

Методические указания к проведению практических занятий

Общие указания

Студенты выполняют практические занятия в соответствии с заданным вариантом задания. К выполнению задания студенты допускаются только после проверки преподавателем их подготовленности. Для проведения практических занятий комплектуется группа из 10-12 человек (по 2 студента на рабочее место).

Рабочее место представляет собой стол, на котором расположен персональный компьютер (ПК). При выполнении занятий должны соблюдаться правила техники безопасности при работе с персональным компьютером. После окончания практических занятий студенты должны выключить все блоки ПК.

Отчет о выполненных работах оформляется в тетради индивидуально каждым студентом в соответствии с шифром. Экспериментальные и расчетные данные следует оформлять в виде таблиц, графиков и распечаток с принтера в соответствии с указаниями, приведенными в описаниях занятий; графики и распечатки должны быть аккуратно вклеены в соответствующие места отчета. Кривые на графиках могут быть вычерчены тушью, карандашом или фломастером. На графиках и распечатках внизу должны быть приведены принятые обозначения и ссылки на таблицы, согласно которым построены кривые. Каждый пункт отчета, помимо таблиц и графиков, должен содержать краткое объяснение полученных результатов с выводом о проделанной работе.

На обложке отчета следует указать название университета и кафедры, год, фамилию, имя, отчество студента, специальность, шифр, УКП и группу, а также название дисциплины, по которой выполнены практические задания.

Студент должен проявить умение работать с программами анализа различных режимов радиоэлектронных устройств, с библиотеками элементов, используемых при анализе, уметь объяснить ход кривых, полученных при расчетах, математическом и имитационном моделировании.

Практическое занятие 1

по теме «Функциональные и структурные схемы импульсных систем»

На рисунке 1 приведена упрощенная структурная схема замкнутой системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

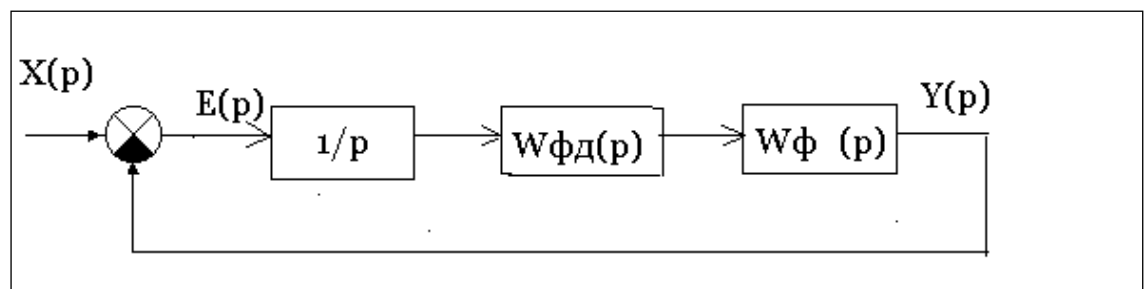


Рис.1. Структурная схема замкнутой системы ФАПЧ

Блок $1/p$ отображает в структурной схеме операцию интегрирования в фазовом детекторе.

Найти передаточные функции и ошибку в системе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), в которой фильтр нижних частот описывается передаточной функцией $W_{\phi}(p)$, а фазовый детектор - $W_{\phi\delta}(p)$. Выражения для передаточных функций звеньев приведены в таблице

Последняя цифра шифра	$W_{\phi}(p)$	$W_{\phi\delta}(p)$
Четная цифра	$W_{\phi}(p)=k_{\phi}(1+pT_2)/(1+pT_1)$	$W_{\phi\delta}(p)=k_{\phi\delta}/(1+pT_{\phi\delta})$
Нечетная цифра	$W_{\phi}(p)=k_{\phi}/(1+pT_1)$	$W_{\phi\delta}(p)=k_{\phi\delta}/(1+pT_{\phi\delta})$

Теоретическая часть занятия

При выполнении занятия следует ознакомиться с основными теоретическими соотношениями работы функциональной схемы системы ФАПЧ, её структурной схемой, описанными в письменных лекциях п.2.2, и сделать необходимые расчёты.

Передаточная функция ошибки замкнутой системы записывается выражением

$$W_e(p)=E(p)/X(p).$$

Из уравнения замыкания системы следует $E(p)=X(p) - Y(p)$. Разделив и умножив правую часть последнего выражения на $X(p)$, получим

$$E(p)=(1 - W_z(p))X(p),$$

где $W_z(p)=Y(p)/X(p)$ – передаточная функция замкнутой системы.

Передаточная функция замкнутой системы РА определяется через передаточную функцию разомкнутой системы выражением

$$W_z(p)=W_p(p)/(1+W_p(p))$$

$W_p(p)=(1/p)*W_{\phi}(p)*W_{\phi\delta}(p)$ – передаточная функция разомкнутой системы.

Расчеты по занятию 1

1. Вычислить передаточную функцию замкнутой системы ФАПЧ, используя вышеприведенные формулы. По передаточной функции замкнутой системы ФАПЧ оценить порядок астатизма системы и её статическую ошибку.

2. Вычислить передаточную функцию ошибки системы при линейно возрастающем сигнале $x(t)=\omega=at$. Определить ошибку в установившемся режиме на основании теоремы преобразования Лапласа о конечном значении функции, которая равна

$$e=\lim_{t \rightarrow \infty} e(t)=\lim_{p \rightarrow 0} pE(p).$$

Последнее выражение определяет динамическую ошибку системы ФАПЧ. Учитывая, что преобразование Лапласа сигнала $x(t)=\omega=at$ равно $X(p)=(\omega/p^2)$ ошибка e равна

$$e=\lim_{t \rightarrow \infty} pE(p)=\lim_{p \rightarrow 0} pW_e(p)*(\omega/p^2).$$

3. Сделать вывод по полученным расчетным данным.

