

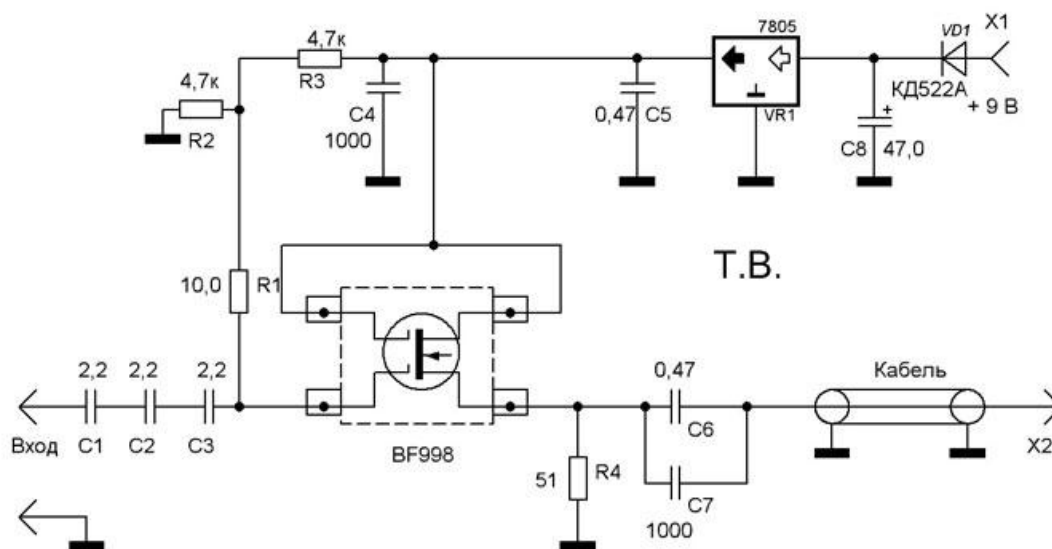
См. подробную статью в ВРЛ №95 стр. 12

Активные щупы с малой входной ёмкостью. И. Шиянов.

<http://nowradio.nm.ru/pribory%20dly%20nastroyki%20KV-UKV%20apparatury.htm>
<http://radiokot.ru/forum/download/file.php?id=16793>

<http://elektrotanya.com/files/forum/2009/10/e04a036.pdf>

Налаживание радиоприемных устройств часто требует проверки гетеродинов измерения параметров генерируемой им ВЧ-напряжения. К сожалению, сделать это непосредственно с помощью ВЧ-осциллографа или милливольтметра бывает затруднительно. Очень большое влияние из работу микромощного генератора (гетеродина) оказывает входная емкость прибора, входное сопротивление. Например, вход популярного осциллографа С1-65 емкостью 30 pF и сопротивлением 1M может не только исказить результаты измерения, но даже сорвать генерацию гетеродина. А тут еще и коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Конечно, можно подключить вход через конденсатор 1 pF, но это может очень сильно исказить результат измерения (уровень ВЧ-напряжения достигший входа измерительного прибора может быть и 100 раз и более заниженным). Лучше всего пользоваться активным щупом, представляющим собой истоковый повторитель на высокочастотном полевом транзисторе имеющим входную емкость менее 1 pF, и входным сопротивлением более 10 МОм при выходном сопротивлении 50 Ом. Такой щуп, выполненный в виде отдельной экранированной коробки можно расположить в непосредственной близости от точки измерения, соединить с ней кратчайшими проводниками, полностью исключив влияние волнового сопротивления кабеля емкости прибора и кабеля входного сопротивления прибора на результат измерения. Более того, сам измерительный прибор может быть расположен на значительном расстоянии от точки измерения (можно использовать очень длинный соединительный кабель).



Принципиальная схема активного щупа на полевом транзисторе BF998 показана на рисунке. На схеме транзистор показан в корпусе так чтобы была понята его цоколёвка. Входная емкость щупа примерно 0,7 pF она образована тремя последовательно включенными конденсаторами C1-C3. Входное сопротивление 10 мегаом. Измеряемое ВЧ напряжение поступает на первый затвор транзистора. Напряжение смещения на этом затворе равно половине напряжения питания и создано резистивным делителем R2-R3. На затвор напряжение смещение подается через резистор R1 сопротивлением 10 Мом. Входная емкость транзистора BF998 равна 2,1 pF, поэтому напряжение, полученное в результате измерения нужно умножать на 3. Нагрузкой является резистор R4 его сопротивление должно быть таким как волновое сопротивление кабеля. Щуп работает в частотном диапазоне от 100 kHz до 1 GHz с неравномерностью коэффициента передачи по

напряжению не более 7 5dB. На частотах более 1 GHz погрешность значительно возрастает. Источником питания служит сетевой адаптер от телеигровой приставки типа «Денди» (выходное постоянное нестабильное напряжение 8-11V) Напряжение стабилизируется на уровне 5V интегральным стабилизатором A1. Диод VD1 служит для защиты от ошибочного неправильного подключения источника. Питаться щуп можно и от лабораторного источника напряжением 8...20V. Конструктивно щуп выполнен в экранированном корпусе неисправного всеволнового тюнера телевизора «LG» Монтаж печатно-объемным используя демонтированную плату данного тюнера. Монтаж первого затвора полевого транзистора на R1 и конденсаторы C1-C3 нужно сделать «на воздухе», чтобы исключить влияние емкости печатной платы и экранированного корпуса на входную цепь. Вход - два монтажных провода длиной не более 10 см. Провод, соединенный с C1 не должен соприкасаться изоляцией с платой или экраном корпуса.

Для питания 5V лучше использовать **BF1005** или **BF1012S**.

Радиоконструктор №12 2007г

Активный Щуп Осциллографа

Журнал "Радио", номер 6, 1999г.

Автор: И. Нечаев, г. Курск

http://www.chipinfo.ru/literature/radio/199906/p28_29.html

Широкополосные усилители с высоким входным сопротивлением, малой входной емкостью и низким выходным сопротивлением используются в различных устройствах. Одно из применений - входные щупы для осциллографов и другой измерительной аппаратуры. Как показано в этой статье, современные ОУ фирмы Analog Device позволяют решить эту задачу простыми средствами.

Осциллограф является одним из наиболее универсальных приборов, позволяющих измерять самые различные параметры электрического сигнала, а зачастую и значительно упрощать процедуру настройки электронных устройств. В некоторых случаях он просто незаменим. Однако многим знакома ситуация, когда подключение осциллографа к настраиваемому устройству приводит к нарушению его режимов. Виной тому в первую очередь служат вносимые в исследуемую цепь емкость и сопротивление входа осциллографа и его соединительного кабеля.

Большинство осциллографов, используемых радиолюбителями, имеют высокое входное сопротивление (1 МОм) и входную емкость 5...20 пФ. В сочетании с соединительным экранированным входным кабелем длиной около метра суммарная емкость возрастает до 100 пФ и более. Для устройств, работающих на частотах выше 100 кГц, такая емкость может оказать существенное влияние на результаты измерений.

Для устранения этого недостатка радиолюбители пользуются неэкранированным проводом (если уровень сигнала достаточно большой) или специальным активным щупом, в состав которого входит усилитель с высоким входным сопротивлением, выполненный, как правило, на полевых транзисторах [1-3]. Применение такого щупа значительно снижает величину вносимой в устройство емкости. Однако недостатками некоторых из них являются низкий коэффициент передачи или наличие на выходе сдвига уровня, затрудняющего измерение постоянного напряжения. Кроме того, они имеют узкий диапазон рабочих частот (до 5 МГц), что также ограничивает их применение и требует коротких соединительных кабелей. Несколько лучшие параметры имеет щуп, описанный в [2]. Следует отметить, что все эти щупы могут эффективно работать и с осциллографами, имеющими высокое входное сопротивление.

