

ЗАДАНИЕ на типовой расчет
по курсу “Электротехника”

**РАСЧЁТ ЧАСТОТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АРС-ЦЕПЕЙ**

1. АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПИ

1.1. Предполагая, что операционный усилитель (ОУ) идеальный, получить передаточную функцию $H(p)=H(j\omega)$ в виде:

$$H(p) = \frac{b_2 p^2 + b_1 p + b_0}{p^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)p + \omega_0^2} = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)}.$$

Рассчитать добротность Q , частоту ω_0 и коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 . Вывести соотношения для амплитудно-частотной (АЧХ) $H(\omega)$ и фазочастотной (ФЧХ) $\varphi(\omega)$ характеристик цепи.

1.2. Построить графики АЧХ и ФЧХ, выбрать частотный интервал для последующего анализа на ЭВМ в системе DESIGN LAB 8.0.

1.3. Для заданной цепи составить и нарисовать эквивалентную схему, заменив реальный ОУ его низкочастотной схемой замещения с параметрами: $r_{ВХ} = 50 \text{ кОм}$, $r_{ВЫХ} = 0,2 \text{ кОм}$, $k = 250$.

1.4. Рассчитать АЧХ и ФЧХ цепи с реальным ОУ на ЭВМ в системе DESIGN LAB 8.0. Построить полученные зависимости.

1.5. Сравнить полученные в п. 1.2 и 1.4 частотные характеристики.

2. АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПИ

2.1. Предполагая, что ОУ идеальный, вывести формулу для переходной $h(t)$ характеристики цепи:

а) с использованием уравнений состояния и их решения во временной области;

б) с применением преобразования Лапласа.

2.2. Построить на графике зависимость $h(t)$ и выбрать временной интервал для анализа цепи на ЭВМ в системе DESIGN LAB 8.0.

2.3. Провести расчёт переходной характеристики $h(t)$ исходной цепи (с реальным ОУ) на ЭВМ в системе DESIGN LAB 8.0 при заданных параметрах элементов исходной схемы. Построить полученную характеристику.

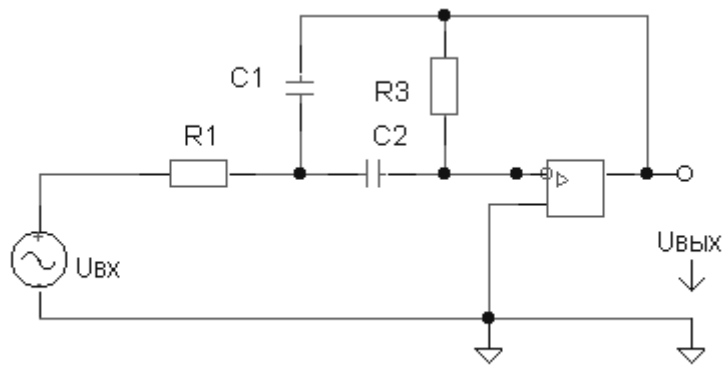
2.4. Сравнить полученные в п. 2.2 и 2.3 временные характеристики.

Варианты расчетных схем находятся у преподавателя.

Пример расчёта

3. АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПИ

Расчёт схемы для случая идеального ОУ.



$$\begin{aligned} R_1 &= 14,3 \text{ кОм}, \\ R_3 &= 76,5 \text{ кОм}, \\ C_1 &= 2 \text{ нФ}, \\ C_2 &= 1 \text{ нФ}, \\ u_{\text{вх}}(t) &= 1 \sin \omega t, \text{ В.} \end{aligned}$$

Так как операционный усилитель (ОУ) – идеальный, то его электрофизическая модель предполагает, что $R_{\text{вх ОУ}} = \infty$, $R_{\text{вых ОУ}} = 0$, $k \rightarrow \infty$ и эквивалентная схема для расчета будет выглядеть следующим образом:

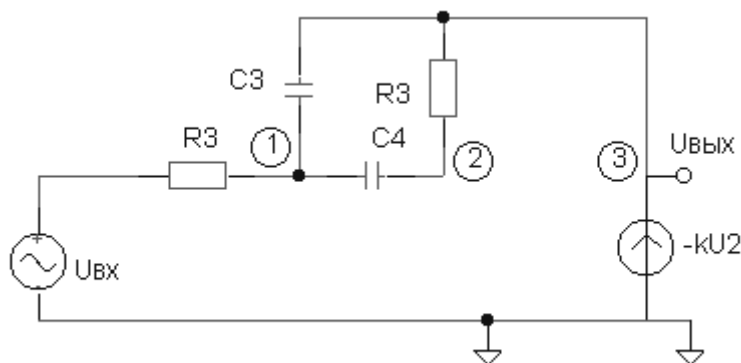


Рис.1. Расчётная схема для составления уравнений по МУП.

$$k = \infty, U_2 = \varphi_2.$$

Составим уравнения по методу узловых потенциалов (МУП) (все расчёты проводятся для параметров в комплексной форме) /1, 2/:

$$\begin{cases} (g_1 + p(C_1 + C_2))\dot{\varphi}_1 - pC_2\dot{\varphi}_2 - pC_1\dot{\varphi}_3 = \dot{U}_{BX} g_1 & (1) \\ -pC_2\dot{\varphi}_1 + (g_3 + pC_2)\dot{\varphi}_2 - g_3\dot{\varphi}_3 = 0 & (2) \\ \dot{\varphi}_2 = 0 & (3) \end{cases}$$

$$(2) \rightarrow \dot{\varphi}_1 = -\frac{g_3}{pC_2}\dot{\varphi}_3$$

$$(1) \rightarrow -\frac{(g_1 + p(C_1 + C_2))g_3}{pC_2}\dot{\varphi}_3 - pC_1\dot{\varphi}_3 = \dot{U}_{BX} g_1$$

Решаем (1) относительно потенциала $\dot{\varphi}_3$ и записываем выражение для комплексной передаточной функции:

$$\begin{aligned} H(p) &= \frac{\dot{U}_{B\bar{L}X}}{\dot{U}_{BX}} = \frac{\dot{\varphi}_3}{\dot{U}_{BX}} = -\frac{pC_2g_1}{p^2C_1C_2 + pg_3(C_1 + C_2) + g_1g_3} = \\ &= -\frac{p\frac{g_1}{C_1}}{p^2 + p\frac{g_3(C_1 + C_2)}{C_1C_2} + \frac{g_1g_3}{C_1C_2}} \end{aligned}$$

Получили передаточную функцию в каноническом виде ППФ 2-о порядка.

