



Ηλεκτρονικά Στοιχεία Ισχύος και Βιομηχανικές Εφαρμογές

4^η Ενότητα: Τροφοδοτικά συνεχούς τάσης τύπου PWM

Δρ. Μηχ. Εμμανουήλ Τατάκης, Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Ασκήσεις Προς Επίλυση

Ασκηση 1^η

Ένας μετατροπέας Σ.Τ.-Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (Buck) τροφοδοτεί με τάση 12V ένα ωμικό φορτίο αντίστασης 6Ω. Η τάση εισόδου του μετατροπέα είναι ίση με 30V, η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του είναι 5kHz, ενώ ο μετατροπέας λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM). Να υπολογισθούν:

1. Ο λόγος κατάτμησης δ .
2. Η ελάχιστη τιμή του πηνίου εξομάλυνσης ώστε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής.
3. Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο εξομάλυνσης, εάν η τιμή της επαγωγής του πηνίου αυτού ισούται με 1.5mH.
4. Η ισχύς που απορροφάται από την πηγή και η ισχύς που καταναλώνεται στο ωμικό φορτίο.

Ασκηση 2^η

Ένας μετατροπέας Σ.Τ.-Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (Buck) τροφοδοτεί με τάση, που μεταβάλλεται μεταξύ 15V και 25V, ένα ωμικό φορτίο, του οποίου η αντίσταση μεταβάλλεται μεταξύ 4Ω και 10Ω. Η τάση εισόδου του μετατροπέα είναι ίση με 40V και η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του είναι 8kHz. Ο μετατροπέας λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM). Να υπολογισθούν:

1. Η απαιτούμενη μεταβολή του λόγου κατάτμησης δ .
2. Η ελάχιστη τιμή του πηνίου εξομάλυνσης, ώστε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM) σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

Ασκηση 3^η

Θεωρήστε μετατροπέα Σ.Τ.-Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (Buck) με τάση εισόδου $V_i=48V$, τάση εξόδου $V_o=6V$ και ισχύ εξόδου $P_o=1W-30W$. Η συχνότητα λειτουργίας είναι $f_s=30kHz$. Να υπολογισθεί η τιμή του πηνίου εξομάλυνσης ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

Ασκηση 4^η

Ένας μετατροπέας Σ.Τ.-Σ.Τ. ανύψωσης τάσης (Boost) τροφοδοτεί με τάση $V_o=48V$ ένα φορτίο του οποίου η μέγιστη ισχύς είναι $P_{oMAX}=120W$. Η τάση εισόδου του μετατροπέα αυτού μεταβάλλεται μεταξύ 12V και 36V και η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του είναι 50kHz. Ποια είναι η μέγιστη τιμή του πηνίου L_f ώστε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

Ασκηση 5^η

Θεωρήστε μετατροπέα Σ.Τ.-Σ.Τ τύπου Boost με τάση εισόδου $V_i=6V$, τάση εξόδου $V_o=24V$ και ρεύμα εξόδου $I_o=0.1A-3A$. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι $f_s=30kHz$.

1. Να υπολογισθεί η τιμή του πηνίου εξομάλυνσης ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί σε ασυνεχή αγωγή σε οποιοσδήποτε συνθήκες.
2. Αν επιλεγεί η τιμή του πηνίου εξομάλυνσης ίση με 4μH και το ρεύμα εξόδου είναι το μέγιστο, να υπολογισθούν η ενεργός και η μέγιστη τιμή του ρεύματος που διαρρέει τον ημιαγωγικό διακόπτη ισχύος (οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι αυτές που δίδονται παραπάνω).

Ασκηση 6^η

Θεωρήστε ένα μετατροπέα Σ.Τ.-Σ.Τ. ανύψωσης-υποβιβασμού τάσης (Buck-Boost) με τάση εισόδου $V_i=6V$, τάση εξόδου $V_o=18V$ και ρεύμα εξόδου $I_o=0.1A-3A$. Η συχνότητα λειτουργίας είναι $f_s=30kHz$. Να υπολογισθεί η τιμή του πηνίου L_f ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής σε οποιοσδήποτε συνθήκες.

Ασκηση 7^η

Δίδεται μετατροπέας τύπου Forward με ένα ημιαγωγικό διακοπτικό στοιχείο MOSFET. Ο μετατροπέας αυτός λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής. Η τάση εισόδου είναι $V_i=300V$, η τάση και το ρεύμα εξόδου είναι, αντίστοιχα $V_o=48V$ και $I_o=20A$. Ο λόγος σπειρών του μετασχηματιστή είναι 2:2:1.

1. Σχεδιάστε την τοπολογία και δικαιολογήστε την ύπαρξη τρίτου τυλίγματος.
2. Με βάση ποιά μεγέθη θα γίνει η επιλογή των ημιαγωγικών στοιχείων.
3. Επιλέξτε τα ημιαγωγικά στοιχεία (MOSFET, Δίοδοι), αφού γίνουν οι απαραίτητες προσεγγίσεις.