Практическое занятие 2

по теме «Анализ устойчивости импульсных систем»

Определить условия устойчивости системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), используя критерий устойчивости Гурвица. Структурная схема системы ФАПЧ приведена на рисунке практического занятия 1.

В таблице приведены значения коэффициентов усиления и постоянных времени звеньев системы ФАПЧ в зависимости от последней цифры шифра a , и предпоследней цифры b .

k_1	k_2	$T_{\phi}, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$T_3, \text{с}$
$24 \cdot (a+1)$	$1+b$	$2, a \cdot 10^{-2}$	$3, 6 \cdot 10^{-3}$	$1, a \cdot 10^{-4}$

Используя эти данные, произвести необходимые расчеты и сделать вывод об устойчивости системы ФАПЧ.

Теоретическая часть занятия

При решении задачи следует ознакомиться с основными теоретическими соотношениями работы функциональной схемы системы ФАПЧ, и её структурной схемой, приведенными в письменных лекциях п.2.2.

Запишем передаточные функции фазового детектора ФД и фильтра нижних частот ФНЧ соответственно выражениями:

$$W_{\phi\delta}(p) = k_1 / (1 + pT_1); \quad W_{\phi}(p) = k_2(1 + pT_2) / (1 + pT_3);$$

где k – коэффициенты усиления звеньев;

T – постоянные времени звеньев.

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_p(p) = W_{\phi\delta}(p)W_{\phi}(p) = K(1 + pT_2) / p(1 + pT_1)(1 + pT_3),$$

где $K = k_1 k_2$ – коэффициент усиления системы.

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид

$$W(p) = W_p(p) / (1 + W_p(p))$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы

$$p(1 + pT_1)(1 + pT_3) + K(1 + pT_2) = 0.$$

После преобразований получаем

$$(a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0) = 0,$$

где $a_3 = T_1 T_3$; $a_2 = T_1 + T_2$; $a_1 = 1 + KT_3$; $a_0 = K$.

Составим матрицу Гурвица $\begin{vmatrix} a_2, & a_0, & 0 \\ a_3, & a_1, & 0 \\ 0, & a_2, & a_0 \end{vmatrix}$.

Система РА устойчива, если при $a_3 > 0$ определители Гурвица $\Delta_1 > 0$, $\Delta_2 > 0$, $\Delta_3 > 0$.

Первый определитель $\Delta_1 = a_{n-1} = a_2 = T_1 + T_2 > 0$.

Второй определитель $\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_2, & a_0 \\ a_3, & a_1 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3$.

Третий определитель получаем, раскрыв определитель Δ_3 матрицы Гурвица по последнему столбцу:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_2, & a_0, & 0 \\ a_3, & a_1, & 0 \\ 0, & a_2, & a_0 \end{vmatrix} = a_0 \cdot (-1)^{3+3} \Delta_2 = a_0 \cdot \Delta_2.$$

Так как $a_0=K>0$, то система будет устойчива, если $a_1a_2-a_0a_3>0$.

Подставляя постоянные времени звеньев, получаем следующее неравенство:

$$(1+KT_3)(T_1+T_2)-K T_1 T_3>0.$$

Откуда следует значение для критического коэффициента усиления

$$K<K_{кр} = (T_1+T_2)/T_2 T_3.$$

Моделирование на ПК характеристического уравнения третьего порядка

Математическая модель уравнения, синтезированная в программе MS9 DEMO, представлена на рис. 2.

Для подготовки к выполнению практических занятий следует:

- ознакомиться с принципиальной схемой исследуемой модели;
- после автоматической загрузки системы Windows войти в директорию «MS9 DEMO» и дважды щелкнуть левой клавишей «мыши» по пиктограмме запуска системы.

1. После указанной подготовки выполнить следующее:

- а) войти в меню File и выполнить команду Open, либо щелкнуть соответствующую пиктограмму;
- б) в появившемся окне выбрать файл «DIFUR ФАПЧ» и открыть его (рис. 2);
- в) удостовериться, что коэффициенты передачи блоков интегрирования соответствуют значениям, приведенным на схемном файле.

В ином случае редактировать значения коэффициентов передачи интеграторов..

2. При анализе схемы на рис.2 выбирается режим Transient Analysis (Alt+1) – расчет переходных процессов.

После выбора необходимого режима при отсутствии ошибок в схеме открывается окно задания параметров моделирования, которое необходимо отредактировать в соответствии с заданием (рис.3).

3. Зафиксировать осциллограмму переходного процесса, когда параметры системы РА удовлетворяют условию устойчивости.

4. Изменить коэффициент передачи третьего интегратора X_3 на значение -0.1, и наблюдать осциллограмму переходного процесса.

5. Изменяя в небольших пределах значения -0.1, установить критическое значение, при котором система находится на границе устойчивости.

Micro-Cap 9.0.5.0 Evaluation Version - [G:\DIFUR ФАПЧ.CIR]

Решение дифур вида

$$a_3 U''' + a_2 U'' + a_1 U' + a_0 U = k_1 T_3 z'' + k_1 z'$$

Разрешая относительно старшей производной и интегрируя, получаем:

$$U = (k_1/a_3) \text{in}2z + (k_1/a_3) T_3 \text{inz} - (a_2/a_3) \text{in}U - (a_1/a_3) \text{in}2U - (a_0/a_3) \text{in}3U$$

где in-оператор интегрирования;
in2-оператор двойного интегрирования;
in3-оператор тройного интегрирования.

Значения коэффициентов дифур определяем из данных:
 $K_1 = 48 \text{ В/град}$;
 $K_2 = 5 \text{ град/В}^* \text{с}$; $T_1 = 0.028 \text{ с}$; $T_2 = 0.51 \text{ с}$; $T_3 = 2.3 \text{ с}$.
 При этом $a_0 = K_1 * K_2 = 48 * 5 = 240$; $a_1 = 1 + K_1 * K_2 * T_3 = 553$; $a_2 = T_1 + T_2 = 0.538$; $a_3 = T_1 * T_3 = 0.0644$.