В настоящее время все большее распространение получают широкополосные осциллографы с диапазоном рабочих частот до 100 МГц и выше, имеющие низкое

входное сопротивление - 50 Ом, поэтому их подключение к настраиваемому устройству зачастую становится практически невозможным. Не все из них комплектуются активными щупами, а применение резистивных делителей приводит к заметному снижению чувствительности.

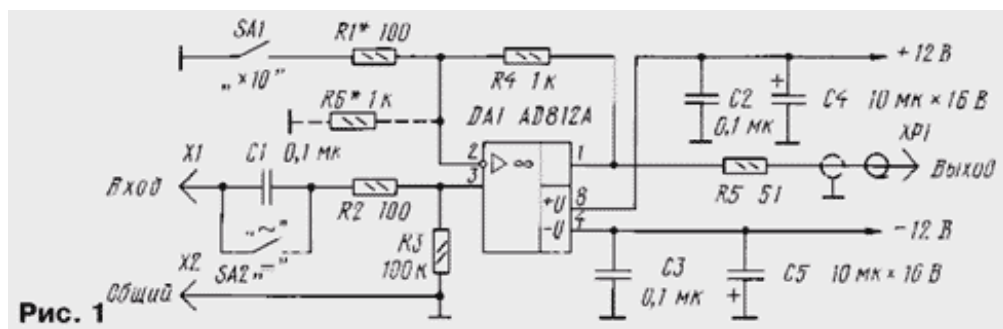
Активный щуп, описание которого предлагается вниманию читателей, свободен от указанных недостатков. Он работает с различными осциллографами, входное сопротивление которых может быть низкоомным - 50 Ом или высокоомным - до 1 МОм, имеет диапазон рабочих частот 0...80 МГц и достаточно высокое входное сопротивление на низких частотах - 100 кОм. Его коэффициент передачи - 1 или 10, т.е. он не только не ослабляет, но и усиливает сигнал. К достоинствам щупа можно отнести и его небольшие габариты.

Таких параметров удалось достигнуть за счет применения современного быстродействующего ОУ фирмы Analog Devices. В частности, в данном щупе использован ОУ AD812AN, который имеет следующие основные характеристики:

Верхняя рабочая частота - не менее 100 МГц; входное сопротивление - 15 МОм при входной емкости 1,7 пФ; входное напряжение - до $\pm 13,5$ В, а скорость нарастания выходного напряжения - 1600 В/мкс; выходной ток (при выходном сопротивлении 15 Ом) - до 50 мА; потребляемый ток в отсутствии входного сигнала - 6 мА.

Кроме того, ОУ имеет низкий уровень гармоник (-90 дБ на частоте 1 МГц и нагрузке 1 кОм) и малый уровень шума (3,5 нВ/√Гц), защиту от КЗ (ток ограничен до 100 мА), рассеиваемая небольшим корпусом мощность достаточно велика - 1 Вт. К этому следует добавить, что цена микросхемы, содержащей два ОУ с такими параметрами, относительно невысока (\$3...4).

Схема активного щупа приведена на рис. 1. В основном она соответствует стандартной схеме включения ОУ. Коэффициент передачи K_U изменяется переключением SA1 элементов цепи обратной связи и имеет два значения: 1 и 10. Переключателем SA2 выбирают режим работы: с "закрытым" входом, когда на входе включен конденсатор C1 и постоянная составляющая напряжения на вход не проходит, или с "открытым" входом, когда она проходит.



АЧХ щупа при работе на нагрузку сопротивлением 50 Ом для разных коэффициентов передачи несколько различается. Для $K_u=1$ она имеет небольшой подъем (до 20...25 %) на частотах 20...45 МГц и снижается до уровня 0,7 на частотах 70...80 МГц и до уровня 0,3 на 100 МГц. Для $K_u=10$ АЧХ ровная до 20 МГц и плавно падает до 7 на частоте 40 МГц, а на частоте 100 МГц уменьшается до 3.

При подключении щупа к осциллографу или частотомеру с большим входным сопротивлением (обычно $R_{вх} = 1 \text{ МОм}$) через высокочастотный кабель длиной 1 м амплитуда максимального выходного напряжения ОУ достигает 12 В (при $U_{пит} = \pm 15 \text{ В}$) на частотах до 10...15 МГц и плавно уменьшается до 3 В на частотах 30...40 МГц. При нагрузке щупа на низкоомный вход ($R_{вх} = 50 \text{ Ом}$) осциллографа максимальное выходное напряжение составляет 4 В на частотах до 1 МГц и снижается до 0,5 В на частотах 30...40 МГц. Следует особо отметить, что наличие режима усиления позволяет наблюдать на экране осциллографа с чувствительностью 10 мВ на деление входные сигналы с амплитудой 200...300 мкВ!

На входе усилителя установлено относительно небольшое сопротивление R_3 (100 кОм). Сделано это потому, что входной ток ОУ составляет доли мкА и смещение уровня постоянного напряжения на выходе составляет в этом случае примерно 50 мВ при $K_U = 1$ или 500 мВ при $K_u = 10$. Увеличение же этого сопротивления приведет к соответствующему увеличению смещения. Как показывает практика измерений широкополосных сигналов, вполне достаточно входного сопротивления щупа порядка 100 кОм. Его возможно увеличить и до 1 МОм, изменив соответственно R_3 , но это приведет к указанным выше последствиям. На высоких частотах входное сопротивление меньше и носит в основном емкостный характер, но это не сказывается на процедуре измерения, так как на высоких частотах высокоомные цепи встречаются редко.

О конструкции. Большинство деталей щупа размещено на печатной плате из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита, эскиз которой приведен на рис. 2. На одной ее стороне размещают ОУ и все резисторы, на второй - конденсаторы C_2 - C_5 . Соединения между сторонами монтажа выполняют проводниками через отверстия в плате. Переключатели устанавливают на корпусе щупа, а конденсатор C_1 - непосредственно на SA_1 .

Корпус щупа (рис. 3) состоит из пластмассового тубуса 1 (от фломастера диаметром около 18 мм), который вставлен в металлический кожух 2. Внутри тубуса размещена плата 3, на нем укреплены переключатели SA_1 и SA_2 (4 и 5). Через дно тубуса выведены соединительный и питающие провода - 6. Общий провод платы соединен с кожухом, а через отверстие в нем выведен провод для металлического штыря X_1 - 7. Все внутренние соединения надо делать проводом минимальной длины, а внешние - цепи питания и сигнала - соответственно экранированным и ВЧ кабелем.

Так как в микросхеме один из двух ОУ не используется, его входы (выводы 5 и 6) соединены с общим проводом.

Налаживание устройства сводится к установке требуемого коэффициента усиления, который при работе щупа с осциллографом с высоким входным сопротивлением устанавливают равным 10 на частоте 10 МГц подбором резистора R_1 (при замкнутом SA_1). Если щуп используют с осциллографом с низкоомным входом, часть выходного сигнала гасится на согласующем резисторе R_5 . Поэтому в схему вводят резистор R_6 , и подбирая его сопротивление (при разомкнутом SA_1), устанавливают коэффициент передачи равным 1. При замкнутом SA_1 (режим повышенной чувствительности) установку коэффициента усиления, равного 10, производят подбором резистора R_1 .

