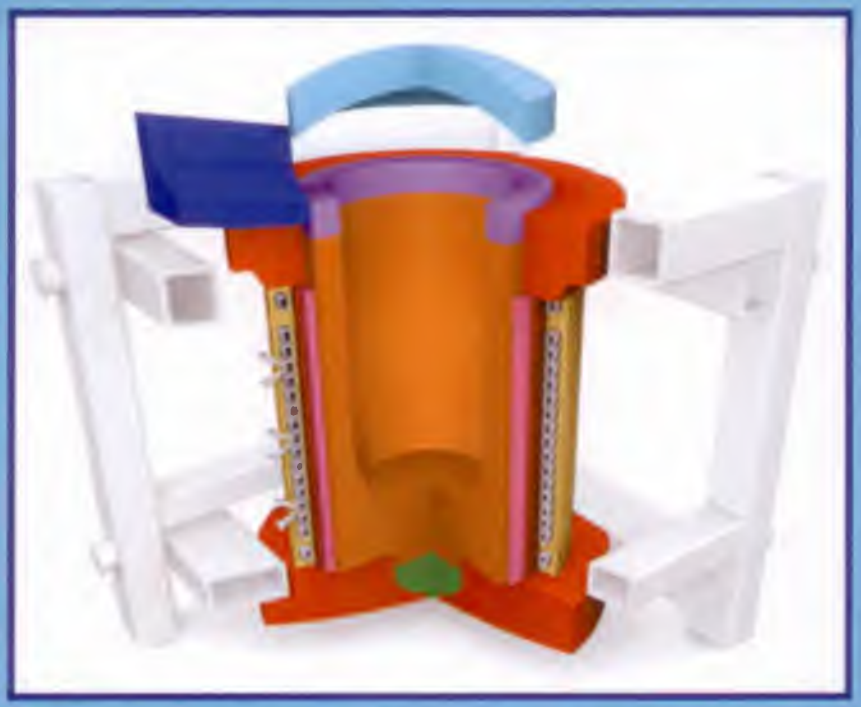
Radu-Dumitru PENTIUC

ELECTROTERMIE

Proiectarea cuptoarelor de inducție cu creuzet



Editura AGIR

Seria „*Electrotehnică. Electroenergetică*"

ELECTROTEMIE

Proiectarea cuptoarelor de inducție cu creuzet

Autorul mulțumește tuturor celor care au publicat, au scris cărți și au depus eforturi pentru îmbogățirea informațiilor legate de electrotermie și care au stat la baza elaborării acestei lucrări.

ELECTROTHERMICS

Design induction pot furnaces

8-973-720-5
37 2052

Prof. univ. dr. ing. **Radu-Dumitru PENTIUC**

ELECTROTERMIE

Proiectarea cuptoarelor de inducție cu creuzet

Seria *„Electrotehnică. Electroenergetică"*

Editura AGIR
București, 2014

ASOCIAȚIA GENERALA A INGINERILOR DIN ROMANIA (AGIR)

Copyright © Editura AGIR şi autorul. 2014

Toate drepturile asupra acestei ediții
sunt rezervate Editurii AGIR şi autorului.

Editura AGIR recunoscută de CNCSIS

Editura AGIR :
Calea Victoriei nr. 118. sector 1. 010093. Bucureşti. România
Tel./Fax 04021.3168992
E-mail: editura@agir.ro
www.edituraagir.ro
Difuzare: librăria AGIR
Tel.04021.3194945
E-mail: libraria@agir.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
PENTIUC, RADU-DUMITRU
Electrotermie : proiectarea cuptoarelor de inducție cu creuzet / Radu-Dumitru Pentiuc. - București : Editura A.G.I.R, 201
Bibliogr.
ISBN 978-973-720-528-5

