

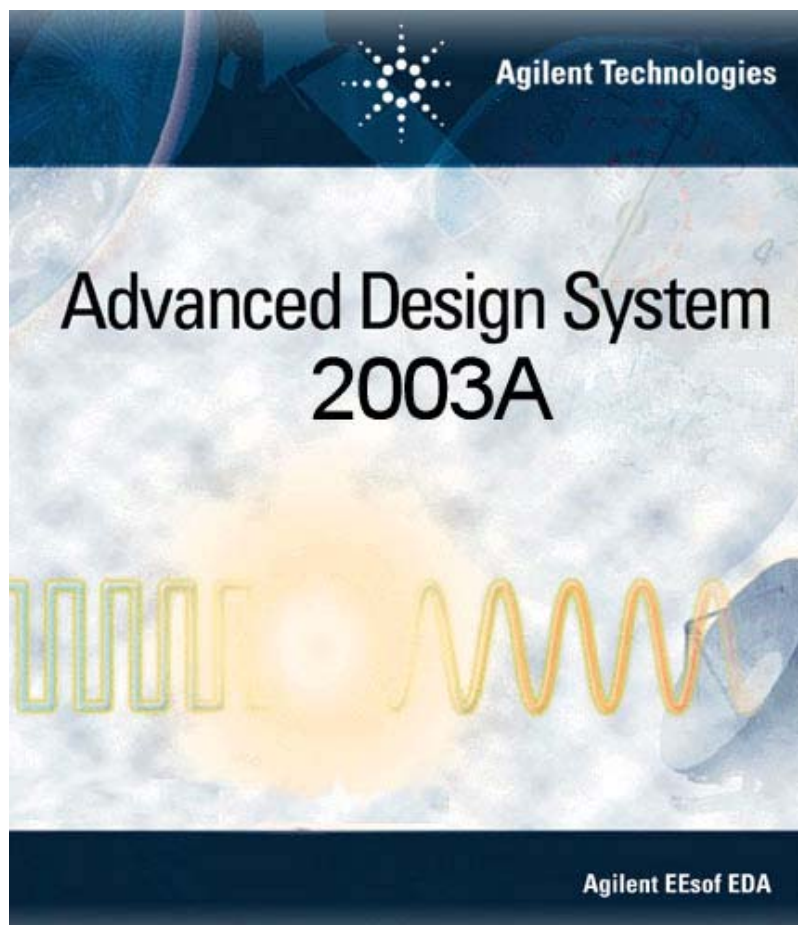


ΕΘΝΙΚΟΝ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΑΘΗΝΩΝ
NATIONAL & KAPODISTRIAN
UNIVERSITY OF ATHENS

ΔΠΜΣ
στη
Μικροηλεκτρονική



Σχεδίαση VLSI κυκλωμάτων για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές



Σχεδίαση πομποδεκτών με το πρόγραμμα ADS

Επιμέλεια: Αραπογιάννη Αγγελική
Καρράς Κίμων
Κόγιας Ιορδάνης

Εισαγωγή



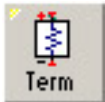





Σκοπός αυτού του εργαστηρίου είναι να σχεδιάσουμε έναν απλό ετερόδυνο δέκτη και να μετρήσουμε ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του με το πρόγραμμα ADS. Παρ'όλη την απλότητα του κυκλώματός μας η ίδια μεθοδολογία θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για πολύ πιο πολύπλοκα κυκλώματα.









Βοηθητικές πληροφορίες

Επιλέγοντας Help -> What's This? και μετά ένα οποιοδήποτε πλήκτρο στα διάφορα toolbar (και όχι μόνο) μπορεί να βρει στο εκτενές help file του προγράμματος περισσότερες πληροφορίες για τη λειτουργία του. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για να καταλάβει κανείς τις παραμέτρους του κάθε component και simulation.

Χρήσιμες παλέτες

Το ADS οργανώνει τα εξαρτήματα του σε παλέτες. Παρακάτω βλέπουμε τα κυριότερα εξαρτήματα που θα χρειαστούμε και τις παλέτες στις οποίες βρίσκονται:

Εικονίδιο	Όνομα	Παλέτα	Περιγραφή
	P_1Tone	Sources-Freq Domain	Σήμα εισόδου 1 συχνότητας
	P_nTone	Sources-Freq Domain	Σήμα εισόδου n συχνοτήτων & επιπέδων ισχύος
	Term	Simulation-S_Param, Simulation-HB, Simulation-LSSP	Αντίσταση τερματισμού
	Trans	Simulation-Transient	Ρυθμίσεις για την Transient ανάλυση
	HB	Simulation-HB	Ρυθμίσεις για την ανάλυση Harmonic Balance
	AC	Simulation-AC	Ρυθμίσεις για την AC ανάλυση
	PrmSwp	Όλες οι παλέτες προσομοίωση εκτός της Simulation-Instrument	Σαρώνει μια παράμετρο της επιλογής του χρήστη.
	Sweep Plan	Όλες οι παλέτες προσομοίωση εκτός της Simulation-Instrument	Η χρήση του είναι προαιρετική. Ορίζει παραμέτρους για μια σάρωση (sweep).

