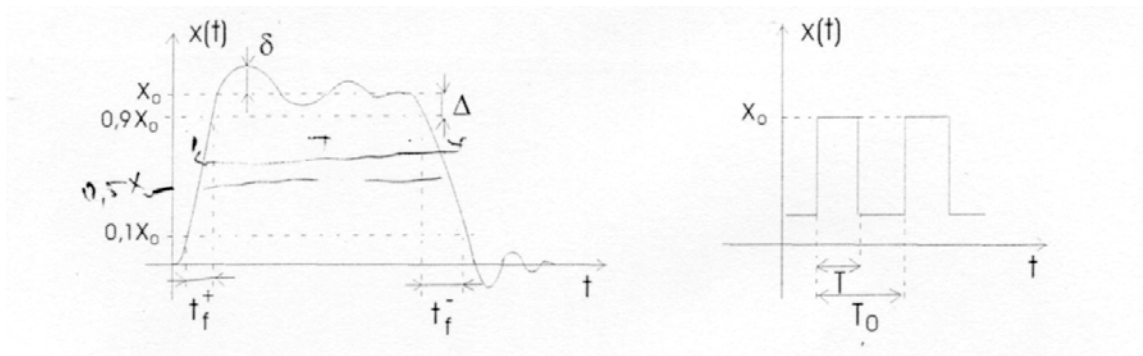


Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

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, δ , val. maximă – 0,1;
- căderea palierului, Δ , 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

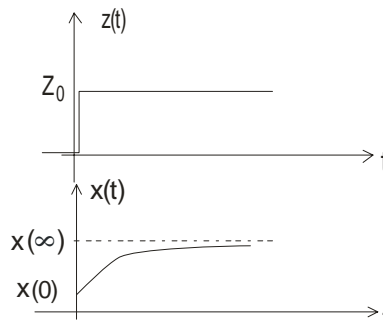
1.2. Procesul tranzitoriu într-un circuit de ordinul 1

- 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.

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

τ 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:

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

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

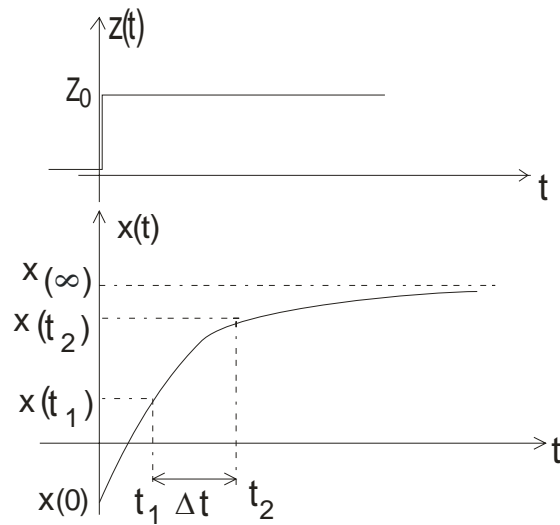
$$x(0) = x(\infty) + B \quad \Rightarrow \quad B = x(0) - x(\infty)$$

* 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 τ 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:

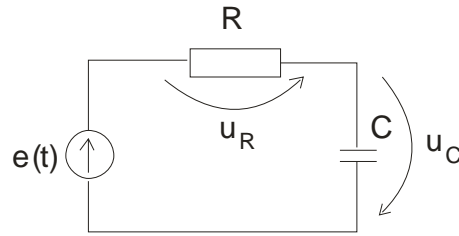
$$x(t_1) = x(\infty) + [x(0) - x(\infty)] e^{-\frac{t_1}{\tau}};$$

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

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

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 :

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

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

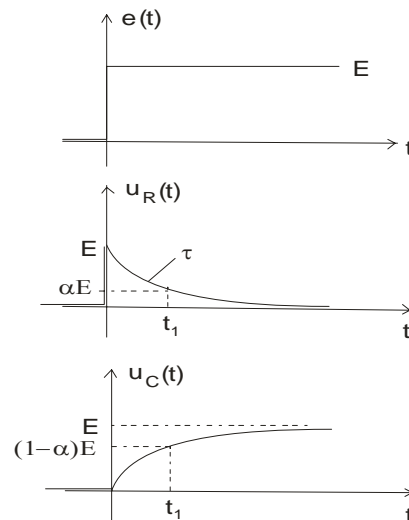
* la saltul de tensiune capacitatea se comportă ca un scurtcircuit și se încarcă în timp, astfel:

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

* rezultă:

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

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



* durata impulsului la amplitudinea αE (pe rezistență):

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

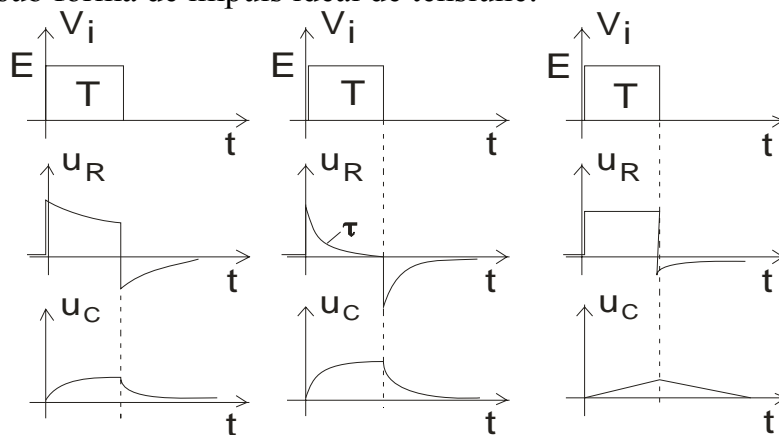
Numeric:

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

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

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

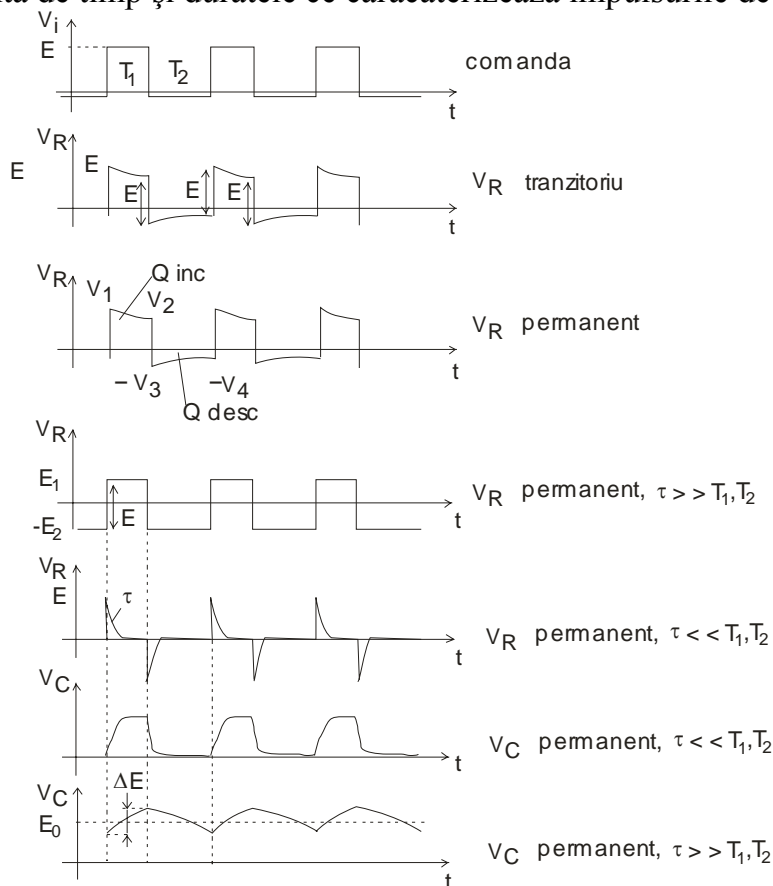
b) excitație sub formă de impuls ideal de tensiune:



- * forme de undă pentru cazurile: T și τ 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:

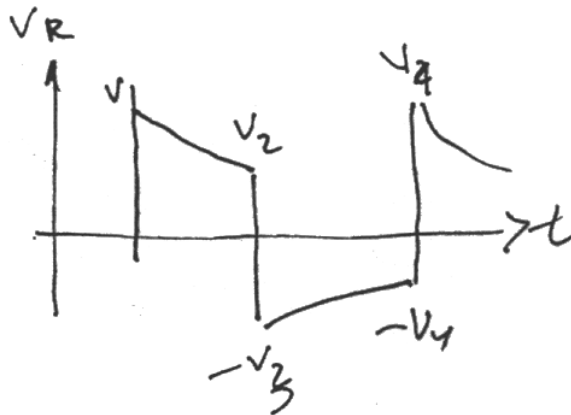
$$E_1 + E_2 = E; \quad T_1 E_1 = T_2 E_2$$

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

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

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

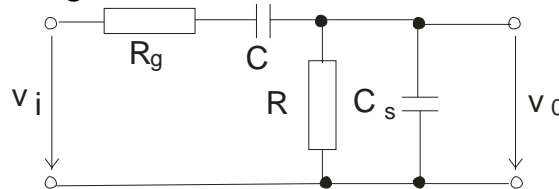
$$\text{- ondulația: } \Delta E = \frac{I_{desc} T_2}{C} = \frac{E_0 T_2}{R C} = E \frac{T_1 T_2}{RC(T_1 + T_2)}.$$



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 :

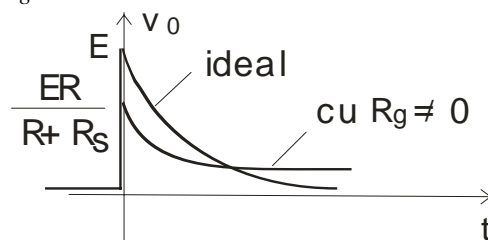
$$v_0(t) = Ee^{-\frac{t}{\tau}}, \quad \tau = CR.$$

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

- saltul de tensiune se distribuie între R și R_g :

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

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



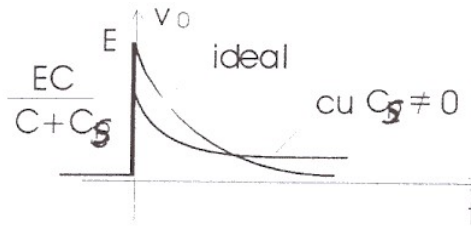
- se modifică constanta de timp, neesențial;
- se micșorează amplitudinea impulsului format: $\Rightarrow R \gg R_g$.

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

- saltul de tensiune se distribuie între C și C_s :

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

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



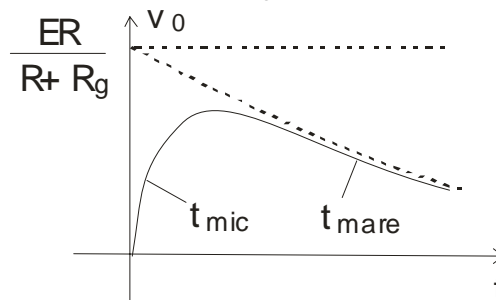
- se modifică constanta de timp, neesențial;
- se micșorează amplitudinea impulsului format: $\Rightarrow C \gg C_s$.

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 .

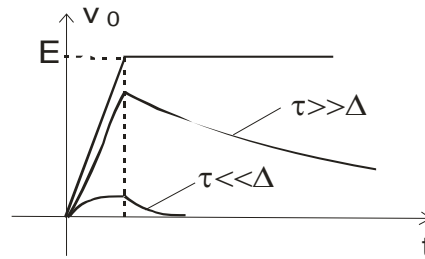
- pentru t mic: $v_0(t) = E \frac{R}{R + R_g} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_g}} \right)$; $\tau_g \cong R_g C_s \ll \tau$;

- 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 (Δ 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 Δ ; deci trebuie: $\Delta \rightarrow 0$.

