ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙΙ

ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΑ ΣΗΕ

Λαμπρίδης Δημήτρης
Κατσανού Βάνα
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» 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.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μάθημα ασκήσεων 3

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άσκηση 1η
Εκφώνηση

1. Στο άκρο μιας τριφασικής γραμμής 400 kV συνδέεται μία αυτεπαγωγή ανά φάση για αντιστάθμιση. Θεωρείστε το δίκτυο άκαμπτο, δηλ. σαν πηγή σταθερής τάσης 440 kV και συχνότητας 50 Hz, και υπολογίστε τα μέγιστα ρεύματα ζεύξης, δηλ. το ρεύμα που περνά από την αυτεπαγωγή. Για τον υπολογισμό θεωρείστε μία μεμονωμένη φάση. Γιά την αυτεπαγωγή ισχύουν τα ακόλουθα:

- **Δεν υπάρχει σιδερένιος πυρήνας.**
- **U_N = 400kV, S_N = 50 MVA.**
- **Οι απώλειες με ονομαστικό φορτίο είναι 0,4 MW.**
- **Η ζεύξη γίνεται υπό μηδενική τάση.**

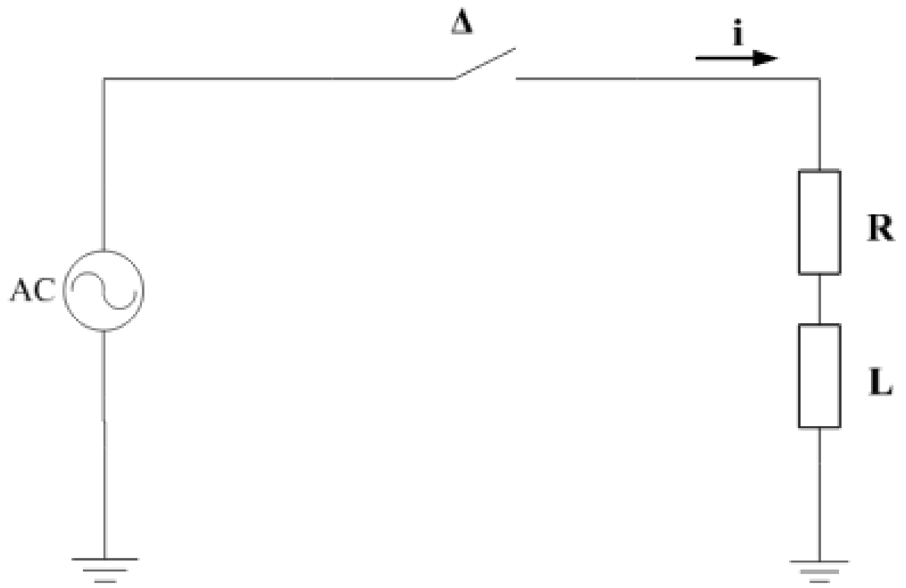
Άσκηση 1η
Επίλυση (1/10)

1. Σχεδιάζουμε το κατάλληλο ισοδύναμο κύκλωμα.
2. Καταστρώνουμε τις εξισώσεις του ισοδύναμου κυκλώματος (οι εξισώσεις για τη ζεύξη – απόζευξη των περισσότερων απλών κυκλωμάτων υπάρχουν έτοιμες στο βιβλίο και μπορείτε να τις χρησιμοποιήσετε ως έχουν).
3. Επιλύουμε τις εξισώσεις (ενδεχομένως με τη βοήθεια κάποιας αριθμητικής μεθόδου επίλυσης).

- Προσέχουμε πάντα το γεγονός ότι οι ισχείς των εκφωνήσεων για ένα τριφασικό σύστημα είναι πάντα τριφασικές και οι τάσεις πολικές. Πριν από οτιδήποτε άλλο (και εφόσον θα χρησιμοποιήσουμε μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα) θα μετατρέψουμε τις ισχείς σε μονοφασικές και τις τάσεις σε φασικές.

Άσκηση 1η
Επίλυση (2/10)

Το ισοδύναμο μονοφασικό κύκλωμα που περιγράφει το πρόβλημά μας είναι αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1

Άσκηση 1η
Επίλυση (3/10)

Στην άσκησή μας ισχύουν τα εξής:

Η φασική τάση λειτουργίας του κυκλώματός μας θα είναι:

$$V = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254{,}03\,\text{kV/ph} \tag{1.1}$$

ενώ για τα μονοφασικά στοιχεία της αυτεπαγωγής θα ισχύει:

$$V_N = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230{,}94\,\text{kV/ph} \tag{1.2}$$

$$S_N = \frac{50}{3} = 16{,}67\,\text{MVA/ph} \tag{1.3}$$

$$P_N = \frac{0{,}4}{3} = 0{,}133\,\text{MW/ph} \tag{1.4}$$

Άσκηση 1η
Επίλυση (4/10)

