



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ηλεκτρονικά Ισχύος II

Ενότητα 1: Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή
(DC-DC Converters)

Δρ.-Μηχ. Εμμανουήλ Τατάκης, Καθηγητής
Πολυτεχνική Σχολή

Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση και επεξήγηση βασικών τοπολογιών των μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή



Περιεχόμενα ενότητας

- Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή με τρανζίστορ ισχύος (Buck, Boost, Buck/Boost).
- Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή με θυρίστορ (Chopper)
- Ρύθμιση στροφών μηχανής συνεχούς ρεύματος με χρήση των ανωτέρω τοπολογιών



Διάλεξη 8η

Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ με θυρίστορ (Chopper) – Μέρος 2ο



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ II

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ

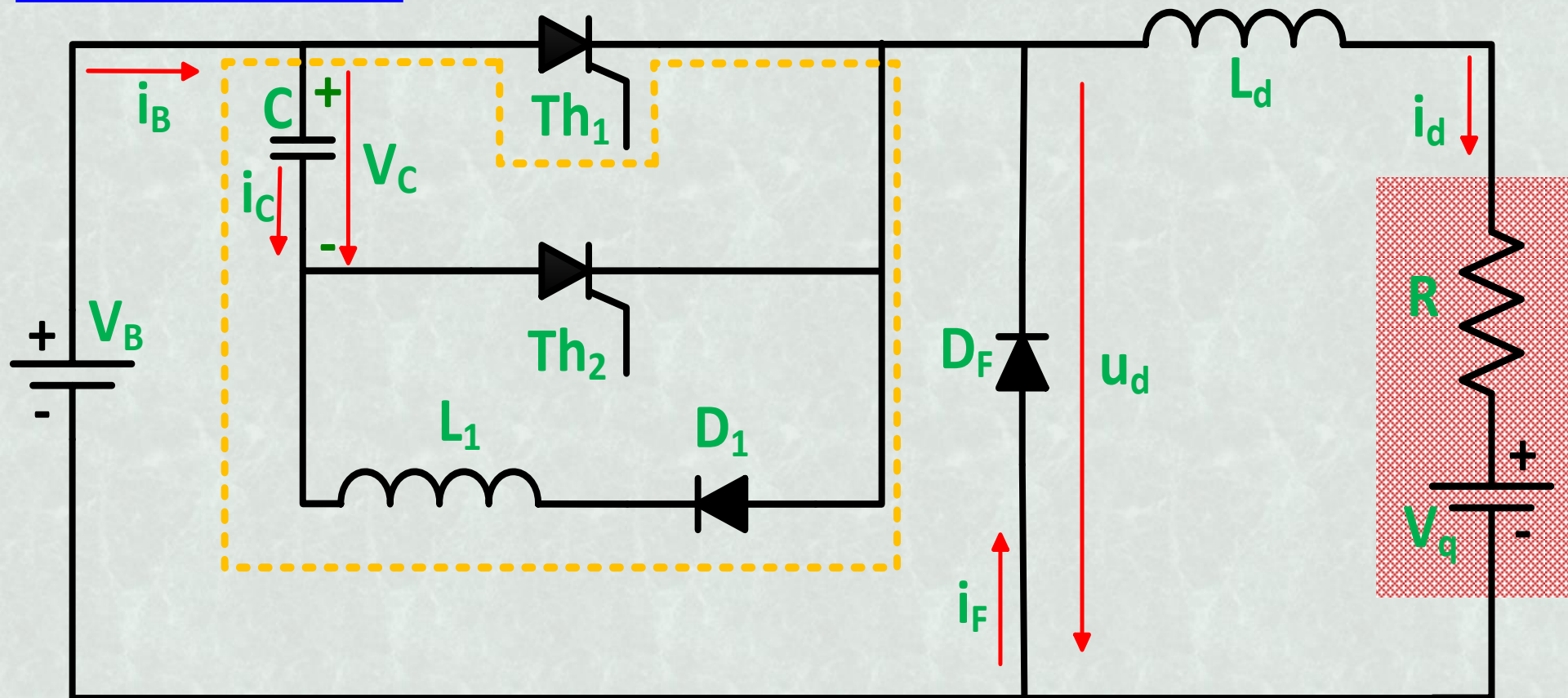
(DC-DC Converters)

Ο ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΤ-ΣΤ
ΜΕ ΘΥΡΙΣΤΟΡ
(CHOPPER)

Μέρος 2^ο



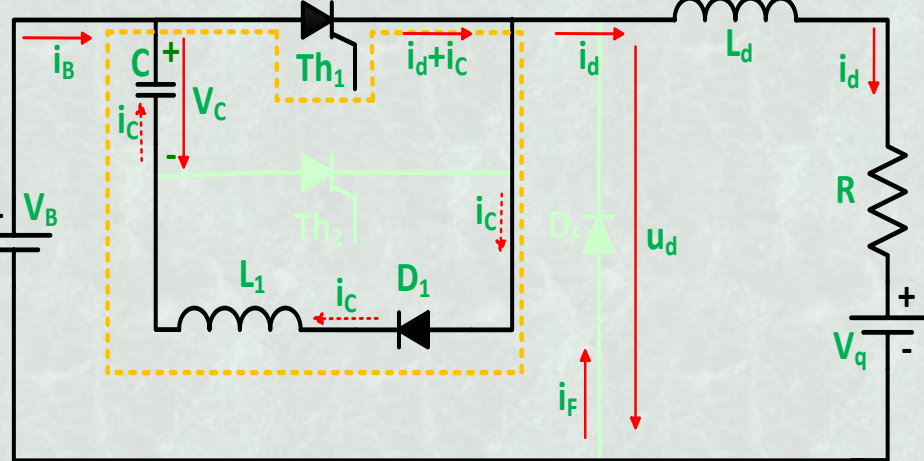
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Τ.-Σ.Τ. ΜΕ THYRISTOR (CHOPPER)



Κυκλωματικό διάγραμμα

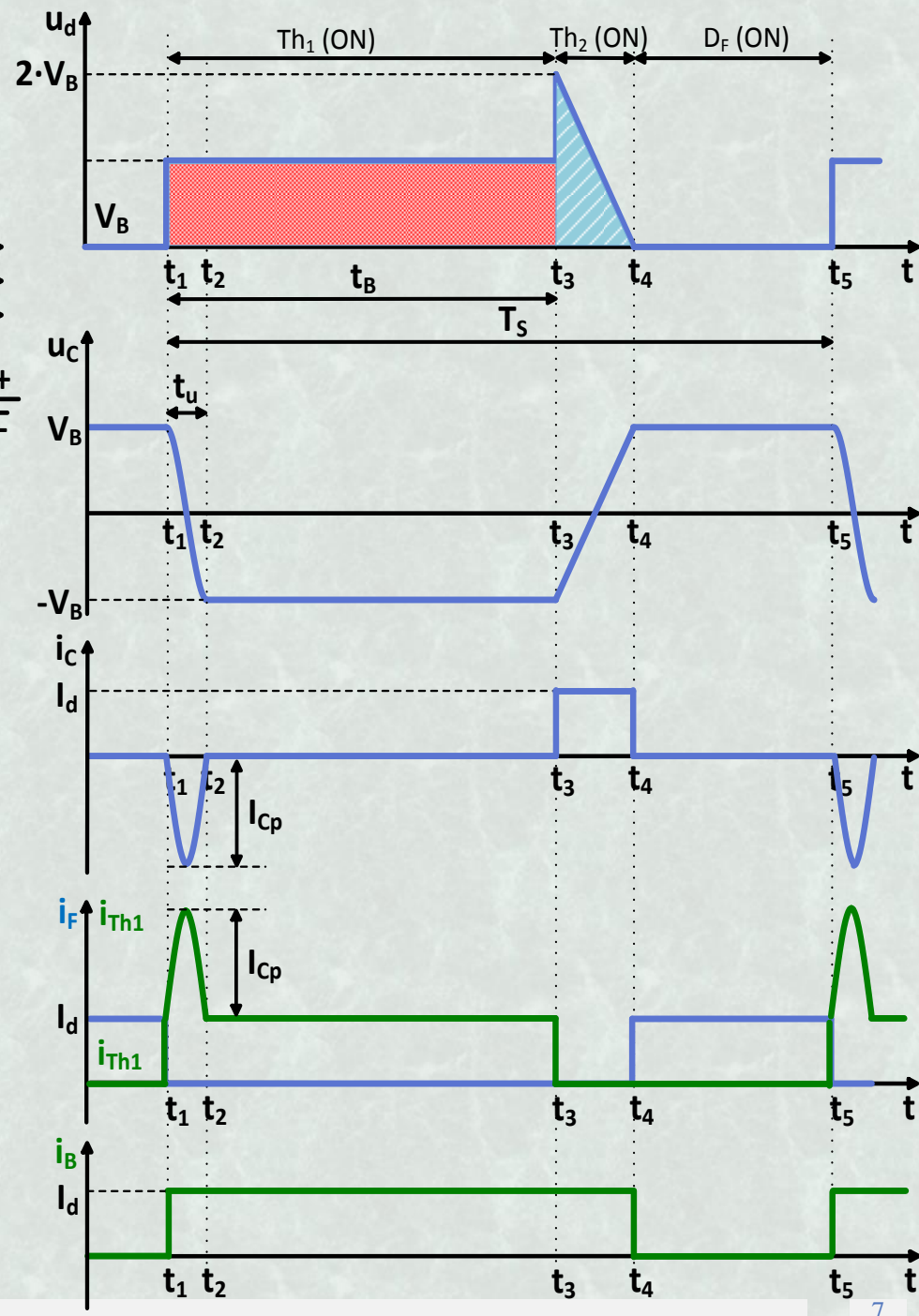
Το Chopper είναι ένας μετατροπέας Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση (Σ.Τ.-Σ.Τ.), υποβιβασμού τάσης (BUCK), στον οποίο το κύριο ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο είναι το Thyristors.

