РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ КОНСУЛЬТАЦИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ РАДИОКЛУБЕ СССР

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ *L, C, R*

Измерительный прибор (рис. 1) позволяет измерять индуктивности катушек в диапазоне 0,05 мкГ до 50 мГ (0,05—0,5 мкГ; 0,5—5 мкГ; 5—50 мкГ; 50—500 мкГ; 0,5—5 мГ; 5—50 мГ), емкости конденсаторов от 3 пФ до 0,1 мкФ (3—100 пФ; 10—1000 пФ; 100—10 000 пФ; 1000 пФ — 0, 1 мкФ) и сопротивления от 1 Ома до 10 МОм (1—100 Ом; 10—1000 Ом; 1—100 кОм; 0,1—10 МОм).

Основные узлы прибора — генератор электрических колебаний, мост для измерения *RC*, индикаторное устройство и выпрямитель.

Генератор электрических колебаний используется при измерении индуктивностей катушек. Он собран на левом триоде *Л1а* лампы *Л1* по схеме с индуктивной обратной связью и работает в диапазоне частот 10,07 кГц—10,07 МГц, который разбит на шесть поддиапазонов: 3,184—10,07 МГц (*I*); 1,007—3,184 МГц (*II*); 318,4—1007 кГц (*III*); 100,7—318,4 кГц (*IV*); 31,84 — 100,7 кГц (*V*) и 10,07—31,84 кГц (*VI*). Переход с одного поддиапазона частот на другой осуществляется переключателем *В1*. Секциями *В1б, В1в* этого переключателя в анодную цепь триода включается один из контуров *L1C1, L3C1, L5C1, L7C1, L9C1C2, L11C1C2*, а секцией *В1а* в цепь управляющей сетки лампы *Л1а* включается соответствующая катушка обратной связи *L2, L4, L6, L8, L10* или *L12*. Функции гридлика выполняет резистор *R5* и конденсатор *C10*. Плавное изменение частоты в пределах первых четырех поддиапазонов производится секцией *C1* сдвоенного блока конденсаторов переменной емкости *C1C2*. На последних двух поддиапазонах (*V* и *VI*) обе секции соединяются параллельно.

Индуктивность катушек измеряется резонансным методом, суть которого кратко сводится к следующему. Измеряемая катушка L_x подключается к гнездам *Гн1, Гн2* и вместе с образцовым конденсатором *C8* образует колебательный контур L_xC8. На этот контур через конденсатор *C7* небольшой емкости подается переменное напряжение, снимаемое с анода лампы *Л1а* генератора. Если известна частота колебаний f_0 генератора, соответствующая резонансной частоте настройки контура $L_x, C8$, то измеряемую индуктивность L_x можно определить по формуле $L_x = 25355 : f_0^2 \cdot C8$. Из этой формулы следует, что каждому значению индуктивности L_x при данной величине конденсатора $C8 = 5000$ пФ соответствует определенная резонансная частота $f_0 = 2{,}2519 : \sqrt{L_x}$. Это позволяет шкалу блока конденсаторов *C1C2* проградуировать в значениях индуктивности измеряемой катушки.

Если частоты генератора выбрать такими, чтобы при переходе с одного поддиапазона на другой они отличались друг от друга в 3,16 раза, то на всех пределах измерения индуктивности можно использовать общую шкалу, отсчет по которой потребуется умножить на коэффициенты: «×1», «×10», «×10^2», «×10^3», «×10^4» или «×10^5», определяемые положениями переключателя *В1*. Именно исходя из этого и выбраны частоты поддиапазонов генератора.

О настройке генератора на резонансную частоту контура L_xC8 судят по индикаторному устройству, состоящему из усилителя напряжения (*Л1б*), детектора (*Д3*) и электронно-светового индикатора (*Л2*). Напряжение с контура L_xC8, которое при резонансе достигает максимального значения, через секцию *В3б* переключателя рода работы *В3* поступает на вход усилителя, смонтированного на правом триоде лампы *Л1* по резистивной схеме. Усиленное напряжение поступает на детектор *Д3*, детектируется им и через фильтр *R13C11* в отрицательной полярности подается на сетку индикатора *Л2*. В момент настройки генератора на резонансную частоту f_0 контура L_xC8 отрицательное напряжение на сетке лампы *Л2* резко возрастает, и угол теневого сектора индикатора становится минимальным. Регулировка чувствительности индикатора производится переменным резистором *R12*.

