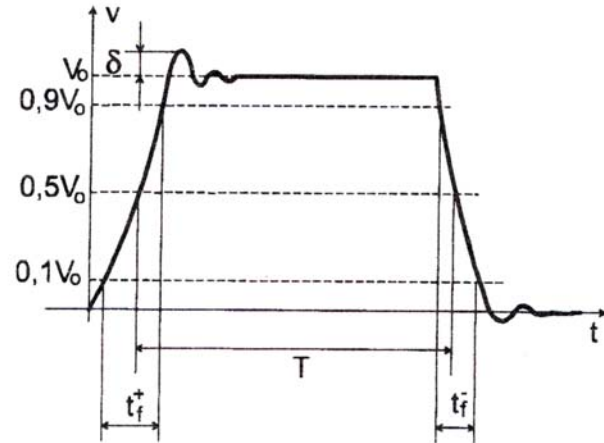
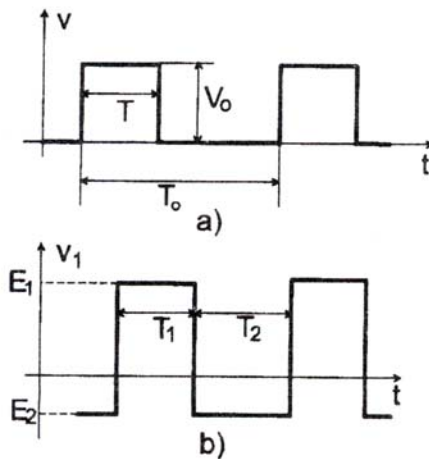


## Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

### 1.1. Impuls electric

- semnal neperiodic de durată finită



\* mărimi caracteristice unui impuls:

- amplitudine,  $X_0$ , ( $mV \div V$ );
- durată,  $T$ , (la 0,5 din amplitudine);  $ns \div 10^2 s$ ;
- timp de creștere, front crescător, front anterior,  $t_{cr}, t_f^+, t_{fLH}$ ;
- timp de cădere, front descrescător, front posterior,  $t_{cad}, t_f^-, t_{fHL}$ ;
- supracreștere,  $\delta$ , val. maximă – 0,1;
- căderea palierului,  $\Delta$ , val. maximă – 0,1;
- perioada impulsurilor,  $T_0$ , cu valori comparabile cu  $T$ ;
- factor de umplere,  $\gamma = \frac{T}{T_0}$ , (probleme dacă  $0 \leftarrow \gamma \rightarrow 1$ )

## Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

### 1.2. Procesul tranzitoriu într-un circuit de ordinul 1

- un singur element reactiv (majoritatea cazurilor practice);
- echivalent: circuit cu o funcție de transfer de ordinul 1 sau circuit caracterizat printr-o ecuație diferențială liniară de ordinul 1.

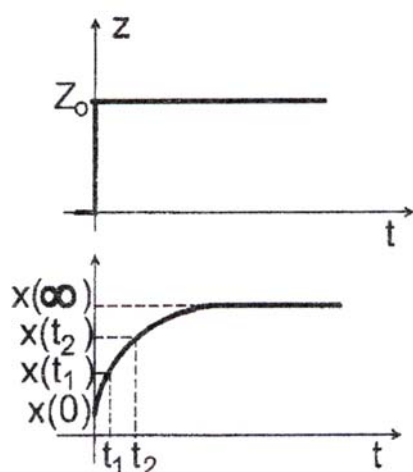
$$* \tau \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = z(t) \quad \text{cu:}$$

$\tau$  constanta de timp a circuitului (unică);

$x(t)$  mărimea electrică cu valoarea inițială  $x(0)$ ;

$z(t)$  excitația, pentru  $t > 0$ .

\* caz particular (cel mai frecvent):  $z(t)$ - semnal treaptă, amplitudine  $z_0$ :



\* la  $t \rightarrow \infty$ , circuitul ajunge la un regim staționar (echilibru), în care  $x(t) \rightarrow x(\infty)$ , constant, ușor de stabilit prin analiza sumară a circuitului, deci:

$$z_0 = x(\infty)$$

\* soluția ecuației diferențiale:

$$x(t) = A + Be^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{cu condițiile:}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = A = x(\infty)$$

$$x(0) = x(\infty) + B \Rightarrow B = x(0) - x(\infty)$$

\* rezultă:

$$x(t) = x(\infty) + [x(0) - x(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{sau:}$$

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

\* mărimile  $x(0)$ ,  $x(\infty)$  și  $\tau$  se deduc prin inspectarea circuitului luând în considerare fenomenele fizice din circuit ce apar la apariția semnalului treaptă.