Διάστημα $t_1 \leq t \leq t_3$



Διάστημα αγωγής Th1

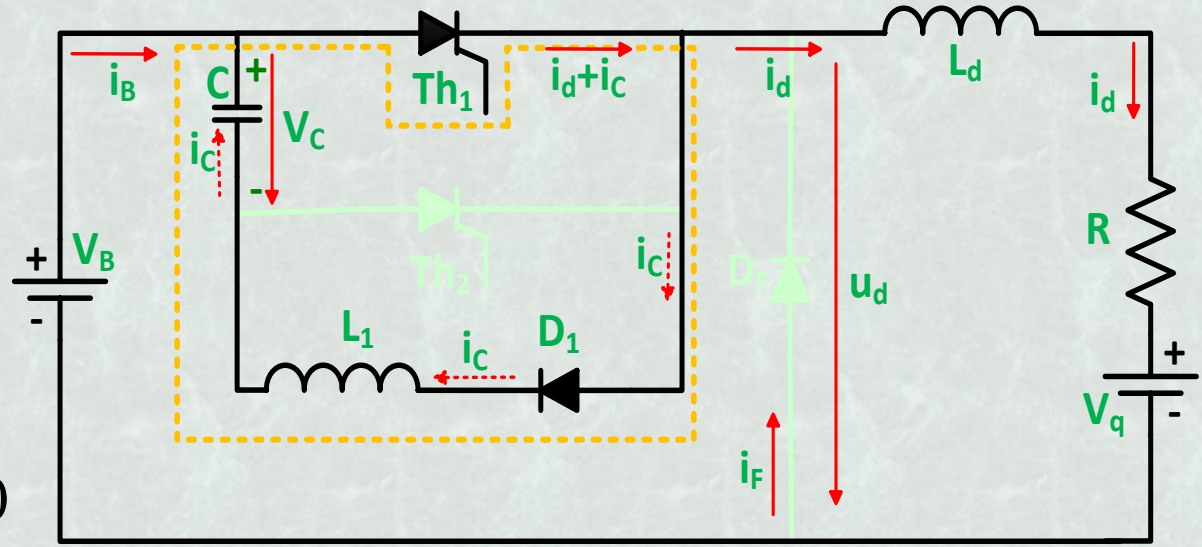
- ❑ Στο $t=t_1$, ανάβει το Th_1 , οπότε $u_d=V_B$ & $i_B=I_d$.
- ❑ Η D_F πολώνεται ανάστροφα και δεν άγει ($i_F=0$).
- ❑ Ο πυκνωτής C εκφορτίζεται, μέσω των στοιχείων Th_1 , L_1 και D_1 και στη συνέχεια φορτίζεται με αντίθετη πολικότητα (διάστημα t_u).



Διάστημα $t_1 \leq t \leq t_3$

Δηλαδή έχουμε ένα κύκλωμα ελεύθερης ταλάντωσης L_1 - C :

$$\frac{d^2 Q_C(t)}{dt^2} - \frac{1}{L_1 \cdot C} \cdot Q_C(t) = 0$$



Διάστημα αγωγής Th1

Άρα για το διάστημα $t_1 \leq t \leq t_2$ ($t_2 - t_1 = t_u = \pi/\omega$) έχουμε:

☐ Φορτίο πυκνωτή: $Q_C(t) = C \cdot V_B \cdot \cos \omega t$, όπου: $\omega = 1/\sqrt{L_1 \cdot C}$

☐ Ρεύμα πυκνωτή: $i_c(t) = \frac{dQ_C(t)}{dt} = -\omega \cdot C \cdot V_B \cdot \sin \omega t$

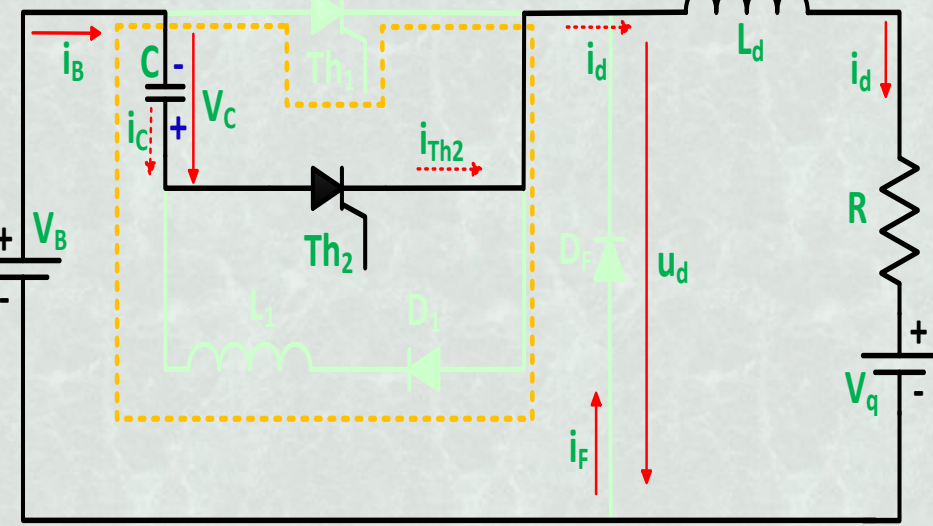
☐ Συνεπώς: $I_{Cp} = \omega \cdot C \cdot V_B = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C}} \cdot C \cdot V_B = \frac{V_B}{\sqrt{L_1/C}} = \frac{V_B}{Z_{char}}$

Από $t_2 \leq t \leq t_3$ (δηλαδή ως ότου τεθεί σε αποκοπή το Th_1 , $t_3 - t_1 = t_B$):

$i_c(t) = 0$, $Q_C(t) = -C \cdot V_B$, $U_C(t) = -V_B$, και $i_{Th1}(t) = I_d$ **ΓΙΑΤΙ;**



