



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 3η

Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ υποβιβασμού τάσης (Buck) – Μέρος 2ο



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ II

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ

(DC-DC Converters)

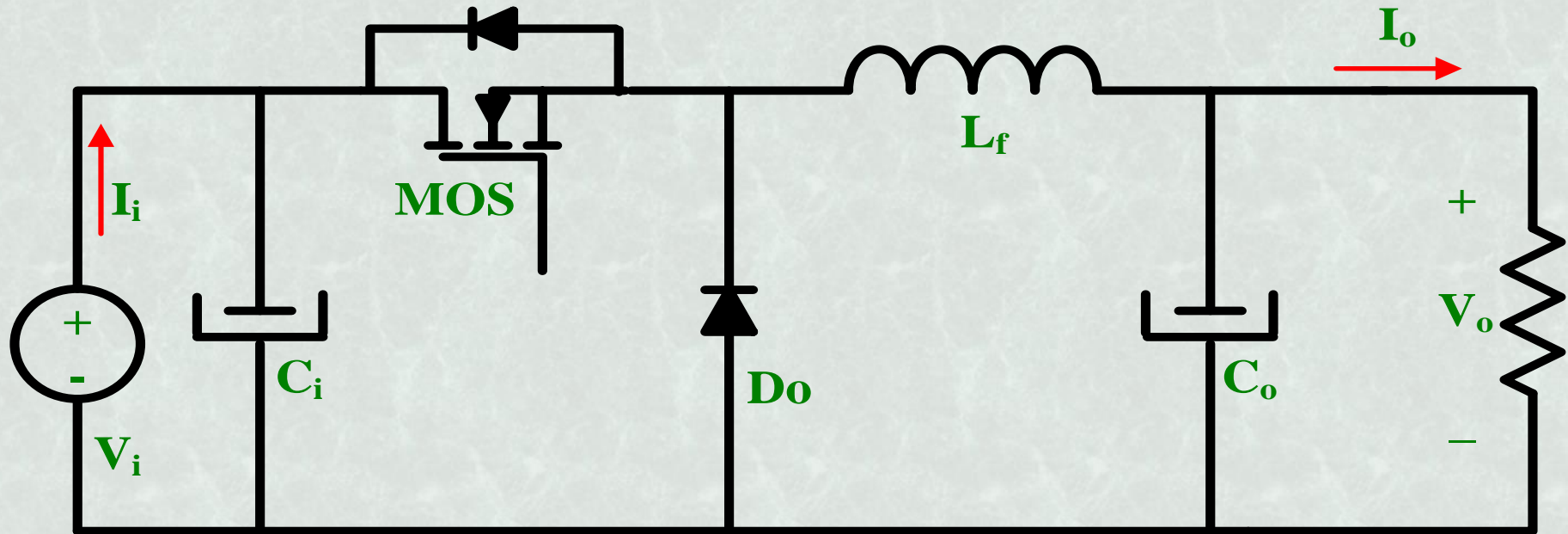
Ο ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΤ-ΣΤ
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΗΣ

(Buck DC-DC Converter)

Μέρος 2^ο



ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Τ.-Σ.Τ. ΤΥΠΟΥ BUCK



Κυκλωματικό διάγραμμα

Όπως δηλώνει και το όνομά του, είναι ένας μετατροπέας Σ.Τ. σε Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (step-down ή buck converter) και παράγει μια συνεχή τάση εξόδου χαμηλότερη από τη συνεχή τάση εισόδου.



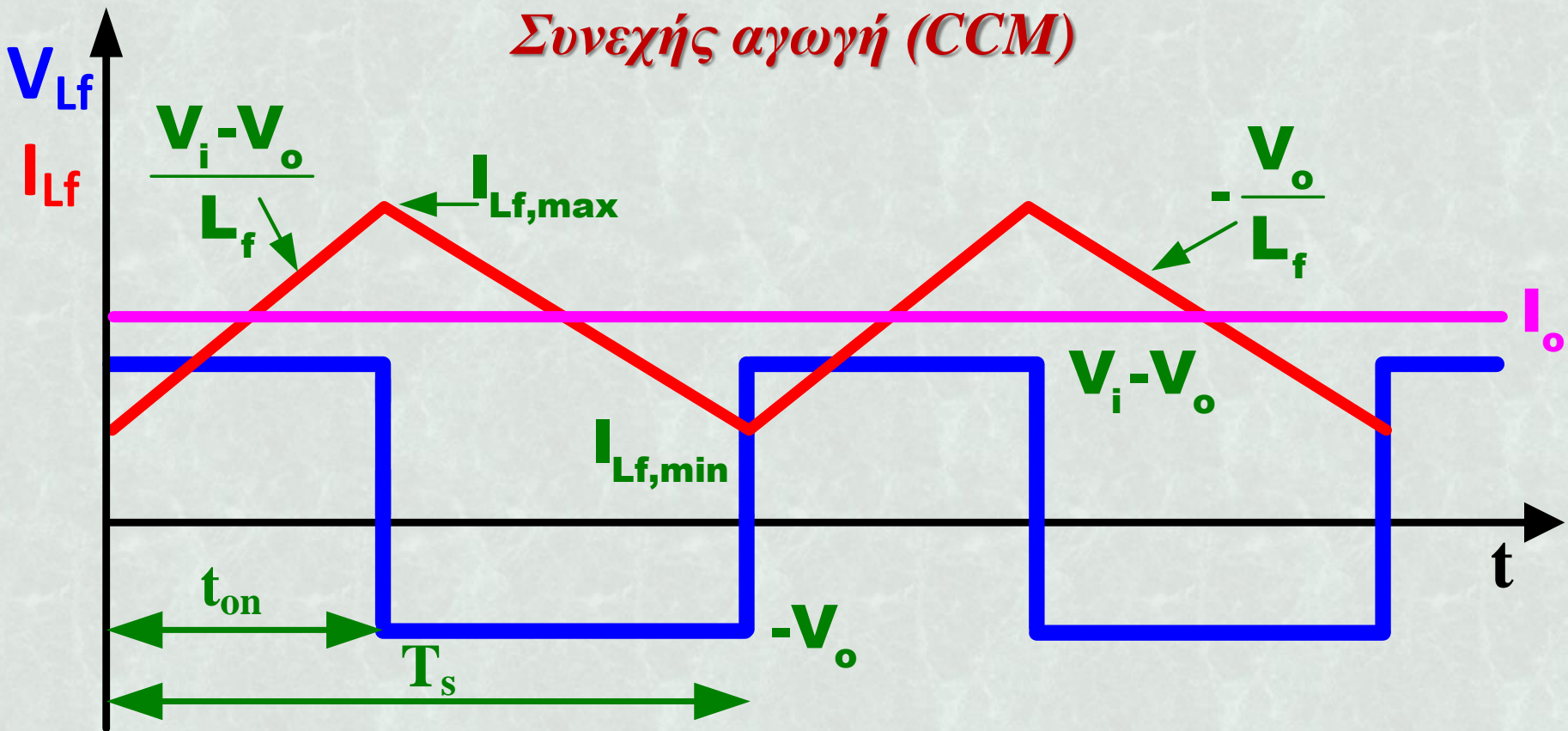
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ BUCK

- Η θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας μετατροπέα Buck πραγματοποιείται στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα στοιχεία του κυκλώματος είναι ιδανικά. Δηλαδή:
 - ❖ Οι ημιαγωγικοί διακόπτες παρουσιάζουν:
 - μηδενικούς χρόνους έναυσης και σβέσης
 - μηδενικές απώλειες αγωγής
 - μηδενική πτώση τάσης
 - ❖ Ο πυκνωτής εξόδου είναι πολύ μεγάλος (ώστε η τάση εξόδου να μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερή).
- Δύο περιοχές λειτουργίας:
 - Περιοχή **συνεχούς αγωγής (CCM)**.
 - Περιοχή **ασυνεχούς αγωγής (DCM)**.



