

Расчетные и экспериментальные значения коэффициента фильтрации

| Полярность | $f_n = 50$ гц |                   | $f_n = 100$ гц |                   |
|------------|---------------|-------------------|----------------|-------------------|
|            | Расчетные     | Экспериментальные | Расчетные      | Экспериментальные |
| —          | 38            | 40                | 59             | 68                |
| +          | 20,4          | 22                | 35,8           | 26                |

Из сравнения экспериментальных и расчетных величин следует, что задача повышения КФ при положительной полярности на базе имеет первостепенное значение. С применением германиевых *pnp*-транзисторов можно выбирать СТ с дополнительной симметрией, обеспечивающей одинаковые КФ при разных полярностях. Увеличение КФ при положительной полярности возможно при увеличении  $\tau = R_6 C_6$  базового фильтра, когда ТФ предназначен сглаживать сравнительно низкие частоты пульсации, но это заметно ухудшает динамические свойства фильтра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ныва А., Вильборн П., Реверсивный транзисторный фильтр. Авт. свид. СССР № 187174.
2. Мачинский В. К., Штильман В. И., В сб.: Тр. секции полупроводниковых приборов НТОРиЭ им. А. С. Попова. Вып. I, Киев, 1958.

Институт термofизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
29/X 1970

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 20 KÕIDE  
FÜSIKA \* МАТЕМАТИКА. 1971, NR. 1

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 20  
ФИЗИКА \* МАТЕМАТИКА. 1971, № 1

<https://doi.org/10.3176/phys.math.1971.1.16>

УДК 621.316.722.1

А. НЫВА

### ТРАНЗИСТОРНЫЙ ФИЛЬТР В РЕЖИМЕ БОЛЬШОГО СИГНАЛА

A. NOVA. TRANSISTORFILTRI TÕO SUURE SIGNAALI PUHUL

A. NOVA. THE TRANSISTOR FILTER IN THE LARGE SIGNAL CONDITIONS

В данной статье анализируется схема транзисторного фильтра (ТФ) с нагрузкой в цепи эмиттера в режиме большого сигнала, т. е. при изменении в широких пределах тока нагрузки  $I_n$  и рабочей точки фильтра. В схеме ТФ инерционным звеном является базовая цепь  $R_6 C_6$ ; составной транзистор в близком к нулю интервале частот изменения входного напряжения можно рассматривать как безынерционное звено. Базовым звеном ТФ могут быть и другие типы реактивных четырехполюсников, обеспечивающих частоту среза и величину  $R_6$ , но учитывая, что

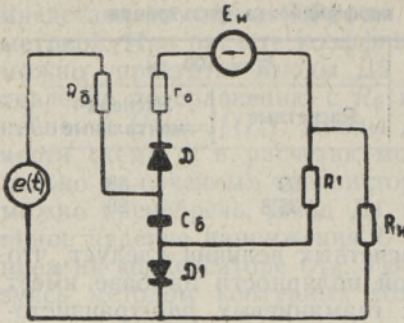


Рис. 1. Схема транзисторного фильтра для большого сигнала.

большинство схем ТФ работает с элементарной  $R_0C_0$  цепочкой, будем рассматривать именно этот тип схем. На рис. 1 показана упрощенная схема ТФ [1] для большого сигнала. Входная цепь транзистора база-эмиттер (бэ) замещается идеальным диодом с входным сопротивлением  $r_0$  и источником напряжения  $E_H$ . При этом входное динамическое сопротивление транзистора  $r_0 = \Delta i_b / U_{бэ} = h_{11\beta}$ , а  $E_H$  — начальное смещение входной характеристики транзистора. На рис. 1 не изображена выходная цепь транзистора, которую можно не учитывать, если полагать  $r_K \rightarrow \infty$ . Поскольку  $E_H$  по сравнению с выходным напряжением мало, то без значительной ошибки его тоже можно не учитывать. Получаем удобную расчетную схему, где  $R_0C_0$  нагружена цепочкой  $r_0$  и  $R_1$  параллельно  $R'_H$  ( $R'_H = \beta R_H$  — приведенное к цепи базы сопротивление нагрузки ТФ). Упрощая последовательно-параллельное включение, получаем

$$R_2 = \frac{r_0(R_0 + R_H\beta) + R_0R_H\beta}{R_0 + R_H\beta} \quad (1)$$

Полученная схема представляет собой фильтр  $R_0C_0$  с нагрузкой  $R_2$ .