В устройстве применимы резисторы МЛТ, C_2 -10, C_2 -33, P_1 -12, конденсаторы C_1 - C_3 серии КМ или другие малогабаритные ($K10$ -17, $K10$ -47), C_4 , C_5 - группы $K52$ или

аналогичные. Можно использовать широкополосные ОУ AD812AR или AD817AN, AD818AN той же фирмы, которые дешевле из-за меньшей полосы частот (50 МГц), но их применение приведет и к сокращению полосы рабочих частот.

Для питания щупа необходим двухполярный стабилизированный блок питания с выходным напряжением 12...15 В. Надо заметить, что потребляемый ток при отсутствии сигнала составляет 10...15 мА, при работе на низкоомную нагрузку при подаче сигнала ток может возрасти до 100 мА.

Литература

1. *Гришин А.* Активный щуп для осциллографа. - Радио, 1988, # 12, с. 45.
2. *Иванов Б.* Осциллограф - ваш помощник (активный щуп). - Радио, 1989, # 11, с. 80.
3. *Турчинский Д.* Активный щуп к осциллографу. - Радио, 1998, # 6, с. 38.

Осциллографический ВЧ пробник с $C_{вх} = 0.5$ пф

http://www.cqham.ru/ot07_19.htm

При осциллографических измерениях в высокочастотных устройствах входная емкость делителя может вносить значительные искажения в настраиваемый узел (например, при подключении пробника к контуру ВЧ генератора и т.п.). Делители с коэффициентом 1:1 имеют входную емкость порядка 100 пф и более (емкость кабеля плюс входная емкость осциллографа), что существенно ограничивает их частотный диапазон. В то же время стандартные пассивные делители 1:10 с входной емкостью 12 – 17 пф снижают чувствительность осциллографа до 50 мВ на деление (при максимальной чувствительности по входу равной 5 мВ / деление, типичной для большинства промышленных осциллографов), а также имеют все еще слишком большую входную емкость для проведения неискажающих измерений в ВЧ цепях, где емкости контуров могут иметь такое же значение.

Данная проблема решается использованием для измерений специальных активных пробников, выпускаемых для этой цели (например, фирмой Tektronix). Однако, эти устройства довольно трудно найти и их цена (от \$150 и выше) сопоставима с ценой хорошего б/у осциллографа. В то же время не представляет большой сложности самостоятельно изготовить простой активный осциллографический пробник с малой входной емкостью, что и было сделано автором.

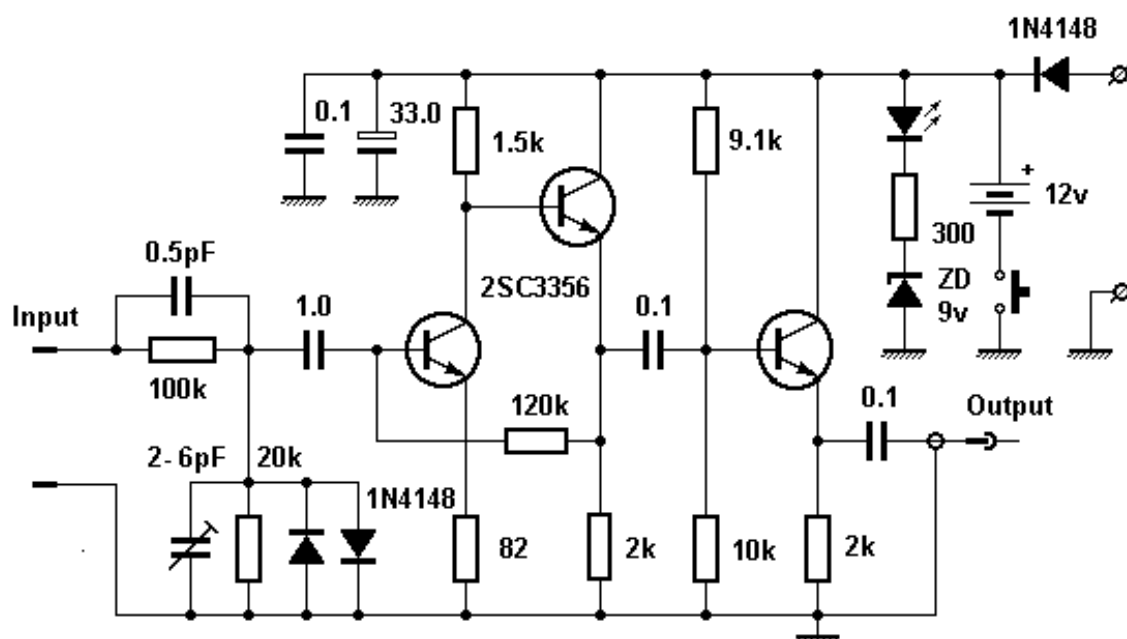
Активный осциллографический пробник предназначен для измерений переменных напряжений в низковольтных ВЧ схемах и имеет следующие характеристики:

- Диапазон измеряемых амплитудных значений сигнала – от 10 мВ до 10 В
- Частотная характеристика – линейна от 10 КГц до 100 МГц при малом сигнале
- Выходной сигнал – инвертированный, с коэффициентом деления 1:2
- Напряжение питания – 12 вольт (4 * CR2025) или внешний источник
- Входная емкость – 0.5 пф (0.25 пф с внешним делителем 1 : 10)
- Входное сопротивление – 100 килоом
- Потребляемый ток – 10 мА
- Размеры 60 x 33 x 16 мм

Внешний вид изготовленного прибора приведен на фото.

Конструкция прибора

Принципиальная схема пробника приведена на рисунке. Прибор собран на трех малошумящих СВЧ транзисторах 2SC3356 с граничной частотой 7 ГГц. Коэффициент усиления по напряжению составляет около 23 дБ. Выходной эмиттерный повторитель служит для дополнительной развязки усилителя от нагрузки и может быть исключен, если пробник будет использоваться с одним и тем же осциллографом. Цепочка из светодиода, стабилитрона на 9 вольт и резистора служит индикатором включения и пороговым индикатором напряжения батареи питания. Питающее напряжение 12 вольт необходимо и достаточно для того, чтобы получать на выходе прибора максимальное амплитудное значение измеряемого сигнала до 5 вольт, и тем самым обеспечивать максимальный динамический диапазон до 50 дБ при проведении измерений с установкой коэффициента отклонения, начиная от 5 мВ на деление (чувствительность большинства осциллографов).



Конструктивно прибор может быть собран в любом подходящем пластмассовом корпусе. Главное требование к материалу корпуса – прочность и низкие потери материала на высоких частотах. Для уменьшения входной емкости пробника не следует размещать его в металлическом корпусе: при входном сопротивлении 100 килоом и малой длине соединений внутри корпуса внешние наводки не играют роли, особенно если учесть, что нижняя граница частотного диапазона была сознательно выбрана намного выше частоты электрической сети.

Пробник включается нажатием кнопки в момент проведения измерений, что гарантирует работу прибора без замены внутреннего источника питания в течение длительного времени. Кроме того, как видно на фото, кнопка включения защищена от случайного нажатия, когда прибор не используется для работы. Для работы в непрерывном режиме предусмотрен разъем для подключения внешнего источника питания 12 вольт, 10 мА.