Найдём резонансную частоту и добротность фильтра.

$$\omega_0^2 = \frac{g_1g_3}{C_1C_2} = \frac{1}{R_1R_3C_1C_2} = \frac{1}{14,3 \cdot 76,5 \cdot 2 \cdot 10^{-12}} = 4,57 \cdot 10^8 \left(\frac{pad}{c}\right)^2$$

$$\omega_0 = \sqrt{4,57 \cdot 10^8} = 2,138 \cdot 10^4 \frac{pad}{c}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 3,404 \text{ кГц} - \text{резонансная частота.}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{g_3(C_1 + C_2)}{C_1C_2} \Rightarrow Q = \frac{\omega_0 C_1C_2}{g_3(C_1 + C_2)} = \frac{2,138 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-18} \cdot 76,5 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^{-9}} = 1,09$$

$Q = 1,09$ – добротность фильтра.

$$a_1 = \frac{\omega_0}{Q} = \frac{2,138 \cdot 10^4}{1,09} = 1,9615 \cdot 10^4 \frac{pad}{c}$$

$$b_1 = -\frac{g_1}{C_1} = -\frac{1}{14,3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = -3,496 \cdot 10^4$$

$$H(p) = \frac{-b_1p}{p^2 + \frac{\omega_0}{Q}p + \omega_0^2} = \frac{-3,496 \cdot 10^4 p}{p^2 + 1,9615 \cdot 10^4 p + 4,57 \cdot 10^8}$$

Запишем выражение для комплексной передаточной функции в явном виде в зависимости от частоты:

$$p = j\omega$$

$$H(j\omega) = \frac{-b_1 j\omega}{-\omega^2 + j\omega \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$

Получим математические выражения для АЧХ и ФЧХ фильтра в общем виде:

$$H(\omega) = \frac{b_1 \omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\frac{\omega_0}{Q} \omega)^2}} \text{ - АЧХ фильтра.}$$

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} -90^\circ - \arctg \frac{\frac{\omega_0}{Q} \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}, & \omega < \omega_0 \\ -270^\circ - \arctg \frac{\frac{\omega_0}{Q} \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}, & \omega \geq \omega_0 \end{cases} \text{ - ФЧХ фильтра.}$$

АЧХ и ФЧХ нужно записать в зависимости от f для сравнения с полученными графиками. Графики АЧХ и ФЧХ лучше всего строить в системе DESIGN LAB 8.0 /4/.

Расчётная схема для идеального ОУ:

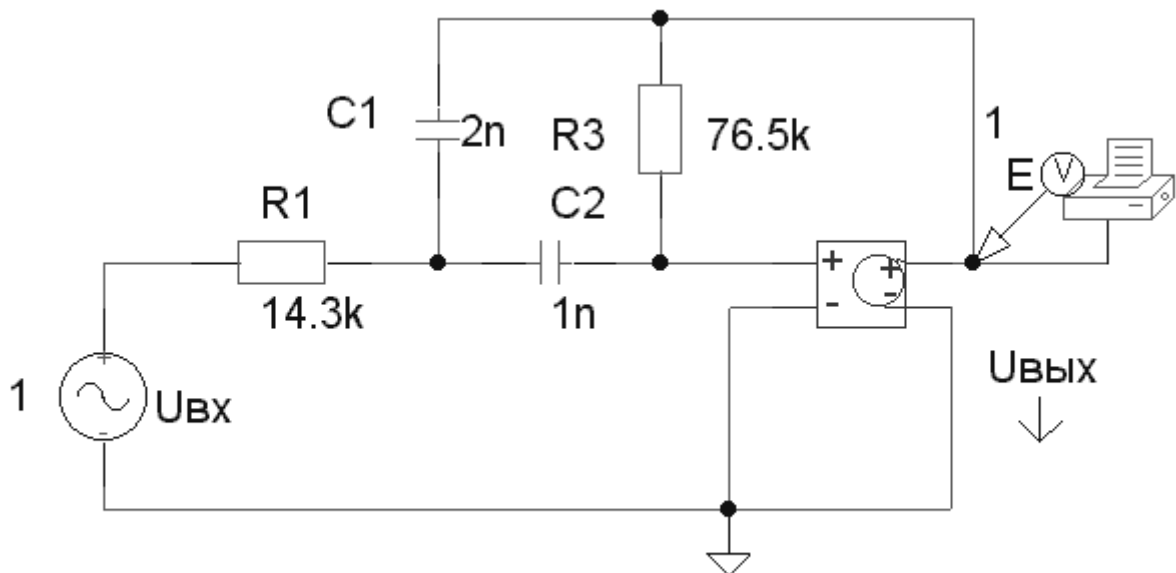


Рис. 2. Изображение, полученное в результате вычерчивания схемы на экране дисплея.

При составлении задания на анализ окно должно выглядеть так:

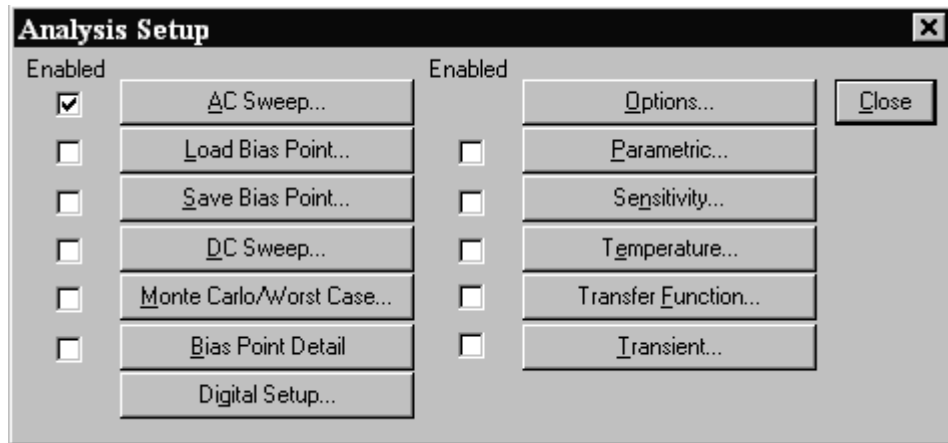


Рис.3. Окно задания режима частотного анализа.

Этим мы задаём режим частотного анализа схемы. Далее необходимо определить частотный диапазон, исходя из рассчитанных значений резонансной частоты и типа фильтра. Диапазон можно менять несколько раз, пока характеристики не достигнут своих установившихся значений.