Ασκηση 8^η

Θεωρήστε το μετατροπέα τύπου Forward με δύο ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία MOSFET. Ο μετατροπέας αυτός τροφοδοτείται από τέσσερις συσσωρευτές, συνδεδεμένους εν σειρά, των 12V έκαστος. Η τάσης κάθε συσσωρευτή κυμαίνεται από 10V ως 14V. Ο μετατροπέας πρέπει να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής για όλες τις τιμές του ρεύματος εξόδου. Επίσης $V_o=5V$, $I_o=5-40A$, $f_s=100kHz$.

1. Αφού σχεδιασθεί η τοπολογία του μετατροπέα να περιγραφεί, εν συντομία, η λειτουργία του. Τι είναι συνεχής και τι ασυνεχής αγωγή;
2. Ποιά είναι, γενικά, η μέγιστη τιμή του λόγου κατάτμησης στον μετατροπέα αυτόν και γιατί;

3. Κάνοντας τις κατάλληλες παραδοχές να υπολογισθεί ο λόγος μετασχηματισμού του M/Σ (η τελική επιλογή να είναι ακέραιος αριθμός). Ποιά είναι η μέγιστη και ποιά η ελάχιστη τιμή του λόγου κατάτμησης στις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας;
4. Να σχεδιασθούν οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος επί των διαφόρων στοιχείων του μετατροπέα για συνεχή αγωγή (στον ένα από τους δύο ελεγχόμενος ημιαγωγικούς διακόπτες, στη μία από τις δύο διόδους που βρίσκονται στο πρωτεύον του M/Σ , στο πρωτεύον και στο δευτερεύον του M/Σ , στη δίοδο ελεύθερης διέλευσης, στο πηνίο εξομάλυνσης και στον πυκνωτή εξόδου).
5. Να σχεδιασθούν και να ερμηνευθούν οι χαρακτηριστικές εξόδου $V_N=f(I_N, \delta)$, για $V_N=ct$.
6. Μπορεί ο μετατροπέας αυτός να λειτουργήσει χωρίς φορτίο; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
7. Στην πράξη παρουσιάζει κυμάτωση η τάση εξόδου; Εάν ναι, πώς ερμηνεύεται αυτή η κυμάτωση;
8. Υπολογίστε την τιμή που πρέπει να έχει το πηνίο εξομάλυνσης, αν η κυμάτωση, από κορυφή σε κορυφή, του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο αυτό δεν πρέπει να ξεπερνά το 10% της ελάχιστης τιμής του ρεύματος εξόδου.
6. Αν η μέγιστη τιμή του ρεύματος μαγνήτισης δεν πρέπει να ξεπερνά το 20% της μέγιστης τιμής του ρεύματος του πρωτεύοντος του M/Σ , να υπολογισθεί η επαγωγή μαγνήτισης του M/Σ .
7. Ποιές οι επιπτώσεις της επαγωγής σκέδασης του M/Σ κατά τη λειτουργία του κυκλώματος.
8. Επιλέξτε τα ημιαγωγικά στοιχεία (MOSFET, Δίοδοι), αφού γίνουν οι απαραίτητες προσεγγίσεις.

Ασκηση 9^η

Θεωρήστε μετατροπέα τύπου Flyback με τάση εισόδου που κυμαίνεται από $V_{i,min}=240V$ ως $V_{i,max}=340V$, τάση εξόδου $V_o=200V$ και ισχύ εξόδου $P_o=50W-1000W$. Ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή είναι 1:1, η επαγωγή μαγνήτισης του, όπως φαίνεται από το πρωτεύον, είναι $L_m=8mH$ και η συχνότητα λειτουργίας είναι $f_s=20kHz$.

1. Να αποδειχθεί ότι ο μετατροπέας λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM).
2. Να υπολογισθούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του λόγου κατάτμησης.
3. Στη δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας να υπολογισθούν η μέγιστη και η μέση τιμή των ρευμάτων που διαρρέουν το MOSFET και τη δίοδο και να γίνει επιλογή των στοιχείων αυτών.
4. Εάν στην έξοδο χρησιμοποιηθούν δύο ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές, συνδεδεμένοι παράλληλα, με $C_o=3300\mu F$, $R_{Co}=10m\Omega$ και $L_{Co}=5nH$ έκαστος, να υπολογισθεί, προσεγγιστικά, η κυμάτωση της τάσης εξόδου.

Ασκηση 10^η

Θεωρήστε ένα μετατροπέα ανύψωσης τάσης (Boost), ο οποίος τροφοδοτεί ένα ωμικό φορτίο R_L . Για το μετατροπέα αυτό η τάση εισόδου είναι $V_i=24V$, η τάση εξόδου είναι $V_o=60V$, το ρεύμα εξόδου μεταβάλλεται από $I_{o,min}=1A$ ως $I_{o,max}=5A$ (μεταβάλλοντας την αντίσταση φορτίου) και η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του είναι $f_s=75kHz$.