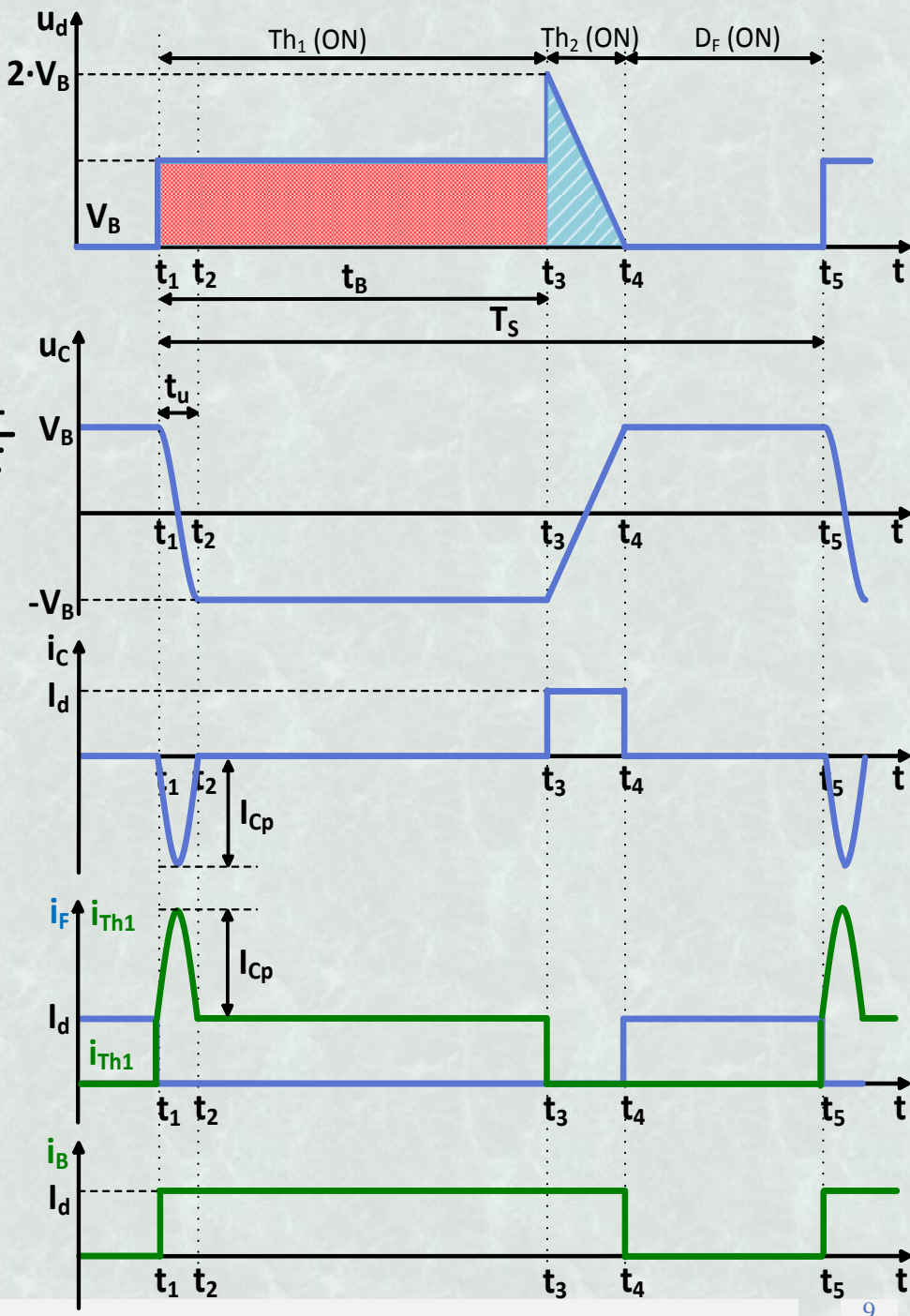
Διάστημα $t_3 \leq t \leq t_4$



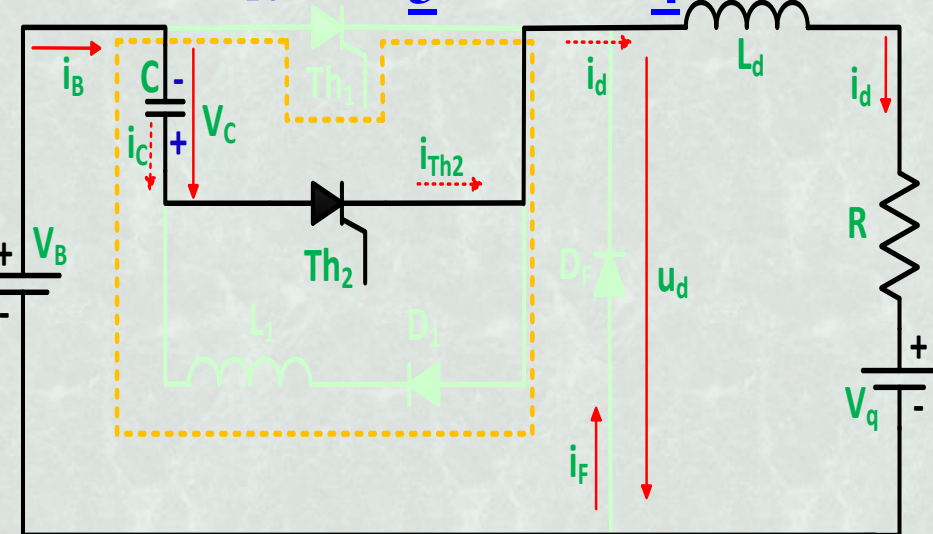
Διάστημα αγωγής Th2

- ❑ **Τη χρονική στιγμή $t=t_3$ ανάβει το Th_2 , οπότε σβήνει το Th_1 και $u_d=2 \cdot V_B$ & $i_B=I_d$.**
- ❑ Η τάση του πυκνωτή σβέσης εφαρμόζεται στα άκρα του Th_1 , με αποτέλεσμα να το σβήσει αμέσως ($i_{Th1}=0$).
- ❑ **Πρέπει πάντα $t_3-t_1=t_B \geq \pi/\omega$.**

Γιατί;

