К564ГГ1, "К561ГГ1", "КР1561ГГ1", CD4046B

Информация приводится по книге: Шило В.Л. Популярные микросхемы КМОП. Справочник. - М.: Издательство "Ягуар", 1993.

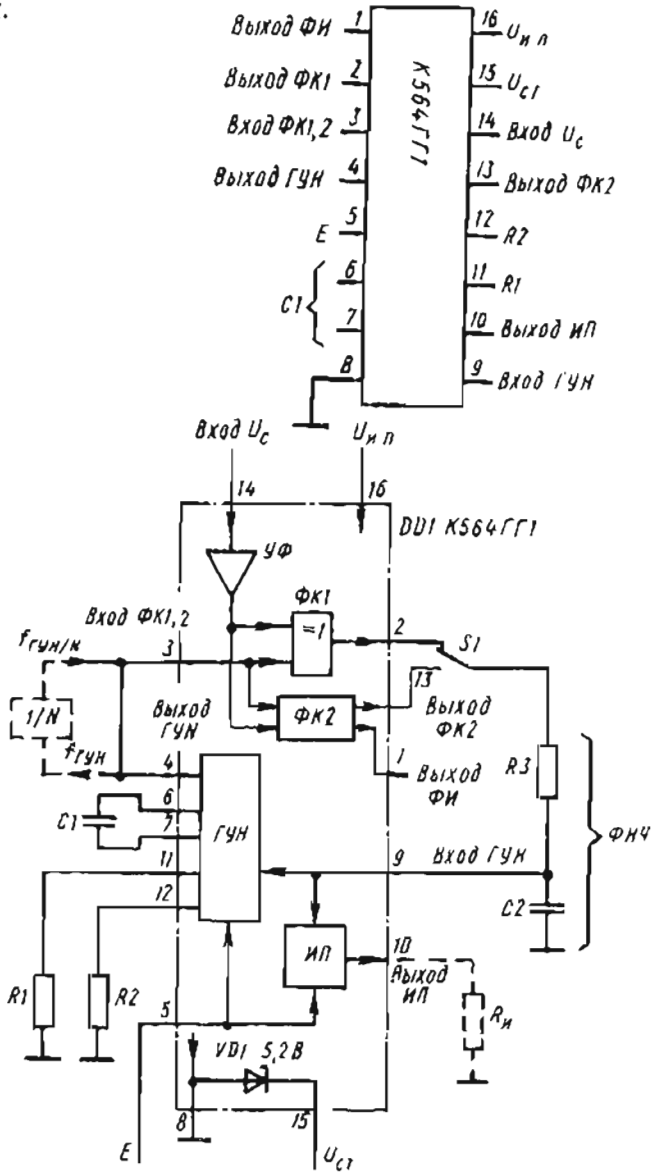
10. Микросхемы: ФАП и мультивибратор

В дополнение к чисто цифровым среди КМОП имеются аналого-цифровые микросхемы: устройство для построения петли фазовой автоподстройки (ФАП) и ждущий мультивибратор. Обе микросхемы упрощают решение ряда задач: затягивание импульсов; синтез частот, кратных опорной; синхронизация логического устройства под приходящий сигнал; генерация опорных сеток; преобразование напряжение-частота.

Микромощная цифровая микросхема ФАП К564ГГ1 (эквивалентная замена—*CD4046B*) содержит следующие внутренние узлы: генератор, управляемый напряжением (ГУН); два фазовых компаратора: ФК1—«искл. ИЛИ» и ФК2—триггерная схема; усилитель-формирователь УФ; выходной истоковый повторитель ИП. Для удобства применения на кристалле микросхемы изготовлен источник опорного напряжения—стабилитрон с напряжением 5,2 В. Рассмотрим действие отдельных частей миросхемы ФАП К564ГГ1, составляющих полную схему так называемой петли ФАП.

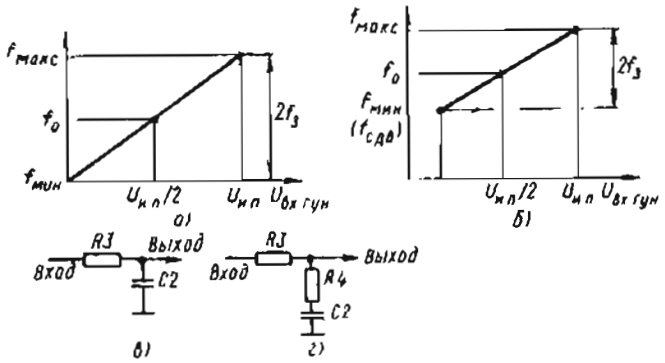
Узел ГУН—основа ФАП. Он обеспечивает линейность преобразования напряжение-частота лучше 1%. Для установки свободной, неуправляемой частоты ГУН f_0 и диапазона девиации этой частоты $\Delta f_{сдв}$ требуется три внешних элемента: конденсатор *C1* и резисторы *R1*, *R2*. Элементы *R1* и *C1* фиксируют свободную частоту генерации, с помощью *R2* этой частоте можно дать постоянный сдвиг.

Частота выходных импульсов ГУН (на выходе 4) называется свободной, если на входе управления частотой ГУН (на выводе 9) напряжение отсутствует. В петле ФАП на вход ГУН (вывод 9) поступает напряжение ошибки. Оно снимается с внешнего фильтра низкой частоты—ФНЧ: *R3*, *C2*, где импульсный сигнал, генерируемый одним из фазовых компараторов ФК1 или ФК2, сглаживается. Выбрать выход компаратора позволяет переключатель *S1*. Управляющий сигнал ГУН имеется и на выводе 10—исток повторителя. Для правильной работы повторителя требуется подключать внешний резистор нагрузки $R_и$>10 кОм. Если этот выход не нужен, вывод 10 оставьте свободным.



Петля ФАП состоит из трех узлов: ГУН, ФК1 (или ФК2) и фильтра низкой частоты ФНЧ. Фильтр НЧ образуют резистор *R3* и конденсатор *C2*. Как известно, особо опасна для работы системы ФАП вторая гармоника частоты ГУН. Поскольку входное сопротивление ГУН велико (до 10^{12} Ом), номинальная емкость конденсатора *C2* в результате может быть небольшой. Входной цифровой сигнал U_C подается в петлю ФАП от входа 14 через усилитель УФ и поступает на сигнальные входы обоих компараторов ФК1 и ФК2. На вторые входы компараторов подается выходной меандр свободной частоты от выхода ГУН. На выходе ФК в начальный момент должно присутствовать напряжение ошибки, соответствующее разности частот сигнала U_C и свободной ГУН. Отфильтрованное сглаженное напряжение с конденсатора *C2* поступает на вход ГУН (вывод 9) в такой фазе, чтобы частота ГУН стала приближаться к частоте сигнала U_C.