	Options	Όλες οι παλέτες προσομοίωση εκτός της Simulation-Instrument και στην Optim/Stat/Yield/DOE	Περιέχει γενικές επιλογές για τις προσομοιώσεις.
	BudGain	Simulation-HB, Simulation-AC	Επιστρέφει την απολαβή ισχύος σε dB. Ορίζεται ως η ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο μείον την ισχύ που είναι διαθέσιμη από την πηγή.
	BudNF	Simulation-AC	Επιστρέφει την τιμή του NF σε dB σε κάθε component.
	BudSNR	Simulation-HB, Simulation-AC	Επιστρέφει την τιμή του SNR σε dB σε κάθε component.
	IP3out	Simulation-HB	Επιστρέφει την τιμή του IP3 σε dBm στην έξοδο του κυκλώματος.
	Amp	System-Amps & Mixers	Ενισχυτής για RF συστήματα
	Mixer	System-Amps & Mixers	Μίκτης για RF συστήματα
	Chbshv	Σε όλες τις παλέτες φίλτρων	Φίλτρο τύπου Chebyshev

Φτιάχνοντας το κύκλωμα

Το κύκλωμα του δέκτη μας είναι κοινό σε όλες τις αναλύσεις. Θα μπορούσαμε να πραγματοποιήσουμε όλες τις αναλύσεις με ένα μόνο σχηματικό αλλά δεν θα το κάνουμε γιατί πολλές φορές μερικές παράμετροι που πρέπει να θέσουμε σε μια τιμή στη μια προσομοίωση επηρεάζουν αρνητικά μια άλλη προσομοίωση. Έτσι θα φτιάξουμε ξεχωριστά designs για κάθε προσομοίωση.

Δημιουργία νέου project

File -> New Project

Βάζουμε ως όνομα τα AM των σπουδαστών που αποτελούν την ομάδα (πχ. MM085092). Ως μονάδες επιλέγουμε χιλιοστά.

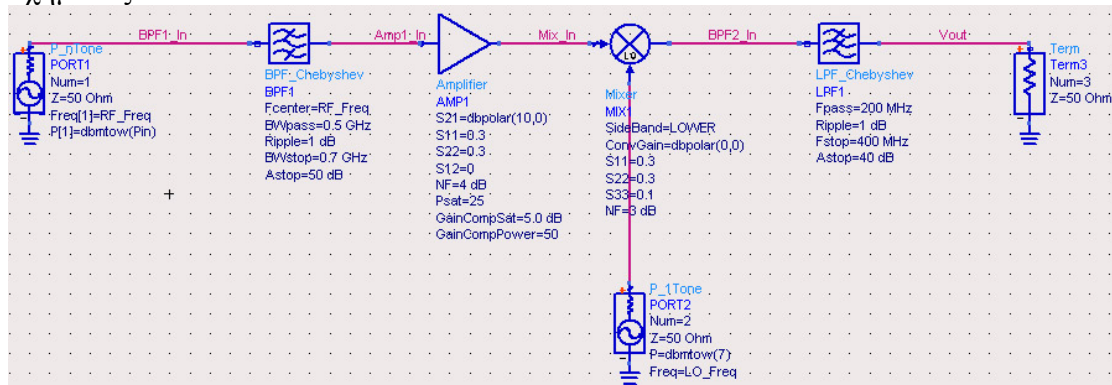
Δημιουργία νέου σχεδίου

File -> New Design

Ως όνομα δίνουμε SIF_ Transient και πατάμε OK.

Συνθέτοντας το σχέδιο

Επιλέγοντας τα κατάλληλα components φτιάχνουμε το κύκλωμα του σχήματος:



Αυτό το κύκλωμα είναι ένας απλός ετερόδυνος δέκτης, ο οποίος αποτελείται από:

- ✓ 1 πηγή σήματος εισόδου (χρησιμοποιήστε πηγή πολλών συχνοτήτων γιατί στην προσομοίωση HB θα χρειαστεί να προσθέσουμε και μια ακόμα συχνότητα εισόδου).
- ✓ 1 φίλτρο διέλευσης ζώνης τύπου Chebyshev (θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλους τύπους φίλτρων)
- ✓ 1 ενισχυτή RF
- ✓ 1 μίκτη
- ✓ 1 πηγή σήματος του τοπικού ταλαντωτή
- ✓ 1 φίλτρο διέλευσης X:Σ. τύπου Chebyshev (και εδώ θα μπορούσαμε να επιλέξουμε άλλο τύπο φίλτρου)

Αφού τοποθετήσουμε όλα τα στοιχεία του κυκλώματος από τις κατάλληλες παλέτες πρέπει να τα συνδέσουμε. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το εικονίδιο:



και κάνοντας κλικ στους ακροδέκτες που θέλουμε να συνδέσουμε. Μετά πρέπει να δώσουμε ονόματα στους κλάδους του κυκλώματός μας αν θέλουμε το ADS να συλλέξει στοιχεία γι' αυτούς. Για να ονομάσουμε ένα κλάδο επιλεγούμε το:



γράφουμε το όνομα που θέλουμε και κάνουμε κλικ στον κλάδο στον οποίο θέλουμε να δώσουμε αυτό το όνομα.

Πριν ρυθμίσουμε τα στοιχεία του κυκλώματός μας θα προσθέσουμε μερικές μεταβλητές σε αυτό. Η χρήση μεταβλητών μας δίνει ευελιξία σε τιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται πολλές φορές σε διαφορετικά σημεία ενός κυκλώματος. Επιλέγουμε το εικονίδιο:



και το τοποθετούμε στο σχέδιο μας. Κάνουμε διπλό-κλικ πάνω του και ανοίγουμε το παράθυρο με τις ιδιότητές του. Προσθέτουμε τις παρακάτω μεταβλητές, βάζοντας το όνομα της μεταβλητής στο πλαίσιο Name, την τιμή της (με τις μονάδες) στο πλαίσιο Variable Value και πατώντας Add:

Μεταβλητή	Τιμή	Σημασία
LO_Freq	1.8 GHz	Συχνότητα τοπικού ταλαντωτή
F_Spacing	100 KHz	Διαφορά συχνοτήτων για το τεστ 2 τόνων (θα χρησιμοποιηθεί την HB προσομοίωση)
RF_Freq	2 GHz	Συχνότητα φέροντος
Pin	-30	Ισχύς σήματος

Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο ότι το ADS διακρίνει μεταξύ κεφαλαίων και μικρών χαρακτήρων (πχ αν δώσετε Ghz σαν μονάδες θα θεωρηθεί λάθος).

