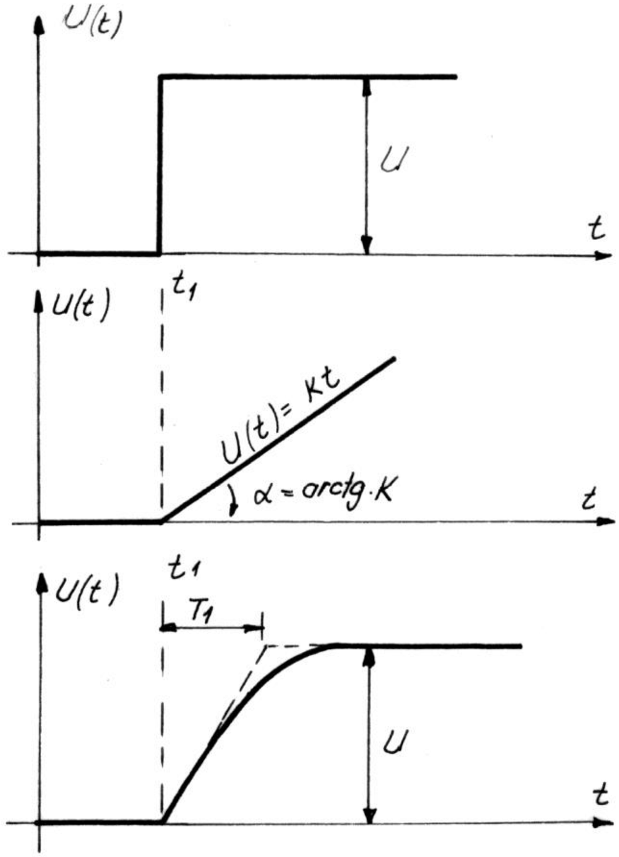
## 1.4 SEMNALE ELEMENTARE

În aplicaţii se întâlnesc o mare varietate de forme de impulsuri dar care în marea lor majoritate pot fi aproximate prin sume algebrice de semnale elementare. În general semnalele reale pot fii afectate de o serie de distorsiuni, fie produse de către circuitul prin care trece semnalul, fie sunt afectate de canalele de transmisie a semnalului. Un semnal poate fi transmis printr-o multitudine de canale de trasmisie, cum ar fii: fire electrice răsucite, cablu coaxial, fibre optice, cablaj imprimat, unde audio- video sau de altă frecvenţă. În urma distorsiunilor semnalului rezultat acesta poate sa difere mai mult sau mai puţin de semnalul iniţial. Ceea ce este particular la circuitele numerice constă în faptul că indiferent de natura distorsiunilor semnalul de intrare cît şi cel de ieşire sunt permanent comparate cu o referinţă. În principiu referinţa este o tensiune( curent) de o valoare constantă. Orice circuit numeric(digital) compară semnalul de intrare cu tensiunea de referinţă, care în mod frecvent se numeşte tensiune de prag şi se notează cu $V_T$. Dacă semnalul de la intrarea circuitului este mai mic decât tensiunea de prag atunci acesta este interpretat ca nivel de tensiune scăzut, notat cu $V_L$( Low), în caz contrar este interpretat ca nivel de tensiune ridicat, notat cu $V_H$(High). Acest mod de interpretare din punct de vedere formal se exprima sub forma a două valori logice. În general lui $V_L$ i se atribuie valoarea logică „0”, iar lui $V_H$ valoarea logică „1”. Cele doua valori se numesc valori binare, care sunt interpretate prin aritmetica binară. Rezultă că toate sistemele binare (calculatare, laptopurile, tabletele, telefoane mobile, televiziunea numerică, trasmisiunile numerice pe cablu, fibre optice, satelit, aparatura electronică numerică şi multe altele) se bazează pe circuite numerice. Marele avantaj al circuitelor numerice constă în faptul că oricât de distorsionat este semnalul aplicat la intrare acesta poate fi recunoscut şi prelucrat dacă indeplineşte o singură condiţie şi anume să poată fii comparat cu tensiunea de prag. Un alt avantaj al circuitelor numerice îl reprezintă faptul că numărul de tipuri de circuite este extrem de redus şi anume cele ce generează cele şase funcţii de bază: NU, DA, SI, SAU, SI-NU, SAU-NU. Acest lucru determină o reducere semnificativă a preţurilor de fabricaţie. În general marea majoritate a fenomenelor ce ne înconjoară sunt de natură analogică, reprodusă mai fidel de electronica analogică. Dar avantajele prezentate mai sus(şi nu sunt singure) ale electronicii numerice face ca azi o bună parte a electronicii să fie de tip numeric, reprezentate prin circuitele numerice. Astfel orice sistem digital este constituit din circuite numerice( digitale), care printr-un mod adecvat de interconectare să permită constituirea celor mai complexe şi inteligente aparate. În doar 50 de ani s-a trecut de la era mecanicistă la o socetate ce se bazează tot mai mult pe aparatură inteligentă ce a permis omenirii performanţe ştiinţifice greu de prevăzut cu ceva anii în urmă şi greu de anticipat ce va rezerva viitorul.

