

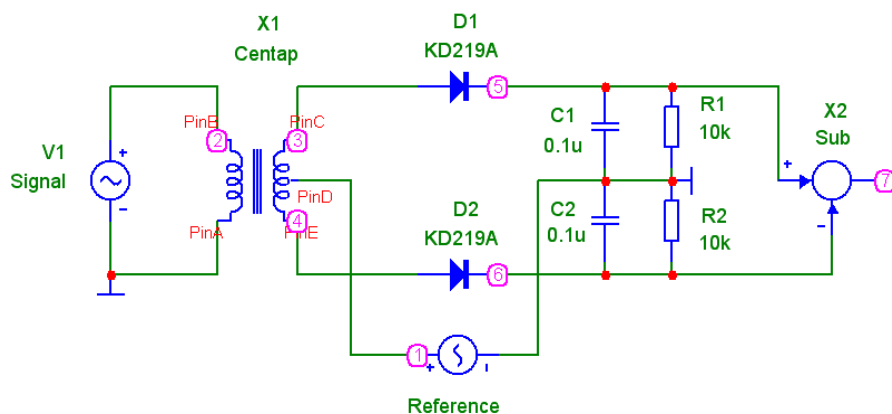
## Занятие № 14

**Балансный фазовый демодулятор (ФД) векторомерного типа**

Выполнить моделирование балансного диодного ФД сначала при нулевой начальной фазе опорного колебания, а затем при сдвиге фазы на  $\frac{\pi}{2}$ .

**1. Характеристики ФД при нулевой начальной фазе опорного колебания****Схема модели и исходные данные для моделирования**

Для уменьшения влияния паразитной ёмкости диодов моделирование проводится на сравнительно низкой частоте 100 кГц.



Для моделирования трансформатора с отводом от средней точки вторичной обмотки используется элемент **Centap**, который выбирается в следующей последовательности:

**Component → Analog Primitives → Passive Components → Centap**

Для удобства моделирования коэффициент передачи трансформатора с первичной обмотки на вторичную принимается равным 1. Следовательно, коэффициент передачи на каждую из половин вторичной обмотки должен быть равен  $\frac{1}{2}$ .

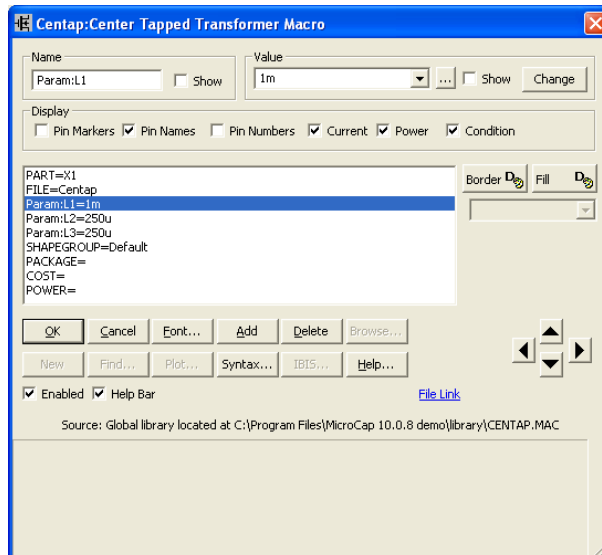
Поскольку он определяется выражением  $k_{тр} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ , где  $L_1$  – индуктивность

первичной обмотки,  $L_2$  – индуктивность половины вторичной обмотки, то для получения требуемого значения  $\frac{1}{2}$  нужно, чтобы выполнялось соотношение

$$L_2 = k_{тр}^2 L_1 = L_1 / 4.$$

В модели элемента **Centap** в качестве параметров задаются значения индуктивности первичной обмотки (Primary inductance)  $L1$  и частей вторичной обмотки (Secondary inductance 1)  $L2$  и (Secondary inductance 2)  $L3$ .

При моделировании нужно задать  $L_1 = 1$  мГн. Тогда  $L_2 = L_3 = 250$  мкГн.



Формирование разности выходных напряжений амплитудных детекторов  $U_{\text{ФД}} = U_{\text{АД1}} - U_{\text{АД2}}$  производится с помощью вычитающего элемента **Sub** (от англ. **subtract** – вычитать), который находится в группе макросов.

Амплитуда опорного колебания (источник **Reference**) 1 В, амплитуда сигнала (источник **Signal**) 0,1 В; фаза опорного колебания 0, фаза сигнала – сначала 0, затем будет варьироваться.

### 1.1. Процессы в ФД

В режиме **Transient Analysis** получить на модели эпюры следующих напряжений:

*на 1-й странице графиков*

- опорного колебания **v(1)** и сигнала **v(2)** (на одном графике);

*на 2-й странице графиков*

- напряжения на входе 1-го (верхнего) АД **v(3)** и 2-го (нижнего) АД **v(4)** (на одном графике);

- напряжения на выходе 1-го АД **v(5)** и 2-го АД **v(6)** (на одном графике);

- напряжения на выходе ФД **v(7)**;

*на 3-й странице графиков*

- усреднённого (начиная с момента времени 100 мкс, когда заканчиваются переходные процессы в АД) напряжения на выходе ФД **avg(v(7),100u)**.

