

(Окончание, начало № 2/2000)

Генераторы прямоугольных импульсов на микросхемах КМОП

Генератор КМОП на кварцевом резонаторе

На рис. 8 показан генератор, состоящий из активного элемента – инвертора – и пассивного элемента – кварцевого резонатора. Вместо одного инвертора можно поставить любое нечетное количество инверторов. Наиболее высокая частота, с которой может работать эта схема, ограничена временем задержки на инверторе.

Рассмотрим, как присутствие кварце-

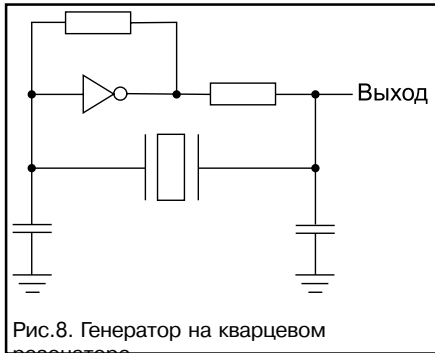


Рис. 8. Генератор на кварцевом резонаторе

вого резонатора влияет на работу схемы. Эквивалентная схема кварцевого резонатора показана на рис. 9.

Точная частота кварцевого резонатора корректируется подключением нагрузочного конденсатора. Его емкость обычно составляет 20–32 пФ. В таблице 1 приведены параметры распространенных кварцевых резонаторов.

Таблица 1

Параметр	Обозн.	Ед. изм.
Напряжение питания (В) не более	V_s	29
Выходное напряжение (В)	V_o	17-21
Ток нагрузки (мА) не более	I_L	35
Выходное сопротивление (Ом)	R_L	150-300
Мощность рассеяния (Вт)	P	0,4
Тепловое сопротивление ($^{\circ}C/Вт$)	R_T	160

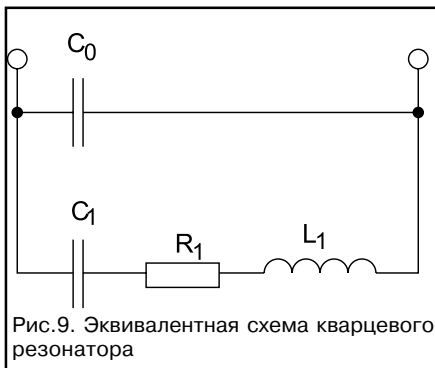


Рис. 9. Эквивалентная схема кварцевого резонатора

Генератор Пирса – одна из наиболее популярных схем. Она является основой практически всех генераторов на одном венти-
ле. На рис. 10 сигнал, идущий со входа усилителя на выход, сдвигается на 180°.

Кварц ведет себя как большая индуктивность, так как он подключен параллельно. Вместе с конденсаторами C_A и C_B он переворачивает сигнал, идущий с выхода усилителя на вход, еще на 180°. Роль нагрузки на выход резонатора играют конденсаторы C_A и C_B , а также некоторая случайная емкость цепей.

В этой схеме емкость C_A обычно равна емкости C_B и суммарная емкость двух конденсаторов приближается к 64 пФ. Уравнение полного импеданса резонатора выглядит примерно так:

$$Z_L = X_C^2 / R_L,$$

где $X_C = -j/\omega C_B$, а R_L – последовательное сопротивление резонатора, показанное в таблице 1;

$$\omega = 2\pi F,$$

F – частота осцилляции.

