

Лабораторная работа № 3 Преобразование частоты

Цель работы

Исследование процесса преобразования частоты при использовании нелинейного элемента с квадратичным участком вольт-амперной характеристики.

Краткие теоретические сведения

Процесс преобразования частоты сигнала сводится к сдвигу его спектра по оси частот. Как правило, такими сигналами являются модулированные колебания, в которых полезная информация заключена в изменении огибающей или фазы. В этом случае преобразование частоты приводит к замене несущей частоты принимаемого сигнала на некоторую постоянную (промежуточную) частоту.

Пусть на вход нелинейной цепи с квадратичной ВАХ

$$i = S^{(2)} (u - u_0^{(2)})^2 \quad (3.1)$$

подаются два сигнала – модулированный сигнал $u_1(t) = U_m(t) \cos[\omega_0 t + \Delta\varphi(t)]$, в котором могут меняться как огибающая $U_m(t)$, так и фаза $\Delta\varphi(t)$, и гармоническое колебание от местного генератора (так называемого гетеродина) $u_2(t) = U_{m\Gamma} \cos \omega_\Gamma t$.

$$u_{\text{ВХ}} = u = E_{\text{СМ}} + u_1(t) + u_2(t). \quad (3.2)$$

Величина напряжения смещения выбирается такой, чтобы рабочая точка была на середине квадратичного участка ВАХ, а амплитуда гетеродина $U_{m\Gamma}$ такой, чтобы напряжение $u_2(t)$ не выходило за пределы этого участка. Подставим последнее выражение в уравнение ВАХ:

$$\begin{aligned} i &= S^{(2)} [u_1 + u_2 + (E_{\text{СМ}} - u_0^{(2)})]^2 = \\ &= S^{(2)} [u_1^2 + u_2^2 + (E_{\text{СМ}} - u_0^{(2)})^2 + 2u_1(E_{\text{СМ}} - u_0^{(2)}) + 2u_2(E_{\text{СМ}} - u_0^{(2)}) + 2u_1u_2]. \end{aligned}$$

Помимо гармоник исходных сигналов, которые в данном случае не представляют интереса, в спектре тока имеются комбинационные составляющие второго порядка (последнее слагаемое):

$$\begin{aligned} S^{(2)} 2u_1 u_2 &= 2S^{(2)} U_m(t) \cos[\omega_0 t + \Delta\varphi(t)] U_{m\Gamma} \cos \omega_\Gamma t = \\ &= S^{(2)} U_{m\Gamma} U_m(t) \cos[(\omega_0 + \omega_\Gamma)t + \Delta\varphi(t)] + \\ &+ S^{(2)} U_{m\Gamma} U_m(t) \cos[(\omega_0 - \omega_\Gamma)t + \Delta\varphi(t)]. \end{aligned}$$

После полосового фильтра, настроенного на одну из комбинационных частот (обычно это разностная частота $\omega_0 - \omega_\Gamma = \omega_{\text{пр}}$, $\omega_{\text{пр}}$ – промежуточная частота), на выходе преобразователя частоты остается сигнал, соответствующий второму слагаемому ($i_{\text{пч}}$). Часто в качестве полосового фильтра используется параллельный колебательный контур, настроенный на промежуточную частоту и включенный в качестве нагрузки нелинейного элемента. Добротность контура должна быть такой, чтобы его полоса пропускания была не уже полосы частот, занимаемой модулированным сигналом $u_1(t)$.

На выходе контура - фильтра получим:

$$u_{\text{вых}} = z_{\text{н}}(\omega) i_{\text{пч}} = z_{\text{н}}(\omega) S^{(2)} U_{m\Gamma} U_m(t) \cos[\omega_{\text{пр}} t + \Delta\varphi(t)]. \quad (3.3)$$

В последнем выражении $z_{\text{н}}(\omega)$, $S^{(2)}$, $U_{m\Gamma}$ не зависят от времени и поэтому можно утверждать, что законы изменения во времени огибающей и начальной фазы сохранились неизменными. Следовательно, в результате преобразования частоты параметры модулированных колебаний не меняются, а несущая частота ω_0 заменяется на промежуточную $\omega_{\text{пр}}$. Обычно амплитуды сигналов на входе преобразователя частоты на несколько порядков меньше, чем амплитуда гетеродина. Поэтому для столь малых сигналов преобразователь частоты является линейным устройством, а в отношении напряжения гетеродина – нелинейным.

Процесс преобразования частоты широко используется в радиоприемных устройствах для того, чтобы вести обработку всех принимаемых сигналов (фильтрацию и усиление) в одном узком диапазоне частот вблизи промежуточной.

Значения промежуточных частот стандартизированы в каждой области радиотехники – например, в радиовещании в диапазонах КВ, СВ и ДВ $f_{\text{пр}}=465$ кГц, для диапазона УКВ $f_{\text{пр}}=10,7$ МГц.