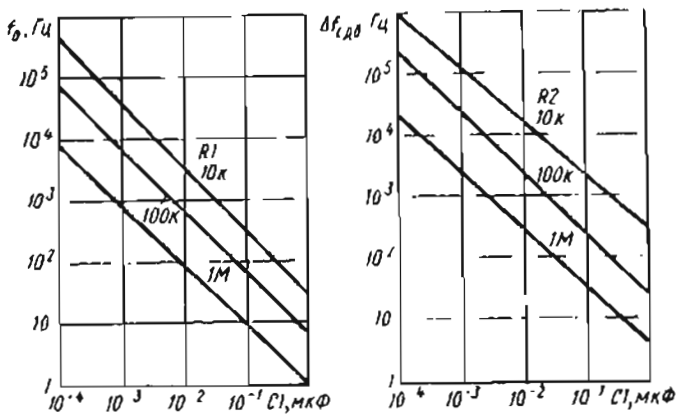
Некоторое время, таким образом, будет идти переходной процесс автоподстройки частоты. В конце этого процесса устанавится режим автоподстройки фазы, поскольку частоты будут равны. Затем петля ФАП с большой точностью уравняет фазы сигнала и выходного напряжения ГУН. Полезными выходными сигналами петли ФАП могут быть как напряжение с выхода ФНЧ (выход повторителя, вывод 10), так и выходная частота fГУН (вывод 4). Напряжение $U_{ФНЧ}$ используется при демодулировании входного ЧМ-сигнала (получается ЧМ-детектор), а частота $f_{ГУН}$ — результат работы синтезатора частоты.



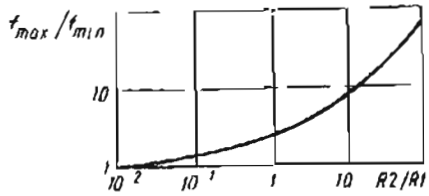
Для синтеза частот, кратных входной частоте сигнала U_C, выход ГУН (вывод 4) присоединяется ко входам ФК (вывод 3) через внешний цифровой делитель частоты в *N* раз. Тогда выходная частота ГУН будет в *N* раз выше, чем основная. Для схем синтеза частот необходимы счетчики с предварительной записью, а также реверсивные и программируемые; можно использовать счетчики К176ИЕ4, К561ИЕ9 и К561ИЕ10.

У схемы ГУН имеется вход разрешения *E*. Напряжение низкого уровня на этом входе разрешает работу схеме ГУН и истоковому повторителю. Если требуется уменьшить мощность потребления в режиме ожидания, на вход разрешения *E* следует подать напряжение высокого уровня. Номиналы внешних элементов следует выбирать в пределах: $R1, R2 \geq 10$ кОм, $R_И \leq 1$ МОм; $C1 > 100$ пФ (при $U_{и.п} = 5$ В) и $C1 > 50$ пФ (при $U_{и.п} = 10$ В)

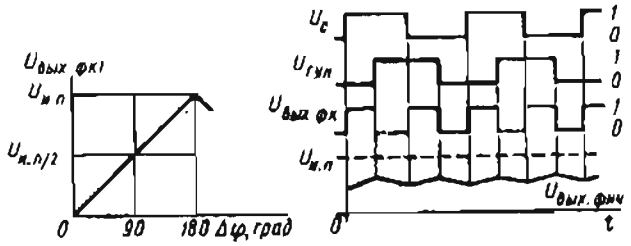
Центральную частоту ГУН f_0 (свободная частота ФАП, работающей с компаратором ФК1) можно выбрать по графику. Выбранную частоту f_0 следует сместить, сдвинуть на величину $\Delta f_{сдв}$, если вывод 12 микросхемы и нулевой провод соединить через резистор *R2*. Значение частоты сдвига $\Delta f_{сдв}$ можно определить по другой диаграмме. Необходимо учесть, что от экземпляра к экземпляру микросхем выбранные значения f_0 и $\Delta f_{сдв}$ могут меняться даже на 20%.



На третьем графике показана зависимость максимальной f_{max} и минимальной f_{min} частот от отношения номиналов $R2/R1$. Здесь f_{max} определяется, когда $U_{вх1ГУН} = U_{и.п.}$, а f_{min}, если $U_{вхГУН} = 0$. Значение частоты f_{max} составляет 1.5 МГц ($U_{и.п.} = 15$ В); при $U_{и.п.} = 5$ В $f_{max} = 0.5$ МГц.



Фазовые компараторы ФК1 и ФК2 имеют общие входы (вывод 3). На внешний вывод 3 следует подавать сигнал только логики КМОП: уровень логического нуля ниже $0.3U_{и.п.}$, логической единицы—выше $0.7U_{и.п.}$ Сигналы с меньшей амплитудой можно подавать через емкость и дополнительный усилительный каскад. ФК1—простой каскад исключающее ИЛИ. Для хорошей его работы и увеличения диапазона захвата ФАП требуется строго симметричный входной меандр U_C. Схема ФК1 такова, что без входного сигнала (или помехи) на ее выходе имеется потенциал $U_{и.п}/2$, под действием которого ГУН должен генерировать на центральной частоте диапазона f_0. С этим компаратором ФК1 полоса захвата петли ФАП остается в заданных пределах при сильных помехах. ФК1 лучше обеспечивает слежение ФАП на частотах, близких к гармоникам центральной частоты ГУН f_0. Особенность применения ФК1 в том, что фазовый угол между сигналом и выходом компаратора $U_{вых}$ ФК меняется от 0 до 180°. На центральной частоте ГУН этот угол равен 90°—четверть периода, когда между напряжением сигнала U_C и напряжением

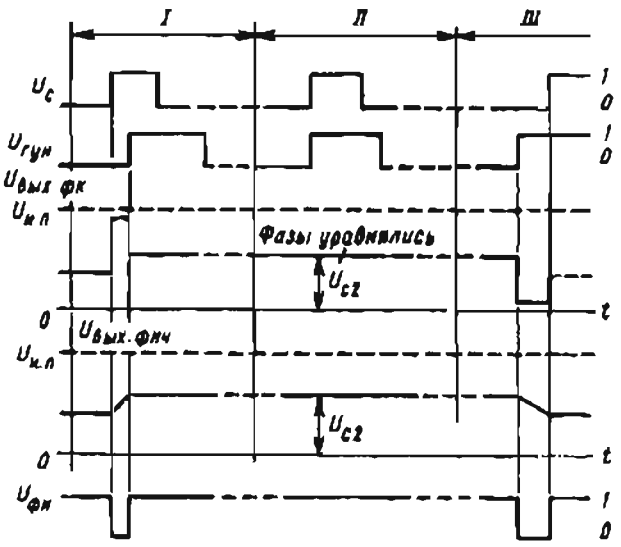


ГУН $U_{гун}$ существует равенство частот f_0 и угол сдвига соответствует 1/4 периода. В такой момент выходное напряжение ФК1 представляет собой меандр с удвоенной частотой ГУН (третья линия на диаграмме). Постоянная составляющая такого меандра $U_{и.п}/2$, однако даже после хорошего ФНЧ выходное напряжение $U_{вых}$ ФНЧ имеет некоторую составляющую второй гармоники частоты ГУН (четвертый график диаграммы). Эта помеха в петле ФАП наиболее трудно устранимая. Полоса захвата ФАП с использованием ФК1 определяется полосой ФНЧ.

