



# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Σχεδιασμός κυκλωμάτων για το AFE ενός RFID**

**Desing of the AFE circuits for a RFID**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

των

**Μπατζιάκα Αθανασία**

**Μπίτου Χριστίνα**

Βόλος, 2014



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Σχεδιασμός κυκλωμάτων για το AFE ενός RFID**

**Desing of the AFE circuits for a RFID**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

**Μπατζιάκα Αθανασία**  
**Μπίτου Χριστίνα**

**Επιβλέποντες:** Σταμούλης Γεώργιος Πλέσσας Φώτιος

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Σταμούλης Γεώργιος

.....  
Πλέσσας Φώτιος

.....  
Μπατζιάκα Αθανασία

Προπτυχιακή φοιτήτρια  
του τμήματος Η.Μ.Μ.Υ του Π.Θ

.....  
Μπίτου Χριστίνα

Προπτυχιακή φοιτήτρια  
του τμήματος Η.Μ.Μ.Υ του Π.Θ

©2014 - All rights reserved.

Copyright © Μπατζιάκα Αθανασία, Μπίτου Χριστίνα , 2014.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό θα πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών .

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τα αναλογικά κυκλώματα ενός RFID συστήματος. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία του RFID συστήματος καθώς και ποιά είναι τα συστατικά του μέρη, όπως και η χρήση τους στη συνολική λειτουργία του συστήματος. Τα συστατικά μέρη του RFID συστήματος που περιγράφονται αναλυτικά είναι ο RFID transponder ή tag, ο RFID transceiver ή reader, η RFID antenna και το RFID middleware. Έπειτα στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του RFID συστήματος.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο προχωράμε στο εσωτερικό του RFID transceiver, το οποίο διακρίνεται σε έναν αναλογικό πυρήνα και έναν ψηφιακό πυρήνα. Εδώ περιγράφεται η λειτουργία κάθε πυρήνα και μετά επικεντρωνόμαστε στα κυκλώματα του αναλογικού πυρήνα. Τα οποία είναι ο Rectifier, ο RF Voltage limiter, το Power On Reset, ο Low-drop-out (LDO) voltage regulator, το Master-Bias voltage reference, το Voltage reference, το Wide-swing Current Source, ο Capacitance to digital converter, ο Clock Extractor και ο Modulator and Demodulator. Όσον αφορά αυτή την εργασία ασχοληθήκαμε με τα πέντε πρώτα κυκλώματα, τα οποία είναι και τα πιο σημαντικά για την λειτουργία του συστήματος.

Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο υλοποιούμε τα κυκλώματα του Rectifier, του Rf voltage limiter, του Rf voltage limiter, του Power On Reset, του Low-drop-out (LDO) voltage regulator στο ADS. Έπειτα ενώσαμε βήμα βήμα αυτά τα κυκλώματα για να δημιουργήσουμε τον αναλογικό πυρήνα. Δηλαδή, υλοποιήσαμε το κύκλωμα του Rf voltage limiter-Rectifier και το κύκλωμα του Rf voltage limiter-Rectifier-Power On Reset. Επιλέξαμε ολόκληρο το σύστημα να λειτουργεί στα 1.8 V και γι αυτό τον λόγο έχουμε προσαρμόσει και τις κατάλληλες τιμές. Επίσης αυτό φαίνεται και στις γραφικές παραστάσεις των κυκλωμάτων μετά την προσομοίωσή τους στο ADS.

## Ευχαριστίες

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας θέλουμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους μας στήριξαν και μας καθοδήγησαν μέχρι και σήμερα καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μας στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Σταμούλη.

Αλλά ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε στον καθοδηγητή της παρούσας εργασίας κ. Φώτιο Πλέσσα για την απρόσκοπτη επικοινωνία και συμβολή των γνώσεών του αλλά και της υποστήριξης του καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	13
<i>ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ RFID</i> .....	13
1.1 Βασικές συνιστώσες του συστήματος .....	13
1.1.1 RFID transponder ή tag.....	14
1.1.2 RFID transceiver ή reader.....	15
1.1.3 RFID antenna.....	17
1.1.4 RFID middleware.....	18
1.2 Λειτουργία του συστήματος .....	19
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός RFID συστήματος .....	20
1.3.1 Πλεονεκτήματα.....	20
1.3.2 Μειονεκτήματα.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	22
<i>ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ RFID</i> .....	22
2.1 Αρχιτεκτονική συστήματος .....	22
2.1.1 Rectifier.....	24
2.1.1.α Full-wave rectifier.....	24
2.1.1.β Half-wave rectifier.....	26
2.1.1.γ Voltage multiplying rectifier.....	27
2.1.2 Υλοποίηση Full-wave rectifier.....	28
2.1.3 RF Voltage limiter.....	29
2.1.4 Power On Reset.....	31
2.1.5 Low-drop-out (LDO) voltage regulator.....	33
2.1.6 Master-Bias voltage reference .....	37
2.1.7 Voltage references .....	37
2.1.8 Wide-swing Current Source .....	37
2.1.9 Capacitance to digital converter .....	37
2.1.10 Clock Extractor .....	38
2.1.11 Modulator and Demodulator .....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	39
<i>ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ADS</i> .....	39
3.1 Rectifier .....	39

3.2 Rf voltage limiter .....	42
3.3 Power On Reset .....	46
3.4 Low-drop-out (LDO) voltage regulator .....	50
3.5 Rf voltage limiter-Rectifier .....	54
3.6 Rf voltage limiter-Rectifier-Power On Reset .....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	59
<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ</i> .....	59
4.1 Συμπεράσματα .....	59
4.2 Μελλοντικές βελτιώσεις.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ .....	60

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σχήμα1.1: Οι πιο σημαντικές auto-ID διαδικασίες .....	11
Πίνακας1.1: Διαφορές active-RFID με passive RFID .....	12
Σχήμα1.2: RFID tag .....	14
Σχήμα1.3: RFID reader .....	15
Σχήμα1.4: RFID antenna .....	17
Σχήμα1.5: RFID middleware .....	18
Σχήμα1.6: Λειτουργία ενός RFID system .....	19

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχήμα2.1: Αρχιτεκτονική του Transponder .....	22
Σχήμα2.2: Full-wave rectifier .....	24
Σχήμα2.3: Full-wave rectification .....	25
Σχήμα2.4: Half-wave rectifier .....	26
Σχήμα2.5: Half-wave rectification .....	26
Σχήμα2.6: Voltage multiplying rectifier .....	27
Σχήμα2.7: Voltage multiplying rectifier circuit .....	28
Σχήμα2.8 RF voltage limiter .....	29
Σχήμα2.9: Power On Reset circuit .....	31
Σχήμα2.10: LDO .....	33
Σχήμα2.11: LDO circuit .....	35

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχήμα3.1 : full-wave rectifier .....	39
Σχήμα3.2 : Pos_in .....	40
Σχήμα3.3 : Neg_in .....	40
Σχήμα3.4: έξοδος rectifier .....	41
Πίνακας3.1 : Full-wave rectifier transistor sizes .....	42
Σχήμα3.5 : rf voltage limiter .....	43
Σχήμα3.6 : RF_in .....	44
Πίνακας3.2 : rf voltage limiter transistor sizes .....	45
Σχήμα 3.7 : power on reset .....	46



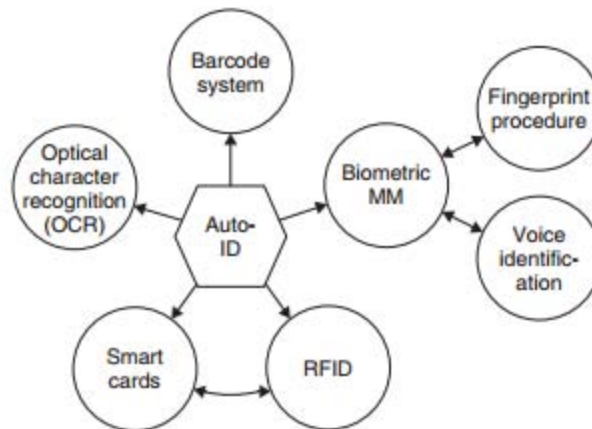
Σχήμα3.8 : V+	47
Σχήμα3.9 : Out of PoR	47
Πίνακας 3.3 : gates transistor sizes	48
Πίνακας3.4 : Power-on-reset transistor sizes	49
Σχήμα3.10 : LDO	50
Σχήμα 3.11 : Vref	51
Σχήμα 3.12 Vreg	52
Σχήμα 3.13 VBias	52
Σχήμα 3.14VDD	53
Πίνακας3.5 LDO transistor sizes	53
Σχήμα3.15 Limiter-Rectifier	54
Σχήμα3.16 Out limiter-rectifier	55
Σχήμα3.17 limiter-rectifier-PoR	56
Σχήμα3.18 recout	57
Σχήμα3.19Out limiter-rectifier-PoR	57

## Εισαγωγή

RFID σημαίνει αναγνώριση ραδιοσυχνότητας (Radio frequency identification), δηλαδή η τεχνολογία που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για να προσδιορίσει αυτόματα ξεχωριστά αντικείμενα. Ο σκοπός κάθε συστήματος RFID είναι η μεταφορά δεδομένων σε κατάλληλους αναμεταδότες, μια διαδικασία γνώση ως ‘tags’, και η ανάκτηση των δεδομένων μέσω ενός μηχανήματος ανάγνωσης μέσα σε κατάλληλο χρόνο και τόπο για να ικανοποιήσει τις συγκεκριμένες ανάγκες της εφαρμογής. Πρόκειται λοιπόν για μια μικρή συσκευή που μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορίες. Ο RFID reader είναι μια συσκευή που μπορεί να λαμβάνει και να μεταδίδει ένα ραδιοσήμα και είναι φτιαγμένος για να κωδικοποιεί τα δεδομένα που βρίσκονται στο tag του μικροεπεξεργαστή.

Τα τελευταία χρόνια οι διαδικασίες αυτόματης αναγνώρισης (Auto-ID) έχουν γίνει πολύ δημοφιλή σε πολλούς κλάδους υπηρεσιών, όπως στις κατασκευαστικές εταιρίες, στα συστήματα ροής υλικού και στις βιομηχανίες, αλλά και στον ακαδημαϊκό κόσμο. Στις σύγχρονες ακαδημαϊκές βιβλιοθήκες εκατομμύρια βιβλία, περιοδικά, CDs, DVDs, και άλλα ηλεκτρονικά είδη ανάγνωσης διαχειρίζονται με αυτόν τον τρόπο. Επίσης η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται ευρέως στην κρυπτογραφία, τις τηλεπικοινωνίες και σε πολλούς άλλους συναφείς τομείς. Τέλος υπάρχουν αυτόματες διαδικασίες αναγνώρισης που παρέχουν πληροφορίες για τους ανθρώπους, τα ζώα, τα εμπορεύματα και τα εμπορεύματα υπό μεταφορά.

Στο παρακάτω σχήμα 1.1 φαίνονται οι σημαντικότερες διαδικασίες που χρησιμοποιούν auto-ID.



Σχήμα1.1 Οι πιο σημαντικές auto-ID διαδικασίες

Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται από την δεκαετία του 1970. Υπάρχουν τρία είδη συστημάτων RFID, τα ενεργά (active), τα ημι-ενεργά (semi-active) και τα παθητικά (passive). Τα active RFID χρησιμοποιούν μια εσωτερική πηγή ενέργειας (μπαταρία) μέσα στο tag για να τροφοδοτεί συνεχώς το κύκλωμα, ενώ τα passive RFID βασίζονται στην ενέργεια RF που μεταφέρεται από τον reader στο tag για να τροφοδοτήσει το tag. Τα passive RFID απαιτούν ισχυρότερα σήματα από τον reader, και η ισχύς του σήματος που επιστρέφεται από το tag περιορίζεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Τα active RFID επιτρέπουν να γίνονται δεκτά από το tag πολύ χαμηλά σήματα (επειδή ο reader δεν χρειάζεται να τροφοδοτεί το tag) και το tag μπορεί να παράγει ένα υψηλό σήμα και να το στείλει πίσω στον reader. Επιπλέον, τα active RFID tags τροφοδοτούνται συνεχώς άσχετα αν βρίσκονται ή όχι κοντά στον reader. Επίσης υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις τα active tags μπορούν να ξεκινήσουν επικοινωνία με έναν reader (ή tag). Τα ενεργά συστήματα μπορούν να μεταδώσουν ένα σήμα σε πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια από τα παθητικά συστήματα και είναι λιγότερο επιρρεπή σε λάθη. Γι' αυτό είναι και πολύ πιο ακριβά. Λόγω κόστους συνήθως επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε passive RFID συστήματα.

Στον παρακάτω πίνακα 1.1 φαίνονται οι διαφορές των active και passive συστημάτων.

	Active RFID	Passive RFID
Ισχύς	Εσωτερική μπαταρία	Όχι εσωτερική μπαταρία
Απαιτούμενη ισχύς σήματος	Χαμηλή	Υψηλή
Εύρος επικοινωνίας	Μεγάλο εύρος (100m +)	Μικρό εύρος (3m)
Εύρος αποθήκευσης δεδομένων	Μεγάλο read/write data (128kb)	Μικρό read/write data (128b)
Κόστος ανα tag	περίπου 15\$-100\$	περίπου 0.15\$-5\$
Μέγεθος tag	Διαφέρει αναλόγως την εφαρμογή	“Sticker” σε μέγεθος πιστωτικής κάρτας
Σταθερό κόστος υποδομής	Lower – cheaper interrogators	Higher – fixed readers
Εφαρμογές	Αντιπροσωπείες αυτοκινήτων, βιομηχανίες, Νοσοκομεία, εντοπισμός περουσιακών στοιχείων, κατασκευές, εργαστήρια, απομακρυσμένη παρακολούθηση	Καταστήματα, βιβλιοθήκες, φαρμακευτικά προϊόντα, διαβατήρια, τηλεδιόδια, παρακολούθηση θέσης

Πίνακας 1.1 Διαφορές active-RFID με passive RFID

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα ασχοληθούμε με τον σχεδιασμό των αναλογικών κυκλωμάτων ενός RFID reader. Συγκεκριμένα στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 περιγράφονται όλα τα κυκλώματα ενός RFID συστήματος και ειδικά το κύκλωμα του voltage limiter, του rectifier, του PowerOnReset και του Low-drop-out (LDO) voltage regulator. Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 υλοποιούνται αυτά τα κυκλώματα στο ADS και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ RFID

### 1.1 Βασικές συνιστώσες του συστήματος

Όλα τα συστήματα RFID αποτελούνται από τέσσερα κύρια συστατικά :

- το RFID *tag*, ( ή *transponder* ) το οποίο βρίσκεται στο αντικείμενο που πρόκειται να ταυτοποιηθεί και είναι ο μεταφορέας δεδομένων στο σύστημα.
- ο RFID *reader* ( ή *transceiver* ) που μπορεί να διαβάσει και να γράψει δεδομένα στον *transponder*.
- μία κεραία ( *antenna* ) που συνδέεται με τον *reader* για να επικοινωνεί με τους *transponders*.
- το υποσύστημα επεξεργασίας δεδομένων ( *data processing subsystem* ), ( ή *middelware* ) το οποίο χρησιμοποιεί τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον *transceiver* με κάποιον χρήσιμο τρόπο. Συμπιέζει τα χιλιάδες σήματα *tag* σε μία ενιαία ταυτοποίηση και δρα επίσης ως διάυλος μεταξύ των στοιχείων του RFID συστήματος και της εφαρμογής του πελάτη.

### 1.1.1 RFID transponder ή tag

Στο Σχήμα1.2 φαίνεται ένα RFID tag.

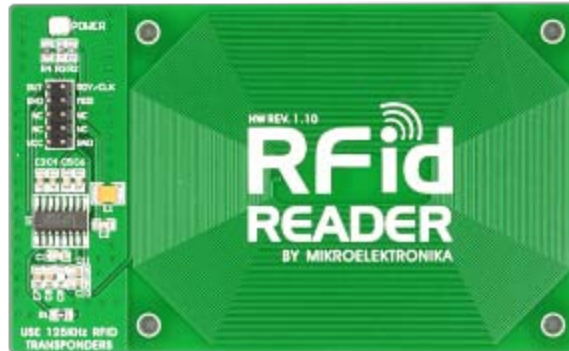


Σχήμα1.2 RFID tag.