Cele mai utilizate semnale de bază se prezintă în figura 1.13




a)semnal treaptă
( figura 1.13.a):

$U(t) = U$ pentru $t \geq t_1$
şi
0 pentru $t < t_1$

b)semnal liniar variabil
(figura 1.13.b):
$U(t) = k.t$ pentru $t \geq t_1$
şi
0 pentru $t < t_1$

c) semnal exponenţial
(figura 1.13.c):

$U(t) = U(1- e^{-t/T_1})$
Pentru $t \geq t_1$
şi
0 pentru $t < t_1$

Figura 1.13

De multe ori un semnal oarecare poate fi compus din unul sau mai multe semnale elementare În figura 1.14 se prezintă un impuls reprezentat ca sumă de două semnale treaptă, unde semnalul rezultat este alcătuit din însumarea unui semnal treaptă pozitiv , de amplitudine U, aplicat la momentul t=0 şi un semnal treaptă negativ, de amplitudine –U, aplicat la momentul $t_1$ . În acest sens se poate face o analiză a comportării circuitului la două semnale relativ simple. Trebuie făcută observaţia că analiza se va efectua în timp. Semnalul rezultat este descris de relaţia de mai jos:

$U ( t ) = U_1( t-t_1) + U_2 ( t-t_2)= U(t-t_1) - U(t – t_2)$

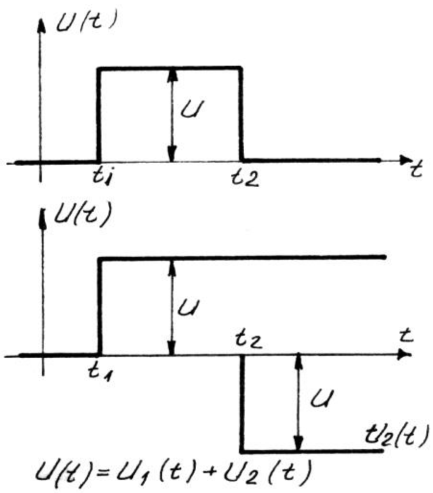
Semnalul din figura 1.15 se poate exprima ca sumă de patru semnale liniar variabile aplicate la momente de timp diferite:

$U ( t ) = U_1( t-t_1) + U_2 ( t-t_2) + U_3( t-t_3) + U_4 ( t-t_4) = k_1(t –t_1)- k_1(t- t_2) – k_2(t- t_3) + k_2(t- t_4)$

În figura 1.16 semnalul este exprimat ca sumă a două semnale exponenţial:

$U ( t ) = U_1( t-t_1) + U_2 ( t-t_2) = U(1- e^{-(t-t_1)/T_1}) - U(1- e^{-(t-t_2)/T2})$

Iar semnalul din figura 1.17 se poate reconstituii din două semnale liniar variabile şi un semnal exponenţial( $U_3$ ):



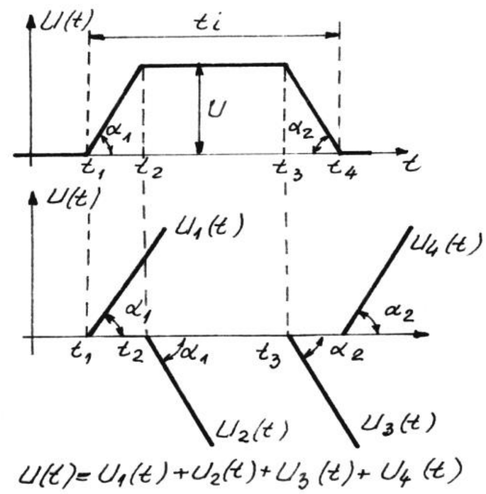
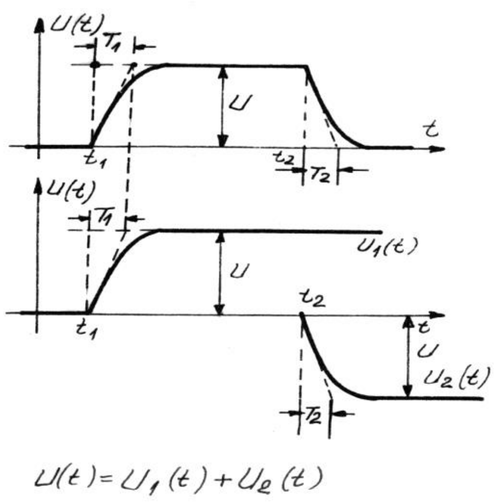




