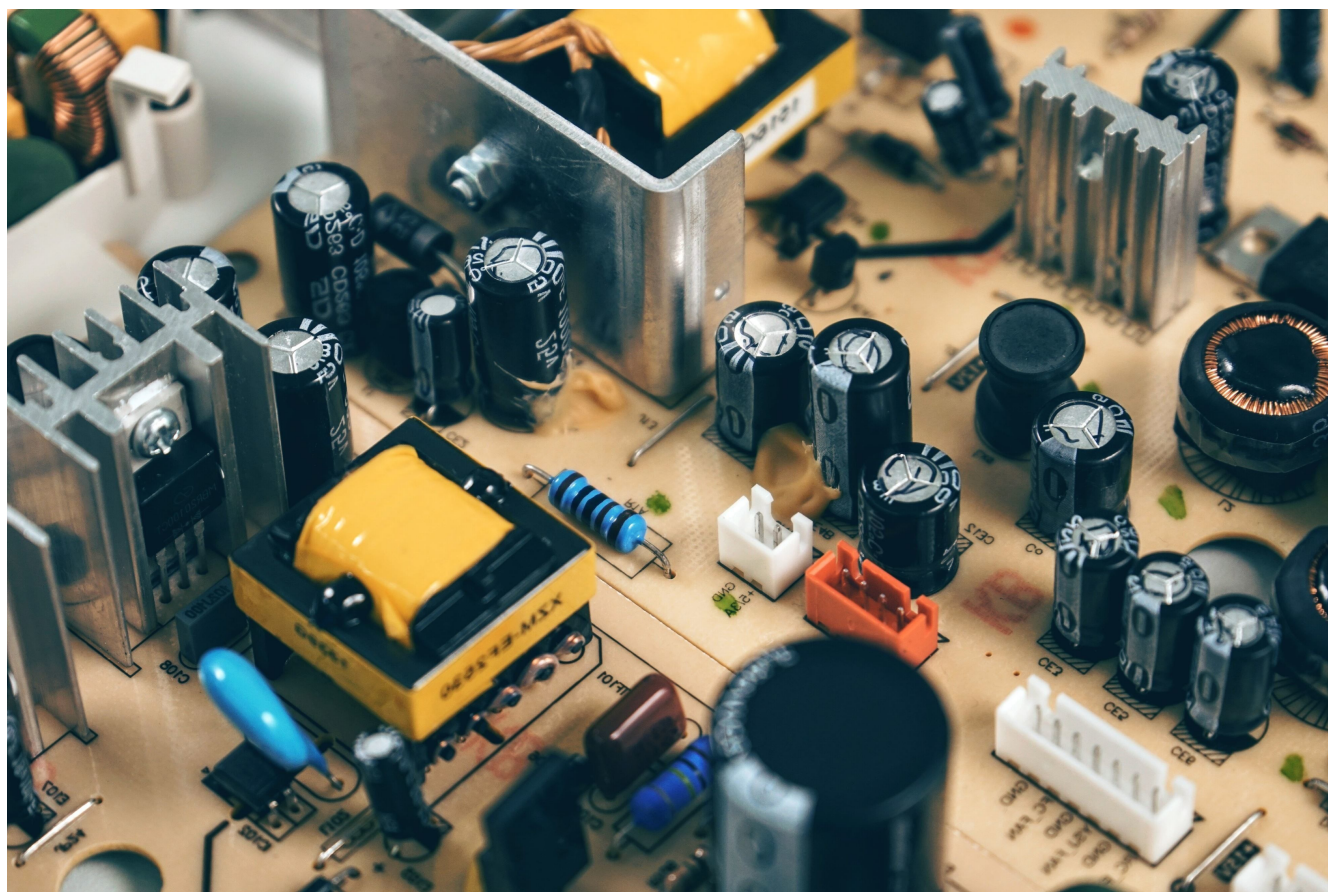


Ηλεκτρονικά Ισχύος – Εργαστήριο 1

Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή

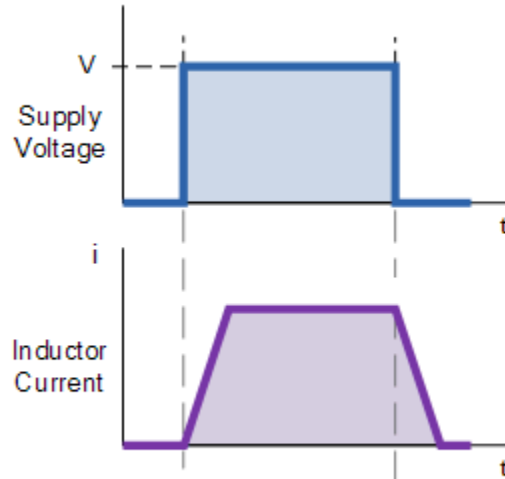
Κάπρος Παναγιώτης: 03118926



Σκοπός της άσκησης αποτελεί η εξοικείωση και κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρονικών διατάξεων στην μετατροπή συνεχών σημάτων σε συνεχή.