Η καρδιά ενός συστήματος RFID είναι ο φορέας δεδομένων που ονομάζεται tag. Το σχέδιο και ο τρόπος λειτουργίας του tag διαφέρουν ανάλογα με το εύρος συχνοτήτων, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις κεραίες. Οι τυπικοί transponders αποτελούνται από ένα μικροτσίπ με ένα μοναδικό ID. Αυτό μπορεί να συνδεθεί με τις πληροφορίες σε μία βάση δεδομένων. Οι transponders μπορεί να είναι είτε active είτε passive. Οι active transponders έχουν μια “on-tag” παροχή ενέργειας (όπως μία μπαταρία) και στέλνουν ένα RF σήμα, ενώ οι passive transponders αποκτούν όλη την ενέργειά τους από το σήμα του transceiver. Οι περισσότεροι transponders,passive και active, επικοινωνούν μόνο όταν ερωτηθούν από τον transceiver.

### 1.1.2 RFID transceiver ή reader

Στο Σχήμα1.3 φαίνεται ένας RFID reader.



Σχήμα1.3 RFID reader

Οι κλασσικοί transceivers αποτελούνται από μία μονάδα ραδιοσυχνοτήτων, μία μονάδα ελέγχου, και ένα στοιχείο σύζευξης για να εξετάσουν τα electronic tags μέσω της επικοινωνίας των ραδιοσυχνοτήτων. Επιπλέον πολλοί transceivers είναι εφοδιασμένοι με μία διεπαφή που τους επιτρέπει να επικοινωνούν τα δεδομένα που έχουν λάβει σε ένα υποσύστημα διαχείρισης δεδομένων πχ μία βάση δεδομένων που υπάρχει σε έναν προσωπικό υπολογιστή. Όταν ένας transponder μπαίνει στην ηλεκτρομαγνητική περιοχή του, ο reader ανιχνεύει το σήμα ενεργοποίησης. Η χρήση των ραδιοσυχνοτήτων για την επικοινωνία με τους transponders επιτρέπει τους RFID readers να διαβάσουν τα passive RFID tags σε μικρές έως μεσαίες αποστάσεις και τα active RFID tags σε μικρές έως μεγάλες αποστάσεις, ακόμα όταν τα tags δεν είναι ορατά. Έπειτα ο RFID reader αποκωδικοποιεί τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του transponder(τσιπ πυριτίου) και τα μεταδίδει ανάλογα με την εφαρμογή σε ένα host system.

Ο reader, κατά συνέπεια, είναι το κύριο συστατικό του συστήματος που είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση του transponder και επομένως για την έναρξη της επικοινωνίας των δεδομένων.

Οι RFID readers διαφοροποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, το κυριότερο των οποίων είναι αν είναι σταθεροί ή κινητοί. Οι σταθερές συσκευές προορίζονται για την ενσωμάτωση σε υπάρχοντα συστήματα και είναι το συνηθέστερο είδος. Τα δεδομένα που έχουν εντοπιστεί μπορούν να σταλθούν στον host με standar interfaces όπως RS232, Ethernet ή USB. Οι κινητοί readers χρησιμεύουν για την ανίχνευση των δεδομένων σε διάφορα αντικείμενα και είναι αξιολογώτα για την πυκνότητά τους. Η μεταφορά δεδομένων στον host γίνεται μέσω wireless standards όπως WLAN ή DECT.



### 1.1.3 RFID antenna

Στο Σχήμα1.4 φαίνεται μία RFID antenna.



Σχήμα1.4 RFID antenna

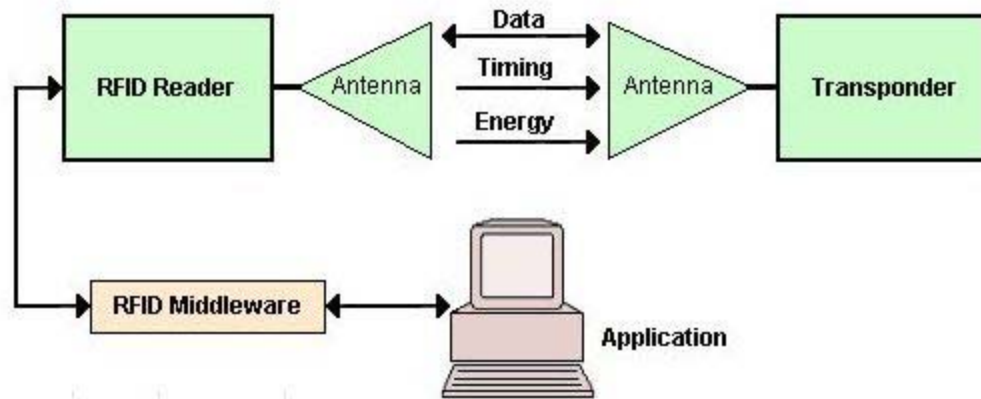
Μια κεραία RFID αποτελείται από ένα πηνίο με μία ή περισσότερες περιελίξεις και ένα δίκτυο που να ταιριάζει. Ακτινοβολεί τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται από τον reader, και λαμβάνει τα σήματα RF από τον transponder. Οι κεραίες υπάρχουν σε διαφορετικά μεγέθη και σχέδια, αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον στο οποίο είναι ολοκληρωμένο το σύστημα. Το απαιτούμενο εύρος για read/write παίζει επίσης ρόλο. Ακόμα οι κεραίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την διαμόρφωση και τον τρόπο λειτουργίας καθώς και με την συχνότητα που χρησιμοποιείται.

Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο έχουμε :

- LF (Low Frequency) – 125 / 134.2 kHz
- HF (High Frequency) – 13.56 MHz
- UHF (Ultra High Frequency) – 865 to 950 MHz

### 1.1.4 RFID middleware

Στο Σχήμα1.5 φαίνεται η διαδικασία RFID middleware

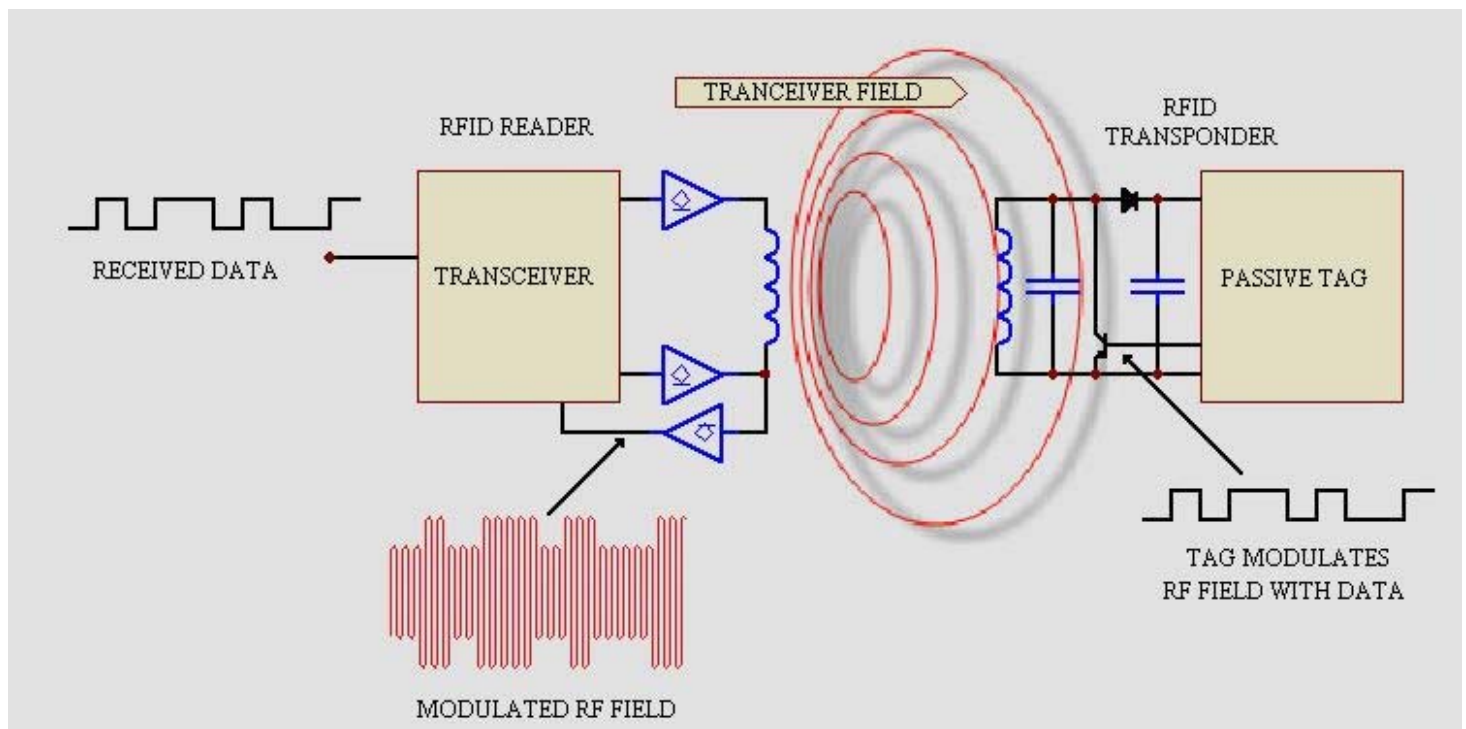


Σχήμα1.5 RFID middleware

Με τον όρο “middleware” αναφερόμαστε γενικά σε ένα λογισμικό που συνδέει τους RFID readers με τα δεδομένα που συλέγουν στα πληροφοριακά συστήματα των επιχειρήσεων. Το RFID middleware βοηθάει στο να γίνει κατανοητή η πληροφορία που διαβάζεται από τα RFID tags, επίσης εφαρμόζει φιλτράρισμα και μορφοποιεί τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον reader και τέλος παρέχει αυτά τα επεξεργασμένα δεδομένα στο back-end της εφαρμογής. Το RFID middleware χρησιμεύει στη διαχείριση της ροής των δεδομένων μεταξύ των tag readers και των εφαρμογών και είναι υπεύθυνο για την ποιότητα και την χρηστικότητα των πληροφοριών.

## 1.2 Λειτουργία του συστήματος

Το RFID ανήκει σε μία ομάδα τεχνολογιών που ονομάζεται Αυτόματη Αναγνώριση και Συλλογή Δεδομένων (Automatic Identification and Data Capture -AIDC). Οι μέθοδοι AIDC εντοπίζουν αυτόματα τα αντικείμενα και συλλέγουν δεδομένα από αυτά, τα οποία τα στέλνουν απευθείας σε κάποιο υπολογιστή με ελάχιστη ή καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Οι RFID μέθοδοι χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να το καταφέρουν αυτό. Όταν ένα RFID tag μετακινείται στο μαγνητικό πεδίο της κεραίας του reader, ενεργοποιείται παίρνοντας έτσι την ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει (αν είναι passive) και στέλνει πίσω στην κεραία ότι πληροφορίες έχουν προγραμματιστεί στην μνήμη του. Έπειτα ο reader λαμβάνει αυτά τα δεδομένα μέσω της κεραίας του, αποκωδικοποιεί το σήμα και το στέλνει στον κεντρικό υπολογιστή. Και τέλος το middleware συνδέει τα δεδομένα που έρχονται από έναν reader με το σύστημα λογισμικού του εκάστοτε πελάτη. Αυτή η διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα1.6



Σχήμα1.6 Λειτουργία ενός RFID system

## 1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός RFID συστήματος

### 1.3.1 Πλεονεκτήματα

Η τεχνολογία RFID έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- Το tag δεν χρειάζεται να είναι σε οπτική επαφή με τον δέκτη για να διαβαστεί (σε σύγκριση με ένα barcode scanner). Μπορούν να διαβαστούν από χαρτόνι, πλαστικό, ξύλο ακόμη και από ανθρώπινο σώμα.
- Τα RFID tags μπορούν εύκολα να παρακολουθούν κινούμενα αντικείμενα και να στείλουν τις απαιτούμενες πληροφορίες πίσω στον reader. Αυτό εξαλείφει τα ανθρώπινα λάθη, μειώνει την εργασία που χρειάζονται για να λειτουργήσουν και παρέχει γρήγορη πρόσβαση σε έναν πλούτο πληροφοριών.
- Τα RFID tags μπορούν να αποθηκεύσουν πολλές πληροφορίες (εως 2KB ενώ τα barcode μπορούν να διαβάσουν μέχρι 10-12 ψηφία), και να ακολουθήσουν συγκεκριμένες οδηγίες.
- Έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν τη θέση τους.
- Είναι ευέλικτα: μπορεί να είναι μικρότερα από έναν αντίχειρα ή μπορεί να είναι στο μέγεθος ενός tablet, ανάλογα με τη χρήση του.
- Είναι καλύτερο από ότι τα barcode, δεδομένου ότι δεν μπορούν να αναπαραχθούν εύκολα και ως εκ τούτου, αυξάνουν την ασφάλεια του προϊόντος.
- Τα RFID tags είναι λιγότερο επιρρεπή σε βλάβες. Μπορούν να τοποθετηθούν ασφαλώς μέσα σε ένα άλλο αντικείμενο ή να ενσωματωθούν μέσα σε πλαστικό επιτρέποντας έτσι το σύστημα να χρησιμοποιείται σε διάφορα άσχημα περιβάλλοντα, όπως περιοχές με μεγάλη θερμοκρασία ή υγρασία ή να εκτίθενται σε χημικές ουσίες.
- Οι RFID transponders μπορούν να διαβαστούν με αξιοσημείωτη ταχύτητα, ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες και στις περισσότερες περιπτώσεις ανταποκρίνονται σε λιγότερο από 100 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

