

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЕ–ЧАСТОТА

П. П. ИЗOTOV

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

В [1, с. 121] описана схема преобразователя напряжение–частота (ПНЧ), принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Также в [1] представлен упрощенный расчет ПНЧ.

Проведенное исследование ПНЧ выявило, что необходимо уточнение данного расчета.

Так как было замечено, что при увеличении отношения $\frac{t_{и}}{t_{п}}$, где $t_{и}$ – ширина импульса, а $t_{п}$ – ширина паузы выходного сигнала $U_{\text{вых}}(t)$ (рис. 2), от 0 до 1 соответственно растет погрешность расчета от 0 до 100 %. Также было замечено, что выбор резистора $R3$ (рис. 1) по методике, приведенной в [1], может приводить к существенной погрешности расчета.

Первая погрешность расчета обусловлена тем, что при разработке упрощенного расчета ПНЧ в [1] не учитывалась величина $t_{и}$, т. е. принималось $t_{и} \rightarrow 0$. Вторая погрешность расчета обусловлена тем, что условие $R > R3$ при $\frac{t_{и}}{t_{п}} \neq 0$ является неприемлемым при выборе резистора $R3$.

Постановка задачи

Определить зависимость f частоты выходного сигнала $U_{\text{вых}}(t)$ от $U_{\text{вх}}$ величины входного сигнала ПНЧ с учетом величины ширины импульса $t_{и}$ в установившемся режиме работы ПНЧ. Разработать уточненную методику расчета ПНЧ и уточненное условие выбора резистора $R3$.

Основная часть

Период частоты f (рис. 2) определяется как [1]: $T = t_{и} + t_{п}$.

Частота выходного сигнала ПНЧ обратно пропорциональна периоду T [1]:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{и} + t_{п}} = \frac{1}{t_{п}} \frac{1}{1 + \frac{t_{и}}{t_{п}}}. \quad (1)$$

В [1] принимается $\frac{t_{и}}{t_{п}} \rightarrow 0$. В этом случае частота выходного сигнала ПНЧ обратно пропорциональна $t_{п}$ продолжительности паузы [1]:

$$f \approx f^* = \frac{1}{t_{п}}.$$

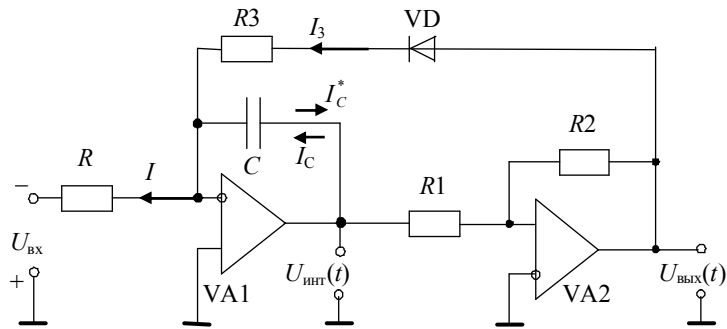


Рис. 1. Преобразователь напряжение–частота (ПНЧ) [1]

