

Акционерное общество
«Научно-технический центр Единой энергетической системы»
АО «НТЦ ЕЭС»

AproxIt

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Санкт-Петербург 2017

	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ.....	3
1.1. Основные расчетные выражения	3
1.2. Входные данные.....	4
1.3. Выходные данные	4
2. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ.....	6
2.1. Формирование задания на расчет.....	6
2.2. Вывод считанных из CSV данных	9
2.3. Вывод расчетных значений.....	10
2.4. Вывод расчетных кривых.....	11
2.5. Вывод информации о расчетах.....	12
2.6. Вывод финальной выборки.....	13

ВВЕДЕНИЕ

В Руководстве пользователя приведено краткое описание работы программы *AproxIt*.

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

1.1. Основные расчетные выражения

Итоговая передаточная функция рассчитывается в виде следующего полинома:

$$W(p) = \frac{\sum_{i=0}^l (p^i \cdot GG_i)}{1 + \sum_{i=0}^k (p^i \cdot GG_{i+l})} \quad (1)$$

где p – оператор Лапласа;

GG – совмещенный вектор коэффициентов полиномов числителя и знаменателя;

l – степень полинома числителя;

k – степень полинома знаменателя;

Расчет коэффициентов полиномов числителя и знаменателя выполняется по следующим выражениям (реализованы оба типа выражений VAR_1 , VAR_2 – пользователь может выбрать либо один из двух вариантов, либо сразу оба):

$$ACH_{ii} = AMP_{ii} \cdot e^{jFAZA_{ii}}$$

$$\omega_{ii} = 2\pi \cdot f_{ii}$$

$$ii \in [0; k + l] \quad jj \in [0; k + l]$$

$$A_{ii,jj}^{VAR_1} = \begin{cases} -Re\left((j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj-l} \cdot Re(ACH_{ii-pp}) + (j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj-l} \cdot j \cdot Im(ACH_{ii-p})\right) & \text{при } (jj > l \text{ и } ii \leq l) \\ Re\left((j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj}\right) & \text{при } (jj \leq l \text{ и } ii \leq l) \\ -Im\left((j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj-l} \cdot Re(ACH_{ii-pp+oo}) + (j \cdot \omega_{ii-pp+oo})^{jj-l} \cdot j \cdot Im(ACH_{ii-p})\right) & \text{при } (jj > l \text{ и } ii > l) \\ Im\left((j \cdot \omega_{ii-pp+oo})^{jj}\right) & \text{при } (jj \leq l \text{ и } ii > l) \end{cases} \quad (2)$$

$$OO_{ii}^{VAR_1} = \begin{cases} Re\left(Re(ACH_{ii-pp}) + j \cdot Im(ACH_{ii-pp})\right) & \text{при } ii \leq l \\ Im\left(Re(ACH_{ii-pp+oo}) + j \cdot Im(ACH_{ii-pp+oo})\right) & \text{при } ii > l \end{cases}$$

$$GG^{VAR_1} = OO^{VAR_1} / AA^{VAR_1}$$

$$A_{ii,jj}^{VAR_2} = \begin{cases} -Im\left((j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj-l} \cdot Re(ACH_{ii-pp}) + (j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj-l} \cdot j \cdot Im(ACH_{ii-p})\right) & \text{при } (jj > l \text{ и } ii \leq l) \\ Im\left((j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj}\right) & \text{при } (jj \leq l \text{ и } ii \leq l) \\ -Re\left((j \cdot \omega_{ii-pp})^{jj-l} \cdot Re(ACH_{ii-pp+oo}) + (j \cdot \omega_{ii-pp+oo})^{jj-l} \cdot j \cdot Im(ACH_{ii-p})\right) & \text{при } (jj > l \text{ и } ii > l) \\ Re\left((j \cdot \omega_{ii-pp+oo})^{jj}\right) & \text{при } (jj \leq l \text{ и } ii > l) \end{cases} \quad (3)$$

$$OO_{ii}^{VAR_2} = \begin{cases} Im\left(Re(ACH_{ii-pp}) + j \cdot Im(ACH_{ii-pp})\right) & \text{при } ii \leq l \\ Re\left(Re(ACH_{ii-pp+oo}) + j \cdot Im(ACH_{ii-pp+oo})\right) & \text{при } ii > l \end{cases}$$

$$GG^{VAR_2} = OO^{VAR_2} / AA^{VAR_2}$$

где AMP – вектор, содержащий значения амплитуд частотного спектра рассматриваемого процесса или частотных характеристик рассматриваемой неизвестной передаточной функции (в том числе – режимной частотной характеристики) для значений частоты (Гц) f ;