Τέλος μένει να ρυθμίσουμε τα στοιχεία του κυκλώματος κατάλληλα. Κάνοντας διπλό-κλικ σε κάθε στοιχείο ανοίγει το παράθυρο με τις ιδιότητές του. Εναλλακτικά εάν η ιδιότητα που θέλουμε να αλλάξουμε φαίνεται στο σχηματικό μπορούμε να την αλλάξουμε κατευθείαν εκεί κάνοντας κλικ πάνω της. Συνήθως στα περισσότερα στοιχεία οι κύριες ιδιότητες τους φαίνονται στο σχηματικό. Σε κάθε στοιχείο μπορούμε να αλλάξουμε ποιες ιδιότητες εμφανίζονται στο σχηματικό από το παράθυρο ιδιοτήτων του, ρυθμίζοντας την παράμετρο “Display parameter on schematic” για την παράμετρο που θέλουμε.

Για την πηγή σήματος εισόδου μπορούμε να θέσουμε κατευθείαν στο σχηματικό:

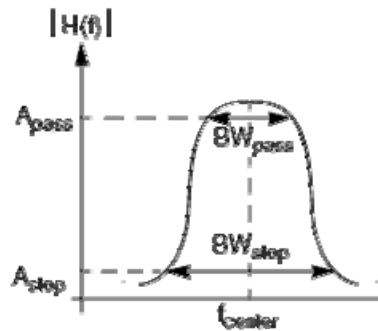
- ✓ Freq[1]=RF_Freq
- ✓ P[1]=dbmtow(Pin)

Η συνάρτηση dbmtow (dBm to Watt) μετατρέπει μια τιμή από dBm σε Watt.

Για το φίλτρο διέλευσης ζώνης επιλογής καναλιού θέτουμε:

- ✓ Fcenter=RF_Freq
- ✓ BWpass=0.5 GHz
- ✓ Apass=1 db
- ✓ Ripple=1 db
- ✓ BWstop=0.7 GHz
- ✓ Astop=20 dB

Ως κεντρική συχνότητα του φίλτρου θέτουμε την συχνότητα του φέροντος. Οι τιμές για τα BWpass και BWstop επιλέγονται έτσι ώστε να επιτύχουμε επαρκή απόρριψη των κοντινών συχνοτήτων αλλά και να μην οδηγήσουν σε φίλτρο μεγάλης τάξης του οποίου η πρακτική κατασκευή θα είναι αδύνατη. Το παρακάτω σχήμα εξηγεί τη σημασία των δύο αυτών παραμέτρων για ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης.



Η παράμετρος Ripple δίνει την κυμάτωση του φίλτρου, η A_{pass} την εξασθένιση στα σημεία BW_{pass} και η A_{stop} την εξασθένιση στα σημεία BW_{stop} .

Στον ενισχυτή ορίζουμε τις εξής παραμέτρους:

- ✓ $S_{21} = \text{dbpolar}(10,0)$
- ✓ $S_{11} = 0.3$
- ✓ $S_{22} = 0.3$
- ✓ $S_{12} = 0$
- ✓ $NF = 4 \text{ dB}$
- ✓ $P_{sat} = 25$
- ✓ $\text{GainCompSat} = 5.0 \text{ dB}$
- ✓ $\text{GainCompPower} = 50$
- ✓ $\text{GainComp} = 1 \text{ dB}$

Οι πρώτες τέσσερις παράμετροι είναι οι S παράμετροι του ενισχυτή. Ορίζουν έναν μονόδρομο ενισχυτή μέτριας ενίσχυσης. Η παράμετρος NF ορίζει την εικόνα θορύβου του κυκλώματος και έχει χαμηλή τιμή γιατί ο αρχικός ενισχυτής σε ένα δέκτη είναι πάντα LNA. P_{sat} είναι η ισχύς κόρου του ενισχυτή, GainCompSat είναι η συμπίεση της απολαβής όταν η ισχύς έχει φτάσει στο P_{sat} , η GainCompPower δίνει την ισχύ σε dBm στο σημείο συμπίεσης απολαβής που ορίζει η παράμετρος GainComp .

Στην πηγή εισόδου του σήματος τοπικού ταλαντωτή βάζουμε:

- ✓ $\text{Freq} = \text{LO_Freq}$
- ✓ $P = \text{dbmtow}(7)$

Για τον μίκτη του συστήματος έχουμε:

- ✓ $\text{SideBand} = \text{LOWER}$
- ✓ $S_{11} = 0.3$
- ✓ $S_{22} = 0.3$
- ✓ $S_{33} = 0.1$
- ✓ $NF = 3 \text{ dB}$

Με την παράμετρο SideBand ορίζουμε αν θα κάνουμε upmixing ή downmixing ή και τα δύο. Επίσης ορίζουμε τους συντελεστές ανάκλασης σε κάθε μία από τις εισόδους του μίκτη και την εικόνα θορύβου του.

Τέλος ρυθμίζουμε **το φίλτρο διέλευσης Χ.Σ.** με τις εξής παραμέτρους:

- ✓ $F_{pass} = 200 \text{ MHz}$
- ✓ $A_{pass} = 1 \text{ dB}$
- ✓ $\text{Ripple} = 1 \text{ dB}$
- ✓ $F_{stop} = 400 \text{ MHz}$
- ✓ $A_{stop} = 40 \text{ dB}$

Οι παράμετροι εδώ είναι παρόμοιες με του φίλτρου διέλευσης ζώνης που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω. Η αντίσταση τερματισμού δεν χρειάζεται ρυθμίσεις.