Отношение входного напряжения генератора к выходному можно определить по формуле:

$$e_A/e_B = \omega C_B / \omega C_A = C_B / C_A.$$

При требуемой частоте сдвиг фазы сигнала в цепи должен быть 360°, а коэффициент усиления – не менее чем 1:

$$A_A \cdot A_F \geq 1,$$

где A_A – коэффициент усиления инвертора, а A_F – коэффициент усиления цепи резонатора,

$$A_F = e_A / e_B.$$

Например, если нужен генератор частоты 2 МГц, то $R_L = 100$ Ом (см. таблицу 1); если резонатору нужна нагрузка 64 пФ, то емкость $C_A = C_B = 64$ пФ. Общая нагрузка цепи резонатора будет равна

$$Z_L = (1/2\pi(2 \text{ МГц})(64 \text{ пФ})^2) / 100 = 16 \text{ кОм}.$$

Схема на инверторе КМОП и кварцевом резонаторе

Инвертирующие вентили КМОП бывают двух типов:

- небуферизованные вентили, которые содержат только один инвертирующий блок; коэффициент уси-

ления напряжения A_A равен не-
скольким сотням;

- буферизованные вентили, содержащие три инвертора; коэффициент усиления напряжения A_A – более 10 000; буферизованные вентили хороши тем, что они имеют большой коэффициент разветвления по выходу, то есть могут подавать сигнал на большое количество входов; соответственно, потребляемый ток у них больше.

В качестве генераторов могут быть использованы как буферизованные, так и небуферизованные вентили с одной небольшой разницей в схеме: значения R_2 или C_B для схемы с буферизованными инверторами должны быть увеличены в десять или более раз. Это увеличит падение напряжения в петле обратной связи, что желательно, так как коэффициент усиления буферизованного инвертора выше.

Конденсаторы C_A и C_B играют роль нагрузочной емкости кварцевого резонатора. Большинство резонаторов требует нагрузки от 20 до 32 пФ. Такая нагрузка заставит резонатор работать на нормальной частоте. Изменение нагрузочной емкости повлечет за собой изменение частоты осцилляции. В большинстве случаев производители указывают в документации номиналы конденсаторов, которые необходимы для работы резонатора на нормальной частоте (за исключением случаев, когда таких конденсаторов не требуется вообще).

В схеме, показанной на рис. 11, сопротивление R_F необходимо, чтобы сдвинуть напряжение на входе усилителя в линейную область усиления. Это даст гарантию, что схема заработает при включении. Резистор R_2 увеличивает импеданс цепи, с тем чтобы вместе с конденсатором C_B увеличить фазовый сдвиг. Это нужно для того, чтобы генератор заработал на нужной, а не на большей частоте. Резистор также изолирует выход инвертора от цепи резонатора и этим сохраняет прямоугольную форму импульса. Номинал резистора должен

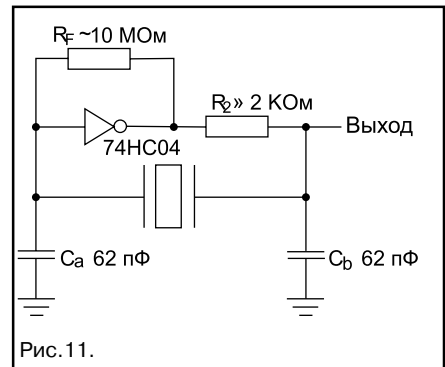


Рис. 11.

быть примерно равен импедансу нагрузки Z_L , который можно вычислить по приведенной выше формуле.

Практика показывает, что небуферизованные вентили работают более устойчиво. Снижения потребления энергии можно добиться, если усилить обратную связь так, чтобы инвертор работал только в линейной области усиления.

Работа генератора на больших

Частотах

Сдвиг фазы на инверторе можно вычислить по формуле

Сдвиг Фазы=Частота x Время Задержки x 360°.