$FAZA$ – аналогично, вектор значений фазы (рад.);

j – мнимая единица.

oo – параметр, определяющий выбор точек для расчета (при задании значений параметра oo должны выполняться следующие условия $(l + k) \cdot pp + oo < rows(AMP)$, $(l + 1) \cdot pp + oo \geq 0$);

pp – параметр, характеризующий используемое прореживание входных векторов.

При выполнении расчетов в качестве варьируемых можно задавать следующие параметры:

- максимальную степень полинома числителя;
- максимальную степень полинома знаменателя;
- параметр прореживания исходных данных;
- параметр, определяющий выбор точек для расчета.

1.2. Входные данные

Для импорта входной таблицы частотной характеристики должен использоваться формат файлов *CSV*, в котором отдельными столбцами заданы следующие параметры частотной характеристики (отклика):

- частота разложения (в Гц или рад/с);
- пара столбцов:
 - амплитуда частотной характеристики;
 - фаза частотной характеристики (в градусах или рад.);

либо:

- действительная часть комплексного отображения частотной характеристики;
- мнимая часть комплексного отображения частотной характеристики.

Разделитель дробной части может быть либо точкой, либо запятой (пользователь задает используемый тип разделителя при импорте файла самостоятельно), разделителем столбцов может быть один из следующих символов «; , <пробел> ».

1.3. Выходные данные

Результат работы программы – коэффициенты полиномов GG (выражения (2), (3)). Экспорт результатов расчета осуществляется на вкладке «Переменные», параметр «Коэффициенты полинома» кнопкой «Экспорт».

Коэффициенты полинома будут сохранены в текстовый файл «rows.txt» в папке с программой. Первые L членов – коэффициенты полинома числителя, остальные K параметров – коэффициенты полинома знаменателя.

2. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ

2.1. Формирование задания на расчет

Внешний вид программы приведен на рисунке 1.