Время моделирования задать равным 300 мкс, максимальный шаг по времени 10 нс.

**Внимание:** для правильного моделирования сигналов необходимо, чтобы **не был активизирован** режим расчёта в рабочей точке **Operating Point**. Для этого должна быть снята «галочка» в соответствующем поле окна задания параметров.

Объяснить различие амплитуд колебаний на входах амплитудных детекторов. Определить постоянную составляющую напряжения на выходе ФД.

Повторить моделирование, задав фазу сигнала  $\pi/2$ . Сравнить амплитуду напряжений на входах амплитудных детекторов. Сделать выводы из полученных результатов.

## 1.2. Характеристика ФД

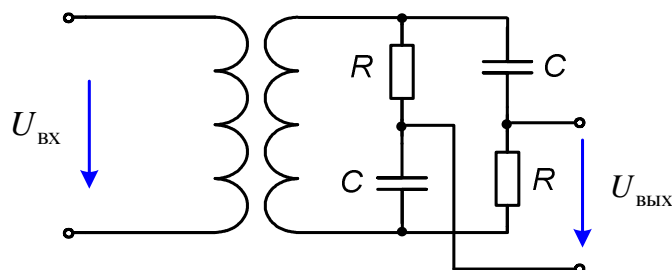
Провести измерение постоянной составляющей напряжения на выходе ФД при изменении фазы сигнала от  $-180^\circ$  до  $180^\circ$  с шагом  $20^\circ$ . Для этого в режиме пошагового изменения параметров модели (**Stepping**) выбрать в качестве изменяемого параметра фазу сигнала  $V(1)$  (параметр PH в списке в правой верхней строке). Поскольку фаза задаётся в радианах, то её начальное значение определяется выражением  $-180 \cdot (\pi/180)$ , конечное значение – выражением  $180 \cdot (\pi/180)$ , шаг – выражением  $20 \cdot (\pi/180)$ . Для измерений использовать только 3-ю страницу графиков, где отображается эпюра усреднённого напряжения на выходе ФД.

В результате получается семейство графиков при различной фазе сигнала. Устанавливая маркер и перемещая его по графикам клавишами  $\uparrow$  и  $\downarrow$  (при этом в заголовке графика указывается соответствующее значение фазы в радианах), определить постоянную составляющую напряжения на выходе ФД. Вручную построить график детекторной характеристики, откладывая по горизонтальной оси фазу сигнала в градусах. Сделать выводы из полученных результатов.

## 2. Характеристики ФД со сдвигом фазы опорного колебания на $\pi/2$

### 2.1. Модель фазовращателя

Для того чтобы при равенстве фаз сигнала и опорного колебания напряжение на выходе балансного ФД векторного типа было равно 0, необходимо в опорное колебание ввести фазовый сдвиг  $\frac{\pi}{2}$ . Для этого может использоваться мостовая схема, состоящая из двух RC-цепей.



Комплексный коэффициент передачи такой цепи определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned}\dot{K}(j\omega) &= \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} - \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC - 1}{j\omega RC + 1} = \frac{j\omega\tau - 1}{j\omega\tau + 1} = \\ &= -\frac{1 - j\omega\tau}{1 + j\omega\tau} = -\frac{(1 - j\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2} = -\frac{1 - (\omega\tau)^2 - 2j\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} = -\frac{1 - (\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2} + j\frac{2\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2}.\end{aligned}$$

Для того чтобы фазовый сдвиг был равен  $\frac{\pi}{2}$ , должны выполняться условия

$$\operatorname{Re}\{\dot{K}(j\omega)\} = 0, \quad \operatorname{Im}\{\dot{K}(j\omega)\} > 0.$$

Оба эти условия выполняются на частоте  $\omega_0 = \frac{1}{\tau}$ . Следовательно, постоянная

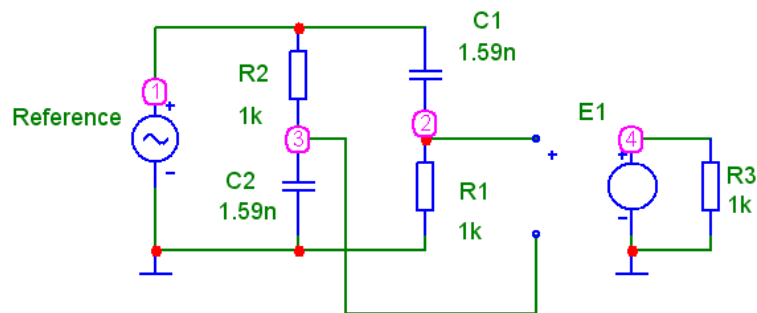
времени  $RC$ -цепей должна быть равна  $\tau = RC = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{2\pi f_0}$ . На частоте  $\omega_0$

коэффициент передачи цепи  $|\dot{K}(j\omega_0)| = \left| \frac{j\omega_0\tau - 1}{j\omega_0\tau + 1} \right| = \left| \frac{j - 1}{j + 1} \right| = 1$ . При заданной частоте

опорного колебания 100 кГц постоянная времени  $\tau = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ кГц}} \approx 1,59 \text{ мкс}$ .

