампы вольтметры разделяются на диодные, триодные, с экранированной лампой и т. д. Как правило, триодные вольтметры более чувствительны, чем диодные, и имеют большее входное сопротивление, поэтому для измерения малых напряжений следует применять триодные вольтметры. Если измеряемые напряжения переменного тока очень малы, то производится предварительное усиление с последующим выпрямлением. В таких вольтметрах применяются несколько ламп (многоламповые вольтметры).

Мы остановимся только на двух простейших одноламповых схемах вольтметров — диодном и триодном.

Относительная сложность устройства лампового вольтметра вполне оправдывается теми результатами, которые могут быть получены зачастую только с помощью лампового вольтметра.

К достоинствам ламповых вольтметров относятся:

а) Большое входное сопротивление, что в значительной степени гарантирует от изменения режима в измеряемой цепи. Есть схемы ламповых вольтметров, применение которых совершенно избавляет экспериментатора от необходимости считаться с изменениями режима в измеряемой цепи.

б) Высокая чувствительность. С помощью ламповых вольтметров можно измерять переменные напряжения в несколько десятых и сотых долей вольта (есть схемы ламповых вольтметров, позволяющие измерять десятитысячные доли вольта). Никакие другие системы электроизмерительных приборов не дают такой возможности.

в) Весьма малая зависимость показаний от частоты. Проградуировав ламповый вольтметр на переменном 50-герцном токе, можно затем таким вольтметром осуществлять измерения в области низких и радиочастот, вплоть до частот, соответствующих самым коротким практически применяемым волнам.

Диодный ламповый вольтметр

На рис. 54а приведена схема диодного вольтметра с автоматическим смещением. Измеряемое напряжение переменного тока подводится к клеммам *аб* прибора. Лампа *Л* — диод, являясь выпрямителем, пропускает ток только в одном направлении (от анода к катоду). Стрелка гальванометра отклонится и измерит величину среднего значения выпрямленного тока. Хотя прямой пропорциональности между величиной угла поворота стрелки и напряжением на клеммах *аб* и не получается, все же показание гальванометра будет тем больше, чем больше измеряемое напряжение. Подводя к клеммам *аб* известные по величине напряжения переменного тока и регистрируя отклонение стрелки, можно проградуировать ламповый вольтметр и затем пользоваться им для измерений.

Конденсатор C служит для блокирования гальванометра от переменной составляющей импульсов выпрямленного тока: через гальванометр благодаря этому протекает только постоянная слагаемая диодного тока. Сопротивление R служит для того, чтобы получить большую пропорциональность между амплитудой измеряемого напряжения и показанием градуируемого прибора Γ . На рис. 54б сплошной линией показана характеристика диода, т. е. графически представлена зависимость тока через диод при различных анодных напряжениях. Как видим, эта характеристика, как и у всех диодов, не получается линейной. При малых значениях напряжения на аноде (т. е. при малых значениях измеряемых напряжений, подводимых к диоду) еще сохраняется некоторая пропорциональность и характеристика является почти линейной, но при дальнейшем увеличении напряжения на аноде характеристика становится нелинейной. Чтобы

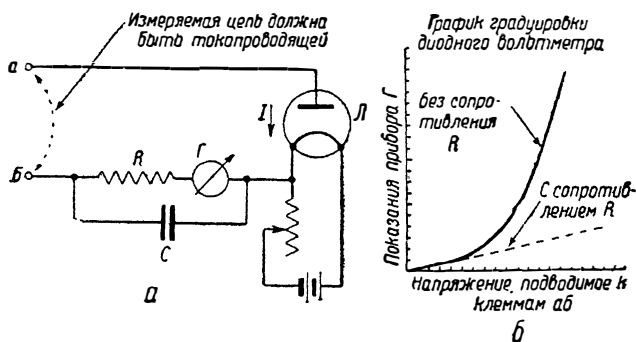


Рис. 54. Схема и примерный график градуировки диодного лампового вольтметра с автоматическим смещением

исправить в этом отношении характеристику диода, следует включить в цепь анодного тока сопротивление. Чем больше величина выпрямленного измеряемого тока, тем большее напряжение будет падать на этом сопротивлении, и, следовательно, тем меньшее напряжение будет подано на анод. В результате получится характеристика, показанная на этом же рис. 54 б пунктиром. Эта характеристика линейна, хотя свидетельствует о значительно уменьшенной чувствительности диода. Последнее приводит к необходимости применения более чувствительного прибора Γ . Теряя в чувствительности схемы (в случае применения одного и того же гальванометра), мы выгадываем в пропорциональности между показаниями прибора и измеряемыми напряжениями.

Недостатком описываемой схемы является необходимость того, чтобы измеряемая цепь имела проводящий путь для постоянного тока диода. Если в измеряемой цепи этого пути не окажется (например, когда измеряется напряжение на конденсаторе), то таким вольтметром нельзя будет осуществить измерения.

На рис. 55 приведена другая схема диодного вольтметра, которая, как не трудно в этом убедиться, не имеет указанного недостатка. С помощью этого вольтметра можно осуществлять измерения напряжений, и в том случае, если в измеряемой цепи нет гальванической проводимости; ток диода протекает через сопротивление R и гальванометр G , как это обозначено стрелками. Эта схема называется схемой **диодного вольтметра Муллена**.

Чувствительность лампового вольтметра зависит от чувствительности гальванометра и от величины сопротивления R , равно как и от крутизны характеристики анодного тока. При данной лампе и гальванометре чувствительность вольтметра определяется только величиной сопротивления R : чем R больше, тем меньшее напряжение будет подано к гальванометру, тем на меньшее число делений отклонится его стрелка. Это дает воз-

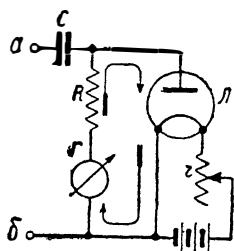


Рис. 55. Принципиальная схема диодного лампового вольтметра Муллена. Стрелками указан путь постоянной составляющей анодного тока

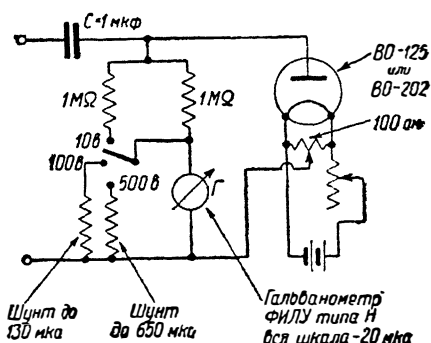


Рис. 56. Практическая схема диодного вольтметра Муллена

можность осуществить ламповый вольтметр на несколько пределов измерений.

На рис. 56 представлена практическая схема диодного вольтметра Муллена на три предела: до 10, до 100 и до 500 в. Данные, приведенные на схеме, относятся к случаю применения гальванометра ФИЛУ типа Н с чувствительностью $1^\circ = 1 \text{ мкв}$ и являются ориентировочными. При ином значении чувствительности гальванометра соответственно изменятся и данные. При градуировке эти изменения будут выявлены в некотором отклонении от указанных пределов измерений.

Градуировка лампового вольтметра производится на переменном токе подачей на сетку лампы известных по величине напряжений способами, на которых мы останавливались ранее.

Триодный ламповый вольтметр

На рис. 57 приведена схема, данные и примерный график градуировки триодного лампового вольтметра Муллена, весьма удоб-

ного для производства измерений. В этой схеме лампа работает в режиме анодного детектирования, на нижнем сгибе анодной характеристики. Особенностью схемы является наличие всего только одной батареи B напряжением 8 в . Это напряжение оказывается достаточным для того, чтобы накаливать нить лампы, дать необходимое смещающее напряжение на сетку (чтобы поместить рабочую точку на нижний сгиб характеристики) и напряжение на анод. Ток батареи проходит последовательно через три сопротивления: реостат накала, сопротивление $R_1 = 30\text{ ом}$ и сопротивление $R_2 = 10\text{ ом}$. Падение напряжения на сопротивление R_1 используется для подачи напряжения на сетку, а падение напряжения на R_2 — для подачи напряжения на анод.

Перед осуществлением измерения с помощью такого вольтметра необходимо его градуировать. Градуировка заключается

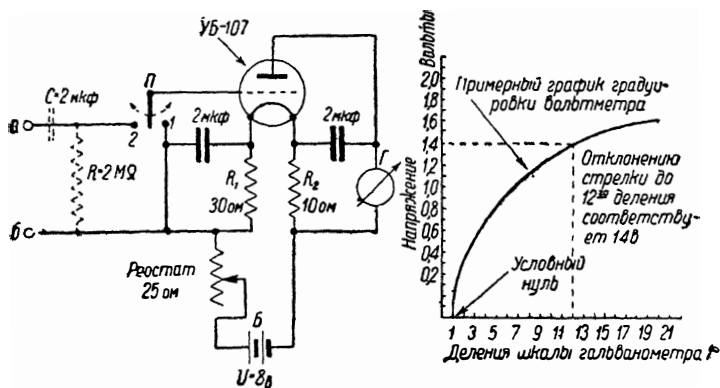


Рис. 57. Практическая схема триодного вольтметра Муллена и примерный график его градуировки

в том, что к клеммам $аб$ подводятся напряжения переменного тока и отмечаются получающиеся при этом отклонения стрелки прибора Γ . Но, как не трудно в этом убедиться, режим работы лампы (при неизменных величинах сопротивлений R_1 и R_2) будет зависеть от величины тока накала лампы. Поэтому всякий раз, когда пользуются таким вольтметром для измерения или для градуировки, производят установку стрелки на условный нуль. Эта установка заключается в том, что, изменяя сопротивление реостата накала, получают отклонение стрелки прибора до, скажем, первого деления шкалы. Это деление и принимается за условный нуль. Получив такое отклонение стрелки, производящий измерение может быть уверен в том, что режим работы лампы установлен точно такой же, каким он был при градуировке. Для установки на условный нуль переключатель Π переводится в положение, обозначенное цифрой 1.

Получив отклонение стрелки до условного нуля, переводят

переключатель P в положение 2 и осуществляют измерение, пользуясь при этом графиком градуировки данного вольтметра.

Пунктиром на схеме обозначено включение конденсатора C и сопротивления R в цепь сетки. Без сопротивления R и конденсатора C ламповый вольтметр может быть использован только в том случае, если в измеряемой цепи обеспечивается гальваническая проводимость для тока, так как в противном случае напряжение смещения на сетку не может быть подано. Конденсатор C пропускает к вольтметру измеряемое переменное напряжение, оказывая ему весьма небольшое (особенно на высоких частотах) сопротивление. Сопротивление R используется для подачи на сетку смещающего напряжения (так как сеточные токи отсутствуют, то падения напряжения на сопротивлении R не получается и на сетку поступает все напряжение от R_1 полностью). При наличии R и C схема получает название схемы *лампового вольтметра с емкостным входом*. Отметим, что подключение R и C (с указанными на схеме рис. 57 данными) к уже отградуированному вольтметру почти совершенно не изменяет градуировки последнего.

Такой ламповый вольтметр позволяет осуществлять измерение переменных напряжений в пределах приблизительно от 0,2 до 1,5 в. Для измерения больших напряжений рекомендуется пользоваться описанным нами ранее диодным вольтметром.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Г Л А В А VII

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Под *электрическим сопротивлением* понимают *сопротивление проводника постоянному току*. Что касается сопротивления проводника *переменному току — активного сопротивления*, то, как известно, оно зависит от частоты тока. На низких частотах влиянием частоты тока на величину активного сопротивления еще можно пренебречь, но на радиочастотах с изменением сопротивления приходится уже серьезно считаться. Об измерении активных сопротивлений, а также об определении того, что представляет собой активное сопротивление, мы будем говорить дальше (стр. 77).

Электрическое сопротивление проводника может быть определено различными способами. Укажем наиболее простые и доступные для радиолюбителя способы.

Определение электрического сопротивления по току и напряжению

Через измеряемое сопротивление пропускают постоянный ток такой силы, при которой проводник не повышает сколько-либо заметно своей температуры. Измеряют — с помощью амперметра или миллиамперметра — силу протекающего через сопротивление тока и — с помощью вольтметра — напряжение, которое получается на концах сопротивления (рис. 58). Пользуясь законом Ома, математическое выражение которого обычно приводится в таком виде

$$I = \frac{U}{R}$$

(где I — сила тока, U — напряжение, R — сопротивление), величину электрического сопротивления находят делением показания вольтметра (в вольтах) на показания амперметра или миллиамперметра (в амперах).

Определенное таким способом значение величины электрического сопротивления будет, однако, не совсем точным: не

учтено то, что измерительные приборы имеют свои сопротивления. Определяя таким образом электрическое сопротивление, мы полагаем, что сопротивление вольтметра равно бесконечности, а сопротивление миллиамперметра равно нулю, что в действительности неверно. Поэтому *рекомендуется пользоваться двумя различными схемами*: при определении *больших* величин электрических сопротивлений — схемой рис. 58б, а при измерении *малых* — схемой рис. 58в.

В первом случае величина сопротивления будет найдена по формуле

$$R = \frac{U}{I} - R_A,$$

где R — искомая величина электрического сопротивления, в омах; U — показание вольтметра, в вольтах; I — показание миллиамперметра, в амперах, и R_A — сопротивление миллиамперметра, в омах.

Во втором случае

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}},$$

где R_v — сопротивление вольтметра, в омах.

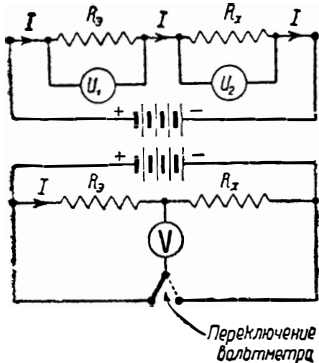


Рис. 59. Измерение сопротивлений методом сравнения

величины напряжений будут пропорциональны (при одной и той же силе тока) величинам сопротивлений, то мы можем написать

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_s}{R_x},$$

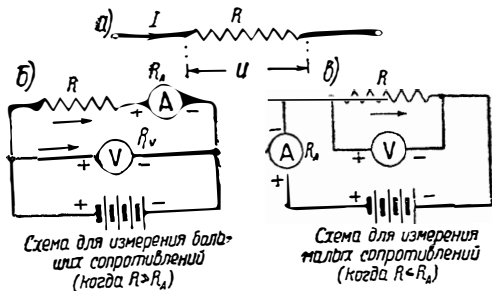


Рис. 58. Измерение электрических сопротивлений по току и напряжению

Таким способом, в частности, весьма удобно осуществлять измерение сопротивлений шунтов для гальванометров.

Измерение R_x методом сравнения

Составляют схему (рис. 59) из последовательно соединенных электрических сопротивлений — известного по величине сопротивления R_s и определяемого сопротивления R_x . Очевидно, что при таком соединении через оба сопротивления протекает общий, одинаковый ток. Вольтметром измеряются напряжения на сопротивлениях R_s и R_x . Так как величины напряжений будут пропорциональны (при одной и той же силе тока) величинам сопротивлений, то мы можем написать

где U_1 — напряжение на R_0 , U_2 — напряжение на R_x , в вольтах.

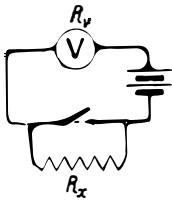
Из этой формулы величина R_x определится следующим образом

$$R_x = R_0 \frac{U_2}{U_1}.$$

Отметим, что в качестве вольтметра можно пользоваться только высокоомным вольтметром, величина сопротивления которого во много раз превосходит R_x и R_0 . Если сопротивление вольтметра будет недостаточно велико, то возможны ошибки измерения, поскольку один и тот же вольтметр подключается к различным по величине R_0 и R_x , что неизбежно изменит сопротивление общей цепи.

Измерение R_x помощью вольтметра с известной величиной сопротивления R_v

Вольтметр, собственное сопротивление которого равно R_v и известно, подключается (рис. 60) непосредственно к источнику напряжения (с малым внутренним сопротивлением); отмечается показание вольтметра U_1 . Затем в цепь последовательно включают измеряемое сопротивление R_x , отмечают новое показание прибора — U_2 . Величину R_x определяют вычислением по формуле



$$R_x = R_v \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right).$$

Рис. 60. Измерение сопротивлений помощью вольтметра с известным сопротивлением R_v

Доказательство формулы: для первого включения справедливо равенство

$$U = U_1 = I_1 R_v,$$

где U — напряжение батареи, в вольтах; U_1 — показание вольтметра при первом измерении, в вольтах; I_1 — сила тока через прибор при первом измерении, в амперах; R_v — сопротивление вольтметра, в омах.

Для второго включения, с R_x ,

$$U = I_2 (R_v + R_x) = U_2 + I_2 R_x,$$

где I_2 — сила тока через прибор при втором измерении, в амперах; R_x — измеряемое сопротивление, в омах.

Приравниваем правые части уравнений

$$U_1 = U_2 + I_2 R_x = U_2 + \frac{U_2}{R_v} \cdot R_x$$

или

$$R_x = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot R_v = R_v \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right).$$

Наиболее точный результат измерения получается в том случае, если измеряемое сопротивление равно сопротивлению вольтметра.

Омметры

На возможностях измерения электрических сопротивлений по току и напряжению основаны принципы действия приборов, непосредственно указывающих стрелкой по шкале измеряемую величину сопротивления — *омметров*. Принципиальная схема одного из простейших омметров приведена на рис. 61. Здесь последовательно включены: батарея B с определенным по величине напряжением U , МЭ прибор — гальванометр Γ — с добавочным сопротивлением $R_{доб}$ и измеряемое сопротивление R_x . Так как напряжение батареи предполагается неизменным, то сила тока в цепи будет тем меньшей, чем больше величина измеряемого сопротивления R_x . Шкала гальванометра градуируется непосредственно в единицах электрического сопротивления — в омах. Для проверки напряжения батареи клеммы, к которым подклю-

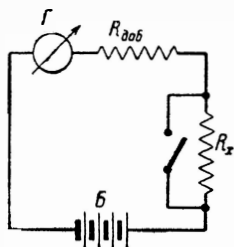


Рис. 61. Одна из принципиальных схем омметров

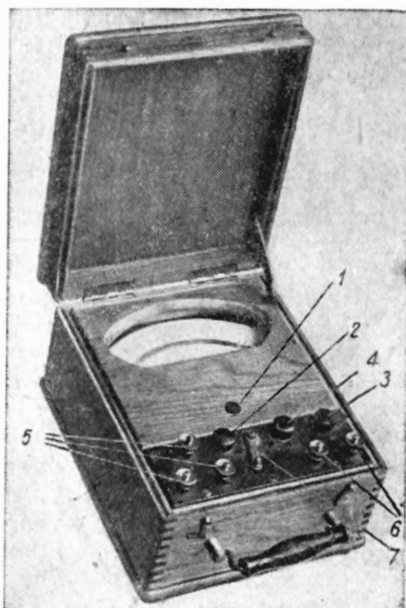


Рис. 62. Омметр типа МОП

1 — корректор, 2 — закорачивающая кнопка, при нажатии которой осуществляется установка стрелки на нуль шкалы магнитным шунтом 7, 3 — кнопка, включающая измеряемое сопротивление в схему, 4 — арретир (тормоз), 5 — клеммы для подключения источников питания, 6 — клеммы для подключения измеряемого сопротивления, 7 — магнитный шунт (установка на нуль)

чается измеряемое сопротивление R_x , замыкаются накоротко: в таком случае стрелка гальванометра должна отклониться до конца шкалы, где находится нулевое деление. Если при этом стрелка на нуль шкалы не устанавливается, то можно либо несколько изменить напряжение батареи, либо, как это устроено в показанном на рис. 62 омметре, применить магнитный шунт, изменяющий положение стрелки прибора за счет изменения магнитного потока.

Установив стрелку на нуль шкалы, подключают R_x и отмечают показание стрелки по шкале, градуированной в омах.

Градировка прибора осуществляется подключением к прибору сопротивлений заранее известной величины.

Хотя омметры удобны в пользовании, однако, даже в хорошем выполнении они указывают величину измеряемого сопротивления лишь приближенно.

Измерение R_x мостовыми схемами. Мост Уитстона

В технике электрических и радиотехнических измерений большое распространение получили так называемые мостовые или мостиковые схемы. Принципиальная схема моста показана на рис. 63.

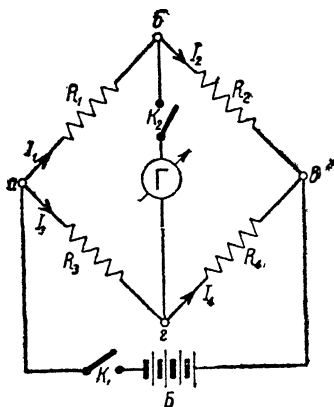


Рис. 63. Принципиальная схема моста Уитстона

Здесь R_1, R_2, R_3 и R_4 — так называемые *плечи моста*, а $ав$ и $бг$ — *диагонали моста*. В плечи включены электрические сопротивления. К диагонали $ав$ схемы подводится постоянный ток от источника напряжения — батареи $Б$. В диагональ $бг$ включен гальванометр. Изменяя сопротивления плеч, можно получить такой момент, когда при поданном к схеме напряжении стрелка гальванометра будет стоять на нуле. Это возможно только в том случае, если между точками $бг$ не будет никакой разности потенциалов, т. е. если падение напряжения на участке $аб$ будет равно падению напряжения на участке $аз$, что ведет, очевидно, к необходимости равенства падений напряжений на участках $бв$ и $гв$. Иначе это условие можно было бы выразить следующим соотношением

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}.$$

Доказательство: чтобы между точками $б$ и $г$ не было создано разности напряжений, необходимы условия

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 R_3 \text{ и } I_2 R_2 = I_4 R_4.$$

Так как $I_1 = I_2$ и $I_3 = I_4$, то

$$I_1 R_1 = I_4 R_3 \text{ и } I_2 R_2 = I_4 R_4,$$

$$I_2 = \frac{I_4 R_3}{R_1} \text{ и } I_2 = \frac{I_4 R_4}{R_2}; \quad \frac{I_4 R_3}{R_1} = \frac{I_4 R_4}{R_2}; \quad \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}.$$

Если в трех каких-либо плечах включены известные по величине сопротивления, а сопротивление четвертого плеча, например R_2 , неизвестно, то оно из приведенного выше условия равновесия мостовой схемы может быть найдено следующим образом

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3}.$$

Такая схема носит название *моста Уитстона*. Она получила очень широкое распространение, так как весьма удобна в пользовании, дает достаточно точные результаты и позволяет измерять сопротивления в широких пределах — от долей ома до мегомов. Схемы моста Уитстона могут быть использованы и на переменном токе, — на этом мы остановимся дальше.

В практическом оформлении чаще всего встречаются две схемы мостов Уитстона: *первая* (рис. 64), в которой сопротивления плеч являются переменными и выполнены в виде магазинов сопротивлений (R_1, R_2, R_3); в качестве индикатора

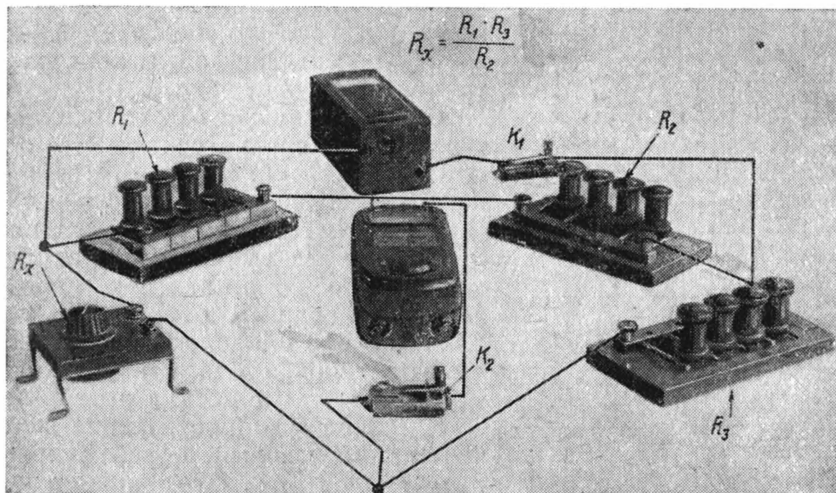


Рис. 64. Измерение сопротивлений мостом Уитстона

баланса схемы служит гальванометр. *Вторая* схема (рис. 65), — в ней сопротивления двух смежных плеч выполнены в виде общей проволоки большого удельного сопротивления (реохорда).

Движок, скользя по этой проволоке и имея с ней непрерывный контакт, изменяет соотношения сопротивлений плеч l_1 и l_2 . Это удобно в том отношении, что величины сопротивлений плеч в данном случае могут быть заменены пропорциональными длинами участков l_1 и l_2 , так как величины этих сопротивлений будут прямо пропорциональны их длинам. Если положить под проволоку линейку с делениями, то можно, не зная сопротивления самой проволоки, определить величину R_x в момент достижения баланса по более простому соотношению

$$R_x = R_s \frac{l_2}{l_1},$$

где R_x — определяемое сопротивление, R_z — эталонное сопротивление (в тех же единицах, что и R_x), l_1 и l_2 — длины, помеченные на рис. 65, — в любых, но одинаковых единицах.

Наиболее точные результаты измерения получаются в том случае, когда $l_1 \approx l_2$, т. е. когда движок находится посредине реохорда.

Мосты Уитстона с реохордами получили название *мостов Кольрауша*. На рис. 65 показаны две схемы мостов Кольрауша: одна с гальванометром Γ и другая — с телефоном. Первая схема (а) может применяться на постоянном токе, вторая б) на переменном (от зуммера). Если в первой схеме момент

баланса определяется по показаниям гальванометра, то во второй — по наименьшей слышимости тона работы зуммера в телефоне.

Самостоятельное изготовление мостов Кольрауша не составляет особых затруднений. Заметим, что проволока должна иметь строго постоянный диаметр, так как приведенная выше формула выведена в предположении, что сопротивления пропорциональны длинам отрезков l_1 и l_2 . Если диаметр проволоки неодинаков, то это условие будет нарушено и измерения будут весьма неточными.

Широкое распространение получил промышленный образец моста Уитстона — ШМВ. Этот прибор позволяет с большой точностью (погрешность не более 2%) измерять сопротивления в пределах от 0,01 до 10 000 000 *ом*.

На рис. 66 представлен промышленный образец моста Кольрауша — тип ШМК. Диапазон измерений от 0,05 до 10 000 *ом*. Максимальная погрешность измерений — 8%.

Радиолюбителю не трудно самому изготовить мост Уитстона по данным, приведенным на рис. 67. Мы не останавливаемся на конструктивных особенностях, полагая, что радиолюбитель сам справится с задачей конструктивного выполнения схемы моста. Ограничимся лишь указаниями общего характера.

На схеме рис. 67 приведены *расчетные* данные сопротивлений с *большой точностью*, которая не во всех условиях может оказаться достижимой. Если радиолюбитель, изготавливая такой мост, возьмет вместо 409,09 *ом* только 409 *ом*, то это лишь несколько увеличит погрешность измерения. Но, тем не менее, мы рекомендуем как можно ближе подходить к указанным цифрам.

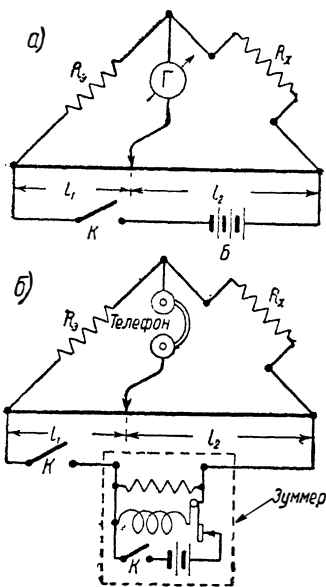


Рис. 65. Схемы моста Кольрауша: а) на постоянном токе (с гальванометром), б) на переменном токе (с телефоном)

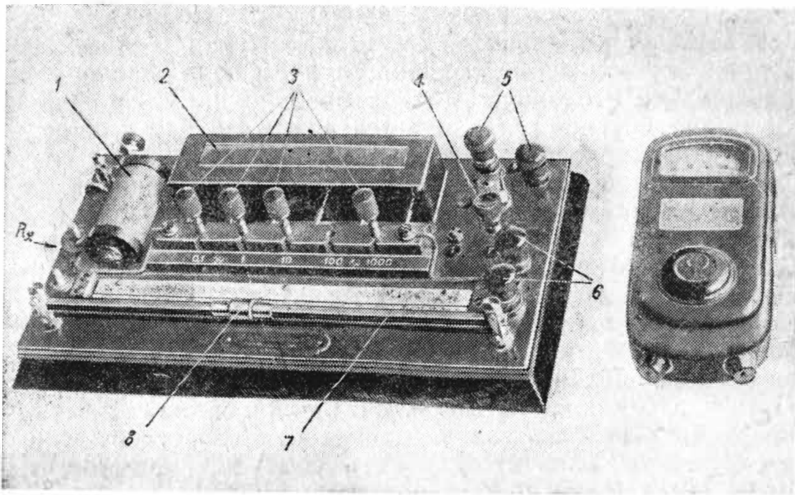


Рис. 66. Мост Кольрауша

1 — зуммер, 2 — магазин сопротивлений, 3 — штепсели магазина сопротивлений, 4 — переключатель с гальванометра на телефон, 5 — клеммы для подключения батареи, 6 — клеммы для подключения гальванометра или телефона, 7 — реохорд, 8 — движок, R_x — клеммы для подключения измеряемого сопротивления

Точность измерения во многом зависит от того, с какой точностью были определены величины сопротивлений трех плеч схемы. Непроволочные сопротивления и, в особенности, типа Каминского, как недостаточно постоянные во времени, применять в данном случае не рекомендуется. Следует применять про-

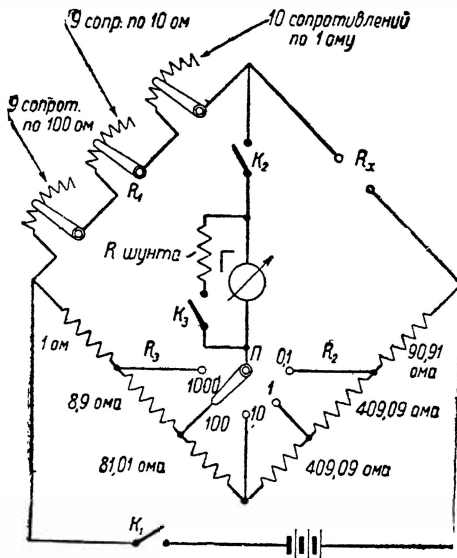


Рис. 67. Схема моста Уитстона

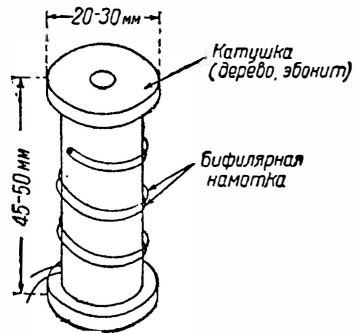


Рис. 68. Конструкция катушки с проволочным сопротивлением

волоочные сопротивления из проволоки с большим удельным сопротивлением (манганин, константан, никелин и др.). Проволока должна быть изолированной, причем надо проверить, не повреждена ли изоляция. Отрезок проволоки, имеющий необходимое сопротивление, складывается вдвое и наматывается на катушку бифилярно (рис. 68). Этим уничтожается индуктивность проволочного сопротивления. Концы проволок припаиваются к выводным клеммам и после этого еще раз производится проверка величины сопротивления.