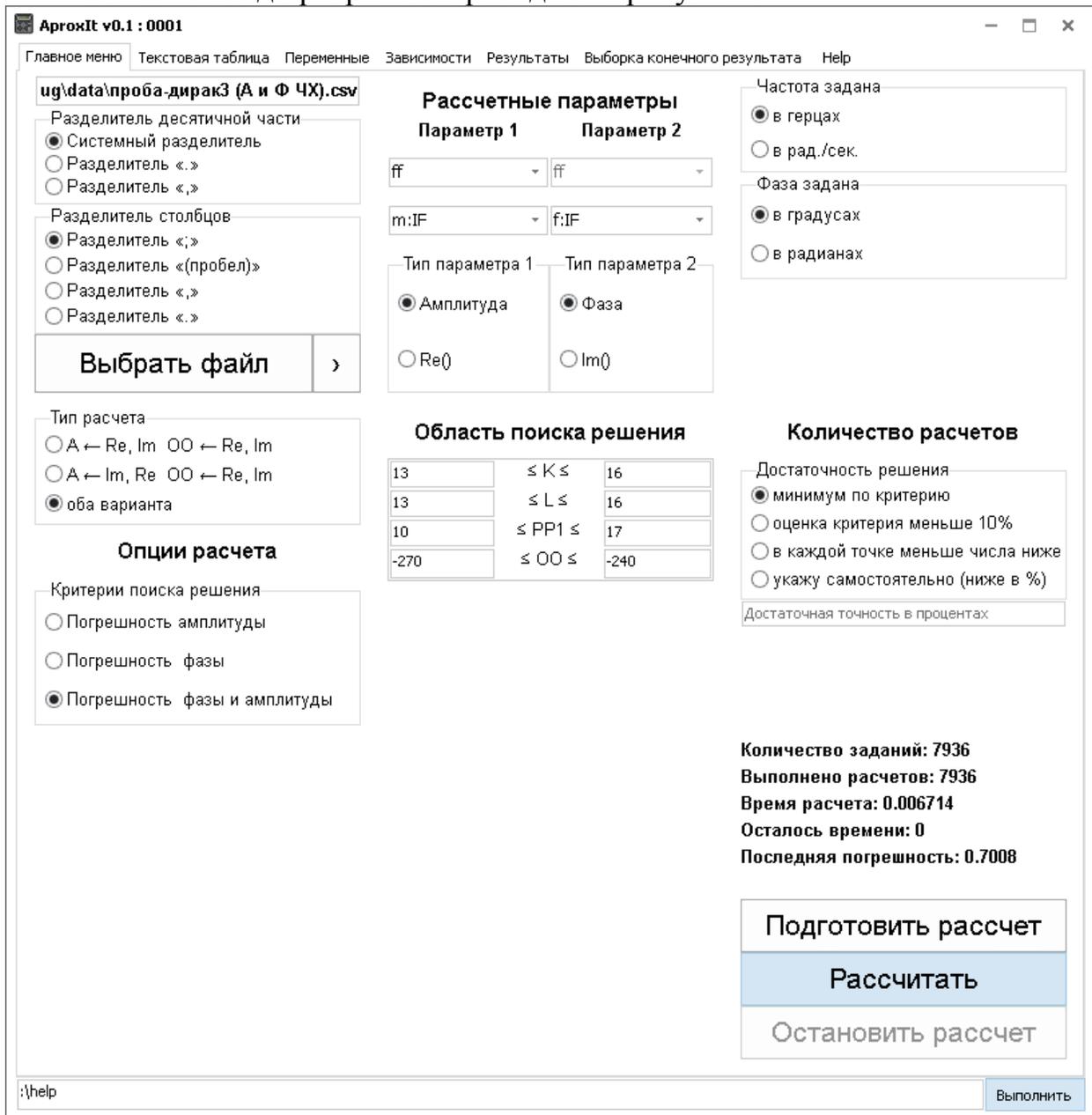


Рисунок 1 – Внешний вид программы

Для определения аппроксимированной частотной характеристики необходимо:

1. Создать файл CSV;
2. Выбрать файл в программе кнопкой «Выбрать файл» (рисунок 9);

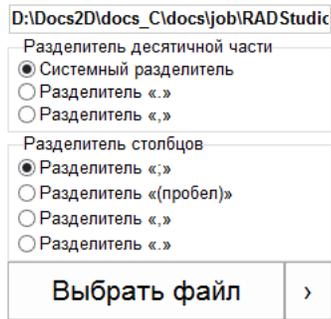


Рисунок 2 – Поле выбора файла и его параметров

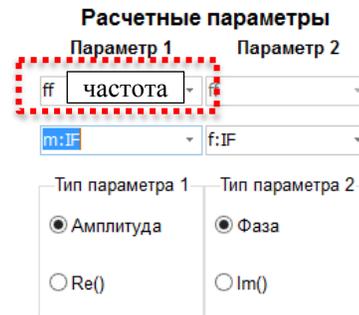


Рисунок 3 – Поле выбора записанных в файл параметров

3. Настроить параметры входного файла (разделители дробной части; разделители столбцов);
4. Нажатие кнопки > загружает данные из файла в память программы;
5. Выбрать в разделе «Расчетные параметры» столбцы файла CSV, соответствующие значениям частоты, амплитуды и фазы (либо вещественной и мнимой составляющих комплексного отображения частотной характеристики). Заголовки столбцов CSV будут выведены в выпадающих списках (рисунок 3);
6. Указать программе типы параметров («Тип параметров 1» и «Тип параметров 2») в файле CSV;
7. Указать программе, в каких единицах в файле заданы частота, фазы (при использовании пары столбцов «Амплитуда-фаза»; рисунок 9);

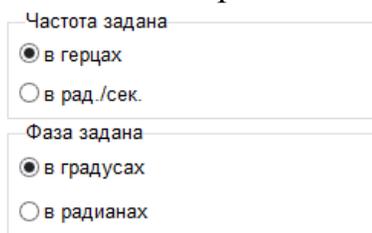


Рисунок 4 – Поле выбора единиц измерения для столбцов файла CSV

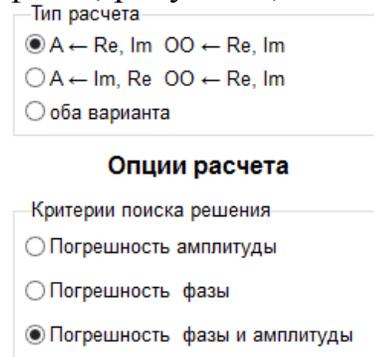


Рисунок 5 – Поле выбора типа расчета и критерия, по которому производится выбор результирующих характеристик

