

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА

Амелина Марина Аркадьевна,
к.т.н., доцент

Кархов Антон Андреевич,
Сычев Владислав Андреевич,
Аббасов Валерий Олегович

Студент
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г.
Смоленске

Аннотация: рассмотрены методы моделирования аналоговых фильтров, проанализированы их преимущества и недостатки. Сделаны выводы о том, какой метод наиболее приближен к реально полученным данным.

Ключевые слова: полосовой фильтр, АЧХ, Micro-Cap, ФЧХ, импульсные характеристики.

RESEARCH ACTIVE STRIP FILTER

Amelina Marina Arkadyevna,
Karkhov Anton Andreevich,
Sychev Vladislav Andreevich,
Abbasov Valery Olegovich

Annotation: methods of modeling analog filters are considered, their advantages and disadvantages are analyzed. Conclusions are drawn about which method is closest to the actual data obtained.

Keywords: bandpass filter, frequency response, Micro-Cap, frequency response, pulse characteristics.

В современном мире, где много информации, нужно уметь отсеивать лишнюю и выделить полезную. Так и в электронике необходимо выделить полезные сигналы.

Целью работы является сравнение различных методик построения характеристик одной и той же схемы на примере активного полосового

фильтра. Так как в современных условиях нужно как можно точнее выделить полезную информацию, а для этого нужно знать, как можно точнее параметры проектируемого фильтра. Тогда как в литературе параметры фильтра описываются усреднено, что может привести к полному перерасчету фильтра на практике.

Для того чтобы этого не происходило существуют специальные программы схемотехнического моделирования, результаты расчетов в которых максимально приближены к реальным.

Так возьмем и сравним полученные результаты разными способами и приходим к выводу, результаты какого способа максимально приближены к реальным.

Рассчитаем фильтр математически.

Найдем выходное напряжение. Решение схемы будет проводить методом узловых потенциалов. Примем во внимание, что конденсатор C подключен к узлам 1 и 2 (слева и справа от C соответственно). Построим первую матрицу проводимостей. На главной диагонали поместим сумму проводимостей, подключенных к каждому узлу. На второстепенной диагонали поместим проводимость с обратным знаком, подключенных между узлами 1 и 2, это pC . Также будем иметь в виду, что операционный усилитель является идеальным, то есть его коэффициент усиления стремится к бесконечности, поэтому потенциал узла 2 равен искомому напряжению на выходе. Во вторую матрицу поместим произведение источника напряжения и проводимости в этой ветви. Окончательно получим:

$$\begin{pmatrix} \frac{2}{R} + 2 \cdot p \cdot C & -p \cdot C - \frac{1}{R} \\ -p \cdot C & \frac{1}{2R} + p \cdot C \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} U_{in} \cdot \frac{1}{R} \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \frac{U_{in} \cdot (2 \cdot C \cdot p \cdot R^2 + R)}{R \cdot (2 \cdot C^2 \cdot R^2 \cdot p^2 + 4 \cdot C \cdot R \cdot p + 2)} \\ \frac{C \cdot R \cdot U_{in} \cdot p}{C^2 \cdot R^2 \cdot p^2 + 2 \cdot C \cdot R \cdot p + 1} \end{bmatrix}$$

Коэффициент передачи по напряжению равен:

$$K(p) = \frac{C \cdot R \cdot p}{C^2 \cdot R^2 \cdot p^2 + 2 \cdot C \cdot R \cdot p + 1} = \frac{C \cdot R \cdot p}{(C \cdot R \cdot p + 1)^2}$$

Если ввести обратную связь по инвертирующему входу, можно получить коэффициент усиления G:

Given

$$\frac{U_{in} - 0}{R_1} = \frac{U_{out} - U_{in}}{R_2}$$

$$\text{Find}(U_{out}) \rightarrow \frac{R_1 \cdot U_{in} + R_2 \cdot U_{in}}{R_1}$$

$$G = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

$$\frac{\frac{R_1 \cdot U_{in} + R_2 \cdot U_{in}}{R_1}}{U_{in}} \text{ simplify } \rightarrow \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$G = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Произведем замену $p = i\omega$ и разложим выражение в алгебраическую форму:

$$\frac{G \cdot C \cdot R \cdot p}{(C \cdot R \cdot p + 1)^2} \left| \begin{array}{l} \text{substitute } p = i \cdot \omega \\ \text{rectangular} \end{array} \right. \rightarrow \frac{2 \cdot C^2 \cdot G \cdot R^2 \cdot \omega^2}{(C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1)^2} + \frac{C \cdot G \cdot R \cdot \omega - C^3 \cdot G \cdot R^3 \cdot \omega^3}{(C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1)^2} \cdot i$$

