Схемотехника за импулсни и смесени сигнали

проф. д-р инж. Петър Якимов

pij@tu-sofia.bg

tel.: +359 2 965 32 65

лаб. 1359

Импулсни и аналогови сигнали

Предмет на дисциплината – методи и схеми за генериране и преобразуване на импулсни и аналогови сигнали.

- аналогови сигнали – непрекъсната времева функция, между всеки които и да са две стойности на сигнала има безброй много други.

- импулс – сигнал (напрежение или ток), действащ за време по-малко или сравнимо с продължителността на преходните процеси в дадена електрическа верига.

Схемите с **импулсни сигнали** са линейни и нелинейни.

- линейни – съдържат линейни елементи – резистор R, кондензатор C, индуктивност L, трансформатор без насищане. Линейни са също и схемите, които са съставени само от линейни елементи, напр. реални генератори на ток и напрежение. Типични примери са схемите за интегриране и диференциране. Линейните схеми работят в т.нар. **режим на малък сигнал** – толкова малък, че участъкът от характеристиката, в който протичат процесите, може да се разглежда като линеен. При увеличаване на амплитудата елементите навлизат в нелинейните участъци на характеристиката.

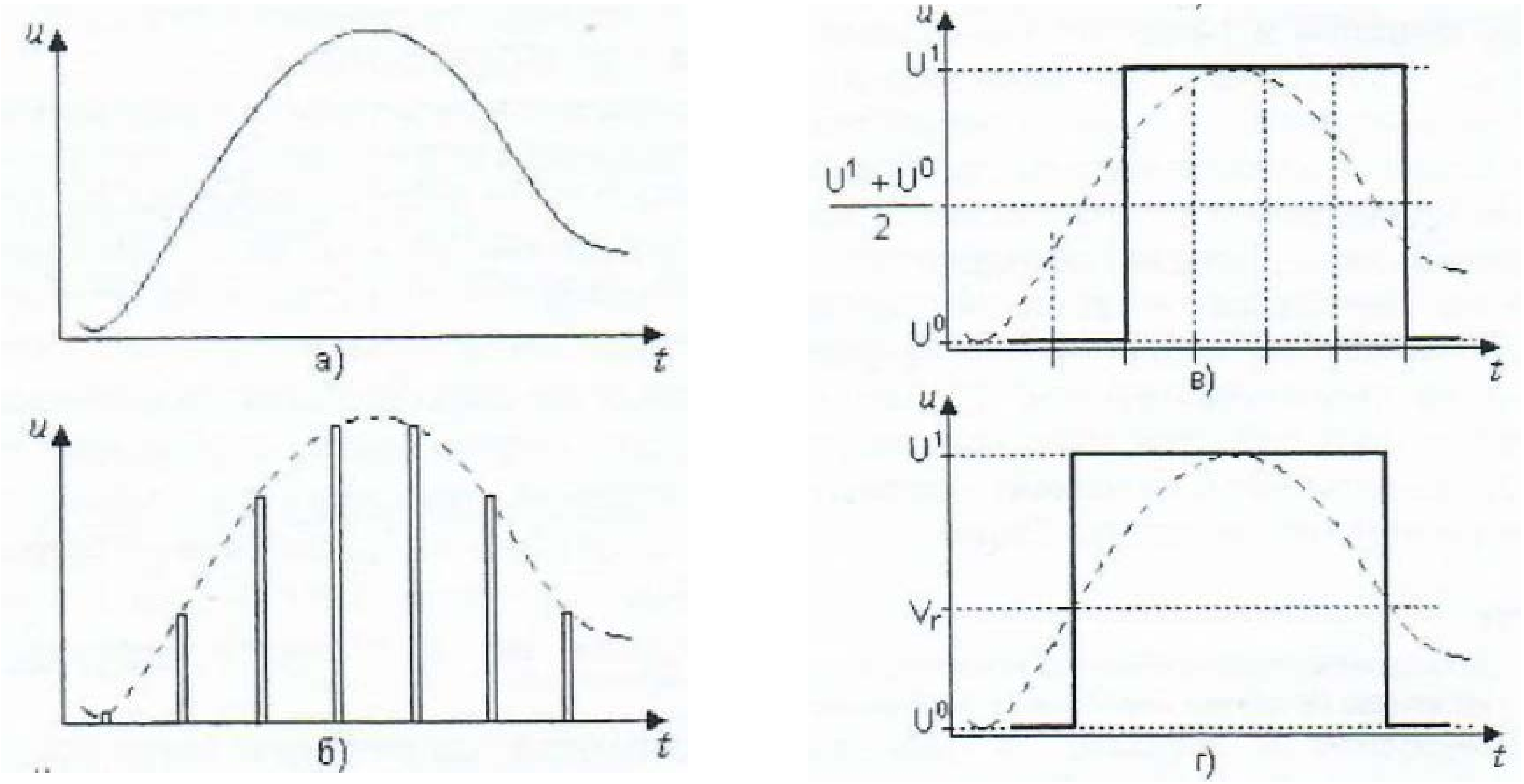
Главна особеност на линейните схеми е, че за тях е справедлив **принципът на суперпозицията** – реакцията на схемата на сума от въздействия е равна на сумата от реакциите на всички въздействия.