Α Μέρος

1. Οι γραμμικοί μετατροπείς έχουν τα εξής πλεονεκτήματα: **1) Χαμηλό (σχεδόν μηδενικό) κόστος και 2) απλοί στην σχεδίαση.** Τα μειονεκτήματα ενός γραμμικού μετατροπέα είναι: **1) Λειτουργεί μόνο για τον υποβιβασμό τάσης και όχι για ανύψωση, 2) έχει χαμηλό βαθμό απόδοσης.**
2. Ο μετατροπέας ο οποίος είναι κατάλληλος για την ζητούμενη δουλειά είναι ο **γραμμικός μετατροπέας υποβιβασμού τάσης με διπολικό τρανζίστορ** καθώς είναι αποδοτικός σε μικρή διαφορά τάσης εισόδου – εξόδου.
3. Για τον γραμμικό μετατροπέα, έχει αποδειχθεί στην θεωρία πως ο βαθμός απόδοσής του δίνεται από τον τύπο: $\eta = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{5}{10} = 0.5$. Οι απώλειες του συστήματος δίνονται από την σχέση (ισχύς εισόδου – ισχύς εξόδου) άρα $V_{in} * I_{in} - V_o * I_o = 10 * 0.3 - 5 * 0.3 = 1.5W$. Οι απώλειες οφείλονται στις αντιστάσεις του κυκλώματος.
4. Από θεωρία μπορούμε να πούμε πως η τάση στο πηνίο είναι ανάλογη με την αλλαγή στο ρεύμα μέσω του πηνίου ή αλλιώς $V = L * \frac{dI}{dt}$. Γραφικά, εάν εφαρμόσουμε έναν παλμό τάσης σε ένα πηνίο, το ρεύμα που το διαρρέει θα έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 1: Γραφική αναπαράσταση ρεύματος πηνίου (κάτω) για τάση εισόδου παλμικής μορφής (πάνω).

Β Μέρος

1.1. Από θεωρία έχει αποδειχτεί ότι: $D = \frac{ton}{Ts} = \frac{Vo}{Vd} = \frac{24}{60} = 0.4$

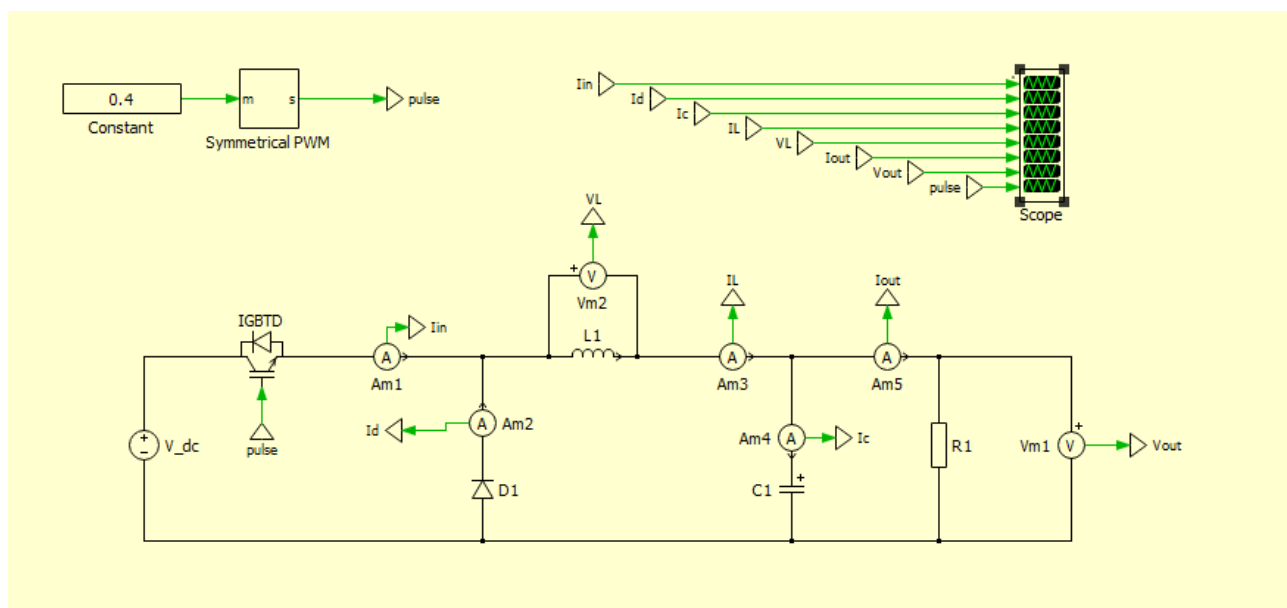
1.2. Ισχύει $I_L = I_o = \frac{Vo}{R} = \frac{24}{6} = 4 \text{ A}$. Γνωρίζουμε από την θεωρία πως η κυμάτωση του

ρεύματος θα πρέπει να είναι τόση όση να βρισκόμαστε διαρκώς σε συνεχή αγωγή. Έτσι η μέγιστη διακύμανση που μπορώ να δεχτώ είναι: $\Delta I = 2I_L = 2 \cdot 4 = 8 \text{ A}$. Αυτή την ποσότητα την ονομάζω

$\Delta I_{\text{οριακό}}$. Έτσι από την θεωρία έχει αποδειχτεί ότι η τιμή του πυκνωτή είναι:

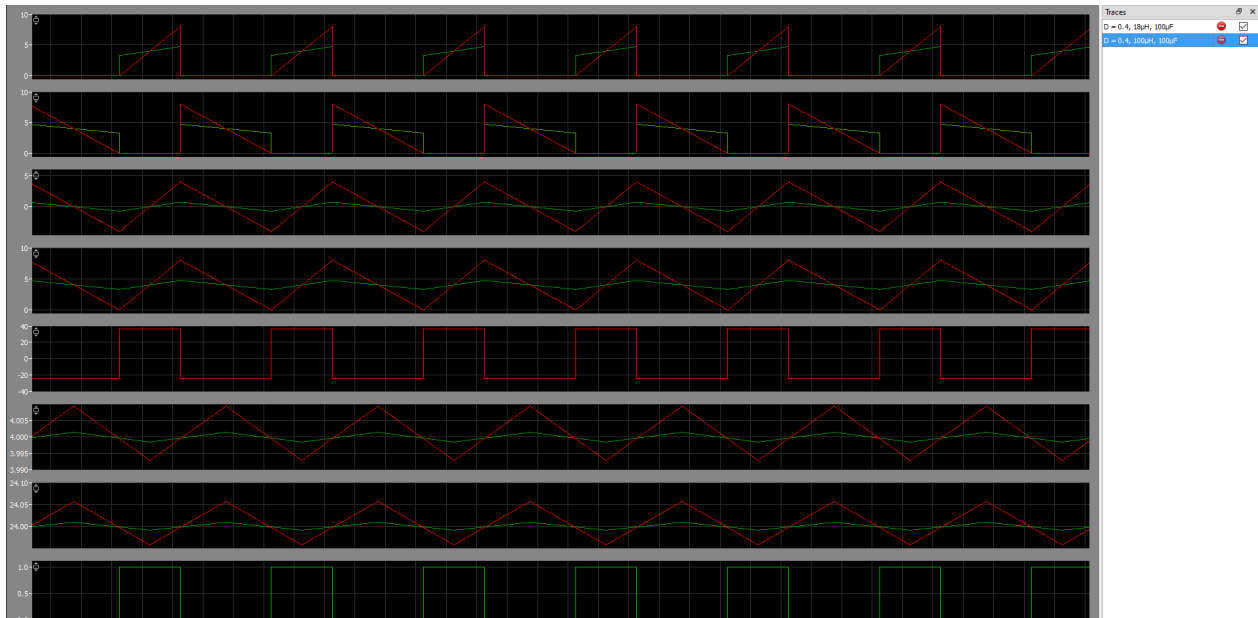
$$L = \frac{Vd - Vo}{\Delta I_{\text{οριακό}}} \cdot D \cdot Ts = \frac{60 - 24}{8} \cdot 0.4 \cdot \frac{1}{100000} = 18 \mu\text{H} \text{ η οποία τιμή είναι η ελάχιστη τιμή του}$$

πυκνωτή. Η συνέχεια στην αγωγή αποδεικνύεται από την προσομοίωση στο λογισμικό προσομοίωσης PLECS όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2: Κύκλωμα μετατροπέα υποβιβασμού τάσης σχεδιασμένο στο λογισμικό PLECS.

Με αυτή τη προσομοίωση συγκρίνουμε τον μετατροπέα με πηνίο τιμής 100μH (πράσινο χρώμα) όπου έχουμε ασυνέχεια και τον μετατροπέα με πηνίο τιμής 18μH (κόκκινο χρώμα) όπου έχουμε συνέχεια αγωγής:

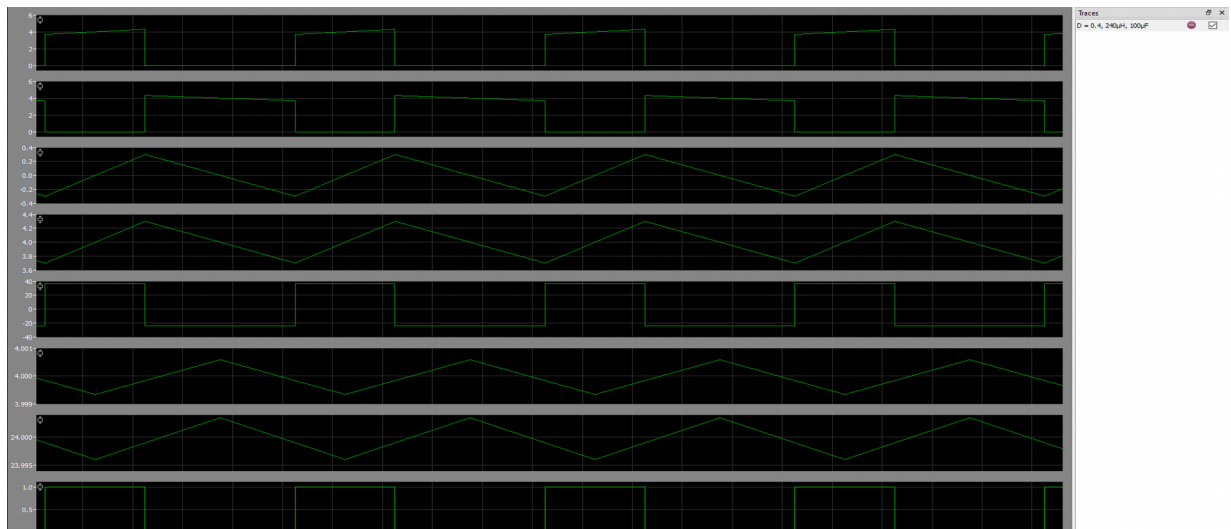


Εικόνα 3: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω: iin, Id, Ic, IL, VL, Iout, Vout, Pulse.