Схема рис. 67 позволяет осуществлять измерения электрических сопротивлений в пределах от 0,1 до 100 000 ом.

Порядок измерения на мосте Уитстона (рис. 67) следующий: замыкается ключ K_3 , включается измеряемое сопротивление R_x , замыкается ключ K_1 , подающий к схеме напряжение от батареи (3—5 в), и затем ключ K_2 , приключающий к схеме гальванометр. Если при этом стрелка гальванометра отклоняется от нулевого положения, то следует изменить соотношение плеч, меняя сопротивления R_1 , R_2 и R_3 . Но такое изменение сопротивлений следует производить только при разомкнутых ключах K_1 и K_2 , так как в противном случае не исключена порча гальванометра. Замыкание и размыкание ключей K_1 и K_2 может производиться только в такой последовательности: сначала включается ключ K_1 , затем ключ K_2 ; выключается же сначала ключ K_2 и только после этого — ключ K_1 . Если нарушить такой порядок включений, то гальванометр может быть поврежден сильным толчком тока. Схема должна приключаться к источнику тока только на весьма непродолжительный срок, не более нескольких секунд, за которые наблюдатель успеет отметить положение стрелки гальванометра.

По получении предварительного баланса схемы производится более точная балансировка: ключ K_3 размыкается, в результате чего от гальванометра отсоединяется шунт и гальванометр становится более чувствительным. По достижении при этих условиях баланса схемы определяются величины сопротивлений плеч и по этим значениям — величина искомого сопротивления.

В зависимости от положения переключателя Π (схема рис. 67) искомый результат измерения определяется умножением установленной величины переменного сопротивления R_1 на значение, приведенное в таблице.

В качестве индикатора удобно применять гальванометр с нулем посредине шкалы.

При положении переключателя Π на	R_1 умножить на
0,1	0,1
1	1
10	10
100	100
1000	1000

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Из теории переменного тока известно, что, если по электрической цепи, содержащей последовательно включенные сопротивление, емкость и индуктивность (рис. 69), протекает переменный ток, то эта цепь оказывает переменному току сопротивление

$$z = \sqrt{r^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2},$$

где z — *полное* („кажущееся“) *сопротивление* цепи переменному току, в омах; r — *активное* сопротивление, в омах; $\pi = 3,14$; f — частота тока, в герцах; L — индуктивность, в генри и C — емкость, в фарадах.

Если бы в цепь переменного тока был включен *идеальный* конденсатор, то он оказывал бы току лишь *емкостное сопротивление* $x_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ом. Как известно, никакой мощности на преодоление емкостного сопротивления не затрачивается. То же самое мы имели бы в случае подключения к цепи *идеальной* катушки индуктивности, сопротивление которой переменному току (индуктивное сопротивление) $x_L = 2\pi fL$ ом. Ис идеальных (без потерь) конденсаторов и катушек не бывает: катушка намотана из провода, обладающего некоторым электрическим сопротивлением — на преодоление этого сопротивления необходимо затратить мощность.

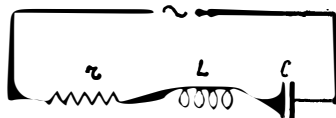


Рис. 69. Цепь переменного тока, содержащая r , L и C

Потери в катушке будут складываться не только из потерь на преодоление электрического сопротивления провода катушки, но и из потерь в окружающем экране, в каркасе и соседних металлических предметах, и потерь, обусловленных возрастанием сопротивления под влиянием скин-эффекта (сопротивление проводника увеличивается по мере увеличения частоты; на высоких частотах это возрастание сопротивления становится особенно заметным).

С точки зрения потребления мощности катушку можно было бы заменить таким *эквивалентным сопротивлением*, которое при такой же величине силы тока потребляло бы от источника переменного тока такую же по величине мощность. Это эквивалентное сопротивление, представляющее собой сумму всех сопротивлений катушки («*сопротивление потерь*»), на преодоление которых затрачивается мощность, и называется *активным сопротивлением катушки переменному току данной частоты* (при другой частоте это сопротивление может иметь другое значение).

Измеряется активное сопротивление так же в омах, как и электрическое сопротивление.

Приблизительно то же мы можем сказать и в отношении конденсаторов. Если в качестве диэлектрика применен воздух, то потери в конденсаторе невелики, с ними можно не считаться. Если же в качестве диэлектрика применены бумага, парафин, целлулоид и т. д., то с потерями мощности приходится уже считаться, особенно на высоких частотах. Вот почему, в частности, в контурах высокой частоты рекомендуется применять только воздушные конденсаторы.

Итак, мы можем говорить и об *активном сопротивлении конденсаторов* (емкостное сопротивление X_C в него, очевидно, не входит).

Об активном сопротивлении приходится говорить всегда, когда имеется цепь, по которой протекает переменный ток, —

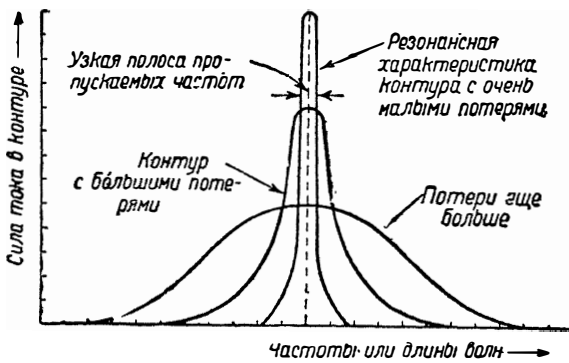


Рис. 70. Влияние величины активного сопротивления контура на резонансную характеристику

будь это резонансный контур приемника или еще какая-либо другая цепь. Если контур состоит из катушки и воздушного конденсатора, то с достаточной степенью точности можно считать, что сопротивление контура определяется активным сопротивлением катушки.

Активное сопротивление резонансного контура в приемниках во многом определяет работу последних, влияя на величину усиления, избирательности и т. д. Достаточно сказать, что определение «плохая» или «хорошая» катушка целиком вытекает из понятия об активном сопротивлении: если активное сопротивление мало, то малы потери мощности в катушке, велик «множитель вольтжа» (или добротность катушки)

$$Q = \frac{X_L}{r} = \frac{2\pi fL}{r},$$

представляющий собой отношение индуктивного сопротивления к активному, и мало затухание

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{r}{2\pi fL}.$$

Если активное сопротивление контура мало, то резонансная кривая получает вид остrokонечной кривой с крутыми скатами.

При большом активном сопротивлении резонансная кривая делается более пологой и резонанс становится менее резко выраженным (рис. 70).

Из существующего разнообразия способов определения активного сопротивления контуров отметим только один, как наиболее доступный радиолюбителю — метод изменения (вариации) активного сопротивления.

Метод вариации активного сопротивления

Сущность этого метода заключается в следующем: сначала слабо связывают испытуемый резонансный контур с контуром лампового волномера¹⁾ и настраивают их в резонанс на требуемой условиями измерения частоте (рис. 71). Ламповым вольтметром измеряют напряжение на катушке L или конденсаторе C (или же высокочастотным миллиамперметром измеряют силу

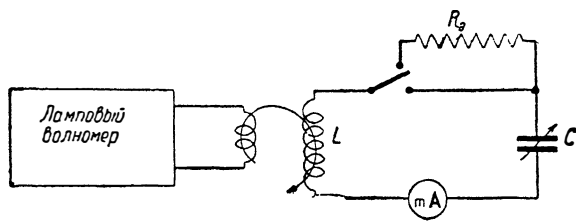


Рис. 71. Принципиальная схема измерения активного сопротивления контура методом вариации активного сопротивления

тока в контуре). Затем, сохраняя неизменной связь с контуром волномера, в контур LC включают сопротивление, величина которого R_0 точно известна. Общее сопротивление контура от такого присоединения, естественно, возрастет, ток в контуре и напряжения на катушке и на обкладках конденсатора уменьшатся. Отметив уменьшенное показание прибора, можно определить величину активного сопротивления контура вычислением.

Этот метод требует большой тщательности, ибо легко можно изменить активное сопротивление контура за счет каких-либо паразитных и иных связей (с окружающими предметами, с телом экспериментатора и т. д.).

Описываем практически доступный способ измерения по схеме рис. 72 (см. библиографический перечень, Б5). Параллельно катушке L , величина активного сопротивления которой r (показано вынесенным отдельно) служит предметом измерения, подключается хороший воздушный градуированный конденсатор C . Получается колебательный контур. Этот контур связы-

¹⁾ См. главу XI.

вают с ламповым волномером и настраивают в резонанс на той частоте, на которой желательнo определить величину r (мы уже указывали, что величина r изменяется с частотой).

Ламповым вольтметром (с емкостным входом, работающим без токов сетки (такой вольтметр почти совершенно не влияет на режим измеряемой цепи) измеряют напряжение на конденсаторе C . Пусть эта величина будет составлять U_1 вольт. Затем параллельно конденсатору C подключают непроволочное сопротивление R_s , величина которого точно известна (при измерении сопротивления длинноволновых катушек величина R_s берется равной 100 000 ом, а средневолновых — 40 000 ом). Снова измеряют напряжение на конденсаторе C — пусть это будет U_2 . Тогда величина активного сопротивления катушки может быть определена по формуле

$$r = \frac{900 L}{\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right) C R_s},$$

где r — активное сопротивление, в омах; L — индуктивность катушки, в сантиметрах; U_1 и U_2 — в вольтах; C — емкость в сантиметрах; R_s — сопротивление, в омах.

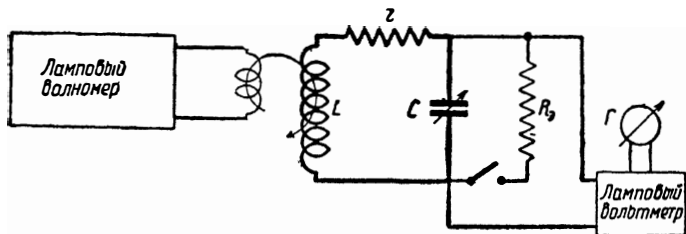


Рис. 72. Практическая схема измерения активного сопротивления контура методом вариации активного сопротивления. Измерение осуществляется с помощью лампового вольтметра

Зная частоту, на которой получен резонанс, и определяя по частоте длину волны, величину индуктивности катушки L можно найти по формуле

$$L = \frac{250\lambda^2}{C},$$

где L — индуктивность катушки, в сантиметрах; λ — длина волны, в метрах и C — емкость конденсатора, в сантиметрах.

Пример пользования формулой:

$$L = 150\,000 \text{ см}, \quad C = 200 \text{ см}, \quad R_s = 40\,000 \text{ ом}, \\ U_1 = 2 \text{ в}, \quad U_2 = 1 \text{ в}.$$

Тогда

$$r = \frac{900 \cdot 150\,000}{\left(\frac{2}{1} - 1\right) 200 \cdot 40\,000} \approx 17 \text{ ом}.$$

Г Л А В А IX

ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТЕЙ

При описании методов измерения емкостей, как и в других случаях, ограничимся изложением только тех способов измерений, которые могут быть осуществлены сравнительно простыми средствами.

Измерение емкостей по току и напряжению

Если к конденсатору, величина емкости которого равна C , подводится напряжение U частоты f , то, как известно, через конденсатор будет протекать переменный ток силой

$$I_c = \frac{U}{x_c} = \frac{U}{\frac{1}{2\pi f C}} = U \cdot 2\pi f C,$$

где $x_c = \frac{1}{2\pi f C}$ — емкостное сопротивление конденсатора.

Чтобы при таких условиях определить величину C , надо знать подводимое напряжение U , силу тока через конденсатор I_c и частоту f . Очевидно, что сила тока будет тем больше, чем больше емкость конденсатора (так как чем больше емкость конденсатора, тем меньше его емкостное сопротивление). Поэтому такой способ измерения емкости не может быть рекомендован в отношении малых емкостей, но он весьма удобен для измерения емкости так называемых „микрофарадных“ конденсаторов.

В качестве источника переменного тока берут электрическую сеть: напряжение в ней можно считать практически неизменным по величине (120 или 220 в), равно как и частоту (50 гц). В таких условиях измерение величины емкости сведется к измерению величины силы переменного тока I_c , протекающего через конденсатор. Это можно осуществить помощью миллиамперметра переменного тока. По такой схеме изготавливаются некоторые простые типы так называемых *микрофарадометров* — приборов, у которых шкала градуирована не в величинах силы переменного тока, а непосредственно в микрофарадах.

На рис. 73а приведена принципиальная схема такого микрофарадометра. Чтобы проградуировать шкалу прибора непосредственно в величинах емкости, надо, подключая к клеммам ab заранее известные по величине емкости (микрофарадные конденсаторы), определять показания прибора и составить график градуировки.

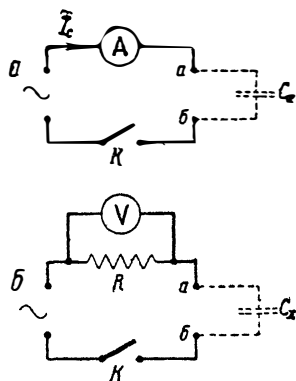


Рис. 73. Простейшие схемы микрофарадометров

Этот способ можно несколько видоизменить, воспользовавшись купроксным прибором (рис. 73б). В цепь измеряемого конденсатора включается сопротивление R ; купроксный прибор, обозначенный на этой схеме буквой V , измеряет напряжение, получающееся на концах этого сопротивления R . Очевидно, что сила тока в цепи будет определяться величинами емкостей, подключаемых к клеммам ab конденсаторов: чем больше величина C_x , тем больше будет показание прибора V . Это и дает возможность измерять величины емкостей C_x непосредственно по показаниям прибора V . Перед использованием такой схемы надлежит проградуировать шкалу прибора V непосредственно в величинах емкостей — в микрофарадах. Как мы уже указывали, для осуществления такой градуировки к клеммам ab следует подключать заранее известные по величинам конденсаторы.

Более подробные указания в отношении изготовления микрофарадометров — см. библиогр. перечень, В6.

Резонансные методы

Первый способ

Этот способ требует одного заранее проградуированного (эталонного) переменного конденсатора.

Конденсатор, емкость которого желают определить, подключают параллельно катушке индуктивности L . Получающийся

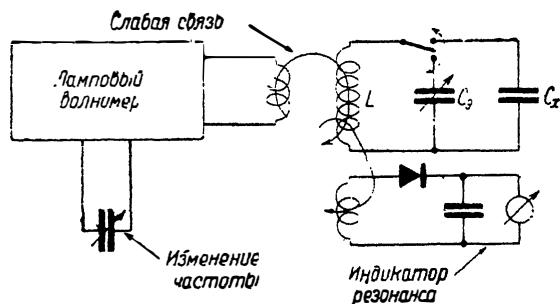


Рис. 74. Резонансный способ измерения емкости конденсатора заменой C_x на C_0

колебательный контур слабо связывают с контуром лампового волномера (рис. 74). Частоту волномера меняют до тех пор, пока контур не окажется настроенным в резонанс, что отмечается каким-либо индикатором резонанса¹⁾. В качестве индикатора может служить стрелочный гальванометр, снабженный кристаллическим детектором, как это показано на рис. 74.

После того, как резонанс достигнут, нужно вместо измеряемого конденсатора, емкость которого еще не известна, включить градуированный переменный конденсатор и изменять емкость последнего до тех пор, пока контур вновь не окажется настроенным в резонанс (частота лампового волномера после

1) См. стр. 118.

первой его настройки не меняется). По графику градуировки определяют, чему равна емкость градуированного конденсатора. Этой же величине будет равна и емкость измеряемого конденсатора, так как для получения резонанса на данной частоте емкость контура должна быть в обоих случаях одинаковой.

Второй способ

Вместо лампового волномера можно взять зуммер и включить его в схему, как показано на рис. 75. Колебания, возбуждаемые зуммером в контуре LC_x , составленном из какой-либо катушки индуктивности L (контурная катушка приемника, содовая катушка и т. д.) и измеряемого конденсатора C_x , будут иметь частоту, которая определится величинами L и C_x . С контуром связывают резонансный волномер¹⁾, настройку которого меняют до тех пор, пока в телефоне не будет услышан звук зуммера.

Получив максимум слышимости, оставляют неизменной настройку волномера и вместо измеряемого конденсатора в контур включают градуированный конденсатор переменной емкости C_s . Изменяя величину емкости последнего, добиваются появления прежней слышимости в телефоне. Это удобно осуществлять попеременным переключением Π и одновременным изменением емкости C_s . Когда в телефоне будет слышен совершенно одинаковый звук, вне зависимости от положения переключателя Π , емкость измеряемого конденсатора C_x окажется равной емкости конденсатора C_s .

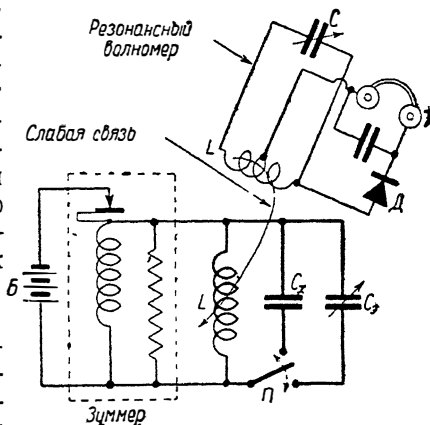


Рис. 75. Измерение емкости резонансным способом с помощью зуммера и резонансного волномера

Третий способ

Этот способ рекомендуется для измерения **небольших емкостей**, величины которых меньше максимальной емкости градуированного переменного конденсатора C_s .

Составляется колебательный контур из этого градуированного переменного конденсатора C_s и контурной катушки приемника (или содовой катушки) — рис. 76а. Контур LC_s связывается с ламповым волномером, частота которого изменяется до получения резонанса в контуре.

¹⁾ См. стр. 116.

Перед измерением устанавливается максимальная емкость C_3 , которую необходимо отметить и записать. После получения резонанса *параллельно* градуированному конденсатору включают измеряемый конденсатор C_x . Емкость контура от такого присоединения возрастет на величину емкости измеряемого конденсатора C_x . Чтобы вернуться к резонансу и сохранить неизменной общую емкость контура, надлежит *уменьшить* емкость градуированного конденсатора C_3 . Измеряемая емкость C_x по своей величине будет равна разности емкостей градуированного конденсатора до подключения и после подключения C_x . Если, например, до подключения C_x емкость градуированного конденсатора была равна $C'_3 = 450$ см, а после подключения $C''_3 = 230$ см, то, очевидно, $C_x = C'_3 - C''_3 = 450 - 230 = 220$ см.

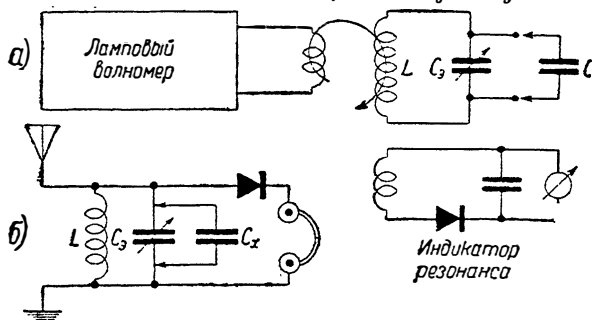


Рис. 76. Измерение емкости резонансным способом, путем приключения C_x параллельно к C_3 . В качестве источников колебаний используются: а) ламповый волномер, б) сигналы принимаемой станции

Вместо лампового волномера в качестве источника колебаний можно использовать сигналы какой-либо радиостанции, принимаемой на имеющийся у радиолюбителя радиоприемник (например, простейший ламповый — без спаренных конденсаторов, или детекторный приемник), рис. 76 б. Вместо кон-

денсатора настройки включается градуированный конденсатор C_3 . Производится настройка на какую-либо радиовещательную станцию — по слышимости в телефоне. После этого параллельно градуированному конденсатору подключают измеряемый конденсатор C_x и, как описано выше, уменьшают емкость градуированного конденсатора до получения прежней слышимости. Величина емкости C_x , как было указано, определится разностью емкостей C_3 при первом и втором отсчетах.

Четвертый способ

Этот способ отличается от предыдущего только тем, что измеряемый конденсатор подключается к градуированному переменному конденсатору *не параллельно, а последовательно* (рис. 77).

При последовательном присоединении к C_3 конденсатора C_x общая емкость не увеличится, а уменьшится, поэтому для возвращения к положению резонанса надо *не убавлять* емкость градуируемого конденсатора, а *увеличивать*.

В остальном весь процесс измерения остается прежним. Искомое значение емкости будет определяться по формуле

$$C_x = \frac{C'_3 \cdot C''_3}{C''_3 - C'_3},$$

где C'_3 — емкость градуированного конденсатора до приключения C_x , C''_3 — то же, — после приключения C_x .

Этот способ следует применять в тех случаях, когда ожидаемая величина измеряемой емкости больше максимальной емкости градуированного конденсатора.

Пятый способ

Этот способ основан на использовании заранее измеренной катушки индуктивности. Он менее удобен, чем все предыдущие, однако, радиолюбителю следует знать и о такой возможности измерения емкости методом резонансных измерений.

Составляется колебательный контур из контурной катушки, индуктивность которой заранее известна, и измеряемого конденсатора C_x . Контур связывается с ламповым волномером (рис. 78), частота колебаний которого изменяется до получения резонанса в контуре.

Емкость конденсатора в момент резонанса определится по приближенной формуле

$$C_x = 250 \frac{\lambda^2}{L_3} - C_{кат},$$

где C_x — измеряемая емкость в сантиметрах, $C_{кат}$ — собственная емкость катушки в сантиметрах (см. стр. 92), λ — длина волны в метрах и L_3 — индуктивность катушки в сантиметрах.

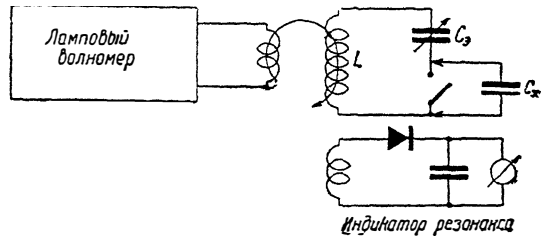


Рис. 77. Измерение емкости резонансным способом путем последовательного подключения C_x к C_3 .

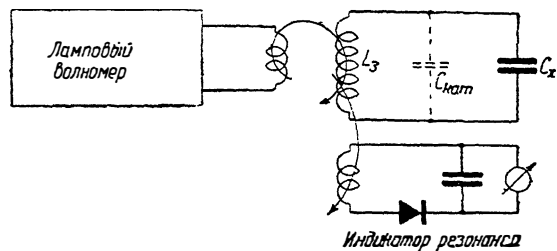


Рис. 78. Измерение емкости резонансным методом, путем включения C_x в контур с эталонной индуктивностью L_3 .

Метод Зейбта

Весьма удобным методом измерения емкостей в пределах от нескольких сот до нескольких тысяч сантиметров является метод Зейбта. На рис. 79 приведена его схема. Здесь Z — зуммер, B — питающая схему батарея (3—5 в), D — кристаллический детектор, T — телефон, C_s — градуированный конденсатор переменной емкости, C_x — измеряемый конденсатор, L_1 и L_2 — совершенно одинаковые по конструкции и по величинам индуктивностей катушки (например, сотовые катушки с точно одинаковым числом витков). Катушки L_1 и L_2 вместе с параллельно подключенными к ним конденсаторами C_s и C_x образуют два колебательных контура, в которых возникают высокочастотные колебания с частотами, зависящими от величин емкостей и индуктивностей, образующих эти контуры.

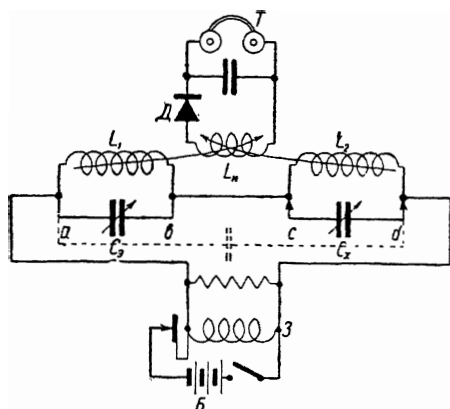


Рис. 79. Измерение емкостей по методу Зейбта

Катушка индикатора L_x — располагается посредине между катушками L_1 и L_2 . Более точно положение катушки L_x (симметрирование схемы) устанавливается следующим образом: катушки L_1 и L_2 замыкаются на одну емкость, которая приключается к точкам a и d при отключенных C_x и C_s . Затем, перемещая катушку L_x между катушками L_1 и L_2 , добиваются получения минимума слышимости в телефоне T .

Порядок измерения следующий: измеряемую емкость C_x подключают к какой-либо катушке — L_1 или L_2 . К другой катушке подключают градуированный конденсатор C_s . Конденсатор, с помощью которого симметрировалась схема перед измерениями, отключается. Если емкости C_x и C_s равны, то в телефоне ничего не будет слышно. Если же в телефоне появится звук, следовательно, емкости не равны, — в этом случае надлежит изменять емкость C_s до пропадания слышимости в телефоне T . В этот момент емкость C_x по величине окажется равной C_s . Для бóльшей точности измерений рекомендуется, проделав измерение, повторить его, поменяв местами конденсаторы C_x и C_s . Величина C_x в этом случае будет найдена по формуле

$$C_x = \sqrt{C_s \cdot C_s''}$$

или

$$C_x = \frac{C_3' + C_3}{2},$$

если

$$C_3' \approx C_3'',$$

где C_3' — величина емкости градуированного конденсатора при первом, а C_3'' — при втором измерении.

Измерение емкостей с помощью мостовых схем

При описании моста Уитстона мы уже указывали, что основные принципы этой измерительной схемы могут быть с теми или иными видоизменениями использованы и на переменном токе. При описании моста Уитстона мы имели дело с электрическими сопротивлениями. Здесь мы приведем несколько схем мостов, у которых в плечах включены емкостные сопротивления — конденсаторы.

Мостовые схемы измерения емкостей в радиолюбительских условиях позволяют осуществлять измерения с большей точностью, нежели с помощью резонансных методов, в очень широких пределах: от емкостей порядка нескольких сантиметров и до нескольких микрофарад.

Первая схема

Представленная на рис. 80 схема имеет во всех четырех плечах емкости, из которых любые три емкости должны быть заранее известны по величине, а четвертая — неизвестная, измеряемая.

К точкам *a* и *b* схемы подводится переменный ток низкой частоты (от звукового генератора, от зуммера). В диагональ между точками *v* и *z* схемы включен головной телефон. Когда схема находится в состоянии электрического равновесия, т. е. когда она сбалансирована, слышимости в телефоне нет. Если схема выведена из равновесия, то в телефоне слышен звук.

Измерения с такой схемой, как и с описываемыми ниже, сводятся к следующему: емкость плеч начинают изменять произвольным образом до тех пор, пока в телефоне не пропадет слышимость. Мы говорим здесь о произвольном изменении, подчеркивая этим то, что равновесие схемы может быть достигнуто при различных значениях емкостей плеч. Но наиболее чувствительна схема при равенстве емкостей плеч.

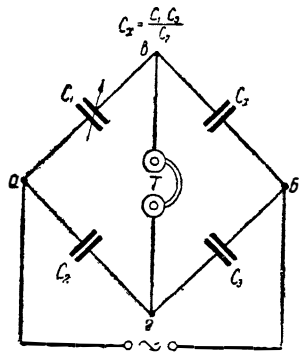


Рис. 80. Измерение емкостей в схеме моста с конденсаторами

Важно, чтобы сохранялось условие

$$\frac{x_{C_1}}{x_{C_2}} = \frac{x_{C_x}}{x_{C_3}},$$

здесь x_{C_1} , x_{C_2} , x_{C_3} и x_{C_x} — емкостные сопротивления:

$$x_{C_1} = \frac{1}{2\pi f C_1}; \quad x_{C_2} = \frac{1}{2\pi f C_2}; \quad x_{C_3} = \frac{1}{2\pi f C_3} \quad \text{и} \quad x_{C_x} = \frac{1}{2\pi f C_x},$$

где C_1 , C_2 , C_3 и C_x — емкости плеч, f — частота тока.

Подставляя, получаем

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_x}{C_3},$$

откуда искомое значение емкости

$$C_x = C_1 \frac{C_3}{C_2}.$$

В каких единицах в данном случае измеряются емкости — безразлично, но все обязательно в одинаковых.

В приведенной на рис. 81 схеме, представляющей видоизмененную схему рис. 80, конденсатор C_1 — переменный, а C_2 и C_3 — постоянные. Вращая ручку переменного конденсатора C_1 , следует добиваться пропадания слышимости в телефоне.

Если этого не получается, то изменяют соотношения емкостей плеч C_2 и C_3 , для чего переключатель Π переводят вправо или влево.

Работа с мостовыми схемами требует некоторого навыка: не всегда удастся свести слышимость в телефонах до нуля, иногда приходится довольствоваться лишь понижением слышимости до минимума.

Объясняется это тем, что, уравнивая в схеме емкостные сопротивления, мы еще не осуществляем тем самым уравнивания *активных* сопротивлений конденсаторов. Если бы конденсаторы были идеальными, т. е. без потерь, то слышимость при уравнивании емкостных сопротивлений, в момент, когда удовлетворяется условие

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_x}{C_3},$$

была бы равна нулю. Наличие активных сопротивлений конденсаторов ведет к тому, что между точками, к которым приключен телефон, остается некоторое напряжение и слышимость в телефонах до нуля доведена быть не может.

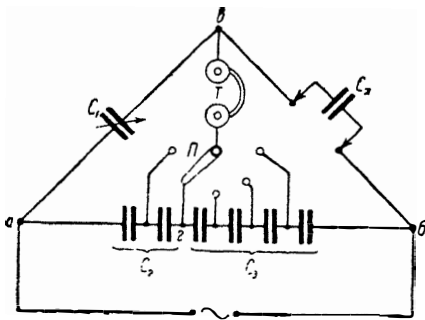


Рис. 81. Видоизменение схемы, представленной на рис. 80

Существуют схемы (в частности, описываемая ниже схема моста Сотти), в которых применяется уравнивание активных сопротивлений конденсаторов. Обычно это простой реостат, включаемый в то или иное плечо схемы. С помощью этого реостата удастся подбирать такой момент, когда в телефонах слышимости совершенно не будет: схема будет уравнена не только по емкостным сопротивлениям, но и по активным.