\* intervalul de timp dintre două valori ale mărimii electrice:

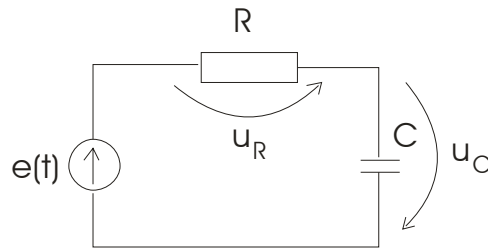
$$x(t_1) = x(\infty) + [x(0) - x(\infty)]e^{-\frac{t_1}{\tau}};$$

$$x(t_2) = x(\infty) + [x(0) - x(\infty)]e^{-\frac{t_2}{\tau}};$$

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

## Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

### 1.3. Circuitul RC serie



\* răspuns pe capacitate și pe rezistență

a) excitație salt treaptă de tensiune de valoarea  $E$  :

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

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

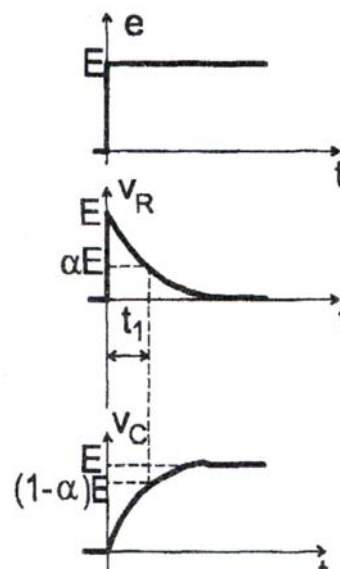
\* la saltul de tensiune capacitatea se comportă ca un scurtcircuit și se încarcă în timp, astfel:

$$u_C(0_+) = 0; \quad u_R(0_+) = E; \quad u_C(\infty) = E; \quad u_R(\infty) = 0.$$

\* rezultă:

$$u_R(t) = E e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



\* durata impulsului la amplitudinea  $\alpha E$  (pe rezistență):

$$\alpha E = E e^{-\frac{t_1}{\tau}}; \quad (1 - \alpha)E = E(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}) \Rightarrow t_1 = \tau \ln \frac{1}{\alpha}$$

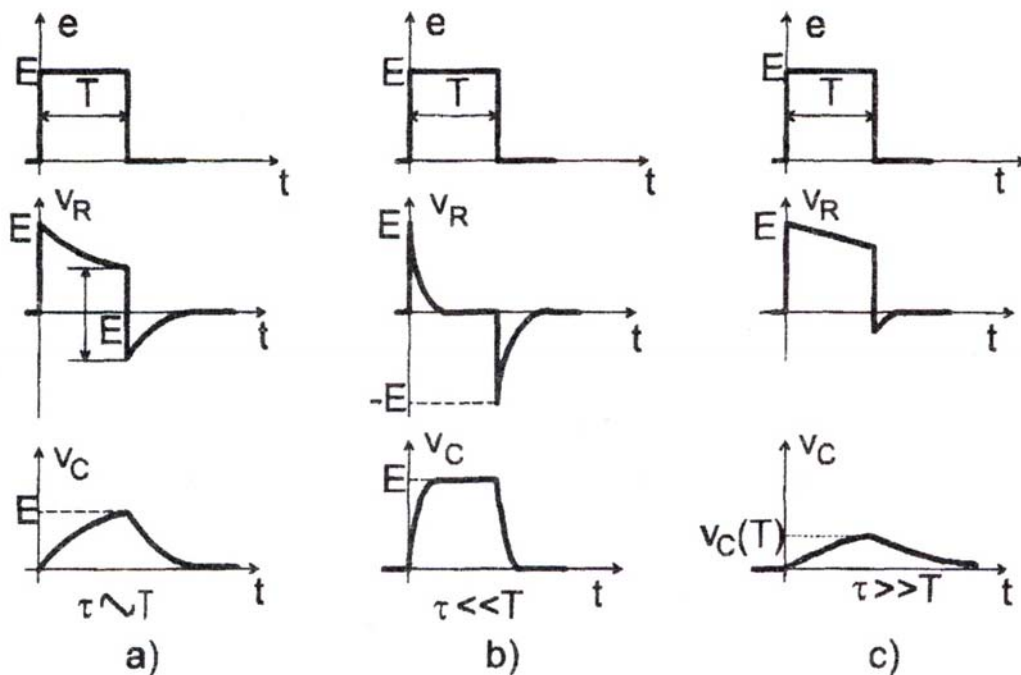
Numeric:

$$\alpha = 0,1 \Rightarrow t_1 = 2,3\tau \Rightarrow u_C(t_1) = 0,9E;$$

$$\alpha = 0,01 \Rightarrow t_1 = 4,6\tau \Rightarrow u_C(t_1) = 0,99E;$$

Concluzie: o capacitate se încarcă, practic complet, în 3-4 constante de timp.

b) excitație sub formă de impuls ideal de tensiune:

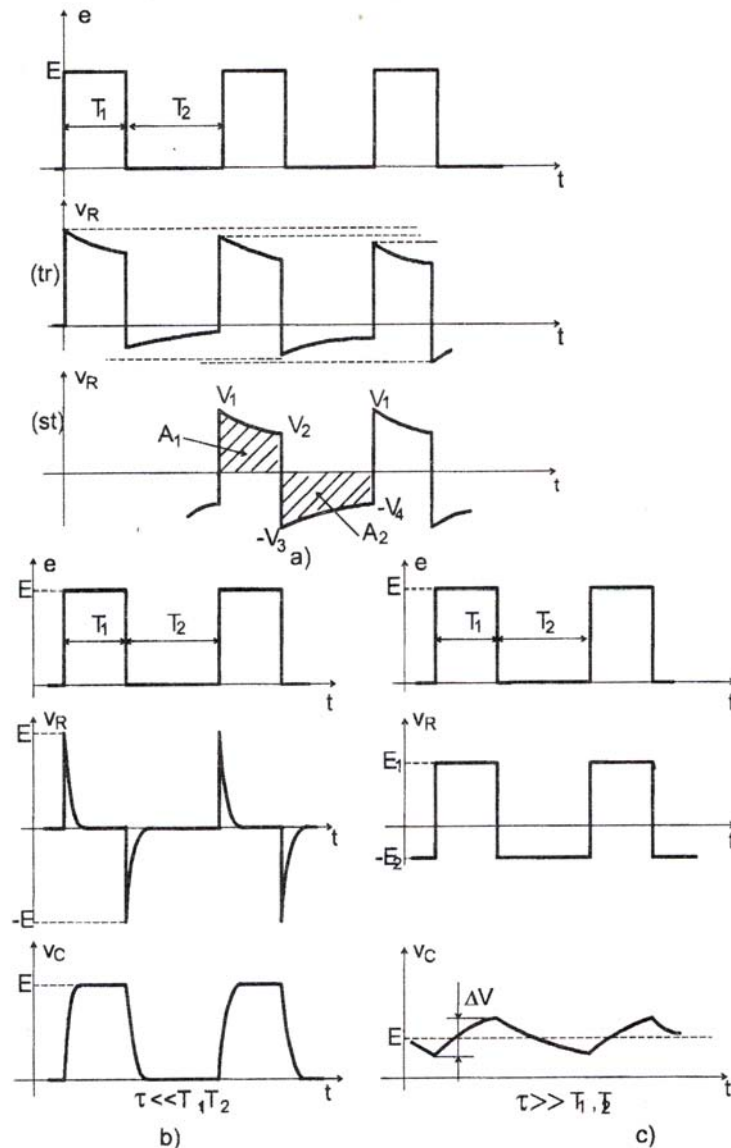


\* forme de undă pentru cazurile:  $T$  și  $\tau$  comparabile,  $T \gg \tau$  și  $T \ll \tau$ ;

\* circuit de derivare, circuit de integrare, circuit de trecere, circuit care deformează impulsurile.

c) excitație cu o succesiune de impulsuri ideale de tensiune

- condiții inițiale nule;
- tensiunea de pe rezistență și de pe capacitate pentru diferite rapoarte între constanta de timp și duratele ce caracterizează impulsurile de comandă:



\* deducerea tensiunilor:

$$Q_{inc} = Q_{desc} \Rightarrow \int_0^{T_1} \frac{V_1 e^{-\frac{t}{\tau}}}{R} dt = \int_0^{T_2} \frac{V_3 e^{-\frac{t}{\tau}}}{R} dt$$

$$V_2 = V_1 e^{-\frac{T_1}{\tau}}; \quad V_4 = V_3 e^{-\frac{T_2}{\tau}}$$

$$V_2 + V_3 = V_4 + V_1 = E$$

Se rezolvă ultimele patru ecuații, se deduc tensiunile  $V_1, V_2, V_3$  și  $V_4$  și se verifică prima relație (care arată și faptul că tensiunea continuă pe rezistență, în regim permanent, este nulă, componenta continuă a impulsurilor de comandă regăsindu-se pe capacitate).

\* pentru circuitul de trecere, mărimile caracteristice se pot deduce din expresiile tensiunilor  $V_1, V_2, V_3$  și  $V_4$ , dar se pot deduce mai simplu din relațiile:

$$E_1 + E_2 = E; \quad T_1 E_1 = T_2 E_2$$

$$E_1 = E \frac{T_2}{T_1 + T_2}; \quad E_2 = E \frac{T_1}{T_1 + T_2}.$$

\* pentru circuitul de integrare, mărimile caracteristice se pot deduce:

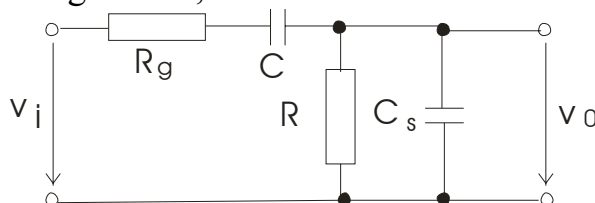
- componenta continuă:  $E_0 = E \frac{T_1}{T_1 + T_2};$

- ondulația:  $\Delta E = \frac{I_{desc} T_2}{C} = \frac{E_0}{R} \frac{T_2}{C} = E \frac{T_1 T_2}{RC(T_1 + T_2)}.$

## Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

### 1.4. Circuitul RC serie real

- \* neidealități:  $R_g, C_s, R_s$ ;
- \* se analizează numai circuitul de derivare;
- \*  $R_s$  se consideră înglobat în  $R$ ;
- \* concluziile sunt generale;



Cazuri particulare:

- a)  $R_g = 0, C_s = 0$ , circuit de derivare ideal, salt de tensiune de valoare  $E$ :

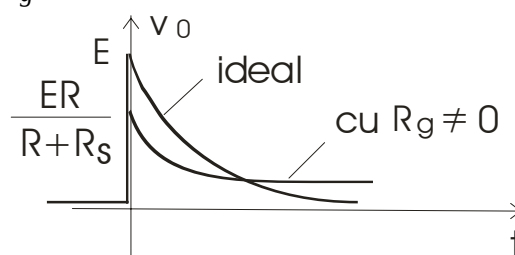
$$v_0(t) = E e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad \tau = CR.$$

- b)  $R_g \neq 0, C_s = 0$ , salt de tensiune de valoare  $E$ :

- saltul de tensiune se distribuie între  $R$  și  $R_g$ :

$$v_0(0) = E \frac{R}{R + R_g}; \quad \tau_b = C(R + R_g) = \tau \left(1 + \frac{R_g}{R}\right).$$

$$v_0(t) = E \frac{R}{R + R_g} e^{-\frac{t}{\tau_b}}$$



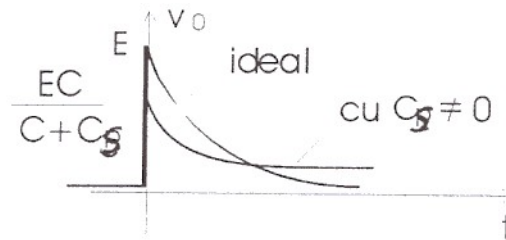
- se modifică constanta de timp, neesențial;
- se micșorează amplitudinea impulsului format:  $\Rightarrow R \gg R_g$ .

- c)  $R_g = 0, C_s \neq 0$ , salt de tensiune de valoare  $E$ :

- saltul de tensiune se distribuie între  $C$  și  $C_s$ :

$$v_0(0) = E \frac{C}{C + C_s}, \quad \tau_c = R(C + C_s) = \tau \left(1 + \frac{C_s}{C}\right).$$

$$v_0(t) = E \frac{C}{C + C_s} e^{-\frac{t}{\tau_c}}$$



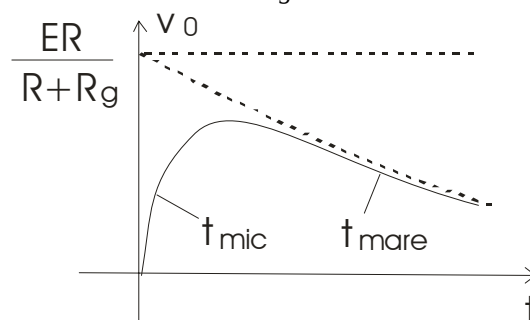
- se modifică constanta de timp, neesențial;
- se micșorează amplitudinea impulsului format:  $\Rightarrow C \gg C_s$ .

Concluzie: elementele adăugate prin proiectare trebuie să fie mult mai mari decât neidealităților circuitului.

d)  $R_g \neq 0$ ,  $C_s \neq 0$  dar:  $R \gg R_g$ ,  $C \gg C_s$ , salt de tensiune de valoare  $E$ .

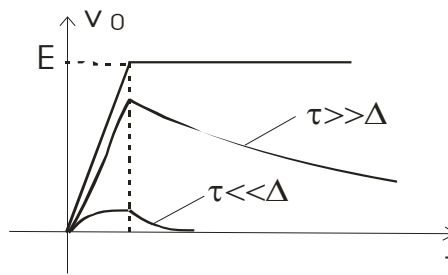
- pentru  $t$  mic:  $v_0(t) = E \frac{R}{R + R_g} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_g}} \right)$ ;  $\tau_g \cong R_g C_s \ll \tau$ ;

- pentru  $t$  mare:  $v_0(t) = E \frac{R}{R + R_g} e^{-\frac{t}{\tau_b}}$ .



- se micșorează amplitudinea, neesențial;
- apare un front crescător finit al tensiunii de ieșire care determină o întârziere a comenzii pentru circuitul următor:  $\Rightarrow R_g \rightarrow 0$ ,  $C_s \rightarrow 0$ .

e) circuit ideal excitat cu o tensiune de tip pantă finită ( $\Delta$  durata frontului tensiunii de comandă):



- răspunsul circuitului se determină fie prin calcul operațional sau prin rezolvarea ecuațiilor diferențiale corespunzătoare circuitului;
- dacă  $\tau \ll \Delta$ , amplitudine mică a impulsului de la ieșire;
- dacă  $\tau \gg \Delta$ , se reproduce frontul impulsului de la intrare;
- se impune:  $\tau \gg \Delta$ ;
- întârziere suplimentară determinată de  $\Delta$ ; deci trebuie:  $\Delta \rightarrow 0$ .

