

Université Technique de Moldova

Filière Francophone Informatique

**Electrotechnique générale
cours théorique**

**Chişinău
U.T.M.
2007**

CZU 621.3 :811.133.1(075.8)

P 28

Le cours théorique d'électrotechnique générale est destiné aux étudiants des Filières Francophones au près de l'Université Tehnique de Moldova et aux étudiants des gropes spéciaux qui étudient d'une manière approfondie la langue française.

Elaboration par : maître de conférences Arhip Potâng
 professeur universitaire Petru Todos

Rédacteur en chef : maître de conférences Liviu Carcea

Coordinateur scientifique: professeur universitaire Victor Şontea

Descrierea CIP a Camerei Naţionale a Cărţii

Potâng, A.

Electrotehnique générale:cours théorique /A. Potâng;
P. Todos; réd. en chef: Liviu Carcea; coord. scientifique:
Victor Şontea; Univ. Tech. De Moldova. Filière
Francophone Informatique.-Ch. : UTM, 2007.-465p.

Bibliogr. p. 456 (13 tit)

ISBN 978-9975-45-028-7

150 ex,

621.3:811.133.1 (075.8)

© U.T.M.,2007

INTRODUCTION

Electrotechnique et l'application de l'énergie électrique

On appelle électrotechnique la science des applications de l'énergie électrique à des fines pratiques.

L'énergie électrique occupe une place particulière parmi les différentes formes d'énergie actuellement connues. La particularité de l'énergie électrique réside, avant tout, en ce qu'elle peut facilement être obtenue par transformation de toutes les autres formes d'énergie et vice versa.

A l'aide des dispositifs suffisamment simples et économiquement avantageux, l'énergie électrique peut être transportée, rapidement et en n'importe quelle quantité, à des distances considérables et facilement distribuée aux différents utilisateurs.

Au point de consommation, l'énergie électrique peut être facilement de nouveau transformée en énergie d'une forme ou d'une autre (énergie lumineuse, thermique, chimique etc.). A l'heure actuelle, l'énergie électrique s'est répandue largement dans tous les domaines de l'activité de l'homme. Aucune production du niveau de la technique moderne ne peut se passer sans l'application de l'énergie électrique. Cela s'explique par ses avantages en comparaison des autres genres de l'énergie. Ses avantages sont dus à ses propriétés pour différents domaines d'application.

• **Dans le domaine de l'énergétique**

- 1 Ils sont dus à la possibilité d'obtenir de façon concentrée des puissances élevées
- 2 De transmettre assez facilement l'énergie aux consommateurs
- 3 De partager aisément les puissances
- 4 De transformer sans difficulté l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie (mécanique, thermique, éclairage, chimique).
- 5 D'utiliser de manière très simple des machines -outils, des appareils et des dispositifs électriques (transformateurs, moteurs asynchrones).

Tables de matières

Introduction	3
Electrotechnique et l'application de l'énergie électrique ..	3
Importance de l'électrification dans la création de la base matérielle et technique du pays	8
I. Champ électrostatique.	9
1.1. Définition du champ électrostatique. Loi de Coulomb	9
1.2. Travail dans champ électrique. Potentiel. Différence de potentiel.	11
1.3. Conductivité électrique.....	15
1.4. Conducteurs électriques.....	16
1.5. Diélectriques (ou isolants).....	17
1.6. Polarisation du diélectrique	18
1.7. Rigidité diélectrique	19
1.8. Semi-conducteurs	21
1.9. Condensateur électrique	21
1.10. Groupement des condensateurs	22
1.11. L'énergie accumulée par un condensateur	23
II. Circuits électriques linéaires à courant continue	24
2.1. Circuit électrique et ses paramètres.....	24
2.2. Loi d'Ohm. Chute de tension	31
2.3. Loi de Joule Lenz	32
2.4. Travail et puissance d'un courant électrique	32
2.5. Régimes de fonctionnement d'un circuit électrique.....	34
2.6. Principes appliqués en électrotechnique.....	36
2.7. Transformation d'une étoile en triangle et d'un triangle en étoile	42
2.8. Calcul des circuits électrique simples.....	45
2.9. Lois de Kirchhoff et leur application.....	46
2.10. Méthode des grandeurs proportionnelles.....	48
2.11. Transport de l'énergie par une ligne de transport à courant continu	49

