

B5 Ανάλυση Σημάτων και Κυκλωματικών Διατάξεων με το MultiSIM

B5.1 Εισαγωγή στην ανάλυση του MultiSIM

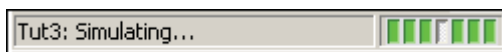
Η διαδικασία της ανάλυσης κυκλωμάτων χρησιμοποιείται για την εξομοίωση της συμπεριφοράς των κυκλωμάτων σε επίπεδο ηλεκτρονικής σχεδίασης.

Η διαδικασία της ανάλυσης οδηγεί γρήγορα και εύκολα στον τελικό σχεδιασμό ενός κυκλώματος από τον μηχανικό δίνοντας του τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο του μετρητικά εργαλεία που θα ήταν δύσκολο να έχει στη φυσική τους διάσταση.

Η διαδικασία της ανάλυσης στο MultiSIM παρέχει δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει παραμέτρους εξέτασης που βασίζονται σε εντολές SPICE .

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ενός κυκλώματος γράφονται στο εργαλείο καταγραφέα (Grapher) του MultiSIM και αποθηκεύονται για χρήση μέσα στον μετεπεξεργαστή δεδομένων(Postprocessor).

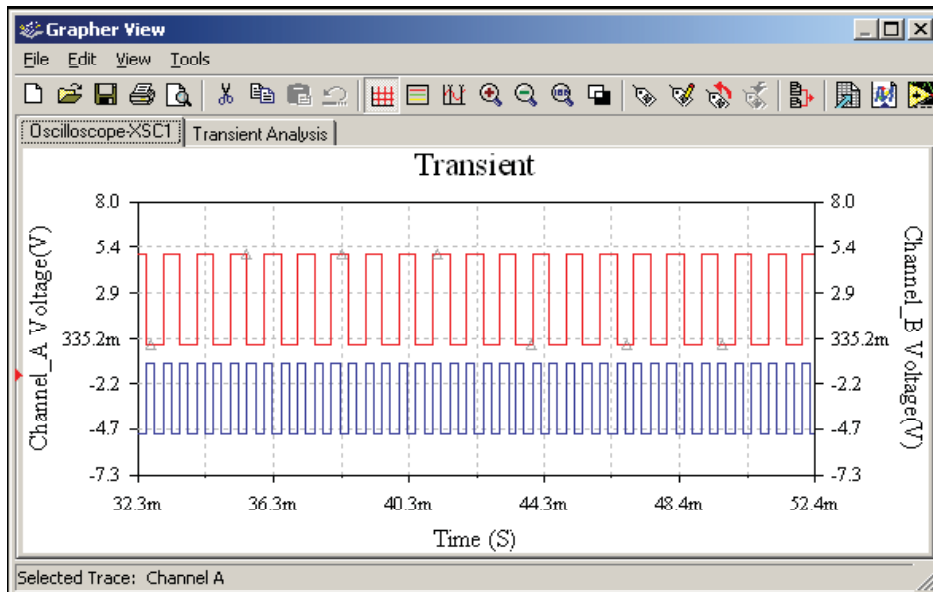
Ο ενδείκτης Simulation Running Indicator εμφανίζεται στη μπάρα καταστάσεων του περιβάλλοντος του MultiSIM, όταν μια ανάλυση βρίσκεται σε εξέλιξη .



Σχήμα B5.1: Ένδειξη προσομοίωσης

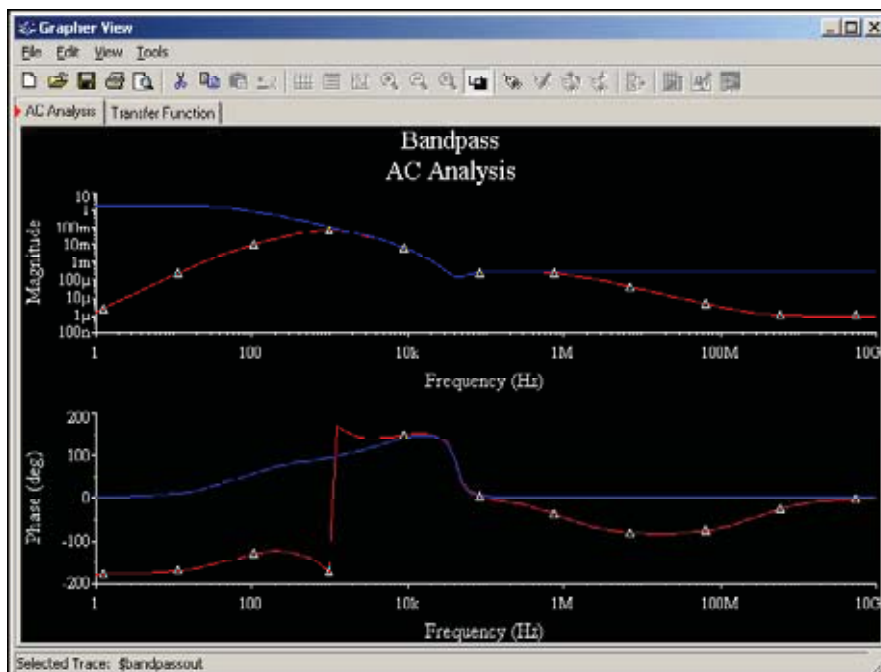
B5.2 Προβολή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

Ο καταγραφέας (Grapher) είναι μια οθόνη πολλαπλών επιπέδων που επιτρέπει να παρατηρούμε, να ρυθμίζουμε, να αποθηκεύουμε και να εξάγουμε αποτελέσματα γραφημάτων. Για να εμφανίσουμε το εργαλείο καταγραφέα (Grapher), επιλέγουμε View/Grapher. Κάθε ανάλυση που πραγματοποιούμε σε ένα κύκλωμα εμφανίζει τα αποτελέσματά της σε μια ξεχωριστή σελίδα του καταγραφέα. Κάθε ακόλουθη ανάλυση μπορεί να εμφανίζεται σε μια ξεχωριστή σελίδα του επιπέδου ή σε ξεχωριστό επίπεδο



Σχήμα Β5.2: Προβολή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

Σε περιπτώσεις ανάλυσης AC (AC Analysis) το μέγεθος της φάσης (phase) και του πλάτους (magnitude) του σήματος στο πεδίο συχνοτήτων απεικονίζονται σε δύο γραφικά σε ένα επίπεδο παρατήρησης.



Σχήμα Β5.3: Απεικόνιση δύο αποτελεσμάτων σε μια εικόνα

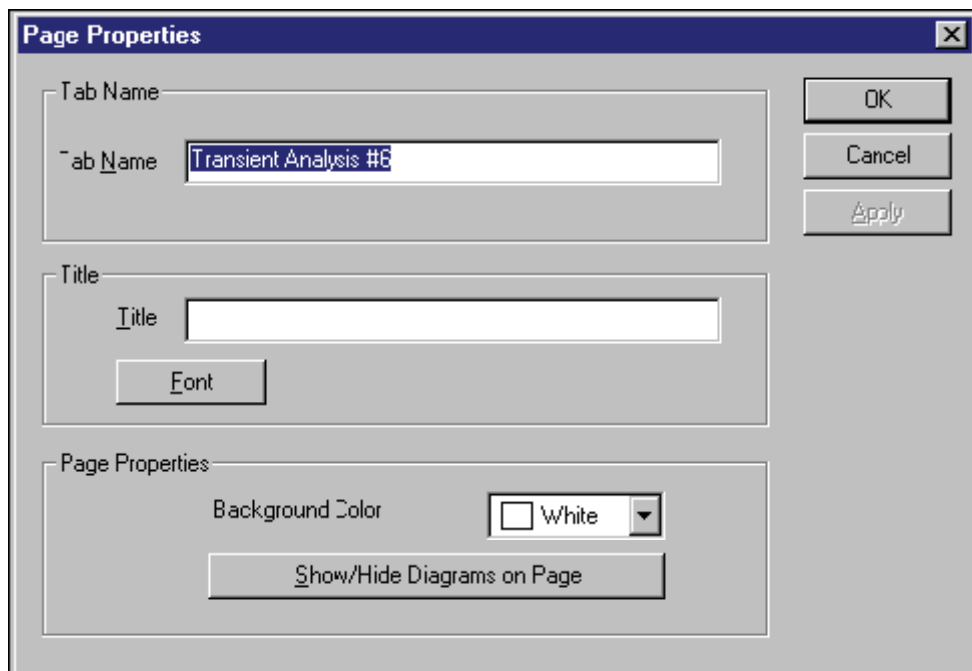
Το παράθυρο μας προσφέρει έναν αριθμό από πλήκτρα – εργαλεία με τα οποία μπορούμε να εξερευνήσουμε τα μεγέθη στη γραφική παράσταση:



Σχήμα B5.4: Η μπάρα εργαλείων για την διαχείριση των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης

Για να αλλάξουμε τις ιδιότητες των σελίδων στον καταγραφέα:

1. Επιλέγουμε μια σελίδα κάνοντας κλικ στην ετικέτα της.
2. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Page Properties, για να εμφανιστεί το πεδίο διαλόγου Page Properties.




Σχήμα B5.5: Ρυθμίσεις των ιδιοτήτων σε μια σελίδα του καταγραφέα

Για να αλλάξουμε:


- Τον τίτλο της ετικέτας, τροποποιούμε το πεδίο Tab Name
- Τον τίτλο του γραφήματος ή του σχεδιαγράμματος, τροποποιούμε το πεδίο Title
- Τη γραμματοσειρά του τίτλου, επιλέγουμε το πλήκτρο Font.

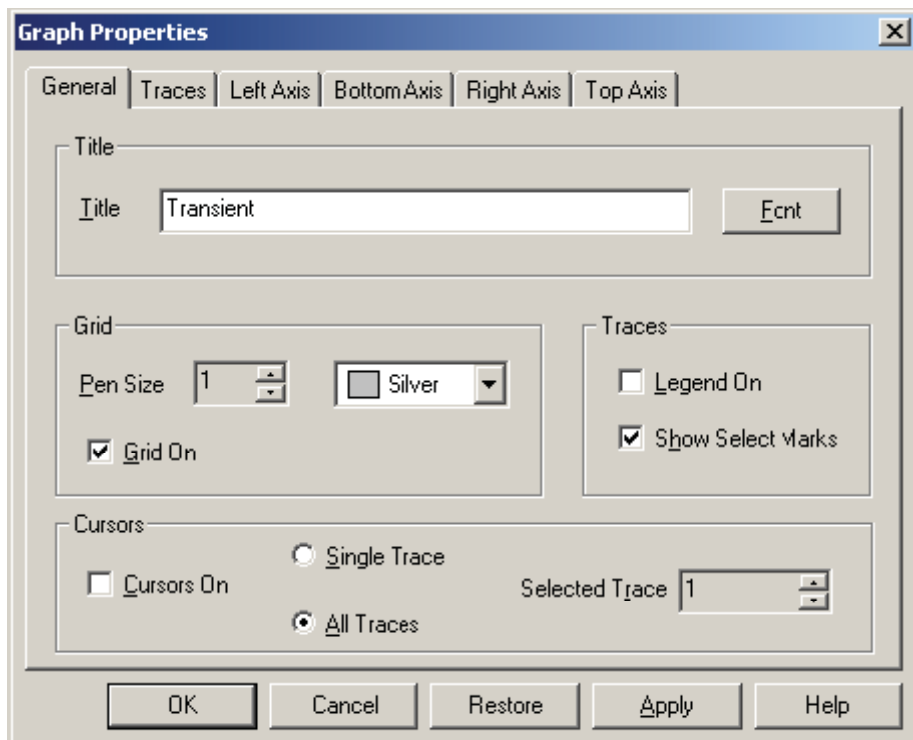
- Για τα διαγράμματα που θα εμφανίζονται επάνω στην σελίδα κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Show/Hide Diagrams on Page και επιλέγουμε από τη λίστα που εμφανίζεται.
3. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο OK, για να εφαρμοστούν οι αλλαγές.