Найдем АЧХ

$$\sqrt{\left[\frac{2 \cdot C^2 \cdot G \cdot R^2 \cdot \omega^2}{(C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1)^2} \right]^2 + \left[\frac{C \cdot G \cdot R \cdot \omega - C^3 \cdot G \cdot R^3 \cdot \omega^3}{(C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1)^2} \right]^2} \rightarrow \frac{C \cdot G \cdot R \cdot \omega}{C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1}$$

$$A(\omega) = \frac{C \cdot G \cdot R \cdot \omega}{C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1}$$

Найдем ФЧХ:

$$\frac{\frac{C \cdot G \cdot R \cdot \omega - C^3 \cdot G \cdot R^3 \cdot \omega^3}{(C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1)^2}}{\frac{2 \cdot C^2 \cdot G \cdot R^2 \cdot \omega^2}{(C^2 \cdot R^2 \cdot \omega^2 + 1)^2}} \text{ simplify } \rightarrow \frac{1}{2 \cdot C \cdot R \cdot \omega} - \frac{C \cdot R \cdot \omega}{2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctan\left(\frac{1}{2 \cdot C \cdot R \cdot \omega} - \frac{C \cdot R \cdot \omega}{2}\right)$$

Произведем замену переменной:

$$\tau = R \cdot C$$

Найдем переходную характеристику путем обратного преобразования Лапласа:

$$\frac{G \tau}{(\tau \cdot p + 1)^2} \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{assume, } \tau > 0 \rightarrow \\ \text{simplify} \end{array} \frac{G \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau}$$

$$g(t) = \frac{G \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau}$$

Импульсную характеристику найдем, взяв производную по времени от переходной:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{G \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau} \right) \text{simplify} \rightarrow \frac{G e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot (\tau - t)}{\tau^2}$$

$$h(t) = \frac{G e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot (\tau - t)}{\tau^2}$$

Для примера рассчитаем фильтр с полосой пропускания 1КГц-1.5

Сопоставим результаты, полученные математически с полученными в результате схемотехнического моделирования. На рисунке 1 показаны АЧХ полученные двумя способами.