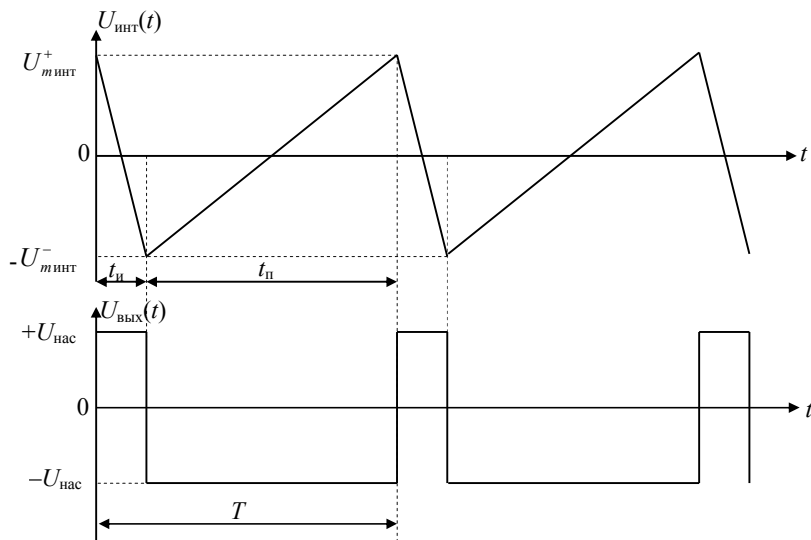


Рис. 2. Временные диаграммы выходного сигнала интегратора $U_{\text{инт}}(t)$ и выходного сигнала ПНЧ $U_{\text{вых}}(t)$ в установившемся режиме работы ПНЧ

Величину погрешности расчета ПНЧ, проведенного по методике [1], можно определить как

$$\delta = \frac{f^* - f}{f} 100\% = \frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{п}}} 100\% .$$

Как видно из формулы, величина погрешности δ зависит прямо пропорционально от отношения $\frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{п}}}$. Чтобы избавиться от δ , необходимо вначале определить зависимость $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{и}}$ от величины входного напряжения $U_{\text{вх}}$, а затем, используя полученные выражения $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{и}}$, определить f .

1. Зависимость ширины паузы $t_{\text{п}}$ от величины $U_{\text{вх}}$

Ширина паузы $t_{\text{п}}$ формируется интегратором VA1 из отрицательного постоянного входного напряжения $U_{\text{вх}}$. Выходной сигнал интегратора $U_{\text{инт}}(t)$, с учетом I_C тока заряда конденсатора C (см. рис. 1), можно представить следующим образом:

$$U_{\text{инт}}(t) = \frac{1}{C} \int I_C dt .$$

Формирование $t_{\text{п}}$ рассматривается на участке от $t = t_{\text{и}}$ до $t = t_{\text{и}} + t_{\text{п}}$ (рис. 2). На этом участке величина выходного сигнала интегратора изменяется от $U_{\text{инт}}(t_{\text{и}}) = -U_{\text{минт}}^-$ до $U_{\text{инт}}(t_{\text{и}} + t_{\text{п}}) = U_{\text{минт}}^+$ (рис. 2). Поэтому можно перейти к определенному интегралу:

$$U_{\text{инт}}(t_{\text{и}} + t_{\text{п}}) - U_{\text{инт}}(t_{\text{и}}) = U_{\text{минт}}^+ + U_{\text{минт}}^- = \frac{1}{C} \int_{t_{\text{и}}}^{t_{\text{и}}+t_{\text{п}}} I_C dt.$$

Принимая во внимание, что I_C – ток постоянный, так как формируется $U_{\text{вх}}$ источником постоянного напряжения, можно получить зависимость выходного сигнала интегратора $U_{\text{инт}}(t)$ при изменении его величины от $U_{\text{минт}}^-$ до $U_{\text{минт}}^+$ за время $t_{\text{п}}$:

$$U_{\text{минт}}^+ + U_{\text{минт}}^- = \frac{1}{C} \int_{t_{\text{и}}}^{t_{\text{и}}+t_{\text{п}}} I_C dt = \frac{I_C}{C} t \Big|_{t_{\text{и}}}^{t_{\text{и}}+t_{\text{п}}} = \frac{I_C}{C} (t_{\text{и}} + t_{\text{п}} - t_{\text{и}}) = \frac{I_C}{C} t_{\text{п}}.$$

Если $U_{\text{минт}}^+$ и $U_{\text{минт}}^-$ принять равными по модулю, то $|U_{\text{минт}}^+| = |U_{\text{минт}}^-| = U_{\text{минт}}$. Тогда получается зависимость амплитуды $U_{\text{минт}}$ выходного сигнала интегратора $U_{\text{инт}}(t)$ от величины ширины паузы $t_{\text{п}}$:

$$2U_{\text{минт}} = \frac{I_C}{C} t_{\text{п}}.$$

Если интегратор выполнен на идеальном операционном усилителе, то при формировании паузы $t_{\text{п}}$ ток заряда конденсатора I_C равен току I входного источника напряжения $U_{\text{вх}}$:

$$I_C = I.$$

Ток I равен:

$$I = \frac{U_{\text{вх}}}{R}. \quad (2)$$

Зависимость продолжительности паузы $t_{\text{п}}$ от входного напряжения $U_{\text{вх}}$ принимает вид [1]:

$$t_{\text{п}} = 2R \cdot C \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{вх}}}. \quad (3)$$

