


## Моделирование частотных характеристик типовых звеньев Входной сигнал

Поскольку все частотные характеристики – это зависимости от частоты  $\omega=0\dots+\infty$ , входным сигналом при их моделировании является сигнал, линейно нарастающий от 0 до  $+\infty$ . В *VisSim* он моделируется блоком *ramp*, который может быть установлен на рабочем поле двумя способами:

- 1) либо нажатием на кнопку  на панели инструментов Источники сигналов *Producer Blocks*;
- 2) либо выбором меню Блоки *Blocks* ▶ категория Источники сигналов *Signal Producer* ▶ блок *ramp*.

Для рассматриваемых моделей подходят установленные по умолчанию параметры блока *ramp*.

В базовой версии *VisSim* моделирование частотных характеристик осуществляется через реализацию их расчетных формул с помощью блоков Выражение *expression*, группы арифметических блоков *Arithmetic Blocks* и блоков группы Преобразователи *Transcendental*. Работа всех этих блоков рассматривается в приложении 1.

## Моделирование частотных характеристик П-, А-, И-, Д-звеньев Общие положения

Действительная  $R(\omega)$  и мнимая  $I(\omega)$  частотные характеристики для А-звена, РИ-звена, РД-звена и звена 2-го порядка моделируются через реализацию их расчетных формул.

Для П-звена эти характеристики получаются из характеристик А-звена при  $T=0$ .

Для ИИ-звена эти характеристики получаются из характеристик РИ-звена при  $T=0$ .

Для ИД-звена эти характеристики получаются из характеристик РД-звена при  $T=0$ .

АЧХ и ФЧХ всех типовых звеньев рассчитываются одинаково, через действительную и мнимую частотные характеристики:

$$A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{I(\omega)}{R(\omega)}\right).$$

### A-звено

Расчетные формулы:

$$R(\omega) = \frac{k}{1 + \omega^2 T^2}, \quad I(\omega) = -\frac{k\omega T}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (1)$$

Расчет действительной характеристики с помощью блока Выражение *expression* представлен на рис. 1. Синтаксис формул в данном блоке взят из языка СИ. В приведенном примере взятие квадрата заменяется произведением двух одинаковых чисел.

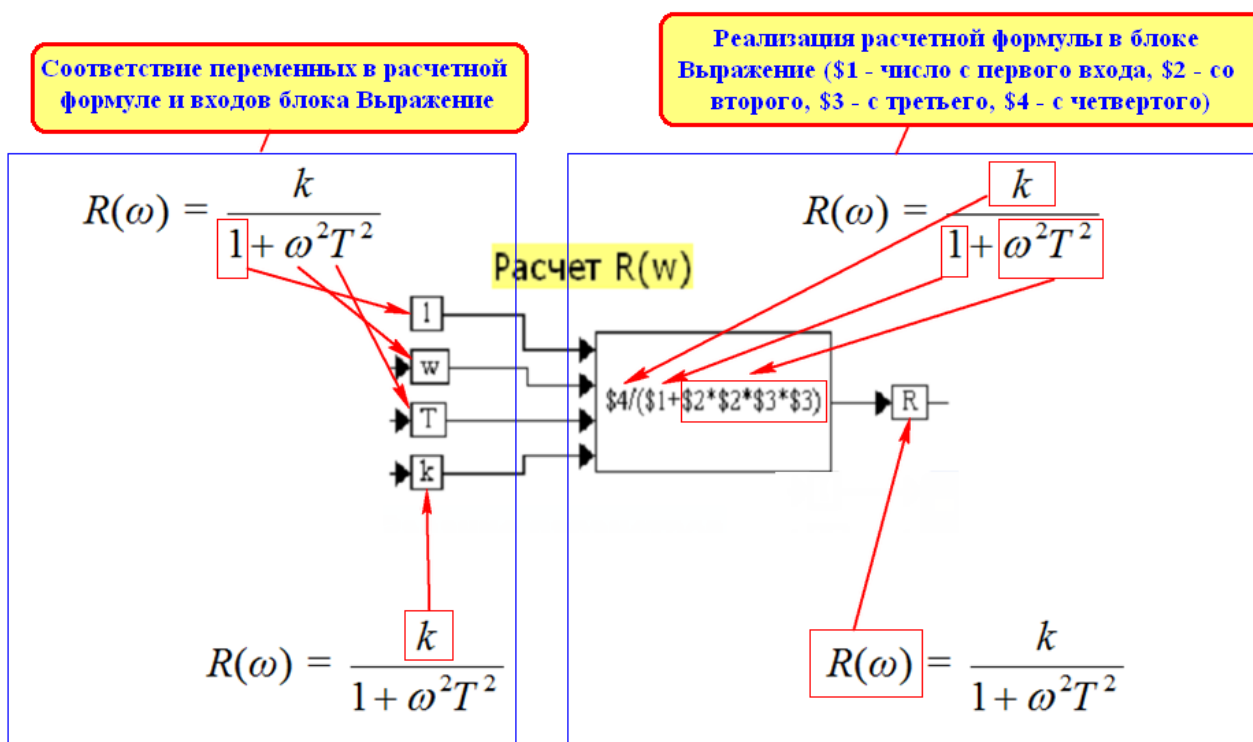


Рис. 1. Расчет действительной частотной характеристики в блоке Выражение *expression*

Из сравнения формул ( 1) очевидно, что

$$I(\omega) = -R(\omega) \cdot \omega T. \quad (2)$$

Данная формула и реализована в модели (рис. 2). Здесь используются блоки из группы арифметических блоков *Arithmetic Blocks* (см. приложение 1):

- арифметическое умножение;
- умножение на (-1).

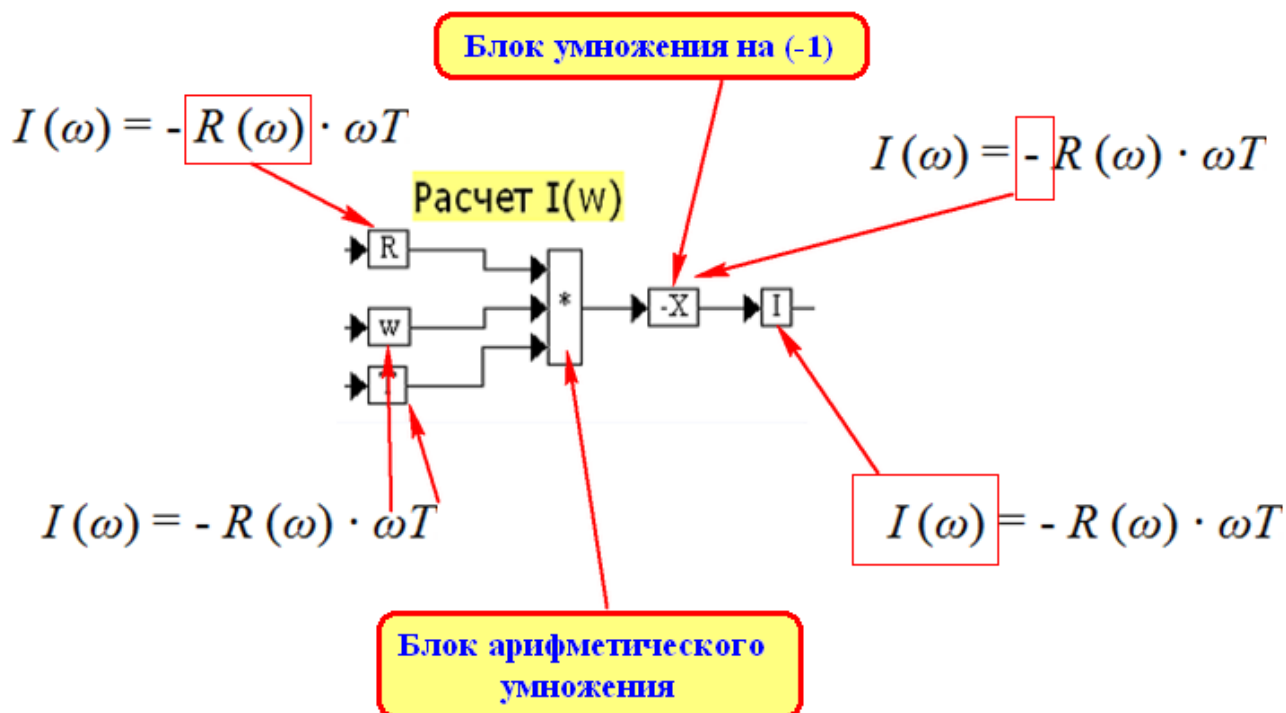


Рис. 2. Расчет мнимой частотной характеристики А-звена

Расчет АЧХ осуществляется для всех звеньев одинаково, по формуле ( 1), которая реализуется в *VisSim* блоками:

- Выражение *expression*;
- Корень квадратный *sqrt* из группы Преобразователи *Transcendental*.



