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

- 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 6

Άσκηση 1η
Εκφώνηση

Μία στροβιλογεννήτρια συνδέεται μέσω μίας γραμμής μεταφοράς με άπειρο ζυγό. Το όριο ευστάθειας στάσιμης κατάστασης του συστήματος για σταθερή διέγερση E είναι 1,0 pu, *αλλά* το φορτίο *που* μεταφέρεται είναι 0,4 pu. Λόγω σφάλματος στη ΓΜ το φορτίο αποσυνδέεται, ενώ η μηχανική ισχύς παραμένει σταθερή. Αν αμεληθούν οι τριβές και οι αποσβέσεις, ζητούνται:

α) Ποια είναι η κρίσιμη γωνία φορτίου στην οποία πρέπει να γίνει η επανάζευξη του φορτίου, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ευστάθεια του συστήματος.

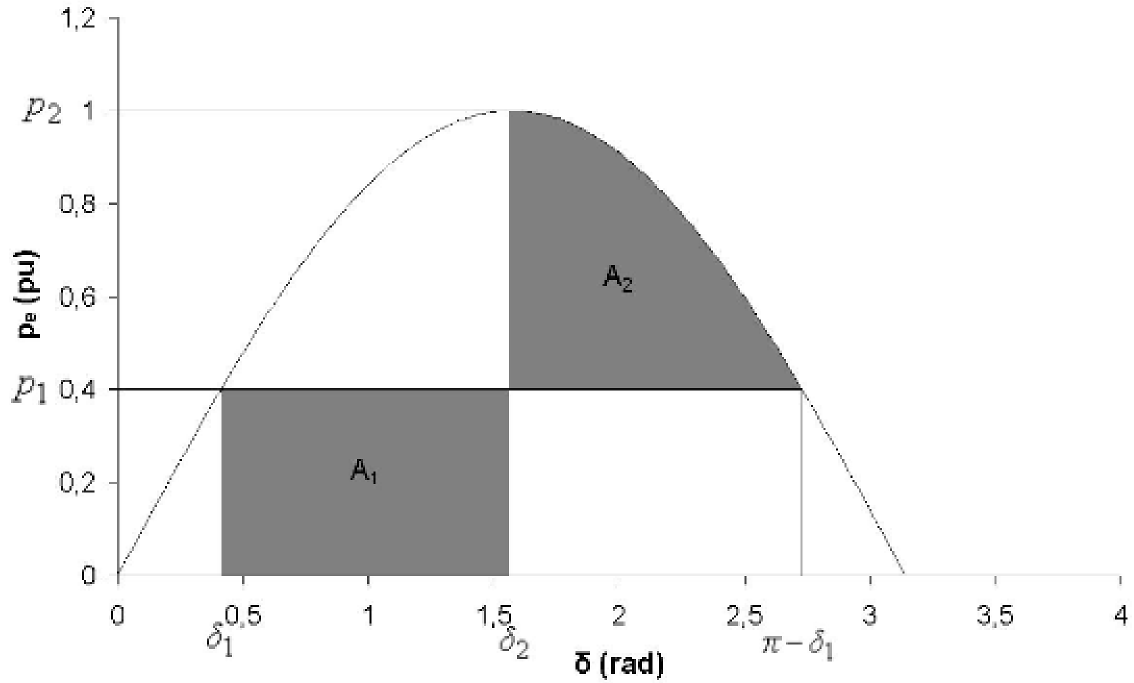
β) Αν η συχνότητα f της γεννήτριας είναι 50 Hz και η σταθερά αδράνειας του δρομέα H είναι 5 s, να βρεθεί η μέγιστη χρονική στιγμή στην οποία πρέπει να γίνει η επανάζευξη του φορτίου.

Άσκηση 1η
Επίλυση (1/5)

Παρατήρηση: Χρειάζεται προσοχή στη σχεδίαση του σχήματος που θα χρησιμοποιήσουμε για την εφαρμογή του κριτηρίου των ίσων εμβαδών. Συγκεκριμένα θα πρέπει κανείς να προσέξει ότι στο εμβαδόν επιτάχυνσης η ηλεκτρική ισχύς θα είναι ίση με μηδέν (αφού κατά τη διάρκεια του σφάλματος το φορτίο θα είναι αποσυνδεδεμένο).

