

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

VIBRATIONS

I. Généralités sur les vibrations

1. Mouvement général d'un système à un degré de liberté.....	2
2. Représentation du mouvement dans l'espace des phases.....	4
3. Lignes et points remarquables du plan des phases. Définition d'une vibration.....	5
4. Période et fréquence d'une oscillation. Vibrations linéaires et non linéaires.....	7
5. Cas particulier des oscillations linéaires.....	9
6. Oscillations linéaires dans un potentiel extérieur dépendant du temps.....	13
<i>Représentation dans le plan des phases.....</i>	15
<i>Cas particulier d'une force extérieure proportionnelle à la vitesse.....</i>	17

II. Oscillations libres et forcées de systèmes linéaires et non linéaires à un degré de liberté

1. Exemples d'oscillations libres de systèmes linéaires à un degré de liberté.....	19
1.1. Oscillations d'une masse rappelée à une position d'équilibre par des ressorts. Amortissement du mouvement.....	19
1.2. Oscillations d'un flotteur maintenu au centre d'un bassin par des ressorts....	21
1.3. Oscillations électriques d'un circuit : self-condensateur. Similitude des systèmes électriques et mécaniques.....	22
1.4. Amortissement des oscillations électriques d'un circuit : self-condensateur-résistance.....	25
<i>Coefficient de qualité du circuit oscillant.....</i>	26
<i>Constante de temps et décrement logarithmique. Mesure de Q.....</i>	28
2. Etude particulière de l'équation de l'oscillation libre amortie.....	29
3. Oscillations forcées. Résonance.....	30
3.1. Oscillations forcées d'un système sans amortissement.....	30
1. <i>Excitation par une fonction sinusoïdale commençant à l'instant $t = 0$. Résonance.....</i>	32
2. <i>La fonction d'excitation $e(t)$ a la forme d'une impulsion brève.....</i>	35
3.2. Oscillations forcées d'un système amorti.....	36
1. <i>Solution particulière correspondant aux oscillations forcées.....</i>	36
2. <i>Surtension à la résonance.....</i>	37
3. <i>Bande passante.....</i>	39
4. <i>Mesure du coefficient de qualité Q d'un circuit oscillant.....</i>	39
5. <i>Variations du déphasage entre $e(t)$ et $v(t)$.....</i>	40
6. <i>Bilan énergétique à la résonance.....</i>	40
4. Exemples d'oscillations d'un système non linéaire.....	41
4.1. Oscillations libres du pendule.....	41
<i>Cas des petites oscillations.....</i>	43
<i>Calcul de la période des oscillations pour une amplitude θ_0 quelconque.....</i>	43
<i>Représentation du mouvement dans le plan des phases.....</i>	44
4.2. Oscillations d'un wagonnet sur une voie de profil parabolique.....	46

III. Oscillations des systèmes à plusieurs degrés de liberté

1. Exemple du mouvement d'une bille dans un paraboloïde elliptique.....	48
1.1. Equations de mouvement par rapport aux axes principaux de la surface.....	48
1.2. Equations du mouvement par rapport à un système d'axes quelconques.....	50
2. Introduction d'une théorie matricielle du mouvement.....	51
2.1. Remarques préliminaires.....	51
2.2. Notion d'« espace vectoriel » et d'« espace fonctionnel ».....	52
<i>Espace vectoriel. Calcul de la norme d'un vecteur. Base orthonormée. Espace fonctionnel.</i>	
2.3. Formalisme des équations de Lagrange dans un espace fonctionnel.....	55
<i>Matrices et opérateurs linéaires. Dérivées. Equations du mouvement. Détermination des vecteurs propres de l'opérateur \mathcal{L}.</i>	
2.4. Cas du mouvement de la bille dans le paraboloïde elliptique.....	60
3. Exemples mécaniques et électriques de systèmes oscillants à deux degrés de liberté..	62
3.1. Mouvements du chariot suspendu.....	62
<i>Choix des paramètres. Cas de découplage des deux degrés de liberté. Calcul des fréquences propres d'oscillation.</i>	
3.2. Oscillations de deux circuits « self-conducteur » couplés.....	68

IV. Impédance

1. Notion générale d'impédance.....	73
1.1. Equivalence des équations de Lagrange et de la loi des mailles.....	73
1.2. Introduction de la notion d'impédance.....	75
1.3. Loi de composition des impédances.....	77
1.3.1. Association d'éléments de circuits en série.....	77
1.3.2. Association d'impédances en parallèle. Notion d'admittance.....	78
1.3.3. Association mixte en série et en parallèle.....	79
1.4. Application au cas du circuit double symétrique.....	81
2. Systèmes électromécaniques vibrants.....	84
2.1. Impédances mécaniques.....	84
2.2. Transducteurs électrodynamiques.....	85
2.3. Impédance motionnelle.....	87
2.3.1. Fonctionnement en émetteur.....	87
2.3.2. Rendement du transducteur.....	89
2.3.3. Fonctionnement en récepteur.....	89
2.4. Remarque sur la symétrie des termes de couplage. Couplage gyroscopique...	90
2.5. Transducteurs à couplage symétrique.....	92
3. Extension de la méthode du calcul des impédances à des excitations non sinusoïdales.....	95
3.1. Fonctions d'excitation $v(t)$ périodiques.....	96
3.2. Fonctions d'excitation $v(t)$ quelconques.....	98
3.3. Fonctions d'excitation $v(t)$ commençant à l'instant $t_0 = 0$. Transformée de Laplace.....	99