Рис. 3. Функциональная схема расчета АЧХ

Расчет ФЧХ осуществляется для всех звеньев одинаково, по формуле ( 2), которая реализуется в *VisSim* блоком *atan2* из группы Преобразователи *Transcendental*. Этот блок преобразует отношение двух входных сигналов, возвращая значение его арктангенса в радианах. Итоговое значение учитывает знак каждого сигнала, поскольку область переменных составляет от  $-\infty$  до  $+\infty$ , а область значений – от  $-\pi$  до  $\pi$ .



Рис. 4. Функциональная схема расчета ФЧХ

Для вывода результатов моделирования АЧХ и ФЧХ используется блок Осциллограф Plot с настройками, представленными на рис. 5. Здесь используется функция *XY-Plot*: координата по оси абсцисс берется с первого входа блока, в нашем случае это значение частоты  $\omega$ . Координата по оси ординат – с любых других входов осциллографа. Отображение времени при этом исключается, а желаемое время симуляции задается только в диалоговом окне *Simulation Properties*. В рассматриваемом примере это  $End(sec)=20$ .

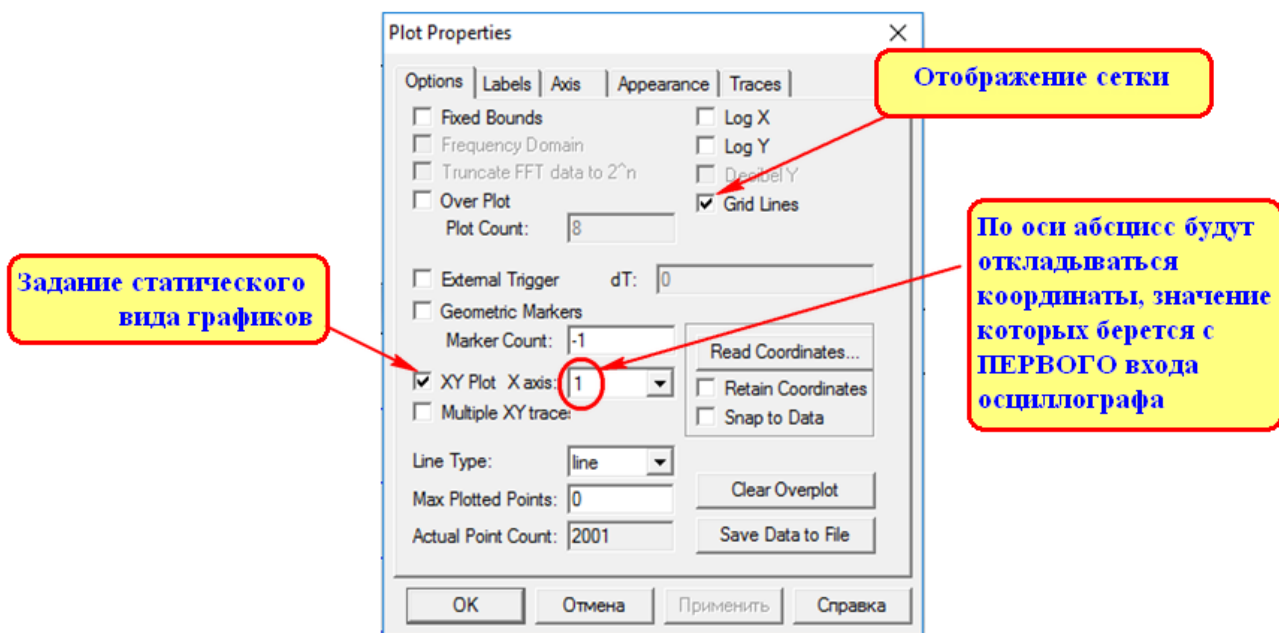


Рис. 5. Параметры осциллографа для вывода частотных характеристик

Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ А-звена представлены на рис. 6 (в отдельных осциллографах) и 7 (совмещены в одном осциллографе). Результаты моделирования годографа А-звена приведены на рис. 8. Здесь на первый вход осциллографа заведена действительная частотная характеристика.