Για να εφαρμόσουμε ένα πλέγμα σε ένα γράφημα:

1. Επιλέγουμε ένα γράφημα κάνοντας κλικ οπουδήποτε πάνω σε αυτό.
2. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Show/Hide Grid. 

Β5.2.1 Περισσότερες ιδιότητες γραφημάτων


1. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Properties , για να εμφανιστεί το πεδίο διαλόγου Graph Properties, και επιλέγουμε λεπτομερέστερες επιλογές των γραφημάτων.




Σχήμα Β5.6: Λεπτομερέστερες επιλογές των γραφημάτων

B5.2.2 Κέρσορες Γραφημάτων

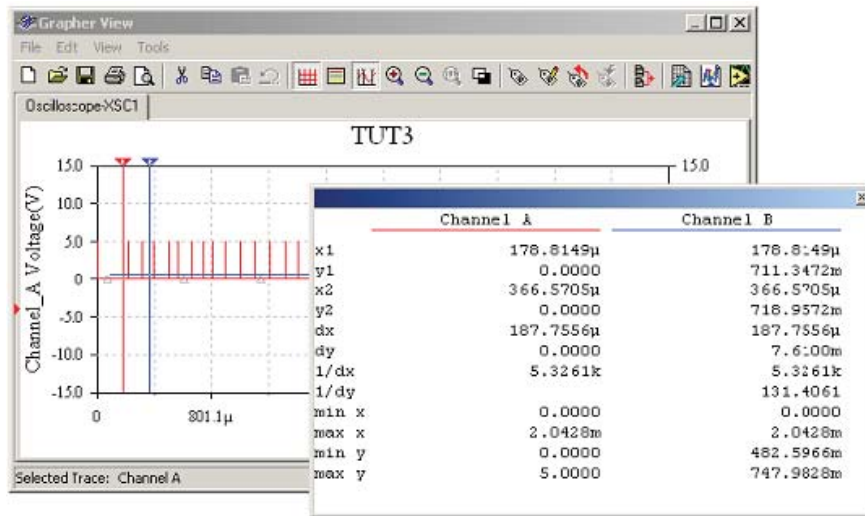
Για να εφαρμόσουμε τους κέρσορες παρατήρησης σε ένα γράφημα:

1. Επιλέγουμε ένα γράφημα κάνοντας κλικ οπουδήποτε πάνω σε αυτό.
2. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Show/Hide Cursors. Για να αποκρύψουμε τους κέρσορες, κάνουμε κλικ στο ίδιο πλήκτρο ξανά. 

ή

1. Επιλέγουμε ένα γράφημα κάνοντας κλικ οπουδήποτε επάνω σε αυτό.
2. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Properties , για να εμφανίσουμε το πεδίο διαλόγου Graph Properties.
3. Επιλέγουμε την ετικέτα General.
4. Ενεργοποιούμε την επιλογή Cursors On.
5. Επιλέγουμε Single Trace, για να δούμε τα δεδομένα του κέρσορα για μια ακολουθία, ή All Traces, για να δούμε δεδομένα του κέρσορα για όλες τις ακολουθίες. Αν επιλέξουμε Single Trace και υπάρχουν περισσότερες από μια ακολουθίες μέσα στο γράφημά μας, χρησιμοποιούμε το πεδίο Trace, για να επιλέξουμε αυτήν που επιθυμούμε.

Όταν ενεργοποιούμε το στοιχείο των κερσώρων, δύο κάθετοι κέρσορες εμφανίζονται στην επιλεγμένη γραφική. Την ίδια στιγμή ένα παράθυρο αναδύεται εμφανίζοντας μια λίστα δεδομένων για μια ή για όλες τις ακολουθίες. Για να μετακινήσουμε έναν κέρσορα, κάνουμε κλικ επάνω σε αυτόν και τον παρασύρουμε οριζόντια.




Σχήμα B5.7: Χρήση των κερσόρων για τη μελέτη των γραφημάτων

Τα δεδομένα του κέρσορα περιλαμβάνουν:

x1,y1	(x,y) συντεταγμένες για τον αριστερό κέρσορα
x2,y2	(x,y) συντεταγμένες για τον δεξιό κέρσορα
dx	μετατόπιση του άξονα X μεταξύ των δύο κερσόρων
dy	μετατόπιση του άξονα Y μεταξύ των δύο κερσόρων
1/dx	λόγος μετατόπισης του άξονα X
1/dy	λόγος μετατόπισης του άξονα Y
Min x, min y	ελάχιστο x και y μεταξύ των ορίων του γραφήματος
Max x, max y	μέγιστο x και y μεταξύ των ορίων του γραφήματος

Για να πραγματοποιήσουμε μια κυκλωματική ανάλυση εργαζόμαστε ως εξής:

1. Επιλέγουμε Simulate/Analyses και ένα μενού  εμφανίζεται που περιλαμβάνει μια λίστα με τις διαθέσιμες επιλογές.
2. Ανάλογα με την ανάλυση που έχει επιλεγεί το πεδίο διαλόγου που εμφανίζεται θα περιλαμβάνει μερικές ή όλες από τις ακόλουθες ετικέτες:
 - Την ετικέτα Analysis Parameters, όπου θέτουμε τις παραμέτρους για την ανάλυση

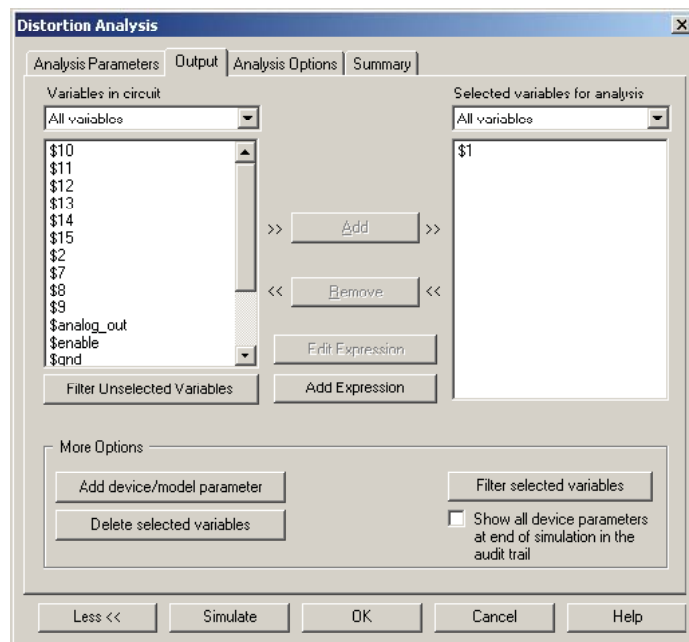
Η ετικέτα Analysis Parameters μας επιτρέπει να φιλτράρουμε τα στοιχεία του κυκλώματος και του σχεδιαστικού μας μοντέλου. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να φιλτράρουμε τις μεταβλητές που εμφανίζονται, όπως, για παράδειγμα, να συμπεριλάβουν εσωτερικούς κόμβους (κόμβοι μέσα σε ένα μοντέλο BJT ή μέσα σε ένα υπο-κύκλωμα SPICE), ανοιχτούς ακροδέκτες, καθώς και μεταβλητές εξόδου από οποιαδήποτε υπο-μοντέλα που περιέχονται μέσα στο κύκλωμα.

Για να φιλτράρουμε την λίστα των μεταβλητών:

1. Κάνουμε κλικ στη λίστα Variables in Circuit.
2. Κάνουμε κλικ στο γενικό τύπο μεταβλητής (επιλογή τάσης, ρεύματος, παράμετροι συσκευής/μοντέλου), για να συμπεριληφθεί μέσα στην λίστα.
 - Την ετικέτα Output, όπου προσδιορίζουμε τη διαδρομή των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης ανάλυσης

Η ετικέτα Output εμφανίζει όλες τις πιθανές μεταβλητές εξόδου για το συγκεκριμένο κύκλωμα. Επιλέγουμε τις μεταβλητές που επιθυμούμε να απεικονιστούν στον χρήστη.

Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο More, για να εμφανίσουμε όλες τις διαθέσιμες επιλογές, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



Σχήμα B5.8: Εμφάνιση όλων των πιθανών εξόδων του κυκλώματος που μελετάμε μέσω της ετικέτας Output.

Όλες οι μεταβλητές περιλαμβάνονται αρχικά μέσα στη λίστα Variables in Circuit.

Για να συμπεριλάβουμε την μεταβλητή εξόδου μέσα στην γραφική παράσταση, επιλέγουμε μια μεταβλητή από τη λίστα στα αριστερά και κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Add.

Για να επιλέξουμε περισσότερες από μια μεταβλητές τη φορά, πατάμε το πλήκτρο Shift όσο επιλέγουμε μεταβλητές από τη λίστα στα αριστερά, και κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Add.

Για να σβήσουμε ένα αντικείμενο από τη δεξιά λίστα, το επιλέγουμε και πατάμε Remove.

Χρησιμοποιώντας την ετικέτα Output μπορούμε, επίσης, να φιλτράρουμε τη λίστα των μεταβλητών, να φιλτράρουμε τις μεταβλητές που εμφανίζονται, όπως και να προσθέσουμε ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων συσκευών ή μοντέλων.

- Την ετικέτα Summary, όπου βλέπουμε μια συγκεντρωτική προβολή όλων των ρυθμίσεων για την ανάλυση.

Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο More στο πεδίο διαλόγου της ανάλυσης, για να εμφανίσουμε ολόκληρο το πεδίο διαλόγου που περιλαμβάνει όλες τις διαθέσιμες επιλογές.

Για να αποθηκεύσουμε τις ρυθμίσεις σαν αρχικές για μελλοντική χρήση, κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Accept μέσα στο πεδίο διαλόγου της ανάλυσης.

Για να τρέξουμε την προσομοίωση με αυτές τις ρυθμίσεις, κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Simulate μέσα στο πεδίο διαλόγου της ανάλυσης.

Για να σταματήσουμε την ανάλυση, επιλέγουμε Simulate/Analyses/Stop Analysis.