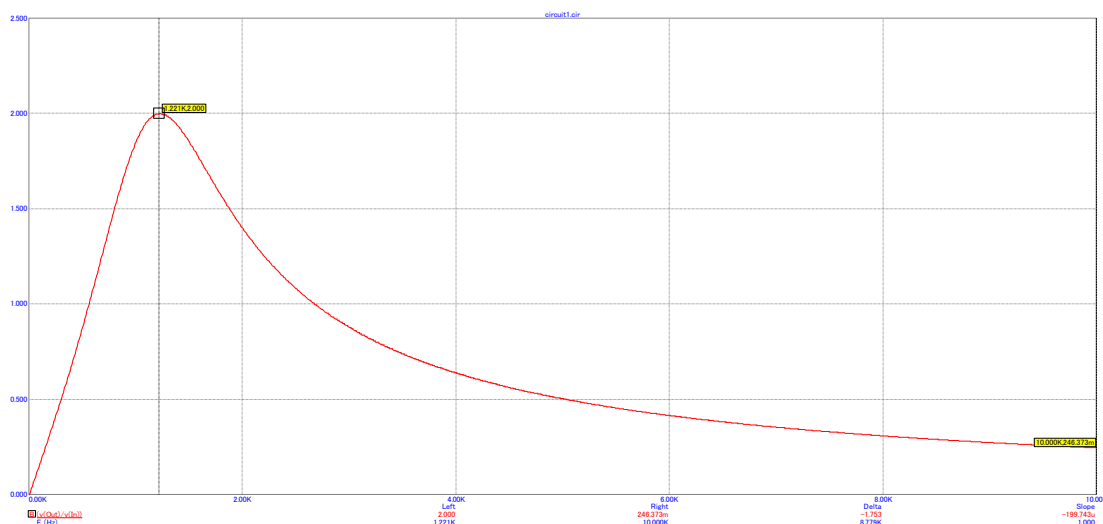
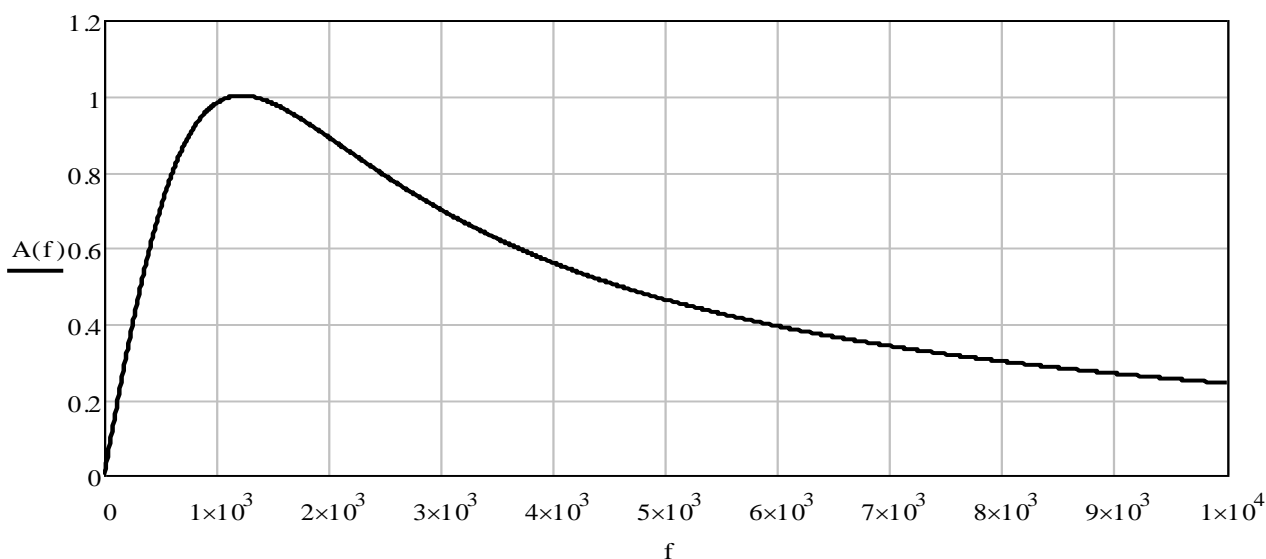


Рисунок 1. АЧХ полученные разными способами

При первом взгляде характеристики кажутся одинаковыми, но при более тщательном рассмотрении становятся заметны отличия. Если взять контрольные точки на графиках, то увидим, что средняя частота полосового фильтра в результатах схемотехнического достигается на более высоком коэффициенте передач. Точка находящиеся на частоте 10 КГц наоборот находится ниже. Это можно объяснить тем что математическая модель учитывает не все факторы, влияющие на характеристику. Математическая модель все идеализирует.

Сопоставим ФЧХ, полученные двумя способами. На рисунке 2 показаны ФЧХ полученные математически и в среде схемотехнического моделирования.

