

11. Преходни процеси

Преминването на електронните схеми от един установен (стационарен) режим в друг (постояннотоков, променливотоков или и двата) се нарича **преходен процес** в схемата, който се изразява в изменение на напреженията и токовете в различни нейни точки. Времето от появата на причината до окончателното установяване на новия режим се нарича **продължителност на преходния процес**. Желателно е тя да бъде колкото е възможно по-малка. Реалните ѝ стойности варират в твърде широки граници, обикновено от няколко ns до няколко ms. При преходните процеси е възможно получаването (макар и за кратко време) на високи напрежения и (или) големи токове в някои точки на схемите, които да доведат до повреди на електронни елементи от схемата. Типични примери за възникване на преходен процес са включване на електронната схема към захранващото напрежение или промяна в нейната конфигурация (прекъсване на част от веригата или включване на нова част към нея).

Причината за възникване на преходните процеси е наличието на реактивни елементи в схемите, в които се натрупва енергия (под формата на заряд в кондензаторите и магнитно поле в бобините), която може да се обменя между тях. Наличието на паразитни капацитет и индуктивност във всички схеми води наличие на преходни процеси във тях, макар и слабо изразени.

За описание на преходните процеси може да се използват диференциални уравнения от различен ред с необходимите начални и гранични условия, описващи поведението на напреженията и токовете във времето. В електрониката обаче се предпочита **операционното смятане** – използване на интегрално преобразуване, което позволява замяната на диференциалните уравнения с алгебрични. Най-често за тази цел се използва **преобразуването на Лаплас**.

Същността на метода използващ преобразуване на Лаплас се състои в следното:

1. На всяка функция на времето $f(t)$, за която $f(t) = 0$ за $t < 0$, съответства функция $F(p)$ на комплексната променлива p според формулата

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt, \text{ наречена } \mathbf{право\ преобразуване\ на\ Лаплас}.$$

Прието е $f(t)$ да се нарича **функция-оригинал**, а $F(p)$ – **функция-образ**. Често се използва символичния запис $F(p) \subset f(t)$ за връзка между двете функции. Възможна е обратната операция – по зададен образ $F(p)$ да се намери оригиналът $f(t)$ чрез **обратно преобразуване на Лаплас**. Тъй като тези две преобразувания са чисто математически, в електрониката се използват таблици, даващи връзката между $f(t)$ и $F(p)$. Подобна таблица е дадена в приложението. Най-често използваните свойства на преобразуването на Лаплас са следните:

- $\sum f_i(t) \supset \sum F_i(p)$
- $A f(t) \supset A F(p)$, $A = \text{const.}$
- $\frac{df(t)}{dt} \supset pF(p)$
- $\int_0^\infty f(t)dt \supset \frac{F(p)}{p}$
- $f(t - \tau) \supset e^{-p\tau}F(p)$ и др.

2а. При двуполусници – намират се образите на приложеното напрежение $u(t) \rightarrow U(p)$ и импеданса на веригата $Z(p)$, ($p = j\omega$)

2б. При четириполусници – намират се образите на входното напрежение $u_1(t) \rightarrow U_1(p)$ и коеф. на предаване $K_U(p)$, ($p = j\omega$)

3а. Определя се $I(p) = \frac{U(p)}{Z(p)}$ и с обратно преобразуване $I(p) \rightarrow i(t)$

3б. Определя се $U_2(p) = U_1(p) K_U(p)$ и с обратно преобразуване $U_2(p) \rightarrow u_2(t)$

Много често за поведението на електронните схеми се съди по реакцията им на два специални сигнала – сигнал единичен скок (функция на Хевисайд) и сигнал единичен импулс (функция на Дирак).

