

CIRCUITE ANALOGICE SI NUMERICE

**RESPONSABIL CURS:
CONF. DR. ING. ADRIAN PECULEA**

ORGANIZARE

- Cursuri: 2 ore/săptămână
- Laboratoare: 2 ore/săptămână
- MS Teams: clasa CAN_ADC_2024_2025
 - Sunteți adăugați automat folosind conturile UTC-N;
 - Probleme/întrebări: Adrian.Peculea@cs.utcluj.ro
- Pagina Moodle: materiale de curs; materiale de laborator + teme săptămânale
 - <https://moodle.cs.utcluj.ro/course/view.php?id=666>
 - Self-enrolments key: C@n_key2024
 - Informații înrolare – în clasa MS Teams

Întrebări

- Ce sunt:
 - Semnale analogice
 - Semnale digitale
- Ce sunt circuitele analogice și digitale?
- Exemple și aplicații?

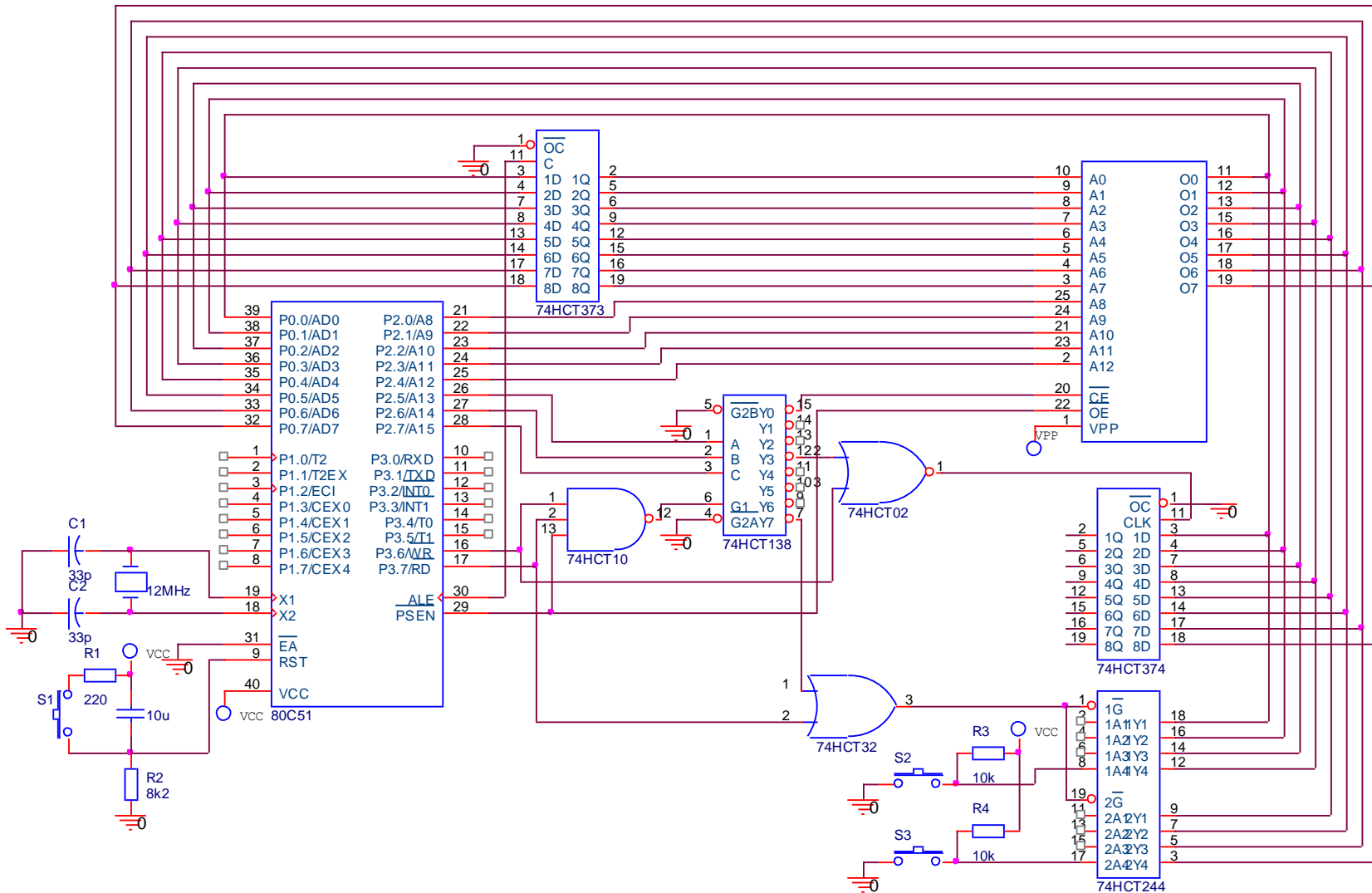
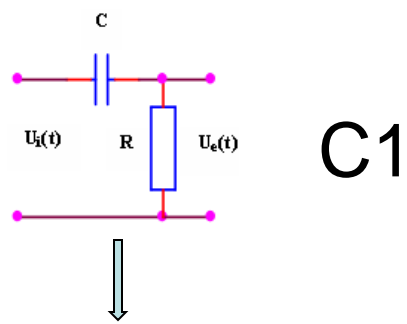
PREZENTARE CURS

- Structura

1. Introducere in bazele electronicii, semnale electrice, dispozitive pasive și semiconductoare (noțiunea de semnal, dispozitive semiconductoare)
2. Circuite analogice (amplificatoare operaționale, surse de tensiune continuă, oscilatoare)
3. Circuite numerice (parametrii circuitelor logice integrate, familii de circuite logice integrate, realizarea magistralelor cu circuite logice, circuite cu reacție pozitivă, memorii semiconductoare)

PREZENTARE CURS (Cont.)

- Structura (Cont.)
 4. Convertoare (eșantionarea, digitizarea semnalului, convertoare analog numerice, convertoare numeric analogice)
 5. Familia de microcontrolere 80C51, Arduino (introducere, adresarea memoriei, sistemul de întreruperi, regiștrii sistemului de timere, comunicația serială)
- Politica de prezenta
Prezenta nu este obligatorie



PREZENTARE LABORATOR

- Structura
 - Probleme
 - Aplicatii
 - Proiectare
 - Simulare functionare circuite
 - Evidentierea parametrilor in regim static si dinamic
- Politica de prezenta
 - Prezenta este obligatorie

BIBLIOGRAFIE

- Dădârlat, V., Peculea, A. “Circuite analogice și numerice”, Ed. U.T.Press, Cluj-Napoca, 2006
- Adrian Peculea, Bogdan Iancu, Vasile Dadarlat, Sorin Buzura, „Circuite Analogice si Numerice. Aplicatii Practice”, Ed. U.T. PRESS, ISBN 978-606-737-458-2, 2020
- Prezentari curs – disponibile in clasa de pe platforma Moodle
- Laboratoare – disponibile in clasa de pe platforma Moodle
- <https://moodle.cs.utcluj.ro/>

EXAMINARE

- Test **laborator** + activitate la laborator
- **Examen** final (teorie, probleme)
- Calcul nota disciplina:
 - $\text{Nota} = 0.6 * \text{examen} + 0.4 * \text{laborator}$
- Conditii de promovare:
 - Laborator ≥ 5 , Examen ≥ 5
- Numar credite: 4

Introducere in bazele electronicii

Principii si elemente de baza

Legea lui Ohm

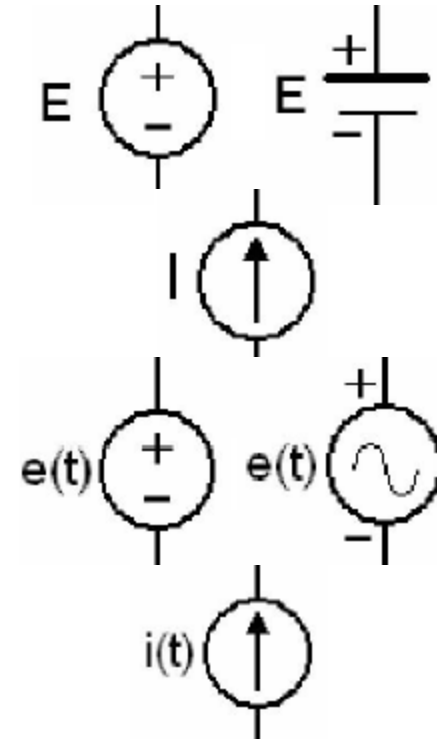
Legile de circuit ale lui Kirchhoff

Aplicatii

Principii si elemente de baza

- Conductor
 - permite miscarea electronilor
- Izolator
 - nu permite miscarea electronilor
- Forta electromotoare (Electromotive Force - EMF)
 - forta care misca electronii prin conductor
 - unitatea de masura: Volt (V)
- Curent
 - fluxul electronilor
 - unitatea de masura: Amper (A)

- Sursa de tensiune
 - prezinta doua terminale (+ si -)
 - tensiune sau curent continuu (de ex. acumulator)
 - tensiune sau curent alternativ (de ex. priza)
- Simboluri:
 - sursa de tensiune continua
 - sursa de curent continuu
 - sursa de tensiune variabila
 - sursa de curent variabil

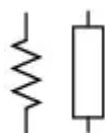


- Rezistenta

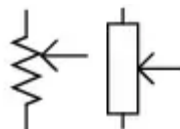
- opune rezistenta curentului electric
- unitatea de masura: Ohm (Ω)
- clasificare dupa variatia rezistentei electrice
 - fixe - valoarea rezistentei electrice nu se poate modifica de catre utilizator
 - reglabile - valoarea rezistentei electrice se poate modifica de catre utilizator
 - rezistoare variabile (potentiometre), respectiv semivariabile
 - reostate

- Simboluri:

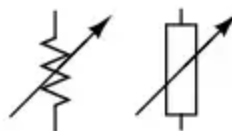
- rezistoare fixe



- potentiometre



- reostate

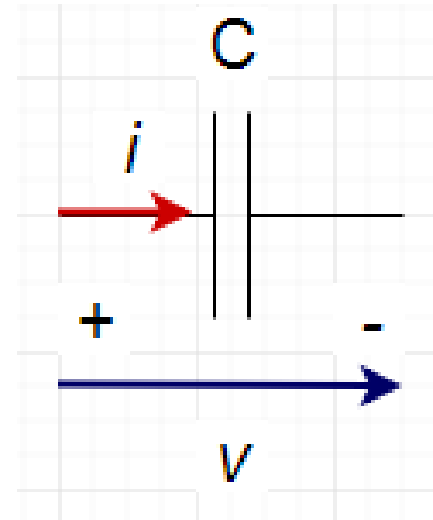


- Condensator

- inmagazineaza energie
- unitatea de masura: Farad (F)