Άσκηση $1^η$
Επίλυση (2/5)

Το σχήμα μας θα είναι σε αυτήν την περίπτωση το εξής:



Σχήμα 2.1

Άσκηση 1η Επίλυση (3/5)

α) Εφόσον μετά την επανασύνδεση δεν υπάρχει ταυτόχρονα και αλλαγή φορτίου, η τελική γωνία ισορροπίας θα είναι η δ_1.

Είναι:

$$p_1 = \hat{p}\sin\delta_1 \Rightarrow \delta_1 = \arcsin 0{,}4 = 23{,}6° \tag{2.1}$$

Ζητάμε τη μέγιστη δυνατή γωνία φορτίου στην οποία πρέπει να γίνει η επανάζευξη του φορτίου, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ευστάθεια του συστήματος, άρα το κριτήριο που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι το:

$$A_1 = A_2 \tag{2.2}$$

όπου:

$$A_1 = \int_{\delta_1}^{\delta_2}\left(p_{sh} - p_e\right)d\delta = p_1\left(\delta_2 - \delta_1\right) \tag{2.3}$$

και

$$A_2 = \int_{\delta_2}^{\pi-\delta_1}\left(p_e - p_{sh}\right)d\delta = \hat{p}\left[\cos\delta_2 - \cos\left(\pi - \delta_1\right)\right] - p_1\left(\pi - \delta_1 - \delta_2\right) \tag{2.4}$$

Από τις σχέσεις (2.2), (2.3) και (2.4) θα προκύψει τελικά:

$$A_1 = A_2 \Rightarrow p_1\delta_2 - p_1\delta_1 = \hat{p}\cos\delta_2 - \hat{p}\cos\left(\pi - \delta_1\right) - p_1\left(\pi - \delta_1\right) + p_1\delta_2 \Rightarrow$$

$$\delta_2 = 89{,}4° \tag{2.5}$$

Άσκηση 1η
Επίλυση (4/5)

β) Γνωρίζουμε ήδη την κρίσιμη γωνία στην οποία πρέπει να γίνει η επανάζευξη του φορτίου. Για να υπολογίσουμε τη χρονική στιγμή όπου θα πρέπει να γίνει η κρίσιμη επανάζευξη θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση κίνησης του δρομέα χωρίς αποσβέσεις:

$$p_a = \frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} \Rightarrow \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{p_a \cdot \omega_s}{2H} \Rightarrow$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{p_a \cdot \omega_s}{2H} t + c_1 \Rightarrow \qquad (2.6)$$

$$\delta(t) = \frac{p_a \cdot \omega_s}{4H} t^2 + c_1 t + c_2 \qquad (2.7)$$

με αρχικές συνθήκες τις $\delta(0) = \delta_1$ και $\left.\frac{d\delta}{dt}\right|_{t=0} = 0$ που αντιστοιχούν στην κατάσταση λειτουργίας πριν το σφάλμα.

Άσκηση 1η
Επίλυση (5/5)

Από τις σχέσεις (2.6) και (2.7) και από τις αρχικές συνθήκες θα προκύψει:

$$c_1 = 0$$

και

$$c_2 = \delta_1$$

οπότε τελικά η εξίσωση κίνησης θα είναι η:

$$\delta(t) = \frac{p_a \cdot \omega_s}{4H} t^2 + \delta_1 \qquad (2.8)$$

και για $\delta(t) = \delta_2 = 89{,}4°$ θα προκύψει από τη σχέση (2.8):