- нелинейни – при тях работната точка на елементите достига двете крайни (гранични) области на характеристиките. Тук се използва понятието **режим на голям сигнал**, при който амплитудата е много по-голяма от линейния участък на характеристиката. Елемент, който работи в такъв режим се нарича **ключ**, а схемата – **ключова**. Типични примери са схеми на ограничители, ключове, тригери, генератори и др.

Схемите със **смесени сигнали** са ЦАП, АЦП и др. При тях се срещат и аналогови и импулсни сигнали като промяната в параметрите на едните сигнали води до промяна на параметрите на другите.

Приложение на схемите с импулсни и смесени сигнали – ключови захранващи източници, управление на електродвигатели, двупозиционни сензори и актуатори, измервателна техника, радиолокация, радиокомуникации и много други.

Сигнали



На фиг. а) е показан класически аналогов сигнал. При съвременната цифрова обработка аналоговият сигнал предварително се дискретизира във времето (фиг. б). Полученият сигнал е амплитудно-модулиран периодичен импулсен сигнал. На фиг. в) е показан цифров сигнал, който е дефиниран в дискретни моменти, определени от синхросигнала чрез дискретни амплитудни стойности – U^0 и U^1. При използване на двоична бройна система на тези стойности се присвояват логическите нива 0 и 1. Използват се и дискретизирани по ниво сигнали с непрекъснат времеви аргумент (фиг. г). Те са асинхронни, а моментът на превключване се определя от събитие, напр. преминаването на аналоговия сигнал през стойност V_r.

Форма на импулсите

Най-общо импулсите могат да се разделят на два вида – **видеоимпулси** (фиг. а) и **радиоимпулси** (фиг. б). Разликата между тях е, че видеоимпулсите се получават при превключване на токове и напрежения във вериги за постоянен ток, а радиоимпулсите – при включване или изключване на синусоидални напрежения или токове.

Според формата си импулсите са правоъгълни (а), триъгълни (в), трапецовидни (г), трионообразни (д), камбанообразни (е), експоненциални (ж, з) и др.