2. Зависимость ширины импульса $t_{\text{и}}$ от величин $U_{\text{вх}}$ и амплитуды $U_{\text{вых}}$

Ширина импульса $t_{\text{и}}$ формируется интегратором VA1 из $+U_{\text{нас}}$ постоянного положительного значения амплитуды выходного сигнала через VD и R3 цепь перезаряда конденсатора C (рис. 1). В этом случае $U_{\text{инт}}(t)$ выходной сигнал интегратора зависит от величины I_C^* тока перезаряда конденсатора C . Принимая во внимание, что I_C^* направлен противоположно I_C току заряда, так как формируется источником положительного напряжения, то $U_{\text{инт}}(t)$ имеет вид:

$$U_{\text{инт}}(t) = \frac{1}{C} \int (-I_C^*) dt.$$

Формирование $t_{\text{и}}$ рассматривается на участке от $t = 0$ до $t = t_{\text{и}}$ (рис. 2). На этом участке величина выходного сигнала интегратора изменяется от $U_{\text{инт}}(0) = U_{\text{минт}}^+$ до $U_{\text{инт}}(t_{\text{и}}) = -U_{\text{минт}}^-$. Поэтому можно перейти к определенному интегралу:

$$U_{\text{инт}}(t_{\text{и}}) - U_{\text{инт}}(0) = -U_{\text{минт}}^+ - U_{\text{минт}}^- = \frac{-1}{C} \int_0^{t_{\text{и}}} I_C^* dt.$$

Принимая во внимание, что I_C^* ток перезаряда формируется при $+U_{\text{нас}}$ постоянном положительном значении амплитуды выходного сигнала, можно получить зависимость выходного сигнала интегратора $U_{\text{инт}}(t)$ при изменении его величины от $U_{m\text{инт}}^+$ до $U_{m\text{инт}}^-$ за время $t_{\text{и}}$:

$$U_{m\text{инт}}^+ + U_{m\text{инт}}^- = \frac{I_C^*}{C} t_{\text{и}}.$$

Если $U_{m\text{инт}}^+$ и $U_{m\text{инт}}^-$ принять равными по модулю, то $|U_{m\text{инт}}^+| = |U_{m\text{инт}}^-| = U_{m\text{инт}}$. Тогда получается зависимость амплитуды $U_{m\text{инт}}$ выходного сигнала интегратора $U_{\text{инт}}(t)$ от величины ширины импульса $t_{\text{и}}$:

$$2U_{m\text{инт}} = \frac{I_C^*}{C} t_{\text{и}}.$$

На величину тока I_C^* влияет не только ток I_3 цепи перезаряда, но и ток I источника входного напряжения $U_{\text{вх}}$ (см. рис. 1). С учетом первого закона Кирхгофа можно выразить зависимость тока I_C^* от токов I_3 и I :

$$I_C^* = I_3 - I. \quad (4)$$

Величина тока I_3 равна нулю при отрицательном значении амплитуды $-U_{\text{нас}}$ выходного сигнала $U_{\text{вых}}$, так как все напряжение падает на обратно включенном диоде VD. При положительном значении амплитуды $+U_{\text{нас}}$ на величину тока I_3 влияют величины резистора $R3$ и напряжение U_{VD} на прямо включенном диоде VD:

$$I_3 = \frac{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}{R3}. \quad (5)$$

С учетом выражений (2) и (5) ток перезаряда принимает вид:

$$I_C^* = \frac{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}{R3} - \frac{U_{\text{вх}}}{R}.$$

Зависимость ширины импульса $t_{\text{и}}$ от входного напряжения $U_{\text{вх}}$ принимает вид:

$$t_{\text{и}} = \frac{2 \cdot C \cdot U_{m\text{инт}}}{I_C^*} = \frac{2 \cdot C \cdot U_{m\text{инт}}}{\frac{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}{R3} - \frac{U_{\text{вх}}}{R}}. \quad (6)$$