Налаживание

Этот этап работы должен быть проведен весьма тщательно для получения нужного результата.

1. После сборки усилителя необходимо прежде всего точно установить его рабочую точку подбором резистора на 120 килоом для получения максимальной амплитуды неискаженного сигнала на выходе. В данной схеме и при свежих элементах питания этот режим достигается при установке постоянного напряжения от +5.2 до +5.3 вольт на эмиттере второго транзистора. Рабочая точка второго эмиттерного повторителя не требует настройки при указанных номиналах резисторов.
2. Далее следует точно подобрать значение нижнего по схеме резистора (в данном случае 20 килоом) входного делителя для получения требуемого масштаба (1 : 2) передачи сигнала между входом и выходом прибора на относительно низкой частоте (порядка 100 КГц). Заметим, что входное сопротивление усилителя при указанных номиналах деталей составляет около 5 килоом (на той же частоте), так что при отсутствии указанного резистора коэффициент передачи устройства будет выше требуемого примерно на 3 дБ (величина ослабления входного сигнала равняется $(105 / 5) = 26$ дБ, в то время как общий коэффициент усиления схемы равен 23 дБ, а требуемый коэффициент передачи всего устройства должен быть равен 0.5, т.е. минус 6 дБ).
3. Подбор компенсирующих емкостей (0.5 пф параллельно резистору на 100 килоом, и подстроечный конденсатор в нижней ветви входного делителя) осуществляется путем сравнения коэффициента передачи на двух частотах, например, 1 МГц и 30 МГц, и подбора емкостей до получения нужного постоянного коэффициента передачи устройства. Далее производится окончательная проверка устройства на верхней рабочей частоте, если у радиолюбителя имеется такая возможность.
4. В заключение проверяется фактическая входная емкость пробника на высокой частоте (например, подключением его к контуру с известными параметрами работающего генератора и контролем изменения частоты выходного сигнала по цифровому частотомеру или приемнику). При правильном выполнении конструкции прибора она не должна существенно отличаться от указанного на схеме значения (суммарная входная емкость в изготовленном автором пробнике, измеренная на частоте 20 МГц, составила 0.505 пф).

Замечания

При создании данного прибора не ставилась задача построения профессионального измерительного устройства высокой точности. Использованная автором простая схема усилителя является несимметричной и увеличивает длительность заднего фронта меандра на выходе прибора (за счет паразитных емкостей кабеля и входа осциллографа) при подаче на вход пробника прямоугольного сигнала с малой длительностью нарастания и спада напряжения. Этот эффект проверялся автором с помощью логического генератора прямоугольных импульсов частотой 2 МГц и длительностью переднего и заднего фронтов в 4 наносекунды, с выходной амплитудой от нуля до 4 вольт. Измеренная длительность заднего фронта прямоугольного сигнала на выходе изготовленного автором пробника составляет около 50 наносекунд при перепаде напряжения на выходе от 2 в до нуля. Данное обстоятельство ограничивает неискаженную по форме амплитуду наблюдаемого синусоидального сигнала с ростом его частоты. Разумеется, можно улучшить этот показатель тем или иным способом, но это будет приводить к росту потребляемого пробником тока от источника питания, что нежелательно. Простые расчеты дают приближенную формулу для определения максимальной амплитуды сигнала на входе пробника в зависимости от его частоты: $A = \min(10, 25 / F [\text{MHz}])$. Другими словами, на частоте 10 МГц максимальная амплитуда входного сигнала не должна превышать 2.5 вольт, а на частоте 100 МГц это значение падает до 250 мВ.

Простейший и самый надежный способ расширить динамический диапазон пробника – при необходимости подключать к его входному щупу дополнительный внешний делитель 1 : 10, что и было сделано автором. Конструкция такого дополнительного делителя приведена на фото. Подстроечный конденсатор частотной коррекции (2 – 6 пф) служит для компенсации малой паразитной емкости (около 0.25 пф),

образованной контактами щупа и резистором МЛТ 0.125 на 100 килоом. Как видно на снимке, этот резистор располагается между параллельно расположенными контактными стержнями и должен быть жестко припаян к ним коротко обрезанными до длины около 5 мм выводами (автор использовал контакты от разъемов типа МРН или аналогичных).

Данный пробник создавался автором для измерений в цепях синусоидальных ВЧ сигналов в контурах генераторов и усилительных каскадов транзисторных схем, и он в целом решает поставленную задачу. Именно по этой причине в пробнике и был выбрано указанное выше соотношение между всеми основными параметрами прибора – его частотным диапазоном, высокой чувствительностью, достаточно большим входным сопротивлением и минимально возможной входной емкостью измерителя, а также небольшим потребляемым током. Радиотехника – это всегда компромисс при заданных разработчиком предельных значениях параметров.

Активный щуп для С1-94.

<http://radiobooka.ru/izmeren/369-tri-pristavki-k-s1-94.html>

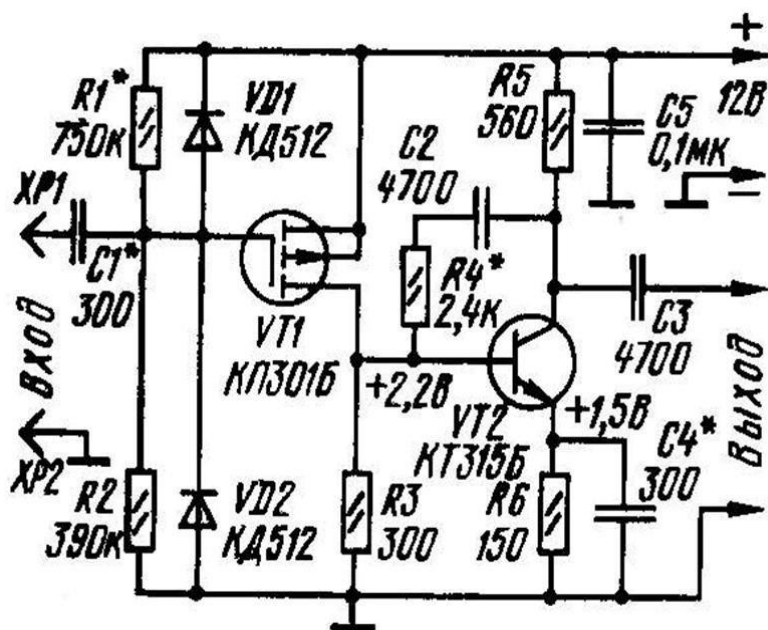


Рис. 78

Входная емкость осциллографа С1-94 с делителем 1 : 1 существенна (150 пФ) для высоких частот, поэтому полное входное сопротивление осциллографа на таких частотах часто оказывается слишком низким. Улучшить этот показатель поможет активный щуп, разработанный И. Нечаевым из г. Курска. Схема активного щупа приведена на рис. 78. Его входной каскад выполнен на полевом транзисторе (VT1) с изолированным затвором. Для защиты транзистора от перегрузок входным напряжением в цепи затвора установлены диоды VD1 и VD2.

Со стока полевого транзистора исследуемый щупом сигнал поступает на выходной каскад, собранный на биполярном транзисторе VT2. В этом каскаде применена отрицательная обратная связь по напряжению через резистор R4 и конденсатор C4, благодаря чему щуп обладает малым выходным сопротивлением, широкой полосой

пропускания и хорошо работает на кабель длиной до 1,5 м. Коэффициент передачи щупа достигает 1, входная емкость — 5... 6 пФ, входное сопротивление — 250 кОм, полоса пропускания (по уровню — 3 дБ) — 0,01 ... 10 МГц. На вход щупа можно подавать сигнал амплитудой не более 3 В.