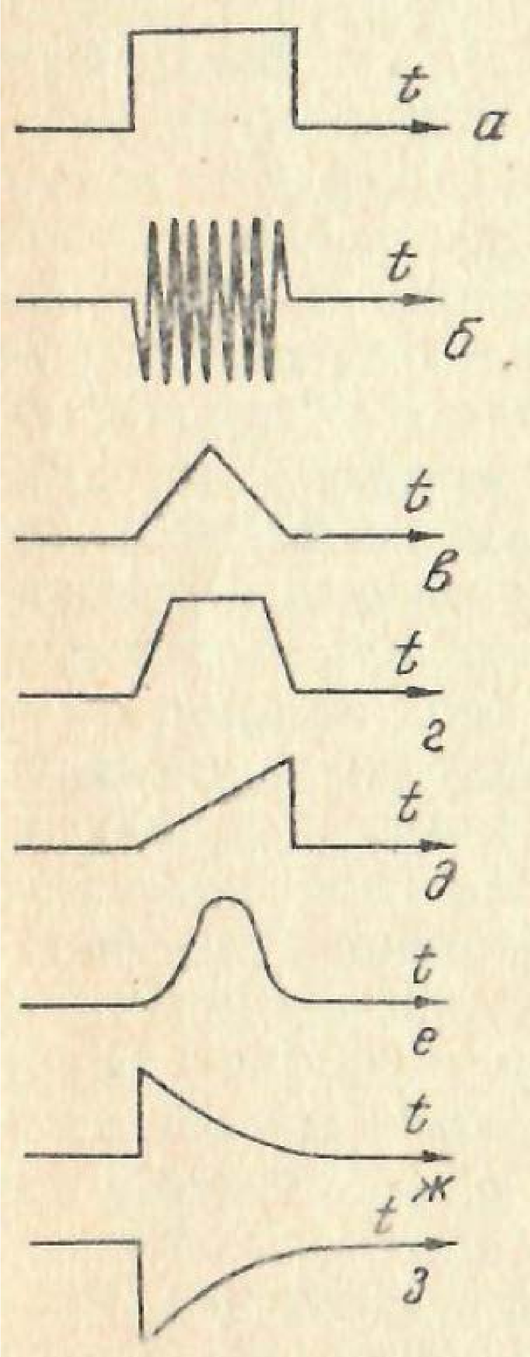
Форма на импулсите

На практика формата се различава от идеалната като реалните правоъгълни импулси най-често са трапецовидни, а триъгълните – експоненциални. Според полярността импулсите могат да бъдат положителни (а÷ж) и отрицателни (з), а също така и двуполярни. В импулсната и цифровата техника най-често се използват правоъгълни импулси, в измервателната техника също така и триъгълни и трионообразни.