Такое уравнивание носит название *регулировки* или *компенсации угла потерь* или *фазы*. Идеальный конденсатор создает сдвиг фаз между током и напряжением ровно на 90° , у реального конденсатора этот сдвиг получается, как правило, меньшим на величину угла потерь. Уравнивание схемы по активным сопротивлениям (когда уравнивание по емкостным сопротивлениям уже достигнуто), по существу, сводится к получению точно такого же сдвига фаз, какой создается измеряемым конденсатором. Отсюда получается и название способа — *регулировка* (компенсация) фазы или угла потерь.

На компенсации угла потерь мы более подробно останавливаемся дальше, при описании мостов для измерений индуктивностей (рис. 91 и 92).

Вторая схема (мост Сотти)

Эта схема отличается от только что описанной тем, что сопротивления двух плеч составлены не из емкостей, а из активных сопротивлений R_1 и R_2 (рис. 82). В схеме, кроме измеряемого конденсатора C_x , применяется только один градуированный конденсатор переменной емкости C_s . Из условия равновесия мостовой схемы

$$\frac{x_{C_s}}{R_1} = \frac{x_{C_x}}{R_2},$$

или

$$\frac{1}{2\pi f C_s R_1} = \frac{1}{2\pi f C_x R_2},$$

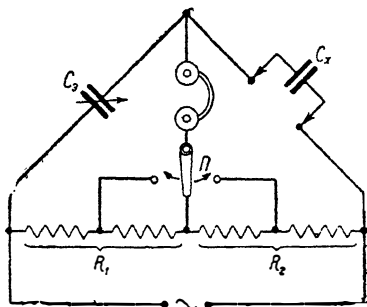


Рис. 82. Принципиальная схема моста Сотти

получаем значение для величины измеряемой емкости C_x

$$C_x = C_s \frac{R_1}{R_2}.$$

Меняя соотношения между сопротивлениями R_1 и R_2 , мы производим грубую (скачками) регулировку схемы. Плавное изменение данных схемы и окончательный баланс схемы достигаются изменением емкости конденсатора C_s . Величина C_x выражается в тех же единицах, в которых выражена величина емкости C_s .

Перед использованием схемы в целях проверки надлежит осуществить градуировку: включать заранее известные величины емкостей вместо C_x и записывать получающиеся значения, вместе с значениями C_s , R_1 и R_2 . С полученным графиком градуировки можно затем осуществлять измерения и без вычислений по приведенной выше формуле.

На рис. 83 мы приводим схему моста Сотти, изготовленного лабораторией журнала „Радиофронт“¹⁾. Диапазон измерений — от 5 до 10000 мкмкф. Основные данные указаны на самой схеме. В схеме применены два переключателя: Π_1 , с помощью которого сопротивления плеч R_1 и R_2 меняются местами, и Π_2 , который

позволяет изменять соотношение между сопротивлениями плеч. При переводе переключателя Π_1 в правое положение плечо R_1 становится противоположащим по отношению к плечу с конденсатором C_s ; когда этот переключатель переведен влево, то противоположащим будет уже плечо R_2 . Так как основной формулой, по которой определяется величина емкости C_x в этой схеме (рис. 83), будет

$$C_x = C_s \frac{R_2}{R_1},$$

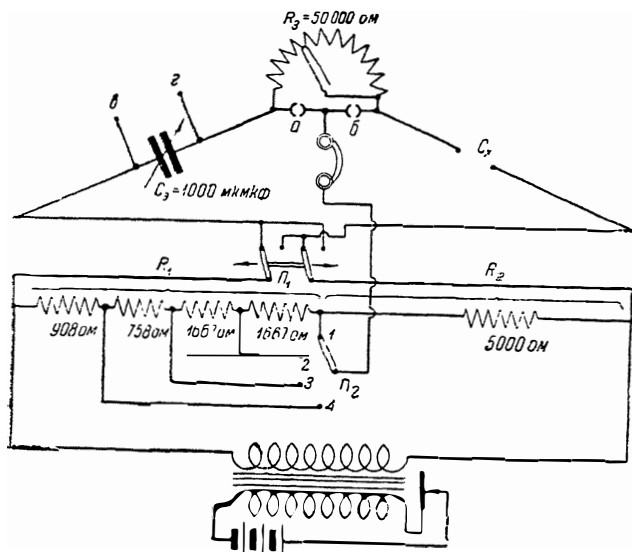


Рис. 83. Схема моста Сотти, изготовленного лабораторией журнала „Радиофронт“

то такие переключения, означающие перемену местами числителя и знаменателя в этой формуле, позволят расширить пределы измерений в сторону больших и меньших значений. Чем больше R_2 , тем большее значение C_x может быть измерено (переключатель Π_1 для этого должен быть переведен в правое положение). Наоборот, при переводе переключателя влево мы относительно увеличиваем сопротивление R_1 , что позволит измерять емкости, значительно меньшие величины C_s .

Когда переключатель Π_2 находится в положении, обозначенном цифрой 1, то сопротивления плеч равны; в этом случае величина C_x в момент баланса равна величине C_s . При переводе Π_2 в положение 2 сопротивление R_2 становится в два раза больше сопротивления R_1 — соответственно величины C_x будут в два

1) См. библиогр. перечень, В7

раза больше величин C_2 . Для положений 3 и 4 это соотношение получается соответственно в 5 и 10 раз бóльшим.

Диапазон измерений можно еще более расширить, если к клеммам вг присоединять емкости, так как при этом результирующая

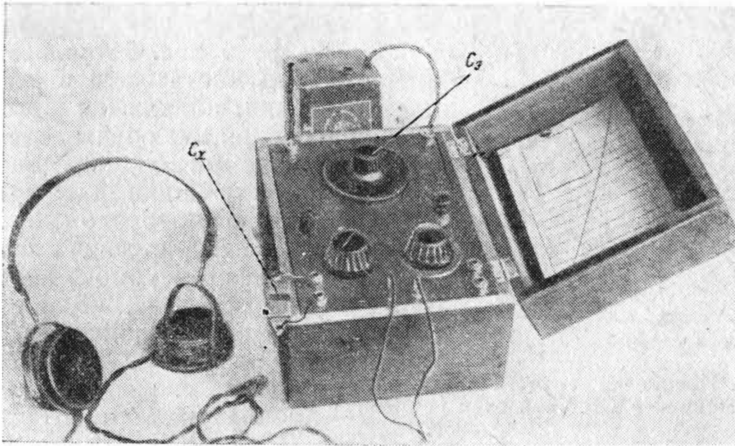


Рис. 84. Мост Соти, изготовленный лабораторией журнала „Радио-фронт“. Общий вид

емкость C_2 будет увеличиваться. Этой же схемой станет возможным измерять емкости микрофарадных конденсаторов, если

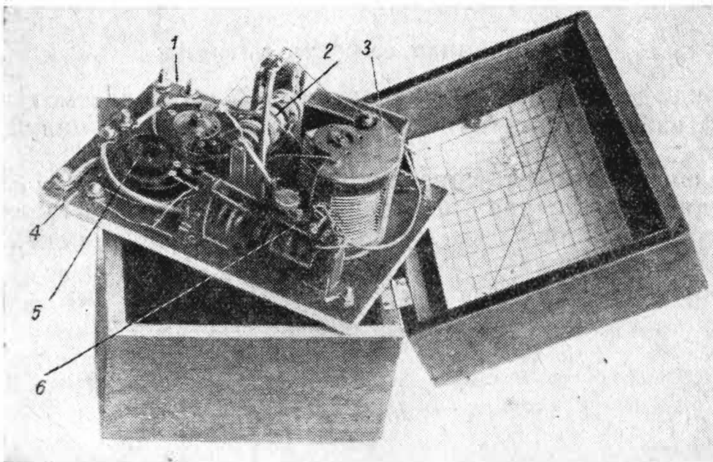


Рис. 85. Мост Соти, изготовленный лабораторией журнала „Радио-фронт“. Расположение деталей

подключить к переменному конденсатору C_2 , микрофарадный конденсатор с известной по величине емкостью.

Сопrotивление R_3 служит для компенсации потерь в измеряемом конденсаторе C_x . Оно может переключаться из плеча с C_x в плечо с C_2 переставлением штепселя из гнезда a в гнездо b .

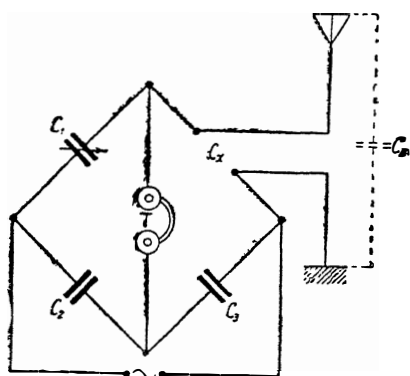


Рис. 86. Измерение емкости антенны с помощью мостовой схемы

C_2 , 4 — клеммы для подключения C_x , 5 — сопротивление R_3 (см. рис. 83) и 6 — зуммер.

На фото рис. 84 показан общий вид моста Соти в рабочем состоянии: подключен источник напряжения, включены телефоны и измеряемый конденсатор. Внутри крышки ящика виден график, с помощью которого по положению регулирующих ручек определяют искомое значение емкости. На рис. 85 показано внутреннее устройство этого моста: цифрой 1 обозначены клеммы ag (см. рис. 83), цифрой 2 — проволочные сопротивления плеч R_1 и R_2 , 3 — конденсатор

Измерение емкости антенны

Емкость (статическая) антенны может быть определена с помощью измерения по описанной выше схеме. Необходимые в этом случае соединения указаны на рис. 86.

Собственная емкость катушек

В заключение главы об измерениях емкостей рассмотрим вопрос об измерении собственной емкости катушек индуктивностей.

В зависимости от конструкции катушка может обладать различной по величине собственной емкостью. С этим обстоятельством приходится считаться, особенно при проведении резонансных измерений.

В формулы

$$C = \frac{250l^2}{L}$$

и

$$L = \frac{250\lambda^2}{C},$$

полученные из условия резонанса колебательного контура, следует ввести поправки: в обоих случаях под емкостью C следует понимать не только емкость конденсатора контура, но

общую емкость контура, в которую входит и собственная емкость катушки C_k и емкость монтажа C_m (емкость между проводами схемы и т. д.). Таким образом,

$$C = C_{конд} + C_k + C_m.$$

В ряде случаев емкостью C_m оказывается возможным пренебречь, но емкостью катушки пренебрегать не всегда удается, особенно если эта катушка многослойная. У однослойных цилиндрических контурных катушек C_k достигает величины 15—20 см, у соловых — порядка 35—40 см, у многослойных катушек она еще больше.

Приводим описание способа Ритца, позволяющего определить собственную емкость катушки индуктивности при условии, что частота, на которой производится измерение, не выше одной трети собственной частоты катушки. Составляют схему (рис. 87), в которой C_s — градуированный конденсатор переменной емкости и L — измеряемая катушка. Пунктиром обозначена собственная емкость катушки.

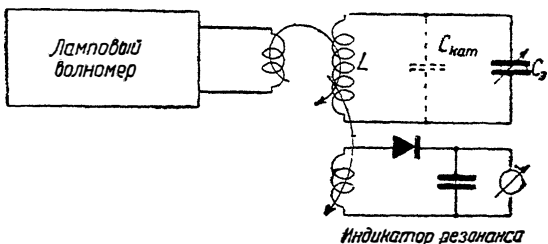


Рис. 87. Измерение собственной емкости катушек индуктивности

Определяют резонансную частоту контура при какой-то величине C_s . Затем, изменяя на значительную величину емкость C_s , производят определение резонансной частоты при новом значении C_s , равном C_s'' .

Собственную емкость катушки определяют по формуле

$$C_k = \frac{\lambda_2^2 C_s' - \lambda_1^2 C_s''}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2},$$

где C_k , C_s' и C_s'' — в сантиметрах емкости и λ_1 и λ_2 — в метрах длины.

Пример. К катушке подключается конденсатор емкостью $C_s = 200$ см. Общая емкость контура получилась равной $C_s' + C_k$. Предположим, что при этом собственная частота колебаний контура такова, что $\lambda_1 = 1000$ м. Затем, после изменения емкости параллельно приключенного конденсатора, например до $C_s'' = 400$ см, контур оказался настроенным на волну $\lambda_2 = 1355$ м. Тогда

$$C_k = \frac{\lambda_2^2 C_s' - \lambda_1^2 C_s''}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} = \frac{1355^2 \cdot 200 - 1000^2 \cdot 400}{1000^2 - 1355^2} = \frac{-0,33 \cdot 10^8}{-0,83 \cdot 10^6} = 39,8 \approx 40 \text{ см.}$$

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Методы измерения индуктивностей¹⁾ катушек могут быть разделены на такие же группы, как и методы измерения емкостей:

- а) путем измерения тока и напряжения,
- б) резонансные методы и
- в) измерения мостовыми схемами.

Измерение индуктивностей по току и напряжению

Этот способ может быть применен как для измерения больших индуктивностей (катушки с железными сердечниками) на 50-герцном токе, так и для измерения индуктивностей контурных катушек на высокой частоте.

Через измеряемую катушку пропускают переменный ток I_L частоты f и ламповым вольтметром измеряют получающееся при этом падение напряжения U_L на катушке. Очевидно, что величина этого напряжения будет равна произведению силы тока через катушку (в амперах) на индуктивное сопротивление x_L последней (в омах), т. е.

$$U_L = I_L \cdot x_L = I_L \cdot 2\pi f L,$$

где U_L — напряжение в вольтах; I_L — сила тока в амперах; x_L — индуктивное сопротивление в омах; $\pi = 3,14$; f — частота тока в герцах и L — индуктивность в генри.

Из этой формулы следует, что искомое значение индуктивности будет равно

$$L = \frac{U_L}{2\pi f I_L}.$$

Итак, чтобы величина L стала известной, надо определить три величины: f , U_L и I_L . Напряжение U_L , как мы уже указывали, измеряется вольтметром. Силу тока I_L через катушку надо измерить с помощью миллиамперметра, измеряющего переменный ток. Частота f должна быть известна, поскольку мы пользуемся каким-либо определенным источником тока (на низкой частоте — от сети переменного 50-герцного тока, на высокой частоте — ламповым волномером).

Резонансные методы

Резонансные методы измерений нами уже разбирались при описании способов измерения емкостей. Здесь мы ограничимся приведением нескольких таких методов для измерения индуктивностей катушек. Отметим, что такими способами можно из-

¹⁾ См. сноску на стр. 11.

мерять катушки только контурного типа (т. е. высокочастотные катушки): ни дроссели, ни трансформаторы с железом такими способами измерены быть не могут, так как чем больше величина индуктивности какой-либо катушки, дросселя и т. п., тем на более низких частотах может иметь место резонанс. А на низких частотах резонансные явления выявляются не столь резко, как в области радиочастот.

Первый способ

Составляется схема (рис. 88), в которой использованы: а) какой-либо источник переменного тока высокой частоты (частота эта должна быть известна; лучше всего для этого воспользоваться ламповым волномером); б) колебательный контур, составленный из известной по величине емкости (назовем ее эталонной емкостью — $C_э$) и измеряемой катушки L_x , индуктивность которой должна быть определена.

Колебательный контур слабо связывается с контуром лампового волномера. Далее частота колебаний лампового волномера изменяется до получения резонанса в контуре $L_x C_э$.

Определив частоту резонанса, величину L_x вычисляем по формуле, представляющей собой условие резонанса

$$L_x = \frac{250 \lambda^2}{C},$$

где L_x — индуктивность в сантиметрах, λ — длина волны в метрах и C — емкость контура в сантиметрах.

Емкость контура C состоит из емкости конденсатора $C_э$ и собственной емкости катушки C_k , т. е. $C = C_э + C_k$. Об измерении собственной емкости катушек — см. стр. 92.

Можно осуществить эти измерения несколько иначе, избегая необходимость измерения собственной емкости катушки. Для этого производят не одно измерение, а два: первое — как описано выше, а второе — с другим, *уменьшенным* значением $C_э$. Предположим, что при первом измерении мы получили следующие данные: резонанс на волне λ_1 , величина емкости $C_э = C_1$.

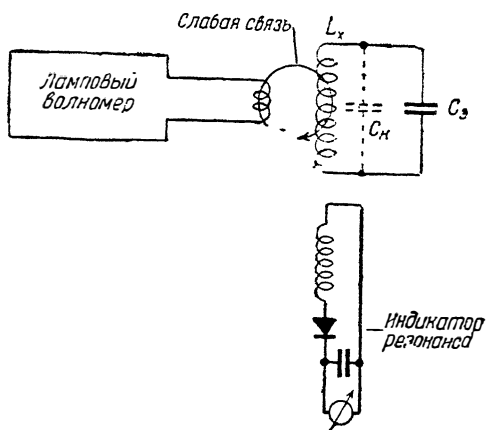


Рис. 88. Измерение L_x по резонансу контура с эталонной емкостью $C_э$

При втором измерении мы получаем: резонанс на волне λ_2 , величина емкости $C'_2 = C_2$. Тогда искомое значение индуктивности катушки (в сантиметрах) будет равно

$$L_x = \frac{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}{4\pi^2 (C_1 - C_2)},$$

где величина C_1 и C_2 — в сантиметрах емкости, а λ_1 и λ_2 — в сантиметрах длины.

Второй способ — способ фильтр-пробки

Укажем еще один способ резонансного определения индуктивности катушек контурного типа. Приемник (без АРГ — автоматического регулятора громкости) настраивается точно на частоту какой-либо радиостанции и затем в течение всего времени, пока производятся измерения, совершенно не перестраивается.

После этого антенна отключается и между концом ее и клеммой А (рис. 89), к которой была присоединена антенна, включается градуированный конденсатор переменной емкости C_p . Параллельно конденсатору подключается измеряемая катушка L_x . Получается заграждающий фильтр — „фильтр-пробка“.

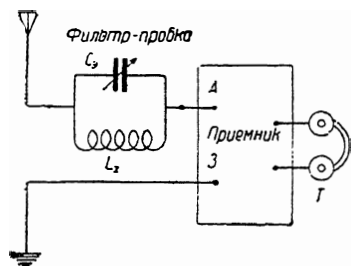


Рис. 89. Измерение L_x способом использования фильтр-пробки

Продолжая вести прием станции на головные телефоны (можно и на громкоговоритель, но это несколько уменьшит точность измерений), вращают ручку градуированного конденсатора C_p до тех пор, пока не получится резкого пропадания слышимости станции. При полном пропадании слышимости (или при минимальной слышимости) контур, составленный из градуированного конденсатора C_p и измеряемой катушки L_x , окажется настроенным в резонанс с частотой колебаний принимаемой станции. Зная эту частоту или длину волны (по списку станций), зная емкость градуированного конденсатора C_p (по графику градуировки), измеряемое значение индуктивности катушки найдем по известной формуле (см. выше)

$$L = \frac{250\lambda^2}{C_p + C_k}.$$

Этим же способом можно измерять и емкости конденсаторов, если в распоряжении радиолюбителя имеется переменная индуктивность (вариометр). При наличии постоянной индуктивности такие измерения осуществлять затруднительно, так как может получиться, что на частоте, на которую оказался настроенным фильтр-пробка, не работает ни одна станция.

жет служить лишь в качестве одного соединительного проводника. Рекомендуется схему располагать не в ящике малых размеров, а на поверхности доски размерами 60×60 см или даже больше.

Показанное на рис. 90 сопротивление R_n служит для того, чтобы скомпенсировать активное сопротивление катушки, образованное эквивалентным сопротивлением потерь этой катушки. Без этого сопротивления возможно, как правило, только ослабление слышимости, но не полное пропадание. Изменяя же одновременно величину этого сопротивления, можно слышимость свести практически до нуля.

Для измерения индуктивностей по этому методу с большим удобством можно воспользоваться мостом Кольрауша (см. стр. 74).

Вторая схема (мост Максвелла)

Опишем довольно часто применяемую схему с эталонной емкостью — мост Максвелла (рис. 91). Эта схема в двух плечах имеет активные сопротивления R_1 и R_2 ; в третьем плече

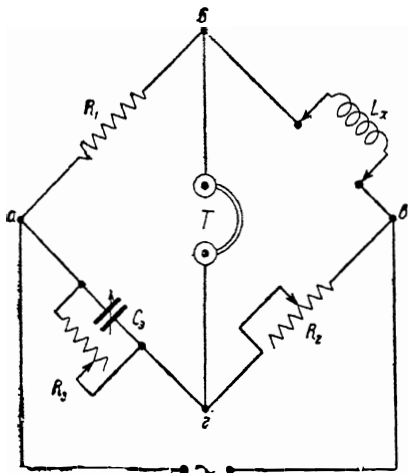


Рис. 91. Измерение L_x в схеме моста Максвелла с эталонной емкостью C_0

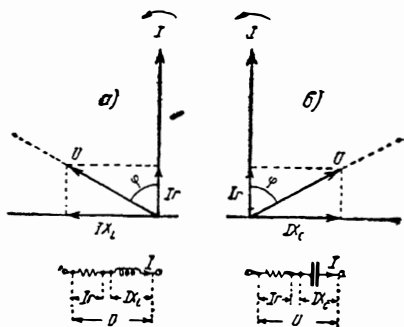


Рис. 92. Векторные диаграммы: а) прогекание переменного тока по цепи, содержащей активное сопротивление r и индуктивное сопротивление x_L , б) содержащей активное сопротивление r и емкостное сопротивление x_C

че — переменный градуированный конденсатор C_0 и параллельно ему приключенное активное сопротивление R_3 . В четвертое плечо включается измеряемая катушка индуктивности — L_x .

Отсутствие слышимости в телефонах можно получить в том случае, если в любой момент времени напряжение между точками b и z схемы будет равно нулю. Это условие будет выполнено, если падения напряжений в плечах ab и az будут не только равны по величине, но и *синфазны*, т. е. одновременно будут достигать нулевых и однозначных амплитудных значений.

Равенство падений напряжений в плечах ab и ag достигается изменением величин R_1 , R_2 и C_3 . Синфазность напряжений обеспечивается самой схемой.

Вектор падения напряжения на индуктивности L_x на такой же фазовый угол опережает вектор падения напряжения на активном сопротивлении R_1 ; на какой вектор падения напряжения на активном сопротивлении R_2 опережает вектор падения напряжения на эталонной емкости C_3 .

Чтобы это представить более ясно, следует вспомнить, что в цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление r и индуктивность L (рис. 92а), вектор тока отстаёт от вектора приложенного напряжения, а в цепи, содержащей активное сопротивление r и емкость C (рис. 92б), вектор тока опережает вектор приложенного напряжения. Следовательно, вектор падения напряжения на активном сопротивлении $-Ir$, совпадающий по фазе с вектором тока I в цепи, в первом случае будет отставать от вектора падения напряжения на индуктивности IxL_x , а во втором случае — опережать вектор падения напряжения на емкости IxC_c .

Из условия баланса схемы величина индуктивности L_x определится следующей формулой

$$L_x = C_3 \cdot R_1 \cdot R_2,$$

где L_x — в генри, C_3 — в фарадах, а R_1 и R_2 — в омах.

Приводим краткое описание моста Максвелла, конструктивно разработанного лабораторией журнала „Радиофронт“ (более подробные сведения и указания читатель найдет в номере 7 этого журнала за 1938 г.).

Схема приведена на рис. 93, а общий вид и вид на панель снизу — на рис. 94 и 95. Диапазон измеряемых значений индуктивностей — от 0,01 до 0,5 гн.

Данные схемы следующие:

$r_1 = 1000 \text{ ом}, \quad r_2 = 5000 \text{ ом},$
 $r_3 = 10000 \text{ ом}, \quad r_4 = 50000 \text{ ом},$
 $r_5 = 1000 \text{ ом}, \quad r_6 = 10000 \text{ ом},$
 $r_7 = 50000 \text{ ом},$

Переменное сопротивление R_3 , компенсирующее потери в измеряемой катушке, равно $1\frac{1}{2} - 2 \text{ мгом}$. Емкость эталонного градуированного конденсатора C_3 , порядка от 500 до 1000 см.

Изменение диапазонов измерений производится с помощью штепсельной вилки (штырьки вилки не закорачиваются), вставляемой в одну из пяти пар гнезд (см. рис. 94 и 95, посредине). Конструктивно система переключения диапазонов устроена так, что когда в плече R_1 оказывается включенным лишь одно сопротивление r_1 , то в плече R_4 в этот момент включено лишь одно сопротивление r_5 . При переходе в иное положение, когда в плече R_1 включено сопротивление r_3 , в

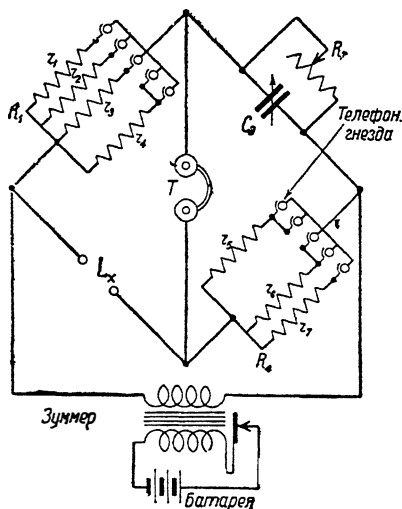


Рис. 93. Схема моста Максвелла лаборатории журнала „Радиофронт“

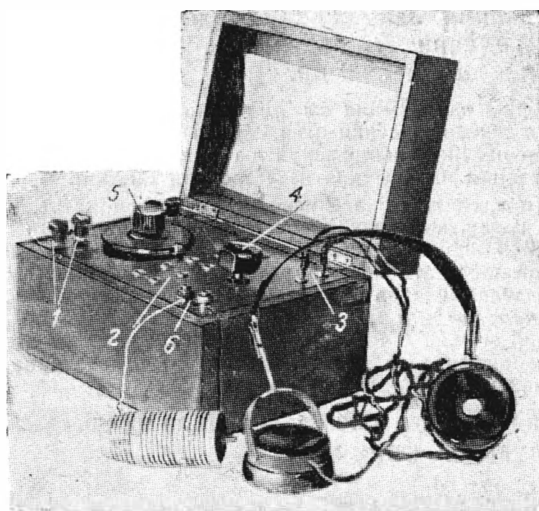


Рис. 94. Мост Максвелла, изготовленный в лаборатории журнала „Радиофронт”
Общий вид

1 — клеммы для подключения батареи, 2 — переключение пределов измерений (телефонные гнезда), 3 — гнезда для включения телефонов, 4 — сопротивление R_3 , 5 — эталонный конденсатор C_3 , 6 — гнезда для подключения измеряемой катушки

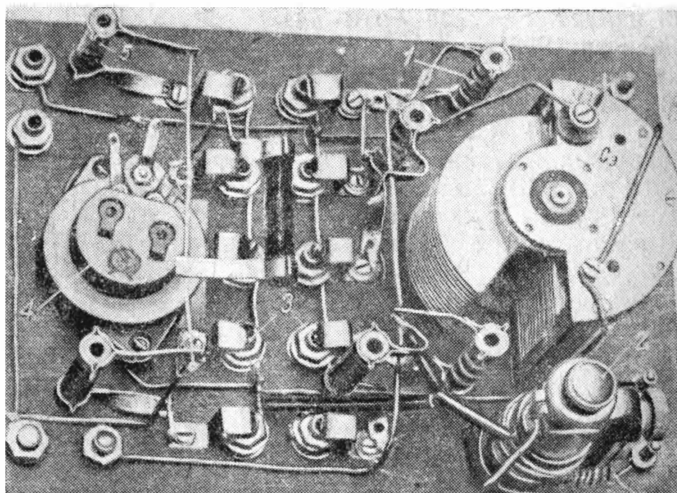


Рис. 95. Мост Максвелла, изготовленный в лаборатории журнала „Радиофронт”. Вид снизу

1 — одно из сопротивлений плеча R_4 , 2 — зуммер, 3 — телефонные гнезда переключателя пределов измерений, 4 — сопротивление R_3 , 5 — одно из сопротивлений плеча R_1

плече R_4 включено r_3 ; если в плече R_1 включено сопротивление r_3 , то в плече $R_4 - r_6$ и с сопротивлением r_4 одновременно оказывается включенным сопротивление r_7 .

Можно воспользоваться основными данными этой схемы и самому разработать конструкцию мостика. Напомним, что в данном случае, как и во всех ранее приведенных, точному подбору сопротивлений (можно использовать сопротивления типа СС) надлежит уделить особое внимание.

Измерение индуктивности антенны

Величина (статической) индуктивности антенны L_A может быть определена следующим образом: сначала измеряют собственную длину волны антенны λ_0 (см. стр. 124). Затем в цепь антенны (рис. 96) включают катушку с известной по величине индуктивностью L_s и снова определяют собственную длину волны — пусть это будет какая-то иная — большая — величина λ_1 . Искомое значение L_A можно подсчитать по формуле

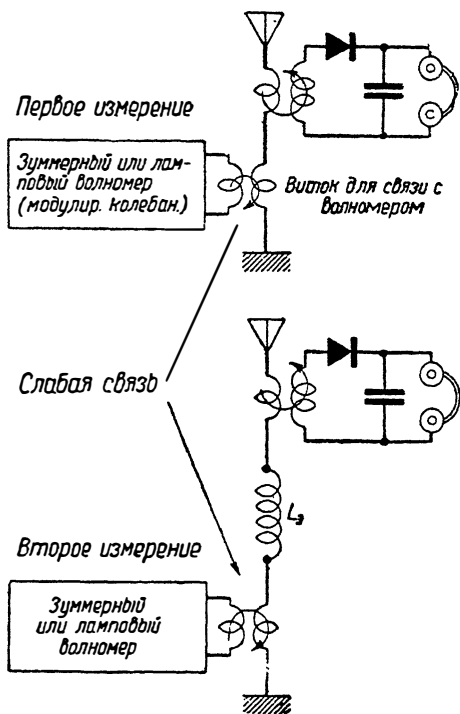


Рис. 96. Измерение индуктивности антенны

$$L_A = L_s \frac{\lambda_0^2}{\lambda_1^2 - \lambda_0^2},$$

где L_A и L_s — в сантиметрах индуктивности, а λ_0 и λ_1 в сантиметрах длины.

Измерение индуктивностей катушек с железными сердечниками, по обмоткам которых протекает постоянный ток

В практике радиолюбительских измерений довольно часто приходится встречаться с необходимостью измерения индуктивности какого-либо трансформатора или дросселя с железом. Такого рода измерения осложняются тем, что в большинстве случаев по обмотке таких трансформаторов или дросселей в рабочих условиях протекает постоянный ток, создающий постоянное магнитное поле (подмагничивание). Это значительно

изменяет величину индуктивности и пользоваться обычными методами измерения, описанными выше, не представляется возможным. Приходится при измерениях ставить трансформатор или дроссель в такие же условия, в которых происходит его нормальная работа. Иными словами, надо знать, какой силы постоянный ток протекает через данный трансформатор и в момент производства измерений установить через обмотку постоянный ток такой же величины. А так как самое измерение индуктивности возможно только на переменном токе, то, очевидно, через обмотку придется одновременно пропускать два тока: постоянный и переменный.

