

Система автоматической регулировки усиления (АРУ)

Определить на модели характеристики блоков системы АРУ. Получить амплитудную характеристику УПЧ с системой АРУ, выполнить анализ переходных процессов в системе.

Схема модели и исходные данные для моделирования

Загрузить файл АРУ.cir с моделью системы АРУ (рис.1).

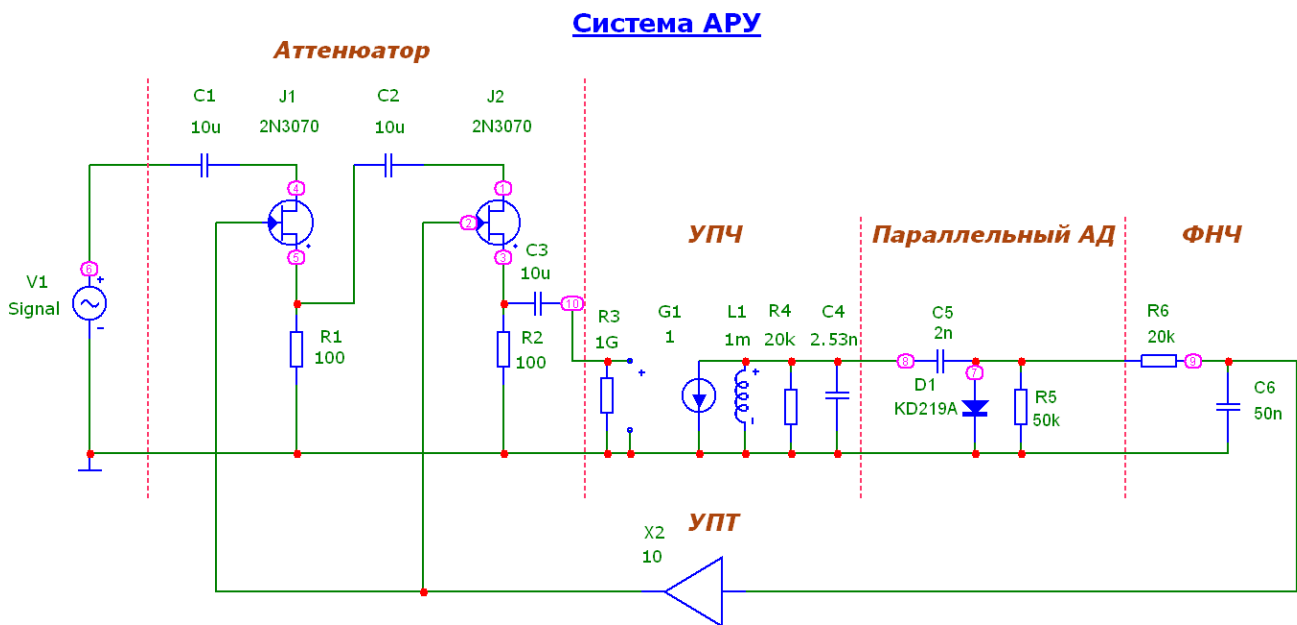


Рис. 1. Схема модели системы АРУ

Ознакомиться с составом модели:

- источник сигнала – источник гармонического напряжения $V1$ с частотой 100 кГц и амплитудой 1 мВ;
- аттенюатор – двухступенчатый управляемый делитель напряжения на полевых транзисторах с управляющим pn -переходом и каналом n -типа (рабочее напряжение затвор-исток отрицательное); коэффициент передачи аттенюатора определяется выражением¹

$$K_{\text{атт}} = \frac{1}{\left(\frac{R_{\text{пт}}}{R} + 1 \right)^2 + \frac{R_{\text{пт}}}{R}},$$

где $R_{\text{пт}}$ – сопротивление канала полевого транзистора, R – сопротивление резистора, подключённого к истоку транзистора;

¹ Вывод этого выражения приведён в Приложении 1

- УПЧ (усилитель промежуточной частоты) – источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)², подключённый к параллельному колебательному контуру с резонансной частотой 100 кГц (ёмкость конденсатора контура задана с учётом влияния выходной ёмкости аттенюатора и входной ёмкости амплитудного детектора);
- АД – параллельный диодный амплитудный детектор;
- ФНЧ (фильтр низких частот) – интегрирующая RC -цепь с постоянной времени 1 мс;
- УПТ (усилитель постоянного тока) – идеальный усилитель напряжения (макрос Amp) с коэффициентом передачи 10.