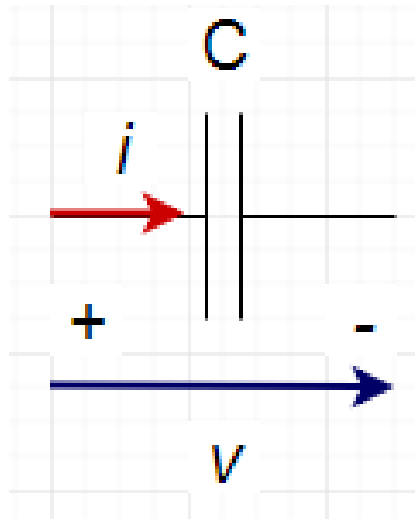
Sarcina, $Q = C \times V$

Energia, $E = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2$

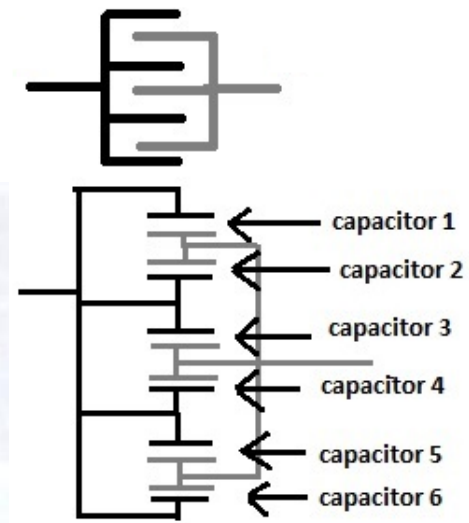
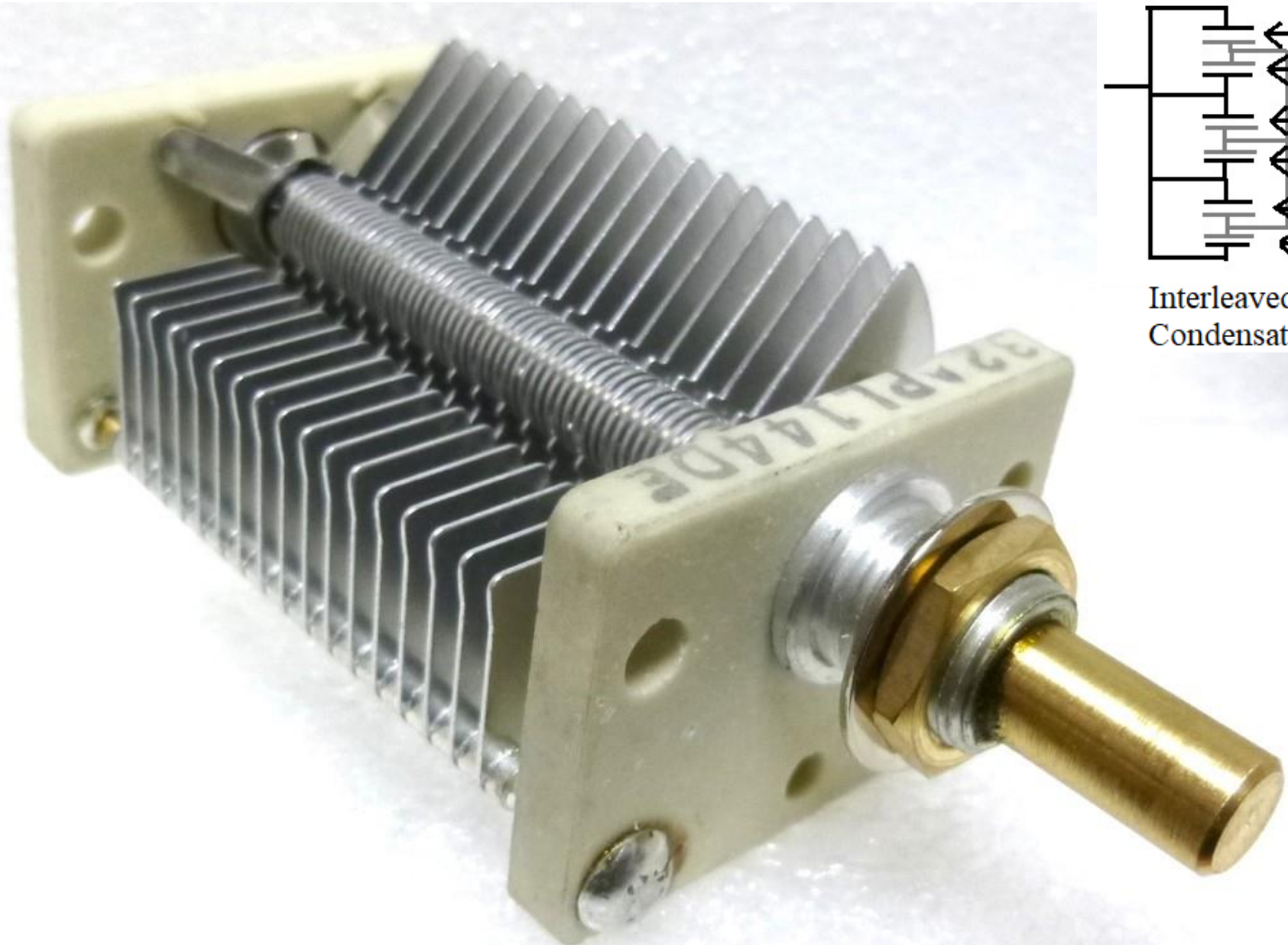


- Q – cantitatea de sarcina electrica stocata pe cele doua armaturi - coulombs (C)
- C – capacitatea electrica a condensatorului, indica cat de multa sarcina electrica poate sa stocheze acesta - farads (F)
- v – valoarea tensiunii aplicate intre terminalele condensatorului – volts (V)
- E – energia stocata – joules (J)

- $i = \frac{dQ}{dt}$
 - i – curentul prin condensator
- Ecuația de funcționare a condensatorului
- $i = C \times \frac{dv}{dt}$







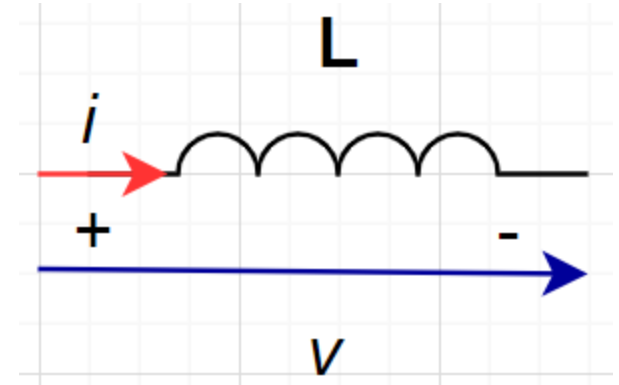
Interleaved capacitor
Condensator intercalat

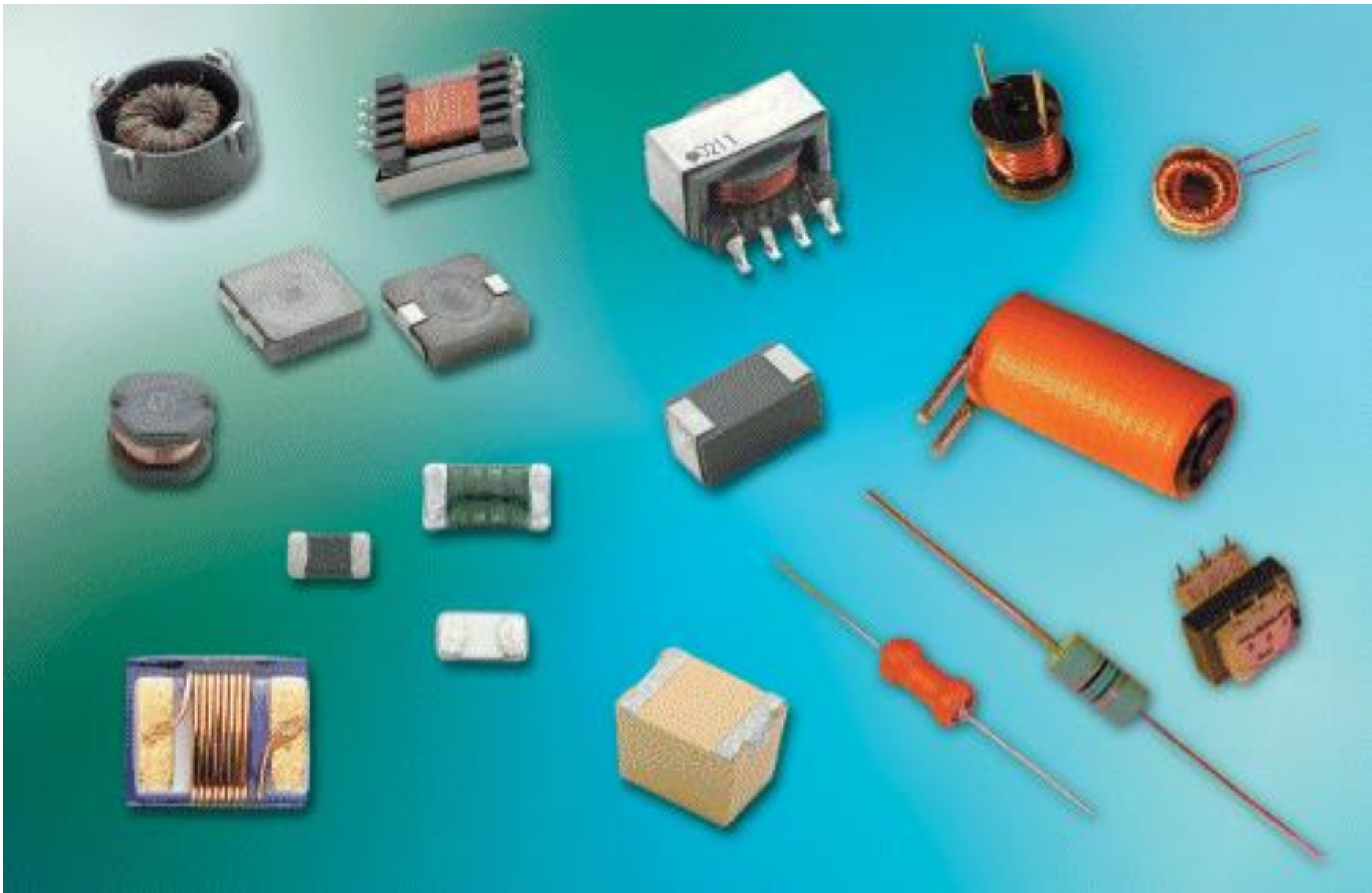
- Bobina

- inmagazineaza energie in camp magnetic
- detecteaza campurile magnetice
- inductanta
 - proprietate a bobinei
 - caracterizata de inductivitatea proprie L
 - unitatea de masura: Henry (H)
- Energia, $E = \frac{1}{2}LI^2$
- E – energia stocata – joules (J)
- I – curentul prin bobina
- Ecuatia de functionare:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

- v – valoarea tensiunii intre terminalele bobinei – volts (V)

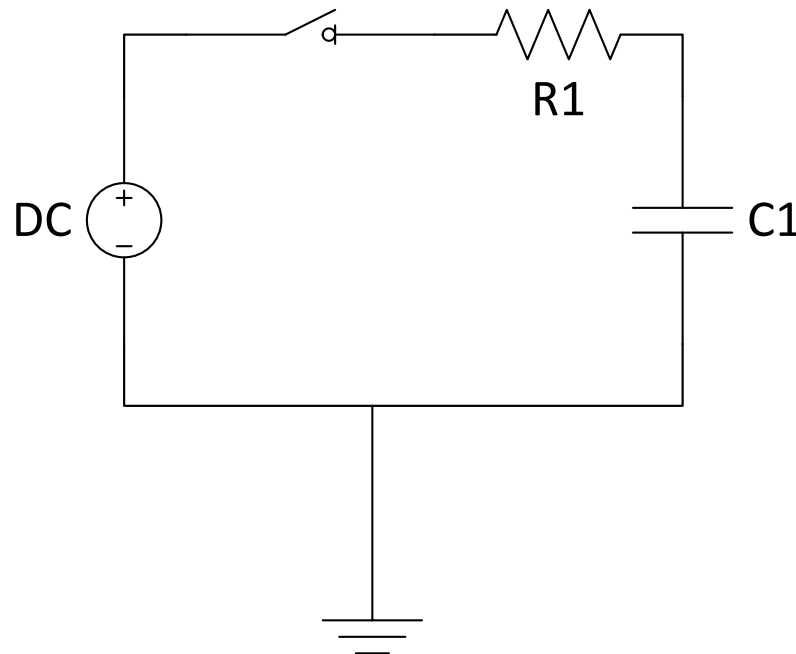




<https://www.electronicproducts.com/fundamentals-inductors-101/>

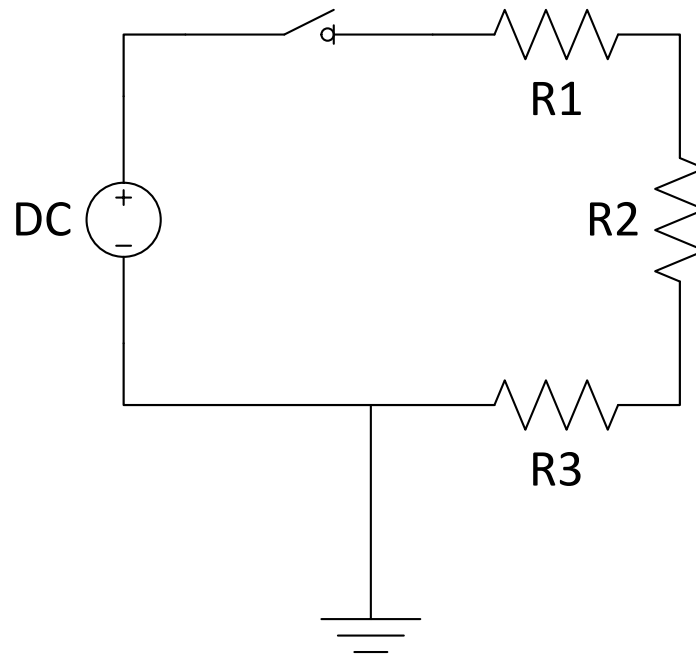
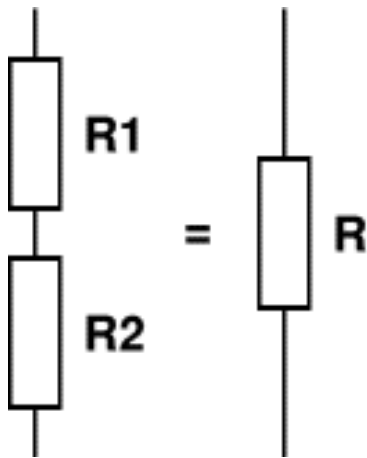
- Circuit electric

- cale pentru fluxul electronilor
- deschis: calea este intrerupta; nu circula curent
- inchis: calea nu este intrerupta; curentul circula



