

# SISTEM ENERGOEFICIENT DE ÎNCĂLZIRE PRIN INDUCȚIE ÎN RAMURILE INDUSTRIALE

Vengher Eugeniu

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** *La momentul actual în care perspectivele unei noi crize energetice de dimensiuni majore sunt din ce în ce mai evidente, la nivel european și chiar mondial s-a înaintat problema Eficienței Energetice și anume în ramurile industriale, deoarece o mare parte din energie este consumată anume de industrie. Aici menționăm faptul că trebuie să se respecte în același timp noile norme de calitate dar totodată și diminuarea consumului energetic. Sistemele de încălzire inductiv au o eficiență mai ridicată, sunt mai rapide și consumul de energie este mai redus. Instalațiile de acest tip sunt foarte practice deoarece încălzirea se poate realiza pe adâncimea de penetrare a piesei de lucru, sau doar pe suprafață. Acestea se folosesc pe scară largă în industria de prelucrare termică a materialelor metalice, de încălzire, sudare, topire, etc. Mai mult decât atât, încălzirea se poate realiza și pentru materiale nemetale - încălzirea indirectă.*

**Cuvinte cheie:** *sistem energoeficient, inducție, încălzire indirectă, sistem de reglare automată.*

## 1. Introducere. Principiul de funcționare.

Încălzirea prin inducție electromagnetică se bazează pe pătrunderea câmpului electromagnetic în materiale conductoare aflate într-un câmp magnetic variabil în timp. Curenții electrice turbionari determinați de tensiunile electromotoare induse conduc la încălzirea acestuia prin efect Joule. Lanțul transformărilor energetice care au loc într-o instalație electromagnetică este indicat în figura 1.[1]:

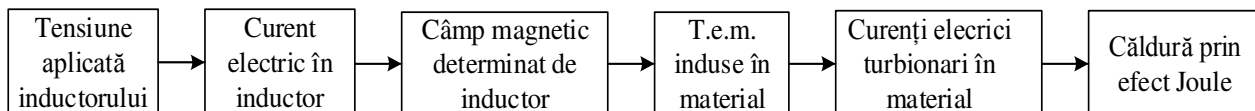


Figura 1. Lanțul transformărilor energetice într-o instalație cu inducție electromagnetică

Principalele caracteristici ale încălzirii prin inducție electromagnetică sunt:

- căldura se dezvoltă în corpul care urmează a fi încălzit, obținându-se un transfer important de energie ( $>1000 \text{ kW/m}^2$ ) și deci o viteză mare de încălzire;
- instalații relativ simple, fiind posibil lucrul în vid sau atmosferă controlată;
- posibilitate de automatizare și funcționare în flux continuu;
- se asigură condiții îmbunătățite de muncă, cu o poluare redusă a mediului ambiant.

Inductanța este o mărime care caracterizează producerea fenomenului de inducție electromagnetică într-un circuit electric, egală cu raportul dintre fluxul magnetic  $\Phi$  ce străbate un circuit și intensitatea curentului electric ce produce acest flux.

Dacă să ne referim la principiul încălzirii prin inducție electromagnetică, putem spune că orice corp conducător de electricitate se încălzește prin efect Joule atunci când este parcurs de curent electric. Amplasând un conductor într-un câmp magnetic variabil în timp – încălzire prin inducție electromagnetică.

Curenții electrice turbionari induși produc căldură prin efect Joule și corpul conductor în care aceștia au luat naștere se va încălzi. Bobina B (figura 2. a) va constitui circuitul primar sau inductor, iar materialul conductor C – circuitul secundar sau indus. În acest fel, echipamentele de încălzire prin inducție electromagnetică sunt, ca principiu de funcționare, cu particularitățile specifice de construcție, asimilabile cu transformatoarele cu sau fără circuit magnetic, primarul fiind alimentat la frecvență industrială (50 Hz), la frecvență medie sau înaltă.

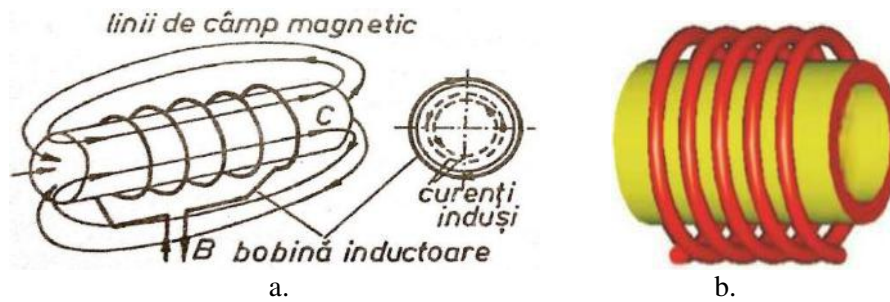


Figura 2. Principiul încălzirii prin inducție electromagnetică  
b- schiță constructiv reală [2]

Avantajul solenoidului (figura 2) este acela că valoarea câmpului magnetic ca și inducția magnetică în interiorul acestuia pot avea valori mari. În alte configurații se face apel la circuite care intensifică câmpul magnetic.