Figura1.14 Figura 1.15



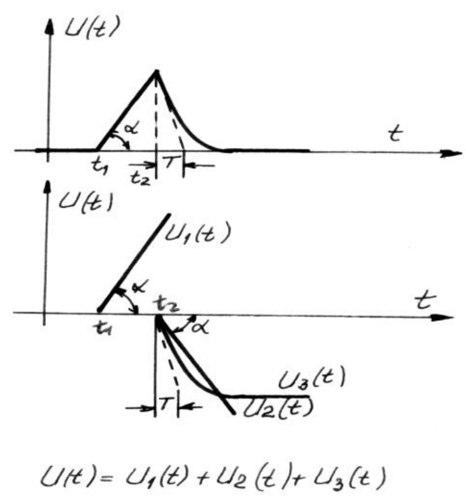



Figura 1.16 Figura 1.17

U ( t ) = $U_1$( t-$t_1$) + $U_2$ ( t-$t_2$) + $U_3$( t-$t_2$) = k(t-$t_1$) - k(.t – $t_2$) - U(1- $e^{-(t-t_2)/T}$ )

Fiecare din semnalele elementare acţionează din momentul conectării: $t_1$, $t_2$, ş.a.m.d. până la t= ∞.

## 2.2 METODA INTEGRO-DIFERENŢIALĂ. RĂSPUNSUL CIRCUITELOR LINIARE CU O SINGURA CONSTANTA DE TIMP

În studiul multor circuite digitale se întâlnesc procese tranzitorii descrise de o ecuaţie diferenţială de ordinul întâi:

$$\tau \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = z(t) \qquad (2.1)$$

unde: x(t) - este funcţia de timp căutată (tensiune sau curent)

τ – constanta de timp a circuitului

z(t) – tensiunea (sau curentul) sursei exterioare ( semnal treapta)

Prin astfel de ecuaţii se descriu procesele tranzitorii dintr-un circuit, care conţine alături de rezistenţe şi surse exterioare şi un element reactiv; capacitate sau inductanţă.

Soluţia generală a ecuaţiei diferenţiale din relaţia (2.1) poate fi reprezentată sub forma:

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) \qquad (2.2)$$

unde:

$x_1(t)$- este o soluţie particulară a ecuaţiei diferenţiale

$x_2(t)$- soluţia generală a ecuaţiei omogene diferenţiale prezentată în relaţia (2.3)

$$\tau \frac{dx_2(t)}{dt} + x_2(t) = 0 \qquad (2.3)$$

După cum se ştie răspunsul ecuaţiei omogene diferenţiale este dat mai jos

$x_2(t) = Ae^{pt}$

unde A este o constantă arbitrară, iar p este rădăcina ecuaţiei caracteristice:

p + 1 = 0: rezultă că : $p = -\frac{1}{\tau}$

prin urmare: $x_2(t) = A.e^{-\frac{t}{\tau}}$

şi conform relaţiei (2.10) soluţia generală a ecuaţiei diferenţiale devine:

$$x(t) = x_1(t) + A.e^{-t/\tau} \qquad (2.4)$$

Caracterul soluţiei particulare $x\ (t)$ depinde de caracterul semnalului extern. Când semnalul extern este un semnal treaptă rezultă că:

$x(t) = z_0 = const;$ pentru t ≥ 0

Deci soluţia particulară $x_1(t)$ va fi de asemenea o constantă. Dacă în relaţia (2.3) se pune t = $\infty$ se obţine:

$$x(\infty) = x_1$$

adică $x_1$ est egal cu valoarea funcţiei căutate în regim staţionar.
Luând în considerare relaţia (2.4) relaţia (2.3) ia forma:

$$x(t) = x(\infty) + A.e^{-t/\tau} \tag{2.5}$$

Făcând pe t=0 se obţine:

$$A = x(0) - x(\infty)$$

Înlocuind pe A din relaţia (2.5), expresia generală a răspunsului va fi:

$$x(t) = x(\infty) + [x(0) - x(\infty)].e^{-t/\tau} \tag{2.6}$$

Astfel, dacă într-un circuit de ordinul întâi acţionează doar surse de tensiune continue (sau curent) se poate scrie expresia x(t) pentru orice tensiune sau curent tranzitoriu din circuit conform cu relaţia (2.6), determinând în prealabil valoarea iniţială x(0) şi cea staţionară x $(\infty)$ şi constanta de timp a circuitului.

