

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С НУЛЕВОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ОШИБКОЙ

В.Е. Финаев

Гомельский политехнический институт им. П.О. Сухого, Беларусь

На практике часто необходимо устройство, формирующее периодический сигнал $u_1(t)$ с частотой f_1 из периодического сигнала $u_0(t)$ с частотой f_0 таким образом, чтобы частота f_1 находилась из соотношения: $f_1 = n f_0$, где коэффициент n имеет целочисленное значение. Такое устройство выполняет функцию умножения частоты входного сигнала на некоторый коэффициент и может называться умножителем частоты. Оно может найти применение, например, при использовании интегрального АЦП К572ПВ2 (ПВ5) на основе двойного интегрирования, в котором для подавления сетевой помехи тактовая частота должна быть кратна частоте сети, так как

$$\int_{t_0}^{t_0 + 1/f_0} U_{ПOMm} \sin(2\pi f_0 t + \varphi) dt = 0.$$

Умножитель частоты представляет собой статическую систему автоматического регулирования. Его функциональная схема представлена на рис. 1.

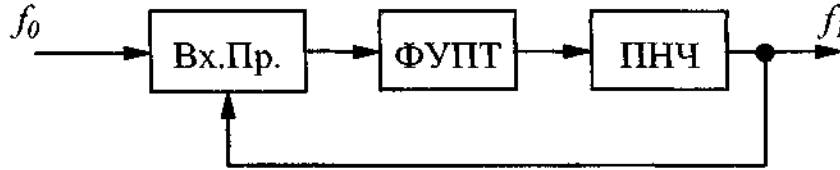


Рис. 1. Функциональная схема умножителя частоты.

Вх.Пр. - входной преобразователь; ФУПТ - фильтрующий усилитель постоянного тока; ПНЧ - преобразователь напряжение - частота.

Входной преобразователь формирует из разности частот $\Delta f = f_1 - n f_0$ двухполярный широтно-модулированный сигнал с частотой f_0 . ФУПТ усиливает постоянную составляющую выходного сигнала входного преобразователя до необходимой величины и ослабляет гармонические составляющие этого сигнала. ПНЧ преобразует выходной сигнал ФУПТ в частоту f_1 .

Принципиальная схема входного преобразователя приведена на рис.2. Полезным сигналом на выходе входного преобразователя является постоянная составляющая широтно-модулированного сигнала. Для такой схемы коэффициент передачи по постоянному току может быть найден из соотношения:

$$K_{Вх.Пр.} = -\frac{E}{n f_0}.$$

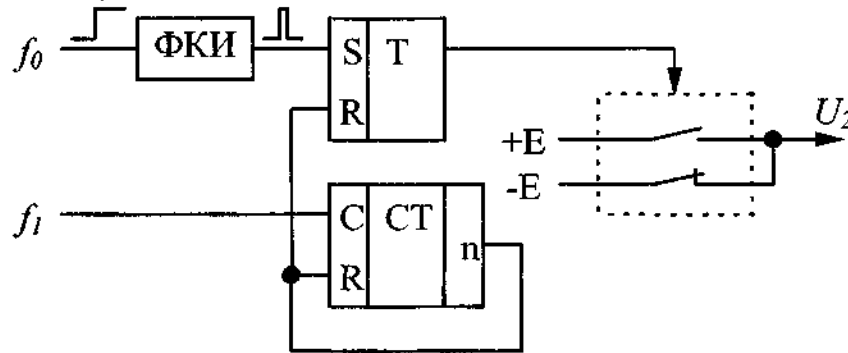


Рис.2. Принципиальная схема входного преобразователя.

ФКИ - формирователь короткого импульса

Временные диаграммы, поясняющие работу входного преобразователя, представлены на рис.3.

