ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ III

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

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 5

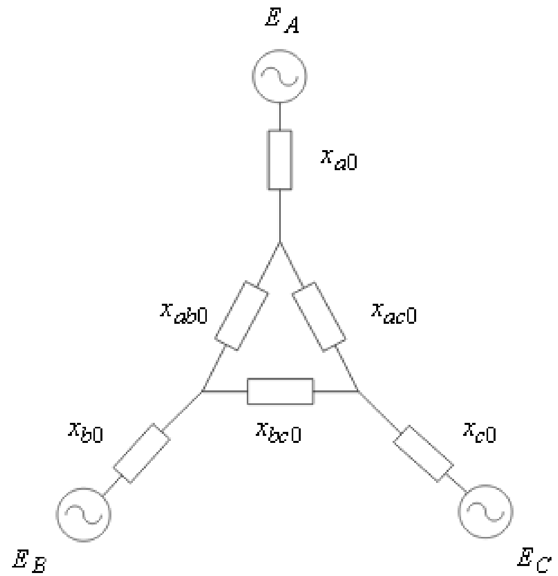
Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και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

Άσκηση 1η
Εκφώνηση

1. Τρία συγκροτήματα γεννήτριας-μετασχηματιστών A, B και C έχουν εσωτερικές αντιδράσεις 0.3, 0.4 και 0.5 pu αντίστοιχα. Οι δακτυλιοειδείς διασυνδέσεις AB, BC και CA έχουν αντιδράσεις 0.6, 0.7 και 0.8 pu αντίστοιχα. Όλες οι pu τιμές είναι υπολογισμένες με την ίδια βάση. Υπολογίστε τις αντιδράσεις μεταφοράς μεταξύ των ζευγών των γεννητριών A-B, B-C και C-A.

Άσκηση 1η
Επίλυση (1/4)

Το ισοδύναμο κύκλωμα που θα περιγράφει το σύστημα της άσκησής μας θα είναι το:



Σχήμα 1.2

όπου x_{ab0}, x_{bc0} και x_{ac0} οι αντιδράσεις των αντίστοιχων δακτυλιοειδών διασυνδέσεων (0.6, 0.7 και 0.8 pu αντίστοιχα), ενώ x_{a0}, x_{b0} και x_{c0} οι εσωτερικές αντιδράσεις των αντίστοιχων συγκροτημάτων γεννήτριας – μετασχηματιστή (0.3, 0.4 και 0.5 pu αντίστοιχα).

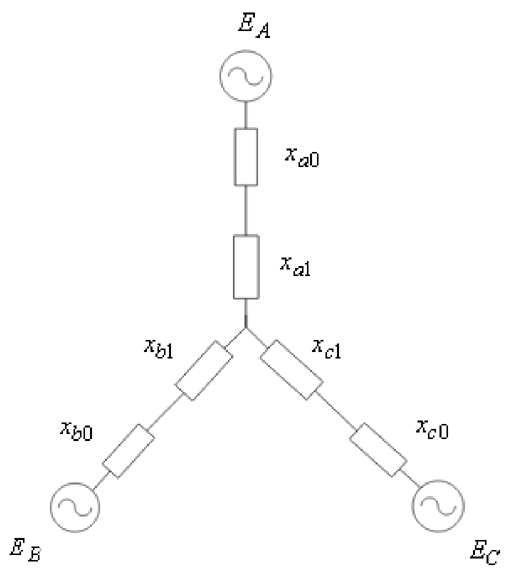
Άσκηση 1η
Επίλυση (2/4)

Καταρχήν θα μετατρέψουμε το εσωτερικό τρίγωνο σε αστέρα, οπότε και θα προκύψει το Σχήμα 1.3. Σε αυτό θα προκύπτει σύμφωνα με τους τύπους του Kennely:

$$x_{a1} = 0{,}229\ pu \tag{1.7}$$

$$x_{b1} = 0{,}2\ pu \tag{1.8}$$

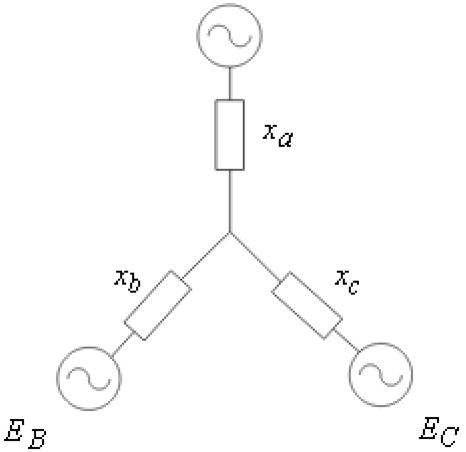
$$x_{c1} = 0{,}267\ pu \tag{1.9}$$



Σχήμα 1.3

Άσκηση 1η
Επίλυση (3/4)

Αν στο Σχήμα 1.3 αθροίσω τις αντιδράσεις που βρίσκονται σε σειρά, θα προκύψει αντίστοιχα το Σχήμα 1.4:



Σχήμα 1.4

όπου θα είναι:

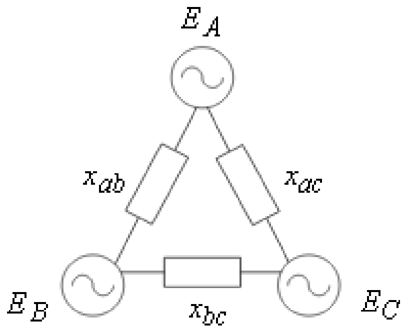
$$x_a = 0{,}529\ pu \tag{1.10}$$

$$x_b = 0{,}6\ pu \tag{1.11}$$

$$x_c = 0{,}767\ pu \tag{1.12}$$

Άσκηση 1η
Επίλυση (4/4)

Τέλος, για να υπολογίσω τις αντιδράσεις μεταφοράς μεταξύ των ζευγών των γεννητριών A-B, B-C και C-A, θα μετατρέψω τον αστέρα του Σχήματος 1.4 σε τρίγωνο (Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5

Τελικά θα προκύψει:

$$x_{ab} = 1,543\ pu \quad (1.13)$$

$$x_{bc} = 2,23\ pu \quad (1.14)$$

$$x_{ac} = 1,967\ pu \quad (1.15)$$

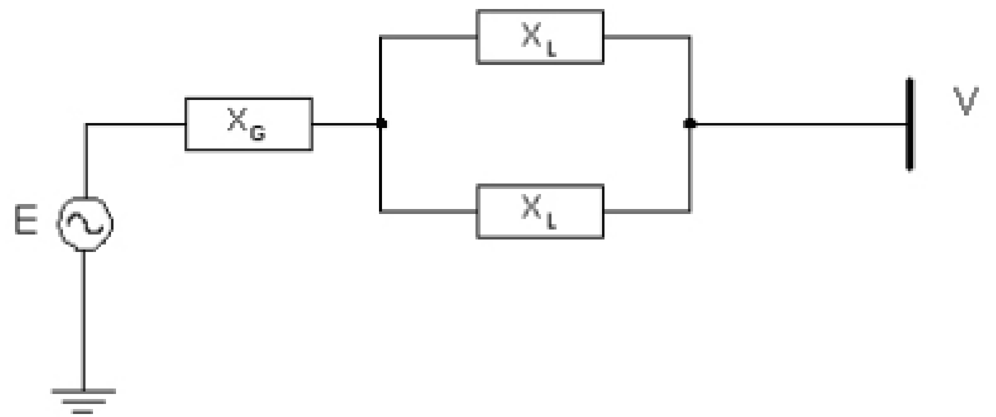
Άσκηση 2η
Εκφώνηση

2. Ένα τριφασικό συγκρότημα γεννήτριας-μετασχηματιστή συνδέεται σε έναν άπειρο ζυγό μέσω δύο ίδιων παράλληλων γραμμών. Το όριο ευστάθειας στάσιμης κατάστασης του συστήματος είναι 200 MW. Το όριο αυτό μειώνεται στα 70 MW κατά τη διάρκεια ενός τριφασικού βραχυκυκλώματος στο μέσο της μίας γραμμής. Υπολογίστε, με μία βάση 100 MVA, την pu αντίδραση του συγκροτήματος γεννήτριας-μετασχηματιστή και κάθε γραμμής, καθώς και το όριο ευστάθειας στάσιμης κατάστασης όταν απομονωθεί η γραμμή με το σφάλμα. Δεχόμαστε ότι η ΗΕΔ της γεννήτριας και η τάση του άπειρου ζυγού είναι ίσες με 1 pu.

Άσκηση 2η
Επίλυση (1/10)

<u>Παρατήρηση:</u> Το μόνο πρόβλημα της άσκησης είναι να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση το κατάλληλο ισοδύναμο κύκλωμα.

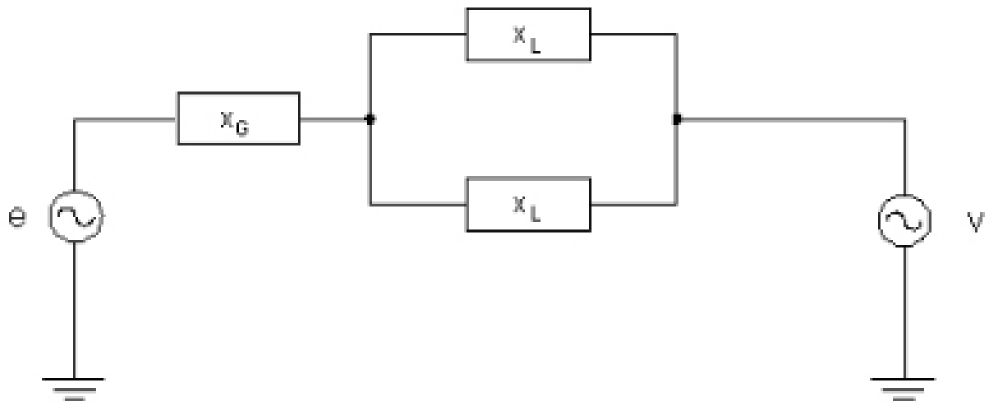
Το σύστημά μας πριν το τριφασικό βραχυκύκλωμα είναι αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 2.1:



Σχήμα 2.1

Άσκηση 2η
Επίλυση (2/10)

Ο άπειρος ζυγός του Σχήματος 2.1 μπορεί να αντικατασταθεί από μία ιδανική πηγή τάσης, οπότε τελικά θα έχουμε το ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήματος 2.2:



Σχήμα 2.2

όπου όλα τα μεγέθη εκφράζονται με τις pu τιμές τους.

Άσκηση 2η
Επίλυση (3/10)

Αν $\hat{p}_1$ η pu τιμή του ορίου ευστάθειας στάσιμης κατάστασης του συστήματος και $\hat{p}_2$ η pu τιμή του ορίου ευστάθειας κατά τη διάρκεια του τριφασικού βραχυκυκλώματος, τότε θα είναι:

$$\hat{p}_1 = \frac{\hat{P}_1}{S_b} = \frac{200}{100} = 2\ pu \tag{2.1}$$

$$\hat{p}_2 = \frac{\hat{P}_2}{S_b} = \frac{70}{100} = 0{,}7\ pu \tag{2.2}$$

Οι άγνωστοί μας είναι οι αντιδράσεις x_G και x_L, οπότε θα πρέπει να φτιάξουμε ένα σύστημα εξισώσεων που να τις συνδυάζουν.

Άσκηση 2η
Επίλυση (4/10)

Την πρώτη εξίσωση θα την πάρουμε από τη στάσιμη κατάσταση πριν το σφάλμα. Αν x_1 η συνολική αντίδραση μεταξύ γεννήτριας – ζυγού πριν το σφάλμα, τότε θα είναι:

$$\hat{p}_1 = \frac{e \cdot v}{x_1} \Rightarrow x_1 = \frac{e \cdot v}{\hat{p}_1} = 0{,}5 \ pu \qquad (2.3)$$

Από το Σχήμα 2.2 βλέπουμε όμως επίσης ότι είναι:

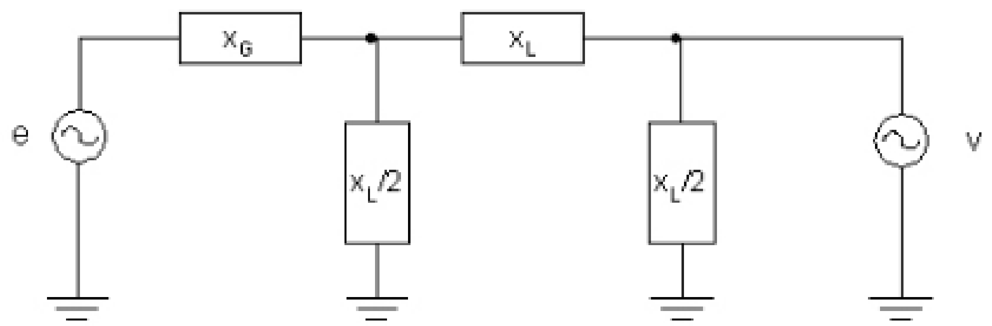
$$x_1 = x_G + \frac{x_L}{2} \qquad (2.4)$$

άρα από τις (2.3), (2.4) έχουμε ότι:

$$x_G + \frac{x_L}{2} = 0{,}5 \ pu \qquad (2.5)$$

Άσκηση 2η
Επίλυση (5/10)

Για τη δεύτερη εξίσωση που χρειαζόμαστε θα χρησιμοποιήσουμε τις πληροφορίες που έχουμε για το σύστημα κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος. Τριφασικό βραχυκύκλωμα στο μέσο της γραμμής σημαίνει ότι η γραμμή θα κοπεί στα δύο, και τα κομμένα άκρα της θα γειωθούν. Το νέο ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο Σχήμα 2.3:

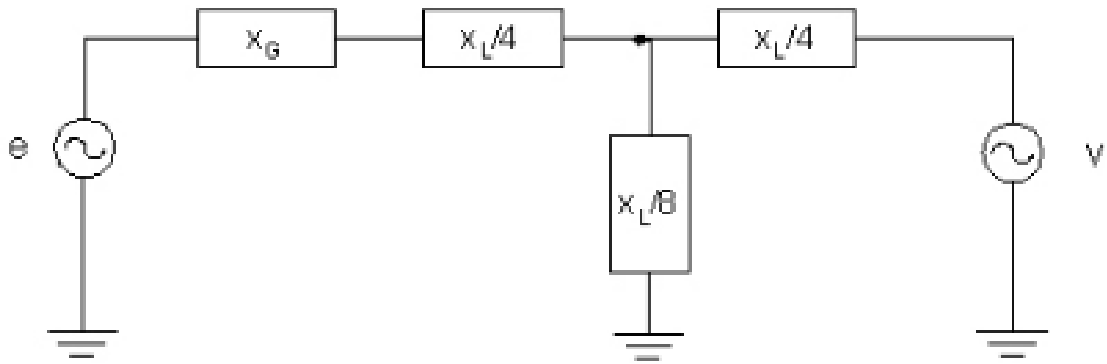


Σχήμα 2.3

όπου οι εγκάρσιοι κλάδοι έχουν αντίδραση $x_L/2$ επειδή το βραχυκύκλωμα έχει γίνει ακριβώς στο μέσο της γραμμής.

Άσκηση 2η
Επίλυση (6/10)

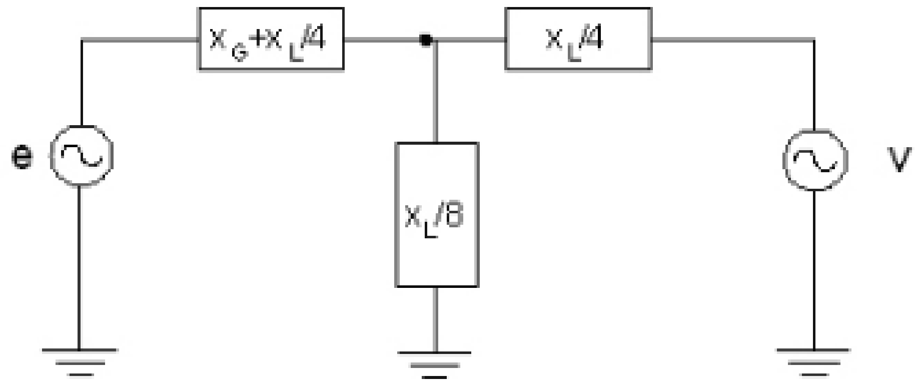
Καταρχήν θα μετασχηματίσουμε το Π-τετράπολο που προκύπτει στο Σχήμα 2.3 από τις δύο γραμμές σε Τ-τετράπολο, χρησιμοποιώντας τους τύπους μετασχηματισμού του Kennely (βλ. άσκηση 1). Θα προκύψει το ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήματος 2.4.



Σχήμα 2.4

Άσκηση 2η
Επίλυση (7/10)

Τελικά μπορούμε να μετασχηματίσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 2.4 στο Τ-ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήματος 2.5:



Σχήμα 2.5

Άσκηση 2η
Επίλυση (8/10)

Χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.31.β του βιβλίου (σελ. 143), η οποία δίνει την αντίδραση μεταφοράς ενός Τ-τετραπόλου θα πάρουμε τελικά για τη συνολική αντίδραση μεταφοράς ανάμεσα στη γεννήτρια και τον άπειρο ζυγό κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος

$$x_2 = \frac{\left(x_G + \frac{x_L}{4}\right)\cdot\frac{x_L}{4} + \frac{x_L}{4}\cdot\frac{x_L}{8} + \left(x_G + \frac{x_L}{4}\right)\cdot\frac{x_L}{8}}{\frac{x_L}{8}} \Rightarrow$$

$$x_2 = 3x_G + x_L \qquad (2.6)$$

Θα είναι όμως επίσης:

$$\hat{p}_2 = \frac{e\cdot v}{x_2} \Rightarrow x_2 = \frac{e\cdot v}{\hat{p}_2} = \frac{10}{7}\,pu \qquad (2.7)$$

Άσκηση 2η
Επίλυση (9/10)

Από τις σχέσεις (2.6) και (2.7) θα προκύψει:

$$3x_G + x_L = \frac{10}{7}\ pu \tag{2.8}$$

Από το σύστημα των εξισώσεων (2.5) και (2.8) θα προκύψει τελικά για τις ζητούμενες αντιδράσεις:

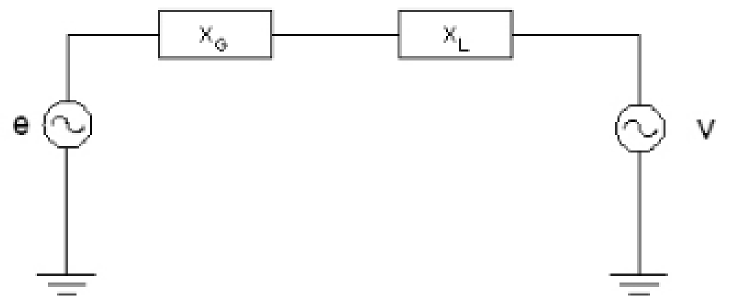
$$x_G = 0{,}4286\ pu \tag{2.9}$$

και

$$x_L = 0{,}1429\ pu \tag{2.10}$$

Άσκηση $2^η$ Επίλυση (10/10)