Τέλος τοποθετούμε και ένα **Options component** στο οποίο θέτουμε:

- ✓ Simulation Temperature=16.85
- ✓ Model Temperature=25

Transient ανάλυση

Σε μια transient ανάλυση το ADS λύνει μια σειρά από διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες εκφράζουν τις σχέσεις μεταξύ των ρευμάτων και των τάσεων του κυκλώματος. Η ανάλυση είναι μη-γραμμική και γίνεται συναρτήσει του χρόνου και πιθανώς κάποιας άλλης μεταβλητής. Με την transient ανάλυση μπορούμε να:

- ✓ Πραγματοποιήσουμε μια transient ανάλυση του κυκλώματος στο πεδίο του χρόνου.
- ✓ Πραγματοποιήσουμε μια μη-γραμμική ανάλυση του κυκλώματος, η οποία περιλαμβάνει απώλειες εξαρτώμενες από τη συχνότητα και φαινόμενα διασποράς σε γραμμικά μοντέλα. Τέτοιες αναλύσεις λέγονται αναλύσεις συνέλιξης (convolution).

Για να πραγματοποιήσουμε μια transient ανάλυση πρέπει να τοποθετήσουμε το κατάλληλο component στο σχέδιο μας και να το ρυθμίσουμε θέτοντας την αρχή της ανάλυσης στα 0 nsec το τέλος στα 50 nsec και μέγιστο βήμα 1.0 psec.

Πατάμε το:



για να ξεκινήσουμε την προσομοίωση. Μόλις το ADS ολοκληρώσει την προσομοίωση θα μας ανοίξει το παράθυρο αποτελεσμάτων στο οποίο μπορούμε να δούμε τα στοιχεία που έχουμε συλλέξει. Αρχικά το παράθυρο είναι άδειο και πρέπει εμείς να επιλέγουμε ποιες κυματομορφές θέλουμε να δούμε. Το ADS μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε τα αποτελέσματα της εξομοίωσής μας με διάφορους τρόπους. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως το γράφημα και τη λίστα τα σύμβολα των οποία φαίνονται παρακάτω.

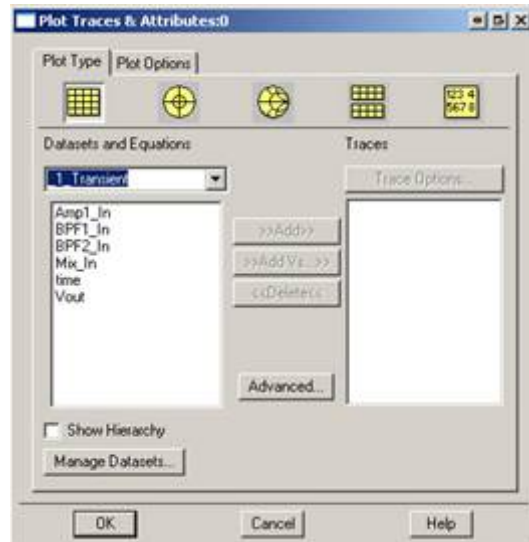


γράφημα



λίστα

Για να προσθέσουμε ένα γράφημα επιλέγουμε το κατάλληλο πλήκτρο από την εργαλειοθήκη στα αριστερά του παραθύρου και τοποθετούμε το γράφημα στο χώρο εργασίας. Το ADS μας δείχνει το παρακάτω παράθυρο, στο οποίο στα αριστερά βλέπουμε τα δεδομένα που έχει συλλέξει το ADS από το κύκλωμα μας, στην προκειμένη περίπτωση τις τιμές τάσης στα διάφορα σημεία του κυκλώματος και το χρόνο. Επιλέγουμε τη μεταβλητή που θέλουμε να δούμε και πατάμε το πλήκτρο Add. Στη δεξιά στήλη εμφανίζονται οι μεταβλητές που θα αναπαρασταθούν στο διάγραμμα.

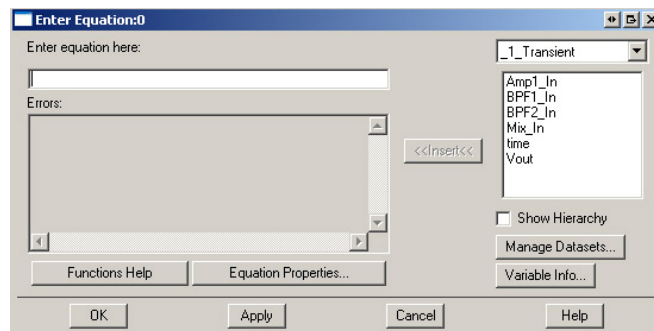


Μπορούμε στο ίδιο διάγραμμα να έχουμε πολλές μεταβλητές. Μετά πατάμε OK και έχουμε το διάγραμμά μας. Χρησιμοποιώντας αντί για το Add το Add Vs μπορούμε να ορίσουμε και την τιμή του X άξονα. Αν επιλέξουμε Add το ADS επιλέγει αυτόματα ανάλογα με την μεταβλητή και τον τύπο προσομοίωσης. Με το Delete αφαιρούμε κάποια μεταβλητή από τη δεξιά στήλη, ενώ μπορούμε και να αλλάξουμε τον τύπο απεικόνισης (πχ λίστα αντί για γράφημα) με τα πλήκτρα στο πάνω μέρος του παραθύρου. Προσθέστε στο χώρο εργασίας γραφικές για την τάση σε όλα τα σημεία του κυκλώματος.