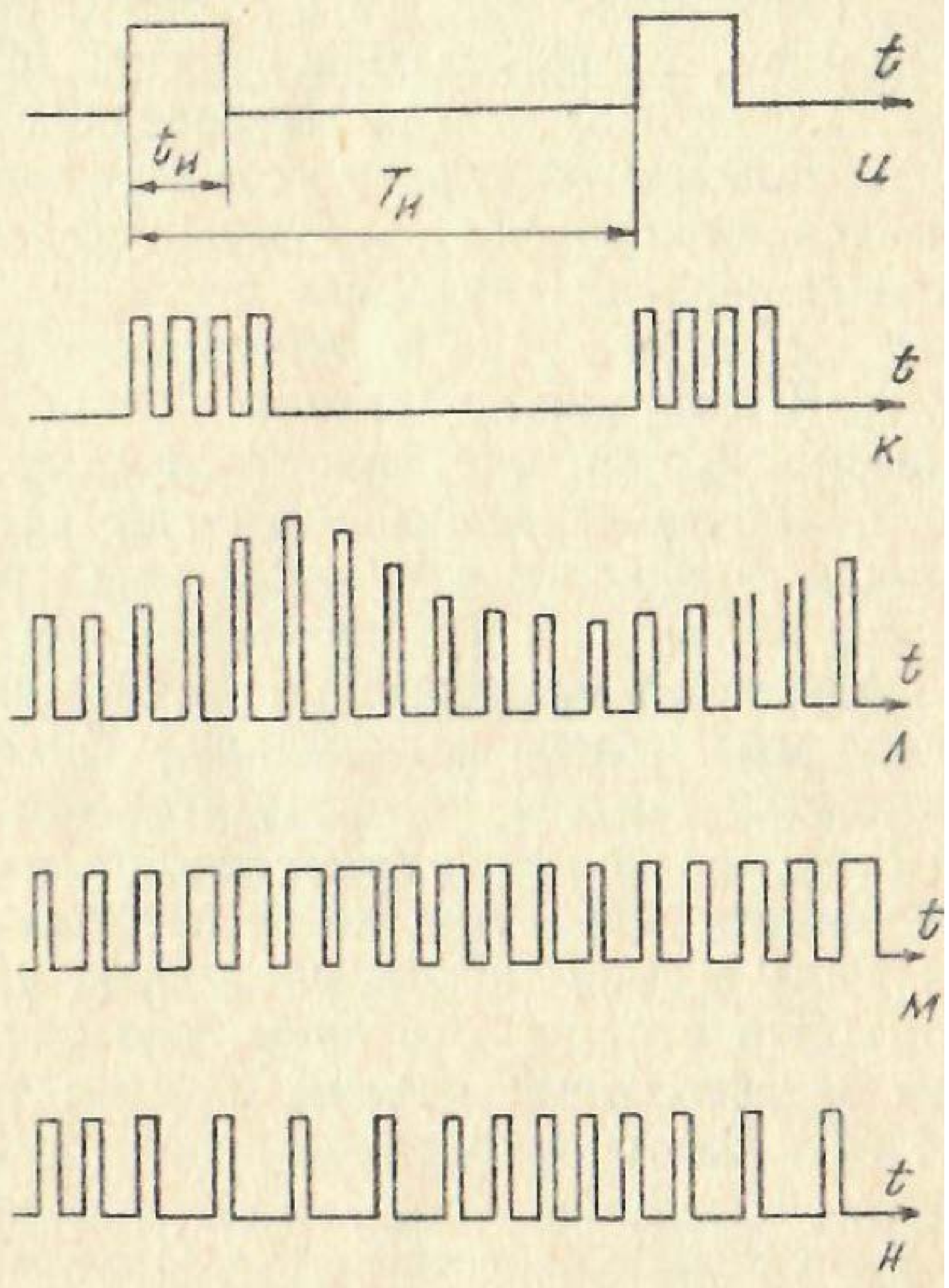
Параметри на импулсите

Параметрите на импулсите са **амплитудни** и **времеви**.

Основните **времеви** параметри са продължителност на импулса $t_и$ (t_w), плато на импулса $t_п$, продължителност на предния $t_{ф1}$ (t_r) и задния фронт $t_{ф2}$ (t_f), период на повторение $T_и$, честота на повторение $f=1/T$, и коефициент на запълване $k_з=t_и/T$. Различават се периодични импулси (и) и непериодични импулси (к). В някои схеми се променят някои от параметрите на импулсите – амплитудно-импулсна модулация (л), широчинно-импулсна модулация (м), честотно-импулсна или фазовоимпулсна модулация (н).