Процесс преобразования частоты может вызвать специфическую помеху радиоприему – это так называемая "зеркальная" помеха (или помеха по зеркальному каналу). Дело в том, что при приеме сигнала с частотой ω_0 (рис. 3.1.) одновременно может приниматься сигнал другой радиостанции, работающей на частоте $\omega_{3П}$, расположенной симметрично относительно частоты гетеродина. В этом случае на выходе преобразователя частоты формируются два сигнала разностных комбинационных частот $\omega_{\Gamma} - \omega_0 = \omega_{ПР}$ и $\omega_{3П} - \omega_{\Gamma} = \omega_{ПР}$. Принимаются одновременно сигналы двух радиостанций, но т.к. они имеют одну несущую частоту ($\omega_{ПР}$), то разделить их фильтрами после преобразователя частоты невозможно. Для борьбы с зеркальной помехой используют фильтры (LC - контуры входной цепи) до входа преобразователя частоты, настроенные на несущую принимаемого сигнала. АЧХ такого фильтра показана пунктиром на рис.3.1.

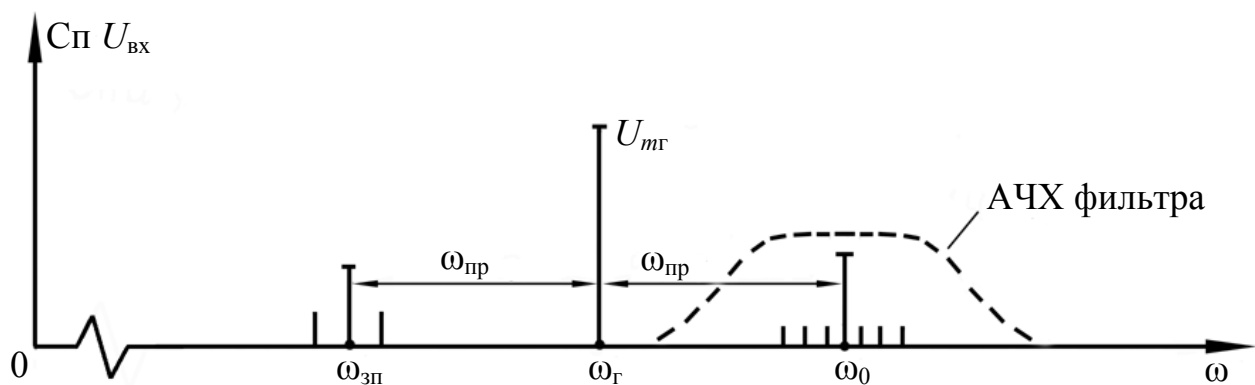


Рис. 3.1. К образованию «зеркальной помехи»

Схема работы и измерительная аппаратура

Для работы используется универсальный стенд со сменным блоком НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ, схема которого приведена на рис. 2.2. Исследуемая цепь представляет собой преобразователь на полевом транзисторе с избирательной нагрузкой (LC -контур) в цепи стока. На затвор полевого транзистора подается сумма напряжений сигнала, гетеродина и постоянного напряжения смещения.

Для преобразования частоты используется квадратичный участок сток-затворной характеристики полевого транзистора.

Источником входного сигнала в данной работе служит внутренний генератор амплитудно-модулированных (АМ) колебаний, расположенный на левом блоке стенда ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ. В этом генераторе несущая частота (180 кГц) и частота модуляции (1 кГц) фиксированы; глубина модуляции может изменяться в широких пределах ручкой "m". Напряжение АМ колебания ("сигнал") с выхода внутреннего генератора должно быть подано на входные гнезда 2 исследуемой цепи.

Встроенный генератор типа ГЗ-111, играющий роль гетеродина, подключается к гнездам 1. Частота его колебаний выбирается в соответствии с результатами предварительного расчета равной f_{Γ} , напряжение – 1 В.

В качестве измерительных приборов используются вольтметр и осциллограф. Входной сигнал наблюдается на гнездах 2, напряжение гетеродина – на гнездах 1. Для наблюдения процессов на затворе осциллограф должен быть подключен к гнездам 4; гнезда 5 служат для наблюдения и измерения выходного сигнала.

Лабораторное задание

1. Наблюдайте преобразование частоты амплитудно-модулированного сигнала.
2. Получите характеристику преобразования.

Методические указания

1. Принципиальная схема исследуемой цепи должна соответствовать рис. 2.2. Переключатель "R/LC" устанавливается в положение "LC". При выполнении работы используется контур с пониженной добротностью (R_{III} включено). Переключатели "С_Н", не используемые в данной работе, должны быть установлены в нулевое положение (все кнопки отжаты).