3. Зависимость частоты выходного сигнала f от $U_{\text{вх}}$ с учетом $t_{\text{и}}$

Период частоты выходного сигнала ПНЧ (рис. 2) с учетом выражений $t_{\text{и}}$ (6) и $t_{\text{п}}$ (3) принимает вид:

$$T = t_{\text{и}} + t_{\text{п}} = \frac{2 \cdot C \cdot U_{m\text{инт}}}{\frac{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}{R3} - \frac{U_{\text{вх}}}{R}} + 2 \cdot R \cdot C \frac{U_{m\text{инт}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Выражение периода T можно представить следующим образом:

$$T = \frac{2 \cdot RC \cdot U_{m\text{инт}}}{U_{\text{вх}}} \cdot \frac{(U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}) \cdot R}{(U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}) \cdot R - U_{\text{вх}} \cdot R3}.$$

В этом случае зависимость f частоты выходного сигнала от величины $U_{\text{вх}}$ с учетом ширины импульса $t_{\text{и}}$ можно записать как

$$f = \frac{1}{T} = \frac{U_{\text{вх}}}{2 \cdot RC \cdot U_{\text{минт}}} \left[1 - \frac{U_{\text{вх}} \cdot R3}{(U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}})R} \right] = \frac{U_{\text{вх}}}{2 \cdot RC \cdot U_{\text{минт}}} \left[1 - \frac{I}{I_3} \right] \quad (7a)$$

или

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot RC \cdot U_{\text{минт}}} \left[U_{\text{вх}} - U_{\text{вх}}^2 \frac{R3}{(U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}})R} \right]. \quad (7б)$$

Из выражения (7б) видно, что зависимость частоты выходного сигнала f от входного напряжения $U_{\text{вх}}$ является нелинейной.

3.1. Зависимость частоты выходного сигнала f от $U_{\text{вх}}$ без учета $t_{\text{и}}$

В [1] частота выходного сигнала ПНЧ обратно пропорциональна ширине паузы $t_{\text{п}}$:

$$f \approx f^* = \frac{1}{t_{\text{п}}}. \quad (8)$$

С учетом выражения (3) зависимость f^* частоты выходного сигнала от входного напряжения $U_{\text{вх}}$ [1]:

$$f^* = \frac{U_{\text{вх}}}{2 \cdot RC \cdot U_{\text{минт}}}. \quad (9)$$

Как видно из выражения (9), зависимость f^* частоты выходного сигнала от входного напряжения $U_{\text{вх}}$ без учета ширины импульса $t_{\text{и}}$ имеет линейную зависимость.

3.2. Сравнение выражений f и f^*

Если сравнить выражения (7) и (9), то можно увидеть, что выражение (7а) при $\frac{I}{I_3} \rightarrow 0$ принимает вид выражения (9). Увеличение тока I_3 при неизменной емкости конденсатора C ведет к уменьшению ширины импульса $t_{\text{и}}$, т. е. к выполнению условия $\frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{п}}} \rightarrow 0$, при котором было получено выражение (9). Отсюда можно сделать вывод, что выражение (9) является частным случаем выражения (7). Поэтому для повышения точности целесообразно вести расчет ПНЧ с учетом выражения (7).

4. Уточнение методики расчета ПНЧ

При расчете ПНЧ необходимо определить параметры элементов: R ; C ; $R1$; $R2$; $R3$ (рис. 1) при заданных значениях величины входного напряжения $U_{\text{вх}}$ и частоты выходного сигнала f . Значение сопротивления R можно выразить из выражения (7б). Для этого вначале выражение (7б) представляется в виде квадратного уравнения:

$$R^2 \cdot 2 \cdot C \cdot U_{\text{минт}} (U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}) f - R \cdot U_{\text{вх}} (U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}) + U_{\text{вх}}^2 \cdot R3 = 0,$$

а затем определяются корни этого уравнения:

$$R = \frac{U_{\text{вх}} \pm U_{\text{вх}} \sqrt{1 - 8 \cdot f \cdot C \cdot R3 \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}}}{4 \cdot f \cdot C \cdot U_{\text{минт}}}. \quad (10)$$

Из выражения (10) видно, что реальные значения сопротивления резистора R существуют при выполнении условия:

$$8 \cdot f \cdot C \cdot R3 \frac{U_{m\text{инт}}}{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}} \leq 1. \quad (11)$$

Поэтому значения емкости конденсатора C , сопротивления резистора $R3$ и величины амплитуды $U_{m\text{инт}}$ сигнала интегратора должны выбираться с учетом неравенства (11).