Опишем способ измерений, являющийся одним из наиболее удобных. Схема, которую нужно составить в данном случае, приведена на рис. 97. Самое измерение осуществляется по уже ранее описанному способу определения величины индуктив-

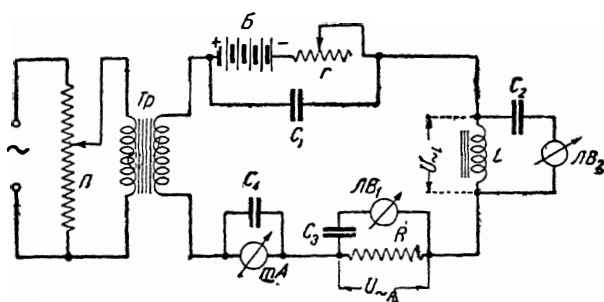


Рис. 97. Измерение индуктивности катушки с железным сердечником, по обмотке которой протекает постоянный ток

ности по току и напряжению, т. е. пользуясь известным соотношением

$$L = \frac{U_{\sim L}}{2\pi f I_{\sim}}$$

с помощью приборов определяют $U_{\sim L}$ — переменное напряжение на индуктивности и I_{\sim} — силу переменного тока через индуктивность. Так как частота переменного тока обычно известна (с большим удобством можно воспользоваться напряжением осветительной сети; в этом случае $f = 50$ гц), то величина L в результате этих измерений становится известной.

Чтобы вольтметр LB_2 , измеряющий переменное напряжение на индуктивности, не измерял бы одновременно постоянного напряжения, его приключают через конденсатор большой емкости (C_2 на рис. 97). Этот вольтметр — ламповый. Можно применить описанный нами на стр. 65 диодный вольтметр с емкостным входом, — в этом случае отпадает надобность во включении C_2 .

Измерение переменного тока, протекающего через индуктивность, осуществляется в рекомендуемой схеме также с по-

мощью вольтметра ($ЛВ_1$). Этот вольтметр защищается конденсатором C_3 от постоянного напряжения. Приключается $ЛВ_1$, как показывает схема, параллельно сопротивлению R , величина которого точно известна. Определяя переменное напряжение $U_{\sim L}$ на концах этого сопротивления, зная величину этого сопротивления и пользуясь законом Ома, силу тока I_{\sim} определяют вычислением по формуле

$$I_{\sim} = \frac{U_{\sim R}}{R},$$

где I_{\sim} — сила переменного тока в амперах, $U_{\sim R}$ — напряжение в вольтах, R — сопротивление в омах.

Для того, чтобы установить через измеряемую индуктивность *постоянный* ток необходимой величины, в цепь включают МЭ прибор, шунтируемый большой емкостью, — прибор mA .

Порядок измерения следующий: сначала с помощью реостата r устанавливают — по прибору mA — требуемую силу *постоянного* тока. Затем подают к схеме переменное напряжение, постепенно увеличивая его с помощью потенциометра Π , включенного в первичную обмотку трансформатора Tr (этот трансформатор преграждает путь постоянному току к источнику переменного тока). Следя за показаниями приборов $ЛВ_1$ и $ЛВ_2$, величину силы переменного тока устанавливают такой, при которой практически работает данная индуктивность.

Величина постоянного сопротивления R выбирается исходя из таких соображений, чтобы переменное напряжение на его концах могло бы быть измерено с помощью применяющегося вольтметра (рекомендуется триодный вольтметр). Емкости C_1 , C_2 , C_3 и C_4 — не менее 2 — 4 $\mu\text{кф}$.

Пример. Измеряется индуктивность, через которую в рабочих условиях протекает постоянный ток силой $I_{\sim} = 15 \text{ ма}$ и переменный ток $I_{\sim} = 5 \text{ ма}$ (от осветительной сети). Ламповый вольтметр $ЛВ_1$ имеет шкалу до 1,5 в. Чтобы показание (для удобного отсчета) составляло около 1,2—1,4 в, сопротивление R должно быть равно

$$R = \frac{U_{\sim R}}{I_{\sim}} = \frac{1,4}{0,005} = 280 \text{ ом}.$$

Предположим, что ламповый вольтметр $ЛВ_2$ показывает, что переменное напряжение на индуктивности равно 30 в. Тогда

$$L = \frac{U_{\sim L}}{2\pi f I_{\sim}} = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,005} = 19,2 \text{ гн}.$$

ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ И ДЛИН ВОЛН

Измерения частот и длин волн для радиолюбителя являются одними из наиболее существенных. Эти измерения нужны ему не только для того, чтобы определить, на какой волне работает принимаемая им станция или проградуйровать свой радиоприемник, но и для того, чтобы осуществить ряд других измерений, в частности, измерение емкости или индуктивности резонансными способами.

Помещаемыми здесь сведениями мы далеко не охватываем всех способов и средств измерения частот и длин волн, ограничиваясь описанием наиболее простых и доступных радиолюбителю.

Все описываемые нами методы измерения частот могут быть разбиты на две группы:

- а) измерение частот путем сравнения с другой, известной частотой. Эта группа способов охватывает весь диапазон частот, от самых низких и до самых высоких радиочастот;
- б) резонансные методы, применяемые в основном, в отношении радиочастот.

Измерение частот методами их сравнения

Измерение радиочастот

В основу методов сравнения частот легло явление биений. Как должно быть известно читателю из основ радиотехники, это явление заключается в том, что если к детектору подвести одновременно два различных по частоте колебания (рис. 98), то на выходе детектора появятся колебания, частоты которых равны сумме и разности первых двух частот. Предположим, что одно колебание имеет частоту $f_1 = 100$ кГц, а другое $f_2 = 95$ кГц. В результате детектирования получатся колебания с частотами $f_3 = f_1 + f_2 = 100 + 95 = 195$ кГц и $f_4 = f_1 - f_2 = 100 - 95 = 5$ кГц. Если ток, частота которого равна 5 кГц, подвести к телефонной трубке или к громкоговорителю, то мы услышим звук соответствующей высоты тона. Колебание f_3 , представляющее собой сумму двух первых, как выходящее по частоте за пределы звукового диапазона, нами услышано быть не может.

Итак, в результате детектирования сложного колебания высокой частоты мы получили колебание низкой частоты — f_4 .

Если разность между частотами сделать равной нулю, т. е. подвести к детектору два колебания совершенно одинаковой частоты, то, очевидно, слышимости в телефонах никакой не получится. Такие биения носят название нулевых. Этот момент характеризуется тем, что при изменении одной частоты относительно другой мы в телефоне услышим звук, частота которого будет повышаться по мере расхождения частот. Если расхожде-

ние между частотами не велико и не превышает 15—20 гц, то наше ухо такого расхождения совершенно не обнаружит (так как такие низкие частоты нами слышимы). Если же разность частот составит более 20—30 гц, то мы в телефонах услышим тон сначала самой низкой частоты, а затем, при дальнейшем расхождении частот, все более высоких звуковых частот, пока разность частот не превысит верхний предел слышимых нами

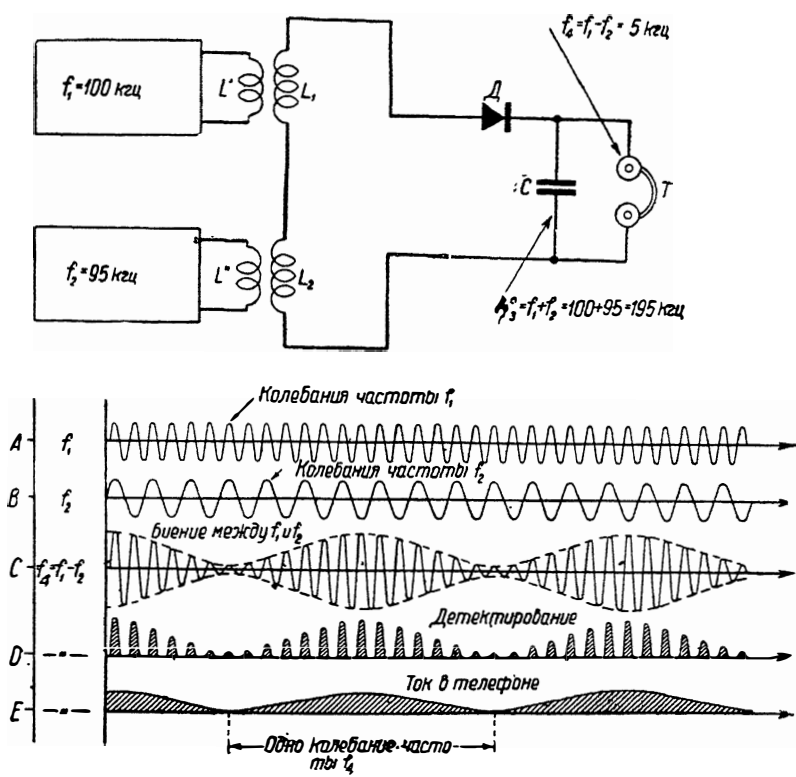


Рис. 98. Принцип получения биений между электрическими колебаниями различных частот

звуковых частот (15—18 тыс. герц) и мы снова не потеряем возможность их слышать.

Получая нулевые биения, мы делаем частоты равными. Если одна из частот известна, то тем самым станет известна другая частота, которая создает нулевые биения с известной частотой. На этом принципе и основано измерение частот сравнением.

Если измеряемая частота не дает нулевых биений с постоянной стандартной частотой, то можно определить разностную частоту — разностный тон биений, — и этим воспользоваться для определения измеряемой частоты.

Точность измерения частот по методу сравнения и, в частности, по методу нулевых биений, может быть очень большой и определяется, главным образом, той точностью, с которой ранее была определена стандартная частота. Мы уже указывали, что отклонения измеряемой частоты от стандартной (при получении нулевых биений) в 20 гц наше ухо не отметит. Если расхождение получается несколько больше, то мы уже получим возможность на это реагировать и соответственно изменить стандартную частоту до совпадения ее с измеряемой.

Разность частот при настройке на нулевые биения можно свести практически к нулю, если вместо телефонов включить прибор-индикатор МЭ системы. Этот прибор, как известно, измеряет только постоянный ток. Но, как мы указывали, стрелка прибора успеет следовать за изменениями тока, если частота этих изменений не превышает 2—3 гц. При таком расхождении частот (стандартной и измеряемой) прибор отметит это колебаниями стрелки, причем по мере еще большего приближения стандартной частоты к измеряемой, колебания будут все более медленными и, наконец, при полном совпадении частот стрелка остановится неподвижно. Это и будет соответствовать моменту нулевых биений.

При измерении высоких частот методом их сравнения расхождение в 20—30 гц составляет ничтожный процент: так, при измерении частоты порядка 1 000 000 гц (волна 300 м) расхождение на 20 гц составит лишь $20 : 1\,000\,000 = 0,00002 = 0,002\%$.

Некоторые радиостанции по заранее публикуемым расписаниям излучают стандартные высокие частоты, т. е. излучают лишь одну несущую частоту (незатухающие колебания), без модуляции. Различные лаборатории в эти моменты сверяют градуировку своих приборов, пользуясь описанным методом нулевых биений.

Для радиолобительских измерений вполне достаточная точность получится в том случае, если в качестве стандартных высоких частот воспользоваться несущими частотами радиовещательных станций, в особенности мощных (Москва РВ-1, Минск РВ-10, Ленинград РВ-53, Москва РВ-49, Киев РВ-87 и др.).

Гораздо удобнее со всех точек зрения иметь в распоряжении свой источник высокочастотных колебаний, градуировку которого время от времени можно было бы сверять с другим, более стабильным (т. е. постоянным по частоте) источником — лабораторным источником или же с частотами радиостанций. В радиолобительской практике в качестве такого источника применяют ламповые или так называемые гетеродинные волномеры.

Ламповый волномер

Ламповым или гетеродинным волномером называется ламповый генератор высокочастотных колебаний, частоты которых заранее известны. С этой точки зрения всякий маломощный ламповый высокочастотный генератор может быть назван лам-

повым волномером, если только этот генератор проградуирован, т. е. если для каждого положения органов настройки, изменяющих частоту, известна генерируемая частота. Никакого принципиального отличия между высокочастотным генератором передатчика и ламповым волномером, по существу, нет. Но к ламповому волномеру зачастую предъявляются более высокие требования в отношении стабильности частоты, нежели, например, к генератору передатчика.

На рис. 99 мы приводим принципиальную схему лампового волномера, которая в то же время представляет собой и принципиальную схему высокочастотного лампового генератора с самовозбуждением. Частота генерируемых колебаний изменяется настройкой контура LC точно таким же образом, как это имеет место в обычных генераторах.

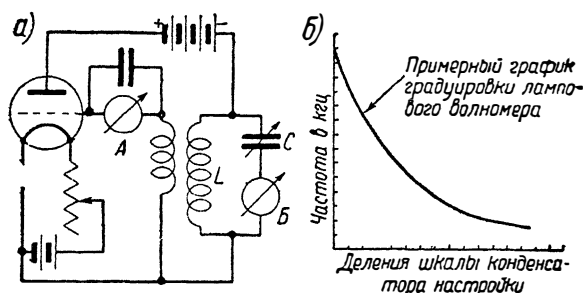


Рис. 99. Принципиальная схема и примерный график градуировки лампового волномера. Прибор А измеряет постоянную слагаемую сеточного тока, прибор Б — силу колебательного тока в контуре

Отсутствие принципиальных различий между обычным ламповым генератором и ламповым волномером избавляет нас от необходимости останавливаться на описании работы лампового волномера.

Практически, однако, конструкция лампового волномера должна быть более тщательно продумана, нежели конструкция простого генератора в передатчике. Необходимость применения экранировки является безусловной, так как работа с плохо экранированным ламповым волномером не даст нужных результатов. Кроме того, необходимо применять только хорошие, проверенные детали, в особенности переменные конденсаторы. Аккуратным должен быть монтаж; все соединения следует пропаять.

Приводим краткое описание лампового волномера, разработанного лабораторией журнала «Радиофронт» (см. № 14 за 1938 г.).

Этот волномер имеет три диапазона частот: 20—55 мгц (15—55 м), 1670—460 кц (180—650 м) и 500—150 кц (600—2000 м). Принципиальная схема этого волномера приведена на рис. 100. Ламповый волномер, работающий по схеме генератора с само-

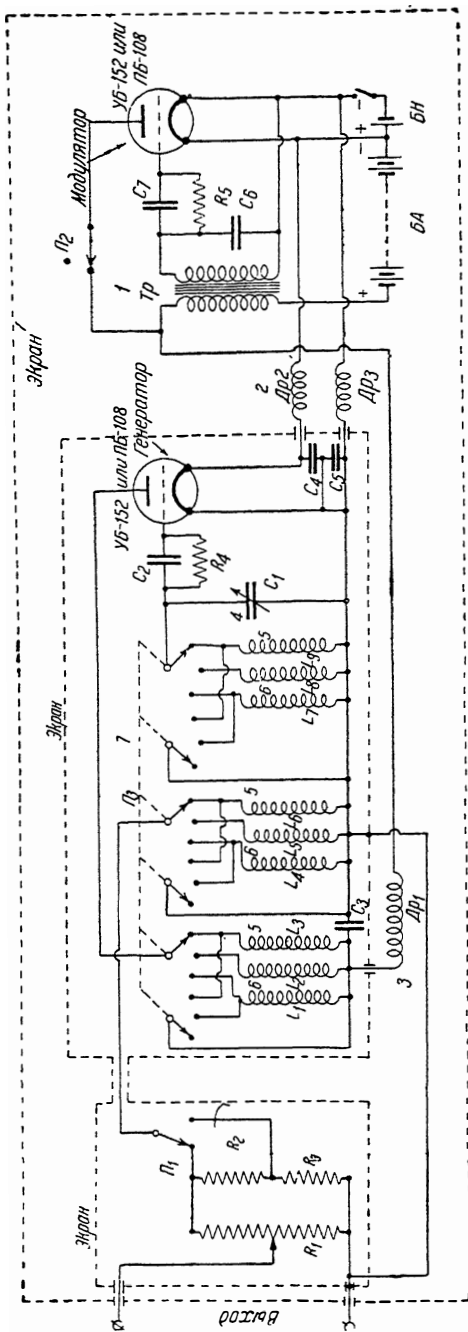


Рис. 100. Принципиальная схема лампового волномера (тэст-сигнала), изготовленного лабораторией журнала «Радиофронт»

возбуждением на лампе ПБ-108 (можно применить лампы типа УБ-152, УБ-107 и УБ-110, но это менее выгодно в отношении питания), показан на схеме посредине. Он весь заключен в экран, обозначенный пунктиром. Анодное напряжение на лампе ПБ-108—60 в. Колебательный контур этого генератора составлен из хорошего воздушного переменного конденсатора C_1 с максимальной емкостью порядка 450—500 см и минимальной — порядка 12—15 см, и катушек L_7 , L_8 и L_9 — соответственно на три диапазона. L_1 , L_2 и L_3 — анодные диапазонные катушки, L_4 , L_5 и L_6 — катушки связи с контуром волномера.

В правой части схемы — модулятор, — звуковой генератор, собранный по схеме с самовозбуждением, работающий на лампе ПБ-108 (можно также применить лампы УБ-152, УБ-107 и УБ-110) и генерирующий колебания постоянной частоты, равной приблизительно 400 гц, и не содержащий поэтому никаких органов настройки. Колебания этого генератора модулируют высокочастотные колебания волномера, т. е. на выходе всего устройства получаются не просто высокочастотные колебания определенной частоты, но модулированные колебания. Достаточно эти.

денной частоты, но модулированные колебания. Достаточно эти.

колебания продетектировать (хотя бы с помощью обычного детекторного приемника), чтобы в телефонах услышать 400-герцовый тон модуляции.

Модуляция в описываемом волномере применена потому, что этот прибор (названный тест-сигналом) предназначен для *наладки* приемников, когда удобнее пользоваться именно модулированными колебаниями. Для целей осуществления *измерений* частоты высокочастотных колебаний по методу нулевых биений модуляция становится ненужной, поэтому при использовании этого тест-сигнала для указанных измерений следует размыкать выключатель L_2 .

В левой части схемы — выходное регулирующее устройство, с помощью которого можно изменять величину напряжения высокочастотных колебаний на выходе.

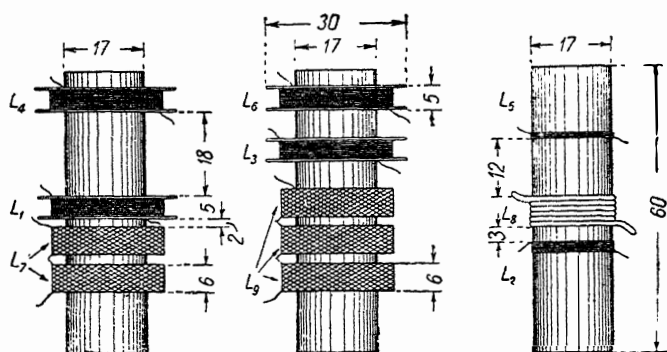


Рис. 101. Катушки лампового волномера, схема которого приведена на рис. 100

Для предотвращения «пролезания» высокочастотных колебаний в модулятор, применяются дроссели Dp_1 , Dp_2 и Dp_3 . Если не применить тщательной экранировки, то при измерениях высокочастотные колебания будут наводиться в измеряемых цепях непосредственно, а не только подаваться через выходные клеммы прибора.

Данные схемы таковы: конденсатор $C_2 = 100$ мкмкф, C_3 , C_4 , C_5 и C_6 — каждый по 11 000 мкмкф, C_7 — 300 мкмкф. Сопротивления: потенциометр $R_1 = 2000$ ом, $R_2 = 200\,000$ ом, $R_3 = 2000$ ом, $R_4 = 50\,000$ ом, $R_5 = 2500$ ом (типа СС). Переключатель P_3 — от приемника ЦРЛ-10 или СВД.

Конструкция катушек приведена на рис. 101.

Данные катушек следующие: катушка L_1 — 40 витков ПШД 0,1 мм, намотка внавалку; катушка L_2 — 11 витков ПЭ 0,12 мм, намотка непосредственно на каркас; катушка L_3 — 125 витков ПШД 0,1 мм, намотка внавалку; катушка L_4 — 40 витков ПШД 0,1 мм, намотка внавалку; катушка L_5 — 3 витка ПЭ 0,12 мм, намотка непосредственно на каркас; катушка L_6 — 50 витков

ПШД 0,1 мм, намотка внавалку; катушка L_7 — сотовая намотка, 126 витков, состоит из двух секций, соединенных последовательно, намотка на болванке диаметром 17 мм с 29 булавками в каждом ряду, шаг намотки — 7 мм; катушка L_8 — 6 витков ПЭ 1,2 мм; катушка L_9 — состоит из трех последовательно соединенных катушек, общее количество витков 472, намотка — как и у катушки L_7 .

Питание лампового волномера производится от батарей (накал — от сухой батареи ВД, анод — от 13 шт. соединенных

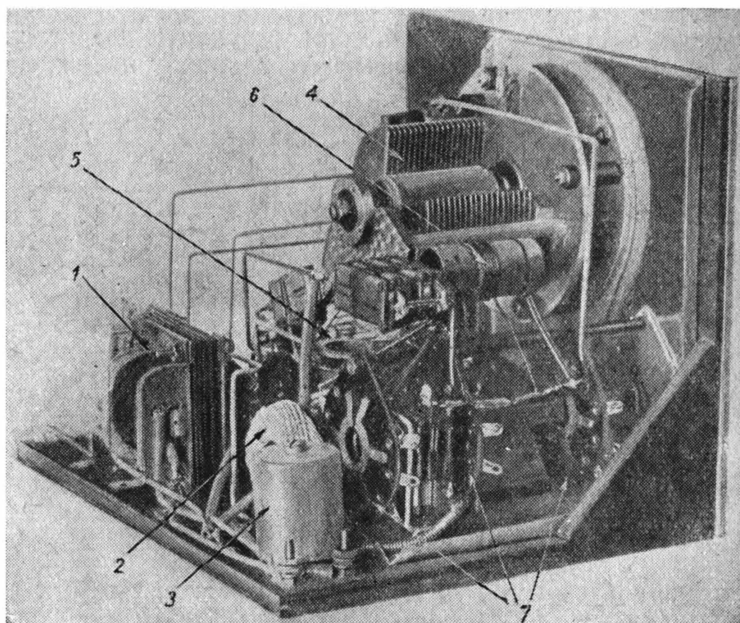


Рис. 102. Ламповый волномер лаборатории журнала „Радиофронт“
Вид с внутренней стороны. Экраны сняты

1 — модуляционный трансформатор, 2 — дроссель Dp_2 , 3 — дроссель Dp_1 , 4 — конденсатор C_1 , 5 — катушки L_3 , L_6 , L_9 , 6 — катушки L_1 , L_4 , L_7 , 7 — переключатель P_2

последовательно батареек от карманного фонаря). Источники питания заключены в тот же деревянный ящик, в котором расположен волномер. Это представляет большое удобство в смысле пользования прибором и предохраняет от возможного постороннего воздействия колебаний волномера на измеряемую цель.

Общий вид расположения смонтированных деталей волномера приведен на снимке рис. 102. За получением более подробных указаний в части изготовления этой измерительной установки отсылаем читателя к указанному выше номеру журнала «Радиофронт».

Измерение низких (звуковых) частот

Методы сравнения частот могут быть использованы и в области низких (звуковых) частот. Музыканты повседневно пользуются этими методами для настройки своих музыкальных инструментов. Настраивая свой инструмент, музыкант изменяет натяжение струны и тем самым частоту ее колебаний, делая последнюю равной частоте колебаний соответствующей струны более стабильного источника звука — рояля. Еще более стабильным источником звука определенной частоты является камертон. Настраивая свой инструмент в унисон со звучанием камертона или струны рояля, музыкант фактически использует метод нулевых биений для сравнения частот. В данном случае наше ухо, являясь нелинейным устройством, заменяет детектор и дает нам возможность слышать разностный тон биений.

Многие лаборатории располагают набором так называемых *частотных граммофонных пластинок*. На таких граммофонных пластинках записаны звуковые колебания, входящие в спектр частот, которые еще могут быть записаны и воспроизведены с помощью грампластинок, приблизительно от 50 до 5000—7000 *гц*. Достаточно иметь адаптер и обычный граммофонный механизм, чтобы получить фиксированные низкочастотные колебания. Подавая эти колебания к громкоговорителю или к телефонным трубкам (последнее удобнее), можно осуществлять градуировку методом сравнения.

Эти частотные пластинки весьма удобны в практике измерений, заменяют собой сложные звуковые генераторы и при условии совершенно равномерного вращения пластинки (78 об/мин.) обеспечивают большую точность.

Мы ограничиваем описание измерений низкочастотных колебаний в радиолюбительских условиях только методами *непосредственного акустического (звукового) их сравнения*, так как иные способы (в частности, измерение мостовыми схемами) требуют средств и возможностей, которыми не располагает радиолюбитель средней квалификации.

В качестве образцовых или стандартных звуковых частот, с которыми радиолюбитель имел бы возможность сравнивать на слух измеряемые частоты, можно воспользоваться частотами колебаний набора камертонов, звучанием струн рояля (по таблице в учебнике физики можно довольно точно установить, какой частоте соответствует звучание той или иной струны), а также колебаниями звукового генератора, принадлежащего какой-либо лаборатории, радиотехкабинету и т. д.

Ламповые звуковые генераторы

Приводим две схемы ламповых звуковых генераторов. Первая (рис. 103) представляет собой схему лампового генератора

с самовозбуждением ¹⁾, частоты колебаний которого заключаются в диапазоне звуковых, т. е. слышимых нами частот. Такой генератор наиболее прост. Пользуясь данными, приведенными на рис. 103, этот генератор без особых затруднений сможет изготовить каждый радиолюбитель.

После изготовления генератора надлежит его проградуировать, т. е. определить, какая частота генерируется для каждого положения органов настройки. Градуировка осуществляется точно такими же средствами и методами, как и самое измерение звуковых частот, т. е. способом сравнения с другой, известной частотой (например, по камертону или по роялю). Удобно для

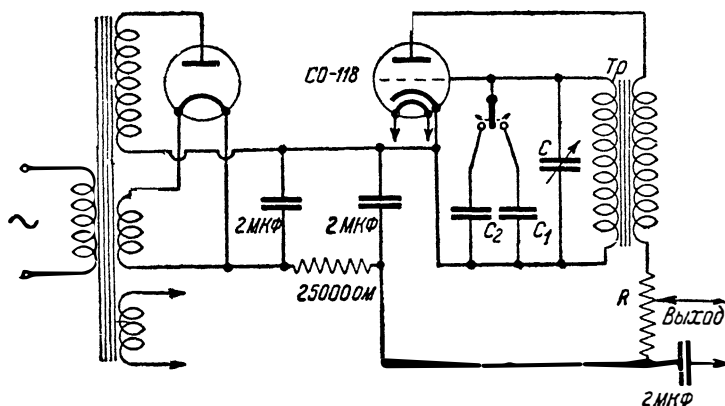


Рис. 103. Схема звукового генератора с самовозбуждением. Диапазон частот 50—10000 гц. Tr — междупровольный трансформатор. $C_1 = 1000$ см, $C_2 = 3000$ см, $R = 40\,000$ ом. Емкость переменного конденсатора C — до 500—1000 см. Напряжение выпрямителя — порядка 160—240 в

градуировки воспользоваться другим звуковым генератором (в радиотехкабинете).

Недостатком этой схемы является непостоянство градуировки: перед каждым более или менее ответственным измерением, результаты которого важны и должны быть точными, следует проверять градуировку. Обычно проверка градуировки осуществляется по нескольким положениям настройки, по нескольким точкам графика градуировки. Набор камертонов в этом отношении может оказать весьма большую помощь. Повторяем, что градуировка звукового генератора по звуку струн рояля дает также весьма положительные результаты.

На рис. 104 приведена вторая схема — схема генератора на биениях, разработанная в лаборатории журнала «Радиофронт». Приступать к изготовлению этого генератора мы рекомендуем

¹⁾ См. Дольник А. Г. — Простейшие приборы и измерения. Радиоиздат 1937.

