

Capitolul 2.3

Componente pasive moderne

- Supercondensatoare
- Inductoare

Ciprian Ionescu

Conferențiar la Catedra Tehnologie Electronică și Fiabilitate,
Fac. Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
Universitatea Politehnica din București



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Componente pasive moderne

Condensatori electrochimici dublu- strat - SuperCondensatoare



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Condensatori electrochimici dublu-strat

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

Se constată că, pentru o componentă realizată din elemente bazate pe prelucrarea fizico - mecanică a materialelor, o creștere a valorii capacității acesteia este practic limitată

Cercetătorii s-au orientat către fenomene electrochimice și câmpuri electrice pentru a realiza armăturile și dielectricul unui condensator. În urma acestor cercetări a rezultat un condensator electrochimic cunoscut sub denumirile

Supercondensator

Ultracapacitor

EDLC (Electrochemical Double-Layer Capacitor)



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Principii de funcționare

Principiul de funcționare al condensatorilor electrochimici este similar cu principiul de funcționare al condensatorilor electrostatici (convenționali). Condensatorii electrochimici stochează energia într-o manieră similară, doar că sarcina nu este acumulată pe cele două armături. Sarcina se acumulează la interfața dintre suprafața conductorului și o soluție de electrolit

O estimare a capacității poate fi obținută din modelul dublu strat propus de Helmholtz în 1853, în care dublul strat este considerat a fi compus din două straturi simple încărcate electrostatic. Un strat se formează pe armătură și celălalt strat este compus din ionii din electrolit. Capacitatea specifică a acestui strat dublu este dată de ecuația de mai jos

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{4\pi d}$$

unde: C -capacitatea condensatorului

A - aria armăturii

- constanta dielectrică a mediului dintre cele două straturi (electrolitul)

d - distanța dintre cele două straturi (distanța dintre suprafața armăturii până la centrul stratului ionic). Această aproximație este în mare parte corectă pentru soluții concentrate de electrolit

ε



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



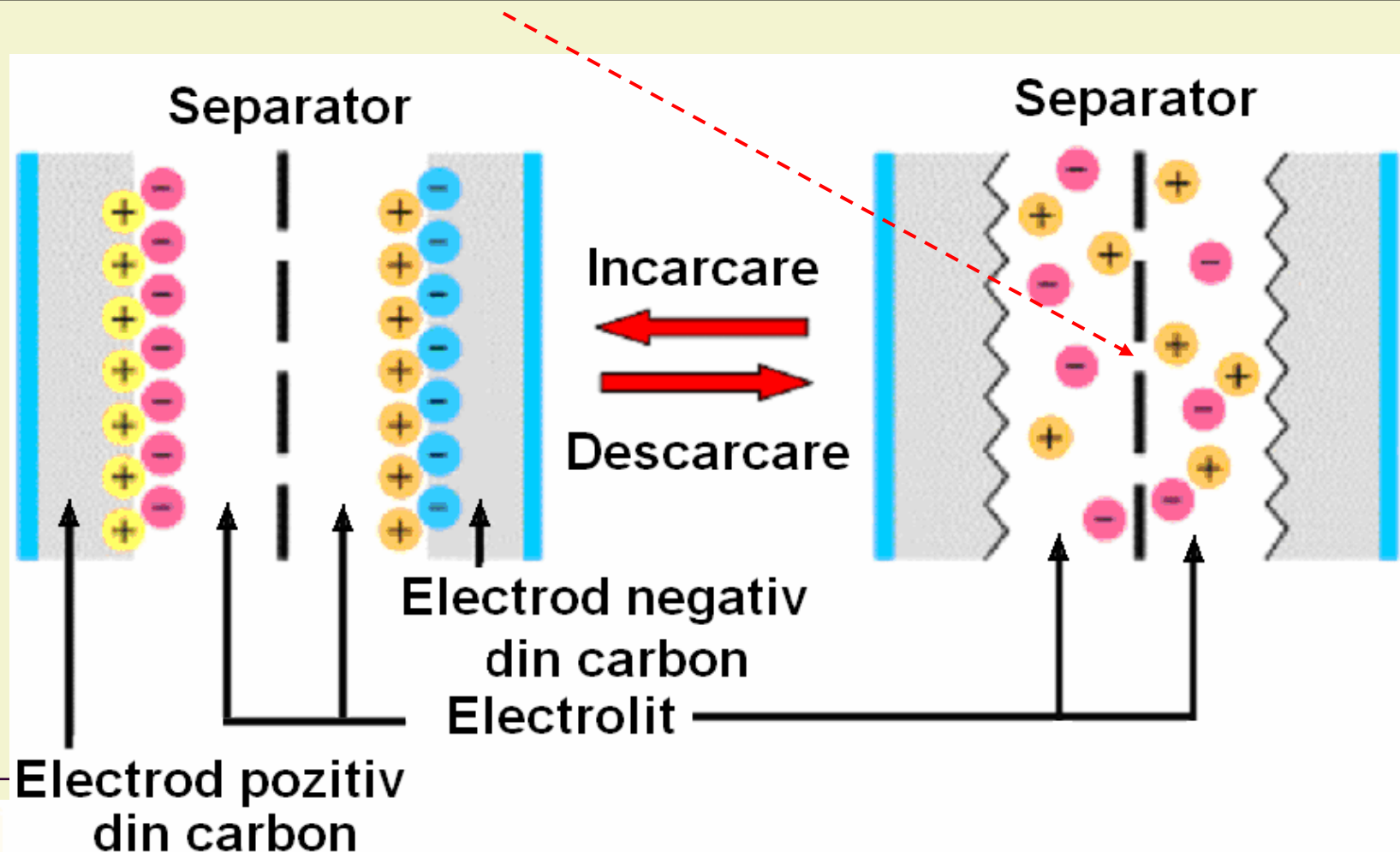
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Supercondensatoarele au în componență două armături, în concluzie se formează două straturi duble, câte unul la fiecare interfață armătură/electrolit. O membrană separatoare este plasată între cele două straturi duble pentru a împiedica contactul electric dintre acestea. Totodată, această membrană **permite ionilor să treacă dintr-o parte în cealaltă**



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOS DRU

FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

INSTRUMENTE STRUCTURALE
POSDRU
2007-2013

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin

Mecanismul de stocare în condensatoarele electrochimice 5

tronică

Armăturile sunt confecționate din materiale care au suprafața efectivă prelucrată pentru a mări suprafața stratului dublu, cum ar fi: carbon poros, carbon depus prin procedeul aerogel. În structurile, EDCL se pot obține densități mari de energie datorită capacității specifice mari. Aceste capacități sunt obținute prin:

1. existența interfeței armătură/electrolit pe toată suprafața armăturii
2. existența stratului subțire de separare a sarcinilor, **de dimensiuni atomice**

Observatie La capacitatea ce rezultă din separarea sarcinilor în stratul dublu, se adaugă și capacitatea ce poate fi obținută din reacțiile ce apar la suprafața armăturii. Sarcina necesară pentru a facilita apariția acestor reacții este dependentă de potențial, rezultând o “presudocapacitate” Faraday. Datorită diferențelor fundamentale dintre capacitatea din dublul strat și pseudocapacitatea respectivă, cele două concepte vor fi analizate separat.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



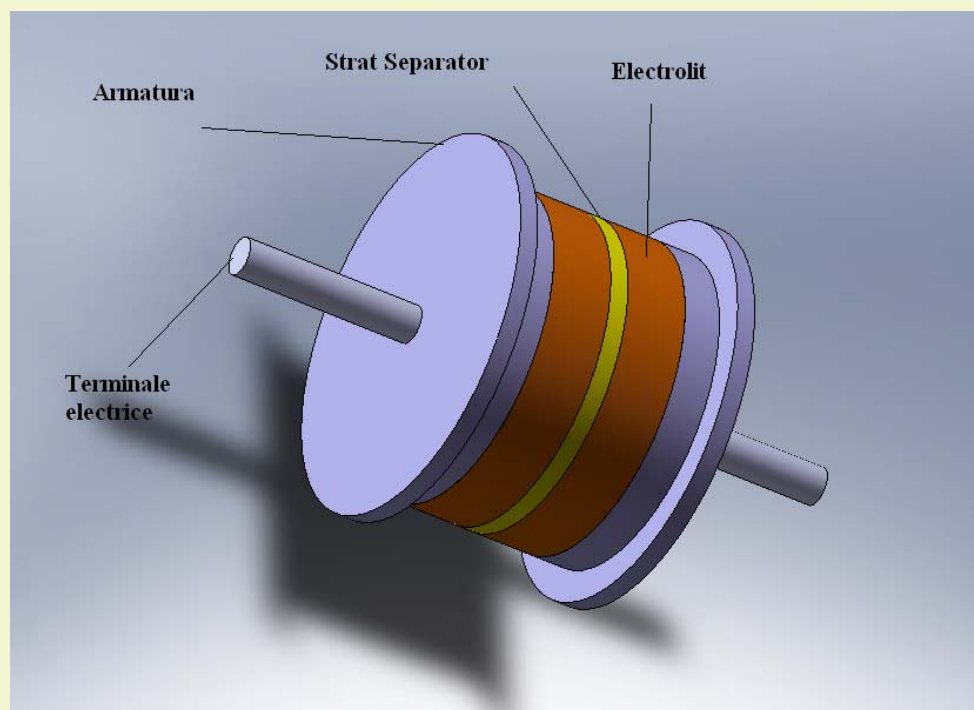
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Reprezentarea 3D a unui EDLC și supercondensatoare destinate utilizatorului



12.2 Considerente de principiu

Dublul strat electric

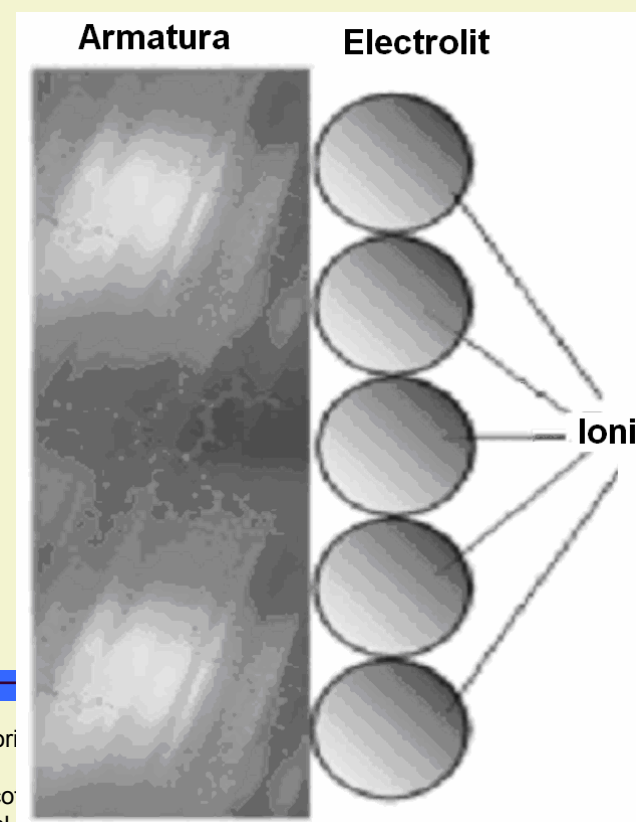
În 1853 Helmholtz a dezvoltat conceptul de strat dublu, care în viziunea lui era sub forma a două straturi încărcate electric așezate la interfața dintre două metale diferite. Mai târziu în 1879 a completat această interfață metal/metal cu o interfață formată dintr-un metal și o soluție apoasă. În acest model interfața era compusă dintr-un strat de electroni la suprafața armăturii și un strat de ioni din electrolit

Pentru analiza suprafețelor și capacității în același context, este util să se lucreze cu derivate parțiale, astfel capacitatea se transformă în capacitate diferențială și este dată de relația [66]:

$$C = \frac{\partial \sigma}{\partial E}$$

unde: σ - este densitatea de sarcină

E - este potențialul electric

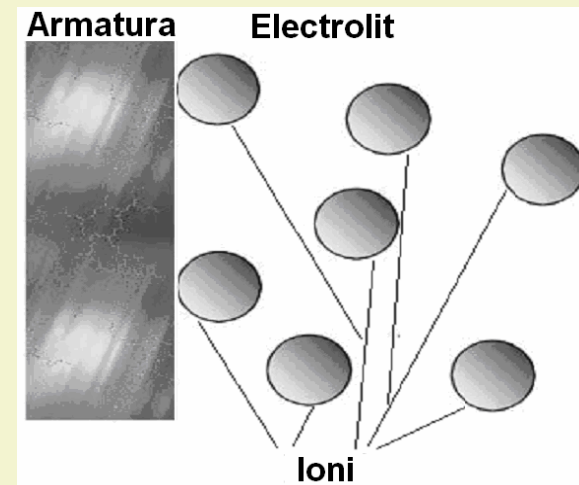


Conform modelului lui Helmholtz **capacitatea diferențială** este dată de ecuația de mai jos:

$$C_1 = \frac{\varepsilon}{4\pi\delta}$$

depinzând doar de constanta dielectrică și de stratul separator de sarcini, δ este distanța dintre suprafața armăturii metalice și stratul de ioni

Pe la începutul anilor 1900, Gouy a considerat evident faptul că, capacitatea nu este o constantă, ci depinde de potențialul aplicat și de concentrația de ioni. Pentru a întări această afirmație Gouy susținea că agitația termică împiedică acumularea ionilor pe suprafața armăturii, conducând la formarea de sarcini spațiale. Câțiva ani mai târziu D.C. Chapman (1924) a îmbunătățit relațiile și a ajuns la forma:



$$C_G = \frac{\varepsilon \cdot k}{4\pi} \cosh \frac{z}{2} \quad \text{unde} \quad k = \sqrt{\frac{8\pi \cdot n \cdot e^2 \cdot z^2}{\varepsilon \cdot k \cdot T}}$$

Grahame a combinat capacitatea rezultată din stratul Stern, cu cea rezultată din stratul de difuzie (1930) și Capacitatea totală este dată de ecuația

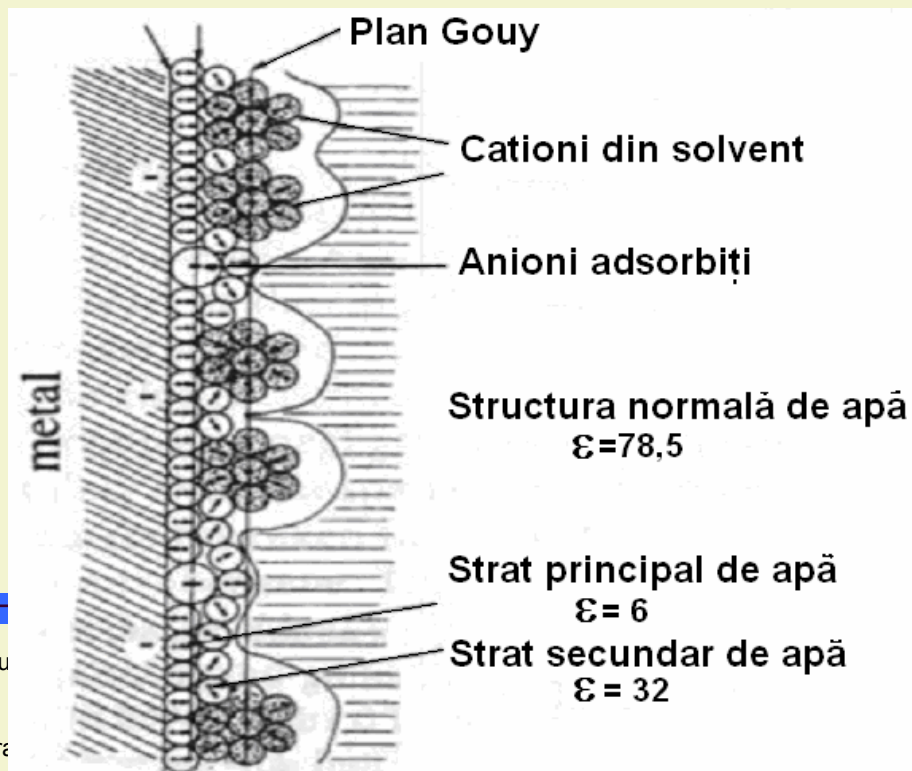
În cazul în care apar procese speciale de adsorbție ecuația de mai sus devine inutilizabilă. În cazul acestor procese se folosește ecuația de mai jos

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_G} \left(1 + \frac{\partial \sigma_A}{\partial \sigma} \right)$$

σ - este densitatea de sarcini pe armătură

σ_A - este densitatea de sarcina a stratului de ioni adsorbiți la suprafața armăturii.

În 1963 Bockris, Devanathan și Muller au propus un model ce includea și acțiunea solventului. Ei au sugerat că un strat de apă este prezent în planul interior tip Helmholtz de la suprafața armăturii. Dipolii acestor molecule vor avea o direcție fixă de aliniere datorită sarcinilor de pe armătură. Anumite molecule de apă se vor așeza după direcția impusă de ionii adsorbiți. Alte straturi de apă se vor suprapune cu primul, dar dipolii din aceste straturi nu vor fi ficși ca cei din primul strat



Pseudocapacitatea

Pseudocapacitatea provine din **reacțiile reversibile de tip Faraday** ce apar la electrod, și este numită în acest fel pentru a o deosebi de capacitatea electrostatică. Transferul de sarcini ce are loc în aceste **reacții este dependent de tensiune**. Există două tipuri de reacții în care transferul de sarcini și dependența de tensiune sunt evidențiate

Reacțiile Redox implică un oxidant de forma *ox* și un reducător de forma *red*, descrisă de:

$$ox + ze^{-} \leftrightarrow red$$

potențialul E este dat de ecuația lui Nernst ca mai jos

$$E = E^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{\mathcal{R}}{1 - \mathcal{R}}$$

E^0 - este potențialul standard

R - este constanta gazelor

T - este temperatura absolută

F - este constanta lui Faraday

$\mathcal{R}$ - este definit ca $[ox]/([ox]+[red])$, parantezele pătrate indică concentrația de specii

Cantitatea de sarcină q (dată de produsul zF) este, în concluzie, legată de potențialul E .