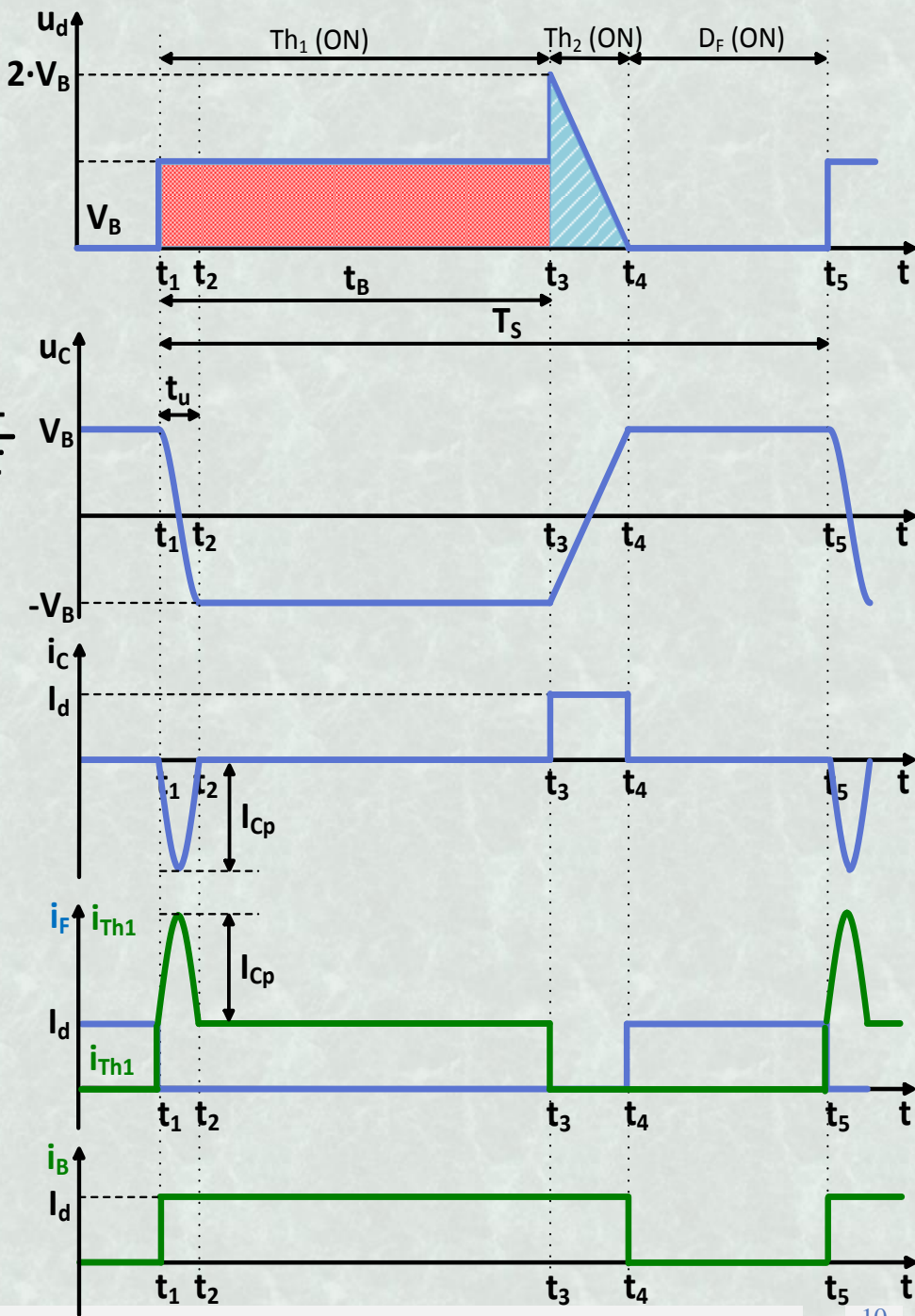


Διάστημα $t_3 \leq t \leq t_4$



Διάστημα αγωγής Th2

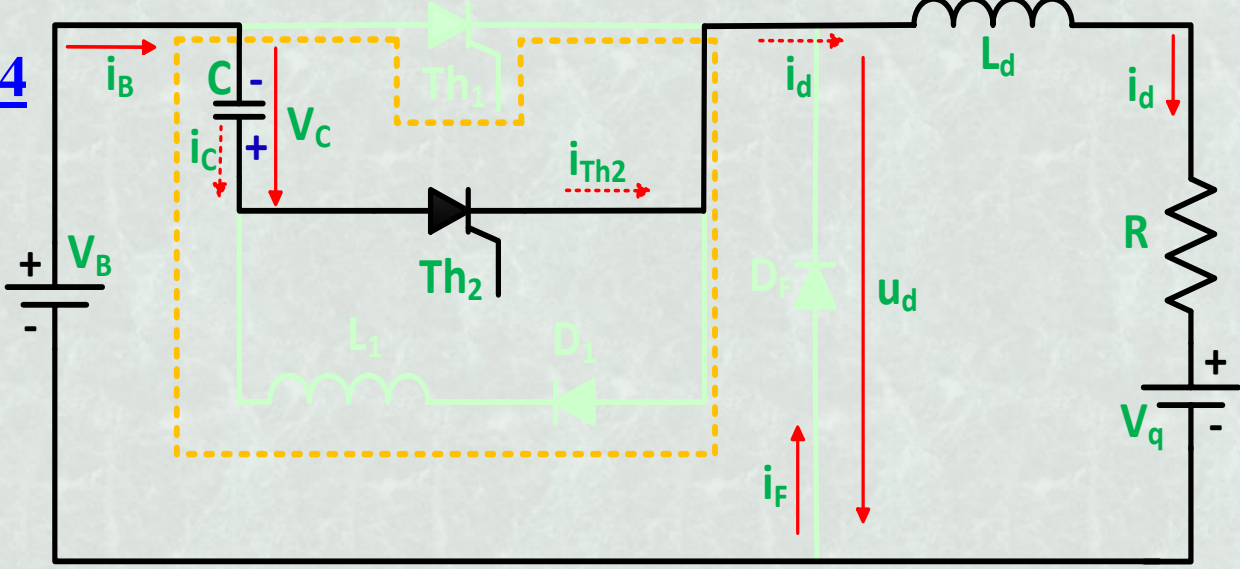
- ❑ Η D_F παραμένει ανάστροφα πολωμένη και δεν άγει ($i_F=0$).
- ❑ Ο πυκνωτής C εκφορτίζεται, γραμμικά (*γιατί;*) μέσω των στοιχείων V_B , Th_2 , L_d και του φορτίου και μετά φορτίζεται με αντίθετη πολικότητα (διάστημα $2 \cdot t_d$), ως $u_d(t_4)=0$ (*γιατί;*).



Διάστημα $t_3 \leq t \leq t_4$

Τη χρονική στιγμή t_4 η τάση $u_d(t)$ γίνεται μηδέν και τείνει να γίνει αρνητική.

Οπότε, θα αρχίσει να άγει η διάοδος D_F .



Διάστημα αγωγής Th2

Άρα για το διάστημα $t_3 \leq t \leq t_4$ ($t_4 - t_3 = 2 \cdot t_d$) έχουμε:

❑ Φορτίο πυκνωτή: $Q_C(t) = -C \cdot V_B + I_d \cdot (t - t_3)$

❑ Ρεύμα πυκνωτή: $i_C(t) = I_d$

Τη χρονική στιγμή t_4 $Q_C(t_4) = C \cdot V_B$. Συνεπώς: $t_4 - t_3 = 2 \cdot t_d = \frac{2 \cdot C \cdot V_B}{I_d}$

ΠΡΟΣΟΧΗ

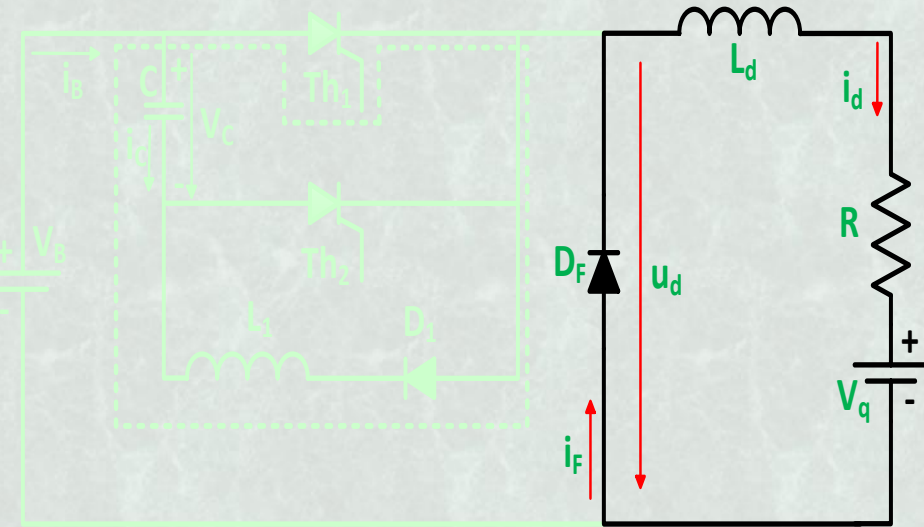
Τα θυρίστορ αποκτούν **ικανότητα θετικής αποκοπής** μετά από χρόνο t_F (**χρόνος ανάστροφης ανάκτησης**).

Επομένως, θα πρέπει η τάση του Th_1 να παραμένει αρνητική για χρόνο μεγαλύτερο από t_F . Συνεπώς:

$$t_F \leq t_d = \frac{C \cdot V_B}{I_d}$$

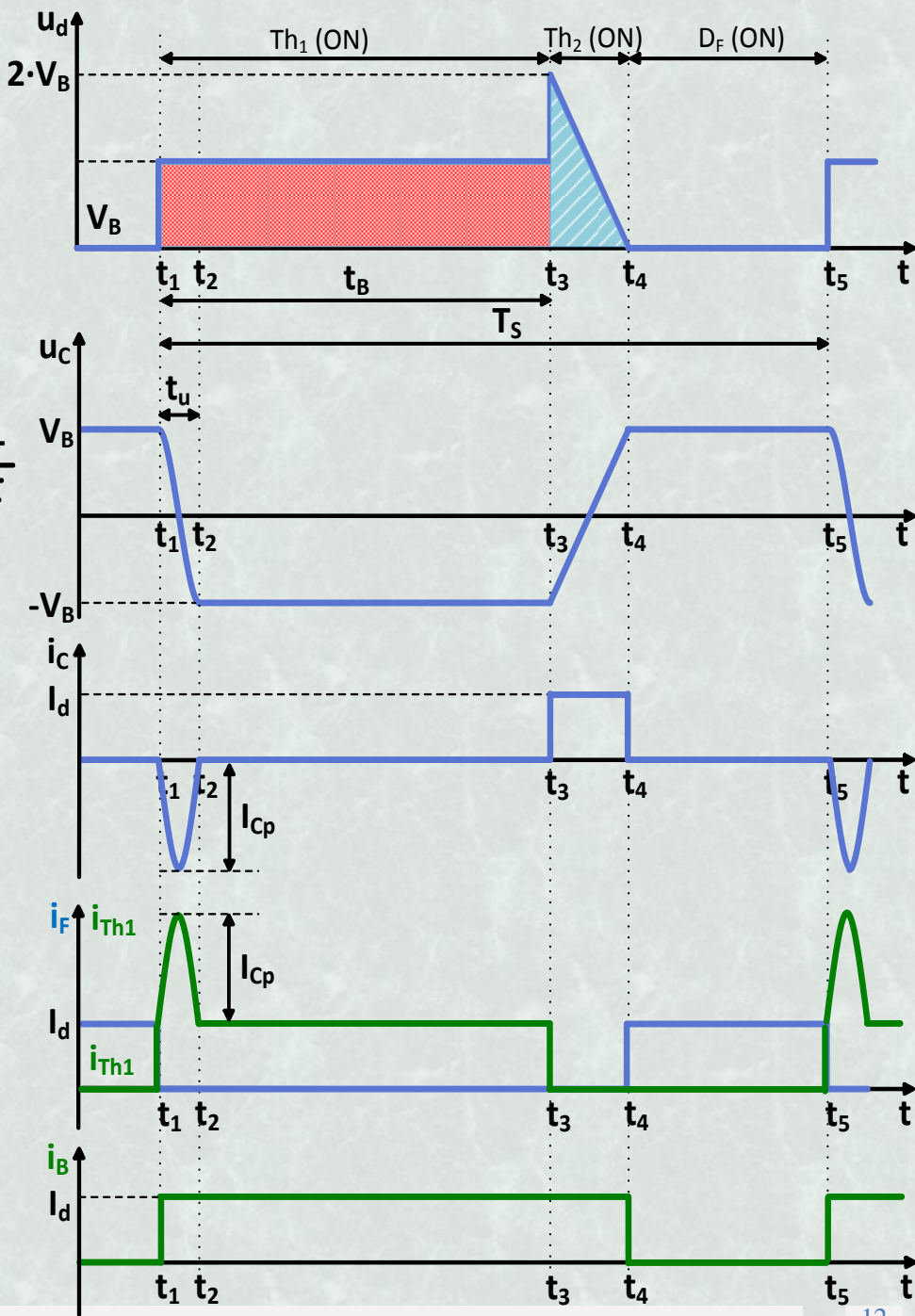


Διάστημα $t_4 \leq t \leq t_5$

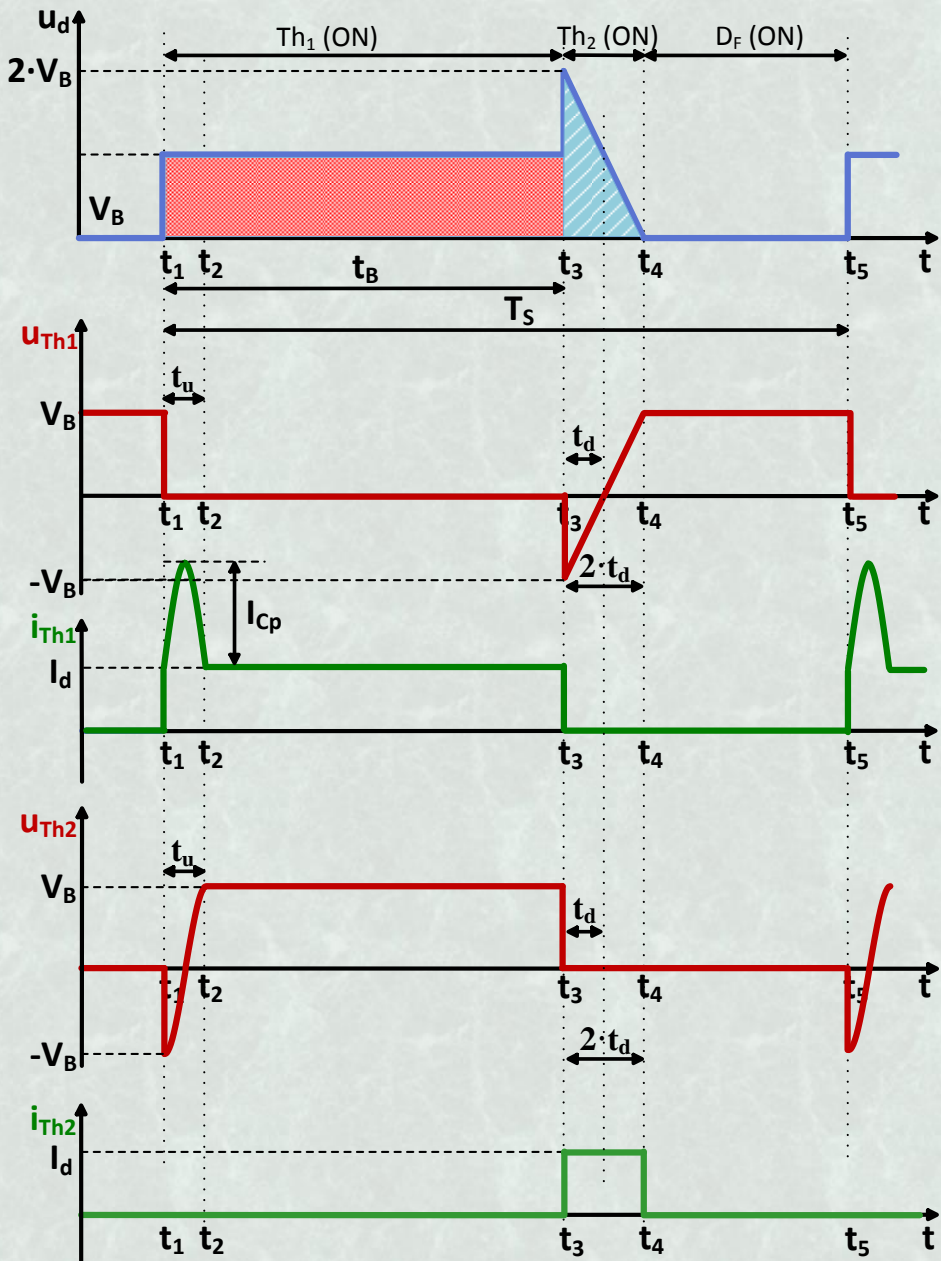
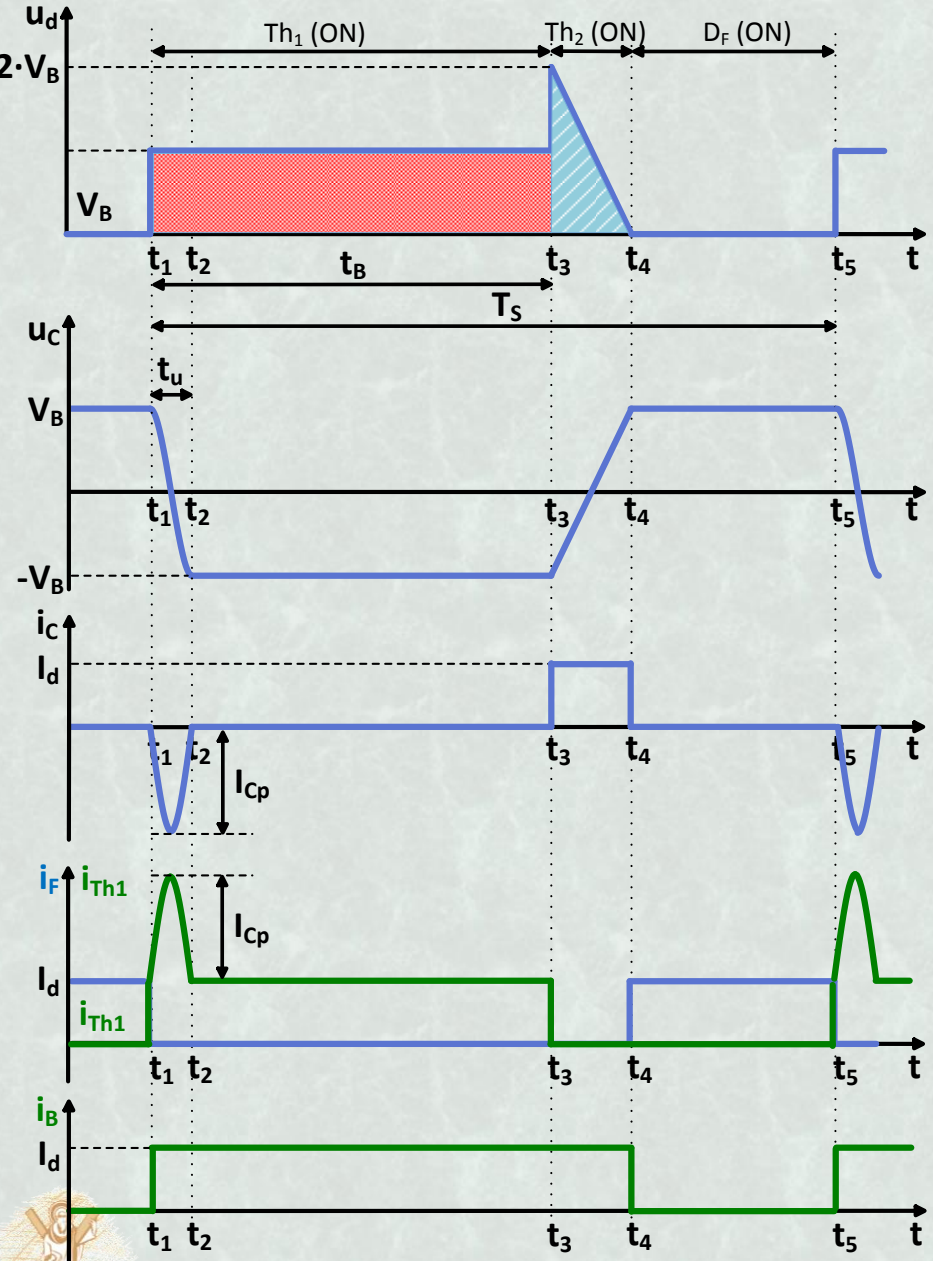


Διάστημα αγωγής D_f

□ Η δίοδος D_F άγει και διαρρέεται από το ρεύμα εξόδου I_d , έως ότου ξαναδοθεί παλμός έναυσης στο θυρίστορ Th_1 (χρονική στιγμή t_5).



