

Л.П. Андреева

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА ПЛАВНОГО ДИАПАЗОНА

Рассмотрены причины неустойчивости частоты генератора плавного диапазона (ГПД). Предложен вариант схемы, спроектированной на высоких частотах, с заменой контура коаксиальной линией, составляющей единое целое с бесконтактным конденсатором переменной емкости (КПЕ).

Самым ответственным узлом в трансивере является ГПД, который определяет стабильность частоты и шумовые характеристики. Неустойчивость частоты автогенераторов имеет много причин. Условно можно поделить все причины неустойчивости на два направления [1, 2, 3]:

- влияющие на частоту настройки задающего контура;
- влияющие на частоту из-за изменения режима активного элемента.

Самой простой причиной первого направления является механическая непрочность конструкции. Следующая очевидная причина того же направления – температурная неустойчивость. Нагрев деталей автогенератора вызывает изменения индуктивности и емкости. Например, нагрев катушки, намотанной медным проводом на керамическом каркасе, вызывает расширение меди, подъем длины провода, подъем диаметра катушки. Это влечет за собой подъем индуктивности и понижение частоты. Такой же нагрев катушки, намотанной на фторопластовом каркасе, вызывает подъем диаметра витков, но из-за чрезмерно большого линейного расширения фторопласта катушка растягивается в длину настолько сильно, что с лихвой перекрывает подъем диаметра, и в итоге индуктивность не увеличивается, а уменьшается, и частота повышается. По этой причине фторопласт совершенно непригоден для высокостабильных контуров.

Магнитная проницаемость большинства ферромагнитных материалов при нагреве увеличивается. Увеличиваются при нагреве и емкости варикапов. Емкость конденсаторов при нагреве как увеличивается, так и уменьшается – в зависимости от материалов обкладок и диэлектрика. Иногда (но не всегда) на конденсаторах пишут величину температурного коэффициента емкости (ТКЕ), который показывает, на сколько миллионных долей изменяется емкость конденсатора при его нагреве на 1°C . Знак изменения (минус или плюс) обозначается буквами «М» или «П». Обозначение М750 означает, что при нагреве на каждый градус емкость уменьшается на 750×10^{-6} . Обозначение П33 означает подъем при нагреве на каждый градус на 33×10^{-6} . Если конденсатор с ТКЕ М750 имел при номинальной температуре емкость 1500 пФ, то при его дополнительном нагреве на 20°C емкость станет равной $1500 - 1500 \times 750 \times 10^{-6} \times 20 = 1500 - 22,5 = 1477,5$ пФ. Если автогенератор работал, например, на частоте 500 кГц и его частота определялась только этим конденсатором, то отклонение частоты при этом составит 3,79 кГц, что очевидно много.

Радикальным методом в этом случае является термостатирование. Но более простой и дешевый метод – отбор деталей с наименьшими температурными отклонениями. Термокомпенсация позволяет уменьшить до некоторых пределов температурную нестабильность, но не позволяет устранить ее полностью. Во-первых, контур ГПД является перестраиваемым, и процентное соотношение постоянных и переменных конденсаторов при перестройке меняется. Поэтому компенсация, достигнутая на одной частоте, на другой частоте нарушается. Во-вторых, изменения емкостей и индуктивностей при нагреве происходят по разным законам. Поэтому компенсация, достигнутая при нагреве на 10°C , нарушится, если мы нагреем генератор ещё на 10°C .

В качестве деталей для ГПД можно рекомендовать катушки, намотанные нагретым посеребренным проводом на ребристом керамическом каркасе. Конденсаторы можно использовать КМ5 (пятислойные, малогабаритные) с ТКЕ М47 или М75. Если для настройки ГПД применяются варикапы, то ТКЕ конденсаторов должен быть ещё больше, так как ТКЕ варикапов положительны и в зависимости от смещения (т.е. от частоты настройки) изменяются от $70 \dots 80 \times 10^{-6}$ при больших напряжениях, до 500×10^{-6} при малых. Поэтому недопустимо использовать варикапы при напряжении смещения менее 8...9 В. Если

емкости варикапов недостаточно для данного контура, необходимо либо использовать варикапы с большими емкостями (например, КВ-105), либо ставить по два-три варикапа в параллель. Не рекомендуется использовать катушки с вожженным серебром. Они имеют хорошую температурную стабильность, но невысокую добротность. А добротность важнее.

Следующей причиной, воздействующей на частоту контура, является нестабильность паразитных емкостей активных элементов, которые подключаются к контуру и служат составными частями его емкости. Во время работы генератора эти паразитные емкости изменяются и напрямую уводят частоту контура. Рассматривавшиеся ранее температурные уходы частоты происходят медленно, их можно подкорректировать по цифровой шкале либо компенсировать. Влияние же нестабильности паразитных емкостей происходит быстро, чаще всего в такт с модуляцией, и сопровождается характерными искажениями сигнала. Паразитные межэлектродные емкости в транзисторах представляют собой обычные барьерные емкости $p-n$ переходов, перестраивающиеся при изменении приложенного к ним напряжения. Влияние паразитных ёмкостей можно в той или иной мере уменьшить, но не устранить совсем.

