

## Методические указания к лабораторной работе

# Разработка модели канала углового сопровождения моноимпульсной РЛС в среде SIMULINK

*Цель работы: Приобретение навыков моделирования радиолокационных систем средствами MATLAB в среде SIMULINK.*

Структурная схема автоматической системы сопровождения цели по направлению (АСН) моноимпульсной амплитудной суммарно-разностной РЛС приведена на рисунке 1. На схеме представлен канал слежения за целью по одной угловой координате (по азимуту). Слежение по второй координате реализуется аналогично.

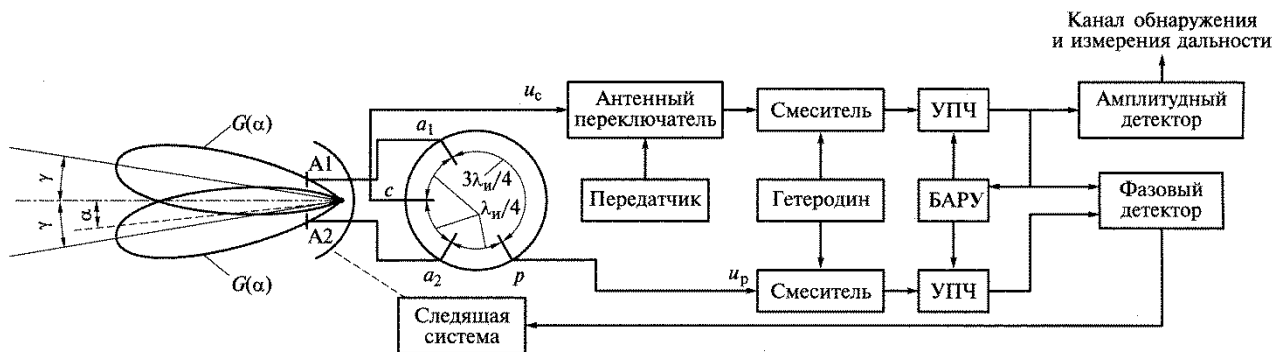


Рисунок 1

Сигнал с выхода кольцевого суммарно-разностного моста поступает на два приемных канала: верхний (по схеме) для суммарного сигнала и нижний для разностного. УПЧ обоих каналов охвачены быстродействующей автоматической регулировкой усиления (БАРУ). БАРУ работает по сигналу суммарного (верхнего по схеме) канала, стабилизируя сигнал на его выходе независимо от уровня входного сигнала:

$$U_{\text{ВЫХ}\Sigma} = U_{\text{ВХ}\Sigma} \cdot K_{\text{АРУ}}(U_{\text{ВХ}\Sigma}) = \text{const}.$$

Тогда сигнал на выходе разностного (нижнего по схеме) канала будет равен

$$U_{\text{ВЫХ}\Delta} = U_{\text{ВХ}\Delta} \cdot K_{\text{АРУ}}(U_{\text{ВХ}\Sigma}) = \text{const} \cdot \frac{U_{\text{ВХ}\Delta}}{U_{\text{ВХ}\Sigma}}.$$

Таким образом, схема АРУ осуществляет нормировку разностного сигнала суммарным, что исключает зависимость сигнала ошибки на выходе фазового детектора от мощности сигнала цели и коэффициентов усиления приемных трактов. Поскольку в приемных каналах помимо сигналов цели присутствуют

шумы сигнал системы АРУ должен быть отфильтрован фильтром нижних частот с небольшой постоянной времени.

Фазовый детектор (ФД) реализует операцию скалярного произведения сигналов на его входах:

$$U_{\text{ФД}} = K_{\text{ФД}} \cdot U_{\text{ВХ}\Sigma} \cdot U_{\text{ВХ}\Delta} \cdot \cos(\Delta\varphi),$$

где  $K_{\text{ФД}}$  – коэффициент передачи ФД,  $\Delta\varphi$  – разность фаз сигналов на его входах. В схеме амплитудной суммарно-разностной системы АСН  $\Delta\varphi$  либо близок к нулю, либо – к 180 градусам. В состав ФД входит фильтр нижних частот, обеспечивающий фильтрацию шума.

Блок «Следящая система» представляет собой механический привод антенны, который с точки зрения операции преобразования поступающего на него сигнала является интегратором.

Моделирование амплитудной суммарно-разностной моноимпульсной следящей системы в данной лабораторной работе выполняется в среде Simulink.

В качестве модели углового движения цели выбираем модель равномерного перемещения:

$$\alpha(t) = \alpha(0) + \Omega_{\text{ц}} \cdot t,$$

где  $\alpha(0) = 0$  – начальное угловое положение (азимут) цели;

$\Omega_{\text{ц}}$  – угловая скорость движения цели;  $t = k \cdot T$  – текущее время;  $k$  – номер периода зондирования;  $T$  – период повторения импульсов.

