

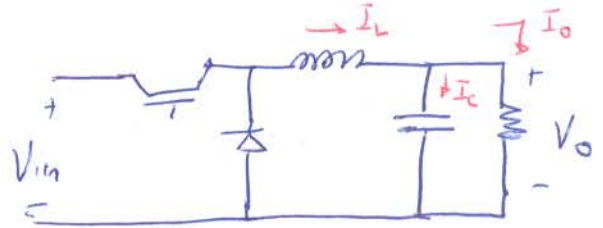
Παράδειγμα 1 Μετατροπέας υποβιβαστικού τροφοδοτεί φορτίο 3Ω σε $12V$ από πηγή $15V$. Τα στοιχεία του είναι: $L = 9\mu H$, $C = 50\mu F$, $f = 50kHz$

- α) Υπολογίστε το λόγο χρησιμοποίησης D , την κυμάτωση ρεύματος πηνίου ΔI_L και την κυμάτωση τάσης εξόδου.
 β) Η τάση εισόδου αυξάνεται στα $30V$, αλλά η έξοδος δεν πρέπει να αλλάξει. Υπολογίστε ξανά τις παραμέτρους του ερωτήματος (α)

Λύση

(α) Πρόκειται για μια άεστη αντίσταση.

Αρχικά πρέπει να εξετάσουμε αν έχουμε συνεχή ή διακοπόμενη λειτουργία ρεύματος πηνίου.



Η σχετική παράμετρος είναι το $k = \frac{2L}{RT_s}$, όπου $T_s = \frac{1}{f_s} = 20\mu s$

Όταν $k > 1 - D \Rightarrow$ Συνεχόμενη λειτουργία

$$\text{Εδώ: } k = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = 0,3$$

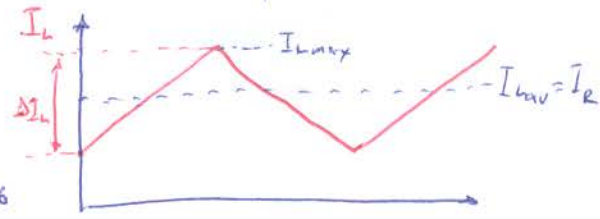
Συνεπώς η οριακή τιμή του D θα είναι: $D_{cr} = 1 - k = 0,7$

Αν θεωρήσω ότι έχω συνεχή λειτουργία, τότε: $D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{12}{15} = 0,8$

Βλέπω ότι $D > D_{cr} \Rightarrow$ έχω όπως συνεχή λειτουργία ρεύματος πηνίου

Για την κυμάτωση ΔI_L μπορώ να πάρω είτε τη σχέση που προκύπτει όταν ο διακόπτης άνοιξε είτε όταν έσβησε.

$$\text{Έτσι: } \Delta I_L = \frac{V_o}{L} (1 - D) T_s = \frac{12}{9 \cdot 10^{-6}} (1 - 0,8) 20 \cdot 10^{-6} = 5,333 A$$



Η κυμάτωση της τάσης εξόδου είναι:

$$\Delta V_o = \frac{V_o (1 - D) T_s^2}{8LC} = \frac{12 \cdot (1 - 0,8) \cdot (20 \cdot 10^{-6})^2}{8 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 0,266 V$$

$$\text{ως ποσοστό της τάσης εξόδου: } \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{0,266}{12} = 0,0222 \text{ ή } 2,22\%$$

Ο πυκνωτής πρέπει να απορροφά την κυμάτωση του I_L , οπότε στο φορτίο θα έχουμε μόνο τη dc συνιστώσα του I_L . Δηλαδή $I_o = I_{L,av} = \frac{V_o}{R} = \frac{12}{3} = 4 A$

Το μέγιστο ρεύμα πηνίου προκύπτει τότε: $I_{L,max} = I_{L,av} + \frac{\Delta I_L}{2} = 4 + \frac{5,333}{2} = 6,66 A$

και το ελάχιστο: $I_{L,min} = I_{L,av} - \frac{\Delta I_L}{2} = 2,66 A$

(β) Ουσιαστικά τώρα πλησιάζει το $\frac{V_0}{V_{in}}$ αλλά οχι το $k = \frac{2L}{RT}$