B5.3 Εφαρμογή κυκλωματικής Ανάλυσης

B5.3.1 Ανάλυση Συνεχούς (DC)

Η κυκλωματική ανάλυση συνεχούς (DC) καθορίζει το σημείο λειτουργίας του συνεχούς ρεύματος ενός κυκλώματος. Τα αποτελέσματα της κυκλωματικής ανάλυσης DC είναι συνήθως ενδιάμεσες τιμές για περαιτέρω κυκλωματική ανάλυση.

Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από κυκλωματική ανάλυση DC προσδιορίζουν γραμμικοποιημένα μοντέλα μικρών σημάτων για οποιαδήποτε μη γραμμικά εξαρτήματα, όπως δίοδοι και τρανζίστορ, για να χρησιμοποιηθούν με την ανάλυση εναλλασσομένου (AC).

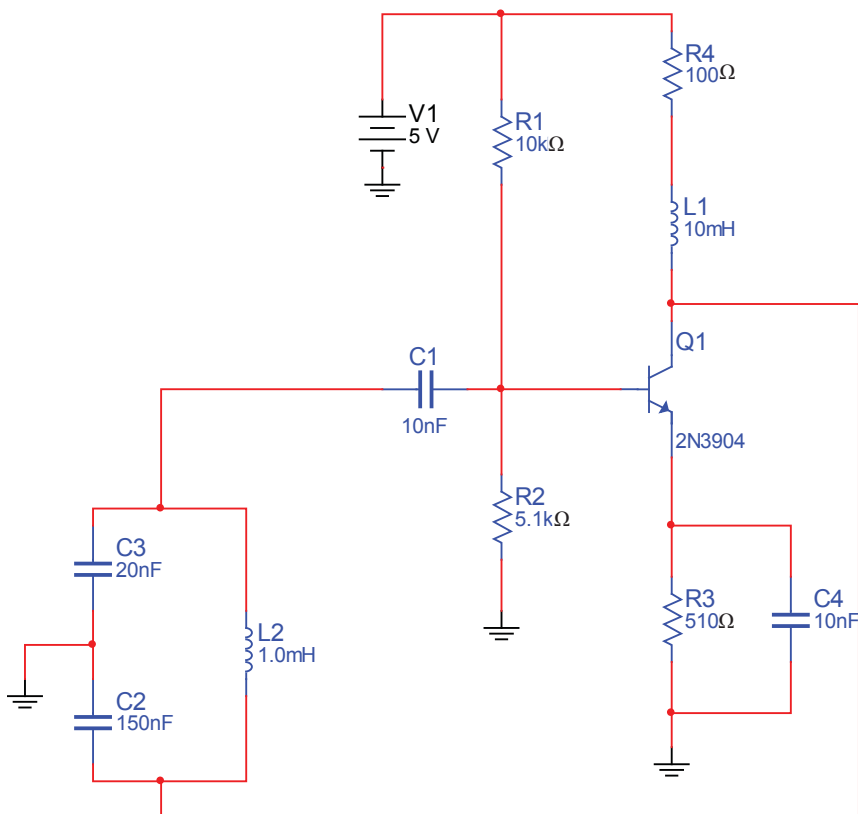
Προϋποθέσεις:

- Οι πηγές AC είναι μηδενισμένες.
- Οι πυκνωτές είναι ανοιχτο-κυκλωμένοι.

- Τα πηνία είναι βραχυκυκλωμένα .
- Τα ψηφιακά εξαρτήματα παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση .

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε το παράδειγμα κυκλωματικής ανάλυσης DC σημείου στον κόμβο 3 του κυκλώματος ταλαντωτή Colpitts.

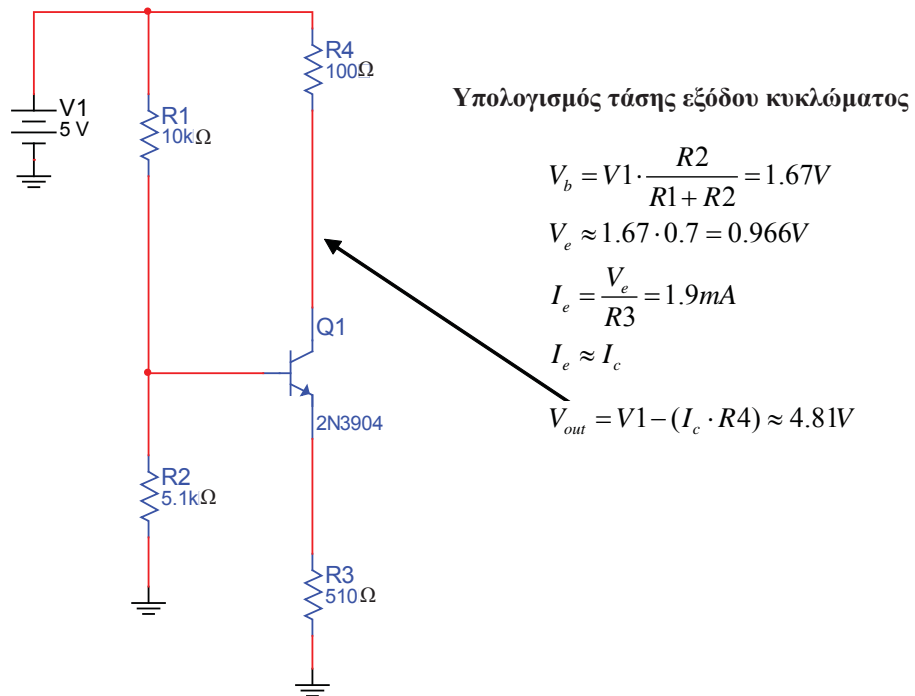
B5.3.1.1 Κύκλωμα ταλαντωτή Colpitts



Σχήμα B5.9: Κυκλωματική διάταξη ταλαντωτή Colpitts

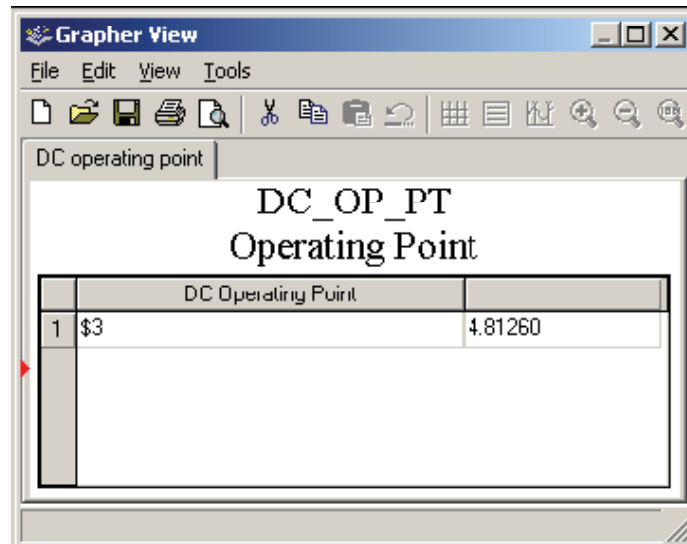
Για να εκκινήσουμε την διαδικασία της κυκλωματικής ανάλυσης, επιλέγουμε Simulate/Analyses/DC Operating Point.

Το MultiSIM κατά την διαδικασία της ανάλυσης απλοποιεί το κύκλωμα, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα B5.10: Διαδικασία ανάλυσης του κυκλώματος από το MultiSIM

Σύμφωνα με του παραπάνω υπολογισμούς, η ανάλυση παρουσιάζει το ίδιο αποτέλεσμα



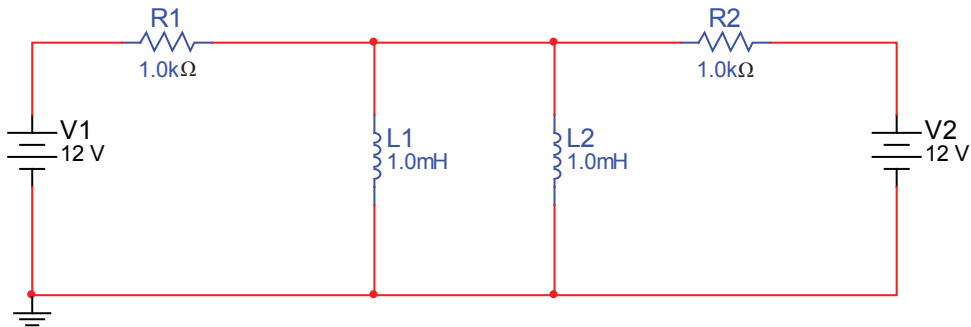
Σχήμα B5.11: Εμφάνιση αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

B5.3.2 Εξσφαλμάτωση στην Ανάλυση Συνεχούς (DC)

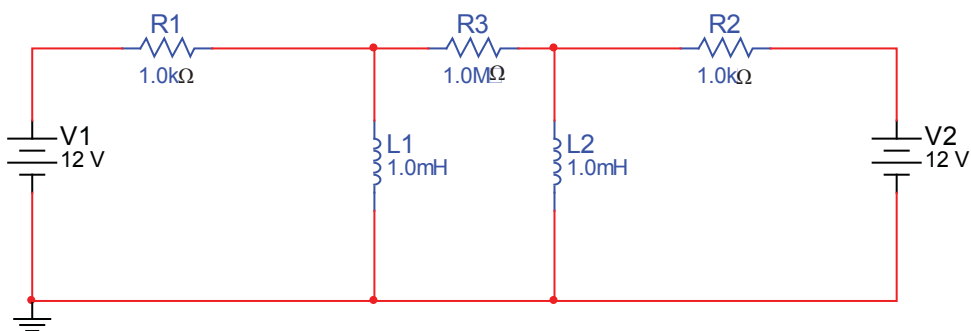
Η ανάλυση συνεχούς (DC) σε ένα κύκλωμα μπορεί να αστοχήσει για διάφορους λόγους, όπως εξαιτίας του ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μια λύσεις στις εξισώσεις του κυκλώματος, να υπάρχει μη συνεχής διασύνδεση στα μοντέλα κ.α.

B.5.3.3 Παράδειγμα αστοχίας ανάλυσης Κυκλώματος

Στο παρακάτω κύκλωμα παρατηρούμε την παράλληλη σύνδεση δύο πηνίων. Τα μοντέλα πηνίων του Spice προσομοιώνονται ως πηγές ρεύματος μεταβαλλόμενες με τον χρόνο. Στο συγκεκριμένο κύκλωμα η μηχανή προσομοίωσης θα παράγει αυτόματα σφάλμα ανάλυσης. Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα, τοποθετούμε μια αντίσταση 0.001Ω στο κύκλωμα. Οι πηγές δεν θα είναι πλέον παράλληλα συνδεδεμένες και έτσι η ανάλυση συνεχούς DC μπορεί να υπολογιστεί.



Σχήμα B5.12: Εσφαλμένη απόδοση κυκλωματικής διάταξης με παράλληλη συνδεσμολογία δύο πηνίων.



Σχήμα B5.13: Σωστή απόδοση της κυκλωματικής διάταξης

B5.3.4 Βασικές Τεχνικές Εξσφαλματωσης

Χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες τεχνικές, για να λύσουμε τυχόν πρόβλημα ύπαρξης αστοχίας στην ανάλυση.