$$t = 428\ m\,\mathrm{sec}$$

Άσκηση 2η
Εκφώνηση

Οι αντιδράσεις μεταφοράς μεταξύ μιας γεννήτριας και ενός άπειρου ζυγού 132 kV είναι πριν, κατά και μετά την εξάλειψη ενός σφάλματος στη διασυνδετική γραμμή μεταφοράς 140 Ω/φάση, 385 Ω/φάση και 175 Ω/φάση αντίστοιχα. Αν το σφάλμα εξαλειφθεί όταν ο δρομέας της γεννήτριας έχει προχωρήσει κατά 80 ηλεκτρικές μοίρες από τη σταθερή του θέση πριν από το σφάλμα, προσδιορίστε το μέγιστο φορτίο που θα μπορούσε να μεταφερθεί χωρίς το σφάλμα να προκαλέσει αστάθεια. Δεχόμαστε ότι η ΗΕΔ της γεννήτριας είναι 1 pu όταν S_b = 100 MVA και V_b = 132 kV.

Άσκηση 2η
Επίλυση (1/5)

<u>Παρατήρηση:</u> Για το όριο ευστάθειας στάσιμης κατάστασης (που είναι και το μέγιστο σημείο της καμπύλης της ηλεκτρικής ισχύος συναρτήσει της γωνίας φόρτισης μιας γεννήτριας) ισχύει:

$$\hat{p} = \frac{e \cdot v}{x} \qquad (3.1)$$

όπου e η τάση εξόδου της γεννήτριας, v η τάση του άπειρου ζυγού στον οποίο συνδέεται η γεννήτρια, και x η αντίδραση μεταφοράς μεταξύ τους. Κάθε φορά που μεταβάλλεται η αντίδραση μεταφοράς μεταξύ μιας γεννήτριας και ενός ζυγού λοιπόν θα μεταβάλλεται προφανώς και το όριο ευστάθειας, και μαζί με αυτό και η αντίστοιχη καμπύλη της ηλεκτρικής ισχύος ως προς τη γωνία φόρτισης.

Άσκηση $2^η$
Επίλυση (2/5)

Για τις αντιδράσεις μεταφοράς πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εξάλειψη του σφάλματος θα έχουμε:

$$x_a = X_a \cdot \frac{S_b}{U_b{}^2} = 0{,}803\ pu \qquad (3.1)$$

$$x_b = X_b \cdot \frac{S_b}{U_b{}^2} = 2{,}21\ pu \qquad (3.2)$$

$$x_c = X_c \cdot \frac{S_b}{U_b{}^2} = 1{,}004\ pu \qquad (3.3)$$

ενώ για τα αντίστοιχα όρια ευστάθειας θα είναι:

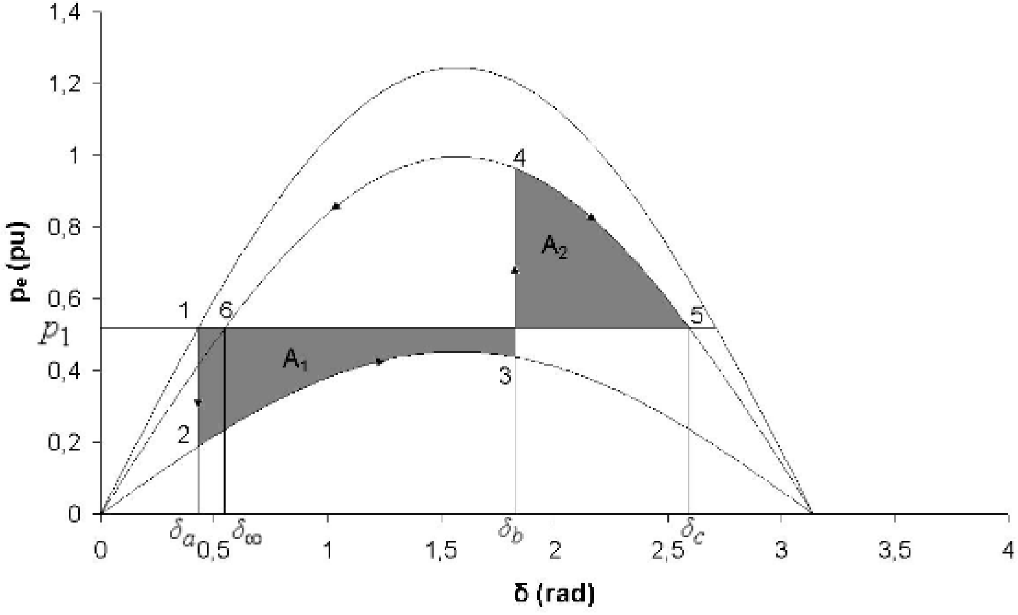
$$\hat{p}_a = \frac{e \cdot v}{x_a} = 1{,}245\ pu \qquad (3.4)$$