**Concluzie: elementele adăugate ( $R, C, \tau$ ) trebuie să fie mult mai mari decât elementele parazite ( $R_g, C_s, \Delta$ ) și acestea trebuie să fie cât mai mici.**

## Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

### 1.5. Parametrii comutatoarelor electronice

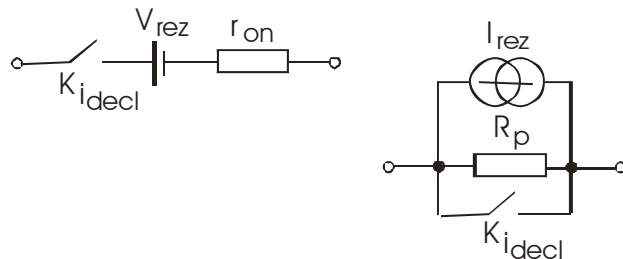
- \* comutator închis: tensiune reziduală ( $V_{rez}$ ), rezistență serie ( $r_{on}$ )
- \* comutator deschis: curent rezidual ( $I_{rez}$ ), rezistență de pierderi ( $R_p$ )
- \* timpi de comutare directă ( $t_{cd}$ ) și inversă ( $t_{ci}$ )

Comutator ideal:  $V_{rez} = 0$ ,  $r_{on} = 0$ ,  $I_{rez} = 0$ ,  $R_p = \infty$ .



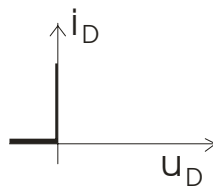
- pentru tensiune negativă nu circulă curent;
- pentru curent direct căderea de tensiune este nulă

Comutator real:

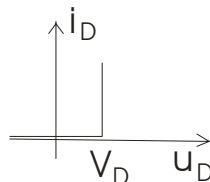


- \* comutator electronic cu diodă semiconductoare (dioda din siliciu):

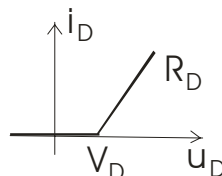
- caracteristica diodei:  $i_D = I_0 (e^{\frac{qu_D}{kT}} - 1)$
- aproximarea caracteristicii:
  - diodă ideală:



- cu tensiune de prag,  $V_D = 0,8V$  pentru curenți de ordinul mA, dependentă de temperatură și de curentul direct:



- cu tensiune de prag,  $V_D = 0,8V$  și rezistență serie,  $R_D$  (pentru curenți mari), dependentă de curentul direct:



- tensiunea de deschidere a diodei,  $V_{D0} = 0,6V$  la curenți de  $10 \div 100 \mu A$

- $I_{rez}$  neglijabil până la temperaturi mari; contează la circuite cu rezistențe foarte mari;

- rezistența dinamică,  $r_d = \frac{kT}{qI_D}$ , cu valoarea de  $25\Omega$  pentru

$I_D = 1mA$ ;

- rezistența de pierderi a diodei blocate,  $R_p$ , este foarte mare, neglijabilă; poate conta doar în circuite cu rezistențe foarte mari.

- timpii de comutare sunt foarte mici, de obicei, neglijabili în comparație cu alte componente ale timpilor de comutare ai circuitelor electronice;

- în circuite integrate monolitice, se preferă ca diodă joncțiunea EB cu colectorul în scurt circuit la bază deoarece caracteristica curent-tensiune are alura cea mai abruptă;

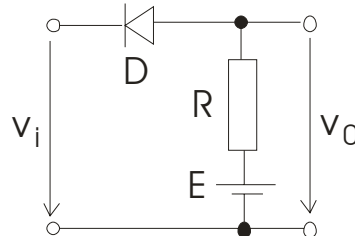
## Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

### 1.6. Circuite de limitare cu diode

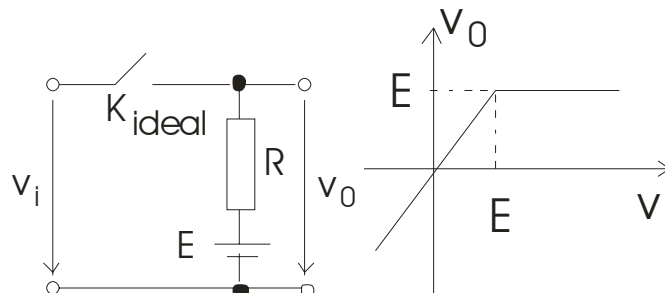
\* tipuri de limitatoare:

- cu limitare superioară
- cu limitare inferioară
- cu limitare bilaterală
  
- cu dioda în serie
- cu dioda în paralel
- mixt (pentru limitatoare bilaterale)

a) limitator superior cu diodă serie

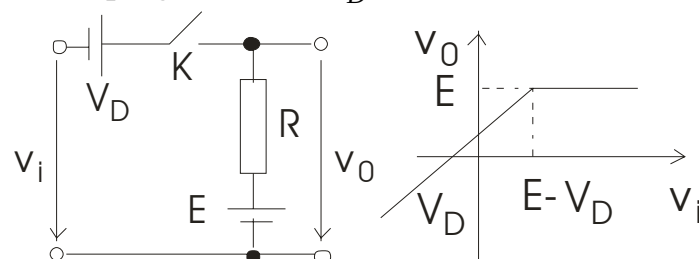


\* dioda = comutator ideal



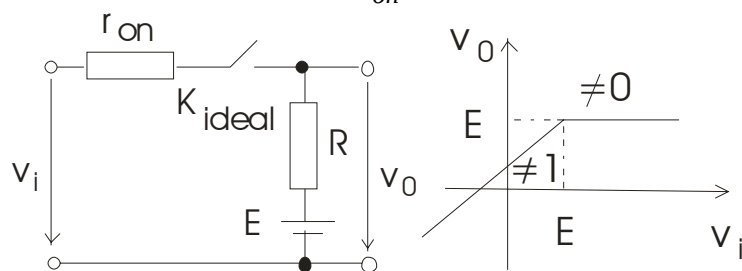
- pentru  $v_i \leq E$ , dioda deschisă,  $v_o = v_i$ ;
- pentru  $v_i \geq E$ , dioda blocată,  $v_o = E$ .

\* influența tensiunii de prag a diodei,  $V_D$ :



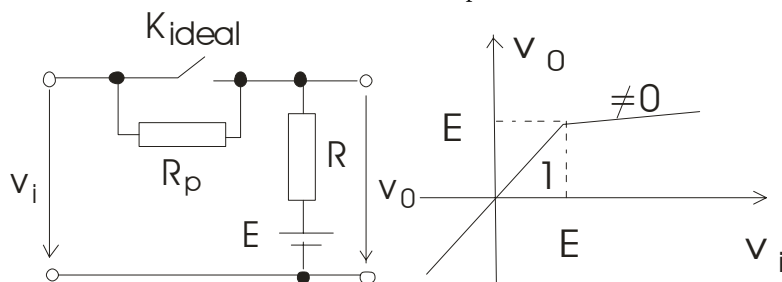
- pentru  $v_i \leq E - V_D$ , dioda deschisă,  $v_o = v_i + V_D$ ;
- pentru  $v_i \geq E - V_D$ , dioda blocată,  $v_o = E$ ;
- panta în regiunea liniară este 1;
- panta în regiunea de limitare este 0.

\* influența rezistenței directe a diodei,  $r_{on}$ :



- pentru  $v_i \leq E$ , dioda deschisă,  $v_0 = v_i \frac{R}{R + r_{on}} + E \frac{r_{on}}{R + r_{on}}$ ;
- pentru  $v_i \geq E$ , dioda blocată,  $v_0 = E$ ;
- panta în regiunea liniară este mai mică decât 1;
- panta în regiunea de limitare este 0.

\* influența rezistenței de pierderi a diodei,  $R_p$ :



- pentru  $v_i \leq E$ , dioda deschisă,  $v_0 = v_i$ ;
- pentru  $v_i \geq E$ , dioda blocată,  $v_0 = v_i \frac{R}{R + R_p} + E \frac{R_p}{R + R_p}$ ;
- panta în regiunea liniară este 1;
- panta în regiunea de limitare este diferită de 0.

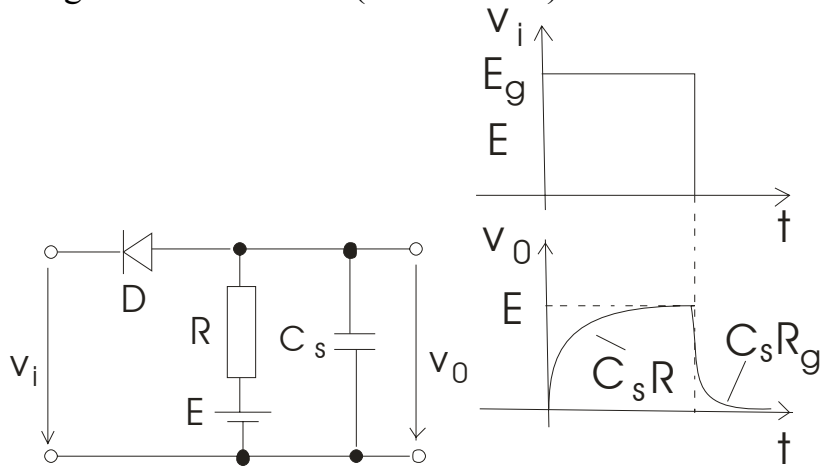
\* impedanța de intrare (pentru rezistență de sarcină infinită și pentru diodă ideală) este:

- în regiunea liniară:  $R_{int} = R$ ;
- în regiunea de limitare:  $R_{int} = \infty$ .