Cu ajutorul, relaţiei (2.14) se poate determina intervalul de timp t de la $t_2$ la $t_1$ în cursul căruia funcţia ce variază exponenţial, creşte de la valoarea $x(t_1)$ la x $(t_2)$.

Conform cu (2.14)

$$x(t_1) = x(\infty) - [x(\infty) - x(0)]e^{-\frac{t1}{\tau}}$$

de unde:

$$t_1 = \tau \ln \frac{x(\infty) - x(0)}{x(\infty) - x(t_1)}$$

şi analog

$$t_2 = \tau \ln \frac{x(\infty) - x(0)}{x(\infty) - x(t_2)}$$

Rezultă intervalul de timp, sau timpul de tranziţie dintre cele două momente de timp t de la $t_2$ la $t_1$:

$$t = t_2 - t_1 = \tau \ln \frac{x(\infty) - x(t_1)}{x(\infty) - x(t_2)} \tag{2.7}$$

Această relaţie va fi des utilizată la determinarea duratei impulsurilor, a fronturilor şi a diverselor intervale de timp.

**Integrala duhamel. Calculul răspunsului unui circuit electric la un impuls-treaptă**

Impulsul-treaptă aplicat la intrarea circuitului poate fi un curent sau o tensiune. Răspunsul circuitului, de asemenea, poate fi un curent sau o tensiune. În funcţie de natura electrică a semnalelor de intrare şi ieşire se pot defini următoarele funcţii caracteristice ale circuitului:

1. “Admitanţă indicială”: răspunsul de curent la un impuls-treaptă unitar de tensiune. Dacă saltul de tensiune şi răspunsul de curent se referă la un acelaşi ochi, admitanţa

indicială este de intrare. Dacă saltul de tensiune se aplică în ochiul m iar răspunsul de curent se determină în achiul k, atunci se defineşte admitanţa indicială între ochiul m şi k.

2. ”impedanţa indicială”: răspunsul de tensiune la un impuls-treaptă unitar de curent. Se defineşte, analog ca mai sus, impedanţa indicială de intrare şi de transfer.

3. ”Factor de transfer indicial pentru tensiune” (curent): răspunsul de tensiune (curent) al circuitului la un impuls-treaptă unitar de tensiune (curent).

Funcţiile definite mai sus se numesc “funcţii indiciale” ale circuitului şi se notează în general, cu A (t); ele caracterizează proprietăţile circuitului în cazul metodei integralei Duhamel.

Dacă se cunoaşte funcţia indicială a unui circuit, integrala Duhamel permite să se calculeze răspunsul circuitului la un semnal având o formă oarecare.În cele ce urmează vor fi folosite următoarele notaţii:

a) a(t) – semnalul (curent sau tensiune) aplicat la intrarea circuitului
b) a(0)- valoarea semnalului aplicat la intrare înmomentul t=0
c) f(t) – răspunsul circuitului (curent sau tensiune).

Cu aceste notaţii, integrala Duhamel se poate calcula cu una din următoarele expresii:

$$f(t) = a(0).A(t) + \int_0^t \left(\frac{da}{dt}\right)_{|t=\tau} .A(t-\tau)d\tau$$

$$f(t) = a(0).A(t) + \int_0^T \left(\frac{da}{dt}\right)_{|t=t-\tau} .A(\tau)d\tau$$

$$f(t) = a(t).A(o) = \int_0^t \left(\frac{dA}{dt}\right)_{|t=\tau} .a(t-\tau)d\tau$$

$$f(t) = a(t).A(0) + \int_0^t \left(\frac{dA}{dt}\right)_{|t=t-\tau} .a(\tau)d\tau \tag{2.8}$$

Metoda de determinare a răspunsului unui circuit cu ajutorul integralei Duhamel cuprinde următoarele etape:

1. se determină expresia funcţiei indiciale;
2. se determină termenii care intervin în una dintre relaţiile (2.8) de exemplu, în relaţia (2.16a) trebuie cunoscuţi termenii a(0) şi $\left(\frac{da}{dt}\right)_{|t=\tau}$;
3. se calculează integrala Duhamel.