Схема ФК2 представляет собой четырехтриггерное ЗУ с логикой управления. Чтобы ФК2 и ФК1 работали на общий выход, схема ФК2 имеет третье состояние Z. ФК2 запускается положительными перепадами входных импульсов., поэтому скважность приходящих прямоугольных импульсов сигнала U_C не имеет значения. Показано пять осциллограмм для петли ФАП, работающей с ФК2.

Если частота входного сигнала больше (или меньше), чем частота ГУН, выходной каскад ФК2 находится в разомкнутом Z-состоянии. когда частоты равны, но сигнал отстает по фазе от напряжения ГУН, выходное напряжение ФК2 будет находиться на низком уровне. Если отстает по фазе напряжение ГУН от напряжения сигнала U_C, на выходе ФК2 появится напряжение высокого уровня. Высокий или низкий уровень на выходе ФК2 будет удерживаться до тех пор, пока существует разность фаз. На выходе ФНЧ (конденсатор C2, см. схему ФАП) напряжение U_{C2} скачком измениться не может, поэтому уравнивание фазы $U_{вых}$ ГУН с фазой сигнала U_C потребует некоторого времени.

После уравнивания фаз оба *n*- и *p*-канальные выходные транзисторы ФК2 размыкаются, выход переходит в Z-состояние, следовательно, на конденсаторе C2 будет храниться потенциал, соответствующий равенству фаз. Соответственно управляющему напряжению U_{C2} будет зафиксирована частота ГУН. ФК2 имеет специальный выход фазовых импульсов ФИ. По уровню напряжения $U_{ФИ}$ можно видеть, находится ли ФАП в режиме слежения (высокий уровень) или подстройки (низкий уровень ФИ). Таким образом, при использовании ФК2 разность фаз между U_C и



$U_{гун}$ в момент слежения петли равна нулю. В это время ФК2 потребляет минимум тока, поскольку его выходной каскад разомкнут. Полосы слежения и захвата ФАП с ФК2 совпадают и не определяются свойствами ФНЧ.

Если сигнала U_C нет, ГУН настраивается на самую низкую частоту своего диапазона под воздействием минимального напряжения $U_{вых}$ ФК. На диаграмме сигналов ФАП отмечены три периода. Считаем, что частоты U_C и $U_{гун}$ равны. На этапе I фаза U_C опережает фазу $U_{гун}$. После переходного процесса подстройки (ему по времени соответствует отрицательный импульс $U_{ФИ}$), фазы уравниваются, так как напряжение U_{C2} повышается. Это напряжение сохра-

нятся на протяжении этапа II, когда удерживается равенство фаз.

На этапе III соотношение входных фаз сигнальной U_c и опорной $U_{ГУН}$ последовательностей импульсов обратное, поэтому для уравнивания их напряжение U_{C2} должно несколько уменьшиться.

Этот рисунок поясняет соответствующие графы таблицы «Особенности применения ФК».

Особенности применения фазовых компараторов ФК1 и ФК2 микросхемы К564ГГ1

Характеристики петли ФАП	Фазовый компаратор	Особенности применения ФК1 и ФК2
Выбор частоты ГУН и полосы захвата $2f_з$	ФК1, ФК2	Полоса захвата $2f_з$ выбирается без сдвига или со сдвигом
Частоты ГУН без сигнала U_c	ФК1	$f_{ГУН} \to f_o$
	ФК2	$f_{ГУН} \to f_{min}$
Диапазон $2f_з$	ФК1, ФК2	$2f_з = f_{max} - f_{min}$
Диапазон слежения $2f_{сл}$	ФК2	$f_{сл} = f_з$
Фазовый угол между U_c и $U_{ГУН}$	ФК1	При $f_o = f_{ГУН}$ $\Delta\varphi = 90°$ при $f_{min} = f_{ГУН}$ $\Delta\varphi = 0°$ при $f_{max} = f_{ГУН}$ $\Delta\varphi = 180°$
	ФК2	В полосе $2f_з$ $\Delta\varphi = 0°$
Слежение на гармонике f_o	ФК1	Обеспечивает
	ФК2	Нет
Степень подавления помех	ФК1	Большая
	ФК2	Малая

К564ГГ1, "К561ГГ1", "КР1561ГГ1", CD4046B

Следующий материал приводится по книге: Зельдин Е.А. Импульсные устройства на микросхемах. -М. Радио и Связь. 1991.

5.9. Генератор с фазовой автоподстройкой частоты К564ГГ1

Микросхема К564ГГ1 относится к числу универсальных. Среди ее многочисленных применений можно назвать частотную модуляцию и демодуляцию, синтез и умножение частот, частотную дискриминацию, преобразование напряжение-частота, синхронизация сигналов [4, 19, 25].

Принцип фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) поясняет рис. 5.46. В состав устройства входят: генератор, управляемый напряжением ГУН, фазовый компаратор ФК, фильтр низкой частоты (интегрирующая цепь R1C1). Главный узел — ГУН. Он вырабатывает однополярные прямоугольные импульсы со скважностью Q=2 (меандр) и амплитудой, близкой к напряжению питания. В отсутствие управляющего входного сигнала частота колебаний определяется внешней RC-цепью (на рисунке не показана). Выходное напряжение ГУН подано на один вход фазового компаратора ФК, а на второй его вход поступают внешние сигналы.

Фазовый компаратор регистрирует разность фаз между внешними сигналами и импульсами с выхода ГУН, преобразуя ее в импульсы, длительность которых пропорциональна этой разности. В роли фазового компаратора часто используют логический элемент Исключающее ИЛИ (см. рис. 2.6). Выходные однополярные импульсы фазового компаратора сглаживаются интегрирующей цепью (фильтром низкой частоты), формируя напряжение рассогласования. Это напряжение управляет частотой генератора, приближая ее к частоте входного сигнала до тех пор, пока обе частоты не сравняются.

Напряжение рассогласования является функцией фазового сдвига между импульсами на входах компаратора, что определило название метода автоподстройки.

Как следует из описания, напряжение рассогласования на конденсаторе фильтра следует за изменениями частоты, что позволяет использовать его в качестве выходного сигнала преобразования частота — напряжение.