1. Να σχεδιασθεί η τοπολογία και να αναλυθεί επιγραμματικά η λειτουργία της. Μπορεί ο μετατροπέας αυτός να λειτουργήσει μόνο στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM), ανεξαρτήτως του ρεύματος εξόδου και εάν ναι πως;
2. Έστω ότι ο μετατροπέας αυτός λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM). Το ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο είναι MOSFET με αντίσταση αγωγής $R_{DSon}=0.34\Omega$, ενώ οι χρόνοι έναυσης και σβέσης του θεωρούνται αμελητέοι. Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος θεωρούνται ιδανικά.
 1. Θεωρώντας μη ιδανικό το ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο, να διατυπωθεί η εξίσωση που δίνει τη χαρακτηριστική εξόδου του μετατροπέα στη μορφή $\frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{V_o}{V_i}\right)_{ideal} \cdot f\left(\delta, \frac{R_{DSon}}{R_L}\right)$, όπου $\left(\frac{V_o}{V_i}\right)_{ideal} = f(\delta)$ ο λόγος κατάτμησης για την περίπτωση που όλα τα στοιχεία είναι ιδανικά (να υποθέσετε ότι η κυμάτωση του ρεύματος στο πηνίο είναι σχεδόν μηδενική).
 2. Για την περίπτωση αυτή να εξαχθεί (σε γενική μορφή) η εξίσωση που δίνει το λόγο κατάτμησης και να υπολογισθεί ο λόγος αυτός για την περίπτωση που το ρεύμα εξόδου είναι μέγιστο. Να συγκριθεί η προκύπτουσα τιμή με την τιμή του ιδανικού λόγου κατάτμησης $\left(\frac{V_o}{V_i}\right)_{ideal} = f(\delta)$
3. Εάν αμεληθεί η αντίσταση αγωγής του ελεγχόμενου ημιαγωγικού στοιχείου, η επαγωγή του πηνίου εξομάλυνσης είναι $L_F=200\mu H$ και στην έξοδο του μετατροπέα χρησιμοποιηθούν τέσσερις (4) ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές, συνδεδεμένοι παράλληλα, με $C_o=2200\mu F$, $R_{Co}=20m\Omega$ και $L_{Co}=5nH$ έκαστος, να υπολογισθεί, προσεγγιστικά, η κυμάτωση της τάσης εξόδου.

Άσκηση 11^η

1. Θεωρήστε ένα μετατροπέα αύξησης τάσης (Boost), στον οποίο χρησιμοποιείται, ως κύριο διακοπτικό στοιχείο, ένα τρανζίστορ ισχύος τύπου MOSFET και ο οποίος τροφοδοτεί μία αντίσταση $R_L=12\Omega$. Αν $V_i=12V$, $V_o=48V$ και $f_s=200kHz$, σχεδιάστε την τοπολογία και επιλέξτε την τιμή του πηνίου εξομάλυνσης L_f , ώστε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής.
2. Για τον παραπάνω μετατροπέα και με βάση τις προαναφερθείσες λειτουργικές συνθήκες, θεωρήστε ότι η τιμή του πηνίου εξομάλυνσης είναι $L_o=1\mu H$.
 1. Υπολογίστε την τιμή του λόγου κατάτμησης.
 2. Σχεδιάστε με ακρίβεια τις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος στο MOSFET ισχύος και στη δίοδο ελεύθερης διέλευσης (σημειώστε στο σχεδιάγραμμα ακριβείς τιμές ρευμάτων, τάσεων και χρόνων).
 3. Υπολογίστε τη μέση τιμή των ρευμάτων που διαρρέουν τα δύο ημιαγωγικά στοιχεία.
3. Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, με παλμογράφο, στο μετατροπέα αυτό και υπό τις προαναφερθείσες λειτουργικές συνθήκες, έδωσαν για το MOSFET κατά την έναυση του χρόνου καθόδου της τάσης $t_{vf}=10ns$, ενώ κατά τη σβέση του MOSFET οι χρόνοι ανόδου της τάσης και καθόδου του ρεύματος ήταν, αντίστοιχα, $t_{vr}=100ns$ και $t_{if}=30ns$.

1. Να υπολογισθούν οι διακοπτικές απώλειες του ημιαγωγικού αυτού στοιχείου, τόσο κατά την έναυση όσο και κατά τη σβέση του.

Αν χρησιμοποιηθεί ένα κύκλωμα υποβοήθησης της σβέσης RCD (snubber), υπολογίστε την τιμή του βέλτιστου πυκνωτή του snubber, τις απώλειες στο τρανζίστορ και το snubber, καθώς και το ποσοστό μείωσης των διακοπτικών απωλειών στο τρανζίστορ.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Τατάκης Εμμανουήλ, 2015. Τατάκης Εμμανουήλ. «Ηλεκτρονικά Στοιχεία Ισχύος & Βιομηχανικές Εφαρμογές». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE894/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