III. Circuits électriques composés à courant continu	52
3.1. Utilisation des équations de Kirchhoff.....	52
3.2. Méthode des courants fictifs maillés	57
3.3. Méthode des potentiels des nœuds	62
3.4. Méthode à deux nœuds.....	68
3.5. Méthode GET (générateur équivalent de tension).....	68
IV. Circuits électriques à courant sinusoïdal monophasé	74
4.1. Courant sinusoïdal et grandeurs fondamentales qui le caractérisent.....	74
4.2. Valeurs moyenne et efficace d'une grandeur sinusoïdale	76
4.3. Représentation des grandeurs sinusoïdales par des vecteurs du plan complexe. Amplitude complexe. Grandeur efficace complexe.....	77
4.4. Diagramme vectoriel	82
4.5. Puissance instantanée	82
4.6. Circuit électrique à courant alternatif avec une résistance purement active.....	83
4.7. Inductance dans un circuit à courant sinusoïdal	84
4.8. Condensateur branché dans un circuit à courant sinusoïdal.....	87
4.9. Bases de la méthode symbolique du calcul des circuits électriques à courant sinusoïdal.....	90
4.10. Impédance complexe. Loi d'Ohm pour un circuit à courant sinusoïdal.....	93
4.11. Admittance complexe.....	94
4.12. Triangle des impédances et triangle des admittances.....	95
4.13. Les lois de Kirchhoff écrites sous forme symbolique	96
4.14. Application au calcul des circuits à courant sinusoïdal toutes les méthodes décrites dans le chapitre «Circuits électriques à courant continu».....	97
4.15. Diagramme topographique	102
4.16. Puissance active, réactive et apparente.....	104

4.17.	Expression de la puissance sous forme complexe	107
4.18.	Phénomène de la résonance.....	108
4.19.	Résonance des tensions	109
4.20.	Courbes de réponse en fréquence.....	113
4.21.	Résonance des courants.....	113
4.22.	Compensation d'un déphasage.....	119
V.	Calcul des circuits électriques à induction mutuelle	121
5.1.	Calcul des circuits électriques comportant des bobines couplées magnétiquement entre elles	121
5.2.	Branchement en série de deux bobines couplées magnétiquement	123
5.3.	Mesure de M par des essais.....	125
5.4.	Transformateur sans noyau de fer. Impédance introduite	127
VI.	Circuits triphasés.....	131
6.1.	Système triphasé de f.é.m.....	131
6.2.	Schémas de couplage principaux des circuits triphasés. Définition des grandeurs de ligne et de phase.....	133
6.3.	Relation entre les tensions et les courants de ligne et de phase.....	136
6.4.	Calcul des circuits triphasés	140
6.5.	Calcul des circuits électriques triphasés à une charge équilibrée et déséquilibrée.....	141
6.6.	Puissance active, réactive et apparente d'un système triphasé	147
6.7.	Mesure de la puissance active dans système triphasé	148
6.8.	Mesure de la puissance réactive pour une charge symétrique des phases	150
6.9.	Champ magnétique circulaire tournant	151

VII. Courants périodiques non sinusoïdaux dans les circuits électriques linéaires	154
7.1. Définition des courants et des tensions périodiques non sinusoïdaux.....	154
7.2. Représentation des courants et des tensions non sinusoïdaux à l'aide des séries de Fourier	155
7.3. Certaines propriétés des courbes périodiques symétriques.....	157
7.4. Le développement en séries de Fourier des courbes de forme géométrique régulière et des courbes de forme géométrique irrégulière	158
7.5. Détermination des harmoniques de la série de Fourier par la méthode graphique (grapho-analytique)	159
7.6. Calcul des courants et des tensions pour des f.é.m. non sinusoïdales	163
7.7. Phénomènes de la résonance dans le circuit aux courants non sinusoïdaux	171
7.8. Valeur efficace d'un courant non sinusoïdal et valeur efficace d'une tension non sinusoïdale.....	173
7.9. Puissances active, réactive, apparente et déformante d'un courant non sinusoïdal	174
7.10. Substitution aux courants et tensions non sinusoïdaux par leurs équivalents sinusoïdaux.....	176
7.11. Particularités du fonctionnement des systèmes triphasés du fait des harmoniques d'ordres multiples de 3.....	177
VIII. Théorie des quadripôles et des filtres électriques	185
8.1. Quadripôle et ses équations fondamentales.....	185
8.2. Détermination des constantes d'un quadripôle.....	189
8.3. Circuit équivalent d'un quadripôle passif.....	193
8.4. Filtres électriques. Généralités	195
8.5. Bases de la théorie des filtres	197
8.6. Classification des filtres	200