\* impedanța de ieșire (pentru rezistență de generator nulă și pentru diodă ideală) este:

- în regiunea liniară:  $R_{ies} = 0$ ;
- în regiunea de limitare:  $R_{ies} = R$ .

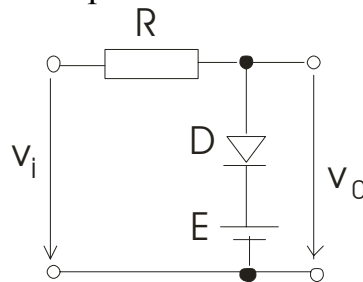
\* regimul de comutare (dioda ideală):



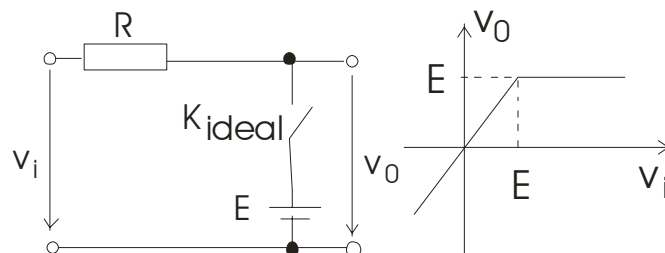
- comutarea directă:  $v_0(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC_s}})$ , cu  $t_{cr} = 2,3RC_s$  (mare);

- comutarea inversă:  $v_0(t) = Ee^{-\frac{t}{R \parallel R_g C_s}}$ , cu  $t_{cad} = 2,3R \parallel R_g C_s$  (mic).

b) limitator superior cu diodă paralel

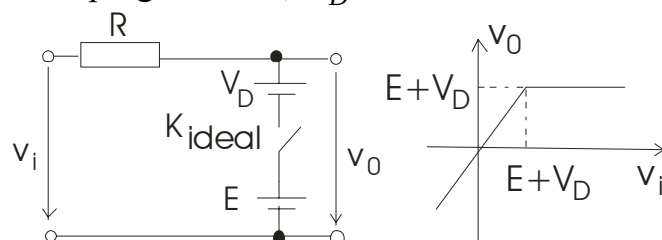


\* dioda = comutator ideal



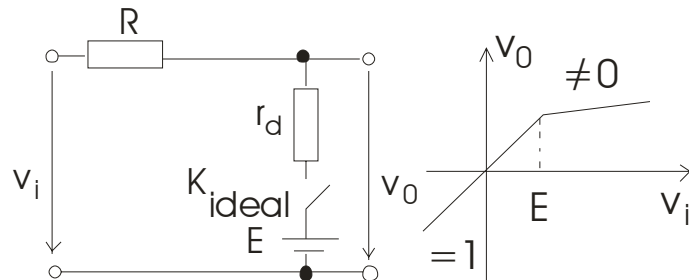
- pentru  $v_i \leq E$ , dioda blocată,  $v_0 = v_i$ ;
- pentru  $v_i \geq E$ , dioda deschisă,  $v_0 = E$ .

\* influența tensiunii de prag a diodei,  $V_D$ :



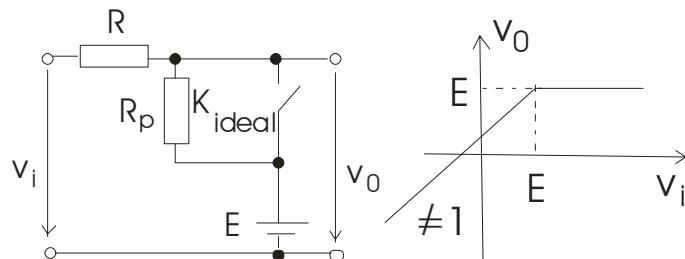
- pentru  $v_i \leq E + V_D$ , dioda blocată,  $v_0 = v_i$ ;
- pentru  $v_i \geq E + V_D$ , dioda deschisă,  $v_0 = E + V_D$ ;
- panta în regiunea liniară este 1;
- panta în regiunea de limitare este 0.

\* influența rezistenței directe a diodei,  $r_{on}$ :



- pentru  $v_i \leq E$ , dioda blocată,  $v_0 = v_i$ ;
- pentru  $v_i \geq E$ , dioda deschisă,  $v_0 = v_i \frac{r_{on}}{R + r_{on}} + E \frac{R}{R + r_{on}}$ ;
- panta în regiunea liniară este 1;
- panta în regiunea de limitare este diferită de 0.

\* influența rezistenței de pierderi a diodei,  $R_p$ :



- pentru  $v_i \leq E$ , dioda blocată,  $v_0 = v_i \frac{R_p}{R + R_p} + E \frac{R}{R + R_p}$ ;
- pentru  $v_i \geq E$ , dioda deschisă,  $v_0 = E$ ;
- panta în regiunea liniară este diferită de 1;
- panta în regiunea de limitare este 0.