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



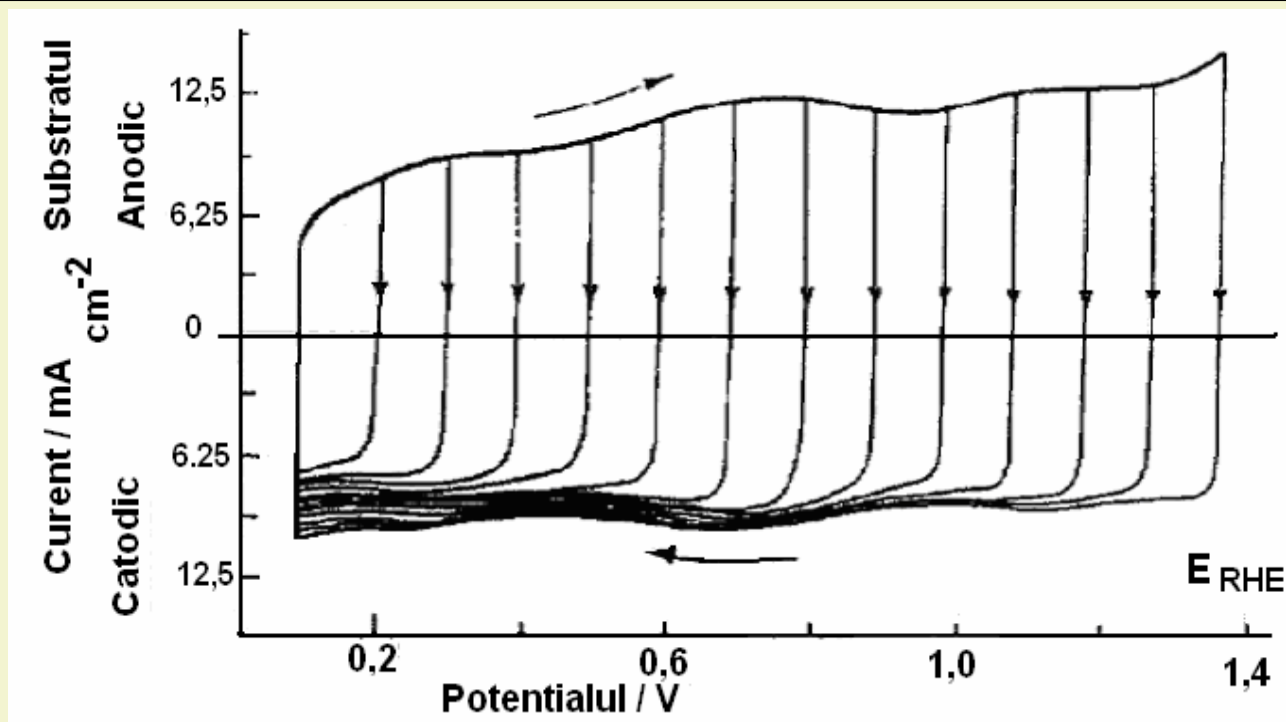
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Voltagramă ciclică a unei armături de oxid de ruteniu imersată într-o soluție de electrolit de acid sulfuric



ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU

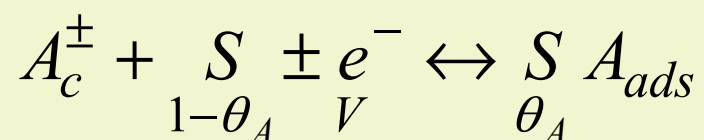


FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

Procese de adsorbție / dezadsorbție care pot fi scrise sub forma



unde : A - este specia ionică ;

S – substratul;

c - concentrația ionilor depozitabili

θ_A - fracțiunea de arie acoperită;

$1 - \theta_A$ - fracțiunea de arie disponibilă pentru adsorbție;

V - potențialul armăturii

Ecuatia rezultată pentru calculul acoperirii

$$\frac{\theta_A}{1-\theta_A} = K_C \exp\left(\frac{-VF}{RT}\right) \Rightarrow C_{\Phi} = q_1 \frac{d\theta_A}{dV} = \frac{q_1 F}{RT} \frac{K_C \cdot \exp\left(\frac{-VF}{RT}\right)}{\left[1 + K_C \cdot \exp\left(\frac{-VF}{RT}\right)\right]^2}$$

$d\theta_A$
variația ariei de acoperire

K_C fiind constanta de echilibru electrochimic

q_1 este cantitatea de sarcină
necesară pentru a forma sau
dispersa un simplu-strat.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



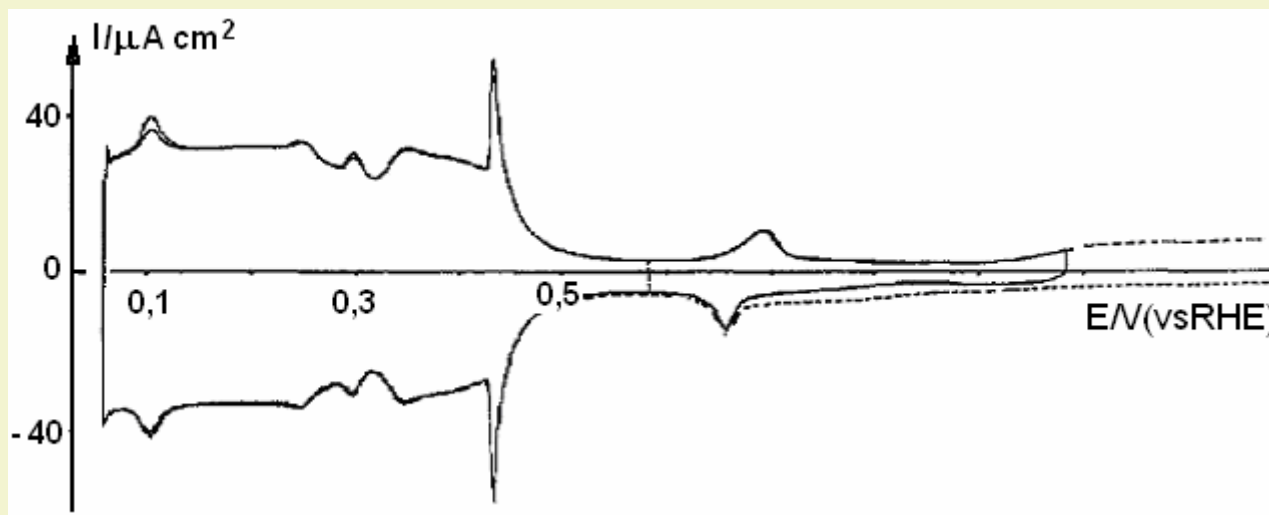
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Voltagrama adsorbției și dezadsorbției hidrogenului pe o suprafață de platină



- Concluzii:**
1. Valorile ridicate pentru capacitatea specifică obținute prin tehnologiile de construcție ale EDLC, sunt rezultatul însumării capacității obținute în stratul dublu și a pseudocapacității.
 2. Capacitatea obținută în stratul dublu, oferă un spațiu de stocare a sarcinilor, a cărui valoare este crescută cu câteva ordine de mărime față de un condensator obișnuit.
 3. Creșterea capacității de stocare se datorează utilizării materialelor cu suprafață mărită pentru construcția electrozilor și faptului că separarea sarcinilor are loc la dimensiuni atomice.
 4. Pseudocapacitatea ce provine din reacții redox sau de adsorbție de ioni, îmbunătățește considerabil capacitatea unui EDLC.

Construcția supercondensatoarelor (EDLC)

Materiale pentru armături

Stocarea sarcinilor în dublu strat este un proces de suprafață, în concluzie caracteristica suprafeței armăturii influențează direct capacitatea supercondensatorului. **Carbonul este cel mai utilizat material**

Tratamentele active aplicate carbonului influențează **structura poroasă** a suprafeței armăturii și “aderența” electrolitului la acești pori este foarte importantă. **Mobilitatea** ionilor în acești pori diferă de mobilitatea lor în electrolit, și este **puternic influențată de diametrul porilor**

Cercetatorii atrag atenția asupra **oxizilor metalici și a polimerilor conductori**

Polimerii conductori înmagazinează și cedează energia prin intermediul **reacțiilor redox**. Când apare oxidarea, ionii sunt transferați din soluție în structura polimerului. Când apare reducerea, ionii sunt transferați din structura polimerului în soluție

Oxizii metalici reprezintă o alternativă pentru materialele utilizate la armătură datorită **capacității specifice mari a acestora și a rezistenței scăzute**, făcând posibilă construcția de supercondensatoare cu **densitate mare de putere și energie**.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

- *Configurațiile hibride* de armături prezintă un potențial considerabil, pentru mărirea capacității, densității de sarcină, densității de energie, și a stabilității întregului sistem. O armătură hibridă se compune din două armături fabricate din materiale diferite încorporate unul în celălalt, pentru a forma o singură armătură. În timpul cercetărilor efectuate de către universitatea din Bologna asupra armăturilor confecționate din polimeri s-a descoperit că armătura ce trebuie încărcată negativ nu poate ajunge la o concentrație maximă de sarcini. Din această cauză s-a utilizat o armătură din carbon
- Armătura ce trebuie încărcată pozitiv fabricată tot din polimeri a ajuns la o concentrație maximă de sarcini. Prin utilizarea acestei configurații hibride s-a dezvoltat un supercondensator ce depășește performanțele supercondensatorului cu armături de carbon



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Electrolitul

- Alegerea materialului de electrolit pentru un EDLC este un pas la fel de important ca și alegerea materialului de armătură. Tensiunea maximă admisă pe un EDLC va depinde de tensiunea de străpungere a electrolitului. De asemenea densitatea de energie (care depinde de tensiune) va fi limitată de electrolit. Densitatea de putere este dependentă de ESR (**E**quivalent **S**eries **R**esistance), rezistența echivalentă serie), care la rândul ei depinde de tipul de electrolit: organic sau apos.
- Electroliții organici sunt cei mai utilizați în supercondensatoarele comerciale, datorită tensiuni mari de disociere. EDLC care utilizează electroliți organici pot atinge valori uzuale ale tensiunii de 2-2,5V. Rezistivitatea electroliților organici este relativ mare, limitând densitatea de putere.
- Electroliții din soluții apoase au tensiunea de străpungere în jurul valorii de 1V dar au conductivitatea mai bună decât electroliții organici.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

$M^{z_1+} / M^{z_2+} (z_1 > z_2)$	E^0 [V]	$M^{z_1+} / M^{z_2+} (z_1 > z_2)$	E^0 [V]
Ag^{2+} / Ag^+	2,00	Li^+ / Li	-3,03
Ag^+ / Ag	+0,799	Mg^{2+} / Mg	-2,37
Al^{3+} / Al	-1,66	Mn^{3+} / Mn^{2+}	1,51
$AlO_2^- + 2H_2O / Al + 4HO^-$	-2,35	Na^+ / Na	-2,713
Au^{3+} / Au^+	+1,41	$Ni^{2+} / - Ni$	-0,23
Au^{3+} / Au	+1,50	$O_2 + 4H^+ / 2H_2O$	+1,229
Ba^{2+} / Ba	-2,90	Pb^{2+} / Pb	-0,126
$Br_2 / 2Br^-$	+1,087	Pb^{4+} / Pb	+1,8
$Br_3^- / 3Br^-$	+1,05	Pt^{2+} / Pt	+1,2
$2H^+ / H_2$	0	Sn^{2+} / Sn	-0,140
Hg^{2+} / Hg	+0,85	Sr^{2+} / Sr	-2,89
$I_2 / 2I^-$	0,536	Zn^{2+} / Zn	-0,763
K^+ / K	-2,925	La^{3+} / La	-2,52

Separatorul

Separatorul, sub forma unei site, previne apariția unui contact electric între cele două armături, dar permite transferul ionic de sarcină. Hârtia sau anumiți polimeri sunt utilizați ca separator în cazul soluțiilor de electrolit organice și separatoare din materiale ceramice sau fibra de sticlă sunt utilizate în cazul soluțiilor apoase de electrolit. Pentru a se obține performanțe ridicate separatorul trebuie să fie subțire și să aibă rezistența electrică și capacitatea de conducție ionică ridicată.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Concluzii

1. Elementele constructive ale unui supercondensator ce au un impact direct asupra performanțelor acestuia sunt electrolitul, separatorul și armăturile.

2. Proprietățile suprafeței unui material utilizat la fabricarea armăturii au un impact semnificativ asupra capacității specifice, la fel ca și proprietățile chimice în cazul în care apare pseudocapacitatea. Momentan, materialele cele mai răspândite pentru fabricarea armăturilor sunt carbonul activ și polimerii conductori iar oxizii metalici reprezintă o alternativă de viitor.

3. Electrolitul influențează direct capacitatea specifică și are un impact direct asupra densității de energie. Soluțiile apoase de electrolit au o conductivitate mai bună decât soluțiile organice, dar au o tensiune de străpungere mult mai mică.