Для рационального использования операторов интегрирования представим выражение для U в виде

$$U = (K_1 * T_3 / a_3) \text{inz} + (K_1 / a_3) \text{in}2z - (a_2 / a_3) \text{in}U - (a_1 / a_3) \text{in}2U - (a_0 / a_3) \text{in}3U$$

Теперь с учетом заданных значений параметров вычислим коэффициенты усиления операторов интегрирования:

X1: $(K_1 * T_3) / a_3 = 1714.29$; X2: $K_1 / a_3 = 1/2.3$; X3: $a_2 / a_3 = -8.35$;
 X4: $553/0.583$; X5: $240/553$.

Полученный переходный процесс при воздействии скачка на входе z в режиме "Transient" следует сравнить с переходным процессом в аналогичном режиме в схеме, которая моделирует передат. функц. W(S) источником "Laplace Sources"-LFVofV(см.ф.OLS ACH LF).

Рис.2. Математическая модель характеристического уравнения третьего порядка

Страница	P	Выражение по оси X	Выражение по оси Y	Масштаб оси X	Масштаб оси Y	>
1	T	$v(z)$		3,0,2	300,-100,20	
1	T	$v(U)$		1,6,0,2	100,-100,20	
2	T	$ac(v(U))$		2,0,0,5	600,-600,100	
3	T	$ac(v(z))$		4,6,0,1	110,0,20	

Рис.3. Окно задания параметров моделирования математической модели характеристического уравнения
Сравним переходный процесс в математической модели с переходным процессом в имитационной модели, полученной в схеме моделирующей передаточную функцию системы ФАПЧ вида

6. Сформулировать вывод по занятию.

Практическое занятие 3

по теме «Анализ процессов в системе при внешних воздействиях»

Определить переходную функцию и импульсную переходную функцию системы РА с заданной передаточной функцией в таблице.

Последняя цифра шифра	Передаточная функция
1,2	$W(p)=p/(1+pT_1)(1+pT_2)$
3,4	$W(p)=(1+pT_2)/(1+pT_1)$
5,6	$W(p)=(1+pT_3)/(1+pT_1)(1+pT_2)$
7,8	$W(p)=p(1+pT_2)/(1+pT_1)(1+pT_3)$
9,0	$W(p)=1/(1+pT)$

Теоретическая часть занятия

Преобразование Лапласа для переходной функции при нулевых начальных условиях определяется по формуле

$$Y(p)=W(p)/p,$$

где $1/p$ – преобразование Лапласа для единичной функции.

Переходная функция вычисляется по формуле обращения

$$h(t)=(1/2\pi j) \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} \frac{e^{pt} W(p)}{p} dp = \sum_{i=1}^n \operatorname{Res} \left. \frac{e^{pt} W(p)}{p} \right|_{p=\lambda_i}$$

где λ_i – полюсы подинтегрального выражения;

n – число полюсов.

Вычет в простом полюсе вычисляется по формуле

$$\operatorname{Res} \left. \frac{W(p) e^{pt}}{p} \right|_{p=\lambda_i} = \lim_{p \rightarrow \lambda_i} (p-\lambda_i) W(p) (e^{pt}/p),$$

а в полюсе кратности k

$$\left. \frac{e^{pt} W(p)}{p} \right|_{p=\lambda_i}^k = (1/(k-1)!) \lim_{p \rightarrow \lambda_i} \left[\frac{d^{k-1}}{dp^{k-1}} \right] [(p-\lambda_i) W(p) (e^{pt}/p)].$$

Расчеты по занятию 3

Рассмотрим пример вычисления переходной функции, когда передаточная функция задана в виде

$$W(p)=1/(1+pT_1)(1+pT_2).$$

В подынтегральном выражении $\left[\frac{W(p)e^{pt}}{p} \right] = e^{pt}/(p(1+pT_1)(1+pT_2))$ данного примера содержится три простых полюса: $p_0=0$, $p_1=-1/T_1$, $p_2=-1/T_2$.

Вычет в полюсе p_0 равен

$$\text{Res} \left[\frac{W(p)e^{pt}}{p} \right]_{p=0} = \lim_{p \rightarrow 0} \left[\frac{e^{pt}}{1+pT_1+pT_2} \right] = 1.$$

Вычет в полюсе p_1 равен

$$\text{Res} \left[\frac{W(p)e^{pt}}{p} \right]_{p=-1/T_1} = \lim_{p \rightarrow -1/T_1} \left[\frac{\left(p + \frac{1}{T_1} \right) e^{pt}}{p(1+pT_2)} \right] = \left[\frac{T_1 \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)}{T_1 - T_2} \right]$$

Вычет в полюсе p_2 равен

$$\text{Res} \left[\frac{W(p)e^{pt}}{p} \right]_{p=-1/T_2} = \lim_{p \rightarrow -1/T_2} \left[\frac{\left(p + \frac{1}{T_2} \right) e^{pt}}{p(1+pT_1)} \right] = \left[\frac{T_2 \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)}{T_1 - T_2} \right]$$

Таким образом, переходная функция равна

$$h(t) = 1 \left[\frac{T_1 \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)}{T_1 - T_2} \right] + \left[\frac{T_2 \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)}{T_1 - T_2} \right]$$

При $t=0$, $h(t)=0$; а при $t=\infty$, $h(t)=1$.

Переходный процесс, возникающий в системе РА при действии единичного импульса $x(t)=\delta(t)$, называют импульсной переходной функцией $w(t)$.

Так как преобразование Лапласа для δ -функции равно единице, то

$$w(t) = (1/2\pi j) \left[\int_{\sigma - j\infty}^{\sigma + j\infty} W(p) e^{pt} dp \right]$$

Вычисление $w(t)$ по вышеприведенной формуле следует проверить, вычислив производную от переходной функции

$$w(t) = \left[\frac{d}{dt} h(t) \right]$$

Сделать вывод по занятию.