IX. Phénomènes transitoires dans les circuits électriques	
linéaires.....	206
9.1. Introduction	206
9.2. Composantes forcées et libres des courants et des tensions.....	208
9.3. Première loi de commutation.....	211
9.4. Deuxième loi de commutation.....	212
9.5. Valeurs initiales avant et après la commutation	212
9.6. Valeurs initiales indépendantes et dépendantes (après la commutation).....	212
9.7. Les équations suivant les lois de Kirchhoff pour les courants et les tensions libres	213
9.8. Forme algébrique du système d'équations pour les courants libres.....	214
9.9. Etablissement de l'équation caractéristique du système ...	216
9.10. Considérations sur les racines des équations caractéristiques	219
9.11. Expression de la composante libre lorsque l'équation caractéristique n'a qu'une seule racine.....	220
9.12. Expression de la composante libre pour une équation caractéristique à deux racines réelles différentes	221
9.13. Expression de la composante libre en cas de deux racines complexes conjuguées.....	221
9.14. Généralités sur les méthodes d'analyse des phénomènes transitoires dans les circuits électriques linéaires	222
9.15. Détermination des constantes d'intégration dans la méthode classique.....	223
9.16. Introduction à la méthode d'opérationnelle.....	226
9.17. Les images des certaines fonctions.....	228
9.18. Loi d'Ohm sous forme opérationnelle. F.E.M. internes....	235
9.19. Les lois de Kirchhoff sous forme opérationnelle	237
9.20. Toutes les méthodes examinées dans les circuits électriques à courant continu sont utilisées pour établir les équations des images.....	240

9.21. Ordre des opérations du calcul pour la méthode opérationnelle	241
9.22. Image d'une fonction du temps écrite sous forme du rapport $N(p)/M(p)$ de deux polynômes en «p».....	244
9.23. Décomposition d'une fraction compliquée en fractions simples.....	245
9.24. Formule de décomposition	249
9.25. Etablissement de la formule de décomposition	249
X. Circuit magnétique et ses paramètres	256
10.1. Introduction	256
10.2. Loi du courant total (théorème d'Ampère).....	263
10.3. Loi d'Ohm. Lois de Kirchhoff.....	265
10.4. Analogie entre les circuits magnétiques et circuits électriques non linéaires	268
10.5. Calcul des circuits magnétiques	269
10.6. Phénomène d'auto induction et f.é.m. d'auto-induction. Inductance	273
10.7. Loi de Lenz. Action des champs magnétiques sur le courant	276
10.8. Force entre deux courants parallèles	279
XI. Transformateurs.....	280
11.1. Rôle des transformateurs	280
11.2. Définitions fondamentales.....	282
11.3. Principe de fonctionnement d'un transformateur	284
11.4. Marche à vide d'un transformateur	288
11.5. Transformateur en charge.....	291
11.6. Essai à vide d'un transformateur	293
11.7. Essai en court-circuit d'un transformateur	294
11.8. Rendement d'un transformateur	296
11.9. Transformateurs triphasés.....	298
11.10. Couplage des transformateurs en parallèle.....	301
11.11. Autotransformateurs	303
11.12. Transformateurs de mesure	306