Καταρχήν θα υπολογίσουμε τις τιμές των ηλεκτρικών παραμέτρων του ισοδύναμου κυκλώματος. Για τα στοιχεία της αυτεπαγωγής όμως ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$P_N = I_N^2 \cdot R \Rightarrow R = \frac{P_N}{I_N^2} \tag{1.5}$$

$$Q_N = I_N^2 \cdot X = I_N^2 \cdot \omega \cdot L \Rightarrow L = \frac{P_N}{I_N^2 \cdot \omega} \tag{1.6}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις μας λείπει το ονομαστικό ρεύμα της αυτεπαγωγής, καθώς και η ονομαστική άεργη ισχύ της. Αυτά όμως μπορούμε να το υπολογίσουμε από τα (μονοφασικά) ονομαστικά της στοιχεία ως εξής:

$$S_N = V_N \cdot I_N \Rightarrow I_N = 72{,}17 \text{ A/ph} \tag{1.7}$$

Άσκηση 1η
Επίλυση (5/10)

Από τις σχέσεις (1.5), (1.6) και με τη βοήθεια της σχέσης (1.7) θα προκύψει:

$$R = 25{,}6\ \Omega/\mathrm{ph} \tag{1.8}$$

και

$$X = \omega \cdot L = 3{,}2\ \mathrm{k}\Omega/\mathrm{ph} \Rightarrow L = 10{,}19\ \mathrm{H/ph} \tag{1.9}$$

Σύμφωνα με το ισοδύναμο κύκλωμά μας θέλουμε να υπολογίσουμε λοιπόν το ρεύμα ζεύξης για ένα κύκλωμα R-L. Αυτό όμως δίνεται από τη σχέση (3.16) του βιβλίου:

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot \left[\sin(\omega t + \theta - \varphi) - \sin(\theta - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{T_s}} \right], \quad t \geq 0 \tag{1.10}$$

Άσκηση 1η
Επίλυση (6/10)

όπου:

- I_K η ενεργός τιμή του ρεύματος ζεύξης ($I_K = \dfrac{V}{Z}$), όπου V η φασική rms τάση της πηγής και Z το μέτρο της σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος
- θ η στιγμιαία φάση της πηγής τη στιγμή του σφάλματος. Στην περίπτωσή μας γνωρίζουμε ότι η ζεύξη γίνεται υπό μηδενική τάση (όπου $v(t) = \hat{V}\sin(\omega t + \theta)$), οπότε η αρχική φάση της πηγής θα είναι $\theta = 0°$.
- φ η γωνία φορτίου ($\varphi = \tan^{-1}\dfrac{X}{R} = 89{,}54°$)
- T_S η χρονική σταθερά του κυκλώματός μας ($T_S = \dfrac{L}{R} = 0{,}398\,\mathrm{sec}$)

Άσκηση 1η
Επίλυση (7/10)

Αντικαθιστώντας στη σχέση (1.10) θα πάρουμε τελικά:

$$i(t) = 112{,}26 \cdot \left[\sin\left(\omega t - 89{,}54°\right) + e^{-2{,}512t}\right], \quad t \geq 0 \sec \tag{1.11}$$

Θέλουμε να υπολογίσουμε τα μέγιστα ρεύματα ζεύξης, άρα θα υπολογίσουμε την πρώτη παράγωγο της σχέσης (1.11), για να βρούμε στη συνέχεια τα σημεία μηδενισμού της.

Θα προκύψει η εξίσωση:

$$125{,}06 \cdot \cos\left(100\pi t - 1{,}56\right) - e^{-2{,}512t} = 0 \tag{1.12}$$

Πρόκειται για μια μη γραμμική εξίσωση, για την επίλυση της οποίας θα χρειαστούμε μια αριθμητική μέθοδο. Θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο Newton – Raphson.

Άσκηση 1η
Επίλυση (8/10)

<u>**Παρατήρηση:**</u>

Μέθοδος Newton – Raphson:

Έστω συνάρτηση $f(x)=0$, της οποίας ψάχνουμε τη λύση. Θεωρούμε μια αρχική εκτίμηση της λύσης $x=x_0$.

1. Υπολογίζουμε την τιμή της συνάρτησής μας για $x=x_0$ ($f(x_0)$).
2. Υπολογίζουμε την τιμή της πρώτης παραγώγου της συνάρτησής μας ως προς x για $x=x_0$ ($f'(x_0)$).
3. Υπολογίζουμε μια νέα τιμή για τη μεταβλητή μας:

$$x_{\nu+1}=x_\nu-\frac{f(x_\nu)}{f'(x_\nu)} \qquad (1.13)$$

Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία μέχρι να είναι:

$$f(x_\nu)\le\varepsilon \qquad (1.14)$$

όπου ε η ακρίβεια της μεθόδου που θα ορίσουμε.