4. Proprietățile separatorului au de asemenea un impact direct asupra performanțelor supercondensatorului.

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU

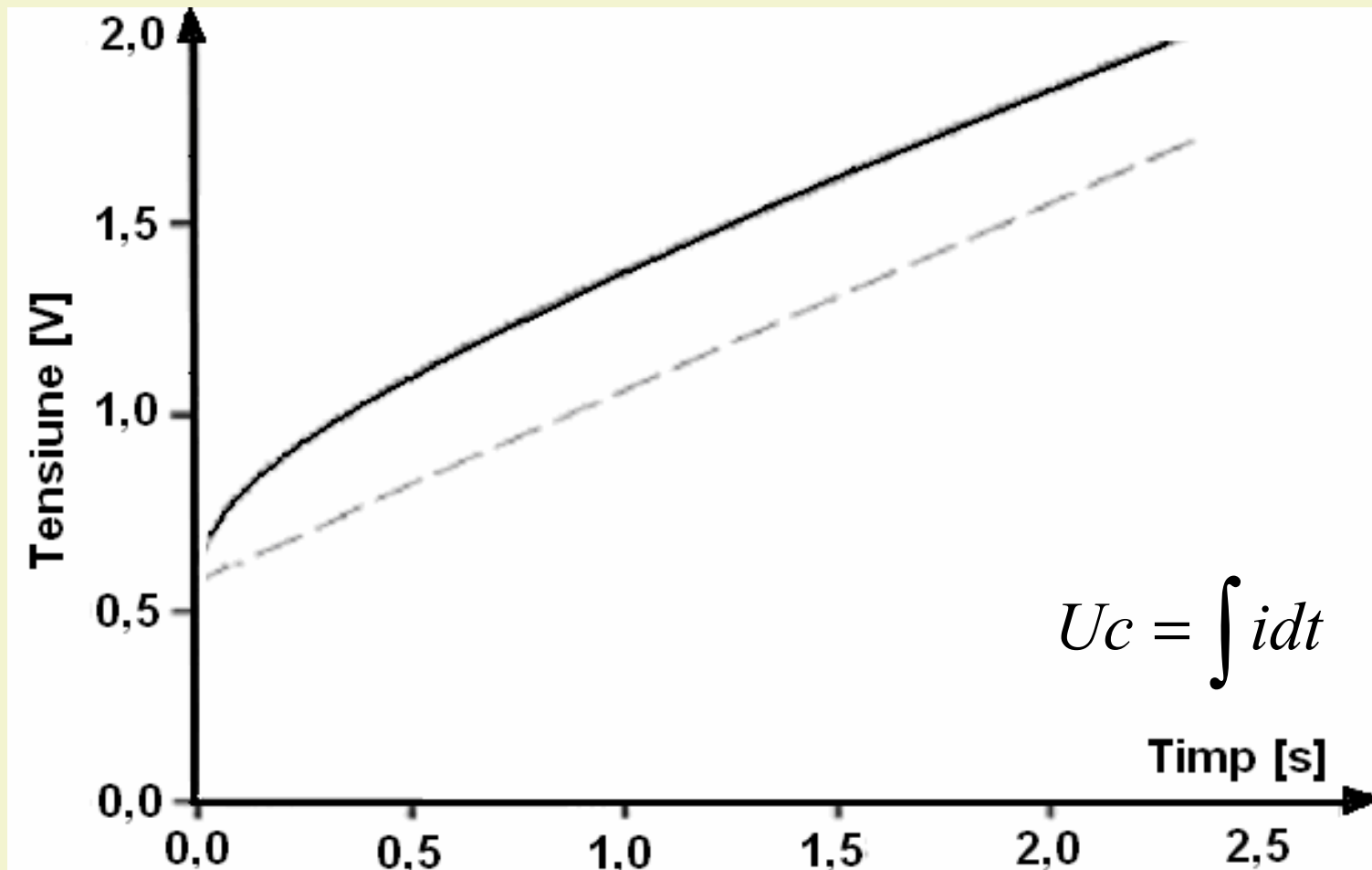


FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

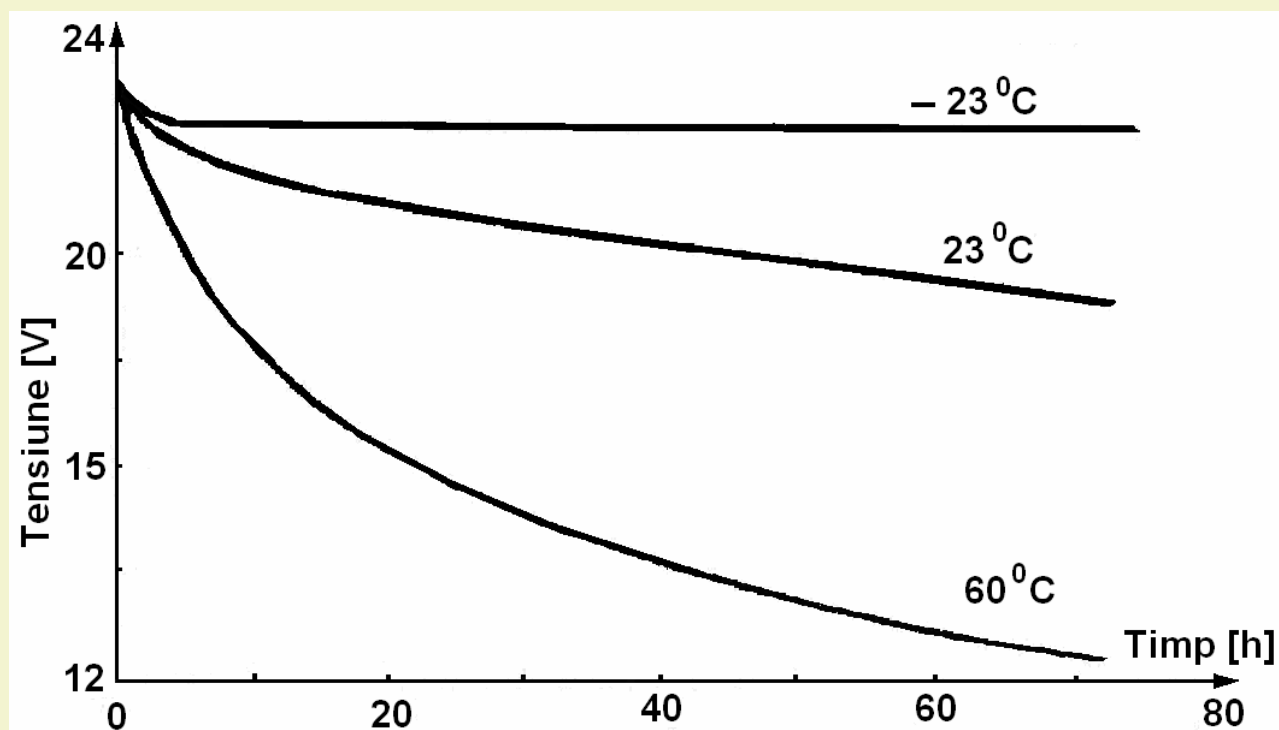
Încărcarea cu un curent constant



. Încărcarea unui supercondensator la un curent de 5A comparată cu comportamentul ideal al condensatorului (linia punctată)

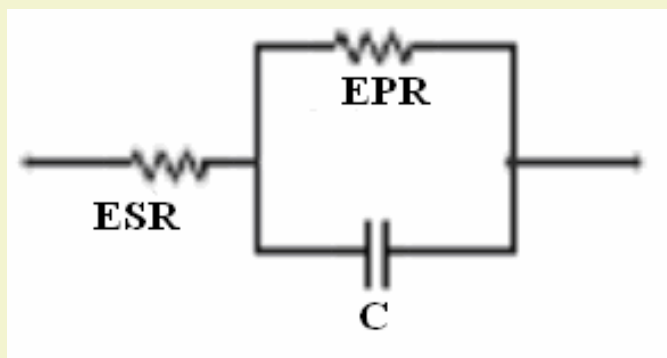
Autodescărcarea supercondensatoarelor

Tehnologiile actuale de realizare a supercondensatoarelor permit numai realizarea unor EDLC care au un curent de pierderi cu o variație în timp destul de mare și mai ales dependent de temperatura mediului și a curentului maxim ce poate fi debitat



. Variația tensiunii la bornele unui EDLC in timp și la diferite temperaturi

Circuitul echivalent clasic



- **ESR** modelează pierderile de putere ce rezultă din cauza **încălzirii interne**, încălzire ce devine un factor important în timpul proceselor de încărcare/descărcare
- **EPR** modelează scurgerea de curent, ce influențează **stocarea energiei pe termen lung**

- Metoda lui Spyker de determinare a EPR constă în încărcarea lentă a condensatorului la tensiunea maximă admisă, tensiunea la bornele acestuia măsurându-se după un timp îndelungat de la încărcarea acestuia. Având în vedere că scăderea de tensiune de la bornele acestuia este exponențială, EPR poate fi calculată cu ajutorul formulei:

$$EPR = \frac{-t}{\ln(V_2 / V_1)C}$$

t - este timpul

V_1 - tensiunea inițială

V_2 - tensiunea finală măsurată

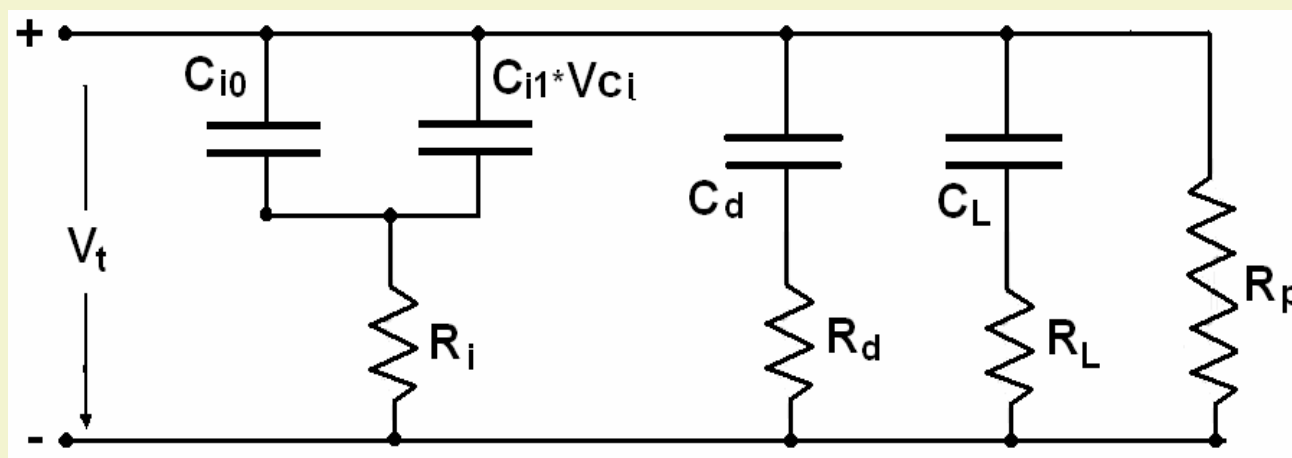
C - capacitatea

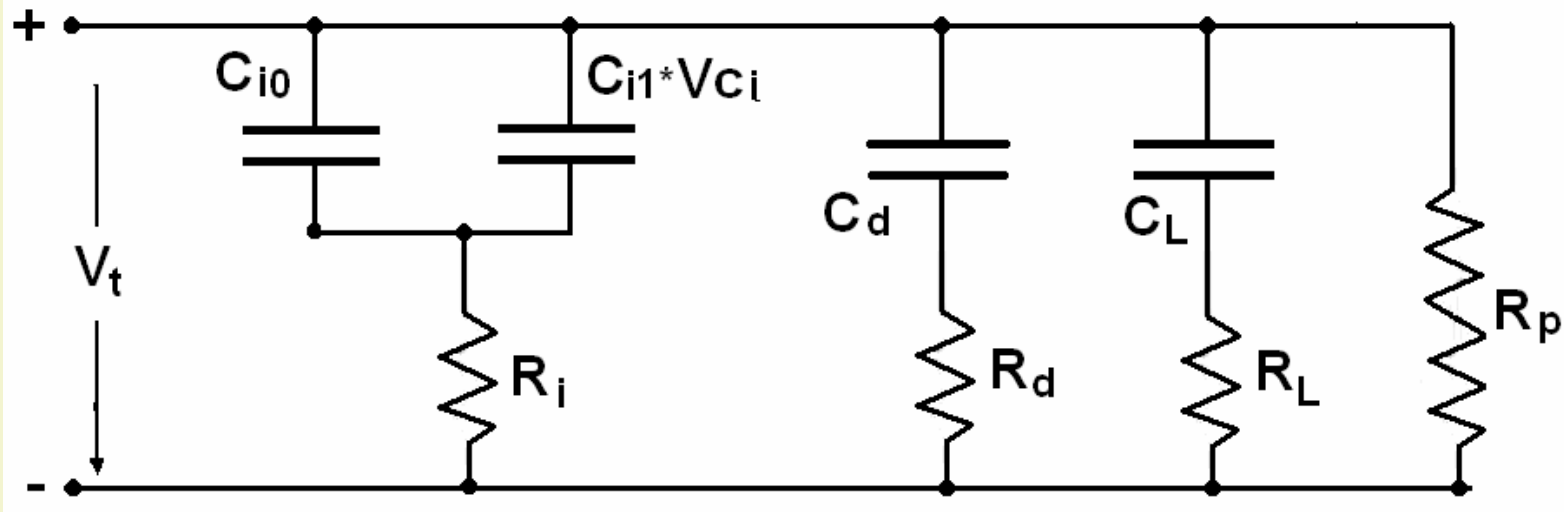
- Constanta de timp formată din capacitatea și EPR este de obicei destul de mare, deci factorul EPR poate fi ignorat în cazul descărcărilor rapide de ordinul a câteva minute
- Pentru a determina factorul ESR, factorul EPR nu este luat în considerare și în concluzie circuitul echivalent va conține doar o capacitate conectată cu ESR. ESR poate fi determinată din gradientii de tensiune și curent, ΔV ΔI ce apar în timpul încărcării

$$ESR = \Delta V / \Delta I$$

Modelul cu 3 derivații

- Cu toate că modelul clasic prevede o primă aproximație a funcționării condensatorului dublu strat, cercetătorul Zubieta a observat că este insuficient atunci când se compară cu comportarea observată experimental. De aceea, el a propus un model constând din 3 derivații RC





$$C_{i0} = I_{ch} \frac{t_2 - t_1}{\Delta V}$$

$$C_{il} = \frac{2}{V_4} \left(\frac{I_{ch}(t_4 - t_1)}{V_4} - C_{i0} \right)$$

$$R_d = \frac{\left(V_4 - \frac{\Delta V_2}{2} \right) (t_5 - t_4)}{\left(C_{i0} + C_{il} \left(V_4 - \frac{\Delta V_2}{2} \right) \right) \Delta V_2}$$

$$Q_{tot} = I_{ch} (t_4 - t_1)$$

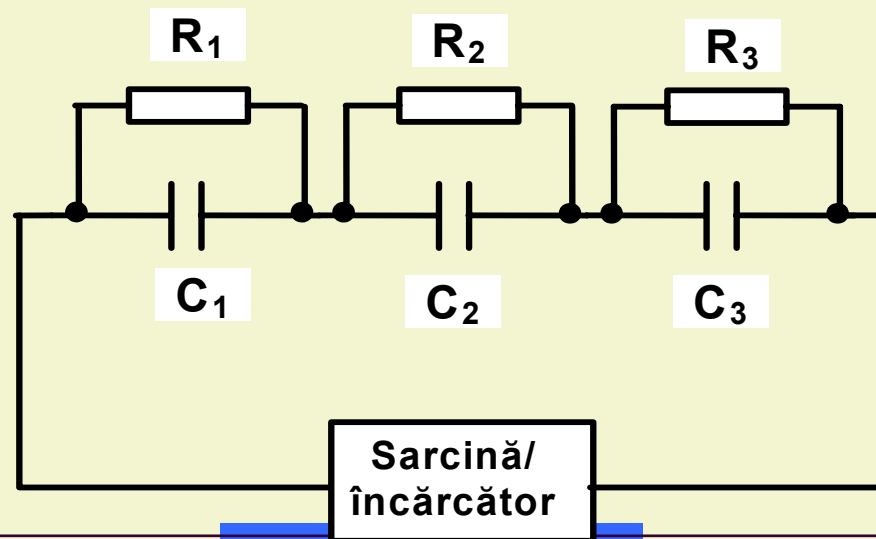
$$C_d = \frac{Q_{tot}}{V_6} - \left(C_{i0} + C_{il} \frac{V_6}{2} \right)$$

$$C_l = \frac{Q_{tot}}{V_8} - \left(C_{i0} + C_{il} \frac{V_8}{2} \right) - C_d$$

$$R_l = \frac{\left(V_6 - \frac{\Delta V_3}{2} \right) (t_7 - t_6)}{\left(C_{i0} + C_{il} \left(V_6 - \frac{\Delta V_3}{2} \right) \right) \Delta V_3}$$

Precauții în utilizarea EDLC

- Deoarece condensatoarele cu dublu strat au tensiuni nominale foarte reduse, (2,5-2,7V) pentru o utilizare mai comodă la tensiunile uzuale din aplicații industriale sau de larg consum (5V, 12V, 24V, etc.) este necesară conectarea acestora în serie. Conectarea în serie are și unele dezavantaje cum ar fi reducerea capacității totale, de exemplu pentru 5 condensatoare cu capacitatea de 10F conectate în serie capacitatea echivalentă este $C/5=2F$. Un alt parametru care este afectat de conectarea serie este rezistența echivalentă serie ESR, care este evident că se obține prin însumarea rezistențelor serie ale condensatoarelor individuale. De asemenea, aici funcționează principiul „verigii slabe”, un condensator defect sau cu o rezistență serie crescută afectează tot lanțul de condensatoare



ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU

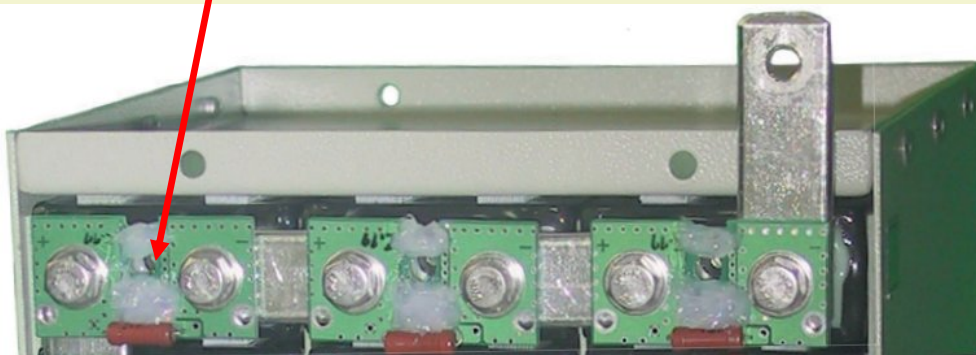
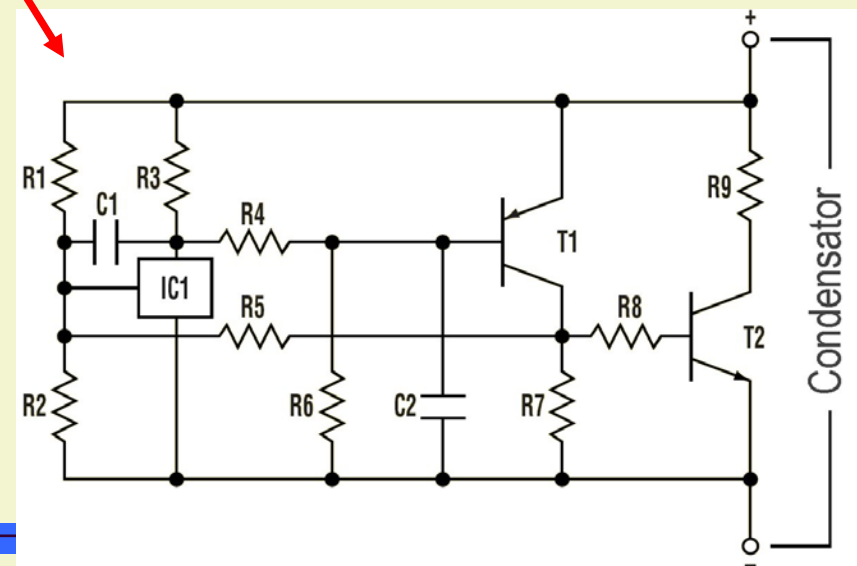
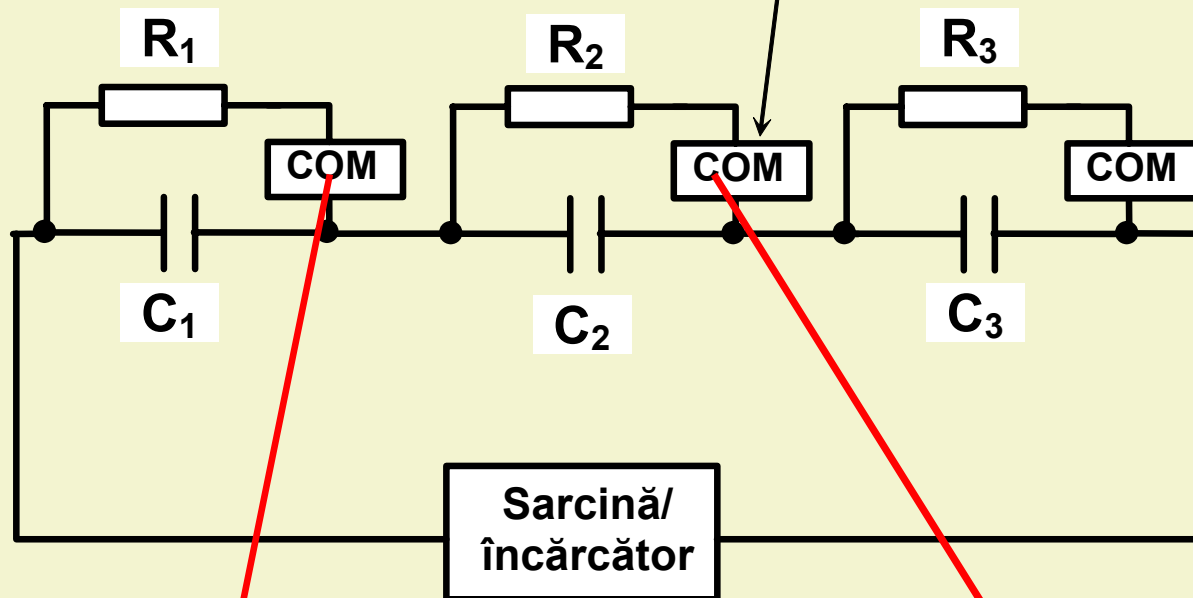


FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

COM=comutator electronic



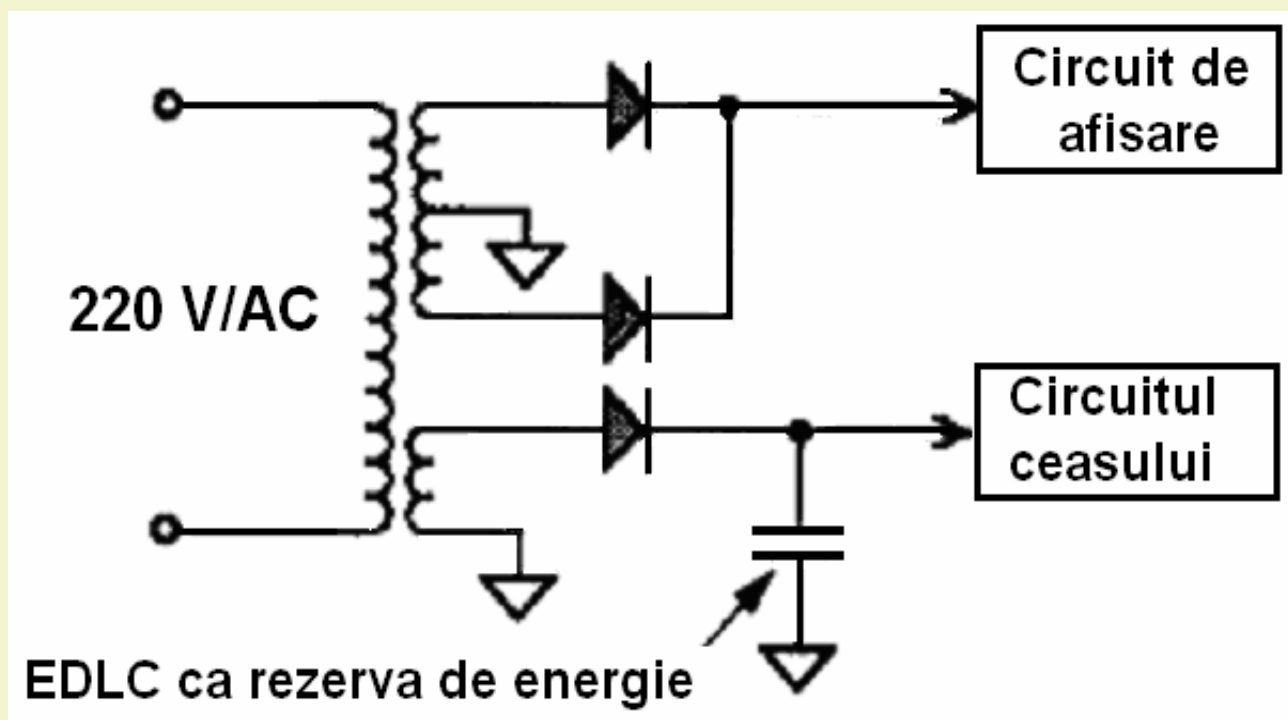
Iturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin

Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

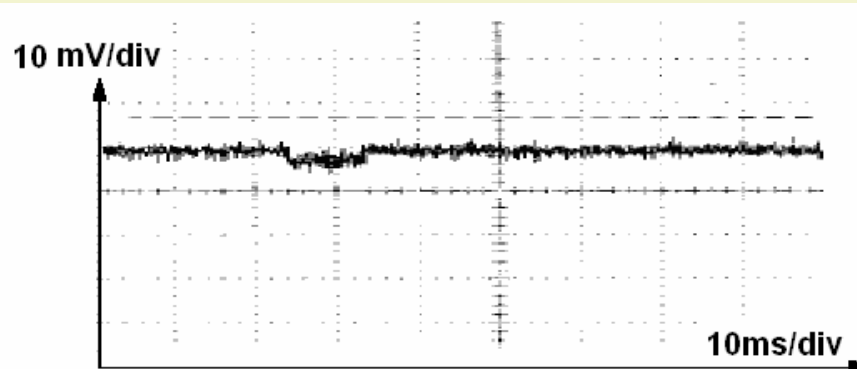
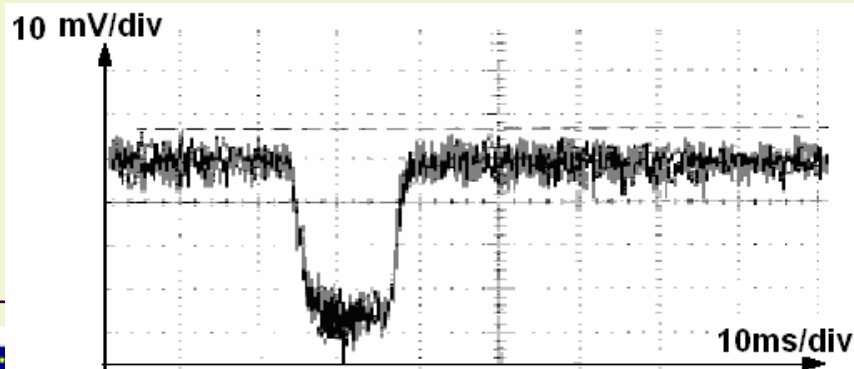
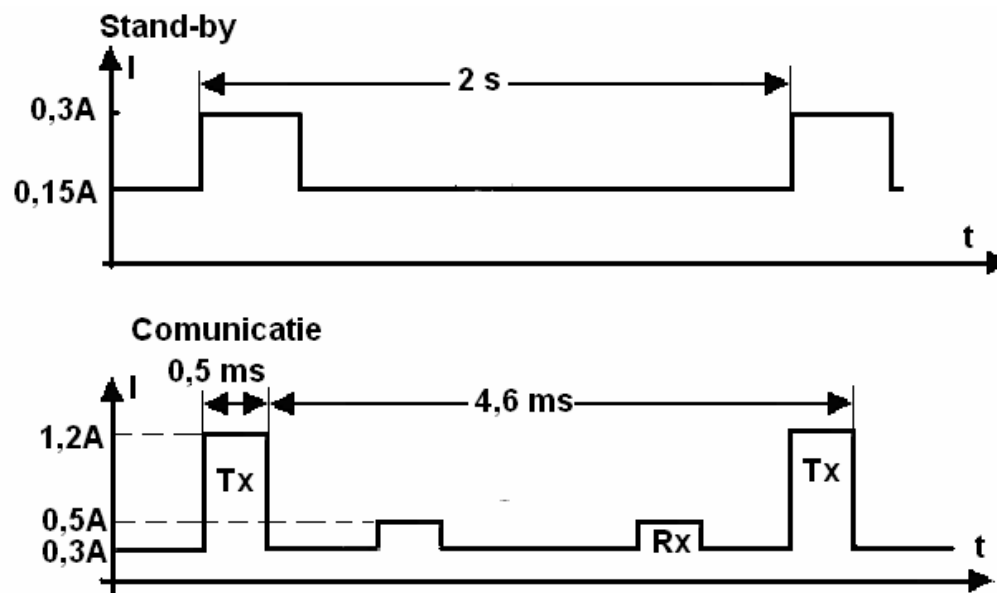
Aplicatii specifice

- Surse de rezervă pentru alimentarea memoriilor

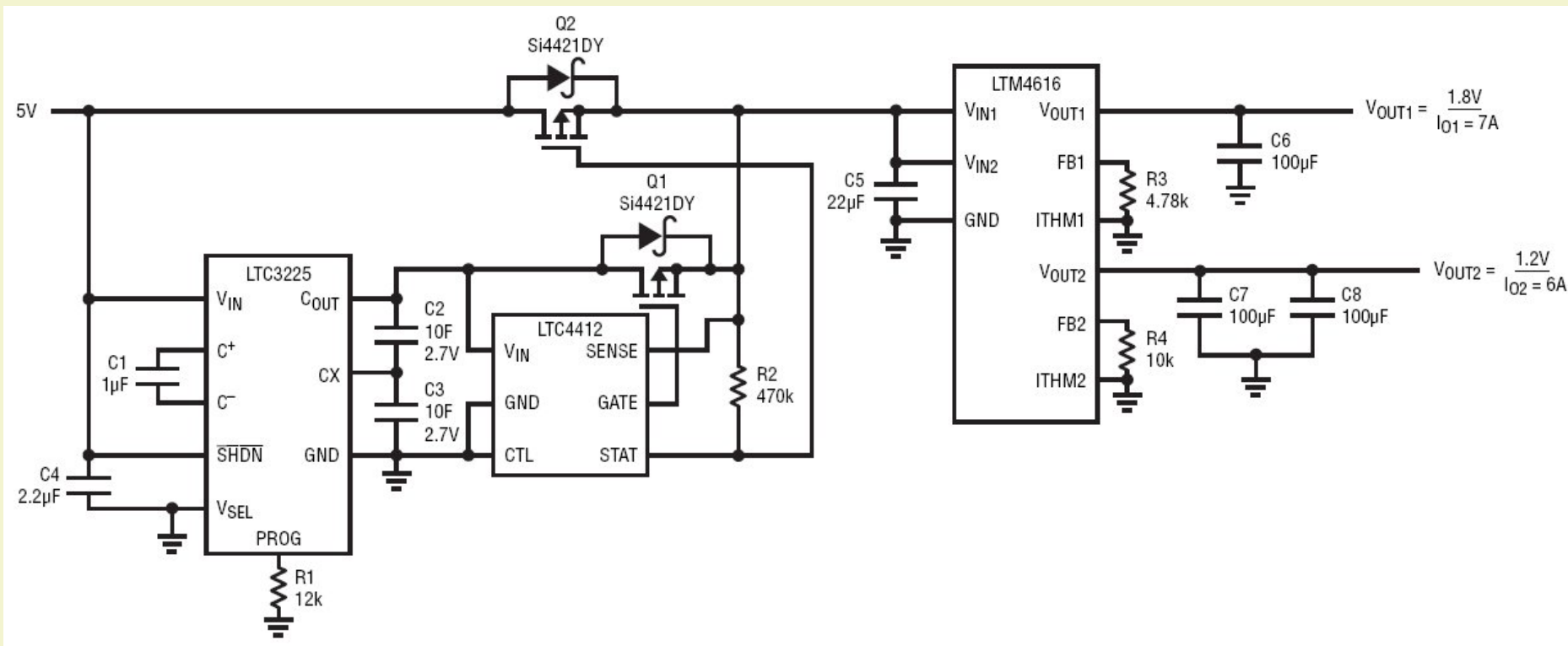


Îmbunătățirea sistemelor de alimentare cu baterii

Într-o astfel de sursă supercondensatorul preia toate vârfurile de putere, permițând bateriei să funcționeze în parametri normali. Reducerea timpilor de descărcare/încărcare forțată a unei baterii va prelungi viața acesteia și îi va asigura parametri constructivi de funcționare un timp îndelungat



Sursă ne-întreruptibilă cu stocare a energiei pe termen scurt realizată cu supercondensatoare (C2 și C3)

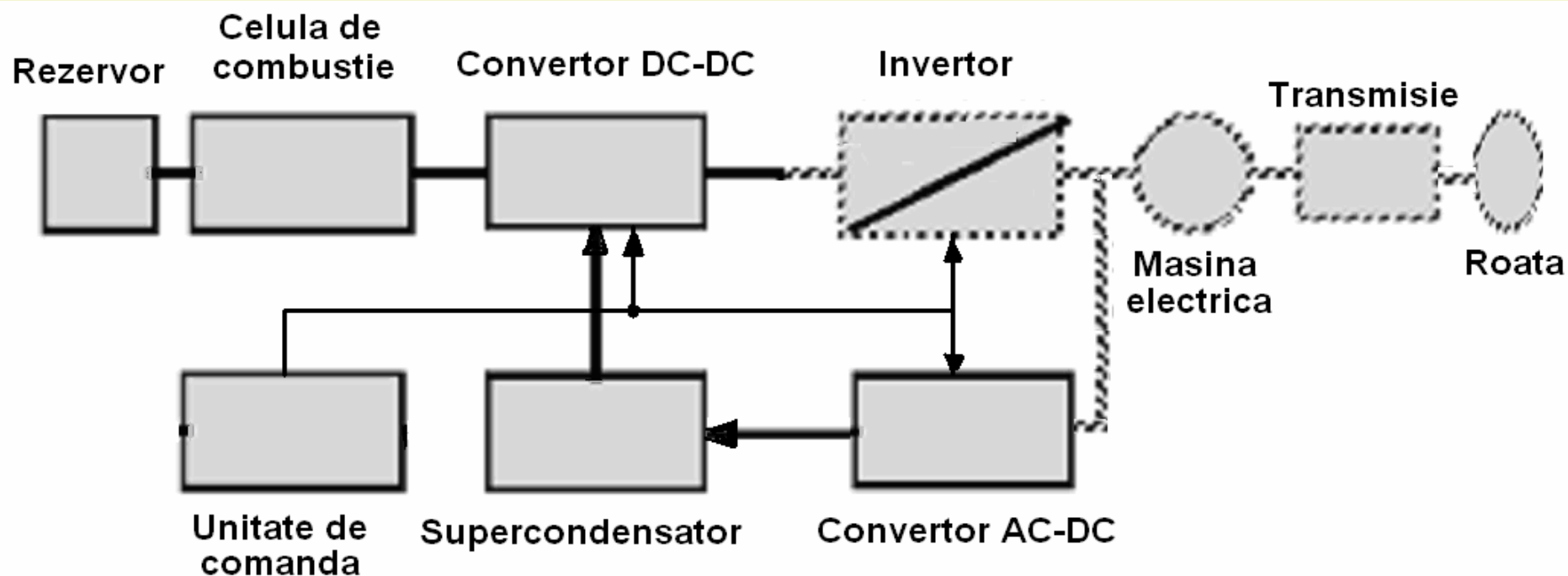


ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Vehicule electrice



Tren de rulare electric ce utilizează o celulă de combustie și un supercondensator

Componente pasive moderne Inductoare



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

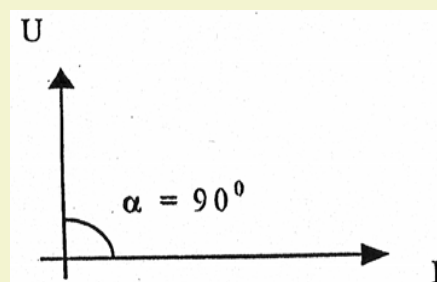
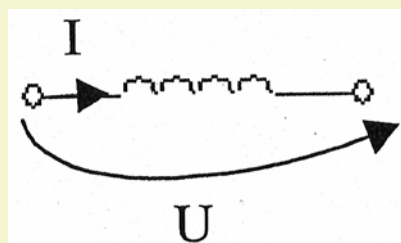
Definiții

Un inductor este mai dificil de caracterizat decât alte componente (rezistor, condensator) datorită faptului că este influențat de mulți factori.

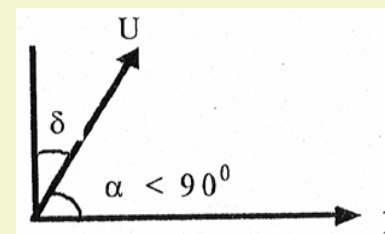
Este componenta ce imaginează energie magnetică

Inductorul este componenta care în regim armonic (curent, tensiune sinusoidale) realizează la borne un defazaj, α , al tensiunii de aproape 90° față de curent.

În cazul ideal defazajul este de $\alpha = 90^\circ$, dar practic este $\alpha < 90^\circ$



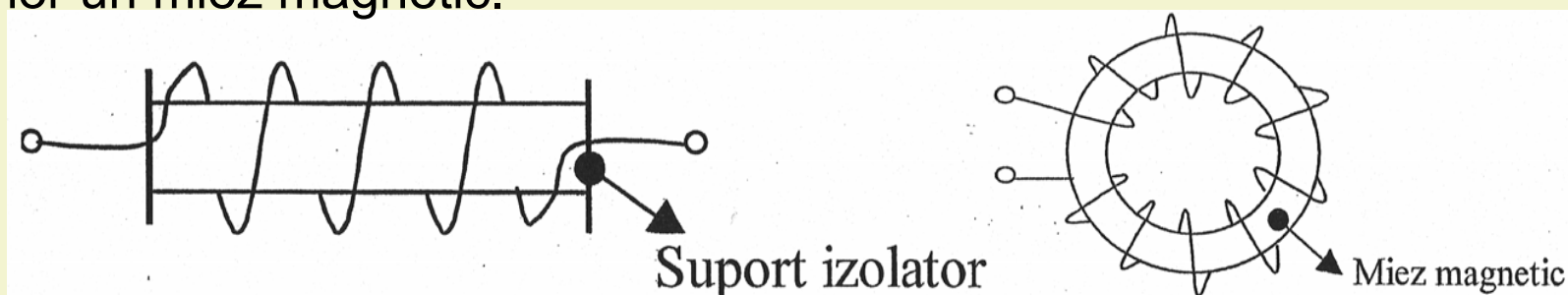
ideal



real

Defazajul tensiunii față de curent devine mai mic decât 90° deoarece elementele constructive (conductor, izolație, carcasă, miez magnetic) nu sunt ideale și introduc pierderi de putere activă, deci micșorează defazajul ideal de 90° . Este de menționat că acest defazaj se schimbă odată cu modificarea frecvenței semnalului electric aplicat la borne datorită modificărilor proprietăților electromagnetice ale materialelor constructive.