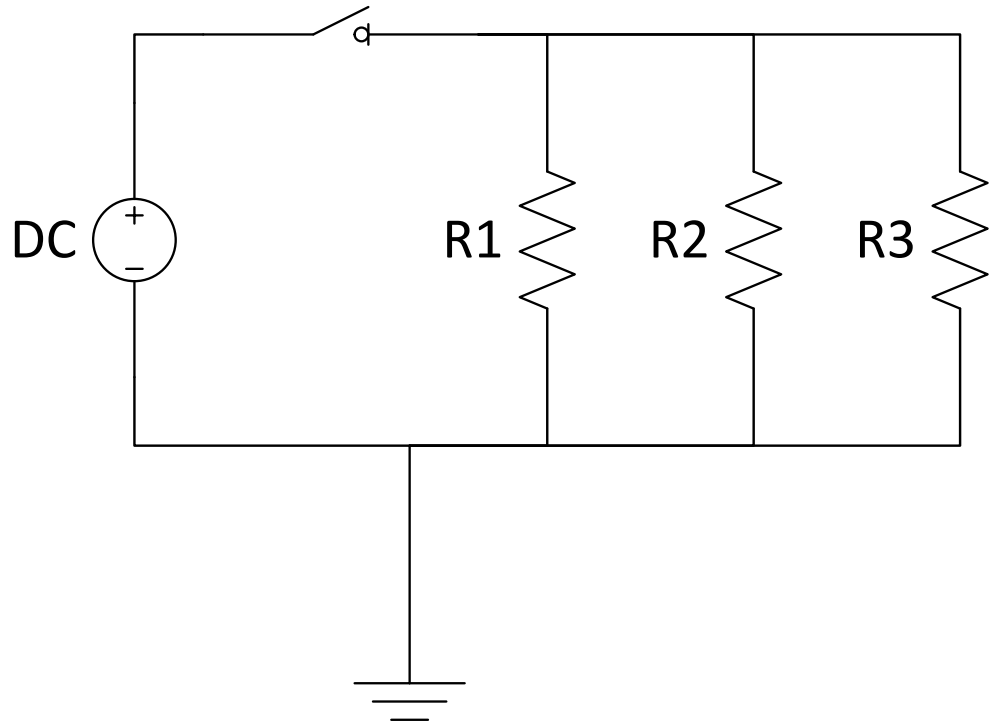
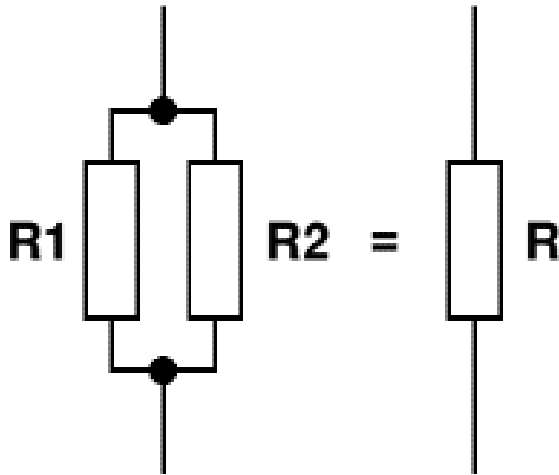
Conectarea in serie a rezistentelor

- $R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$



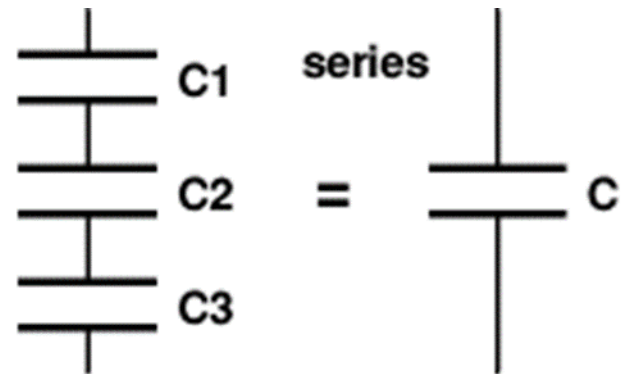
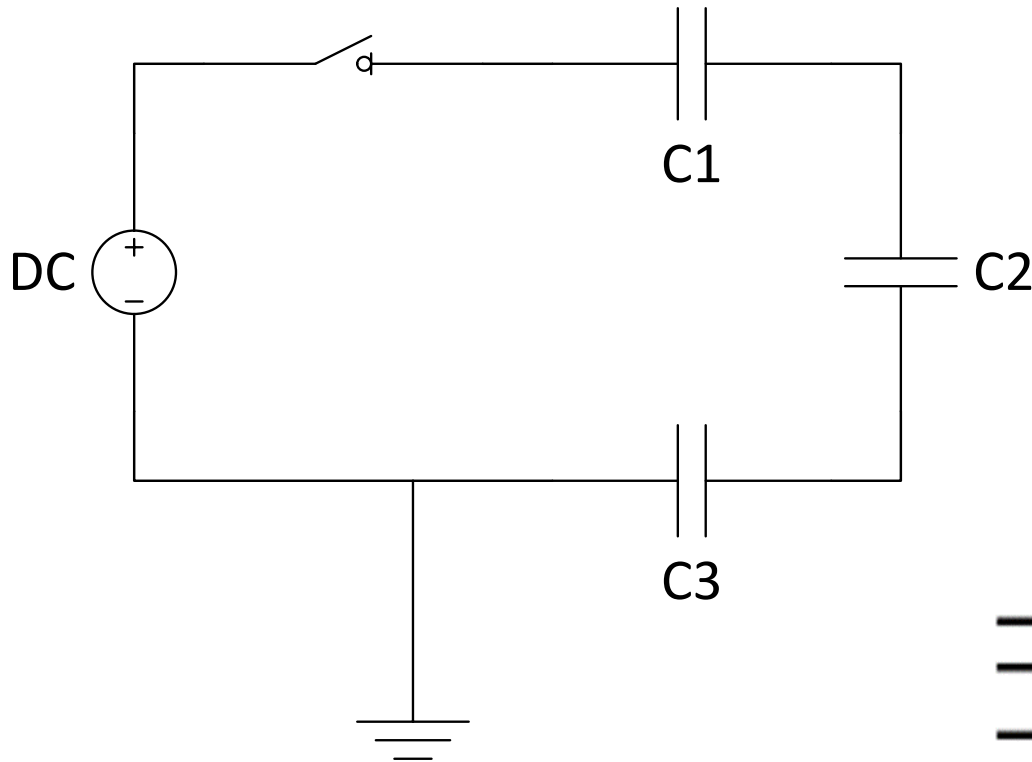
Conectarea in paralel a rezistentelor

- $1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$



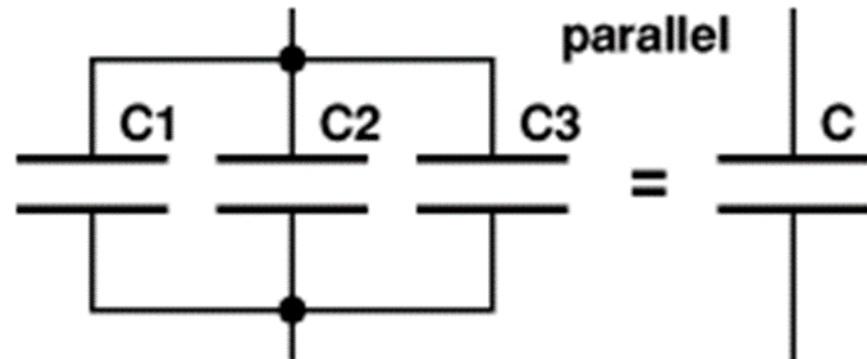
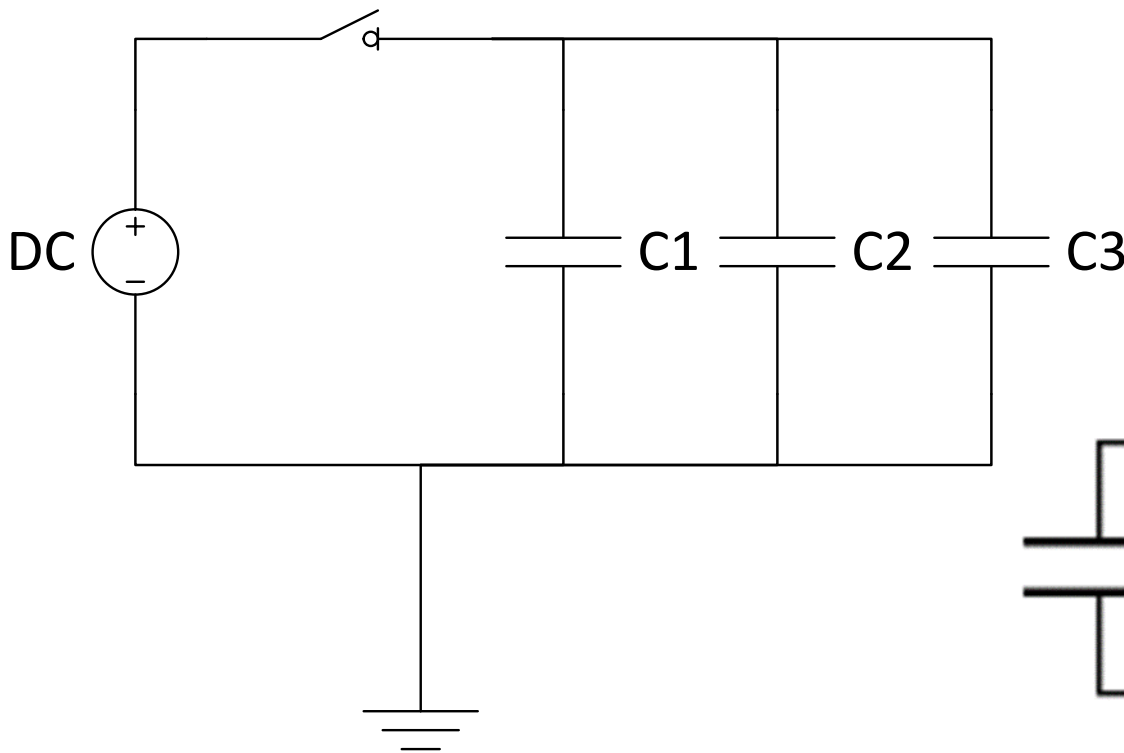
Conectarea in serie a capacitatorilor

- $1/C_e = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$

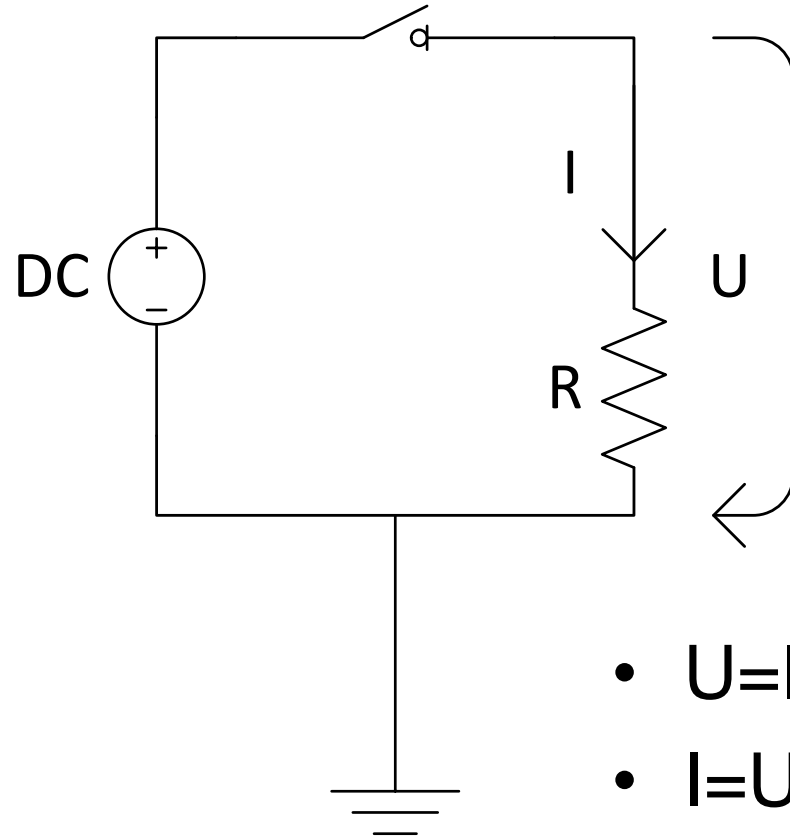
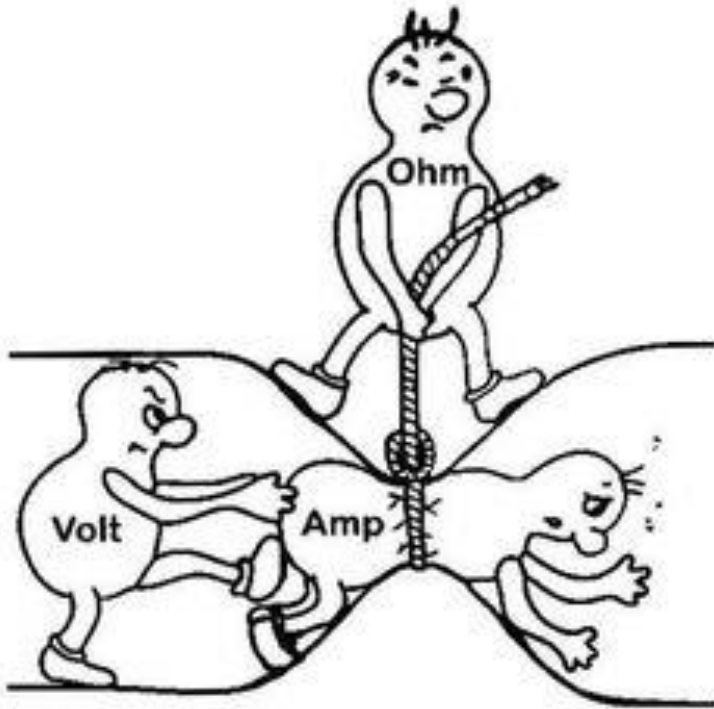