Значения сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$ определяются из выражения [1]:

$$\frac{U_{m\text{инт}}}{U_{\text{нас}}} = \frac{R1}{R2}.$$

4.1. Влияния выбора значения резистора R на работу ПНЧ

Из выражения (10) можно увидеть, что значений сопротивления резистора R существует два: R_+ и R_- . R_+ – значение сопротивления R когда в выражении (10) производится операция сложения, а R_- – когда производится операция вычитания.

Анализируя выражение (10) и неравенство (11), можно заметить, что если левая часть неравенства (11) меньше единицы, то $R_+ > R_-$. С учетом выражения (3) можно показать, что при R_+ ширина паузы $t_{\text{п}}$ выходного сигнала больше, чем при R_- . Принимая во внимание, что частота и период выходного сигнала при R_+ и R_- одни и те же, то можно сделать вывод, что при $R = R_+$ ширина паузы $t_{\text{п}}$ будет больше ширины импульса $t_{\text{и}}$ выходного сигнала (рис. 3, а), а при $R = R_-$ ширина паузы $t_{\text{п}}$ будет меньше ширины импульса $t_{\text{и}}$ выходного сигнала (рис. 3, б).

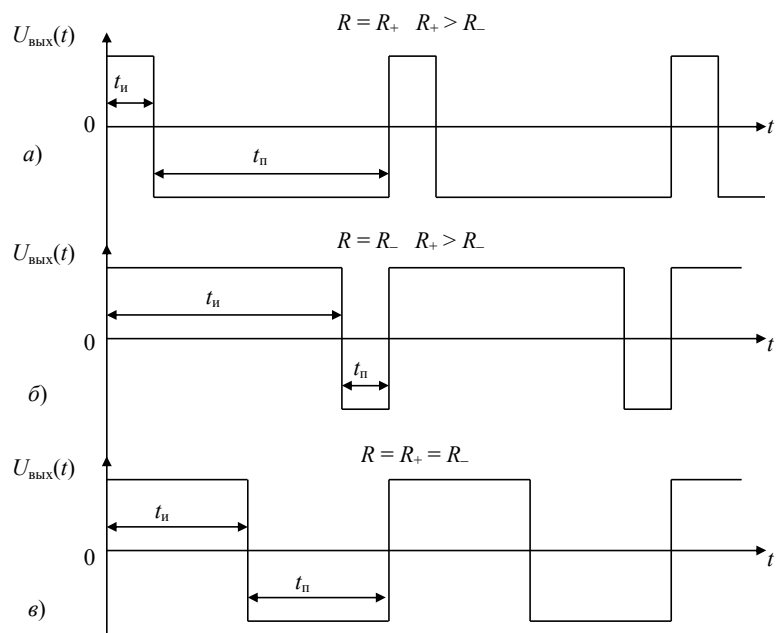


Рис. 3. Временные диаграммы выходного сигнала ПНЧ при различных значениях резистора R : а – при $R = R_+$; б – при $R = R_-$; в – при $R = R_+ = R_-$

Если левую часть неравенства (11) приближать к нулю, то при $R = R_+$ ширина импульса $t_{\text{и}}$ выходного сигнала будет также приближаться к нулю, а при $R = R_-$ ширина паузы $t_{\text{п}}$ будет приближаться к нулю.

Если левая часть неравенства (11) равняется единице, то $R_+ = R_-$. В этом случае ширина паузы $t_{\text{п}}$ будет равна ширине импульса $t_{\text{и}}$ выходного сигнала (рис. 3, в).