Άσκηση 1η
Επίλυση (9/10)

<u>**Παρατηρήσεις πάνω στη μέθοδο Newton – Raphson:**</u>

- Όλες οι γωνίες στις εξισώσεις που επιλύουμε θα πρέπει να εκφράζονται σε ακτίνια.
- Μερικές φορές οι τιμές της συνάρτησης $f(x)$ είναι σχετικά μεγάλες εκατέρωθεν των σημείων μηδενισμού της. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως εναλλακτική συνθήκη τερματισμού της μεθόδου την:

$$f(x_{\nu+1}) - f(x_\nu) \le \varepsilon \tag{1.15}$$

- Πολύ μεγάλη σημασία έχει η επιλογή της αρχικής μας εκτίμησης ($x = x_0$). Μια σωστή επιλογή θα οδηγήσει τη μέθοδο μετά από λίγες επαναλήψεις σε σύγκλιση, ενώ μια λανθασμένη επιλογή είτε θα οδηγήσει σε πολλές επαναλήψεις (άρα και μεγάλο όγκο πράξεων), ή, στην περίπτωση που η συνάρτηση έχει πολλά σημεία μηδενισμού, μπορεί ακόμα και να μας οδηγήσει σε λάθος αποτέλεσμα.

Άσκηση 1η
Επίλυση (10/10)

Στην περίπτωσή μας μπορούμε να σκεφτούμε ως εξής: Το σημείο που αναζητούμε είναι το μέγιστο της συνάρτησης της σχέσης (1.11). Αυτή όμως αποτελείται από το άθροισμα δύο διαφορετικών συναρτήσεων, μιας ημιτονοειδούς και μιας εκθετικής μείωσης. Είναι λογικό λοιπόν να υποθέσουμε ότι το απόλυτο μέγιστο της συνάρτησης βρίσκεται πολύ κοντά στο πρώτο μέγιστο της ημιτονοειδούς (περίπου στα 10 msec στην περίπτωσή μας). Αυτήν την τιμή λοιπόν θα χρησιμοποιήσουμε ως αρχική εκτίμηση για τις πράξεις μας. Σε αυτήν την περίπτωση και μετά από μόλις δύο επαναλήψεις η μέθοδος θα συγκλίνει στην τιμή $t = 9{,}94\,\mathrm{m\,sec}$. Το μέγιστο ρεύμα ζεύξης θα είναι λοιπόν:

$$i_{\max} = 221{,}75\,\mathrm{A} \tag{1.16}$$

Άσκηση 2η
Εκφώνηση

Ένας οικιακός καταναλωτής 220 V συνδέεται με δύο αγωγούς με δίκτυο σταθερής τάσης 220 V. Οι αγωγοί έχουν μήκος 200 m ο καθένας, κυκλική διατομή με $A=50\ mm^2$ και είναι από χαλκό (ειδ. αντίσταση $\rho=1/57\ \Omega mm^2/m$). Η απόσταση των αγωγών θεωρείται σταθερή και ίση με 0,60 m.

Γίνεται τέλειο βραχυκύκλωμα στον καταναλωτή. Ζητούνται:

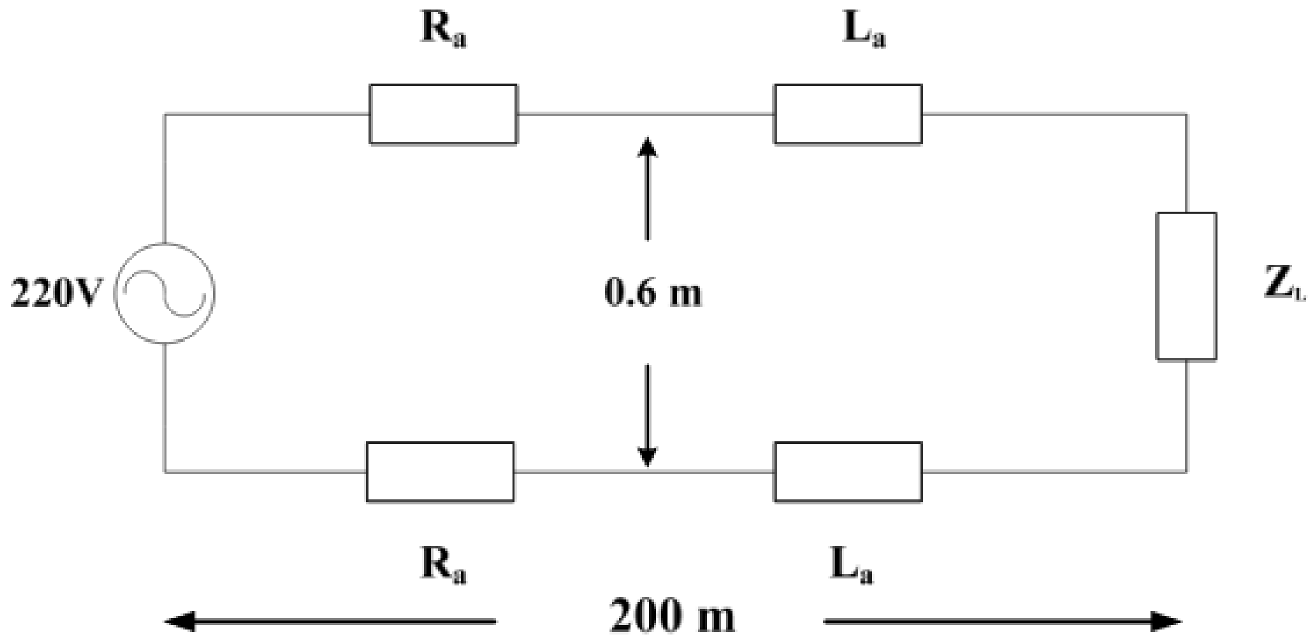
α) Το μέγιστο μεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, αν το βραχυκύκλωμα γίνει σε μηδενική τάση, και

β) Η χρονική σταθερά απόσβεσης.