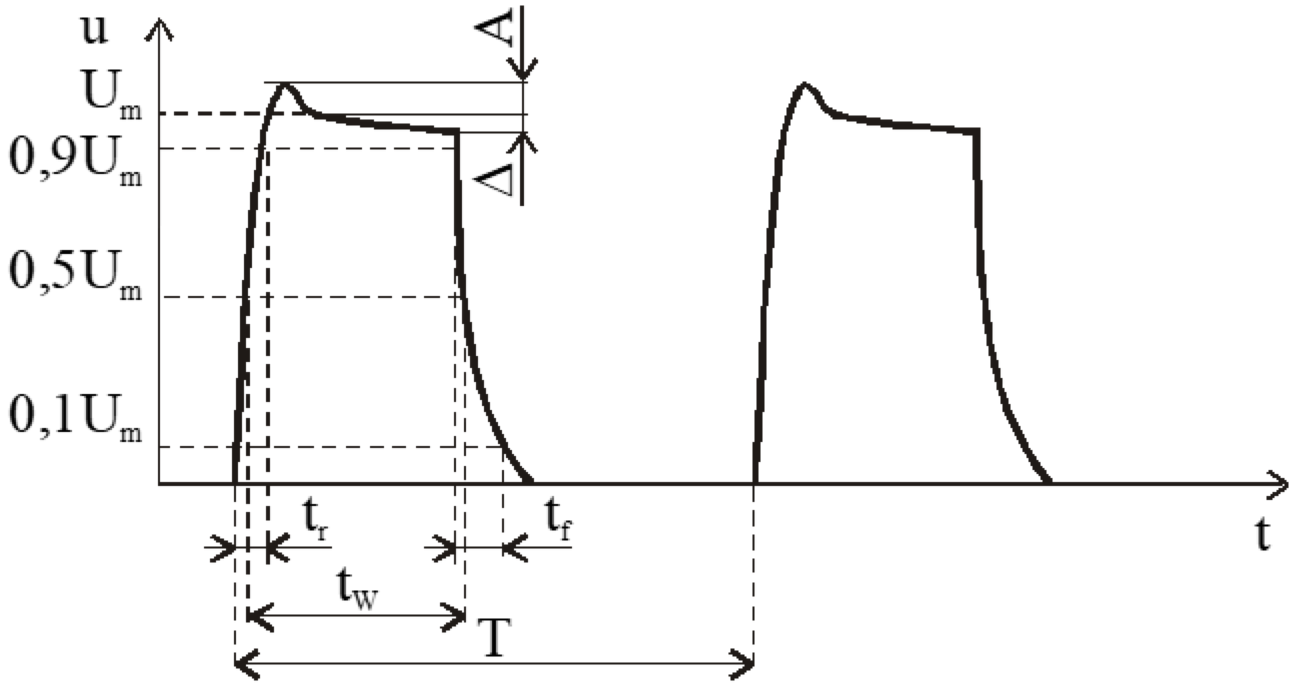


t
а
t
б
t
в
t
г
t
д
t
е
t
ж
t
з



t
$t_и$
$T_и$
и
t
к
t
л
t
м
t
н

Параметри на импулсите

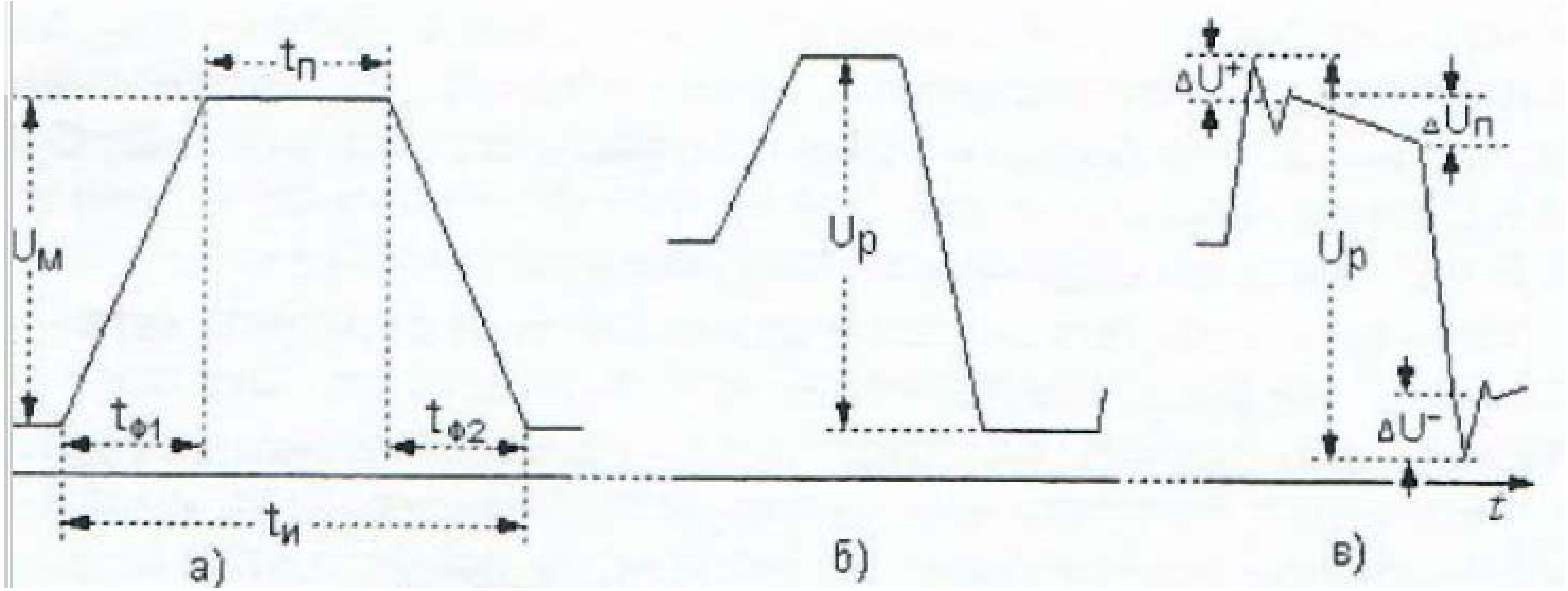


Продължителността на фронтовете се измерва между моментите когато амплитудата е равна на 10% и 90% от стойността.

Продължителността на импулса се измерва между моментите когато амплитудата е равна на 50% от стойността.

Параметри на импулсите

Амплитудните параметри са U_m – амплитуда, U_{min} и U_{max} – минимална и максимална установена стойност на сигнала (фиг. а); U_p – размах или амплитуда от връх до връх – фиг. б) (използва се при двуполярни сигнали); ΔU^+ и ΔU^- – отскоци извън установените максимална и минимална стойности, $\Delta u_п$ – спад на платото на импулса (фиг. в).