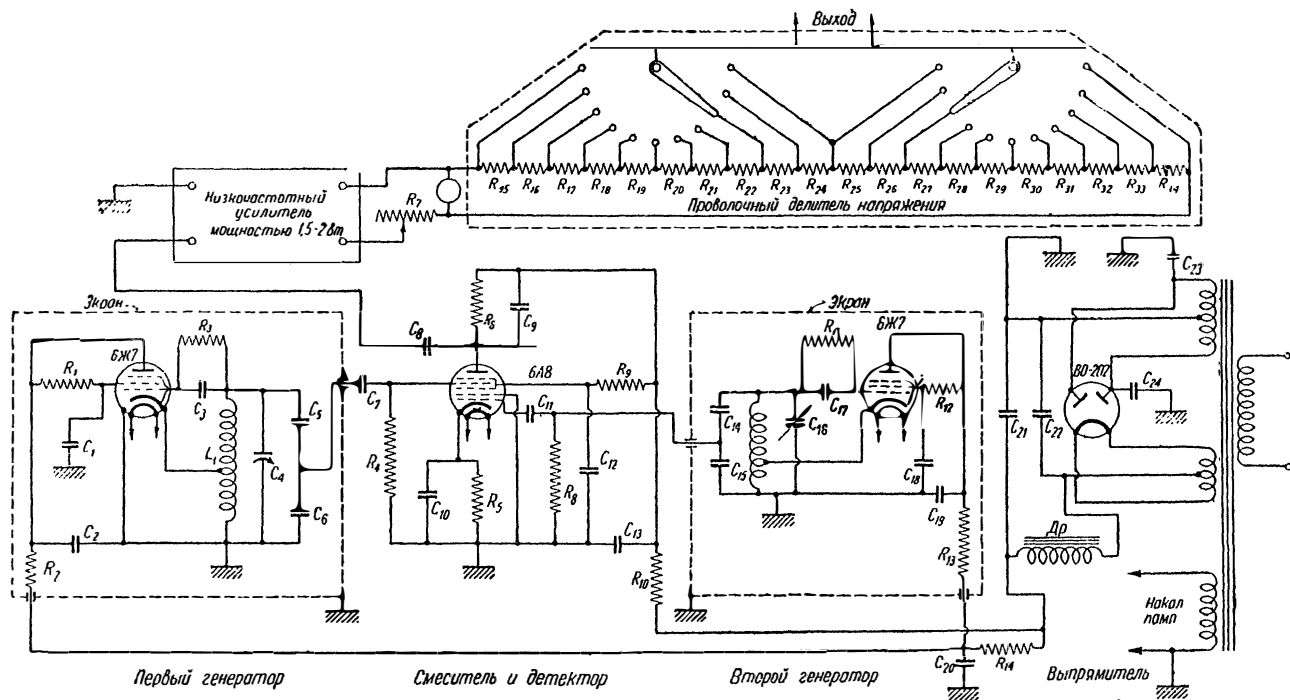


Рис. 104. Привычная схема звукового генератора конструкции лаборатории журнала «Радиофронт». Данные схемы: силовой трансформатор типа Т.С.-9; дроссель Др — от приемника СИ-238; катушка L_1 — 196 витков провода ПШД 0,1 мм, отвод от 98-го витка, считая от заземленного конца, катушка на картонном каркасе диаметром 17 мм, внавалку; катушка L_2 — 253 витка, отвод от 117-го витка, в остальном — как L_1 ; $C_1 = 0,02$ мкф, $C_2 = 300$ мккф, $C_3 = 150$ мккф, $C_4 = 20-45$ мккф, $C_5 = 1100$ мккф, $C_6 = 0,2$ мкф, $C_7 = 150$ мккф, $C_8 = 0,1$ мкф, $C_9 = 7500$ мккф, $C_{10} = 4$ мкф, $C_{11} = 150$ мккф, $C_{12} = 4$ мкф, $C_{13} = 4$ мкф, $C_{14} = 650$ мккф, $C_{15} = 2000$ мккф, $C_{16} = 75-100$ мккф, $C_{17} = 150$ мккф, $C_{18} = 0,02$ мккф, $C_{19} = 300$ мккф, $C_{20} = 4$ мкф, $C_{21} = C_{22} = 10$ мкф, $C_{23} = C_{24} = 20$ мкф, $R_1 = 300\,000$ ом, $R_2 = 50\,000$ ом, $R_3 = 600\,000$ ом, $R_4 = 400$ ом, $R_5 = 5000$ ом, $R_6 = 400$ ом, $R_7 = 600\,000$ ом, $R_8 = 20\,000$ ом, $R_{10} = 5000$ ом, $R_{11} = 50\,000$ ом, $R_{12} = 300\,000$ ом, $R_{13} = 50\,000$ ом, $R_{14} = 10\,000$ ом, $R_{15} - R_{24}$ — проволочные, по 100 ом каждое, сопротивления $R_{25} - R_{34}$ — проволочные, по 10 ом каждое; на выходе усилителя купроксный вольтметр со шкалой до 50 в

только квалифицированному радиолюбителю, обладающему достаточным опытом практической работы.

В схеме звукового генератора имеются два *высокочастотных* генератора, смеситель-детектор, низкочастотный усилитель и питающий все устройство постоянным током выпрямитель. Низкочастотные колебания получаются в результате биений между двумя высокими частотами: между частотой первого генератора, имеющего фиксированную настройку ($\lambda \approx 1500 \text{ м}$), и частотой второго генератора с переменной настройкой. Изменение частоты второго генератора осуществляется с помощью переменного конденсатора C_{16} . Пределы изменения частоты этого генератора таковы, что частоты биений заключаются в пределах звукового диапазона частот, т. е. от нуля (когда частоты обоих генераторов совершенно одинаковы) до 8—10 тыс. герц и выше,— при расстройке второго генератора относительно первого.

Высокочастотные колебания обоих генераторов поступают к детектору-смесителю, на выходе которого и получаются низкочастотные колебания (биения). С целью повышения мощности этих колебаний к выходу смесителя подключается 1,5—2-ваттный *низкочастотный усилитель*. Для получения возможности регулировать величину напряжения низкочастотных колебаний, подаваемых для измерений, на выходе усилителя имеется проволочный делитель напряжения.

Как показано на рис. 104, *первый и второй* генераторы работают по схеме самовозбуждения каждый на одной лампе типа 6Ж7. Так как эти генераторы работают приблизительно в одинаковых условиях и генерируют почти одинаковые частоты, то они мало чем отличаются друг от друга. В качестве *детектора-смесителя* применяется лампа типа 6А8. Схема низкочастотного усилителя, как не представляющая чего-либо особенного и нового, на рис. 104 с целью упрощения не показана.

Схема *выпрямителя*, в которой применен силовой трансформатор ТС-9 с обмоткой накала, перемотанной на напряжение 6,3 в, пояснений не требует.

Конструктивно этот звуковой генератор должен быть так выполнен, чтобы генераторы не влияли непосредственно друг на друга и на прочие части схемы. С этой целью следует тщательно экранировать высокочастотные генераторы и позаботиться также об экранировке всего звукового генератора в целом.

Налаживание такого звукового генератора требует большого умения и терпения: нерациональный монтаж, недостаточно продуманное расположение деталей — все это может привести к тому, что генераторы будут возбуждаться на иных частотах или же к появлению на его выходе высокочастотных колебаний. Указания в части конструирования и налаживания этого звукового генератора читатель найдет в журнале «Радиофронт» № 8 за 1939 г.

Остановимся на устройстве еще одного генератора звуковых колебаний — зуммере.

Зуммер

Зуммер (или пищик, рис. 105) является одним из наиболее простых и в то же время необходимых приборов при радиолобительских измерениях. Зуммер представляет собой маломощный электромагнитный генератор звуковой частоты и в качестве такового используется при проведении многих резонансных и иных измерений. Питается зуммер от батарейки напряжением 3—5 в. Укажем некоторые применения зуммера: а) в качестве источника переменного тока в мостовых схемах (см. стр. 99), б) в зуммерном волномере (см. стр. 117), в) при проведении резонансных измерений (см. стр. 83).

В принципиальном отношении устройство зуммера (рис. 105) мало чем отличается от устройства обычного электрического звонка. Электромагнит ЭМ притягивает к себе якорь Я, в результате чего происходит разрыв питающей цепи, и якорь Я возвращается снова в свое исходное положение. Здесь он соединяется со штифтом Ш, цепь

питающего тока снова получается замкнутой, якорь Я опять притягивается электромагнитом, и процесс повторяется затем периодически. Якорь будет совершать колебательные движения с частотой, зависящей от свойств якоря (от его массы, длины) и упругости пружины П.

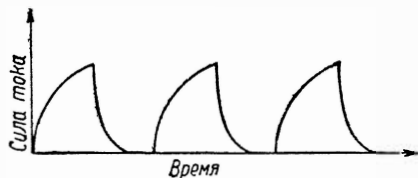


Рис. 106. Пульсирующий ток в цепи электромагнита зуммера

На рис. 106 приведен график изменения тока в цепи электромагнита. Как видим, ток носит характер импульсов,— это *постоянный пульсирующий ток*.

Для проведения измерений нам нужно взять от зуммера только *переменную составляющую* его напряжения. Для этого можно или намотать на катушку зуммера еще одну обмотку (в ней бу-

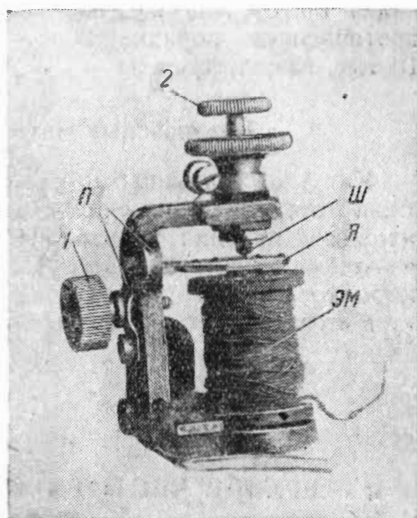


Рис. 105. Зуммер

1,2 — регулировочные винты, П — пружина, Ш — штифт, Я — якорь, ЭМ — электромагнит

Чем короче и легче якорь, тем выше будет частота его колебаний. Частота колебаний якоря регулируется винтами 1 и 2. Так как якорь колеблется с частотой порядка нескольких сотен герц, то колебания якоря будут слышны ухом непосредственно.

дет наводиться переменный ток, как во вторичной обмотке трансформатора), или же взять отводы от концов катушки зуммера.

Чтобы избавиться от искрения между якорем и штифтом, следует зашунтировать катушку зуммера сопротивлением порядка 50 ом или же зашунтировать искровой промежуток сопротивлением порядка 20 ом или конденсатором емкостью 5—10 тыс. сантиметров.

Резонансные методы измерения частоты

Как уже указывалось, резонансные методы находят себе особенно широкое применение в области высоких частот, где резонансные явления выражены достаточно резко. Резонансными методами можно определять длину волны принимаемой станции, коротковолнового передатчика, собственную резонансную частоту колебательного контура, антенны и т. д.

Г Л А В А XII

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ И ДЛИН ВОЛН (ПРОДОЛЖЕНИЕ). ВОЛНОМЕРЫ

Частота высокочастотных колебаний (помимо методов биений) определяется волномерами. Имеются три типа волномеров: резонансные, зуммерные и ламповые. Ламповые волномеры нами уже описаны выше (см. стр. 106).

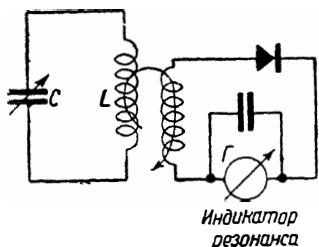


Рис. 107. Принципиальная схема резонансного волномера. В качестве индикатора резонанса применен гальванометр МЭ системы с детектором

Резонансный волномер

Резонансным волномером называется «прибор для измерения частоты высокочастотного тока или длины волны» (ОСТ-7767). В принципе резонансный волномер представляет собой колебательный контур (рис. 107), составленный из катушки индуктивности и конденсатора переменной емкости, причем такой контур проградуирован либо в единицах частоты (килогерцы), либо, чаще, в длинах волн (метры). Контур снабжается каким-либо индикатором резонанса — прибором, служащим для обнаружения явления резонанса в этом колебательном контуре. Это может быть детектор с гальванометром, тепловой прибор и т. д.

На рис. 108 показан коротковолновый резонансный волномер с набором катушек для измерения длины волны в различных

диапазонах. В качестве индикаторов резонанса в этом волномере применяется неоновая трубочка или детектор с телефоном.

Изготовление резонансного волномера не составляет особых затруднений, так как в основном его конструкция включает в себя лишь катушку индуктивности и переменный конденсатор хорошего качества. О градуировке таких волномеров и об индикаторах резонанса мы приводим сведения дальше. С расчетом резонансных волномеров можно познакомиться по брошюре автора «Радиолюбительские волномеры» (Радиоиздат, 1936).

Зуммерный волномер

Присоединив, как это показано на рис. 109, к обычному резонансному волномеру зуммер, мы получим так называемый зуммерный волномер. По сравнению с резонансным волномером

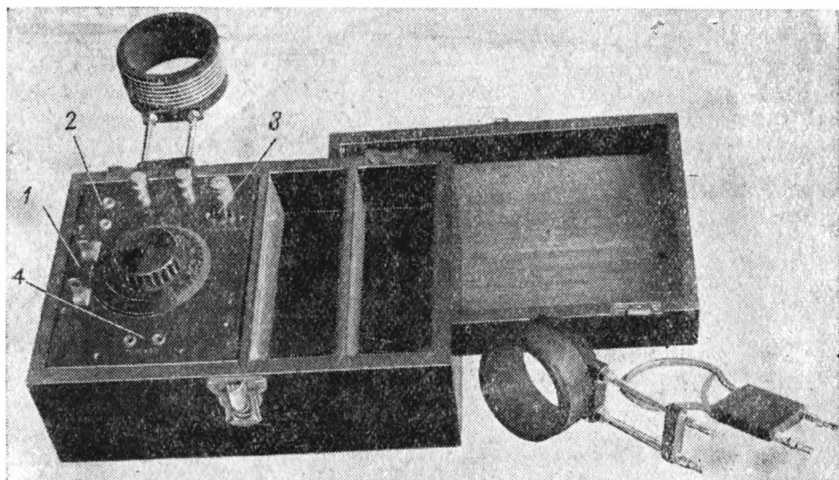


Рис. 108. Коротковолновый резонансный волномер со сменными катушками

зуммерный волномер имеет некоторые преимущества. Простым резонансным волномером можно измерять длину волны или частоту подводимых к нему *извне* колебаний. Сам резонансный волномер источником колебаний не является. **Зуммерный же волномер является источником высокочастотных колебаний, частота которых определяется настройкой контура волномера.** Колебания создаются благодаря тому, что зуммер возбуждает контур импульсами электрического тока, что и приводит к возникновению в контуре затухающих высокочастотных колебаний.

Располагая зуммерным волномером, можно осуществлять резонансные измерения таким же образом (но с меньшей точностью), как если бы мы имели в своем распоряжении какой-либо

другой источник высокочастотных модулированных колебаний известной нам частоты (например, ламповый волномер). Необходимо учесть, что мощность колебаний в контуре зуммерного волномера намного меньше той мощности, которую может дать ламповый волномер.

Индикаторы резонанса

Индикатором (указателем) резонанса называется любое техническое приспособление, которое видимыми или иными признаками (свечение, отклонение стрелки прибора, звучание и т. д.) дает знать наблюдателю о моменте настройки данного колебательного контура в резонанс.

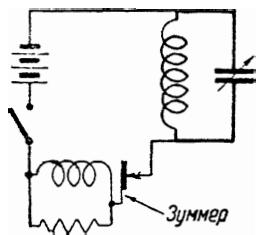


Рис. 109. Принципиальная схема зуммерного волномера

Об индикаторах резонанса мы уже упоминали раньше, — см. гл. IX, X и XI. Перечислим наиболее часто применяемые типы индикаторов резонанса. В зависимости от характера измерения и обстоятельств можно применять тот или иной индикатор резонанса.

Если в распоряжении радиолюбителя имеется какой-либо чувствительный высокочастотный прибор, то его можно включить непосредственно в контур (рис. 110 а). В момент резонанса стрелка этого прибора

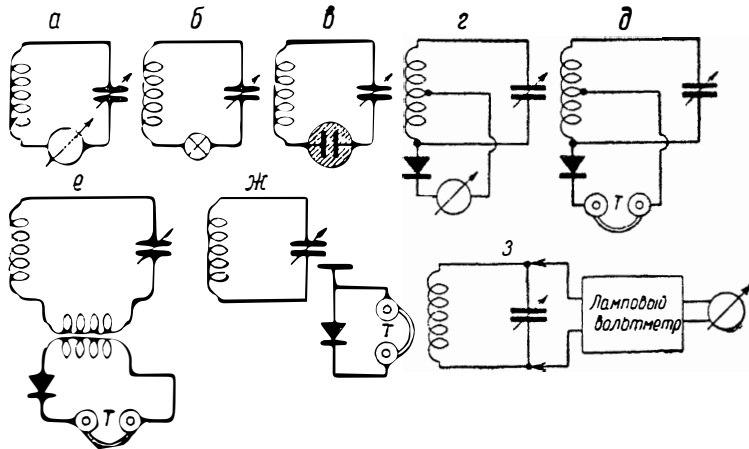


Рис. 110. Индикаторы резонанса в резонансном волномере: а—высокочастотный чувствительный прибор, б—лампочка карманного фонаря, в—неоновая трубка или неоновая лампочка, г—МЭ прибор (гальванометр) с детектором, д, е и ж—детектор и телефонная трубка, з—ламповый вольтметр

отклонится, причем следует быть особенно осторожным, так как отклоняющий ток может быть чрезмерно большим и, следовательно, опасным для прибора. К таким приборам следует отне-

сти МЭ гальванометр с термопарой, с кристаллическим детектором (как мы уже указывали, для относительных измерений применение кристаллического детектора вполне допустимо), тепловой прибор и т. д.

При измерении частоты мощных источников высокочастотных колебаний можно в качестве индикатора воспользоваться *лампочкой от карманного фонаря* (мощностью порядка 1 вт или меньше), — рис. 110 б. При определении частоты маломощных источников этот индикатор окажется неприменимым, так как требует большую мощность.

Весьма хорошим индикатором оказывается небольшая *неоновая трубка или лампочка* (рис. 110 в), — в момент резонанса трубка светится розоватым светом.

На рис. 110 г показано применение в качестве индикатора *кристаллического детектора и МЭ гальванометра*, причем подключение сделано к половине катушки — это уменьшает вносимое в контур затухание.

Очень часто в качестве индикатора резонанса применяется *телефонная трубка с кристаллическим детектором* (телефонную трубку рекомендуется шунтировать конденсатором емкостью порядка 1000 см). На рис. 110 д показано непосредственное подключение такого индикатора к контуру; на рис. 110 е показана индуктивная связь индикатора с колебательным контуром, что значительно снижает вносимое в контур затухание. Реже применяется емкостная связь индикатора с контуром (рис. 110 ж).

Использование слуховых индикаторов, каким является соединение детектор — телефонная трубка, возможно только в том случае, если высокочастотные колебания *модулированы*, или же если к детектору одновременно подводятся два высокочастотных колебания, разность частот (биения) между которыми не превышает 10 000 гц.

Наконец, в качестве индикатора резонанса можно использовать *ламповый вольтметр* (рис. 110 з) — его показание в момент резонанса будет наибольшим.

Измерение высоких частот посредством волномеров

Следует различать *три случая измерения высокой частоты*:

1) Измерение частоты какого-либо *местного генератора*, т. е. лампового волномера (при его градуировке), передатчика, гетеродина супергетеродинного приемника и т. д.

2) Измерение длины волны *принимаемой радиостанции*.

3) Измерение *собственной резонансной частоты колебательных контуров, не имеющих своих источников тока* (например, при проверке резонансных свойств, при проверке настройки, при градуировке резонансного волномера и т. д.).

Разберем более подробно эти случаи.

Первый случай — измерение частоты *местного генератора*.

А. Измерение частоты (длины волны) передатчика

1. С помощью резонансного волномера

Контур резонансного волномера слабо связывается с контуром антенны передатчика (рис. 111). Настройка резонансного волномера изменяется до тех пор, пока индикатор волномера не отметит резонанса. Если в качестве индикатора применена лампочка карманного фонаря, то она отметит момент резонанса наиболее интенсивным свечением. Не следует увеличивать связь до положения, при котором лампочка ярко загорается: это не дает возможности точно определить положение резонанса и, следовательно, длину волны передатчика. Связь нужно подобрать такой, чтобы лампочка заметно светила только в момент резонанса.

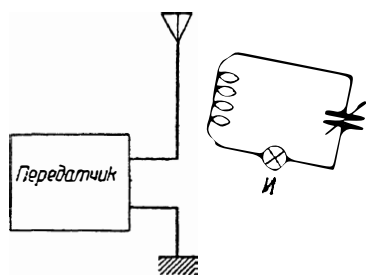


Рис. 111. Измерение длины волны радиопередатчика с помощью резонансного волномера

некоторая максимальная для данной величины связи мощность. Благодаря этому уменьшатся показания измерительных приборов, отмечающих величину силы колебательного тока (в анодном контуре или в антенне). «Отсасывая» таким образом мощность от передатчика в момент резонанса, мы получаем возможность определять его длину волны. Этот метод называется методом поглощения или абсорбции.

2. С помощью лампового волномера

Контур лампового волномера подносят к антенне передатчика.

В гнезда, помеченные на схеме рис. 112 буквой *T*, вставляют телефоны и изменяют настройку лампового волномера до тех пор, пока в телефонах не будет услышан свист.

Снижая высоту тона свиста, приближаются тем самым к моменту нулевых биений, когда частота передатчика становится равной частоте лампового волномера.

После этого частоту (длину волны) определяют по графику градуировки лампового волномера.

Б. Измерение частоты (длины волны) какого-либо другого источника высокочастотных колебаний (например лампового волномера)

Такое измерение в принципе ничем не отличается от только что описанного. Особенность заключается только в том, что такие источники обычно менее мощны, чем радиопередатчик. Поэтому пользоваться в качестве индикатора лампочкой во всех

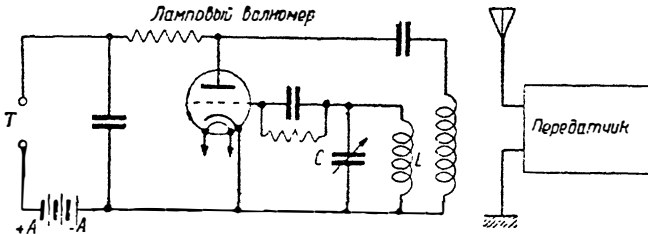


Рис. 112. Измерение длины волны передатчика с помощью лампового волномера

таких случаях не удастся, — нужны более чувствительные средства (применимы все другие индикаторы, кроме лампочки).

Второй случай — измерение длины волны принимаемой радиостанции.

А. С помощью резонансного волномера

1. Включение волномера в цепь антенны приемника в качестве преграждающего фильтра

Желая определить длину волны принимаемой на радиоприемник радиостанции, включим резонансный волномер в цепь антенны приемника, отсоединив от клеммы А провод антенны и включив между этой клеммой и концом провода антенны волномер, как показано на рис. 113.

Настройка приемника на станцию, длина волны которой определяется, должна быть сохранена неизменной. Изменением емкости конденсатора С контура волномера добиваемся резкого спадания слышимости станции. Этот момент определяется тем, что при повороте ручки конденсатора волномера в какую-либо сторону от данного положения слышимость станции резко возрастает. В момент минимальной слышимости станции (при сохранении настройки приемника) контур волномера окажется настроенным в резонанс с колебаниями принимаемой станции. Сопротивление такого контура максимально для той частоты, на которую он настроен. Токам всех других частот такой резонансный контур оказывает сравнительно

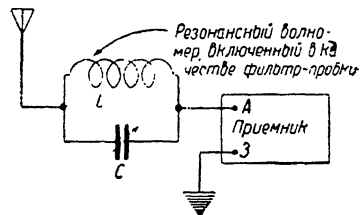


Рис. 113. Измерение длины волны принимаемой радиостанции с помощью резонансного волномера, включаемого в качестве фильтра-пробки в антенну приемника

малое сопротивление. Иначе говоря, такой контур волномера становится фильтром, преграждающим доступ к приемнику из антенны колебаниям принимаемой станции. Такой фильтр называется преграждающим или, по радиолобительской терминологии, фильтром-пробкой.

Определив по графику длину волны, на которую настроен волномер, мы тем самым определим волну, на которой работает данная станция. Точность измерения получается вполне достаточной для нужд радиолюбителя. Если приемник имеет АРГ

(автоматический регулятор громкости), то последний будет компенсировать изменения слышимости, благодаря чему такие изменения с приемниками, снабженными АРГ, становятся невозможными или, во всяком случае, значительно менее точными.

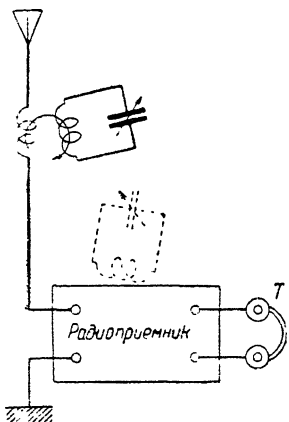


Рис. 114. Измерение длины волны принимаемой радиостанции с помощью резонансного волномера. Волномер связывается либо с высокочастотными контурами приемника (обозначено пунктиром), либо с антенной

2. Методом поглощения (абсорбции)

Радиоприемник настраивается на станцию, длина волны которой должна быть измерена. Затем к высокочастотным контурам приемника (если они не заключены в экраны) или к антенне приемника (лучше для этого в антенну включить небольшую катушку, — рис. 114) подносится резонансный волномер. Совершенно не изменяя настройки приемника, настройку резонансного волномера следует изменять до тех пор, пока в телефонной трубке, включенной на выходе приемника, не будет отмечено резкого снижения слышимости. В момент наименьшей слышимости (настройка самого приемника не изменяется!) резонансный волномер окажется настроенным на принимаемые приемником колебания, в результате чего он будет отбирать, «отсасывать» (абсорбировать) от антенны или высокочастотных контуров наибольшую величину колебательной мощности.

Добившись такого положения, остается по графику градуировки резонансного волномера определить длину волны, — это и будет длина волны принимаемой станции.

Б. С помощью лампового волномера

При приеме радиостанции, волна которой измеряется, контур лампового волномера слабо связывается с антенной приемника или с высокочастотными контурами (последнее возможно, если контуры не экранированы) рис. 115. Затем изменяется настрой-

ка лампового волномера. При подходе к положению нулевых биений в телефонах, включенных на выходе приемника, сначала будет услышан свист. Понижая высоту тона свиста, получаем нулевые биения. В этот момент частота (длина волны) принимаемой станции равна частоте (длине волны) лампового волномера.

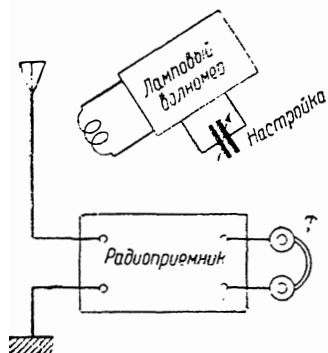


Рис. 115. Измерение длины волны принимаемой станции настройкой лампового волномера на нулевые биения с принимаемыми колебаниями

Третий случай — измерение собственной резонансной частоты колебательных контуров.

С таким случаем приходится встречаться при градуировке резонансного или зуммерного волномера, при снятии

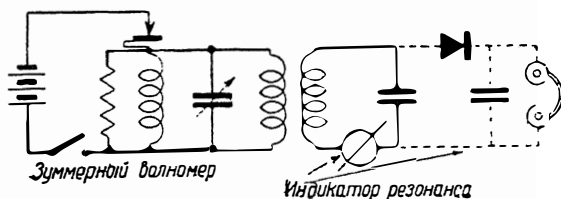


Рис. 116. Измерение собственной длины волны колебательного контура с помощью зуммерного волномера

резонансных характеристик контуров, при подгонке контуров приемника и т. д. Так как измеряемый резонансный контур своих источников колебаний не имеет, то для таких измерений можно воспользоваться только зуммерным или ламповым волномерами.

А. Измерения с зуммерным волномером

Контур волномера связывают с измеряемым контуром (рис. 116), в который включают индикатор резонанса (например, термомприбор или детектор с телефоном). Изменяют настройку зуммерного волномера до тех пор, пока индикатор в измеряемом контуре не отметит резонанса. В этот момент собственная резонансная частота измеряемого контура равна частоте зуммерного волномера.

Б. Измерения с ламповым волномером

Метод измерений с ламповым волномером ничем не отличается от только-что описанного способа измерения с зуммерным волномером. Если колебания волномера модулированы, то в качестве индикатора резонанса можно применить телефонные трубки и детектор.

Если в схеме волномера имеются измерительные приборы, то момент резонанса можно отметить по резкому изменению их показаний.

Измерение собственной длины волны антенны

Как известно, антенна представляет собой колебательный контур. Определение собственной длины волны антенны представляет собой определение резонансной частоты колебательного контура, составленного из емкости антенны и ее индуктивности, т. е. сводится к нахождению той частоты, при которой в антенне имеет место резонанс.

Опишем два способа измерения собственной *динамической* длины волны антенны. В отличие от *статической* длины волны, определяемой по статическим величинам емкости и индуктивности, измеренным на низкой частоте, динамическая длина волны определяется на высокой частоте, по резонансной частоте контура антенны.

Первый способ

С антенной слабо связывают контур зуммерного или лампового волномера с модулированными колебаниями (рис. 117).

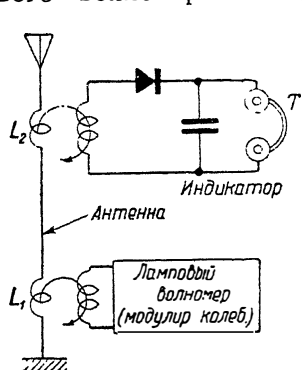


Рис. 117. Измерение собственной длины волны антенны с помощью лампового волномера. Индикатор резонанса антенны — аperiодический контур

Для этого в цепь антенны включают один-два витка провода (катушка L_1) или же свивают провод антенны в виток. В случае применения лампового волномера совсем не потребуется делать витки, — контурная катушка или катушка связи просто подносится к проводу снижения антенны, — этого оказывается вполне достаточно.

На значительном расстоянии от волномера в провод снижения антенны включается другая одно-двухвитковая катушка L_2 . С этой катушкой связывается, как это показано на рис. 117, индикатор резонанса (удобно применить телефонные трубки и детектор).

Предварительно надо убедиться в том, что ламповый или зуммерный волномер не влияет непосредственно на индикатор. Для этого волномер относят по-

дальше от индикатора и применяют весьма слабые связи с антенной. Далее изменяют частоту волномера до тех пор, пока индикатор не отметит момента резонанса контура антенны. В этот момент контур антенны окажется настроенным в резонанс с подводимыми к нему от волномера колебаниями. В телефонах T в этот момент будет наибольшая слышимость работы зуммера или же (если применен ламповый волномер) тона модуляции. Зная частоту подводимых колебаний или же определяя ее по градуировке резонансного волномера, мы тем самым определяем собственную частоту колебаний антенны. По величине частоты определяется длина волны.

Второй способ

Этот способ носит название способа Мартенса — по имени предложившего его. Способ достаточно прост и дает точные результаты.

В провод снижения антенны включают катушку индуктивности L и переменный конденсатор C (рис. 118). С катушкой L связывают зуммерный или, лучше, ламповый волномер. Далее изменяют настройку волномера до получения одинакового резонанса (отмечаемого индикатором резонанса) вне зависимости от того, будет ли ключ K замкнут или разомкнут. Чтобы достигнуть этого, необходимо изменять емкость C . Как только этот момент будет достигнут и при замыканиях и размыканиях ключа K не потребуется перестраивать волномер, собственная длина волны антенны окажется равной длине волны волномера.

Объяснение этого способа весьма простое: при замыкании ключа K мы коротко закорачиваем L и C . Когда же ключ K разомкнут, то последовательное соединение L и C окажется также коротким замыканием для токов той частоты, на которую осуществлена настройка в резонанс. Поэтому, когда L и C настроены на длину волны, равную собственной длине волны антенны, они совершенно не влияют на величину этой собственной волны и замыкание и размыкание ключа K при этом почти совершенно не влияют на резонанс.

Величины L и C могут быть неизвестными, поскольку длина волны определяется непосредственно волномером. Укажем, что можно воспользоваться катушкой контурного типа (средневолновая катушка) и переменным конденсатором с максимальной емкостью порядка 400 см.