Если обе последовательности импульсов равны по частоте и каждая представляет собой меандр, а в роли фазового компаратора использован логический элемент Исключающее ИЛИ, напряжение рассогласования связано с фазовым углом линейной зависимостью (рис. 5.47). При фазовом сдвиге в 90° напряжение рассогласования (управляющее напряжение ГУН) равно $0{,}5U_п$, а соответствующая ему частота f_0 называется центральной или свободной.

После захвата входного сигнала система продолжает следить за изменениями его частоты.

Пределы перестройки частоты ГУН ограничены и, если центральная частота значительно отличается от частоты входного сигнала, захвата про-

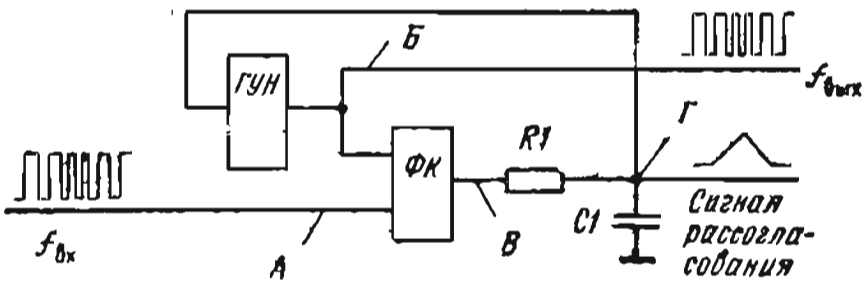


Рис. 5.46. Структурная схема генератора с фазовой автоподстройкой

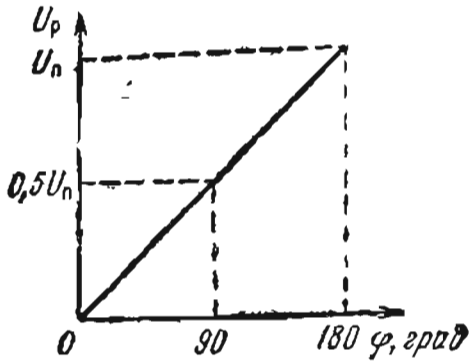


Рис. 5.47. Зависимость напряжения рассогласования от фазового угла последовательностей импульсов на входе фазового компаратора на основе логического элемента Исключающее ИЛИ

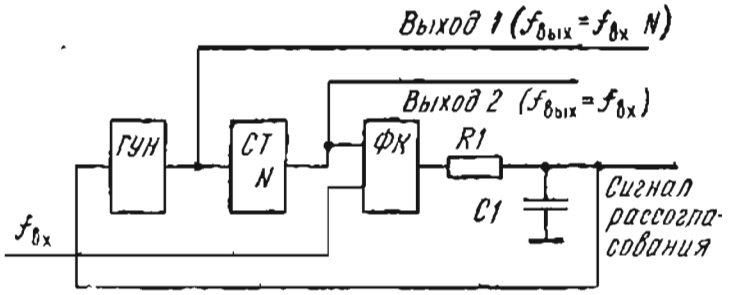


Рис. 5.48. Схема системы фазовой автоподстройки с делителем частоты

исходить не будет. Полосу частот для входных сигналов, в которой система ФАПЧ будет синхронизировать первоначально несинхронизированные сигналы, называют диапазоном захвата частоты ($2f_c$). Частотную полосу входных сигналов, в которой система сохраняет синхронизацию уже засинхронизированных сигналов, определяют как диапазон автоподстройки частоты ($2f_L$). Диапазон захвата не может превышать диапазона автоподстройки

Если выход ГУН и вход компаратора соединены через делитель частоты с $К_{дел} = N$, то часота автоподстройки ГУН будет в N раз выше входной (рис. 5.48).

Интегрирующая цепь играет роль сглаживающего фильтра и служит для выделения постоянной составляющей из последовательности однополярных прямоугольных импульсов (рис. 5.49). Параметры этого фильтра имеют су-

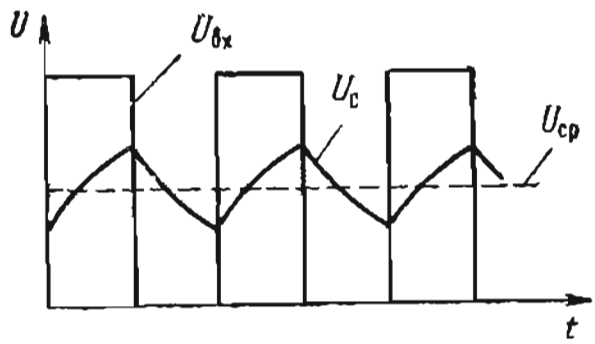


Рис. 5.49. Сглаживание импульсов интегрирующей цепью

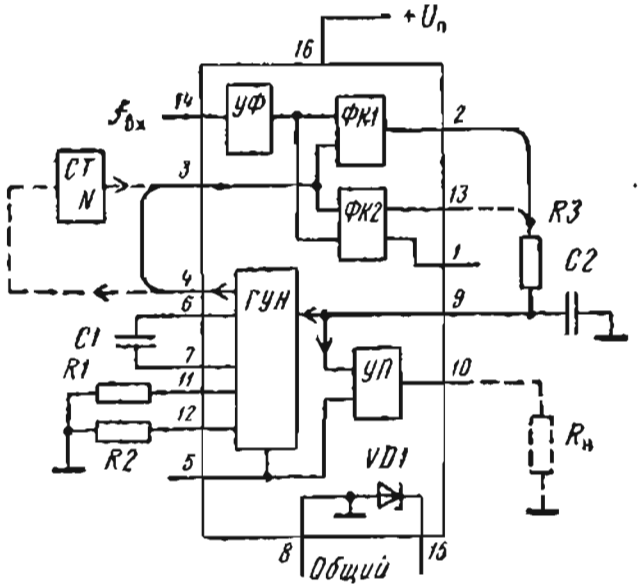


Рис. 5.50. Структура микросхемы К564ГГ1 и ее внешние компоненты. Назначение выводов микросхемы:

1 — выход фазовых импульсов; *2* — выход фазового компаратора ФК1; *3* — вход компараторный; *4* — выход ГУН; *5* — вход блокирующий ГУН и усилитель-повторитель; *6* и *7* — конденсатор ГУН; *8* — общий провод; *9* — вход управляющий ГУН и усилителем-повторителем; *10* — выход усилителя-повторителя; *11* — внешний резистор R1; *12* — внешний резистор R2; *13* — выход фазового компаратора ФК2; *14* — сигнальный вход; *15* — катод стабилитрона; *16* — питание $+U_п$

щественное значение для успешной работы системы ФАПЧ, поскольку его постоянная времени определяет скорость, с которой система может реагировать на изменения входной частоты. Кроме того, от постоянной времени зависит и качество работы ГУН: чем больше постоянная времени, тем лучше сглаживание, но зато меньше напряжение на конденсаторе. Благодаря фильтру улучшается также помехоустойчивость системы, поскольку конденсатор фильтра служит как бы кратковременной памятью, которая сохраняет среднее значение управляющего напряжения ГУН, когда на входные сигналы накладываются импульсные помехи.