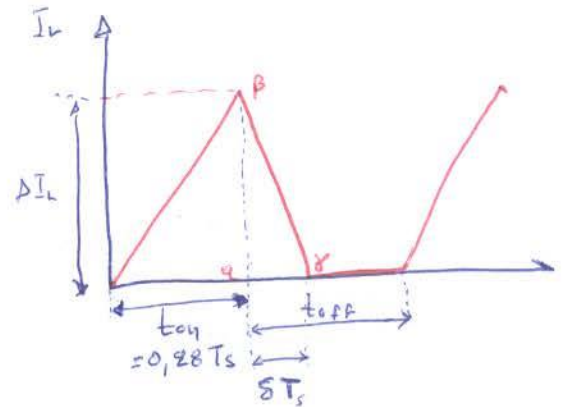
Εάν είχα πάλι συνεχόμενη λειτουργία ρεύματος πηνίου θα έγραφε:

$$k = 0,3 > 1 - D = 1 - \frac{V_0}{V_{in}} = 1 - \frac{12}{30} = 0,6 \text{ που δεν ισχύει}$$

Συνεπώς, έχουμε διακοπτόμενη λειτουργία ρεύματος πηνίου.

Η συνθήκη μεταρροής τότε είναι:

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 4k/D^2}} \Rightarrow \frac{12}{30} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,3}{D^2}}} \Rightarrow D = 0,28$$



Γραφική επίλυση:

Ο χρόνος δT_s αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζεται έτσι ώστε να μηδενιστεί το ρεύμα του πηνίου. Η μεταβολή του ρεύματος πηνίου σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι ΔI_L . Συνεπώς η τάση στα άκρα του πηνίου θα είναι:

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = L \frac{\Delta I_L}{\delta T_s} \text{ ενώ } V_L = V_0 \text{ όταν ο διακόπτης off}$$

$$\text{Έτσι: } \delta T_s = \frac{\Delta I_L}{V_0/L} \Rightarrow \delta = \frac{\Delta I_L \cdot f_s}{V_0/L} \quad (1)$$

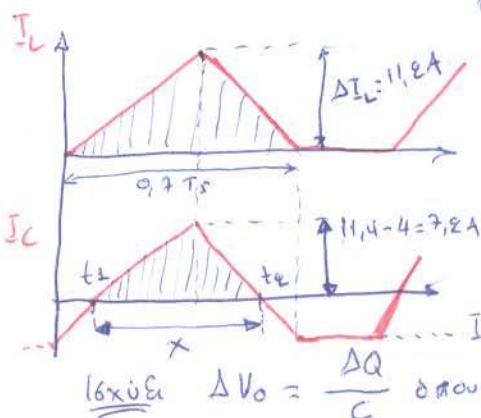
$$\text{όπου: } \Delta I_L = \left(\frac{V_{in} - V_0}{L} \right) \cdot \delta T_s$$

$$\Rightarrow \Delta I_L = \left(\frac{30 - 12}{9 \cdot 10^{-6}} \right) \cdot 0,28 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 11,2 \text{ A}$$

Εδώ ισχύει μόνο η σχέση που προκύπτει για διακοπτόμενο ρεύμα (ο χρόνος t_{off} περιλαμβάνει και το διάστημα που το ρεύμα είναι μηδέν)

$$\text{Από την (1)} \rightarrow \delta = \frac{11,2 \cdot 50 \cdot 10^3}{12 / 9 \cdot 10^{-6}} = 0,42$$

δηλαδή σε μία διακ. περίοδο, το 28% του χρόνου ο διακόπτης είναι, το 42% δεν είναι αλλά το ρεύμα πηνίου μειώνεται με το υπόλοιπο 28% είναι μηδέν