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Buck

Συνεχής αγωγή (CCM)



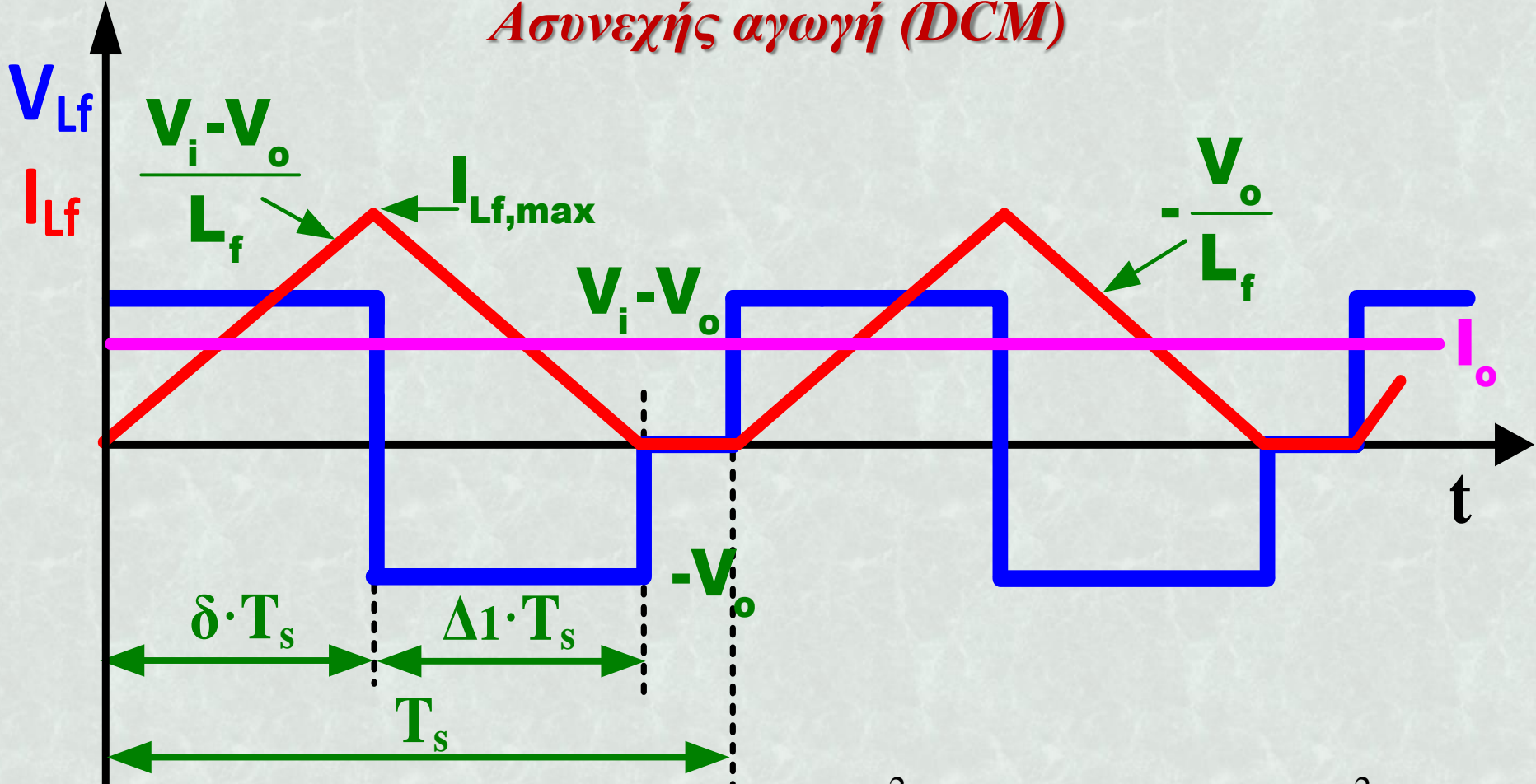
$$\frac{V_o}{V_i} = \delta, \quad I_o = \frac{(I_{Lf,max} + I_{Lf,min})}{2}, \quad I_i = \frac{(I_{Lf,max} + I_{Lf,min})}{2} \cdot \delta$$

$$I_{Lf,max} - I_{Lf,min} = \frac{V_i - V_o}{L_f} \cdot \delta \cdot T_s = \frac{V_i}{L_f} \cdot \delta \cdot (1 - \delta) \cdot T_s = \frac{V_o}{L_f} \cdot (1 - \delta) \cdot T_s$$



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Buck

Ασυνεχής αγωγή (DCM)

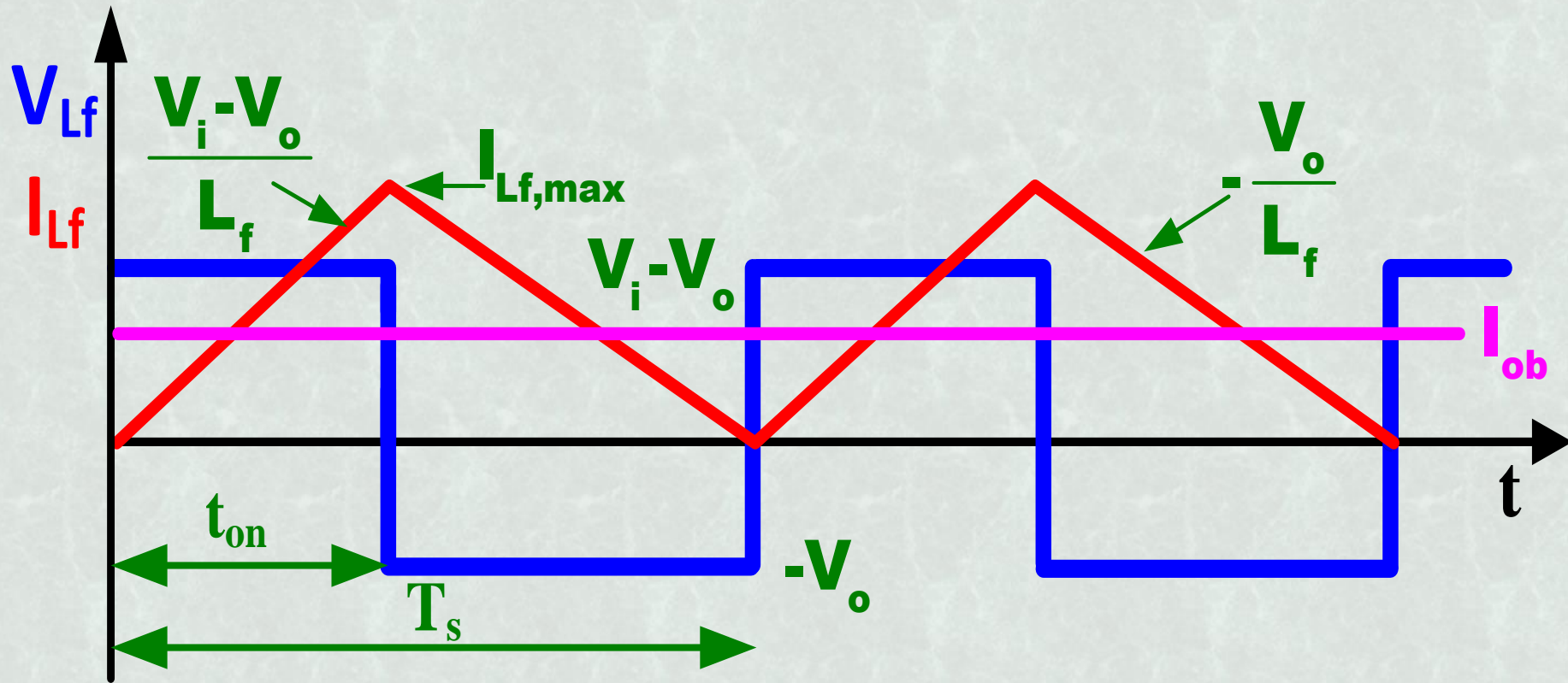


$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot \left(\frac{I_o}{\left[\frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \right]} \right)} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot I_{No,i}}$$