8. Выбрать тип расчета: либо по формуле (2), либо по формуле (3), либо по обоим формулам (рисунок 5, «Тип расчета»);
9. Выбрать критерий, по которому будет оцениваться степень соответствия заданной в файле CSV частотной характеристики результатам решения уравнений (2) и (3);

Реализованные критерии:

$$A_{error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|A_{расчет} - A_{CSV}|}{A_{CSV}} \cdot 100\% \right) - \text{погрешность амплитуды} \quad (4)$$

где i – номер точки частотной характеристики (номер строки файла CSV);

N – число строк в файле CSV (размерность векторов исходных данных);

$A_{расчет}$ – амплитуда полученной при расчете передаточной функции;

A_{CSV} – амплитуда, заданная в файле CSV (либо рассчитанная по значениям вещественной и мнимой составляющих комплексного отображения частотной характеристики).

$$F_{error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|F_{расчет} - F_{CSV}|}{A_{CSV}} \cdot 100\% \right) - \text{погрешность фазы} \quad (5)$$

где i – номер точки частотной характеристики (номер строки файла CSV);

N – число строк в файле CSV (размерность векторов исходных данных);

$F_{расчет}$ – фаза полученной при расчете передаточной функции;

F_{CSV} – фаза, заданная в файле CSV (либо рассчитанная по значениям вещественной и мнимой составляющих комплексного отображения частотной характеристики).

$$AF_{error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|A_{расчет} - A_{CSV}| + |A_{CSV} \cdot (F_{расчет} - F_{CSV})|}{A_{CSV_MAX}} \cdot 100\% \right) \quad (6)$$

– погрешность фазы и амплитуды

где i – номер точки частотной характеристики (номер строки файла CSV);

N – число строк в файле CSV (размерность векторов исходных данных);

$A_{расчет}$ – амплитуда полученной при расчете передаточной функции;

A_{CSV} – амплитуда, заданная в файле CSV (либо рассчитанная по значениям вещественной и мнимой составляющих комплексного отображения частотной характеристики).

$F_{расчет}$ – фаза полученной при расчете передаточной функции;

F_{CSV} – фаза, заданная в файле CSV (либо рассчитанная по значениям вещественной и мнимой составляющих комплексного отображения частотной характеристики).

A_{CSV_MAX} – максимальное значение амплитуды, заданной в файле CSV.

10. Внести область поиска решения – диапазон просматриваемых значений k , l , pp , oo (см. выражения (2), (3));

Количество расчетов

Достаточность решения

минимум по критерию

оценка критерия меньше 10%

в каждой точке меньше числа ниже

укажу самостоятельно (ниже в %)

Достаточная точность в процентах

Количество заданий: 3968
 Выполнено расчетов: 981
 Время расчета: 0.2813
 Осталось времени: 840.2
 Последняя погрешность:

Подготовить расчет

Рассчитать

Остановить расчет

Рисунок 6 – Поле выбора типа выборки

Рисунок 7 – Вывод информации о параметрах расчетов, кнопки управления расчетами

11. Указать критерий, по которому будет осуществлена финальная выборка рассчитанных передаточных функций:

Примечание: задать параметры финальной выборки можно также после выполнения расчетов.

«**Минимум по критерию**» – выбирает передаточную функцию, погрешность расчета которой (амплитуды/фазы/фазы и амплитуды) является минимальной из всех рассмотренных значений параметров k , l , pp , oo ;

«**Оценка критерия меньше 10 %**» – выбираются все передаточные функции, суммарная погрешность которых не превышает 10 %;

«**В каждой точки меньше числа ниже**» – выбираются все передаточные функции, погрешность которых для каждого заданного в файле CSV значения не превышает заданного пользователем значения;

«**Укажу самостоятельно**» – выбираются все передаточные функции, суммарная погрешность которых не превышает введенного пользователем значения.