Στο ADS μπορούμε να εισάγουμε δικές μας εξισώσεις στο παράθυρο αποτελεσμάτων οι οποίες επεξεργάζονται τα δεδομένα που συλλέξαμε από την προσομοίωση. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το πλήκτρο:



στην αριστερή εργαλειοθήκη. Το ADS μας βγάζει το εξής παράθυρο στο οποίο μπορούμε να εισάγουμε την εξίσωση που θέλουμε:

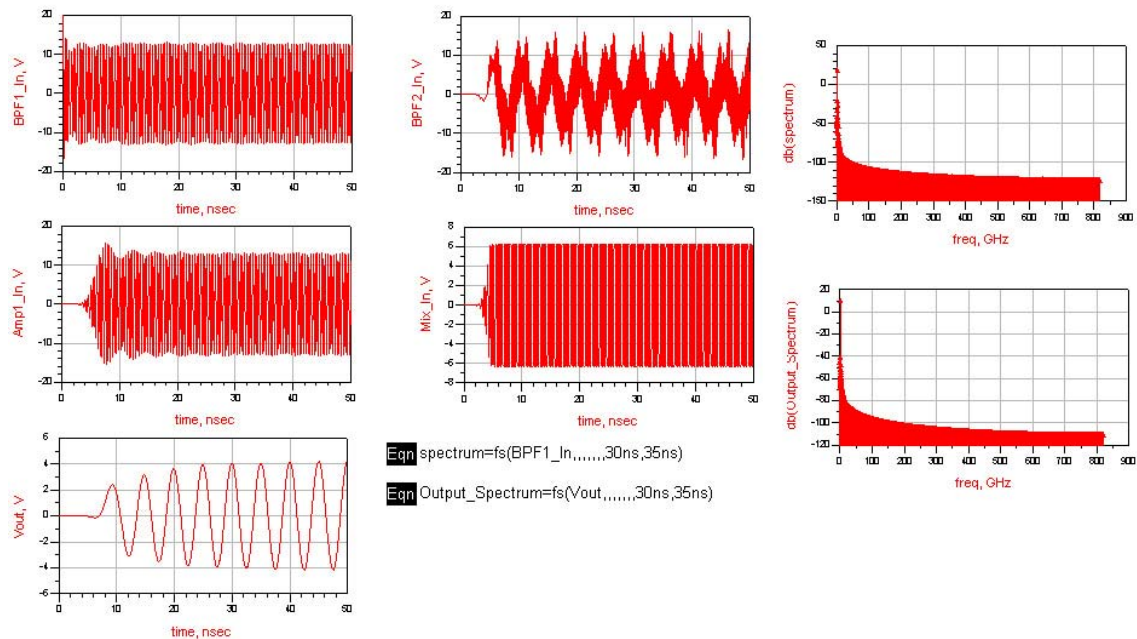


Γράψτε την παρακάτω εξίσωση στο παράθυρο:

$$\text{spectrum} = \text{fs}(\text{BPF1_In}, \dots, 30\text{ns}, 35\text{ns})$$

όπου αντί για BPF1_In βάλτε το όνομα του κόμβου εισόδου του κυκλώματος που δώσατε. Αυτή η έκφραση χρησιμοποιεί την έτοιμη συνάρτηση fs του ADS και αποθηκεύει το αποτέλεσμά της στη μεταβλητή spectrum. Η συνάρτηση fs

πραγματοποιεί μετατροπή από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας. Έτσι θα πάρουμε το φάσμα του κόμβου εισόδου. Προσθέστε μια δεύτερη εξίσωση με την οποία παίρνετε το φάσμα του κόμβου εξόδου. Για να δούμε αυτές τις μεταβλητές ως γράφημα, προσθέτουμε ένα γράφημα στο χώρο εργασίας και επιλέγουμε Advanced από το παράθυρο που εμφανίζεται. Μετά δίνουμε dB(spectrum) στο πλαίσιο του νέου παραθύρου και πατάμε OK και στα δύο παράθυρα. Τώρα μας έχει εμφανιστεί το φάσμα σε dB. Κάντε το ίδιο για τον κόμβο εξόδου. Το τελικό αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι σαν αυτό:



AC Προσομοίωση

Σε μία AC ανάλυση το πρόγραμμα υπολογίζει αρχικά το DC σημείο λειτουργίας του κυκλώματος και γραμμικοποιεί όλα τα μη-γραμμικά στοιχεία του κυκλώματος γύρω από το σημείο λειτουργίας τους. Μετά πραγματοποιεί μια AC ανάλυση μικρού σήματος στην καθορισμένη περιοχή συχνοτήτων. Με την AC προσομοίωση μπορούμε:

- ✓ Να πραγματοποιήσουμε μια AC ανάλυση μικρού σήματος με σάρωση είτε της συχνότητας είτε κάποιας άλλης μεταβλητής.
- ✓ Να συλλέξουμε παραμέτρους μικρού σήματος, όπως η απολαβή τάσης και ρεύματος και η διαγωγιμότητα.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την AC ανάλυση για να μετρήσουμε την απολαβή, την εικόνα θορύβου και το SNR στα διάφορα στοιχεία του κυκλώματος. Τοποθετούμε το component της AC ανάλυσης στο σχέδιο μας και το ρυθμίζουμε με τις εξής παραμέτρους:

- ◇ Στο tab Frequency
 - Sweep Type – Single Point
 - Frequency – RF_Freq

- ◇ Στο tab Noise
 - Επιλέγουμε το Calculate Noise
 - Προσθέτουμε τον πρώτο και τον τελευταίο κλάδο του κυκλώματος μας στη λίστα επιλέγοντας τους από το dropdown menu και πατώντας Add.
- ◇ Στο tab Parameters
 - Επιλέγουμε το Enable AC frequency conversion
 - Επιλέγουμε το Perform Budget Simulation