Практическое занятие 4 по теме «Импульсные системы САУ»

В таблице даны z – преобразования дискретных функций времени. Выбор z – преобразования дискретной функции проводится по последней цифре шифра.

Получить ряд Лорана делением числителя на знаменатель, и построить исходную импульсную функцию времени в точках $t=nT$ ($n=0, 1, 2, \dots$), где T – период дискретизации.

Последняя цифра шифра	z – преобразования дискретных функций времени	Последняя цифра шифра	z – преобразования дискретных функций времени
1	$F(z)=1,5z/(z-1)^2$	6	$F(z)=0,8z/(z-0,2)(z-1)$
2	$F(z)=1,8z/(z+0,8)(z-1)$	7	$F(z)=1,1z(z+1)/(z-0,7)^3$
3	$F(z)=z(z+1)/(z-1)^3$	8	$F(z)=1,6z/(z+0,6)(z-1)$
4	$F(z)=0,3z/(z-1)^2$	9	$F(z)=0,5z/(z-0,5)(z-1)$
5	$F(z)=1,2z/(z+0,2)(z-1)$	0	$F(z)=0,4z(z+1,3)/(z-1)^3$

Сделать вывод по характеру полученной импульсной функции.

Практическое занятие 5 по теме «Цифровые системы РА»

1. Определить передаточную функцию цифрового корректирующего блока в разомкнутой системе автоматического дальномера РЛС. Дискретная передаточная функция автоматического дальномера с формирующим элементом в разомкнутом состоянии

$$W(z)=kT/(z-1).$$

Передаточная функция аналогового эквивалента корректирующего блока

$$W(p)=1/(1+pT_1)(1+pT_2).$$

2. Представить последовательную структурную схему цифрового корректирующего устройства, используя каноническую форму цифрового фильтра первого порядка.

3. Рассчитать дискретную передаточную функцию автоматического дальномера с цифровым корректирующим блоком для параметров kT , T_1 , выбираемых из таблицы, в соответствии с последней a и предпоследней b цифрами шифра. Значение $T_2=0,1$.

Цифра a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
kT	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9
Цифра b	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T_1	0,20	0,22	0,15	0,14	0,21	0,13	0,18	0,16	0,17	0,19

4. Провести моделирование на ПК цифрового автоматического дальномера с формирующим элементом без цифрового корректирующего устройства, и с цифровым корректирующим устройством. Сделать вывод.

Теоретическая часть занятия

Синтез цифровых систем РА сводится к выбору цифрового корректирующего блока, последовательное включение которого с объектом управления позволяет получить систему с желаемыми характеристиками.

Синтез разомкнутой цифровой системы, импульсная переходная функция которой должна соответствовать импульсной переходной функции заданного аналогового эквивалента, определяется формулой

$$w_{ц}(nT)=w(t) \Big|_{t=nT}.$$

Желаемая передаточная функция системы РА при таком методе определяется как z – преобразование импульсной переходной функции аналогового эквивалента

$$W_{ж}(z)=Z[w_3(t)]$$

Тогда передаточная функция последовательного цифрового корректирующего устройства

$$W_{к}(z)=W_{ж}(z)/W(z),$$

где $W(z)$ – дискретная передаточная функция автоматического дальномера с формирующим элементом.

Расчеты по занятию

Представим передаточную функцию аналогового эквивалента в виде суммы двух простых дробей

$$W(p) = 1/(1+pT_1)(1+pT_2) = A/(1+pT_1) + B/(1+pT_2) = T_1/(T_1-T_2)(1+pT_1) + T_2/(T_2-T_1)(1+pT_2) = 1/(T_1-T_2)(p+1/T_1) + 1/(T_2-T_1)(p+1/T_2).$$

Вычислим импульсную переходную функцию аналогового эквивалента, используя таблицы преобразования Лапласа,

$$L^{-1}\{W(p)\} = e^{-t/T_1}/(T_1-T_2) + e^{-t/T_2}/(T_2-T_1) = w_3(t).$$

Используя таблицы z – преобразования, определим z – преобразование импульсной переходной функции аналогового эквивалента

$$Z[w_3(t)] = z/(T_1-T_2)(z-\exp(-t/T_1)) + z/(T_2-T_1)(z-\exp(-t/T_2)) = W_{\text{эк}}(z).$$

После преобразований получаем

$$W_{\text{эк}}(z) = b_1 z / (z - \exp(-\beta_1))(z - \exp(-\beta_2)),$$

где $b_1 = 1/(T_1-T_2) * (\exp(-\beta_1) - \exp(-\beta_2))$; $\beta_1 = T/T_1$; $\beta_2 = T/T_2$.

Тогда передаточная функция корректирующего блока будет равна

$$W_k(z) = W_{\text{эк}}(z)/W(z) = k_k(z(z-1))/(z-\exp(-\beta_1))(z-\exp(-\beta_2)),$$

где $k_k = b_1/(kT)$ – коэффициент передачи корректирующего блока.

Представим выражение для $W_k(z)$ через отрицательные степени z

$$W_k(z) = [k_k(1-z^{-1})/(1-c(z^{-1}))] * [1/(1-d(z^{-1}))]; \quad (*)$$

где $c = \exp(-\beta_1)$; $d = \exp(-\beta_2)$.

Как следует из выражения (*), последовательную структурную схему цифрового корректирующего устройства можно представить в виде последовательно включенных канонических форм первого порядка. Каноническая форма цифрового фильтра первого порядка приведена на рис.4.