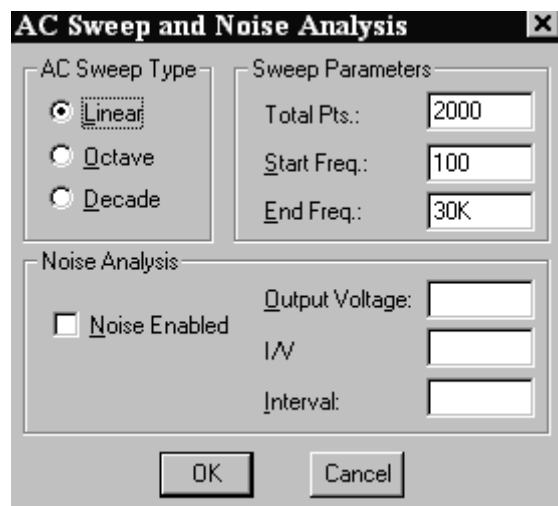


Рис.4. Окно определения частотного диапазона.

После задания расчётного режима нужно нажать на кнопку **F11** и на экране дисплея должен появиться график АЧХ. Если этого не происходит автоматически, то надо проделать следующее: щёлкнуть левой кнопкой мыши по позиции **Plot** горизонтального меню. В появившемся вертикальном меню выделить строку **Add Y Axis**, щелкнув по ней левой кнопкой мыши. После этого на экране появляется вертикальная ось.

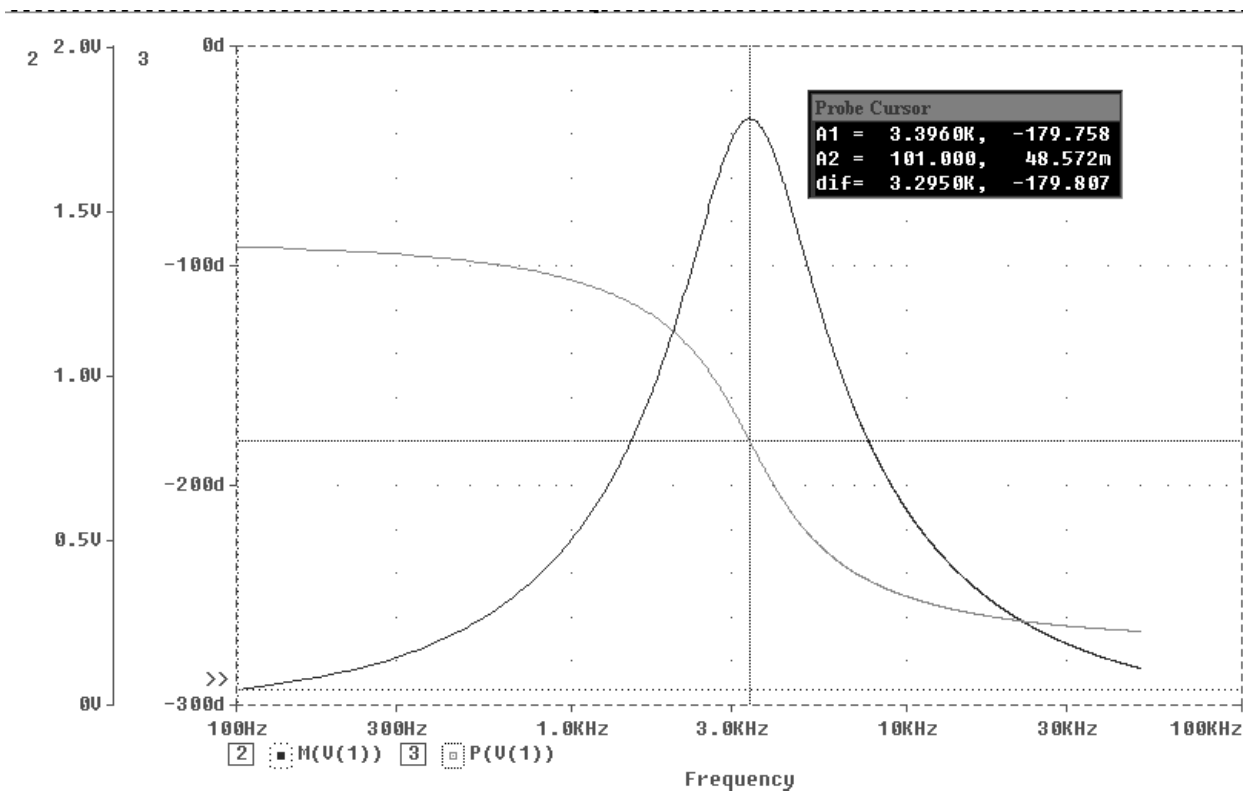


Рис.5. АЧХ и ФЧХ исследуемой схемы для случая идеального ОУ.

В позиции горизонтального меню **Trace** выбираем в появившемся меню строчку **Add** и в появившемся правом окне **Function or Macros** щелчком левой кнопки мыши выделяем функцию выделения амплитуды **M()**. В нижней части панели в строке **Trace Expression** для указания того, амплитуда какого напряжения должна быть выведена, щёлкаем левой кнопкой мыши по строке **V(I)** в левом окне **Simulation Output Variables**. В нижней строке оказывается сформированной функция **M(V(I))**. Это соответствует выводу графика АЧХ напряжения **V(I)**. Щёлкаем по кнопке мыши и на экране появляется график. Все эти операции нужно проделать и для получения графика ФЧХ. Только вместо выделения функции **M()** необходимо выделить функцию фазы **P()**. После этого на экране появляется “картинка” совмещённых графиков АЧХ и ФЧХ напряжения **V(I)**. Эти графики надо запомнить и представить преподавателю в качестве решения для расчёта частотных характеристик для схемы с идеальным ОУ. На данном графике маркером выделена резонансная частота $f_0 = 3,396$ кГц, что практически совпадает с расчётной.

1.2. Расчёт схемы при реальном ОУ.

Для реального ОУ расчёт частотных характеристик производится только с помощью ЭВМ. Для этого необходимо внести изменения в расчётную схему:

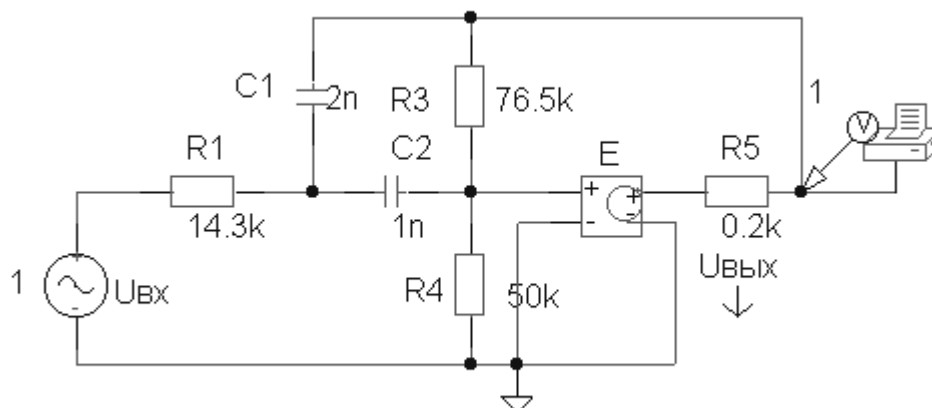


Рис.6. Исследуемая схема для реального ОУ.