### 1.3.2 Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας RFID είναι:

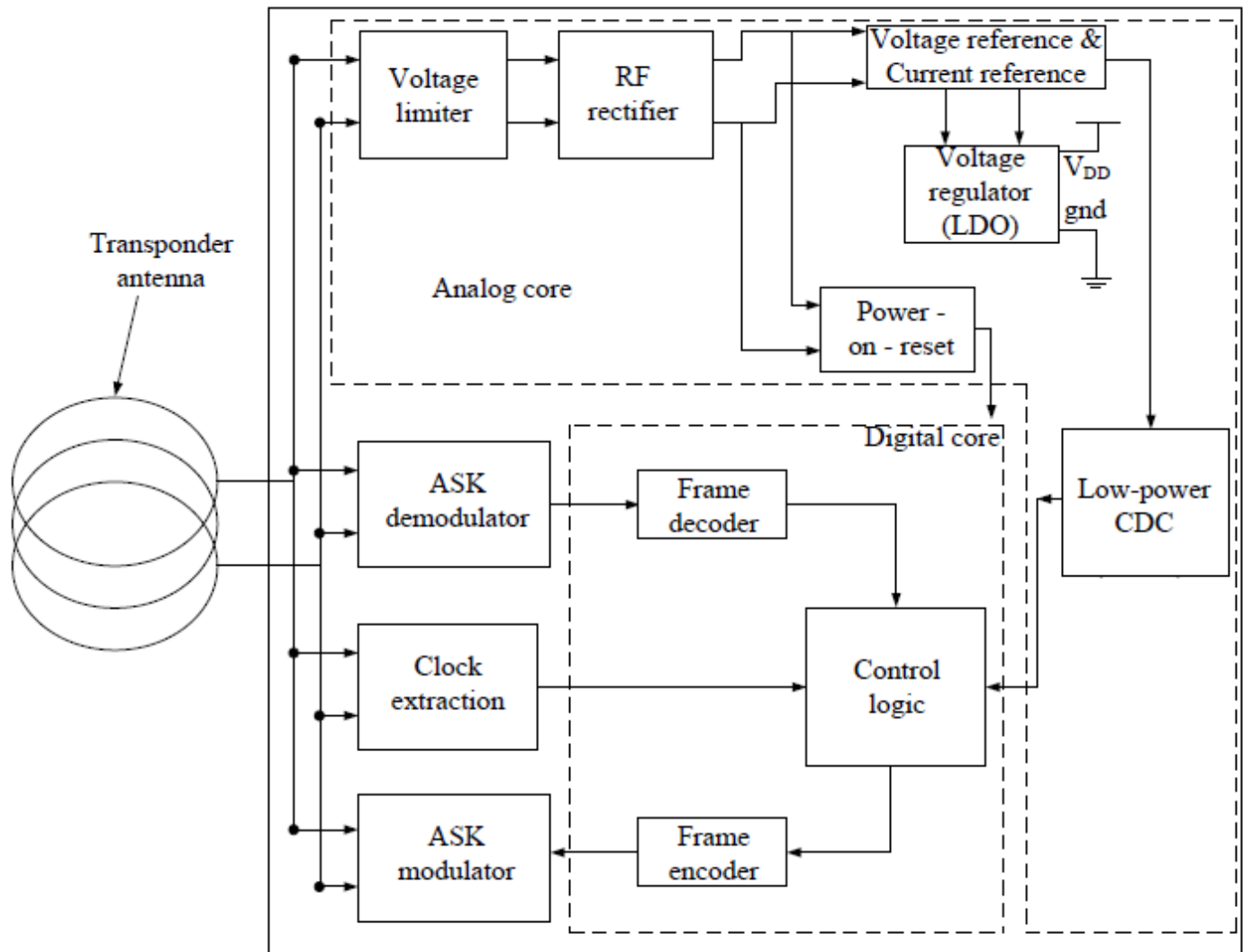
- Τα συστήματα RFID είναι συνήθως πιο ακριβά από ότι οι εναλλακτικές λύσεις, όπως τα συστήματα barcode. Ενώ το διάβασμα ενός passive tag είναι είναι παρόμοιο με το διάβασμα του barcode, τα active tags είναι αρκετά πιο ακριβά λόγω της πολυπλοκότητας τους και της χρήσης μπαταρίας.
- Tag collision και reader collision είναι πολύ κοινά προβλήματα των RFID συστημάτων. Το tag collision εμφανίζεται όταν είναι παρόντες σε ένα περιορισμένο χώρο πολυάριθμα tags. Ο RFID tag reader ενεργοποιεί πολλαπλά tags ταυτόχρονα, τα οποία αντανακλούν τα σήματα τους πίσω στον reader. Αυτό οδηγεί σε tag collision και ο RFID reader αποτυγχάνει να διαφοροποιήσει τα εισερχόμενα δεδομένα. RFID reader collision συμβαίνει όταν η περιοχή κάλυψης που διαχειρίζεται ένας RFID reader συμπίπτει με την περιοχή κάλυψης ενός άλλου reader. Αυτό προκαλεί την παρεμβολή του σήματος και να γίνονται πολλαπλές αναγνώσεις της ίδιας ετικέτας.
- Η τεχνολογία RFID, δημιουργεί πολλές ανησυχίες για την ασφάλεια. Δεδομένου ότι το σύστημα δεν περιορίζεται στην περιοχή όπου είναι ορατά τα αντικείμενα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξωτερικές υψηλής έντασης κεραίες για να ανιχνεύσουν τα tags. Όταν η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται για εργασίες υψηλής ασφάλειας, όπως η επαλήθευση πληρωμών μπορούν να γίνουν απάτες και να δημιουργηθούν προβλήματα ασφάλειας.
- Χρειάζεται αρκετός χρόνος για να προγραμματιστούν οι συσκευές RFID.
- Είναι δύσκολο για έναν RFID reader να διαβάσει τις πληροφορίες των tags στην περίπτωση που έχουν εγκατασταθεί σε υγρά ή μεταλλικές επιφάνειες. Το πρόβλημα είναι ότι οι επιφάνειες υγρών και μετάλλων τείνουν να αντανακλούν τα ραδιοκύματα, γεγονός που καθιστά τα tags δυσανάγνωστα. Τα tags πρέπει να τοποθετούνται σε διάφορες ευθυγραμμίσεις και γωνίες για να γίνει σωστή ανάγνωση. Αυτή είναι μια επίπονη εργασία, ειδικά όταν αφορά μεγάλα έργα.
- Παρατηρούνται παρεμβολές όταν οι συσκευές βρίσκονται κοντά σε συσκευές που εκπέμπουν ραδιοκύματα, όπως παραδείγματος χάρη οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας.
- Οι ΗΠΑ και η Ευρώπη έχουν διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων που επιτρέπουν τα RFID tags να λειτουργήσουν. Αυτό καθιστά υποχρεωτικό για τις διεθνείς ναυτιλιακές εταιρείες και άλλους οργανισμούς να γνωρίζουν το εργασιακό πρότυπο των άλλων εθνών, το οποίο μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ RFID

#### 2.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

Η αρχιτεκτονική του transponder διαιρείται σε δύο θεμελιώδη δομικά στοιχεία: τον αναλογικό και τον ψηφιακό πυρήνα, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα2.1



Σχήμα2.1 Αρχιτεκτονική του Transponder

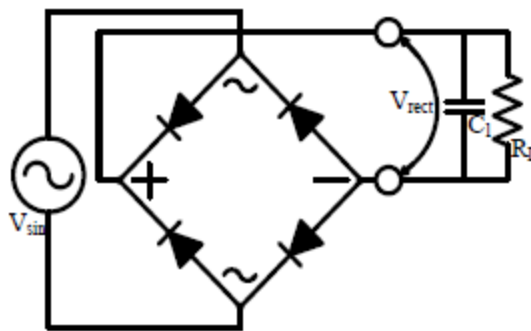
- Ο αναλογικός πυρήνας είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος και αποτελείται από έναν αριθμό δομικών στοιχείων. Συγκεκριμένα η κεραία του transponder συνδέεται με ένα RF limiter. Ο RF limiter λειτουργεί ως φορτίο προς την κεραία και αποτρέπει τα εσωτερικά εξαρτήματα από βλάβες λόγω της υψηλής τάσης που δημιουργείται λόγω πεδίου ζεύξης RF. Ο RF limiter στη συνέχεια συνδέεται με τον RF rectifier, ο οποίος παρέχει μία ανορθωμένη τάση από τα εναλλασσόμενα RF σήματα που λαμβάνονται από την κεραία του transponder. Το power on reset (POR) block παράγει ένα θετικό παλμό επαναφοράς ο οποίος εφαρμόζεται στον ψηφιακό πυρήνα όταν το σύστημα τίθεται σε λειτουργία. Ο παλμός reset εξασφαλίζει ότι ο ψηφιακός πυρήνας θα επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση πριν από την επεξεργασία των δεδομένων. Ο RF limiter συνδέεται επιπλέον με έναν Low dropout(LDO) ρυθμιστή τάσης. Αυτός ο ρυθμιστής τάσης παρέχει μία ακριβή και σταθερή παροχή τροφοδοσίας , η οποία είναι απαραίτητη για την κατάλληλη λειτουργία τόσο του αναλογικού όσο και του ψηφιακού πυρήνα. Το αντίστοιχο block είναι υπεύθυνο για την παραγωγή διαφοράς τάσης και ρεύματος που απαιτείται από το low power capacitance to digital converter (CDC).
- Ο ψηφιακός πυρήνας είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία του RFID reader με τον transponder . Για την επικοινωνία από τον reader στον transponder χρησιμοποιείται μία τεχνική διαμόρφωσης η Amplitude shift keying (ASK). Τα κωδικοποιημένα δεδομένα του ASK σήματος αντιπροσωπεύουν ένα αίτημα του reader που πρώτα έχει αναδιαμορφωθεί χρησιμοποιώντας τον ASK demodulator. Αυτά τα δεδομένα στη συνέχεια εξάγονται από το ASK διαμορφωμένο σήμα και επεξεργάζονται από τον Frame decoder για τον προσδιορισμό της αιτήσεως του reader .Μόλις προσδιοριστούν τα frame bits παρέχονται στο Control logic, διαβάζονται από αυτό και αναλόγως με το τι αντιπροσωπεύουν δέχονται κατάλληλη επεξεργασία όπως πχ διάβασμα ή γράψιμο στη μνήμη.

### 2.1.1 Rectifier

Στην κεραία του transponder παράγεται μία εναλλασσόμενη τάση , η οποία παρατηρείται στις περισσότερες περιπτώσεις όταν χρησιμοποιούνται RF σήματα .Αυτή η εναλλασσόμενη τάση ανορθώνεται πριν χρησιμοποιηθεί ως πηγή τάσης στο chip. Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής χρησιμοποιούνται διαφορετικού τύπου ανορθωτές όπως full wave diode bridge rectifier, half wave rectifier ή voltage multiplying rectifier.

#### 2.1.1.α. Full-wave rectifier

Ο Full-wave rectifier φαίνεται στο Σχήμα2.2

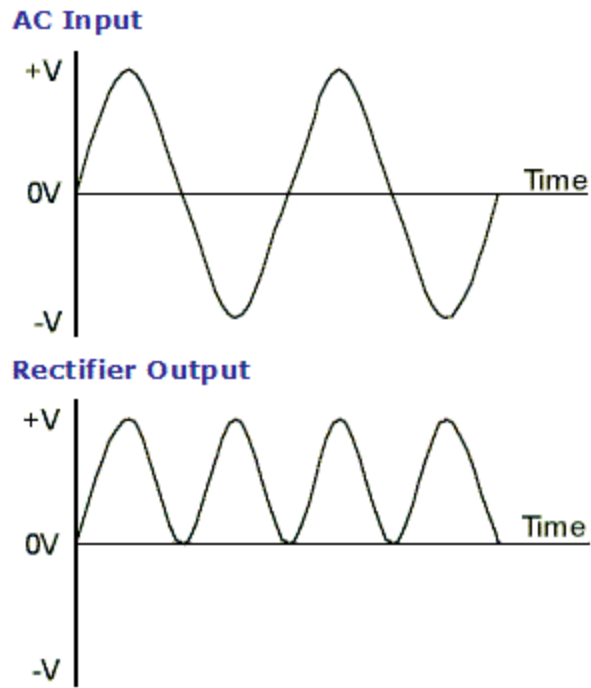


Σχήμα2.2 Full-wave rectifier

Ο full wave diode bridge rectifier μετατρέπει τόσο τη θετική όσο και την αρνητική φάση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές παρέχοντας έτσι σταθερή τάση  $V_{rect}$ . Ο πυκνωτής  $C_1$  χρησιμοποιείται ως πυκνωτής εξομάλυνσης για να μειωθεί η κυμάτωση μετά την ανόρθωση.



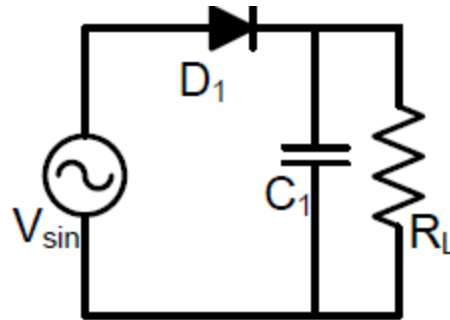
Το αποτέλεσμα ενός Full-wave rectifier φαίνεται στο Σχήμα2.3



Σχήμα2.3 Full wave rectification

### 2.1.1.β Half-wave rectifier

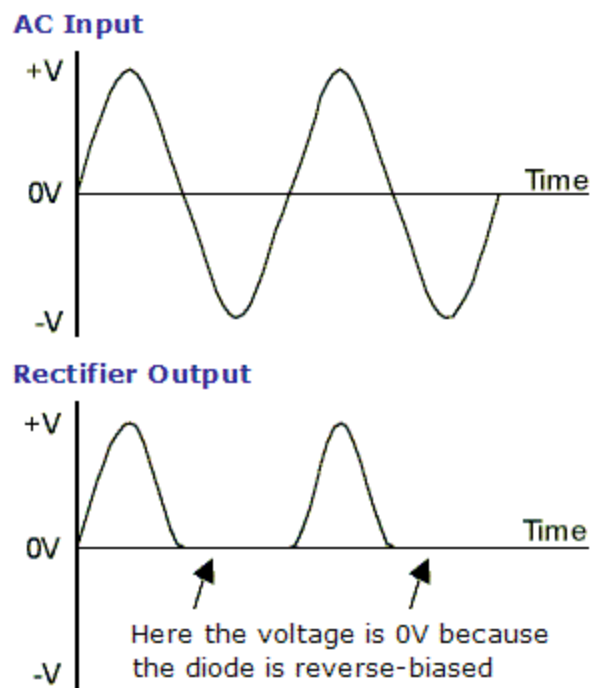
Ο Half-wave rectifier φαίνεται στο Σχήμα2.4



Σχήμα2.4 Half-wave rectifier

Ο half wave rectifier έχει μειωμένη αποτελεσματικότητα διότι μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές μόνο για τον θετικό κύκλο.

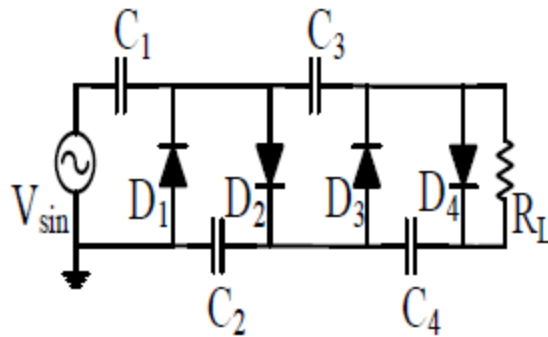
Το αποτέλεσμα ενός Full-wave rectifier φαίνεται στο Σχήμα2.5



Σχήμα2.5 Falf wave rectification

### 2.1.1.γ Voltage multiplying rectifier

Ο Voltage multiplying rectifier φαίνεται στο Σχήμα2.6



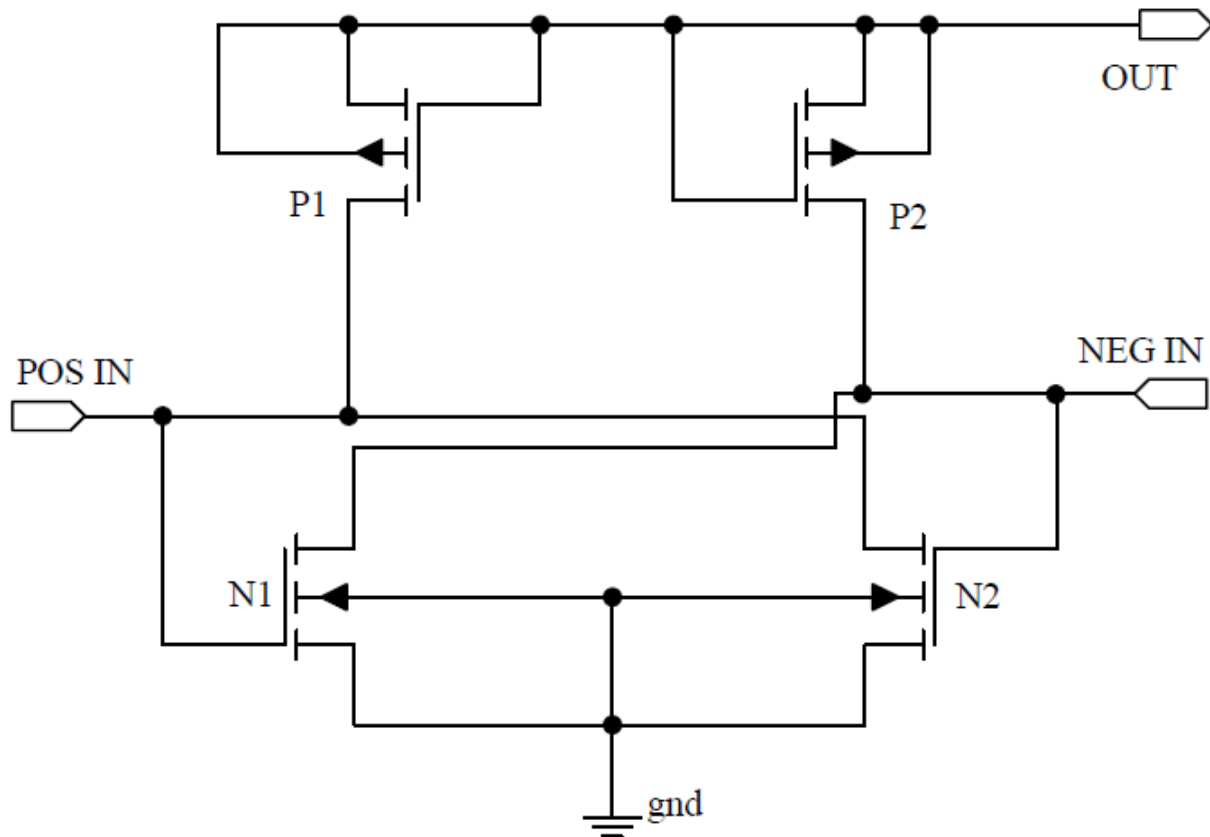
Σχήμα2.6 Voltage multiplying rectifier

Ο voltage multiplying rectifier είναι ένα κύκλωμα πολλαπλασιαστή τάσης το οποίο μετατρέπει την χαμηλή ηλεκτρική τάση σε υψηλότερη με τη χρήση πυκνωτών και διόδων .Επιπλέον είναι ικανό να παράγει πολύ υψηλές τάσεις αυξάνοντας τον αριθμό του cascade diode capacitor .