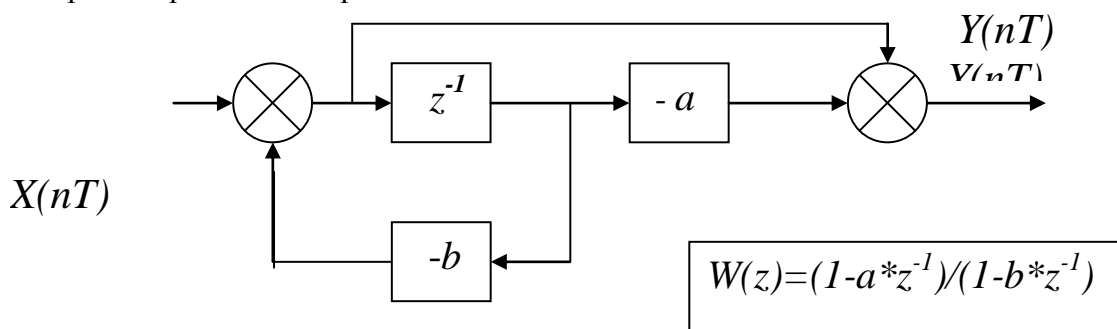


Рис.4. Каноническая форма цифрового фильтра первого порядка

Методика выполнения моделирования

1. Включить ПК. После автоматической загрузки системы Windows войти в директорию MS9 DEMO и дважды щелкнуть левой клавишей «мыши» по пиктограмме запуска системы.

2. После указанной подготовки выполнить следующее:

- а) войти в меню File и выполнить команду Open, либо щелкнуть соответствующую пиктограмму;
- б) в появившемся окне выбрать файл «ИмПеФунк 1» (рис.5), в котором анализируется импульсная переходная функция цифрового автоматического дальномера с формирующим элементом без цифрового корректирующего устройства

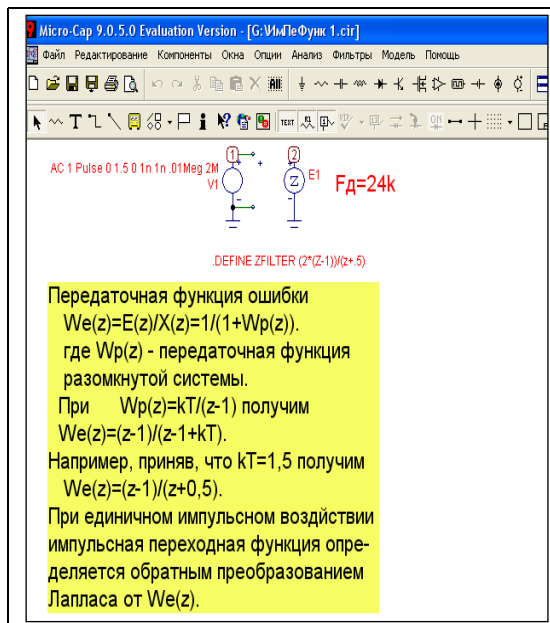


Рис.5.Схемный файл моделирования на ПК цифрового автоматического дальномера без цифрового корректирующего устройства

3. Установить в директиве «.DEFINE ZFILTER (2*(z-1))/(z+{расчетное значение (kT-1)})» (см.табл.1).

4. При анализе схемы на рис.2 выбирается режим Transient Analysis (Alt+1) – расчет переходных процессов.

Затем следует нажать кнопку Run или клавишу F2, при этом система перейдет к расчету характеристик. Результаты анализа импульсной переходной функции выводятся на экран в виде графика, который следует зафиксировать.

5. Закрыть файл «ИмПеФунк 1», и открыть файл «ИмПеФунк 2», в котором анализируется импульсная переходная функция цифрового автоматического дальномера с формирующим элементом с цифровым корректирующим устройством (рис.6).

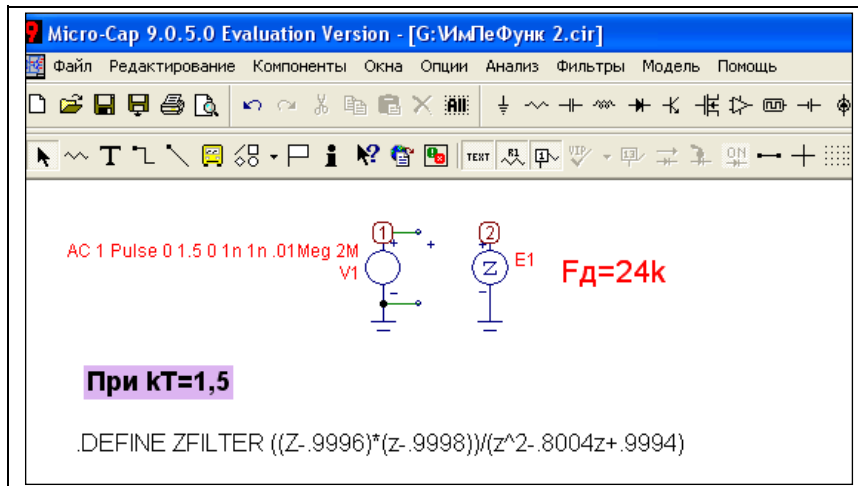


Рис.6. Схемный файл моделирования на ПК цифрового автоматического дальномера с цифровым корректирующим устройством

Результаты анализа импульсной переходной функции выводятся на экран в виде графика, который следует зафиксировать.

6. Сравнить импульсные переходные функции цифрового автоматического дальномера без цифрового корректирующего устройства, полученные по п.3, и цифрового корректирующего устройства, полученные по п.4.

Сделать выводы.

Практическое занятие 6

по теме «Моделирование на ПК работы устройств и блоков цифровых систем РА»

Основные теоретические положения

Принцип цифровой обработки сигналов в системах РА поясняется структурной схемой, приведенной на рис.7.