Concluzie: elementele adăugate (R, C, τ) trebuie să fie mult mai mari decât elementele parazite (R_g, C_s, Δ) 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)

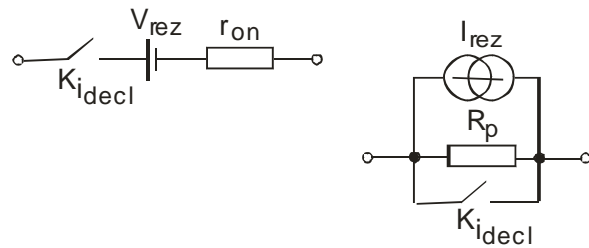
* timpi de comutare directă (t_{cd}) și inversă (t_{ci})

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:

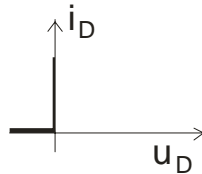


* comutator electronic cu diodă semiconductoră (dioda din siliciu):

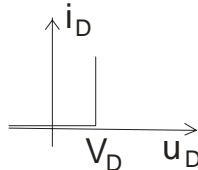
- caracteristica diodei: $i_D = I_0 (e^{\frac{qu_D}{kT}} - 1)$

- aproximarea caracteristicii:

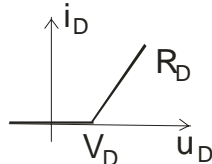
- diodă ideală:



- 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 25Ω 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; desen

Capitolul 1. Circuite elementare de prelucrare a impulsurilor

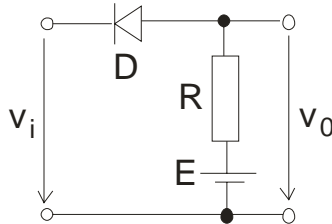
1.6. Circuite de limitare cu diode

* tipuri de limitatoare:

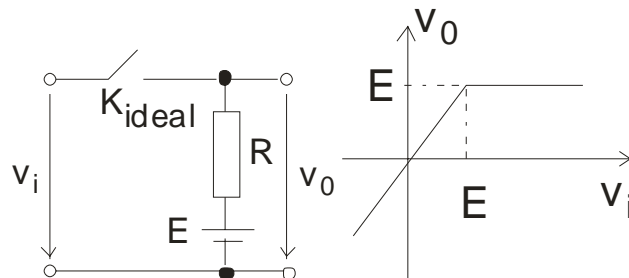
- cu limitare superioară
- cu limitare inferioară
- cu limitare bilaterală

- cu dioda în serie
- cu dioda în paralel
- mixt (pentru limitatoare bilaterale)

a) limitator superior cu diodă serie

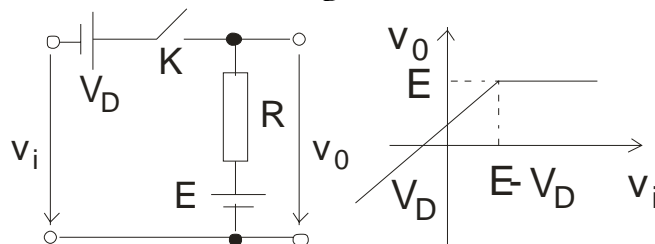


* dioda = comutator ideal



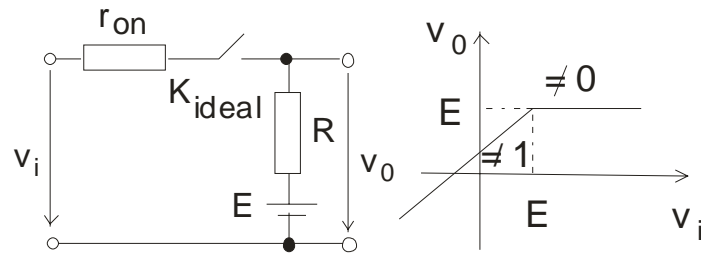
- pentru $v_i \leq E$, dioda deschisă, $v_o = v_i$;
- pentru $v_i \geq E$, dioda blocată, $v_o = E$.