Σημαντικότερες κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων



Επιπλέον σχέσεις για το Chopper

➤ Η μέση τιμή της τάσης u_d είναι:

$$V_d = \overline{u_d(t)} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_d(t) dt = V_B \cdot \frac{t_B}{T_s} + 2 \cdot V_B \cdot \frac{t_d}{T_s} = V_B \cdot \left(\beta + \frac{2 \cdot t_d}{T_s} \right) \Rightarrow \boxed{\frac{V_d}{V_B} = \beta + \frac{2 \cdot t_d}{T_s}}$$

➤ Η ενεργός τιμή του ρεύματος εισόδου είναι:

$$I_{B,rms} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_B^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \cdot I_d^2 (t_B + 2t_d)} = I_d \cdot \sqrt{\beta + \frac{2t_d}{T_s}}$$

➤ Η φαινομένη ισχύς εισόδου είναι: $P_{B,\Phi\alpha\iota\nu} = V_B \cdot I_{B,rms} = V_B \cdot I_d \cdot \sqrt{\beta + \frac{2 \cdot t_d}{T_s}}$

➤ Η ενεργός ισχύς εισόδου προκύπτει:

$$P_{B,Ev} = V_B \cdot \overline{i_B(t)} = V_B \cdot I_B = V_B \cdot I_d \cdot \frac{t_B + 2t_d}{T_s} = V_B \cdot I_d \cdot \left(\beta + \frac{2 \cdot t_d}{T_s} \right)$$

➤ Ο συντελεστής ισχύος είναι: $\lambda = \frac{P_{B,Ev}}{P_{B,\Phi\alpha\iota\nu}} = \sqrt{\beta + \frac{2 \cdot t_d}{T_s}}$

➤ Τέλος, επειδή συχνά έχουμε: $2t_d / T_s \ll 1$ τότε:

$$I_{B,Ev} \approx I_d \cdot \sqrt{\beta}, \quad P_{B,\Phi\alpha\iota\nu} \approx V_B \cdot I_d \cdot \sqrt{\beta}, \quad P_{B,Ev} \approx V_B \cdot I_d \cdot \beta, \quad \lambda \approx \sqrt{\beta}$$



ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ Σ.Ρ.

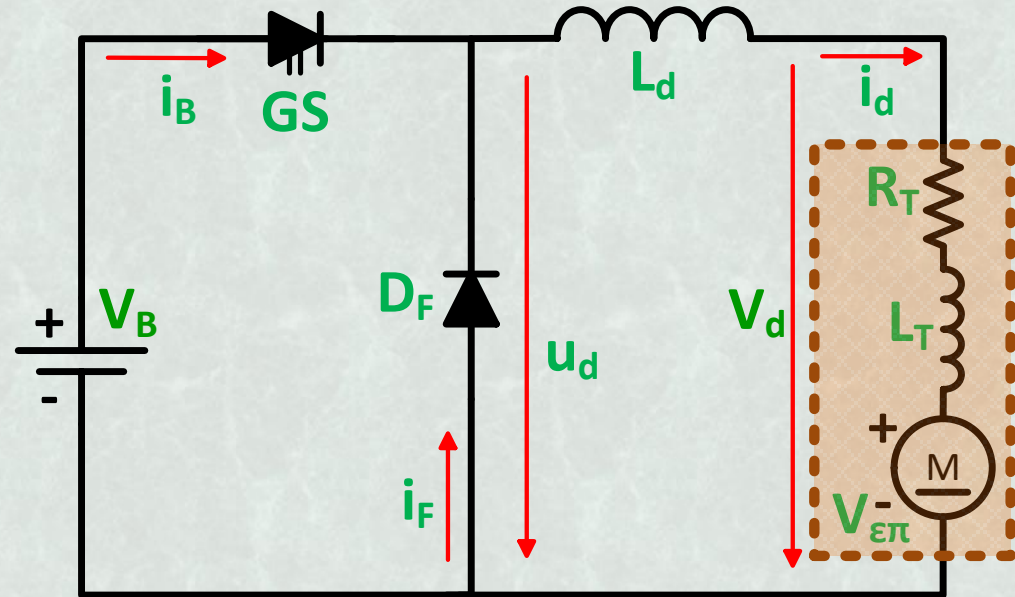
Με ρύθμιση της μέσης τιμής της τάσης τυμπάνου του:

$$V_d = V_B \cdot \left(\beta + \frac{2 \cdot t_d}{T_s} \right)$$

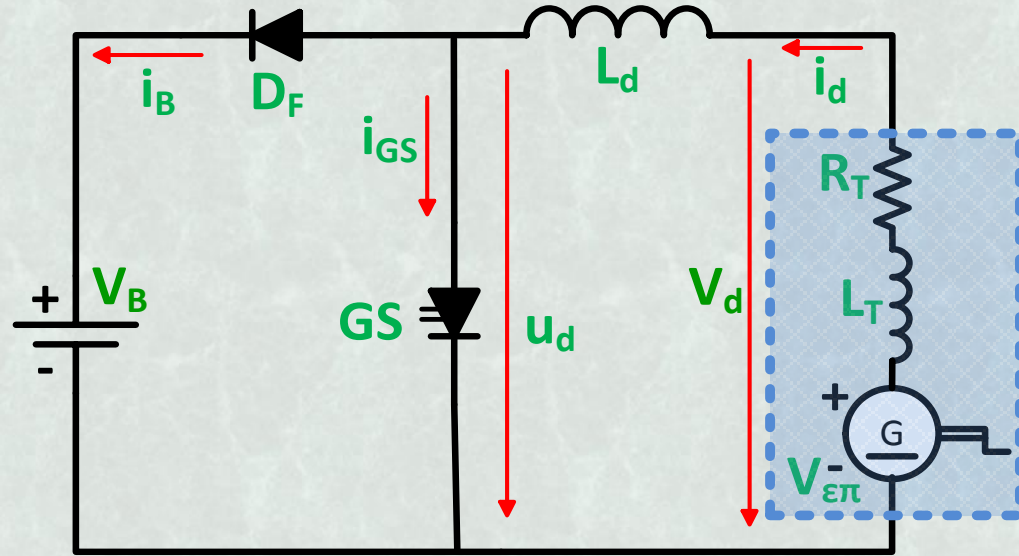
$$\Omega = \frac{V_d}{C \cdot \Phi} - \frac{R_T}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M_{el}$$

Αλλαγή θέσης του διακόπτη GS με τη δίοδο D_F. Η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια.

Λειτουργία ως μετατροπέας ανύψωσης τάσης (Boost)



Συνδεσμολογία κίνησης



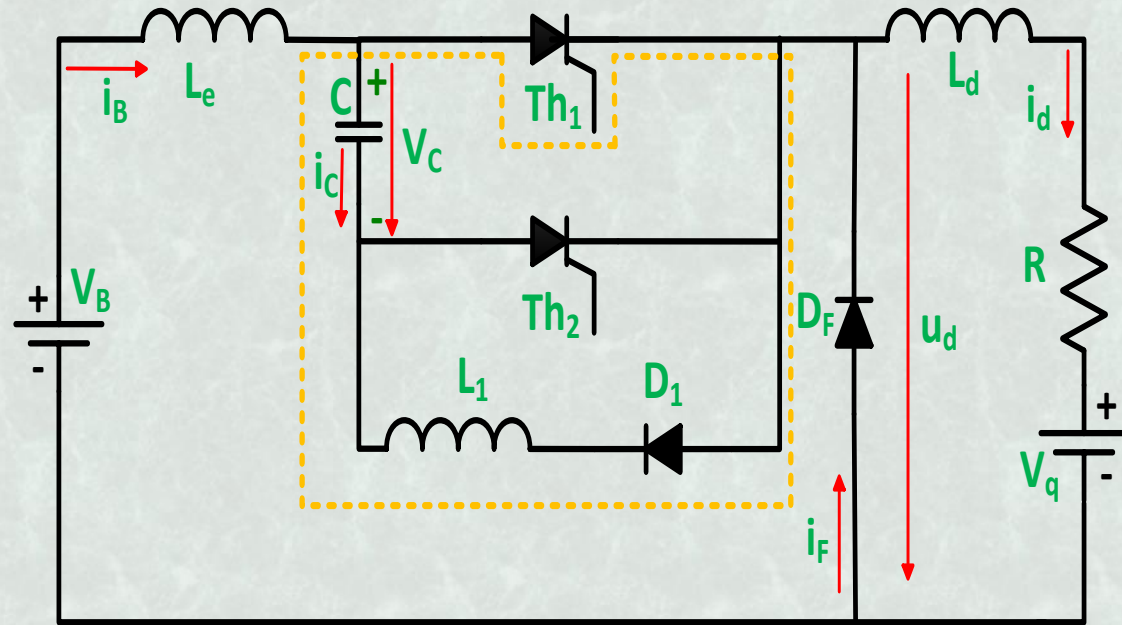
Συνδεσμολογία πέδησης



ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ CHOPPER

Επίδραση επαγωγής εισόδου L_e στη λειτουργία του chopper.