Парциальные диаграммы направленности  $f_1(\alpha)$  и  $f_2(\alpha)$  моноимпульсной антенны описываются функциями

$$f_{1,2}(\alpha) = \exp\left(\frac{-2,8 \cdot (\alpha \pm \alpha_0)^2}{\Delta\alpha^2}\right),$$

где  $\Delta\alpha$  – ширина парциальных диаграмм на уровне 0,5 от максимума;

$\alpha_0$  – разнос парциальных диаграмм от равносигнального направления

Числовые значения параметров систем АСН и цели выбираются из следующих диапазонов:

$F = 1000 \dots 5000$  Гц – частота повторения зондирующих импульсов;

$T = 1000 \dots 200$  мкс – период повторения импульсов;

$\Delta\alpha = 2^\circ \dots 5^\circ$  – ширина парциальной ДН;

$\alpha_0 = (0,3 \dots 0,7) \Delta\alpha$  – смещение парциальных ДН относительно РСН;

$\Omega = 1 \dots 5$  град/с – угловая скорость цели;

$K = 1 \dots 50$  – коэффициент передачи интегратора;

$T = 0,002 \dots 0,02$  с – постоянная времени фильтра фазового детектора;

$T_1 = 0,002 \dots 0,02$  с – постоянная времени фильтра АРУ;

$T_m = 1 \dots 5$  с – время моделирования;

$q_{db}=0\dots 40$  дБ – отношение сигнал/шум.

Структурная схема Simulink-модели амплитудного суммарно-разностного пеленгатора представлена на рисунке 2.

Блоки, входящие в состав модели, выбираются из библиотеки блоков Simulink block library. Открыть окно обозревателя библиотеки можно введя команду *simulink* в командном окне MATLAB или щелчком на значке



в панели инструментов главного окна MATLAB. Используемые в модели блоки находятся в папках «Commonly Used Blocks», «Continuous», «Math Operations», «Sources» и «Sink».

В состав модели входят два фильтра: фильтр фазового детектора с передаточной функцией

$$K_{\Phi Д}(s) = \frac{1}{s \cdot T + 1}$$

и фильтр системы АРУ с аналогичной передаточной функцией

$$K_{\text{АРУ}}(s) = \frac{1}{s \cdot T_1 + 1}.$$

Константа, на которую умножаются сигналы с выхода квадраторов Square1 и Square2, равна  $(-2.8/\Delta\alpha^2)$ .

Значения параметров, блоков рекомендуется задавать параметрически, то есть с помощью идентификаторов переменных. Значения переменных задаются в программе инициализации параметров модели. Пример программы инициализации приведен ниже.

```
F=2500; Tr=1.0/F; T=0.005; T1=0.005;
Dalp=2; a0=Dalp/2; Omega=2;
K=40; Tm=2; qdb=40; q=10^(qdb/20);
```

Программу необходимо сохранить в файле-скрипте и выполнять перед запуском процесса моделирования системы.

При низком отношении сигнал/шум на выходе фильтра АРУ возможно появление нулевого сигнала, что может привести к остановке моделирования вследствие невозможности деления на ноль в блоке нормировки. Для предотвращения такого события к сигналу фильтра АРУ следует всегда добавлять небольшую постоянную величину, например 0.0001.

Для последующего анализа результатов моделирования в параметрах осциллографа Scope нужно установить флажок «Log data to workspace», задать имя переменной для хранения данных графиков отображаемых осциллографом и формат сохранения «Array», рисунок 3

