

Electronique de puissance pour l'industrie et les transports 4

compatibilité électromagnétique

Nicolas Patin



ISTE
editions

© ISTE editions, 2014. Tous droits réservés. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de l'éditeur est formellement interdite.

Table des matières

Avant-propos	9
Nicolas PATIN	
Chapitre 1. Introduction à la CEM	11
1.1. Position du problème et définitions	11
1.2. Perturbations « naturelles »	13
1.2.1. Electricité statique	13
1.2.2. Foudre	14
1.2.3. Dispositifs de protection	16
1.3. Découpage en électronique de puissance	17
1.4. Découpage optimal	21
1.5. Aspect normatif	24
1.6. Bilan	26
Chapitre 2. Mécanismes à constantes localisées	27
2.1. Cadre d'étude	27
2.2. Perturbations par impédance commune	28
2.2.1. Flicker	29
2.2.2. Impédance de masse	29
2.3. Perturbations par couplage	32
2.3.1. Couplage inductif	32
2.3.2. Couplage capacitif	33
2.4. Modes de perturbations	36
2.4.1. Mode différentiel	37
2.4.2. Mode commun et représentation hexapolaire	38
2.4.3. Composants parasites pour les interrupteurs	39

2.4.3.1. Transistor MOSFET	39
2.4.3.2. Diode	40
2.4.3.3. Cellule de commutation « bras de pont »	41
2.5. Modélisation de l'environnement du convertisseur	41
2.5.1. Modélisation des câbles	41
2.5.2. Modélisation d'un transformateur	42
2.5.3. Modélisation d'une machine triphasée	43
2.5.4. Modélisations en T ou en II des quadripôles	47
2.6. Filtrage	49
2.6.1. Mode différentiel	49
2.6.1.1. Filtre <i>LC</i>	49
2.6.1.2. Problème de stabilité	51
2.6.2. Mode commun	51
2.6.3. Limitations et difficultés de conception	52
2.6.4. Complément bibliographique	53
2.7. Aspect expérimental	54
2.7.1. Réseau stabilisé d'impédance de ligne (RSIL)	54
2.7.2. Analyseur de spectre	55
2.7.3. Impédancemétrie	58

Chapitre 3. Mécanismes à constantes réparties

3.1. Eléments d'électromagnétisme	61
3.1.1. Notice	61
3.1.2. Equations de Maxwell	61
3.1.3. Notions de potentiels scalaire et vectoriel	62
3.1.4. Conditions initiales	63
3.2. Propagations guidées	64
3.2.1. Introduction	64
3.2.2. Paramètres d'un câble coaxial	64
3.2.3. Equations des lignes	67
3.2.3.1. Mise en équation d'un tronçon de ligne	67
3.2.3.2. Equation des télégraphistes	68
3.2.3.3. Régime harmonique	68
3.2.4. Impédance ramenée par un tronçon de ligne	69
3.2.4.1. Impédance et plan de référence	69
3.2.4.2. Intégration de la ligne entre une source et sa charge	69
3.2.4.3. Notion d'adaptation d'impédance	72
3.2.4.4. Puissance et adaptation d'impédance	73
3.2.4.5. Notion d'onde stationnaire	74
3.2.4.6. Abaque de Smith	76
3.2.4.7. Adaptation d'impédance en électronique de puissance	76
3.2.5. Quadripôles et paramètres « S »	78

3.2.5.1. Définitions	78
3.2.5.2. Utilité des paramètres « S »	79
3.2.5.3. Analyseur de réseau	81
3.2.5.4. Relations de passage	83
3.2.6. Régime transitoire	85
3.2.6.1. Cadre de l'électronique de puissance	85
3.2.6.2. Réflexions sur circuit ouvert ou court-circuit	85
3.2.6.3. Diagramme de Bergeron	87
3.2.6.4. Réflectométrie temporelle	89
3.2.6.5. Cas des charges réactives	89
3.3. Propagation en espace libre	90
3.3.1. Equation d'onde	90
3.3.2. Vitesse, fréquence et longueur d'onde	93
3.3.3. Impédance d'onde	93
3.3.4. Loi de Biot et Savart	96
3.3.5. Principes d'émission	97
3.3.5.1. Rayonnement d'une antenne dipolaire	97
3.3.5.2. Diagramme de rayonnement en champ lointain et résistance d'antenne	100
3.3.5.3. Rayonnement en champ proche	102
3.3.5.4. Cas du dipôle magnétique	104
3.4. Perturbations rayonnées naturelles	105
3.5. Protections	106
3.6. Aspect expérimental	107
3.7. Que faire de ces informations ?	110

Annexe A. Formulaire pour l'électrotechnique et l'électromagnétisme

113

Annexe B. Eléments d'analyse spectrale

127

Bibliographie

157

Index

163

Si le fonctionnement en régime de commutation des composants électroniques permet de réduire l'encombrement et les pertes (dans les convertisseurs de puissance en général et les alimentations à découpage en particulier), il génère aussi des nuisances de type électromagnétique dans son environnement proche.

Electronique de puissance pour l'industrie et les transports 4 se consacre à la compatibilité électromagnétique. Il présente les sources de perturbation et le signal en créneaux, modélisation spectrale de la perturbation générique. Les mécanismes de propagation des perturbations dites « à constantes localisées », par des couplages tels qu'une impédance commune, une capacité parasite ou une mutuelle, et « à constantes réparties », pour lesquelles le caractère spatio-temporel doit être pris en compte, sont également traités.

Cet ouvrage propose également des éléments d'analyse spectrale qui contiennent entre autres l'inégalité de Heisenberg-Gabor, très utile pour la compréhension de l'étalement spectral des signaux de type MLI.

L'auteur

Maître de conférences à l'université de technologie Compiègne, Nicolas Patin mène des recherches sur les stratégies MLI pour les onduleurs embarqués (véhicules électriques et hybrides) ainsi que sur le vieillissement des condensateurs électrolytiques.

ISTE
editions