Σε αυτή την εργασία θα υλοποιήσουμε τον Full-wave rectifier.

## 2.1.2 Υλοποίηση Full-wave rectifier

Το κύκλωμα του Full-wave rectifier φαίνεται στο Σχήμα2.7



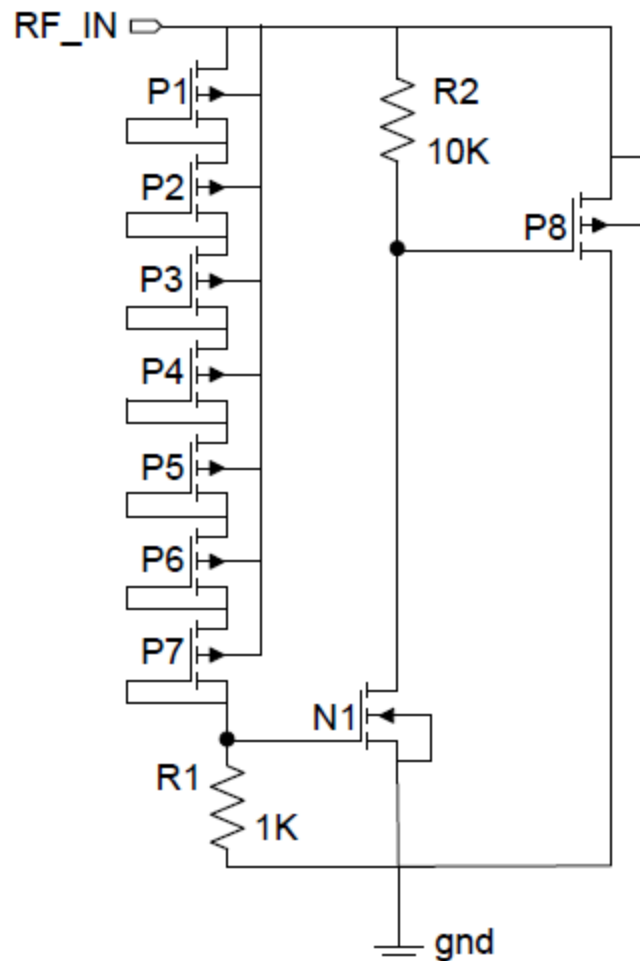
Σχήμα2.7 Full-wave rectifier circuit

Ο Full wave diode bridge rectifier υλοποιείται σε αυτό το σχεδιασμό για την παροχή ρεύματος σε ολόκληρο το σύστημα . Η Full wave rectification πραγματοποιείται με τη χρήση ενός CMOS transistor το οποίο είναι ισοδύναμο με μια quad-diode full-wave bridge rectifier .Τα P1 και P2 transistor είναι συνδεδεμένα σε μία βασική δίοδο διαμόρφωσης (διότι το drain και το gate του καθενός transistor συνδέονται μεταξύ τους ) ενώ τα N1 και N2 είναι συνδεδεμένα σε μία τοπολογία που λειτουργεί σαν διακόπτης .Αυτή η διαμόρφωση επιτυγχάνει υψηλότερη ανορθωμένη τάση. Η λειτουργία του συστήματος είναι η εξής :όταν εφαρμόζεται ένα θετικό RF σήμα στο transistor N1 το ενεργοποιεί , κάνοντας έτσι τον αρνητικό παλμό του σήματος να εμφανιστεί στην πύλη του N2 και να μηδενίζεται .Αυτή τη χρονική στιγμή ο θετικός

παλμός εμφανίζεται στο drain του P1 transistor. Το P1 είναι συνδεδεμένο με τη δίοδο βασικής διαμόρφωσης η οποία επιτρέπει την τάση να εμφανιστεί στο source με πτώση τάσης περίπου ίση με την τάση κατωφλίου του PMOS. Η ίδια διαδικασία γίνεται και στον αρνητικό παλμό του σήματος RF όταν το N2 transistor ενεργοποιείται και το P2 δρα ως δίοδος.

### 2.1.3 RF Voltage limiter

Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται ο Voltage limiter.



Σχήμα 2.8 RF voltage limiter

Στο πηνίο του transponder παράγεται υψηλή τάση κοντά στο πεδίο σύζευξης του σήματος RF. Ο RF Voltage limiter προστατεύει το σύστημα του transponder από ζημιές στο gate του CMOS transistor οι οποίες μπορεί να προκληθούν λόγω της υπερβολικής τάσης ζεύξης από τον reader για μικρή απόσταση λειτουργίας. Το σήμα RF γίνεται αισθητό από το RF\_IN του κυκλώματος το οποίο είναι μία δίοδος τάσης που αναφέρεται στη γείωση του κυκλώματος. Η δίοδος PMOS έχει σχεδιαστεί με βάση τις ακόλουθες σχέσεις :

$$V_{\text{rect}} = 7 \cdot V_{\text{GS}} + I_{\text{D}} \cdot R1$$

όπου

$$V_{\text{GS}} = |V_{\text{THP}}| + \sqrt{\frac{2 \cdot I_{\text{D}}}{\mu_p \cdot C_{\text{ox}} \cdot \frac{W}{L}}}$$

Στην δεύτερη εξίσωση η αξία στο εσωτερικό της τετραγωνικής ρίζας ελαχιστοποιείται με τη χρήση μεγάλων τιμών στα transistor , ακόμη κάνει το  $I_{\text{D}}$  πολύ μικρό, πράγμα που θέτει τις επόμενες εξισώσεις να είναι δυνατές :

$$V_{\text{rect}} \cong 7 \cdot |V_{\text{THP}}|$$

$$V_{\text{rect}} \cong 7 \times 0.82 \text{ V}$$

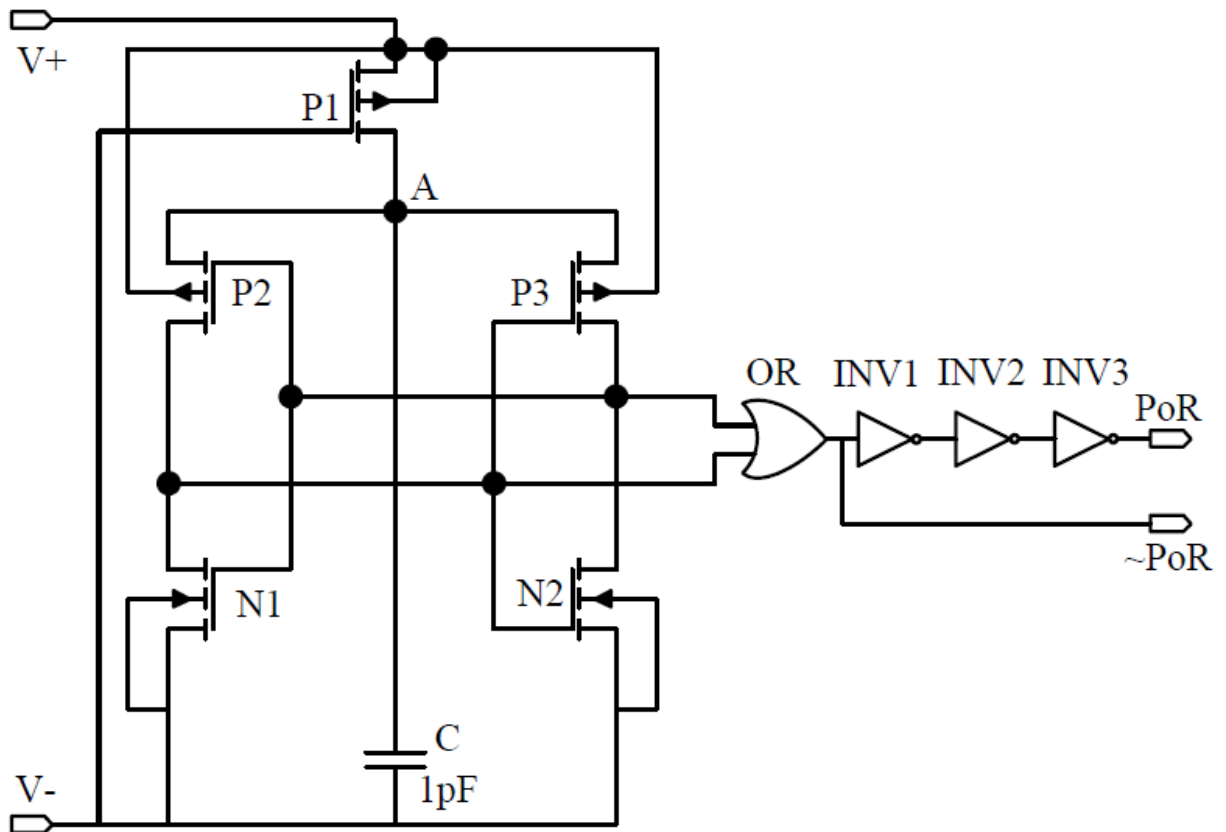
$$V_{\text{rect}} \cong 5.74 \text{ V}$$

Αυτό σημαίνει ότι όταν το  $V_{\text{rect}}$  πηγαίνει πάνω από 5.74 V τότε ο RF voltage limiter μειώνει την τάση. Αυτή η πρόσθετη τάση εμφανίζεται στο gate του transistor NMOS N1. Μετά από ένα ορισμένο όριο το transistor N1 ενεργοποιείται σταδιακά. Μόλις το N1 είναι πλήρως ενεργοποιημένο, το δυναμικό στο gate του PMOS P8 αρχίζει να μειώνεται. Για να αποφευχθεί ο περιορισμός ολόκληρου του σήματος RF , χρησιμοποιείται μία αντίσταση R2 έτσι ώστε να διατηρηθεί μια πτώση τάσεως στο σήμα και στο drain του N1. Καθώς η τάση

στο gate του P8 συνεχίζει να μειώνεται ως αποτέλεσμα του ότι το N1 είναι ανοιχτό , το P8 ενεργοποιείται. Έτσι το P8 περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την αύξηση κάθε σήματος RF. Τέλος ο limiter RF δρα ως φορτίο για την κεραία και μειώνει το σήμα RF υψηλού εύρους.

### 2.1.4 Power On Reset

Το κύκλωμα του Power On Reset φαίνεται στο Σχήμα2.9



Σχήμα2.9 Power On Reset circuit

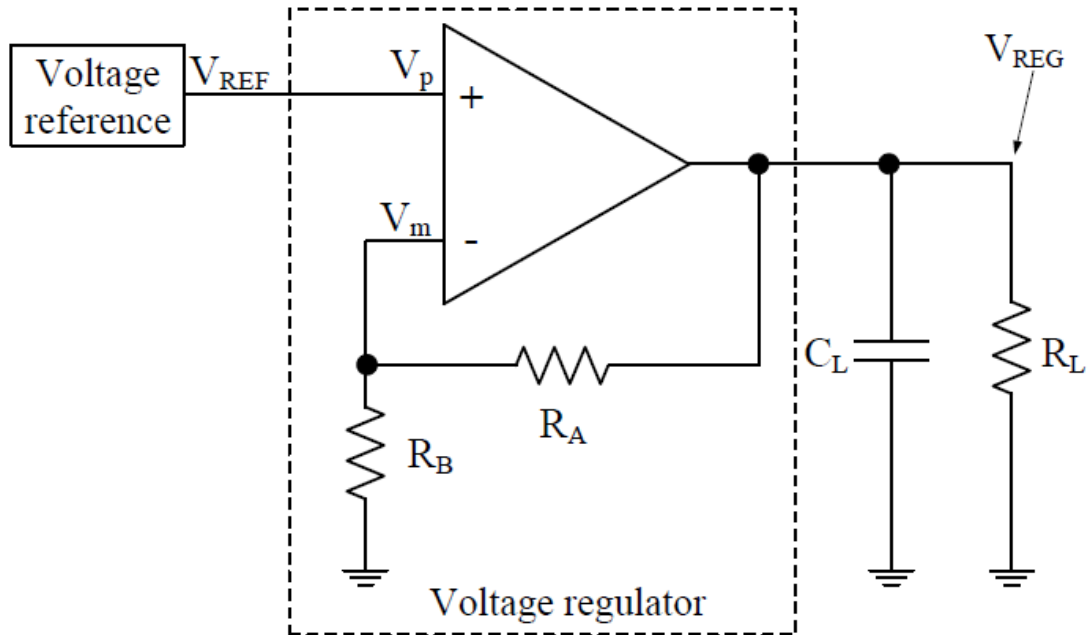
Ο σκοπός του Power on reset κυκλώματος είναι να παρέχει ένα σήμα επαναφοράς στο ψηφιακό πυρήνα όταν ο transponder λαμβάνει επαρκή ενέργεια RF για τη λειτουργία του .Το σήμα επαναφοράς είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση της αρχικής κατάστασης όλων των

στοιχείων του ψηφιακού πυρήνα τα οποία αρχίζουν να λειτουργούν σωστά μόνο μετά την εφαρμογή του reset σήματος. Ο σχεδιασμός του Power on reset κυκλώματος περιλαμβάνει ένα μη-σταθερό σύστημα το οποίο αποτελείται από δύο κλάδους που περιέχουν τα P2 – N1 transistors και P3- N2 transistors. Όταν το κύκλωμα τροφοδοτείται ο ένας κλάδος του ενεργοποιείται και ο άλλος είναι ανενεργός. Η πύλη or στην έξοδο του κυκλώματος συγκρίνει δύο σήματα εξασφαλίζοντας την ενεργοποίηση – επαναφορά των λογικών blocks. Το transistor P1 ενεργοποιείται και το gate του συνδέεται με τη γείωση στην έξοδο του ανορθωτή. Ακόμη το μέγεθος του είναι μεγαλύτερο για να περιορίζει την ποσότητα ρεύματος που φτάνει στον πυκνωτή C. Ο πυκνωτής C στη συνέχεια επιτρέπει μία αργή φόρτιση του κόμβου A ώστε να δημιουργηθεί καθυστέρηση μεταξύ της παροχής τάσης και του power on reset. Ένας μεγάλος πυκνωτής επίσης μπορεί να μετριάσει το κύκλωμα για να αποφύγει παρασιτικές ταλαντώσεις. Το μεγάλο P1 transistor εξασφαλίζει αργή φόρτιση του πυκνωτή. (Στο τέλος της πύλης or υπάρχει μία συστοιχία μετατροπέων για να παράγουν στο τέλος ένα ισχυρό σήμα επαναφοράς. Οι τρεις μετατροπείς που υπάρχουν είναι διατεταγμένοι σε αύξουσα σειρά ανάλογα με το μέγεθος τους δηλαδή ο δεύτερος μετατροπέας είναι τρεις φορές το μέγεθος του πρώτου κλπ. ).