Логическая структура микросхемы К564ГГ1 вместе с навесными компонентами, обеспечивающими нормальное функционирование, показана на рис. 5.50. Собственно микросхема содержит: усилитель-формирователь входного сигнала УФ; два фазовых компаратора ФК1 и ФК2; генератор, управляемый напряжением ГУН; усилитель-повторитель УП (истоковый повторитель); стабилитрон VD1 с напряжением стабилизации 5,6 В. Стабилитрон — вспомогательный элемент и прямого отношения к узлам микросхемы не имеет. Его подключают, когда есть надобность в стабилизации питающего напряжения. Микросхема выполнена так, что отдельные функциональные узлы (ГУН, ФК) имеют внешние входы и выходы и могут быть использованы самостоятельно.

Сердце прибора — ГУН. Его частоту определяют навесные компоненты R1, R2 и C1, а также внешнее напряжение на управляющем входе (вывод 9). Сопротивление управляющего входа очень велико — примерно 10^{12} Ом. Также велико входное сопротивление усилителя-повторителя. Благодаря этому, схема фильтра низких частот может быть простейшей с широким выбором соотношений номиналов. Это важное достоинство микросхемы, так как на практике в устройствах с ФАПЧ для получения оптимальных результатов нередко требуется экспериментальная подборка параметров петлевого фильтра.

Частота генерации линейно связана с напряжением на управляющем входе (рис. 5.51). Рисунок 5.51, *б* поясняет роль резистора R2. Зависимость центральной частоты генерации f_0 от емкости конденсатора C1 и сопротивления резистора R1 в отсутствие резистора R2 (т. е. при $R2=\infty$) представ-

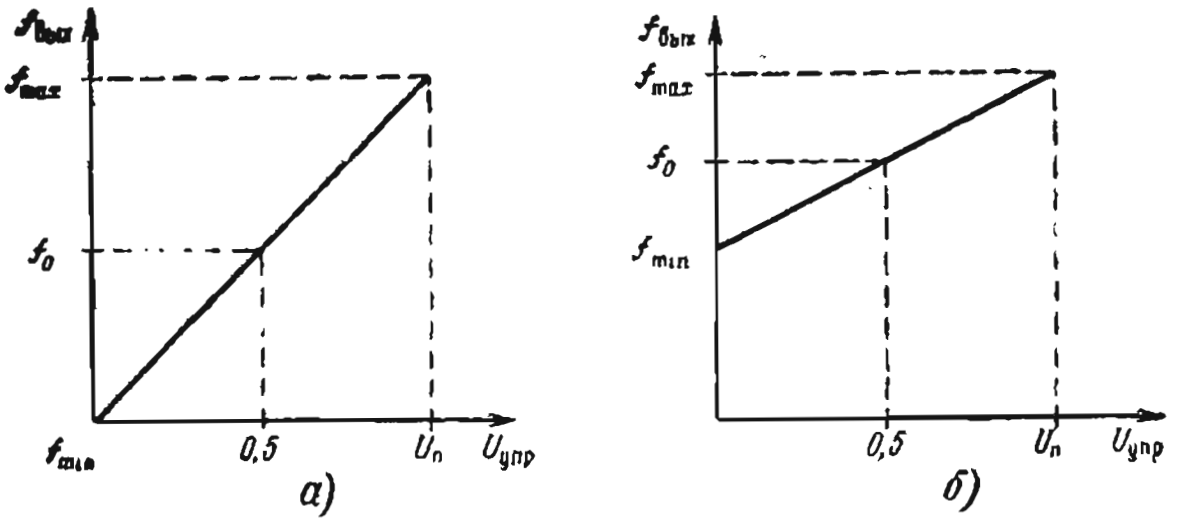


Рис. 5.51. Зависимость частоты генерации микросхемы К564ГГ1 от напряжения на управляющем входе:
а — R2=0; *б* — R2>0

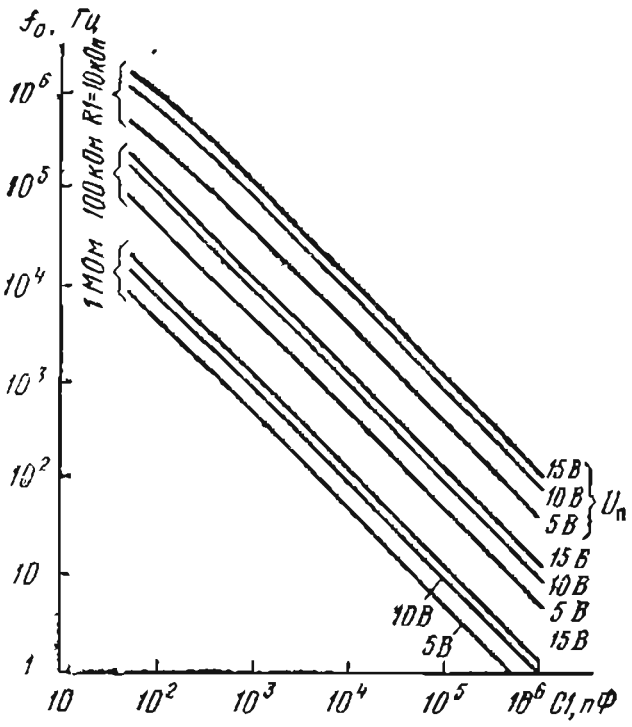


Рис. 5.52. Зависимость центральной частоты генерации f_0 от значения R1 и C1 (R2=∞, $U_{вх\ гун}=0{,}5U_п$)

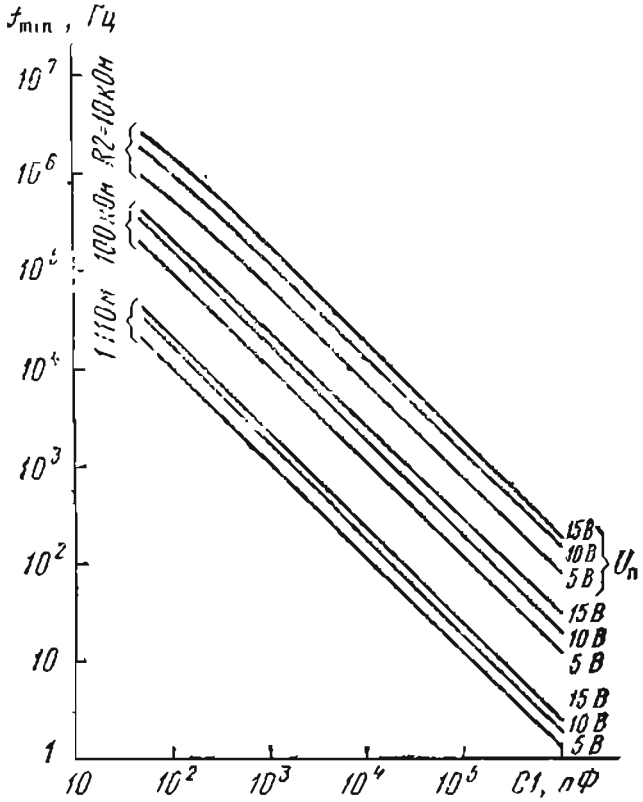


Рис. 5.53. Зависимость частоты сдвига от значения R2 и C1 (R=∞; $U_{вх\ гун}=0$)