Для уменьшения их влияния надо добиваться, чтобы процентное содержание паразитных ёмкостей в общей ёмкости контура было по возможности меньшим, чтобы на фоне большой общей ёмкости контура несколько пикофард паразитных ёмкостей имело меньшее влияние. Здесь, правда, существуют два ограничения. Во-первых, слишком большая ёмкость при малой индуктивности ведет к снижению добротности контура. Во-вторых, слишком большая постоянная ёмкость требует пропорционального увеличения переменной емкости, иначе не будут обеспечиваться пределы перестройки контура. В любом случае нельзя конструировать ГПД на почти одних только паразитных ёмкостях, как это предложено в [2], где в контуре на 1,8...7 МГц применен варикап КВС111 с малой емкостью. И чтобы получить перестройку, применены большая индуктивность и маленькая постоянная ёмкость. При этом паразитная входная ёмкость транзистора составила 20 % от общей ёмкости контура. Паразитные ёмкости мало влияли бы на частоту, если бы напряжения питания и режим работы генератора были идеально стабильными, что реально недостижимо.

Одним из методов, решающих в той или иной мере проблему, является применение развязывающих каскадов между контуром ГПД и активным элементом. На рис. 1 приведена простейшая схема индуктивной трехточки, а на рис. 2 – трехточки с добавлением развязывающего истокового повторителя.

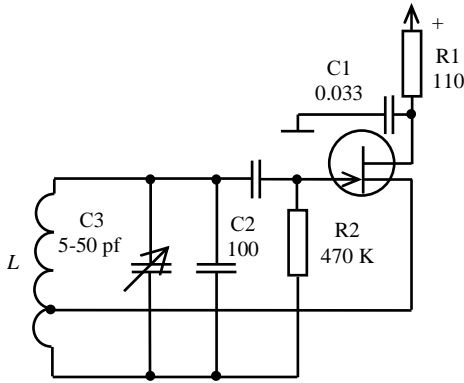


Рис. 1. Схема индуктивной трехточки генератора

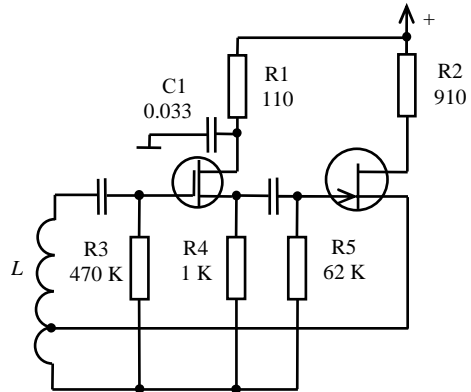


Рис. 2. Схема индуктивной трехточки генератора с добавлением истокового повторителя

Разность напряжений между затвором и истоком в 10 раз меньше, чем само входное напряжение. А если разность напряжений мала, то через входную емкость повторителя течет переменный ток в 10 раз меньший, что эквивалентно уменьшению в 10 раз входной емкости.

Повторитель (см. рис. 2) имеет глубокую ООС по постоянному току. Когда напряжение питания меняется, ток в транзисторе меняется во много раз меньше, чем он изменялся бы без истокового резистора, т.е. паразитные ёмкости более стабильны. В первом случае (см. рис.1) генерирующий транзистор потребляет ток для создания автоматического смещения от контура, ухудшая его добротность. Во втором случае (рис. 2) тот же ток потребляется из повторителя и на добротность не влияет. Из-за большого усиления по мощности исток генерирующего транзистора подключен к меньшей части витков контура (1/10...1/20) и меньше влияет на контур.

Лучшие результаты получаются, если в качестве повторителя используется полевой транзистор с левой характеристикой, без подачи на затвор смещения. Можно рекомендовать КП305И. Параметры

схемы должны выбираться так, чтобы повторитель передавал амплитуду колебаний без искажений или с равномерным ограничением сверху и снизу.

Есть ещё один механизм дестабилизации частоты, не столь очевидный. Автогенератор работает непрерывно за счет того, что его высокодобротный контур «звенит» и поддерживает колебания. Энергия же в контуре пополняется толчками только при пиках положительных полуволн на затворе. Для стабильной работы в генераторе необходимо поддерживать баланс амплитуд и баланс фаз. Для баланса амплитуд требуется, чтобы за каждый период колебания в контуре пополнялось энергии столько, сколько ее из контура расходуется (на затворные токи, потери в конденсаторах и резисторах, излучение в окружающее пространство). Этот баланс поддерживается за счет автоматического смещения. Как только амплитуда колебаний чуть уменьшается, уменьшается и смещение, транзистор приоткрывается чуть больше, и порции подкачивающей энергии возрастают, и наоборот.

Баланс фаз требует, чтобы подкачивающие импульсы тока приходили в контур строго в такт с существующими колебаниями – не раньше и не позже. Баланс фаз тоже поддерживается автоматически, но понять этот процесс сложнее.

На основании изложенного материала предлагается стабильный ГПД [3]. Принципиальная схема генератора плавного диапазона приведена на рис. 3.