Как видно из схемы добавились параметры ОУ: $R_{BX} = 50 \text{ кОм}$ и $R_{BЛX} = 0,2 \text{ кОм}$. Кроме этого коэффициент усиления ОУ $k = 250$. Режим анализа схемы задается аналогично пункту 1.2 и получаем решение в виде графиков АЧХ и ФЧХ реального фильтра:

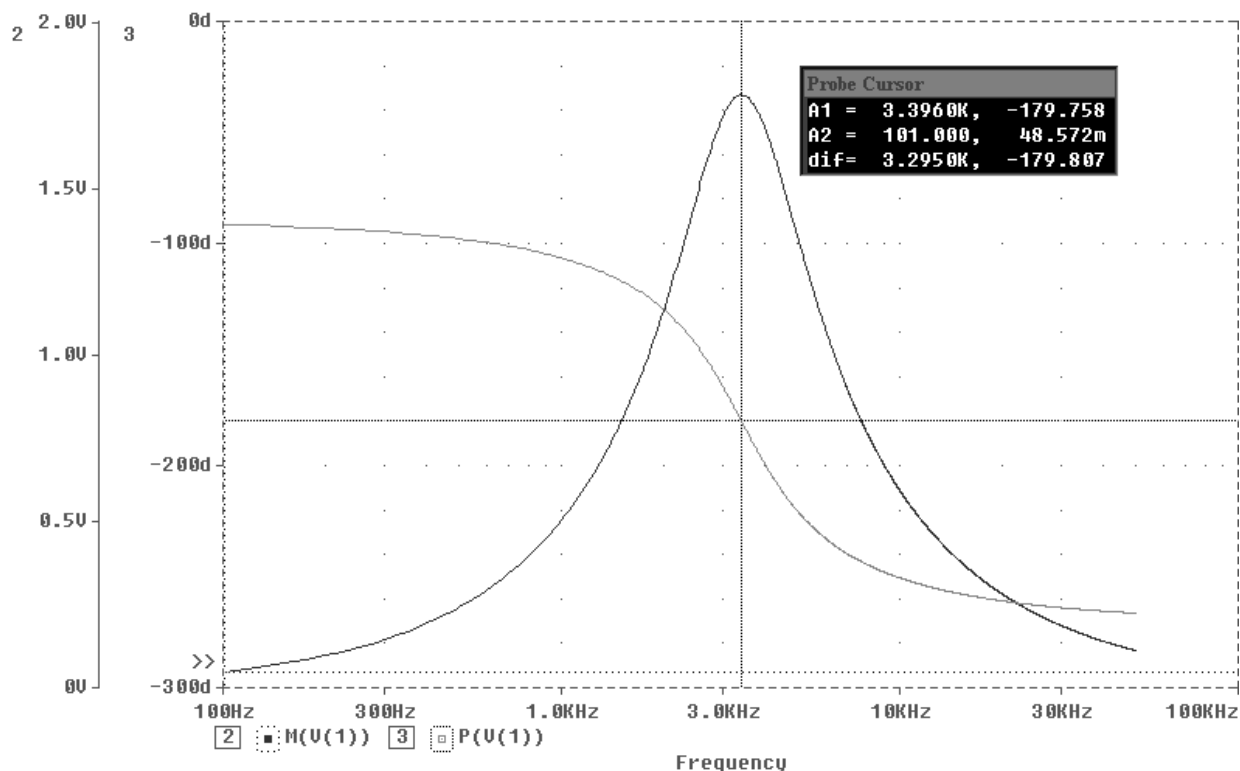


Рис.7. АЧХ и ФЧХ исследуемой схемы для случая реального ОУ.

Как видно, графики практически совпадают. На этом анализ частотных характеристик практически завершён.

1. Анализ временных характеристик цепи.

1.1. Составление уравнений состояния для схемы с идеальным ОУ.

Изобразим схему для составления уравнений состояния (УС) с учётом того, что ОУ – идеальный /3/.

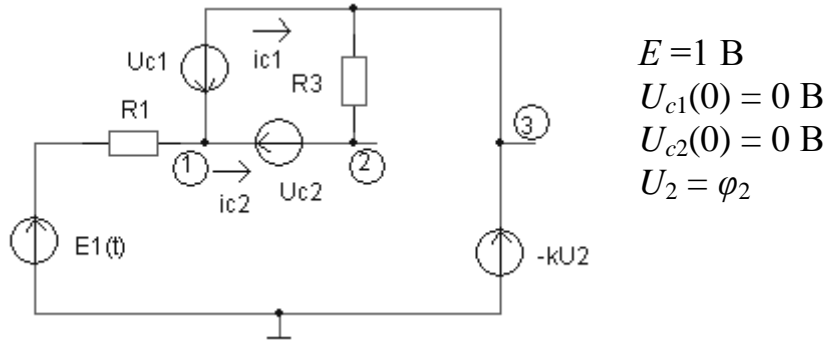


Рис.8. Расчётная схема для составления УС.

Примечание:

Для схем с обратной связью уравнения состояния удобнее составлять по методу наложения.

Рассматриваемая схема в исходном варианте не содержит обратную связь, поэтому уравнения состояния составим с использованием расширенных узловых уравнений:

$$\begin{cases} g_1 \varphi_1 + i_{c1} + i_{c2} = U_{BX} \cdot g_1 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} g_3 \varphi_2 - g_3 \varphi_3 - i_{c2} = 0 & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi_2 = 0 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi_1 - \varphi_3 = U_{c1} & (4) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi_1 - \varphi_2 = U_{c2} & (5) \end{cases}$$

Решим систему относительно токов i_{c1} и i_{c2} . С учётом (3) система упрощается:

$$(5) \varphi_1 = U_{c2}$$

$$(4) \varphi_3 = U_{c2} - U_{c1}$$

$$(2) i_{c2} = -g_3 \varphi_3 = -g_3(U_{c2} - U_{c1}) = g_3 U_{c1} - g_3 U_{c2}$$

$$(1) i_{c1} = U_{BX} g_1 - i_{c2} - g_1 \varphi_1 = U_{BX} g_1 - g_3 U_{c1} + g_3 U_{c2} - g_1 U_{c2} = -g_3 U_{c1} + (g_3 - g_1) U_{c2} + U_{BX} g_1$$

$$i_{c1} = C \frac{dU_{c1}}{dt}, \quad i_{c2} = C \frac{dU_{c2}}{dt} \Rightarrow$$