4.2. Влияния выбора значения резистора $R3$ на работу ПНЧ

Из выражения (10) и неравенство (11) видно, что при заданных значениях: C , $U_{m\text{инт}}$, U_{VD} , f , $U_{\text{нас}}$ значение резистора $R3$ должно выбираться с учетом неравенства (11). Также видно из выражения (10), что для выбранного резистора $R3$ при заданном $U_{\text{вх}}$ существуют только два значения резистора R (R_+ и R_-).

Если же $R3$ будет выбираться из условия $R > R3$ как предлагается в [1], то из выражения (7а) видно, что при заданных значениях: C , $U_{m\text{инт}}$, U_{VD} , $U_{\text{нас}}$ и R изменение $R3$ приведет к изменению частоты ПНЧ f . Также из выражения (7а) видно, что изменение $R3$ не влияет на f при $\frac{I}{I_3} \rightarrow 0$, т. е. когда $\frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{п}}} \rightarrow 0$.

4.3. Предельное значение резистора $R3$

Если посмотреть на неравенство (11), то можно увидеть, что при заданных значениях: C , $U_{m\text{инт}}$, U_{VD} , f , $U_{\text{нас}}$ существует максимальное значение резистора $R3$. Это можно объяснить тем, что с ростом $R3$ уменьшается величина тока I_3 . Уменьшение тока I_3 влечет за собой увеличение $t_{\text{и}}$ и уменьшение $t_{\text{п}}$ при $R = R_+$ (рис. 3, а) либо наоборот уменьшение $t_{\text{и}}$ и увеличение $t_{\text{п}}$ при $R = R_-$ (рис. 3, б). При максимальном $R3$ величины $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$ одинаковы (см. рис. 3, в), а величиной тока I_3 можно зарядить конденсатор C от величины $U_{m\text{инт}}^+$ до $-U_{m\text{инт}}^-$ либо, наоборот, за время, равное периоду T частоты выходного сигнала ПНЧ f . Дальнейшее уменьшение тока I_3 увеличит время заряда C до значений превышающих период T . Согласно (4) ток I_3 состоит из токов I и I_C^* , которые согласно (3) и (6) формируют $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$. Получается если выбрать $R3$ больше максимального значения, то не возможно получить заданную частоту выходного сигнала ПНЧ f либо заданную амплитуду выходного сигнала интегратора $U_{m\text{инт}}$.

4.4. Порядок расчета ПНЧ

1. Определить по справочнику или экспериментально величину напряжение насыщения $U_{\text{нас}}$ компаратора VA2.

2. Определить по справочнику или экспериментально величину падения напряжения на диоде VD U_{VD} .

3. Если амплитуда выходного сигнала интегратора $U_{m\text{инт}}$ не задана, то выбрать значение $U_{m\text{инт}}$. Значение $U_{m\text{инт}}$ должно быть больше нуля и меньше максимального выходного напряжения операционного усилителя VA1.

4. Рассчитать величину отношения: $\frac{R1}{R2} = \frac{U_{m\text{инт}}}{U_{\text{нас}}}$. Затем, задавшись значением

сопротивления резистора $R1$, определить величину сопротивления $R2$. При выборе резистора $R1$ необходимо следить, чтобы выходной ток операционного усилителя VA1 не превышал максимально допустимого значения.

5. С учетом выбранных резисторов $R1$ и $R2$ скорректировать значение:

$$U_{m\text{инт}} = \frac{R1}{R2} U_{\text{нас}}.$$

6. Выбрать значение емкости конденсатора C и рассчитать значение сопротивления резистора $R3$: $R3 \leq \frac{1}{8 \cdot f \cdot C \frac{U_{m\text{инт}}}{U_{\text{нас}} - U_{VD}}}$. После выбора резистора $R3$ проверить, что

выполняется неравенство (11). При проверке должны быть заданы: C в (Ф), $R3$ в (Ом), f в (Гц).

Рекомендуется при выборе C и $R3$ выбирать такие значения, чтобы левая часть неравенства (11) стремилась к единице.

