

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13.

Полупроводниковый умножитель частоты

Процесс получения и выделения гармоники с частотой $n\omega$, отличающийся от исходной частоты ω в целое число n раз, где $n=2,3,4\dots$, называется умножением частоты. Этот процесс осуществляется в умножителях частоты - устройствах, позволяющих выделить n -ю гармонику основной частоты.

Рассмотрим процесс умножения частоты. Для этой цели используем нелинейный элемент, характеристика которого описывается полиномом 2-ой степени. К нелинейному элементу подводится синусоидальное напряжение:

$$u = U_m \sin \omega t.$$

Ток в цепи нелинейного элемента

$$i = a_0 + a_1 U_m \sin \omega t + a_2 U_m^2 \sin^2 \omega t.$$

Используя следующее тригонометрическое преобразование

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t$$

соотношение можно привести к виду:

$$i = \left(a_0 + \frac{a_2 U_m^2}{2} \right) + a_1 U_m \sin \omega t - \frac{1}{2} a_2 U_m^2 \cos 2\omega t.$$

Из этого выражения следует, что ток, протекающий через нелинейный элемент, будет содержать постоянную составляющую, основную частоту ω и вторую гармонику 2ω . Видно, что степень полинома определяет номер гармоники, т.е. для получения 2-й гармоники необходимо использовать нелинейный элемент с чисто квадратичной характеристикой, описываемой полиномом 2-й степени, и т.д. Для выделения тока n -й гармоники фильтр в цепи нелинейного элемента (параллельный контур) должен быть настроен на частоту n -й гармоники. Спектральный состав тока, протекающего через нелинейный элемент в режиме умножения, показан на рис 1 (Аппроксимация полиномом n -ой степени).

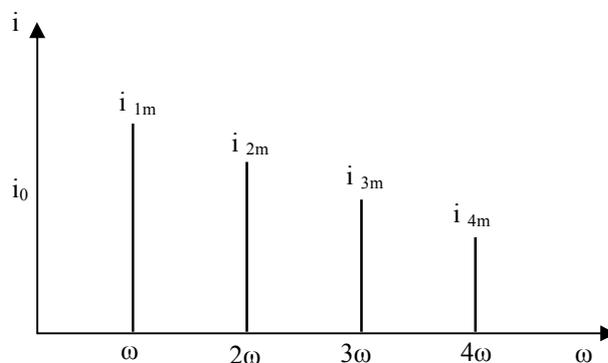


Рис.1. Спектральный состав тока протекающего через нелинейный элемент.

При использовании квадратичного (кубического) участка, которое имеет место при умножении слабого сигнала, амплитуда второй и высших гармоник оказывается очень малой. Более целесообразно использовать режим сильного сигнала. В этом случае характеристика нелинейного элемента описывается кусочно-линейной аппроксимацией (рис. 2).

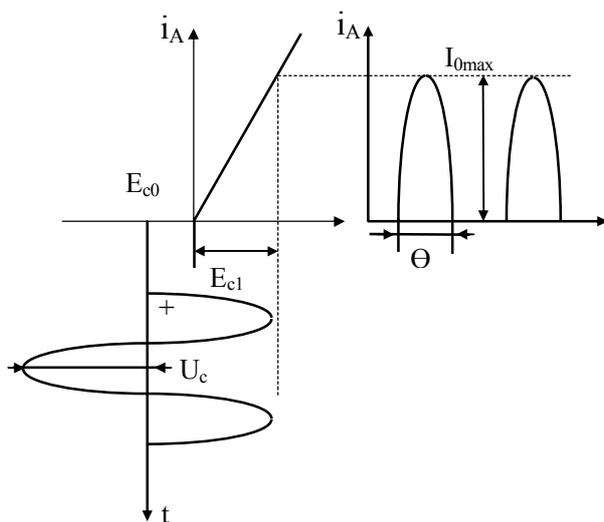


Рис. 2. Диаграмма работы умножителя частоты.

Рабочая точка лежит у изгиба характеристики. Для этой цели к нелинейному элементу должно быть приложено соответствующее отрицательное напряжение смещения. При отрицательных полуциклах входного синусоидального напряжения частотой ω нелинейный элемент закрыт. Он открывается только при положительных полуциклах входного напряжения, и ток, протекающий через нелинейный элемент, принимает форму отсеченной косинусоиды. Полученные импульсы целиком определяются двумя величинами - амплитудой импульса тока I_{max} и углом отсечки θ .