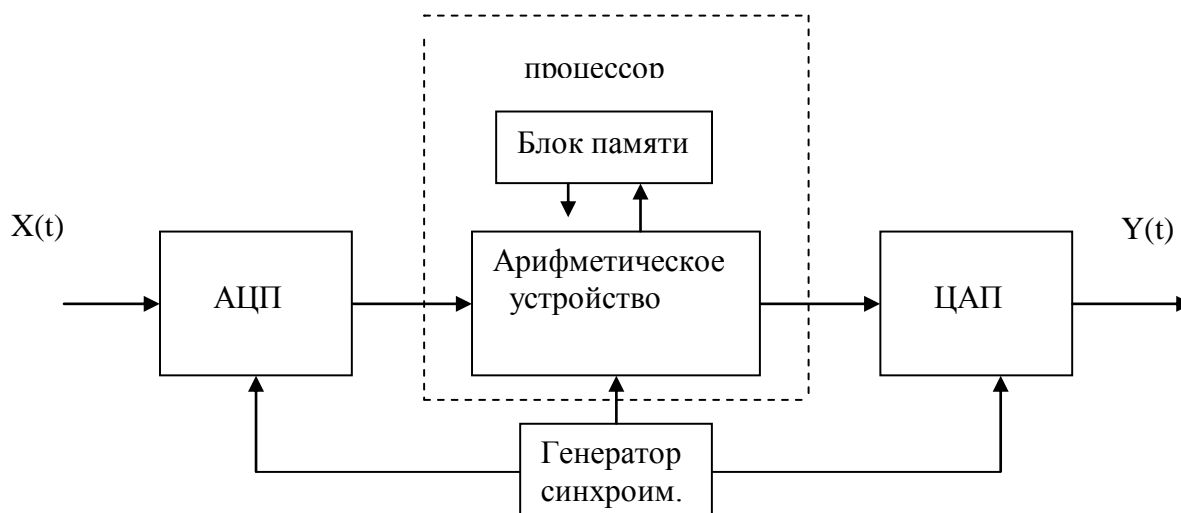


Рис.7. Структурная схема цифровой обработки непрерывных сигналов

Арифметическое устройство и блок памяти составляют цифровой процессор, который преобразует поступающие в него числа с выхода АЦП по заданному алгоритму фильтрации. На выходе процессора создается последовательность чисел, которая представляет собой выходной сигнал. Если дальше необходимо иметь информацию в аналоговой форме, то используется ЦАП. Однако это устройство может и отсутствовать, если выходные сигналы необходимы только в цифровой форме.

Рассмотрим структуру цифрового процессора, который соответствует аналоговой цепи полосового фильтра. В качестве аналоговой цепи рассмотрим параллельный колебательный контур с потерями, полагая, что входным сигналом является ток $i(t)$, а выходным сигналом – напряжение $u(t)$ на контуре (рис.8).

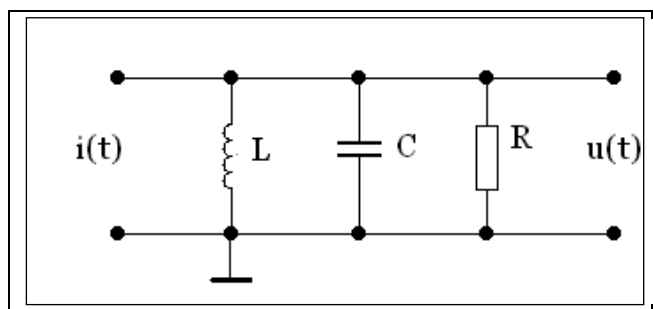


Рис.8. Схема параллельного колебательного контура

Дифференциальное уравнение контура получим, суммируя токи в трех цепях:

$$i_c = C \cdot du/dt; \quad i_L = (1/L) * \int_{-\infty}^t u d\xi; \quad i_g = u/R$$

$$C \cdot du/dt + (1/L) * \int_{-\infty}^t u d\xi + u/R = i$$

Дифференцируя последнее выражение, после преобразований получаем

$$d^2u/dt^2 + 2a \cdot du/dt + \omega_0^2 \cdot u = (1/C) \cdot di/dt,$$

где $a = (1/2RC)$ – коэффициент затухания;

$\omega_0 = (1/\sqrt{LC})$ – частота собственных колебаний в контуре без потерь.

Примем шаг дискретизации Δ и рассмотрим совокупности входных $\{x_k\}$ и выходных $\{y_k\}$ дискретных отсчетов. Заменяя в дифференциальном уравнении производные их конечно-разностными выражениями, получим разностное уравнение

$$(y_n - 2y_{n-1} + y_{n-2})/\Delta^2 + 2a(y_n - y_{n-1})/\Delta + \omega_0^2 y_n = x_n.$$

Теперь учитывая, что $y_{n-1} = z^{-1}y_n$ и $y_{n-2} = z^{-2}y_n$, после преобразований получаем выражение для передаточной функции полосового фильтра

$$W(z) = \Delta^2 z^2 / ((1 + 2a\Delta + \omega_0^2 \Delta^2)z^2 - 2z(1 + a\Delta) + 1)$$

Пример расчета передаточной функции цифрового фильтра

Примем: $f_0 = 2000$ Гц; добротность колебательной системы $Q = 200$;

$L = 10$ мН.

Для настройки на требуемую резонансную частоту f_0 необходимо использовать конденсатор емкостью

$$C = 1 / (4\pi^2 L f_0^2) = 0,63 \mu F.$$

Резонансное сопротивление контура

$$R_p = (\sqrt{L/C})Q = 25 \text{ k}.$$

Коэффициент затухания контура

$$a = 1 / (2RC) = 31,7.$$

Для передачи частоты 2кГц без искажений выбираем начальное значение частоты f_d дискретизации в 10 раз больше частоты f_0 , т.е. $f_d = 20$ кГц.

После подстановки значений $\Delta = 0,5 \cdot 10^{-4}$ с, $a = 31,7$ и $\omega_0 = 2\pi \cdot 2000$ получаем

$$W(z) = 0,25 \cdot 10^{-8} z^2 / (1,397z^2 - 2,003z + 1).$$

Таким образом, в данном практическом занятии изучаются параметры работы трех основных блоков цифровой радиосистемы: АЦП, процессора и ЦАП.

Исходные данные

1. В данном занятии по полученным в среде MS9 DEMO осциллограммам изучаются погрешности преобразования сигналов:

- в АЦП, ЦАП и в паре АЦП-ЦАП;
- в цифровых полосовых фильтрах.