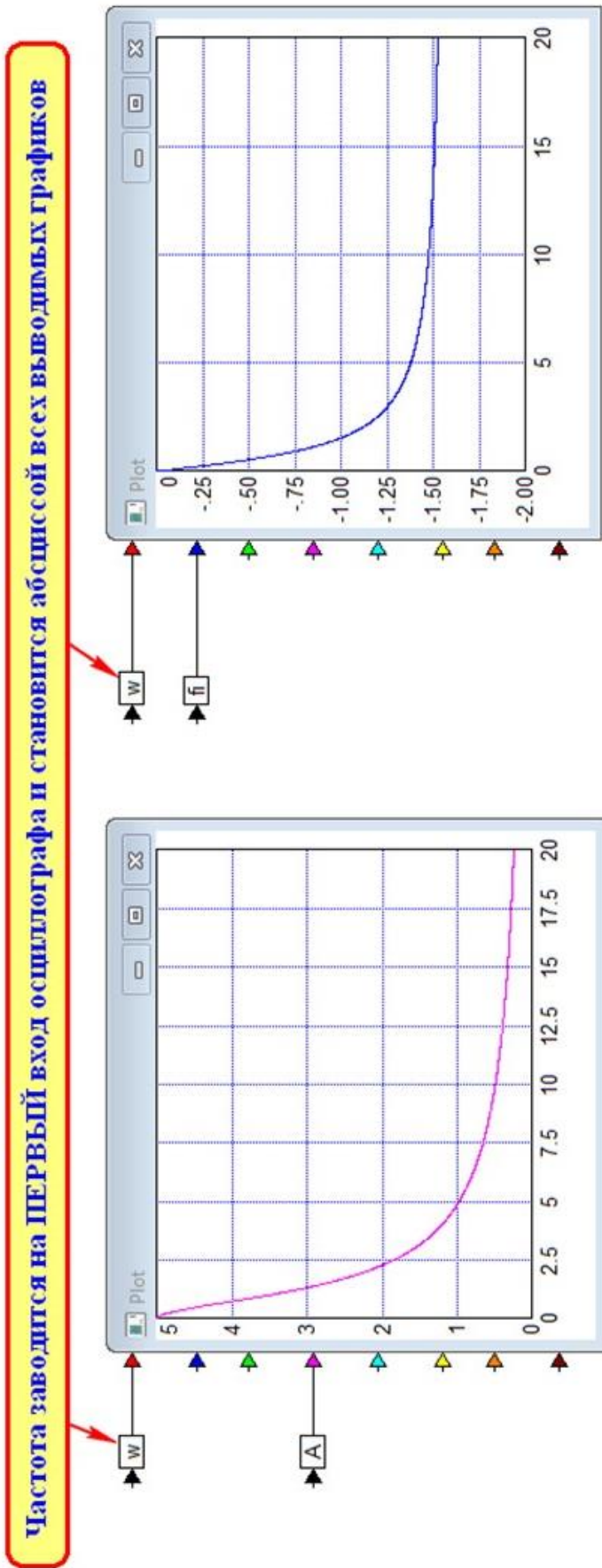


Рис. 6. Отображение АЧХ и ФЧХ отдельно

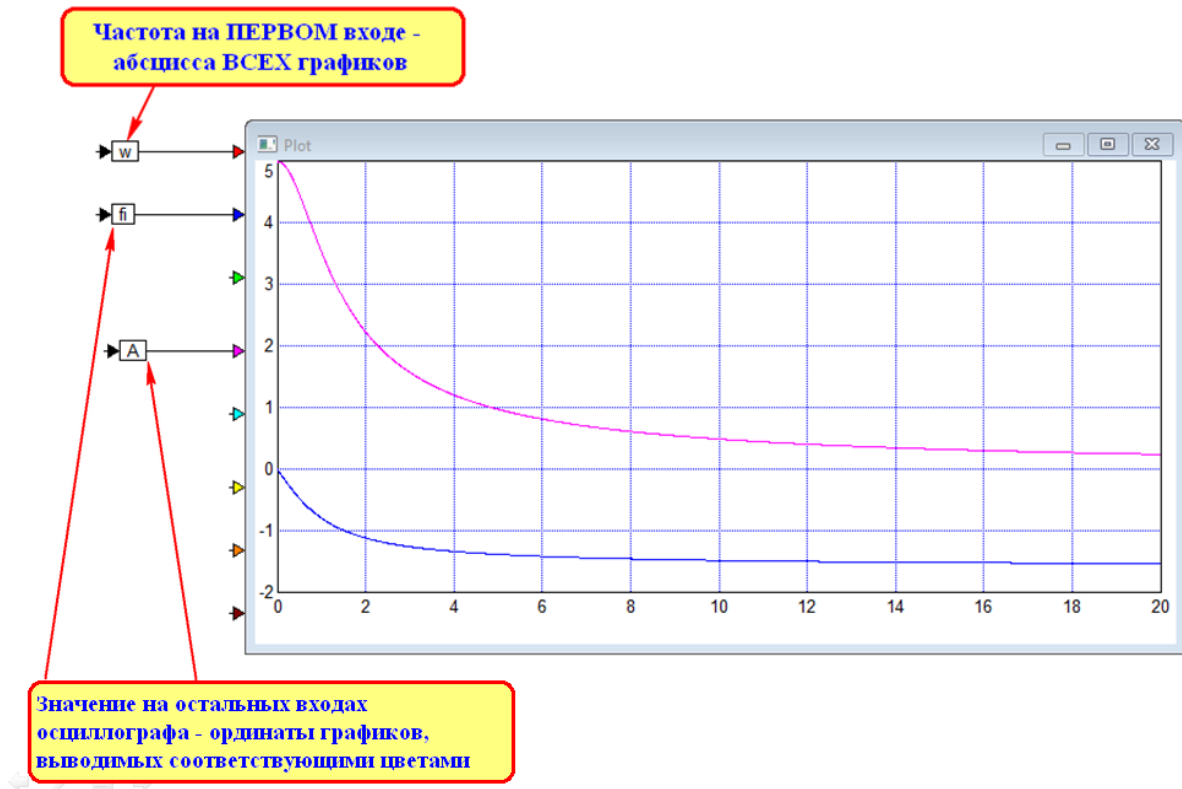


Рис. 7. Отображение АЧХ и ФЧХ совместно

Абсциссой является действительная частотная характеристика  $R(\omega)$

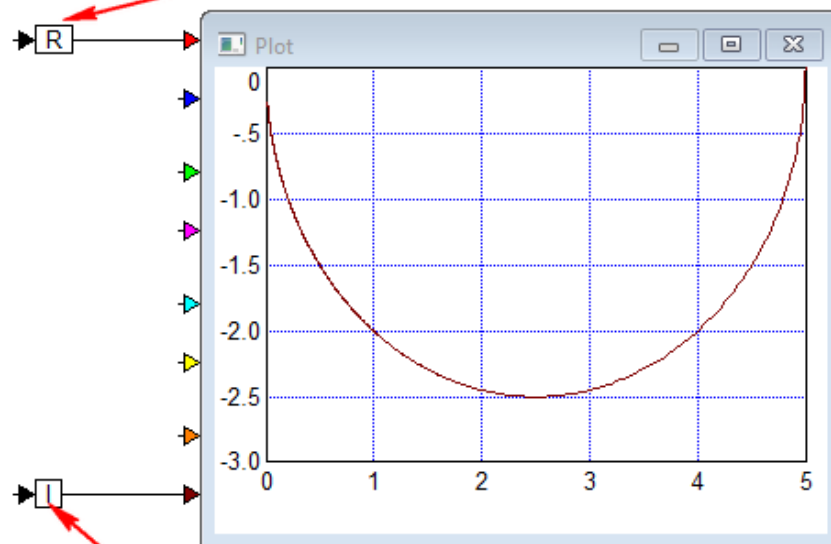


Рис. 8. Результаты моделирования годографа А-звена

Построение ЛАЧХ обеспечивается соответствующими настройками блока Осциллограф *Plot* (рис. 9). Функциональная схема подключения осциллографа – та же, что при выводе АЧХ (рис. 6). Результаты моделирования ЛАЧХ А-звена представлены на рис. 10.