лена на рис. 5.52. Влияние резистора R2 на смещение частоты характеризует рис. 5.53. Как следует из этих рисунков, напряжение питания в небольшой степени влияет на частоту генерации. Метод расчета значений компонентов времязадающей цепи описан далее.

Генерацию по желанию можно прервать. Для этой цели предусмотрен вход «Запрет» (вывод 5), управляющий также и усилителем-повторителем. Когда на выводе 5 напряжение низкого уровня, генератор и усилитель-повторитель включены, при высоком они бездействуют и потребление мощности при этом минимально.

Как отмечалось, выходное напряжение генератора (на выводе 4) имеет вид прямоугольных импульсов со скважностью Q=2. Для обеспечения режима фазовой автоподстройки эти импульсы подают на фазовые компараторы (вывод 3) непосредственно или через триггерный делитель частоты. В дальнейшем для удобства изложения вход, на который подают внешний сигнал, будем называть сигнальным, а второй — компараторным. Внешние сигналы на вход сигнального усилителя-формирователя (вывод 14) можно подводить непосредственно, если они по амплитуде удовлетворяют известным требованиям к сигналам микросхем КМОП: $U^0_{вх}\leqslant 0{,}3U_п$ и $U^1_{вх}\geqslant 0{,}7U_п$. Сигналы меньшей амплитуды следует подавать через разделительный конденсатор.

Реальная микросхема К564ГГ1 содержит два фазовых компаратора — это позволяет расширить ее функциональные возможности. Компараторы различны, что дает возможность разработчику выбирать оптимальные условия их работы в соответствии с характером напряжения на сигнальном входе (вывод 14). Режим ФАПЧ реализуют путем подключения резистора R3 фильтра низкой частоты к выходу одного из компараторов — к вы-

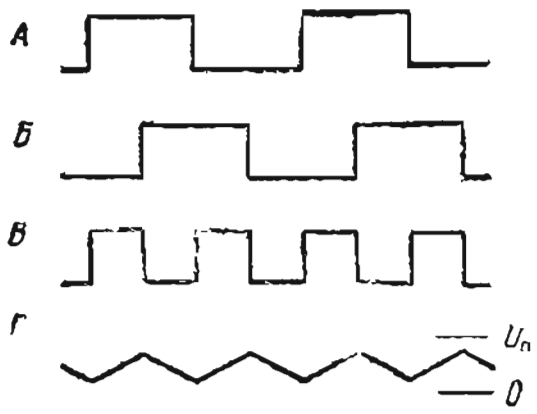


Рис. 5.54. Временные диаграммы работы микросхемы К5564ГГ1 с замкнутой петлей фазовой автоподстройки (задействован фазовый компаратор ФК1):

А — входные сигналы; Б — выходные сигналы ГУН (входные для компаратора); В — выходные сигналы фазового компаратора ФК1; Г — сигналы рассогласования (сравни с рис. 5.46).

воду 2 либо к выводу 13. Компаратор ФК2 имеет дополнительный индикаторный выход (вывод 1), о котором будет сказано далее.

Фазовый компаратор ФК1 представляет собой логический элемент Исключающее ИЛИ. Диапазон автоподстройки максимален, когда импульсы, действующие на сигнальном входе и входе компараторов, имеют скважность 2. Временные диаграммы системы фазовой автоподстройки изображены на рис. 5.54.

Из рис. 5.47 следует, что напряжение на конденсаторе С2 фильтра (т. е. на управляющем входе генератора) прямо пропорционально фазовому сдвигу между сигналами на входах компаратора.

При сдвиге фаз 90° напряжение на конденсаторе С2 равно $0{,}5U_п$. Выходная частота генератора в этом случае соответствует центральной f_0. Такой же режим образуется в отсутствие сигналов на сигнальном входе.

Система ФАПЧ с компаратором ФК1 обеспечивает устойчивую синхронизацию и при наличии помех на сигнальном входе. Для этого компаратора диапазон захвата обусловлен характеристиками фильтра низких частот и в оптимальном случае равен диапазону автоподстройки.

Следует учитывать, что логический элемент Исключающее ИЛИ в роли фазового компаратора может обеспечивать синхронизацию и в том случае, когда частоты входных сигналов близки к гармоникам центральной частоты управляемого генератора ГУН.

Фазовый компаратор ФК2 состоит из четырех триггеров, логического управляющего устройства и узла с тремя выходными состояниями, содержащего формирователи на транзисторах р- и п-МОП с общим выходным узлом. Компаратор ФК2 срабатывает по положительному перепаду напряжения на обоих входах. Поэтому скважность сигналов, поступающих на сигнальный вход, не влияет на диапазон автоподстройки.

Если частота ГУН выше входной частоты или фронт импульса на выводе 3 опережает фронт сигнала на выводе 14 на какое-то время $\Delta t'$, то в течение этого времени на основном выходе ФК2 (вывод 13) присутствует сигнал низкого уровня, который, пройдя через фильтр, будет снижать частоту генерации ГУН. Остальную часть периода основной выход находится в третьем состоянии (отключено).

Сходным образом действует компаратор ФК2 при отставании импульсов на выводе 3 от сигналов на выводе 14 с той лишь разницей, что его выходное напряжение будет высокого уровня.

Когда сигналы на обоих входах компаратора совпадают по частоте и фазовый сдвиг между ними отсутствует, т. е. система автоподстройки оказывается замкнутой, основной выход ФК2 переходит в третье состояние

(отключено), а на вспомогательном выходе — выводе 1 — появляется напряжение высокого уровня, которое служит показателем синхронности двух частот — входной и управляемого генератора.