621.36

ISBN 978-973-7
9 789737 20

Îngrijire editorială: ing. Dan BOGDAN
Coperta: ing. Ion MARIN

Bun de tipar: 08.04.2014
ISBN 978-973-720-528-5



Prof. dr. ing. **Radu-Dumitru PENTIUC** a absolvit Institutul Politehnic „Gheorghe Asachi" din Iași, specialitatea Electrotehnică, în anul 1982. A obținut titlul de doctor în științe inginerești în anul 1997, la aceeași universitate. A fost repartizat în 1982 la Întreprinderea de Mașini Unelte din Suceava (IMUS), recunoscută la momentul respectiv ca fiind performantă în domeniu. În perioada stagiului, sarcinile de serviciu s-au cantonat în primii doi ani (1982-1984), în secția mecano-energetică, la realizarea de tehnologii în sectorul electric PRAM, pentru amplasamentul Maşini Unelte Grele (MUG), Sculărie şi Fabrica de Aparate de Măsură şi Control Neelectrice (FAMC). A pus în funcțiune utilaje şi maşini unelte ale noii investiții MUG, a răspuns de montarea, reglajul, punerea în parametri şi efectuarea probelor la maşini unelte de frezat longitudinal portal, unele cu comandă numerică şi afişaj de cotă, la maşini de rectificat complexe, cu echipă de specialişti din R.D.G., de la firma *HECKERT*. A desfăşurat activități de cercetare, proiectare, punere în funcțiune a unor obiective de investiții, întreținere şi exploatare de instalații electroenergetice. A conceput un sistem intern de teleurmărire a energiei electrice cu computer şi sistem de achiziții. În 1984 a fost promovat energetic şef al IMUS, cu responsabilități în planificarea, normarea, urmărirea şi execuția reparațiilor pentru instalațiile electroenergetice la trei mari consumatori ai întreprinderii şi la cei şapte mici consumatori ai I.M.U. – Suceava, iar în 1990 a fost numit şeful Atelierului Energetic PRAM.

În perioada 1988 - 1992 a desfăşurat în paralel şi activitate didactică în învățământul universitar, la început fiind cadru didactic asociat la Institutul de Învățământ Superior din Suceava. Din anul 1992, inițial detaşat, iar apoi prin concurs (în 1993), a parcurs toate treptele didactice la Departamentul de Electrotehnică din Universitatea „Ştefan cel Mare" din Suceava, al cărui director este din anul 2005.

Pe tot parcursul celor 27 de ani de activitate didactică universitară a avut o colaborare activă cu specialiști din domeniul electric și energetic, participând la mai multe studii și cercetări în domeniul utilizării eficiente a energiei electrice și al calității energiei electrice. Cele peste 100 de lucrări publicate în reviste de specialitate din țară și din străinătate, dintre care peste 40 indexate ISI Thomson-Reuters sau în alte baze de date internaționale, cele 9 brevete de invenție și o inovație, în calitate de prim autor sau colaborator, precum și cele 6 cărți de specialitate adresate studenților, dar și specialiștilor din electrotehnică, cuprind instrumente utile celor din domeniu. Activitatea de cercetare și expertiză cuprinde peste 50 de proiecte și studii de eficiență energetică. Este expert evaluator CNCSIS și evaluator ARACIS. Din anul 1999 este Inginer European – EUR ING (Federation Europeenne d'Asociations Nationales d'Ingenieurs – FEANI). Este membru în comitetul ştiințific la două reviste cotate B+ de CNCSIS și indexate în baze de date internaționale, organizator de manifestări ştiințifice, recenzor pentru reviste şi manifestări ştiințifice naționale şi internaționale, printre care: CIGRE, WESC, ELS, ELSTUD, MPS, SIELMEN, *„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești"*, și membru al Consiliului Director Național al Asociației Generale a Inginerilor din Romania (AGIR). A câştigat 28 de medalii, diplome şi premii, dintre care 13 la saloane internaționale de inventică.