Το ρεύμα του καταναλωτή αγνοείται.

Άσκηση 2η
Επίλυση (1/7)

Το ισοδύναμο κύκλωμα που περιγράφεται στην εκφώνηση είναι αυτό που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1:



Σχήμα 3.1

Άσκηση 2η
Επίλυση (2/7)

Καταρχήν θα πρέπει να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά στο παραπάνω ισοδύναμο κύκλωμα.

Για την ωμική αντίσταση R_a κάθε αγωγού όμως ισχύει:

$$R_a = \rho \cdot \frac{l}{A} = 70{,}17\ \mathrm{m\Omega} \tag{3.1}$$

όπου ρ η ειδική αντίσταση του αγωγού, l το μήκος των αγωγών, και A η διατομή τους.

Για την ανά μονάδα μήκους αυτεπαγωγή L'_a κάθε αγωγού θα ισχύει:

$$L'_a = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\frac{D_{12}}{r}\right) \tag{3.2}$$

όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$), μ_r η μαγνητική διαπερατότητα του αγωγού ($\mu_r = 1$ για τα συνηθισμένα υλικά αγωγών), D_{12} η απόσταση μεταξύ των αγωγών και r η ακτίνα των αγωγών ($r = \sqrt{\dfrac{A}{\pi}} = 4\ \mathrm{mm}$).

Άσκηση 2η
Επίλυση (3/7)

Θα είναι λοιπόν στην περίπτωσή μας:

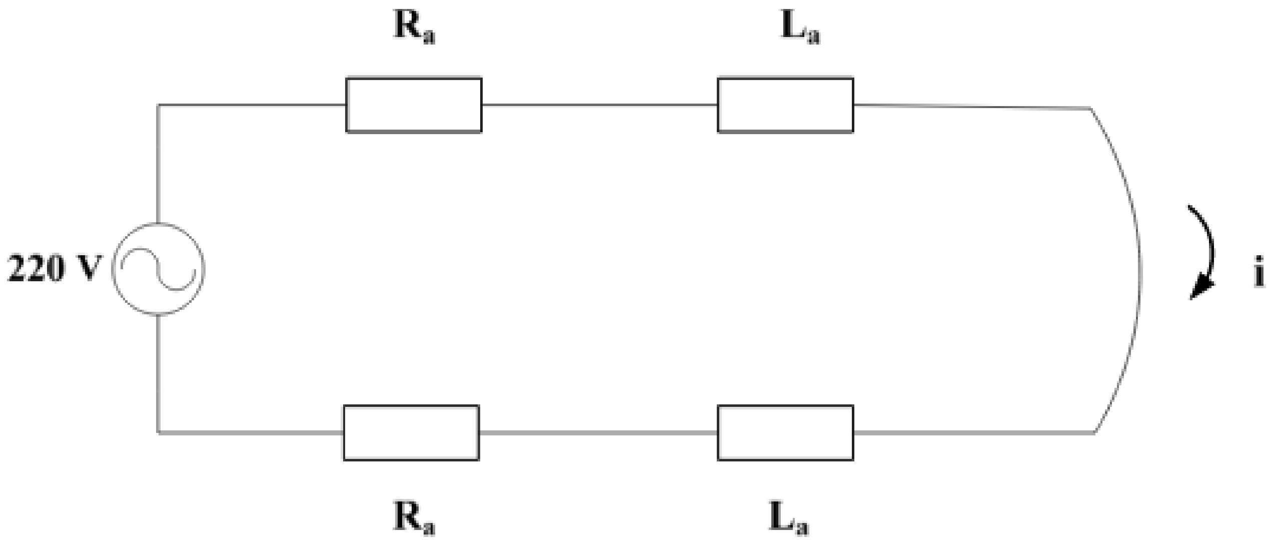
$$L'_a = 1{,}052\ \mu\mathrm{H/m} \tag{3.3}$$

οπότε η συνολική αυτεπαγωγή για κάθε έναν από τους αγωγούς θα είναι:

$$L_a = l \cdot L'_a = 0{,}21\ \mathrm{mH} \tag{3.4}$$

Άσκηση 2η
Επίλυση (4/7)