Фильтр низкой частоты, подключенный к выходу этого компаратора, как и в случае с компаратором ФК1, сглаживает выходные импульсы и постоянное напряжение на конденсаторе С2, перестраивает управляемый генератор так, чтобы сигналы на компараторном и сигнальном входах компаратора сравнялись по частоте и по фазе. В этом устойчивом состоянии формирователи на транзисторах р-типа и n-типа отключаются и выход фазового компаратора оказывается в третьем (отключенном) состоянии. Напряжение на конденсаторе С2 сохраняется неизменным, так как входное сопротивление генератора и усилителя-повторителя очень велико. В это время уровень напряжения на втором выходе (вывод 1) компаратора ФК2 («Фазовый импульс») становится высоким, что может служить индикатором состояния синхронизации.

Таким образом, при работе компаратора ФК2, в отличие от ФК1, сдвиг фаз между сигналами на сигнальном и компараторном входах во всем частотном диапазоне управляемого генератора отсутствует. Так как выходы формирователей р- и n-типа бо́льшую часть периода входного сигнала отключены, мощность рассеяния, обусловленная наличием фильтра низких частот, в этом случае меньше.

Таблица 5.1. **Свойства микросхемы К564ГГ1 с компараторами ФК1 и ФК2**

Параметр	ФК-1	ФК-2
Частота генерации при отсутствии сигналов на сигнальном входе	При замкнутой петле автоподстройки частота генерации ГУН равна центральной f_0	При замкнутой петле автоподстройки частота генерации ГУН равна минимальной f_{min}
Сдвиг фаз между сигналами на сигнальном и компараторном входах	На центральной частоте сдвиг фаз 90°; на концах диапазона автоподстройки ($2f_L$) приближается к 0° и 180°	Всегда 0° с автоподстройкой по фронту сигналов (по положительному перепаду)
Возможность захвата на гармониках центральной частоты	Имеется	Не имеется
Устойчивость к помехам на сигнальном входе	Высокая	Низкая
Диапазон автоматической подстройки частоты ГУН ($2f_L$)	$2f_L=f_{max}-f_{min}$	$2f_L=f_{max}-f_{min}$
Диапазон захвата частоты ГУН ($2f_c$)	Зависит от параметров фильтра низкой частоты; $f_c<f_L$	$f_c=f_L$
Центральная частота (f_0)	Выходная частота ГУН, если на управляющем входе действует напряжение $U_{упр}=U_п/2$	

Следует также отметить, что диапазон синхронизации системы ФАПЧ с компаратором ФК2 равен диапазону захвата и не зависит от фильтра низких частот. При отсутствии на сигнальном входе сигнала компаратор ФК2 настраивает управляемый генератор на минимальную частоту.

Компаратором ФК2 можно управлять не только прямоугольными импульсами, но и синусоидальным напряжением. Типичные временные диаграммы сигналов системы ФАПЧ с компаратором ФК2 в состоянии синхронизации даны на рис. 5.55.

Различия в свойствах системы ФАПЧ микросхемы К564ГГ1 с разными компараторами указаны в табл. 5.1.

Назначение усилителя-повторителя УП — выделять на внешней нагрузке напряжение рассогласования без шунтирования фильтра низкой частоты. Этот усилитель имеет очень большое входное сопротивление и сравнительно малое выходное. Его коэффициент усиления равен 1. Напряжение рассогласования используют, например, в системах автоматического регулирования и как результат частотного детектирования. Если постоянная времени цепи фильтра R3C2 меньше периода изменения частоты на сигнальном входе, напряжение на конденсаторе C2, а значит, и на выходе усилителя-повторителя (вывод 10) будет следовать за изменениями этой частоты, представляя собой результат частотного детектирования.

Рекомендуемые пределы значений навесных компонентов: R1 и R2 — от 10 кОм до 1 мОм; минимальная емкость конденсатора C1 — 100 пФ, максимальная особо не оговаривается, но более 1 мкФ не употребляют. С учетом

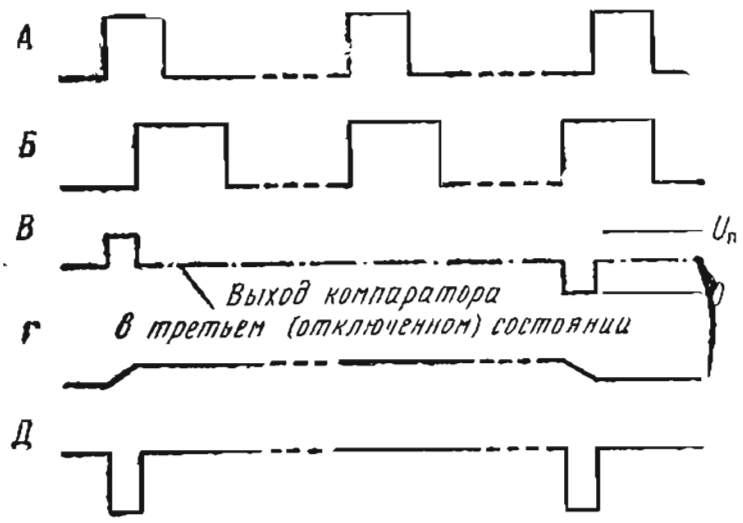


Рис. 5.55. Временные диаграммы работы микросхемы К564ГГ1 с замкнутой петлей фазовой автоподстройки (задействован фазовый компаратор ФК2):

А — входные сигналы; Б — выходные сигналы ГУН (входные для компаратора); В — выходные сигналы фазового компаратора ФК2, Г — управляющее напряжение на входе ГУН; Д — импульсы на выходе фазового компаратора (сравни с рис. 5.46)

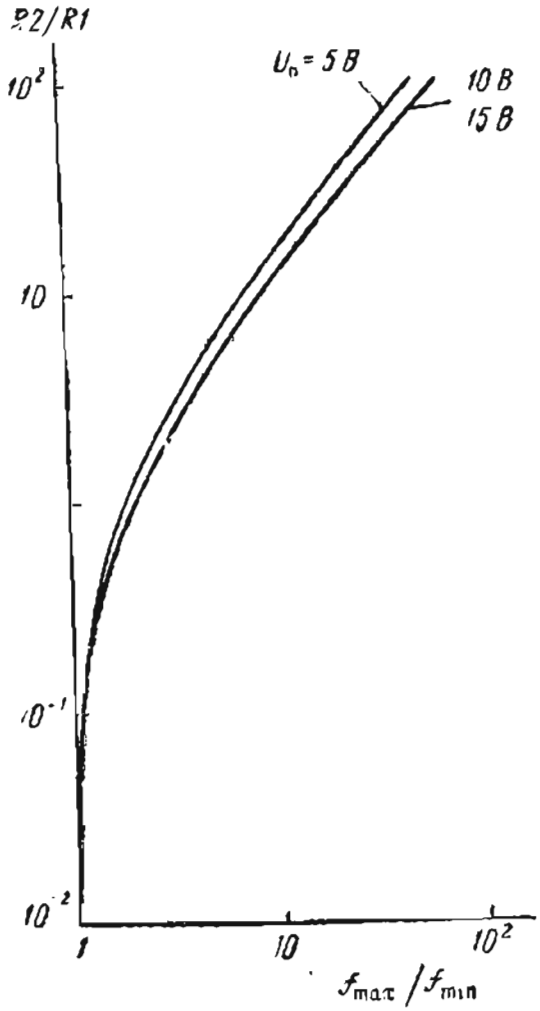


Рис. 5.56. Типичные значения отношения R2/R1 в функции от отношения f_{max}/f_{min}

специфики работы конденсатора с компаратором ФК2 ток утечки конденсатора должен быть очень малым. Минимальное сопротивление нагрузки усилителя — повторителя 10 кОм. Когда УП не используется, его выход (вывод 10) оставляют свободным.