1. Определение характеристик блоков системы АРУ

Регулировочная характеристика УПЧ с аттенюатором

Для измерения регулировочной характеристики следует исключить из модели обратную связь, убрав УПТ, и включить между затворами полевых транзисторов и «землёй» источник постоянного регулирующего напряжения отрицательной полярности (батарею) 1 В. Изменённую модель сохранить под новым именем (например, АРУ без ОС.cir) (рис. 2).

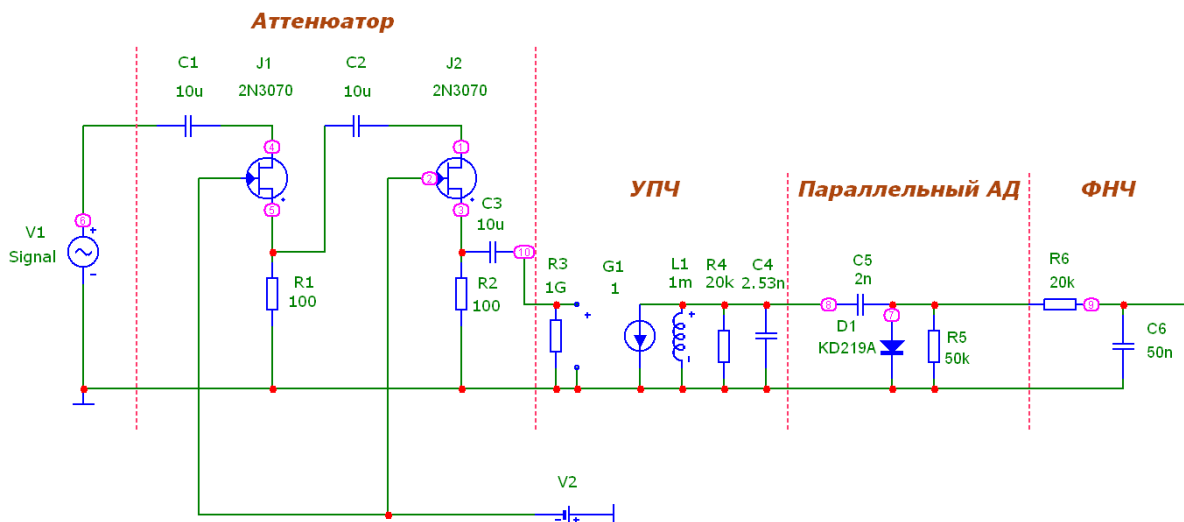


Рис. 2. Схема модели системы АРУ с разомкнутой обратной связью

Задать амплитуду сигнала $U_c = 1$ мВ. Изменяя в режиме Stepping регулирующее напряжение U_p от 0 до 2,2 В с шагом 0,2 В, измерить амплитуду колебания на выходе УПЧ в установившемся режиме. Время моделирования установить равным 4 мс, максимальный шаг по времени 50 нс.

² Резистор R3 с практически бесконечным сопротивлением 1ГОм необходим для того, чтобы обеспечить соединение входа ИТУН на «землю»; при отсутствии такого соединения выдаётся сообщение об ошибке и модель не работает.

По результатам измерения построить регулировочную характеристику УПЧ с аттенуатором (зависимость резонансного коэффициента усиления $K_0 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_c}$ от регулирующего напряжения U_p).

Характеристика АД

В модели разомкнутой системы АРУ установить регулирующее напряжение $U_p = 0$. В режиме **Stepping** задать изменение амплитуды сигнала от 0,2 мВ до 2,2 мВ с шагом 0,2 мВ и получить эпюры следующих процессов:

- колебания на входе АД (т.е. на выходе УПЧ);
- напряжения на выходе ФНЧ.

Поскольку ФНЧ имеет значительную инерционность, то для достижения установившегося режима время моделирования следует увеличить до 10 мс, максимальный шаг по времени задать равным 100 нс.

По полученным эпюрам процессов определить в установившемся режиме следующие величины:

- амплитуду колебания U на входе АД;
- абсолютное значение напряжения $|U_d|$ на выходе ФНЧ.

Добавив к результатам измерений точку с координатами $U = 0, U_d = 0$, построить детекторную характеристику $|U_d| = f(U)$.

Расчёт точки на амплитудной характеристике

Выполнить расчёт координат одной точки на амплитудной характеристике УПЧ с замкнутой системой АРУ. Для этого:

1. задать значение амплитуды сигнала на выходе УПЧ $U_{\text{ВЫХ}} = 400$ мВ;
2. по детекторной характеристике найти соответствующее ему напряжение U_d на выходе АД;
3. умножив U_d на коэффициент усиления УПЧ $K_{\text{УПЧ}} = 10$, определить регулирующее напряжение U_p ;
4. по регулировочной характеристике УПЧ найти коэффициент усиления K_0 , соответствующий полученному значению U_p ;
5. разделив заданную амплитуду выходного сигнала на найденный коэффициент усиления, определить амплитуду сигнала на входе: $U_c = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{K_0}$.