2. Подготовительный расчет проводится по формулам:

$$f_{\text{ПР}} = f_0, f_{\Gamma 1} = f_{\text{Н}} - f_{\text{ПР}}, f_{\Gamma 2} = f_{\text{Н}} + f_{\text{ПР}},$$

где $f_{\text{ПР}}$ – преобразованная (промежуточная) частота;
 f_0 – резонансная частота контура (13-15 кГц);
 $f_{\text{Н}} = 180 \text{ кГц}$ – несущая частота сигнала;
 f_{Γ} – частота гетеродина.

Полученные величины вносятся в табл. 3.1.

3. Положение рабочей точки выбирается на середине квадратического участка ВАХ транзистора.

Найденное значение E_{CM} вносится в таблицу и устанавливается потенциометром "СМЕЩЕНИЕ".

4. Режим преобразования частоты обеспечивается настройкой одного из генераторов ("гетеродина") так, чтобы комбинационная разностная частота $|f_{Г} - f_{Н}| = f_{ПР}$ (промежуточная частота) совпала с резонансной частотой (f_0) контура в цепи стока. Перед настройкой необходимо установить на входе 1 $U_{Г}=1$ В от внешнего генератора ("гетеродина") с частотой $f_{Г1}$. На вход 2 подается напряжение "сигнала". "Сигналом" в данной работе является напряжение с выхода амплитудного модулятора (гнездо "АМ" в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ). Напряжение "сигнала" контролируется встроенным вольтметром переменного напряжения В7-38. Для правильной установки АМ сигнала необходимо:

- убрать модуляцию ($m=0$), для этого ручку "m", расположенную ниже гнезда "АМ", повернуть влево до упора;
- ручкой "Рег. выхода", расположенной там же, установить действующее значение напряжения несущей $U_{Н}=0,5$ В;
- ручкой "m" установить глубину модуляции (30÷60)%, наблюдая осциллограмму на входе 2. Такой порядок установки параметров АМ сигнала связан с тем, что вольтметры переменного напряжения не рассчитаны на сигналы с меняющейся амплитудой.

Варьируется частота $f_{Г1}$ до получения на выходе АМ колебаний с наибольшей амплитудой. Контроль ведется по осциллографу и микроамперметру стенда.

5. Временные диаграммы входного сигнала и преобразованного колебания зарисовываются на одном листе с сохранением соответствия по времени; при этом достаточно одного периода огибающей. Обратите внимание на частоту заполнения. Также зарисовывается выходное напряжение при отключенном гетеродине.

6. Перестроив частоту внешнего генератора на $f_{Г2}$, повторить п. 5 при этой частоте гетеродина.

7. Характеристика преобразования $U_{ПР}=\gamma(U_{Н})$ снимается после настройки на любую из двух частот гетеродина $f_{Г1}$ или $f_{Г2}$, при этом модуляция внутреннего генератора АМ сигнала должна быть выключена ($m=0$). Для этого напряжение "несущей" $U_{Н}$ берется от

гнезда "АМ" в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ, при этом регулятор "m" устанавливается в крайнее левое положение (модуляция отсутствует). Задавая напряжения "несущей" ручкой "РЕГ. ВЫХОДА" в пределах от 0 до 1 В на входе сумматора (и не меняя напряжение "гетеродина"), заполнить табл. 3.1, на основании которой строится график $U_{\text{ПР}}=\gamma(U_{\text{Н}})$.

Таблица 3.1

$f_{\text{ПР}}=\dots$ кГц; $f_{\text{Н}}=\dots$ кГц; $f_{\text{Г}}=\dots$ кГц; $E_{\text{СМ}}=\dots$ В; $U_{\text{Г}}=1$ В	
$U_{\text{Н}}$, В	
$U_{\text{ПР}}$, В	

Содержание отчета

1. Принципиальная схема преобразователя частоты.
2. Сток-затворная характеристика полевого транзистора.
3. Таблица экспериментальных данных.
4. График амплитудной характеристики преобразователя, осциллограммы.

Рекомендуемая литература

[1] с. 98÷104, 54÷76; [2] с. 16, 71÷73; [5] с. 300÷301; [6] с. 317÷320.

Контрольные вопросы

1. Какова роль полевого транзистора в схеме преобразователя частоты?
2. Какая форма ВАХ нелинейного элемента наиболее удобна для преобразования частоты?
3. Какова роль избирательной нагрузки в схеме преобразования частоты?
4. Какие требования предъявляются к нагрузке нелинейного элемента преобразователя частоты?
5. Изобразить схемы преобразователей частоты.
6. В каких устройствах и почему применяется преобразователь, транспонирующий (преобразующий) спектр сигнала?
7. Отличаются ли огибающие транспонированного и входного сигналов по форме?

8. Что такое характеристика преобразования преобразователя частоты? Как снять ее экспериментально?

9. Какую роль играют напряжение и частота гетеродина в процессе преобразования частоты?

10. Чем отличаются формы и спектры сигналов на входе и выходе преобразователя частоты?