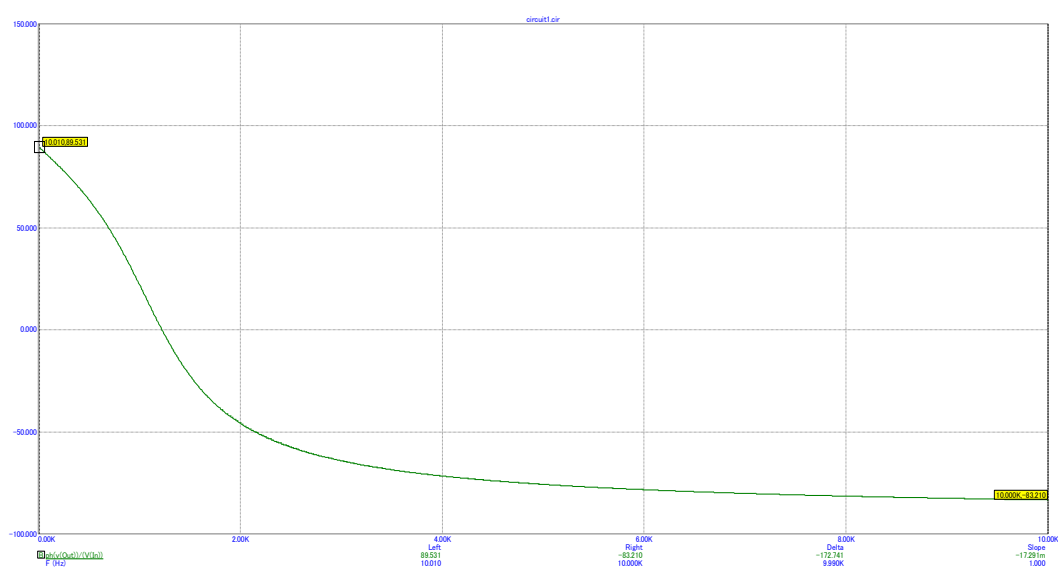
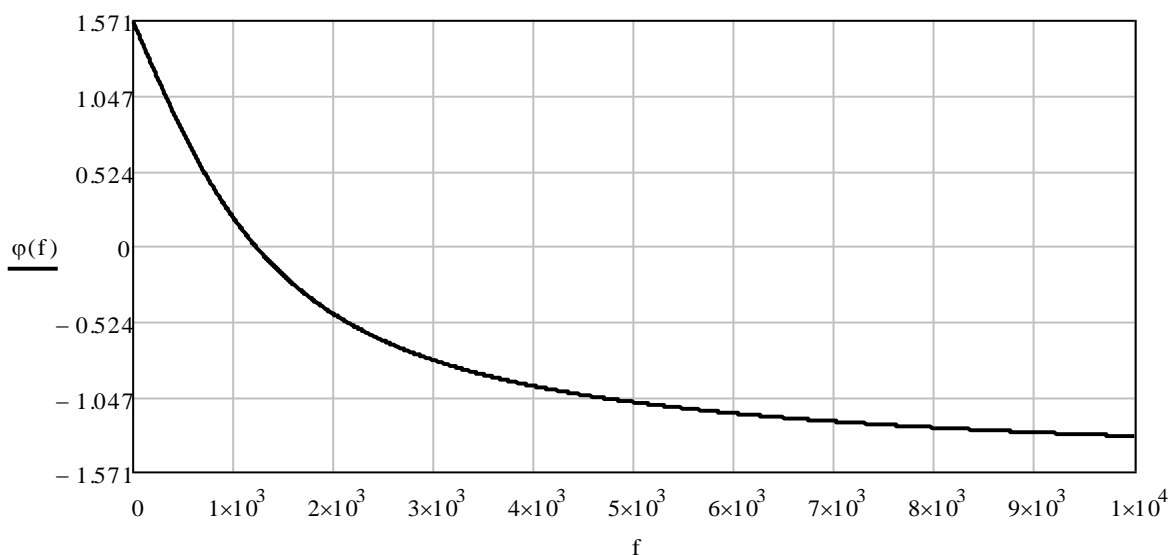


Рисунок 2. ФЧХ полученные разными способами

При первом взгляде характеристики кажутся одинаковыми, но при более тщательном рассмотрении становятся заметны отличия. Если взять контрольные точки на графиках, то увидим, нулевую точку оба графика пересекают на одной и той же частоте. Нулевая точка находится ниже на графике полученном в схемотехнической среде, и точка находящиеся на частоте 10 КГц находится ниже на графике полученном в схемотехнической среде. Это можно объяснить тем что математическая модель учитывает не все факторы, влияющие на характеристику. Математическая модель все идеализирует и не принимает во внимание такие факторы как малые токи.

Сравним переходные характеристики, полученные двумя способами. На рисунке 3 показаны переходные характеристики, полученные математически и в среде схемотехнического моделирования.