12. Выполнить подготовку расчета нажатием кнопки «Подготовить расчет».

При подготовке расчета в программе будет выделена память для произведения всех расчетов, подсчитано число предстоящих расчетов (рисунок 7);

13. Запустить процесс расчета нажатием кнопки «Рассчитать». Расчеты будут производиться в фоновом режиме. Информация о текущем расчете примерном времени окончания будет выведено в окне программы (рисунок 7)

2.2. Вывод считанных из CSV данных

В процессе выполнения расчетов в фоновом режиме посредством интерфейса программы доступен вывод информации о одном или нескольких уже произведенных расчетах и их результатах.

Результаты произведенных расчетов выводятся в виде таблиц и/или кривых. Доступна возможность сравнения результатов разных расчетов, сравнения результатов расчетов с исходными данными и т.д.

Форма для вывода импортированных из файла CSV значений приведена ниже:

ff	m3F	f3F	m3P	f3P	mU	fU	mU	fU	mP	fP	mP	fP	mω	fω
0.01631	0.00846	67.473	0.00846	67.473	0.01021	83.7186	0.01021	83.7186	0.00007	161.534	0.00007	161.534	1.48E-07	14.0387
0.03262	0.01622	73.4424	0.01622	73.4424	0.02046	77.3465	0.02046	77.3465	0.00009	154.304	0.00009	154.304	2.08E-07	-24.1399
0.04894	0.02435	73.0285	0.02435	73.0285	0.03071	70.8461	0.03071	70.8461	0.00009	161.287	0.00009	161.287	7.10E-07	-16.5000
0.06526	0.03286	70.6955	0.03286	70.6955	0.04096	64.1364	0.04096	64.1364	0.00004	179.741	0.00004	179.741	0.00011	-26.5211
0.08157	0.04113	67.3775	0.04113	67.3775	0.05110	57.1847	0.05110	57.1847	0.00007	195.536	0.00007	195.536	0.00002	-34.135
0.09788	0.04956	63.3966	0.04956	63.3966	0.06096	49.9487	0.06096	49.9487	0.00125	201.875	0.00125	201.875	0.00002	-40.5995
0.1142	0.05786	58.9106	0.05786	58.9106	0.07035	42.443	0.07035	42.443	0.00201	201.84	0.00201	201.84	0.00009	-48.4444
0.13051	0.06572	54.0331	0.06572	54.0331	0.07891	34.7025	0.07891	34.7025	0.00305	190.471	0.00305	190.471	0.00009	-55.9603
0.14682	0.07286	48.885	0.07286	48.885	0.08634	26.8125	0.08634	26.8125	0.00431	193.406	0.00431	193.406	0.00005	-63.8894
0.16314	0.07906	43.6035	0.07906	43.6035	0.09235	18.8807	0.09235	18.8807	0.00584	187.374	0.00584	187.374	0.00007	-72.17
0.17946	0.08412	38.3407	0.08412	38.3407	0.09672	11.049	0.09672	11.049	0.00754	180.891	0.00754	180.891	0.00006	-79.977
0.19577	0.08792	33.2416	0.08792	33.2416	0.09947	3.44524	0.09947	3.44524	0.00905	174.271	0.00905	174.271	0.00009	-87.5300
0.21208	0.09046	28.4275	0.09046	28.4275	0.10061	-3.81006	0.10061	-3.81006	0.01132	167.78	0.01132	167.78	0.00106	-95.0611
0.2284	0.09194	23.9906	0.09194	23.9906	0.10044	-10.631	0.10044	-10.631	0.01305	161.536	0.01305	161.536	0.00117	-101.91
0.24471	0.09245	19.9828	0.09245	19.9828	0.09918	-16.977	0.09918	-16.977	0.01526	155.645	0.01526	155.645	0.00128	-108.259
0.26102	0.09232	16.4222	0.09232	16.4222	0.09705	-22.8209	0.09705	-22.8209	0.01726	150.16	0.01726	150.16	0.00131	-114.26
0.27734	0.09164	13.302	0.09164	13.302	0.09445	-28.185	0.09445	-28.185	0.01924	145.077	0.01924	145.077	0.00135	-119.74
0.29365	0.09065	10.5966	0.09065	10.5966	0.09135	-33.0869	0.09135	-33.0869	0.02120	140.392	0.02120	140.392	0.00144	-124.79
0.30997	0.08934	8.27511	0.08934	8.27511	0.08815	-37.569	0.08815	-37.569	0.02316	136.072	0.02316	136.072	0.00148	-129.36
0.32628	0.08797	6.2972	0.08797	6.2972	0.08491	-41.670	0.08491	-41.670	0.02511	132.091	0.02511	132.091	0.00151	-133.62
0.3426	0.08652	4.62697	0.08652	4.62697	0.08165	-45.431	0.08165	-45.431	0.02711	128.402	0.02711	128.402	0.00157	-137.58
0.35891	0.08511	3.22794	0.08511	3.22794	0.07842	-48.891	0.07842	-48.891	0.02914	124.976	0.02914	124.976	0.00164	-141.13