Κοιτάω τις κορυφές των ρευμάτων I_L, I_C ουσιαστικά είναι ίδιες, διαφέροντας κατά το ρεύμα φορτίου I_R . Συνεπώς, τα τρίγωνα είναι όμοια. Η κορυφή του τριγώνου του I_C διαφέρει κατά το I_R από το $I_L \Rightarrow$ είναι 7,2 A. Ο, 2 βάσεις είναι ανάλογες (όμοια τρίγωνα): $\frac{11,2}{0,7 T_s} = \frac{7,2}{x} \Rightarrow x = 9 \mu s$

16xύει $\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C}$ όπου ΔQ το εκκρεμίζον έμβαρ - $\frac{1}{2} 9 \cdot 10^{-6} \cdot 7,2 = 324 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ $\Delta V_0 = 0,65 \text{ V}$ σχεδόν 3ηλίοιο!!

Παράδειγμα 2

Ο μετατροπέας υποβιβασμού του προηγούμενου παραδείγματος πρέπει να δίνει τάση $12V$ σε φορτίο 3Ω από πηγή $30V$ με $f_s = 50kHz$, αλλά τώρα $L = 15\mu H$. Ποια η κυματομορφή του ρεύματος ανιόδου; Συγκρίνετε με την περίπτωση που $L = 9\mu H$

Λύση

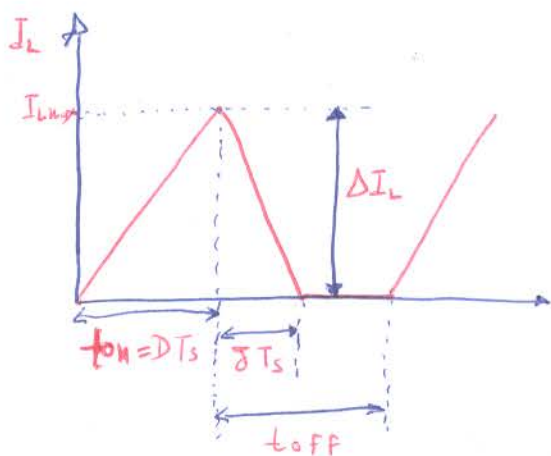
$$\text{Ο συντελεστής } k = \frac{2L}{RT_s} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = 0,5 \text{ τώρα}$$

Για συνεχή λειτουργία πρέπει $D > 1 - k = 0,5$ αλλά θα είναι

$$\text{ώστε } D = \frac{V_o}{V_{in}} = 0,4 \Rightarrow \text{διακοπόμενη λειτουργία}$$

$$\text{Πρέπει να βρω το } D: \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{4k}{D^2}}} \Rightarrow \dots D = 0,37$$

Για να σχεδιάσω την κυματομορφή του I_L χρειάζομαι το ΔI_L ή το δ .



Όπως πριν:

$$\Delta I_L = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right) D T_s = \left(\frac{30 - 12}{15 \cdot 10^{-6}} \right) 0,37 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 8,9A$$

$$\text{Ενώ: } \delta T_s = \frac{\Delta I_L}{V_o / L} = \frac{8,9}{12 / 15 \cdot 10^{-6}} = 11,1 \mu s$$

$$\text{και } \delta = \frac{11,1}{20} = 0,555$$

Συγκρίνοντας με το Παρ. 1, βλέπουμε ότι το διαδότημα που δεν διαρρέεται από ρεύμα το 7,5% (και ο πυκνωτής προφοδοτεί το φορτίο) είναι αισθητά μικρότερο, δηλαδή στο 7,5% της διακοπτικής περιόδου.

Επίσης, η κυμάτωση ρεύματος πηνίου έχει μικρότερη, περίπου 20% προφανώς ο λόγος είναι το μεγαλύτερο πηνίο. Αν χρησιμοποιήσουμε ελαφρώς μεγαλύτερο D έχουμε συνεχή λειτουργία

Παράδειγμα 3

6.20 Hart

Σχεδιάστε έναν μετατροπέα ανύψωσης που να έχει έξοδο 18V από την 12V. Το φορτίο είναι 20W. Η κυκλώματός μας πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5%. Καθορίστε το D, την fs, την τιμή του πηνίου & πυκνωτή. θεωρείστε ιδανικά στοιχεία & σχεδιάστε για συνεχόμενο ρεύμα πηνίου