În continuare spre a sugera modul de analiză a circuitelor pentru impulsuri se vor da câteva exemple reprezentative. Exemplele alese contituie totodată şi o cale de verificare a cunoştinţelor prezentate în acest capitol.

### 2.3.2. Calculul răspunsului unui RC trece-jos la un semnal liniar variabil.

***Exemplul 2.1***. *Să se determine analitic şi să se reprezinte grafic răspunsul de tensiune ale circuitului din figur 2.1 la a cărui intrare se aplică o tensiune liniar variabilă:*

*Semnalul de la intrare are expresia:*

$u_i(t) = 0$ *pentru t < 0*

$u_i\,(t) = k.t$ *pentru t ≥ 0*

*şi este reprezentat grafic în figura 2.2*

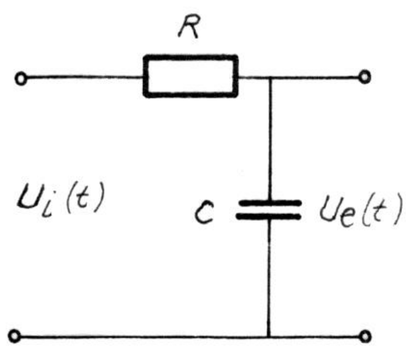



*Figura 2.1*

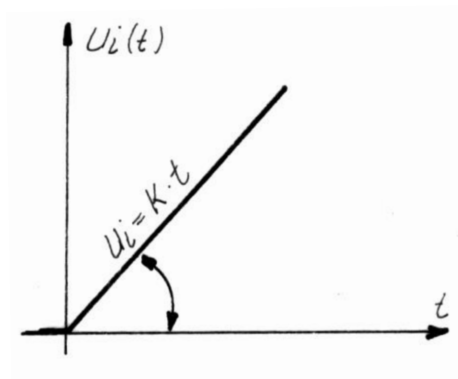



*Figura 2.2*

*Pentru determinarea analitică a răspunsului se va utiliza una din integralele Duhamel, fie:*

$$u_i(t) = u_i(0).A(t) + \int_0^t \left( \frac{du_i(t)}{dt} \right)_{|t=\tau} .A(t-\tau)d\tau$$

*Ca funcţie indicială se va utiliza, în acest exemplu, factorul de transfer indicial pentru tensiune. Se aminteşte că funcţia inicială se determină pentru un semnal treaptă unitar, Pentru determinarea funcţiei indiciale se scrie tensiunea de ieşire a circuitului:*

$u_e = u_c = \dfrac{1}{C}\int idt$ *sau* $i = C\dfrac{du_e}{dt}$

*Tensiunea de intrare a circuitului este:*

$u_i = u_R + u_C = R.i + u_e$

*unde:* $i = C\dfrac{du_e}{dt}$ *şi*

$u_i = R.C\dfrac{du_e(t)}{dt} + u_e(t)$ *( o ecuaţie diferenţială); pentru t ≥0, şi* $u_i = U$

*Tinând seama de relaţia (2.14) şi de valorile iniţiale şi staţionare ale semnalului*

$u_e(0) = 0; \quad u_e(\infty) = U$

*Se adoptă valoarea unitară pentru determinarea funcţiei indiciale. Se obţine:*

$$u_e(t) = u_e(\infty) + [u_e(0) - u_e(\infty)]e^{-\frac{t}{RC}} \Bigg] \text{, pentru } u_i = 1$$

*tensiunea de ieşire la un semnal treaptă unitar( U=1) devine:*

$$u_e(t) = 1 - e^{-\frac{t}{RC}}$$

*unde funcţia indicială este:*

$$A(t) = \frac{u_e(t)}{u_i(t)} = 1 - e^{-t/RC} \qquad (2.9)$$

*Cunoscând funcţia indicială şi determinând mai jos termenii din integrala Duhamel utilizată,*

$$A(t) = 1 - e^{-t/RC}$$

$$A(t-\tau) = 1 - e^{-\frac{t-\tau}{RC}}$$

$$\frac{du_i(t)}{dt}\bigg|_{t=\tau} = k$$

*se obţine răspunsul circuitului în acest caz este:*

$$f(t) = u_e(t) = \int_0^t k(1 - e^{-\frac{t-\tau}{RC}})d\tau = k\left[t - RC(2 - e^{-\frac{t}{RC}})\right] \qquad (2.10)$$

*Relaţia 2.17 reprezintă funcţia indicială de transfer pentru circuitul RC trece-jos indiferent de semnalul aplicat la intrare şi reprezintă o caracteristică a circuitului RC trece-jos.*

