

РГР по электротехнике в Matlab

Задание 11.

Вариант 11-2.

При расчёте преобразователя частоты на диоде с барьером Шоттки используется эквивалентная схема, показанная на рисунке Рис. 1.

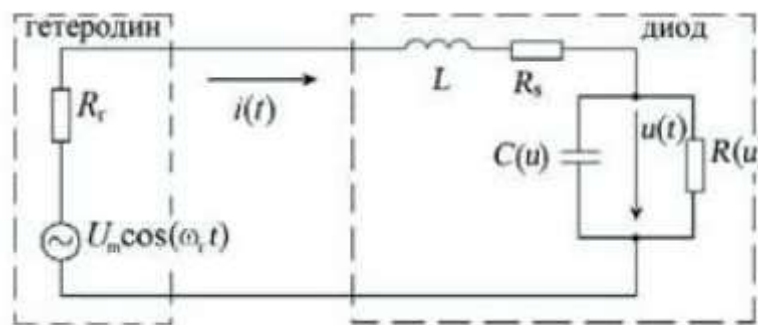


Рис. 1. Эквивалентная схема преобразователя частоты.

Элементы $U_m \cos(\omega_\Gamma t)$ и R_Γ относятся к гетеродину, напряжение с которого поступает на смесительный диод. Диод представлен эквивалентной схемой, содержащей элементы: L – индуктивность выводов, R_s – омическое сопротивление потерь, $C(u)$ и $R(u)$ – ёмкость и сопротивление барьерной области диода, зависящие от обратного смещения на его переходе. Зависимости напряжения u на барьере диода и тока i в общей цепи от времени t могут быть найдены из системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{C(u)} \left[i - \frac{u}{R(u)} \right]$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L} [U_m \cos(\omega_\Gamma t) - u - i(R_s + R_\Gamma)]$$

Зависимости $R(u)$ и $C(u)$ имеют вид:

$$i_d(u) = \frac{u}{R(u)} = i_0 [e^{bu} - 1]$$

$$C(u) = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{u}{\varphi}}}$$

где: $i_0 = 5 \cdot 10^{-13}$ А, $b = 28 \text{ В}^{-1}$, $C_0 = 0.14 \text{ пФ} = 0.14 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $\varphi = 0.85 \text{ В}$.

Дано:

$$R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}, L = 1.2 \text{ нГн} = 1.2 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}, R_S = 6 \text{ Ом}, U_m = 0.55 \text{ В},$$

$$f_{\Gamma} = 14 \text{ ГГц} = 14 \cdot 10^9 \text{ Гц}$$

Необходимо рассчитать $u(t)$ и $i(t)$ при начальных условиях $u(0) = i(0) = 0$.

Решение

Для решения уравнений используем программный пакет Matlab R2022a, в котором была создана программа «task.m».

Для проведения расчётов программа использует решатель систем дифференциальных уравнений Рунге-Кутта 4-го и 5-го порядков – ode45. Подготовка данных и проведение вычислений используется функция calculate(...) (см. листинг программы).

Рассчитываемые значения u и i представляем вектором Y :

$$Y_1 = u$$

$$Y_2 = i$$

Таким образом, дифференциальные уравнения, учитывая, что $\frac{u}{R(u)} = i_0[e^{bu} - 1]$, представляются в виде:

$$\frac{dY_1}{dt} = \frac{1}{C(u)} [i - i_0[e^{bu} - 1]]$$

$$\frac{dY_2}{dt} = \frac{1}{L} [U_m \cos(\omega_{\Gamma} t) - u - i(R_S + R_{\Gamma})]$$

Ниже приведён листинг программы «task.m» с комментариями:

% Удаляем переменные, закрываем окна, очищаем консоль;

```
clear all;
close all;
clc;

% Исходные данные;

% Сопротивление гетеродина [Ом];
Rg = 50;
% Частота гетеродина [Гц];
fg = 14e9;
% Амплитуда напряжения гетеродина [В];
Um = 0.55;
% Индуктивность выводов [Гн];
L = 1.2e-9;
% Сопротивление потерь [Ом];
Rs = 6;

% Начальные условия;
U0 = 0;
I0 = 0;

% Время расчёта - пять периодов;
tmax = 5/fg;

% Проводим вычисления;
[T, U, I, Ug] = calculate([U0; I0], tmax, Rg, fg, Um, L,
Rs);

% Строим графики;
% Графики напряжений;
plot(T,Ug,T,U);
xlabel('t',Interpreter='latex');
legend({'$u_g(t)$','$u(t)$'},'Interpreter','latex','FontSize',12);
grid on;

% График тока;
figure
plot(T,I);
xlabel('t','Interpreter','latex','FontSize',12);
ylabel('$i(t)$','Interpreter','latex','FontSize',12);
```

```
grid on;
```

```
% Функция расчёта;
```

```
function [T, U, I, Ug] = calculate(Y0, tmax, Rg, fg, Um, L, Rs)
```

```
    % Y0 - вектор начальных значений;  
    % tmax - время окончания расчёта;  
    % Rg, fg, Um, L, Rs - параметры расчёта;
```

```
    % T - вектор времени;  
    % U - вектор рассчитываемого напряжения;  
    % I - вектор рассчитываемого тока;  
    % Ug - вектор напряжения гетеродина;
```

```
    % Константы;  
    i0 = 5e-13;  
    b = 28;  
    C0 = 0.14e-12;  
    fi = 0.85;
```

```
    % Вызываем решатель метода Рунге-Кутты 4-го и 5-го  
    порядка
```

```
    [T, Y] = ode45(@func, [0 tmax], Y0);
```

```
    % Выводим рассчитанные значения;  
    U = Y(:,1);  
    I = Y(:,2);
```

```
    % Просчитываем напряжение гетеродина по полученным  
    отсчётам времени;
```

```
    Ug = Um*cos(2*pi*fg*T);
```

```
% Функция, передаваемая решателю;
```

```
function dat = func(t, Y)
```

```
    % t - текущее время;  
    % Y - вектор текущих данных;
```

```
dat = zeros(2, 1);

% Переобозначаем напряжение и ток;
u = Y(1);
i = Y(2);

% Проводим вычисления правых частей диф. уравнений;
Cu = C0/sqrt(1-u/fi);

dat(1) = 1/Cu*(i-i0*(exp(b*u)-1));
dat(2) = 1/L*(Um*cos(2*pi*fg*t)-u-i*(Rs+Rg));

end
end
```

Результат исполнения программы представлен на Рис. 2 и Рис. 3.