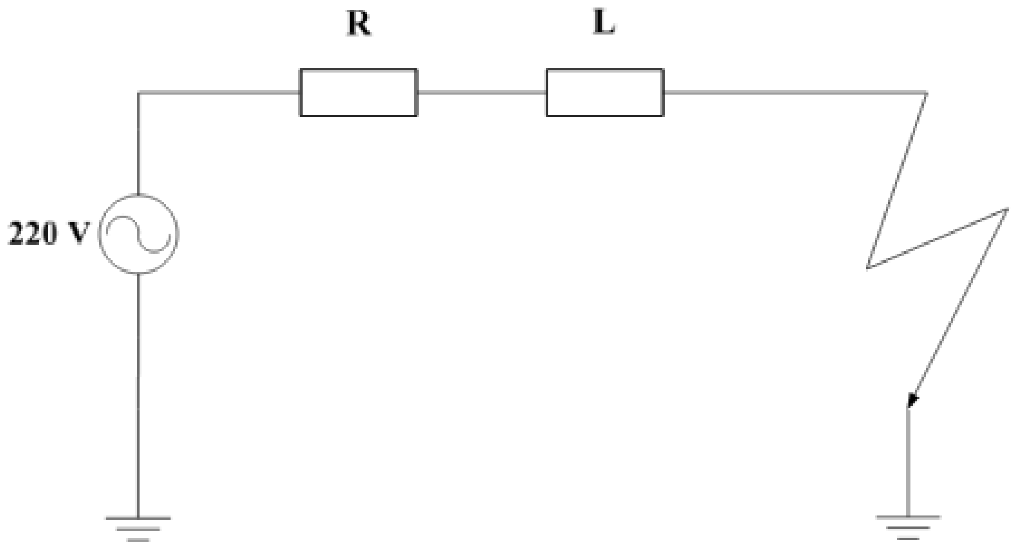
α) Σύμφωνα με την εκφώνηση έχουμε τέλειο βραχυκύκλωμα στον καταναλωτή. Αυτό σημαίνει ότι στο άκρο του καταναλωτή οι δύο αγωγοί ενώνονται (Σχήμα 3.2)



Σχήμα 3.2

Άσκηση 2η
Επίλυση (5/7)

Αν συνδυάσουμε μεταξύ τους τα κοινά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, τότε θα προκύψει το ισοδύναμο κύκλωμα που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3

όπου $R = 2 \cdot R_a$ και $L = 2 \cdot L_a$

Άσκηση 2η
Επίλυση (6/7)

Το μεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης σε αυτήν την περίπτωση δίνεται από τη σχέση 3.16 του βιβλίου:

$$i(t)=\sqrt{2}\cdot I_K\left[\sin(\omega t+\theta-\varphi)-\sin(\theta-\varphi)\cdot e^{-\frac{t}{T_S}}\right] \tag{3.5}$$

όπου:

- I_K το στάσιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I_K=\dfrac{V}{Z}=1141{,}1\,\mathrm{A}$)
- θ η φάση της πηγής τη στιγμή του βραχυκυκλώματος ($\theta=0$, αφού το βραχυκύκλωμα γίνεται υπό μηδενική τάση)
- φ η γωνία της σύνθετης αντίστασης του ισοδύναμου κυκλώματος ($\varphi=\tan^{-1}\dfrac{L\omega}{R}=43{,}23^\circ$)
- T_S η χρονική σταθερά του κυκλώματος ($T_S=\dfrac{L}{R}=2{,}99\,\mathrm{msec}$)

Άσκηση 2η
Επίλυση (7/7)

Έστω $F(t)=0$ η προς επίλυση εξίσωση:

$$F(t)=5{,}07\cdot 10^5\cdot\cos(100\pi t-0{,}7546)-3{,}7\cdot 10^5\cdot e^{-334{,}142t} \qquad (3.8)$$

Η πρώτη παράγωγος αυτής θα είναι η:

$$F'(t)=1{,}24\cdot 10^8\cdot e^{-334{,}142t}-1{,}59\cdot 10^8\cdot\sin(100\pi t-0{,}7546) \qquad (3.9)$$

Όπως αναφέραμε και στην πρώτη άσκηση, πρέπει να επιλέξουμε μία κατάλληλη αρχική τιμή για τη μέθοδο. Σύμφωνα με το σκεπτικό της πρώτης άσκησης, το μέγιστο του μεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης θα βρίσκεται πολύ κοντά στο πρώτο μέγιστο του ημίτονου της σχέσης (3.6). Στην περίπτωσή μας, και λαμβάνοντας υπόψη ότι ένας πλήρης κύκλος του ημίτονου διαρκεί 20 msec (λόγω της συχνότητας των 50 Hz) αυτό θα βρίσκεται περίπου στα 7,5 ms. Αυτός ο χρόνος θα είναι και η αρχική τιμή που θα χρησιμοποιήσουμε για τη μέθοδο Newton-Raphson. Σε αυτήν την περίπτωση η μέθοδος θα συγκλίνει στην τιμή $t=7{,}192\,\mathrm{m\,sec}$. Το αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης θα είναι από τη σχέση (3.6):

$$i_{max}=1711\,\mathrm{A} \qquad (3.10)$$

Άσκηση 3η Εκφώνηση

Δίνεται αφόρτιστος τριφασικός ΜΣ 25 kVA, 15 kV / 380 V. Η καμπύλη κορεσμού του ΜΣ δίνεται από την σχέση:

$$\Phi = \begin{cases} 2872 i_m & 0 < i_m < 0{,}02\ \text{A} \\ 57{,}12 + 16 i_m & i_m > 0{,}02\ \text{A} \end{cases}$$

όπου i_m είναι το ρεύμα μαγνήτισης του ΜΣ.