Cuprins

Capitolul 1. **CONDUCȚIA TERMICĂ ÎN REGIM NESTAȚIONAR** 11

1.1. Probleme generale 11

1.1.1. Conducția termică 14

1.1.2. Convecția termică 17

1.1.3. Radiația termică 18

1.2. Ecuația conducției termice. Condiții de unicitate. Soluții criteriale 19

1.2.1. Ecuația conducției termice 19

1.2.2. Condiții de unicitate 23

1.2.3. Soluții criteriale ale ecuației conducției termice 28

Capitolul 2. **CONDUCȚIA TERMICĂ ÎN REGIM STAȚIONAR** 35

2.1. Conducția termică în regim staționar prin corpuri fără surse interioare de căldură 35

2.1.1. Conducția termică prin pereți plan paraleli 35

2.1.2. Conducția termică prin pereți cilindrici 40

2.1.3. Conducția termică prin pereți sferici 43

2.2. Transmiterea complexă a căldurii 45

2.2.1. Schimbul de căldură prin pereți plan paraleli, omogeni și neomogeni .. 45

2.2.2. Schimbul de căldură prin pereți cilindrici, omogeni și neomogeni 50

2.2.3. Schimbul de căldură prin pereți sferici, omogeni și neomogeni 51

Capitolul 3. **PROIECTAREA CUPTOARELOR DE INDUCȚIE CU CREUZET** 53

3.1. Elementele constructive ale cuptoarelor de inducție cu creuzet 53

3.2. Tehnologii de realizare a inductorului și creuzetului 56

3.2.1. Confecționarea inductorului 56

3.2.2. Confecționarea căptușelii cuptoarelor de inducție cu creuzet 60

3.3. Calculul cuptoarelor de inducție cu creuzet 64

3.3.1. Dimensionarea creuzetului 65

3.3.2. Alegerea frecvenței de lucru și stabilirea duratei șarjei ... 67
3.3.3. Calculul termic al cuptorului ... 71
3.3.4. Calculul inductorului ... 74
3.3.4.1. Calculul electric al inductorului ... 74
3.3.4.2. Calculul răcirii cu apă a inductorului ... 79
3.3.5. Calculul circuitului magnetic exterior ... 83
3.3.6. Calculul bateriei de condensatoare ... 86
3.4. Indicatori energetici ... 88
3.5. Bilanțul energetic al instalației ... 89
ANEXE ... 93
Anexa I ... 93
I.1. Caracteristicile metalelor și aliajelor topite în cuptoarele de inducție ... 93
I.2. Mărimi fizice ale unor substanțe solide ... 95
I.3. Energia necesara pentru încălzirea și topirea metalelor ... 95
Anexa II ... 96
II.1. Caracteristicile surselor de alimentare a instalațiilor de încălzire prin inducție ... 96
II.2. Caracteristicile grupurilor convertizoare de medie frecvență ... 96
Anexa III ... 98
III.1. Materiale refractare sinterizabile pentru creuzet ... 98
III.2. Caracteristicile principale ale materialelor refractare ... 99
III.3. Caracteristicile principale ale materialelor termoizolante ... 100
III.4. Produse termoizolante din diatomit și silico-alumină ... 101
Anexa IV ... 103
IV.1. Relații orientative pentru calculul coeficientului de schimb de căldură prin convecție, ... 103
IV.2. Valorile coeficientului complex de schimb de căldură prin convecție și radiație ... 104
IV.3. Coeficient complex de schimb de căldură pentru pereții interiori ai cuptoarelor ... 105
Anexa V ... 106
V.1. Valorile gradului de înnegrire pentru diverse materiale ... 106
V.2. Valorile coeficientului de diafragmare ... 108
V.3. Valorile orientative ale pierderilor de căldură prin radiație la cuptoarele electrice, prin uși și orificii ... 109

Anexa VI ...
VI.1. Valorile funcției
VI.2. Funcții de corecț
Anexa VII ...
VII.1. Caracteristicile
VII.2. Țevi de cupru p
(producție C.S.
VII.3. Caracteristicile
Anexa VIII ...
VIII.1. Coeficienți de
VIII.2. Proprietățile fi
VIII.3. Coeficientul d
al fluidului cu
Anexa IX ...
IX.1. Caracteristicile
IX.2. Caracteristicile
BIBLIOGRAFIE ...

Anexa VI 110
VI.1. Valorile funcției de corecție a inductivităților externe proprii 110
VI.2. Funcții de corecție a inductivităților mutuale 111

Anexa VII 113
VII.1. Caracteristicile constructive ale țevilor de cupru (STAS 523 -74) 113
VII.2. Țevi de cupru profilate pentru inductoare de frecvență industrială (producție C.S.I.) 114
VII.3. Caracteristicile fizico-mecanice şi tehnologice ale cuprului 115

Anexa VIII 116
VIII.1. Coeficienți de calcul ai invariantului Nusselt 116
VIII.2. Proprietățile fizice ale apei la presiunea de 0,98 bar 117
VIII.3. Coeficientul de rezistență la schimbarea direcției firului de curent al fluidului cu 360° 117

Anexa IX 118
IX.1. Caracteristicile condensatoarelor de medie frecvență 118
IX.2. Caracteristicile condensatoarelor de frecvență industrială 120

BIBLIOGRAFIE 121

ISBN 978-973-720-528-5

Seria
Electrotehnică –
Electroenergetică