Για το επόμενο ερώτημα της άσκησης, μετά την απομόνωση της γραμμής με το σφάλμα θα έχουμε το εξής ισοδύναμο κύκλωμα:



Σχήμα 2.6

οπότε για το νέο όριο ευστάθειας θα ισχύει:

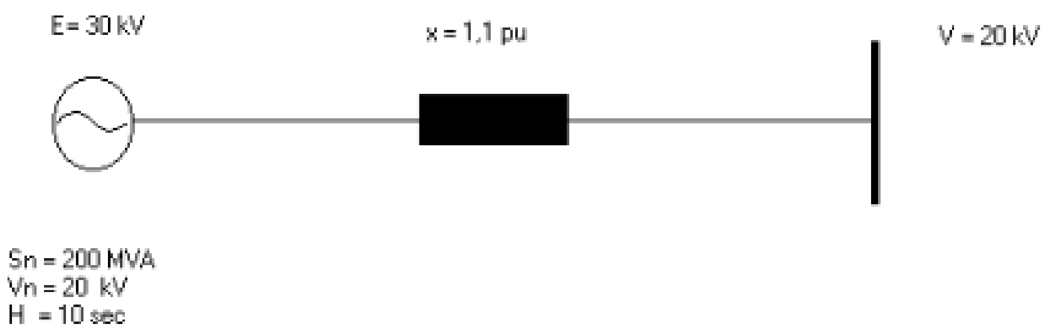
$$\hat{p}_3 = \frac{e \cdot v}{x_G + x_L} \approx 1{,}75\ pu \qquad (2.11)$$

ενώ σε απόλυτες τιμές θα είναι:

$$\hat{P}_3 = \hat{p}_3 \cdot S_b = 175\ MW \qquad (2.12)$$

Άσκηση 3η Εκφώνηση

Η στροβιλογεννήτρια του σχήματος κινείται από ατμοστρόβιλο αποδίδοντας σε άπειρο ζυγό P = 150 MW. Ξαφνικά και χωρίς να αλλάξει η διέγερση, η προσδιδόμενη μηχανική ισχύς ελαττώνεται από 150 MW στα 148 MW. Να βρεθεί η μεταφερόμενη ισχύς σαν συνάρτηση του χρόνου, αν η απόσβεση θεωρηθεί μηδενική.



Άσκηση 3η
Επίλυση (1/6)

<u>Παρατήρηση:</u> Ο καλύτερος τρόπος να λυθούν τέτοιες ασκήσεις είναι από το τέλος προς την αρχή. Βρίσκετε δηλαδή τη σχέση που θα σας δώσει το τελικό αποτέλεσμα και πηγαίνετε προς τα πίσω υπολογίζοντας κάθε φορά τα μεγέθη που σας λείπουν.

Θα μετατρέψουμε τα μεγέθη μας σε pu τιμές. Επιλέγουμε για τις βάσεις ισχύος και τάσης:

$$S_b = S_N = 200\ MVA$$

$$V_b = V_N = 20\ kV$$

Άρα θα έχουμε:

$$e = \frac{30}{20} = 1{,}5\ pu \qquad p_0 = \frac{150}{200} = 0{,}75\ pu$$

$$v = \frac{20}{20} = 1\ pu \qquad p_1 = \frac{148}{200} = 0{,}74\ pu$$

Άσκηση 3η
Επίλυση (2/6)

Θέλουμε να υπολογίσουμε τη μεταφερόμενη ηλεκτρική ισχύ μετά το σφάλμα (p_e), θεωρώντας ότι δεν έχουμε αποσβέσεις. Αυτή θα δίνεται από τη σχέση:

$$p_e = \overline{p}_e + \widetilde{p}_e \tag{4.1}$$

όπου $\overline{p}_e$ η αρχική ηλεκτρική ισχύς στη στάσιμη κατάσταση, και $\widetilde{p}_e$ η ισχύς των ταλαντώσεων που προκύπτει από το μεταβατικό φαινόμενο.

Για την αρχική ηλεκτρική ισχύ στη στάσιμη κατάσταση γνωρίζουμε ότι:

$$\overline{p}_e = p_0 = 0{,}75\ pu \tag{4.2}$$

Για την ισχύ των ταλαντώσεων και θεωρώντας μηδενικές αποσβέσεις ισχύει:

$$\widetilde{p}_e = p_s \cdot \widetilde{\delta} \tag{4.3}$$

όπου p_s η ισχύς συγχρονισμού και $\widetilde{\delta}$ η μεταβολή της γωνίας φόρτισης της γεννήτριας κατά το μεταβατικό φαινόμενο.