Inductoarele avute în vedere în continuare sunt realizate dintr-un conductor înfășurat (sau nu) pe un suport izolator având (sau nu) în interior un miez magnetic.



Calitatea unui inductor, adică parametrii stabili și apropierea de funcționarea ideală, depinde puternic de materialele utilizate și de forma constructivă. Trecerea în revistă a principalilor parametri face o mai bună înțelegere a utilizării și realizării tehnologice a unui inductor.

• **inductanța L** reprezintă în regim static factorul de proporționalitate între curentul și fluxul realizat de acesta

$$\Phi = L \cdot I \quad (4.1)$$

unde

$$\Phi = \int_S B \cdot dS \quad B \sim \int_{\Gamma} i \cdot dl$$

iar în regim dinamic factorul de proporționalitate între tensiunea la borne și viteza de variație curentului

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (4.2)$$

Relația (4.2) se mai poate scrie și sub formă de integrală

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u \cdot dt \quad (4.3)$$

Observație:

- Măsurarea inductanței se face cu diverse aparate (punte, Q-metru, impedanțmetru) la o anumită frecvență. Schimbând frecvența de măsură se poate constata modificarea valorii măsurate a inductanței, lucru datorat formei constructive a inductorului ce determină apariția unei reactanțe capacitive (are semn contrar reactanței inductive) ce conduce la o altă reactanță totală, efectivă.
- De aceea pentru unele inductoare inductanța se numește inductanță aparentă (și se notează L_p), deoarece are altă valoare la schimbarea frecvenței.
- De obicei inductoarele sunt utilizate în banda de frecvență în care inductanța se modifică acceptabil și nu se mai face notația de inductanță aparentă, ci simplu inductanța L .



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

•**factorul de calitate Q;**

factorul de pierderi .

Factorul de calitate al unui inductor reprezintă raportul dintre puterea reactivă și puterea activă de la bornele inductorului

$$Q = \frac{P_r}{P_a} \quad (4.4)$$

unde: P_r este puterea reactivă, P_a este puterea activă

Din diagrama fazorială (fig. 4.3), scriind cele două puteri în funcție de elemente fazoriale (U , I , δ , φ) rezultă

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} \quad (4.5)$$

Deviația δ a defazajului φ , de la cazul ideal poartă numele **de unghi de pierderi**, iar $\operatorname{tg} \delta$ este cunoscut sub numele de **factor de pierderi**, factor de disipație sau **tangenta unghiului de pierderi**.

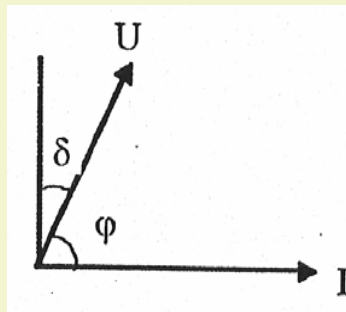


Fig. 4.3

• **coeficientul de temperatură al inductanței α_L** reprezintă variația relativă a inductanței la creșterea temperaturii cu un grad (4.6):

$$\alpha_L = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} \quad (4.6)$$

Pentru majoritatea inductoarelor coeficientul de temperatură este pozitiv, datorită dilatării firului metalic conductor al înfășurării. Utilizarea miezului magnetic poate modifica sensul variației inductanței, datorită coeficientului de variație cu temperatura a permitivității ($\alpha_{\mu r}$)



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

- **capacitatea parazită** reprezintă capacitatea echivalentă a combinației de capacități ce apar între fiecare două spire. Această capacitate depinde puternic de materialul izolator al conductotului și de forma inductorului. Cum materialul izolator este deja prezent pe conductor, la inductoarele cu număr mare de spire singurul mod de micșorare a capacității parazite este alegerea unei forme adecvate de bobinaj.
- alți parametri - sunt definiți la parametrii generali ai componentelor pasive și pot fi precizați de producător în măsura în care se consideră că pot fi necesari unor aplicații. Printre aceștia se pot aminti: tensiunea nominală (U_n), curentul nominal (I_n), puterea de disipație maximă ($P_{d\ max}$).



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

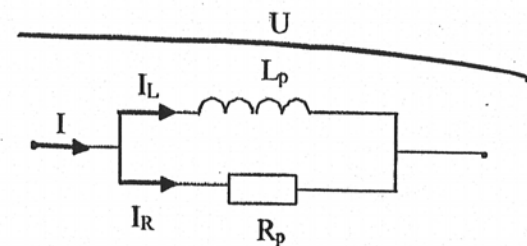
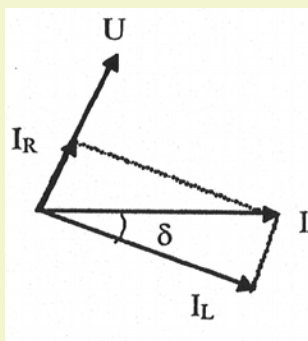
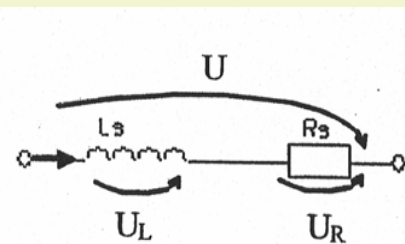
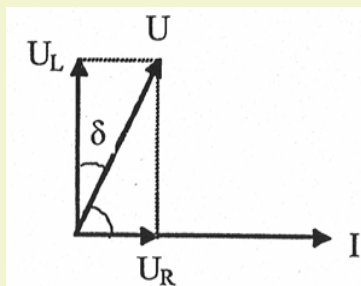
ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Schema echivalentă simplificată a inductorului

Din diagrama fazorială ce se poate face pentru un inductor, prin descompunerea tensiunii pe direcția curentului și perpendiculara pe aceasta rezultă o schemă echivalentă serie formată dintr-o inductanță și un rezistor (L_s , R_s). Dacă se descompune curentul pe direcția paralelă, respectiv perpendiculară a tensiunii, rezultă o schemă echivalentă paralelă



ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

De aici rezultă:

$$\operatorname{tg} \delta_L = \frac{1}{Q_L} = \frac{R_s}{\omega L_s} \quad (4.7)$$

Calculând factorul de disipație, rezultă:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega L_p}{R_p} \quad (4.8)$$

Observăm că în cele două scheme echivalente, serie respectiv paralel, componentele active R și reactive (L) diferă, conform relațiilor:

$$\frac{R_s}{R_p} = \frac{1}{1 + Q^2} \quad \frac{L_s}{L_p} = \frac{Q^2}{1 + Q^2} \quad (4.9)$$



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Cum pentru majoritatea inductanțelor $Q > 10$, la acestea se pot face aproximările

$$R_p \cong R_s Q^2, \text{ se notează } R_s = r; R_p = R$$

$$R_s \cong R_p \operatorname{tg}^2 \delta \quad (4.10)$$

$$L_s \cong L_p, \text{ se notează } L$$

rezultând schemele din fig. 4.5

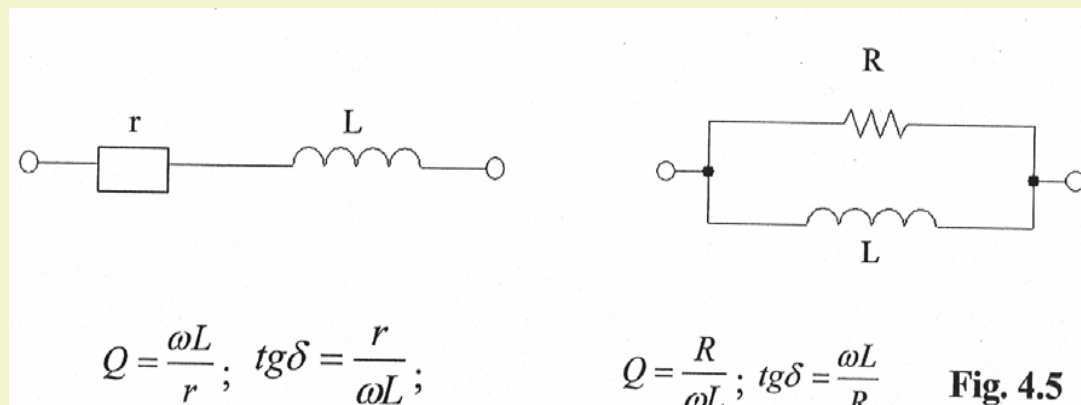


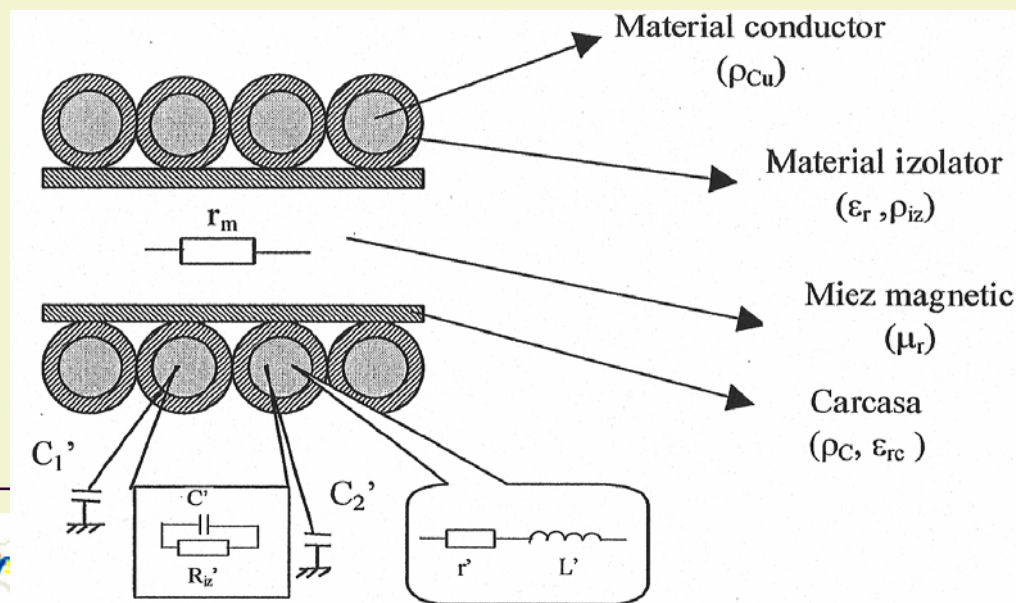
Fig. 4.5

Utilizarea uneia din cele două scheme echivalente rămâne la aprecierea celui ce analizează schema electrică, alegându-se cea care conduce la o simplificare a schemei generale.

Comportarea în frecvență a inductorului

Considerând o porțiune dintr-un inductor (fig. 4.6), se observă că proprietățile electromagnetice ale materialelor, așezarea lor geometrică creează și alte elemente de circuit în afara inductanței.

Din analiza figurii se observă că între două spire, datorită existenței materialului izolator, apare o capacitate C' (materialul izolator are rezistivitatea ρ_{iz}). Materialul conductor, datorită rezistivității (ρ_{Cu} , a fost notat cu indicele Cu, deoarece majoritatea inductoarelor sunt realizate din conductor de cupru) introduce pentru o spiră o rezistență r'_{Cu} și o inductanță L' .

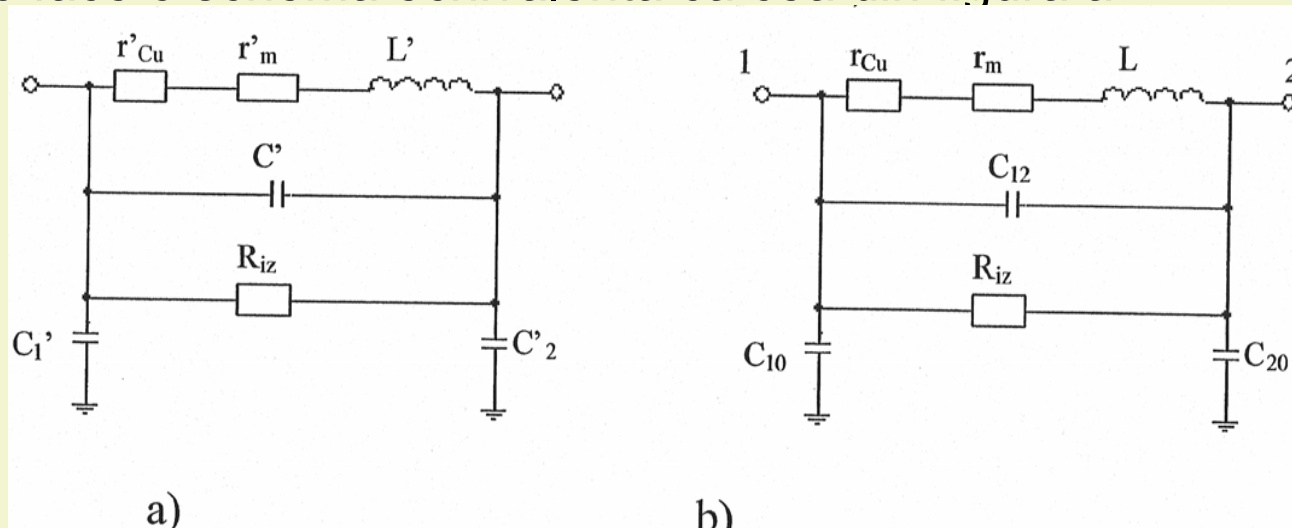


, Inițiativă în Industria Electronică

opean prin

Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

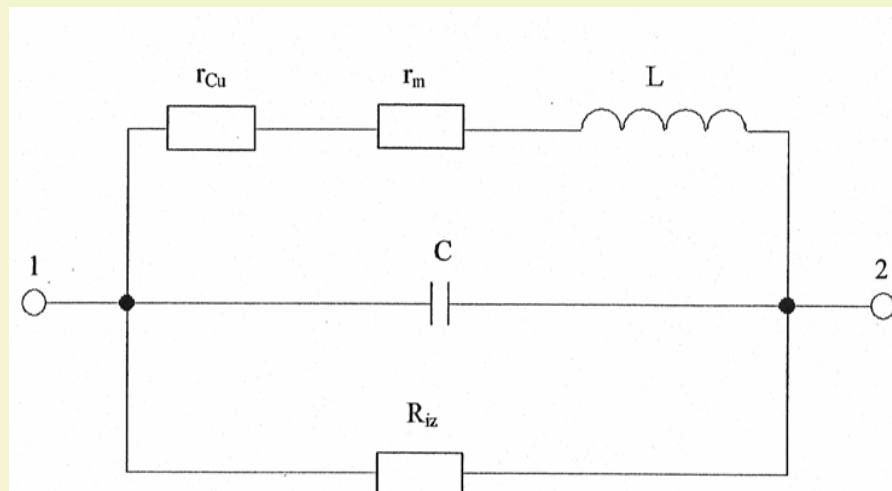
Materialul magnetic pe lângă mărirea inductanței unei spire datorită pierderilor de putere activă determină și o rezistență de pierderi notată r'_m . Capacitățile C'_{10} și C'_{20} reprezintă capacitățile față de masă ale spirei, iar pentru simetrie au fost plasate la capetele spirei. Atunci pentru o spiră se poate face o schemă echivalentă ca cea din figura a.



Întreaga schemă a inductorului este formată din conectarea în tandem a acestor scheme, rezultând o schemă destul de complicată. Practic se poate constata că o schemă simplificată (figura b), de formă identică celei pentru o spiră dar cu valori diferite, poate aproxima bine comportarea reală în frecvență a inductorului.