$t_п$
$U_м$
$t_{ф1}$
$t_{ф2}$
$t_и$
а)
$U_р$
б)
ΔU^+
$\Delta U_п$
$U_р$
ΔU^-
t
в)

Методи за анализ на преходни процеси

Преходен процес е преминаването на схемата от едно стационарно състояние в друго (приема се, че импулсните схеми имат две стационарни състояния). Преходната характеристика на една схема се дефинира като реакция на изхода при нулеви начални условия за входно въздействие, което има вида на единичен скок.

За анализа на преходни процеси в линейни схеми се използват главно четири метода – класически, операторен, честотен и интеграл на Дюамел.

Всички пасивни електронни елементи имат паразитни съставки – резисторите имат паразитни капацитети и индуктивности, кондензаторите имат пасивни индуктивности и съпротивления, индуктивностите имат паразитни капацитети и съпротивления. Тези паразитни съставки определят продължителността на преходните процеси.

За протичането на преходния процес е необходимо във веригата да има елемент с реактивно съпротивление – индуктивност или кондензатор. Реактивните елементи имат свойството да съхраняват електрическата енергия.

L

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

C

$$W_C = \frac{CU_C^2}{2}$$

Класически метод

Съставя се математически модел на изследвания обект във вид на интегродиференциално уравнение (или система от уравнения) с използване на законите на Кирхов. За решаването на полученото уравнение се използват законите на комутацията – **напрежението на кондензатора и токът през бобината не могат да се променят със скок**. Решението на уравнението описва преходния процес в изследвания обект. При анализ на линейни схеми най-често е необходимо да се реши диференциално уравнение от първи ред:

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = f(t)$$

y(t) е търсената функция на времето (например изходно напрежение);

τ е времеконстантата на веригата (процеса);

f(t) е известна функция на входния сигнал x(t).

Уравнението описва процесите във верига от **първи ред** – в нея участва само **един реактивен елемент**.

Тъй като в началния момент входният сигнал се променя със скок и по време на разглеждането остава постоянен f(t)=const.

Тогава решението на уравнението е:

$$y(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

Интеграционните константи се определят при t=0 и t= ∞.

$$y(0) = A + B$$

$$y(\infty) = B$$

Окончателното решение на уравнението е:

[1] $$y(t) = y(\infty) + [y(0) - y(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Това решение може да се представи във вида:

$$y(t) = y(0) + [y(\infty) - y(0)]\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Вижда се, че за да се получи търсената функция е необходимо да се знаят нейните стойности в началото и в края на преходния процес. Те се определят лесно чрез решаване на статичния режим на веригата преди началото и след края на преходния процес.

Пример 1: Нека u(t)=0 и u(∞)=U_m. Тогава:

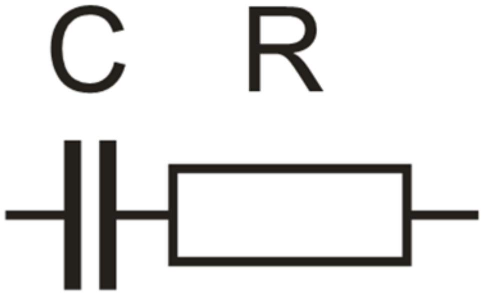
$$u(t) = U_m\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Пример 2: Нека u(t)=U_m и u(∞)=0. Тогава:

$$u(t) = U_m e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Времеконстанта

$$\tau = \frac{L}{R}$$



$$\tau = RC$$

Времеконстанта (**τ**) на една линейна верига е времето, необходимо за нарастване на изходното напрежение от първоначална стойност нула до приблизително 63,2% от стойността на подаденото входно напрежение или за намаляване на изходното напрежение до приблизително 36,8% от неговата начална стойност. (Тези стойности са получени от математическата константа **e≈2,718** - 63.2%=1-e^{-1} и 36.8%=e^{-1}).