Conectarea in paralel a capacitatorilor

- $C_e = C_1 + C_2 + \dots + C_n$



Legea lui Ohm



- $U = I \cdot R$
- $I = U / R$
- $R = U / I$

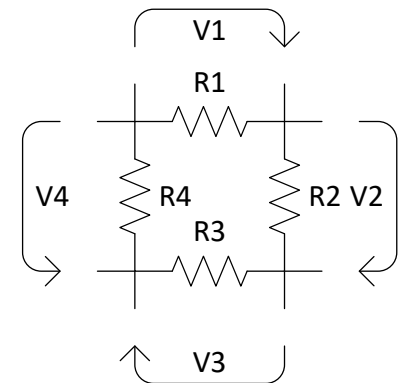
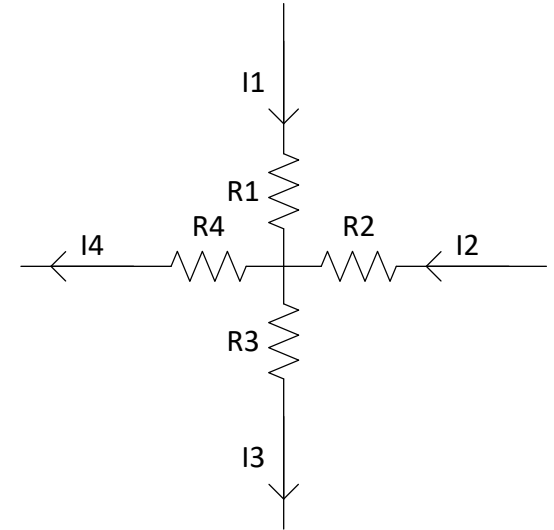
Legile de circuit ale lui Kirchhoff

- Legea curentului
 - La orice nod dintr-un circuit electric suma curentilor care intra in acel nod este egala cu suma curentilor care ies din acel nod

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

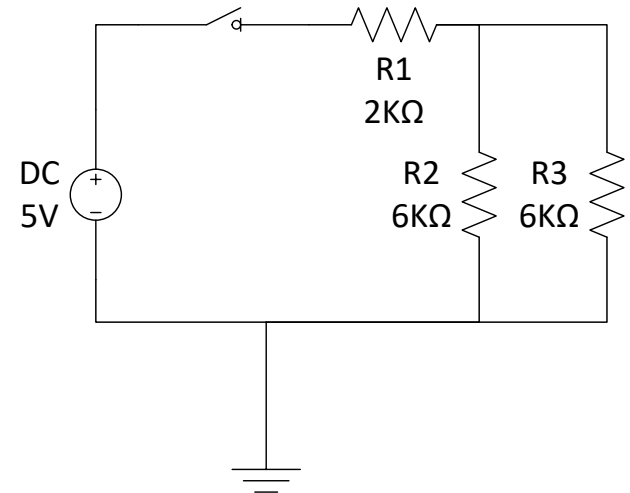
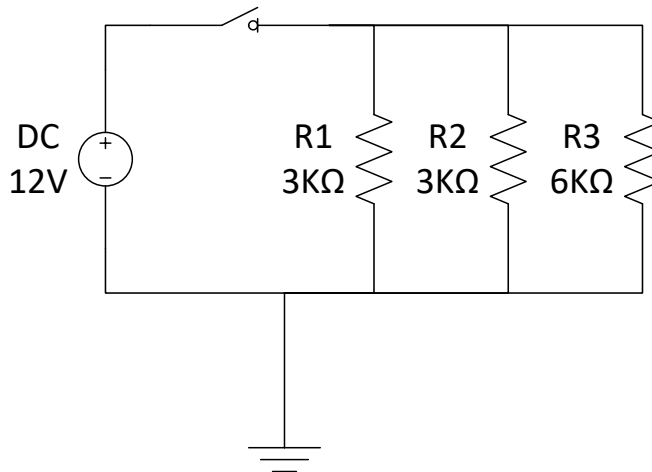
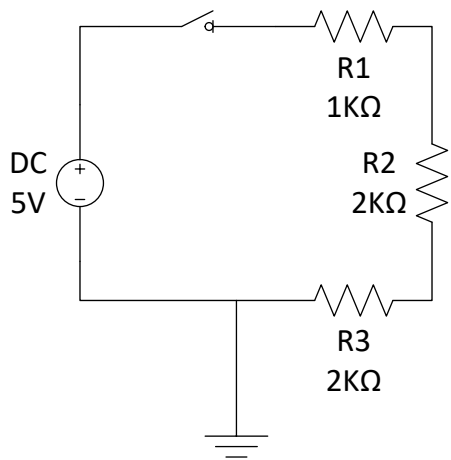
- Legea tensiunii
 - Suma diferentelor de potential electric (tensiunilor) in jurul oricarei retele inchise (bucle) este 0

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0$$



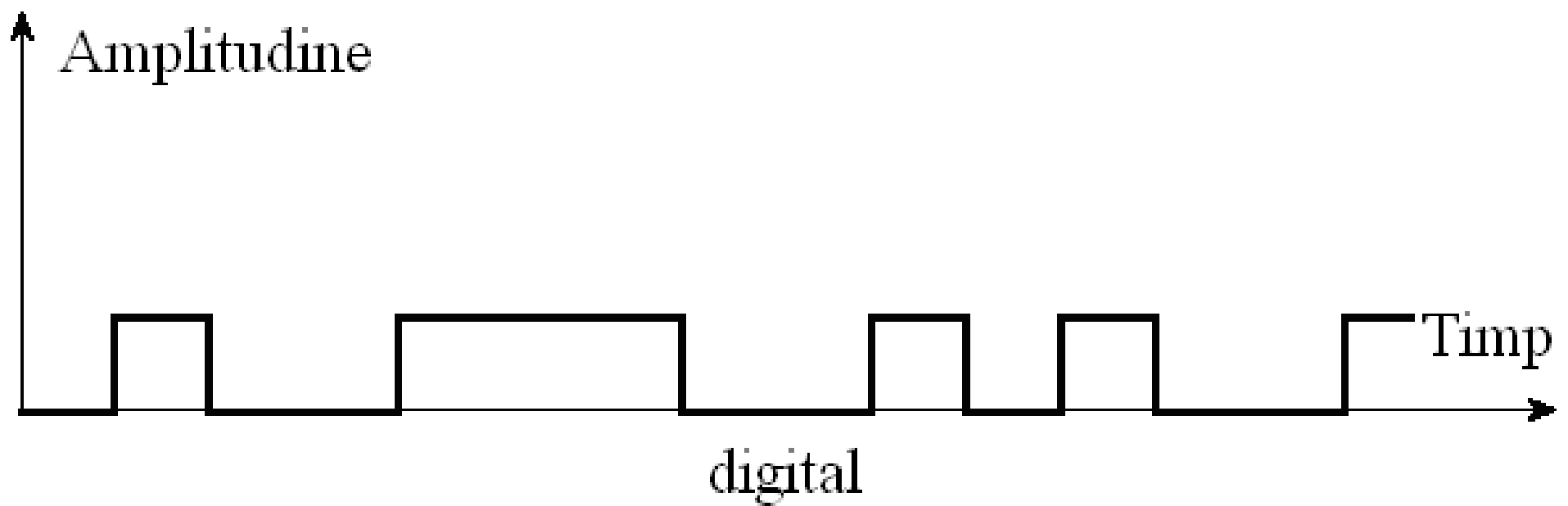
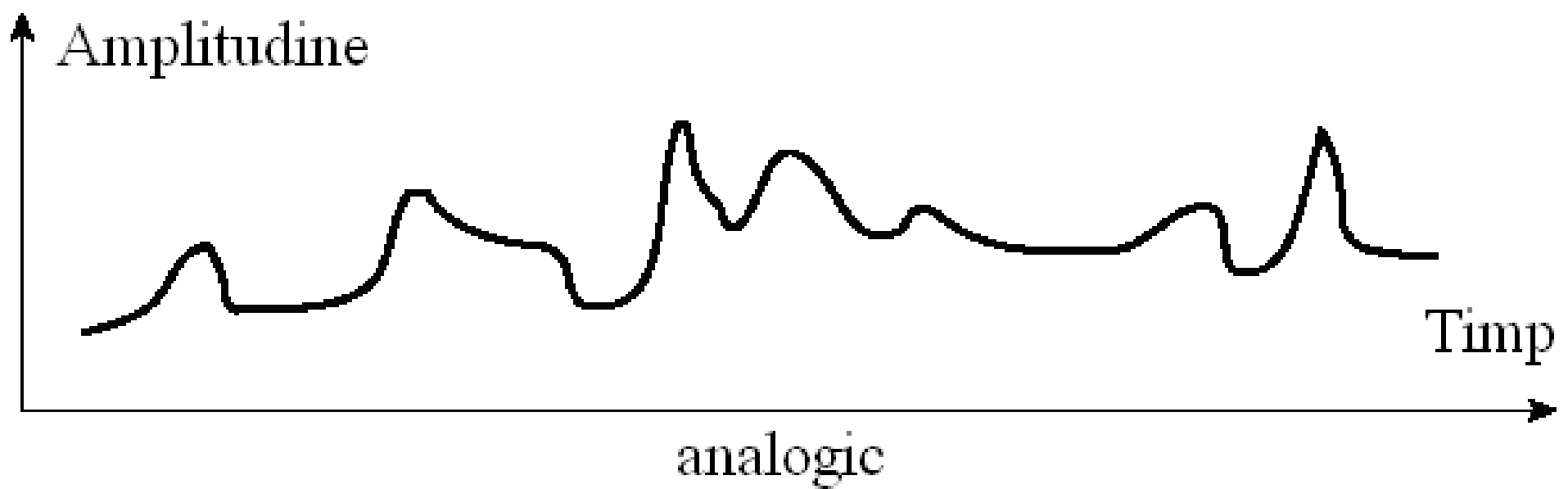
Aplicatii

- Pentru circuitele de mai jos calculati caderile de tensiune si curentii prin rezistente

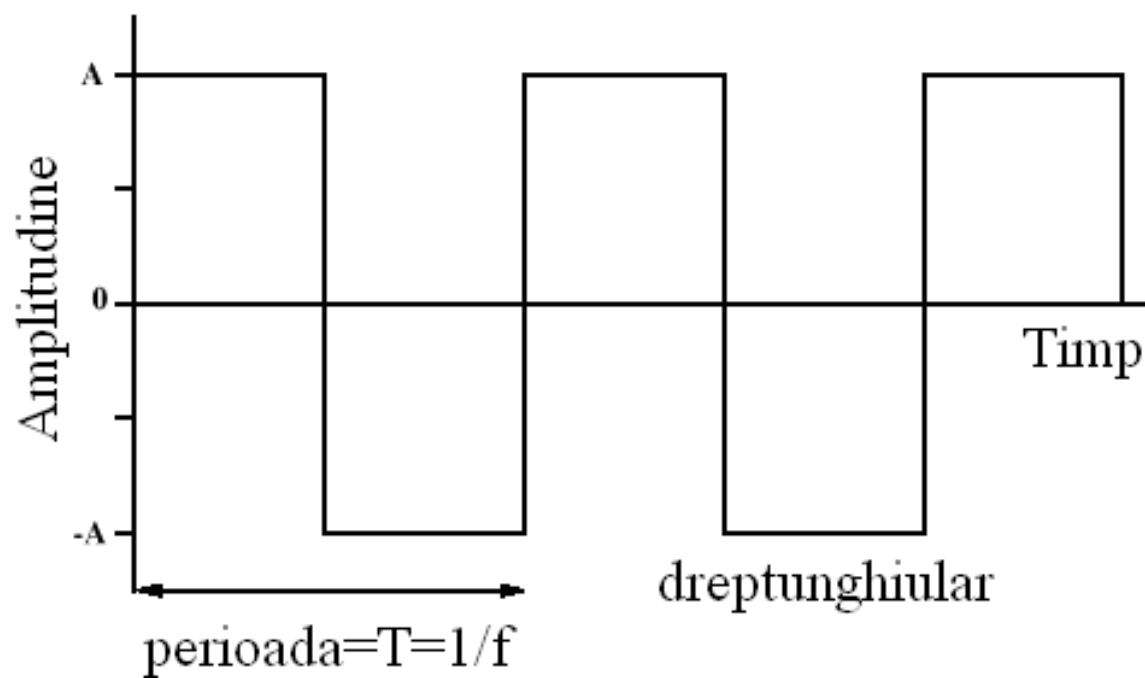
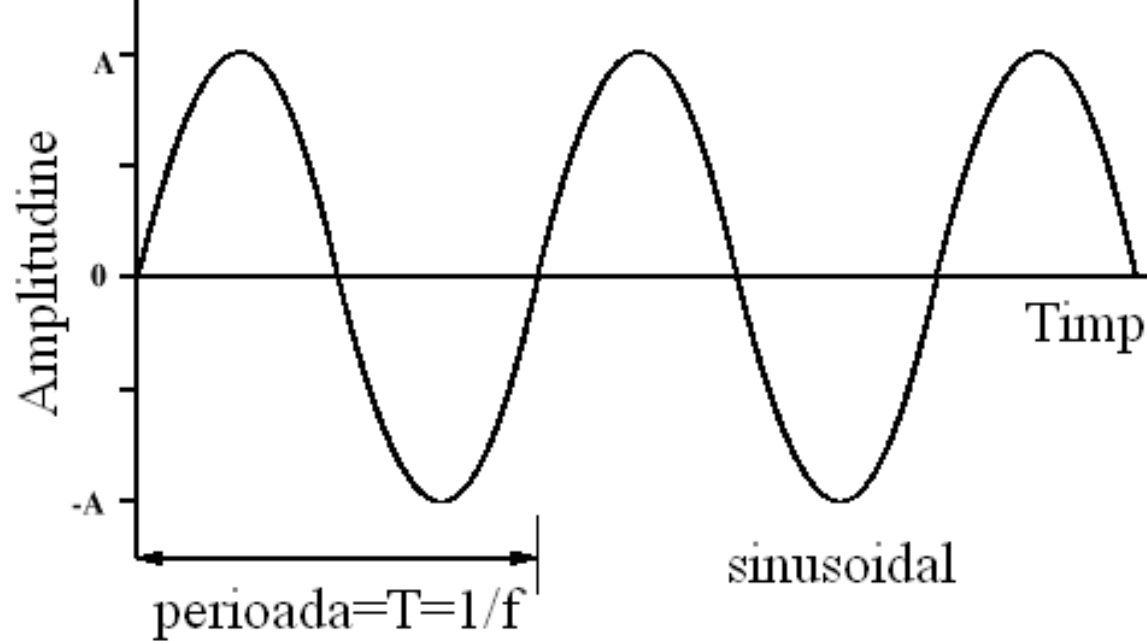