Угол отсечки θ - фазовый угол, соответствующий половине той части периода, в течение которого в цепи нелинейного элемента протекает ток. Угол отсечки θ может лежать в пределах от 0 до π . Угол θ меняется при перемещении рабочей точки влево и вправо от излома характеристики при изменении напряжения смещения.

Ток, протекающий через нелинейный элемент, содержит постоянную составляющую I_0 и составляющие 1-й, 2-й, 3-й ... гармоник:

$$i = I_0 + I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t + I_{3m} \cos 3\omega t + \dots$$

Амплитуды токов гармоник связаны с максимальным значением импульса тока I_{max} коэффициентами Берга α_n .

Коэффициенты Берга $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ в свою очередь зависят от угла отсечки θ (рис. 3).

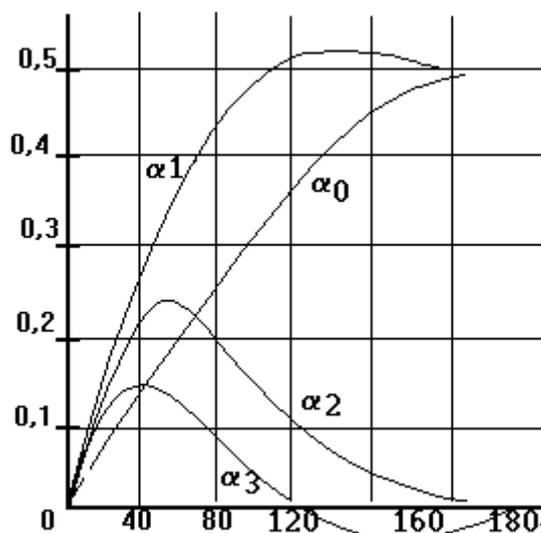


Рис. 3. Зависимость коэффициентов Берга от угла отсечки.

Как следует из графика, максимальное значение коэффициента α_2 соответствует углу θ , равному 60° . В этом случае (при $\theta=60^\circ$) амплитуда 2-й гармоники оказывается максимальной и поэтому для режима удвоения частоты угол отсечки выбирают равным 60° , устанавливая соответствующее напряжение смещения. 3-я гармоника максимальна при $\theta=40^\circ$. Отсюда видна связь кратности умножения и угла отсечки θ .

$$\theta = \frac{120^\circ}{n}$$

Аналитическая зависимость угла отсечки от приложенных напряжений имеет вид:

$$\cos \theta = \frac{E_{c1} - E_{co}}{U_c}$$

где E_{co} - напряжение смещения, соответствующее излому характеристики; E_{c1} - напряжение смещения; U_c - напряжение возбуждения.

Колебательный контур в цепи нелинейного элемента должен быть настроен на частоту той гармоники, которую необходимо выделить. В качестве нелинейного элемента в умножителях частоты можно использовать ламповые и полупроводниковые транзисторы и так далее. Принципиальная схема диодного умножителя частоты приведена на рис. 4.

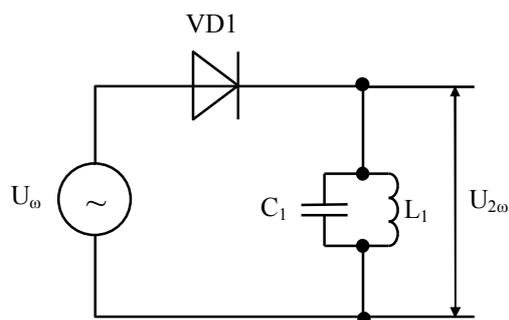


Рис. 4. Схема диодного умножителя частоты.

Она содержит источник сигнала с частотой ω , нелинейный элемент (диод VD1) и фильтр, в качестве которого используется параллельный колебательный контур L_1C_1 , на котором выделяется напряжение высших гармоник. Диаграмма работы полупроводникового умножителя приведена на рис. 5.