*Reprezentarea grafică a răspunsului circuitului se prezintă în figura 2.3, fiind un semnal ce creşte exponenţial la infinit, paralel cu semnalul de intrare, deplasat pe axa timpului cu mărimea kRC.*

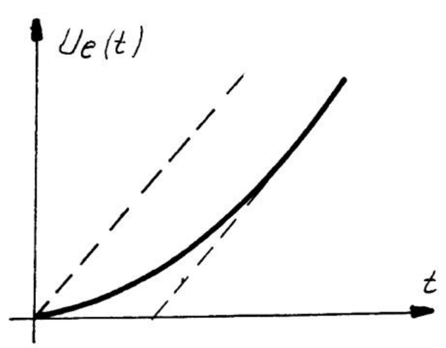



*Figura 2.3*

***Exemplul 2.2*** *Să se determine analitic şi să se reprezinte grafic răspunsul de tensiune a circuitului RC trece - sus din figura 2.4 la intrarea căruia se aplică o tensiune liniar variabilă reprezentată în figura 2.5.*

*Pentru determinarea analitică a răspunsului se va utiliza următoarea integrală Duhamel:*

$$u_i(t) = u_i(0).A(t) + \int_0^t \left( \frac{du_i(t)}{dt} \right)_{|t=\tau} .A(t-\tau)d\tau$$

*Ca funcţie indicială se va folosi factorul de transfer indicial pentru tensiune.*

*Tensiunea la bornele de ieşire ale circuitelor este:*

$$u_e(t) = R.i$$

*Tensiunea la intrarea circuitului mai poate fi scrisă:*

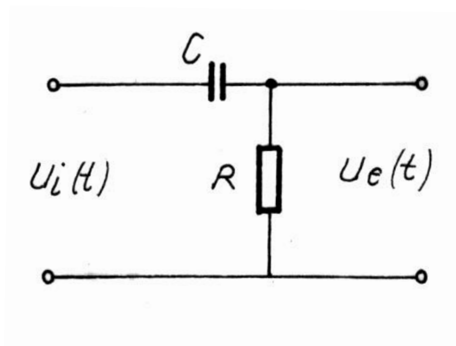



*Figura 2.4*

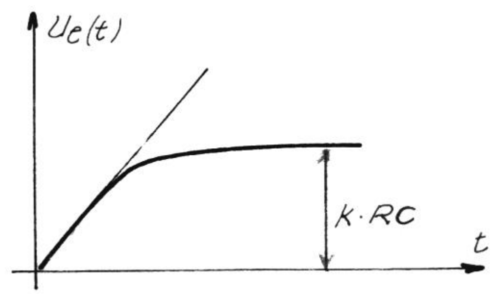



*Figura 2.5*

$$u_i(t) = u_c + u_R = \frac{1}{C}\int_0^t idt + u_e(t)$$

*Prin diferenţierea şi înlocuirea curentului* **i** *se obţine:*

$$\frac{u_e(t)}{RC} + \frac{du_e(t)}{dt} = 0$$

*unde în urma rezolvării ecuaţiei diferenţiale omogene, se obţine:*

$$u_e(t) = e^{-\frac{t}{RC}}$$

*considerând semnalul de la intrare ca un semnal treaptă unitar.*

*Funcţia indicială,. pentru un semnal treaptă unitar de tensiune este:*

$$A(t) = \frac{u_e(t)}{u_i(t)} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

*Termenii din ecuaţia Duhamel sunt în cest caz:*

$$u_i(0) = 0$$

$$\frac{du_i(t)}{dt_{|t=\tau}} = k$$

$$A(t) = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$A(t-\tau) = e^{-\frac{t-\tau}{RC}}$$

*Şi înlocuiţi în expresia integralei Duhamel, se obţine răspunsul circuitului RC.*

$$u_e(t) = K\int_0^t e^{-\frac{t-\tau}{RC}} d\tau = kRC(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = U_R \qquad (2.11)$$

*Reprezentarea grafică a răspunsului este dată în figura 2.5. Se constată că răspunsul este un semnal exponenţial ce tinde la infinit la o mărime constantă cu amplitudinea egală cu kRC.*

***Exemplul 2.3**. Se cere determinarea răspunsul circuitelor RC trece-jos din figura2.1 şi a circuitului RC trece- sus din figura 2.4 la bornele căruia se aplică un semnal reprezentat în figura 2.6.*