DEUXIÈME PARTIE

PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION

V. Propagation d'ondes dans les solides et dans les fluides

1. Structure des solides et types d'ondes susceptibles de s'y propager.....	104
1.1. Cristal idéalisé.....	104

1.2. Phénomène transitoire et état permanent	105
1.3. Ondes planes	107
2. Analogies mécaniques et électriques d'un solide parcouru par une onde plane	108
3. Solution des équations de propagation	111
4. Longueur d'onde et vitesse de phase. Notion de « Zone de Brillouin »	114
4.1. Zone de Brillouin	114
4.2. Longueur d'onde	115
4.3. Vitesse de phase	115
4.4. Diagramme de dispersion	116
5. Propagation de l'énergie. Impédance caractéristique du milieu	119
5.1. Vitesse de propagation de l'énergie	119
5.2. Impédance caractéristique	120
5.3. Représentation de la vitesse de l'énergie dans le diagramme de dispersion	122
6. Vitesse de groupe	123
6.1. Transmission de l'information	123
6.2. Groupe d'ondes	124
6.3. Limites de validité de la notion de vitesse de groupe	126
7. Ondes dans les solides réels	129
8. Ondes sonores dans les solides	132
9. Passage du discontinu au continu	133
9.1. Equation des cordés vibrantes	133
9.2. Cas des lignes électriques. Equation des télégraphistes	135
9.3. Généralisation. Equation d'onde de Helmholtz	136
10. Propagation des ondes sonores dans les fluides	136
10.1. Propriétés des fluides	136
10.2. Onde plane dans un fluide	138
10.3. Vitesse du son dans un fluide	139
10.4. Impédance caractéristique d'un fluide	140
11. Cas des milieux de dimensions finies. Ondes stationnaires	141
11.1. Phénomène de réflexion	141
11.2. Quantification	142
11.3. Retour à la théorie des systèmes oscillants à plusieurs degrés de liberté	144
11.4. Ondes stationnaires	148
11.5. Cas des milieux continus	148

VI. Equations de Maxwell ; propagation libre et guidée des ondes électromagnétiques

1. Les ondes électromagnétiques	152
1.1. Les paramètres électromagnétiques	152
1.2. Les équations de Maxwell	154
1.3. Démonstration mathématique de l'existence des ondes électromagnétiques	154
2. Propagation libre d'une onde électromagnétique plane	156
2.1. Onde électromagnétique plane	156
2.2. Transversalité de l'onde	157
2.3. Impédance caractéristique du milieu de propagation	157
2.4. Propagation de l'énergie. Vecteur de Poynting	158
2.5. Polarisation de l'onde	160
3. Réflexion et réfraction d'une onde T. E. M.	161
3.1. Conditions aux limites imposées par les équations de Maxwell	161
3.2. Onde T. E. M. incidente sur la surface de séparation de deux diélectriques	162
3.3. Variation du pouvoir réflecteur avec l'angle d'incidence. Réfraction totale	166
3.4. Réflexion totale	168
3.5. Réflexion sur un corps conducteur	169
4. Propagation d'une onde électromagnétique dans un corps conducteur : absorption et dispersion	171

4.1.	Facteur de propagation dans un milieu conducteur	171
4.2.	Absorption de l'onde	172
4.3.	Vitesse de phase et longueur d'onde	173
4.4.	Variation des parties réelles et imaginaires du facteur de propagation avec la fréquence	173
4.5.	Cas des basses fréquences	174
4.6.	Cas des hautes fréquences	176
4.7.	Signification physique de la fréquence caractéristique d'un corps conducteur..	177
5.	Propagation guidée des ondes électromagnétiques	178
5.1.	Définition générale des guides d'ondes	178
5.2.	Equations de propagation des ondes guidées	180
5.3.	Relation entre les composantes transversales et longitudinales des champs	182
5.4.	Guidage d'une onde par un plan conducteur	184
5.5.	Courant superficiel associé à l'onde. Mécanique physique du guidage de l'onde..	189
5.6.	Méthode pratique de calcul des guides d'ondes	192
5.7.	Exemple du guide d'onde rectangulaire	196
5.7.1.	Calcul des composantes du champ à l'intérieur du guide	196
5.7.2.	Modes d'ondes	199
5.7.3.	Facteur de propagation et fréquence de coupure	201
5.7.4.	Dispersion des guides d'ondes	202
5.7.5.	Affaiblissement du guide d'onde rectangulaire	204
5.8.	Cas particulier des guides d'ondes à deux conducteurs. Modes T. E. M. d'ondes guidées	207