Реакцията на схемата при сигнал единичен скок $h(t)$ се нарича **преходна характеристика**, а реакцията на схемата при сигнал единичен импулс $g(t)$ – **импулсна характеристика**. Двете характеристики са свързани по между си:

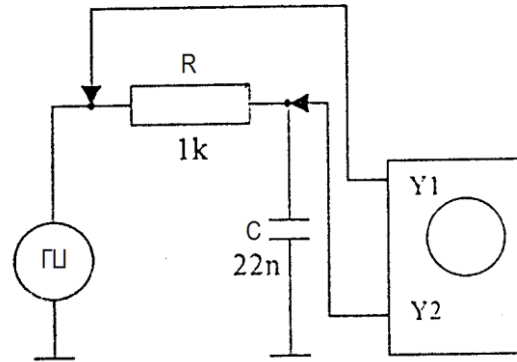
$$h(p) = g(p) / p, \quad g(p) = p h(p) \text{ в пространството на образите и}$$

$$h(t) = \int_0^\infty g(t)dt, \quad g(t) = \frac{dh(t)}{dt} \text{ като функции на времето.}$$

Задачи

Задача 1. Изследване на преходната характеристика на звено от I ред.

Да се свърже схемата от фиг. 1, като първият канал на осцилоскопа се включи към входа, а вторият – към изхода на схемата.

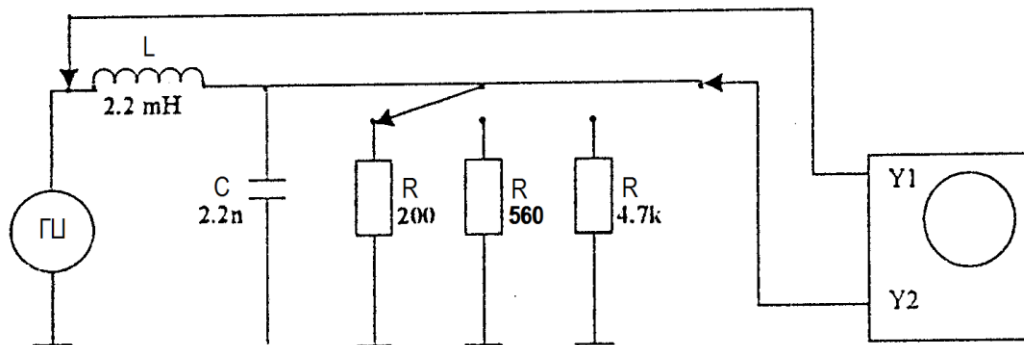


фиг. 1

От генератора се подава симетрично правоъгълно напрежение с $U_{p-p} = 4V$ ($U_m = \pm 2V$) и три различни честоти – $f = 1kHz$; $5kHz$ и $10kHz$. Да се начертаят (една под друга, както се наблюдават) осцилограмите на входното и изходното напрежение за трите честоти. На осцилограмите на изходното напрежение да се означат стойностите на амплитудата U_m и продължителността на предния фронт t_f и задния фронт t_r на наблюдаваните импулси. Преходният процес се счита за завършен при $t = 3\tau$ (с точност 95%) или $t = 5\tau$ (с точност 99.5%), където $\tau = RC$ е времеконстантата на веригата. В кой от трите случая преходният процес е завършил и в кой не е?

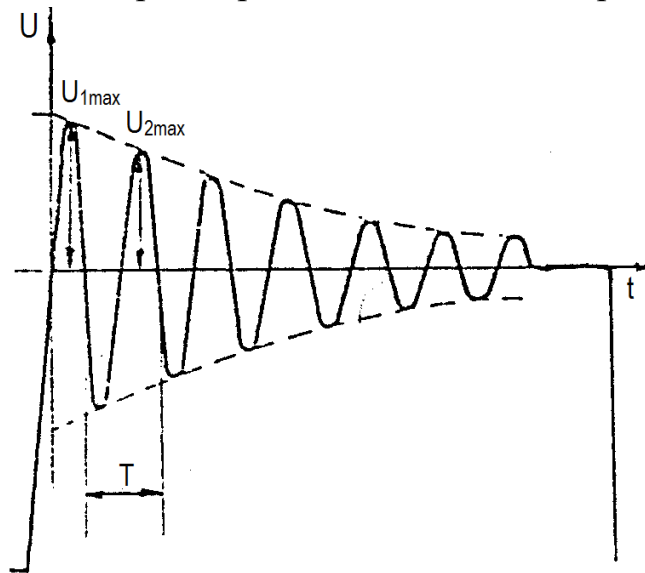
Задача 2. Изследване на преходната характеристика на звено от II ред.