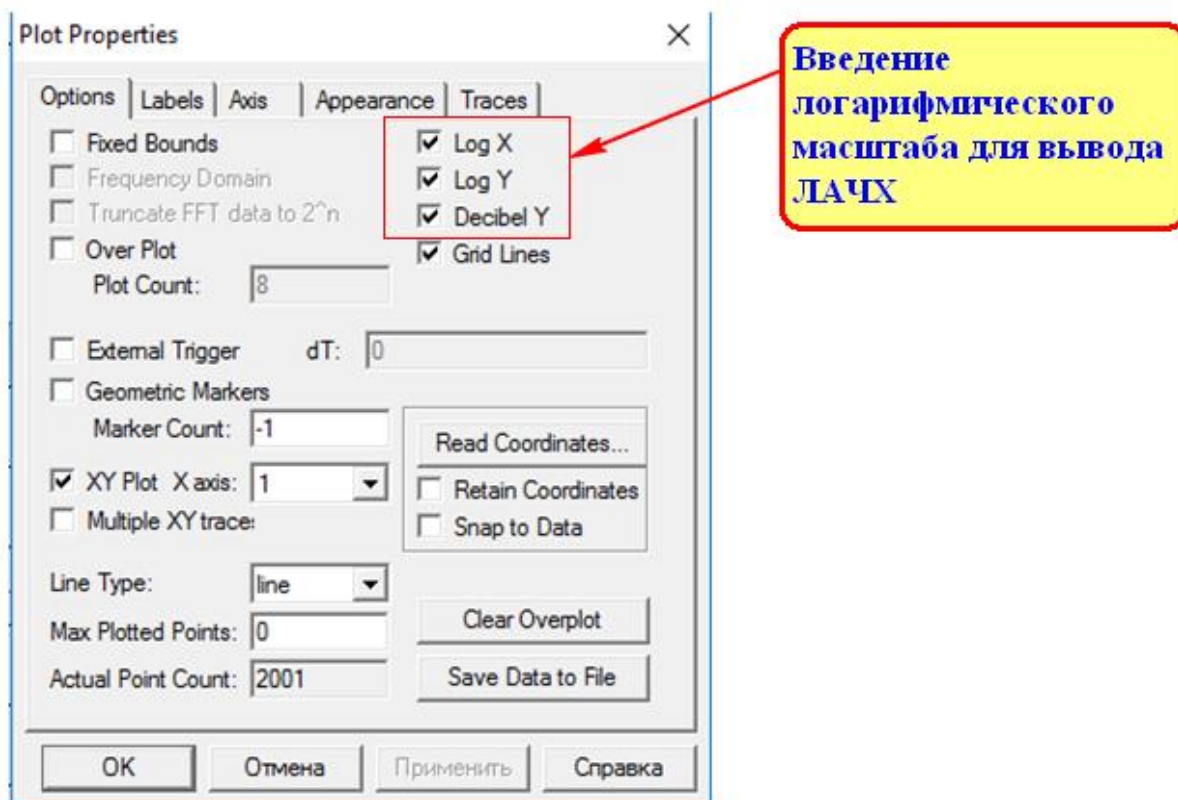


Рис. 9. Настройки осциллографа для вывода ЛАЧХ

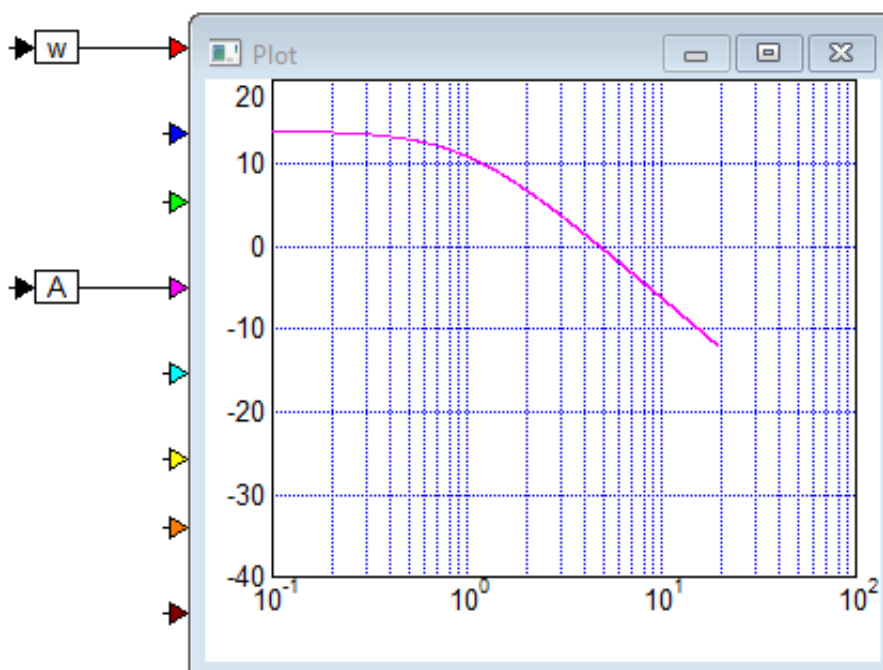


Рис. 10. Моделирование ЛАЧХ А-звена

## П-звено

Для моделирования П-звена используется тот же файл *VisSim*, что и для А-звена, но постоянная времени принимается  $T=0$ . Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ приведены на рис. 11. Для наглядности график выводится маркерами с увеличенным шагом симуляции (0,5 сек) и фиксированным диапазоном. Соответствующие настройки показаны на рис. 12. Годограф – на рис. 13.

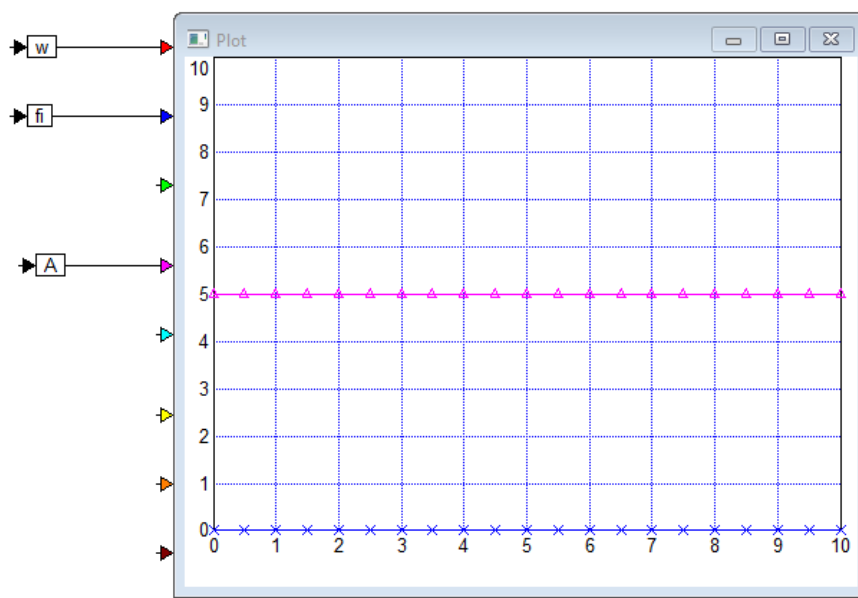


Рис. 11. Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ П-звена

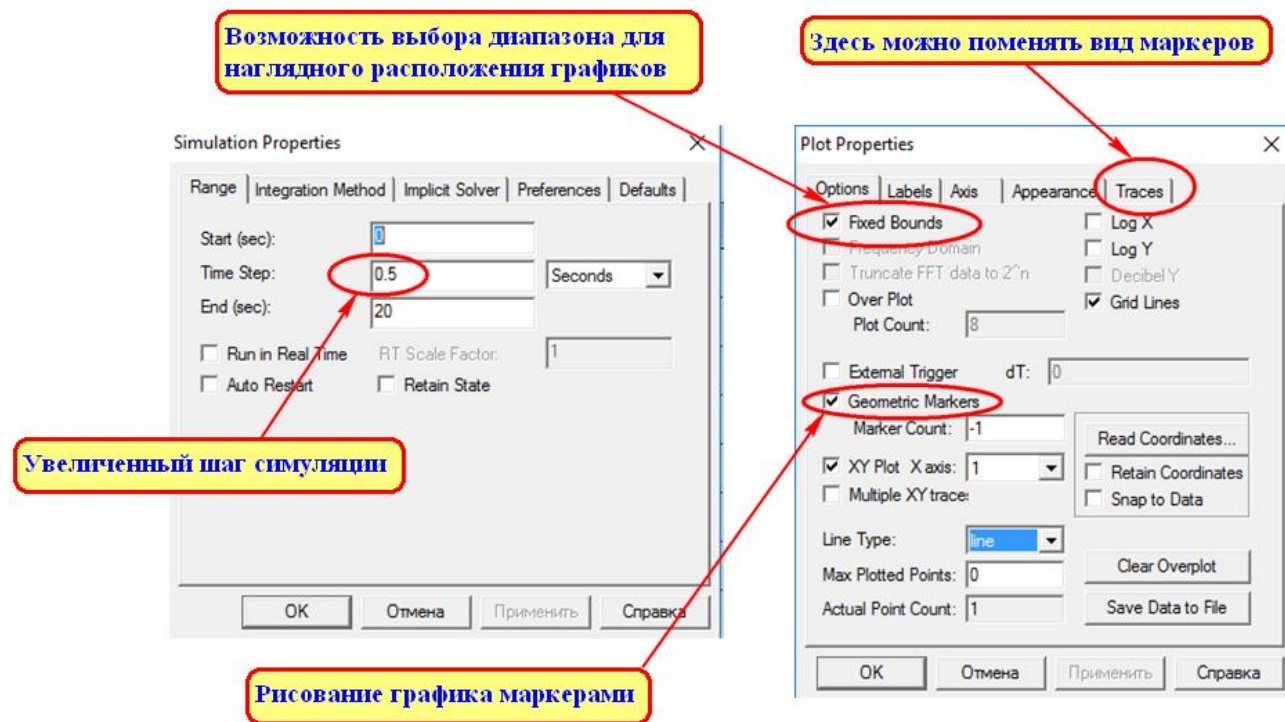


Рис. 12. Настройки для вывода графиков частотных характеристик П-звена



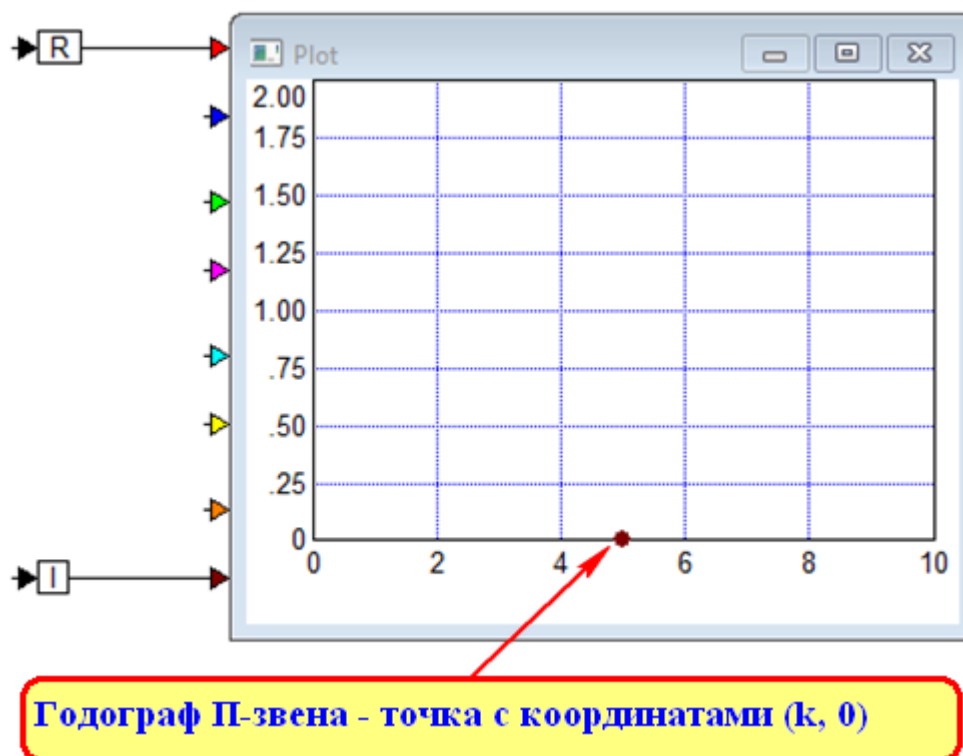


Рис. 13. Результаты моделирования годографа П-звена

### ПИ-звено

Расчетные формулы для действительной и мнимой частотных характеристик

$$R(\omega) = -\frac{k\omega T}{\omega(1 + \omega^2 T^2)}; I(\omega) = -\frac{k}{\omega(1 + \omega^2 T^2)}. \quad (3)$$

Сравнение формул даёт возможность упростить расчёты. Очевидно, что

$$R(\omega) = I(\omega) \cdot \omega T. \quad (4)$$

Функциональные схемы расчетов мнимой и действительной характеристик ПИ-звена приведены на рис. 14 и 15. Результаты моделирования АЧХ, ФЧХ, годографа и ЛАЧХ – на рис. 16- 18.