2. Проводится сравнительное моделирование и получение спектрограмм на выходах полосовых аналогового и цифрового фильтров при действии на их входах детерминированных и случайных сигналов.

Исходные данные выбираются по последней *a* и предпоследней *b* цифрам шифра в соответствии с таблицей

<i>a</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$f_0, \text{кГц}$	1,6	1,8	2,0	2,4	0,8	1,0	1,2	2,6	3,0	3,2
Q	220	200	180	150	100	120	230	250	240	210
<i>b</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>L, мН</i>	15	12	10	14	20	16	18	11	8	9

Методика выполнения практического занятия

Для подготовки к выполнению практических занятий следует:

- ознакомиться с принципиальной схемой исследуемого блока;
- после автоматической загрузки системы Windows войти в директорию MS9 DEMO и дважды щелкнуть левой клавишей «мыши» по пиктограмме запуска системы.

1. После указанной подготовки выполнить следующее:

а) войти в меню File и выполнить команду Open, либо щелкнуть соответствующую пиктограмму;

б) в появившемся окне выбрать файл An Dq16 и открыть его (рис.9);

в) в появившемся окне атрибутов компонентов в качестве атрибута PART ввести позиционное обозначение компонента, в качестве атрибута VALUE ввести номинальное значение компонента, а в качестве атрибута MODEL— имя модели, например RMOD – для резистора и CMOD – для емкости; последовательно ввести следующие значения пассивных компонентов:

г) удостовериться, что номиналы резисторов и конденсаторов соответствуют значениям: $R1 = 50$, $R2 = 20$, $R3 = 150$, $C1 = 10p$, $C2 = 100p$, где суффикс *p* означает пикофарада.

В ином случае ввести номинальное значение компонента.

2. Порядок выполнения приведен в схемном файле рис.1, и состоит из 4 пунктов, которые выполняются при выборе вида анализа из главного меню.

3. Выбор вида анализа осуществляется из Analysis главного меню:

Transient Analysis (Alt+1) – расчет переходных процессов;

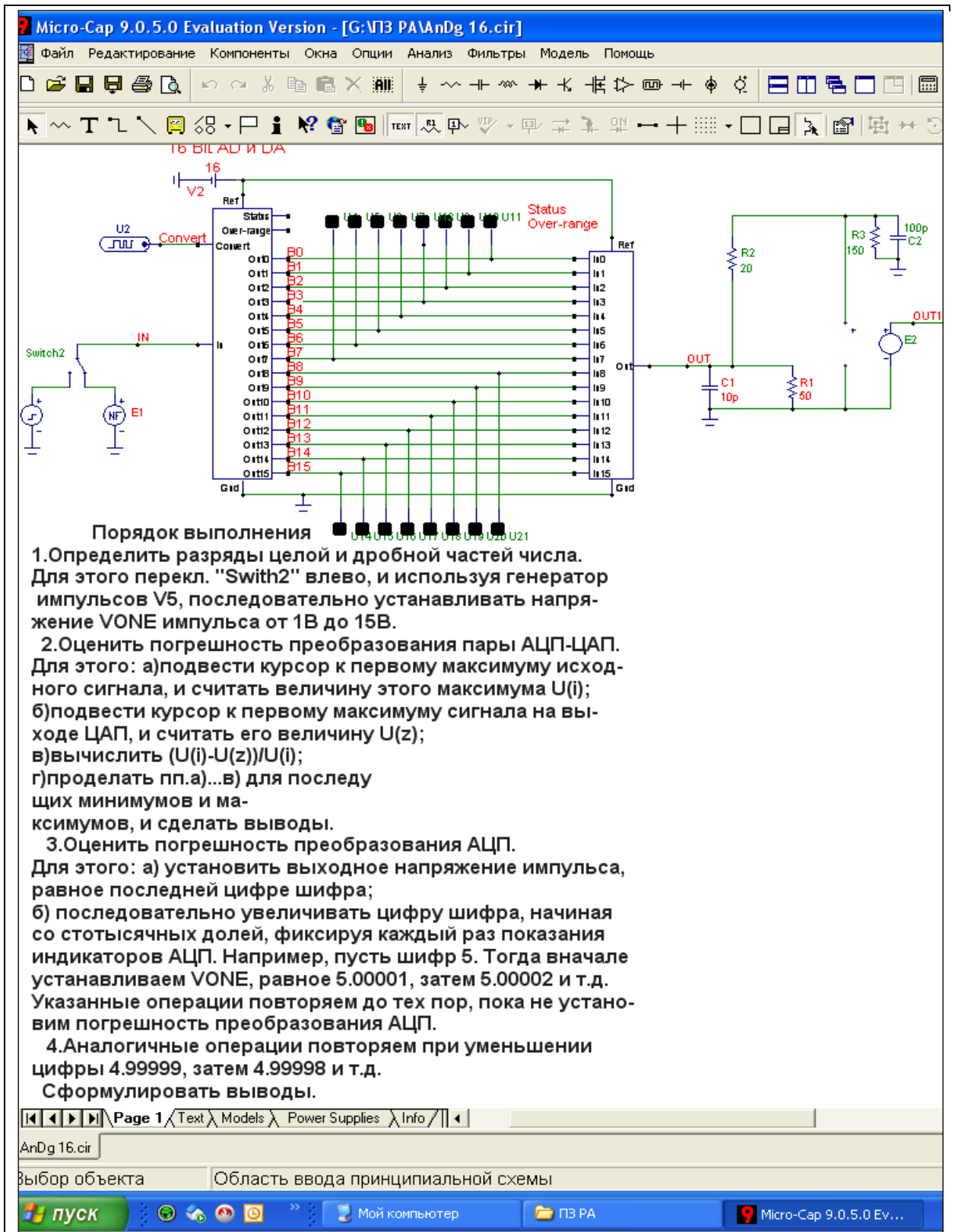


Рис.9. Схема АЦП – ЦАП

После выбора необходимого режима при отсутствии ошибок в схеме открывается окно задания параметров моделирования, которое необходимо отредактировать в соответствии с заданием (рис.10).