Considerând capacitatea echivalentă a celor trei capacități din schemă rezultă schema finală a cărei admitanță este:

$$\underline{Y}_{12} = \frac{1}{r_{Cu} + r_m + j\omega L} + j\omega C + \frac{1}{R_{iz}} \quad (4.11)$$



Se fac notațiile:

$$tg\delta_{Cu} = \frac{r_{Cu}}{\omega L} \quad \text{factorul de pierderi datorită conductorului}$$

$$tg\delta_m = \frac{r_m}{\omega L} \quad \text{factorul de pierderi datorită miezului magnetic}$$

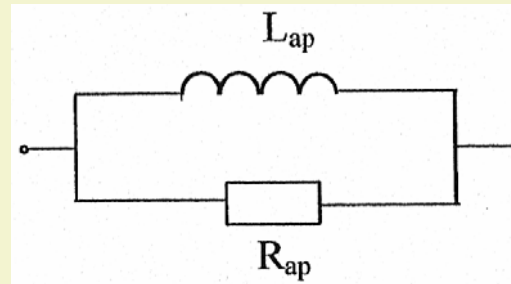
$$L_e = L \left[1 + (tg\delta_m + tg\delta_{Cu})^2 \right] \quad (4.12)$$

$$tg\delta_{iz} = \frac{\omega L_e}{R_{iz}} \quad \text{factorul de pierderi datorită materialului izolator}$$

Cu aceste notații rezultă:

$$Y_{12} = \frac{tg\delta_{Cu} + tg\delta_m + tg\delta_{iz}}{\omega L_e} + \frac{1}{j \frac{\omega L_e}{1 - \omega^2 CL_e} - R_{ap} - j\omega L_{ap}} = \frac{1}{R_{ap}} + \frac{1}{j\omega L_{ap}} \quad (4.13)$$

Din expresia admitanței (4.13) rezultă că schema echivalentă se reduce la schema paralel:



cu elementele:

$$R_{ap} = \frac{\omega L_e}{\operatorname{tg} \delta_{Cu} + \operatorname{tg} \delta_m + \operatorname{tg} \delta_{iz}} \quad (4.14)$$

$$L_{ap} = \frac{L_e}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_r} \right)^2} \quad \text{unde} \quad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{CL_e}}$$

Characteristics and ordering codes

L_R μH	Tolerance	f_L MHz	Q_{min}	f_Q MHz	I_R mA	R_{max} Ω	$f_{res, min}$ MHz	Ordering code ¹⁾²⁾ ($\varnothing$ 180-mm reel)
Core material: ferrite								
1.0	$\pm 5\% \triangleq J$	1	20	7.96	380	0.34	320	B82422A1102+100
1.2	$\pm 10\% \triangleq K$	1	20	7.96	370	0.37	300	B82422A1122+100
1.5		1	20	7.96	340	0.50	270	B82422A1152+100
1.8		1	25	7.96	290	0.60	250	B82422A1182+100
2.2		1	25	7.96	270	0.75	125	B82422A1222+100
2.7		1	25	7.96	240	0.88	110	B82422A1272+100
3.3		1	27	7.96	200	1.20	110	B82422A1332+100
3.9		1	27	7.96	190	1.40	110	B82422A1392+100
4.7		1	27	7.96	150	2.20	110	B82422A1472+100
5.6		1	27	7.96	140	2.60	100	B82422A1562+100
6.8		1	27	7.96	135	2.80	90	B82422A1682+100
8.2		1	27	7.96	130	3.00	90	B82422A1822+100
10		1	27	2.52	180	1.60	25	B82422A1103+100



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

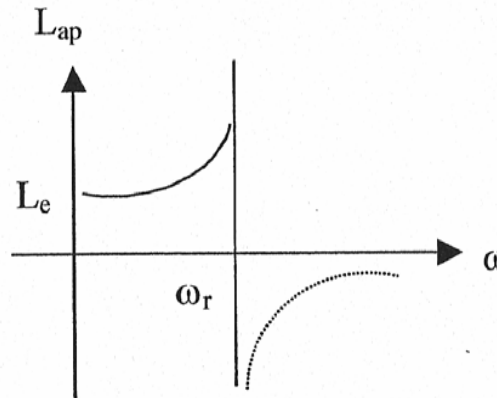


INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Este de observat că inductanța aparentă este dependentă de frecvență, iar din reprezentarea grafică se remarcă faptul că inductorul are efect inductiv în banda de frecvență $(0, \omega_r)$, peste frecvența de rezonanță, ω_r , inductorul comportându-se ca un condensator.



Deci utilizarea unui inductor trebuie făcută la frecvențe mult mai mici decât ω_r pentru ca variația inductanței să fie în limitele acceptabile aplicației respective. Pentru aceste frecvențe:

$$L_{ap} \cong L_e \quad \text{pentru} \quad \omega \ll \omega_r$$

$$Q_{bobina} = \frac{R_{ap}}{\omega L_{ap}} \cong \frac{1}{tg \delta_{Cu} + tg \delta_m + tg \delta_{iz}} \quad (4.15)$$



UNIUNEA EUROPEANĂ

MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSBDRU

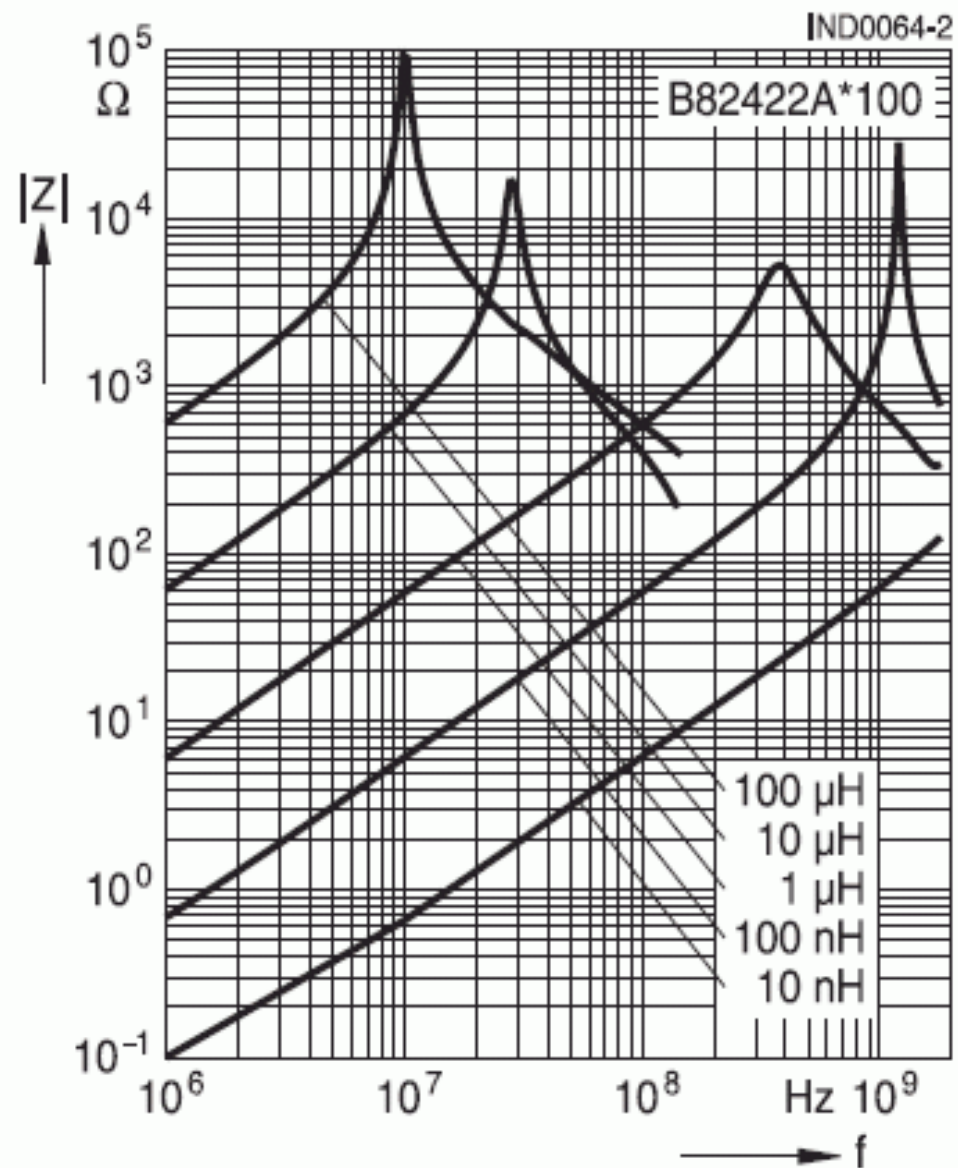
FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

orale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

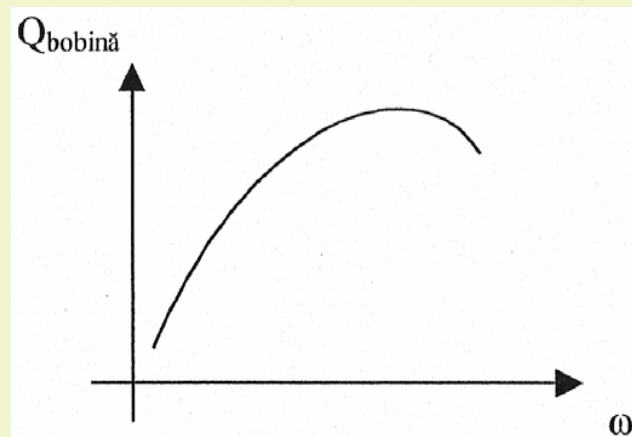
Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Impedance $|Z|$ versus frequency f measured with impedance analyzer Agilent 4291A, typical values at 20 °C

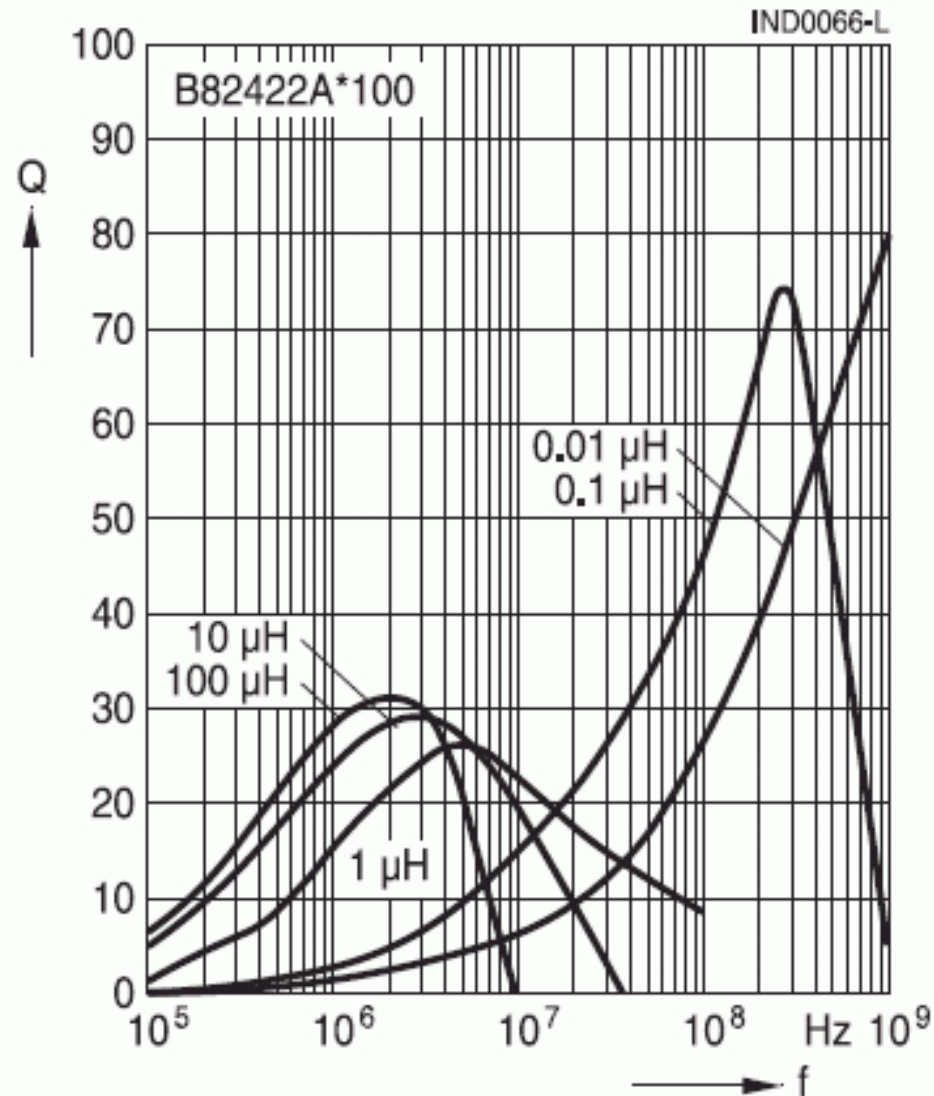


Variația factorului de calitate cu frecvența depinde de materialul miezului magnetic, materialul izolator și materialul conductor.

Forma graficului dependenței factorului de calitate cu frecvența pentru majoritatea inductoarelor este dată în figura alăturată.



Q factor versus frequency f measured with impedance analyzer Agilent 4194A/4291A, typical values at 20 °C



nism, Inițiativă în Industria Electronică
!
European prin

Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

4. Solicitarea electrică a inductorului

Valorile maxime pe care le pot lua tensiunea, curentul, puterea activă la bornele unui inductor sunt determinate de valorile maxime admisibile ale acestora (U_n , I_n , P_d max). Orice mărime electrică aplicată la borne (U , I sau P_d) . nu trebuie să determine depășirea uneia din valorile maxime admisibile.

Depășirea curentului maxim determină apariția de forțe între spirele inductorului, apar vibrații datorită curentului alternativ în materialul izolator care se uzează repede conducând la străpungerea inductorului. De asemenea, valoarea mare a curentului determină disipație de putere mare în zonele de contactare (unde rezistența de contact este mai mare), deci distrugerea acesteia.

Depășirea tensiunii maxime poate determina străpungerea electrică a izolației conductorului deci distrugerea inductorului.

Depășirea puterii disipate determină încălzirea inductorului, creșterea temperaturii conducând la scăderea rezistenței de izolație, la mărirea pierderilor de putere activă, deci o încălzire suplimentară ce determină în final distrugerea inductorului. Această încălzire urmărește o creștere de tip avalanșă.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Deoarece impedanța unui inductor depinde de frecvență

$$(|Z| = \omega L \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \approx \omega L \quad \text{dacă } \operatorname{tg} \delta < 0,1 \text{ schemă echivalentă serie})$$

este de așteptat ca valorile maxime să depindă de frecvență.

Având în vedere că limitele maxime admisibile sunt trei, domeniul de frecvență va rezulta împărțit în trei subdomenii:

$(0 \dots \omega_1; \omega_1 \dots \omega_2; \omega_2 \dots \infty)$,
în care vom analiza atingerea acestor valori maxime.

$$1) \quad \omega \in (0, \omega_1)$$

Deoarece frecvența este mică și valoarea impedanței va fi mică ($Z = \omega L$), din relația:

$$U = Z \cdot I \cong \omega L I \quad (4.16)$$

rezultă că valoarea maximă o va atinge curentul, tensiunea rămânând

încă mică, deci $I_{\max} = I_n$, iar
$$U_{\max} \cong \omega L I_n$$



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

$$2) \omega \in (\omega_2, \infty)$$

În acest domeniu de frecvență ($Z \approx \omega L$) impedanța are o valoare foarte mare, deci relația între curent și tensiune

($U = ZI \approx \omega LI$) arată că valoarea maximă admisibilă se va atinge pentru tensiune; adică în acest domeniu:

$$U_{\max} = U_n$$

$$I_{\max} \approx \frac{U_n}{\omega L} \quad (4.17)$$

$$3) \omega \in (\omega_1, \omega_2)$$

În acest domeniu intermediar, la trecerea de la limitarea dată de I_n la limitarea dată de U_n este posibil să apară o limitare dată de puterea disipată maximă (denumirea disipată se referă la putere activă).



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Puterea activă la bornele unui inductor se poate scrie utilizând schema echivalentă serie sau paralel:

$$P_d = rI^2 = \omega L \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot I^2 \quad (4.18)$$

$$P_d = \frac{U^2}{R} = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega L} U^2$$

Din aceste relații se determină valorile maxime ale curentului și tensiunii când puterea disipată este la valoarea maximă admisibilă

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{d \max}}{\omega L \cdot \operatorname{tg} \delta}} \quad (4.19)$$

$$U_{\max} = \sqrt{\frac{\omega L}{\operatorname{tg} \delta} P_{d \max}} \quad (4.20)$$



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Frecvențele ω_1 și ω_2 ce delimitează cele trei domenii sunt determinate de condițiile la limită în aceste frecvențe, adică la frecvența ω_1 sunt atinse simultan valorile maxime limită I_n și $P_{d \max}$, iar la frecvența ω_2 valorile maxime limită $P_{d \max}$ și U_n .

Rezultă:

$$\omega_1 = \frac{P_{d \max}}{I_n^2 L \cdot \operatorname{tg} \delta} \quad (4.21)$$

$$\omega_2 = \frac{U_n^2 \operatorname{tg} \delta}{L \cdot P_{d \max}} \quad (4.22)$$

Observație: Calculând ω_1 și ω_2 din valorile limită admisibile U_n , I_n , $P_{d \max}$, există posibilitatea ca $\omega_1 > \omega_2$ ceea ce este contrar ipotezei ($\omega_1 < \omega_2$).

În acest caz înseamnă că nu există o limitare a funcționării prin atingerea puterii disipate maxime, adică componenta suportă o putere disipată suficientă să treacă direct de la limitarea prin I_n la limitarea prin U_n .



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

În acest caz există doar două domenii de frecvență ($0 \dots \omega_3$) și ($\omega_3 \dots \infty$), rezultând:

-pentru $\omega \in (0, \omega_3)$

$$I_{\max} = I_n$$

$$U_{\max} \approx I_n \cdot \omega L$$

(4.23)

- pentru $\omega \in (\omega_3, \infty)$

$$U_{\max} = U_n$$

$$I_{\max} \approx \frac{U_n}{\omega L}$$

(4.24)

$$\omega_3 = \frac{U_n}{I_n L}$$

(4.25)



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

La scară logaritmică reprezentarea grafică a solicitării maxime a unui inductor este prezentată în fig. 4.12, iar conform observației în fig. 4.13.