1.3. Δεδομένου ότι γνωρίζουμε την τιμή του πηνίου μπορούμε εύκολα να βρούμε την διακύμανση ρεύματος του πηνίου. Έτσι από την θεωρία έχουμε το εξής:

$$\Delta I_L = \frac{V_d - V_o}{L} * D * T_s = \frac{60 - 24}{0.00024} * 0.4 * \frac{1}{100000} = 0.6 \text{ A}$$

Από θεωρία γνωρίζουμε ότι το ρεύμα κυμαίνεται στις τιμές $[I_L - \Delta I_L/2, I_L + \Delta I_L/2] = [4 - 0.6/2, 4 + 0.6/2] = [3.7, 4.3] \text{ A}$. Άρα συμπερασματικά έχουμε $i_{Lmin} = 3.7 \text{ A}$, $i_{Lmax} = 4.3 \text{ A}$. Εκτελώντας την προσομοίωση με χαρακτηριστικά του κυκλώματος που αναφέρονται στην εκφώνηση, επαληθεύεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ρεύματος του πηνίου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω: iin, Id, Ic, IL, VL, Iout, Vout, Pulse.

I.4. Για το φορτίο έχουμε τα εξής:

Γνωρίζοντας την τάση εξόδου και το φορτίο στην έξοδο ίσο με **6Ω**, μπορώ εύκολα από νόμο του Ohm να βρώ και το ρεύμα στην έξοδο ίσο με: $\frac{V_o}{R} = \frac{24}{6} = 4 \text{ A}$ όπως βρέθηκε και στο ερώτημα

I.2. Δεδομένου αυτού η ισχύς του φορτίου είναι ίση με $P_R = V_o * I_o = 24 * 4 = \mathbf{96W}$.

Για την πηγή έχουμε τα εξής:

Υπάρχουν δύο τρόποι εύρεσης της ισχύος στην πηγή:

- Βάσει θεωρίας ισχύει ότι επειδή έχουμε ιδανικά στοιχεία στο κύκλωμα είναι δεδομένο ότι η ισχύς στην έξοδο θα είναι ίση με την ισχύ στην είσοδο (και άρα στην πηγή) με τιμή **96W** στην προκειμένη περίπτωση.
- Ο δεύτερος τρόπος απαιτεί την εύρεση της μέσης τιμή του ρεύματος εισόδου (εφόσον η τάση δίνεται) όπου όταν ο διακόπτης είναι σε κατάσταση 'on' τότε ισχύει ότι το ρεύμα στο πηνίο είναι ίσο με το ρεύμα εισόδου αλλιώς έχει τιμή '0'. Έτσι, βρίσκουμε την μέση τιμή ρεύματος μέσω του τύπου: $\sqrt{[\frac{1}{T} * \int IL dt]} = 1.15 \text{ A}$ όπου το ρεύμα I_L γραφικά μαζί με τον άξονα του χρόνου σχηματίζει τραπέζιο και έτσι το ολοκλήρωμα αποτελεί εμβαδόν τραπεζίου. Έτσι προκύπτει πως η ισχύς στην είσοδο είναι $P_{in} = V_{in} * I_{in} = 60 * 1.15 = \mathbf{96W}$.

II. Για την επίλυση αυτού του ερωτήματος θα βρούμε τις τιμές πηνίου για τις αντίστοιχες τιμές της ισχύς εξόδου και έπειτα θα επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή πηνίου. Έτσι έχουμε:

- Για ισχύς $P = 3W$ ισχύει:

Το duty ratio βρίσκεται από την σχέση $D = \frac{V_o}{V_d} = \frac{6}{48} = 0.125$. Γνωρίζοντας την τιμή της ισχύς εξόδου, τάσης εξόδου μπορώ εύκολα να βρώ το ρεύμα στη έξοδο που ισούται με το ρεύμα I_d ως εξής: $P_o = V_o * I_d$ άρα $I_d = \frac{P_o}{V_o} = \frac{3}{6} = 0.5 \text{ A}$. Εφόσον θέλουμε συνεχή αγωγή πρέπει

$\Delta I_{L \text{ οριακό}} = 2 * I_d = 1 \text{ A}$. Έτσι από τον τύπο του πηνίου που έχει αποδειχτεί από την θεωρία έχω:

$$\Delta I_L = \frac{V_d - V_o}{L} * D * T_s \text{ άρα } L = \frac{V_d - V_o}{\Delta I_L} * D * T_s = \frac{48 - 6}{1} * 0.125 * \frac{1}{30000} = 175 \mu H$$

- Αντίστοιχα για ισχύς $P = 30W$ ισχύει:

Δεδομένου ότι η τάση εξόδου και η τάση εισόδου είναι ίδιες και με πριν, το duty ratio παραμένει το ίδιο με τιμή $D = 0.125$. Γνωρίζοντας την τιμή της ισχύς εξόδου, τάσης εξόδου μπορώ εύκολα να βρώ το ρεύμα στη έξοδο που ισούται με το ρεύμα I_d ως εξής:

$$P_o = V_o * I_d \text{ άρα } I_d = \frac{P_o}{V_o} = \frac{30}{6} = 5 \text{ A}. \text{ Εφόσον θέλουμε συνεχή αγωγή πρέπει}$$

$\Delta I_{L \text{ οριακό}} = 2 * I_d = 10 \text{ A}$. Έτσι από τον τύπο του πηνίου που έχει αποδειχτεί από την θεωρία έχω:

$$\Delta I_L = \frac{V_d - V_o}{L} * D * T_s \text{ άρα } L = \frac{V_d - V_o}{\Delta I_L} * D * T_s = \frac{48 - 6}{10} * 0.125 * \frac{1}{30000} = 17.5 \mu H$$

Το πηνίο το οποίο σε οποιοδήποτε συνθήκες λειτουργίας εγγυάται την λειτουργία του μετατροπέα στην συνεχή αγωγή είναι το πηνίο τιμής **175μH**.