Да се свърже схемата от фиг. 2, като първият канал на осцилоскопа се включи към входа, а вторият – към изхода на схемата.



фиг. 2

От генератора се подава симетрично правоъгълно напрежение с $U_{p-p} = 4V$ ($U_m = \pm 2V$) с честота $f = 2kHz$. Да се начертаят (една под друга, както се наблюдават) осцилограмите на входното и изходното напрежение за трите стойности на резистора R . На осцилограмите на изходното напрежение да се означат стойностите на продължителността на предния фронт t_r и задния фронт t_f на наблюдаваните импулси. При каква стойност на резистора R се наблюдават свободни затихващи трептения на напрежението в изходните импулси? Да се определи периода T (честотата f) и амплитудните стойности U_{1max} в първия и U_{2max} във втория период на затихващите трептения (фиг. 3).



фиг. 3

Сравнете експерименталната стойност на честотата с теоретичната, изчислена по формулата $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}$. Определете експерименталния декремент на затихването $D_{exp} = U_{1max} / U_{2max}$. Изчислете коеф. на затихване на свободните трептения δ от връзката $D_{exp} = e^{\delta T}$ и го сравнете с теоретичната стойност, получена от $\delta = 1/(2RC)$. Определете съпротивлението на загуби в звеното от втори ред $R_z = \frac{T}{2C \ln D_{exp}}$. Отговаря ли получената стойност на включения във веригата резистор R ?

Приложение

No.	Образ	Оригинал	No.	Образ	Оригинал
1	1	$\delta(t)$	14	$\frac{a}{p^2 + a^2}$	$\sin at$
2	$\frac{1}{p}$	$1(t)$	15	$\frac{p}{(p^2 + a^2)^2}$	$\frac{t}{2a} \sin at$
3	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	t^n	16	$\frac{b}{(p+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \sin bt$
4	$\frac{1}{\sqrt{p}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}}$	17	$\frac{p+a}{[(p+a)^2 + b^2]^2}$	$\frac{1}{2b} e^{-at} \sin bt$
5	$\frac{1}{p+a}$	e^{-at}	18	$\frac{1}{p\sqrt{p}} e^{-\frac{a}{p}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi a}} \sin(2\sqrt{at})$
6	$\frac{1}{p-a}$	e^{at}	19	$\frac{b \cos \varphi \mp (p+a) \sin \varphi}{(p+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \sin(bt \pm \varphi)$
7	$\frac{1}{(p+a)^n}$	$\frac{t^{n-1} e^{-at}}{(n-1)!}$	20	$\frac{p}{(p^2 + a^2)}$	$\cos at$
8	$\frac{a}{p(p+a)}$	$1 - e^{-at}$	21	$\frac{p^2 - a^2}{(p^2 + a^2)^2}$	$t \cos at$
9	$\frac{p+a}{p(p+b)}$	$\frac{a}{b} + \frac{b-a}{b} e^{-bt}$	22	$\frac{p+a}{(p+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \cos bt$
10	$\frac{1}{(p+a)(p+b)}$	$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{b-a}$	23	$\frac{1}{\sqrt{p}} e^{-\frac{a}{p}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \cos \sqrt{at}$
11	$\frac{p}{(p+a)(p+b)}$	$\frac{be^{-bt} - ae^{-at}}{b-a}$	24	$\frac{(p+a) \cos \varphi \mp b \sin \varphi}{(p+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \cos(bt \pm \varphi)$
12	$\frac{b}{(p+a)^2 - b^2}$	$e^{-at} \operatorname{sh} bt$	25	$\frac{1}{(p^2 + a^2)^2}$	$\frac{1}{2a^3} (\sin at - at \cos at)$
13	$\frac{p+a}{(p+a)^2 - b^2}$	$e^{-at} \operatorname{ch} bt$	26	$\frac{\alpha p + \beta}{(p+a)^2 + b^2}$	$(\alpha \cos bt + \frac{\beta - \alpha a}{b} \sin bt) \times e^{-at}$