1. Ελέγχουμε την τοπολογία του κυκλώματος και τη συνδεσιμότητά του. Πρέπει να σιγουρευτούμε ότι:
 - Το κύκλωμα είναι γειωμένο.
 - Το κύκλωμα είναι σωστά συνδεδεμένο και δεν περιέχει ασύνδετους κόμβους ή απομονωμένα εξαρτήματα
 - Δεν έχουμε χρησιμοποιήσει στις τιμές των στοιχείων το γράμμα 0 αντί του μηδενός (0)
 - Το κύκλωμα έχει έναν κόμβο γης και κάθε κόμβος μέσα στο κύκλωμα έχει ένα μονοπάτι συνεχούς (DC) στην γη.
 - Οι πυκνωτές και οι πηγές τάσης δεν είναι παράλληλα συνδεδεμένα
 - Τα πηνία και οι πηγές ρεύματος δεν είναι σε σειρά.
 - Όλες οι συσκευές και οι πηγές έχουν τεθεί στις κατάλληλες τιμές τους.
 - Όλες οι εξαρτώμενες απολαβές πηγών είναι ορθές.
 - Τα μοντέλα/ υπο-κυκλώματα έχουν εισαχθεί σωστά.
2. Εμφανίζουμε όλα τα ονόματα των κόμβων (Options/Sheet Properties -> Circuit tab). Ελέγχουμε το όνομα του κόμβου που έχει παραχωρηθεί σε εξαρτήματα γης. Όλα τα εξαρτήματα γης πρέπει να καθορίζονται από όνομα κόμβου 0 (μηδέν).
3. Ελέγχουμε για κόμβους με ίδιο όνομα μέσα στο κύκλωμα. Κάθε κόμβος πρέπει να έχει ένα μοναδικό όνομα. Επανακαθορίζουμε, αν είναι απαραίτητο, κάνοντας διπλό κλικ πάνω στον αγωγό που μας δείχνει ένα διπλό όνομα και γράφουμε ένα άλλο μοναδικό όνομα.
4. Αν δουλεύουμε με ψηφιακά κυκλώματα σιγουρευόμαστε ότι υπάρχουν μέσα στον χώρο εργασίας οι δύο γειώσεις (Earth και Digital Ground).
5. Αντιγράφουμε και μετά επικολλάμε το κύκλωμά μας μέσα σε ένα καινούργιο αρχείο. Προσομοιώνουμε το κύκλωμα ξανά.

B5.3.5 Επιπρόσθετες Τεχνικές Εξσφαλματωσης

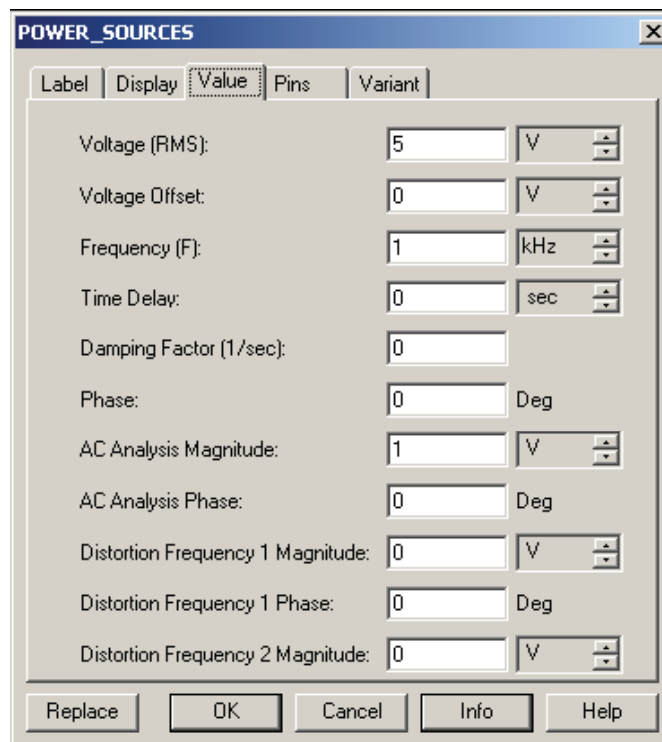
Αν το πρόβλημα παραμένει, τότε, ρυθμίζουμε τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Από την ετικέτα Analysis Options του πλαισίου διαλόγου DC Operating Point, ενεργοποιούμε το Use Custom Setting και κάνουμε κλικ στο Customize. Εμφανίζεται το πεδίο διαλόγου Analysis Options.
2. Μέσα στην ετικέτα Global:
 - Μειώνουμε την τιμή RSHUNT κατά έναν συντελεστή 100
 - Αυξάνουμε την GMIN ελάχιστη αγωγιμότητα κατά έναν συντελεστή 10. Ας σημειωθεί ότι $GMIN = 1/Rp$, όπου Rp είναι η μικρότερη τιμή παρασιτικής αντίστασης μέσα στο κύκλωμα.

3. Μέσα στην ετικέτα DC:
 - Θέτουμε $ITL1 = 500$ ή περισσότερο. Μεγαλώνοντας την τιμή αυτή οι επιπλέον επαναλήψεις θα χρησιμοποιούνται μόνο αν χρειάζονται. Αν θέσουμε την τιμή $ITL1$ στο 1000 καλύπτουμε περίπου το 90% των κυκλωμάτων
 - Θέτουμε $ITL6 = 500$
4. Χρησιμοποιούμε το `.Nodese,t` για να θέσουμε μια συνεχή τάση, αν είναι δυνατό.
5. Ελέγχουμε τις εσωτερικές ρυθμίσεις των οργάνων, αμπερομέτρων και βολτομέτρων, που χρησιμοποιούμε.

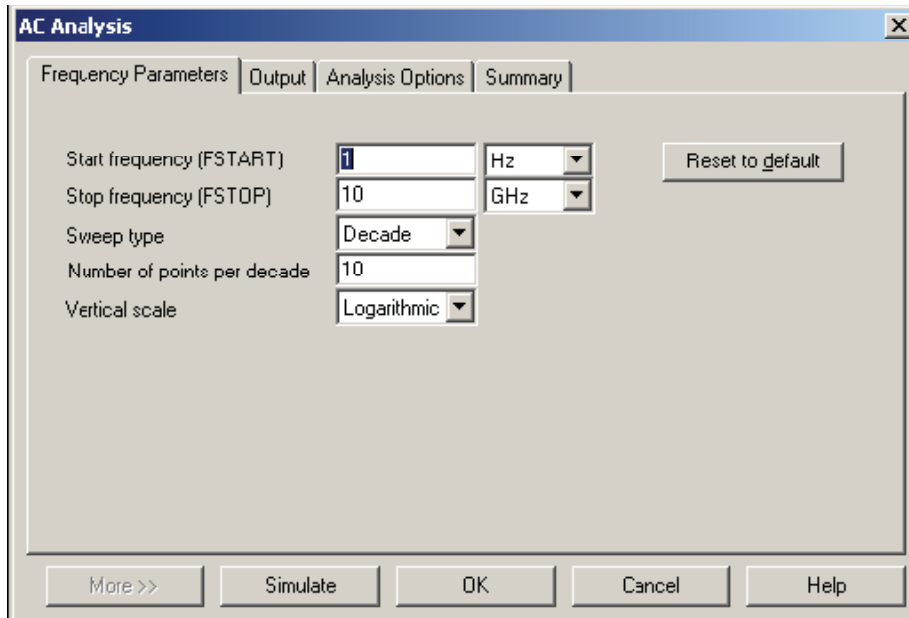
B5.3.6 Ανάλυση Εναλλασσομένου (AC)

Η ανάλυση **Εναλλασσομένου (AC)** χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόκρισης συχνότητας των κυκλωμάτων. Προτού διεξάγουμε την ανάλυση, ελέγχουμε το κύκλωμά μας και αποφασίζουμε για τους κόμβους στους οποίους θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Μπορούμε να προσδιορίσουμε το πλάτος (magnitude) και τη φάση (phase) μιας πηγής για την ανάλυση **Εναλλασσομένου (AC)** κάνοντας διπλό κλικ πάνω στην πηγή και εισάγοντας τις ρυθμίσεις μέσα στο πεδίο ετικέτα Value, όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα B5.14: Ρύθμιση των παραμέτρων μιας πηγής

Στο ακόλουθο πεδίο διαλόγου τίθενται οι ρυθμίσεις για την ανάλυση AC:



Σχήμα B5.15: Ρύθμιση των παραμέτρων της ανάλυσης AC

B5.3.6.1 Ρύθμιση των παραμέτρων της ανάλυσης

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρειαζόμαστε να θέσουμε:

- Συχνότητα έναρξης Start Frequency (FSTART)
- Συχνότητα παύσης Stop Frequency (FSTOP)

Επιπρόσθετα στο εύρος συχνότητας μπορούμε:

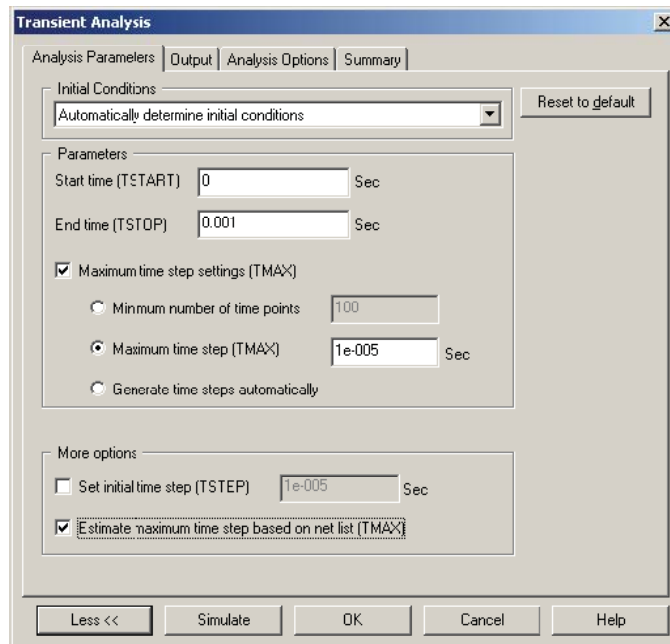
- Να επιλέξουμε έναν επιθυμητό τύπο (δεκαδικό, γραμμικό, ή οκταδικό) από τη λίστα Sweep type.
- Να εισάγουμε τον αριθμό των σημείων που θα υπολογίζονται μέσα στο πεδίο Number of points per decade.
- Να επιλέξουμε την κατακόρυφη κλίμακα (γραμμική, λογαριθμική, δεκαδική ή οκταδική) από τη λίστα Vertical scale.

B5.3.7 Ανάλυση Χρονοσειράς (Transient Analysis)

Στην ανάλυση χρονοσειράς το MultiSIM υπολογίζει την απόκριση του κυκλώματος ως συνάρτηση του χρόνου. Κάθε κύκλος εισόδου διαιρείται σε διαστήματα και εκτελείται μια DC ανάλυση για κάθε χρονικό σημείο μέσα στον κύκλο. Η λύση για την κυματομορφή της τάσης σε έναν κόμβο καθορίζεται από την τιμή εκείνης της τάσης σε κάθε χρονικό σημείο στην ολοκλήρωση ενός κύκλου.