Для щупа подойдут транзисторы КП301Б—КП301Г, КП304 (VT1), КТ315А—КТ315Г, КТ316, КТ342 с любым буквенным индексом (VT2). Диоды могут быть любые кремниевые маломощные с минимальными емкостью и обратным током.

Конструкция щупа зависит от используемых деталей. Например, автор разместил детали на печатной плате размерами 55X15 мм из стеклотекстолита и поместил плату в алюминиевый стаканчик из-под валидола. С осциллографом щуп соединяют любым высокочастотным экранированным кабелем, желательно небольшого диаметра.

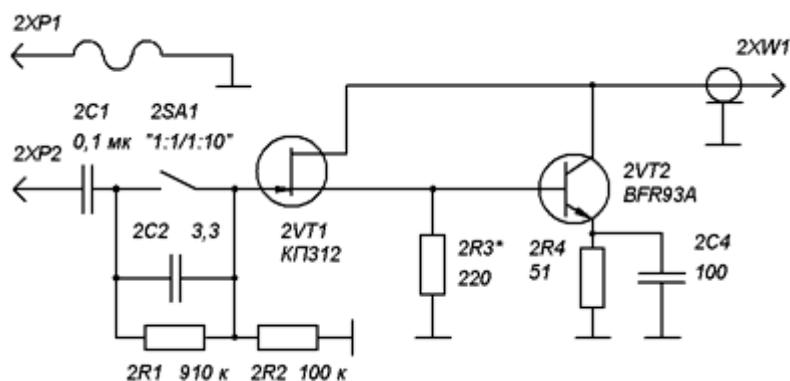
При налаживании щупа сначала подбирают (если это понадобится) резистор R1, чтобы обеспечить указанный на схеме режим работы транзистора VT2. Коэффициент передачи устанавливают подбором резистора R4, а верхнюю границу полосы пропускания — подбором конденсатора C4. Нижняя граница полосы пропускания зависит от емкости конденсатора C1.

Желательно проверить амплитудно-частотную характеристику щупа. Если на ней будет обнаружен подъем на частотах, соответствующих верхней границе полосы пропускания, придется включить последовательно с конденсатором C4 резистор сопротивлением 30... 60 Ом

Взято отсюда: <http://www.cqham.ru/lcmeter3.htm>

Частотомер, измеритель ёмкости и индуктивности – FCL-meter

На транзисторе VT1 собран усилитель сигнала частотомера F1. Схема особенностей не имеет за исключением резистора R8 (100 Ом), необходимого для питания выносного усилителя с малой входной ёмкостью, во многом расширяющего область применения прибора. Его схема показана на **рис. 2**.



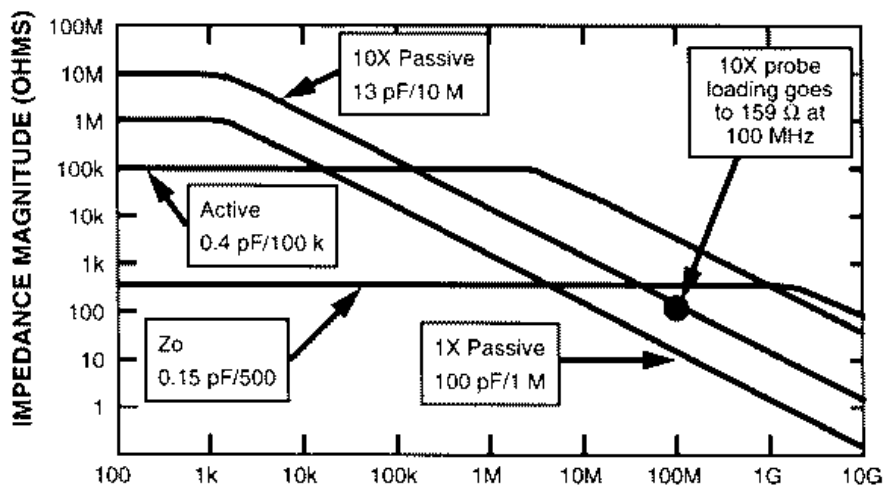
При пользовании прибором без внешнего усилителя необходимо помнить, что его вход находится под напряжением 5 Вольт, и поэтому необходим развязывающий конденсатор в сигнальной цепи.

Предделитель частотометра F2 собран по типовой для большинства подобных прескалеров схеме, лишь введены ограничительные диоды VD3, VD4. Необходимо заметить, что при отсутствии сигнала предделитель самовозбуждается на частотах около 800-850 МГц, что является типичным для высокочастотных делителей. Самовозбуждение пропадает с подачей на вход сигнала от источника с входным сопротивлением близким к 50 Ом. Сигнал с усилителя и прескалера поступает на DD2.

Далее

<http://forum.ixbt.com/topic.cgi?id=48:841-48>

PASSIVE and ACTIVE PROBE TYPICAL INPUT IMPEDANCES

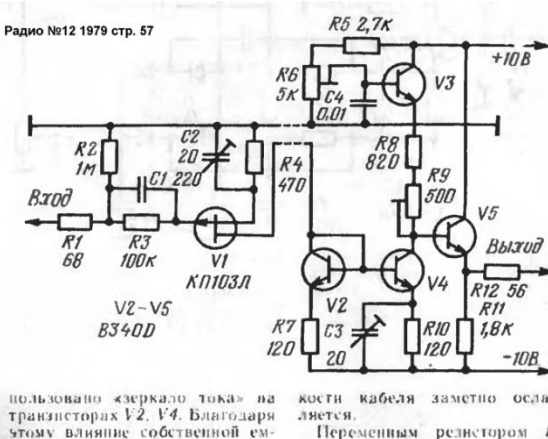


ЩУП ДЛЯ ОСЦИЛЛОГРАФА

Радио №12 1979 стр. 57

На рисунке приведена принципиальная схема активного щупа для осциллографа. Он обладает единичным усилением по напряжению и полосой пропускания от 0 до 6 МГц по уровню —3 дБ. Максимальное входное напряжение — ±2 В. Для исследования больших входных напряжений необходимо использовать внешний широкополосный делитель. Отличительной особенностью щупа является способность работать на обычный кабель, прилагаемый к осциллографу.