Рисунок 8 – Таблица исходных данных из CSV

2.3. Вывод расчетных значений

Форма вывода расчетных значений приведена ниже.

0
12 0.0883292477607688
13 0.0896980778207894
14 0.090491541812894
15 0.0908171357954063
16 0.0907742062827198
17 0.0904509891178857
18 0.0899236891736647
19 0.089257034898177
20 0.088506074158261
21 0.0877182654816962
22 0.086926666496806
23 0.0862038249412282
24 0.0855673909126952
25 0.0850069650305636
26 0.0844839069807065
27 0.0840888155957718
28 0.08380947831971721
29 0.0846245188239738
30 0.082584285065813
31 0.0800910101533053
32 0.0782950264989821
33 0.0771525941818048

Рисунок 9 – Вывод параметров расчетов

В качестве выводных данных могут использоваться векторы:

- Частота – исходные значения, приведенные в файле CSV, в рад./с;

- Re – значения исходных данных файла *CSV* (либо расчетные, в случае если в качестве исходных данных использовались амплитуда и фаза);
- Im – аналогично, мнимая часть;
- АЧХ – расчетные значения амплитудно-частотной характеристики (либо спектра) для передаточной функции расчета (в примере на рисунке – Расчеты № 3906);
- ФЧХ – аналогично для фазочастотной характеристики;
- Матрица – вывод матрицы A выражение (2);
- Правая часть уравнений – вывод вектора OO выражение (2);
- Коэффициенты полинома – значения вектора GG (3);
- АЧХ-исх – АЧХ исходных данных из файла *CSV* (либо рассчитанные по ним);
- ФЧХ-исх – аналогично, ФЧХ.

2.4. Вывод расчетных кривых

Зависимости могут быть построены на вкладке «Зависимости».