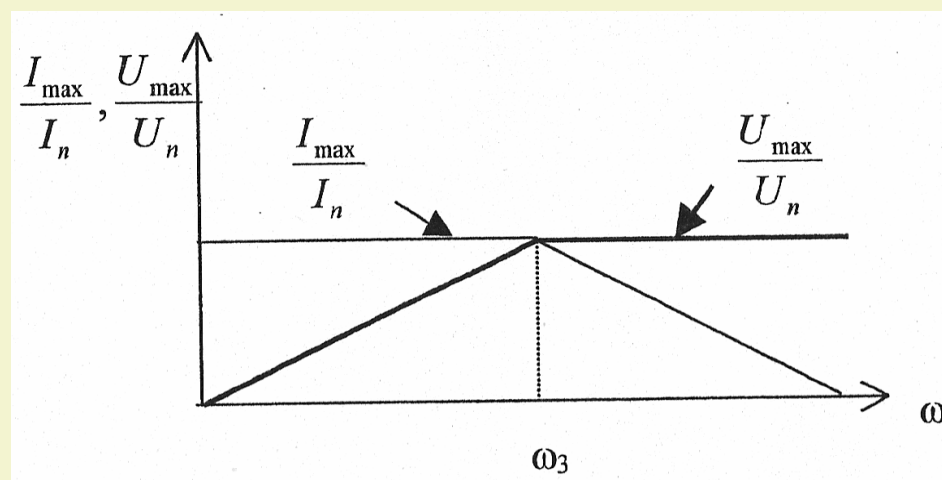
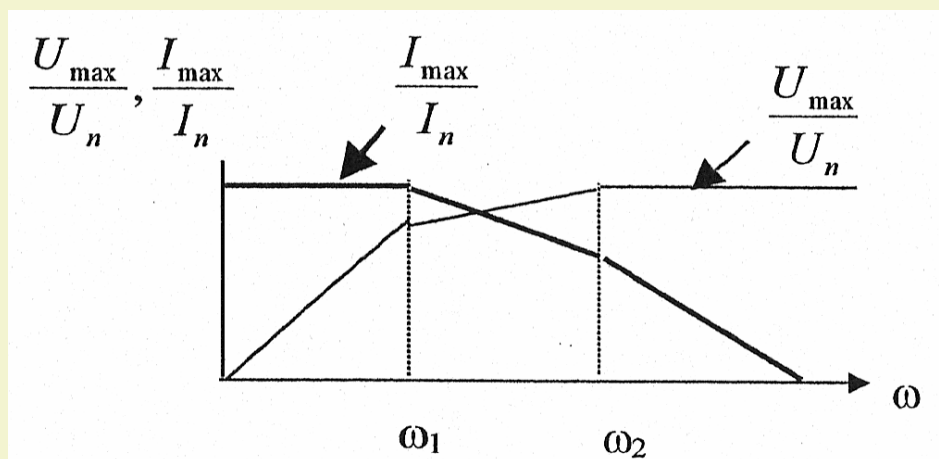


Fig. 4.13
 Promovarea culturii antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
 Investește în oameni !
 Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
 Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

Existența sau inexistența limitării în putere se pune în evidență și printr-o altă reprezentare grafică (fig. 4.14 a, respectiv 4.14 b) în planul $U(I)$.

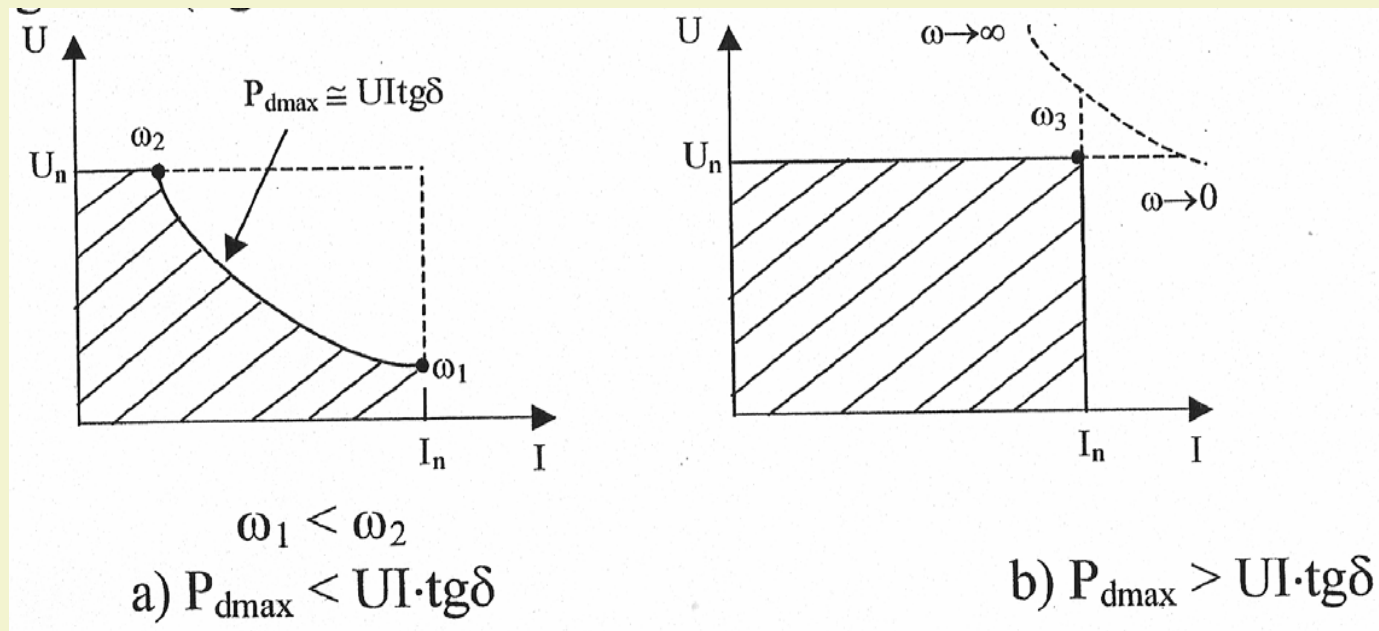


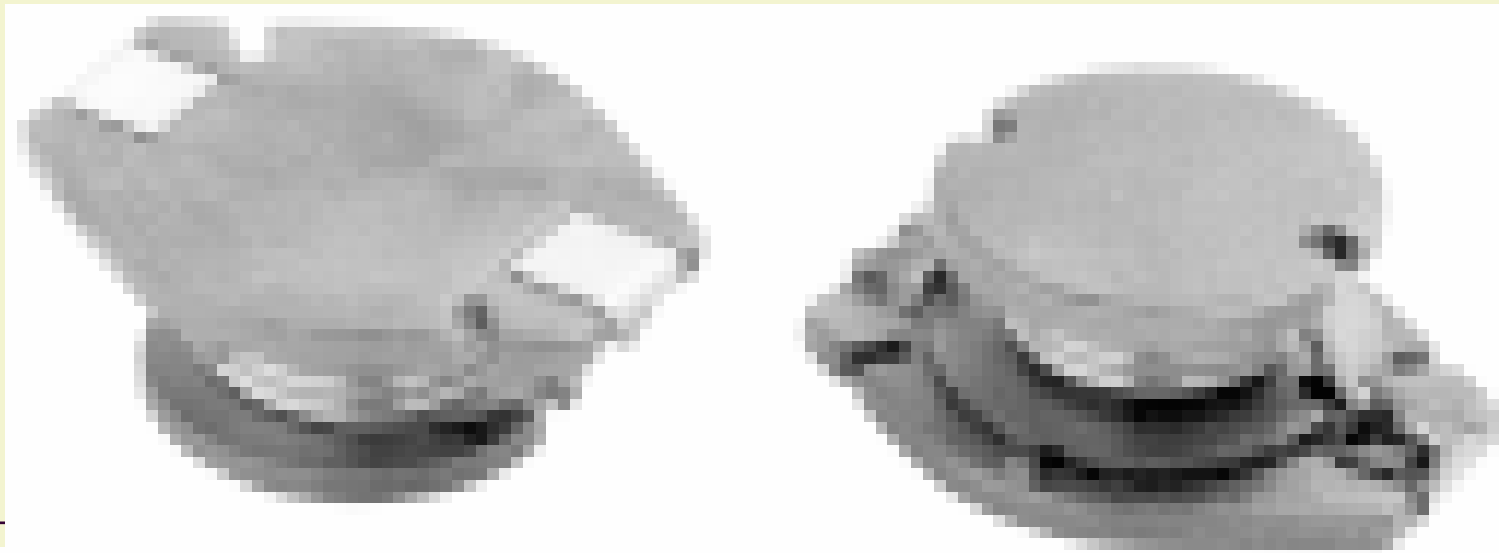
Fig. 4.14

5. Clasificarea inductoarelor

5.1 Clasificare după structura constructivă

1. Inductoare chip și dispozitive magnetice montate pe suprafață

Sunt utilizate în general în aplicații în care densitatea ridicată de echipare și costul de asamblare scăzut sunt principalele limitări. Inductoarele montate pe suprafață oferă de asemenea performanțe superioare în aplicații în care sunt necesare lucrul la înaltă frecvență, răspunsul bun în frecvență, fiabilitate, imunitate la interferențe electromagnetice și vibrații.

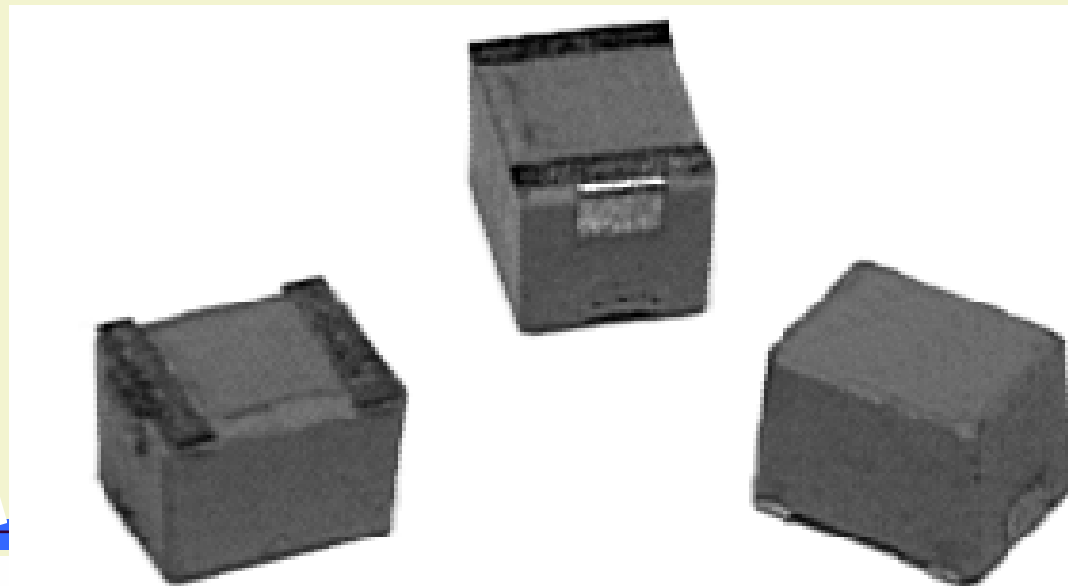




Utilizarea lor permite trasee mai scurte în asamblări montate pe suprafață. Prezintă elemente parazite mai reduse și pierderi rezistive mai scăzute. Circuitele realizate cu aceste componente vor lucra mai rapid, cu parametri de timing mai buni și zgomot mai redus (caracteristica este comună tuturor dispozitivelor SMD). În plus, cablajele și traseele de dimensiuni reduse determinate de utilizarea componentelor SMD permit reducerea emisiilor electromagnetice și a diafoniilor.

2. Inductoare acoperite prin turnare

Au terminale axiale, dimensiuni reduse, sunt proiectate pentru utilizare pe plăcile PC. Sunt disponibile și versiuni ecranate. Disponibile atât în gama comercială cât și militară. Sunt utilizate în aplicații în care miezul trebuie protejat de condițiile de mediu și în aplicații de înaltă fiabilitate, în special în cazul în care conductorul de bobinaj este foarte subțire. Gama de frecvență depășește în general 50KHz



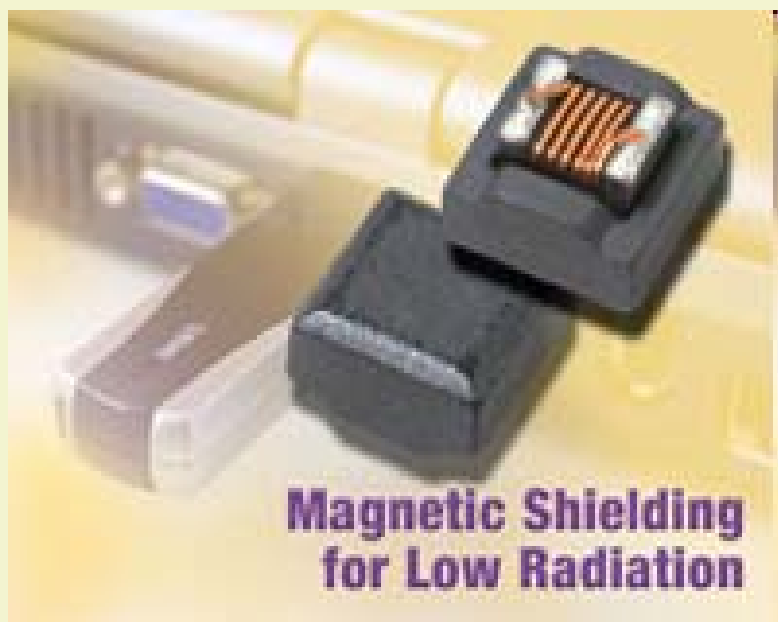
PROIECT FINANȚAT DE UNIUNEA EUROPEANĂ



Investește în oameni !
Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

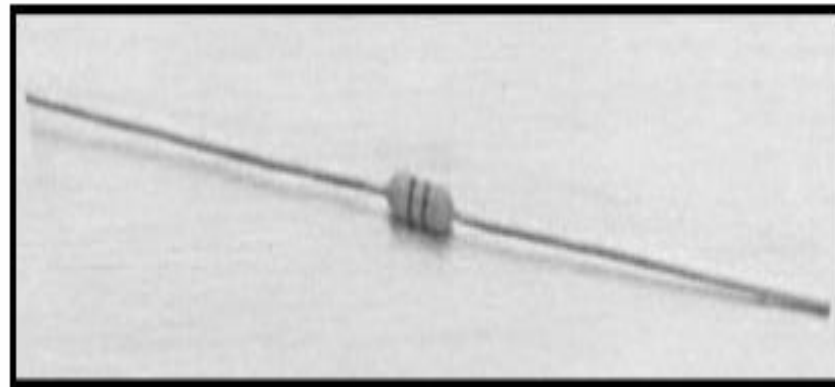
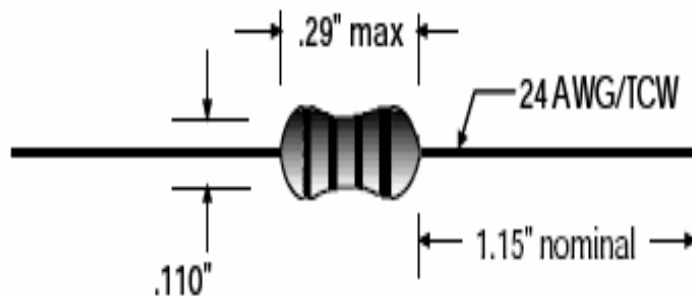
3. Inductoare ecranate

Au terminale axiale, sunt încapsulate prin turnare sau acoperire, au dimensiuni reduse și sunt disponibile atât în gama comercială cât și militară. Sunt utilizate în aplicații de înaltă fiabilitate în care nu sunt permise cuplaje magnetice. Esențiale în situații în care plăcile sunt foarte dens echipate - telecomunicații, aplicații cu performanțe critice, discuri magnetice.



4. Inductoare acoperite

Au terminale axiale sau radiale, similare cu inductoarele prin turnare, dar având cost mai mic, configurație mai puțin obișnuită, capsule mai mici. Sunt utilizate în condiții de mediu mai puțin dure decât inductoarele prin turnare. Pot fi proiectate pentru capacități mai mari în curent și rezistență mai mică. Factor de calitate ridicat.



5. Șocuri de curenți mari

Disponibile în versiuni de joasă și înaltă frecvență. Șocurile de înaltă frecvență sunt predominante și se utilizează la frecvențe peste 100MHz. Sunt construite din miezuri de ferită sau pulberi de fier ce permit inductanțe mari în volume mici. În plus, mai puține spire sunt necesare decât în cazul miezurilor ne-magnetice. Mai puține spire reduc rezistența în curent continuu, aspect critic la aplicațiile de curenți mari.