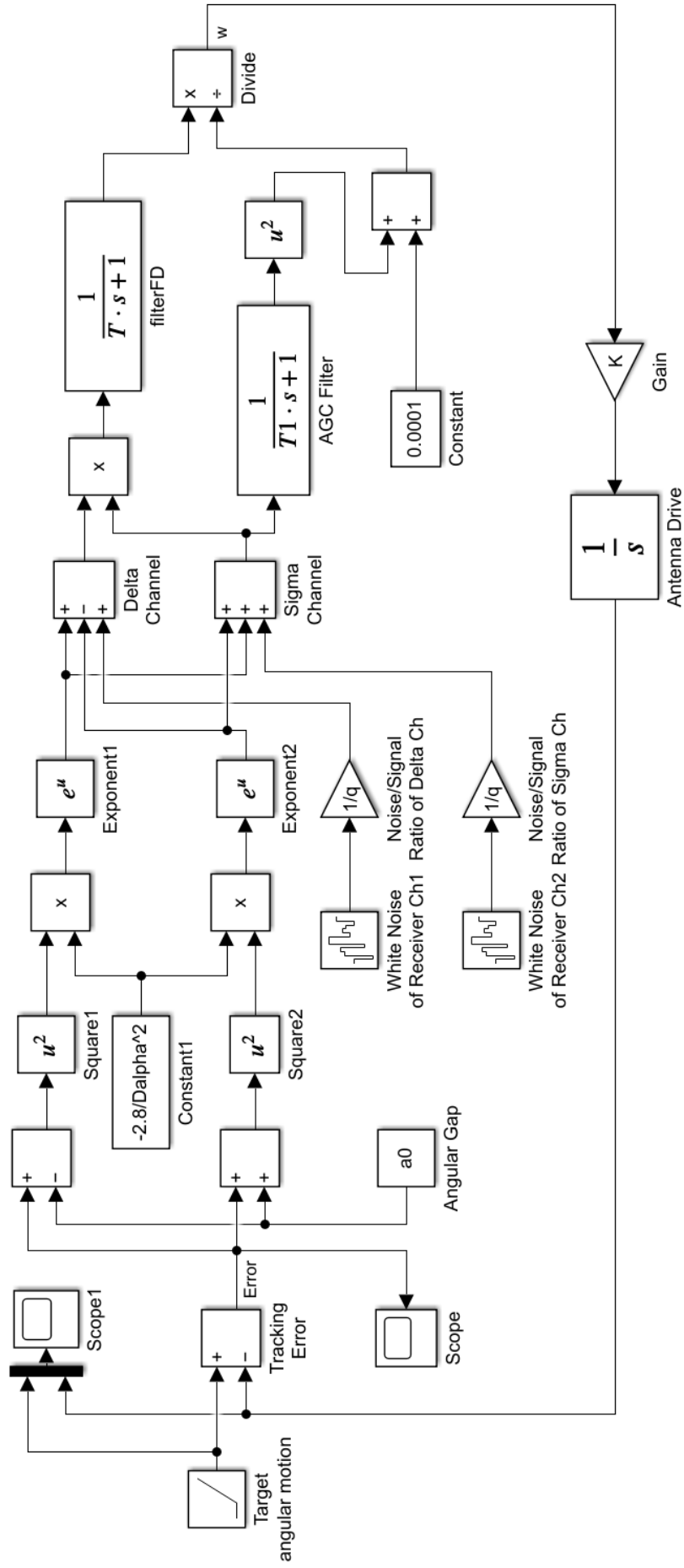
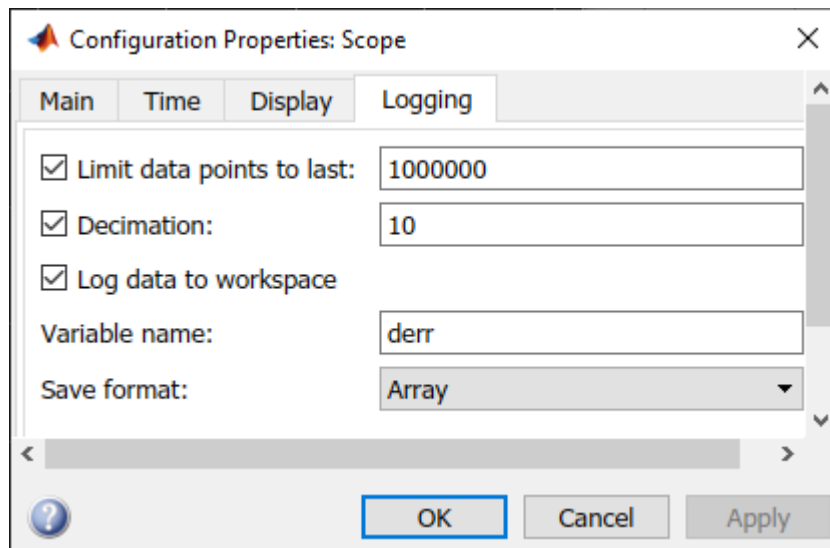


Рисунок 2 Структурная схема Simulink-модели амплитудного суммарно-разностного пеленгатора



По окончании моделирования на основании данных, сохраненных в рабочем пространстве Matlab, и графика ошибки *derr* можно определить длительность переходного процесса – время достижения ошибкой слежения установившегося значения:

```
plot(derr(:,1),derr(:,2));
```

На интервале установившегося значения необходимо определить значения динамической и флуктуационной ошибок:

```
m = mean(derr(1000:end,2));
```

```
rms = std(derr(1000:end,2));
```

Меняя коэффициент усиления  $K = 2 \dots 100$  постройте графики зависимостей динамической и флуктуационной ошибок от  $K$ .

Постройте графики зависимости динамической ошибки от угловой скорости движения цели  $\Omega$ , и флуктуационной ошибки от отношения сигнал/шум.