

УДК 621.373.42:621.373.52

М. П. Савченко, О. В. Старовойтова

**ЦЕПЬ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ШУМАМ
ДЛЯ АВТОГЕНЕРАТОРА С ВАРИКАПАМИ**

Предлагается использование цепи отрицательной обратной связи по шумам в генераторе, управляемом по частоте варикапам. Введение в схему генератора данной цепи компенсирует влияние флуктуаций амплитуды на значение средней за период колебания емкости варикапов и снижает тем самым фазовые шумы ГУН.

It is proposed a circuit of negative feedback for the reduction of phase noise. The circuit compensates the influence of amplitude fluctuations on the value of the average for the period of the oscillation capacitance of the varactors and thereby reduces phase noise VCO.

Ключевые слова: генератор, управляемый напряжением, варикап, фазовые шумы, отрицательная обратная связь по шумам.

Key words: voltage controlled oscillator, varactor, phase noise, a circuit of negative feedback.

Известен способ снижения фазовых шумов в автогенераторе с варикапами путем введения отрицательной обратной связи по шумам (ООСШ) [1]. Схема включения цепи ООСШ (ЦООСШ) показана на рисунке 1.

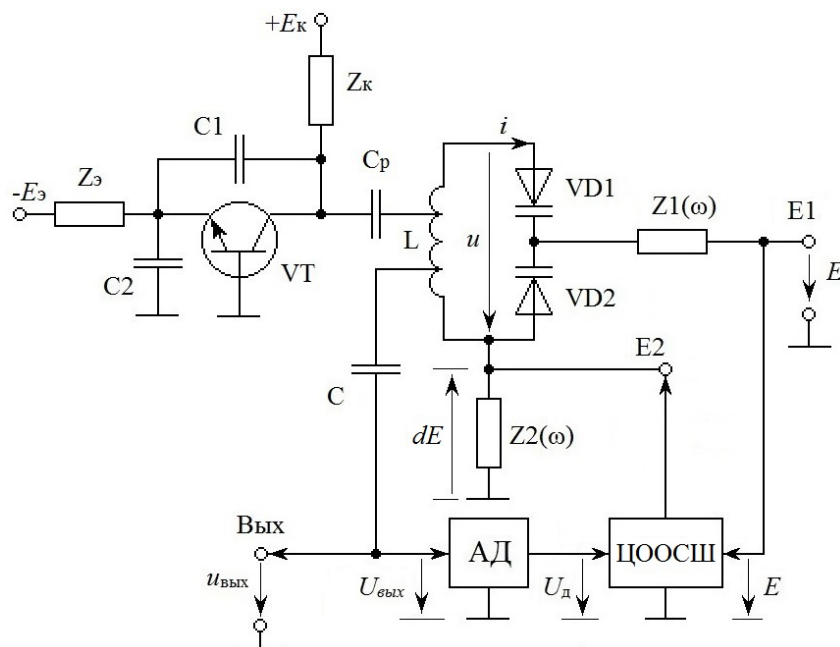


Рис. 1. Схема включения цепи ООСШ в автогенераторе с варикапами



В автогенераторе использованы две цепи управления варикапами: $Z_1(\omega)$ и $Z_2(\omega)$. Цепь $Z_1(\omega)$ обладает большим сопротивлением для тока с частотой колебаний в контуре, предотвращающим утечку контурного тока во внешнюю цепь, и конечным сопротивлением для постоянного тока и модулирующих частот. Цепь $Z_2(\omega)$ является коротким замыканием для тока с частотой колебаний в контуре и конечным сопротивлением для постоянного тока и модулирующих частот.

В автогенераторах с высокой добротностью колебательного контура напряжение u — гармоническое, амплитуда колебаний $-U$. Выходное колебание $u_{\text{вых}}$ также гармоническое, с амплитудой $U_{\text{вых}} = kU$ (коэффициент передачи $k < 1$) поступает на амплитудный детектор АД, детектируется и преобразуется в огибающую колебаний $U_d = k_d U_{\text{вых}}$ (коэффициент детектирования $k_d < 1$), которая состоит из среднего, стационарного, значения амплитуды $-U_d^0$ и флуктуаций амплитуды dU_d

$$U_d = U_d^0 + dU_d. \quad (1)$$

Назначение цепи ООСШ состоит в следующем:

- 1) выделить из U_d (1) сигналы U_d^0 и dU_d ;
- 2) соотнести их с величиной напряжения смещения E ;
- 3) в соответствии с вольт-фарадной характеристикой варикапов выработать такое компенсирующее напряжение dE , которое при росте амплитуды сигнала ($dU > 0$) увеличивает модуль суммы напряжений внешнего смещения и компенсации ($|E + dE|$), а при уменьшении ($dU < 0$) снижает на столько, чтобы значение средней за период колебания емкости варикапов оставалось неизменным. Вследствие этого влияние флуктуаций амплитуды колебания на фазу генератора, управляемого напряжением (ГУН), уменьшается.