Άσκηση 3η
Επίλυση (3/6)

Η ισχύς συγχρονισμού θα δίνεται από τη σχέση:

$$p_S = \hat{p} \cdot \cos\delta_0 \tag{4.4}$$

όπου $\hat{p}$ το όριο ευστάθειας στάσιμης κατάστασης και δ_0 η αρχική γωνία φόρτισης της γεννήτριας.

Είναι όμως:

$$\hat{p} = \frac{e \cdot v}{x} = 1{,}364\ pu \tag{4.5}$$

και

$$p_0 = \hat{p} \cdot \sin\delta_0 \Rightarrow \delta_0 = 33{,}36° \tag{4.6}$$

άρα από τις σχέσεις (4.4), (4.5) και (4.6) θα προκύψει:

$$p_S = 1{,}14\ pu \tag{4.7}$$

Άσκηση 3η
Επίλυση (4/6)

Μας λείπει ακόμα η μεταβολή της γωνίας φόρτισης της γεννήτριας $\tilde{\delta}$. Θα την υπολογίσουμε με τη βοήθεια της εξίσωσης κίνησης για μικρές μεταβολές της δ χωρίς αποσβέσεις:

$$\tilde{p}_m = p_s \cdot \delta + \frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\tilde{\delta}}{dt^2} \tag{4.8}$$

Οι αρχικές συνθήκες για τη διαφορική αυτή εξίσωση είναι οι:

$$\begin{aligned} \tilde{\delta}(0) &= 0 \\ \tilde{\delta}'(0) &= 0 \\ \tilde{\delta}''(0) &= 0 \end{aligned} \tag{4.9}$$

αφού η γεννήτρια βρίσκεται αρχικά σε στάσιμη κατάσταση.

Άσκηση 3η
Επίλυση (5/6)

Η λύση της διαφορικής εξίσωσης της σχέσης (4.8) δίνεται από τη σχέση 4.71 του βιβλίου (σελ. 157) και είναι η:

$$\tilde{\delta}(t) = \tilde{\delta}_{\infty}\left(1 - \cos(\omega_n t)\right) \qquad (4.10)$$

η οποία με τη βοήθεια της σχέσης (4.68) του βιβλίου (σελ. 157) θα πάρει τελικά τη μορφή:

$$\tilde{\delta}(t) = \frac{\tilde{p}_m}{p_s}\left(1 - \cos(\omega_n t)\right) \qquad (4.11)$$

Για την κυκλική συχνότητα ω_n των ταλαντώσεων της γωνίας φόρτισης ισχύει:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{p_s \cdot \omega_s}{2H}} = 4{,}232\ \frac{rad}{\sec} \qquad (4.12)$$

όπου ω_s η σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα ($\omega_s = 314{,}15\ \frac{rad}{\sec}$).

Άσκηση 3η
Επίλυση (6/6)

Επίσης, για τη μηχανική ισχύ θα έχουμε αντίστοιχα με την ηλεκτρική:

$$p_m = \overline{p}_m + \widetilde{p}_m \tag{4.13}$$

όπου από τα δεδομένα γνωρίζουμε ότι $p_m = 0{,}74\ pu$ και $\overline{p}_m = 0{,}75\ pu$.

Θα είναι λοιπόν:

$$\widetilde{p}_m = -0{,}01\ pu \tag{4.14}$$

και από τις σχέσεις (4.7), (4.11), (4.12) και (4.14) θα προκύψει για τη μεταβολή της γωνίας φόρτισης της γεννήτριας:

$$\widetilde{\delta}(t) = 8{,}77 \cdot 10^{-3}\left(\cos 4{,}232t - 1\right) \tag{4.15}$$

Τελικά από τις σχέσεις (4.3), (4.7) και (4.15) θα προκύψει:

$$\widetilde{p}_e = 0{,}01\left(\cos 4{,}232t - 1\right) \tag{4.16}$$

οπότε η νέα μεταφερόμενη ισχύς θα είναι από τη σχέση (4.1):

$$p_e = 0{,}74 + 0{,}01\cos 4{,}232t \tag{4.17}$$

Άσκηση 4η
Εκφώνηση

Μία περιοχή έχει συνολική ζήτηση 25 MW από έναν άπειρο ζυγό μέσω μίας συνδετικής γραμμής μεταφοράς. Το όριο της ισχύος που μπορεί να δοθεί ευσταθώς στην περιοχή είναι 80 MW. Υπολογίστε, χρησιμοποιώντας το κριτήριο των ίσων εμβαδών, το μέγιστο φορτίο που μπορεί να προστεθεί ξαφνικά χωρίς το σύστημα να χάσει την ευστάθειά του.