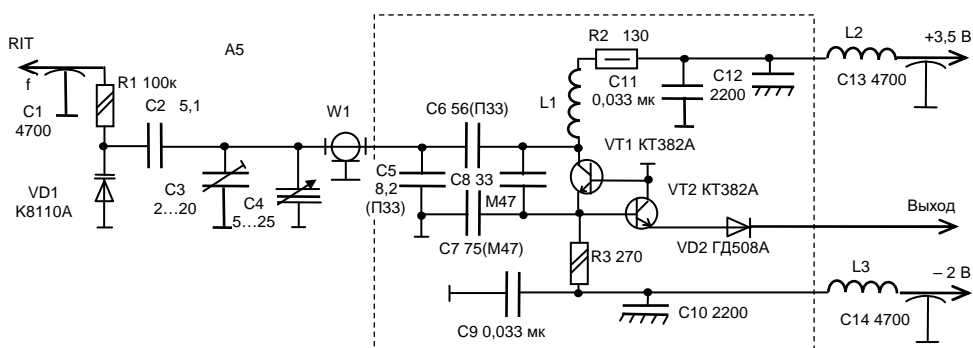


Рис. 3. Принципиальная схема генератора плавного диапазона

На транзисторе VT1 выполнен задающий генератор ГПД, на VT2 – буферный каскад.

ГПД перестраивают в интервале 179,5...196 МГц конденсатором переменной ёмкости С4, подключенным к коаксиальной линии W1. Другой её конец через конденсаторы С5–С8 связан с транзистором VT1. Через конденсатор С2 к линии подключен варикап VD1 узла расстройки. Диод VD2 служит для согласования по напряжению выхода ГПД со входом элемента в делителе с переменным коэффициентом деления (ДПКД) (рис. 4).

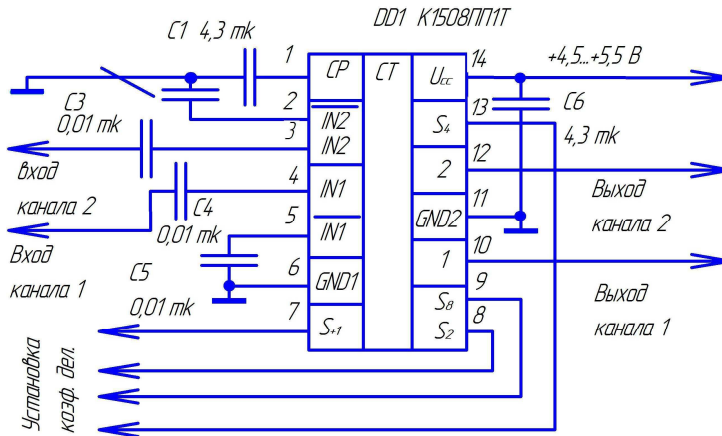


Рис. 4. Схема включения делителя частоты

Для увеличения стабильности задающего генератор предложено спроектировать его на высокой частоте (179,5...200 МГц). Вместо контура была применена коаксиальная линия W1. Коаксиальная линия выполнена в виде двух медных или латунных посеребренных трубок с соотношением диаметров около 3,6, изолированных друг от друга двумя фторопластовыми шайбами. Бесконтактный КПЕ составляет единое целое с коаксиальной линией.

С выхода ГПД через VD2 высокочастотный сигнал подается на высокочастотный двухканальный делитель 1508пп1Т, работающий в интервале частот от 30 МГц до 1,4 ГГц.

Коэффициент деления задают четырехразрядным параллельным кодом по двум каналам. Первый канал обеспечивает коэффициент деления входной частоты 10, 11, 20, 21, 40, 41; а второй – 2, 4, 8.

Необходимый канал делителя частоты выбирают подачей на вход S₈ напряжения низкого или высокого уровня.

При низком уровне включается канал 1, при высоком – канал 2.

Высокочастотные входные сигналы подают на прямые входы IN1 и IN2 каналов, а инверсные входы «заземляют» через разделительные конденсаторы емкостью 0,01 мкФ.

Требуемый коэффициент деления устанавливают подачей на входы S_8, S_4, S_2, S_{+1} четырехразрядного параллельного кода в соответствии с таблицей.

Таблица уровней

Уровень напряжения на входах				Коэффициент деления
S_8	S_4	S_2	S_{+1}	
0	0	0	0	10
0	0	0	1	11
0	0	1	0	20
0	0	1	1	21
0	1	0	0	40
0	1	0	1	41
0	1	1	0	*
0	1	1	1	
1	0	0	0	2
1	0	0	1	
1	0	1	0	4
1	0	1	1	
1	1	0	0	8
1	1	0	1	
1	1	1	0	*
1	1	1	1	

*Нет деления частоты. На выходах – низкий уровень.

Библиографический список

1. Дробов С., Бычков С. Радиопередающее устройство. – М.: Советское радио, 1969.
2. Зирюкин Ю. ГПД трехдиапазонного трансивера // Радиолобитель. КВ и УКВ. – 1996. – № 7. – С. 5–98.
3. Дроздов В.В. Узлы современного трансивера // Радио. – 1984. – № 3.

Получено 05.09.2011