



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 LA MACHINE ASYNCHRONE	5
1.1 MACHINES ÉLECTRIQUES : D'HIER À AUJOURD'HUI	
1.1.1 Courte histoire des machines électriques	7
1.1.2 Bataille de l'électricité versus bataille des machines électriques	8
1.1.3 Influence des machines électriques dans la bataille des fréquences	10
1.1.4 Classification des machines électriques	13
1.2 MACHINE ASYNCHRONE	
1.2.1 Construction	15
1.2.2 Champ magnétique tournant (CMT)	18
1.2.3 Fonctionnement	21
1.2.4 Bilan énergétique	22
1.3 PARAMÈTRES DE LA PLAQUE SIGNALÉTIQUE	
1.3.1 Bâti (<i>frame</i>)	26
1.3.2 Puissance	38
1.3.3 Vitesse	38
1.3.4 Tension	39
1.3.5 Intensité du courant	41
1.3.6 Facteur de puissance	42
1.3.7 Fréquence	42
1.3.8 Facteur de service	43
1.3.9 Rendement	44
1.3.10 Classe d'isolation	45
1.3.11 Conception (<i>design</i>)	46
1.3.12 Roulements	47
1.3.13 Enveloppe	49
1.3.14 Code	49
1.3.15 Autres indications	50
1.4 SPÉCIFICITÉS DES MOTEURS POUR ENTRAÎNEMENT À VITESSE VARIABLE	53
1.5 CIRCUIT ÉQUIVALENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE	55
1.6 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DE LA MACHINE ASYNCHRONE	
1.6.1 Caractéristique couple/vitesse	57
1.6.2 Zones de fonctionnement	60
1.6.3 Classification NEMA des moteurs	60
1.7 SCHÉMAS DE BRANCHEMENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE	64
1.8 RÉ-IDENTIFICATION DES CONDUCTEURS DE MOTEURS	
1.8.1 Ré-identification des conducteurs de moteurs à 6 fils	69
1.8.2 Ré-identification des conducteurs de moteurs à 9 fils	70

1.9	MOTEURS ET CODE CANADIEN DE L'ÉLECTRICITÉ	
1.9.1	Câblage, conducteurs et protection de moteurs	72
1.9.2	Exemple d'application du CCE aux moteurs	73
1.10	DÉPANNAGE ET ENTRETIEN DE LA MACHINE ASYNCHRONE	
1.10.1	Pannes les plus courantes	73
1.10.2	Charte de dépannage	74
1.10.3	Entretien du moteur à cage	77
1.10.4	Réparer ou remplacer le moteur?	79
1.10.5	Maintenance et gestion des moteurs	81
1.10.6	Test de la résistance d'isolation des moteurs électriques	81
1.11	EXERCICES AVEC SOLUTIONS SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS ASYNCHRONES	
1.11.1	Exercices sur les caractéristiques mécaniques	86
1.11.2	Exercices sur les paramètres de la plaque signalétique	105
1.11.3	Exercices sur les tests d'isolation	108
1.11.4	Exercice sur l'application du Code aux moteurs	109
CHAPITRE 2	HARMONIQUES ET QUALITÉ DE L'ÉNERGIE	113
2.1	CARACTÉRISATION DES HARMONIQUES	
2.1.1	Introduction aux harmoniques	115
2.1.2	Charges linéaires et charges non linéaires	116
2.1.3	Harmoniques et spectre harmonique	118
2.1.4	Harmoniques : THD, valeur efficace et facteur de crête (CF)	125
2.1.5	Facteur de puissance et facteur de puissance de déplacement	130
2.1.6	Effets des harmoniques	131
2.1.7	Interharmoniques et sous-harmoniques	132
2.2	HARMONIQUE 3	
2.2.1	Particularités de l'harmonique 3	133
2.2.2	Influence de l'harmonique 3 sur le choix des dimensions des câbles	141
2.2.3	Remèdes à l'harmonique 3 dans le réseau	141
2.3	TECHNIQUES DE FILTRAGE DES COURANTS HARMONIQUES	142
2.3.1	Pont triphasé à six impulsions	143
2.3.2	Pont triphasé à 12/18/24 impulsions versus pont triphasé à 6 impulsions	144
2.3.3	Filtrage avec des inductances	145
2.3.4	Filtres passifs	146
2.3.5	Filtres actifs	147
2.4	TRANSFORMATEURS À FACTEUR K	147
2.5	QUALITÉ DE L'ONDE DE TENSION FOURNIE PAR HYDRO-QUÉBEC	149
2.6	RELEVÉS EXPÉRIMENTAUX SUR L'IMPACT DES HARMONIQUES	151
2.7	EXERCICES AVEC SOLUTIONS SUR LES HARMONIQUES	155
CHAPITRE 3	VARIATEURS ÉLECTRONIQUES DE VITESSE	171
3.1	VARIATEURS DE VITESSE : D'HIER À AUJOURD'HUI	173
3.2	TYPES DE CHARGES	
3.2.1	Charge à couple constant	174
3.2.2	Charge à couple variable	175
3.2.3	Charge à puissance constante	176
3.2.4	Charge à puissance/couple constants et autres charges spéciales	177