Άσκηση 4η
Επίλυση (1/7)

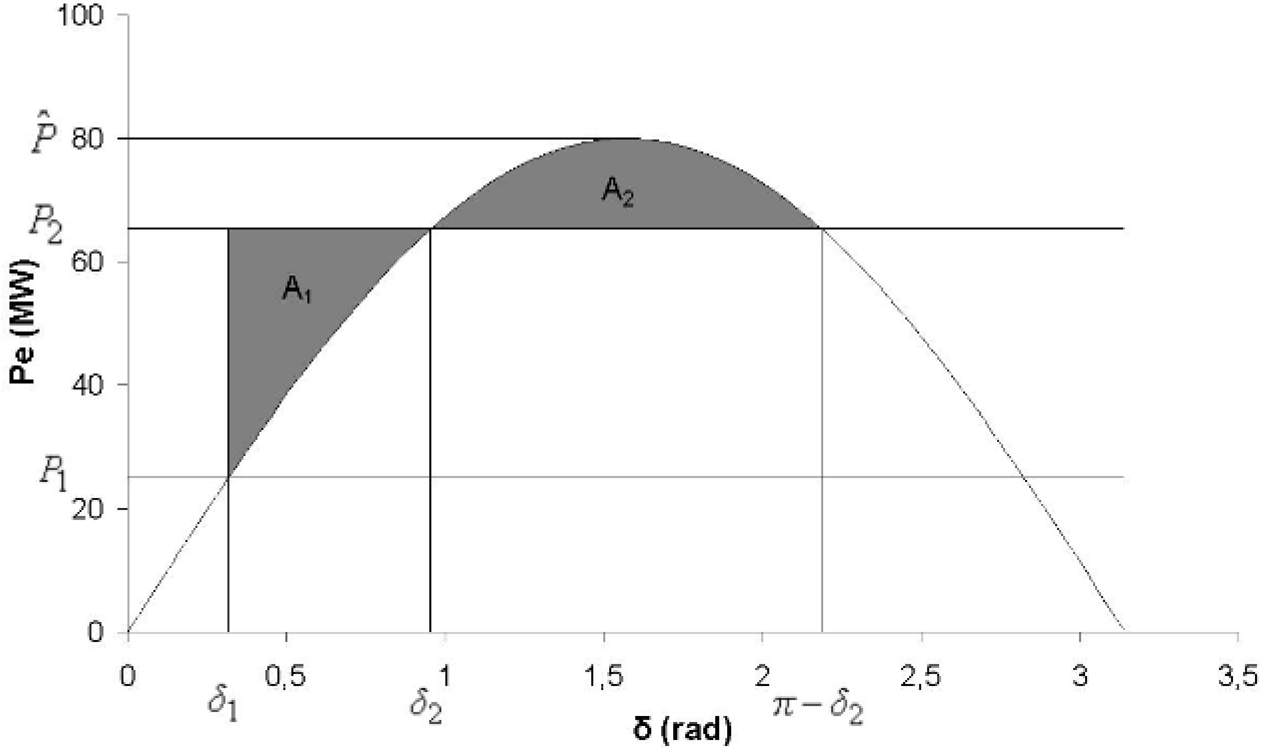
Παρατηρήσεις:

Κριτήριο ίσων εμβαδών

Πρόκειται για ένα κριτήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουμε την ευστάθεια μεταβατικής κατάστασης όταν το σύστημά μας αποτελείται από μία γεννήτρια.

Αν υποθέσουμε ότι η ισχύς του συστήματος της άσκησής μας παρέχεται από μία σύγχρονη γεννήτρια, τότε η καμπύλη της ηλεκτρικής ισχύος P_e αυτής συναρτήσει της γωνίας φόρτισής της δ θα είναι αυτή που εμφανίζεται στο Σχήμα 1.1.

Άσκηση 4η
Επίλυση (2/7)



Σχήμα 1.1

Άσκηση 4η
Επίλυση (3/7)

Στο Σχήμα 1.1 μπορούμε να δούμε επίσης τη μηχανική ισχύ που προσφέρεται στο σύστημα πριν και μετά τη μεταβολή του φορτίου (P_1 και P_2 αντίστοιχα). Στο σημείο δ_1 έχουμε το σημείο ισορροπίας πριν τη μεταβολή. Με την αύξηση του φορτίου η μηχανική ισχύς εισόδου θα αυξηθεί απότομα από P_1 σε P_2, οπότε θα αρχίσει να αυξάνεται η γωνία φόρτισης δ της γεννήτριας για να ισορροπήσει η ηλεκτρική ισχύς εξόδου με τη μηχανική ισχύ εισόδου (σημείο δ_2). Όσο όμως η μηχανική ισχύς που προσφέρεται στον δρομέα είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ εξόδου της γεννήτριας, ο δρομέας θα επιταχύνει, αποθηκεύοντας κινητική ενέργεια ίση με το εμβαδόν A_1:

$$A_1 = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{sh} - P_e) d\delta \tag{1.1}$$

όπου P_{sh} η μηχανική ισχύς εισόδου και P_e η ηλεκτρική ισχύς εξόδου της γεννήτριας.