6. Șocuri de bandă largă

Cunoscute și ca perle de ferită, filtre trece jos, filtre trece bandă, filtre oprește bandă în funcție de aplicație. Utilizate pentru a suprima o anumită frecvență sau anumită bandă de frecvență reducând astfel zgomotul. Pot fi utilizate împreună cu un condensator pentru a forma un atenuator. Oferă însă un coeficient de atenuare mai mic decât inductoarele convenționale. Pot fi utilizate în aplicații de filtrare a interferențelor electromagnetice EMI. Utilizate în circuite de radiofrecvență pentru a opri oscilațiile parazite ce apar de obicei la utilizarea tranzistoarelor cu frecvență de tăiere mare.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

7. Bobine plate

Au terminale radiale, curenți mari, profil plat, factor de calitate ridicat. Ideale pentru plăcile de cablaj de mare densitate. Factor de calitate și inductanță ridicate.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

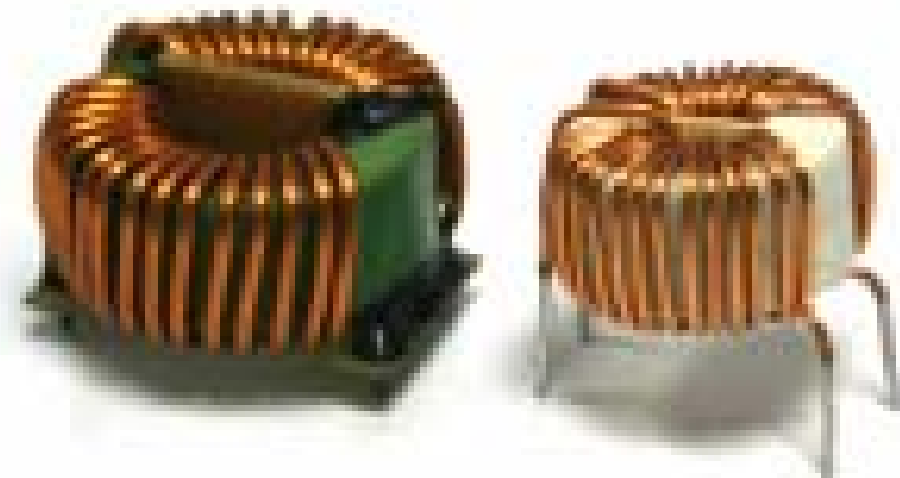
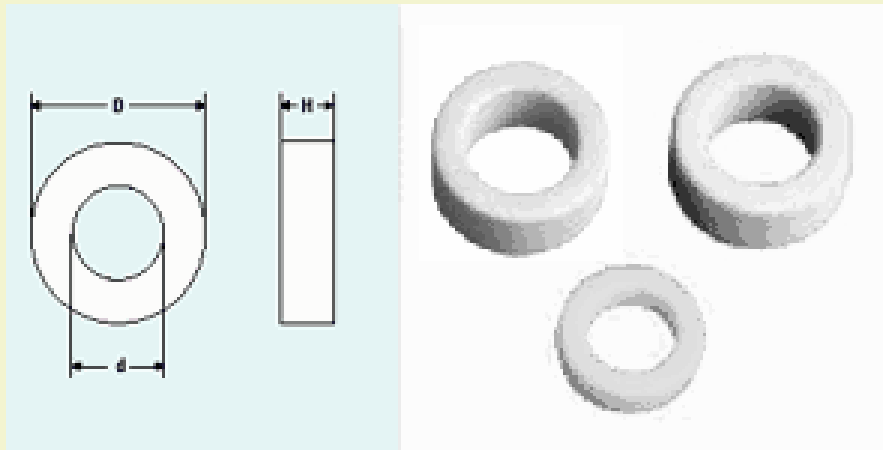
ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

8. Inductoare toroidale

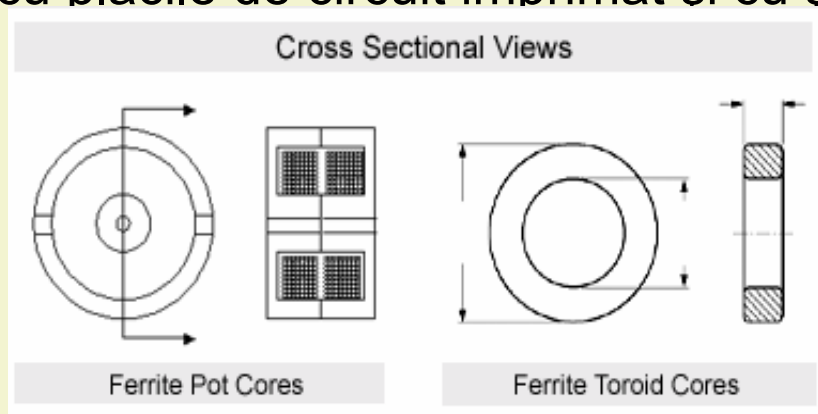
Structuri echilibrate magnetic ce prezintă bune proprietăți de autoecranare. Impedanță mai mare și pierderi mai mici decât inductoarele solenoidale realizate din materiale similare. Torurile și miezurile oală oferă proiectantului de circuite anumite avantaje- autoecranare, dimensiuni mai reduse, dar sunt mult mai greu de bobinat și devin scumpe dacă este necesar un număr ridicat de spire. Torurile mici, de curenți reduși, pot fi utilizate și în montarea pe suprafață.



9. Bobine cu miez oală

Ideale în aplicații în care se cere o inductanță mare și un grad ridicat de ecranare magnetică. Factor de calitate ridicat, capsulă compactă de preț redus. Utilizate pe larg în dispozitive de telefonie. Miezurile oală extind până la 20MHz gama de frecvențe de lucru a miezurilor magnetice.

Dimensiunile lor reduse facilitează diminuarea mărimii modulelor în care se utilizează. Tehnicile de montare ale inductoarelor cu miez oală le fac compatibile cu plăcile de circuit imprimat și cu sașiurile metalice.



10. Inductoare fără miez

Utilizate în aplicații de înaltă frecvență în care distorsiunile cauzate de saturarea miezului magnetic nu pot fi acceptate și în care este necesară o inductanță relativ scăzută. Autosusținerea bobinajului necesită folosirea unui conductor mai gros. Inductanța este parțial reglabilă prin modificarea formei inductorului sau îndepărtarea spirelor sale.



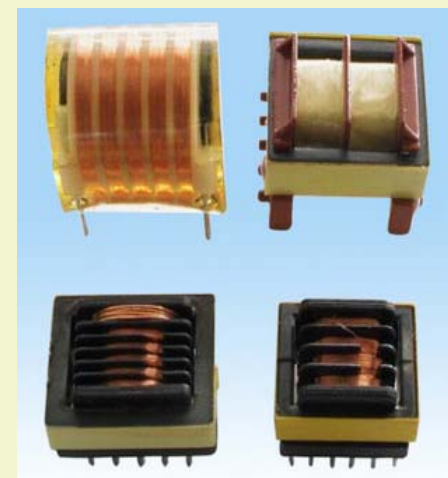
11. Inductoare variabile și reglabile

Utilizate în circuite rezonante reglabile în care se cere un factor de calitate mare. Inductanța este modificată prin deplasarea miezului față de bobinaj. Sunt ideale în aplicații în care se dorește o bandă de frecvență foarte îngustă.



12. Transformatoare

Utilizate pentru ridicarea sau coborârea tensiunii sau pentru izolarea unui circuit de curent alternativ de altul. Folosite pe larg în calculatoare, echipamente de telecomunicații, instrumentație și control, ca și în echipament electrocasnic.



Inductoare



UNIUNEA EUROPEANĂ



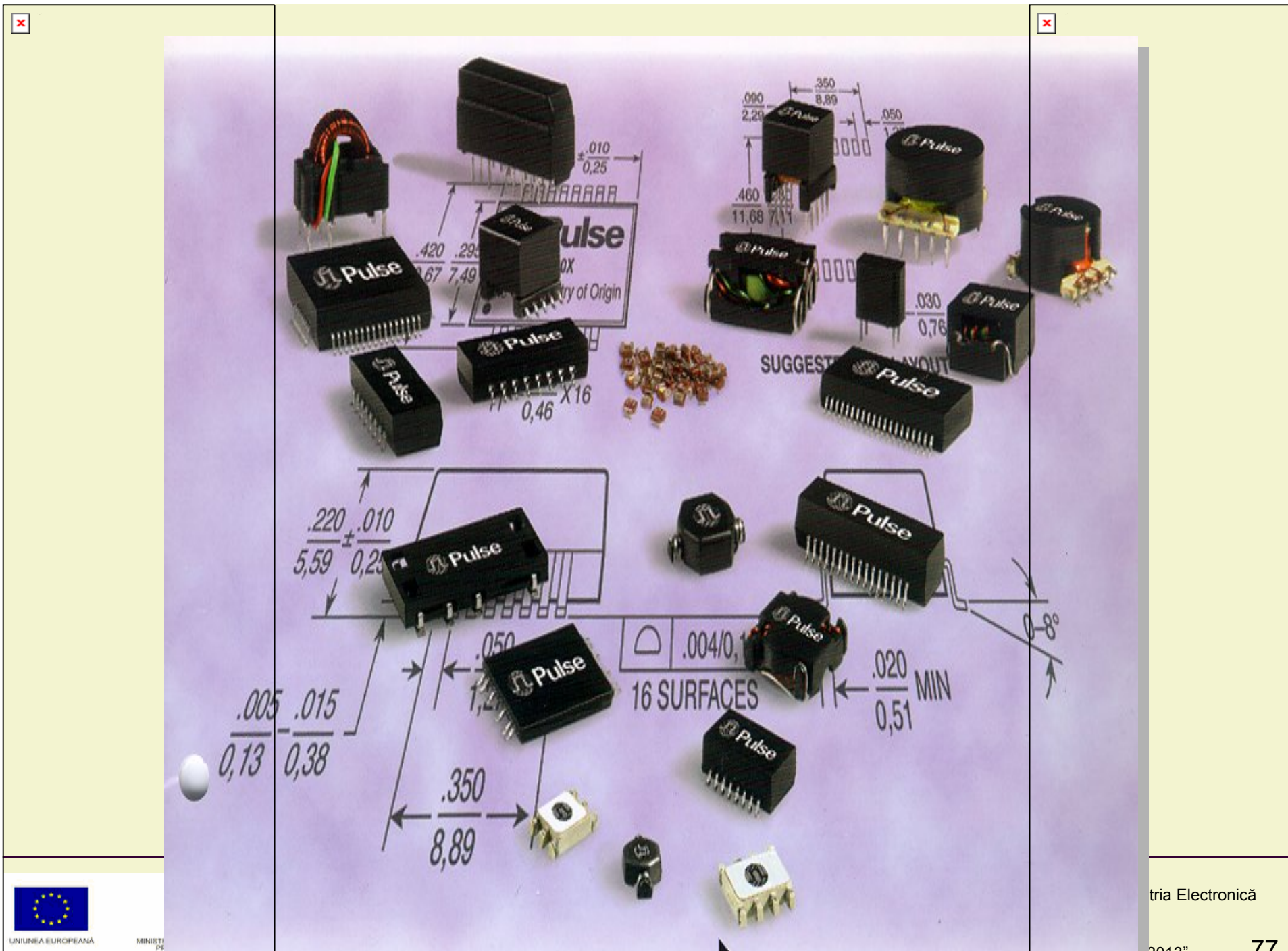
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOS DRU

FOND

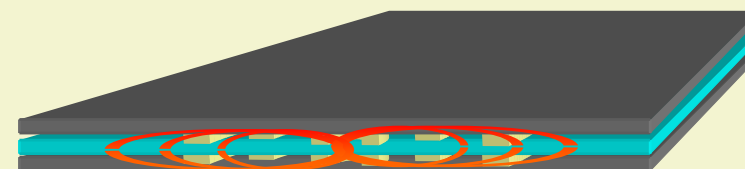
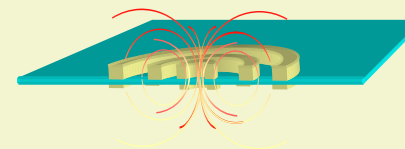
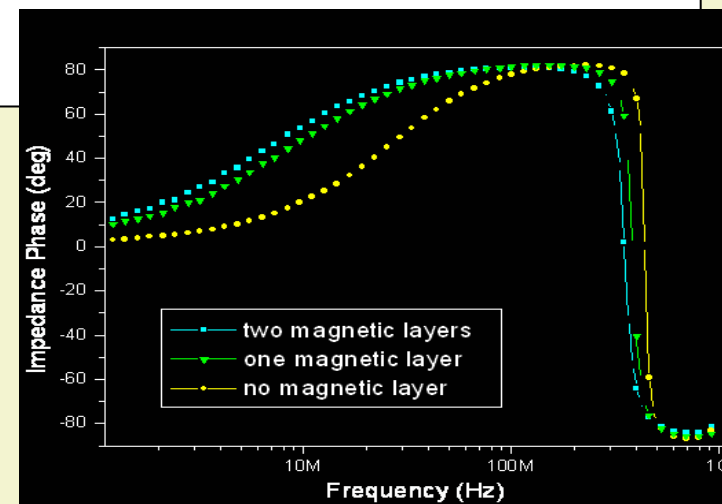
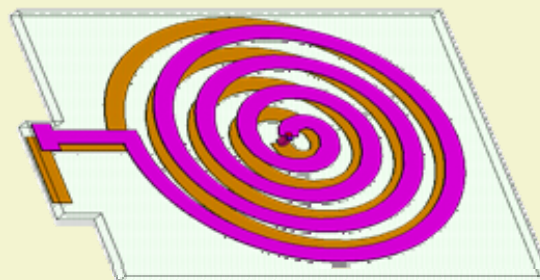
ELAN

Antreprenoriat: Adaptabilitate, Din
Investește în oameni

Proiect cofinanțat din Fondul Soc
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea F

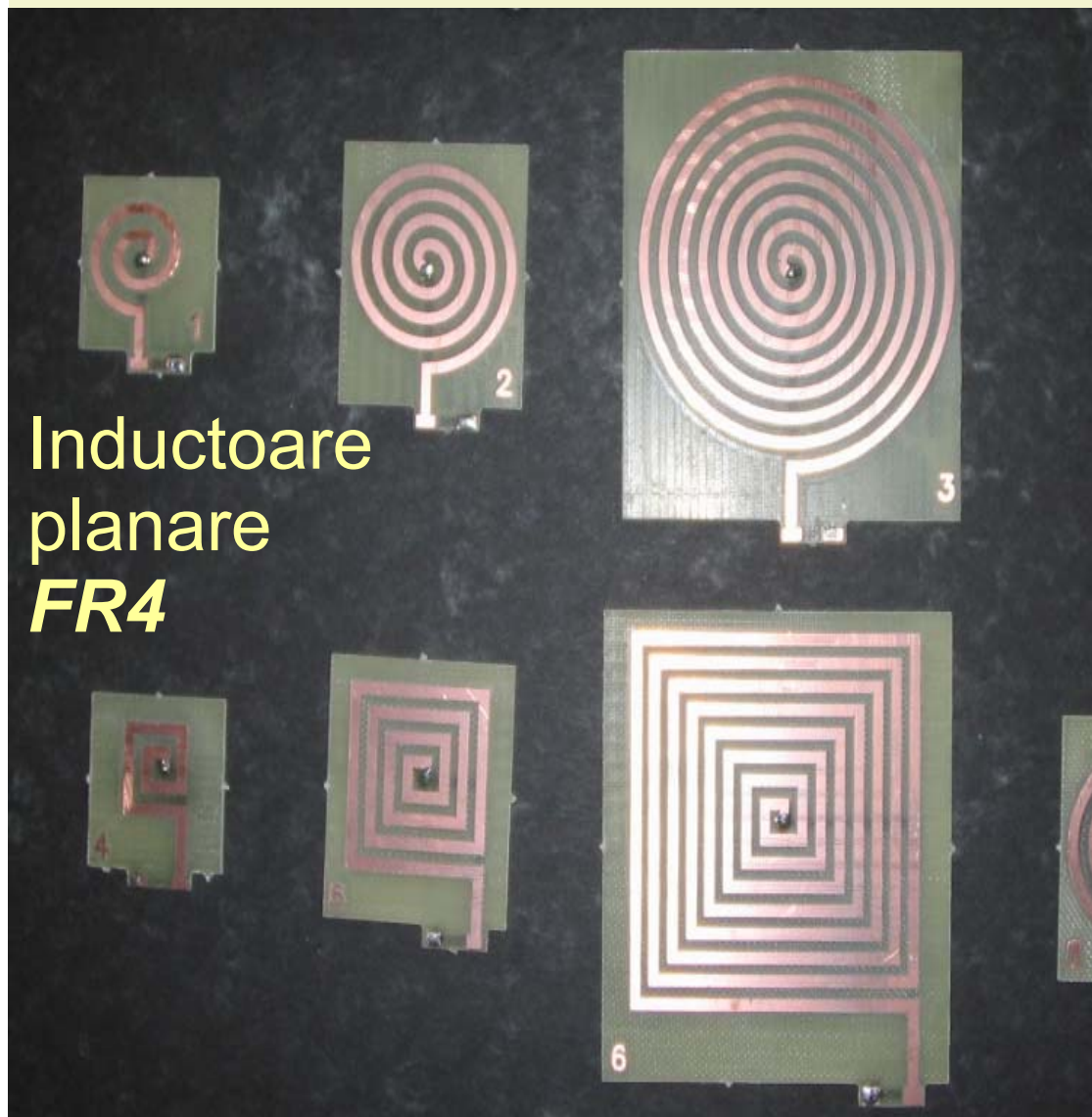


Inductoare planare

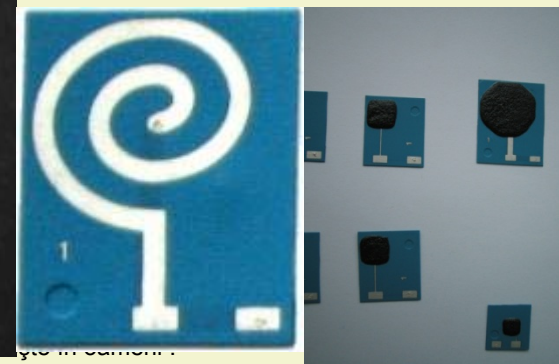


Inductoare planare

Inductoare planare *FR4*

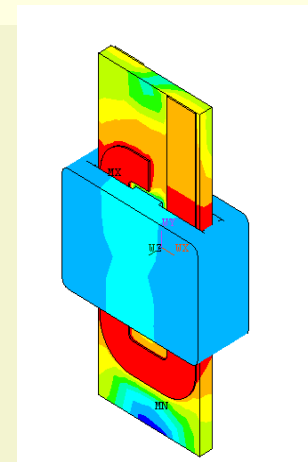
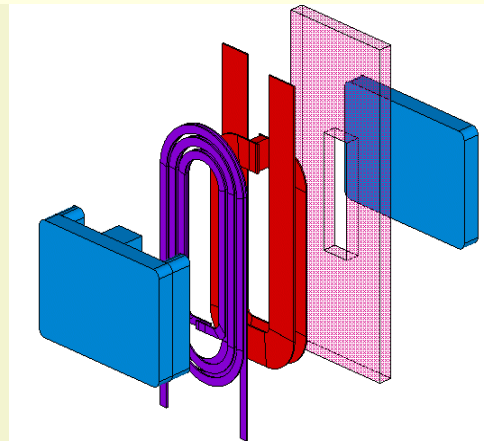


Inductoare planare *LTCC*



TRANSFORMATOR PLANAR

ELECTROMAGNETIC-THERMAL MODELING



Planar transformer model used
for ferrite core losses calculation



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013