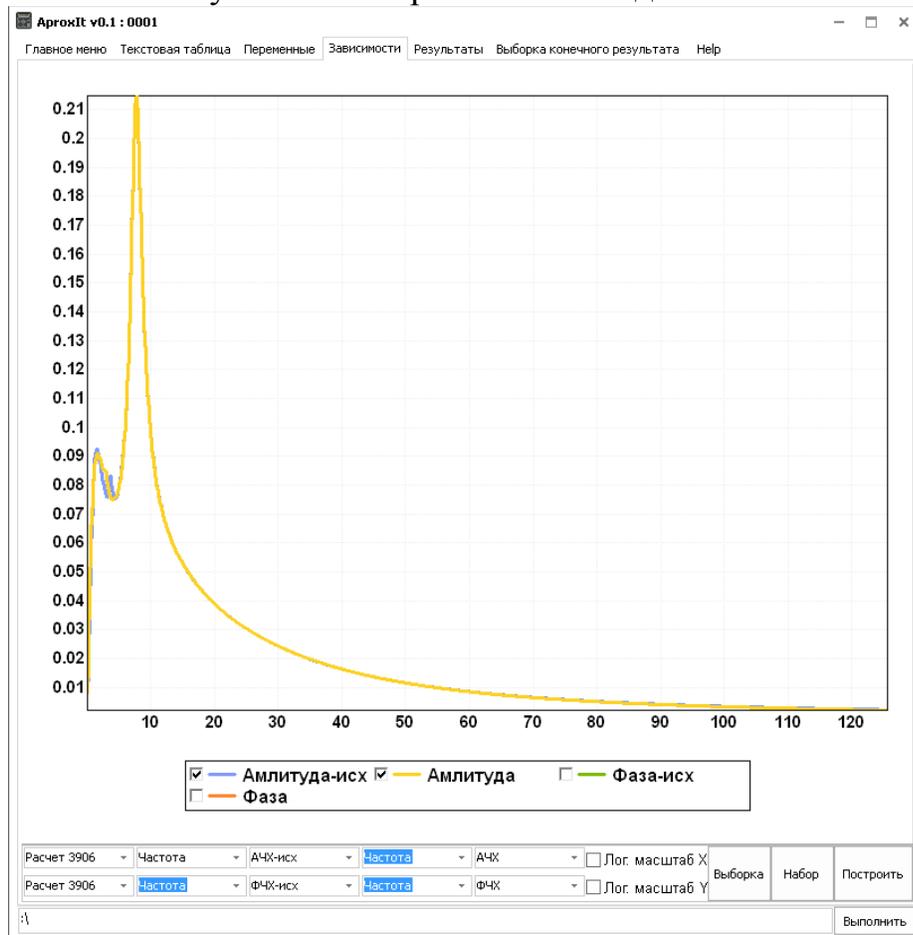


Рисунок 10 – Вкладка зависимости

Могут быть выведены следующие параметры для двух любых расчетов:

- частота;

- Re (для расчетной частотной характеристики);
- Im (для расчетной частотной характеристики);
- АЧХ;
- ФЧХ;
- АЧХ-исх;
- Погрешность А – погрешность амплитуды в каждой точке;
- Погрешность F – погрешность фазы в каждой точке;
- Погрешность AF – погрешность фазы и амплитуды.

Кнопка «Выборка» выбирает результаты расчетов, выбранные программой по заданному пользователем критерию.

Кнопка «Набор» – позволяет быстро переключаться между предустановленными наборами кривых для сравнения.

2.5. Вывод информации о расчетах

При выполнении каждого расчета формируются следующие параметры:

- Номер расчета;
- Величина суммарной погрешности по амплитуде;
- Величина суммарной погрешности по фазе;
- Величина суммарной погрешности по фазе и амплитуде;
- Значение K;
- Значение L;
- Значение PP1;
- Значение OO;
- Максимальное значение погрешности по амплитуде для всех частот;
- Максимальное значение погрешности по фазе для всех частот;
- Максимальное значение погрешности по фазе и амплитуде для всех частот;

Номер расчета	Погрешность A	Погрешность F	Погрешность AF	K	L	PP1	OO
Расчет 464	10.47	15.98	0.1788	13	14	16	-240
Расчет 482	15.71	24.74	0.3174	13	14	17	-253
Расчет 491	0.153	43.13	0.0004876	13	14	17	-244
Расчет 492	0.003005	23.17	7.392E-0005	13	14	17	-243
Расчет 493	0.1817	6.294	0.00144	13	14	17	-242
Расчет 494	0.01364	1.734	0.001254	13	14	17	-241
Расчет 495	0.04499	9.986	0.000704	13	14	17	-240
Расчет 706	2.25	0.7332	0.006142	13	15	16	-246
Расчет 713	14.35	20.15	0.2237	13	15	17	-270
Расчет 714	2.244	46.49	0.0009307	13	15	17	-269
Расчет 722	13.81	46.83	0.04923	13	15	17	-261
Расчет 723	0.7894	26.34	0.005192	13	15	17	-260
Расчет 724	0.09464	8.017	0.002944	13	15	17	-259
Расчет 725	3.809	4.161	0.02424	13	15	17	-258
Расчет 726	1.83	6.679	0.01239	13	15	17	-257
Расчет 730	0.03521	18.92	0.005117	13	15	17	-253
Расчет 731	7.174	32.82	0.02731	13	15	17	-252
Расчет 735	48.74	2.41	0.1545	13	15	17	-248
Расчет 739	44.77	2.479	0.181	13	15	17	-244
Расчет 743	45.75	16.55	0.2774	13	15	17	-240
Расчет 928	24.28	10.01	0.0411	13	16	15	-241

Рисунок 11 – Вкладка «Результаты»

2.6. Вывод финальной выборки

Таблица содержит расчеты, выбранные по заданному пользователем критерию.