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Buck

Όριο μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αγωγής



$$I_{o,b} = I_{Lf,b} = \frac{V_i - V_o}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot T_s}{2} = \frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1 - \delta)}{2} = \frac{V_o \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{(1 - \delta)}{2}$$



Buck: Χαρακτηριστικές εξόδου (με V_i σταθερή)

$$\frac{V_o}{V_i} = \delta, \text{ CCM} \quad \frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot \left(\frac{I_o}{\left[\frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \right]} \right)} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot I_{No,i}}, \text{ DCM}$$

$$I_{o,b} = \frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1-\delta)}{2} \Rightarrow I_{o,b,max} = \frac{V_i \cdot T_s}{8 \cdot L_f}$$

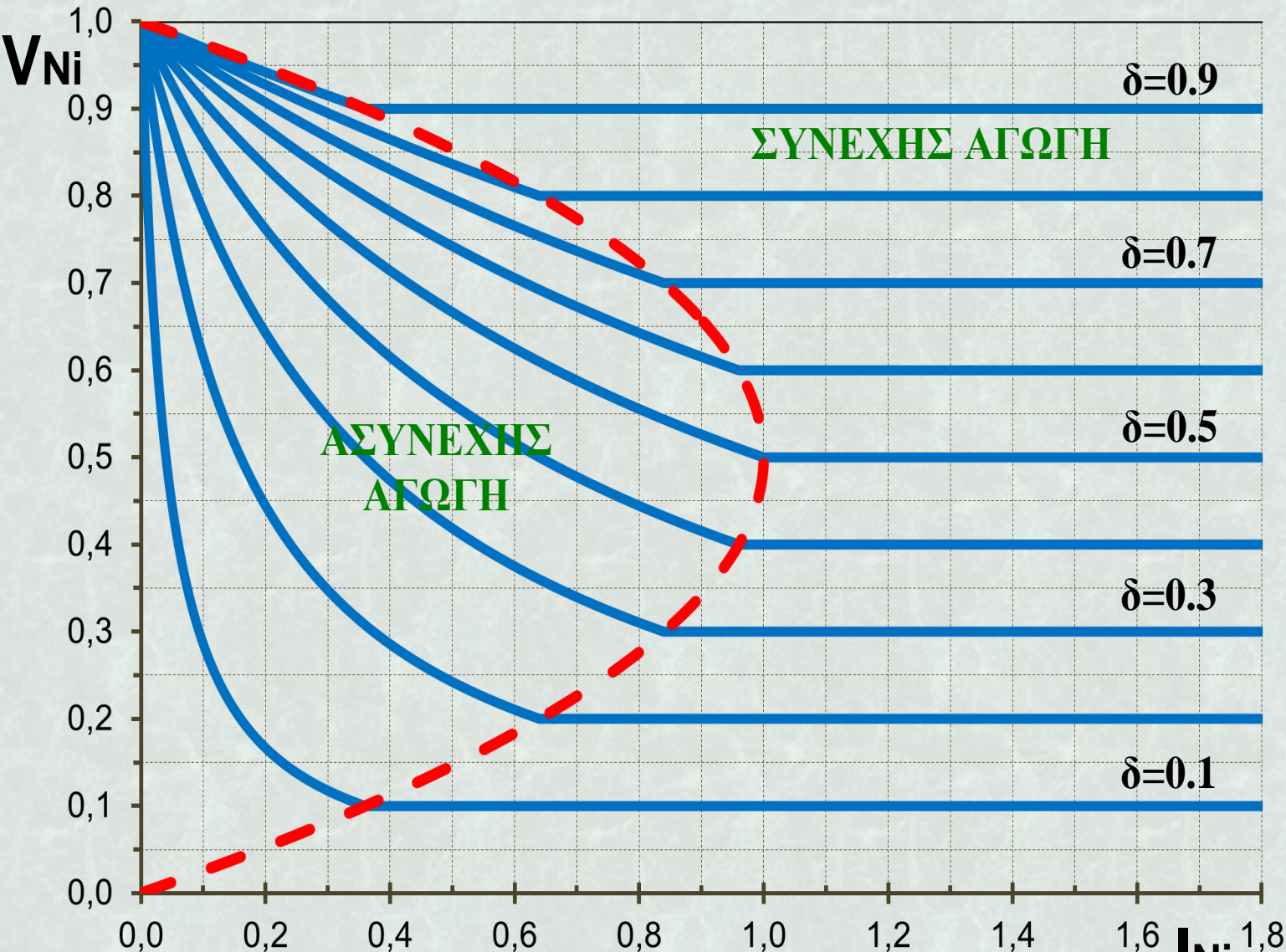
Αν θέσουμε: $V_{Ni} = \frac{V_o}{V_i}$ και $I_{Ni} = \frac{I_o}{I_{o,b,max}} = \frac{I_o}{\frac{V_i \cdot T_s}{8 \cdot L_f}}$

Θα έχουμε:

$$V_{Ni} = \delta, \text{ CCM} \quad V_{Ni} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{I_o}{I_{o,b,max}} \right)} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + \frac{1}{4} \cdot I_{Ni}}, \text{ DCM}$$



Buck: Χαρακτηριστικές εξόδου (V_i σταθερή)



$$V_{Ni} = \frac{V_o}{V_i}$$

$$I_{Ni} = \frac{I_o}{\frac{V_i \cdot T_s}{8 \cdot L_f}}$$

Χαρακτηριστικές εξόδου για $V_i = ct$



Buck: Χαρακτηριστικές εξόδου (με V_o σταθερή)

$$\frac{V_o}{V_i} = \delta, \text{ CCM} \quad \frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot \left(\frac{I_o}{\left[(V_i \cdot T_s) / L_f \right]} \right)} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot I_{No,i}}, \text{ DCM}$$

$$I_{o,b} = \frac{V_o \cdot T_s}{2 \cdot L_f} \cdot \frac{(1-\delta)}{2} \Rightarrow I_{o,b,max} = \frac{V_o \cdot T_s}{2 \cdot L_f}$$