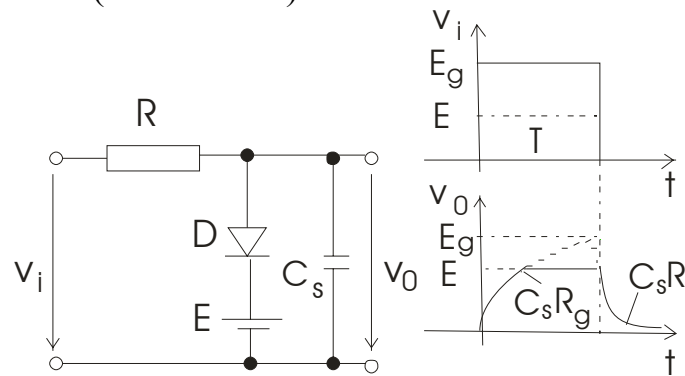
\* impedanța de intrare (pentru rezistență de sarcină infinită și pentru diodă ideală) este:

- în regiunea liniară:  $R_{int} = \infty$ ;
- în regiunea de limitare:  $R_{int} = R$ .

\* impedanța de ieșire (pentru rezistență de generator nulă și pentru diodă ideală) este:

- în regiunea liniară:  $R_{ies} = R$ ;
- în regiunea de limitare:  $R_{ies} = 0$ .

\* regimul de comutare (dioda ideală):



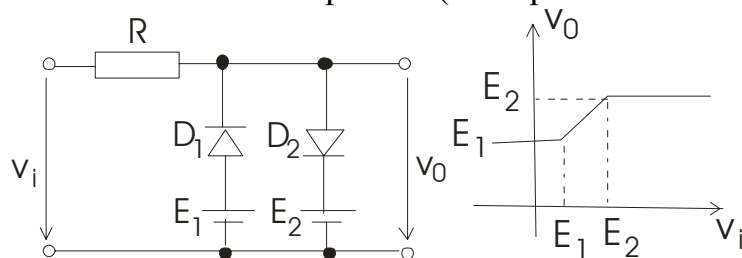
- comutarea directă:  $v_0(t) = E_g + (E - E_g)e^{-\frac{t}{RC_s}}$ , cu

$$t_{cr} = RC_s \ln \frac{E_g}{E_g - E} \text{ (mic);}$$

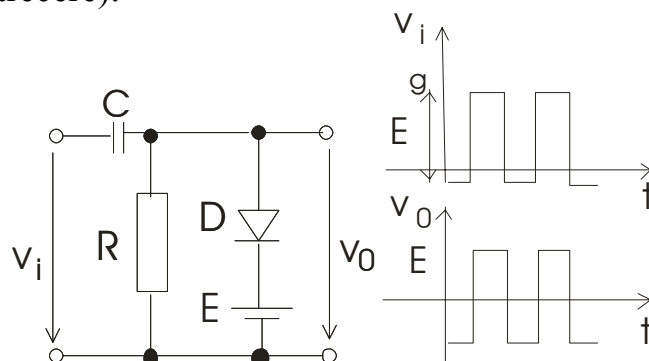
- comutarea inversă:  $v_0(t) = Ee^{-\frac{t}{RC_s}}$ , cu  $t_{cad} = 2,3RC_s$  (mare).

Observație: comparație între caracteristicile de transfer și între regimurile de comutare ale celor două circuite de limitare cu diode;

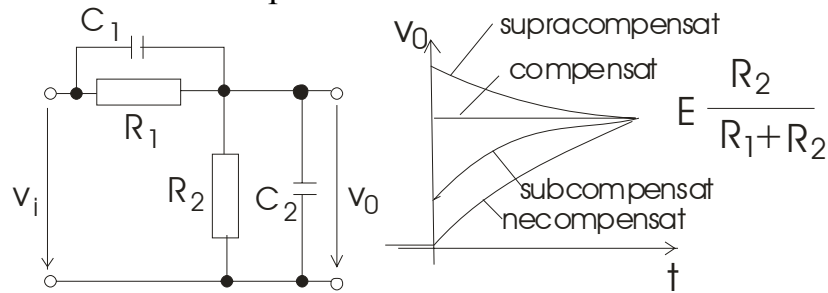
c) limitatoare bilaterale cu diode paralel (exemplu de schemă);



d) circuit de axare a impulsurilor (se modifică componenta continuă pentru un circuit de trecere):



e) divizor de tensiune compensat:



\* tensiunea de ieșire:

$$v_0(t) = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \left[ E \frac{C_1}{C_1 + C_2} - E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{cu: } \tau = R_1 \parallel R_2 (C_1 + C_2)$$

- divizor necompensat:  $C_1 = 0$ ;

- divizor subcompensat:  $\frac{C_1}{C_1 + C_2} < \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  sau:  $C_1 R_1 < C_2 R_2$ ;

- divizor supracompensat:  $\frac{C_1}{C_1 + C_2} > \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  sau:  $C_1 R_1 > C_2 R_2$ ;

- divizor compensat:  $\frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  sau:  $C_1 R_1 = C_2 R_2$ .

\* utilizare: sonde de tensiune (capacitate de intrare mică pentru a testa circuite de viteză mare).