Примем  $R = 1 \text{ кОм}$ , тогда  $C = 1,59 \text{ нФ}$ .

При моделировании фазовращателя для исключения влияния его нагрузки на фазовый сдвиг необходимо включить на выходе развязывающий элемент – источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН) с коэффициентом передачи 1.



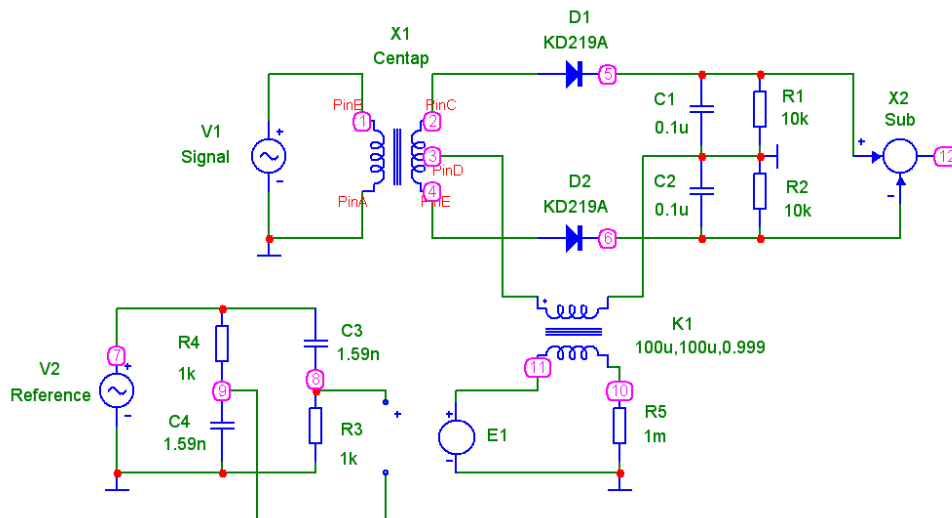
### Задание на моделирование

Выполнить моделирование фазовращателя при амплитуде опорного колебания 1 В, частоте 100 кГц. Сопротивление нагрузки задать равным 1 кОм (его значение принципиальной роли не играет). Сравнить эпюры напряжения на входе и выходе, убедиться в том, что в установившемся режиме фазовый сдвиг равен  $\frac{\pi}{2}$ , а амплитуды колебаний одинаковы. Определить длительность переходного процесса.

## 2.2. Характеристика ФД с фазовращателем

Добавить в модель ФД модель фазовращателя. Для корректной работы модели нужно дополнительно сделать следующее:

- опорное колебание с выхода фазовращателя подать на ФД через трансформатор с коэффициентом передачи 1; параметры его модели: индуктивность первичной обмотки 100 мкГн, индуктивность вторичной обмотки 100 мкГн, коэффициент связи 0,999;
- в первичную обмотку трансформатора включить резистор R5 с пренебрежимо малым сопротивлением 1 мОм (для исключения короткого замыкания в цепи ИНУН).



**Внимание:** для правильного моделирования сигналов необходимо, чтобы не был активизирован режим расчёта в рабочей точке **Operating Point**. Для этого должна быть снята «галочка» в соответствующем поле окна задания параметров.

Задать следующие параметры сигнала и опорного колебания:

- амплитуда сигнала 0,1 В, частота 100 кГц, фаза 0;
- амплитуда опорного колебания 1 В, частота 100 кГц, фаза 0.

В режиме **Transient Analysis** получить на модели эпюры следующих напряжений:

*на 1-й странице графиков*

- напряжения на входе 1-го (верхнего) АД **v(2)** и 2-го (нижнего) АД **v(4)** (на одном графике);

*на 2-й странице графиков*

- напряжения на выходе 1-го АД **v(5)** и 2-го АД **v(6)** (на одном графике);

*на 3-й странице графиков*

- напряжения на выходе ФД **v(12)**;
- усреднённого напряжения на выходе ФД **avg(v(12),1m)**.

Время моделирования задать равным 2 мс, максимальный шаг по времени 100 нс. Провести измерение постоянной составляющей напряжения на выходе ФД при изменении фазы сигнала от  $-180^\circ$  до  $180^\circ$  с шагом  $20^\circ$ .

Вручную построить график характеристики ФД, откладывая по горизонтальной оси фазу сигнала в градусах. Сравнить с ранее построенной характеристикой ФД без фазовращателя. Сделать выводы из полученных результатов.