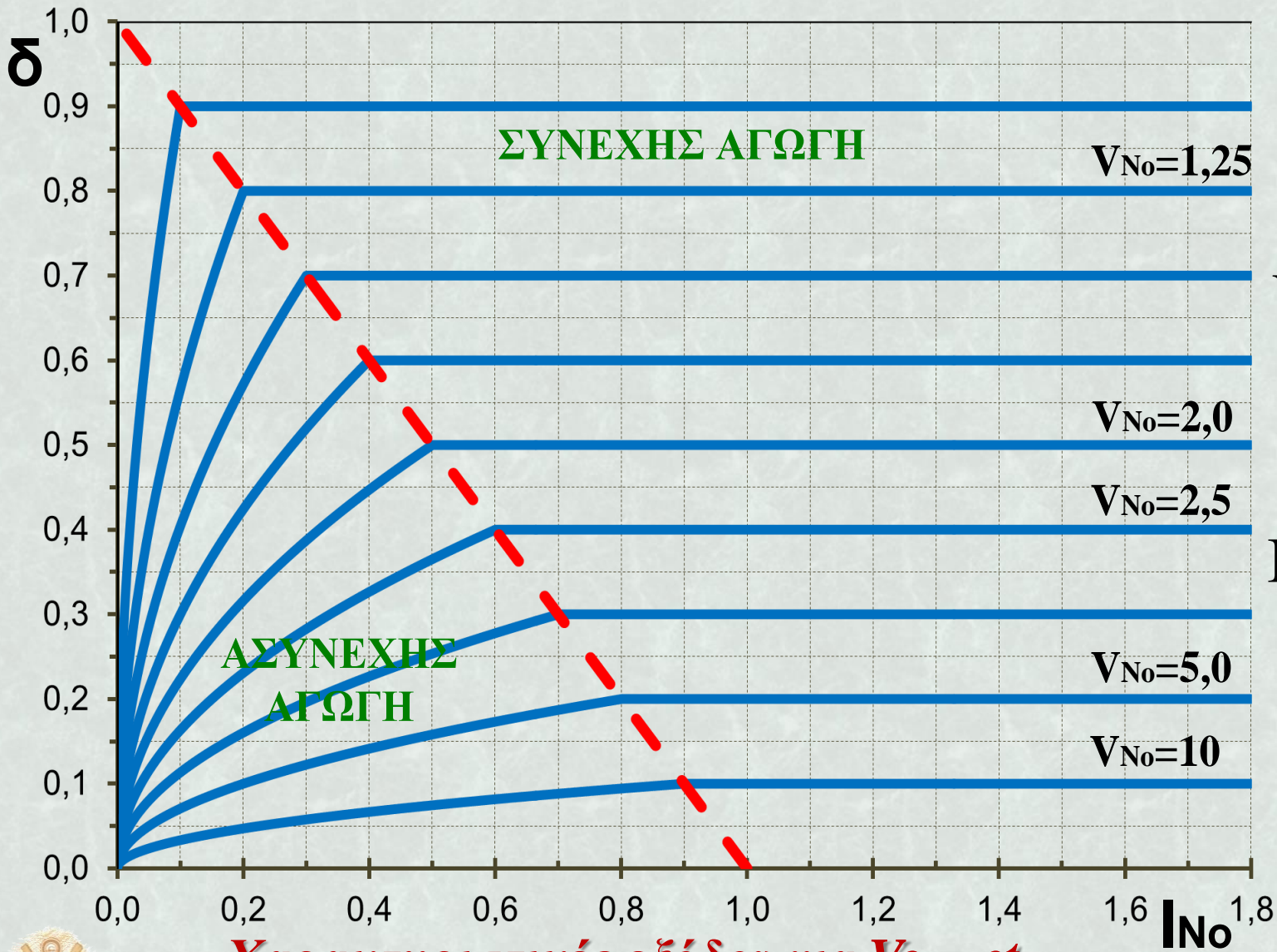
Αν θέσουμε: $V_{No} = \frac{V_i}{V_o}$ και $I_{No} = \frac{I_o}{I_{o,b,max}} = \frac{I_o}{\frac{V_o \cdot T_s}{2 \cdot L_f}}$

Θα έχουμε:

$$\delta = \frac{1}{V_{No}}, \text{ CCM} \quad \delta = \frac{1}{V_{No}} \sqrt{\frac{\left(\frac{I_o}{I_{o,b,max}} \right)}{1 - \left(\frac{1}{V_{No}} \right)}} = \frac{1}{V_{No}} \sqrt{\frac{I_{No}}{1 - \left(\frac{1}{V_{No}} \right)}}, \text{ DCM}$$



Buck: Χαρακτηριστικές εξόδου (Vo σταθερή)



$$V_{No} = \frac{V_i}{V_o}$$

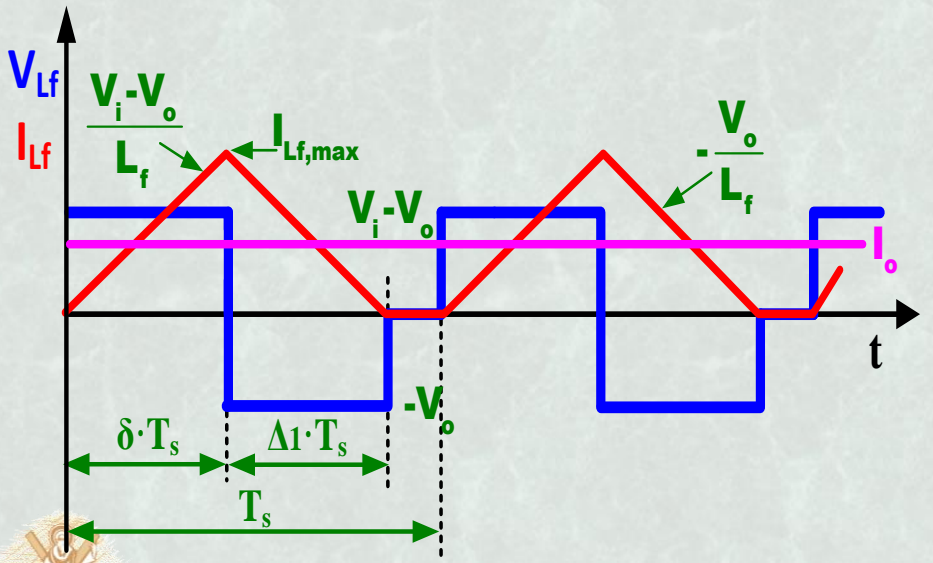
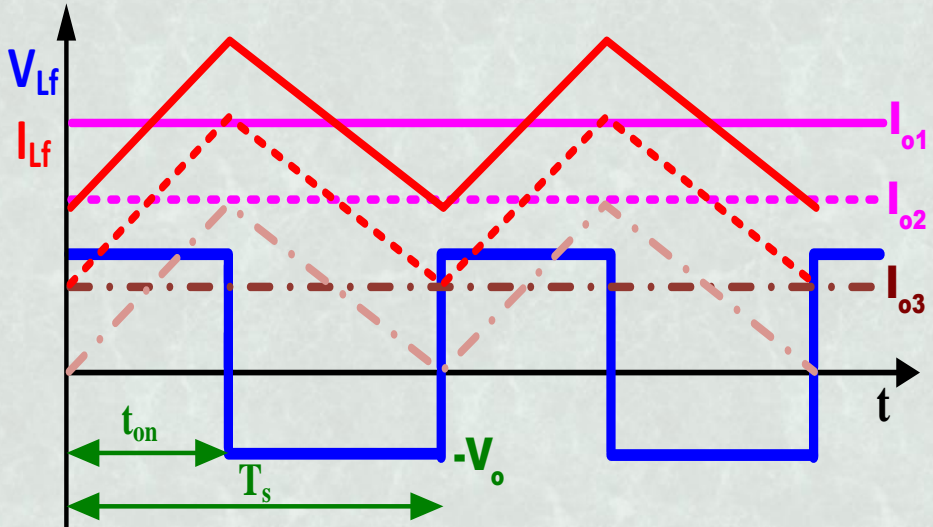
$$I_{No} = \frac{I_o}{\frac{V_o \cdot T_s}{2 \cdot L_f}}$$

