



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

UFR : Signaux Systèmes et Composants



Thèse

Présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR

Discipline : **physique**

Spécialité : **Signaux, Systèmes et Composants**



Par : **ZARED KAMAL**

TP
LES

Sujet de la thèse

**Conception optimale de régulateurs linéaires
à faible chute de tension « LDO » pour les
systèmes Full On-Chip en téléphonie mobile**

Soutenue le : 27 Février 2014

Devant le Jury :

Président	: Mohcine ZOUAK	Professeur	FST, Fès
Rapporteurs	Mostafa MRABTI	Professeur	ENSA, Fès
Examineurs	: Mhammed LAHBABI	Professeur	FST, Fès
	Ahmed GHALLABI	Professeur	Nantes, France
	Abdellah AARAB	Professeur	FSDM, Fès
Directeur de thèse	: Hassan QJIDAA	Professeur	FSDM, Fès

Résumé

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans la thématique de gestion d'alimentation (Power Management) pour les systèmes embarqués alimentés par batterie. Cette étude porte sur la conception optimale d'un régulateur linéaire intégré de type LDO en technologie CMOS 0.18 μm en améliorant les performances de régulation et de stabilité. Nous concentrons sur l'intégration des composants passifs du régulateur sur la même puce de silicium. Dans un premier temps, nous avons effectué une analyse d'un régulateur LDO conventionnel. Nous notons que ses performances de régulation sont garanties par l'attachement d'un condensateur en céramique ou en tantale à sa sortie. Cependant, ces condensateurs qui sont utilisés pour stabiliser le système et minimiser les fluctuations de sa tension de sortie pendant la réponse transitoire présentent un obstacle d'intégration de haute densité à cause de leur faible capacité par unité de surface. Pour cela, nous avons exploité et implémenté des condensateurs de forte capacité par unité de surface dites MOSCAP (Metal-Oxide-Semiconductor Capacitor) afin d'améliorer les performances et la conception d'une structure proposée du régulateur LDO intégré dit « Full-on-Chip ». La structure proposée est stable sans l'existence d'un condensateur externe, ainsi que ses performances de régulation ont été améliorées.

Dans une seconde partie, nous avons proposé une technique qui permet de garantir la linéarité de la capacité du condensateur MOSCAP utilisé. Ensuite, nous avons proposé une approche dite « NMC-MOSCAP » afin d'améliorer les performances de régulation, de stabilité et de réduire la surface occupée par la structure proposée sur la puce du power management. Les performances des structures proposées du régulateur LDO intégré ont été interprétées théoriquement et confirment les résultats de simulation. Le système de régulation intégré est stable sans l'exigence d'un condensateur attaché à la sortie.

Dans la dernière partie de ce mémoire, nous avons traité les techniques de protection de différents risques qui peuvent être provoqués par l'environnement d'implantation et de la charge commandée.

Mot Clés : *LDO, Technologie CMOS, Condensateur MOSCAP, NMC-MOSCAP, Full-on-Chip.*

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Productions Scientifiques	iii
Table des matières	iv
Liste des figures	i
Liste des tableaux	v
Liste des symboles et des acronymes	vi
Liste des acronymes.....	viii
Introduction générale.....	14
Chapitre 1 Régulateur LDO: Caractéristiques et Performances.....	19
1. Contexte et motivation.....	19
2. Régulateur de commutation	21
3. Régulateur linéaire à faible chute de tension : LDO.....	22
4. Spécifications des régulateurs LDO.....	23
4.1 Plages de fonctionnement.....	24
4.1.1 Drop-out	24
4.1.2 Tension de déchet.....	25
4.2 Stabilité d'un régulateur LDO	26
4.3 Performances de régulation	28
4.3.1 Précision du régulateur LDO	28
4.3.1.1 Régulation de ligne (Line Regulation).....	28
4.3.1.2 Régulation de charge (Load Regulation)	29
4.4 Atténuation de perturbations	30
4.4.1 Atténuation d'alimentation.....	30
4.4.2 Bruit de sortie.....	31
4.4.3 Dépendance en température	32
4.5 Précision totale	33
4.6 Rendement en puissance.....	34
5. Conclusion.....	35