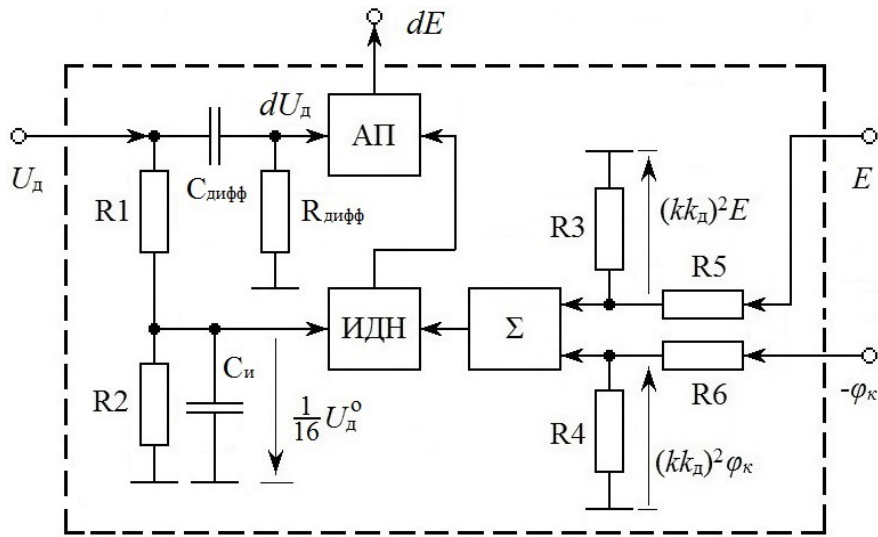
В работе [1] для варикапов с резким типом p - n перехода получена следующая функция, которую должна реализовать цепь ООСШ:

$$dE = \frac{U_d^0/16}{(kk_d)^2 (E + \varphi_k)} dU_d, \quad (2)$$

где φ_k — контактная разность потенциалов p - n перехода варикапа.

Для реализации соотношения (2) предлагается цепь ООСШ (рис. 2) [2]. Она включает в себя сумматор напряжений Σ ; интегральный делитель напряжения ИДН; аналоговый перемножитель АП; делители напряжения на резисторах R1 и R2, R3 и R5, R4 и R6, конденсаторы $C_{\text{дифф}}$, $C_{\text{и}}$ и резистор $R_{\text{дифф}}$.

Напряжение U_d поступает на делитель напряжения 1:16 на резисторах R1, R2 и дифференцирующую цепь $C_{\text{дифф}}R_{\text{дифф}}$, с выхода которой флуктуации напряжения dU_d подаются на первый вход аналогового перемножителя АП, выполненного по известной схеме [3]. На выходе делителя напряжения установлен конденсатор $C_{\text{и}}$, образующий с R2 интегрирующую цепочку, формирующую напряжение $U_d^0/16$, которое подается на первый вход интегрального делителя напряжения ИДН, выполненного по известной схеме [3].


 Рис. 2. Блок-схема ЦООСШ для варикапов с резким $p-n$ переходом

На второй вход ИДН подается напряжение $(kk_d)^2 \times (E + \varphi_k)$, полученное в сумматоре напряжений Σ , выполненном по известной схеме [3].

На входы сумматора Σ подаются ослабленные в $(kk_d)^2$ раз на резистивных делителях R3, R5 и R4, R6 соответственно напряжения E и $-\varphi_k$. Величина напряжения φ_k для кремниевых варикапов составляет $0,6 \div 0,8\text{В}$ [4]. С выхода ИДН напряжение величиной $[U_d^0/16]/[(kk_d)^2 \times (E + \varphi_k)]$ подается на второй вход АП, где перемножается с напряжением dU_d . С выхода АП напряжение (2) подается на вход E2 второй цепи управления варикапами рисунка 1 в такой полярности, чтобы при увеличении амплитуды сигнала ($dU > 0$) сумма напряжений внешнего смещения и компенсации росла, а при уменьшении ($dU < 0$) – падала.

Таким образом, предложена схема цепи обратной связи, которая позволяет понизить уровень фазовых шумов ГУН и кратковременную нестабильность частоты колебаний ГУН, а также повысить стабильность фазы и частоты колебаний ГУН.

Список литературы

1. Савченко М. П., Старовойтова О. В. Способ снижения фазовых шумов в автогенераторе с варикапами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2016. № 1. С. 71–75.
2. Савченко М. П., Старовойтова О. В. Управляемый напряжением генератор с малым уровнем фазовых шумов : заявка на изобретение РФ, № 2015143971 от 13.10.2015. Заявитель БФУ им. И. Канта.
3. Якубовский С. В., Барканов Н. А., Кудряшов Б. П. и др. Аналоговые и цифровые интегральные схемы / под ред. С. В. Якубовского. М., 1979.
4. Савченко М. П., Карпинская Т. А. Эквивалентная схема и параметры УКВ варикапов // Радиотехника. 1985. № 11.



Об авторах

Михаил Петрович Савченко – канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: savchenkomp@mail.ru

Ольга Владимировна Старовойтова – ст. преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: ostar39@mail.ru

About the authors

Mikhail Savchenko – PhD, Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: savchenkomp@mail.ru

Olga Starovoitova – lecturer, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: ostar39@mail.ru