Измеритель *RC* представляет собой сочетание моста Уитстона (при измерении сопротивлений) и моста Соти (при измерении емкостей конденсаторов). Измеряемое сопротивление R_x или конденсатор C_x подключаются к гнездам *Гн3* или *Гн4*. Как у всех мостов подобного типа, отсчет измеряемой величины производится по шкале реохорда *R7* при балансе моста, который определяется по максимуму теневого сектора индикатора *Л2*. Баланс моста достигается изменением величин образцовых резисторов *R1—R4* или образцовых конденсаторов *C3—C6* и соотношения плеч реохорда *R7*. Измеряемое значение R_x или C_x определяется как произведение показаний реохорда на множитель пределов измерения при балансе моста.

Основной частью моста, определяющей точность измерения, являются магазины сопротивлений *R1—R4* и емкостей *C3—C6*. Пределы измерения устанавливаются переключателем *В2*. Реохорд *R7* представляет собой переменный проволочный резистор с плотной намоткой. Для расширения шкалы к концам реохорда подключены два резистора (*R6* и *R8*), величины которых подобраны таким образом, чтобы крайним положениям движка реохорда соответствовали отношения сопротивлений, равные «0,1» и «10». Примерная шкала реохорда приведена на рис. 2. От тщательности изготовления реохорда в большой степени зависит точность измерения *R, C*. Чем больше диаметр реохорда, тем точнее будут измерения.

При измерении величин сопротивлений или емкостей конденсаторов переключатель рода работ *В3* устанавливается в положения R_x или C_x. В этом случае вход индикаторного устройства секцией *В3б* через конденсатор *C9* подключается к одной из диагоналей моста, с которой снимается напряжение разбаланса. Мост питается напряжением от обмотки *IV* силового трансформатора *Тр1*. Чтобы выровнять величину тока на отдельных пределах измерений и предотвратить перегрузки испытуемых и эталонных резисторов, в цепь питания моста включается резистор *R9*.

Секции переключателя *В3г* служат для переключения концов реохорда при переходе с измерения сопротивлений на измерение емкостей, что позволяет воспользоваться одной шкалой при измерении *R* и *C*. Секция *В3д* используется для включения и выключения прибора.

Выпрямитель собран по схеме удвоения напряжения на диодах *Д1, Д2*.

В приборе применен блок переменных конденсаторов (*C1C2*) с верньерным устройством. Все переключатели — галетного типа: *В1* — трехплатный на шесть положений и три направления, *В2* — одноплатный на восемь положений, *В3* — трехплатный на четыре положения и шесть направлений (одно не используется). Детали магазина *R1—R4* и *C3—C6* подбираются с допуском, не превышающим ±2%. Образцовый конденсатор *C8* — типа КСО; *C3—C6* — типа КТ и КСО.

Все контурные катушки и соответствующие им катушки обратной связи *L1, L2; L3, L4; L5, L6* и т. д. наматывают проводом ПЭЛШО 0,13 на каркасах, выточенных из оргстекла с внутренней резьбой, соответствующей резьбе сердечника. Щечки для отдельных катушек вырезают из пресс-шпана или плотного картона и приклеивают к каркасу. Данные, необходимые для намотки катушек, приведены в таблице и на рис. 3 (l_1 — длина намотки катушек *L1, L3*; l_2 — длина намотки катушек *L2, L4*).

Диапазон, МГц	Катушки	Требуемая индуктивность, мкГ	Число витков	Тип намотки	Расположение обмоток (рис.)
3,184—10,07	*L1*	4,6	23	Рядовая $l_1=10$	3а
»	*L2*	—	17	» $l_2=5$	»
1,007—3,184	*L3*	46	80	» $l_1=15$	»
»	*L4*	—	22	» $l_2=5$	»
0,3184—1,007	*L5*	460	160	«Универсаль»	3б
»	*L6*	—	80	»	»
0,1007—0,3184	*L7*	4600	530	«Вналал»	3в
»	*L8*	—	250	«Универсаль»	»
0,0318—0,1007	*L9*	23 000	970	«Вналал»	3г
»	*L10*	—	500	»	»
0,01—0,0318	*L11*	230 000	2000	»	3д
»	*L12*	—	1400	»	»