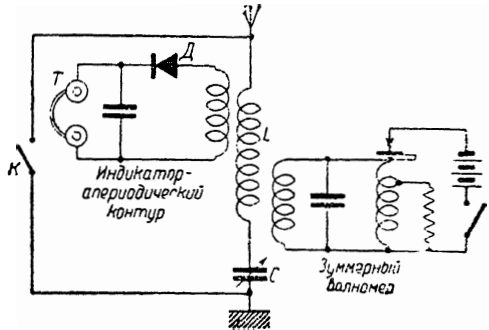


Рис. 118. Измерение собственной длины волны антенны по способу Мартенса

Градуировка волномеров

Мы перечислили способы измерения частот (длин волн), которые могут быть практически осуществлены средствами радиолюбителя. Во всех этих способах применялся резонансный, зуммерный или ламповый волномер. Остановимся, в заключение главы, на вопросе о том, как производится градуировка волномеров.

Ограничиваемся кратким перечнем способов, которыми можно воспользоваться для осуществления градуировки волномеров, так

как сущность способов и практическое осуществление измерений нами уже были описаны ранее.

Градуировка резонансных волномеров

Первый способ — по частоте лампового волномера (рис. 119). Резонансный волномер слабо связывают с контуром лампового волномера. Настраивают контур лампового волномера на различные частоты в пределах требуемого диапазона и для каждого такого положения настройки производят подстройку контура резонансного волномера в резонанс с колебаниями лампового волномера. В протокол измерений записывается частота колебаний лампового волномера (или длина волны) и положение органов настройки резонансного волномера (угол поворота ручки

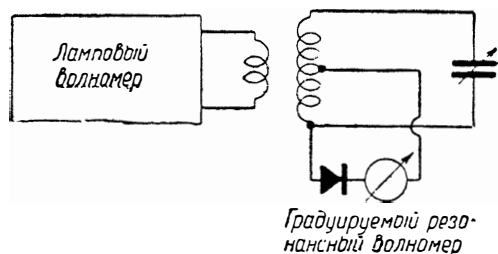


Рис. 119. Градуировка резонансного волномера по ламповому волномеру

конденсатора переменной емкости). По полученным данным вычерчивается график градуировки: по горизонтальной оси откладывают деления шкалы конденсатора резонансного волномера, по вертикальной — длины волн или частоты.

Второй способ — по частотам работающих радиостанций. Эта возможность может быть практически разрешена двумя путями:

1) связывая контур волномера с высокочастотными контурами приемника, т. е. по способу поглощения (см. стр. 122) и 2) включая волномер в антенну в качестве преграждающего фильтра (см. стр. 121).

Третий способ — по зуммерному волномеру.

Практическое осуществление этого способа ничем не отличается от градуировки по первому способу. — с ламповым волномером.

Градуировка ламповых волномеров

Первый способ — по резонансному волномеру.

Эта возможность практически реализуется точно так же, как по первому способу градуировки резонансного волномера, т. е. по методу поглощения (см. выше). Отличие заключается только в том, что связываемый с резонансным волномером градуируемый ламповый волномер перестраивается по резонансному волномеру.

Второй способ — по частотам работающих радиостанций описан нами ранее (см. стр. 106), при изложении метода нулевых биений.

Третий способ — по другому ламповому волномеру — также был описан (см. стр. 106) при изложении метода нулевых биений.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

Определение мощности *постоянного* тока не представляет трудностей. Величина мощности может быть подсчитана по любой из трех формул:

$$P = I^2 R,$$

$$P = UI,$$

$$P = \frac{U^2}{R},$$

где P — мощность в ваттах, I — сила тока в амперах, U — напряжение в вольтах.

Измерение силы тока I и напряжения U может быть произведено приборами *МЭ* типа. Об измерении электрических сопротивлений см. стр. 68.

Более сложными являются измерения мощности *переменного* тока. Мы уже указывали, что никакой мощности на преодоление реактивных сопротивлений (емкостное и индуктивное сопротивления) не затрачивается и что потребителем мощности следует считать только активное сопротивление. Таким образом, задача определения мощности переменного тока сводится к определению активного сопротивления r и силы протекающего через это активное сопротивление тока I . Силу тока можно измерить миллиамперметром или амперметром переменного тока (купроксным, термоэлектрическим), но измерение активного сопротивления подчас составляет весьма затруднительную задачу.

Здесь мы разберем способы измерения мощности: 1) потребляемой приемником от источника питания, 2) отдаваемой приемником или усилителем на выходе и 3) отдаваемой коротковолновым передатчиком в антенну.

На других случаях мы не останавливаемся, так как они встречаются в практике радиолюбителя гораздо реже. В частности, мы совершенно не уделяем внимания способам и средствам измерения мощностей в области сильноточных установок (с помощью ваттметров).

Измерение мощности, потребляемой радиоприемником

Если приемник питается от батарей, то измерение потребляемой приемником мощности производится с помощью вольтметра и амперметра (миллиамперметра) постоянного тока. Пользуясь приведенными нами указаниями, не трудно подсчитать потребляемую мощность, как сумму мощностей, расходуемых на питание приемника батареями анода и накала.

В случае измерения мощности, потребляемой приемником, питающимся от сети *переменного* тока, нельзя будет пользо-

ваться только показаниями вольтметра и амперметра, так как приемник не представляет собой чисто активной нагрузки. Поэтому мы описываем иной способ определения потребляемой мощности — с помощью обычного квартирного или комнатного электрического счетчика. Пользоваться этим способом можно при условии, что в момент измерения единственным потребителем электрической энергии, учитываемой счетчиком, является только приемник. Все другие виды нагрузок — лампы, электронагревательные приборы и т. д. — должны быть выключены. Поэтому такие испытания лучше прodelьвать в дневное время, — кстати, в эти часы и напряжение сети поддерживается на уровне, близком к номинальному.

Измерение длится в течение нескольких часов: приемник включают как обычно, настраивают его на какую-либо станцию и ведут нормальный прием. В таком положении приемник должен оставаться в течение всего времени испытания. Перед включением отмечают показание счетчика и время. То же самое отмечают в момент прекращения испытания. Так как счетчик регистрирует количество затраченной электрической энергии, то, деля это количество на время испытания, находят потребляемую мощность.

Предположим, что приемник находился в испытании 4 часа и что за это время показание счетчика увеличилось на $2,5 \text{ вт}\cdot\text{ч} = 250 \text{ вт}\cdot\text{ч}$. Следовательно, приемник потребляет мощность, равную $250:4 = 62,5 \text{ вт}$. Если время испытания будет невелико, то трудно будет оценить увеличение показания счетчика.

Можно рекомендовать другой способ определения мощности, потребляемой приемником, требующий меньшего количества времени. На каждом счетчике имеется отметка о соотношении между числом оборотов диска (якоря) и количеством киловатт (гектоватт)-часов. На счетчике типа B_2 , например, имеется указание, что $1 \text{ квт}\cdot\text{ч}$ соответствует 5000 оборотов диска. Вместо того, чтобы приемник оставить включенным на несколько часов и отмечать показание счетчика по цифрам, можно в течение 5—10 мин. определить количество оборотов диска (на диске имеется цветная полоска) и по оборотам вычислить потребленную за определенное количество времени энергию.

Предположим, что время наблюдения за показаниями счетчика B_2 равно 5 мин. и что за это время диск сделал 20 полных оборотов. Этому количеству оборотов соответствует расход энергии

$$W = \frac{1000 \cdot 20}{5000} = 4 \text{ вт}\cdot\text{ч},$$

а так как время наблюдения $t = 5$ мин. (т. е. $1/12$ часть часа потребляемая приемником мощность (количество энергии в 1), то сек.)

$$P = W:t = 4:1/12 = 4 \cdot 12 = 48 \text{ вт}.$$

В заключение заметим, что таким способом можно определять мощность, потребляемую любым электротехническим прибором или устройством, подключаемым к сети переменного тока.

Измерение мощности, отдаваемой приемником или усилителем низкой (звуковой) частоты

Чтобы измерить мощность, которая отдается приемником или усилителем низкой частоты нагрузке, обычно громкоговорителю, следует сначала определить величину сопротивления нагрузки. Так как в большинстве случаев в настоящее время применяются динамические громкоговорители, в отношении которых справедливо утверждение, что величина их активного сопротивления приблизительно равна величине электрического сопротивления звуковой катушки, то прежде всего, следовательно, надо определить величину этого сопротивления (см. гл. VII).

Нужно оговориться, что под величиной отдаваемой мощности в данном случае следует понимать величину *максимальной неискаженной мощности*. Так как выходная мощность будет тем больше, чем больше напряжение на входе приемника или усилителя низкой частоты, то измерение производят при таком входном напряжении («раскачке»), при котором амплитудная характеристика (см. стр. 142 и рис. 132) еще остается прямолинейной. Иначе говоря, напряжение на входе не должно превышать значения $U_{вх. макс}$, так как в противном случае возникнут сильные нелинейные искажения, звучание делается искаженным, хриплым, неразборчивым.

Чтобы определить величину $U_{вх. макс}$ данного усилителя или приемника, надлежит снять амплитудную характеристику, — это является наиболее правильным решением в том случае, если величина $U_{вх. макс}$ неизвестна. Частота напряжения, подаваемого на вход, обычно выбирается равной 400 (или 1000) гц. Это напряжение можно получать от звукового генератора; схема, по которой осуществляется измерение, приведена на рис. 129. Приключенное на выходе сопротивление R по своей величине равно электрическому сопротивлению звуковой катушки динамического громкоговорителя, — самый громкоговоритель отключен.

С помощью вольтметра переменного тока измеряется напряжение на сопротивлении R . Величина подводимой к этому сопротивлению мощности определится по формуле $P = \frac{U^2}{R}$, где P — мощность, в ваттах, U — напряжение (эффективное значение) на сопротивлении, в вольтах, R — сопротивление, в омах.

В качестве вольтметра удобнее всего воспользоваться ламповым вольтметром, измеряющим напряжения до нескольких вольт.

Если в распоряжении радиолюбителя имеется амперметр переменного тока (например, кутроксный или термоэлектрический),

то такой прибор следует включить последовательно с нагрузкой и измерить величину силы тока через эту нагрузку — сопротивление R . В этом случае мощность определится по формуле

$$P = I^2 R,$$

где P — мощность, в ваттах, I — сила тока, в амперах, R — сопротивление, в омах.

Обращаем внимание на то, что при определении мощности на выходе радиоприемника низкочастотное напряжение следует подавать на вход низкочастотной части приемника, — к клеммам, к которым приключается адаптер.

Чем меньше мощность данного усилительного устройства, тем более затруднительно проводить измерения. Указанный здесь способ определения выходной мощности дает приближенные результаты. Тем не менее, практически нет никакой необходимости определять величину мощности с большой точностью. Мы дальше (см. стр. 141) подробно останавливаемся на том положении, что наше ухо не реагирует на изменение мощности, если величина этого изменения не превышает 25%. Поэтому в большинстве встречающихся радиолюбителю случаев совершенно бесцельно заниматься точным определением, например, отдает ли данный усилитель 3 *вт* или 3,2 *вт*, так как расхождение между этими величинами для нашего слухового восприятия останется совершенно незамеченным. В радиолюбительских условиях определение выходной мощности усилительного устройства сводится к определению *порядка* этой величины. Описанный нами способ вполне удовлетворяет поставленному требованию.

Измерение мощности коротковолнового передатчика

Под *мощностью передатчика* понимается мощность его в *антенне* при нажатом ключе, если производится телеграфная работа незатухающими колебаниями, и при отсутствии модуляции (мощность несущей частоты), если осуществляется телефонная передача. Если телеграфная передача осуществляется модулирующей тональными частотами, то при этом действуют условия, приведенные нами в отношении телефонной работы, т. е. определяется мощность несущей частоты.

Приводим описание *фотометрического способа определения мощности передатчика в антенне*.

Сущность способа заключается в следующем: две одинаковые электрические лампы помещаются позади матового стекла (рис. 120) и накаливаются, одна — током высокой частоты измеряемого передатчика, а другая — постоянным или переменным током от какого-либо источника (батареи, осветительной сети). Если матовое стекло освещено равномерно (лампы расположены за стеклом на одинаковых расстояниях), значит к лампам подводятся одинаковые мощности, и мощность, подводимая к лампе

от источника постоянного (или переменного) тока будет равна мощности, отдаваемой передатчиком антенне.

Фотометр изготавливают из деревянного ящика-коробки. В переднюю стенку, обращенную в наблюдателя, вставляется мато-

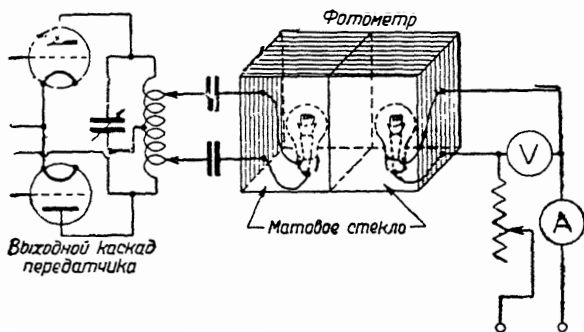


Рис. 120. Определение мощности коротковолнового передатчика фотометрическим методом

вое стекло (можно приобрести в магазине фотопринадлежностей), а самый ящик перегородивается светонепроницаемой стенкой на две части. Внутри каждого отделения ящика укрепляют по одной электроосветительной лампе. Выбор ламп определяется мощностью передатчика. Лампы для уменьшения емкости цоколя расколевываются.

После того как фотометр изготовлен, надо его проградуировать. Градуировка заключается в следующем: лампы накали-

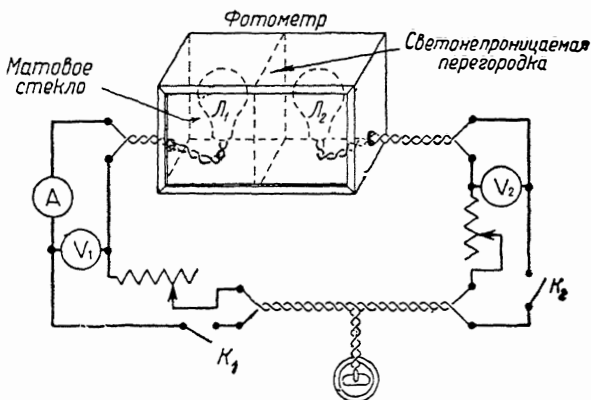


Рис. 121. Схема градуировки фотометра

вают (от сети переменного тока или от какого-либо источника постоянного тока — безразлично) таким образом, чтобы обе половины матового стекла фотометра оказывались совершенно одинаково освещенными. Получая одинаковую освещенность мато-

вого стекла, определяют мощности, подводимые к лампам — приборами, включенными по схеме рис. 121. Изменяя мощности накала ламп в пределах, при которых лампы освещают матовое стекло от еле видимого до максимального освещения и записывая все получаемые данные, строят график градуировки — рис. 122. По вертикальной оси откладывают величины мощностей, подводимых к той лампе, к которой впоследствии будет присоединен передатчик, а по горизонтальной — силу тока через вторую лампу фотометра или величины подводимого к ней напряжения.

После того, как фотометр отградуирован, можно приступать к самому измерению. Как это показано на рис. 120, одну лампу фотометра соединяют с передатчиком, благодаря чему лампа накаливается током высокой частоты и освещает одну половину матового стекла фотометра. Затем подают напряжение ко второй лампе фотометра и изменяют напряжение до тех пор, пока обе половины стекла фотометра не окажутся освещенными одинаково. Пользуясь графиком градуировки фотометра, определяют (по показанию прибора) величину мощности, которую нужно подать к лампе фотометра, соединенной с передатчиком, чтобы получить такую степень освещенности.

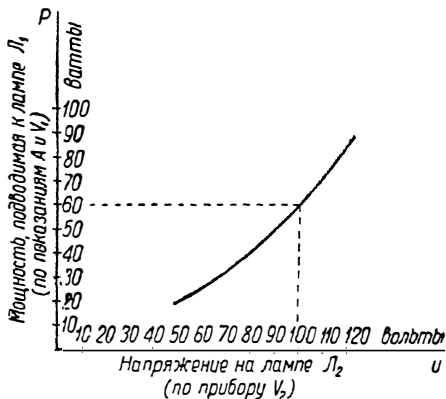


Рис. 122. Кривая градуировки фотометра

Описанный нами фотометрический способ определения мощности передатчика позволяет осуществлять измерения в значительных пределах — от долей ватта (с лампочками карманного фонаря) до сотен и более ватт (с нормальными осветительными лампами). Изготовление и градуировка фотометра не требуют больших затрат и этот способ может быть рекомендован как весьма простой, удобный и достаточный для большинства практически встречающихся случаев.

Г Л А В А XIV

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Снятие характеристик ламп

Покажем на примере, как производится снятие статических характеристик электронных ламп. Как известно, эти характеристики могут быть двух видов: *сеточные* и *анодные*. Сеточные характеристики представлены на рис. 123. Они показывают, как

изменяется анодный ток в зависимости от изменения напряжения на сетке (напряжения смещения) при определенном напряжении на аноде. Одну такую характеристику, снятую при неизменном напряжении на аноде, дополняют другими, снятыми при других значениях анодных напряжений. В результате получается так называемое семейство характеристик, позволяющее определять все основные параметры лампы.

Анодные характеристики приведены на рис. 124. Они показывают, как изменяется анодный ток от изменения напряжения на аноде при неизменном напряжении на сетке. От системы сеточных характеристик можно перейти к системе анодных, и наоборот. Указания в этой части читатель может найти в учебнике радиотехники.

В качестве примера рассмотрим порядок снятия характеристик лампы типа СО-118. Схема для снятия ламповых характеристик приведена на рис. 125. На этой схеме показан пентод. Для производства наших измерений, очевидно, провод к экранирующей сетке следует просто отключить, так как лампа СО-118 является триодом.

Напряжение накала лампы СО-118 устанавливается равным 4 в. На схеме питание накала обозначено от переменного тока. В тех случаях, когда снимаются характеристики ламп с обычной нитью накала, рассчитанной на питание постоянным током, следует произвести подключение к соответствующему источнику постоянного тока (аккумуляторы напряжением 4 в), помня о том, что в этих условиях катодом будет являться нить накала. Напряжение накала устанавливается по вольтметру V_1 , измеряющему постоянный ток или переменный (в этом последнем случае удобно применять купроксный вольтметр), в зависимости от того, каким током производится питание.

Сначала, для первого измерения, напряжение на аноде (U_a) устанавливается равным, положим, 120 в. Это напряжение измеряется вольтметром V_2 . С помощью потенциометра Π_1 напряжение на управляющей сетке по показанию прибора V_3 устанавливается равным +1 в. Затем отмечается показание прибора, измеряющего анодный ток, — mA_1 . Так как лампа СО-118 является «левой», т. е. такой, у которой рабочая часть характеристик находится в левой области, где напряжения на сетке являются отрицательными, то снимать характеристики при положительных на-

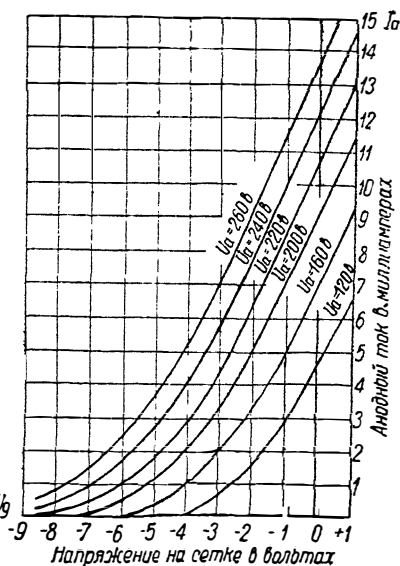


Рис. 123. Сеточные характеристики лампы типа СО-118, построенные по данным таблицы на стр. 135

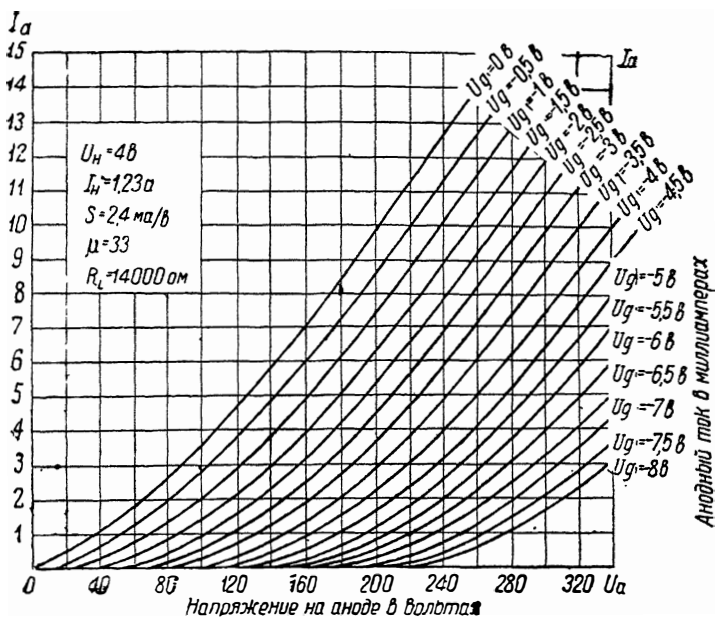


Рис. 124. Анодные характеристики лампы типа CO-118

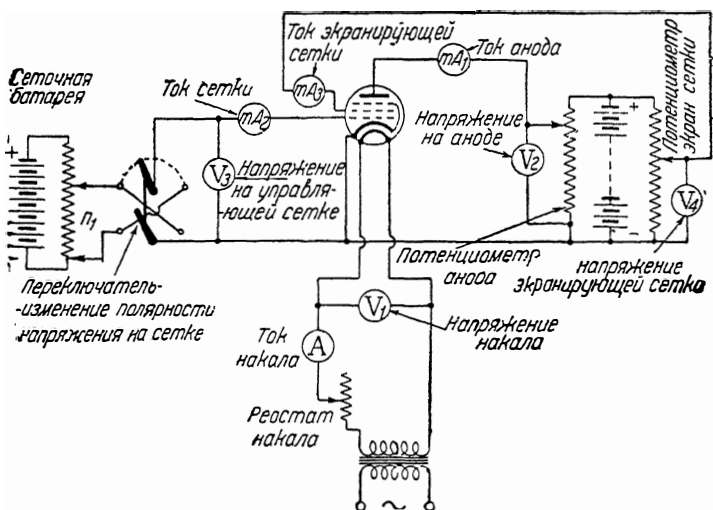


Рис. 125. Схема для снятия характеристик ламп

пряжениях на сетке не следует. Можно лишь довольствоваться подачей на сетку напряжения $U_g = +1$ в. Что касается других ламп, которые в практических условиях работают с заходом в область положительных значений напряжений на сетке (генераторные и некоторые другие), то приходится давать на сетку положительные напряжения большей величины¹⁾.

Записав все показания приборов, надлежит изменить напряжение на сетке, оставив все другие напряжения неизменными. Пусть $U_g = 0$. Очевидно, анодный ток уменьшится. Записываем новые показания приборов. После этого снова изменяем напряжение на сетке, устанавливая его равным $U_g = -1$ в. Анодный ток еще больше уменьшится. Регистрируем новое показание, снова изменяем напряжение на сетке и т. д. При проведении таких измерений надо следить за постоянством напряжения на аноде и напряжения накала. Снятие характеристики при данном анодном напряжении следует продолжать до тех пор, пока анодный ток не уменьшится до нуля. После снятия одной такой характеристики приступают к снятию другой, — в нашем случае при $U_a = 160$ в. Затем, — при 200 и 240 в (вообще говоря, достаточно снять две характеристики, остальные можно получить построением). Для других ламп анодные напряжения выбираются в соответствии с этикетными данными этих ламп.

По полученным в результате измерения данным, сводимым для удобства в таблицу, вычерчивают характеристики (рис. 123 и 124).

Таблица результатов измерений анодных токов лампы типа CO-118 при различных напряжениях на аноде и сетке

Напряжение на аноде U_a в вольтах	Напряжение на сетке U_g в вольтах									
	+1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
	Анодный ток в ма									
120	6,6	4,6	2,9	1,6	0,7	0	0	0	0	0
160	9,3	7,0	5,0	3,2	2,0	1,0	0,3	0	0	0
200	11,4	9,7	7,1	5,1	3,3	2,1	1,2	0,6	0,15	0
220	13,0	10,8	8,5	6,5	4,4	3,0	1,9	1,0	0,4	0
240	14,6	12,2	10,0	7,7	5,8	4,0	2,8	1,7	1,0	0,4
260	16,0	13,7	11,5	9,1	7,0	5,1	3,7	2,4	1,5	0,8

¹⁾ Предел в этом отношении устанавливается, как известно, величиной мощности рассеяния на аноде

$$P_a \approx U_a I_a,$$

где P_a — мощность, в ваттах, U_a — напряжение на аноде, в вольтах и I_a — анодный ток, в амперах.

Положительное смещение не должно быть больше такого, при котором произведение величины напряжения на аноде на величину анодного тока равно допустимому значению P_a (указывается заводом на сопровождающей лампу этикетке).

Если при измерениях необходимо определять величины сеточных токов (при заходе в правую область, — в область положительных сеточных напряжений), то это можно осуществить по показаниям прибора mA_2 , включенного в цепь сетки. Напряжение на экранирующей сетке измеряется прибором V_4 . Ток экранирующей сетки измеряется прибором mA_3 .

Мы не останавливаемся здесь на вопросе определения параметров ламп по характеристикам, так как полагаем это известным.

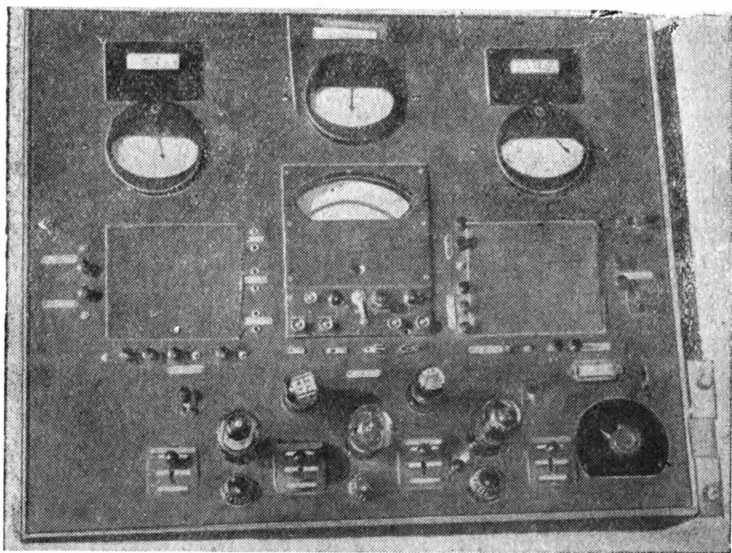


Рис. 126. Измерительная установка для снятия характеристик ламп. Вид сверху

На схеме рис. 125 указано значительное количество приборов. На практике часто приходится измерять напряжение на сетке тем же вольтметром, каким измеряется и анодное напряжение. Чтобы при этом не изменять режимов, надо пользоваться высокоомным вольтметром и хорошим миллиамперметром. Наиболее удовлетворительными в этом отношении окажутся МЭ гальванометры, снабженные шунтами и добавочными сопротивлениями. О влиянии величины сопротивления прибора на точность измерений — см. на стр. 150.

Частотные характеристики

Частотной характеристикой какого-либо электро-радиотехнического устройства называется графически выраженная зависимость работы этого устройства от частоты.

Поясним это определение на примерах. На рис. 127 *a* резонансный контур связан с ламповым волномером. В контур включен

измерительный прибор Г. Будем измерять величины силы тока в контуре при различных частотах колебаний, передаваемых от лампового волномера контуру. При этом положим, что величина эдс, создаваемой в катушке контура, остается неизменной. При некоторой частоте, далекой от собственного резонанса контура, показания прибора Г будут весьма малы. По мере приближения к резонансной частоте контура показания будут сначала медленно, а потом все быстрее увеличиваться, пока в момент резонанса эти показания не достигнут максимума. Продолжая изменение частоты в прежнем направлении, заметим, что показания прибора опять начнут уменьшаться.

Вычертив график зависимости силы тока в резонансном контуре от частоты колебаний (при неизменной по величине эдс, создаваемой в контуре), мы получим резонансную кривую (см. рис. 127 б). Если связь была слабой, то резонансная кривая получится одnogорбой, если же связь сильная, то получится двугорбая кривая.

Эти резонансные кривые представляют собой частотные характеристики резонансного контура.

Можно снять такие же частотные характеристики для более сложного соединения контуров, для так называемых полосовых фильтров (или бандпасс-фильтров), применяемых в радиоприемниках. Такой фильтр должен пропускать к лампам приемника только определенную полосу частот: все частоты, выходящие за пределы этой полосы частот, должны фильтром задерживаться. Это необходимо для того, чтобы осуществить неискаженный прием только одной какой-либо станции и не принимать в этот момент других. Ширина полосы пропускания такого полосового фильтра должна быть (в соответствии с техническими условиями радиовещания) около 9 кГц. Частотную характеристику такого устройства (речь идет здесь только о принципиальной возможности) можно снять так, как это показано на рис. 128 а. На вход фильтра подаются колебания различной частоты, но постоянной

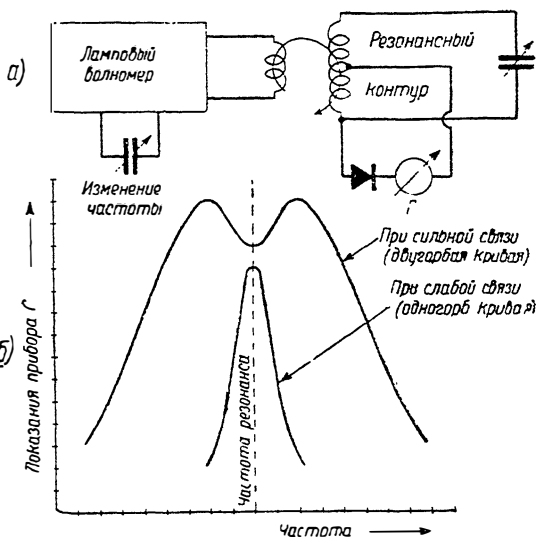


Рис. 127. Резонансные кривые колебательного контура являются частотными характеристиками контура

амплитуды. Настройка фильтра остается неизменной. Измеряется напряжение на выходе фильтра. Полученные результаты используются для вычерчивания графика — частотной характеристики фильтра (рис. 128 б). График наглядно показывает, какие частоты фильтр пропускает, а какие задерживает.

Очень часто приходится иметь дело с частотными характеристиками низкочастотных усилителей, громкоговорителей, микрофонов, телефонов и др. электроакустической аппаратуры. Эти характеристики являются основными показателями работы данных аппаратов и приборов. По частотной характеристике можно (правда, не в полной мере) определить качество работы данного электроакустического прибора.