Как и другие микросхемы серий К564 и К561, микросхема К564ГГ1 способна работать в широких пределах напряжения питания — от 3 до 15 В.

Высшие значения частоты генерации, оговоренные техническими условиями: $f_{max}=0{,}3$ МГц ($U_п=5$ В); $f_{max}=0{,}6$ МГц ($U_п=10$ В); $f_{max}=0{,}8$ МГц ($U_п=15$ В).

Параметры времязадающих цепей генератора рассчитывают по номограммам (см. рис. 5.52, 5.53 и 5.56) в определенной последовательности в зависимости от режима работы:

1. Генератор работает без сдвига частот ($R2=\infty$):

а) задано f_0. Пользуясь рис. 5.52 по f_0 и задавшись значением одного из компонентов (R1 или C1), определить другой (C1 или R1).

б) задано f_{max}. Надо определить $f_0=f_{max}/2$ и затем по f_0 рассчитать R1 и C1, как указано в п. а.

2. Генератор работает со сдвигом частот ($R2\neq\infty$):

а) заданы f_0 и f_L. Надо определить $f_{min}=f_0-f_L$ и, пользуясь рис. 5.53, по f_{min} определить R2 и C1; рассчитать

$$f_{max}/f_{min}=(f_0+f_L)/(f_0-f_L);$$

пользуясь рис. 5.56, по отношению f_{max}/f_{min} определить отношение R2/R1, чтобы получить R1.

б) заданы f_{min} и f_{max}. По f_{min} из рис. 5.53 следует определить R2 и C1, рассчитать f_{max}/f_{min}; по f_{max}/f_{min} из рис. 5.56 определить R2/R1; зная R2, легко найти R1.

Номограммы, показанные на рис. 5.52 и 5.53, усредненные. Для конкретных экземпляров микросхем в ходе регулирования генератора возможно потребуется корректировка расчетных значений.

В некоторых работах, например, в [25], на основании опыта работы с микросхемой типа 4046 (зарубежный аналог отечественной К564ГГ1) рекомендуется усложнять схему фильтра (рис. 5.57) для повышения устойчивости работы. С таким фильтром низкой частоты в петле автоподстройки не возникают выбросы напряжения и переходные процессы колебательного характера и в то же время сохраняется достаточно быстрая реакция на изменения частоты напряжения на сигнальном входе. Сопротивление резистора R4 выбирают в 3...10 раз меньше, чем R3. Практически апробированные значения параметров фильтра: R3=470 кОм, R4=47 кОм, C2=0,1 мкФ.

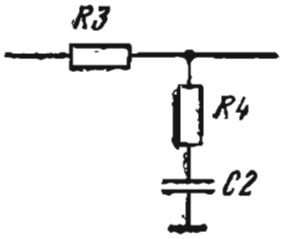


Рис. 5.57. Схема RC-фильтра с улучшенными параметрами

В тех случаях, когда компараторы остаются неиспользуемыми, вывод 4 следует соединять с выходом ГУН либо с плюсовым или общим проводом, вывод 14 можно оставлять свободным.

Если микросхему К564ГГ1 используют только в качестве генератора прямоугольных импульсов, управляемого напряжением, то могут оказаться полезными и нетиповые способы включения [32]. На рис. 5,58

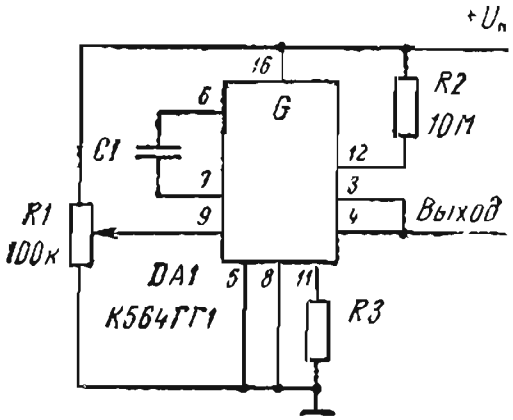


Рис. 5.58. Схема регулируемого генератора прямоугольных импульсов на микросхеме К564ГГ1, обеспечивающая $f_{вых\ min}=0$

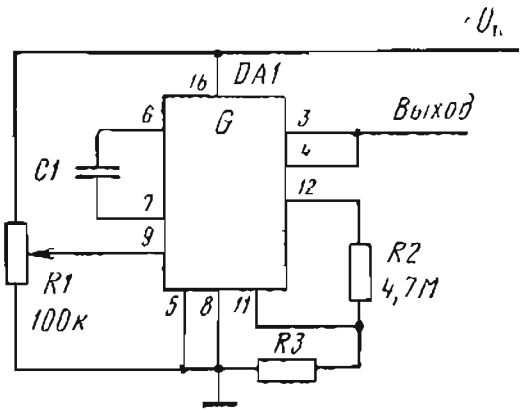


Рис. 5.59. Вариант схемы регулируемого генератора прямоугольных импульсов на микросхеме К564ГГ1

изображена схема регулируемого генератора с частотной полосой от нуля до значения, определяемого сопротивлением резистора R3 и емкостью конденсатора C1. Переменный резистор R1 служит для плавного изменения частоты. Вывод 12 микросхемы через высокоомный резистор R2 соединен с плюсовым проводом питания, а не с общим, как обычно. Такое включение обеспечивает срыв генерации в нижнем положении движка резистора R1. В отсутствие резистора R2 при нулевом напряжении на управляющем входе ГУН (вывод 9) генерация сохраняется с очень низкой частотой — доли или единицы герц. Следует отметить, что после срыва колебаний постоянное напряжение на выходе ГУН (вывод 4) может оказаться как высокого, так и низкого уровня.

На рис. 5.59 показан вариант подключения резистора R2 к выводу 12 для задания минимальной частоты генерации. Максимальная частота определяется номиналами элементов C1 и R9, а минимальная — емкостью конденсатора C1 и суммой значений сопротивления R2+R3. Соответствующей подборкой этих резисторов можно установить желаемое соотношение между максимальной и минимальной частотами.

Материал подготовлен: www.tec.org.ru