Внутри каркаса катушек *L1—L10* размещаются сердечники СЦР-5, а внутри *L11, L12* — СЦР-6. Конструкции катушек могут быть и другими, важно лишь, чтобы их индуктивности соответствовали величинам, указанным в таблице. Следует отметить, что фактическое число витков катушки, требуемое для получения заданной индуктивности, зависит от плотности намотки, расстояния между сердечником и обмоткой и других причин, учесть которые при ручной намотке не представляется возможным. По этой причине приведенные в таблице числа витков катушек при налаживании прибора подлежат уточнению.

Трансформатор *Тр1* выполнен на сердечнике Ш19, набор 28 мм с площадью окна 7,82 см². Обмотка *Iа* содержит 1270 витков провода ПЭЛ 0,25; *Iб* — 930 витков ПЭЛ 0,2; обмотка *II* — 1400 витков ПЭЛ 0,18; обмотка *III* — 65 витков ПЭЛ 0,9; обмотка *IV* — 500 витков провода ПЭЛ 0,2. Габариты прибора зависят от размеров шкал для измерения *L, C, R*, а также габаритов блока конденсаторов *C1C2*. При использовании типовых деталей подобный прибор легко размещается на П-образном шасси из оцинкованной стали толщиной 1 мм размером 220×140×55 мм. Переднюю панель, на которой располагают органы управления, изготовляют из дюралюминия толщиной 1,5—2 мм. Ее размер 235×145 мм. Расположение деталей на шасси и передней панели существенного значения не имеет, однако следует придерживаться следующих рекомендаций.

Переключатель *В1*, все катушки индуктивности и блок конденсаторов лучше всего смонтировать в отдельном отсеке, который сверху и снизу шасси отделяется от остального монтажа экраном. Необходимо учесть, что при измерении индуктивности в диапазоне 0,05—0,5 мкГ большую роль играет индуктивность проводов между гнездами *Гн1, Гн2* и конденсатором *C8*, искажающая конечный результат. Для уменьшения этой погрешности желательно использовать гнезда диаметром не более 8 мм. Кроме этого, конденсатор *C8* припаивают непосредственно к гнездам *Гн1, Гн2* с укороченными до минимума концами. Емкость конденсатора *C8* подбирается такой, чтобы она вместе с емкостью монтажа, гнезд *Гн1, Гн2* и входной емкостью триода *Л1б* составила 5000 пФ с точностью 0,1—0,2% (измеряется с гнезд *Гн1, Гн2* при выключенном приборе).

Налаживание прибора начинают с измерителя *RC*. Убедившись в отсутствии ошибок в схеме и работоспособности индикаторного устройства, переключатель рода работы *В3* устанавливают в положение «R_x» и переходят к градуировке шкалы реохорда. Для этой цели лучше всего воспользоваться внешним малоомным сопротивле-

ний на 1—1000 Ом. Сначала на шкале реохорда *R7* намечают три основные точки: начало (*0,1*), середину (*1*) и конец (*10*). Для этого переключатель *В2* устанавливают в положение *2* («$\cdot 10^2$ Ом»), магазин сопротивлений подключают к гнездам *Гн3*, *Гн4* и, набрав на нем сопротивление 10 Ом, вращением ручки указателя реохорда *R7* добиваются баланса моста — наибольшего теневого сектора на экране лампы *Л2* (чувствительность индикатора переменным резистором *R12* устанавливается вблизи максимума). Это положение указателя реохорда соответствует началу шкалы, т. е. отметке *0,1* («$\cdot 1$»). Если эта точка окажется на правом конце шкалы реохорда, то концы проводов, которыми он подключается к резисторам *R6*, *R8*, надо поменять местами.