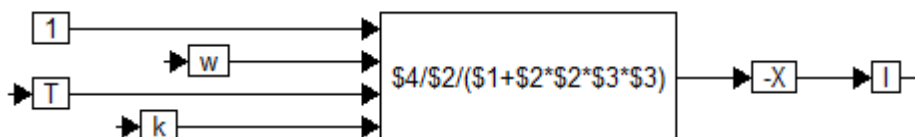


Рис. 14. Функциональная схема расчета мнимой характеристики ПИ-звена

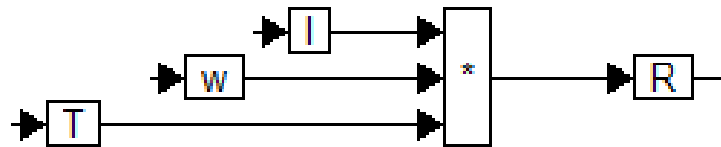


Рис. 15. Функциональная схема расчета действительной характеристики РИ-звена

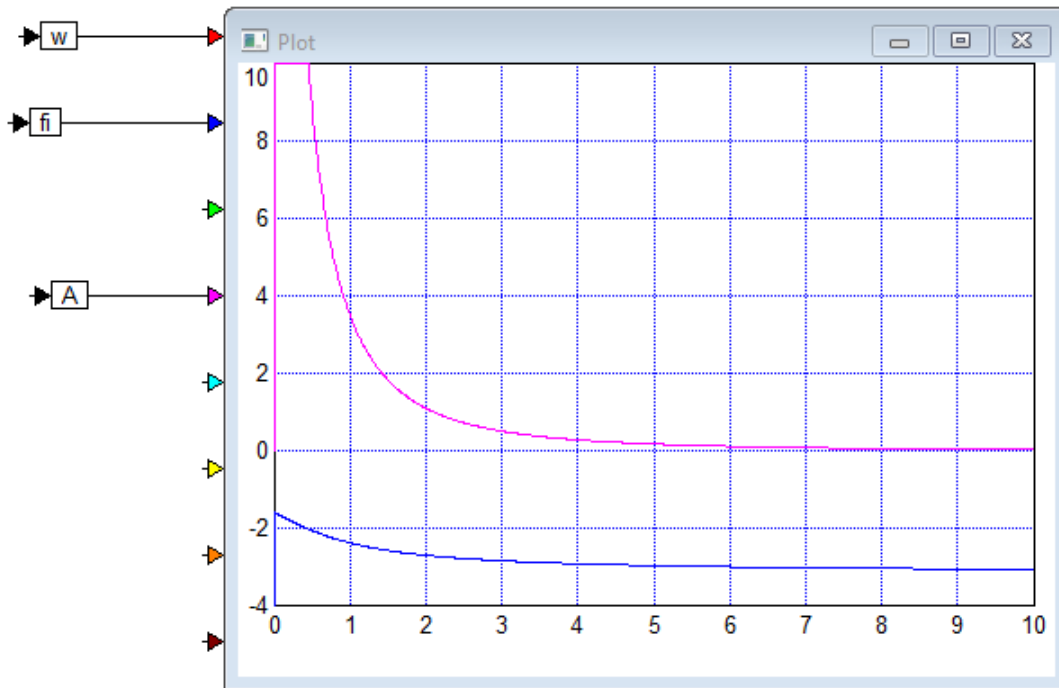


Рис. 16. Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ РИ-звена

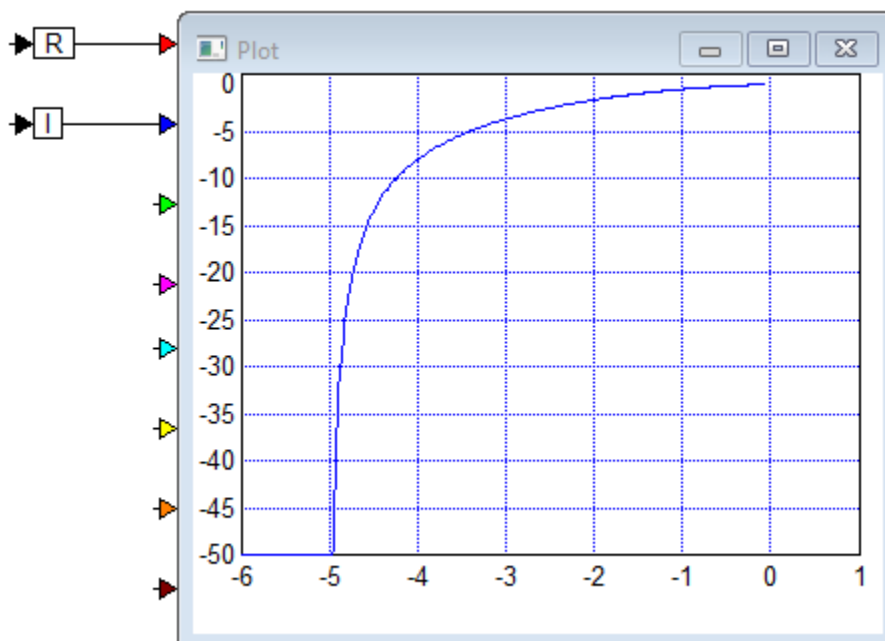


Рис. 17. Результаты моделирования годографа РИ-звена

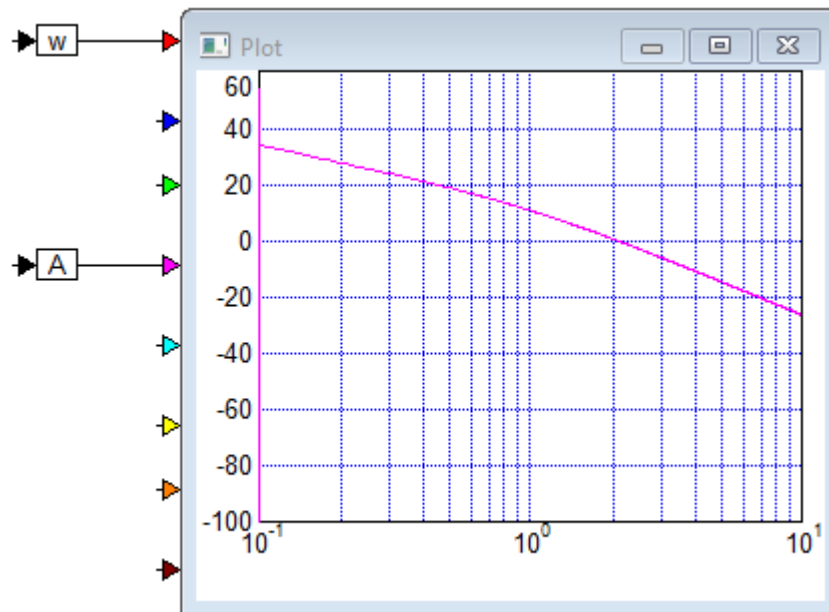


Рис. 18. Результаты моделирования ЛАЧХ РИ-звена

### ИИ-звено

Для моделирования частотных характеристик ИИ-звена используется тот же файл *VisSim*, что и для РИ-звена, но постоянная времени принимается  $T=0$ . Результаты моделирования показаны на рис. 19- 21.