### 2.1.5 Low-drop-out (LDO) voltage regulator

Η βασική τοπολογία του LDO φαίνεται στο Σχήμα2.10



Σχήμα2.10 LDO

Το Low drop out (LDO) voltage regulator χρησιμοποιείται για να παρέχει σταθερή τάση σε ολόκληρο το σύστημα περιλαμβάνοντας και τον αναλογικό και τον ψηφιακό πυρήνα. Η ρυθμιζόμενη τάση  $V_{REG}$  δημιουργείται από μία σταθερή τάση αναφοράς  $V_{REF}$ , γνωστή και ως “bandgap voltage reference”, η οποία χρησιμοποιείται με έναν ενισχυτή. Η bandgap voltage reference είναι μία τάση αναφοράς που χρησιμοποιείται ευρέως σε ολοκληρωμένα κυκλώματα και είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας. Στην ιδανική περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη ένα πεπερασμένο κέρδος ανοιχτού βρόχου η παραγόμενη ρυθμιζόμενη τάση είναι η εξής :

$$V_{REG} = A_{OL} \cdot (V_p - V_m)$$

Επιπλέον η αρνητική ανατροφοδότηση είναι αυτή που σταθεροποιεί τη ρυθμιζόμενη τάση σε όλη τη διαδικασία και στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Απλοποιώντας την παραπάνω εξίσωση έχουμε:

$$V_m = V_{REG} \cdot \frac{R_B}{R_A + R_B}; \quad \text{και} \quad V_p = V_{REF}.$$

Αντικαθιστώντας αυτά τα στοιχεία έχουμε:

$$V_{REG} = V_{REF} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1}{A_{OL}} + \frac{R_B}{R_A + R_B}} \right)$$

Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε άπειρο κέρδος ανοιχτού βρόχου τότε:

$$V_{REG} = V_{REF} \cdot \left( 1 + \frac{R_A}{R_B} \right)$$

Το κύκλωμα του LDO φαίνεται στο Σχήμα 2.11



Λύνοντας έχουμε:

$$V_D < V_G - |V_{THP}|$$

και παίρνουμε

$$V_G > 2.2V$$

Από την παραπάνω ανάλυση η τάση του gate του transistor N5 είναι γνωστή. Αυτό ενεργοποιεί το transistor N5 και το gate του P5 είναι στη γείωση το οποίο ενεργοποιείται πλήρως και χρησιμοποιείται για να παρέχει σημαντική ποσότητα ρεύματος στο φορτίο. Ένας πυκνωτής που συνδέεται μεταξύ του VREG και της γείωσης δρώντας ως πυκνωτής παράκαμψης και χρησιμοποιείται για την εποπτεία του φορτίου. Επίσης τα περισσότερα κυκλώματα είναι ασταθή, εμφανίζοντας μια ταλάντωση στην έξοδο, λόγω της ανάδρασης από την έξοδο στην είσοδο. Αυτό λύνεται φτιάχνοντας ένα μονοπάτι ανάδρασης με έναν πυκνωτή από την έξοδο στην είσοδο. Ένας μεγάλος CL χρησιμοποιείται λοιπόν για να φιλτράρει τη γρήγορη μετατόπιση του φορτίου παρέχοντας έτσι ευστάθεια. Για την απομόνωση του φορτίου από το δεύτερο στάδιο το transistor P5 σχηματίζει μία ενίσχυση κοινής πηγής με το transistor N6. Ένα μεγάλο CL κάνει το ρυθμιστεί πιο σταθερό, επιβραδύνοντας την απόκριση του OTA. Η μείωση της ταχύτητας του OTA αντισταθμίζεται με το γεγονός ότι μία μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου μπορεί να παρέχει περισσότερο φορτίο σε ένα γρήγορο παροδικό ρεύμα πριν ανταποκριθεί ο OTA. Η χωρητικότητα αντισταθμίζεται χρησιμοποιείται για μεγάλα σήματα. Για τη CC χρησιμοποιείται μικρή τιμή ώστε να αποφύγει τη σύνδεση των πόλων με τον κόμβο εξόδου και να μετακινηθεί σε υψηλότερη συχνότητα. Αν το VREG πέσει ξαφνικά, η μείωση της τάσης τροφοδοτείται απευθείας από το gate του P5 μέσω του CC. Αυτό το γεγονός ενεργοποιεί το P5 γρήγορα και επιτρέπει στο εφεδρικό VREG να άγει αποφεύγοντας την αργή ανατροφοδότηση του op-amp. Για τις αντιστάσεις R1 και R2 επιλέχθηκαν μεγάλες τιμές ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ροή του ρεύματος.

### 2.1.6 Master-Bias voltage reference

Στα περισσότερα συστήματα σχεδιασμού υπάρχουν απαιτήσεις για διαφορετικά επίπεδα τάσης. Μία γεννήτρια Master-Bias voltage reference παρέχει μία σταθερή τάση η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να παράγει άλλα απαιτούμενα επίπεδα τάσης.

### 2.1.7 Voltage references

Η Voltage references είναι ένα κύκλωμα το οποίο παρέχει σταθερή τάση ανεξαρτήτως της φόρτωσης του κυκλώματος, τις παραλλαγές της τροφοδοσίας, των αλλαγών της θερμοκρασίας, και το πέρασμα του χρόνου. Ο αναλογικός πυρήνας του συστήματος του transponder αποτελείται από δύο Voltage references οι οποίες είναι ωθούμενες από master bias voltage reference. Αυτές οι αναφορές τάσης χρησιμοποιούνται για την παροχή απαιτούμενων επιπέδων τάσης στα κυκλώματα του transponder.

### 2.1.8 Wide-swing Current Source

Μία Wide-swing πηγή ρεύματος είναι ένα κύκλωμα σχεδιασμένο για να αντιγράψει ένα ρεύμα μέσω μίας ενεργής συσκευής και ο έλεγχος του ρεύματος να γίνεται σε μια άλλη ενεργή συσκευή ενός κυκλώματος, διατηρώντας το ρεύμα εξόδου σταθερό ανεξάρτητα από τη φόρτωση. Το ρεύμα που έχει αντιγραφεί μπορεί να είναι ένα μεταβαλλόμενο σήμα ρεύματος.

### 2.1.9 Capacitance to digital converter

Ένας Capacitance to digital converter είναι ένας μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. Αυτή η συσκευή μετατρέπει μια συνεχή φυσική ποσότητα (συνήθως τάση) σε ένα ψηφιακό αριθμό που αντιπροσωπεύει το πλάτος της ποσότητας αυτής. Η μετατροπή προϋποθέτει κβαντισμό της εισόδου, έτσι ώστε να εισάγει αναγκαστικά μια μικρή ποσότητα του λάθους. Αντί να κάνει μια ενιαία μετατροπής συχνά εκτελεί τις μετατροπές σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το αποτέλεσμα είναι μια ακολουθία από ψηφιακές τιμές που έχουν μετατραπεί

από συνεχούς χρόνου και συνεχούς πλάτους αναλογικό σήμα σε ένα διακριτού χρόνου και διακριτού πλάτους ψηφιακό σήμα.

#### 2.1.10 Clock Extractor

Το Clock Extractor κύκλωμα είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία ρολογιού για το ψηφιακό block.

#### 2.1.11 Modulator and Demodulator

Modulator είναι μία συσκευή η οποία είναι υπεύθυνη για τη διαδικασία της μεταβολής μίας ή περισσότερων ιδιοτήτων μίας περιοδικής κυματομορφής η οποία ονομάζεται φέρον σήμα (σήμα υψηλής συχνότητας) , με ένα σήμα διαμόρφωσης που τυπικά περιέχει πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν. Ένας Modulator είναι μια συσκευή που εκτελεί διαφοροποίηση. Ένας Demodulator είναι μια συσκευή που εκτελεί αναδιαμόρφωση, το αντίστροφο της διαφοροποίησης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

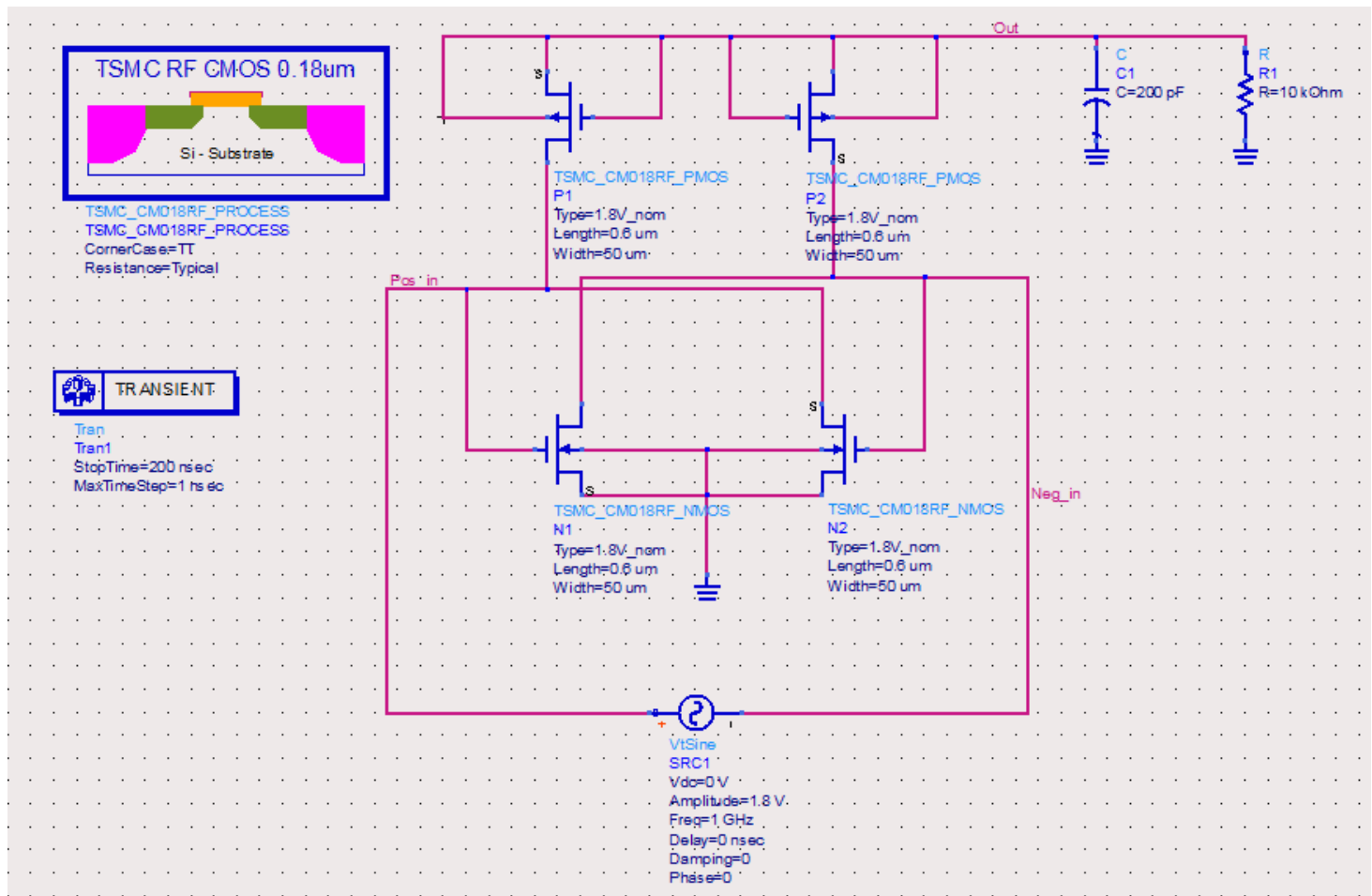
### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ADS

Σε αυτό το κεφάλαιο θα υλοποιήσουμε τα παραπάνω κυκλώματα στο Advanced Design System (ADS).

Σε όλα τα κυκλώματα χρησιμοποιούμε transient ανάλυση καθώς και το TSMC\_CM018RF\_PROCESS component το οποίο είναι υπεύθυνο για την λειτουργία των PMOS και των NMOS τρανζίστορ.

#### 3.1 Full Wave Rectifier

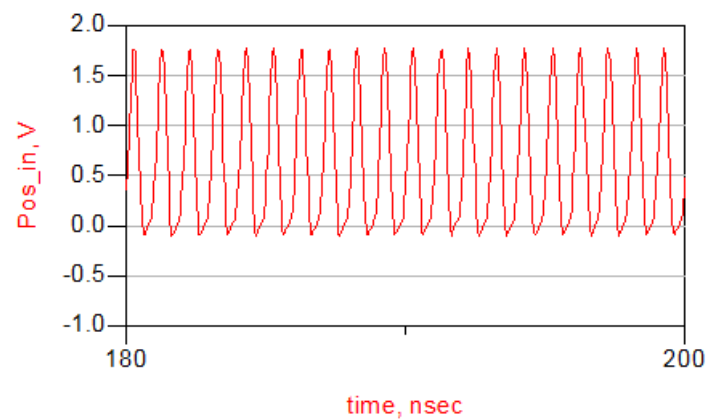
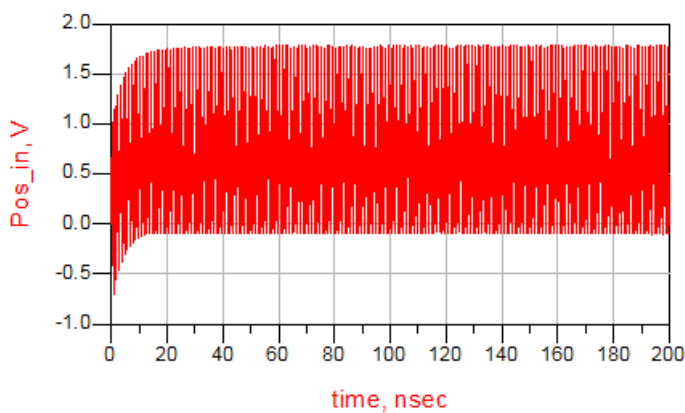
Η υλοποίηση του full-wave rectifier στο ADS φαίνεται στο Σχήμα3.1



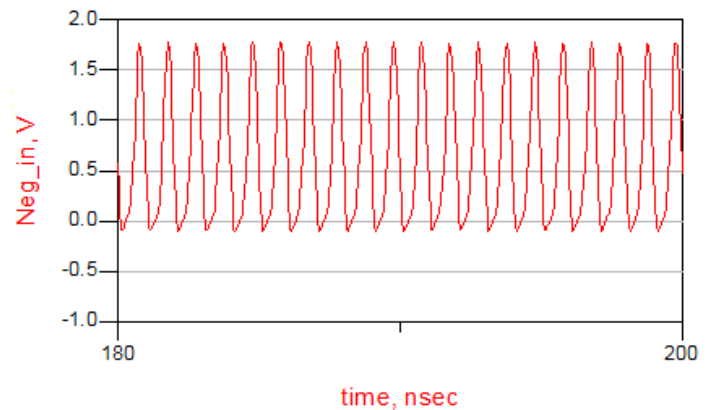
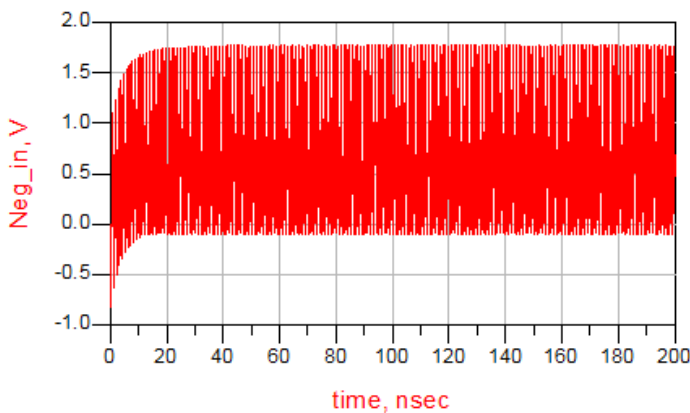
Σχήμα3.1.full-wave rectifier

Στην είσοδο του κυκλώματος χρησιμοποιούμε μία ημιτονοειδή πηγή με συχνότητα 1GHz,  $V_{dc}=0$  V και  $Amplitude=1.8$  V. Το δίκτυο RC που χρησιμοποιείται στην έξοδο του Fullwave rectifier λειτουργεί ως φίλτρο για τη μείωση των AC κυματισμών. Τέλος η αντίσταση των 10 K $\Omega$  χρησιμοποιείται για να δοκιμαστεί η επίδρασή της στην τάση εξόδου.

Οι τάσεις εισόδου Pos\_in και Neg\_in φαίνονται στα Σχήμα3.2 και Σχήμα3.3 αντίστοιχα



Σχήμα3.2 Pos\_in

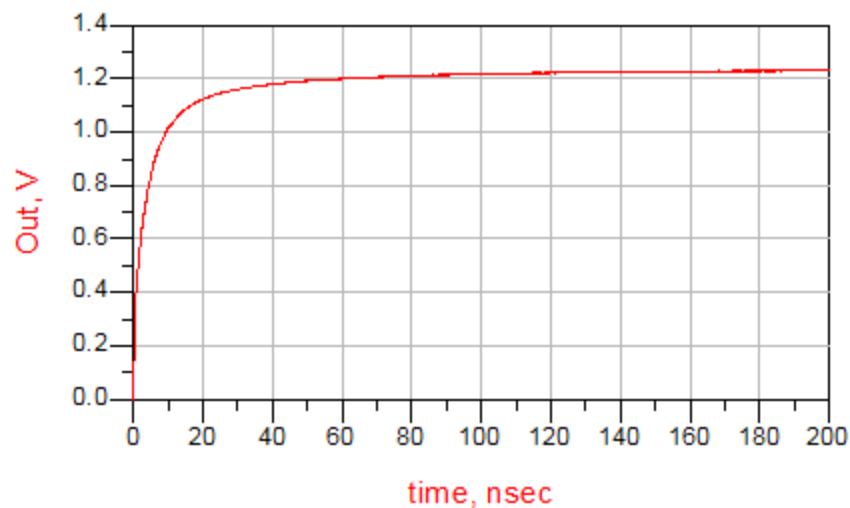


Σχήμα3.3 Neg\_in



Όπου Pos\_in\_V και Neg\_in\_V είναι ο θετικός και αρνητικός παλμός αντίστοιχα που τροφοδοτούν το κύκλωμα συναρτήσει του χρόνου οι οποίοι κατά γενικές γραμμές κυμαίνονται από 0 έως 1.8 V.