уравнения состояния примут вид:

$$\begin{cases} \frac{dU_{c1}}{dt} = -\frac{g_3}{C_1} U_{c1} + \frac{g_3 - g_1}{C_1} U_{c2} + \frac{g_1}{C_1} U_{BX} \\ \frac{dU_{c2}}{dt} = \frac{g_3}{C_2} U_{c1} - \frac{g_3}{C_2} U_{c2} + 0 \cdot U_{BX} \end{cases}$$

$$A_1 = \begin{vmatrix} -\frac{g_3}{C_1} & \frac{g_3 - g_1}{C_1} \\ \frac{g_3}{C_2} & -\frac{g_3}{C_2} \end{vmatrix}, \quad B_1 = \begin{vmatrix} \frac{g_1}{C_1} \\ 0 \end{vmatrix}$$

Численные значения коэффициентов матриц A_1 и B_1 для рассматриваемого примера равны:

$$A_1 = \begin{vmatrix} -6,536 \cdot 10^3 & -28,429 \cdot 10^3 \\ 13,072 \cdot 10^3 & -13,072 \cdot 10^3 \end{vmatrix}, \quad B_1 = \begin{vmatrix} 34,965 \cdot 10^3 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Составим характеристическое уравнение:

$$\det(\lambda \cdot \mathbf{1} - A_1) = 0$$

$$\begin{vmatrix} \lambda + \frac{g_3}{C_1} & \frac{g_1 - g_3}{C_1} \\ -\frac{g_3}{C_2} & \lambda + \frac{g_3}{C_2} \end{vmatrix} = 0$$

$$\lambda^2 + \lambda \frac{g_3}{C_2} + \lambda \frac{g_3}{C_1} + \frac{g_3^2}{C_1 C_2} + \frac{g_3(g_1 - g_3)}{C_1 C_2} = 0$$

$$\lambda^2 + \lambda \frac{g_3(C_1 + C_2)}{C_1 C_2} + \frac{g_1 g_3}{C_1 C_2} = 0$$

Характеристическое уравнение совпадает по виду со знаменателем передаточной функции $H(p)$, полученной в первой части расчёта. После подстановки чисел получаем следующее характеристическое уравнение (ХУ):

$$\lambda^2 + 1,9615 \cdot 10^4 \lambda + 4,57 \cdot 10^8 = 0$$

Найдём его корни:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{1,9615 \cdot 10^4}{2} \pm j \frac{\sqrt{(1,9615 \cdot 10^4)^2 - 4 \cdot 4,57 \cdot 10^8}}{2} = -0,98075 \cdot 10^4 \pm j 1,8995 \cdot 10^4 =$$

$$= -\alpha \pm j \omega_{CB}$$

Так как корни ХУ получились комплексно-сопряженные, то вид решения запишется следующим образом:

$$U_{c1}(t) = U_{c1ycm} + A_1 e^{-\alpha t} \sin(\omega_{CB} t + \gamma_1),$$

$$U_{c2}(t) = U_{c2ycm} + A_2 e^{-\alpha t} \sin(\omega_{CB} t + \gamma_2),$$

$$\varphi_3 = U_{BIX}(t) = U_{c2} - U_{c1}$$

Можно использовать другой вид решения свободной составляющей:

$$u_{c1c6}(t) = A_1 e^{-\alpha t} \cdot \sin \omega_{c6} t + A_2 e^{-\alpha t} \cdot \cos \omega_{c6} t,$$

$$u_{c2c6}(t) = A_3 e^{-\alpha t} \cdot \sin \omega_{c6} t + A_4 e^{-\alpha t} \cdot \cos \omega_{c6} t.$$

Составим схему для установившегося режима:

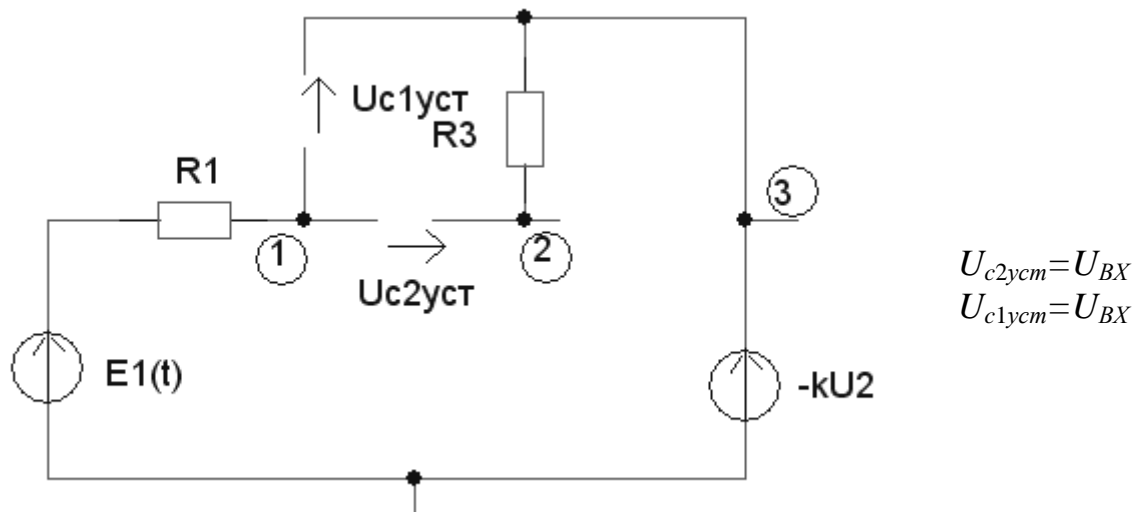


Рис.9. Расчётная схема для установившегося режима.