Затем на магазине устанавливают сопротивление 100 Ом и снова балансируют мост. Указатель при этом окажется в середине шкалы, которая соответствует отметке «*1*» (рис. 2). Отметка «*10*» на шкале реохорда соответствует измеряемому сопротивлению 1000 Ом. После этого на магазине сопротивлений поочередно устанавливают 20, 30, 40 Ом и т. д. и, каждый раз балансируя мост, наносят на шкалу реохорда промежуточные значения отношения плеч реохорда («$\cdot 2$», «$\cdot 3$», «$\cdot 4$»...). Если образцовые резисторы *R1*, *R3*, *R4* и конденсаторы *C3—C9* выбраны с отклонением от номинала не более чем на 1—2%, то никаких дополнительных градуировок на других шкалах при измерении R_x или C_x делать не нужно.

После этого переходят к налаживанию измерителя индуктивности. Прежде всего надо убедиться в работоспособности генератора. Для этого последовательно с резистором *R16* (в точке «А») включают миллиамперметр на 5—10 мА, а переключатель *В3* устанавливают в положение 2(«L_x»). Если при замыкании управляющей сетки триода *Л1а* на катод анодный ток несколько увеличивается, генератор работает. Такую проверку производят в нескольких точках каждого из поддиапазонов. Если генерация отсутствует, надо поменять местами выводы у соответствующей контурной катушки или катушки обратной связи.

Далее переходят к установке частот на каждом из поддиапазонов, которую производят с помощью гетеродинного волномера и ГСС по методу биений. Установку начинают с наиболее низкочастотного диапазона (10,07—31,84 кГц). На этом диапазоне контролировать частоту можно с помощью звукового генератора и осциллографа, используя метод Лиссажу (по фигурам, наблюдаемым на экране трубки). Уменьшение коэффициента перекрытия по частоте достигается подключением постоянного конденсатора соответствующей величины параллельно контурной катушке (на схеме они не показаны).

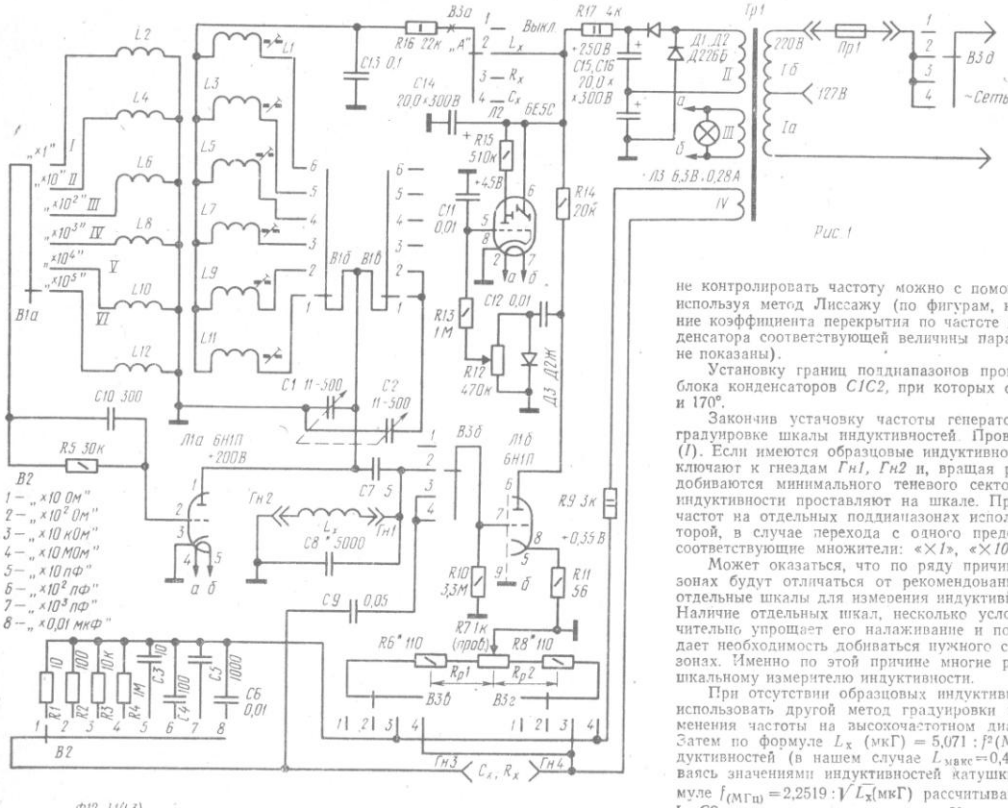

Рис 1

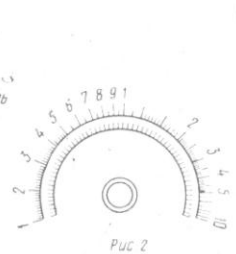

Рис 2

Установку границ поддиапазонов производят в положениях подвижных пластин блока конденсаторов *C1C2*, при которых они входят в неподвижные пластины на 10 и 170°.