Άσκηση 4η
Επίλυση (4/7)

Όταν η γωνία φόρτισης δ της γεννήτριας φτάσει στο σημείο δ_2 θα συνεχίσει να αυξάνεται λόγω της κινητικής ενέργειας που θα έχει αποθηκεύσει μέχρι εκείνη τη στιγμή ο δρομέας (εμβαδόν A_1). Μετά το σημείο δ_2 όμως η ηλεκτρική ισχύς εξόδου της γεννήτριας P_e θα είναι μεγαλύτερη από τη μηχανική ισχύ εισόδου $P_{sh} = P_2$, και για όσο χρονικό διάστημα ισχύει αυτό ο δρομέας της γεννήτριας θα επιβραδύνει, αποδίδοντας κινητική ενέργεια. Για να καταφέρει τελικά η γεννήτρια να ισορροπήσει στο νέο σημείο λειτουργίας (σημείο δ_2) θα πρέπει ο δρομέας να έχει χάσει όλη την κινητική ενέργεια που έχει κερδίσει από την επιτάχυνσή του μέχρι το σημείο $\pi - \delta_2$. Μετά από αυτό το σημείο η μηχανική ισχύς εισόδου γίνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 πάλι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ εξόδου, οπότε ο δρομέας θα αρχίσει πάλι να επιταχύνεται μέχρι τον αποσυγχρονισμό της γεννήτριας. Η κινητική ενέργεια που θα έχει αποδώσει ο δρομέας της γεννήτριας μεταξύ των σημείων δ_2 και $\pi - \delta_2$ θα είναι ίση με το εμβαδόν A_2:

$$A_2 = \int_{\delta_2}^{\pi-\delta_2} \left(P_e - P_{sh}\right) d\delta \qquad (1.2)$$

Άσκηση 4η
Επίλυση (5/7)

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι για να μπορέσει τελικά η γεννήτρια να ισορροπήσει στο νέο σημείο λειτουργίας (σημείο δ_2) θα πρέπει το εμβαδόν A_2 (εμβαδόν επιβράδυνσης) να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το εμβαδόν A_1 (εμβαδόν επιτάχυνσης). Για τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να προστεθεί απότομα στο σύστημα το παραπάνω κριτήριο θα πρέπει να ισχύει οριακά, θα πρέπει λοιπόν να είναι:

$$A_1 = A_2 \tag{1.3}$$

Άσκηση 4η
Επίλυση (6/7)

Στην άσκησή μας, για να υπολογίσουμε την αρχική γωνία φόρτισης δ_1 θα χρησιμοποιήσουμε την ισχύ P_1:

$$P_1 = \hat{P}\sin\delta_1 \Rightarrow \delta_1 = \arcsin\frac{25}{80} = 18{,}21^\circ = 0{,}3178\ rad \tag{1.4}$$

Σύμφωνα με το κριτήριο των ίσων εμβαδών θα ισχύει για το μέγιστο φορτίο που μπορεί να προστεθεί ξαφνικά χωρίς το σύστημα να χάσει την ευστάθειά του (βιβλίο θεωρίας, σχέση (4.91), σελ. 171):

$$\Delta P_{\max} = \hat{P}\left(\sin\delta_2 - \sin\delta_1\right) \tag{1.5}$$

όπου για τη γωνία δ_2 θα ισχύει (βιβλίο θεωρίας, σχέση (4.90), σελ. 171):

$$\cos\delta_1 + \cos\delta_2 = \left(\pi - \delta_1 - \delta_2\right)\sin\delta_2 \Rightarrow$$

$$\cos\delta_1 + \cos\delta_2 - \left(\pi - \delta_1 - \delta_2\right)\sin\delta_2 = 0$$

και αντικαθιστώντας τη δ_1:

$$0{,}95 + \cos\delta_2 - \left(2{,}8238 - \delta_2\right)\sin\delta_2 = 0 \tag{1.6}$$

Άσκηση 4η
Επίλυση (7/7)

Η παραπάνω είναι μια μη γραμμική εξίσωση. Για να τη λύσουμε θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο Newton – Raphson.

Στην άσκησή μας γνωρίζουμε ότι η γωνία δ_2 θα βρίσκεται μεταξύ της δ_1 (0,3178 rad) και της $\delta = \frac{\pi}{2}\, rad$. Χρησιμοποιώντας για αρχική τιμή την $\delta_2 = 0{,}6\, rad$ και για ακρίβεια την $\varepsilon = 0{,}01$ θα βρούμε τελικά μετά από τρεις επαναλήψεις ότι:

$$\delta_2 = 0{,}9523\, rad = 54{,}83° \qquad (1.7)$$

Τελικά θα έχουμε για το μέγιστο φορτίο που μπορεί να προστεθεί ξαφνικά χωρίς το σύστημα να χάσει την ευστάθειά του από τη σχέση (1.5):

$$\Delta P_{\max} = 40{,}38\, MW$$

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Κατσανού Βάνα. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙΙ, Μάθημα ασκήσεων 5». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.

Σημείωμα Αδειοδότησης

[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

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.