Входной каскад выполнен на полевом транзисторе V1. В цепь стока включен низкоомная нагрузка, в качестве которой по-



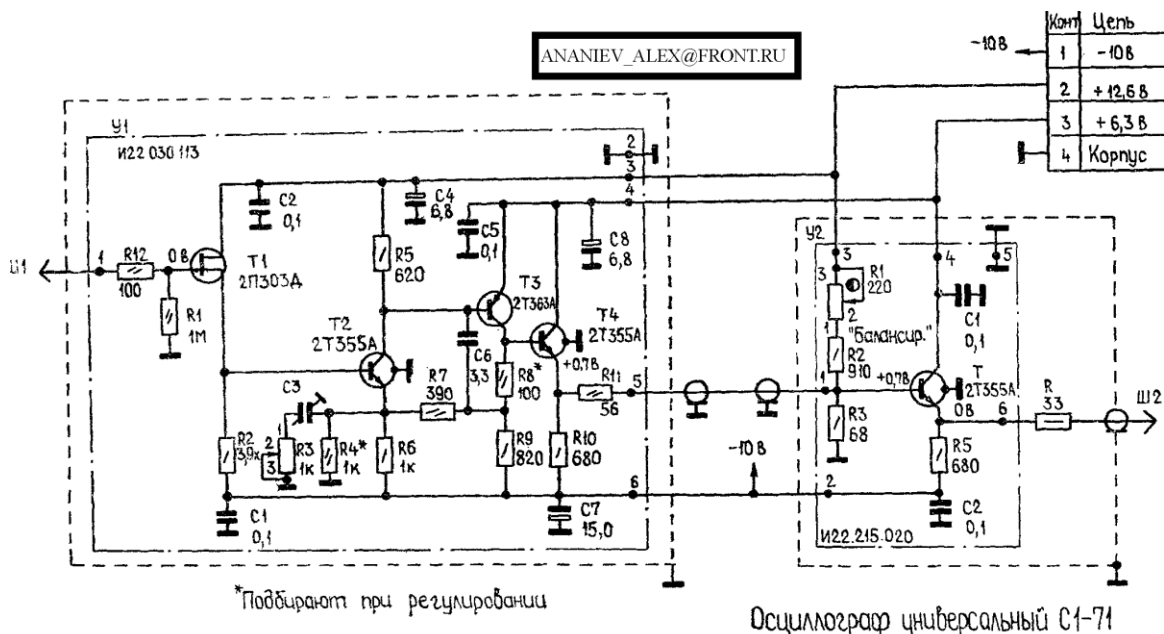
пользовано «зеркало тока» на транзисторах V2, V4. Благодаря этому влияние собственной ем-

кости кабеля заметно ослабляется. Переменным резистором R9

устанавливают коэффициент передачи щупа равным 1, резистором R6 — нулевой потенциал на выходе при закороченных входных зажимах.

Подстроечными конденсаторами C2 и C3 выравнивают частотную характеристику в области высоких частот. Для этого на вход подают прямоугольные импульсы с амплитудой 0,5 В и добиваются минимальных искажений формы сигнала. В некоторых случаях, в зависимости от примененного кабеля и входной емкости осциллографа, возможно понадобится увеличение емкости конденсаторов C2, C3. «Radio, Fernsehen, Elektronik» (ГДР), 1978, № 11

Примечание редакции. В щупе можно применять любые маломощные кремниевые высокочастотные транзисторы, например, КТ315, КТ342, КТ373.



АКТИВНЫЕ ЩУПЫ С МАЛОЙ ВХОДНОЙ ЕМКОСТЬЮ

Н. Шиянов

При настройке высокочастотных узлов или схем частотной коррекции радиоаппаратуры входное сопротивление осциллографа (для низких частот) должно быть достаточно высоким, обычно более 500 кОм, а входная емкость — малой. Если первое требование на практике удовлетворяется сравнительно просто, то второе обеспечивается далеко не всегда. Входной кабель длиной около 1 м совместно с емкостью первого каскада осциллографа образуют суммарную емкость около 120... 150 пФ. Введение такой емкости в исследуемую схему может существенно повлиять на ее функционирование, изменяя форму АЧХ, что приводит к значительным погрешностям измерения на частотах 5... 10 кГц и выше. Кроме того, некоторые операционные усилители склонны к самовозбуждению при подключении указанной емкости к их выходу.

В большинстве практически возникающих ситуаций можно считать, что для упомянутой области частот допустимой входной емкостью измерительного прибора является значение около 10...15 пФ.

Широко используемым в настоящее время способом снижения входной емкости прибора является применение выносных делителей напряжения. Однако одновременно с уменьшением емкости понижается его чувствительность, что не всегда допустимо. Например, при уменьшении входной емкости с 100 до 10 пФ приходится мириться с десятикратным снижением чувствительности прибора. Для существенного снижения входной емкости без изменения чувствительности целесообразно применять эмиттерные повторители напряжения.

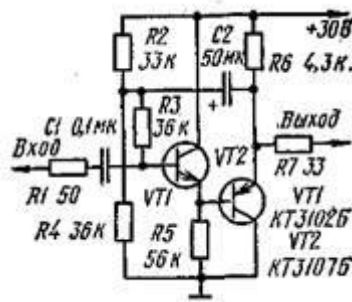


Рис. 1. Схема щупа-повторителя напряжения

Благодаря глубокой отрицательной обратной связи параметры повторителя малочувствительны к шунтирующему действию емкости кабеля C_k , включаемого параллельно его нагрузке. Приближенное значение входной емкости $C_{вх}$ эмиттерного повторителя равно: $C_{вх} = C_H / h_{21Э}$, где C_H — емкость нагрузки; $h_{21Э}$ — коэффициент передачи тока базы транзистора.

Коэффициент передачи повторителя остается близким к единице практически во всем диапазоне рабочих частот.

Принципиальная схема повторителя напряжения, выполненного в виде электронного щупа к осциллографу, представлена на рис. 1. Для повышения входного и снижения выходного сопротивлений, а также ослабления зависимости выходного сопротивления от импеданса исследуемого участка устройства схема выполнена на составном эмиттерном повторителе. Первый эмиттерный повторитель играет роль входного каскада, нагруженного достаточно высоким входным сопротивлением второго повторителя, назначение которого — обеспечение необходимой выходной мощности и малого выходного сопротивления. Сигнал подается на базу первого транзистора структуры $n-p-n$ KT3102, а с его эмиттера — на транзистор KT3107 структуры $p-n-p$. С эмиттерной нагрузки напряжение через $R7$ поступает на выход устройства.

Необходимо заметить, что при емкостном характере нагрузки входная проводимость эмиттерного повторителя содержит отрицательную активную составляющую, что свидетельствует о потенциальной возможности самовозбуждения на высоких частотах. Для предотвращения самовозбуждения в цепь базы включен резистор $R1$. Смещение на базу $VT1$ задается с низкоомного делителя $R2R4$, обеспечивающего хорошую температурную стабильность каскада. Устранение шунтирующего влияния делителя на входное сопротивление обеспечивается схемой компенсации, содержащей конденсатор $C2$. Его сопротивление в полосе рабочих частот мало, поэтому значения переменных напряжений на выводах резистора $R3$ весьма близки, а динамическое сопротивление делителя велико. Ток выходного каскада выбран достаточно высоким — около 3,5 мА — для снижения нелинейных искажений сигнала на высоких частотах и расширения полосы пропускания.

Входное сопротивление щупа в области низких частот не менее 500 кОм, входная емкость каскада на транзисторе $VT1$, измеренная на частоте 2 МГц, около 8,5 пФ. На рис. 2 изображены амплитудно-частотные характеристики устройства, нагруженного на различные емкости. Кривые 1 — 4 получены для емкости соответственно 15, 50, 70, 100 пФ. Видно, что с увеличением емкости нагрузки полоса пропускания несколько сужается, однако даже при 100 пФ полоса рабочих частот щупа не менее 25 МГц.

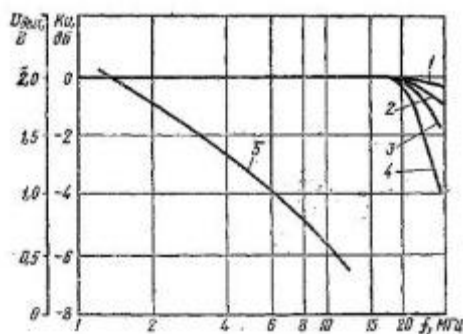


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики щупа по схеме рис. 1 в зависимости от емкостной нагрузки

Уровень ограничения сигнала слабо изменяется на частотах менее 200 кГц и составляет 9,5 В при напряжении питания 30 В. С повышением частоты растут нелинейные искажения, поэтому допустимое входное напряжение снижается. На кривой 5 рис. 2 представлена зависимость допустимого входного напряжения от частоты сигнала при коэффициенте гармоник, равном 5%, и наиболее вероятном значении емкости кабеля 70 пФ.