Μετά την προσημείωση του κυκλώματος έχουμε τη γραφική παράσταση για την έξοδο που φαίνεται στο Σχήμα3.4



Σχήμα3.4 έξοδος rectifier

Η τάση εξόδου του κυκλώματος επιλέξαμε να σταθεροποιείται στα 1.2 V συμβάλλοντας έτσι και στη σταθεροποίηση του ρεύματος. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θέσει Start time=0 nsec, Stop time=200 nsec και Max time step=1 nsec.

Τα μεγέθη transistor που επιλέχθηκαν είναι αρκετά μεγάλα για να παρέχουν μεγάλα ρεύματα εξόδου τα οποία τροφοδοτούν ολόκληρο το σύστημα.

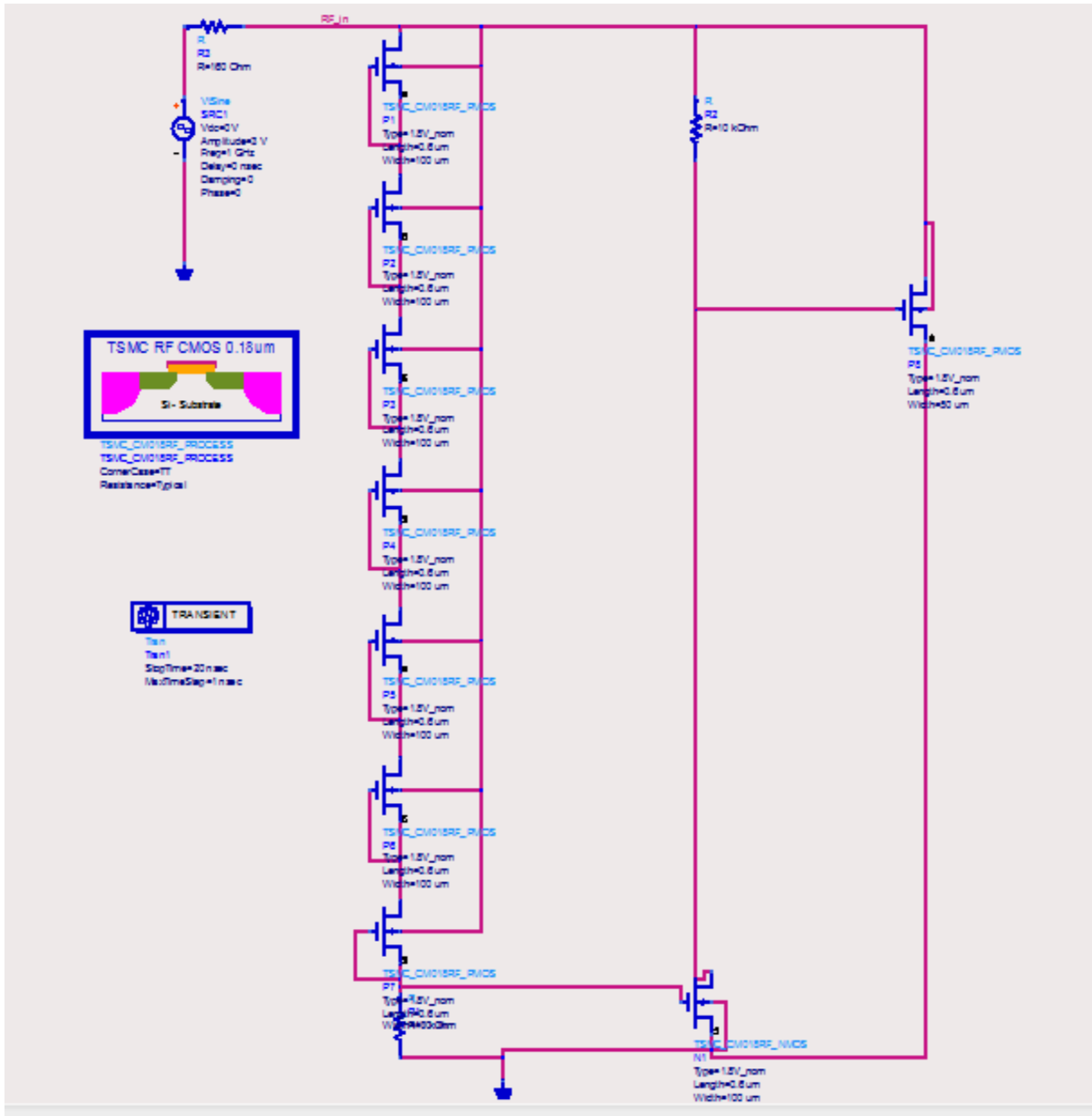
Οι αντίστοιχες τιμές φαίνονται στον Πίνακα3.1

Transistor	W	L
P1	150 $\mu\text{m}$	600 nm
P2	150 $\mu\text{m}$	600 nm
N1	300 $\mu\text{m}$	600 nm
N2	300 $\mu\text{m}$	600 nm

Πίνακας3.1 Full-wave rectifier transistor sizes

### 3.2 Rf voltage limiter

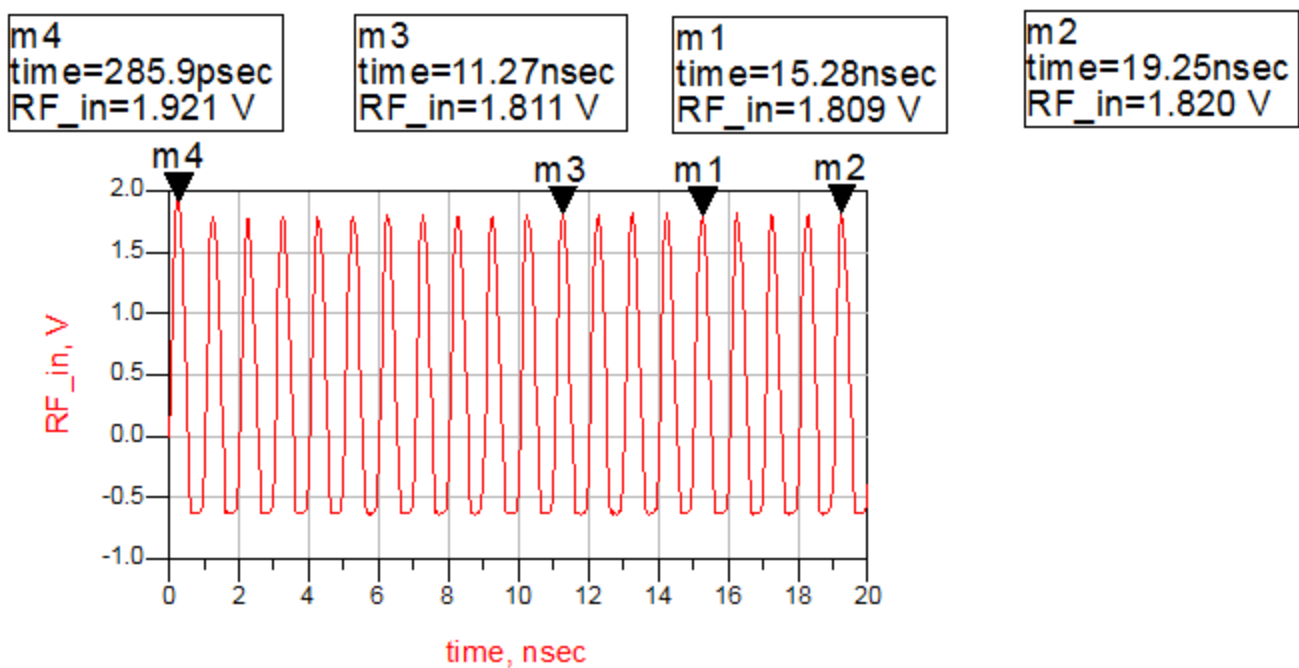
Η υλοποίηση του rf voltage limiter στο ADS φαίνεται στο Σχήμα3.5



Σχήμα3.5 rf voltage limiter

Η είσοδος και η έξοδος του rf voltage limiter είναι στο ίδιο σημείο στο RF\_in όπου χρησιμοποιούμε μία ημιτονοειδή πηγή με συχνότητα 1GHz, Vdc=0 V και Amplitude=3V. Ο rf voltage limiter συνδέεται τόσο με την θετική όσο και με την αρνητική είσοδο του ανορθωτή. Ο σκοπός του είναι να περιορίζει το Amplitude από 3V σε 1.8V όπου θέλουμε να λειτουργεί ολόκληρο στο σύστημα μας.

Μετά την προσομοίωση έχουμε τη γραφική παράσταση που φαίνεται στο Σχήμα 3.6



Σχήμα3.6 RF\_in

Όπου αρχικά το RF\_in έχει την τιμή 1.921V και στη συνέχεια σταθεροποιείται κοντά στα 1.8V όπου είναι και η τάση γύρω από την οποία θέλουμε να λειτουργεί.

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θέσει Start time=0 nsec, Stop time=20 nsec και Max time step=1 nsec.

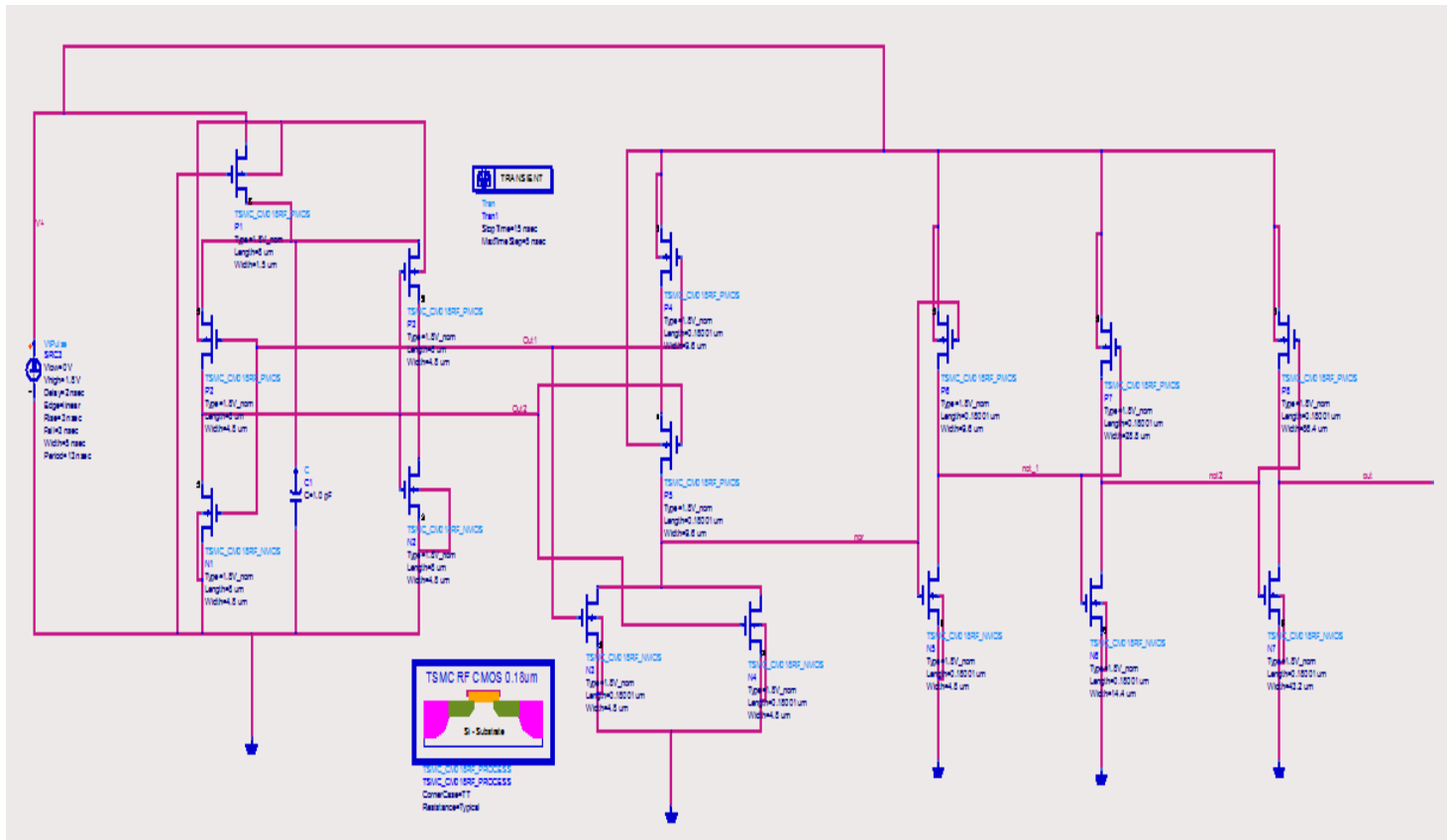
Τα μεγέθη των transistor που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση του rf voltage limiter φαίνονται στον Πίνακα 3.2 .Συγκεκριμένα δείχνει την αναλογία των διαστάσεων των transistors που χρησιμοποιούνται στη stacked diode τα οποία είναι σημαντικά μεγάλα σε 100 μm/0.6 μm.. Τα μεγέθη των υπόλοιπων transistor που επιλέχθηκαν είναι επίσης μεγάλα λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο ποσό της τάσης που πρέπει να ρυθμιστεί σε ολόκληρο το σύστημα .

Transistor	W	L
P1	100 μm	600 nm
P2	100 μm	600 nm
P3	100 μm	600 nm
P4	100 μm	600 nm
P5	100 μm	600 nm
P6	100 μm	600 nm
P7	100 μm	600 nm
P8	150 μm	600 nm
N1	100 μm	600 nm

Πίνακας 3.2 rf voltage limiter transistor sizes

### 3.3 Power On Reset

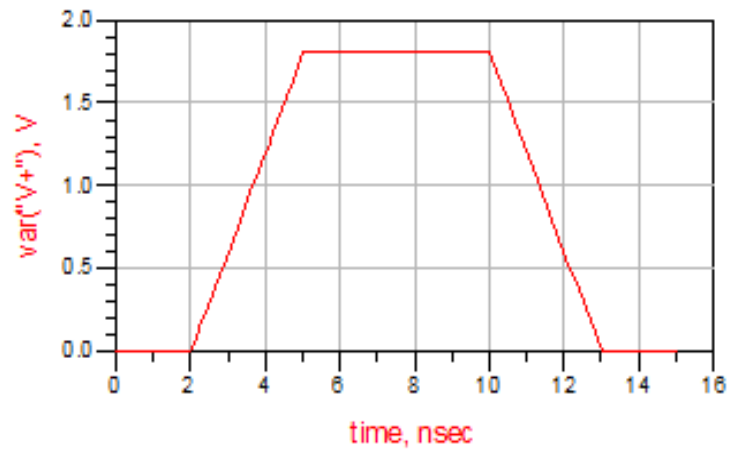
Η υλοποίηση του power on reset στο ADS φαίνεται στο Σχήμα3.7



Σχήμα 3.7 power on reset

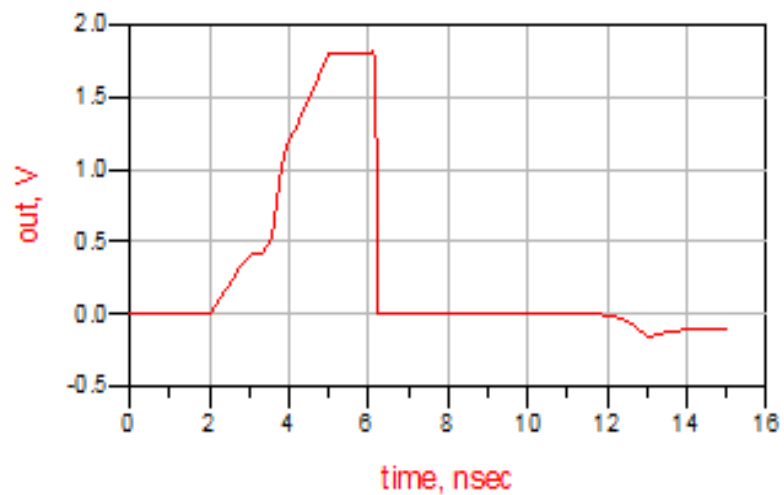
Στην είσοδο του κυκλώματος χρησιμοποιούμε μία πηγή η οποία παράγει ένα σήμα τραπέζιου παλμού. Η πηγή έχει τα εξής χαρακτηριστικά :  $V_{high} = 1.8V$   $Width = 5nsec$ ,  $Rise = 3nsec$ ,  $Fall = 3nsec$ . Η ίδια πηγή χρησιμοποιείται για να τροφοδοτηθούν και οι πύλες που υπάρχουν πριν την έξοδο. Στην έξοδο του κυκλώματος έχουμε συνδέσει μια πύλη NOR και τρεις NOT τις οποίες τις έχουμε υλοποιήσει με transistor.