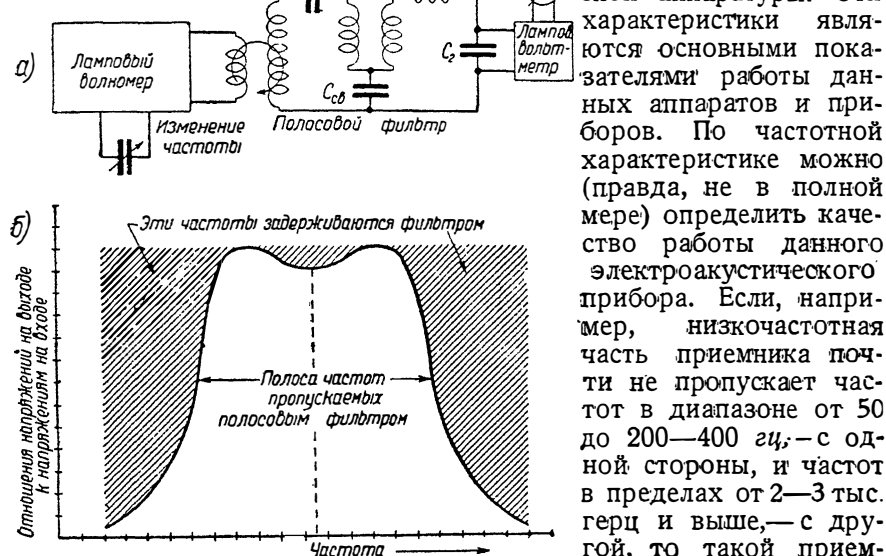


Рис. 128. а) Схема для снятия частотной характеристики полосового фильтра радиоприемника. б) Частотная характеристика этого фильтра

натурального воспроизведения радиовещательной программы. Для сохранения натуральности звучания надо воспроизводить (через громкоговоритель) все звуковые колебания, частоты которых заключаются в пределах, приблизительно, от 30—50 гц до 6 000—10 000 гц и даже выше. Эти частоты должны пропускаться как высокочастотной, так и низкочастотной частью приемника и должны воспроизводиться громкоговорителем. Для того, чтобы определить, в какой степени данный прибор или устройство удовлетворяет требованиям в этом отношении, и осуществляют снятие частотных характеристик.

Частотная характеристика усилителя низкой частоты снимается следующим образом: на вход усилителя подаются колебания низкой частоты от звукового генератора (рис. 129); напряжения на входе в течение всего времени, пока производятся измерения, поддерживаются строго постоянными. Измеряются напряже-

ния, которые получаются на выходе, на нагрузке, при различных частотах колебаний, подаваемых на вход. Затем по полученным данным вычерчивается частотная характеристика: по горизон-

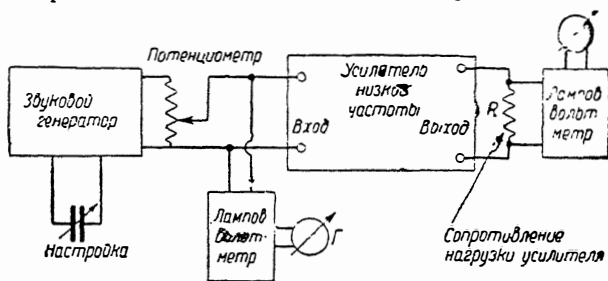


Рис. 129. Принципиальная схема для снятия частотной характеристики усилителя низкой частоты

тальной оси откладываются частоты колебаний в герцах, а по вертикальной — величины напряжений на выходе (в вольтах) или же величины коэффициента усиления — отношения напряжений на

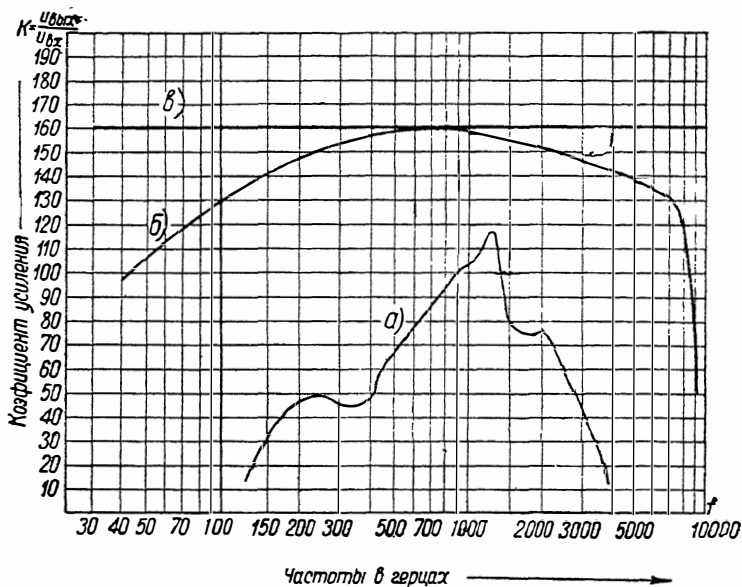


Рис. 130. Частотные характеристики усилителей низкой частоты (вычерченные произвольно)

выходе к напряжениям на входе (рис. 130). Еще удобнее пользоваться особыми единицами — децибелами. Об этом мы говорим дальше, на стр. 141.

На рис. 130 приведены примерные характеристики усилителей различного качества. Усилитель, характеристика которого пред-

ставлена кривой *a*, является, очевидно, плохим, так как он резко реагирует на частоту подводимых колебаний и неодинаково усиливает колебания различных частот. Средние частоты усиливаются может быть и достаточно, но нижние и верхние частоты — явно недостаточно, о чем свидетельствуют резко выраженные завалы характеристики.

Лучшая характеристика представлена на рис. 130 б. Как видим, здесь зависимость коэффициента усиления от частоты гораздо меньше, меньше завалы на нижних и верхних частотах.

Характеристика *в* на рис. 130 является идеальной, так как в данном случае совершенно отсутствует зависимость коэффициента усиления от частоты и все колебания усиливаются в совершенно одинаковой степени.

В тех случаях, когда на вход усилителя приходится подавать очень небольшое напряжение (например, при испытании предварительных — микрофонных и др. усилителей), пользоваться схемой, приведенной на рис. 127, нельзя, так как обычные типы ламповых вольтметров не рассчитаны на измерение столь малых напряжений, как несколько милливольт. В таких случаях необходимо воспользоваться схемой рис. 131. Здесь напряжение на

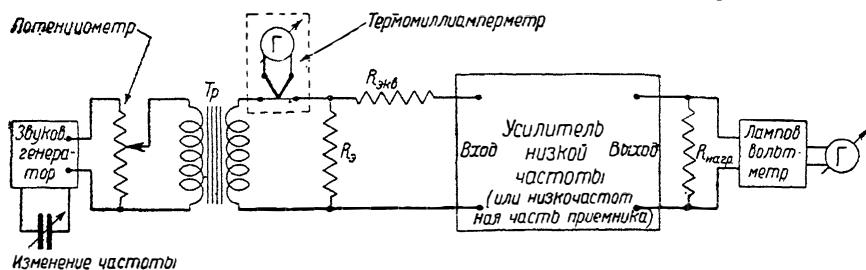


Рис. 131. Схема для снятия частотных характеристик усилителя низкой частоты для случая подачи на вход малых напряжений

входе измеряется не ламповым вольтметром, а с помощью МЭ гальванометра с термопарой, измеряющего силу тока через относительно небольшое сопротивление R_c , включенное параллельно входу усилителя. Очевидно, что напряжение на входе усилителя будет равно падению напряжения на сопротивлении R_c (по сравнению с которым входное сопротивление усилителя бесконечно велико). Умножая величину силы тока, измеряемую термомиллиамперметром, на сопротивление R_c , получаем величину напряжения на входе. Сопротивление $R_{вх}$ является эквивалентным, заменяющим собой сопротивление того источника, от которого в рабочих условиях усилитель получает колебательное напряжение для усиления. Обычно величина этого сопротивления составляет несколько десятков или сотен *ом* (при работе от микрофона — порядка 600 *ом*).

Сопротивление $R_{нагр}$ представляет собой то сопротивление, на которое нагружается усилитель в нормальных условиях рабо-

ты. Это — такое сопротивление, которое, будучи приключено к выходу усилителя, нагружает выходной каскад в такой же степени, как и громкоговоритель. Так как в настоящее время в основном применяются электродинамические громкоговорители (динамики), то величину подключаемого на выход усилителя сопротивления $R_{нагр}$ определяют величиной электрического сопротивления звуковой катушки динамика. Поэтому следует выяснить, чему равно сопротивление обмотки звуковой катушки динамика или же измерить его способами, описанными нами в главе VII. Если на выход усилителя в нормальных условиях подключаются несколько громкоговорителей, то следует определить расчетом общее сопротивление нагрузки.

Может быть и такой случай, что нагрузка усилителя совершенно неизвестна. В таком случае можно поступить так: подать на вход усилителя нормальное для его работы напряжение звуковой частоты и измерить напряжение на выходных клеммах ненагруженного усилителя, т. е. измерить напряжение холостого хода. Затем к выходным клеммам усилителя следует подключить сопротивление такой величины, которое понизило бы величину напряжения холостого хода процентов на 25—30. Этой величине и будет (приблизительно) соответствовать сопротивление нагрузки.

Децибелы

Остановимся еще на одном вопросе, с которым радиолюбителю приходится сталкиваться. Приобретая громкоговоритель, радиолюбитель получает паспорт этого громкоговорителя — перечень наиболее характерных данных и особенностей громкоговорителя, иногда дополненный частотной характеристикой. На этой характеристике по горизонтальной оси отложены частоты в герцах, а по вертикальной — особые единицы, носящие название децибел. Что это за единицы?

Наше ухо реагирует на изменение звуковой мощности или на изменение громкости не по прямой пропорциональной (линейной) зависимости, а по логарифмической (закон Вебера-Фехнера). Это объясняется исключительно природными свойствами нашего слуха. Чтобы ухо отметило увеличение громкости, электрическую мощность, подводимую к громкоговорителю, надо увеличить по крайней мере на 25%. Если увеличение мощности будет меньшим, то наше ухо не отметит увеличения громкости. К примеру, мы по слуху совершенно не сможем отметить изменение громкости при увеличении подводимой к громкоговорителю электрической мощности от 3 до 3,5 *вт*, от 10 до 12 *вт*, от 20 до 24 *вт* и т. д., — эти увеличения менее 25%.

Поэтому величину усиления удобнее выражать в условных «единицах слышимости». Такой «единицей слышимости» и взят децибел (*дб*) — единица, принятая в акустике для определения относительной громкости звуков. 1 *дб* соответствует увеличению электрической мощности примерно на 25%.

Как же определять усиление в децибелах, если частотная характеристика снимается по показаниям вольтметров? Приводим соотношения между децибелами и отношениями напряжений и мощностей:

$$K_{\text{дб}} = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}},$$

$$K_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}},$$

где $K_{\text{дб}}$ — коэффициент усиления в децибелах, $P_{\text{вых}}$ — мощность на выходе, $P_{\text{вх}}$ — мощность на входе, $U_{\text{вых}}$ — напряжение на выходе, $U_{\text{вх}}$ — напряжение на входе.

Возьмем такой пример: на вход подано напряжение 10 в, а на выходе получается напряжение 50 в. Коэффициент усиления равен, очевидно,

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Выразим этот коэффициент в децибелах

$$K_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 20 \lg 5 = 20 \cdot 0,699 = 14 \text{ дб}.$$

Другой пример: мощность на выходе усилителя составляет 20 вт, на входе усилитель потребляет 0,01 вт.

Выразим увеличение мощности в децибелах

$$K_{\text{дб}} = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = 10 \lg \frac{20}{0,01} = 10 \lg 2000 = 10 \cdot 3,301 = 33 \text{ дб}.$$

Отметим, что удвоению мощности соответствует увеличение слышимости на 3 дб, утроению — 4,7 дб, увеличению в 5 раз — 7 дб и т. д. Для перевода коэффициентов усиления, выраженных простыми отношениями, в децибелы удобно пользоваться готовыми таблицами, которые можно найти в учебнике по радиотехнике или в справочниках.

Частотная характеристика, вычерченная с использованием логарифмических единиц — децибел, в большей степени отвечает на вопрос о том, как будет реагировать наше ухо на работу данного электроакустического устройства. Именно поэтому и пришлось ввести такое усложнение, как замену простых отношений логарифмическими.

При вычерчивании частотной характеристики надлежит предварительно выразить коэффициенты усиления (по мощности или по напряжению) в децибелах.

Амплитудные характеристики

Амплитудной характеристикой какого-либо радиотехнического устройства называется графически выраженная зависимость величины напряжения на выходе данного устройства от величины напряжения на входе. Частота подводимых на вход колебаний при этом сохраняется постоянной. Другими словами,

амплитудная характеристика показывает, в какой степени изменения напряжения на выходе точно следуют изменениям напряжения на входе. Между этими напряжениями должна быть полная пропорциональность: во сколько раз увеличивается напряжение на входе, во столько же раз должно увеличиться выходное напряжение. Графически эта зависимость (рис. 132), следовательно, должна выражаться прямой линией.

Если амплитудная характеристика данного устройства представлена кривой линией, то это указывает на непропорциональность между выходным и входным напряжениями. Такая характеристика называется *нелинейной*. Возникающие вследствие такой нелинейности характеристики *искажения* называются *нелинейными*.

У усилителей амплитудная характеристика в пределах рабочих значений напряжений, подводимых на вход, должна быть строго линейной.

Схема для снятия амплитудных характеристик усилителя низкой частоты остается такой же, как в случае снятия частотных характеристик (рис. 129 и 131). Только при снятии частотных характеристик напряжение на входе поддерживалось неизменным и менялась частота, тогда как при снятии амплитудных характеристик, наоборот, — частота (обычно 400 или 1000 гц) поддерживается неизменной, а изменяется напряжение на входе.

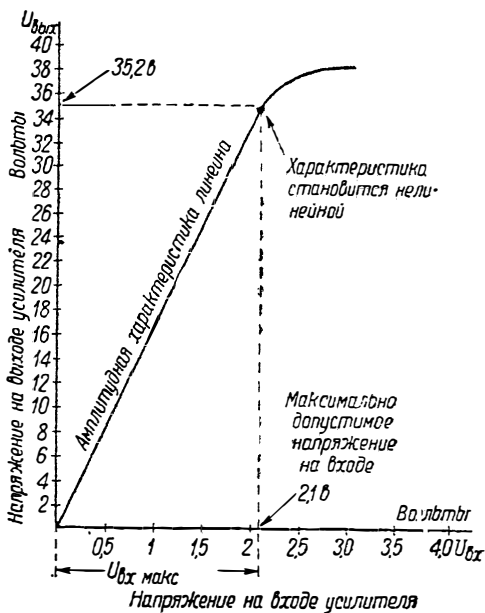


Рис. 132. Амплитудная характеристика усилителя низкой частоты. Чтобы не допустить нелинейных искажений, напряжение на входе не должно превышать величины $U_{вх макс}$

ГЛАВА XV

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

Радиолюбителю, занимающемуся сборкой аппаратуры, не обойтись без небольшого количества измерительных приборов и схем. Конструирование радиоприемника современного типа

нельзя себе мыслить как простое выполнение работ по рецепту, указанному в журнале или книге. При подборе деталей для изготовления приемника необходимо проверять их данные. Иногда этикетные данные сопротивлений, емкостей и др. деталей не сходятся с истинными значениями. Если приемник будет изготовлен из непроверенных деталей, то даже при самом аккуратном выполнении всех соединений он может отказать в работе. Потребность в измерениях в радиолюбительской практике не ограничивается только проверкой деталей, — современные приемники вообще требуют налаживания, подгонки контуров, проверки резонансных частот и т. д. Словом, без измерительных приборов, хотя бы самых примитивных, обойтись радиолюбителю невозможно.

К необходимости осуществления измерительных работ радиолюбителем следует подходить и не только с этой чисто практической точки зрения. Радиолюбитель непрерывно экспериментирует, улучшает, предлагает что-либо свое, проверенное опытом, изготовленное своими руками. Молодой радиолюбитель учится во время экспериментирования, приобретает навыки, которые впоследствии ему могут пригодиться в его основной работе. Работа без определения величин, без количественной оценки, без предварительного учета возможностей, основанных на материалах измерений, является, по большей своей части, работой вслепую. Это задерживает рост радиолюбителя, скрывает от него многие возможности, остающиеся без использования. По мере роста техники радио такой радиолюбитель может почувствовать свое отставание. Вот почему мы рекомендуем радиолюбителю обзавестись небольшой лабораторией — набором самых необходимых измерительных приборов и установок.

Выбор электроизмерительного прибора

Отсутствие в настоящее время в продаже специально сконструированных для радиолюбителя измерительных приборов заставляет нас рекомендовать самостоятельное изготовление радиолюбительских приборов на базе использования хотя бы таких явно неудовлетворительных по качеству, но дешевых гальванометров, какими являются стрелочные гальванометры ФИЛУ.

Ряд конструкций различных электроизмерительных приборов и установок, рассчитанных специально для радиолюбителей, был описан в различных номерах журнала «Радиофронт» (см. библиографический перечень в конце книги). В нашей книге, ограниченной по объему, мы лишены возможности более или менее подробно останавливаться на конструкциях, тем более что в этом отношении трудно рекомендовать что-либо однотипное и установившееся. Поэтому мы ограничимся только указаниями общего характера и основными данными.

На рис. 133 приведена схема вольтмиллиамперметра постоянного и переменного тока, описанного в журнале «Радиофронт»

(№ 17, 1937 г.). Этот прибор имеет следующие пределы измерений:

постоянный ток	$\left\{ \begin{array}{l} \text{по напряжению: до 1, 4, 40, 200 и 400 в,} \\ \text{по току: до 100 мка, 10 и 100 ма} \end{array} \right.$
переменный ток	
постоянный ток	$\left\{ \begin{array}{l} \text{по напряжению: до 4, 40, 150 и 600 в,} \\ \text{по току: до 10, 100 и 500 ма.} \end{array} \right.$
переменный ток	

Переключение диапазонов измерений осуществляется с помощью переключателей P_2 и P_3 (рис. 133), причем расположенным слева (см. 1 на рис. 134) переключателем P_3 меняются пределы измерений по току, — постоянному и переменному, а расположенным справа переключателем P_2 (2 на рис. 134) меняются пределы измерений постоянного и переменного напряжений. При переходе от измерений постоянного тока к измерениям переменного тока переключатель P_1 , расположенный посредине (3 на рис. 134) переводится вправо и в схему прибора включается описанная нами ранее (см. стр. 54) мостиковая схема выпрямления Грета, в которой применены купроксы.

В качестве измерительного прибора использован гальванометр ФИЛУ типа Н. Мы не указываем величин добавочных сопротивлений и сопротивлений шунтов, — гальванометры ФИЛУ имеют различные чувствительности, так что в каждом отдельном случае радиолюбителю самому придется подсчитывать значения этих величин. В этом отношении полезны окажутся сведения, приведенные нами в гл. IV книги.

На рис. 135 показано крепление гальванометра. Это крепление осуществлено непосредственно к нижней стороне крышки ящика. На этом снимке на переднем плане видны шунты —

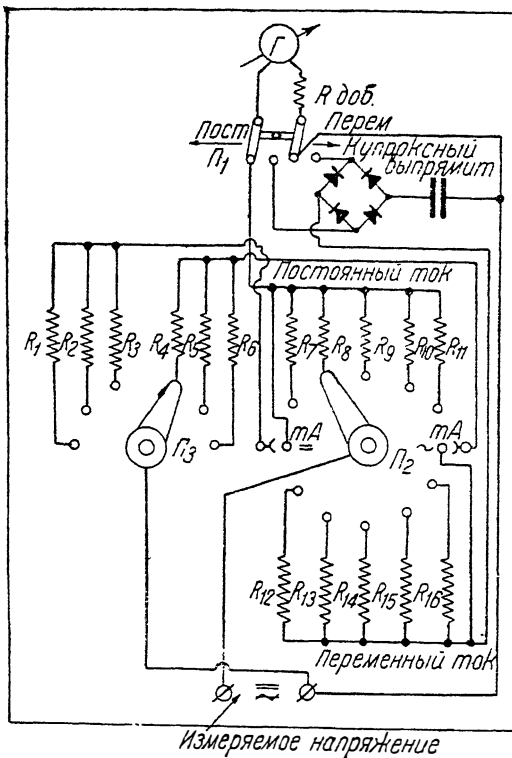


Рис. 133. Схема вольтмиллиамперметра постоянного и переменного тока (с гальванометром ФИЛУ типа Н) лаборатории журнала „Радиофронт“

проволочные сопротивления, а на заднем — добавочные сопротивления (на стр. 41—42 мы подробно касаемся вопроса о том, какие именно рекомендуется использовать сопротивления для измерительных приборов).

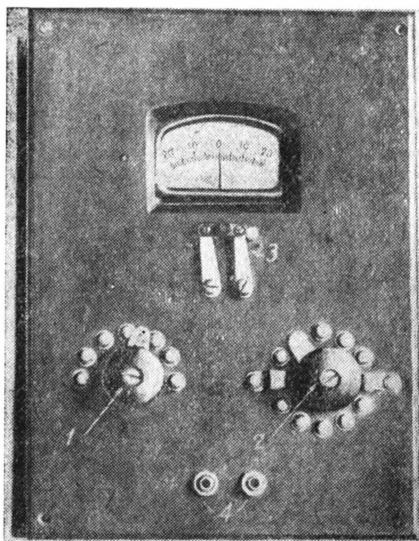


Рис. 134. Вольтмиллиамперметр постоянного и переменного тока лаборатории журнала „Радиофронт“ (см. схему на рис. 133)

1 — переключатель P_3 , 2 — переключатель P_2 , 3 — переключатель P_1 , 4 — клеммы для подключения измеряемого тока

Мы, опять-таки, не даем здесь подробного описания, отсылая читателя к указанному номеру журнала, и ограничиваемся здесь лишь перечнем того, какие измерения можно осуществлять с помощью этого прибора:

постоянный ток	$\left\{ \begin{array}{l} \text{по напряжению: до } 10, 100, 500 \text{ и } 1000 \text{ в,} \\ \text{по току: до } 35 \text{ мка, } 1, 10, 100 \text{ и } 1000 \text{ ма;} \end{array} \right.$
переменный ток	
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{по напряжению: до } 10, 150, 250 \text{ и } 1000 \text{ в,} \\ \text{по току: до } 10, 100, 500 \text{ и } 1000 \text{ ма.} \end{array} \right.$

Помимо этого, прибор позволяет осуществлять измерение сопротивлений в пределах от 5 ом до 2 мгом.

Еще более универсальный прибор (по существу уже измерительная установка) описан в № 10 (1937 г.) журнала «Радиофронт». Эта установка дает возможность производить:

а) измерение электрических сопротивлений по схеме моста Уитстона в пределах от 0,01 до 1 000 000 ом;

б) измерение емкостей в пределах от нескольких сантиметров до 2—3 мкф;

Небольшая по размерам шкала гальванометра типа Н заставляет прибегать к разбивке диапазонов измерений на значительно большее число пределов, нежели этого хотелось бы. Это усложняет конструкцию и затрудняет пользование прибором.

Более удовлетворительные результаты дает применение другого гальванометра ФИЛУ — типа С (рис. 28), имеющего шкалу со ста делениями. Тому радиолюбителю, который располагает достаточными средствами, можно рекомендовать приобрести этот более дорогой прибор, который окажется значительно более удобным при измерениях.

Универсальные измерительные установки

Универсальный измерительный прибор, сконструированный на базе использования гальванометра типа С, описан в № 21 журнала «Радиофронт» за 1937 г.

- в) измерение индуктивностей катушек;
- г) измерение длин волн;
- д) измерений напряжений постоянного тока (шкалы 1, 10, 100 и 1000 в);
- е) измерение напряжений переменного тока;
- ж) измерений сил токов — переменного и постоянного; шкалы 0,01, 0,1, 1 и 10 а.

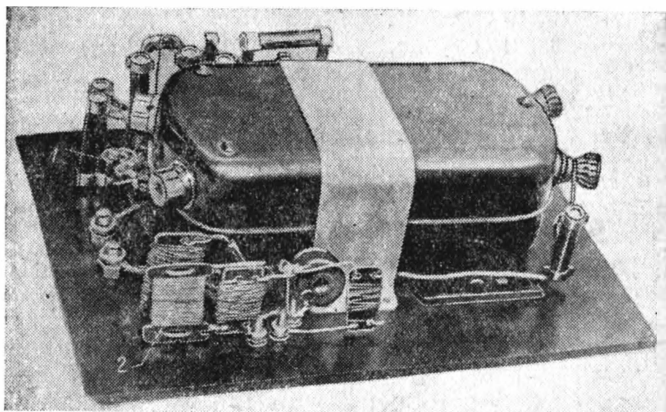


Рис. 135. Вольтмиллиамперметр постоянного и переменного тока лаборатории журнала „Радиофронт“ (см. схему на рис. 133). Вид снизу

1 — добавочные сопротивления, 2 — шунты

Помимо этого, установка может быть использована для испытания электронных ламп, испытания конденсаторов на пробой, для измерения величины утечки и т. п.

Возвращаясь еще раз к вопросу о том, какой именно прибор или установку следует рекомендовать радиолюбителю, мы хотим подчеркнуть, что здесь мнения могут сильно расходиться. Одним хотелось бы иметь в своем распоряжении как можно более универсальную установку, пригодную для всех практически встречающихся случаев измерения, тогда как другие предпочитают иметь несколько отдельных приборов, компактных по размерам и портативных. Уже в силу этих соображений нельзя рекомендовать что-либо определенное, какой-либо определенный тип прибора или установки тем более, что величины сопротивлений всякий раз должны получаться различными, так как данные стрелочных приборов различаются между собой.

Поэтому мы можем рекомендовать нашему читателю пользоваться приведенными в книге сведениями и указаниями, зна-

комиться с теми материалами, которые приводятся в массовом радиолюбительском журнале «Радиофронт», а самое конструирование в той или иной комбинации осуществлять самому, переходя от изготовления самых простых измерительных приборов к более сложным.

Мы не рекомендуем особо универсальных приборов. Во-первых, в этом не всегда встречается необходимость, во-вторых, установка не получается компактной и, в-третьих, зачастую выход ее из строя при каком-либо неосторожно проведенном измерении лишает радиолюбителя сразу всех средств измерения вообще. Во всяком случае, универсализм в этом отношении должен иметь оправданные необходимостью пределы.

Другие приборы радиолюбительской лаборатории

Помимо приборов для общих электрических измерений радиолюбителю необходимы: зуммер, звуковой генератор и, особенно, волномер.

Зуммер в качестве источника тока звуковых частот применяется в практике радиолюбительских измерений весьма часто. Стоимость его невелика.

Что касается звукового генератора, то квалифицированному радиолюбителю можно рекомендовать изготовление генератора, разработанного лабораторией журнала «Радиофронт» (см. стр. 112). Схема более простого звукового генератора приведена на рис. 103.

Изготовление резонансного и зуммерного волномера под силу даже начинающему радиолюбителю и не требует больших затрат.

Несколько сложнее ламповый волномер. Как и в отношении звукового генератора, мы должны высказать пожелание, чтобы его конструкция выполнялась радиолюбителем особенно тщательно. Волномер, частота колебаний которого известна лишь весьма приближенно, утрачивает свою ценность и лишает многие измерения практического смысла. Рекомендуется воспользоваться достаточно проверенной конструкцией лампового волномера, описанной нами на стр. 107—110.

Кроме измерительной аппаратуры при производстве измерений понадобятся головные телефоны, лампочки карманного фонаря, различные соединительные проводники, переключатели, постоянные сопротивления, реостаты, потенциометры, конденсаторы, соловые и другие катушки и т. п. Многое из этого найдется у радиолюбителя в его «радиозалежах», кое-что придется приобретать, например, хороший конденсатор переменной емкости, который можно было бы проградуйровать и использовать для многих резонансных и иных измерений, батареек, зуммер и т. д.

ДОПОЛНЕНИЯ

Измерение напряжений и токов в приемнике

Измерение напряжений и токов в различных цепях радиоприемника, в особенности в цепях анодов и сеток, может осуществляться только такими приборами, которые в минимальной степени изменяют режим работы измеряемой цепи. Это требование является наиболее существенным в отношении вольтметров. Если сопротивление вольтметра невелико, то (мы это подробно разбираем на стр. 150) измерение не дает правильных результатов. Не следует забывать, что в сеточных и анодных цепях приемников включаются сопротивления в несколько десятков и сотен тысяч Ом, следовательно, в таких случаях сопротивление вольтметра должно измеряться, по крайней мере, мегомами.

Без особого опасения за режим работы измеряемой цепи можно пользоваться высокоомным вольтметром, изготовленным с использованием гальванометра ФИЛУ.

В современных сложных схемах приемников не всегда легко, в особенности начинающему радиолюбителю, разобраться в том, куда надо подключать измерительный прибор, чтобы измерить то или иное напряжение, определить силу тока и т. д. Положение усложняется тем, что почти во всех схемах современных приемников смещение на сетки ламп получается не от отдельного источника напряжения, а автоматически, за счет протекания анодного тока по сопротивлению, включенному последовательно с анодной нагрузкой.

Усложняют задачу измерения и развязывающие фильтры.

Не всегда получается возможность измерять анодное напряжение, например, присоединяя один провод от вольтметра к шасси (т. е. к земле), а другой к аноду лампы. В ряде случаев этого нельзя сделать потому, что на сетку подается смешанное напряжение через сопротивление, включенное в цепь накала, и в этом случае будет измерено не анодное напряжение (т. е. напряжение между анодом и катодом лампы), а анодное напряжение, увеличенное на величину напряжения смещения на сетку. Если напряжение смещения невелико, то этим можно пренебречь и измерять анодное напряжение присоединением вольтметра между анодом и шасси. Но, повторяем, не всегда и не во всех случаях это можно сделать.

Надо выработать умение быстро оценивать конечный результат какого-либо измерения: что получится, если вольтметр присоединить не к этим точкам, а к другим? Ведь не ко всякой точке схемы можно удобно добраться концом проводника от вольтметра, поскольку в приемниках применяется экранировка. В этих случаях надо суметь найти какую-либо другую, более доступную точку.

Кроме того, подключение прибора к некоторым цепям может привести к самовозбуждению приемника. В результате сильно изменится режим и измерение окажется лишеным смысла.

Ниже мы приводим схему приемника СИ-235 (рис. 136 в конце книги), на которой пунктиром нанесены кружки и соединительные пунктирные линии, условно обозначающие места присоединения измерительных приборов и самые приборы. У каждого такого кружка стоит номер, — по номеру в таблице (см. ниже) можно найти указание, что измеряется при таком подключении прибора.

На схеме, наряду с правильными способами измерения, указаны также и некоторые неправильные, — мы это особо отмечаем в настоящей таблице.

Тип прибора определяется характером измерения.

Этой схемой мы вынуждены ограничить разбор вопроса об измерении в различных цепях приемника. Было бы невозможным в нашей книге представить такие схемы и по другим типам приемников. Пользуясь данными таблицы и схемой, радиолюбитель, надо полагать, сумеет произвести измерения и в других приемниках.