Для исследования работы ТФ в динамическом режиме необходимо найти напряжение между коллектором и базой (кб)  $U_{кб}(t) = i(t)R_0$ . Полагая, что  $R_0$ ,  $C_0$  и  $R_2$  — линейные элементы, решаем задачу операторным методом.

Из упрощенной схемы для операторной зависимости  $U_{кб}(p) = i(p)R_0$  имеем

$$U_{кб}(p) = E(p) \frac{p + \frac{1}{R_2C_0}}{p + a} U_{C_0} \frac{p}{p + a}, \quad (2)$$

где  $a = \frac{R_0 + R_2}{R_0R_2C_0}$  и  $U_{C_0}$  — напряжение на конденсаторе  $C_0$ .

В случае работы схемы со следующими входными напряжениями  $e(t)$ :

- 1) линейно меняющееся напряжение  $e(t) = Ut$ , где  $U$  — скорость изменения входного напряжения (в/сек);
- 2) линейно затухающее напряжение  $e(t) = U_M - Ut$ ;
- 3) синусоидально меняющееся напряжение  $e(t) = U_M \sin \omega t$ , имеем

$$\left\{ \frac{U}{R_2C_0} \left( \frac{t}{a} - \frac{1}{a^2} + \frac{e^{-at}}{a^2} \right) + \frac{U}{a} (1 - e^{-at}) \right. \text{ при } e(t) = Ut; \quad (3)$$

$$\left. \left( U_M + \frac{U_MR_0}{R_0 + R_2} + \frac{UR_2}{a(R_0 + R_2)} - U_{C_0} \right) e^{-at} - \frac{UR_0}{R_0 + R_2} t - \right. \quad (4)$$

$$U_{кб}(t) = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{UR_2}{a(R_0 + R_2)} - \frac{U_MR_0}{R_0 + R_2} \quad \text{при } e(t) = U_M - Ut; \end{array} \right.$$

$$\left. \frac{U_M}{R_2C_0(\omega^2 + a^2)} \left[ (\omega^2R_2C_0 - a) \sin \omega t + \frac{\omega R_2}{R_0} \cos \omega t - \right. \right. \quad (5)$$

$$\left. -\frac{\omega R_2}{R_0} e^{-at} \right] \quad \text{при } e(t) = U_M \sin \omega t.$$

В схеме с реальными нелинейными элементами  $R_6$ ,  $C_6$  и  $R_2$  задача усложняется. Нелинейность  $R_6$  необходима для обеспечения режима по постоянному напряжению составного транзистора (СТ) [2]. Целесообразно  $C_6$  выбирать нелинейным по напряжению для улучшения динамических свойств  $R_6C_6$ -звена. При работе СТ в динамическом режиме  $R_2$  получается нелинейным из-за нелинейности  $r_0$  и  $\beta$ . Определение параметров схемы методами, известными из общей электротехники, при нелинейных элементах схемы представляет значительные трудности и не является всегда приемлемым. Учитывая, что частота изменения входного напряжения мала и нас не интересует спектральный состав  $U_{к6}(t)$ , будем в дальнейшем рассчитывать  $U_{к6}(t)$  при помощи линейных уравнений в интервале аппроксимации. Выбираем малые аппроксимируемые отрезки  $\Delta t \leq T$ , где  $T$  — период синусоидального входного напряжения или длительность линейно меняющегося режима.

По формулам (3)—(5) нами были рассчитаны зависимости  $U_{к6}(t)$  при следующих параметрах схемы ТФ:

$$\begin{aligned}
 U &= 20 \text{ в/сек}, \\
 R_1 &= (41,88431 \cdot I_H^{-0,548606} - 0,113062) 1000, \\
 R_2 &= \frac{0,015 \cdot h_{21}(2,5 \cdot h_{21} - 8 \cdot 10^4) + 2 \cdot 10^5 \cdot h_{21}}{2,5 \cdot h_{21} - 8 \cdot 10^4}, \\
 h_{21} &= (4325,08 + 405,709 \cdot I_H - 1,42383 \cdot I_H^2)^2, \\
 h_{11} &= 0,015, \quad C_6 = 0,00004 \text{ ф}, \\
 R_c &= 80 \text{ ком}, \quad R_H = 2,5 \text{ ом}, \\
 U_M &= 240 \text{ в}, \quad U_{C_6} = 225 \text{ в}.
 \end{aligned}$$