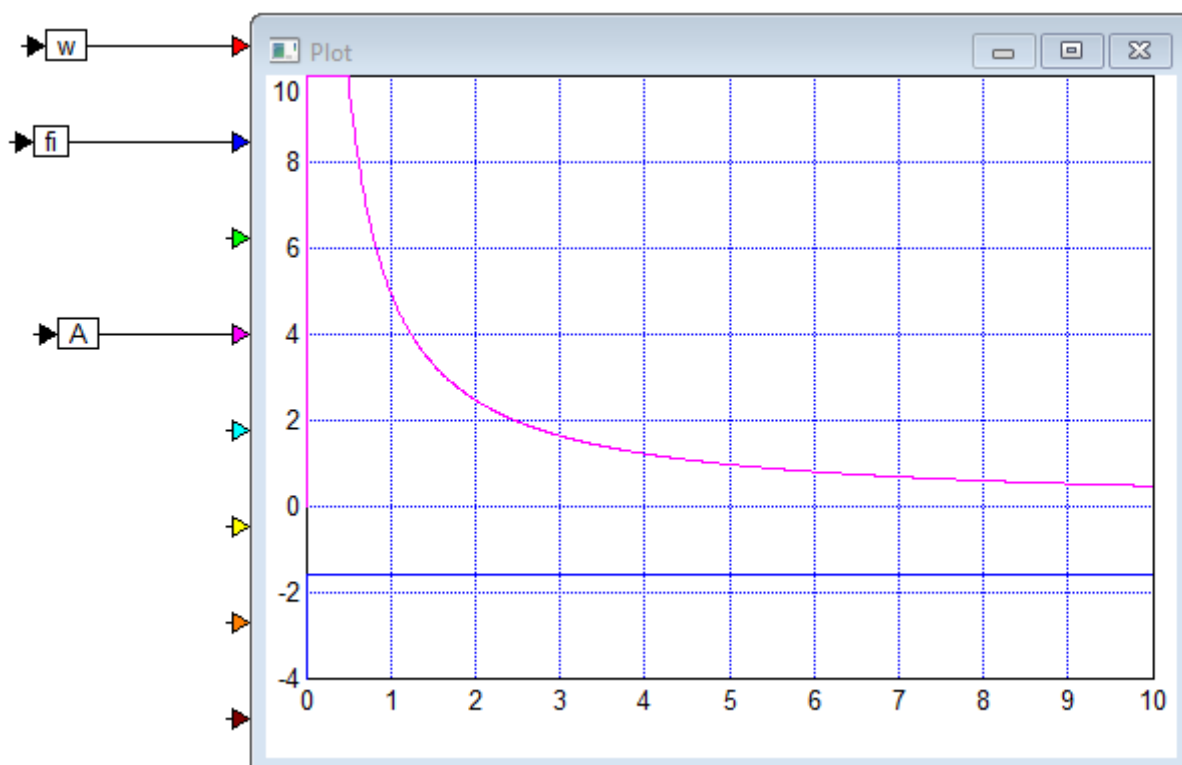


Рис. 19. Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ ИИ-звена

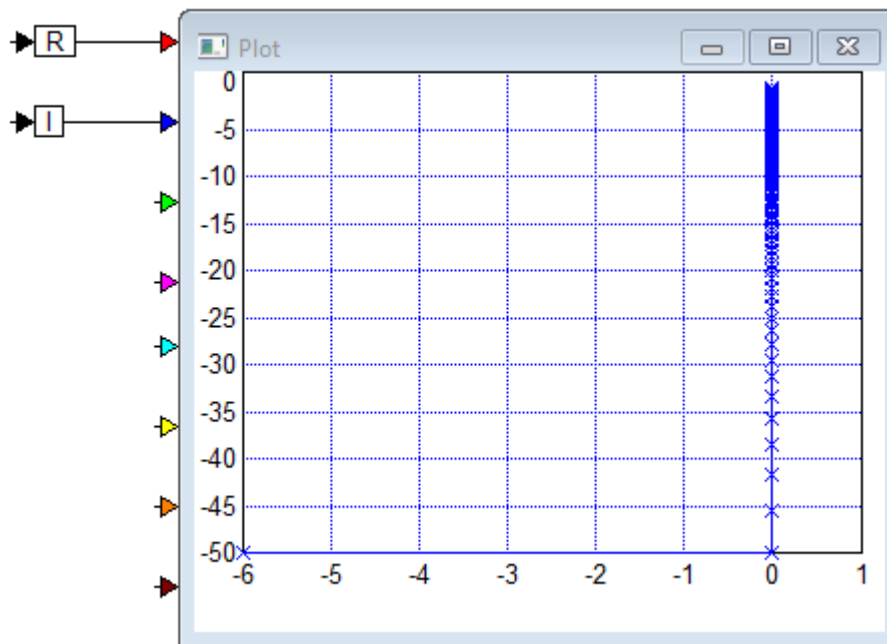


Рис. 20. Результаты моделирования годографа ИИ-звена

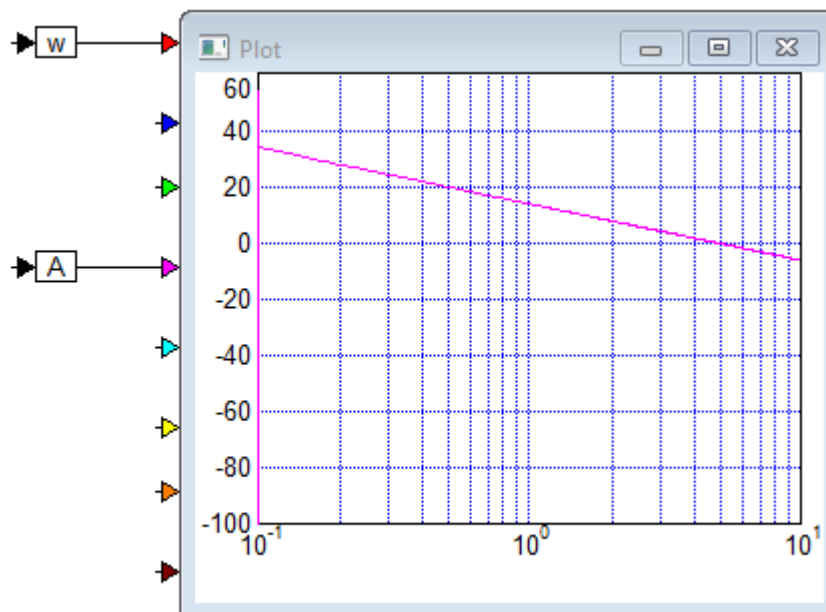


Рис. 21. Результаты моделирования ЛАЧХ ИИ-звена

### РД-звено

Действительная частотная характеристика рассчитывается по формуле

$$R(\omega) = \frac{Tk\omega^2}{1+T^2\omega^2}, \quad (5)$$

а мнимая:

$$I(\omega) = \frac{\omega k}{T^2 \omega^2 + 1} \quad (6)$$

Функциональные схемы для их моделирования приведены на рис. 22 и рис. 23 соответственно. Здесь они реализованы независимо друг от друга, на базе блока Выражение *expression*. Результаты моделирования показаны на рис. 24- 26

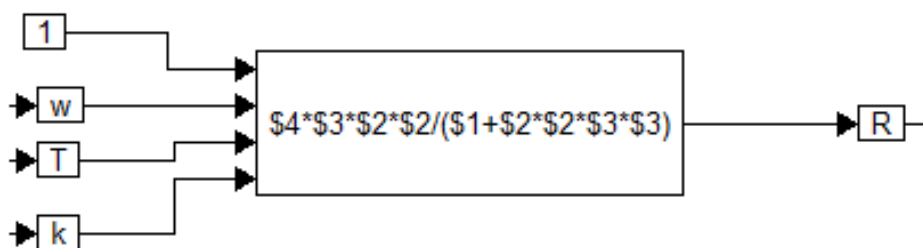


Рис. Функциональная схема моделирования действительной частотной характеристики РД-звена

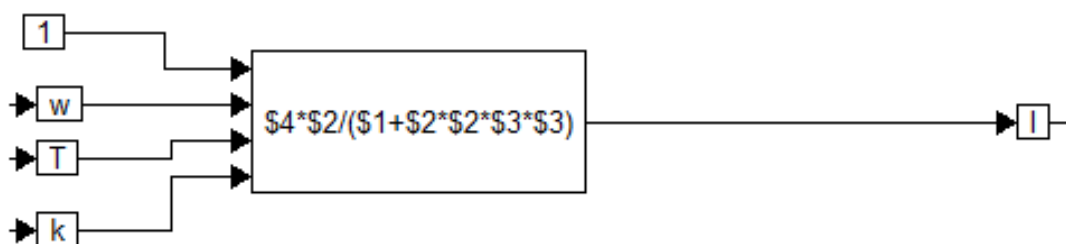


Рис. 23. Функциональная схема моделирования мнимой частотной характеристики РД-звена