B5.3.7.1 Ρύθμιση των παραμέτρων της ανάλυσης

Προτού εκτελέσουμε την ανάλυση χρονοσειράς, ελέγχουμε το κύκλωμά μας και αποφασίζουμε για τους κόμβους στους οποίους θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Οι παράμετροι για την ανάλυση χρονοσειράς εισάγονται στο ακόλουθο πεδίο διαλόγου:



Σχήμα B5.16: Ρύθμιση των παραμέτρων της ανάλυσης χρονοσειράς

Μπορούμε να:

- αλλάξουμε το χρόνο έναρξης στο πεδίο **Start time (TSTART)**.
- αλλάξουμε το χρόνο τέλους στο πεδίο **End time (TSTOP)**.
- κατά τη διάρκεια ή/και μετά από την σχεδίαση του κυκλώματος μπορούμε να ορίσουμε αρχικές τάσεις κόμβων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικοί όροι για την ανάλυση. Εάν επιλέξουμε “Automatically determine initial conditions”, το MultiSIM θα θέσει τους αρχικούς όρους της ανάλυσης σε μηδέν.

Η τιμή του μέγιστου χρονικού βήματος Maximum time step (TMAX) καθορίζεται με διαίρεση του διαστήματος μεταξύ των καθορισμένων χρόνων έναρξης και τερματισμού της ανάλυσης προς τον ελάχιστο αριθμό των χρονικών σημείων (Minimum number of points) που έχουν καθοριστεί.

- Ενεργοποιούμε το Set Initial Time step (TSTEP) και εισάγουμε τιμή μικρότερη από το μέγιστο καθορισμένο χρονικό βήμα μέσα στο πεδίο Time step (TSTEP). Αν είναι δυνατό, το μέγεθος των χρονικών βημάτων, που λαμβάνονται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης θα αρχίσει με την αρχική τιμή χρονικού βήματος και θα συνεχίσει να αυξάνεται στην τιμή που έχει καθοριστεί από το μέγιστο χρονικό βήμα.

B5.3.7.2 Εξσφαλμάτωση στην ανάλυση χρονοσειράς

Χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες τεχνικές, για να λύσουμε πρόβλημα ύπαρξης αστοχίας στην ανάλυσης.

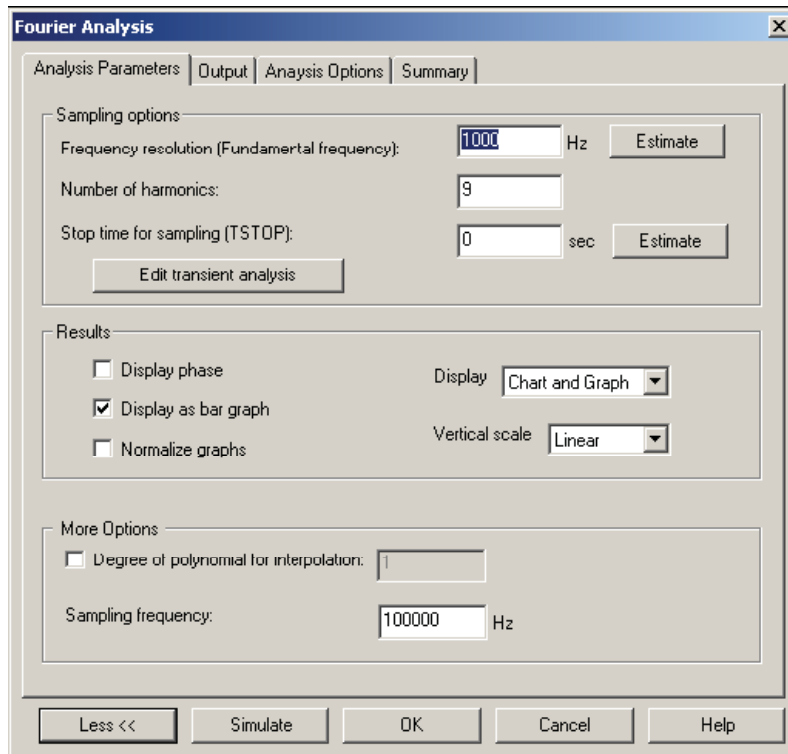
- Ελέγχουμε την τοπολογία και τη συνδεσμολογία του κυκλώματος.
- Θέτουμε τη σχετική ανοχή σφάλματος στο 0.01. Μεγαλώνοντας την ανοχή από 0.001(0.1% ακρίβεια) χρειάζονται λιγότερες επαναλήψεις για να καταλήξουμε σε μια λύση, και η προσομοίωση τελειώνει πολύ γρηγορότερα.
- Αυξάνουμε τις επαναλήψεις των χρονικών σημείων σε 100. Αυτό επιτρέπει στην ανάλυση να περάσει μέσα από περισσότερες επαναλήψεις για κάθε χρονικό βήμα.
- Χρησιμοποιούμε RC snubbers γύρω από διόδους.
- Αντικαθιστούμε μοντέλα συσκευών με υπό-κυκλώματα, ειδικά για συσκευές RF και συσκευές ισχύος.
- Αν έχουμε μια ελεγχόμενη πηγή μέσα στο κύκλωμά μας, αυξάνουμε τους χρόνους ανόδου και καθόδου του παραγόμενου ρεύματος.
- Αλλάζουμε την μέθοδο ολοκλήρωσης σε Gear. Η ολοκλήρωση Gear απαιτεί περισσότερο χρόνο προσομοίωσης, αλλά είναι γενικά πιο σταθερή από τη μέθοδο του τραπεζίου.

B5.3.8 Ανάλυση Fourier

B5.3.8.1 Παράμετροι της ανάλυσης Fourier

Προτού εκτελέσουμε την ανάλυση κατά Fourier, ελέγχουμε το κύκλωμά μας και αποφασίζουμε για τον κόμβο στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Η ανάλυση προσδιορίζει και την ολική αρμονική παραμόρφωση (THD) .

Οι παράμετροι της ανάλυσης Fourier τίθενται στο ακόλουθο πεδίο διαλόγου:



Σχήμα B5.17: Ρύθμιση των παραμέτρων της ανάλυσης Fourier

- Ο ορισμός θεμελιώδους Συχνότητας ανάλυσης Fourier αυτό-προσδιορίζεται βάσει της ελάχιστης συχνότητας πηγής του κυκλώματος με κλικ στο πλήκτρο Estimate. Μπορούμε να διαφοροποιήσουμε την τιμή αυτή στο πεδίο Frequency resolution (Fundamental frequency).
- Το πλήθος προσδιορισμού των αρμονικών παραγόμενων συχνοτήτων, το εισάγουμε στο πεδίο Number of harmonics.
- Μπορούμε να καθορίσουμε τον χρόνο ολοκλήρωσης της ανάλυσης για την αποφυγή ανεπιθύμητων καταστάσεων λόγω αστοχίας της ανάλυσης ενεργοποιώντας το πεδίο Stop time for sampling (TSTOP) και εισάγοντας έναν νέο χρόνο τερματισμού της ανάλυσης.
- Εισάγουμε στο πεδίο Sampling Frequency την συχνότητα δειγματοληψίας του προς ανάλυσης σήματος. Η συχνότητα αυτή καθορίζεται από το θεώρημα Nyquist.

B5.3.8.2 Ρύθμιση παραμέτρων ανάλυσης Fourier για προχωρημένη ανάλυση

Επιπρόσθετα στις βασικές ρυθμίσεις, μπορούμε να καθορίσουμε παραμέτρους για τα ακόλουθα:

- Το βαθμό πολωνύμου: Με την ενεργοποίηση της επιλογής Degree of polynomial for interpolation ορίζεται ο βαθμός ακρίβειας των αποτελεσμάτων.
- Τη διαμόρφωση προβολής των αποτελεσμάτων που πραγματοποιείται, αν ακολουθηθούν ένα ή όλα από τα παρακάτω βήματα.
- Επιλογής μιας κάθετης κλίμακας (γραμμική, λογαριθμική, ντεσιμπέλ) από τη λίστα Vertical Scale.
- Επιλογής προβολής (γράφημα, γραφική παράσταση, ή και τα δύο) από τη λίστα Display
- Ενεργοποίηση το Display Phase, για να προβάλλουμε τα αποτελέσματα ως φάση
- Ενεργοποίηση το Display as bar graph, για να προβάλλουμε τα αποτελέσματα ως γράφημα με μπάρες .
- Ενεργοποίηση το Normalize graphs, για να ομαλοποιήσουμε τα αποτελέσματα σύμφωνα με την συχνότητα δοκιμής

B5.3.9 Ανάλυση επίδρασης Θορύβου

Η ανάλυση επίδρασης θορύβου υπολογίζει τη συμβολή του σήματος θορύβου από κάθε στοιχείο αντίστασης και ημιαγωγού στον καθορισμένο κόμβο εξόδου.

Το MultiSIM μπορεί να μοντελοποιήσει τρεις τύπους θορύβου:

1. Τον Θερμικό θόρυβο (γνωστός ως Johnson, ή λευκός θόρυβος), που βασίζεται στην θερμοκρασία και προκαλείται από θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ ελεύθερων ηλεκτρονίων και δονούμενων ιόντων μέσα σε έναν αγωγό. Το φάσμα του καλύπτει όλο το πεδίο συχνοτήτων .

Η ισχύς του θερμικού θορύβου δίνεται από τον τύπο του Johnson:

$$P = k \cdot T \cdot BW$$

Όπου

k = η σταθερά Boltzman ($.38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = θερμοκρασία αντίσταση σε κ

BW = το εύρος ζώνης της συχνότητας του κυκλώματος στο οποίο αναφερόμαστε

Η εσωτερική πηγή τάσης ορίζεται.

$$u^2 = 4k \cdot T \cdot R \cdot BW$$

ενώ το παραγόμενο ρεύμα δίνεται από το νόμο του Ωm

$$i^2 = 4k \cdot T \cdot BW / R$$

Τον θόρυβο Shot, που παράγεται από τη φύση των ρευμάτων φορέων μέσα σε όλες τις μορφές των ημιαγωγών.. Η εξίσωση για τον θόρυβο shot μέσα σε μια δίοδο είναι:

$$i = (2q \cdot I_{dc} \cdot BW)^{1/2}$$

Όπου:

i = θόρυβος shot (RMS αμπέρ)

q = φορτίο του ηλεκτρονίου (1.6×10^{-19} Coulombs)