* 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} :



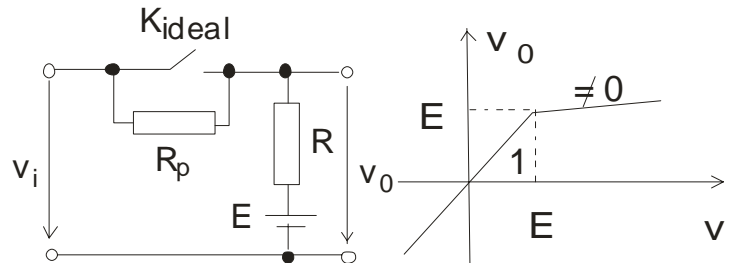
- pentru $v_i \leq E$, dioda deschisă, $v_0 = v_i \frac{R}{R + r_{on}} + E \frac{r_{on}}{R + r_{on}}$;

- 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: $R_{int} = R$;

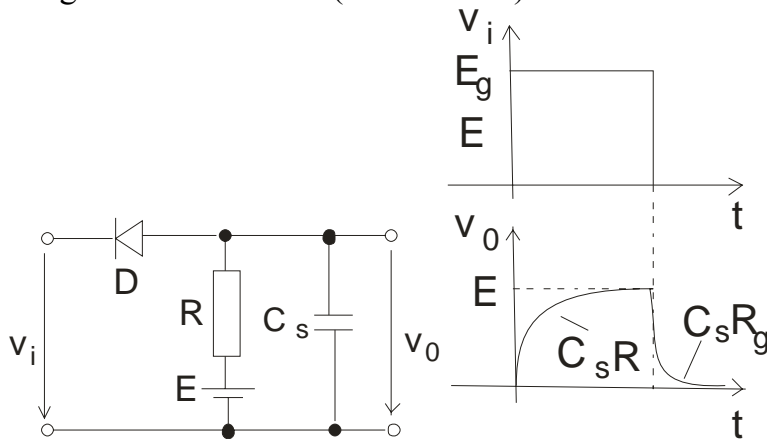
- în regiunea de limitare: $R_{int} = \infty$.

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

- în regiunea liniară: $R_{ies} = 0$;

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

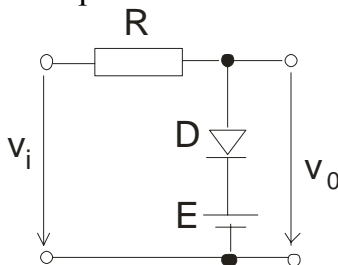
* regimul de comutare (dioda ideală):



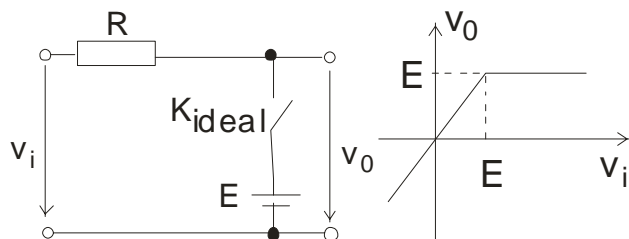
- comutarea directă: $v_0(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC_s}})$, cu $t_{cr} = 2,3RC_s$ (mare);

- 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



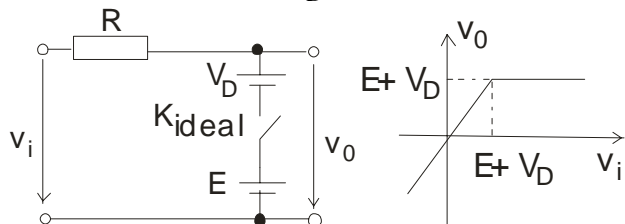
* dioda = comutator ideal



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

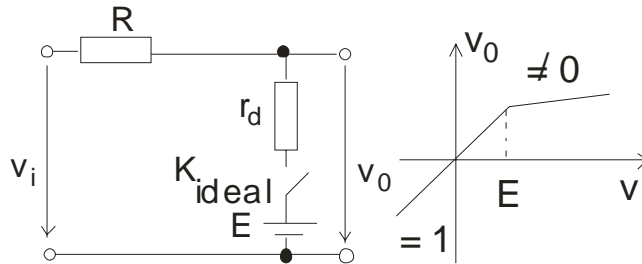
- pentru $v_i \geq E$, dioda deschisă, $v_0 = E$.