Αφού ρυθμίσουμε την προσομοίωση μας πρέπει να προσθέσουμε τα component που υπολογίζουν τα μεγέθη που θέλουμε να μετρήσουμε. Μπορούμε να υπολογίσουμε οποιοδήποτε μέγεθος θέλουμε χρησιμοποιώντας τις τιμές τάσεων και ρευμάτων που διαβάζει το ADS από το κύκλωμα και εξισώσεις όπως κάναμε στην transient ανάλυση. Το ADS μας δίνει ορισμένα components τα οποία υπολογίζουν τις πιο κοινές παραμέτρους ενός κυκλώματος. Τοποθετούμε τα components BudGain, BudNF και BudSNR στο σχέδιο μας. Μένει να ρυθμίσουμε το κάθε component. Ουσιαστικά κάθε component είναι και μια κλήση σε μια συνάρτηση και, όπως όλες οι συναρτήσεις και αυτές, χρειάζονται κάποιες παραμέτρους. Κοιτάζοντας το help του ADS μπορούμε να δούμε τις παραμέτρους αυτές για κάθε μια από τις συναρτήσεις που χρησιμοποιούμε:

BudGain

$$y = bud_gain(vIn, iIn, \{Zs, Plan, pinNumber, "simName"\})$$

ή

$$y = bud_gain("SourceName", \{SrcIndx, Zs, Plan\})$$

Εμείς χρησιμοποιούμε την πρώτη μορφή και έτσι έχουμε:

$$BudGain1 = bud_gain(AC.PORT1.t1.v, AC.PORT1.t1.i, 50.0, 1, "AC1")$$

όπου AC.PORT1.t1.v είναι η τάση στην είσοδο, AC.PORT1.t1.i το ρεύμα στην είσοδο, 50.0 είναι η αντίσταση στην είσοδο, μετά παραλείπεται η παράμετρος Plan, το 1 δηλώνει σε ποιόν ακροδέκτη του κάθε component θα μετράμε την απολαβή, και τέλος "AC1" είναι το όνομα της προσομοίωσης. Το όνομα της τάσης και του ρεύματος στο ADS δίνεται από το όνομα της προσομοίωσης, το όνομα του component, τον αριθμό του ακροδέκτη, και το μέγεθος που θέλουμε. Εναλλακτικά μπορούμε να τρέξουμε ένα simulation και να δούμε στη λίστα με τα μεγέθη που έχει μετρήσει το ADS ακριβώς το όνομα του κάθε μεγέθους.

BudNF

$$y = bud_nf(vIn, iIn, noiseIn, \{Zs, BW, pinNumber, "simName"\})$$

or

$$y = bud_nf("SourceName")$$

Και εδώ χρησιμοποιούμε την πρώτη μορφή και έχουμε:

```
BudNF1=bud_nf(AC.PORT1.t1.v, AC.PORT1.t1.i,
AC.PORT1.t1.v.noise,,1,"AC1")
```

όπου οι δύο πρώτες παράμετροι είναι όπως στο BudGain, η παράμετρος AC.PORT1.t1.v.noise είναι ο θόρυβος στη είσοδο, μετά παραλείπονται η αντίσταση εισόδου και το bandwidth του θορύβου (το ADS τα θεωρεί αυτόματα 50Ω και 1Hz αντίστοιχα), και μετά έχουμε πάλι τον ακροδέκτη την τιμή του οποίου υπολογίζει η συνάρτηση και το όνομα της προσομοίωσης.

BudSNR

```
y = bud_snr({Plan, pinNumber, "simName"})
```

όπου έχουμε:

```
BudSNR1=bud_snr(1)
```

όπου παραλείπουμε την παράμετρο Plan, 1 είναι ο ακροδέκτης που μετράμε και παραλείπουμε και το όνομα της προσομοίωσης.

Τώρα είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε την προσομοίωση μας. Αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση πρέπει να προσθέσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που θέλουμε. Αυτή τη φορά θα χρησιμοποιήσουμε τη μορφή λίστας γιατί είναι πιο πρακτική για το συγκεκριμένο τύπο αποτελεσμάτων. Προσθέστε τις μετρήσεις για τα BudGain1, BudNF1 και BudSNR1 από τη λίστα με τα μεγέθη που έχει μετρήσει του ADS. Το αποτέλεσμα πρέπει να μοιάζει με αυτό:

BudSNR1							
freq	Component=AMP1	Component=BPFF1	Component=LFPF1	Component=MIX1	Component=PORT1	Component=PORT2	Component=Term3
2.000GHZ	173.975	173.975	133.978	133.978	173.975	173.975	133.978

BudGain1							
freq	Component=AMP1	Component=BPFF1	Component=LFPF1	Component=MIX1	Component=PORT1	Component=PORT2	Component=Term3
2.000GHZ	-0.406	-0.406	8.901	10.413	-0.406	-0.044	8.901

BudNF1							
freq	Component=AMP1	Component=BPFF1	Component=LFPF1	Component=MIX1	Component=PORT1	Component=PORT2	Component=Term3
2.000GHZ	0.000	0.000	39.997	39.997	0.000	0.000	39.997

Harmonic Balance (HB)

Η HB ανάλυση γίνεται στο πεδίο των συχνοτήτων και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση παραμορφώσεων σε μη γραμμικά κυκλώματα και συστήματα. Με την προσομοίωση HB μπορούμε να πραγματοποιήσουμε προσομοίωση πολλών τόνων στην οποία παρουσιάζονται προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης. Μπορούμε να έχουμε μέχρι 12 τόνους στην είσοδο, ενώ ο αριθμός των συνολικών συχνοτήτων που λαμβάνονται υπόψη περιορίζεται μόνο από την μνήμη του συστήματος το μέγεθος του swar file και την ταχύτητα προσομοίωσης.