Λύση

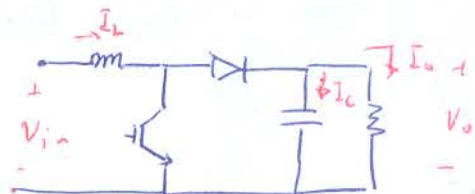
Αφού θέλουμε συνεχόμενο αγωγό θα ισχύει: $\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \Rightarrow D = 0,333$

Στο φορτίο θα έχουμε καθαρό dc τάν & ρεύμα, και η ισοδύναμη αντίσταση θα είναι τότε: $R = \frac{V_o^2}{P} = \frac{18^2}{20} = 16,2 \Omega$

Για να βρω το μέσο ρεύμα πηνίου $I_{L,av}$ που είναι ίσο με το ρεύμα φορτίου I_R δουλεύω ως εξής:

Με τη θεωρία ιδανικών στοιχείων: $P_{in} = P_o$ (μικρή ισχύς)

οπότε $V_{in} I_{L,av} = V_o I_o$ όπου $I_{in} = I_{L,av}$
 $I_o = I_R$



$$\begin{aligned} \text{άρα } V_{in} I_{L,av} &= V_o I_R \Rightarrow V_{in} I_{L,av} = \frac{V_o^2}{R} \\ \text{ένώ } V_o &= \frac{V_{in}}{(1-D)} \end{aligned} \Rightarrow V_{in} I_{L,av} = \frac{V_{in}^2 (1-D)^2}{R} \Rightarrow I_{L,av} = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{L,av} = \frac{12}{(1-0,333)^2 \cdot 16,2} = 1,67 \text{ A}$$

Λαμβάνω τιμή σε διαφορετική συχνότητα πάνω από το ράδιο του ήχου (>20kHz) & αντίστα με χωρητικότητα διακέρση που είναι διαδεδομένη. Έστω εδώ $f_s = 200 \text{ kHz}$

Πολλές φορές με ενδιαφέρει να έχω & ένα όριο όσον αφορά την κυκλώμα του ρεύματος πηνίου. Αν εδώ ήθελα να περιοριστεί στο 40% του $I_{L,av}$ τότε θα έπρεπε $\Delta I_L \leq 0,4 \cdot 1,67 = 0,667 \text{ A}$

Το L_{min} έτσι ώστε να είμαστε σε συνεχόμενη λειτουργία ρεύματος πηνίου:

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2 f_s} = \frac{0,333(1-0,333)^2 \cdot 16,2}{2 \cdot 200 \cdot 10^3} = 6 \mu\text{H}$$

Με άλλα λόγια, αν πάρω ένα πηνίο ικανοποιητικό μεγέθους από 2 L_{min} (έστω 20% $\Rightarrow 7,2 \mu\text{H}$) θα ήθελον σίγουρος ότι θα έχω συνεχόμενο αγωγό. Εδώ όπως δείχνει επιπρόσθετα να έχω μια συγκεκριμένη τιμή ΔI_L που μειώνεται όσο μεγαλώνει το πηνίο.

Η κυκλώμα είναι $\Delta I_L = \frac{V_{in} D T_s}{L} \leq 40\% I_{L,av} \Rightarrow$

$$\Rightarrow L \geq \frac{V_{in} D}{(40\% I_{L,av}) \cdot f_s} = \frac{12 \cdot 0,233}{(0,4 \cdot 1,67) \cdot 200 \cdot 10^3} \approx 30 \mu H$$

Η κυρίαρχη της τάσης εξόδου εξαρτάται από την τιμή του πυκνωτή (και όχι του L όπως στον Buck). Ισχύει:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R C f_s} \leq 0,5\% \Rightarrow C \geq \frac{D}{R \cdot f_s \cdot 0,5\%} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C \geq \frac{0,333}{16,2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0,005} = 20,55 \mu F$$

Μπορώ να πάρω μια τιμή ~20%. μεγαλύτερη για ασφάλεια $\Rightarrow \underline{25 \mu F}$