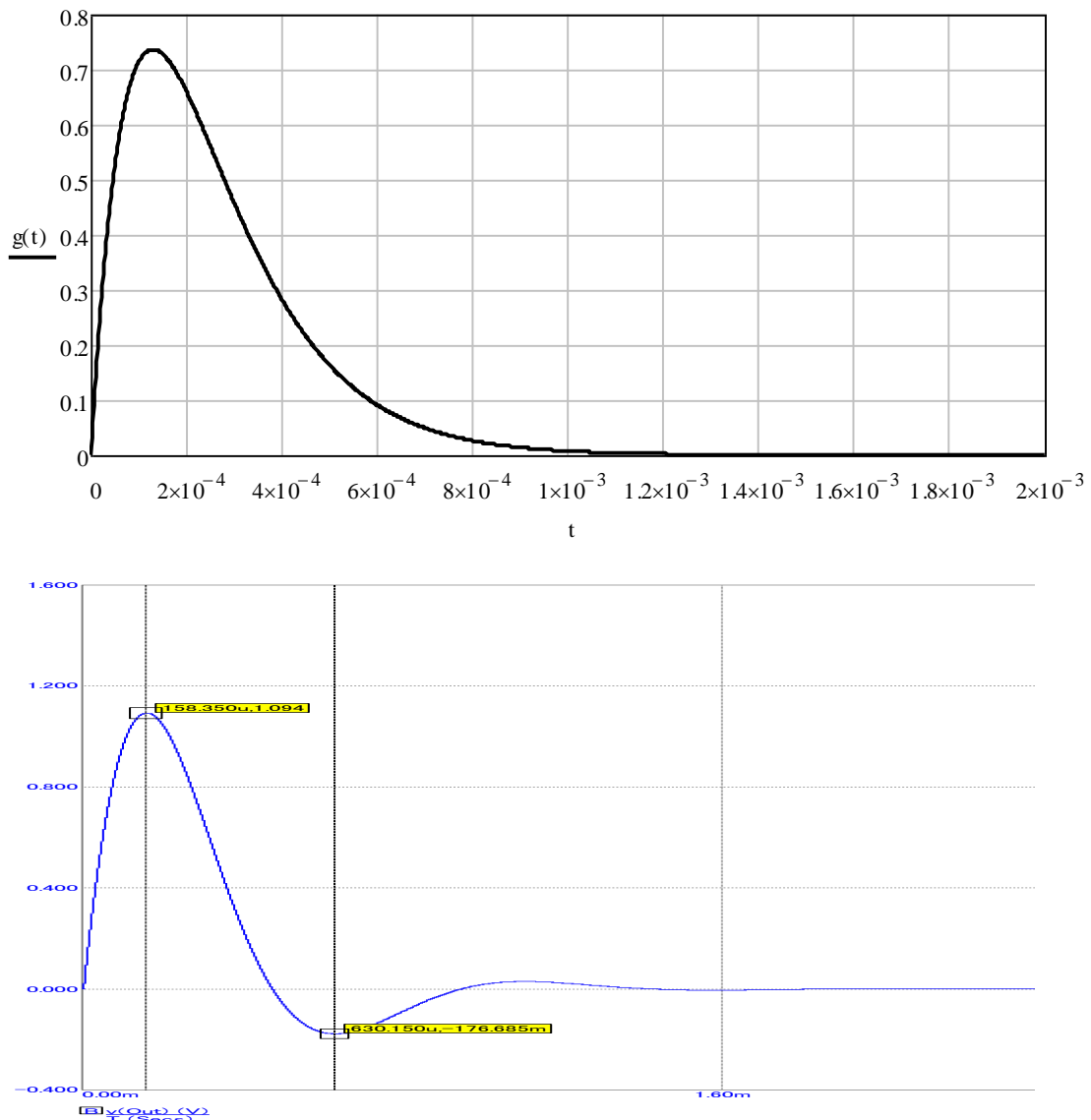


Рисунок 3. Переходная характеристика, полученная разными способами

Сравнивая эти характеристики сразу обращаешь внимание что на математической модели, затухание происходит быстрее чем на полученной в схемотехнической среде. На характеристике, полученной в Micro Cap в области приближения к нулю наблюдаются некие колебания которых нет на математической модели. Это можно объяснить тем, что в математической

модели считаются аperiodические процессы, а Micro Cap рассчитывает по более реальным колебательным процессам.

Сравним импульсные характеристики, полученные двумя способами. На рисунке 4 показаны импульсные характеристики, полученные математически и в MicroCap.