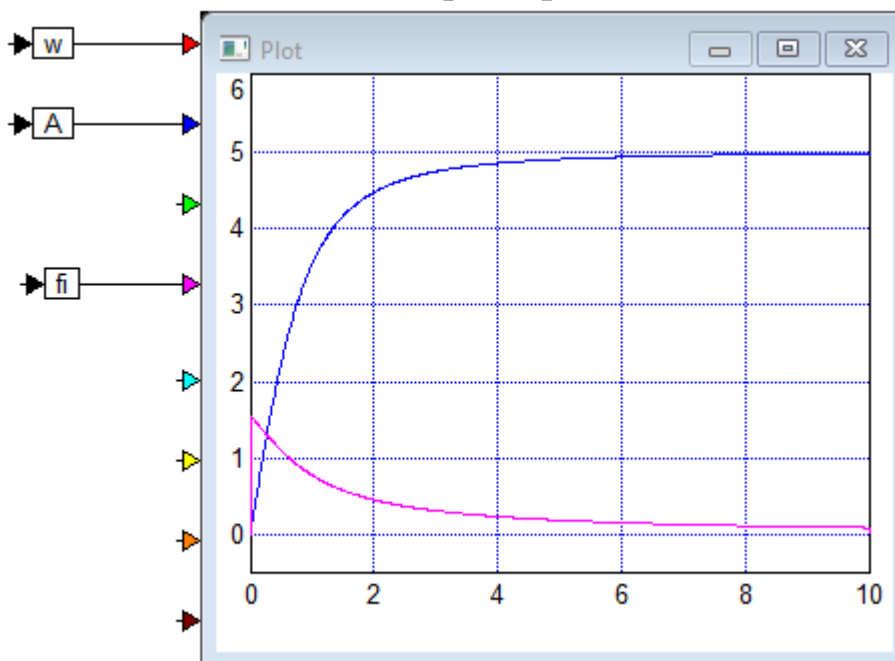


Рис. 24. Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ РД-звена

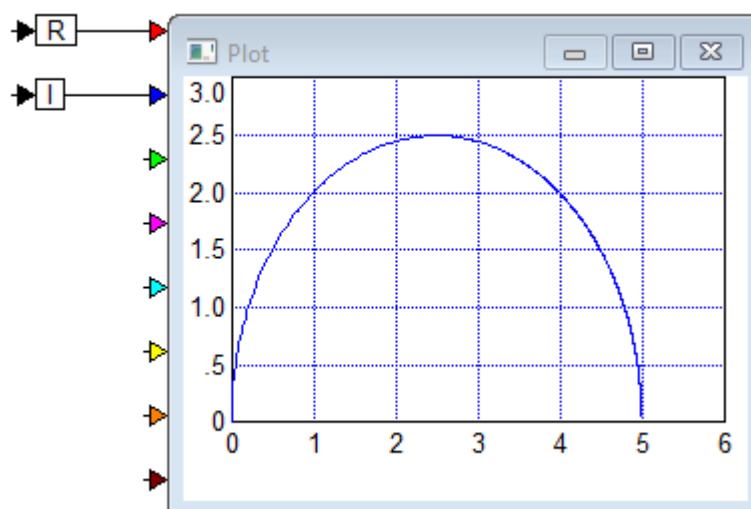


Рис. 25. Результаты моделирования годографа РД-звена

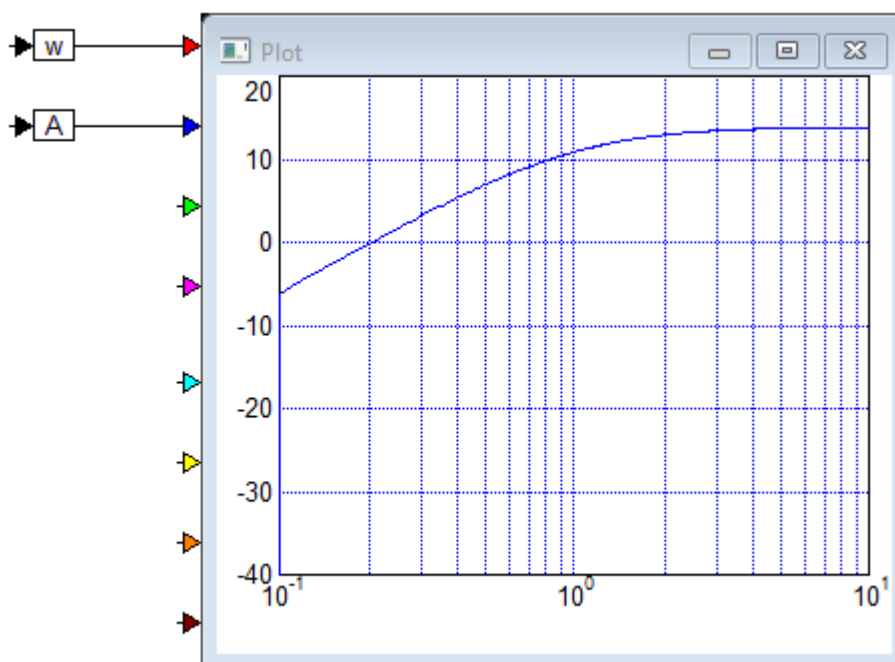


Рис. 26. Результаты моделирования годографа РД-звена

### Звено 2-го порядка

Действительная и мнимая частотные характеристики рассчитываются по формулам:

$$R(\omega) = \frac{k(1 - T_1^2 \omega^2)}{(1 - T_1^2 \omega^2)^2 + T_2^2 \omega^2}; I(\omega) = -\frac{kT_2 \omega}{(1 - T_1^2 \omega^2)^2 + T_2^2 \omega^2}. \quad (7)$$

На рис. 27 приведены схемы их моделирования. Здесь используется вспомогательная переменная *skobka*. Результаты моделирования

для звена 2-го порядка с параметрами  $k=5$ ,  $T_1=1$ ,  $T_2=1$  приведены на рис. 28 – 30.

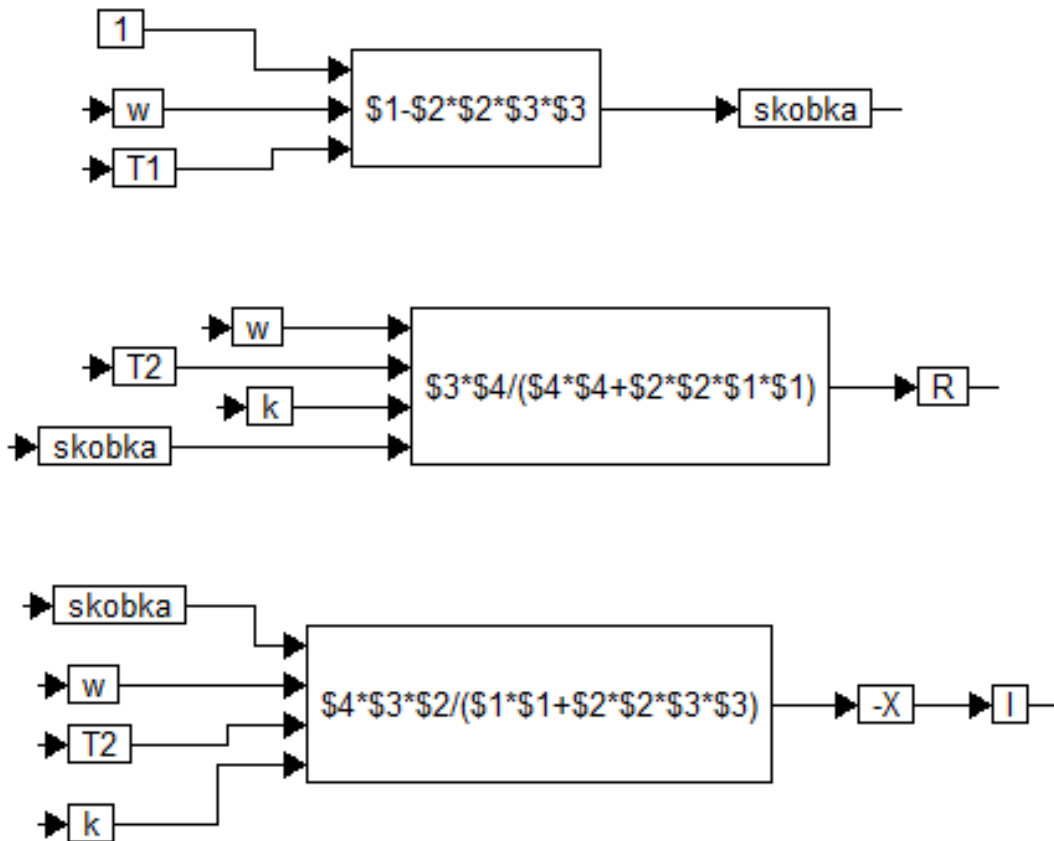


Рис. 27. Схемы моделирования действительной и мнимой характеристик звена 2-го порядка