Χαρακτηριστικές εξόδου για $V_o = ct$

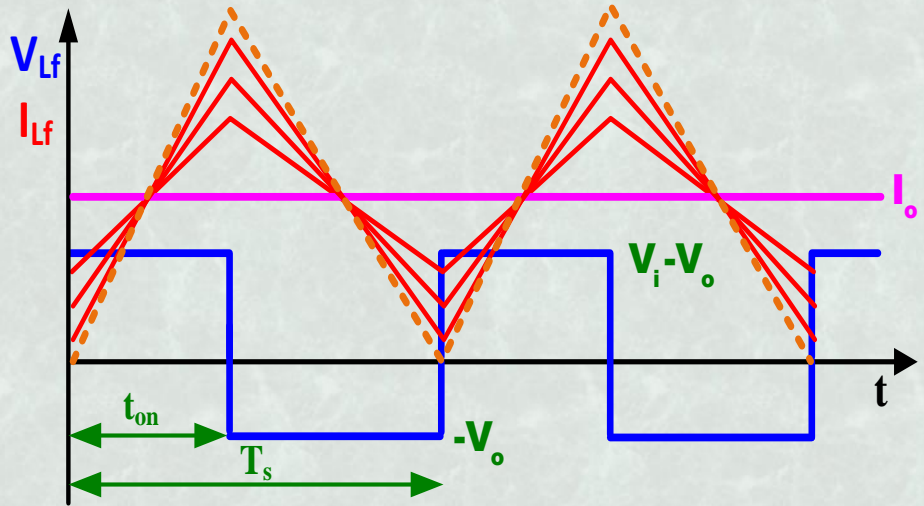


Μεταβολές Μεγεθών

Buck: Μεταβολή φορτίου εξόδου



Μεταβολή πηνίου εξομάλυνσης

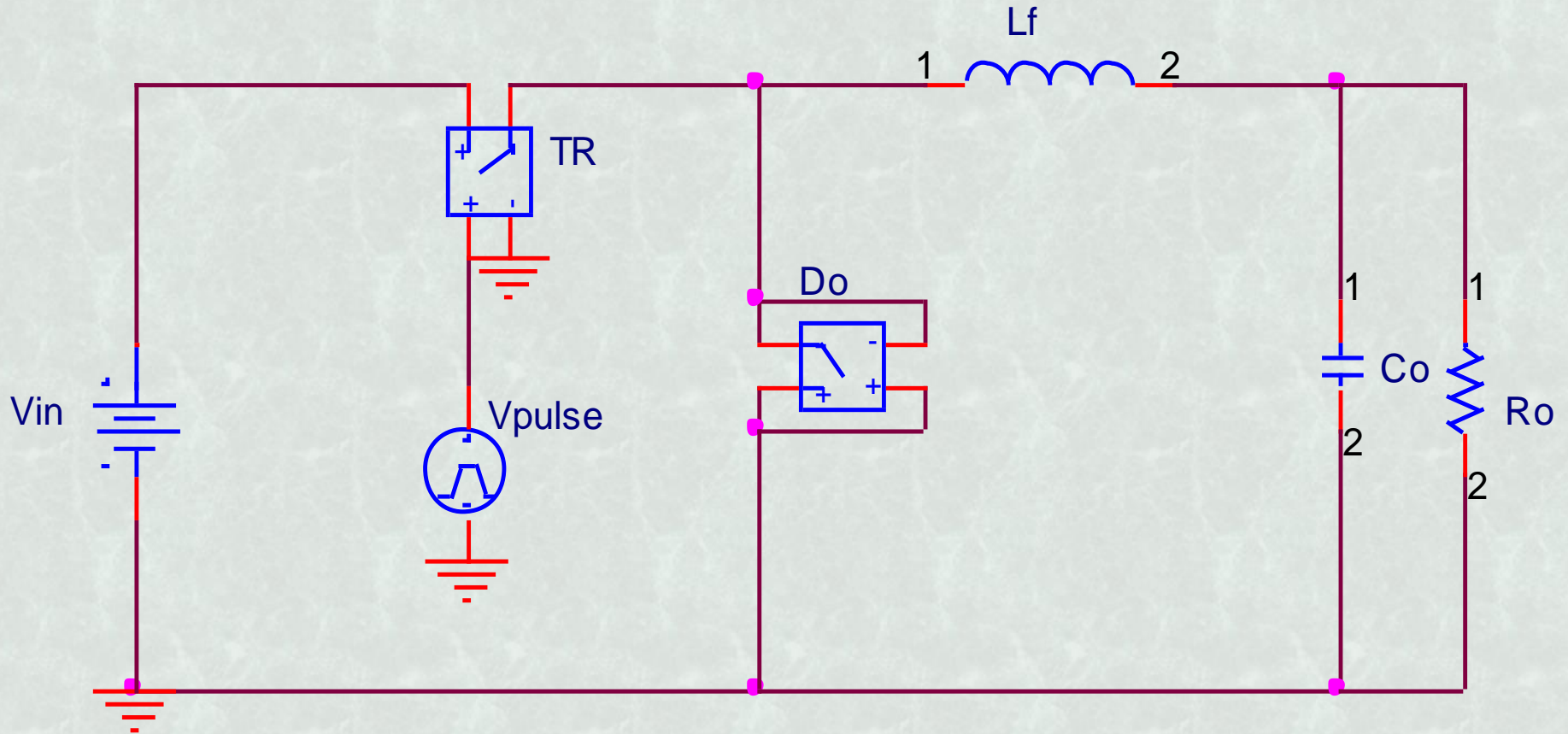


Συμπεράσματα για λειτουργία στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής

- Χαμηλό ρεύμα εξόδου
- Μικρές τιμές πηνίου εξομάλυνσης
- ⇒ Μικρός όγκος και βάρος
- **Μειονεκτήματα;**