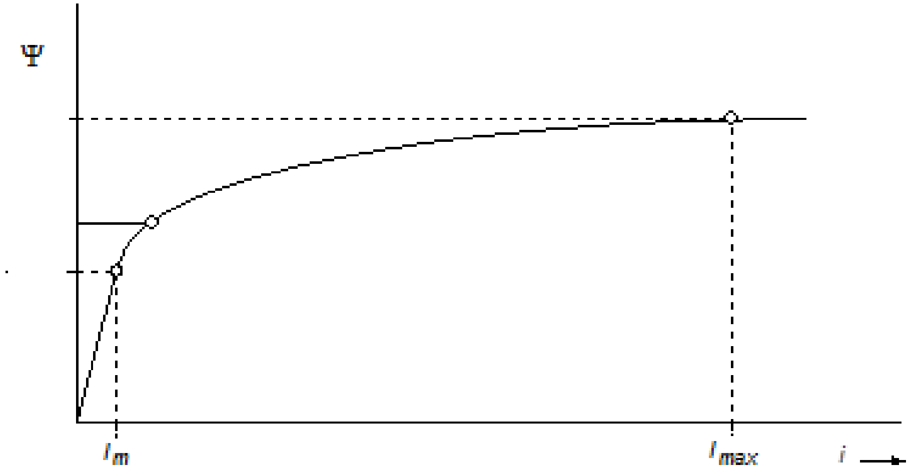
α) Ποιο είναι το μέγιστο δυνατό ρεύμα κατά τη ζεύξη του ΜΣ με πηγή τάσης 15 kV;

β) Αν το ονομαστικό ρεύμα μαγνήτισης του μετασχηματιστή είναι το 1/100 του ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας, τί ποσοστό του ονομαστικού ρεύματος μαγνήτισης (μέγιστη τιμή και όχι rms) είναι το μέγιστο μεταβατικό ρεύμα κατά την ίδια ζεύξη;

Για τους υπολογισμούς να γίνουν όλα τα μεγέθη μονοφασικά και να αμεληθεί ο παραμένων μαγνητισμός.

Άσκηση 3η
Επίλυση (1/4)

Από τα δεδομένα της εκφώνησης μπορούμε καταρχήν να σχεδιάσουμε την καμπύλη κορεσμού του ΜΣ, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 2.1:



Άσκηση 3η
Επίλυση (2/4)

α) Εφόσον ο ΜΣ είναι αφόρτιστος, το μόνο ρεύμα που θα τον διαρρέει είναι το ρεύμα μαγνήτισης i_m. Το μόνο στοιχείο που έχουμε είναι μια σχέση μεταξύ του ρεύματος αυτού και της πεπλεγμένης ροής, άρα αρκεί να υπολογίσουμε τη μέγιστη πεπλεγμένη ροή κατά τη διάρκεια της ζεύξης του (αφόρτιστου) ΜΣ. Αυτή όμως θα είναι (σχέση 3.7 του βιβλίου):

$$\widehat{\Psi} = 2 \cdot \widehat{\Psi}_S \tag{2.1}$$

όπου $\widehat{\Psi}_S$ το πλάτος της πεπλεγμένης ροής στη στάσιμη κατάσταση:

$$\widehat{\Psi}_S = \frac{\sqrt{2} \cdot V}{\omega} \tag{2.2}$$

Στην περίπτωσή μας θα είναι λοιπόν:

$$\widehat{\Psi} = 77{,}96 \text{ Wb} \tag{2.3}$$

Από το διάγραμμα που εμφανίζεται στο Σχήμα 2.1 μπορούμε να αντιστοιχίσουμε αυτήν την τιμή με την αντίστοιχη τιμή του μέγιστου ρεύματος μαγνήτισης κατά τη ζεύξη του ΜΣ. Θα είναι λοιπόν:

$$16 \cdot i_m + 57{,}12 = 77{,}96 \Rightarrow i_m = 1{,}3025 \text{ A} = \widehat{i}_m \tag{2.4}$$

Άσκηση 3η
Επίλυση (3/4)

β) Από τα δεδομένα της εκφώνησης μας δίνεται για το ονομαστικό ρεύμα μαγνήτισης του ΜΣ ότι:

$$i_{m,N} = \frac{I_N}{100} \tag{2.5}$$

όπου I_N το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας του ΜΣ:

$$i_N = \frac{S_N}{V_N} \tag{2.6}$$

όπου S_N η ονομαστική μονοφασική ισχύς του ΜΣ και V_N η ονομαστική φασική του τάση.