Рассмотрим момент времени $t = 0_+$. УС примут вид:

$$\begin{bmatrix} \frac{dU_{c1}}{dt} \\ \frac{dU_{c2}}{dt} \end{bmatrix}_0 = A_1 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{g_1}{C_1} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot U_{BX} = \begin{bmatrix} 34,965 \cdot 10^3 \text{ В/с} \\ 0 \end{bmatrix} 1(t)$$

Системы для поиска неизвестных коэффициентов в выражениях для $U_{c1}(t)$ и $U_{c2}(t)$ примут следующий вид:

$$\begin{cases} U_{c1}(0) = 0 = 1 + A_1 \sin \gamma_1 \Rightarrow A_1 = -\frac{1}{\sin \gamma_1} \\ \frac{dU_{c1}}{dt} = -0,98075 \cdot 10^4 A_1 \sin \gamma_1 + 1,8995 \cdot 10^4 \cdot A_1 \cos \gamma_1 = 3,4965 \cdot 10^4 \end{cases}$$

Решая эту систему, получаем:

$$\gamma_1 = -37,05^\circ, \quad A_1 = 1,6596 \text{ В}$$

$$U_{c1}(t) = \left[1 + 1,6596 e^{-0,98 \cdot 10^4 t} \sin(1,8995 \cdot 10^4 t - 37,05^\circ) \right] \cdot 1(t), \text{ В}$$

$$\begin{cases} U_{c2}(0) = 0 = 1 + A_2 \sin \gamma_2 \Rightarrow A_2 = -\frac{1}{\sin \gamma_2} \\ \frac{dU_{c2}}{dt} = -0,98075 \cdot 10^4 A_2 \sin \gamma_2 + 1,8995 \cdot 10^4 \cdot A_2 \cos \gamma_2 = 0 \end{cases}$$

Решая эту систему, получаем:

$$\gamma_2 = 62,59^\circ, \quad A_2 = -1,1254 \text{ В}$$

$$U_{c2}(t) = \left[1 - 1,1254 e^{-0,98 \cdot 10^4 t} \sin(1,8995 \cdot 10^4 t + 62,59^\circ) \right] \cdot 1(t), \text{ В}$$

$$U_{BbLX}(t) = U_{c2} - U_{c1} = \left[1 - 1,1254 e^{-0,98 \cdot 10^4 t} \sin(1,8995 \cdot 10^4 t + 62,59^\circ) \right] - \\ - \left[1 + 1,6596 e^{-0,98 \cdot 10^4 t} \sin(1,8995 \cdot 10^4 t - 37,05^\circ) \right] 1(t) = (-1,1254 e^{-0,98 \cdot 10^4 t} \times \\ \times \sin(1,8995 \cdot 10^4 t + 62,59^\circ) - 1,6596 e^{-0,98 \cdot 10^4 t} \sin(1,8995 \cdot 10^4 t - 37,05^\circ)) 1(t), \text{ В}$$

Используя другой вид записи для свободных составляющих напряжений $u_{c1}(t)$ и $u_{c2}(t)$ в результате можно с помощью формул приведения, известных из курса тригонометрии получить более простую окончательную форму записи решения для функции $h(t) = U_{BbLX}(t)$.

$$h(t) = u_{BbLX}(t) = A e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega_{св} t + \gamma) .$$

После получения аналитического выражения для переходной характеристики, необходимо построить график $h(t)$. Его удобно строить с помощью системы DESIGN LAB 8.0. Расчётная схема для идеального ОУ будет выглядеть так:

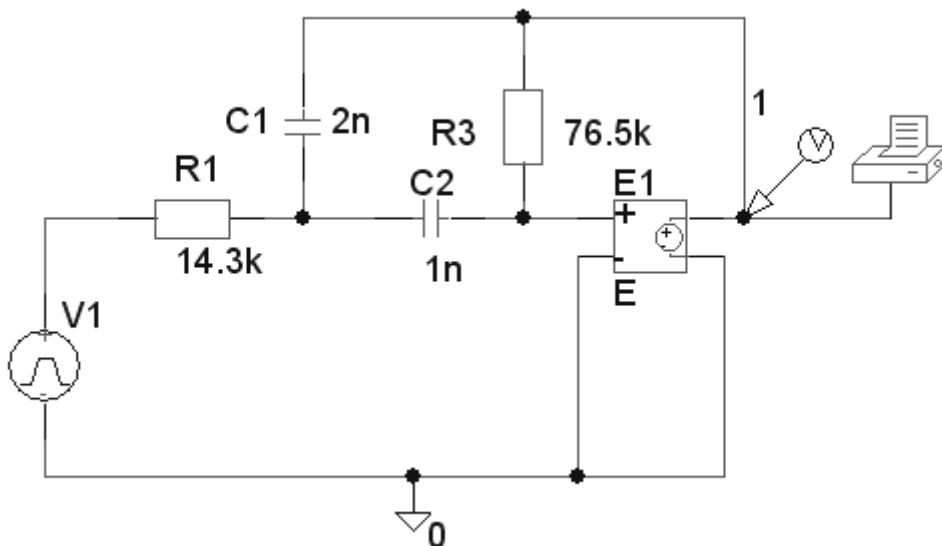


Рис.10. Расчетная схема для получения временных характеристик.

$V1$ – это импульсный источник напряжения **VPULSE** со следующими значениями атрибутов:

$V1 = 0$ (минимальное напряжение импульса),

$V2 = 1$ (максимальное напряжение импульса),

$TD = 0$ (задержка импульса относительно начала отсчёта времени),

$TR = 0$ (длительность переднего фронта импульса),

$TF = 0$ (заднего фронта импульса),

$PW = 2m$ (длительность плоской вершины импульса),

$PER = 10m$ (период повторения импульса).

Окно запуска на решение должно выглядеть так:

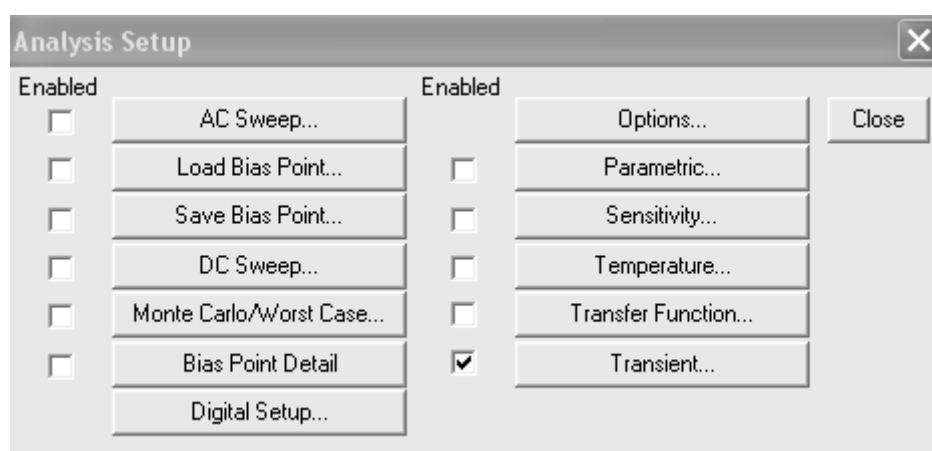


Рис.11. Окно для задания временного анализа схемы.