Влияние величины сопротивления прибора на точность измерений

Разберем такой пример: требуется измерить падение напряжения на сопротивлении $R = 40\,000\text{ ом}$ (рис. 137). Сила тока через это сопротивление равна, предположим, 10 ма . В нашем распоряжении имеется вольтметр, собственное сопротивление которого равно $R_{\text{приб}} = 100\,000\text{ ом}$. Спрашивается, сколько покажет вольтметр?

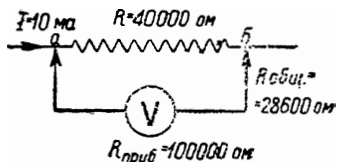


Рис. 137. Влияние величины сопротивления вольтметра на точность измерения

Параллельно сопротивлению R приключается сопротивление самого прибора $R_{\text{приб}} = 100\,000\text{ ом}$. В результате общее сопротивление такого параллельного соединения будет, очевидно, равно

$$R_{\text{общ}} = \frac{100\,000 \times 40\,000}{100\,000 + 40\,000} = 28\,600\text{ ом.}$$

Предположим, что силу тока мы поддерживаем строго постоянной, тогда напряжение на концах такого параллельного соединения (точки a и b) будет равно

$$U' = I \cdot R_{\text{общ}} = 0,01 \times 28\,600 = 286\text{ в.}$$

Это напряжение и будет отмечено вольтметром.

В действительности же напряжение на сопротивлении R должно быть равно

$$U = IR = 0,01 \cdot 40\,000 = 400\text{ в.}$$

Расхождение, таким образом, составляет $400 - 286 = 114$ в, т. е. $\frac{114}{400} \cdot 100 = 28,5\%$. Столь большое расхождение обусловлено только тем, что *сопротивление вольтметра недостаточно велико*. Применять вольтметр со столь относительно малым сопротивлением для такого измерения нельзя.

Если сопротивление вольтметра увеличится вдвое, то, как не трудно подсчитать, вольтметр в данном случае будет показывать (при неизменном токе) уже не 286, а 334 в, т. е. расхождение составит уже не 28,5%, а 16,5%. Даже если сопротивление вольтметра будет равно 500 000 ом, то все-таки он не будет показывать 400 в, а только 370 в. Расхождение уменьшится до 7,5%, но все же еще будет достаточно велико.

Итак, подключение для измерения напряжений вольтметра *с относительно малым сопротивлением* приводит к *неправильному определению измеряемой величины*. Более того, такое подключение связано с изменением режима в самой цепи.

Производя вычисления, мы полагали ток в цепи неизменным, как до, так и после включения прибора. В действительности же это не получится, так как включение такого прибора значительно изменяет общее сопротивление цепи.

Во многих случаях с такими изменениями режима (изменение силы тока на 10—15%) можно мириться, но иногда и такие изменения приводят к существенному изменению всей работы какого-либо устройства—радиоприемника, например. Мы предлагаем самому читателю проделать ряд примеров, задаваясь различными сопротивлениями вольтметра и различными сопротивлениями источников питания. Эти примеры должны показать, что *чем меньше относительная величина сопротивления вольтметра, тем больше получаются расхождения измеряемой величины с истинной и тем в большей степени изменяется режим в измеряемой цепи*.

В качестве некоторого, весьма грубого и приближенного, компромисса можно положить, что *сопротивление вольтметра должно быть, по крайней мере, в 10—20 раз больше того сопротивления, к которому этот вольтметр приключается для измерения*. Если требуется измерить напряжение, которое получается на сопротивлении $R = 40\,000$ ом, то сопротивление самого прибора не должно быть меньше 500 000 ом, так как в противном случае изменение режима и изменение показаний будут значительны.

Радиолюбителю—конструктору радиоприемников часто придется иметь дело с относительно небольшими токами (порядка нескольких миллиампер) и большими сопротивлениями, включаемыми в различные цепи приемника. Применение в этих случаях для измерений низкоомных вольтметров совершенно недопустимо.

Связи между контурами при резонансных измерениях

Как известно из основ радиотехники, при слабой связи одного резонансного контура с другим, т. е. когда катушка одного контура (в случае индуктивной связи) находится на значительном расстоянии от другой катушки, получается резонансная кривая вида рис. 138 а. Это так называемая *одногорбая резонансная кривая*.

Если же катушки контуров ближе подносить одну к другой, то одногорбая кривая (а и б на рис. 138) постепенно перейдет в *двугорбую* (рис. 138 в) и вместо резонансной пики на одной частоте мы получим две пики на тем более отличающихся друг от друга частотах, чем больше связь между контурами, чем ближе катушки контуров поднесены друг к другу.

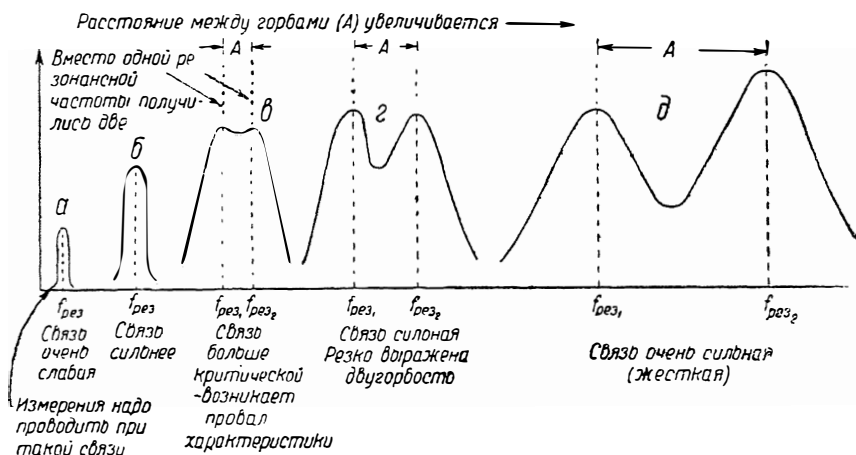


Рис. 138. Влияние связи между контурами на резонансную кривую

Не менее существенным является также то, что при слабой связи между контурами резонансная кривая получается более *острой*, тогда как при увеличении связи эта кривая становится более *пологой*.

При проведении каких-либо резонансных измерений или при определении длины волны с помощью волномера связь между контурами всегда следует применять очень *слабую*. В этом случае момент резонанса будет определен с большей точностью, так как уже при небольшом изменении частоты от резонансной величина тока резко падает.

Если же применять более сильную связь, то в значительном пределе частот по обе стороны от резонансной частоты величина тока остается почти неизменной. В таких условиях нужно немного изменить частоту, чтобы отойти от положения резонанса и

обнаружить это на приборе. Поэтому самый момент резонанса и, следовательно, самая резонансная частота с большей точностью будут определяться именно при очень слабой связи между контурами.

При сильной связи вместо резонансной частоты $f_{рез}$ можно будет взять либо частоту $f_{рез1}$, либо $f_{рез2}$, что приведет к ошибочным результатам.

Чем больше связь между контурами, тем больше будет величина тока в контуре резонансного волномера. Может получиться так, что включенный в контур волномера измерительный прибор или индикатор повредится от чрезмерного по величине тока. Если этим индикатором является тепловой миллиамперметр или гальванометр с термоэлементом, то не исключена возможность перегорания нити теплового прибора или подогревателя термоэлемента. Вот еще один веский довод в пользу того утверждения, что *резонансные измерения должны проводиться при очень слабой связи между контурами.*

«Слабая связь» — под этим определением при производстве резонансных измерений надо понимать такую связь, при которой индикатор резонанса лишь обнаруживает момент резонанса. Нельзя допускать того, чтобы стрелка прибора, работающего в качестве индикатора, отклонялась до конца шкалы. Также нельзя допускать и того, чтобы неоновая лампочка, примененная в качестве индикатора, светилась бы ярким светом или чтобы в телефонах был слышен сильный звук. Достаточно, чтобы индикатор резонанса реагировал на резонансную частоту небольшим отклонением стрелки прибора (на несколько первых делений), слабым свечением неоновой лампы или слабым же свечением лампочки карманного фонаря и т. д. В этом случае резонанс, повторяем, будет обнаружим с большей точностью. При этом устраняется и угроза для целостности самих индикаторов и, кроме того, слабо связанный контур в меньшей степени влияет на режим работы измеряемого контура, что также является весьма серьезным обстоятельством.

Если при данном расстоянии между контурами индикатор не отмечает момента резонанса, то можно контуры несколько сблизить. Обнаружив резонанс, можно снова ослабить связь.

Указать заранее, какие именно брать расстояния между контурами при измерениях, разумеется, невозможно, так как это зависит от ряда условий и, в частности, от силы тока в контуре. Единственно, что может выработать в этом отношении какие-либо навыки, это опыт.

Регистрация результатов измерений

Занимающемуся измерениями радиолюбителю надо выработать у себя привычку тщательно регистрировать результаты измерений, отмечая на листе бумаги все наиболее важные данные

дату; объект и цель измерения; тип и конструкцию измерительного прибора, измерительной установки; схему, по которой осуществлялось включение измерительных приборов; порядок измерения; вспомогательные детали; источники питания и т. д.). Это, скучное на первый взгляд, составление *протокола измерений* окажет большую услугу радиолюбителю. Во-первых, это избавит его от необходимости запоминать данные измерений; во-вторых, в случае повторения такого измерения радиолюбителю не придется вновь разрабатывать или выбирать схему для измерения, — можно будет воспользоваться уже готовой; в-третьих, позднее можно проверить полученные данные и порядок измерений, показав протокол какому-либо более сведущему лицу. Наконец, составление подобного протокола имеет глубокое воспитательное значение, приучая радиолюбителя к аккуратности и точности — тем качествам, которыми должен обладать каждый всерьез интересующийся техникой.

Конечно, если измерение элементарно (например, измерение напряжения сети или аккумуляторной батареи), то составление протокола является неоправданной формальностью. Но чем сложнее и ответственнее измерение, тем больше необходимость регистрации результатов измерения в форме протокола. Таблица, график, несколько данных — это, может быть, является результатом длительной работы. Измерение без оставшихся следов в форме обработанных данных, начисто переписанных на листке бумаги или, лучше, в особой тетради, с вычерченными графиками, зачастую теряет свой смысл.

Форма протокола может быть произвольной, но перечисление данных, которые могут потребоваться впоследствии, обязательно.

Построение графиков

Графики обычно вычерчиваются на разграфленной в клетку бумаге или, лучше, на миллиметровке. Прежде всего задаются масштабами по горизонтальной и вертикальной осям (называемым координатными осями).

Рекомендуется *независимую переменную величину* (т. е. ту величину, которую мы в процессе измерений сами изменяем) откладывать в выбранном масштабе по *горизонтальной* оси, а *зависимые переменные величины* (т. е. те измеренные значения, которые получились в результате изменения первых величин) — по *вертикальной* (рис. 139; см. также рис. 34, 35б, 36, 37, 38, 42в, 52 и др.).

Отложив деления по координатным осям и пометив (буквами полностью или же условными буквенными обозначениями), что именно откладывается по данной оси, с помощью остро отточенного карандаша наносят на поле между координатными осями маленькие точки в местах пересечений двух линий: одной, — идущей вертикально от соответствующего (по данным таблицы) де-

ления на горизонтальной оси, и другой,— идущей горизонтально от соответствующего (также по данным таблицы) деления на вертикальной оси (см. пунктиры на рис. 139).

Все полученные для данной серии измерений точки следует соединить между собой плавной линией, для чего можно воспользоваться лекалом. Не следует стремиться к тому, чтобы линия обязательно и точно прошла через все точки, до последней. Возможны некоторые ошибки при измерениях, так что некоторые точки могут выпадать в стороны. Это положение мы иллюстрируем рис. 139.

Когда на один чертеж наносится несколько графиков в одной и той же системе координат (см., например, рис. 127 и 130), то рекомендуется каждую отдельную кривую прочерчивать либо

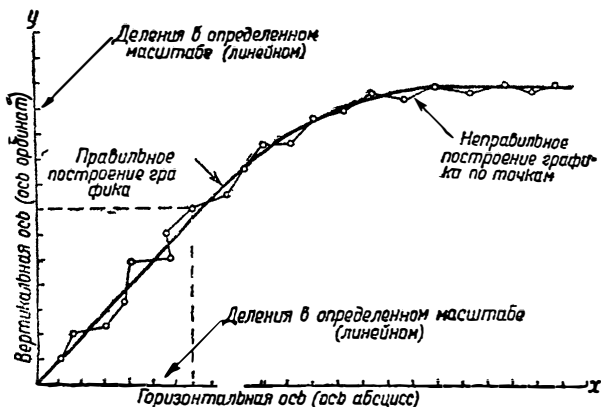


Рис. 139. Построение графика по данным измерения

разноцветными карандашами (чернилами, тушью), либо пользоваться сплошными и различными пунктирными кривыми, если графики располагаются в непосредственной близости один от другого.

Иногда по вертикальной оси откладываются сразу несколько величин (например, величина силы тока в какой-либо одной цепи, сила тока в другой цепи, величина мощности, значение КПД, и т. д.), как на рис. 34. В таких случаях можно рекомендовать прочерчивать несколько параллельных вертикальных, отстоящих на небольшом расстоянии (5—10 мм) одна от другой, осей и наносить на каждую ось деления в выбранном масштабе, обязательно обозначив, что именно отложено по данной оси.

Существенным является вопрос о том, как часто брать точки, на сколько изменять наши независимые переменные значения. Полагаем, что лучше всего это достигается практикой измерений, так как совет общего характера дать здесь было бы затрудни-

тельно. Однако, следует отметить, что зачастую достаточно лишь выявить характер кривой. Случаи, когда приходится брать точки очень часто, располагая их на чертеже близко одна около другой, встречаются сравнительно редко. После первого же вычерчивания графика обычно становится понятным, насколько правильно были выбраны пределы изменений. При повторных измерениях эти результаты будут, несомненно, учтены.

В заключение обратим внимание еще на одну особенность при вычерчивании графиков. При снятии, например, частотных ха-

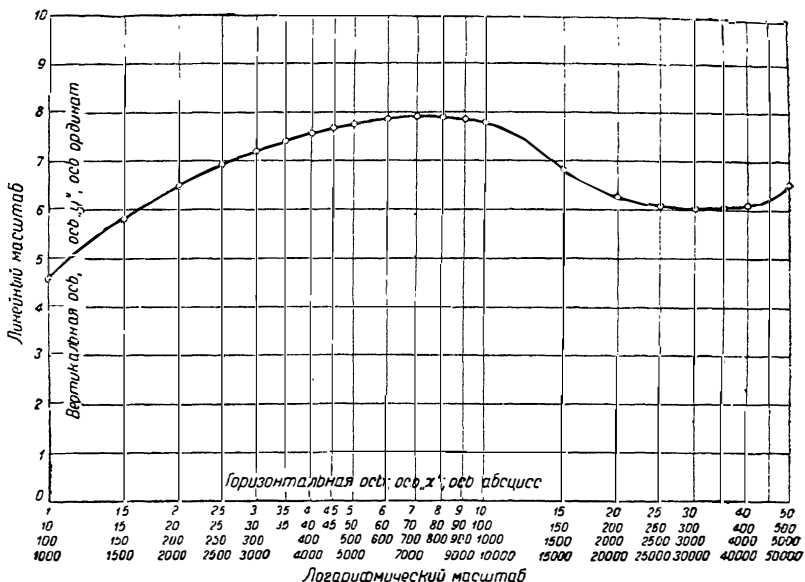


Рис. 14'. График с использованием логарифмического масштаба по горизонтальной оси

рактеристик, когда по горизонтальной оси откладываются частоты в герцах, а по вертикальной оси — величины усиления, приходится пользоваться на горизонтальной оси не линейным масштабом, а логарифмическим. Объясняется это тем, что для таких характеристик существенно видеть ее всю, в пределах всего диапазона, т. е. определять, как изменяется коэффициент усиления на нижних частотах (на частоте 30, 50, 60, 100, 500 гц), на средних (1000, 2000, 3000 гц) и верхних (3000, 4000 гц и выше). Если попытаться отложить частоты в линейном масштабе, то или придется сильно растянуть график по горизонтальной оси, или же сильно «сгустить» деления. Если взять, например, линейный масштаб по горизонтальной оси 10 гц в 1 мм, то для нанесения всех частот от самых низких до 10 000 гц горизонтальную ось при-

дется растянуть на целый метр. Если масштаб уменьшить, взяв 100 *гц* в 1 *мм*, то хотя длина горизонтальной оси сократится до 100 *мм*, но наиболее характерные участки частотной характеристики окажутся скраденными.

На рис. 140 мы приводим график с логарифмическим масштабом по горизонтальной оси, который устраняет эти недостатки и позволяет вычерчивать, в частности частотные характеристики, весьма удобно и наглядно. При невозможности достать логарифмическую бумагу, можно самому произвести разграфление, пользуясь делениями на рис. 140.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ ПО РАЗЛИЧНЫМ ВОПРОСАМ ЭЛЕКТРО-РАДИОИЗМЕРЕНИЙ, ПОМЕЩЕННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РАДИОФРОНТ» в 1935—39 гг.

А. Измерение напряжений и силы тока

1. Простейший контрольный прибор, 1935, № 2, стр. 21.
2. Любительский высокоомный вольтметр, 1935, № 11, стр. 24.
3. Конструкция высокоомного вольтметра, 1935, № 11, стр. 28.
4. О высокоомном вольтметре, 1937, № 10, стр. 25.
5. Вольтмиллиамперметр постоянного и переменного тока, 1937, № 17, стр. 35.
6. Простой вольтметр, 1939, № 13.
7. Измерительный прибор радиолюбителя, 1937, № 10, стр. 19.
8. Тестер-анализатор, 1939, № 2, стр. 20 и № 4, стр. 21.
9. Универсальный вольтметр, 1938, № 19, стр. 41.
10. Измерения переменного тока, 1937, № 17, стр. 31.
11. Амплитудное, эффективное, среднее, 1937, № 22, стр. 41.
12. Универсальный измерительный прибор, 1937, № 21, стр. 29.
13. Чувствительный измерительный прибор, 1939, № 11, стр. 21.
14. Измерение напряжений высокой и низкой частоты, 1935, № 19, стр. 31.
15. Измерение напряжений высокой частоты, 1935, № 15, стр. 23.
16. Тепловой вольтамперметр, 1939, № 14.
17. Термоэлементы, 1937, № 13, стр. 45.
18. Любительский термоамперметр, 1937, № 4, стр. 51.
19. Применение термоэлементов для измерений, 1937, № 16, стр. 28.
20. Купроксный выпрямитель, 1936, № 14, стр. 33.
21. Ламповый вольтметр, 1935, № 15, стр. 23.
22. Диодный вольтметр, 1938, № 17/18, стр. 42.
23. Как измерять напряжения в приемниках, 1935, № 19, стр. 12.
24. Испытатель приемников, 1939, № 11, стр. 32.
25. Испытатель батарейных приемников, 1939, № 14.
26. Измерительный прибор для налаживания приемников, 1939, № 11, стр. 28.
27. Что показывает анодный миллиамперметр, 1936, № 4, стр. 56.
28. Электростатический вольтметр, 1939, № 3, стр. 36.
29. Самодельный гальванометр, 1939, № 10.

Б. Измерение сопротивлений

1. Омметр из гальванометра, 1937, № 10, стр. 13.
2. Ламповый омметр, 1937, № 10, стр. 26.
3. Как измерить омметром высокоомное сопротивление, 1935, № 22, стр. 24.
4. Что такое z , 1938, № 6, стр. 21.
5. Установка для измерения R , 1936, № 6, стр. 17.

В. Измерение емкостей

1. Самодельный эталон емкости, 1935, № 2, стр. 25.
2. Измерение емкостей, 1935, № 3, стр. 33.
3. Измерение емкости в любительских условиях, 1937, № 14, стр. 40.
4. Проверка малых конденсаторов, 1938, № 2, стр. 30.
5. Способ определения емкости микрофарадных конденсаторов, 1935, № 8, стр. 14.
6. Измерение емкости микрофарадных конденсаторов, 1937, № 14, стр. 44.
7. Мостик для измерения емкостей, 1938, № 20, стр. 24.

Г. Измерение индуктивностей

1. Методы измерения самоиндукций, 1938, № 2, стр. 21.
2. Измерение самоиндукций катушек, 1938, № 2, стр. 26.
3. Мостик для измерения самоиндукций, 1938, № 7, стр. 20.
4. Самоиндукция катушек и дросселей высокой частоты, 1938, № 2, стр. 29.

Д. Измерение частот и длин волн

1. Длина волны и частота, 1937, № 12, стр. 53.
2. Волномер, 1935, № 2, стр. 22.
3. Ламповый волномер, 1937, № 6, стр. 9.
4. Гетеродинный волномер, 1939, № 2, стр. 50.
5. УКВ волномер, 1937, № 17, стр. 47.
6. УКВ волномер, 1937, № 24, стр. 52.
7. Самодельный гетеродин, 1935, № 2, стр. 19.
8. Гетеродин, 1936, № 10, стр. 26.
9. Простейший гетеродин, 1938, № 12, стр. 29.
10. Гетеродин для налаживания приемников (тест-сигнал), 1938, № 14, стр. 23.
11. Гетеродин, 1939, № 8, стр. 11.
12. Градуировка волномера, 1935, № 3, стр. 32.
13. Градуируйте свои передатчики, 1937, № 7, стр. 58.
14. Градуировка приемников, 1937, № 9, стр. 27.
15. Измерение и контроль на любительских станциях, 1937, № 7, стр. 53.
16. Звуковой генератор, 1939, № 8, стр. 29.
17. Простой звуковой генератор, 1935, № 22, стр. 57.
18. Ламповый генератор звуковой частоты, 1938, № 5, стр. 49.
19. Репродуктор «Зорька» в качестве зуммера, 1935, № 8, стр. 61.
20. Зуммер из звонка, 1935, № 12, стр. 34.
21. Самодельный зуммер, 1939, № 8, стр. 52.

Е. Разное

1. Общепринятые обозначения основных величин, применяющиеся в радио и электротехнике, 1938, № 5, стр. 45.
2. Что, где и чем измерять, 1939, № 11, стр. 16.
3. Измерения радиолюбителя, 1939, № 11, стр. 15.
4. Измерительные приборы, 1939, № 10.
5. Резонансные измерения, 1935, № 2, стр. 15.
6. Снятие резонансной кривой контура, 1935, № 28, стр. 28.
7. Индикатор уровня передач, 1939, № 13.
8. Измеритель выходной мощности, 1939, № 11, стр. 40.
9. Прибор для измерения глубины модуляции, 1937, № 17, стр. 52.
10. Смещение стрелки у гальванометра, 1938, № 12, стр. 28.
11. Применение «магического глаза» для различных измерений, 1938, № 17—18, стр. 45.
12. Частотная характеристика, 1939, № 8, стр. 25.
13. Амплитудная характеристика, 1939, № 9.
14. Логарифмическая бумага, 1939, № 9.
15. Измерения у американских коротковолновиков, 1939, № 11, стр. 60.

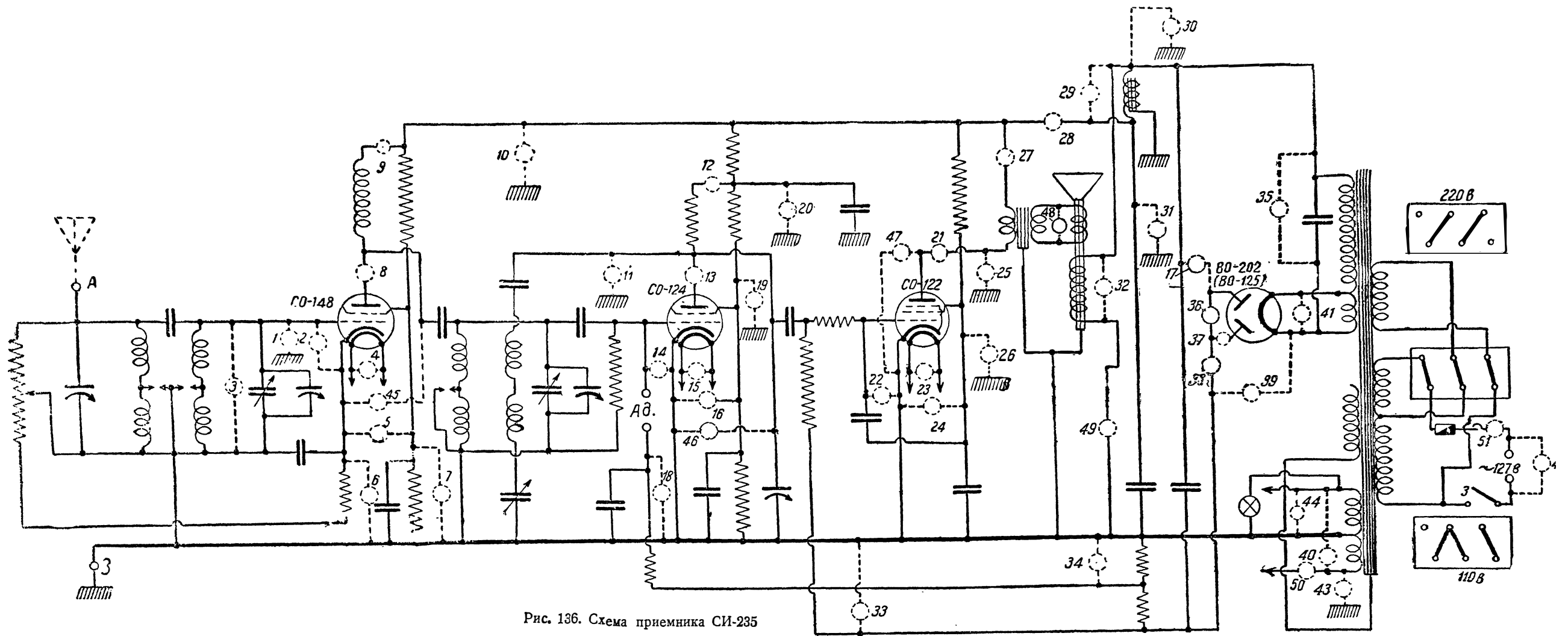


Рис. 136. Схема приемника СИ-235

Таблица к схеме приемника СИ-235

1. **Неправильный** способ измерения напряжения смещения на управляющей сетке лампы CO-148 (см. № 2, 3 и 6).
2. Правильный способ измерения напряжения смещения на управляющей сетке лампы CO-148 (см. также № 6).
3. То же, что и № 1 (см. № 1, 2 и 6).
4. Напряжение накала лампы CO-148.
5. Напряжение на экранирующей сетке лампы CO-148 (измерять только высокоомным вольтметром!).
6. Напряжение смещения на управляющей сетке лампы CO-148 (см. также № 1, 2 и 3).
7. Вольтметр покажет сумму напряжений — на экранирующей сетке и на управляющей сетке лампы CO-148.
8. Анодный ток лампы CO-148 (при осуществлении этого измерения схема может самовозбудиться; лучше — см. № 9).
9. Анодный ток лампы CO-148 (рекомендуемый способ измерения).
10. Вольтметр покажет величину анодного напряжения лампы CO-122 (без учета падения напряжения на первичной обмотке выходного трансформатора приемника; см. также № 31).
11. Анодное напряжение лампы CO-124 (высокоомным вольтметром! — см. также № 46).
12. Анодный ток лампы CO-124 (см. № 13).
13. Анодный ток лампы CO-124 (лучше — № 12).
14. **Неправильный** способ измерения напряжения смещения на управляющей сетке лампы CO-124: эта лампа работает в режиме сеточного детектирования, так что смещение не является постоянным и не может быть таким способом измерено. Если же приемник (его низкочастотная часть) используется только в качестве усилителя, т. е. осуществляется работа от адаптера, то такое присоединение даст возможность измерить напряже-

- ние смещения на управляющей сетке лампы CO-124, но только при включенном адаптере (см. № 18 и 34).
15. Напряжение накала лампы CO-124.
16. Напряжение на экранирующей сетке лампы CO-124 (высокоомный вольтметр!).
17. Выпрямленное напряжение до дросселя.
18. Напряжение смещения, подаваемое на управляющую сетку лампы CO-124 при работе адаптера. Можно измерить и без включения адаптера, но обязательно высокоомным вольтметром (см. № 14 и 34).
19. Напряжение на экранирующей сетке лампы CO-124 (см. также № 16).
20. Напряжение, подводимое от выпрямителя к детекторному каскаду приемника. Не путать с величиной анодного напряжения лампы CO-124! (см. № 11 и 46).
21. Анодный ток лампы CO-122 (см. также № 27).
22. Неправильное измерение напряжения смещения на управляющей сетке лампы CO-122 (см. № 33).
23. Напряжение накала лампы CO-122.
24. Напряжение на экранирующей сетке лампы CO-122 (высокоомный вольтметр! — см. также № 26).
25. Анодное напряжение на лампе CO-122 (высокоомный вольтметр! — см. также № 47).
26. Напряжение на экранирующей сетке лампы CO-122 (см. также № 24).
27. Анодный ток лампы CO-122 (см. также № 21).
28. Анодные токи и токи экранирующих сеток всех трех ламп — CO-148, CO-124, CO-122 (т. е. общее потребление анодного тока приемником от выпрямителя, за исключением тока, потребляемого для возбуждения громкоговорителя).
29. Падение напряжения на дросселе фильтра.
30. Выпрямленное напряжение до дросселя, уменьшенное на

- величину напряжения смещения на управляющей сетке лампы CO-122 (также см. № 32).
31. То же, что и № 10.
32. Напряжение возбуждения динамического громкоговорителя (то же, что и № 30).
33. Напряжение смещения на управляющей сетке лампы CO-122 (см. также № 22).
34. Напряжение смещения на управляющей сетке CO-124 при работе от адаптера (до развязывающего фильтра). Можно измерить и не высокоомным вольтметром (см. также № 14 и 18).
35. Напряжение на вторичной обмотке силового трансформатора.
36. Ток одного анода кенотрона.
37. То же — второго анода.
38. Ток двух анодов кенотрона.
39. Падение напряжения на кенотроне.
40. Напряжение на концах накальной обмотки трансформатора.
41. Напряжение накала кенотрона.
42. Напряжение питающей сети переменного тока.
43. Напряжение на половине обмотки трансформатора накала.
44. То же — на другой половине. Также напряжение, подводимое к лампочке, освещающей шкалу.
45. Напряжение на аноде лампы CO-148.
46. Напряжение на аноде лампы CO-124 (см. также № 11).
47. Напряжение на аноде лампы CO-122 (см. также № 25).
48. Напряжение на звуковой катушке громкоговорителя.
49. Сила тока обмотки возбуждения динамического громкоговорителя.
50. Общий ток накала ламп приемника (кроме кенотрона).
51. Ток, потребляемый приемником от питающей сети.