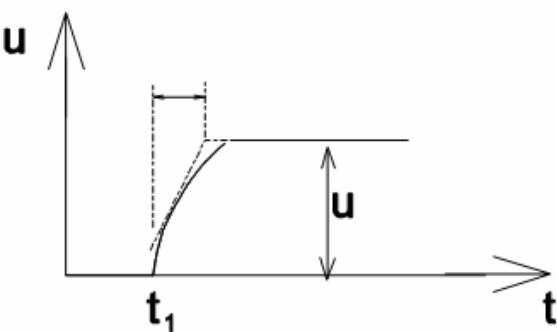
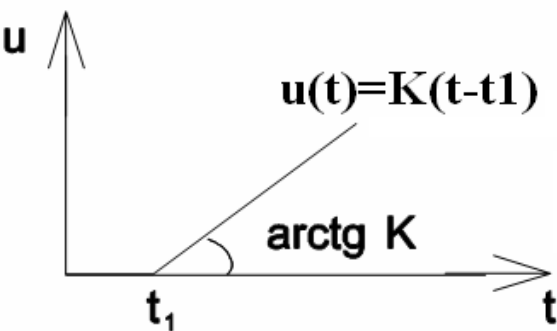
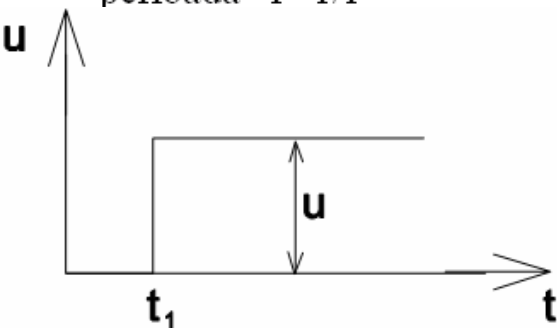
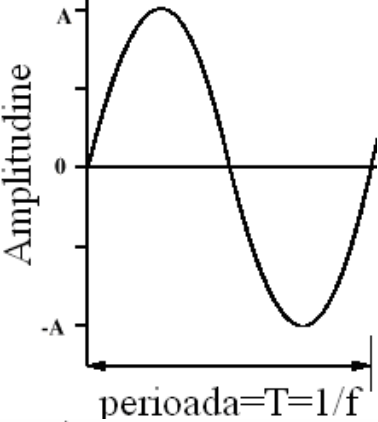
Semnale electrice

- funcție de una sau mai multe variabile, purtând informație despre natura unui fenomen fizic
- clasificare după numărul de variabile:
 - *unidimensional*
 - *multidimensional*
- clasificare după evoluția în timp:
 - *continue*
 - *discrete*



- clasificare după simetrie:
 - *pare*
 - *impare*
- clasificare după periodicitate:
 - *periodice* - $v(t) = v(t \pm nT_0)$
 - pentru orice valoare a timpului t
 - T_0 - *perioada* semnalului
 - *frecvența* - $f = 1/T_0$
 - *frecvența unghiulară* sau *pulsația* - $\omega = 2\pi f$
 - *non-periodice* – $v(t) \neq v(t \pm nT_0)$





- **Semnale elementare**

- **sinusoidal**

- $v(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$

- A – amplitudinea, ω_0 – pulsația sau frecvența unghiulară, f_0 – frecvența, ϕ – faza

- **treaptă**

- $u(t) = U$, pt. $t \geq t_1$

- $u(t) = 0$, pt. $t < t_1$

- **liniar variabil (rampă)**

- $u(t) = k \cdot (t - t_1)$, pt. $t \geq t_1$

- $u(t) = 0$, pt. $t < t_1$

- **exponențial**

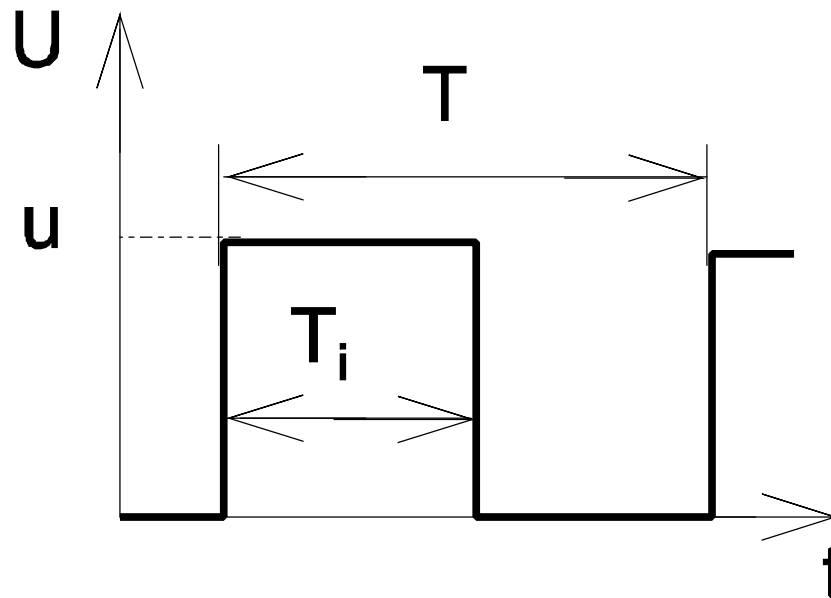
- $u(t) = U(1 - e^{-(t-t_1)/\tau})$, pt. $t \geq t_1$

- $u(t) = 0$, pt. $t < t_1$

- τ - constanta de timp a semnalului

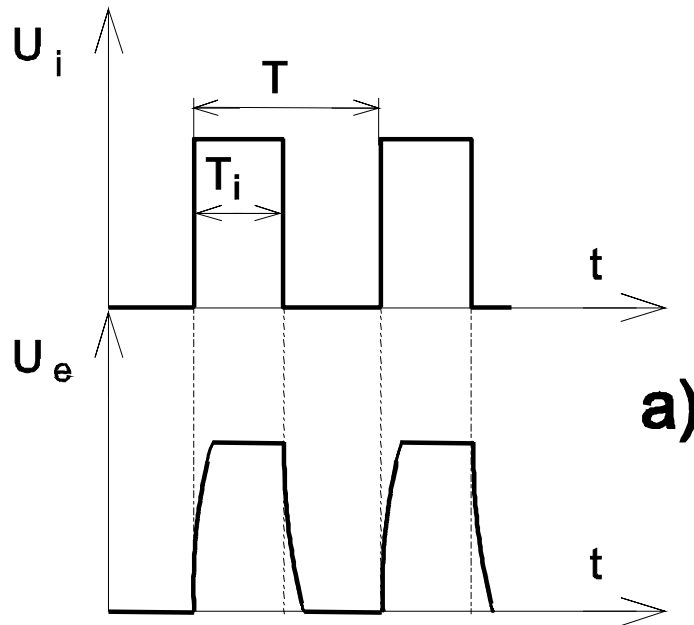
Definirea impulsului

- semnal în tensiune sau în curent
- impulsul ideal
 - U - amplitudinea impulsului
 - T_i - durata impulsului
 - T - durata de repetiție a impulsului

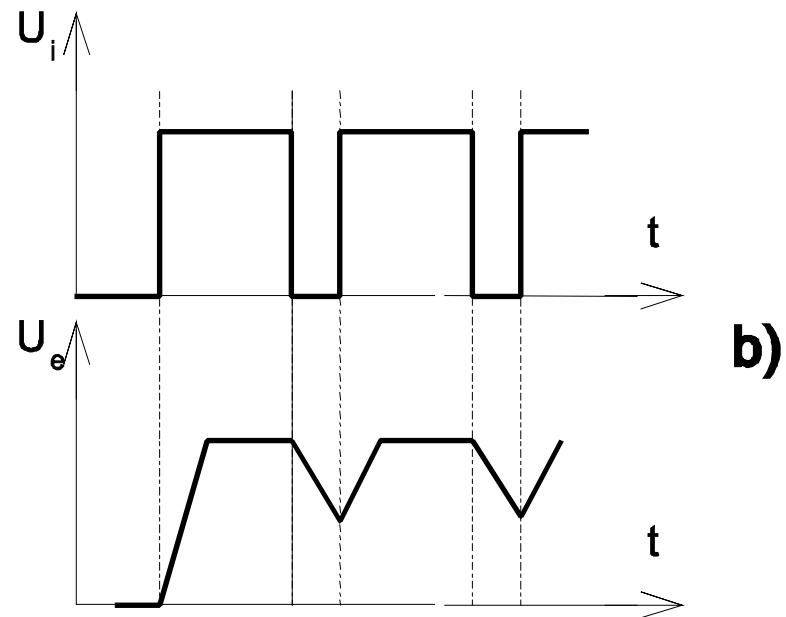


Definirea perioadei impulsului în raport cu durata procesului tranzitoriu

- Comutare într-un circuit electric \rightarrow proces tranzitoriu desfășurat pe parcursul unui interval de timp, notat în general τ
- Perioada **T** de repetiție a impulsurilor trebuie să fie mult mai mare decât durata regimului tranzitoriu din circuit