Η επίλυση του κυκλώματος βασίζεται στην υπόθεση ότι για κάθε ημιτονική διέγερση υπάρχει μια λύση η οποία μπορεί να προσεγγιστεί με μια πεπερασμένη σειρά Fourier.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την HB ανάλυση για να υπολογίσουμε την συμπίεση απολαβής και το IP3 του κυκλώματος. Για πρακτικούς λόγους θα πραγματοποιήσουμε τις δύο εξομοιώσεις σε ξεχωριστά σχηματικά. Ξεκινώντας από το κύκλωμα που σχεδιάσαμε αρχικά προσθέστε ένα HB component και ένα Sweep Plan component.

Αρχικά θα ρυθμίσουμε το HB component:

- ◇ Στο tab Freq:
 - Maximum Order = 5 (η μέγιστη τάξη αρμονικών που θα υπολογίσει το κύκλωμα)
 - Προσθέτουμε τις συχνότητες εισόδου και τοπικού ταλαντωτή με Order 5 στη λίστα.
- ◇ Στο tab Sweep
 - Parameter to Sweep = Pin
 - Επιλέγουμε το Use Sweep Plan και διαλέγουμε το SwpPlan1 από το dropdown list.
- ◇ Στο tab Params
 - Επιλέγουμε το Perform Budget Simulation

Για να ρυθμίσουμε το Sweep Plan θέτουμε τις παραμέτρους:

- ◇ Start = -10
- ◇ Stop = 30
- ◇ Step-Size = 0.5

Έτσι ορίζουμε τις τιμές μεταξύ των οποίων θα σαρώσουμε την ισχύ εισόδου. Εκτελούμε την προσομοίωση και στο παράθυρο αποτελεσμάτων τοποθετούμε νέο γράφημα. Πατάμε το advanced και εισάγουμε την έκφραση:

$$\text{db}(\text{Vout})$$

Αυτή η έκφραση θα μας δώσει το φάσμα της εξόδου σε dB. Μετά προσθέστε ένα ακόμα γράφημα με την έκφραση:

$$\text{db}(\text{Vout}[:,1])$$

Αυτή η έκφραση θα μας δώσει την τιμή της τάσης εξόδου συναρτήσει της ισχύος. Για να υπολογίσουμε την συμπίεση της απολαβής χρειαζόμαστε την ευθεία προέκταση της γραφική παράστασης αυτής (δηλαδή την τάση που θα παίρναμε αν το κύκλωμα δεν έφτανε ποτέ σε κόρο). Αυτή μπορούμε να την πάρουμε εισάγοντας τις εξής εξισώσεις:

$$\text{Eqn Gain}=\text{dB}(\text{Vout}[1])-\text{Pin}$$

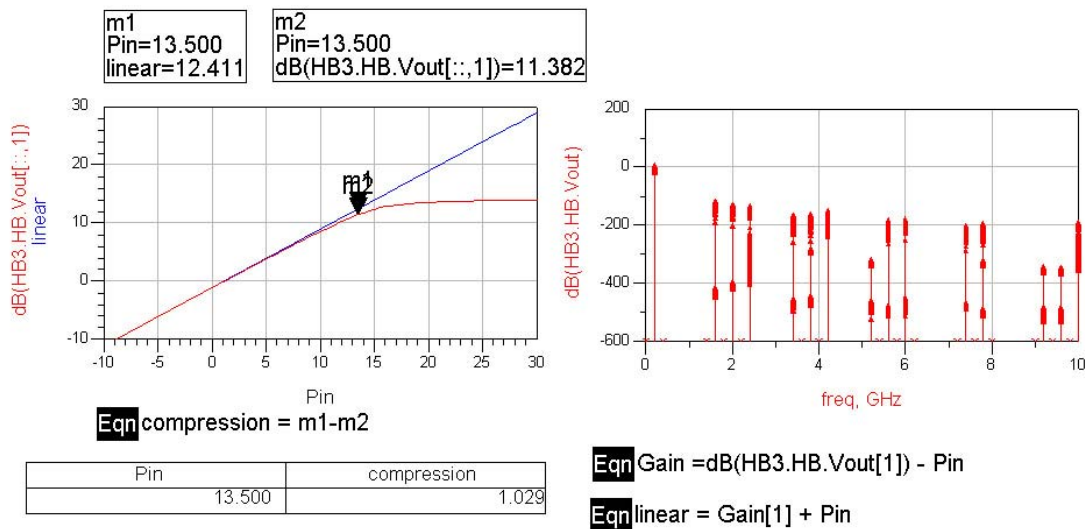
$$\text{Eqn linear}=\text{Gain}[1]+\text{Pin}$$

Για να προσθέσουμε την ευθεία στην γραφική μας κάνουμε διπλό κλικ πάνω της, πατάμε το Advanced και γράφουμε linear. Για να δούμε την ακριβή τιμή μιας γραφικής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε markers. Από το menu Marker επιλέγουμε New και τοποθετούμε ένα marker στη γραφική που αναπαριστά την τάση εξόδου.

Προσθέτουμε δυο markers έναν σε κάθε γραμμή σε τέτοια σημεία ώστε η διαφορά των Vout που δείχνουν να είναι 1 db (πιθανότατα δεν θα είναι ακριβώς ένα db λόγω του μικρού πλήθους σημείων που χρησιμοποιήσαμε στη σάρωση. Μπορούμε να αυξήσουμε την ανάλυση τους διαγράμματος μειώνοντας το Step Size στο Sweep Plan). Τις τιμές των markers μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε σε πράξεις και διαγράμματα. Εισάγουμε την εξίσωση:

$$\text{Eqn compression} = m1 - m2$$

Τέλος προσθέτουμε το αποτέλεσμα σε μια λίστα ώστε να έχουμε το εξής:



Η τελευταία ανάλυση που θα πραγματοποιήσουμε είναι πάλι HB ανάλυση αλλά αυτή τη φορά θα μετρήσουμε το IP3 του κυκλώματός μας. Ξεκινώντας πάλι από το αρχικό μας σχηματικό πρέπει να προσθέσουμε και έναν δεύτερο τόνο στην είσοδο ο οποίος αναπαριστά τον παραμβολέα. Έτσι θα έχουμε δύο συχνότητες στην είσοδο:

- ✓ Freq[1]=RF_Freq-F_Spacing/2
- ✓ Freq[2]= RF_Freq+F_Spacing/2
- ✓ P[1]=dbmtow(Pin)
- ✓ P[2]=dbmtow(Pin)

Επίσης πρέπει να αλλάξουμε το HB component κατάλληλα ώστε να περιέχει και τις 3 συχνότητες του κυκλώματος.