*Expresia pentru semnalul de la intrare este:*

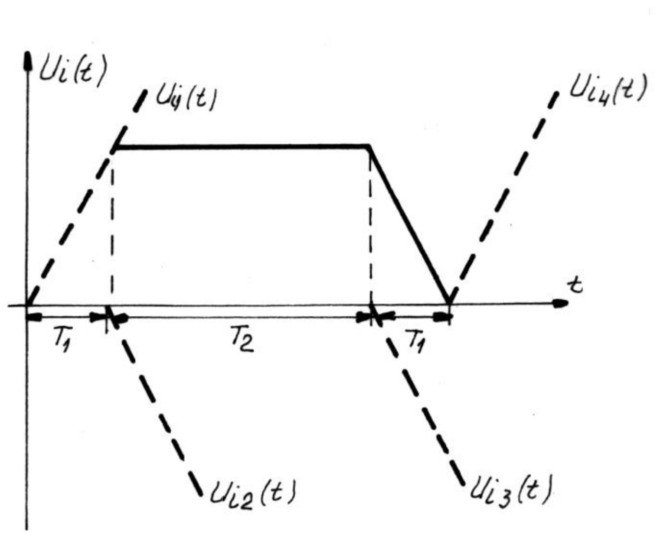



*Figura 2.6*

$$u_i(t) = \begin{cases} 0; & pentru\ t\langle 0 \\ \frac{U}{T}; & pentru\ 0 \le t\langle T_1 \\ U; & pentru\ T_1 \le t\langle T_1 + T_2 \\ -\frac{U}{T_1}; & pentru\ T_1 + T_2 \le t\langle T_1 + T_2 + T_1 \\ 0; & pentru\ t\rangle T_1 + T_2 + T_1 \end{cases}$$

*Semnalul de la intrare se poate descompune în patru semnale liniar variabile ca în figura 2.6, unde semnalele liniar variabile sunt reprezentate prin linii punctate.*

*În acest sens semnalul de la intrare se poate compune din patru semnale liniar variabile ce se aplică la momente diferite specificate în figură:*

$$u_i(t) = u_{i_1}(t) + u_{i_2}(t - T_1) + u_{i3}(t - T_1 - T_2) + u_{i_4}(t - 2T_1 - T_2)$$

*Răspunsul circuitului RC trece-jos la un semnal de intrare liniar variabil este exprimat prin relaţia (2.18) şi pentru circuitul RC trece-sus prin relaţia ( 2.19).*

*În acest sens răspunsul celor două circuite, pe intervalele de timp succesive este.*

*a)Răspunsul circuitului RC trece-sus va fi pentru intervalul: $0 \le t < T_1$*

$$u_R(t) = \frac{U}{T_1}.RC(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

*Răspunsul circuitului RC trece-jos va fi pentru intervalul: $0 \le t < T_1$*

$$u_c(t) = \frac{U}{T_1}\left[t - TC(1 - e^{-\frac{t}{RC}})\right]$$

*b) pentru t = $T_1$ = RC = 100$\mu$s se obţine:*

$$u_R(T_1) = \frac{U}{T_1}.RC(1 - e^{-\frac{T_1}{RC}}) = U(1 - e^{-1}) = U(1 - 0,37) = 0,63U = h1$$

$$uc(T_1) = 1 = \frac{U}{T_1}\left[T_1 - RC(1 - e^{-\frac{T_1}{RC}})\right] = U[1 - (1 - e^{-1})] = 0,37U = l1$$

*c)pentru $T_1 \le t \langle T_1 + T_2$, semnalul de la intrare este compus din două componente:*

$$u_1(t) = u_{i_1}(t) - u_{i_2}(t - T_1)$$

*Răspunsul circuitului RC trece-sus va fi pentru intervalul: $0 \le t < T_1 + T_2$*

$$u_R(t) = \frac{U}{T_1}RC(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) - \frac{U}{T_1}RC(1 - e^{-\frac{t-T_1}{RC}}) = \frac{U}{T_1}RC(1 - e^{-\frac{T_1}{RC}}).e^{-\frac{t-T_1}{RC}} = h_1 e^{-\frac{t-T_1}{Rc}}$$

*Răspunsul circuitului RC trece-jos va fi pentru intervalul: $0 \le t < T_1 + T_2$*

$$uc(t) = \frac{U}{T_1}\left[t - TRc(1 - e^{-\frac{t}{Rc}})\right] - \frac{U}{T_1}\left[(t - T_1) - Rc(1 - e^{-\frac{t-T_1}{Rc}}\right] =$$

$$\frac{U}{T_1}\left[T_1 - Rc(1 - e^{-\frac{t_1}{Rc}})\right].e^{-\frac{t-T_1}{Rc}} + U\left[1 - e^{-\frac{t-T_1}{Rc}}\right] = 1_1 e^{-\frac{t-T_1}{Rc}} + U(1 - e^{-\frac{t-T_1}{Rc}})$$