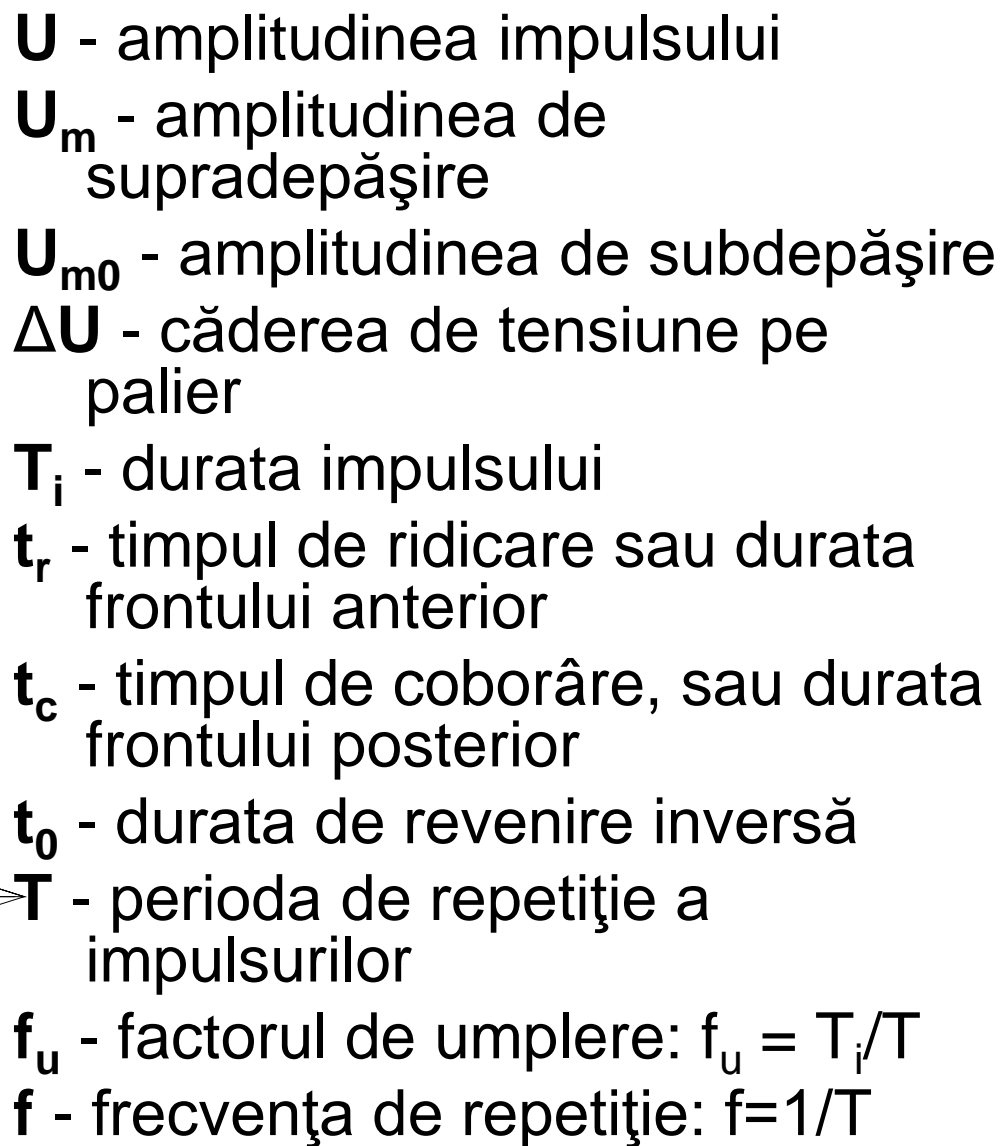


a) definire corecta



b) definire incorecta

Parametrii impulsului real



U_m - amplitudinea de supradepășire

ΔU - căderea de tensiune pe palier

t_r - timpul de ridicare sau durata
frontului anterior

t_c - timpul de coborâre, sau durata
frontului posterior

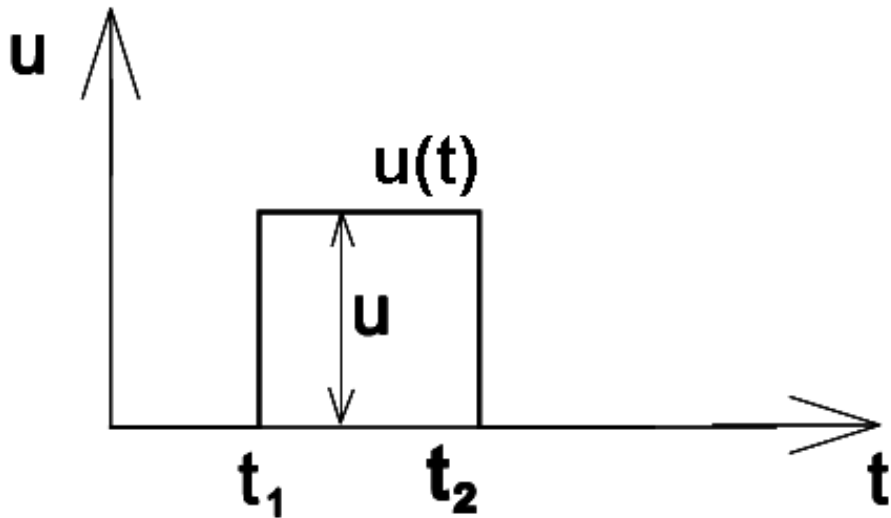
t_0 - durata de revenire inversă

⇒ **T** - perioada de repetiție a impulsurilor

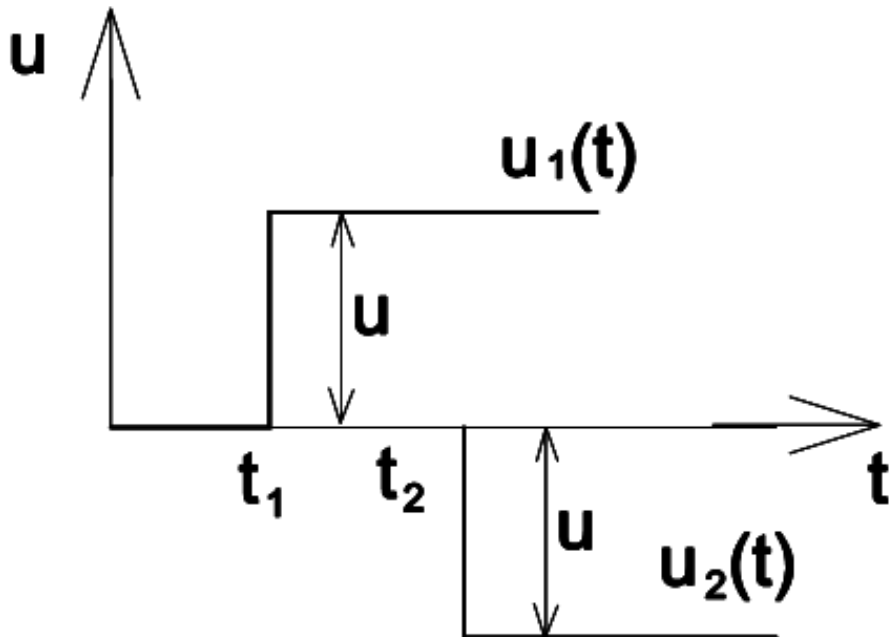
f_u - factorul de umplere: $f_u = T_i/T$

f - frecvența de repetiție: $f=1/T$

Generarea impulsului prin compunerea unor semnale elementare



- $u(t) = u_1(t) + u_2(t)$

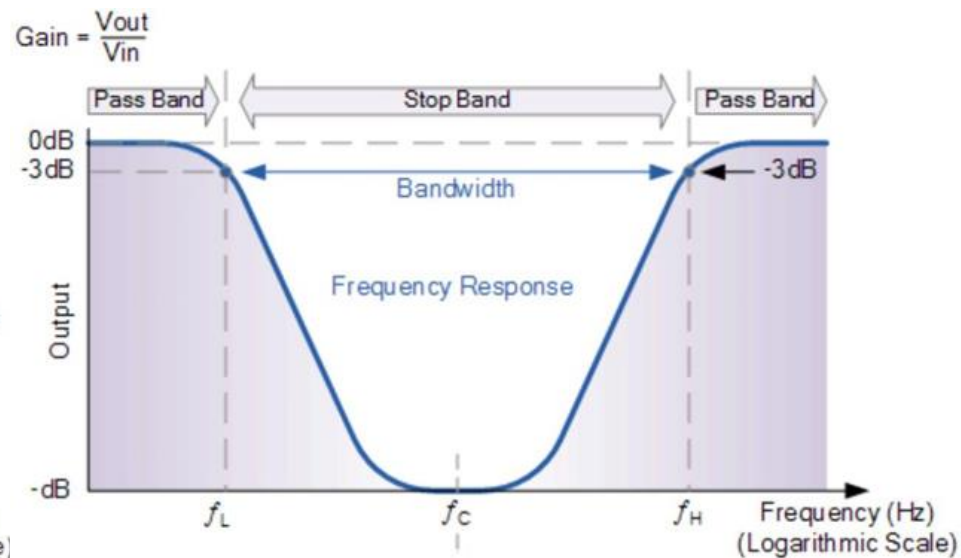
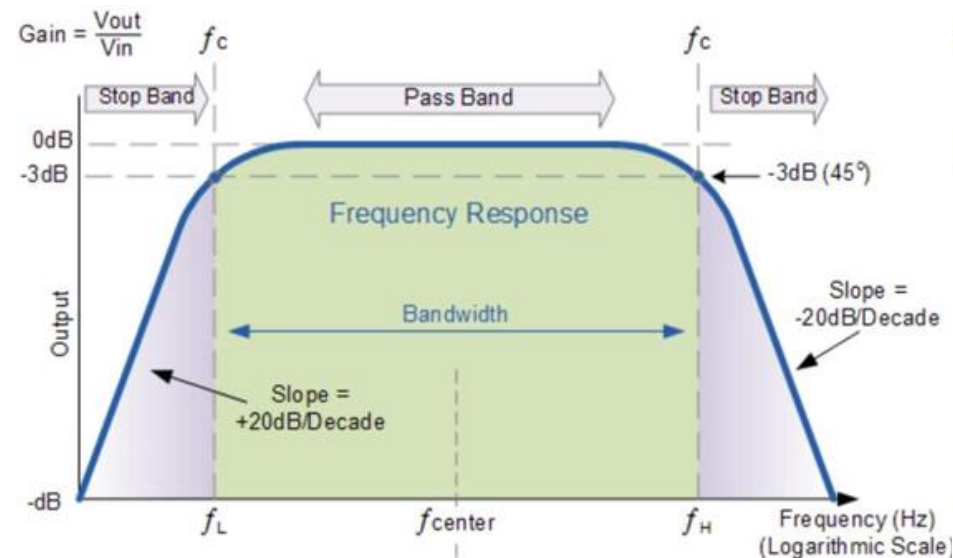
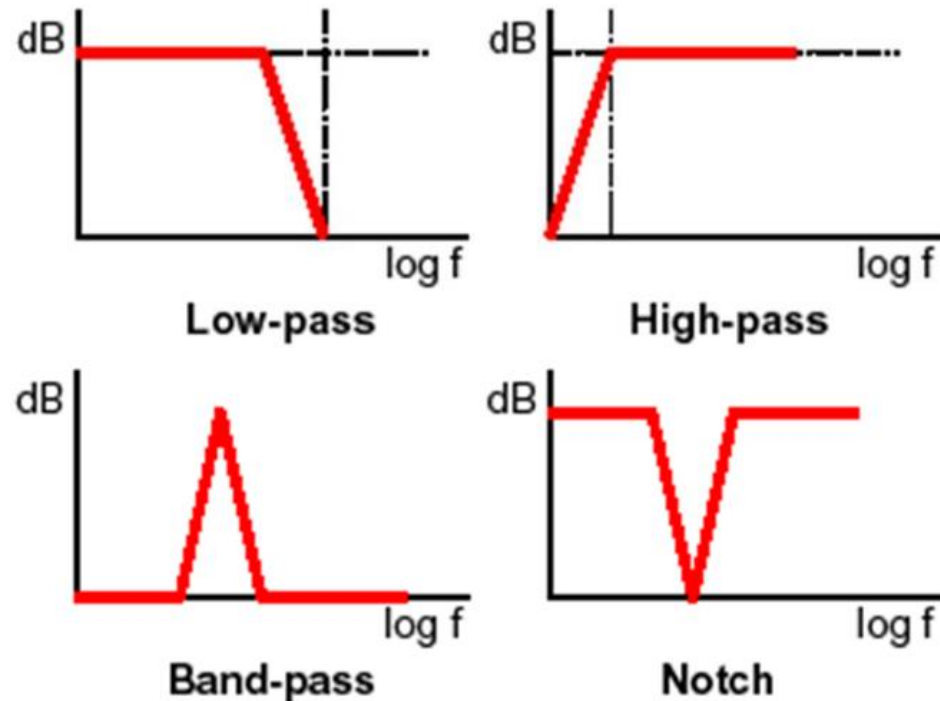


Filtre

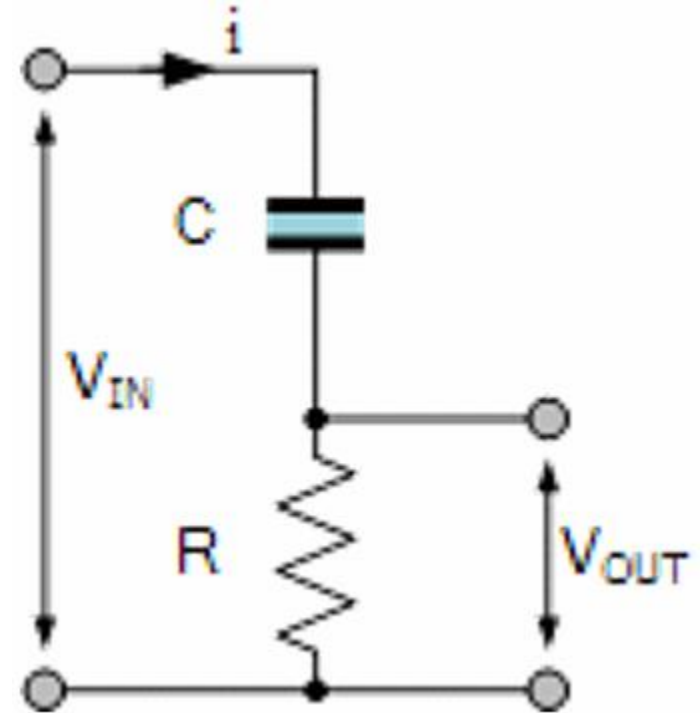
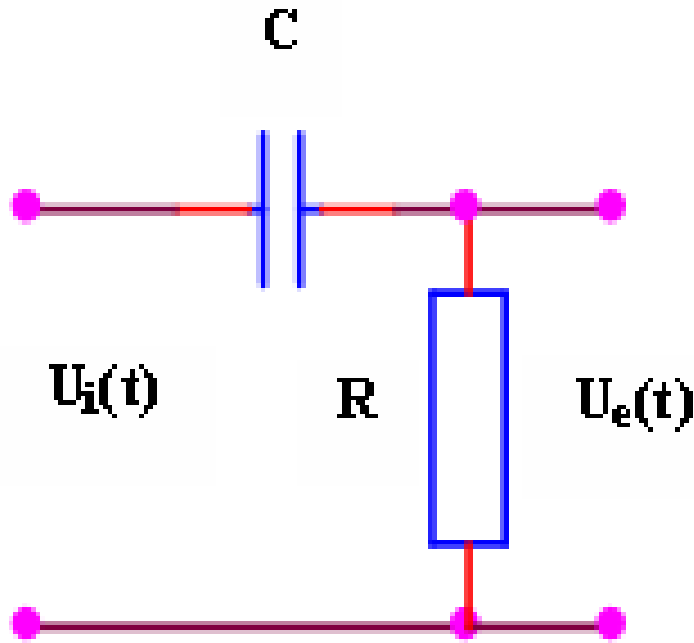
- Filtrele sunt folosite pentru a elimina frecvențele nedorite dintr-un semnal
- Clasificarea filtrelor în funcție de implementare:
 - Filtrele active includ rețele RC și amplificatoare operaționale
 - Potrivite pentru frecvență joasă, semnal mic
 - Filtrele active sunt preferate, deoarece evită volumul și neliniaritatea inductoarelor și pot avea câștiguri mai mari de 0 dB
 - Cu toate acestea, filtrele active necesită o sursă de alimentare
 - Filtrele pasive consta din rețele RCL
 - Simple, mai potrivite pentru frecvențe peste intervalul audio, unde filtrele active sunt limitate de lățimea de bandă a amplificatorului operațional
 - Filtrele digitale
 - Un filtru digital folosește un procesor digital pentru a efectua calcule numerice pe valorile eșantionate ale semnalului. Procesorul poate fi un computer de uz general, cum ar fi un PC, sau un cip DSP (Digital Signal Processor) specializat

- Clasificarea filtrelor în funcție de răspunsul în frecvență:

- Filtru trece jos
- Filtru trece sus
- Filtru trece banda
- Oprește bandă (Notch-Crestătură)