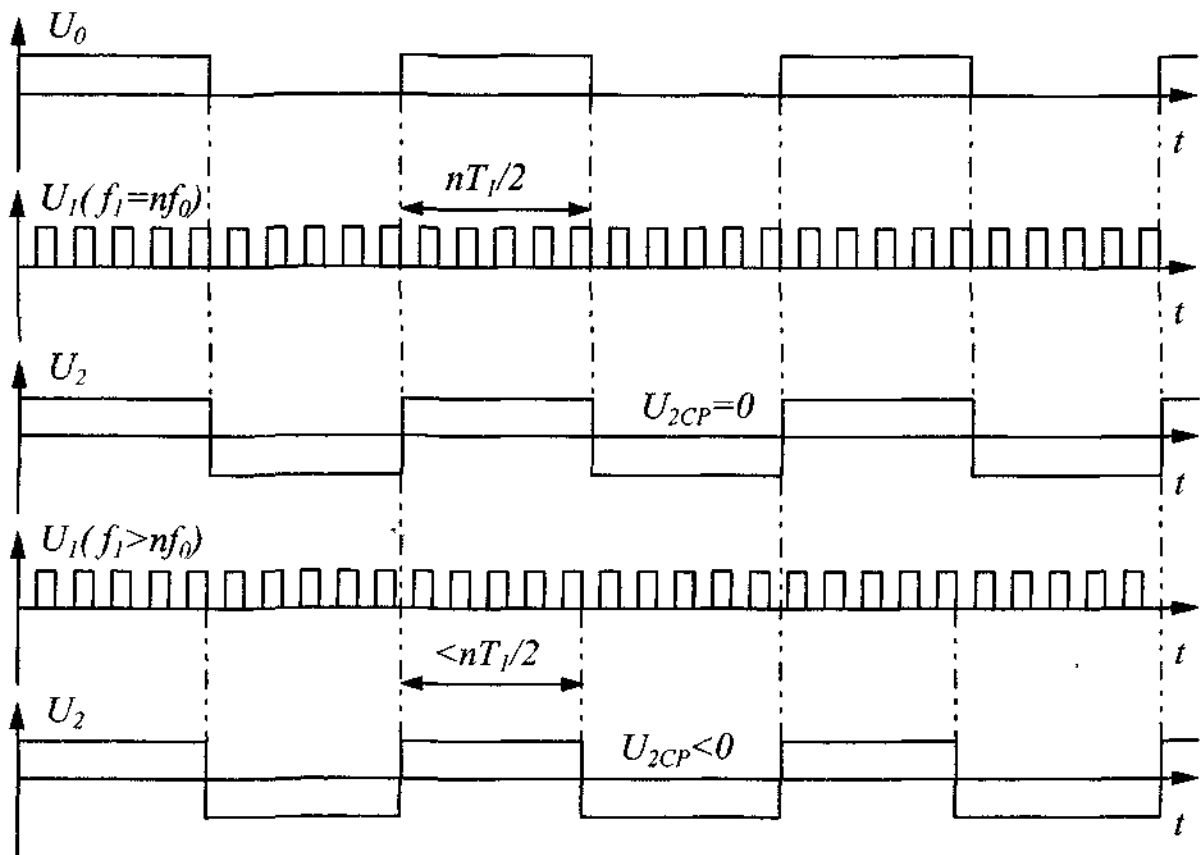


Рис 3 Временные диаграммы, поясняющие работу входного преобразователя.

Незначительное отличие выходной частоты f_1 от частоты nf_0 (частоты асинхронны) приводит к изменению среднего значения выходного напряжения входного преобразователя, что вызывает изменение выходной частоты обратного знака. Поэтому у данного устройства входная и выходная частоты синхронны.

Кроме постоянной составляющей на выходе входного преобразователя присутствует переменный сигнал, первая гармоника которого имеет частоту f_0 и амплитуду $\frac{4E}{\pi}$. Величина пульсаций на выходе ФУПТ, вносимых этой гармоникой, определяется

соотношением $\Delta U = \delta_{\Pi} U_{\Phi} = \frac{4E}{\pi} \cdot \frac{K_{\text{ФУПТ}}}{2\pi f_0 \tau_{\Phi}}$, где δ_{Π} - коэффициент пульсаций на

выходе ФУПТ, U_{Φ} - среднее значение напряжения на выходе ФУПТ, $K_{\text{ФУПТ}}$ - коэффициент передачи ФУПТ по постоянному току, а τ_{Φ} - постоянная времени ФУПТ.

Так как входной умножаемый сигнал обычно низкочастотный, то для получения достаточно малых пульсаций на входе ПНЧ, ФУПТ должен иметь большую постоянную времени. Быстродействие статической системы первого порядка может быть найдено по формуле:

$$t_P \approx \frac{5 \cdot \tau_{\Phi}}{K_P}, \quad (1)$$

где $K_P = K_{\text{Вх.Пр}} K_{\text{ФУПТ}} K_{U \rightarrow F}$ - коэффициент передачи разомкнутой системы ($K_{U \rightarrow F}$ - коэффициент передачи ПНЧ). Подставляя значения $K_{\text{Вх.Пр}}$, $K_{\text{ФУПТ}}$, $K_{U \rightarrow F} = nf_0 / U_0$ в выражение (1), его можно преобразовать к виду:

$$t_P \approx \frac{10}{\pi^2 f_0 \delta_{\Pi}}. \quad (2)$$

Согласно (2), при входной частоте $f_0 = 50 \text{ Гц}$ и пульсациях выходного напряжения ФУПТ $\delta_I = 1 \%$ время обработки составляет $t_P \approx 2 \text{ с}$.

Повысить быстродействие можно путем введения быстрого дополнительного канала, не охваченного отрицательной обратной связью и преобразующего входную частоту в напряжение. Кроме повышения быстродействия, выполнение условия $K_{F \rightarrow U} K_{U \rightarrow F} = n$ ($K_{F \rightarrow U}$ - коэффициент передачи дополнительного канала) позволяет перевести систему в режим работы с нулевой статической ошибкой. При этом функциональная схема умножителя частоты будет иметь вид, представленный на рис.4.

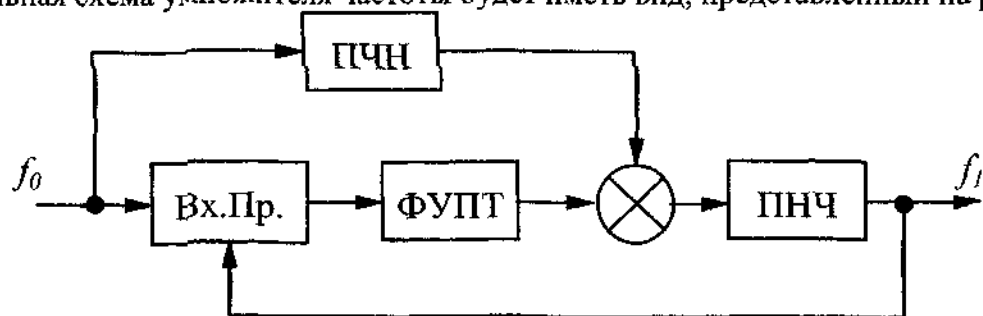


Рис 4 Функциональная схема инвариантного умножителя частоты с нулевой статической ошибкой ЧН - преобразователь частота - напряжение (частотомер)

В данном умножителе частоты изменение входной частоты быстро преобразуется в напряжение при помощи дополнительного канала и подается непосредственно на вход ПНЧ. Выходная частота ПНЧ точно подстраивается до значения nf_0 при помощи петли отрицательной обратной связи.