Γ Μέρος

Πριν την επίλυση των ερωτημάτων θα γίνει ο υπολογισμός κάποιων τιμών όπου είναι απαραίτητες και δεν επηρεάζονται για κανένα από τα ερωτήματα. Έχουμε:

- Το ρεύμα εξόδου υπολογίζεται εύκολα από την ισχύ στην έξοδο ως εξής:

$$P_o = V_o * I_o \text{ άρα } I_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{120}{48} = 2.5 \text{ A} .$$

- Εφόσον έχουμε ιδανικά στοιχεία θα θεωρήσουμε πως η ισχύς εξόδου είναι ίση με της εισόδου. Έτσι ισχύει: $P_o = V_o * I_o = P_d = V_d * I_d$
- 1. Για την επίλυση του ερωτήματος θα πάρουμε δύο περιπτώσεις για το κάθε “άκρο” στην τιμή της τάσης εισόδου:
- Για $V_d = 12\text{V}$ έχουμε:

Από θεωρία έχει αποδειχθεί ότι $L = \frac{V_o * T_s}{2 * I_o} * (1 - D)^2 * D$ με την ποσότητα D να

αντιπροσωπεύει το λόγο κατάτμησης που ισούται με $D = 1 - \frac{V_d}{V_o}$,όπως έχει δειχθεί στην

θεωρία. Έτσι, για $D = 1 - \frac{12}{48} = \frac{3}{4}$, η τιμή που λαμβάνει το πηνίο ισούται με:

$$L = \frac{48 * \frac{1}{50000}}{2 * 2.5} * (1 - 0.75)^2 * 0.75 = 9 \mu\text{H} .$$

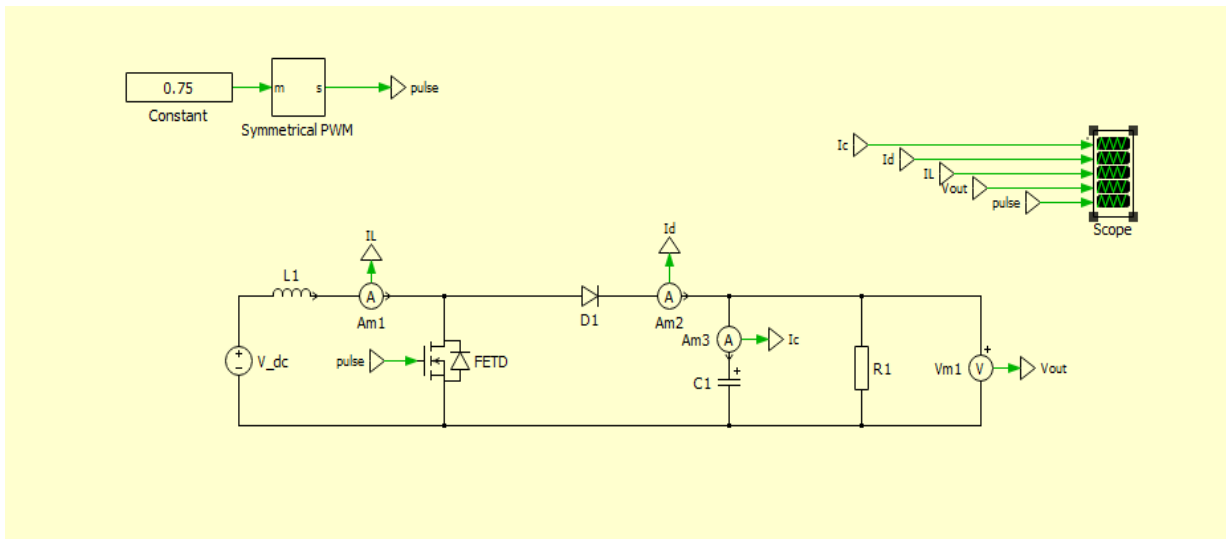
- Για $V_d = 24\text{V}$ αντίστοιχα έχουμε:

$$D = 1 - \frac{24}{48} = \frac{1}{2} \text{ και άρα η τιμή του πηνίου είναι: } L = \frac{48 * \frac{1}{50000}}{2 * 2.5} * (1 - 0.5)^2 * 0.5 = 24 \mu\text{H} .$$