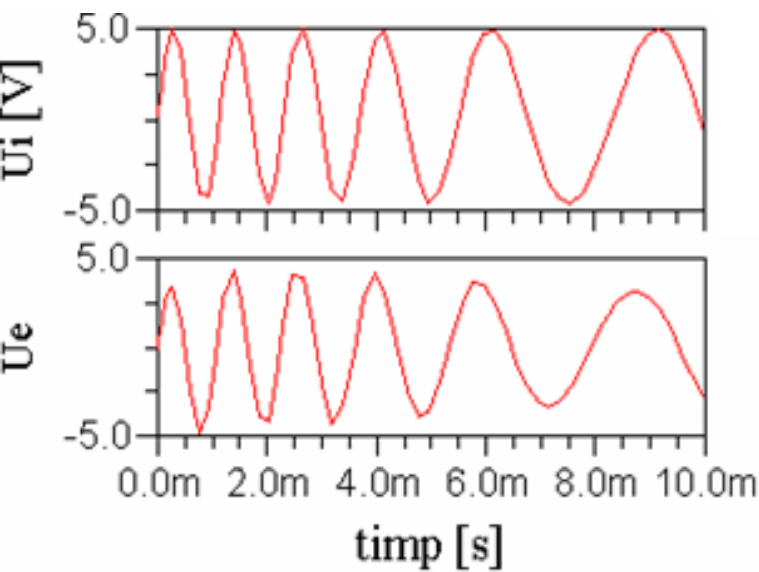
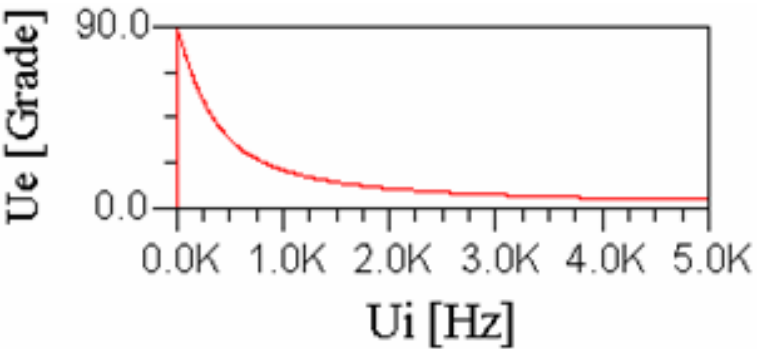
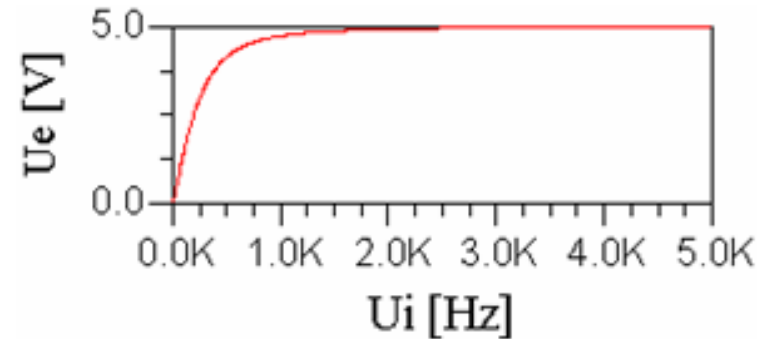


Circuitul RC trece sus



- Reactanța capacitivă variază invers proporțional cu frecvența, valoarea sa scăzând cu creșterea frecvenței
- Circuitul se comportă ca un divizor de tensiune al cărui raport de divizare depinde de frecvență, respectiv se comportă ca un filtru trece sus

Semnal de intrare sinusoidal

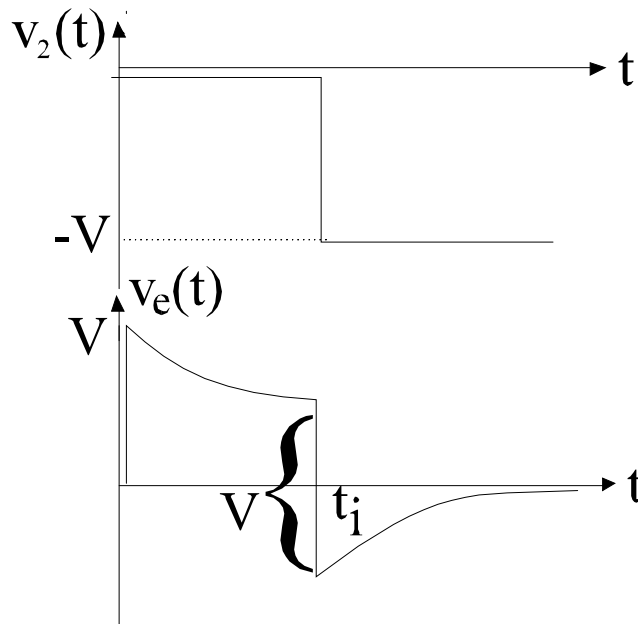
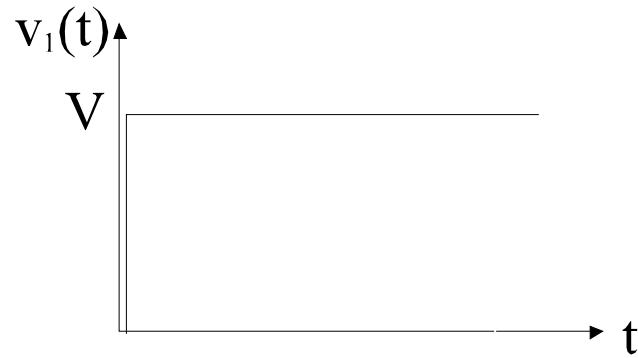
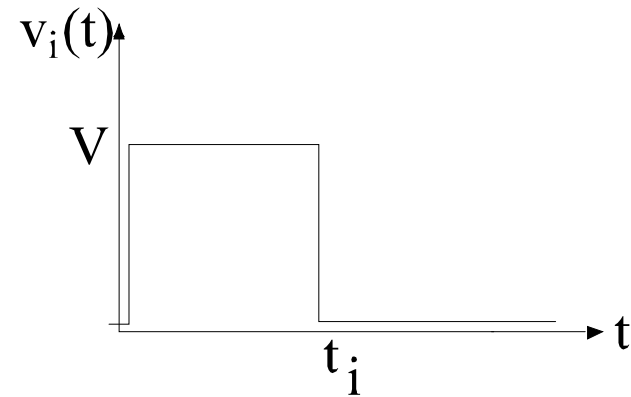


- $U_i = |U_i| e^{j\omega t}$, $\omega = 2\pi f$
- $U_e = |U_e| e^{j(\omega t - \phi)}$
- raspunsul este tot un semnal sinusoidal, atenuat și defazat față de intrare, cu atenuarea $A(\omega)$ și defazajul $\phi(\omega)$

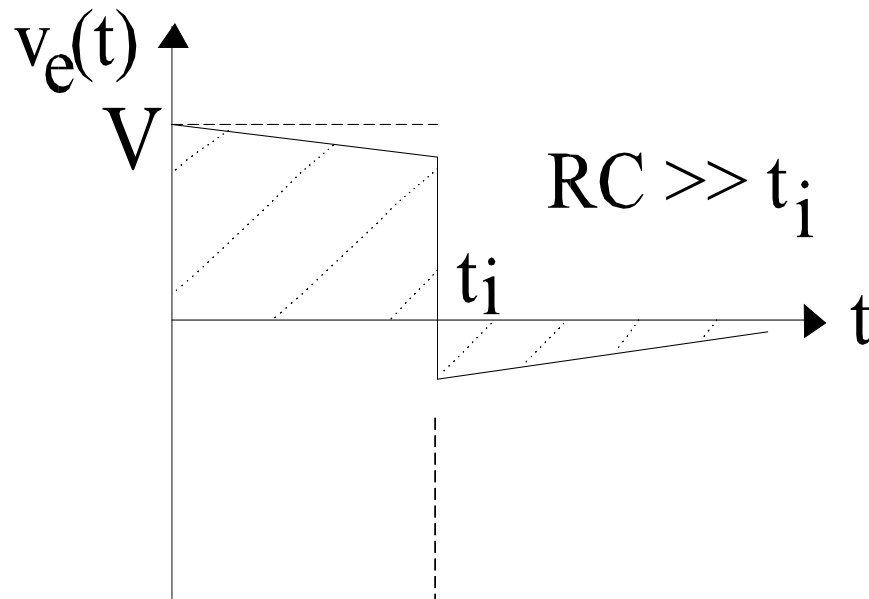
$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}}$$

$$\phi(\omega) = \arctg\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$$

Semnal de intrare impuls

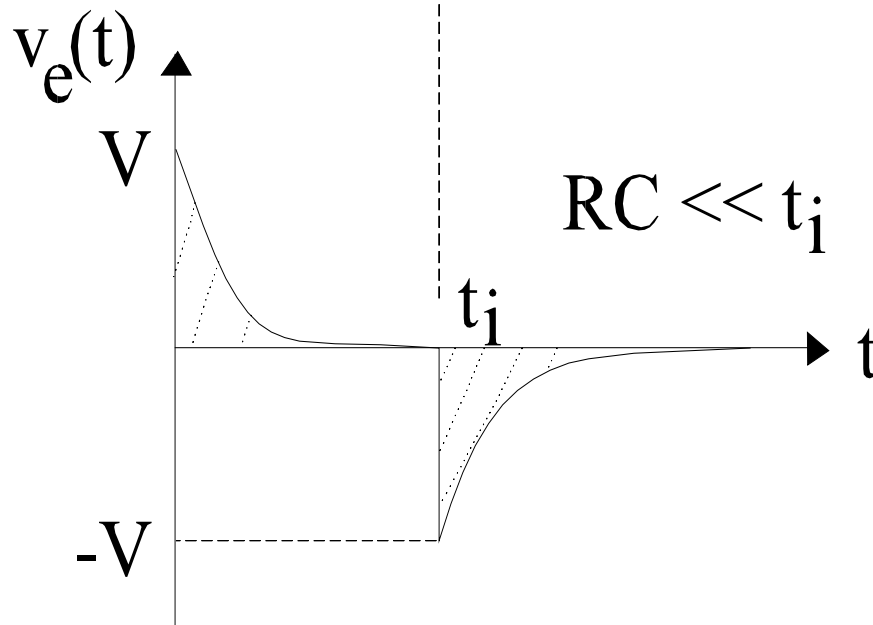


- Impulsul aplicat la intrarea circuitului este compus din două semnale treaptă de amplitudine $+V$ și $-V$ aplicate la momentul $t=0$ și respectiv $t=t_i$
- Componenta continuă a semnalului aplicat la intrare nu apare la ieșire
- Circuitul se mai numește și circuit de separare, utilizându-se pentru separarea circuitelor în curent continuu



$$RC \gg t_i$$

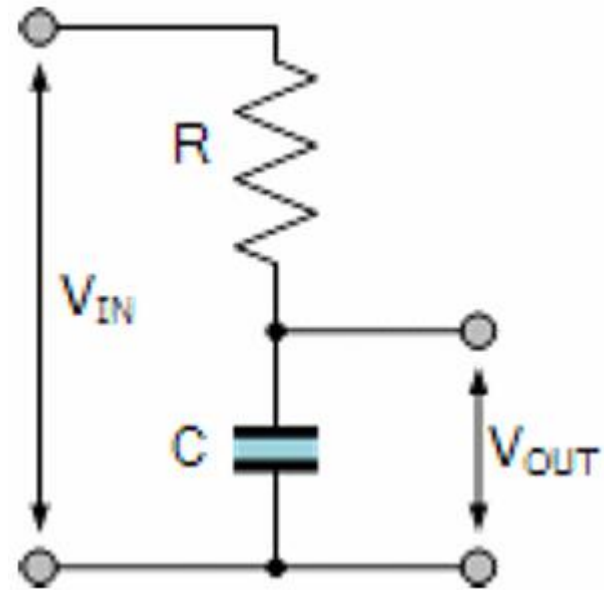
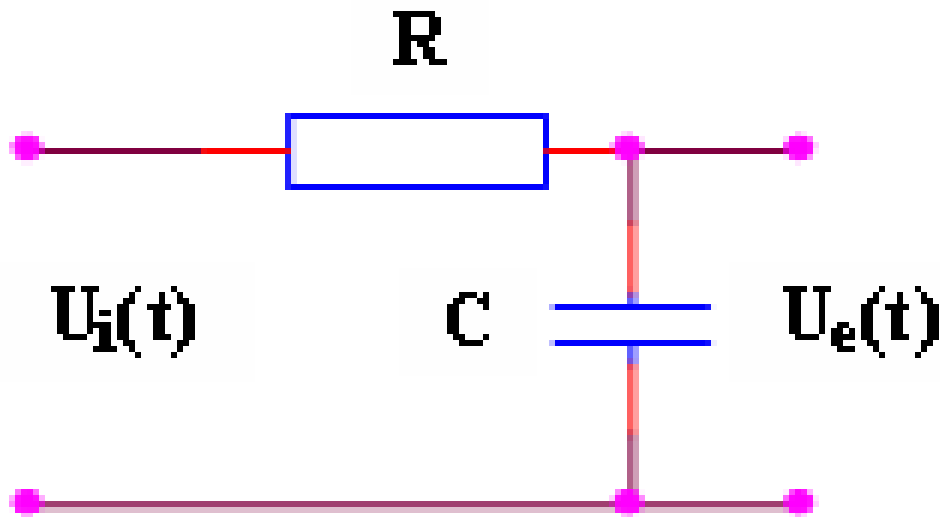
- Aria de deasupra abscisei este intotdeauna egală cu aria de sub abscisă
- Pentru a obține distorsiuni neglijabile constanta de timp RC trebuie sa fie mult mai mare decât durata impulsului t_i