Încălzirea prin inducție oferă posibilitatea încălzirii, în timp scurt, la temperaturi în jurul punctului de topire, a suprafeței sau a întregii secțiuni transversale a pieselor definite ca subțiri.

Domeniul de aplicare se extinde de la procese de uscare, lipire, călire și formare la cald, până la topire și sinterizare. Încălzirea electrică poate fi aplicată cu avantaje economice numai acolo unde diametrul și lungimea piesei sunt de 3,5 ori, respectiv 2,5 ori mai mari decât adâncimea de pătrundere specifică. În procesele de încălzire prin inducție se utilizează surse de frecvență variabilă, în funcție de dimensiunile materialului piesei și de programul necesar de încălzire.

#### Avantajele procesului de încălzire prin inducție:

- Încălzirea fără contact (fără aplicarea din exterior a unor electrozi), încălzirea directă a pieselor (fără sursa exterioară de căldură);
- Oxidare minimă, calitate uniformă a materialului de prelucrat;
- Timp minim necesar pentru pregătirea instalației pentru lucru;
- Reglare rapidă și munca curată;
- Neînsemnate deranjamente datorite radiației termice;
- Piesa de prelucrat poate fi menținută pe toată durata tratamentului termic în dispozitivul de încălzire (încălzire statică), sau poate fi deplasată de-a lungul instalației de încălzit (încălzire cu piesă mobilă) – ca exemplu în cazul barelor, țevilor, sârmelor sau a blocurilor din oțel (încălzire prin porțiuni).

Eficiența unui sistem de încălzire prin inducție depinde de mai mulți factori: caracteristicile părții în sine, proprietatea inductorului, capacitatea sursei de alimentare și cantitatea de temperatură necesară de a fi modificată.

## 2. Exemplu de convertor utilizat în sistemele de încălzire prin inducție

Pentru a asigura o încălzire precisă, este necesar a dispune de posibilitatea de reglare a puterii în funcționarea instalației într-o manieră rapidă și continuă. În acest sens, se acționează asupra tensiunii de alimentare, asupra impedanței echivalente a sarcinii sau sunt utilizate mijloace speciale specific instalației și procesului tehnologic.

Alegerea unui asemenea circuit (figura 3) a fost dictată de următoarele considerente:

- utilizarea unui redresor cu diode și cheie rapidă, ceea ce permite un factor de putere mai mare de (0,95) în toată gama de reglare și control;
- performanțe dinamice superioare;
- greutatea și dimensiunile convertorului reduse;
- lipsa unei surse speciale pentru punerea în funcțiune a convertorului;
- cheia tranzistorului asigură o conectare sigură și totodată protecție;
- lipsa circulației puterii reactive în circuitul convertorului, respectiv pierderi mici de putere în tranzistoare.
- pierderi mici la transmiterea energiei spre circuitul rezonant.

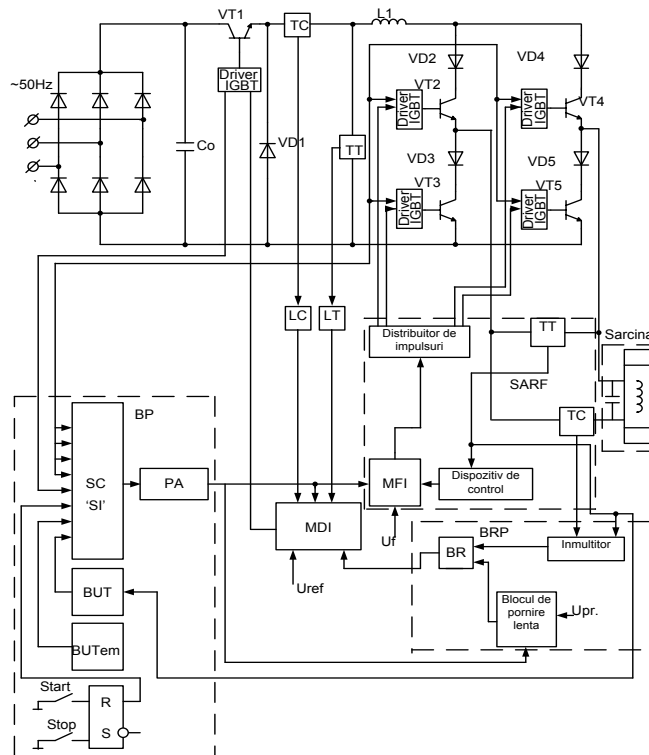


Figura 3. Schema de comandă a inverterului de frecvență înaltă a modului de inducție cu transistoare IGBT

Particularitățile acestei scheme (figura 3) sunt că comanda frecvenței se face la comutarea transistoarelor inverterului în timpul când tensiunea de pe condensatorul de compensare are valoarea zero. Așa o comandă optimă permite de a micșora esențial puterea transistoarelor și pierderile care au loc în ele în timpul comutării.

### 3. Elaborarea Modelului Simulink a convertorului și sistemului inductor corp încălzit. Metoda de încălzire rezistiv indirectă și cea de încălzire prin inducție.