11.13. Transformateurs de courant	307
11.14. Transformateurs de tension	307
XII. Machines électriques	308
12.1. Généralités	308
12.2. Machines à courant continu	308
12.3. Constitution d'une machine à courant continu	309
12.4. Forces électromotrices de l'induit	311
12.5. Couple et puissance d'une machine à courant continu....	312
12.6. Classification des machines à courant continu	314
12.7. Principe de fonctionnement d'une génératrice de courant continu (dynamo).....	316
12.8. Dynamo	317
12.9. Dynamo à excitation indépendante.....	318
12.10. Puissance et rendement d'une dynamo.....	321
12.11. Transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique.....	323
12.12. Moteurs à courant continu	324
12.13. Moteurs shunts.....	326
12.14. Caractéristiques de fonctionnement	328
12.15. Moteurs série (à excitation série).....	331
12.16. Moteurs à excitation composée	332
12.17. Puissances et rendement des machines électriques (moteurs).....	333
12.18. Comparaison des moteurs shunt et série.....	334
12.19. Moteurs asynchrones. Généralités.....	336
12.20. Champ tournant	338
12.21. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone	341
12.22. Rotor tournant. Glissement.....	342
12.23. Equations d'équilibres et schéma équivalent.....	344
12.24. Puissances, rendement et couple d'un moteur asynchrone	346
12.25. Equation mécanique	347
12.26. Caractéristiques des moteurs asynchrones	349
12.27. Moteur asynchrone à rotor en court-circuit	353

12.28. Démarrage des moteurs à rotor en court-circuit (à cage d'écoreuil).....	354
12.29. Propriétés des moteurs asynchrones et domaine de leur emploi.....	356
12.30. Moteur asynchrone à rotor bobiné.....	357
12.31. Machines synchrones. Généralités	359
12.32. Alternateurs synchrones	360
12.33. Caractéristique des alternateurs synchrones.....	363
12.34. Schéma équivalent et équation d'équilibre.....	365
12.35. Moteurs synchrones.....	366
12.36. Démarrage en asynchrones des moteurs synchrones.....	367
12.37. Compensateur synchrone.....	367
12.38. Modes d'amélioration du 'cosφ' des installations électriques comprenant les moteurs asynchrones.....	368
12.39. Propriétés des moteurs synchrones et domaines de leur emploi.....	368
XIII. Mesures électriques	370
13.1. Généralités.....	370
13.2. Appareils de mesure électrique. Constitution, classification et marquage des appareils de mesure	370
13.3. Calibre. Erreur absolue et l'erreur relative	375
13.4. Mesures de I, U, R, P.....	385
13.5. Compteur d'énergie électrique	391
13.6. Mesure du facteur de puissance.....	391
13.7. Mesure du flux magnétique	394
13.8. Mesure de l'induction magnétique, de l'intensité du champ magnétique et de la tension magnétique	398
13.9. Relevée de la courbe d'aimantation initiale et la boucle d'hystérésis à l'aide d'un galvanomètre balistique.....	401
13.10. Mesure des grandeurs magnétiques à l'aide d'un oscillographe.....	406
13.11. Mesure des grandeurs non électriques.....	407
13.12. Capteurs.....	408

13.13. Notions sur les télémessures	413
13.14. Mesures radio électroniques et appareils de mesure	418
13.15. Oscillographe électrique	424
13.16. Générateur de mesure	431
13.17. Unités de mesure	433
Bibliographie.....	437
Tables de matières.....	438

Bibliographie:

1. G.V. Zeveche. Teoria țepi. M.Ânerghia, 1985.
2. L.A. Bessonov. Teoreticeschie osnovă âlectrotehnichi, 1986.
3. A. Kassatkin et M. Pérécalin. Cours d'électrotechnique, Moscou, 1987.
4. L. Pasteuriaux et d'autres. Electricité industriel (Lois générales), Paris, 1966.
5. Guy Segulier, François Notelex. Electrotechnique industrielle, Paris, 1996.
6. A. Curchord et L. Wellard. Mémento d'électrotechnique, Paris, 1989.
7. A. Potâng. Analiza circuitelor electrice liniare în regim periodic sinusoidal și nesinusoidal. U.T.M. Chișinău, 1995.
8. A. Potâng. Procesele tranzitorii în circuite electrice liniare. Cuadripoluri și filtre electrice. Linii lungi. U.T.M. Chișinău, 2003.
9. A. Potâng. Indications méthodiques sur les travaux pratiques d'Electrotechnique. U.T.M. Chisinau, 2002.
10. V.S. Popov. Mesures électriques, Moscou, 1983.
11. E. Bouznic. Mesures électriques. Boumerdés, Algérie, 1978.
12. J. Thurin. Mesures électriques et électroniques, Paris, 1997.
13. J.C. Campbell. Eléments de télémessure industriels, Paris, 1987.