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (2.5) και (2.6) θα προκύψει:

$$i_{m,N} = 9{,}62 \text{ mA} \tag{2.7}$$

Άσκηση 3η
Επίλυση (4/4)

Προσοχή: Αυτή είναι η rms τιμή του ονομαστικού ρεύματος μαγνήτισης. Η εκφώνηση όμως μας ζητάει να συγκρίνουμε το μέγιστο πλάτος του ρεύματος αυτού με το μέγιστο μεταβατικό ρεύμα ζεύξης που υπολογίσαμε πριν.

Θα είναι λοιπόν:

$$\widehat{i}_{m,N} = \sqrt{2} \cdot 9{,}62 = 13{,}6\ \mathrm{mA} \qquad (2.8)$$

οπότε τελικά θα είναι:

$$\frac{\widehat{i}_m}{\widehat{i}_{m,N}} = \frac{1{,}3025}{0{,}0136} = 95{,}77 \qquad (2.9)$$

Το μέγιστο ρεύμα μαγνήτισης κατά τη ζεύξη του αφόρτιστου ΜΣ είναι λοιπόν 95 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα μαγνήτισής του.

Άσκηση $4^η$
Εκφώνηση

Μία γραμμή Ε.Ρ. δύο αγωγών που λειτουργεί εν κενώ αποσυνδέεται με ιδανικό διακόπτη (δηλ. συσκευή που έχει άπειρη αγωγιμότητα που μεταπίπτει ακαριαία σε μηδενική όταν μηδενισθεί το ρεύμα). Το δίκτυο στο σημείο του διακόπτη έχει τάση 220 kV, συχνότητα 50 Hz και μία εσωτερική αυτεπαγωγή L = 10 mH. Μετά την αποσύνδεση και μάλιστα σε τυχαίο χρόνο επανασυνδέεται. Ζητούνται:

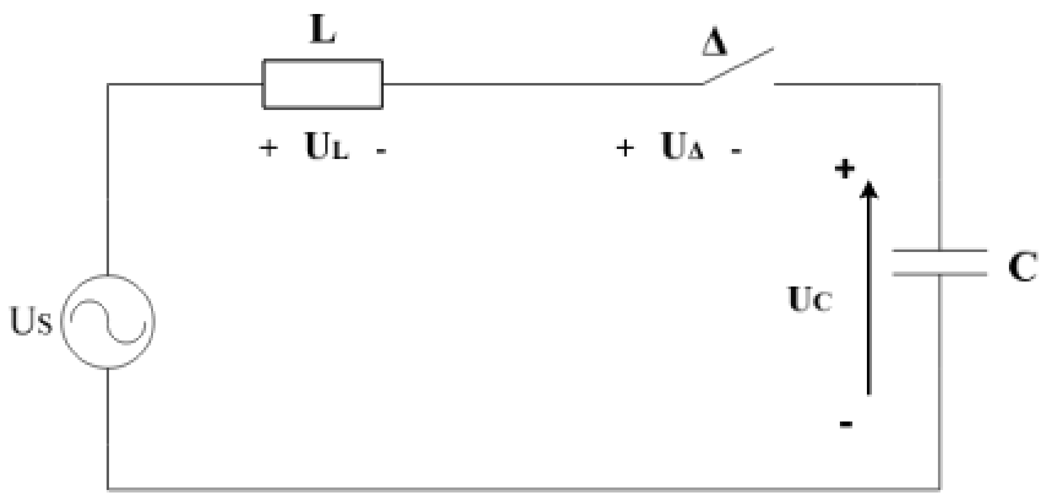
α) Η τάση μετά την αποσύνδεση στη γραμμή και στο διακόπτη.

β) Το μέγιστο δυνατό ρεύμα μετά την επανασύνδεση.

Η γραμμή να θεωρηθεί σαν πυκνωτής χωρητικότητας C = 1,0 μF.

Άσκηση 4η
Επίλυση (1/7)

α) Το ισοδύναμο κύκλωμα του προβλήματός μας είναι αυτό που εμφανίζεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1

Άσκηση 4η
Επίλυση (2/7)

Η επαγωγική αντίδραση του κυκλώματος είναι $L\omega = \pi\,\Omega$, ενώ η αντίστοιχη χωρητική ελαστικότητα είναι $\dfrac{1}{C\omega} = 3{,}184\ \mathrm{k\Omega}\quad (>> L\omega)$, οπότε όσο ο διακόπτης είναι κλειστός το κύκλωμα θα παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά, και το ρεύμα θα προηγείται της τάσης, πρακτικά κατά $\dfrac{\pi}{2}$.