Προσομοίωση, με το πρόγραμμα Pspice, του μετατροπέα Σ.Τ.–Σ.Τ. Buck

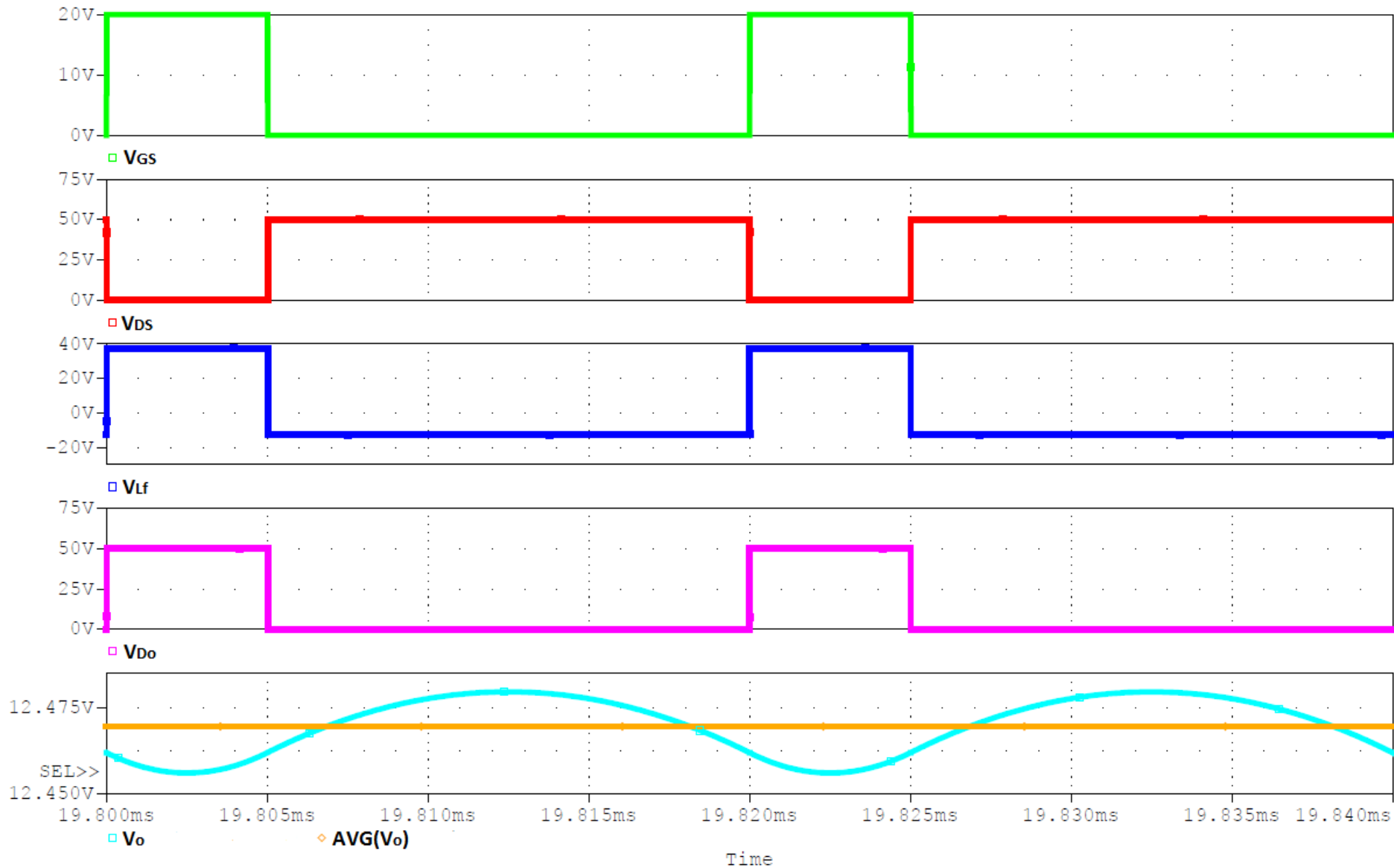


Κυκλωματικό διάγραμμα



Προσομοίωση του Buck στην περιοχή CCM

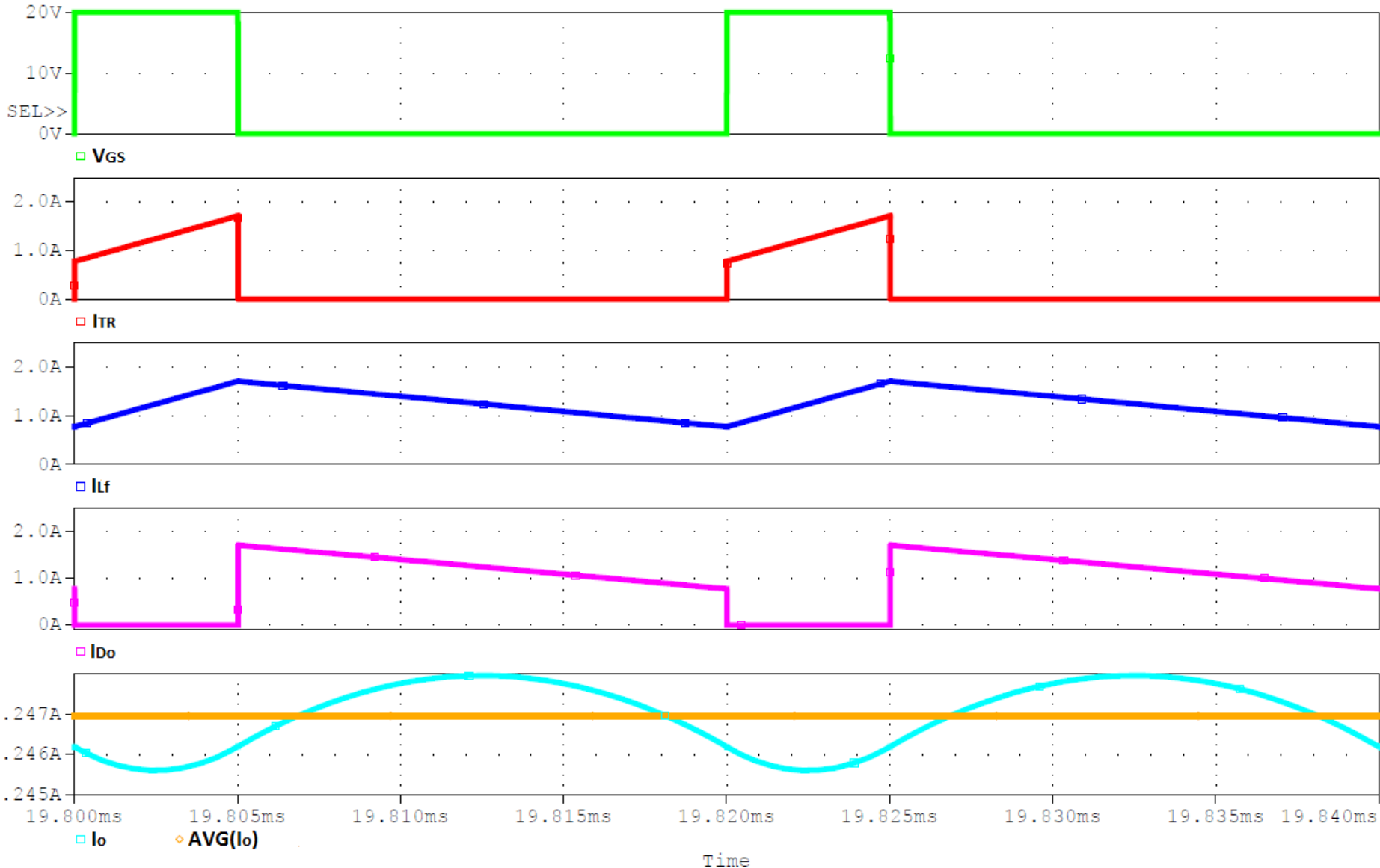
(A) buck-ideal-SCHEMATIC1-Buck-Ideal.dat (active)



Κυματομορφές Τάσεων στη CCM

Προσομοίωση του Buck στην περιοχή CCM

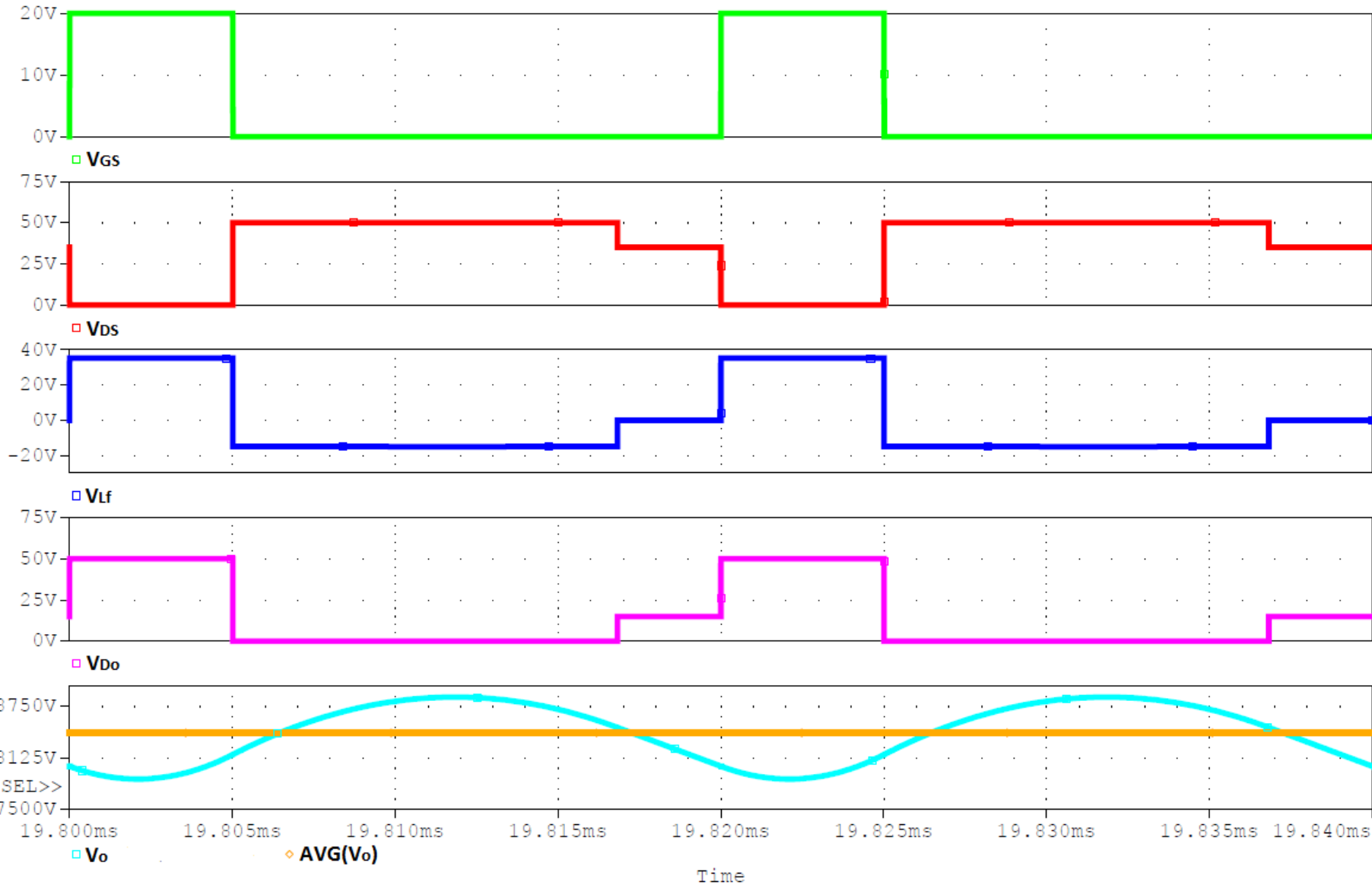
(A) buck-ideal-SCHEMATIC1-Buck-Ideal.dat (active)