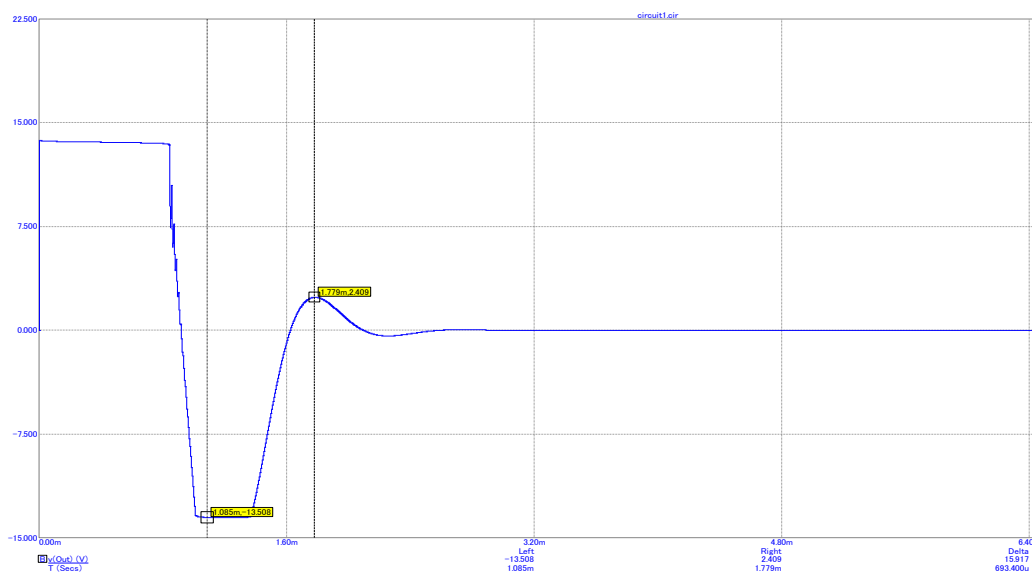
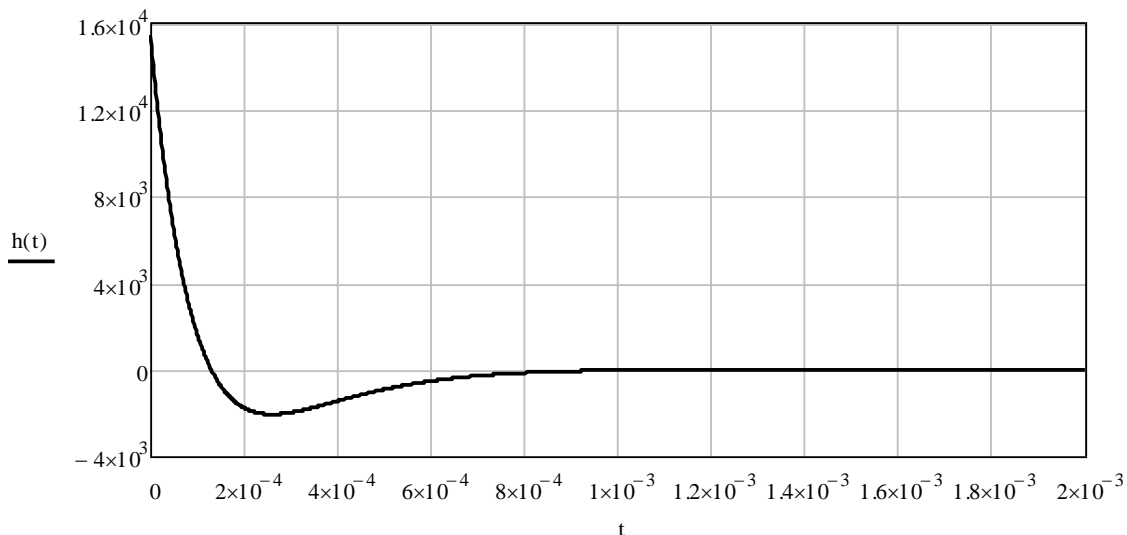


Рисунок 4. Импульсная характеристика, полученная разными способами

Сравнивая эти характеристики сразу обращаешь внимание что на математической модели, затухание происходит быстрее чем на полученной в схемотехнической среде. На характеристике, полученной в Micro Cap в области приближения к нулю наблюдаются некие колебания которых нет на

математической модели. Это можно объяснить тем что в математической модели считаются апериодические процессы, а Micro Cap рассчитывает по более реальным колебательным процессам. Также на графике построенном в схемотехнической среде наблюдается значительная *полочка*. Это можно объяснить тем что в математической модели рассматривается идеальный операционный усилитель, которого невозможно добиться в реальных условиях.