2. Определение характеристик системы АРУ



Амплитудная характеристика УПЧ с системой АРУ

В модели системы АРУ с замкнутой обратной связью задать пошаговое изменение (**Stepping**) амплитуды сигнала U_c от 1 мВ до 20 мВ с шагом 1 мВ и получить эпюры следующих напряжений:

- на выходе УПЧ (усиленный сигнал);

– на выходе УПТ (управляющее напряжение).

Время моделирования задать равным 5 мс, максимальный шаг по времени 100 нс. По эюрам управляющего напряжения убедиться в том, что во всех случаях к концу интервала моделирования достигается установившийся режим.

По эюрам напряжения на выходе УПЧ определить амплитуду колебания в установившемся режиме. Для этого установить режим масштабирования (Scale Mode) , выделить участок эюр, соответствующий установившемуся режиму, и увеличить его. На увеличенном графике установить маркер в максимум (Peak) , и, перемещая его с одной эюры на другую клавишами «стрелка вверх» и «стрелка вниз», считать значения амплитуды $U_{\text{вых}}$.

Добавив точку с координатами $U_c = 0, U_{\text{вых}} = 0$ и вручную построить график амплитудной характеристики (зависимости $U_{\text{вых}}(U_c)$). Нанести на график точку, соответствующую ранее рассчитанной амплитуде сигнала на входе при $U_{\text{вых}} = 400$ мВ, и оценить погрешность расчёта.

Определить минимальное напряжение сигнала, при котором начинается эффективная работа системы АРУ. Сделать выводы.

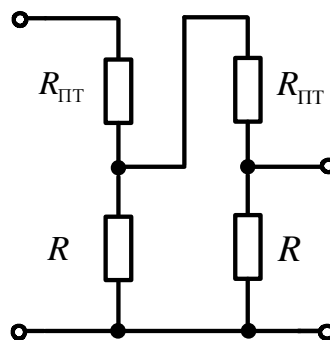
Быстродействие системы АРУ

Оценить влияние амплитуды сигнала на быстродействие системы АРУ. Для этого по эюре управляющего напряжения (напряжения на выходе УПТ) определить длительность переходного процесса (от 0 до уровня 0,9 от установившегося значения) при изменении амплитуды сигнала от 1 мВ до 5 мВ с шагом 1 мВ. Полученные значения свести в таблицу, сделать выводы.

Приложение 1

Коэффициент передачи аттенюатора

Эквивалентная схема двухступенчатого аттенюатора показана на рисунке.



Его коэффициент передачи в режиме холостого хода равен произведению коэффициентов передачи 1-й ступени K_1 и 2-й ступени K_2 :

$$K_{\text{атт}} = K_1 K_2.$$

Поскольку нагрузкой 1-й ступени аттенюатора является последовательно соединённые сопротивления $R_{\text{ПТ}}$ и R , входящие в состав 2-й ступени, то её коэффициент передачи определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{R \parallel (R_{\text{ПТ}} + R)}{R_{\text{ПТ}} + R \parallel (R_{\text{ПТ}} + R)} = \frac{\frac{R(R_{\text{ПТ}} + R)}{R + (R_{\text{ПТ}} + R)}}{R_{\text{ПТ}} + \frac{R(R_{\text{ПТ}} + R)}{R + (R_{\text{ПТ}} + R)}} = \\
 &= \frac{R(R_{\text{ПТ}} + R)}{R_{\text{ПТ}}(R_{\text{ПТ}} + 2R) + R(R_{\text{ПТ}} + R)} = \frac{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1}{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} \left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 2 \right) + \left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1 \right)}.
 \end{aligned}$$

Коэффициент передачи 2-й ступени равен

$$K_2 = \frac{R}{R_{\text{ПТ}} + R} = \frac{1}{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1}.$$

Следовательно, коэффициент передачи аттенюатора равен

$$\begin{aligned}
 K_{\text{атт}} &= \frac{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1}{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} \left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 2 \right) + \left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1 \right)} \cdot \frac{1}{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1} = \frac{1}{\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} \left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 2 \right) + \left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1 \right)} = \\
 &= \frac{1}{\left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} \right)^2 + 2 \frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1 + \frac{R_{\text{ПТ}}}{R}} = \frac{1}{\left(\frac{R_{\text{ПТ}}}{R} + 1 \right)^2 + \frac{R_{\text{ПТ}}}{R}}.
 \end{aligned}$$