Για τον υπολογισμό του IP3 είναι απαραίτητο να ευρεθούν πρώτα οι δείκτες των διαφόρων συχνοτήτων εξόδου. Η εύρεση των δεικτών απαιτεί την εκτέλεση μιας προσομοίωσης. Αφού εκτελέσουμε μια προσομοίωση προσθέτουμε στο παράθυρο αποτελεσμάτων μια λίστα και εισάγουμε τα αποτελέσματα των Mix(1), Mix(2) και Mix(3). Στη λίστα που θα εμφανιστεί πρέπει να βρούμε τη συχνότητα του σήματος καθώς και των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης μετά τη μίξη. Οι συχνότητες αυτές είναι 199.95 και 199.85 MHz αντίστοιχα. Η λίστα δείχνει τους δείκτες όλων των συχνοτήτων που παράγονται κατά τη μίξη. Εντοπίζουμε τις 2

τριάδες που θέλουμε, ώστε να τις συμπληρώσουμε στο component υπολογισμού του IP3.

Για να υπολογίσουμε το IP3 χρησιμοποιούμε το κατάλληλο component.

IP3out

$$y = ip3_out(vOut, fundFreq, imFreq, zRef)$$

όπου έχουμε:

$$ipol=ip3_out(Vout, \{-1,1,0\}, \{-1,2,-1\}, 50)$$

όπου Vout είναι η τάση στην έξοδο, στις αγκύλες έχουμε τους δείκτες των αρμονικών για την βασική και την συχνότητα ενδοδιαμόρφωσης και 50 είναι η αντίσταση αναφοράς..

Αφού συμπληρώσουμε τα στοιχεία στο IP3 component μπορούμε να ξαναεκτελέσουμε την προσομοίωση μας. Αυτή τη φορά προσθέτουμε το αποτέλεσμα του IP3 (το default όνομα είναι ipol) ως λίστα. Θα πάρουμε μια τιμή IP3 για κάθε τιμή του Pin αλλά η τιμή που μας ενδιαφέρει είναι για Pin=-10.

Ενδιαφέρον έχει να δούμε και το φάσμα μετά τη μίξη. Προσθέτουμε ένα νέο γράφημα στο οποίο δίνουμε την έκφραση: db(Vout). Το πρόβλημα με τη γραφική που παίρνουμε είναι ότι λόγω του autoscaling που κάνει το ADS στους άξονες, δεν μπορούμε να διακρίνουμε το σημείο που μας ενδιαφέρει (μεταξύ 199 και 200 MHz δηλαδή). Για να το αλλάξουμε αυτό κάνουμε διπλό κλικ πάνω στο γράφημα και στο παράθυρο ιδιοτήτων του επιλέγουμε το tab Plot Options. Εκεί απενεργοποιούμε την επιλογή Auto Scale και στο X και στον Y άξονα και θέτουμε για τον X:

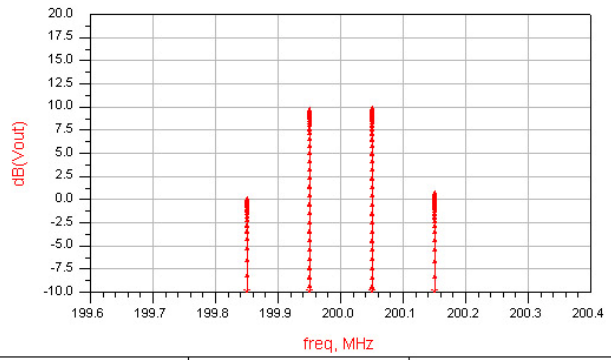
$$\text{Min} = 1.996e8, \text{Max} = 2.004e8, \text{Step} = 1e5$$

και για τον Y:

$$\text{Min} = -10, \text{Max} = 20, \text{Step} = 2.5$$

Το γράφημα πρέπει τώρα να έχει εστιάσει στο σωστό σημείο. Το τελικό αποτέλεσμα πρέπει να μοιάζει με αυτό:

Pin	ipo1
-10.000	32.418



freq	_1_HB.Mix	freq	_1_HB.Mix(2)	_1_HB.Mix(3)
Pin=-10.000, _1_HB.Mix(1)		Pin=-10.000		
0.0000 Hz	0	0.0000 Hz	0	0
100.0kHz	0	100.0kHz	1	-1
200.0kHz	0	200.0kHz	2	-2
199.8MHz	-1	199.8MHz	-1	2
199.9MHz	-1	199.9MHz	0	1
200.0MHz	-1	200.0MHz	1	0
200.1MHz	-1	200.1MHz	2	-1
399.9MHz	-2	399.9MHz	0	2
400.0MHz	-2	400.0MHz	1	1
400.1MHz	-2	400.1MHz	2	0
1.400GHz	3	1.400GHz	-2	0
1.400GHz	3	1.400GHz	-1	-1
1.400GHz	3	1.400GHz	0	-2
1.600GHz	2	1.600GHz	-2	1
1.600GHz	2	1.600GHz	-1	0
1.600GHz	2	1.600GHz	0	-1