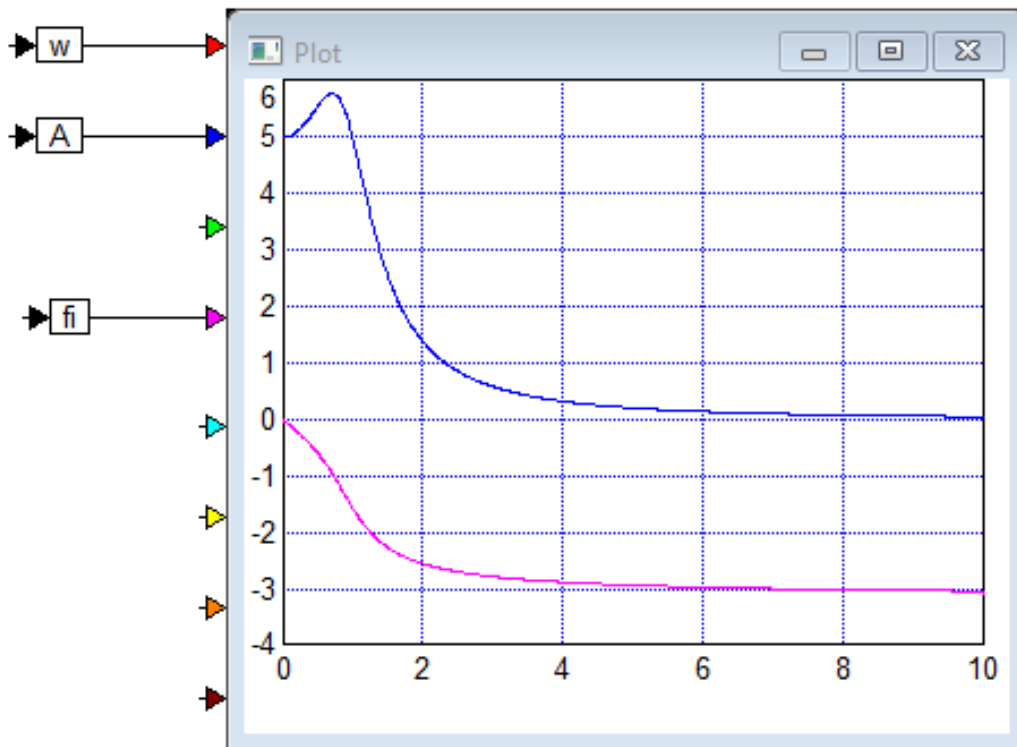


Рис. 28. Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ звена 2-го порядка

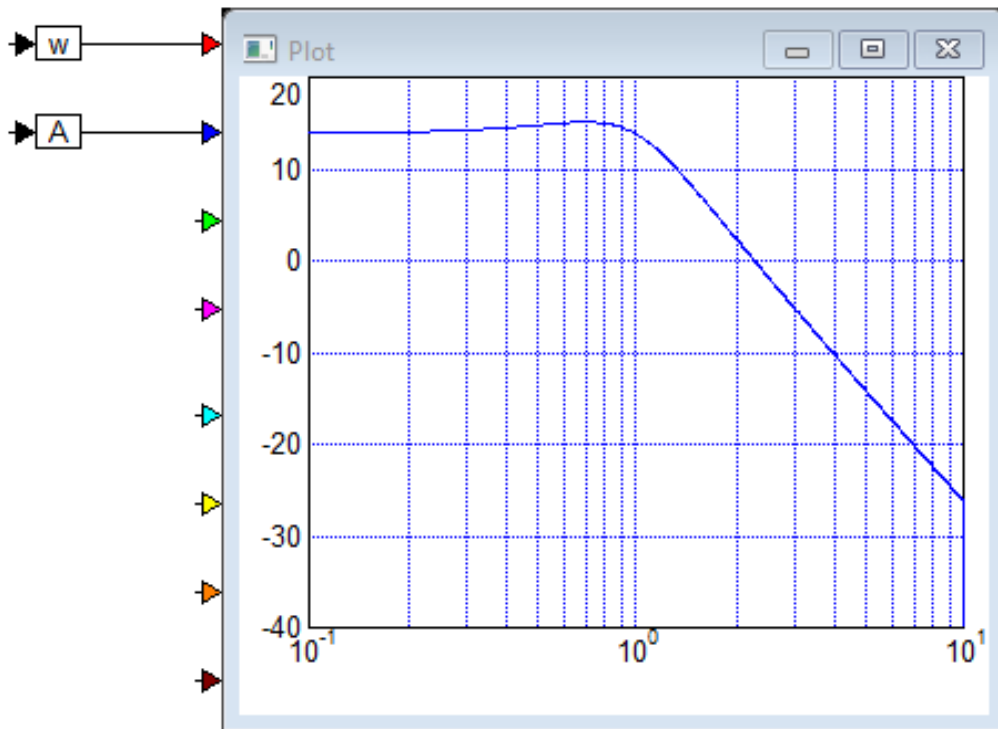


Рис. 29. Результаты моделирования ЛАЧХ звена 2-го порядка

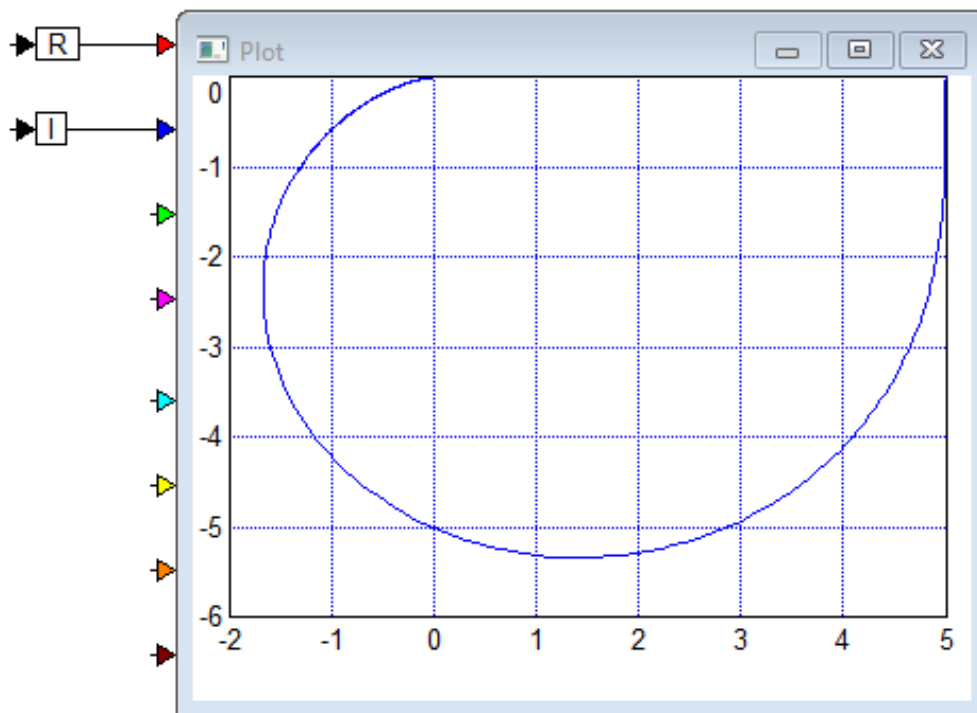


Рис. 30. Результаты моделирования годографа звена 2-го порядка