* influența tensiunii de prag a diodei, V_D :



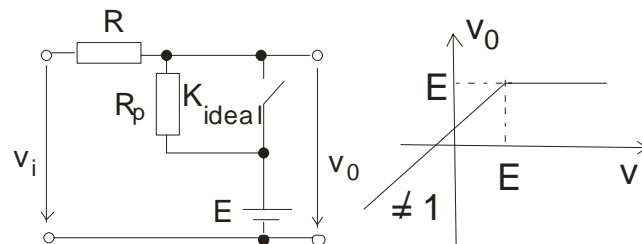
- pentru $v_i \leq E + V_D$, dioda blocată, $v_0 = v_i$;
- pentru $v_i \geq E + V_D$, dioda deschisă, $v_0 = E + V_D$;
- panta în regiunea liniară este 1 ;
- panta în regiunea de limitare este 0 .

* 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 .

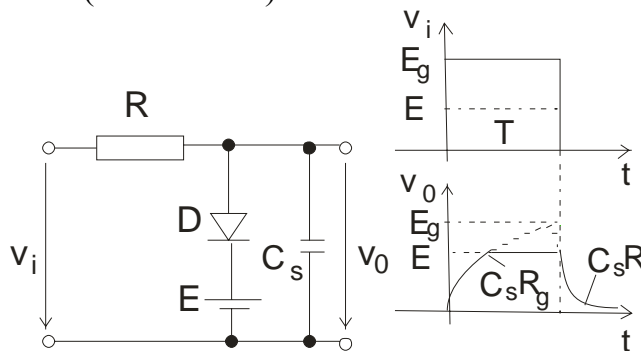
* impedanța de intrare (pentru rezistență de sarcină infinită și pentru diodă ideală) este:

- 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):



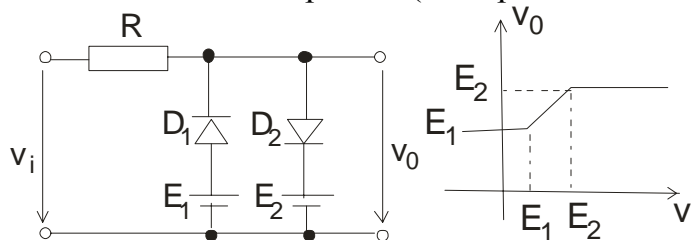
- comutarea directă: $v_0(t) = E_g + (E - E_g)e^{-\frac{t}{RC_s}}$, cu

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

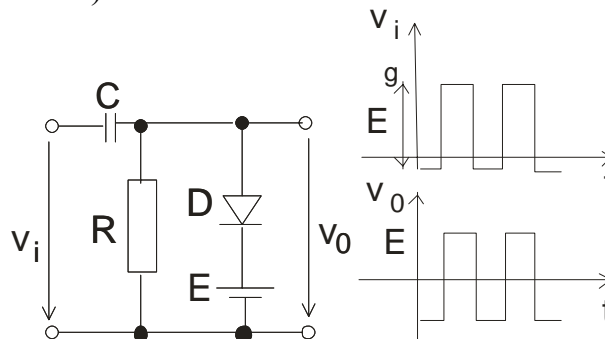
- comutarea inversă: $v_0(t) = Ee^{-\frac{t}{RC_s}}$, cu $t_{cad} = 2,3RC_s$ (mare).

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

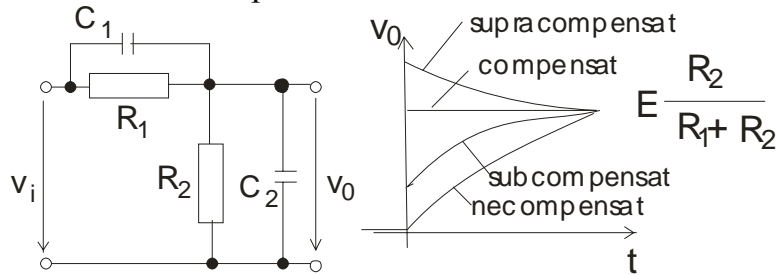
c) limitatoare bilaterale cu diode paralel (exemplu de schemă);



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).