- Μείωση χρόνου t_d λόγω ταχύτερης εκφόρτισης-φόρτισης του πυκνωτή C.
- Στην ενέργεια του πηνίου L_d προστίθεται και αυτή του πηνίου L_e .

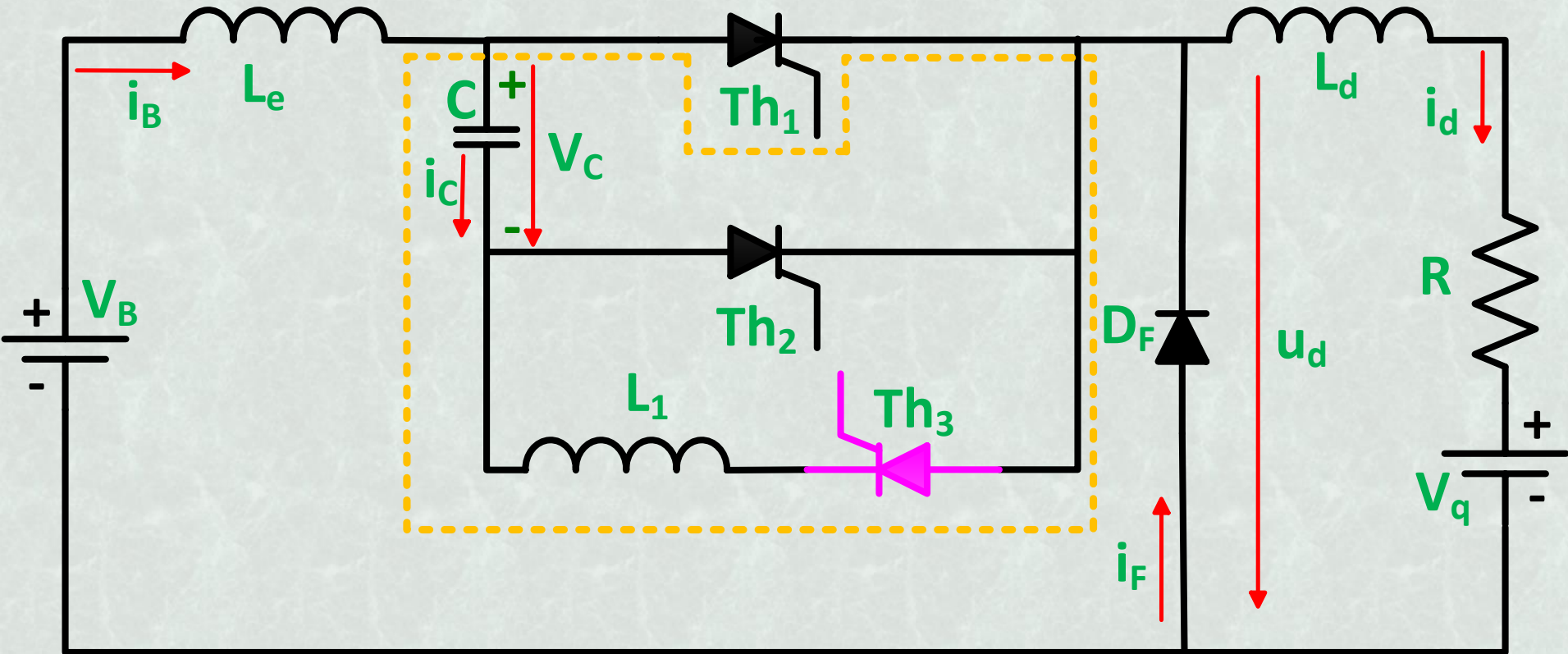


Προσθήκη επαγωγής εισόδου L_e

- Η τάση θετικής αποκοπής του Th_1 πρέπει να είναι υψηλότερη.
- Εμφανίζεται ροή ανάστροφου ρεύματος προς την πηγή, μέσω του βρόχου πηγή-δίοδος D_F - δίοδος D_1 -πηνίο L_1 -πυκνωτής C- πηνίο L_e .
- Σταδιακή μετάβαση μεταξύ του ρεύματος εισόδου i_B και του ρεύματος της διόδου D_F (πλεονέκτημα).
- Μείωση της μέσης τιμής της τάσης εξόδου.



ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ CHOPPER

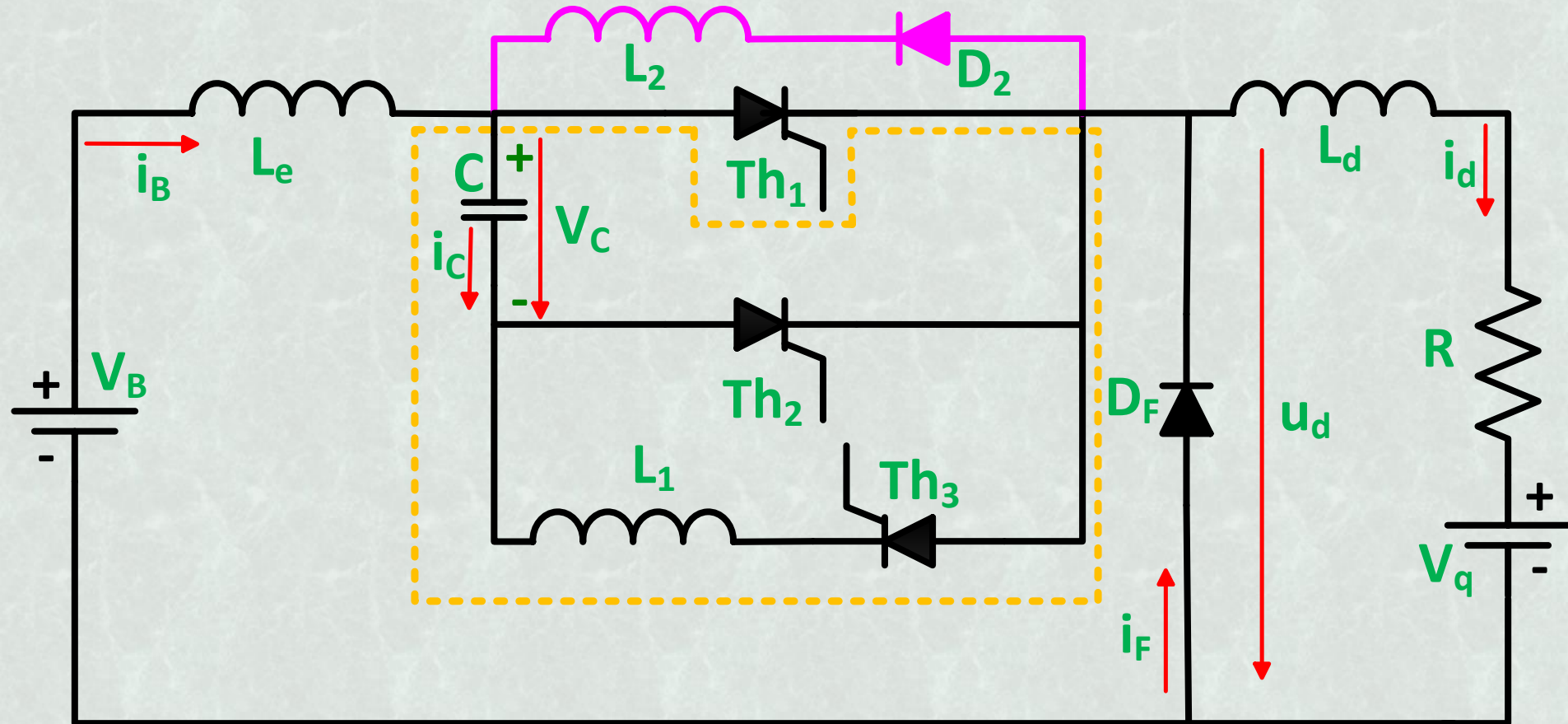


Αντικατάσταση της διόδου D_1 με το θυρίστορ Th_3

- Στο διάστημα που η τάση του πυκνωτή υπερβαίνει την τιμή της τάσης εισόδου, εμποδίζεται η ροή ανάστροφου ρεύματος προς την πηγή, διότι το θυρίστορ Th_3 δεν άγει αφού δεν του έχει δοθεί παλμός έναυσης.



ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ CHOPPER

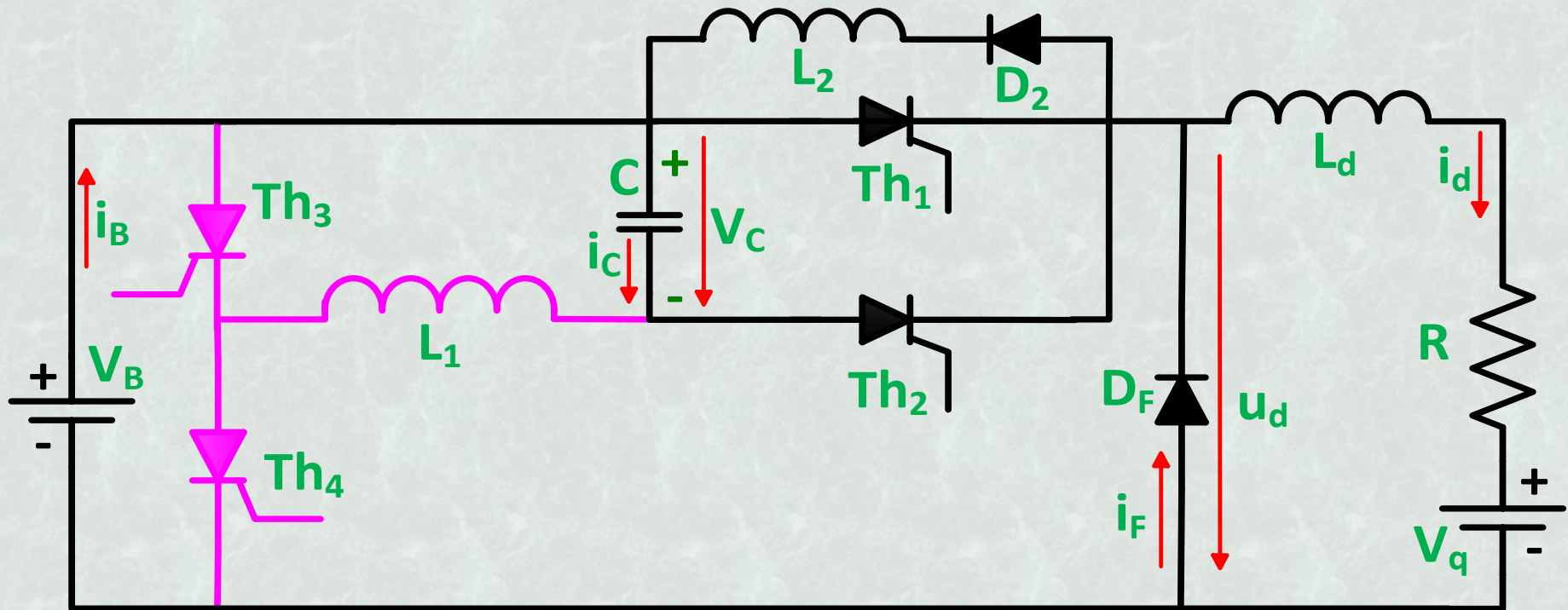


Προσθήκη του κλάδου D_2-L_2

- Για να μην εκφορτίζεται και επαναφορτίζεται ο πυκνωτής C από το ρεύμα φορτίου στο χρονικό διάστημα στο t_3-t_4 .

ο Αλλαγή της πολικότητας του πυκνωτή ανεξάρτητη από το φορτίο.

ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ CHOPPER



Chopper με χωριστούς βρόχους επαναφόρτισης και φόρτισης-εκφόρτισης του πυκνωτή C

- Αρχική φόρτιση ή αναπλήρωση φορτίου του C με το θυρίστορ Th_4 .
- Αλλαγή πολικότητας του C στο t_1-t_2 με το Th_3 και στο t_3-t_4 με το Th_4 αλλά και με το κλάδο D_2-L_2 :
 - Ανεξαρτητοποίηση της αλλαγής της πολικότητας του πυκνωτή από την έναυση του Th_1 και το φορτίο.
 - Δυνατότητα μεταβολής της τάσης εξόδου από μηδέν ως V_B .



ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΟ CHOPPER

Μετατροπέας συνεχούς τάσης σε συνεχή για τον έλεγχο μηχανής Σ.Ρ.

Δεδομένα:

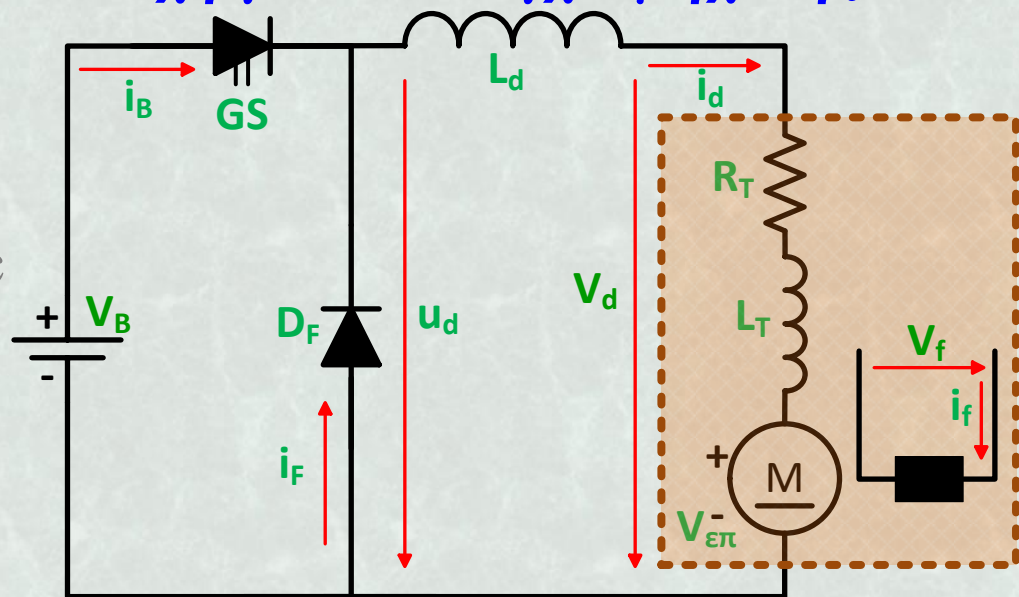
$$U_{TN} = 150 \text{ V}, \quad V_B = 220 \text{ V}$$

$$P_N = 15 \text{ kW}, \quad t_F = 50 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$P_f = 2 \text{ kW}, \quad R_T = 0,1 \text{ } \Omega$$

$$\eta_N = 0,86$$

Ζητούμενα:



Κυκλωματικό διάγραμμα

- Να επιλεγούν τα κατάλληλα μεγέθη t_d , T_s , C , L_1 και να βρεθεί ο λόγος κατάτμησης β , για την ονομαστική λειτουργία της μηχανής.
- Να υπολογισθούν η ενεργός, η φαινόμενη και η άεργος ισχύς, καθώς και ο συντελεστής ισχύος. Τι νόημα έχει εδώ η φαινόμενη ισχύς;
- Να σχεδιασθεί η τάση $u_d(t)$, το ρεύμα $i_B(t)$ και το ρεύμα $i_F(t)$ (το ένα κάτωθεν του άλλου).
- Για ποιά τάση και ποιο ρεύμα πρέπει να επιλεγεί η διάδος D_F ;

Τέλος Διάλεξης



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 την 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.



Σημειώματα



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Εμμανουήλ Τατάκης 2014. Εμμανουήλ Τατάκης. «Ηλεκτρονικά Ισχύος II. Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.upatras.gr/courses/EE898/>.



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.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Οι εικόνες των διαλέξεων δημιουργήθηκαν από τους κ. Τατάκη Εμμανουήλ, Συρίγο Στυλιανό στα πλαίσια του έργου «Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών» εκτός κι αν αναφέρεται διαφορετικά παρακάτω:



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.