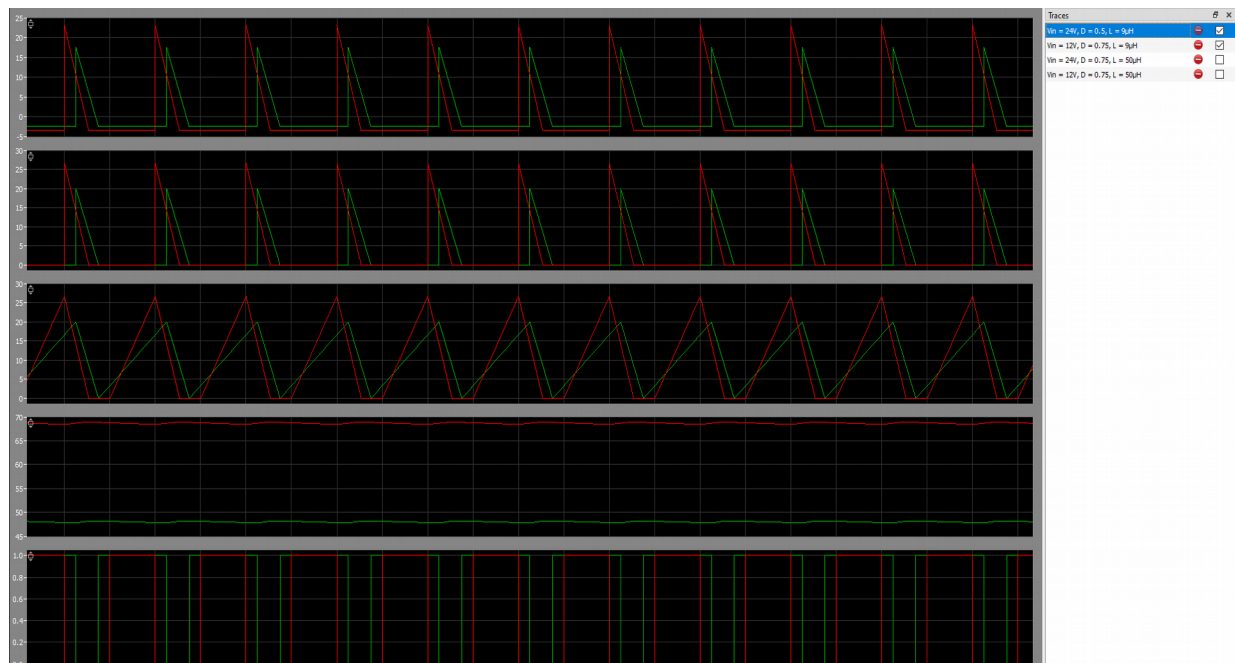
Η ελάχιστη - μέγιστη τιμή που μπορεί το πηνίο να λάβει, προκύπτουν εάν βρούμε για ποια τιμή του λόγου κατάτμησης D η συνάρτηση L(D) έχει ελάχιστο και μέγιστο. Από την θεωρία αποδεικνύεται πως για $D = 1/3$, η συνάρτηση εμφανίζει μέγιστο ενώ για $D = 1$ ελάχιστο. Εφόσον απαιτούμε μία οριακή τιμή στην οποία ο μετατροπέας να λειτουργεί για οποιαδήποτε τιμή του D σε κατάσταση ασυνεχούς αγωγής, βάσει θεωρίας θα διαλέξουμε τιμές οι οποίες είναι κάτω της μέγιστης τιμής που μπορεί να πάρει το πηνίο για $D = 1/3$ και μεγαλύτερες από τις τιμές που μπορεί να πάρει για $D = 1$. Όμως δεδομένου ότι για τις δύο τάσεις εισόδου οι τιμές $D = 1/3$ και $D = 1$ δεν εμπεριέχονται στο εύρος τιμών όπου ο μετατροπέας δουλεύει, επιλέγεται η ελάχιστη τιμή που το πηνίο λαμβάνει μέσα στο εύρος τιμών D όπου ο μετατροπέας λειτουργεί ($[1/2, 3/4]$). Αυτή η τιμή είναι **L = 9μH**. Άρα για να λειτουργεί ο μετατροπέας σε ασυνεχή αγωγή για οποιοδήποτε D η οριακή τιμή που το πηνίο μπορεί να πάρει είναι **L = 9μH**.

2. Η επίλυση του ερωτήματος αναλύεται στο ερώτημα 1) και η απάντηση έχει ως εξής: Εφόσον απαιτούμε ο μετατροπέας να λειτουργεί σε συνεχή αγωγή για οποιαδήποτε τιμή του D και εφόσον έχει βρεθεί πως η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει το πηνίο είναι $L = 24\mu\text{H}$, αυτή η τιμή αποτελεί την οριακή τιμή όπου μπορούμε να έχουμε λειτουργία συνεχούς αγωγής για οποιοδήποτε D που βρίσκεται σε εύρος $[1/2, 3/4]$.