Предварительно необходимо рассчитать примерный временной диапазон расчёта **Final Time**, который рассчитывается через полученное значение ω_{CB} . Чтобы получить “хорошую” картинку, этот расчёт можно повторять несколько раз и, соответственно, несколько раз запускать задачу на решение. Окно запуска должно выглядеть так:

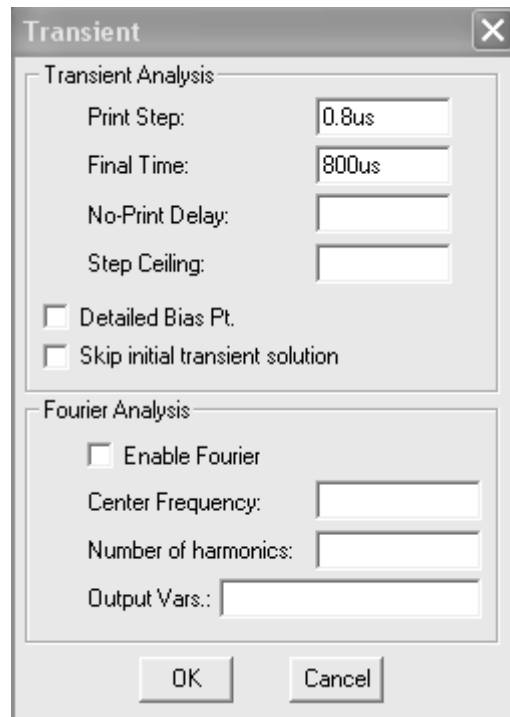


Рис.12. Окно для определения временного диапазона расчёта.

После того, как все параметры заданы, задача запускается на решение нажатием клавиши **F11** и на экран выводится временная характеристика:

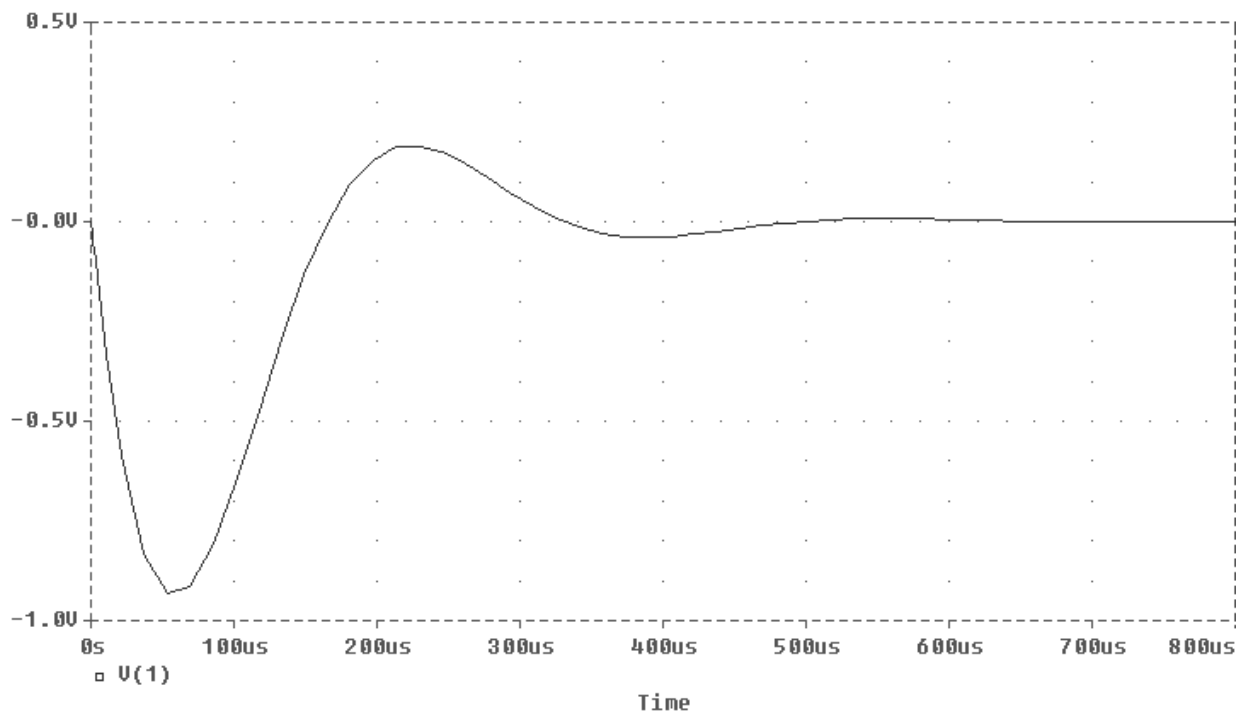


Рис. 13. Переходная функция для схемы с идеальным ОУ.

Для реального ОУ также надо рассчитать переходную характеристику. Для этого надо внести изменения в расчётную схему:

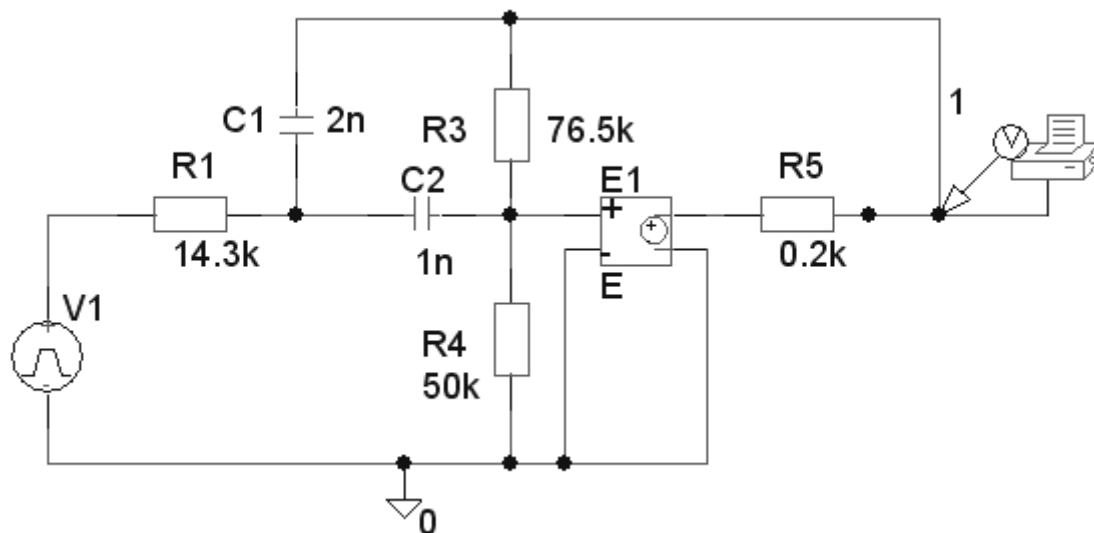


Рис. 14. Расчётная схема для случая реального ОУ.

После этого задача отправляется на решение и результаты выводятся на экран (см. рис.15). Сравнительный анализ показывает, что “картинки” для случая идеального и реального ОУ практически совпадают.