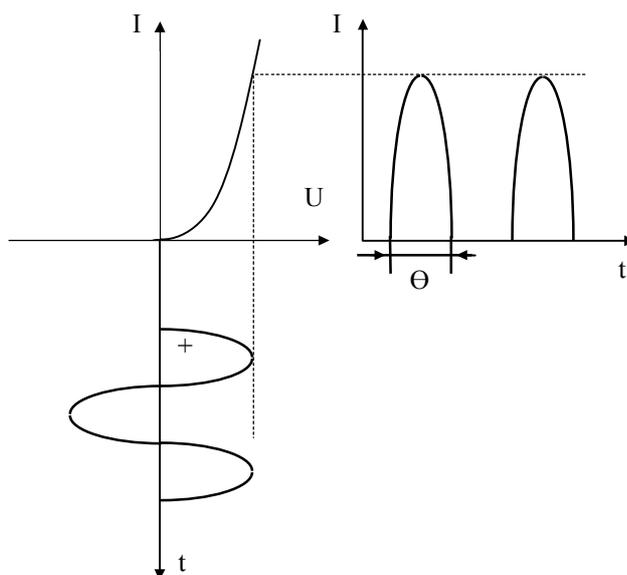


Рис. 5. Диаграмма работы диодного умножителя частоты.

ВЫВОДЫ

1. Для осуществления умножения частоты необходимо использование нелинейного элемента. Для выделения n - гармоника основной частоты необходим нелинейный элемент с характеристикой, описываемой полиномом n - степени. Однако амплитуды гармоник при таком использовании нелинейного элемента очень малы.
2. . Целесообразно в умножителях частоты использование нелинейного элемента с характеристикой, описываемой кусочно-линейной аппроксимацией. В этом случае ток, протекающий через нелинейный элемент, будет содержать постоянную

составляющую и токи первой и высших гармоник связаны с углом отсечки θ . Соответствующим выбором угла отсечки θ можно выделить n -ю гармонику основной частоты.

3. Фильтр умножителя частоты должен быть настроен на частоту выделяемой гармоники. ($f=400$ кГц).

ХОД РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством генератора и осциллографа и их органами управления (по описанию приборов).
2. Собрать схему для исследования работы полупроводникового умножителя частоты (рис. 6).

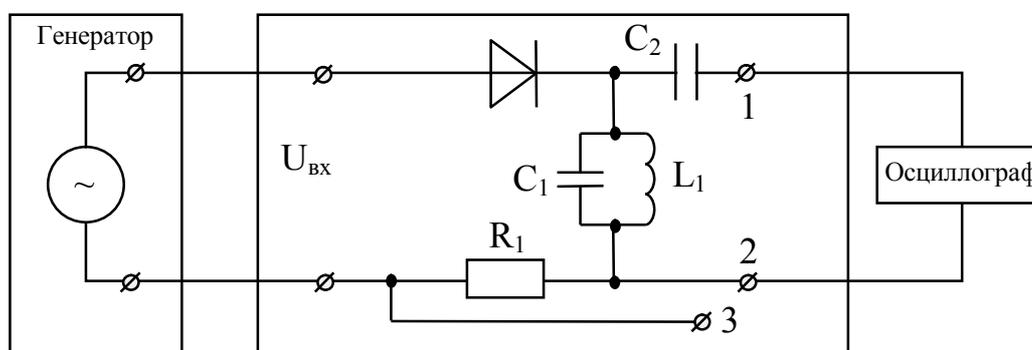


Рис. 6. Схема установки.

Снять частотную зависимость амплитуды $U_{вых}$ от частоты генератора $I_{ген}$ (измерения проводить в диапазоне частот 20 кГц - 200 кГц).

3. Снять амплитудную зависимость выходного сигнала $U_{вых}$ от амплитуды колебаний генератора $U_{вх}$ на частотах 2-х - 3-х максимумов.
4. Снять осциллограмму тока в цепи диода VD1 (осциллограф подключаем к клеммам 2 и 3).
5. Построить спектр тока в цепи нелинейного элемента.
6. Определить угол отсечки θ .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью в умножителях частоты используется нелинейный элемент?
2. В каких случаях для описания характеристики нелинейного элемента используется кусочно-линейная аппроксимация?
3. Какие факторы влияют на величину угла отсечки θ ?
4. Объяснить различие в спектрах входного и выходного сигнала умножителя.
5. Объяснить взаимосвязь между коэффициентами Берга и углом отсечки. Какова роль коэффициентов Берга?