

УДК 621. 396. 61

АВТОПОДСТРОЙКА ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

К. т. н. Б. С. Троицкий, К. Л. Синюк

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса

Рассмотрено устройство автоподстройки частоты частотно-модулированных генераторов, которое позволяет уменьшить нестабильность средней частоты и нелинейные искажения закона модуляции при помощи перестраиваемого частотного детектора.

Ключевые слова: автоподстройка частоты, частотно-модулированные генераторы.

Частотно-модулированные генераторы (ЧМГ) широко применяются в радиоэлектронной аппаратуре как возбудители ЧМ-передатчиков, гетеродины анализаторов спектра, приемники ЧМ-сигналов с обратной связью по частоте (ОСЧ), измерителей параметров радиоимпульсных сигналов и амплитудно-частотных характеристик и т. д. Во всех случаях применения ЧМГ к ним предъявляется [1, 2] целый ряд требований, основными из которых являются высокая стабильность средней частоты и малые искажения закона изменения частоты. Выполнение этих требований обычно сопряжено со значительными трудностями, если частотная модуляция осуществляется изменением параметров контура автогенератора при помощи варикапов. В некоторых случаях, например в приемниках с ОСЧ, указанный метод модуляции является основным и определяет технические характеристики всего устройства.

Частотный модулятор ЧМГ содержит варикап, подключенный к контуру автогенератора. В процессе работы ЧМГ на варикап воздействуют напряжение смещения U_0 , модулирующий сигнал и высокочастотное колебание. Вследствие нелинейной зависимости ёмкости варикапа от приложенного напряжения возникают нелинейные искажения закона изменения мгновенной частоты генератора, математический анализ которых является сложной задачей. Целью настоящей работы является исследование устройства, которое позволяет уменьшить упомянутые нелинейные искажения, а также устранить паразитную частотную модуляцию (ПЧМ) автогенератора.

В перечень причин, вызывающих искажения закона модуляции, можно включить также пульсации напряжения питания, изменение параметров элементов при изменении температуры и влияние других дестабилизирующих факторов. Борьбу с нестабильностью средней частоты ЧМ $f_{\text{ген}}$ осуществляют, применяя автоподстройку частоты (АПЧ) по известной функциональной схеме [1], сравнивая сигнал стабилизируемого генератора с сигналом эталонного генератора.

По такой же схеме производится уменьшение ПЧМ. Однако различие решаемых задач определяет различие характеристик отдельных узлов. В первом случае необходимая полоса пропускания ФНЧ должна быть очень мала (не более десятков Гц), в то время как подавление ПЧМ требует расширение полосы ФНЧ до нескольких кГц [2]. С другой стороны, эффективность уменьшения нестабильности $f_{\text{ген}}$ и подавления ПЧМ зависит также и от других параметров устройства — коэффициента автоподстройки $K_{\text{АП}} = I + S_{\text{УЭ}} S_{\text{ЧД}}$ (где $S_{\text{УЭ}}$ и $S_{\text{ЧД}}$ — крутизна характеристики управляющего элемента и частотного детектора) и времени запаздывания управляющего сигнала в кольце АПЧ $t_{\text{ЗАП}}$.

Для стабилизации частоты управляемого генератора и подавления ПЧМ за счет увеличения быстродействия и эффективности автоматической подстройки частоты можно применить устройство [3], содержащее последовательно соединенные управляемый генератор (ЧМГ), перестраиваемый частотный детектор (ПЧД), управляющий элемент (УЭ), выход которого подключен ко второму входу управляемого генератора через буферный усилитель.

Перестраиваемый частотный детектор выполняется на элементах последовательного колебательного контура [4], в котором один из реактивных элементов, например варикап, выбран такого же

типа и включен в контур таким же образом, как и варикап управляемого генератора. Под действием модулирующего сигнала, подводимого к управляющим элементам ЧМГ и ПЧД, происходит изменение частоты $f_{\text{ген}}$ ЧМГ и средней частоты f_0 ПЧД. В состав ПЧД входит также эмиттерный повторитель, во входной цепи которого размещены диоды амплитудного ограничителя. Коэффициент передачи эмиттерного повторителя $K_{\text{эп}} \leq 0,5$. К варикапу, входящему в состав ПЧД, прикладывается напряжение высокочастотного сигнала, в 4 раза меньшее напряжения, приложенного к варикапу ЧМГ, что приводит к меньшим нелинейным искажениям закона изменения f_0 , чем искажения $f_{\text{ген}}$ ЧМГ.

Таким образом, выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ ПЧД определяется разницей между мгновенными значениями $f_{\text{ген}}$ и f_0 и далее используется для подстройки частоты ЧМГ.

Отличительной особенностью частотных характеристик ПЧД от характеристик других ЧД является то, что в области небольших относительных расстройок их крутизна существенно образом зависит от добротности контура Q . Кроме того, скорость приближения $U_{\text{вых}}$ к максимальному значению также зависит от Q .

Определим крутизну характеристики частотного детектора $S_{\text{ЧД}}$, используя соотношение (3) из [4]:

$$S_{\text{ЧД}} = \left| \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta f} \right| = \frac{2U_{\text{вх}} K_{\text{д}} L_k \pi}{R_k}. \quad (1)$$

В этом соотношении R_k — сопротивление потерь последовательного контура. Следовательно, $S_{\text{ЧД}}$ зависит от амплитуды входного сигнала, коэффициента передачи амплитудного детектора $K_{\text{д}}$, параметров контура L_k , R_k , но не зависит от средней частоты f_0 ЧД.

Можно добиться того, что время запаздывания сигнала в кольце автоподстройки будет незначительным. Полоса схватывания ПЧД определяется нестабильностью частоты ЧМГ и не связана с условиями устойчивости. Отсутствие фильтра нижних частот на выходе ПЧД значительно расширяет частотный диапазон эффективного подавления ПЧМ.

При автоподстройке по схеме [3] полоса схватывания, равная полосе удержания, может быть получена большой (сотни кГц), так как она определяется в основном «триггерной» формой характеристики перестраиваемого ЧД. Остаточная расстройка в этом случае зависит только от $S_{\text{ЧД}}$ и не связана с полосой схватывания.

Экспериментальные исследования ЧМГ с автоподстройкой описанным методом показали, что при $f_{\text{ген}}=10$ МГц нестабильность средней частоты $\Delta f_{\text{ген}}/f_{\text{ген}}$ уменьшилась с $270 \cdot 10^{-5}$ до $180 \cdot 10^{-6}$, а нелинейные искажения закона модуляции по второй гармонике уменьшились с 8,8 до 3,2% при частоте модуляции 1 кГц и с 10,6 до 3,9% при частоте модуляции 12 кГц.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Радиопередающие устройства / Под ред. В. В. Шахгильдяна. — Москва: Радио и связь, 2003.
2. Хиленков В. Н., Малахов Б. Н. Радиопередающие устройства. — Москва: Радио и связь, 1991.
3. А. с. 470896. Устройство автоподстройки частоты / Троицкий Б. С. — 1985. — Бюл. № 18.
4. Троицкий Б. С. Балансные частотные детекторы на последовательном контуре // Труды XII МНПК «СИЭТ-2011» — Украина, г. Одесса. — 2011. — С. 205.

V. S. Troitsky, K. L. Sinyuk

Auto tuning of frequency-modulated generators by controlled frequency detectors.

The paper describes an automatic frequency control device for frequency modulated generators that can reduce the instability of the average frequency and harmonic distortion of the modulation law by using a tunable frequency detector.

Keywords: *automatic frequency, frequency modulated generator.*