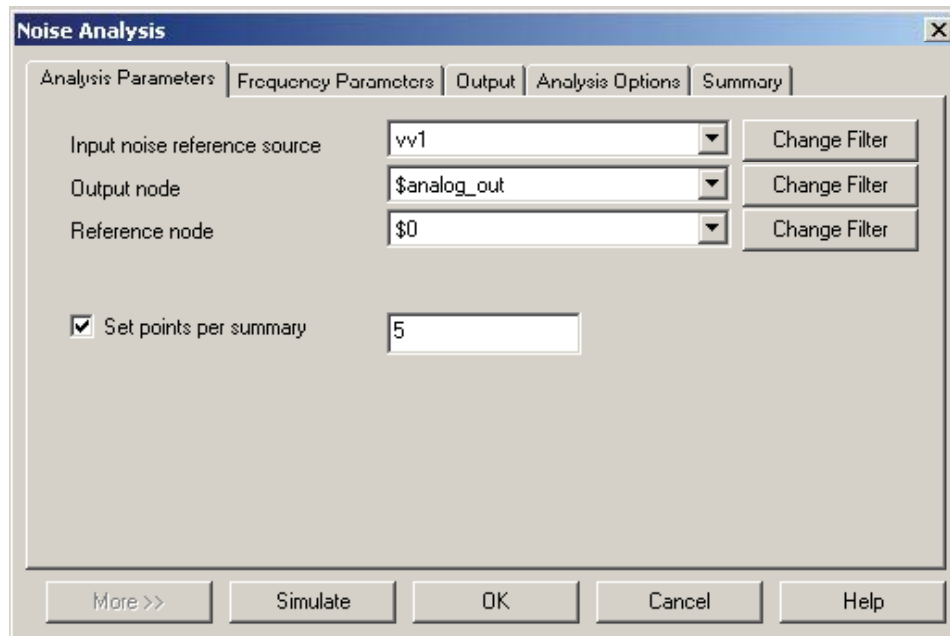
I_{dc} = συνεχές ρεύμα (A)

BW = εύρος ζώνης (Hz)

Τον θόρυβο Flicker, που παράγεται σε στοιχεία BJT και FET και εμφανίζεται σε συχνότητες κάτω από 1KHz. Αυτός ο τύπος θορύβου είναι επίσης γνωστός ως υπερβολικός ή ρόζ θόρυβος. Είναι αντιστρόφως ανάλογος της συχνότητας και ανάλογος της θερμοκρασίας και του ρεύματος.

$$V^2 = k \cdot (I_{dc} / f)$$

Οι παράμετροι της ανάλυσης θορύβου εισάγονται στο ακόλουθο πεδίο διαλόγου:



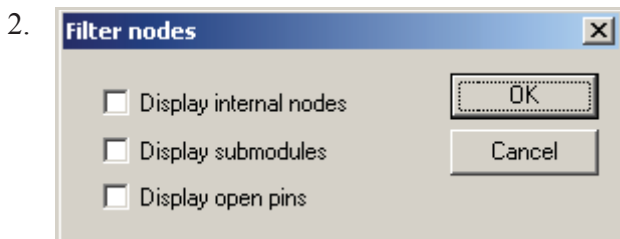
Σχήμα B5.18: Ρύθμιση των παραμέτρων της ανάλυσης θορύβου

Στην ετικέτα Analysis Parameters καθορίζουμε :

- Την πηγή αναφοράς εισόδου του κυκλώματος (Input noise reference source)
- Τον κόμβο εξόδου (Output node).
- Τον κόμβο αναφοράς (Reference node).

Για να εμφανίσουμε κόμβους που περιλαμβάνονται μέσα σε υπο-κυκλώματα ή τα ιεραρχικά μπλοκ:

1. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Change Filter και επιλέγουμε Display sub-modules.



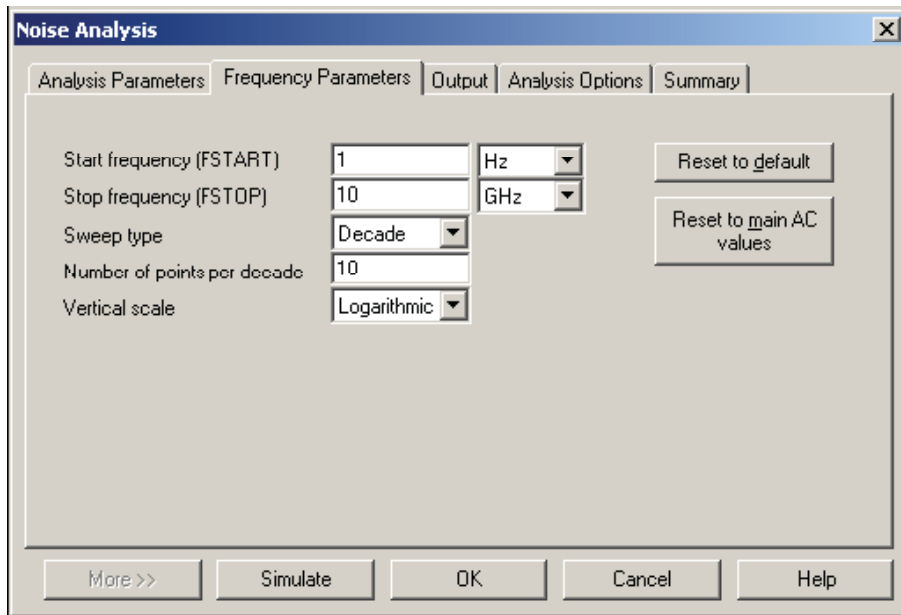
Σχήμα B5.19: Εμφάνιση κόμβων που περιλαμβάνονται μέσα σε υπό-κυκλώματα ή ιεραρχικά μπλοκ.

Επιλέγουμε μια από τις τρεις παρακάτω επιλογές:

- **Display internal nodes** – εμφανίζει κόμβους μέσα σε ιεραρχικά κυκλώματα και υπο-κυκλώματα
- **Display submodules** – εμφανίζει στοιχεία που καθορίζονται από μοντέλο SPICE για τους ημιαγωγούς.
- **Display open pins** – εμφανίζει όλους τους ασύνδετους κόμβους του κυκλώματος.

Στην ετικέτα Analysis Parameters μπορούμε να καθορίσουμε τη συχνότητα παραγωγής θορύβου κάθε στοιχείου ενεργοποιώντας την επιλογή Set points per summary και εισάγοντας τιμή.

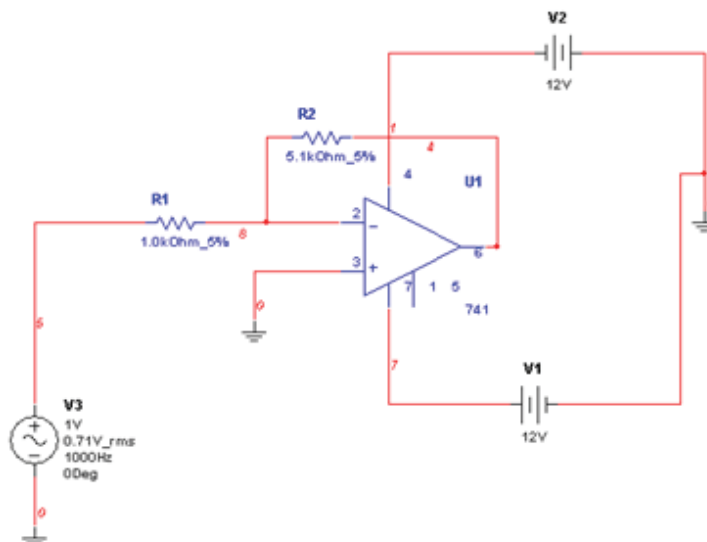
Στην ετικέτα Frequency Parameters καθορίζουμε το εύρος συχνοτήτων σάρωσης για το οποίο θα αναλυθεί ο θόρυβος δίνοντας τιμές στο πεδίο Start Frequency (FSTART) και στο πεδίο Stop Frequency (FSTOP)



Σχήμα B5.20: Ρυθμίσεις του εύρους συχνοτήτων μέσω της ετικέτας Frequency Parameters

B5.3.9.1 Παράδειγμα ανάλυσης θορύβου

Στο ακόλουθο κύκλωμα θα καταγράψουμε τα αποτελέσματα για την παραγόμενη τάση θορύβου (για το φάσμα 10Hz και 10GHz) των αντιστάσεων R1 και R2 σε έναν τελεστικό ενισχυτή με κέρδος 5.



Σχήμα B5.21: Κυκλωματική διάταξη στην οποία θα διεξάγουμε μια ανάλυση θορύβου

B5.3.9.2 Υπολογιστικά αποτελέσματα

Για αντίσταση $R1 = 1\text{K}\Omega$, έχουμε θερμικό θόρυβο:

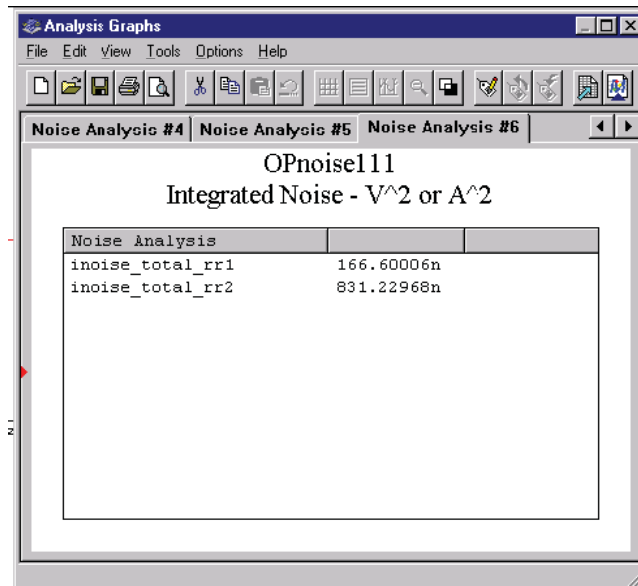
$$\Theta\acute{o}\rho\upsilon\beta\omicron\varsigma = 4rkTB = 4(1000\Omega)(1.38 \cdot 10^{-23})(295\text{K})(10^9 \text{ Hz}) = 162 \text{ nV}^2.$$

Για αντίσταση $R2 = 5\text{K}\Omega$, έχουμε θερμικό θόρυβο:

$$\Theta\acute{o}\rho\upsilon\beta\omicron\varsigma = 4rkTB = 4(5000\Omega)(1.38 \cdot 10^{-23})(295\text{K})(10^9 \text{ Hz}) = 814 \text{ nV}^2.$$