Μετά την προσομοίωση έχουμε τη γραφική παράσταση της εισόδου που φαίνεται στο Σχήμα 3.8 και της εξόδου στο Σχήμα 3.9



Σχήμα3.8 V+

Όπου παρατηρούμε το τραπεζοειδές σήμα που δίνουμε ως είσοδο στο κύκλωμα



Σχήμα3.9 Out of PoR

Όπου παρατηρούμε το σήμα εξόδου το οποίο φτάνει μέχρι τα 1.8V όπως και το συνολικό κύκλωμα.

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θέσει Start time=0 nsec, Stop time=15 nsec και Max time step=5 nsec.

Για την κατασκευή των πυλών χρησιμοποιήθηκαν transistor, τα μεγέθη των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 3.3 .

Transistor	W	L
P4	9.6um	0.18001um
P5	9.6um	0.18001um
P6	9.6um	0.18001um
P7	28.8um	0.18001um
P8	86.4um	0.18001um
N3	4.8um	0.18001um
N4	4.8um	0.18001um
N5	4.8um	0.18001um
N6	14.4um	0.18001um
N7	43.2um	0.18001um

Πίνακας 3.3 gates transistor sizes

Συγκεκριμένα τα transistor P4, P5, N3, N4 υλοποιούν μια πύλη NOR και τα P6 και N5, P7 και N6 ,P8 και N7 τρεις πύλες NOT αντίστοιχα. Τα transistor κάθε πύλης NOT (PMOS και NMOS) έχουν τριπλάσιο πλάτος από τη προηγούμενη NOT για να οδηγούνται μεγαλύτερα φορτία.



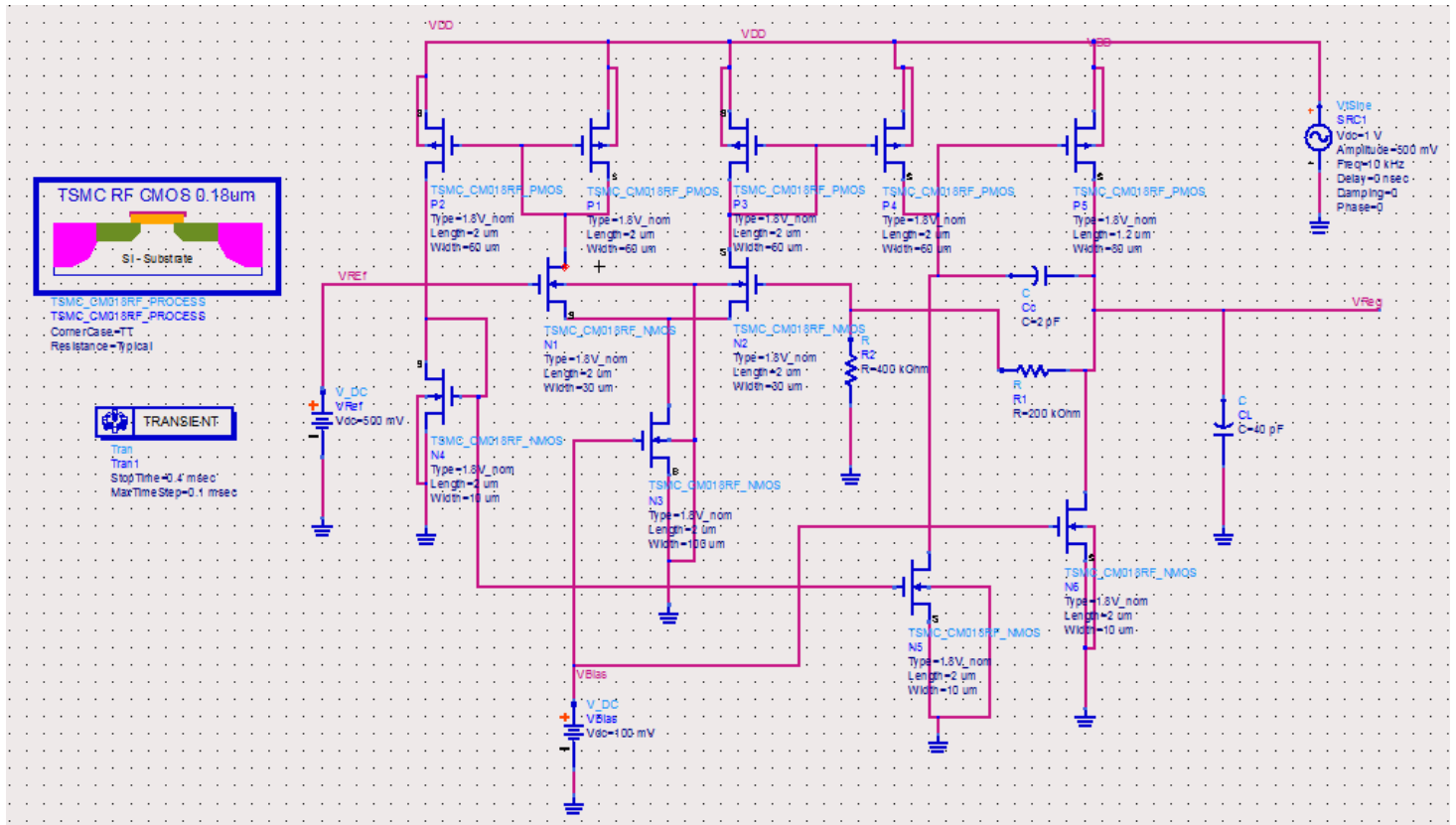
Τα μεγέθη των υπόλοιπων transistor που επιλέχτηκαν φαίνονται στον Πίνακα 3.4

Transistor	W	L
P1	1.5 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$
P2	4.8 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$
P3	4.8 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$
N1	4.8 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$
N2	4.8 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$

Πίνακας 3.4 Power-on-reset transistor sizes

### 3.4 Low-drop-out (LDO) voltage regulator

Η υλοποίηση του LDO στο ADS φαίνεται στο Σχήμα3.10



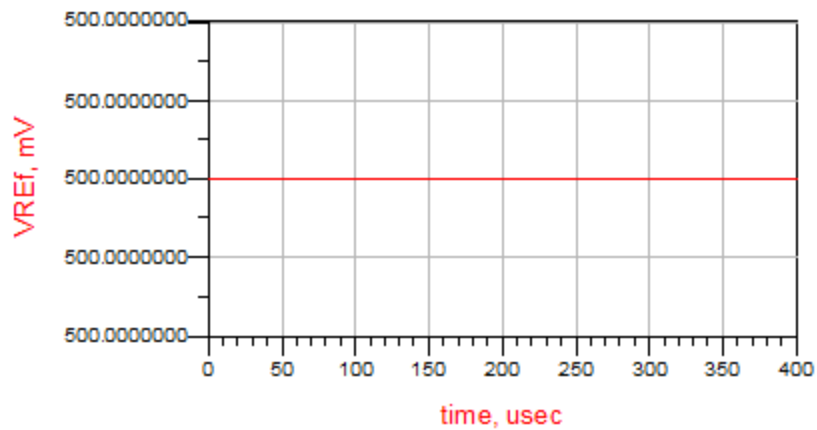
Σχήμα3.10 LDO

Όπως έχουμε πει και παραπάνω το κύκλωμα του LDO παρέχει μια σταθερή τάση τροφοδοσίας στο σύστημα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση μίας σταθερής πηγής τάσης γνωστή και ως “bandgap voltage reference” η οποία παράγει μια συνεχή σταθερή τάση ανεξαρτήτως από τις αλλαγές της τροφοδοσίας, τις αλλαγές της θερμοκρασίας και τη φόρτιση του συστήματος. Στο κύκλωμά μας η bandgap voltage reference είναι η Vref.

Έχοντας εξηγήσει πως λειτουργεί εσωτερικά το κύκλωμα στο 2.1.5 και λαμβάνοντας υπόψιν την σχέση

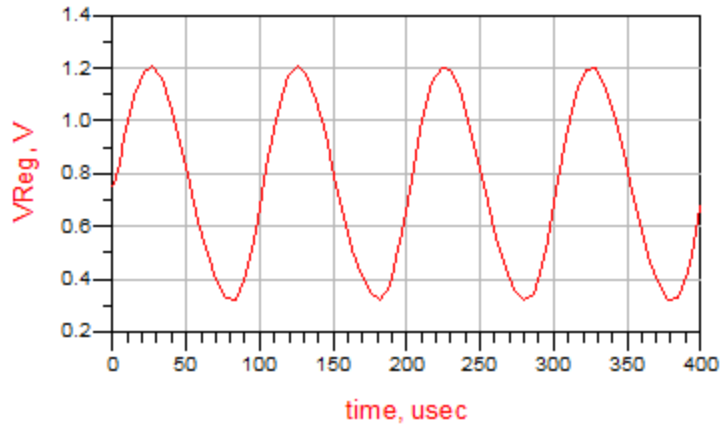
$$V_{REG} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_A}{R_B}\right)$$

,όπου  $R_A$  είναι η  $R1=200\text{ K}\Omega$  και  $R_B$  είναι η  $R2=400\text{ K}\Omega$  , θέτοντας  $V_{ref}=500\text{ mV}$  η οποία φαίνεται



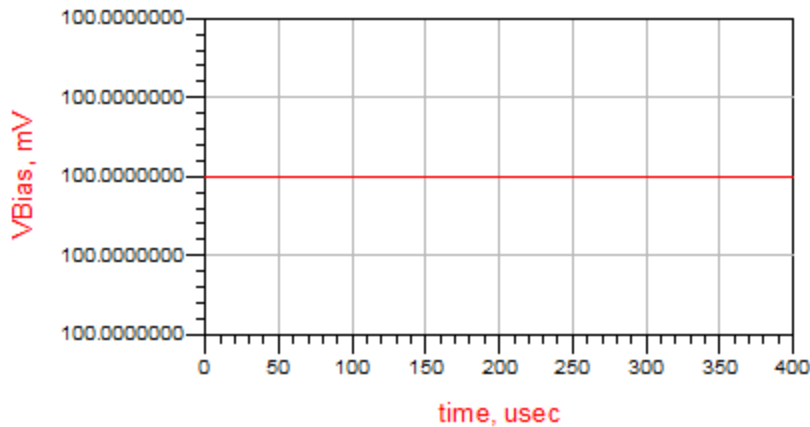
Σχήμα 3.11 Vref

έχουμε  $V_{reg}=0.75\text{ mV}$  από την οποία τιμή ξεκινάει η κυματομορφή του  $V_{reg}$  όπως φαίνεται και στο Σχήμα3.12

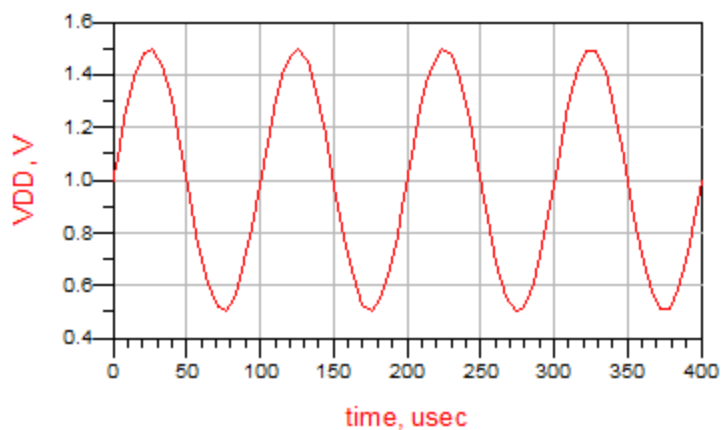


Σχήμα 3.12 Vreg

επίσης για να προσαρμόσουμε το πλάτος της Vreg και να φτάσουμε στην τιμή 1.2V, η οποία είναι η έξοδος του rectifier χρησιμοποιήσαμε στην σταθερή πηγή τάσης VBias=100 mV και στο VDD μία ημιτονοειδή πηγή τάσης με Vdc =1 V και Amplitude=500 mV. Οι αντίστοιχες πηγές φαίνονται στα Σχήμα 3.13 και Σχήμα 3.14 αντίστοιχα



Σχήμα 3.13 VBias



Σχήμα 3.14VDD

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θέσει Start time=0.0 msec, Stop time=0.4 msec και Max time step=0.1 msec.

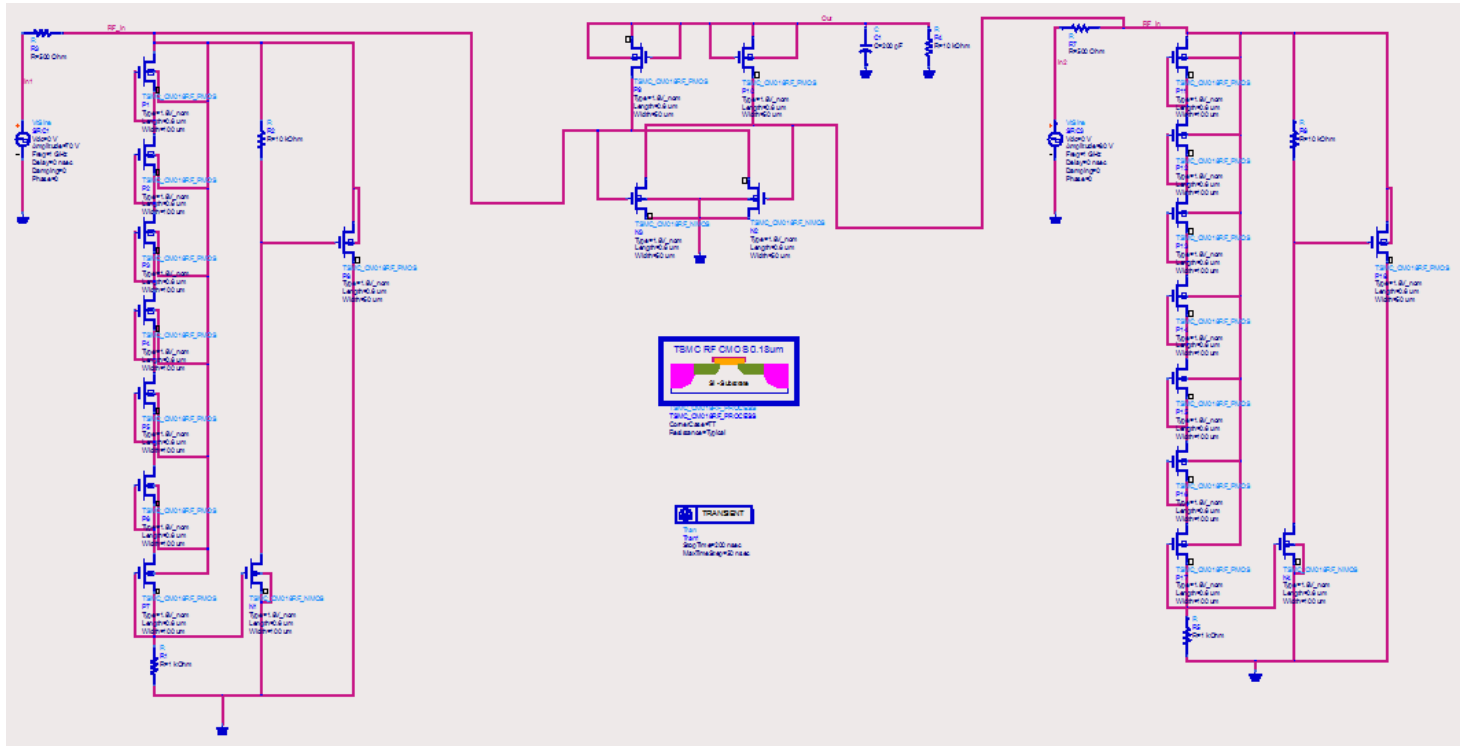
Τα μεγέθη των transistor που επιλέχτηκαν για την υλοποίηση του LDO φαίνονται στον Πίνακα3.5