3.3	VARIATEUR ÉLECTRONIQUE DE VITESSE À FRÉQUENCE VARIABLE	
3.3.1	Principe de base du variateur de vitesse à fréquence variable	179
3.3.2	Commande du variateur de vitesse à fréquence variable	180
3.3.3	Redresseur	181
3.3.4	Circuit intermédiaire	183
3.3.5	Onduleur	184
3.4	ASSOCIATION MOTEUR-VARIATEUR ÉLECTRONIQUE DE VITESSE	
3.4.1	Retour sur le schéma équivalent du moteur	194
3.4.2	Retour sur la caractéristique couple/vitesse du moteur	195
3.4.3	Rapport tension/fréquence et loi de commande à V/f constant	197
3.4.4	Fonctionnement à couple constant	198
3.4.5	Fonctionnement à couple constant et faible vitesse	201
3.4.6	Démarrage avec le variateur de vitesse	203
3.4.7	Fonctionnement à puissance constante	205
3.4.8	Limites de fonctionnement	210
3.4.9	Commande vectorielle et commande directe de couple	213
3.4.10	Gradateur/ <i>soft-starter</i> , principe et insuffisances	218
3.5	VARIATEUR DE VITESSE À FRÉQUENCE VARIABLE ET MOTEUR <i>INVERTER DUTY</i>	
3.5.1	Introduction	220
3.5.2	Temps de montée de l'impulsion et onde réfléchie	221
3.6	SÉLECTION DU VARIATEUR DE VITESSE À FRÉQUENCE VARIABLE ET DU MOTEUR	
3.6.1	Moteurs, variateurs de vitesse et normes	228
3.6.2	Adéquation du moteur avec le variateur de vitesse à fréquence variable	229
3.6.3	Adéquation du variateur de vitesse avec la charge	230
3.6.4	Sélection du moteur : standard ou <i>inverter duty</i>	230
3.7	APPLICATIONS ET AVANTAGES DE LA VITESSE VARIABLE	232
3.8	CONCLUSION	232
3.9	EXERCICES AVEC SOLUTIONS SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS ASYNCHRONES ASSOCIÉS AUX VARIATEURS DE VITESSE	233

CHAPITRE 4 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES 247

4.1	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE : D'HIER À AUJOURD'HUI	
4.1.1	Introduction	249
4.1.2	Aperçu sur les moteurs et la consommation d'énergie	249
4.2	ÉNERGIE, ÉLECTRICITÉ ET MOTEURS	
4.2.1	Le point sur l'énergie	250
4.2.2	Le point sur l'énergie électrique	251
4.2.3	Le point sur les moteurs électriques	252
4.3	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET NORMES DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE MINIMALE DES MOTEURS	
4.3.1	Le point sur l'efficacité énergétique en général	254
4.3.2	Norme de performance énergétique minimale (MEPS) en Amérique du Nord	255
4.3.3	Norme de performance énergétique minimale (MEPS) dans le monde	257
4.3.4	Performances des moteurs à 60 Hz versus 50 Hz	260
4.4	EFFICACITÉ ET CHARGE DU MOTEUR	
4.4.1	Charge du moteur et efficacité	263
4.4.2	Avantages et inconvénients du moteur sous-chargé	265
4.4.3	Efficacité et types de charges	267
4.4.4	Moteur NEMA Premium® et incidence de la vitesse	267
4.4.5	Facteur de puissance	268
4.4.6	Techniques d'estimation de la charge du moteur	268

4.5	MOTEURS EFFICACES : PERFORMANCES ET QUESTIONNEMENTS	
4.5.1	Moteurs NEMA Premium® : un investissement payant!	.271
4.5.2	Prix d'achat et coûts de fonctionnement des moteurs	.273
4.5.3	Faut-il arrêter les moteurs qui fonctionnent à vide?	.275
4.5.4	Réparation de moteurs et performances	.276
4.5.5	Durée de vie et coût du cycle de vie des moteurs	.276
4.6	MOTEURS ET VARIATEURS ÉLECTRONIQUES DE VITESSE	.278
4.6.1	Applications pour la vitesse variable.	.279
4.6.2	Lois d'affinité et efficacité énergétique	.279
4.7	EXERCICES AVEC SOLUTIONS SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES.	.287
	MÉDIAGRAPHIE	298
ANNEXE 1	TABLEAU DU RENDEMENT DES MOTEURS EPAct	299
ANNEXE 2	TABLEAU DU RENDEMENT DES MOTEURS NEMA PREMIUM®	300
ANNEXE 3	TABLEAUX DU RENDEMENT DES MOTEURS CEI	301
	TABLEAUX DU RENDEMENT DES MOTEURS À HAUTE EFFICACITÉ (EPAct)	302
	TABLEAUX DU RENDEMENT DES MOTEURS NEMA PREMIUM®	303
ANNEXE 4	ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ DES MOTEURS AVEC LA CHARGE	304
ANNEXE 5	ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ DES MOTEURS, DE 1944 À 2012	304
ANNEXE 6	PRIX DES MOTEURS PAR HP EN AMÉRIQUE DU NORD	305
ANNEXE 7	PRIX DES VARIATEURS DE VITESSE PAR HP EN AMÉRIQUE DU NORD	305
ANNEXE 8	ÉVOLUTION DU RENDEMENT DU MOTEUR, DU VARIATEUR DE VITESSE ET DU SYSTÈME MOTEUR – VARIATEUR DE VITESSE POUR DIFFÉRENTES FRÉQUENCES	306
	INDEX	307