Закончив устачовку частоты генератора на всех поддиапазонах, приступают к градуировке шкалы индуктивностей. Проводят ее на высокочастотном поддиапазоне (*I*). Если имеются образцовые индуктивности от 0,05 до 0,5 мкГ, их поочередно подключают к гнездам *Гн1*, *Гн2* и, вращая ручку с визиром блока конденсатора *C1C2*, добиваются минимального теневого сектора индикатора *Л3*. Значение измеряемой индуктивности проставляют на шкале. При указанных в начале листовки значениях частот на отдельных поддиапазонах используется только одна шкала, показания которой, в случае перехода с одного предела измерения на другой, умножаются на соответствующие множители: «$\times 1$», «$\times 10$», «$\times 10^2$», «$\times 10^3$», «$\times 10^4$» или «$\times 10^5$».

Может оказаться, что по ряду причин значенич частот на отдельных поддиапазонах будут отличаться от рекомендованных. В этом случае прибор должен иметь отдельные шкалы для измерения индуктивности на различных пределах (всего шесть). Наличие отдельных шкал, несколько усложняет градуировку прибора, но зато значительно упрощает его налаживание и повышает точность измерения, так как отпадает необходимость добиваться нужного соотношения частот на отдельных поддиапазонах. Именно по этой причине многие радиолюбители отдают предпочтение многошкальному измерителю индуктивности.

При отсутствии образцовых индуктивностей (независимо от числа шкал) можно использовать другой метод градуировки прибора. Сначала определяют пределы изменения частоты на высокочастотном диапазоне (*I*), например, 10,07—3,560 Мгц. Затем по формуле L_x (мкГ) = 5,071 : f^2(МГц) рассчитывают пределы измерения индуктивностей (в нашем случае $L_{макс}$=0,4 мкГ; $L_{мин}$=0,05 мкГ). После этого, задаваясь значениями индуктивностей катушки L_x, равными 0,1; 0,15; 0,2...0,35, по формуле $f_{(МГц)} = 2{,}2519 : \sqrt{L_x(мкГ)}$ рассчитывают частоты генератора, при которых контур L_x *C8* настраивается в резонанс. Устанавливая эти частоты генератора с помощью гетеродинного волномера или ГСС, на шкале блока *C1C2* проставляют соответствующие им значения индуктивности L_x

Для ориентировки приводим величины индуктивностей L_x (в мкГ) и соответствующие им частоты (в скобках в МГц), рассчитанные для первых двух поддиапазонов генератора: 0,05 (10,07); 0,1 (7,121); 0,15 (5,814); 0,2 (5,035); 0,25 (4,504); 0,3 (4,111); 0,35 (3,806); 0,4 (3,560); 0,45 (3,357); 0,5 (3,184); 1,0 (2,252); 1,5 (1,839); 2 (1,592); 2,5 (1,425); 3 (1,3); 3,5 (1,204); 4 (1,126); 4,5 (1,062); 5 (1,007).

Как показал опыт градуировки прибора без образцовых индуктивностей, получаемая при этом точность измерения вполне достаточна для радиолюбительской практики.

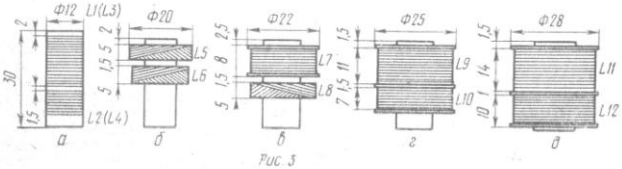

Рис 3

Г-80779 от 23/XII-1976 г. Изд. № 2/900-з Формат 60×90 1/8 Ордена «Знак Почета» Издательство ДОСААФ СССР, 107066, Москва, Б-66, Новорязанская ул., д. 26

Типография Издательства ДОСААФ. Зак. 860