7. По заданным значениям входного напряжения $U_{\text{вх}}$, частоте выходного сигнала f и с учетом выбранных значений C и $R3$ рассчитать значение сопротивления резистора:

$$R = \frac{U_{\text{вх}} \pm U_{\text{вх}} \sqrt{1 - 8 \cdot f \cdot C \cdot R3 \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}}}{4 \cdot f \cdot C \cdot U_{\text{минт}}}$$

При расчете должно быть заданы: R в (Ом), C в (Ф), $R3$ в (Ом), f в (Гц).

8. Проверить правильность расчета подстановкой полученных значений элементов ПНЧ в выражение (7б).

4.5. Пример расчета ПНЧ

Задано: $U_{\text{вх}} = 10$ В, $f = 800$ Гц.

Расчет:

1. Амплитуда выходного сигнала компаратора VA2 $U_{\text{нас}} = 15,7$ В.

2. Напряжение на диоде VD $U_{\text{VD}} = 0,7$ В.

3. Амплитуда выходного сигнала интегратора $U_{\text{минт}} = 5$ В.

4. $\frac{R1}{R2} = \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{нас}}} = \frac{5}{15,7}$. При $R1 = 10$ кОм получается $R2 = 31,4$ кОм.

5. Определяется $U_{\text{минт}}$ с учетом выбранных резисторов $R1$ и $R2$:

$$U_{\text{минт}} = \frac{R1}{R2} U_{\text{нас}} = \frac{10 \cdot 10^3}{31,4 \cdot 10^3} 15,7 = 5 \text{ В.}$$

6. Выбирается $C = 0,1$ мкФ. Рассчитывается сопротивление:

$$R3 \leq \frac{1}{8 \cdot f \cdot C \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}} = \frac{1}{8 \cdot 800 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \frac{5}{15,7 - 0,7}} = 4687,5 \text{ Ом.}$$

Выбирается $R3 = 3$ кОм. Проверяется неравенство (11):

$$8 \cdot f \cdot C \cdot R3 \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}} = 8 \cdot 800 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^3 \frac{5}{15,7 - 0,7} = 0,64 < 1.$$

7. Рассчитывается сопротивление:

$$R = \frac{U_{\text{вх}} \pm U_{\text{вх}} \sqrt{1 - 8 \cdot f \cdot C \cdot R3 \frac{U_{\text{минт}}}{U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}}}}}{4 \cdot f \cdot C \cdot U_{\text{минт}}} = \frac{10 \pm 10 \cdot \sqrt{1 - 0,64}}{4 \cdot 800 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 5}$$

Получается $R_+ = 10$ кОм и $R_- = 2,5$ кОм. Выбирается $R = R_+ = 10$ кОм.

8. Проверяется правильность расчета:

$$f = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вх}}^2 \frac{R3}{(U_{\text{нас}} - U_{\text{VD}})R}}{2 \cdot RC \cdot U_{\text{минт}}} = \frac{10 - 10^2 \frac{3 \cdot 10^3}{(15,7 - 0,7)10 \cdot 10^3}}{2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 5} = 800 \text{ Гц.}$$

Заключение

Если рассчитать значения элементов ПНЧ при $U_{\text{вх}} = 10$ В, $f = 800$ Гц, $U_{\text{нас}} = 15,7$ В, $U_{\text{VD}} = 0,7$ В, $U_{\text{минт}} = 5$ В, то получается $R = 10$ кОм, $C = 0,1$ мкФ, $R3 = 3$ кОм, $R1 = 10$ кОм и $R2 = 31,4$ кОм. Если по полученным значениям элементов ПНЧ рассчитать значение частоты по методике, приведенной в [1], то получается частота $f^* = 1000$ Гц. При этом погрешность расчета составляет 25 %.

Согласно (6) при полученных значениях элементов ПНЧ величина импульса $t_{и} = 0,25$ мс, а согласно (3) величина паузы $t_{п} = 1$ мс. Получается, что использование приближенной методики [1] при $\frac{t_{и}}{t_{п}} \geq 0,25$ приводит к погрешности, большей или равной 25 %.

Литература

1. Чубриков, Л. Г. Основы промышленной электроники / Л. Г. Чубриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – 255 с.

– Получено 28.02.2011 г.