Κυματομορφές Ρευμάτων στη CCM

Προσομοίωση του Buck στην περιοχή DCM

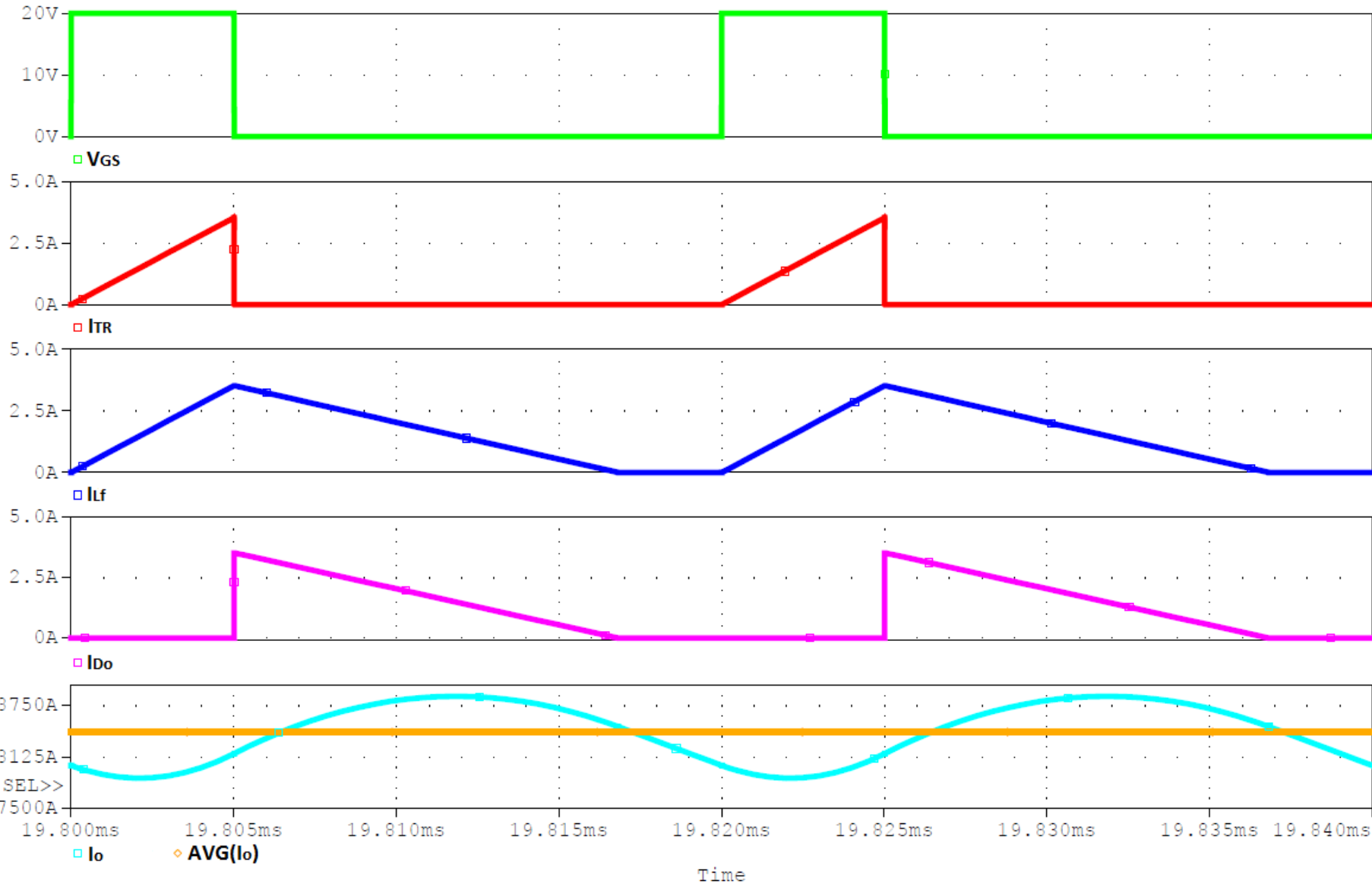
(A) buck-ideal-SCHEMATIC1-Buck-Ideal.dat (active)