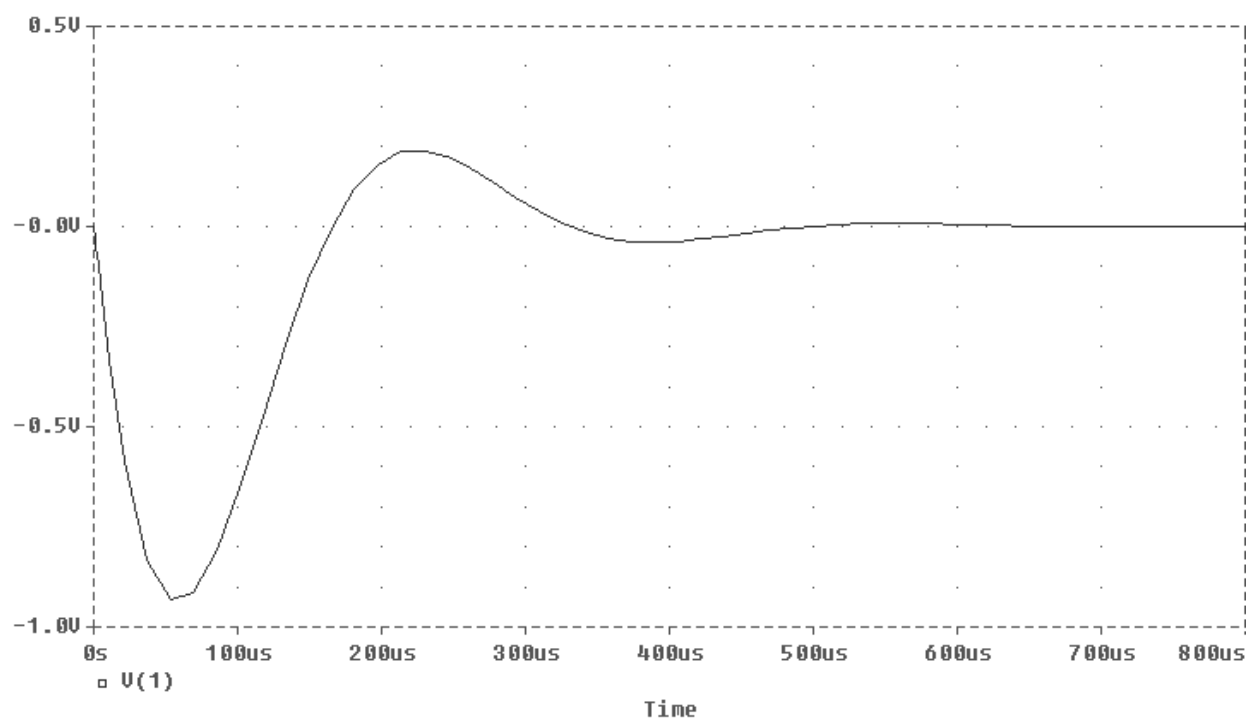


Рис. 15. Переходная характеристика для реального ОУ.

2.2. Операторный метод расчёта.

По определению переходной характеристики на вход схемы подается единичное воздействие $U_{BX}(t) = 1(t)$. При переходе в частотную область с помощью преобразования Лапласа получаем $U_{BX}(p) = \frac{1}{p}$.

Из определения передаточной функции $H(p) = \frac{U_{BЫX}(p)}{U_{BX}(p)}$ можно посчитать $U_{BЫX}(p) = \frac{H(p)}{p}$ (1).

Итак, для того чтобы найти переходную характеристику $h(t) = U_{BЫX}(t)$ операторным методом, необходимо посчитать оригинал выражения (1), воспользовавшись теоремой разложения. Передаточная функция $H(p)$ получена в первой части расчёта, поэтому воспользуемся уже известным нам значением:

$$\frac{H(p)}{p} = \frac{-3,496 \cdot 10^4}{p^2 + 1,9615 \cdot 10^4 p + 4,57 \cdot 10^8} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)}.$$

Корни знаменателя $F_2(p)$ нам уже известны:

$$p_{1,2} = -0,98075 \cdot 10^4 \pm j1,8995 \cdot 10^4,$$

$$F_2'(p) = 2p + 1,9615 \cdot 10^4.$$

Воспользуемся теоремой разложения для случая комплексно-сопряженных корней знаменателя:

$$h(t) = U_{BЫX}(t) = 2 \operatorname{Re} \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} = 2 \operatorname{Re} \frac{-3,496 \cdot 10^4}{3,923 \cdot 10^4 j} e^{-0,98075 \cdot 10^4 t} \cdot e^{j1,8995 \cdot 10^4 t} \cong$$

$$\cong -1,782 e^{-0,98075 \cdot 10^4 t} \operatorname{Re} e^{j(1,9 \cdot 10^4 t - 90^\circ)} = -1,782 e^{-0,98075 \cdot 10^4 t} \cdot \cos(1,9 \cdot 10^4 t - 90^\circ) =$$

$$= -1,782 e^{-0,98075 \cdot 10^4 t} \cdot \sin 1,9 \cdot 10^4 t, \text{ В}$$

Проверим правильность полученного выражения, сравнив значения переходной характеристики, посчитанной по методу уравнений состояния:

$$U_{BЫX}(0) = -1,1254 \sin 62,59^\circ - 1,6596 \sin(-37,05^\circ) = -0,999 + 0,999 = 0 \quad (\text{УС}),$$

$$U_{BЫX}(0) = -1,782 \sin 0^\circ = 0 \quad (\text{ОМ}).$$

ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ТИПОВОГО РАСЧЕТА.

Отдельные части типового расчета рекомендуется оформлять в виде отчёта, на обложке которого следует указать название расчёта, номер варианта задания, фамилию и инициалы студента и номер студенческой группы.

В отчёт должны входить:

1. Содержание с указанием страниц разделов отчёта.
2. Текст технического задания.
3. Графики характеристик, используемые при расчёте.
5. Расчёт с необходимыми пояснениями.
6. Результаты анализа на ЭВМ.
7. Сравнительный анализ результатов расчёта.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Теоретические основы электротехники. Том 1./под ред. П.А. Ионкина. Учебник для электротехн. вузов. Изд. 2-е; - М.:Высшая школа, 1976г.
2. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники: Учебн. пособие для вузов/под ред. проф. П. А. Ионкина.- М.: Энергоиздат, 1982г.
3. Кобяк А.Т., Новикова Н.Р., Паротькин В.И., Титов А.А. Применение системы Design Lab 8.0 в курсах ТОЭ и электроники: Метод. пособие. –М.: Издательство МЭИ, 2001. –128с. (УДК 621.3 П–764)