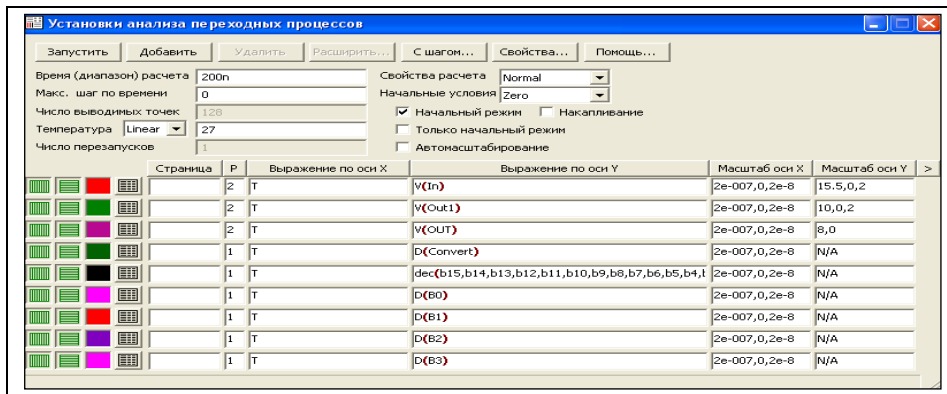


Рис.10. Задание параметров моделирования

Затем следует нажать кнопку Run или клавишу F2, при этом система перейдет к расчету характеристик. Результаты анализа выводятся на экран в виде графиков и могут быть выведены на принтер из режима File – Print или нажатием на соответствующую пиктограмму. Кроме того, если нажата пиктограмма Numeric Output (вывод таблиц), то результаты анализа будут выведены в виде таблиц, которые можно просмотреть, нажав клавишу F5, и вывести на принтер.

4. Анализ погрешностей воспроизведения сигнала на выходе полосового цифрового фильтра проводится при выборе файла «PF 2 ZT» (рис.11).
5. Установить расчетные значения параметров аналогового полосового фильтра и рассчитанные коэффициенты $W(z)$ в директиву «.DEFINE ZFILTER».
6. Перейти к расчету характеристик, нажав клавишу F2. Пример осциллограмм и АЧХ показан на рис.12.

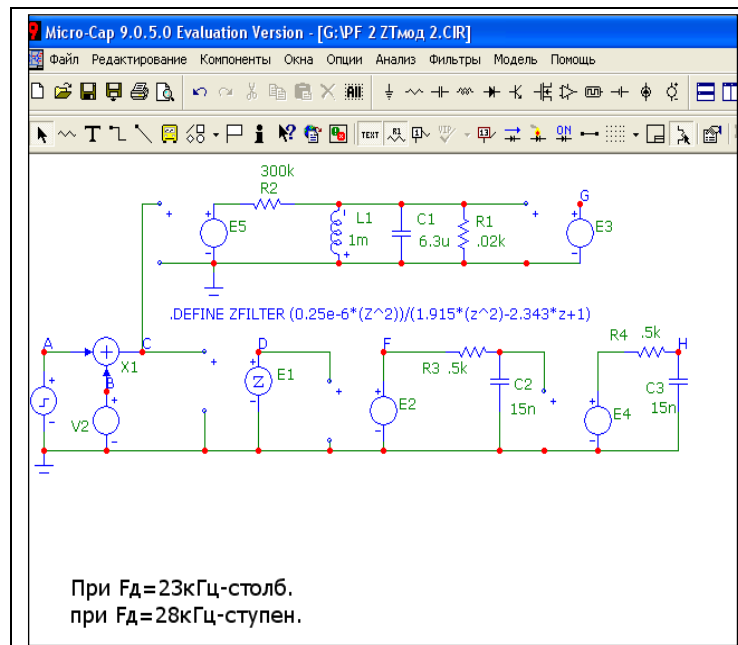


Рис.11. Схемы аналогового и цифрового полосовых фильтров

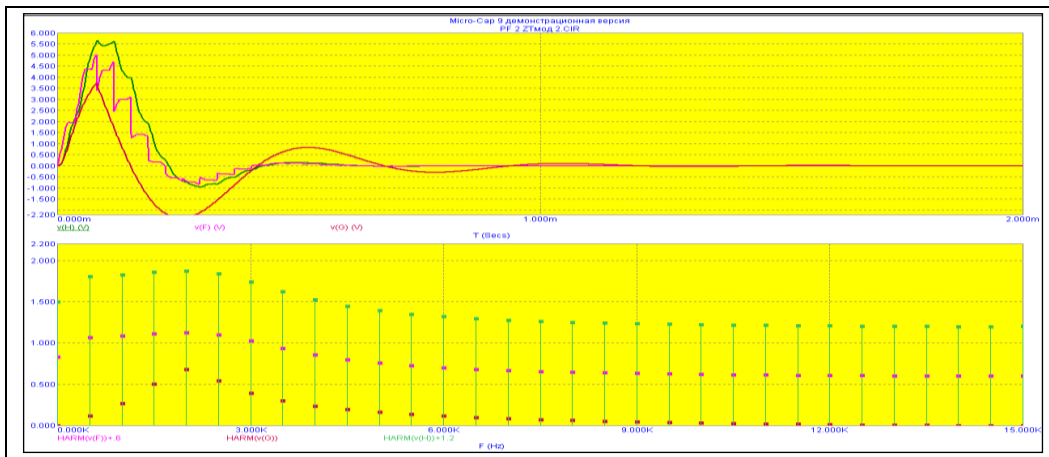


Рис.12. Осциллограммы и АЧХ (снизу) на выходах фильтров
 7. Проанализировать погрешности фильтров и сделать выводы по занятию.