В Micro Cap можно получить такой же график как в математических расчетах заменив выбранный операционный усилитель на идеальный. Полученный результат представлен на рисунке 5.

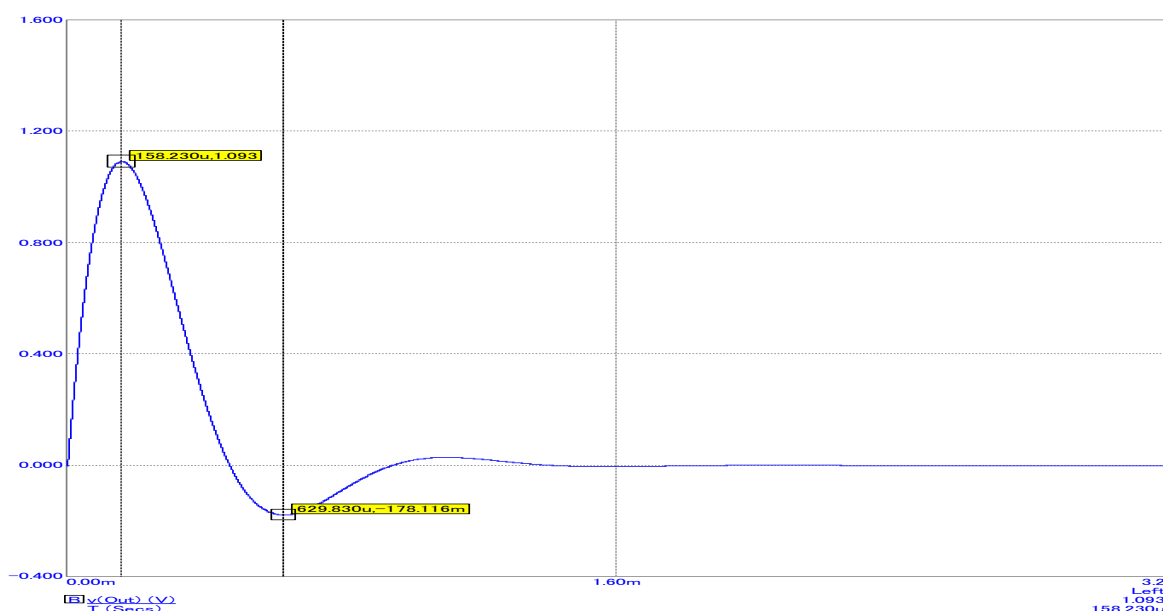


Рисунок 5. Импульсная характеристика, полученная в MicroCap с идеальным операционным усилителем

Можно сделать вывод, что в результате аналитических расчетов характеристики немного отличаются от результатов схемотехнического моделирования. Это можно объяснить тем что математическая модель не может учесть абсолютно все фактор влияющие на данные характеристики. Аналитические расчеты все идеализируют в отличие от результатов специальных программ в которых авторы постарались учесть все процессы, возникающие в реальных условиях.

Список литературы

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. - М.: Издательский дом «Додэка – 21», 2005. – 528 с.
2. Грэм Дж., Тоби Дж., Хьюлсман Л. Проектирование и применение операционных усилителей /Пер. с англ. Под редакцией И.Н. Теплюка. – М.: Мир, 1974. – 510 с.
3. Мамий А.Р., Тлячев В.Б. Операционные усилители. –Майкоп.: АГУ, 2005. –192с
4. Пейтон А. Дж., Волш В. Аналоговая электроника на операционных усилителях / Пер. с англ. под редакцией А.П. Молодяну. –М.: БИНОМ, 1994. – 352 с.
5. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника /Пер. с англ. Под редакцией А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
6. Хьюлсман Л., Аллен Ф., Введение в теорию и расчет активных фильтров/ Пер. с англ. Н.Н. Слепова под редакцией А.Е. Знаменского. – М.: Радио и связь, -1984. – 384 с.

© М.А. Амелина, А.А. Кархов, В.А. Сычев, В.О. Аббасов, 2019