Άσκηση 4η
Επίλυση (3/7)

Με το άνοιγμα του διακόπτη, το κύκλωμα θα αποσυνδεθεί από τη γραμμή. Η αποσύνδεση θα γίνει πρακτικά με τον μηδενισμό του ρεύματος (οπότε και θα σβήσει το τόξο στις επαφές του διακόπτη). Τα σημεία μηδενισμού του ρεύματος όμως θα συμπίπτουν λόγω της χωρητικής συμπεριφοράς του κυκλώματος με τα σημεία μέγιστης τιμής της τάσης, οπότε η τάση της πηγής τη στιγμή της αποσύνδεσης θα είναι:

$$v_S = \hat{v}_S = \pm\sqrt{2}\cdot 220\,\mathrm{kV} = \pm 311{,}1\,\mathrm{kV} \approx v_C \tag{1.1}$$

όπου η τάση της πηγής θα είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με το σημείο μηδενισμού του ρεύματος, και θα είναι πρακτικά ίση με την τιμή της τάσης στα άκρα της ισοδύναμης χωρητικότητας, αφού η τάση στα άκρα της ισοδύναμης αυτεπαγωγής θα είναι αμελητέα σε σχέση με αυτήν.

Άσκηση 4η
Επίλυση (4/7)

Μετά το άνοιγμα του διακόπτη η ισοδύναμη χωρητικότητα (δηλαδή η γραμμή) θα διατηρήσει το φορτίο της, οπότε και την τάση στα άκρα της. Με εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Kirchhoff στο κύκλωμα θα έχουμε για την τάση στα άκρα του διακόπτη:

$$v_S = v_L + v_\Delta + v_C \approx v_\Delta + v_C \Rightarrow v_\Delta = v_S - v_C = \hat{v}_S \sin \omega t \pm \hat{v}_S \Rightarrow$$

$$v_\Delta = \hat{v}_S(\sin \omega t \pm 1) \qquad (1.2)$$

με χειρότερη περίπτωση την:

$$v_\Delta = \pm 2 \cdot \hat{v}_S \qquad (1.3)$$

Άσκηση 4η
Επίλυση (5/7)

β) Η ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος είναι η:

$$f_e = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1{,}6\ \text{kHz} \qquad (1.4)$$

Αυτή θα είναι και η συχνότητα του μεταβατικού φαινομένου. Επειδή όμως αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη της συχνότητας του δικτύου, πρακτικά κατά τη διάρκεια του μεταβατικού φαινομένου η στιγμιαία τάση της πηγής δε θα μεταβληθεί, οπότε μπορούμε για τις πράξεις μας να τη θεωρήσουμε σταθερή.

Η διαφορική εξίσωση που θα περιγράφει το κύκλωμά μας μετά την επανασύνδεση θα είναι η:

$$v_S = L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int_{0^+}^{t} i dt + v_C\left(0^+\right) \qquad (1.5)$$

Άσκηση 4η
Επίλυση (6/7)

Μετασχηματίζοντας κατά Laplace (και θεωρώντας την τάση της πηγής σταθερή) θα έχουμε:

$$\frac{v_S}{s} - \frac{v_C\left(0^+\right)}{s} = L\left[s \cdot I(s) - i\left(0^+\right)\right] + \frac{1}{C} \cdot \frac{I(s)}{s} \Rightarrow$$

$$I(s) = \frac{v_S - v_C\left(0^+\right)}{\left[L\left(s + \frac{1}{LCs}\right)\right]s} = \frac{v_S - v_C\left(0^+\right)}{\left[L\left(s + \frac{\omega_\varepsilon^2}{s}\right)\right]s} = \frac{v_S - v_C\left(0^+\right)}{L\left(s^2 + \omega_\varepsilon^2\right)} \qquad (1.6)$$

όπου $i\left(0^+\right)$ το αρχικό ρεύμα του κυκλώματος ($i\left(0^+\right) = 0$, αφού ο διακόπτης στην αρχή είναι ανοιχτός).

Άσκηση 4η
Επίλυση (7/7)

Με αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace θα έχουμε τελικά για το μεταβατικό ρεύμα μετά την επανασύνδεση:

$$i(t) = \frac{v_S - v_C(0^+)}{L \cdot \omega_\varepsilon} \sin \omega_\varepsilon t \tag{1.7}$$

Η μέγιστη τιμή της σχέσης (1.7) αντιστοιχεί σε μέγιστη τιμή του αριθμητή του κλάσματος και $\sin \omega_\varepsilon t = 1$. Η μέγιστη τιμή του αριθμητή θα είναι όμως:

$$|v_S| + |v_C(0^+)| = \hat{v}_S + \hat{v}_S = 622{,}2\ \mathrm{kV} \tag{1.8}$$

οπότε το μέγιστο μεταβατικό ρεύμα θα είναι τελικά:

$$i_{\max} = \frac{2\hat{v}_S}{L \cdot \omega_\varepsilon} = 6{,}22\ \mathrm{kA} \tag{1.9}$$

Σημείωμα Αναφοράς

Σημείωμα Αδειοδότησης

Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2014-2015

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

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.