La elaborarea modelului matematic a regimului termic la pornirea mașinii s-a utilizat metoda pe blocuri de modelare a procesului. S-a presupus că în regim de pornire toate blocurile elementare sunt cu parametri concentrați.

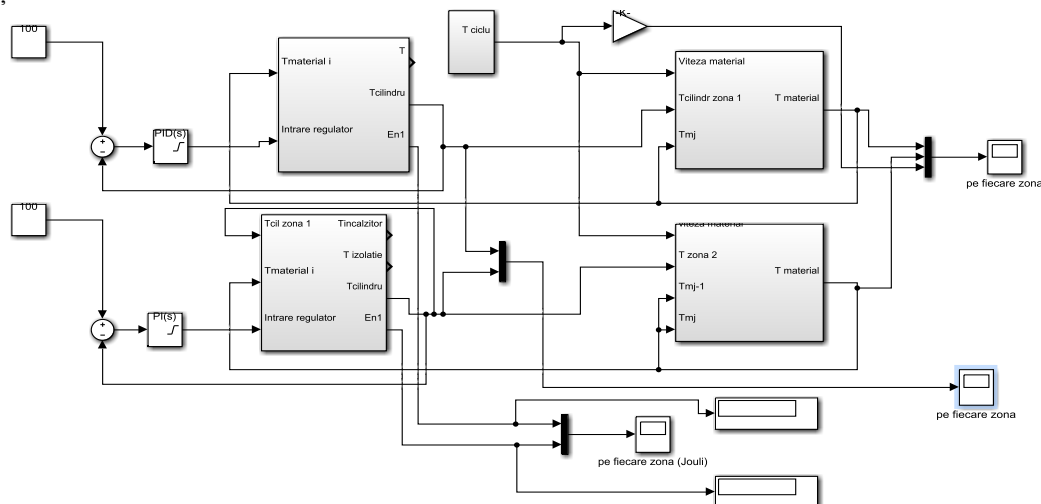


Figura 4. Modelul Simulink al sistemului de control a temperaturii la încălzirea prin inducție și încălzirea rezistiv indirectă

Schema (figura 4) nu are nici o buclă de reacție și ea ne permite să vizualizăm procesul tranzitoriu de încălzire a cilindrului la conectare directă cu și fără sistem de reglare a temperaturii. Schema conține patru subsisteme care la rândul lor conțin modelele matematice a fiecărei zone în parte care conțin ecuația ce descrie regimul termic al încălzitorului și cilindrului.

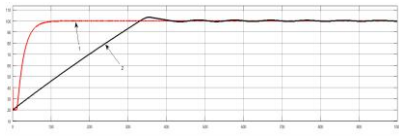


Figura 5. Variația temperaturii pe zonele termice: 1-încălzire prin inducție; 2- încălzire rezistiv indirectă.

Diferența dintre curbele de variație a temperaturii se datorează faptului că încălzirea are loc prin metode diferite. Încălzirea materialului prin inducție are loc mai rapid, mai constant și fără suprareglaj. La încălzirea clasică, timpul de încălzire este mai mare și au loc perturbații și suprareglaj al temperaturii.

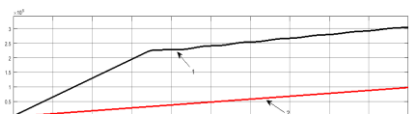


Figura 6. Variația consumului de energie: 1-încălzirea rezistivă indirectă; 2- încălzirea prin inducție.

În sistemele de încălzire, dar și în general un factor foarte important este eficiența energetică- ceea ce înseamnă mai bun cu mai puțin, respectiv cheltuieli mai mici și randament înalt (figura 6).

### Concluzii:

În baza rezultatelor obținute în urma simulării modelului s-a determinat că încălzirea prin inducție este mai eficientă față de încălzirea rezistiv indirectă din următoarele considerente:

- reglare a sistemului;
- rapiditatea de încălzire;
- pierderi de temperatură mai mici;
- stabilitatea mai bună a sistemului;
- consumul de energie electrică la încălzirea prin inducție mai redus cu  $\approx 40\%$  față de sistemul de încălzire rezistiv indirect (figura 6);
- autoreglarea frecvenței în dependență de sarcină (în cazul sistemelor industriale de încălzire inductivă).

Trebuie de menționat că în acest model s-au introdus datele astfel ca temperatura inițială să fie cea a mediului ambiant (adică  $20^{\circ}\text{C}$ ); temperatura prescrisă de reglare fiind  $100^{\circ}\text{C}$ .

### Bibliografie:

1. *Electrotermie și Electrotehnologii*, Volum 1 – Electrotermie. Editura Tehnică București 1997 pag.265;
2. Timotin A. ș.a *Lecții de bazele electrotehnicii*. Editura Didactică și pedagogică București, 1970;
3. Universitat Politecnica de Catalunya departament d'Enginyeria Electrica. Doctoral Thesis “*Induction heating modeling applied to continuous wire heating*”;
4. *Electrotermie și Electrotehnologii*, Volum 2 – Electrotermie. Editura Tehnică București 1997.