При описании работы генератора Пирса предполагалось, что сдвиг фазы сигнала на инверторе составляет 180° и задержка сигнала на вентиле не учитывалась. Но при высоких частотах задержка сигнала занимает существенное время, и сдвиг фазы может не составлять 360°. В этом случае резистор R_2 лучше заменить конденсатором небольшой емкости, которая должна быть примерно равна 1/

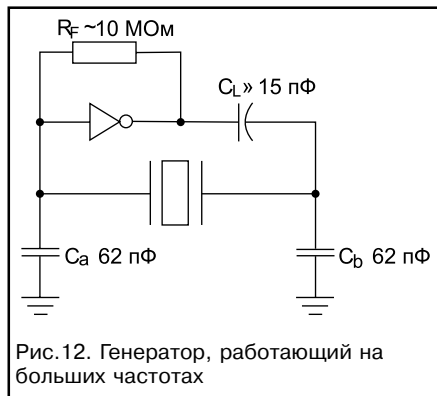


Рис. 12. Генератор, работающий на больших частотах

Улучшение стабильности работы генератора

Если необходим генератор, работающий очень стабильно, особенно в случае с использованием буферированных вентилях, то его можно собрать по схеме, показанной на рис. 13.

На этой схеме емкость конденсаторов C_A и C_B увеличена, для того чтобы часто-

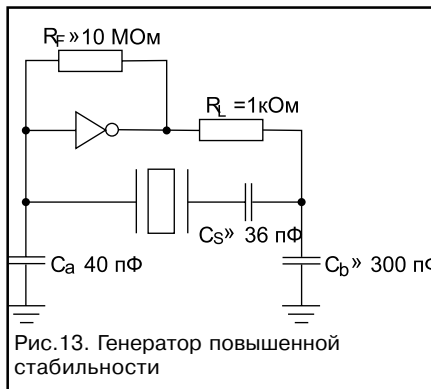


Рис. 13. Генератор повышенной стабильности

та не зависела от температуры вентиля и напряжения питания. Конденсатор малой емкости, включенный последовательно с кварцевым резонатором, работает как нагрузка резонатора и изолирует резонатор от выхода инвертора.

Генераторы, работающие на частотах обертонов

При создании генератора высоких частот можно использовать резонаторы, работающие не на своей основной частоте, а на повышенных частотах, или обертонах. Недостаток этого метода – меньшая стабильность частоты. При этом необходимо подавить основную частоту резонатора. Это можно сделать с помощью параллельно подключенной катушки индуктивности.

Схема, показанная на рис. 14, работает в параллельном режиме так же, как и генератор Пирса. Резонансная цепь L_A, C_B , совместно с конденсатором C_L , настраивается так, чтобы подавить основную частоту. Обертоны не всегда кратны основной частоте. Обычно они указываются в документации.

Практические рекомендации

R_F : Сдвигает уровень напряжения в

линейную область усиления. Номинал должен быть как можно больше.

R_L : Изолирует выход инвертора от остальной части схемы. Увеличивает сдвиг фазы. Сопротивление резистора должно быть равно входному импедансу цепи резонатора. Увеличение сопротивления ослабляет обратную связь и увеличивает стабильность частоты.

C_B : Один из нагрузочных конденсаторов для кварцевого резонатора. Емкость конденсатора C_B обычно вдвое больше нагрузочной емкости. Увеличение емкости усиливает обратную связь.

C_A : Один из нагрузочных конденсаторов для кварцевого резонатора. Емкость конденсатора C_A обычно вдвое больше нагрузочной емкости. Увеличение емкости усиливает обратную связь.

C_L : Используется вместо R_L в схемах с высокой частотой. Величина должна быть примерно равной импедансу цепи резонатора и ее лучше подбирать экспериментально.

Не следует добиваться большого коэффициента усиления в инверторе. Чрезмерное усиление ведет к нестабильной работе цепи и к тому, что генератор не будет управляться кварцевым резонатором.

При создании генератора нужна уверенность, что он будет работать даже в самых неблагоприятных условиях. Для этого можно подключить резистор последовательно резонатору.

Можно быстро проверить стабильность работы генератора, изменяя напряжение питания. Для вентилях КМОП изменение напряжения питания с 2.5 до 6 В дает изменение частоты не более чем на 10 PPM.

Вадим Стрижов,
strijov@ccas.ru