*d)pentru t = $T_1 + T_2$, unde se consideră pentru acest caz $T_2 = 2T_1$*

$$u_R(T_1 + T_2) = h_1.e^{-\frac{T_2}{Rc}} = 0,08U = h2$$

$$u_c(T_1 + T_2) = 1_1 e^{-\frac{T_2}{Rc}} + U(1 - e^{-\frac{T_2}{Rc}}) = 0,9U = l2$$

*e)pentru $T_1 + T_2 \le t \langle 2T_1 + T_2$, semnalul de la intrare este compus din trei componente:*

$$u_1(t) = u_i(t) - u_{i_2}(t - T_1) - u_{i_3}(t - T_1 - T_2)$$

*în urma înlocuitorilor şi grupării termenilor se obţine răspunsul circuitului RC trece-sus va fi pentru intervalul: $0 \le t < T_1 + T_2 + T_1$*

$$u_R(t) = h_2 e^{\frac{-t-T_1-T_2}{Rc}} - \frac{U}{T_1}Rc(1 - e^{-\frac{t-T_1-T_2}{Rc}})$$

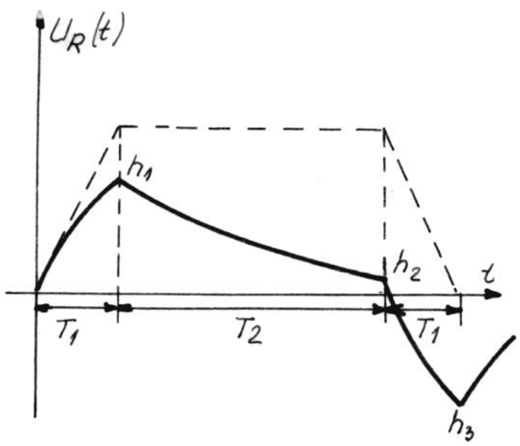
*în urma înlocuitorilor şi grupării termenilor se obţine răspunsul circuitului RC trece-jos va fi pentru intervalul: $0 \le t < T_1 + T_2 + T_1$*

$$u_c(t) = 1_1 e^{-\frac{t-T_1-T_2}{Rc}} + U(1-e^{-\frac{t-T_1-T_2}{Rc}}) - \frac{U}{T_1}\left[(t-T_1-T_2) - Rc(1-e^{-\frac{t-T_1-T_2}{Rc}})\ \right]$$

*f) pentru $t = 2T_1 + T_2$ se obţine*

$$u_R(2T_1 + T_2) = -0{,}6U = h_3$$

$$u_c(2T_1 + T_2) = 0{,}37U = 1_3$$



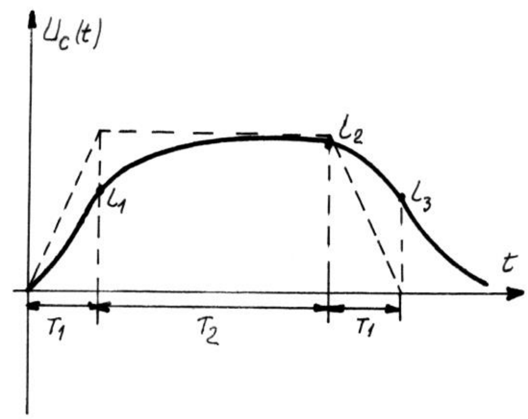




*Figura 2.7* *Figura 2.8*

*g) pentru $t \rangle 2T_1 + T_2$, semnalul de la intrare este compus din patru componente:*

$$u_i(t) = u_{i_1}(t) - u_{i2}(t-T_1) - u_{i3}(t-T_1-T_2) + u_{i4}(t-2T_1-T_2)$$

*în urma înlocuitorilor şi grupării termenilor se obţine răspunsul circuitului RC trece-sus va fi pentru intervalul: $t > T_1 + T_2 + T_1$*

$u_R(t) = h_3 e^{-\frac{t-2T_1-T_2}{Rc}}$ *semnal ce tinde la 0*

*în urma înlocuitorilor şi grupării termenilor se obţine răspunsul circuitului RC trece-jos va fi pentru intervalul: $t > T_1 + T_2 + T_1$*

$u_c(t) = 1_3 e^{-\frac{t-2T_1-T_2}{Rc}}$ *semnal ce tinde la 0*

*Reprezentarea grafică a răspunsului este dată în figura 2.7 şi 2.8.*