Указанная зависимость позволяет обоснованно выбрать максимально допустимый уровень напряжения входного сигнала по известной ширине его спектра. Если, например, максимальная частота в спектре входного сигнала равна 5 МГц, то неискаженная амплитуда этой составляющей должна быть не более 1,1 В.

Повторители напряжения на биполярных транзисторах, выполненные в виде электронных щупов к измерительным приборам, широко распространены. Этому способствует их малая входная емкость, благодаря чему частотные погрешности измерения становятся достаточно малыми. Использование многокаскадных схем повторителей напряжения существенно улучшает их основные параметры, а полоса пропускания при использовании высокочастотных биполярных транзисторов простирается обычно от десятков герц до десятков мегагерц.

Недостатком подобных схем является смещение постоянной составляющей входного сигнала. Последнее возникает, в частности, вследствие протекания базового тока входного транзистора по исследуемым цепям и его нестабильности. Уменьшение смещения постоянной составляющей в схемах на биполярных транзисторах, необходимое для реализации «открытого входа» прибора, сопряжено с определенными схемотехническими сложностями. Достаточно просто указанная задача решается с помощью согласованных полевых транзисторов, температурная нестабильность которых снижается с помощью глубокой отрицательной обратной связи (ООС).

На рис. 3 представлена принципиальная схема повторителя напряжения, выполненного в виде электронного щупа к осциллографу. Схема повторителя содержит четыре транзистора. Согласованная пара полевых транзисторов $VT1$, $VT2$ с n-каналом работает в дифференциальном каскаде, транзистор $VT3$ является источником тока для указанного каскада, а транзистор $VT4$ включен в схему усилителя напряжения с общим эмиттером.

Устройство работает следующим образом. Входной сигнал подается на затвор транзистора $VT1$. Напряжение, усиленное полевым транзистором $VT1$, поступает на базу транзистора $VT4$. Выходное напряжение повторителя снимается с коллекторной нагрузки — резистора $R10$. Одновременно выходное напряжение прикладывается к затвору второго

транзистора дифференциальной пары $VT1$, $VT2$. Глубокая отрицательная обратная связь и большое дифференциальное сопротивление источника тока обеспечивают близкий к единице коэффициент передачи повторителя. Выбором тока коллектора транзистора $VT4$ (около 4 мА) снижается нелинейность повторителя в области высоких частот. Температурная стабильность устройства обеспечивается за счет глубокой отрицательной обратной связи и введения источника тока на транзисторе $VT3$.

Основные характеристики повторителя напряжения представлены на рис. 4. Кривыми 1 — 4 показана амплитудно-частотная характеристика устройства для различных значений емкости нагрузки. С увеличением емкости от 15 до 100 пФ полоса пропускания повторителя, измеренная на уровне 3 дБ, сужается от 25 до 10 МГц. Указанная выше емкость нагрузки складывается из емкости кабеля и входной емкости осциллографа.

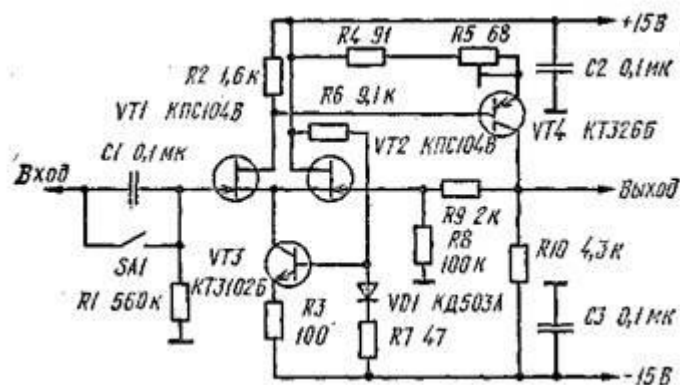


Рис. 3. Вариант схемы повторителя напряжения — щупа к осциллографу

Необходимо иметь в виду, что современные радиочастотные кабели с полиэтиленовой изоляцией имеют погонную емкость, увеличивающуюся с уменьшением волнового сопротивления. Так, например, типичное значение погонной емкости кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом равно ПО...125 пФ, с волновым сопротивлением 75 Ом — в пределах 60...80 пФ. У высокоомных кабелей и кабелей с полувоздушной изоляцией погонная емкость может быть ниже, однако они сравнительно малодоступны.

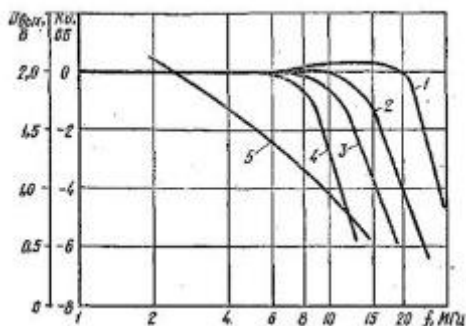


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики щупа по схеме рис. 3

Кривая 5 на рис. 4 иллюстрирует зависимость допустимого напряжения сигнала при уровне гармоник около 5% с повышением частоты. Зависимость позволяет выбрать максимально допустимое значение входного сигнала для предполагаемого спектра входных частот.

Можно рекомендовать следующую методику использования повторителя напряжения. При исследовании слабых широкополосных сигналов с амплитудами 0... 200 мВ чувствительность осциллографа устанавливается от 5 до 50 мВ/дел., при которой изображение на экране должно занимать от 1/3 до 2/3 его высоты. Поскольку масштабная сетка современных осциллографов имеет 6...8 делений по вертикали, уход границ изображения за пределы экрана является естественным индикатором превышения амплитудой сигнала допустимого уровня на высоких частотах — 150...250 мВ.

Вместе с тем, работа с сигналами, изображение которых не выходит за пределы экрана, обеспечивает отсутствие нелинейных искажений до частот не менее 12...15 МГц.

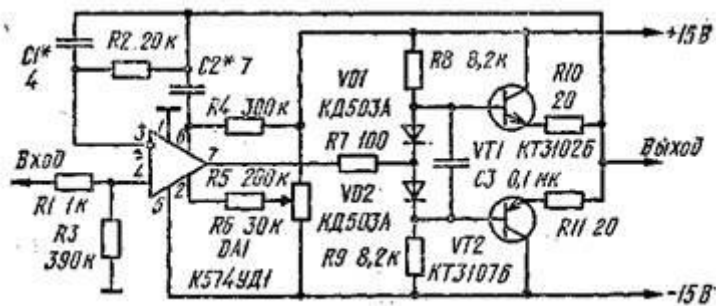


Рис. 5. Схема повторителя напряжения на операционном усилителе

Для исследования широкополосных сигналов более высокого уровня целесообразно использовать выносные Делители напряжения, входная емкость которых составляет обычно 8... 12 пФ. Изготовление и использование таких делителей подробно описали П. Хоровиц, У. ХьюГл в книге «Искусство схемотехники», т. 1 (М. : Мир, 1983).