Transistor	W	L
P1	60 μm	2 μm
P2	60 μm	2 μm
P3	60 μm	2 μm
P4	60 μm	2 μm
P5	800 μm	1.2 μm
N1	30 μm	2 μm
N2	30 μm	2 μm
N3	100 μm	2 μm
N4	10 μm	2 μm
N5	10 μm	2 μm
N6	10 μm	2 μm

Πίνακας3.5 LDO transistor sizes

### 3.5 Rf voltage limiter-Rectifier

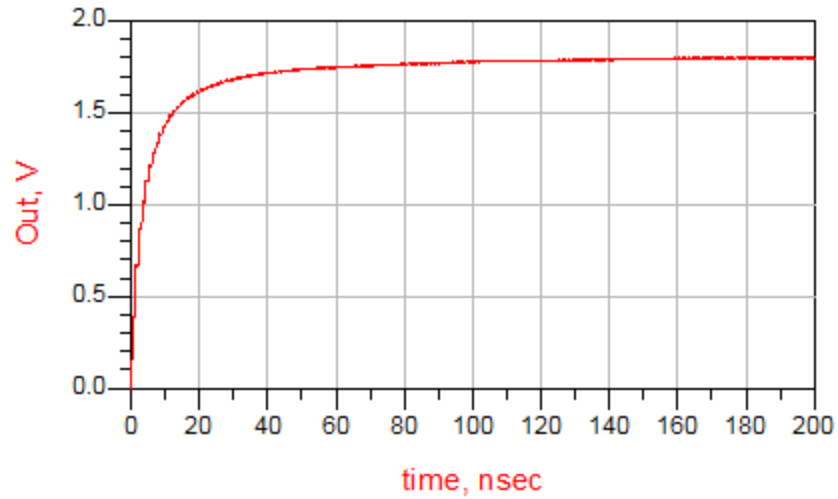
Η υλοποίηση του Limiter-Rectifier στο ADS φαίνεται στο Σχήμα3.15



Σχήμα3.15 Limiter-Rectifier

Στο συγκεκριμένο κύκλωμα στις εισόδους του rectifier βάλουμε ένα limiter. Τα κυκλώματα έχουν τις ίδιες τιμές με αυτές που περιγράφηκαν στις ενότητες 3.1 και 3.2 με τη διαφορά ότι στην ημιτονοειδή πηγή του αριστερού limiter έχουμε βάλει  $V_{dc}=0$  V,  $Amplitude=70$  V,  $Frequency=1$  GHz και στην αντίσταση που ακολουθεί  $R3=500$  Ohm. Αντίστοιχα στην ημιτονοειδή πηγή του δεξιού limiter έχουμε βάλει  $V_{dc}=0$  V,  $Amplitude=80$  V,  $Frequency=1$  GHz και στην αντίσταση που ακολουθεί  $R7=500$  Ohm. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν έτσι ώστε στην έξοδο να έχουμε αποτέλεσμα  $1.8$  V , δηλαδή στην συχνότητα που έχουμε επιλέξει να λειτουργεί το σύστημά μας.

Μετά την προσομοίωση του κυκλώματος έχουμε το συγκεκριμένο αποτέλεσμα στο Σχημα3.16



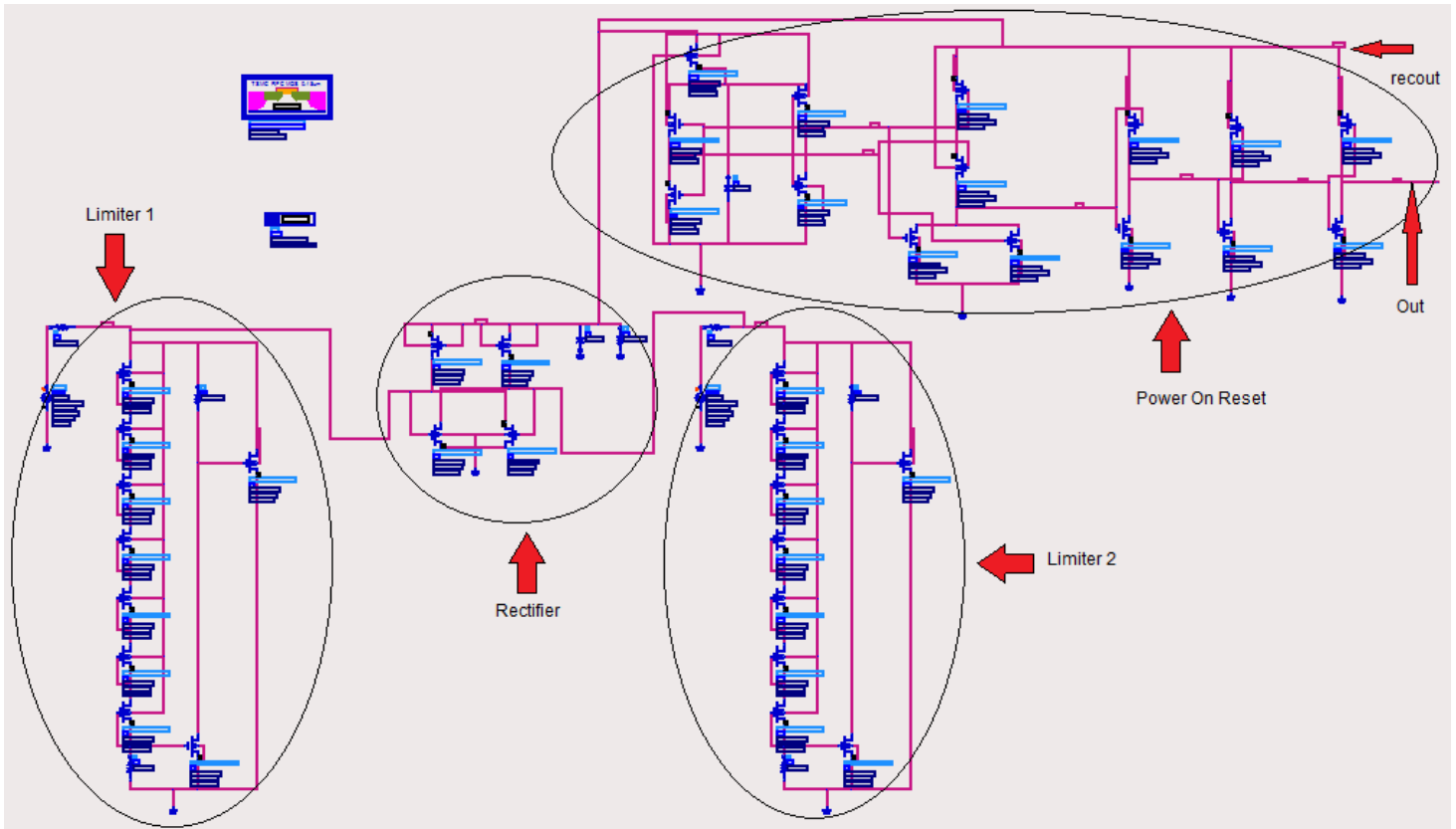
Σχήμα3.16 Out limiter-rectifier

Όπου βλέπουμε ότι η έξοδος σταθεροποιείται στα 1.8 V.

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θέσει Start time=0 nsec, Stop time=200 nsec και Max time step=50 nsec.

### 3.6 Rf voltage limiter-Rectifier-Power On Reset

Η υλοποίηση του κυκλώματος limiter-rectifier-PoR φαίνεται στο Σχήμα3.17

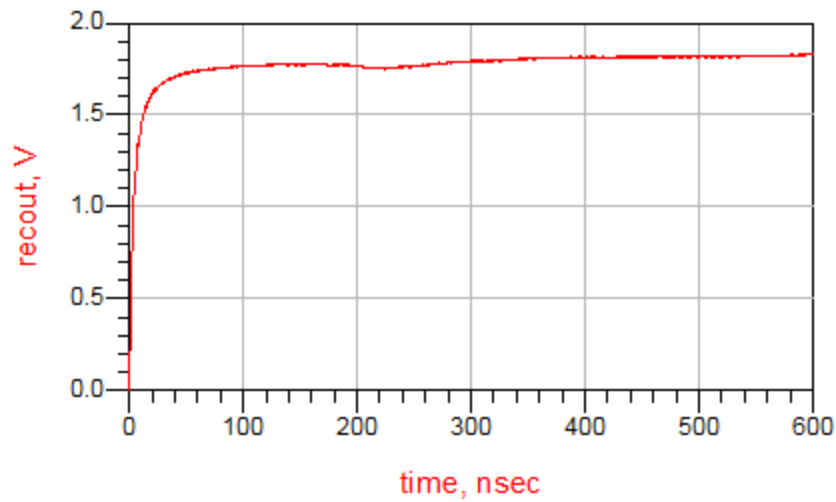


Σχήμα3.17 limiter-rectifier-PoR

Στο συγκεκριμένο κύκλωμα στην έξοδο του limiter-rectifier, το οποίο αναλύεται στην προηγούμενη ενότητα 3.5 , ενώσαμε το κύκλωμα του PoR της ενότητας 3.3. Τα κυκλώματα έχουν τις ίδιες τιμές με αυτές που περιγράφηκαν στις παραπάνω ενότητες. Η τροφοδοσία των πυλών που βρίσκονται στο PoR γίνεται από την είσοδο του ίδιου του PoR, η οποία είναι και η έξοδος του rectifier.

Αυτή την τροφοδοσία την ονομάσαμε recout και φαίνεται στο Σχήμα3.18

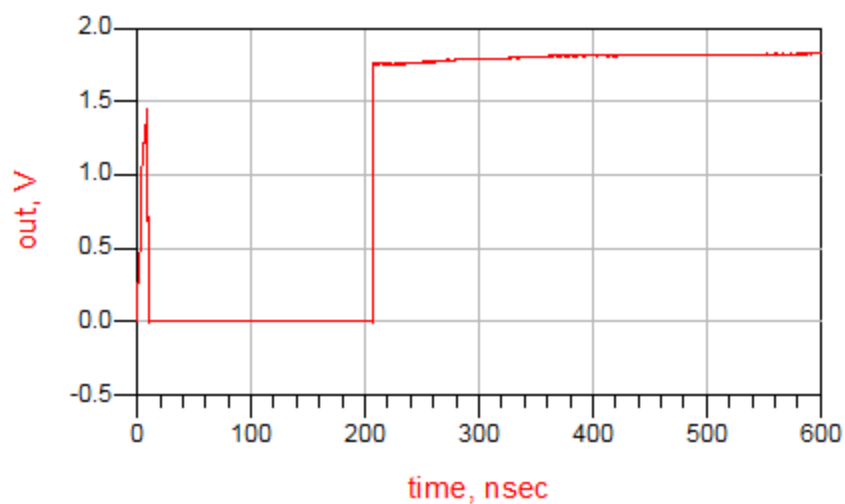




Σχήμα3.18 recout

Η τιμή του είναι 1.8 V , εκεί που έχουμε επιλέξει να λειτουργεί το σύστημά μας.

Μετά την προσομοίωση του κυκλώματος η έξοδος του φαίνεται στο Σχήμα3.19



Σχήμα3.19 Out limiter-rectifier-PoR

Παρατηρούμε ότι στην αρχή γίνεται μια κυμάτωση, η οποία φτάνει περίπου στα 1.5 V , μετά το σήμα μηδενίζεται και ξανα ενεργοποιείται μετά τα 200 nsec όπου και σταθεροποιείται στα 1.8 V.

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θέσει Start time=0 nsec, Stop time=600 nsec και Max time step=100 nsec.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### *ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ*

#### 4.1 Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία αρχικά εξηγήσαμε τον τρόπο λειτουργίας ενός RFID συστήματος, τη χρησιμότητά του και τα συστατικά του μέρη. Ύστερα περιγράφηκαν, αναλύθηκαν και σχεδιάστηκαν στο ADS τα περισσότερα και πιο βασικά κυκλώματα του αναλογικού πυρήνα του RFID συστήματος. Πιο συγκεκριμένα αναλύσαμε και σχεδιάσαμε τα κυκλώματα των Rectifier, Rf voltage limiter, Power On Reset(PoR) και Low-drop-out voltage regulator(LDO). Έπειτα μετά την υλοποίηση στο ADS δείξαμε τις εξόδους από αυτά τα κυκλώματα . Επιλέξαμε ολόκληρο το σύστημα να δουλεύει στα 1.8 V και έτσι προσαρμόσαμε τις κατάλληλες τιμές ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

#### 4.2 Μελλοντικές βελτιώσεις

Αν κάποιος ενδιαφέρεται για μελλοντικές εργασίες βασισμένες σε αυτή την εργασία μπορεί να ασχοληθεί με την υλοποίηση των υπολοίπων κυκλωμάτων του αναλογικού πυρήνα καθώς και του ψηφιακού πυρήνα. Αυτά τα κυκλώματα είναι τα Master-Bias voltage reference, Voltage references, Wide-swing Current Source, Capacitance to digital converter, Clock Extractor, Modulator and Demodulator .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

1. SAGNIK KAR, “DESIGN OF A LOW-POWER ANALOG CIRCUIT FOR AN IMPLANTABLE RFID-ENABLED DEVICE WITH PASSIVE PRESSURE SENSOR” , University of Missouri-Kansas City, 2011.
2. Sanjay E. Sarma, Stephen A. Weis, and Daniel W. Engels, “RFID Systems and Security and Privacy Implications”, Auto-ID Center Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139.
3. Tom Igoe, “ Getting Started with RFID” , Published by O’Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472.  
<http://it-ebooks.info/book/1963/>
4. Klaus Finkenzeller, “RFID HANDBOOK FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS IN CONTACTLESS SMART CARDS, RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION AND NEAR-FIELD COMMUNICATION, THIRD EDITION”, ISBN 978-0-470-69506-7.  
<http://it-ebooks.info/book/1770/>
5. Dr. Prabhat Pandey, Ms. K.D. Mahajan, “Application of RFID Technology in Libraries and Role of Librarian”.
6. “RFID Analog Front End Design Tutorial (version 0.0)”, Auto-ID labat University of Adelaide North Terrace Adelaide, SA 5005.
7. “Radio- frequency identification”, [http://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_identification](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification)
8. “What is RFID?”, <http://www.technovelgy.com/ct/technology-article.asp>
9. “Examining the Elements of a Basic RFID system”,  
<http://www.dummies.com/how-to/content/examining-the-elements-of-a-basic-rfid-system.html>
10. “RFID Components”

<http://www.brooks.com/applications-by-industry/rfid/rfid-basics/rfid-components>  
<http://www.brooks.com/applications-by-industry/rfid/rfid-basics/rfid-components/rfid-reader>  
<http://www.brooks.com/applications-by-industry/rfid/rfid-basics/rfid-components/rfid-antenna>  
<http://www.brooks.com/applications-by-industry/rfid/rfid-basics/rfid-components/transponder>

11. “RFID Business benefits”, [http://www.rfidc.com/docs/introductiontorfid\\_business.htm](http://www.rfidc.com/docs/introductiontorfid_business.htm)
12. “Advantages and Disadvantages of Using RFID Technology”,  
<http://terpconnect.umd.edu/~segloff/RFIDTest3/AdvantagesandDisadvantages.html>
13. V. DANIEL HUNT, ALBERT PUGLIA, MIKE PUGLIA “RFID-A GUIDE TO RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION”, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey  
[ftp://tor.ntu-kpi.kiev.ua/pub/pershin/LIBRARY/BOOKS%20AND%20GOST/BOOKS/\\_ENGLISH/RFID%20A%20Guide%20To%20Radio%20Frequency%20Identification.pdf](ftp://tor.ntu-kpi.kiev.ua/pub/pershin/LIBRARY/BOOKS%20AND%20GOST/BOOKS/_ENGLISH/RFID%20A%20Guide%20To%20Radio%20Frequency%20Identification.pdf)
14. Γενικές πληροφορίες από internet