$$\hat{p}_b = \frac{e \cdot v}{x_b} = 0{,}452\ pu \qquad (3.5)$$

$$\hat{p}_c = \frac{e \cdot v}{x_c} = 0{,}996\ pu \qquad (3.6)$$

Άσκηση 2η
Επίλυση (3/5)

Στην περίπτωσή μας η αντίδραση μεταφοράς μεταξύ της γεννήτριας και του ζυγού μεταβάλλεται τρεις φορές, οπότε τελικά το σχήμα που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε θα είναι το:



Σχήμα 3.1

όπου η πορεία που θα ακολουθήσει η γωνία στις αντίστοιχες καμπύλες σημειώνεται με βέλη.

Άσκηση 2η
Επίλυση (4/5)

Θα χρησιμοποιήσουμε το κριτήριο των ίσων εμβαδών χρησιμοποιώντας τα εμβαδά που εμφανίζονται στο Σχήμα 3.1. Η ισχύς p_1 που θα προκύψει από την εφαρμογή του κριτηρίου θα είναι και το αποτέλεσμα που ψάχνουμε.

Θα είναι:

$$A_1 = \int_{\delta_a}^{\delta_b} \left(p_{sh} - p_e\right) d\delta = \int_{\delta_a}^{\delta_b} \left(p_1 - \hat{p}_b \sin\delta\right) d\delta = p_1\left(\delta_b - \delta_a\right) - \hat{p}_b\left(\cos\delta_a - \cos\delta_b\right) \quad (3.7)$$

και

$$A_2 = \int_{\delta_b}^{\delta_c} \left(p_e - p_{sh}\right) d\delta = \int_{\delta_b}^{\delta_c} \left(\hat{p}_c \sin\delta - p_1\right) d\delta = \hat{p}_c\left(\cos\delta_b - \cos\delta_c\right) - p_1\left(\delta_c - \delta_b\right) \quad (3.8)$$

δηλαδή:

$$A_1 = A_2 \Rightarrow p_1\left(\delta_b - \delta_a\right) - \hat{p}_b\left(\cos\delta_a - \cos\delta_b\right) = \hat{p}_c\left(\cos\delta_b - \cos\delta_c\right) - p_1\left(\delta_c - \delta_b\right) \quad (3.9)$$

Άσκηση 2η
Επίλυση (5/5)

ενώ για τις επιμέρους άγνωστες γωνίες έχουμε:

$$p_1 = \hat{p}_a \sin\delta_a = \hat{p}_c \sin\delta_\infty \Rightarrow \delta_\infty = \sin^{-1}\left(1{,}245 \sin\delta_a\right) \qquad (3.10)$$

$$\delta_c = \pi - \delta_\infty \qquad (3.11)$$

και

$$\delta_b = \delta_a + 80° = \delta_a + 1{,}396 \qquad (3.12)$$

Από το σύστημα των εξισώσεων (3.9), (3.10), (3.11) και (3.12) θα προκύψει τελικά:

$$\delta_a = 0{,}4302\ rad = 24{,}65° \text{ , } \delta_b = 1{,}826\ rad = 104{,}65°$$

$$\delta_c = 2{,}5936\ rad = 148{,}6° \text{ , } \delta_\infty = 0{,}548\ rad = 31{,}42°$$

και

$$P_1 = 52\ MW$$

Σημείωμα Αναφοράς

Σημείωμα Αδειοδότησης

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

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.