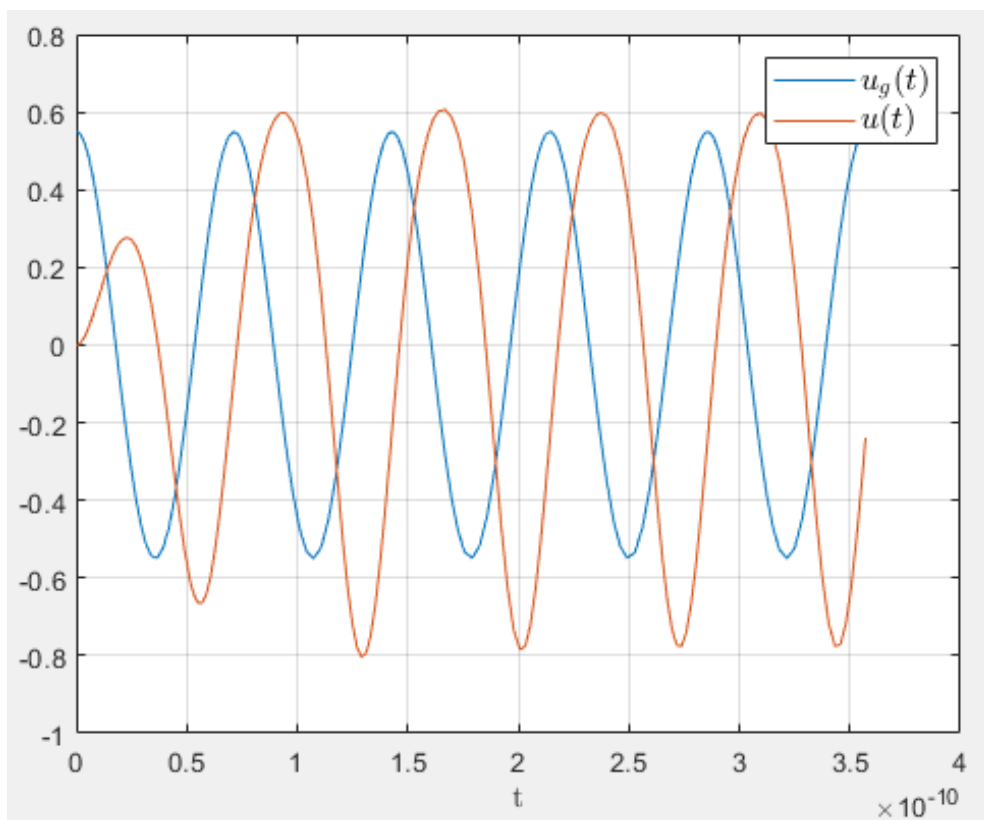


Рис. 2. Графики напряжений $u_\gamma(t)$ и $u(t)$.

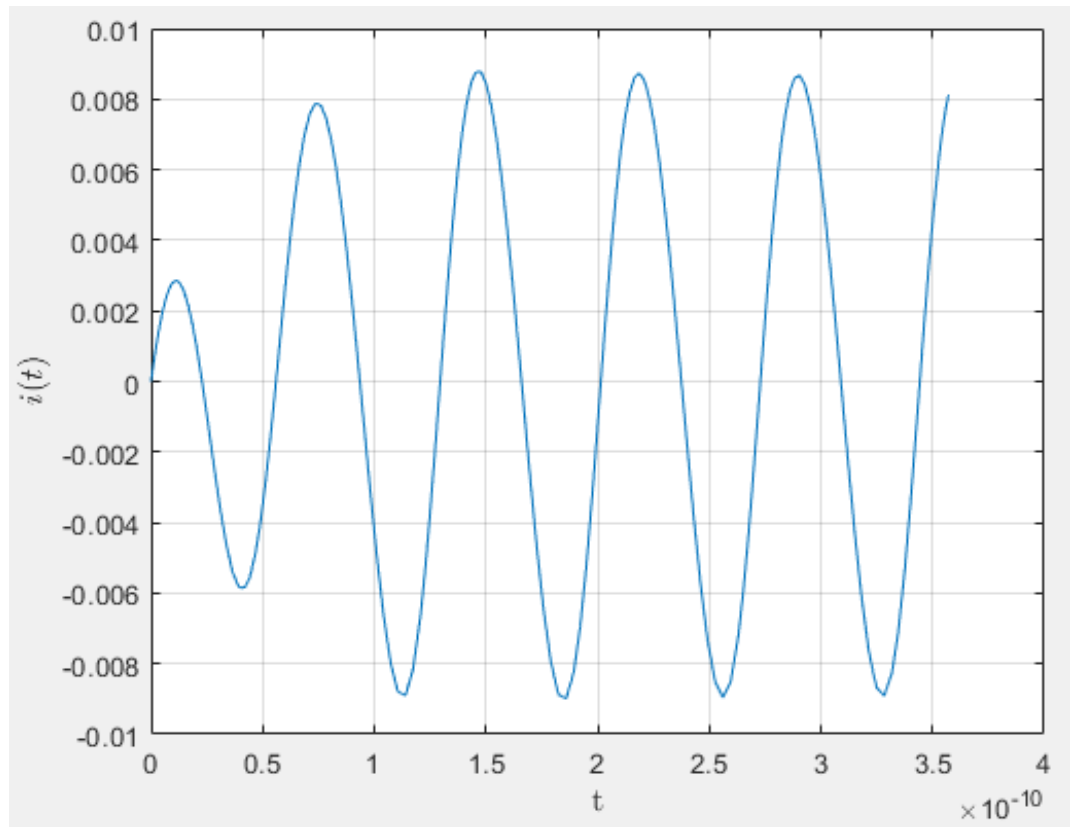


Рис. 3. График тока $i(t)$.