$$RC \ll t_i$$

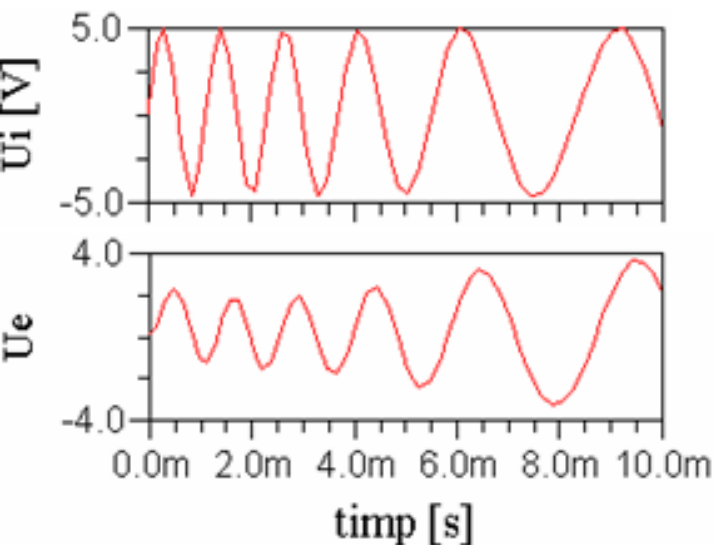
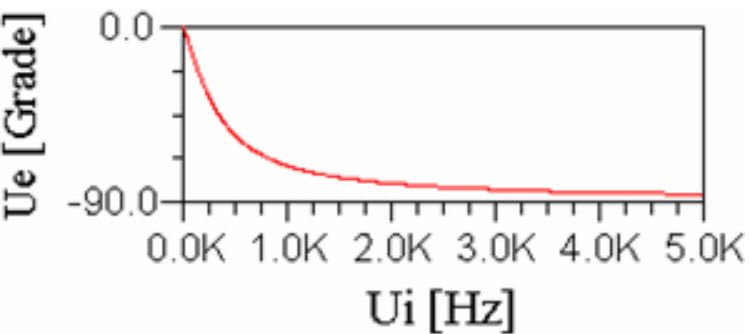
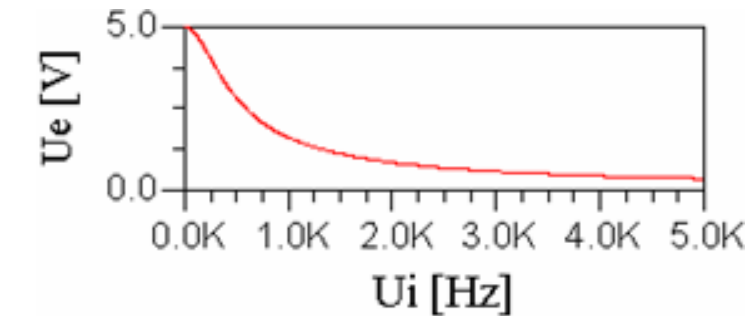
- Dacă constanta de timp RC este mult mai mică decât durata impulsului circuitul poate fi folosit ca si circuit de diferentiere

Circuitul RC trece jos



- Reactanța capacitivă variază invers proporțional cu frecvența, valoarea sa scăzând cu creșterea frecvenței
- Circuitul se comportă ca un divizor de tensiune al cărui raport de divizare depinde de frecvență, respectiv se comportă ca un filtru trece jos

Semnal de intrare sinusoidal

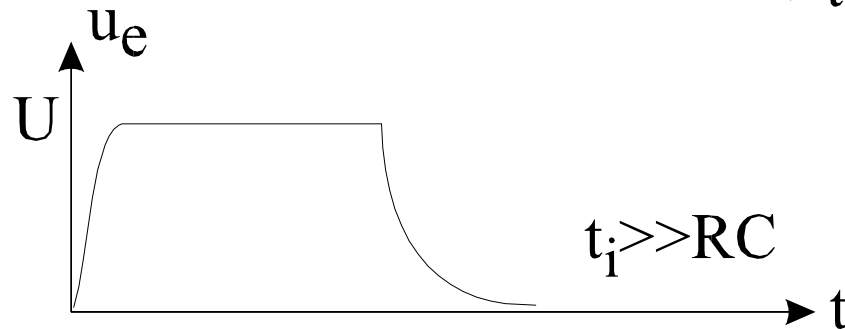
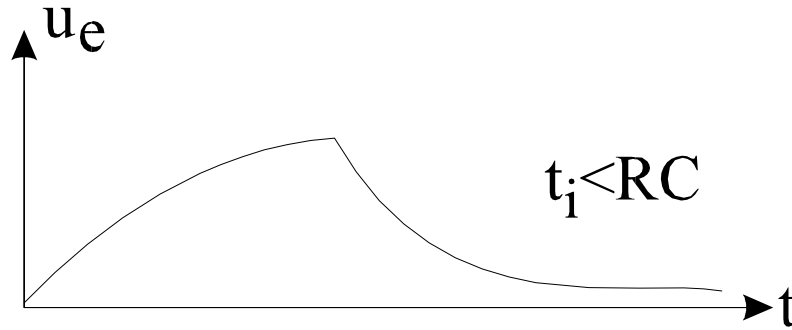
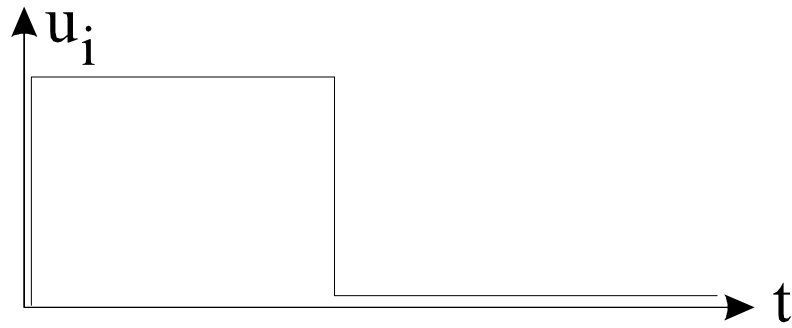


- $U_i = |U_i| e^{j\omega t}$, $\omega = 2\pi f$
- $U_e = |U_e| e^{j(\omega t - \phi)}$
- raspunsul este tot un semnal sinusoidal, atenuat și defazat față de intrare, cu atenuarea $A(\omega)$ și defazajul $\phi(\omega)$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

$$\phi(\omega) = -\arctg(\omega RC)$$

Semnal de intrare impuls



- Pentru ca distorsiunile introduse de circuit asupra semnalului de intrare de tip impuls să fie neglijabile este necesar ca elementele circuitului să satisfacă relația $RC \ll t_i$
- Dacă căderea de tensiune pe rezistență este mult mai mare decât pe condensator ($U_C \ll U_R$), răspunsul circuitului va reprezenta integrala semnalului de intrare în raport cu timpul
- Folosit pentru refacerea impulsurilor, ca și circuit integrator

Calculul raspunsului circuitelor RC

- Raspunsul unui circuit liniar cu o singura constanta de timp la un semnal de intrare de timp treapta se poate calcula cu ajutorul ecuatiei:

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

- Perioada $t=t''-t'$ pentru care $y(t)$ isi schimba valoarea de la $y(t')$ la $y(t'')$ poate fi calculata cu ajutorul ecuatiei:

$$t = t'' - t' = \tau \ln \frac{y(\infty) - y(t')}{y(\infty) - y(t'')}$$

- Raspunsul unui circuit la orice semnal de intrare poate fi calculat cu integrala Duhamel daca raspunsul la un semnal de intrare de tip treapta este cunoscut:

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

- $i(t)$ – semnalul de intrare
- $i(0)$ – valoarea semnalului de intrare la momentul $t=0$
- $e(t)$ – raspunsul circuitului
- $A(t)$ – raspunsul circuitului la un semnal de intrare de tip treapta avand amplitudinea egala cu 1

Alte forme ale integralei Duhamel

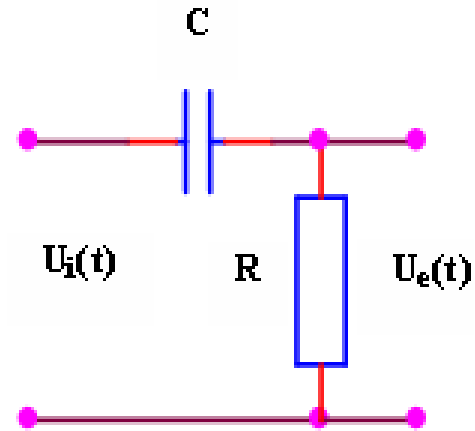
$$e(t) = i(t)A(0) + \int_0^t \frac{dA(t)}{dt} \Big|_{t=\tau} i(t-\tau) d\tau$$

$$e(t) = i(0)A(t) + \int_0^t \frac{di(t)}{dt} \Big|_{t=t-\tau} A(\tau) d\tau$$

$$e(t) = i(t)A(0) + \int_0^t \frac{dA(t)}{dt} \Big|_{t=t-\tau} i(\tau) d\tau$$

Problema

- Un semnal exponential este aplicat la intrarea unui filtru trece sus. Sa se calculeze raspunsul circuitului.

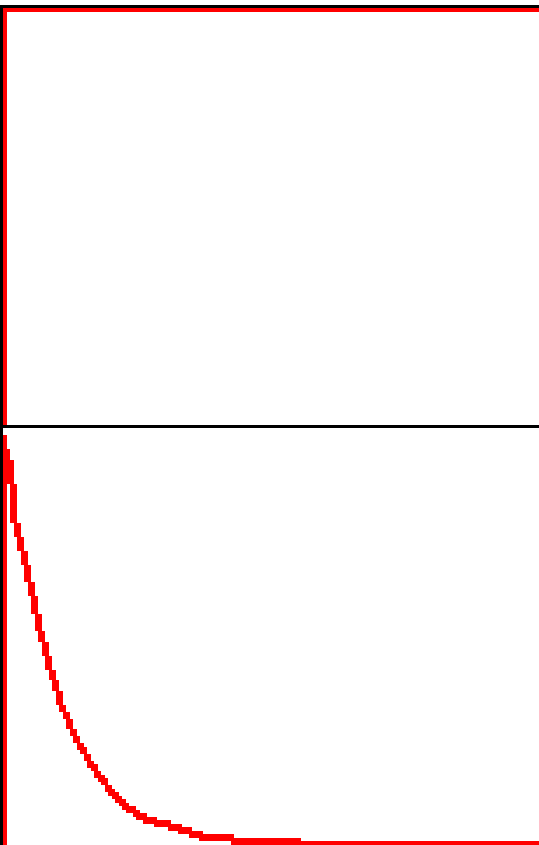


Raspunsul circuitului la un semnal treapta de amplitudine 1:

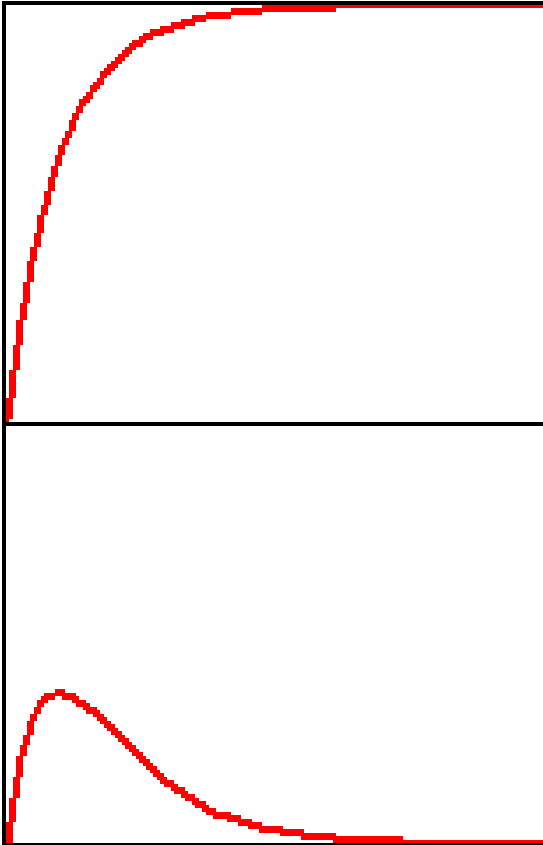
$$v_o(t) = v_o(\infty) + [v_o(0) - v_o(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$v_o(\infty) = 0, v_o(0) = 1, \tau = RC$$

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



Raspunsul circuitului la un semnal exponential:



$$v_i(t) = V(1 - e^{-t/T})$$

$$v_o(t) = v_i(0)A(t) + \int_0^t \frac{d v_i(\tau)}{d \tau} A(t - \tau) d \tau$$

$$A(t) = e^{-t/RC}, v_i(0) = 0$$

$$v_o(t) = \frac{V}{1 - \frac{T}{RC}} (e^{-t/T} - e^{-t/RC})$$

Probleme propuse

- Se considera un filtru trece sus. Componentele circuitului au următoarele valori: $R=10\text{k}\Omega$, $C=100\text{nF}$. La intrarea acestui circuit este aplicat un semnal treapta având amplitudinea egală cu 5V . Să se calculeze timpul necesar răspunsului pentru a ajunge la valoarea 2V .
- Un semnal exponential este aplicat la intrarea unui filtru trece jos. Să se calculeze răspunsul circuitului.