Повторитель напряжения с удовлетворительными параметрами можно выполнить на основе быстродействующих операционных усилителей. Малые значения температурного дрейфа и смещения нуля позволяют получить весьма высокую температурную стабильность устройства.

На рис. 5 показана принципиальная схема повторителя напряжения на операционном усилителе К174УД1А в неинвертирующем включении. Элементы R_2 , C_1 образуют цепь отрицательной обратной связи. Корректирующие конденсаторы C_1 , C_2 препятствуют самовозбуждению усилителя на высоких частотах. Резистором R_6 осуществляется балансировка каскада. Для улучшения качественных показателей при работе на большую емкостную нагрузку в качестве выходного каскада используется составной эмиттерный повторитель на комплементарной паре транзисторов VT_1 , VT_2 . Начальное смещение, исключающее возникновение нелинейных искажений на низких уровнях сигналов, задается диодами VD_1 , VD_2 .

Частотные и амплитудные характеристики устройства представлены на рис. 6. Кривыми 1, 2, 3 изображены малосигнальные амплитудно-частотные характеристики при емкостной нагрузке 10, 70 и 100 пФ соответственно. Частотная зависимость максимально допустимого эффективного значения напряжения для емкости нагрузки 70 пФ иллюстрируется кривой 4.

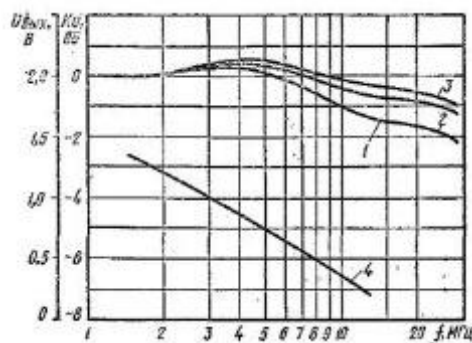


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики щупа по схеме рис. 5

Рассмотренная схема отличается от предшествующих более широкой полосой пропускания, однако форма АЧХ неравномерна в рабочей области частот. Входная емкость повторителя около 8 пФ. Максимально допустимый уровни напряжений сигнала в высокочастотной области приблизительно вдвое меньше, чем у описанных выше повторителей напряжения.

При выборе одной, из схем для изготовления и использования необходимо определить характер большинства предстоящих измерений. Если предполагается измерять параметры только переменных составляющих сигнала, то лучшей для такого применения является простая схема двухкаскадного эмиттерного повторителя по рис. 1. Для одновременного контроля переменных и постоянных напряжений можно использовать повторитель по рис. 3. Эта схема отличается наибольшими допустимыми уровнями напряжений на высоких частотах и имеет достаточно широкую полосу пропускания. При измерении малых, порядка единиц и десятков милливольт, постоянных и переменных сигналов в широком спектре частот целесообразно использовать схему повторителя на операционном усилителе по рис. 5, имеющую высокую температурную стабильность и широкую полосу пропускания.

Детали и конструкция. В описанных устройствах могут быть использованы резисторы МЛТ-0,25 МЛТ-0,125 с допускаемым отклонением от номинала $\pm 10\%$. Подстроечный резистор $R5$ в схеме, по рис. 3 может быть любого типа, однако предпочтение должно быть отдано малогабаритным резисторам, например СПЗ-44, СПЗ-38а, Электролитические конденсаторы К50-6 могут быть заменены на К50-12. Другие конденсаторы — на К73-17 ($C1, C2, C3$ на рис. 3) и КТ1 ($C1, C2$ — на рис. 5). Полупроводниковые диоды $VD1, VD2$ — на КД503А, КД503Б, КД522А, КД521А. Вместо указанных на схеме биполярных $n-p-n$ транзисторов можно использовать транзисторы серий КТ315, КТ306, КТ316 и вместо $p-n-p$ — транзисторы серий КТ349, КТ361. Необходимо заметить, что замена транзистора КТ326Б ($VT4$) на другой, с большими емкостями $p-n$ переходов, приводит к сужению полосы пропускания. Транзисторы $VT1, VT2$ в схеме на рис. 5 должны иметь близкие значения коэффициентов передачи тока базы ($h_{21Э}$). Коэффициенты усиления $h_{21Э}$ других транзисторов могут находиться в пределах 100...300. Согласованная пара транзисторов $VT1, VT2$ — КПС104В может быть заменена на пару из КПС104Г, Д. В качестве транзисторов $VT1, VT2$ можно использовать также дискретные полевые транзисторы КПЗ03В, Г после их попарного отбора по напряжению отсечки и начальному току с погрешностью не более 10%. Операционный усилитель К574УД1А можно заменить на К544УД2. Возможно применение усилителя К140УД8Б, при этом полоса пропускания устройства несколько сужается. Переключатель $SA1$ в схеме на рис. 3 — любой малогабаритный.

Повторители напряжения выполняются в виде выносных щупов, соединяемых с осциллографом или другим измерительным прибором экранированным кабелем длиной 100...130 см.

Элементы конструкции повторителя монтируются на прямоугольной печатной плате, помещаемой в экранированный корпус щупа. В качестве примера на рис. 7 приведен чертеж печатной платы выносного щупа по схеме, представленной на рис. 3. Для уменьшения габаритных размеров постоянные резисторы устанавливаются в плату вертикально.

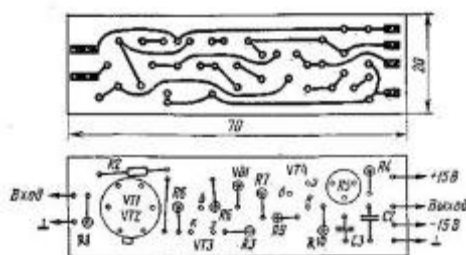


Рис. 7. Эскиз печатной платы щупа по схеме рис. 3

Налаживание. Правильно собранное устройство по рис. 1 в наладивании не нуждается. Достаточно про верить отсутствие возбуждения в рабочей области частот.

Повторитель по схеме рис. 3 требует балансировки резистором $R5$ до появления нулевого потенциала на выходе при отсутствии входного сигнала. Невозможность установки «нуля» при исправных элементах свидетельствует о рассогласованности характеристик пары $VT1$, $VT2$ либо неудовлетворительном токовом режиме этих транзисторов, определяемом элементами $R3$, $R7$, $VD1$. В последнем случае необходимо подобрать значение резистора $R3$. Токи стока полевых транзисторов должны составлять 0,6...0,8 мА. Окончательную регулировку резистором $R5$ рекомендуется проводить в законченной конструкции и установившемся тепловом режиме.

Налаживание схемы повторителя по рис. 5 сводится в основном к подбору наилучших значений емкости конденсаторов $C1$, $C2$. Их емкость определяет не только склонность к возбуждению, но и полосу пропускания, а также уровень нелинейных искажений устройства. Балансировкой резистором $R6$ обеспечивается минимальный сдвиг выходного уровня, который должен быть не более ± 2 мВ. Затем на вход устройства подключается генератор высоких частот, например Г4-102. Установив выходное напряжение в пределах 50... 100 мВ, изменяют частоту сигнала, контролируя амплитуду выходного напряжения повторителя. Подбором емкостей конденсаторов $C1$, $C2$ необходимо добиться максимально плоской АЧХ устройства. После этого увеличивают уровень выходного напряжения генератора, контролируя отсутствие самовозбуждения на различных частотных участках полосы пропускания. В случае самовозбуждения потребуется повторная корректировка емкости конденсатора $C1$.