Η επιβεβαίωση των ερωτημάτων 1 και 2 λαμβάνεται με την εκτέλεση της προσομοίωσης του μετατροπέα όπως φαίνεται και παρακάτω:

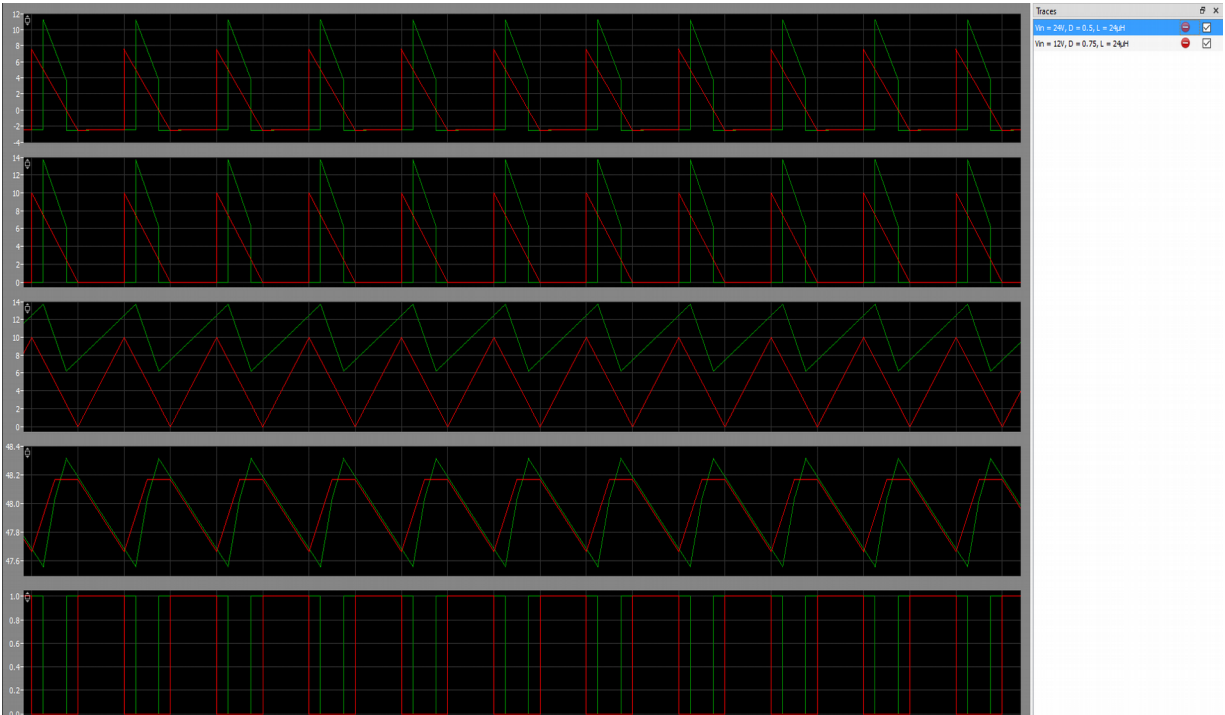


Εικόνα 5: Κύκλωμα μετατροπέα ανύψωσης τάσης σχεδιασμένο στο λογισμικό PLECS.



Εικόνα 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω: I_c , I_d , I_L , V_{out} , Pulse.

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, για τιμή πηνίου $L = 9\mu\text{H}$, η λειτουργία του μετατροπέα παραμένει στην ασυνεχή αγωγή είτε για $D = 3/4$ (πράσινο χρώμα), είτε για $D = 1/2$ (κόκκινο χρώμα).



Εικόνα 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω: Ic, Id, IL, Vout, Pulse.

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, για τιμή πηνίου $L = 24\mu\text{H}$, η λειτουργία του μετατροπέα παραμένει στην συνεχή αγωγή είτε για $D = \frac{3}{4}$ (πράσινο χρώμα), είτε για $D = \frac{1}{2}$ (κόκκινο χρώμα).

- Εφόσον η τιμή του πηνίου που δίνεται είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή ($L = 24\mu\text{H}$) που δίνει η συνάρτηση $L(D)$ όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, συμπεραίνουμε πως ο μετατροπέας είναι σε **συνεχή αγωγή**.

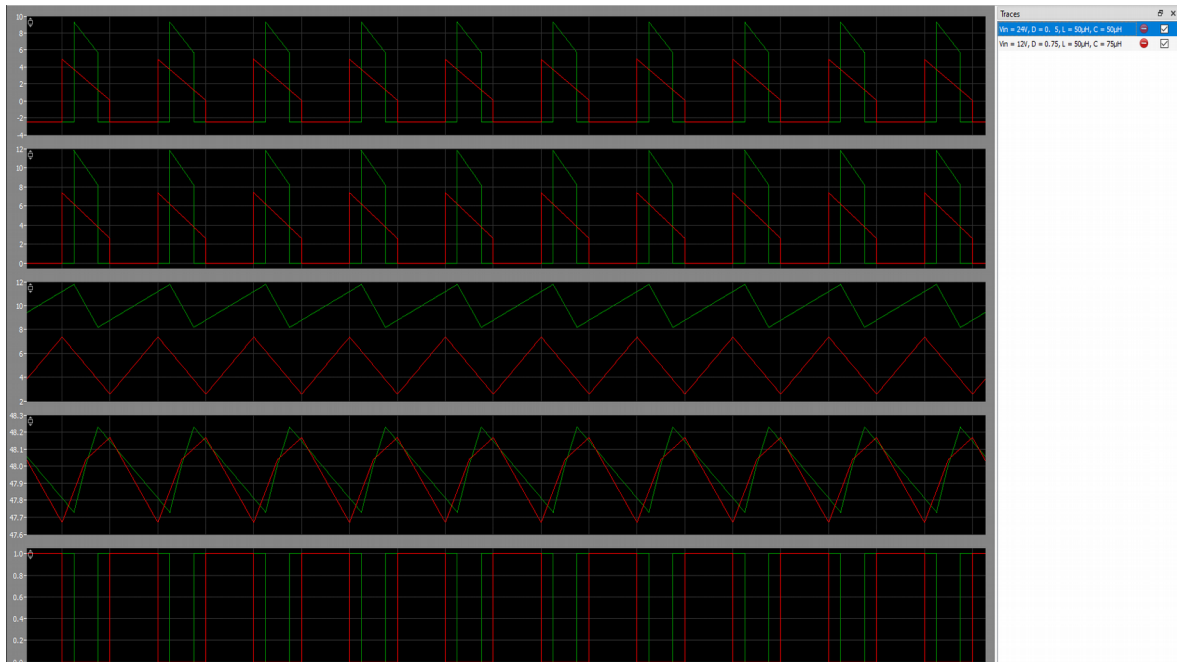
Για την εύρεση της τιμής του πυκνωτή θα πάρουμε τον τύπο της κυμάτωσης τάσης εξόδου:

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}, \text{ όπου } \Delta Q \text{ αποτελεί το φορτίο του πυκνωτή σε Coulomb και } C \text{ η ζητούμενη}$$

χωρητικότητα του πυκνωτή. Από θεωρία το φορτίο έχει ως εξής: $\Delta Q = I_o \cdot D \cdot T_s$ και έτσι έχουμε:

- Για $V_d = 12\text{V}$ και $D = \frac{3}{4}$ έχουμε ότι $\Delta Q = 2.5 \cdot 0.75 \cdot \frac{1}{50000} = 37.5 \mu\text{Coulomb}$ και έτσι από την εκφώνηση όπου μας δίνεται $\Delta V \leq 0.5 \Rightarrow \frac{\Delta Q}{C} \leq 0.5$ άρα $C \geq 75 \mu\text{H}$.
- Αντίστοιχα για $V_d = 24\text{V}$ και $D = \frac{1}{2}$ έχουμε ότι $\Delta Q = 25 \mu\text{Coulomb}$ και έτσι αντίστοιχα η χωρητικότητα είναι: $C \geq 50 \mu\text{H}$.

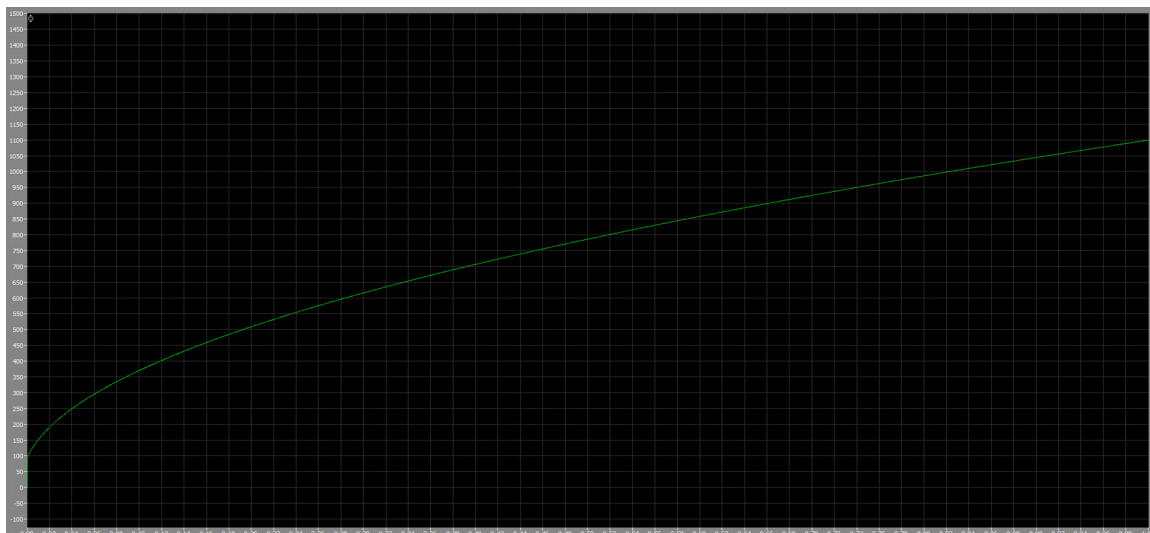
Επιβεβαίωση για την ορθότητα των παραπάνω απαντήσεων αποτελεί η εκτέλεση της προσομοίωσης όπου έχουμε:



Εικόνα 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω: Ic, Id, IL, Vout, Pulse.

Από την παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι η κυμάτωση της τάσης εξόδου είναι πράγματι μικρότερη ή ίση απο 0.5.

4. Στην περίπτωση όπου δεν έχουμε φορτίο στην έξοδο, έχουμε τα εξής: Ο πυκνωτής δεν θα ξεφορτιστεί όταν ο μετατροπέας θα λειτουργεί στην κατάσταση ασυνεχούς αγωγής. Αυτό σημαίνει πως ο πυκνωτής θα φορτίζεται όλο και παραπάνω μέχρι κάποιο στοιχείο του κυκλώματος να σταματήσει να λειτουργεί (ή να καταστραφεί). Σε θεωρητικό όμως επίπεδο οι τάσεις εξόδου θα φτάσουν σε πολύ μεγάλες τιμές. Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα της εκτέλεσης προσομοίωσης για τον μετατροπέα ανύψωσης χωρίς φορτίο στην έξοδο:



Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση τάσης εξόδου μετατροπέα ανύψωσης τάσης.