Κυματομορφές Τάσεων στη DCM

Προσομοίωση του Buck στην περιοχή DCM

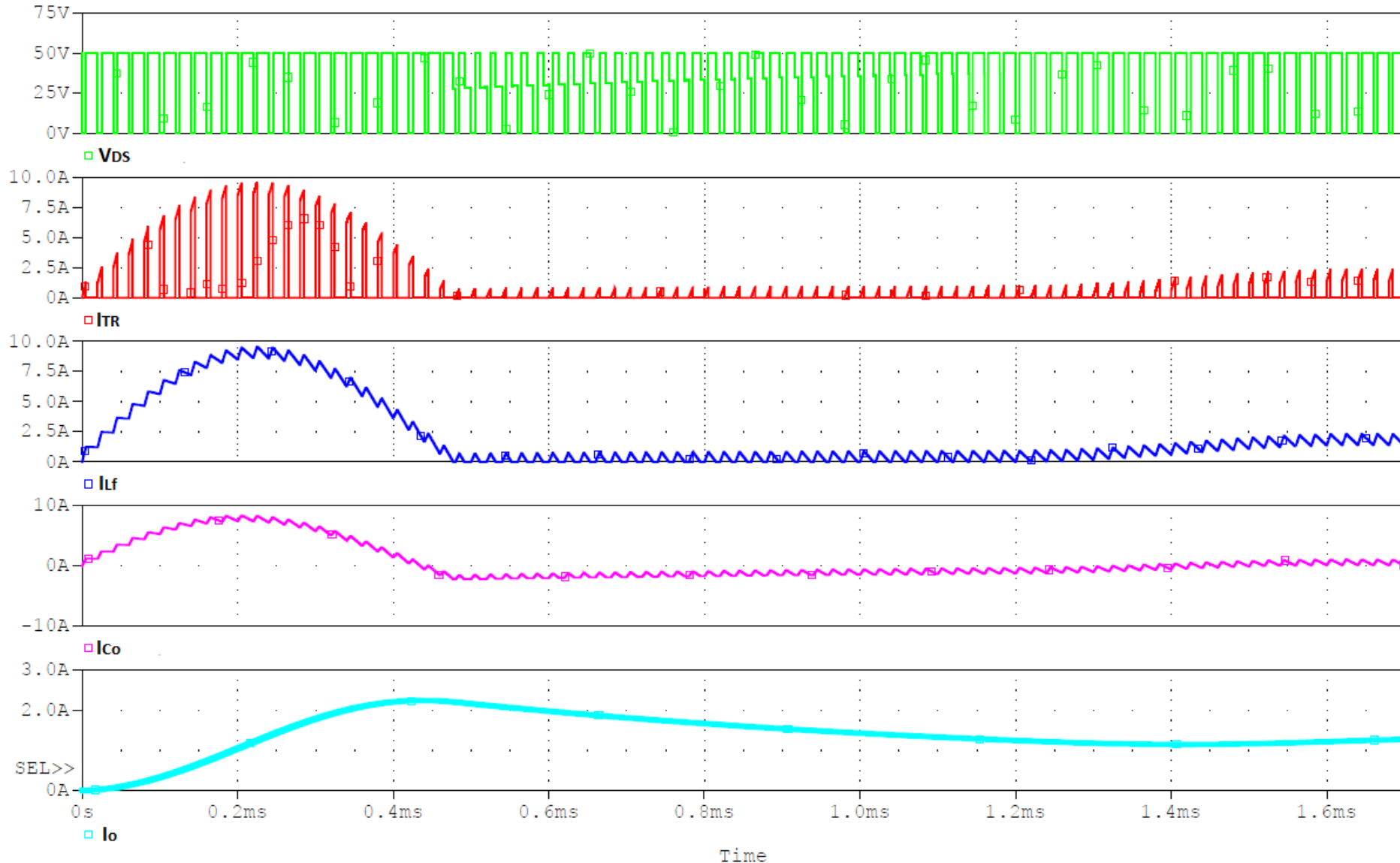
(A) buck-ideal-SCHEMATIC1-Buck-Ideal.dat (active)



Κυματομορφές Ρευμάτων στη DCM

Προσομοίωση του Buck στην εκκίνηση

(A) buck-ideal-SCHEMATIC1-Buck-Ideal.dat (active)



Κυματομορφές των στοιχείων κατά την εκκίνηση

Κυμάτωση της τάσης εξόδου του Buck

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C_o} = \frac{1}{C_o} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta I_{L_f}}{2} \cdot \frac{T_s}{2}$$

$$\Delta I_{L_f} = \frac{V_o}{L_f} \cdot (1-\delta) \cdot T_s$$

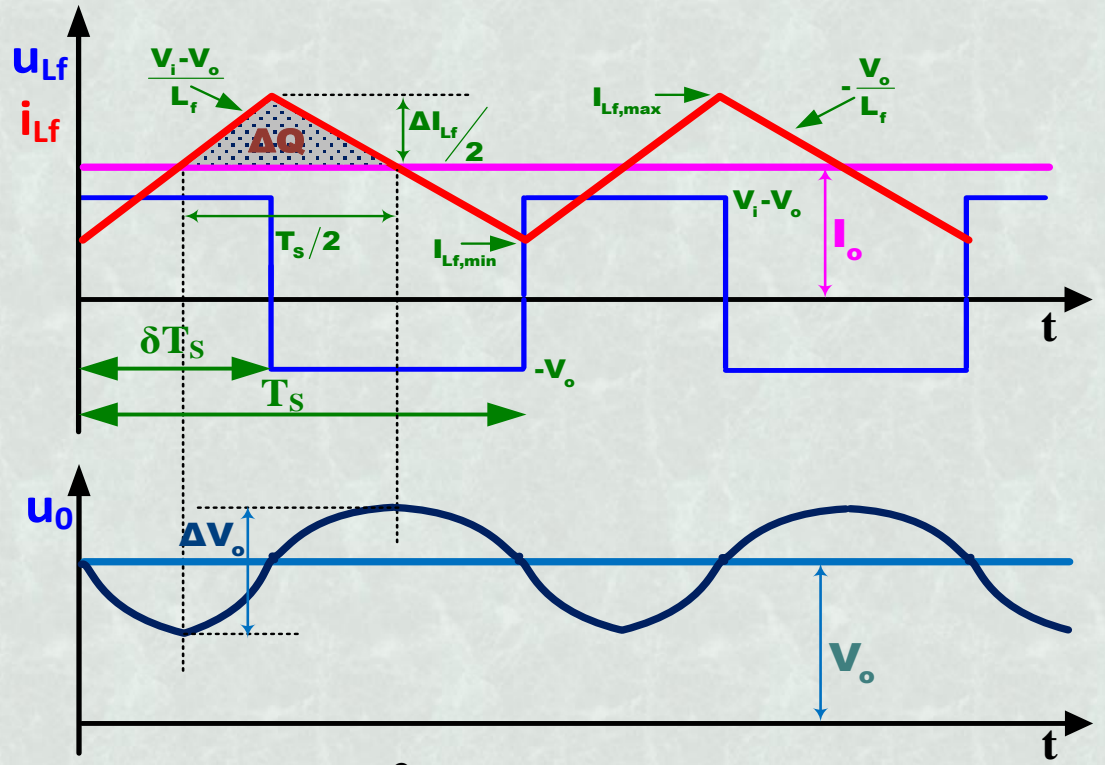
$$\Rightarrow \Delta V_o = \frac{T_s}{8 \cdot C_o} \cdot \frac{V_o}{L_f} \cdot (1-\delta) \cdot T_s$$

Συνεπώς:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{8} \cdot \frac{T_s^2 \cdot (1-\delta)}{L_f \cdot C_o} = \frac{\pi^2}{2} \cdot (1-\delta) \cdot \left(\frac{f_c}{f_s} \right)^2$$

Όπου f_c η συχνότητα αποκοπής του κατωδιαβατού φίλτρου:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C_o}}$$



Κυματομορφές τάσης - ρεύματος του πηνίου και τάσης εξόδου



Ασκήσεις στο μετατροπέα Buck

Άσκηση 1^η

Ένας μετατροπέας Σ.Τ.-Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (Buck) τροφοδοτεί με τάση 24V ένα ωμικό φορτίο αντίστασης 6Ω. Η τάση εισόδου του μετατροπέα είναι ίση με 60V, η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του είναι 100kHz, ενώ ο μετατροπέας λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM). Να υπολογισθούν:

- α) Ο λόγος κατάτμησης d .
- β) Η ελάχιστη τιμή του πηνίου εξομάλυνσης L_f ώστε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής.
- γ) Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο εξομάλυνσης, εάν η τιμή της επαγωγής του πηνίου αυτού ισούται με 240μH.
- δ) Η ισχύς που απορροφάται από την πηγή και η ισχύς που καταναλώνεται στο ωμικό φορτίο.



Ασκήσεις στο μετατροπέα Buck

Άσκηση 2^η

Θεωρήστε μετατροπέα Σ.Τ.-Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (Buck) με τάση εισόδου $V_i=48V$, τάση εξόδου $V_o=6V$ και ισχύ εξόδου $P_o=3W-30W$. Η συχνότητα λειτουργίας είναι $f_s=30kHz$. Να υπολογισθεί η τιμή του πηνίου εξομάλυνσης ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής, σε οποιεσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.



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.