B5.3.9.3 Ανάλυση του MultiSIM

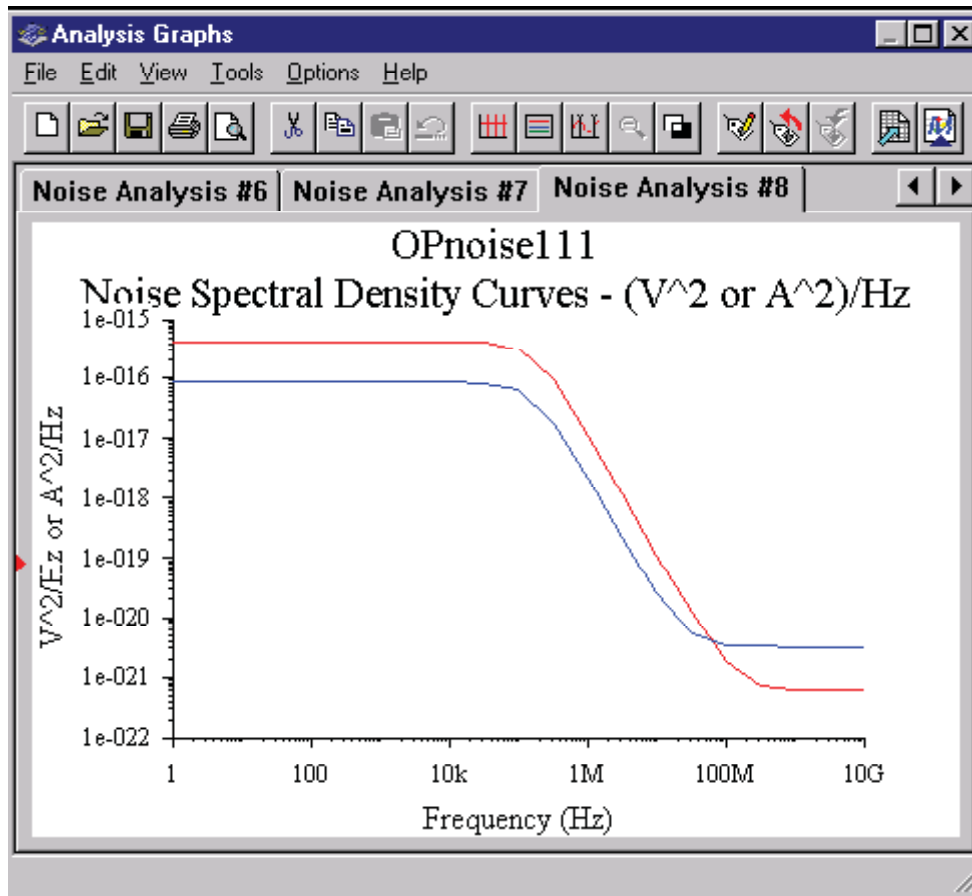
1. Επιλέγουμε Simulate/Analysis/Noise Analysis
2. Επιλέγουμε την ετικέτα Analysis Parameters και θέτουμε τα ακόλουθα:
 - Input noise reference source – vv3
 - Output node – 4
 - Reference node – 0
3. Επιλέγουμε την ετικέτα Frequency Parameters και θέτουμε τα ακόλουθα:
 - FSTART – 1Hz
 - FSTOP – 10Hz
 - Sweep type – Decade
 - Number of points per decade – 5
 - Vertical Scale – Logarithmic
4. Επιλέγουμε την ετικέτα Output, και θέτουμε τα ακόλουθα :
 - innoise_total_rr1 & innoise_total_rr2
5. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Simulate
6. Εμφανίζεται το ακόλουθο πεδίο διαλόγου.



Σχήμα B5.22: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης από το MultiSIM

Για να παρατηρήσουμε την καταγραφή εξόδου, αρχικοποιούμε την ανάλυση:

1. Επιλέγουμε Simulate/Analysis/Noise Analysis.
2. Στην ετικέτα Analysis Parameters ενεργοποιούμε , Set points per summary και εισάγουμε 5 μέσα στο πεδίο.
3. Στην ετικέτα Output επιλέγουμε τις ακόλουθες μεταβλητές για γραφική παράσταση κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης: onoise_rr1 & onoise_rr2.
4. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Simulate. Ο καταγραφέας (Grapher) εμφανίζεται, όπως παρακάτω:



Σχήμα B5.23: Οι κυματομορφές της ανάλυσης

Από τη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι η τάση θορύβου παραμένει σταθερή για χαμηλές συχνότητες.

Ένας τέλειος γραμμικός ενισχυτής θα ενισχύει το σήμα εισόδου χωρίς κανένα σήμα παραμόρφωσης στην έξοδο. Πάντα όμως, υπάρχουν ανεπιθύμητα σημάτων που προστίθενται στο σήμα με τη μορφή αρμονικής ή ενδοδιαμορφωμένης παραμόρφωσης.

Η ανάλυση παραμόρφωσης χρησιμοποιείται για να αναλύσει την παραμόρφωση σήματος, που μπορεί να μην είναι εμφανής κατά τη χρήση χρονικής ανάλυσης. Η παραμόρφωση του σήματος είναι συνήθως το αποτέλεσμα της μη γραμμικότητας του κέρδους μέσα σε ένα κύκλωμα. Το MultiSIM προσομοιώνει την αρμονική παραμόρφωση και την ενδοδιαμορφωμένη παραμόρφωση για αναλογικά κυκλώματα μικρών σημάτων.

B5.3.9.4 Αρμονική Παραμόρφωση

Ένας τέλειος γραμμικός ενισχυτής περιγράφεται:

$Y = AX$, όπου Y είναι το σήμα εξόδου, X το σήμα εισόδου και A είναι το κέρδος του ενισχυτή.

Η γενική έκφραση συμπεριλαμβανομένων των όρων υψηλής σειράς δίνεται από:

$Y = AX + BX^2 + CX^3 + DX^4 + \dots$, όπου B και C , κ.λ.π. είναι οι σταθεροί συντελεστές για τους όρους υψηλής σειράς.

Η αρμονική παραμόρφωση μπορεί να αναλυθεί με εφαρμογή μιας πηγής σήματος μικρού φάσματος σε ένα σχέδιο κυκλώματος. Το MultiSIM υπολογίζει τις τάσεις των κόμβων και τα ρεύματα διακλάδωσης στις αρμονικές συχνότητες $2f$ και $3f$ και εμφανίζει τα αποτελέσματα συναρτήσει της συχνότητας εισόδου f , όπως σαρώθηκε κατά μήκος της συχνότητας σάρωσης που έχει οριστεί από τον χρήστη.

B5.3.9.5 Ενδοδιαμορφωμένη Παραμόρφωση

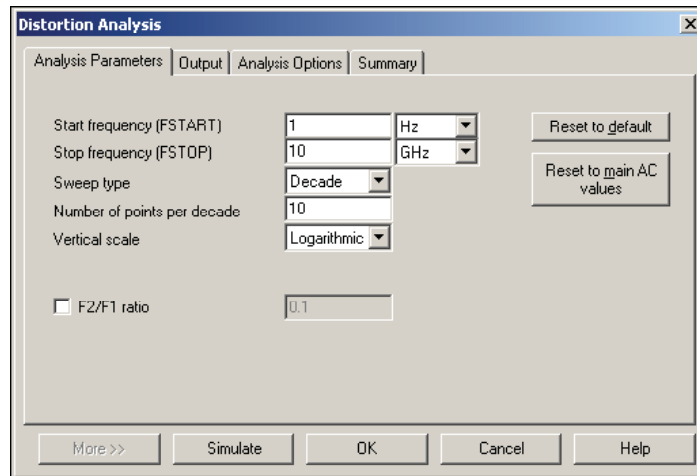
Η ενδοδιαμορφωμένη παραμόρφωση προκύπτει, όταν δύο ή περισσότερα σήματα βρίσκονται ταυτόχρονα στην είσοδο ενός ενισχυτή. Σε αυτή την περίπτωση, η αλληλεπίδραση των σημάτων παράγει ένα φαινόμενο ενδοδιαμόρφωσης. Αυτή η ανάλυση θα καθορίσει τις τάσεις των κόμβων και τα ρεύματα διακλάδωσης στις παραγόμενες ενδοδιαμορφωμένες συχνότητες των f_1+f_2 , f_1-f_2 και $2f_1-f_2$ συναρτήσει της συχνότητας σάρωσης που έχει οριστεί από τον χρήστη.

B5.3.9.6 Διαδικασία Ανάλυσης Αρμονικής Παραμόρφωσης

Για να πραγματοποιήσουμε μια ανάλυση παραμόρφωσης σήματος ακολουθούμε αρχικά τα παρακάτω βήματα για κάθε πηγή σήματος:

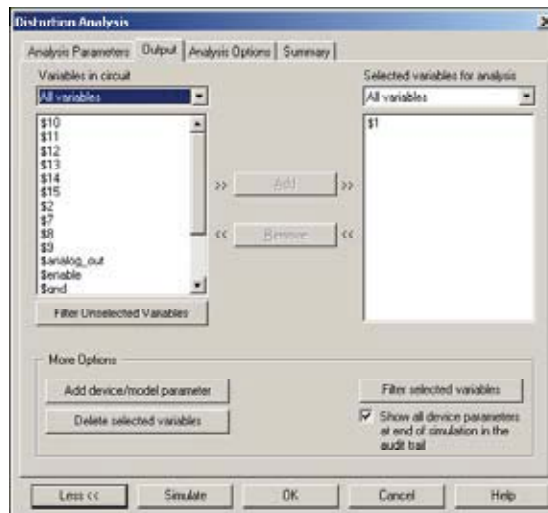
1. Κάνουμε διπλό κλικ πάνω στην πηγή.
2. Στην ετικέτα Value επιλέγουμε Distortion Frequency 1 Magnitude και θέτουμε πλάτος εισόδου και φάση.
3. Στην ετικέτα Value επιλέγουμε Distortion Frequency 2 Magnitude και θέτουμε το πλάτος εισόδου και φάση.

Για να εκκινήσουμε την ανάλυση παραμόρφωσης, επιλέγουμε Simulate/Analysis/Distortion Analysis.



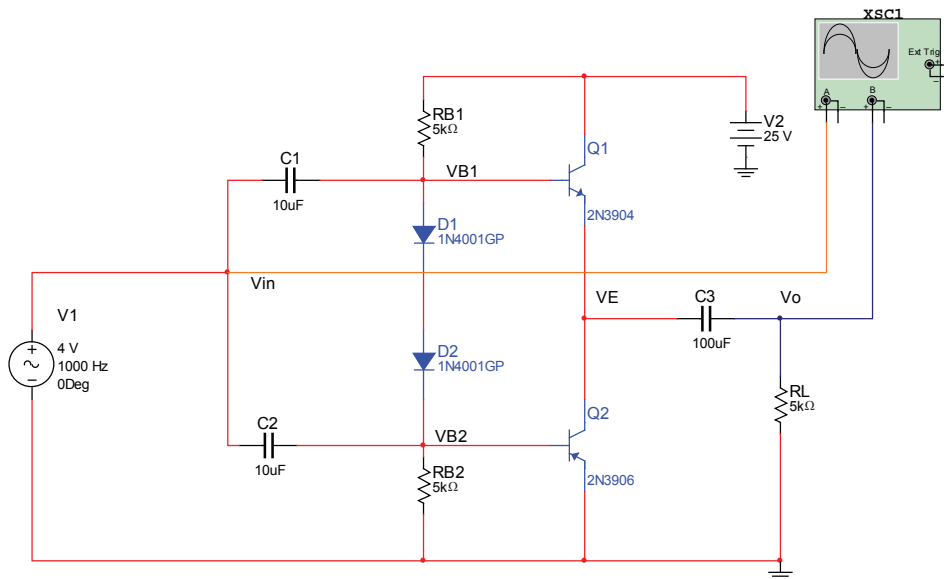
Σχήμα B5.24: Ρυθμίσεις της ανάλυσης παραμόρφωσης

Η ετικέτα Output εμφανίζει στα αριστερά όλες τις πιθανές μεταβλητές εξόδου για το συγκεκριμένο κύκλωμα, οπότε επιλέγουμε τις μεταβλητές που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε. Για να δούμε όλες τις πιθανές μεταβλητές εξόδου, επιλέγουμε κάνοντας κλικ στο πλήκτρο Filter Unselected Variables.