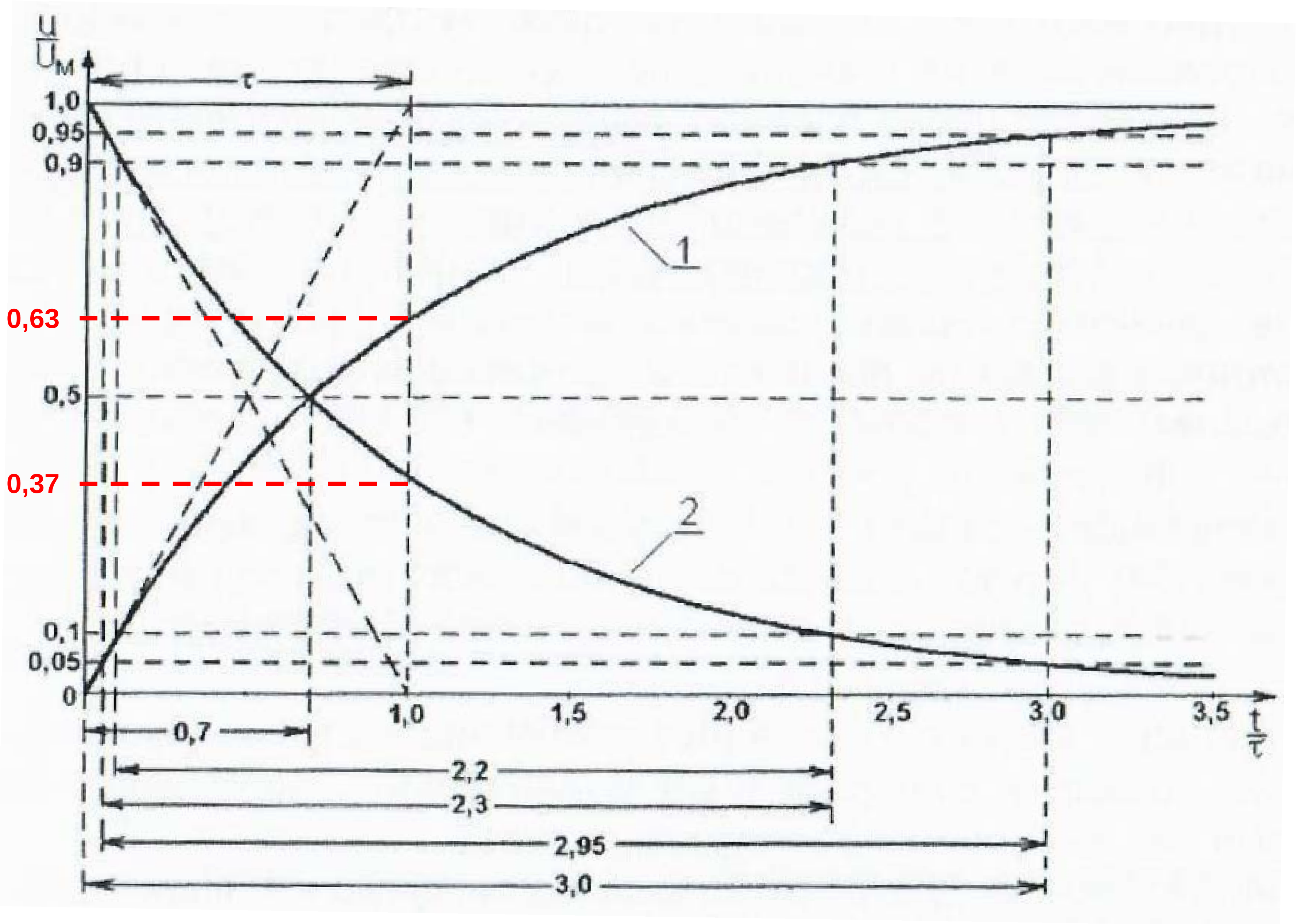
Продължителността на преходния процес се намира когато уравнение [1] се реши спрямо времето t:

$$t = \tau ln\frac{y(\infty) - y(0)}{y(\infty) - y(t)}.$$

Интервалите Δt, през които експонентата се изменя между две стойности се намират като y се замести с u:

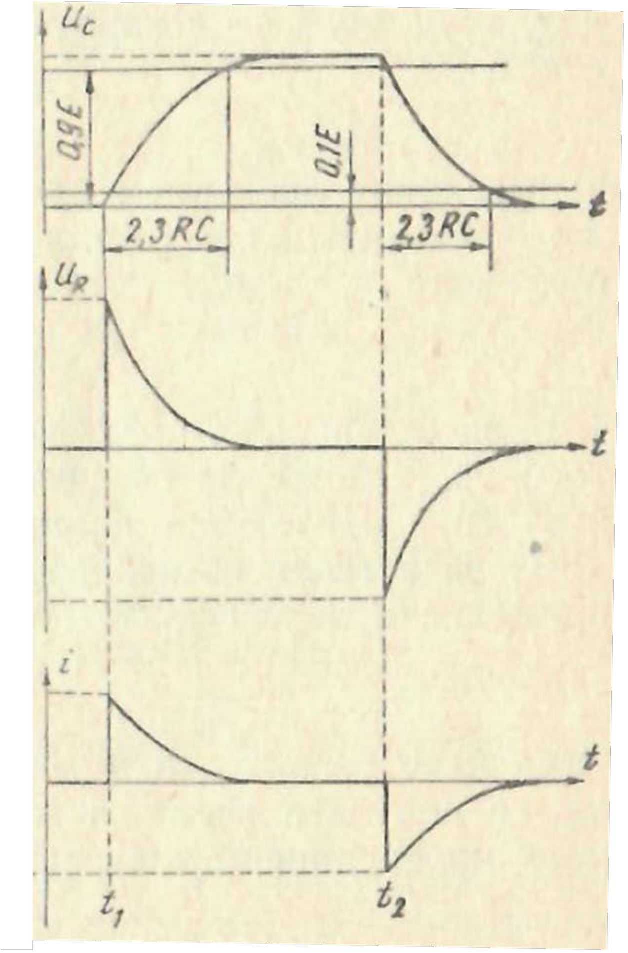
$$\Delta t = t_2 - t_1 = \tau ln\frac{u(\infty) - u(t1)}{u(\infty) - u(t2)}.$$

В практиката за продължителност на преходния процес във вериги от първи ред се приема: $\mathbf{t_{0\div0,95}=t_{1\div0,05}=3\tau}$.



u
Uм
τ
1,0
0,95
0,9
0,63
0,5
0,37
0,1
0,05
0
1
2
0,7
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
t
τ
2,2
2,3
2,95
3,0

$\delta = \frac{\Delta u}{U_m}$	0÷0,5	0÷0,63	0÷0,95	0,05÷0,95	0,1÷0,9	0÷0,9
	1÷0,5	1÷0,37	1÷0,05	0,95÷0,05	0,9÷0,1	1÷0,1
$\Delta t/\tau$	0,7	1	3	2,95	2,2	2,3



Много често достатъчна точност се получава когато се приеме, че преходният процес е завършил при промяна на изходното напрежение с 90% от амплитудата. Продължителността на времето за нарастване (продължителността на предния фронт t_ϕ) може да се намери с израза:

$$0{,}9U_m = U_m\left(1 - e^{-\frac{t_\phi}{\tau}}\right).$$

След преобразуване се получава: $e^{\frac{t_{ф}}{\tau}} = 10$,

или $t_{ф} = \tau ln10 = 2{,}3\tau$.

Времето за спадане на напрежението (продължителността на задния фронт $t_{ф}$) се намира с израза:

$0{,}1U_m = U_m e^{-\frac{t_{ф}}{\tau}}$, което след преобразуване води до $e^{\frac{t_{ф}}{\tau}} = 10$,

или $t_{ф} = \tau ln10 = 2{,}3\tau$.

Операторен метод

Основава се на преобразуванието на Лаплас. Различава се от класическия метод по това, че решението на интегродиференциалните уравнения (системи) се свежда до решение на алгебрични уравнения (системи).

Честотен метод

Входният сигнал се представя чрез преобразуванието на Фурие със своя честотен спектър. За всеки от хармониците се определя реакцията на изхода. Според принципа на суперпозицията изходният сигнал е сума от реакциите на всички хармоници. Ценно правило, което дава използването на този метод гласи: ниските честоти в спектъра на импулсния сигнал се определят от бавните изменения (платото) на сигнала, високите – от бързите изменения (фронтовете).

Валидни са следните зависимости между горната гранична честота f_h и продължителността на фронта $t_ф$:

(1) $f_h.t_{ф0,1÷0,9} \approx 0,4$

(2) $f_{0,99}.t_{ф0,1÷0,9} \approx 0,5$

$f_{0,99}$ е граничната честота, до която е съсредоточена 99% от енергията на импулса.