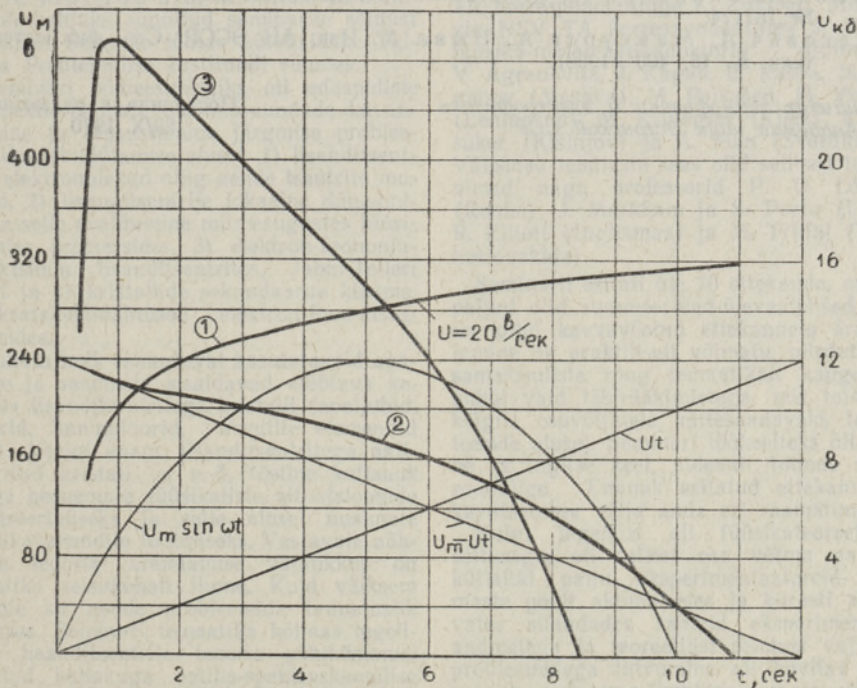


Рис. 2. Функция  $U_{к6}(t)$  в зависимости от  $e(t)$ .

1 — при  $e(t) = Ut$ ; 2 — при  $e(t) = U_M - Ut$  и 3 — при  $e(t) = U_M \sin \omega t$ , где

$$\omega = 2\pi \frac{1}{10}.$$

Все величины даны для отрицательной полярности на базе СТ. На рис. 2 приведены зависимости  $U_{\text{кб}}(t)$  при разных  $e(t)$  на входе фильтра, откуда следует, что при  $e(t) = Ut$   $U_{\text{кб}}(t)$  всегда больше, чем необходимо для обеспечения работы ТФ, а при  $e(t) = U_m - Ut$  ТФ работает до тех пор, пока  $U_{\text{кб}}(t) \geq U_{\text{кб мин}}$ . При гармоническом напряжении на входе  $e(t) = U_m \sin \omega t$   $U_{\text{кб}}(t)$  представлена для  $\omega = 2\pi \frac{1}{10}$ .

С увеличением  $\omega$   $U_{\text{кб}}$  увеличивается и ухудшаются условия работы ТФ, при уменьшении  $\omega$  — наоборот. Как следует из формулы (5), при  $\omega > 0$  всегда имеется область, где  $U_{\text{кб}}(t) < U_{\text{кб мин}}$ , и на нагрузку попадает переменная составляющая напряжения, сглаженная только реактивным предварительным фильтром.

При экспериментальной проверке полученных для расчета  $U_{\text{кб}}(t)$  формул был снят суммарный спектр переменной составляющей на выходе фильтра с  $I_{\text{н}} = 90$  а через измерительный фильтр, предназначенный для элиминирования инфранизкочастотной гармоник  $U_m \sin \omega t$ . Анализируя полученную осциллограмму, можно определить время  $t$ , в течение которого  $U_{\text{кб}} > U_{\text{кб мин}}$  и ТФ работает в режиме по постоянному напряжению. При  $\omega = 2\pi \frac{1}{60}$  и  $I_{\text{н}} = 90$  а  $t = 4,22$  сек. Величина  $U_{\text{кб}} = 7,4$  в, рассчитанная по формуле (5) при  $t = 4,22$  сек, совпадает с экспериментально полученным значением  $U_{\text{кб мин}}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ныва А., Вильбори П., Реверсивный транзисторный фильтр. Авт. свид. СССР № 187174.
2. Сакович А., Мамсуров А., Ныва А., Изв. АН ЭССР, Сер. физ.-матем. и техн. н., 15, 400 (1966).

Институт термofизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
29/X 1970