Chapitre 2 Régulateur LDO conventionnel « Topologies des composants et optimisation des performances »	36
1. Analyse des conditions de fonctionnement du régulateur LDO	36
1.1 Analyse AC	36
1.1.1 Conditions de charge.....	36
1.1.2 Réponse fréquentielle.....	38
1.1.3 Les défis de la conception d'une structure performante	41
1.1.3.1 La stabilité.....	41
1.1.3.2 Performance de régulation de charge.....	42
1.2 Analyse transitoire	42
2. Topologies du transistor de puissance	46
3. Conception de l'amplificateur d'erreur	49
4. Référence de tension	50
5. Conclusion.....	51
Chapitre 3 Les topologies de régulateurs LDO	52
1. Topologie des régulateurs linéaires séries	52
1.1 Structure du régulateur LDO à transistor de puissance NMOS.....	52
1.2 Structure du régulateur LDO à transistor de puissance PMOS	55
1.3 Comparaison	56
1.4 Structure d'un régulateur LDO avec un buffer.....	56
2. Structure cascade du régulateur LDO	58
3. Structure mixte du régulateur LDO	59
4. Structure proposée du régulateur LDO	61
5. Conclusion.....	62
Chapitre 4 Amélioration des performances du Régulateur LDO : Première Structure Proposée.....	63
1. Rendement et vitesse de balayage.....	63
1.1 Contrainte d'amélioration.....	63
1.2 Amélioration de la vitesse de balayage	64
1.3 Amélioration du rendement du régulateur LDO.....	64
2. Structure 1 proposée du régulateur LDO en technologie CMOS.....	66

2.1	Amélioration du courant de repos et vitesse de balayage.....	68
2.2	Réponse transitoire	70
2.3	Réponse fréquentielle	71
2.3.1	Principe de compensation d'un régulateur linéaire	71
2.3.2	Stabilité par compensation externe	76
2.4	Amélioration du PSRR de la structure proposée	82
2.5	Simulations et vérification.....	86
2.5.1	Drop-out du régulateur	86
2.5.2	Régulation de charge (Load regulation).....	87
2.5.2.1	Régulation de charge statique (DC Load Regulation)	87
2.5.2.2	Régulation de charge transitoire (AC Load Regulation)	88
2.5.3	Régulation de ligne (Line Regulation)	90
2.5.3.1	Régulation de ligne statique (DC Line Regulation).....	90
2.5.3.2	Régulation de ligne transitoire (AC Line-Regulation)	91
2.5.4	Courant de repos	92
2.5.5	Rejection d'alimentation (PSRR).....	93
2.5.6	Bruit	94
3.	Conclusion.....	95
Chapitre 5 Structure 2 Proposée du Régulateur LDO « Full on-Chip » en Technologie CMOS 0.18 μ m		97
1.	Structure 1 proposée en technologie CMOS 0.18 μ m	97
1.1	La technologie CMOS 0.18 μ m.....	98
1.2	Régulateur LDO proposé à Compensation intégré « Full on-Chip »	98
1.3	Condensateur MOSCAP	100
1.4	Structure 2 du Régulateur LDO proposé à compensation intégrée [62].....	102
1.4.1	Transistor de puissance PMOS	103
1.4.2	Amplificateur d'erreur	104
1.4.3	Analyse fréquentielle	107
1.4.4	Réponse fréquentielle.....	109
1.4.5	Réponse transitoire.....	110
1.5	Avantage de la compensation par MOSCAP	111
2.	Structure 2 proposée « full-on-chip » à performances améliorées	113

2.1	Technique proposée.....	113
2.2	Linéarité de capacité du condensateur MOSCAP	115
2.3	Validation des performances de la structure proposée	116
2.3.1	Rendement énergétique.....	116
2.3.2	Stabilité du système	117
2.3.3	Amélioration du PSRR.....	121
3.	La protection du système de régulation	126
3.1	Limiteur de courant	126
3.2	Limiteur de courant proposé.....	131
3.3	Protection thermique	134
3.4	Protection contre inversement de batterie (inversion de polarisation)	136
3.4.1	Protection par une diode en série	136
3.4.2	Protection par commutation.....	137
4.	Résultats de simulation	138
4.1	Régulation de ligne.....	138
4.1.1	Régulation de ligne statique (DC).....	139
4.1.2	Régulation de ligne transitoire (AC).....	139
4.2	Régulation de charge (Load Regulation).....	140
4.2.1	Régulation de charge statique (DC Load Regulation)	140
4.2.2	Régulation de charge transitoire (AC Line Regulation)	141
4.2.3	Bruit de sortie.....	142
4.2.4	Précision du système.....	143
5.	Conclusion.....	144
Chapitre 6 Optimisation du Routage et d'interconnexion de la Structure 2 Proposée		145
1.	Schéma bloc de la structure proposée.....	145
2.	Routage et conception physique de la structure proposée	146
2.1	Minimisation du bruit généré par le circuit de la référence de tension	148
2.2	Stress physique	149
3.	Conclusion.....	151