Σχήμα B5.25: Εμφάνιση όλων των πιθανών μεταβλητών εξόδου για το κύκλωμα που μελετάμε μέσω της ετικέτας Output.

Για να ερμηνεύσουμε τις ρυθμίσεις, θα χρησιμοποιήσουμε το κύκλωμα ενός ενισχυτή Push-Pull B τάξης.



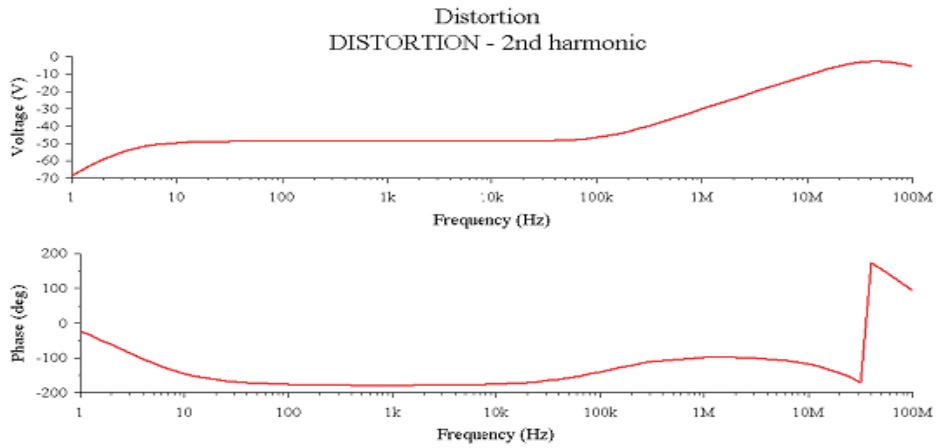
Σχήμα B5.26: Κυκλωματική διάταξη ενός ενισχυτή Push-Pull B' τάξης

Για να αναλύσουμε την αρμονική παραμόρφωση, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Κάνουμε διπλό κλικ πάνω στην πηγή AC και επιλέγουμε την ετικέτα Value:
 - Επιλέγουμε Distortion Frequency 1 Magnitude και θέτουμε το πλάτος εισόδου σε 4 V αφήνοντας την φάση στο μηδέν.
 - Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο OK.
2. Επιλέγουμε Simulate/Analyses/Distortion Analysis.
3. Επιλέγουμε την ετικέτα Analysis Parameters και θέτουμε τα ακόλουθα:
 - Θέτουμε την παράμετρο Start frequency (FSTART) = 1 Hz.
 - Θέτουμε την παράμετρο Stop frequency (FSTOP) = 100 MHz.
 - Θέτουμε την παράμετρο Sweep type σε Decade.
 - Θέτουμε την παράμετρο Number of points per decade = 100.
 - Θέτουμε την παράμετρο Vertical scale σε Decibel.
4. Επιλέγουμε την ετικέτα Output.
 - Επιλέγουμε την μεταβλητή "\$output" από τη λίστα Variables in circuit.
 - Κάνουμε κλικ στο Add. Η μεταβλητή "output" θα μετακινηθεί στην λίστα Selected variables for analysis.

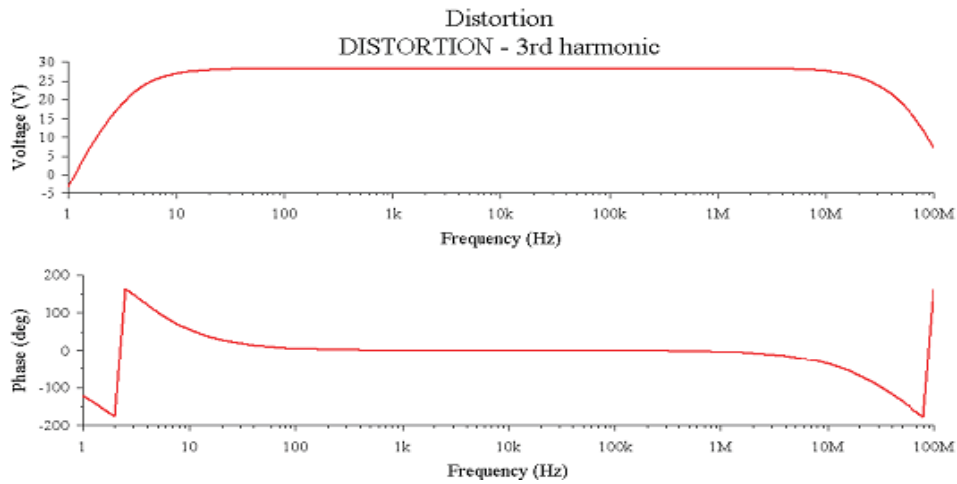
5. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Simulate για την εμφάνιση των γραφημάτων - αποτελεσμάτων της δεύτερης και της τρίτης αρμονικής παραμόρφωσης στο πεδίο των συχνοτήτων.

Αποτελέσματα γραφήματος δεύτερης αρμονικής παραμόρφωσης



Σχήμα B5.27: Αποτελέσματα δεύτερης αρμονικής παραμόρφωσης

Αποτελέσματα γραφήματος τρίτης αρμονικής παραμόρφωσης



Σχήμα B5.28: Αποτελέσματα τρίτης αρμονικής παραμόρφωσης

B5.3.9.7 Διαδικασία Ανάλυσης ενδοδιαμορφωμένη παραμόρφωση

Για να αναλύσουμε την ενδοδιαμορφωμένη παραμόρφωση του παραπάνω κυκλώματος, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

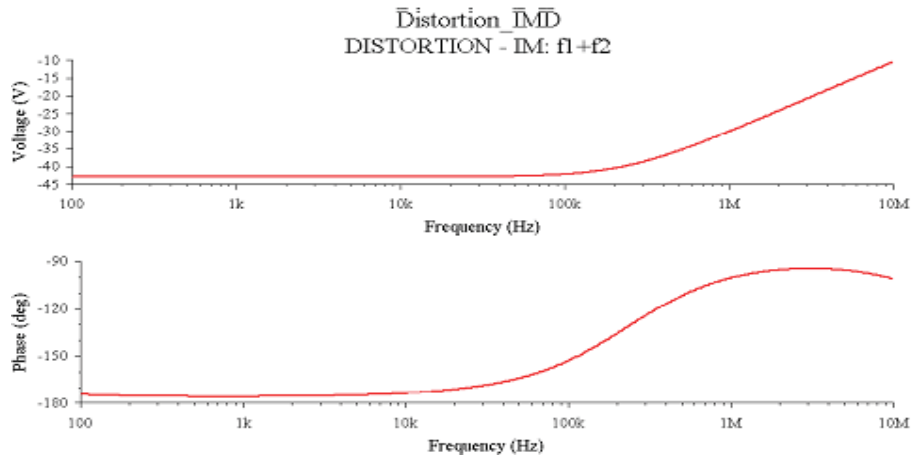
1. Κάνουμε διπλό κλικ πάνω στην πηγή AC και επιλέγουμε την ετικέτα Value:
 - Επιλέγουμε Distortion Frequency 1 Magnitude και θέτουμε πλάτος εισόδου 4 V με φάση μηδέν.
 - Επιλέγουμε Distortion Frequency 2 Magnitude και θέτουμε πλάτος εισόδου 4 V με φάση μηδέν
 - Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο OK.
2. Επιλέγουμε Simulate/Analyses/Distortion Analysis.
3. Επιλέγουμε την ετικέτα Analysis Parameters και θέτουμε τα ακόλουθα:
 - Θέτουμε την παράμετρο Start frequency (FSTART) = 100 Hz.
 - Θέτουμε την παράμετρο Stop frequency (FSTOP) = 10 MHz.
 - Θέτουμε την παράμετρο Sweep type σε Decade.
 - Θέτουμε την παράμετρο Number of points per decade = 100.
 - Θέτουμε την παράμετρο Vertical scale σε Decibel.

Τσεκάρουμε το πεδίο F2/F1 ratio και θέτουμε στο λόγο τιμή 0.499997.

4. Επιλέγουμε την ετικέτα Output.
 - Επιλέγουμε την μεταβλητή "\$output" από τη λίστα Variables in circuit.
 - Κάνουμε κλικ στο Add. Η μεταβλητή "output" θα μετακινηθεί στη λίστα Selected variables for analysis.
5. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο Simulate για την εμφάνιση των γραφημάτων - αποτελεσμάτων στις συχνότητες F1+F2, F1-F2 και 2F1-F2.

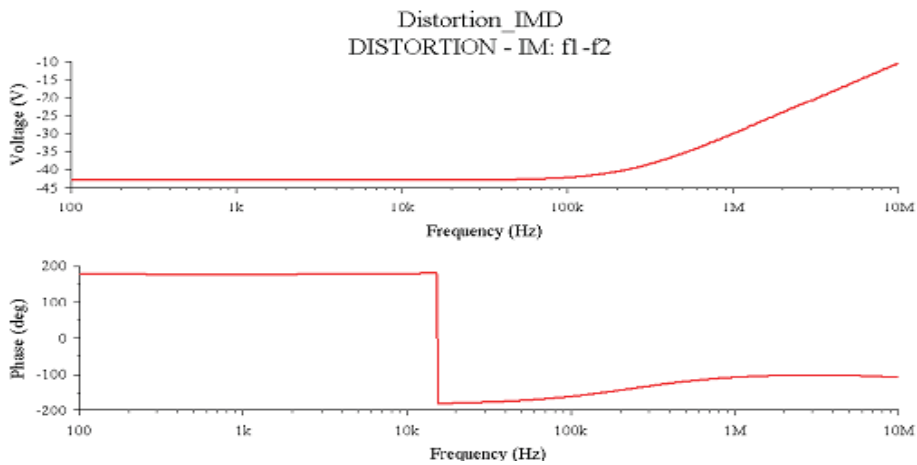
Τα συμπεράσματα των γραφημάτων-απεικονίσεων μας οδηγούν στο είδος του φίλτρου που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε, για να εξασθενήσουμε τα πλάτη των αρμονικών συχνοτήτων και να βελτιώσουμε την απόκριση φάσης του κυκλώματος μας.

Η γραφική παράσταση απεικονίζει την αρμονική F1+F2 πλάτους και φάσης στο πεδίο συχνοτήτων.



Σχήμα B5.29: Η αρμονική $F1+F2$ του πλάτους και της φάσης στο πεδίο συχνοτήτων

Η δεύτερη γραφική παράσταση απεικονίζει την αρμονική $F1-F2$ πλάτους και φάσης στο πεδίο συχνοτήτων.



Σχήμα B5.30: Η αρμονική $F1-F2$ του πλάτους και της φάσης στο πεδίο συχνοτήτων

Η τρίτη γραφική απεικονίζει την αρμονική $2F1-F2$ πλάτους και φάσης στο πεδίο συχνοτήτων.