



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Προστασία Σ.Η.Ε

Ενότητα 10: Προστασία μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος

Νικόλαος Βοβός
Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών



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.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

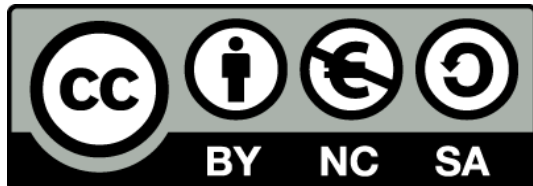
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Άδειες χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης creative commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκεινται σε άλλου τύπου άδειες χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Προστασία γεννήτριας

- Η εκλογή του συστήματος προστασίας πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά, γιατί ανεπιθύμητη λειτουργία του επιφέρει σχεδόν τα ίδια προβλήματα, όπως και η αποτυχία λειτουργίας του, που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές ζημιές των γεννητριών.
- Μία άλλη δυσκολία στην προστασία γεννητριών είναι το γεγονός ότι το άνοιγμα ενός διακόπτη για την απομόνωση της γεννήτριας με το σφάλμα δεν είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετό. Για παράδειγμα η γεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί ισχύ σε ένα βραχυκύκλωμα γης του τυλίγματος του στάτη και μετά την αποσύνδεση της, μέχρις ότου μηδενισθεί το πεδίο διέγερσης.
- Πολύ λίγες γεννήτριες έχουν ένα ακόμα τριφασικό διακόπτη για την αποσύνδεση του τυλίγματος από τον ουδέτερο και τη διακοπή του δρόμου βραχυκυκλώματος.
- Γι' αυτό, εκτός από τη λειτουργία του διακόπτη σύνδεσης, είναι απαραίτητος ο μηδενισμός του πεδίου, η διακοπή του ατμού, του νερού ή του καύσιμου στη συσκευή που δίνει τη μηχανική ενέργεια και σε μερικές περιπτώσεις η χρησιμοποίηση φρένου. Επί πλέον, σε μερικές μεγάλες γεννήτριες τροφοδοτείται διοξείδιο του άνθρακα για το σβήσιμο πιθανού τόξου.



Προστασία του στάτη(1)

- Επειδή ένα βραχυκύκλωμα γης (περίπτωση βραχυκύκλωσης αγωγού του στάτη με τον πυρήνα) δημιουργεί τόξο υψηλής θερμοκρασίας και έχει καταστροφικά αποτελέσματα, το ρεύμα βραχυκύκλωσης συνήθως περιορίζεται με τη χρησιμοποίηση σύνθετης αντίστασης στον ουδέτερο της γεννήτριας.
- Αυτή η σύνθετη αντίσταση μπορεί να είναι μία απλή ωμική αντίσταση, ένας μετασχηματιστής διανομής με ωμική αντίσταση για φορτίο, μία επαγωγή ή ένας μετασχηματιστής τάσης.
- Όταν το ρεύμα ουδετέρου περιορίζεται στα 250 A, απαιτούνται μεγάλης ταχύτητας ηλεκτρονόμοι και διακόπτες για να εμποδίσουν σοβαρές ζημιές του πυρήνα. Όταν το ρεύμα περιορίζεται σε λιγότερο από 5 A και μικρής ταχύτητας ηλεκτρονόμοι είναι αρκετοί.



Προστασία του στάτη(2)

- Όσο πιο μεγάλη είναι η αντίσταση ουδετέρου τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να δημιουργηθεί ένα άλλο βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα. Αυτό οφείλεται σε υπέρταση, που δημιουργείται λόγω συντονισμού μεταξύ της χωρητικότητας που δημιουργεί ο στάτης με τη γη και της επαγωγής των άλλων συσκευών, που συνδέονται στο στάση.
- Η αντίσταση ουδετέρου δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή:

$$R_n = \frac{10^6}{6\pi f c} \Omega$$

όπου:

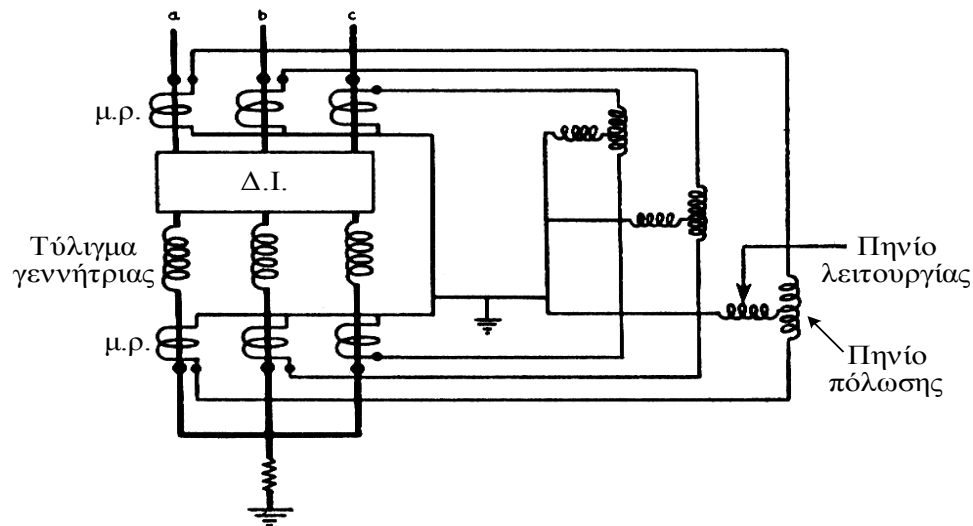
C: η χωρητικότητα του στάτη με τη γη ανά φάση σε μF.

f: η συχνότητα του συστήματος.



Βραχυκυκλώματα στο στάτη μεταξύ φάσεων και γης(1)

- Βραχυκυκλώματα μεταξύ αγωγού και σιδηρού πυρήνα μπορούν να λειώσουν και να συγκολλήσουν μεταξύ τους τις ραβδώσεις του σιδήρου, οπότε απαιτείται αντικατάσταση του πυρήνα.
- Για να αποφύγουμε τέτοιου είδους καταστροφές, για γεννήτριες πάνω από 1 MVA, χρησιμοποιείται η διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμους μεγάλης ταχύτητας, που συγκρίνουν το ρεύμα στα δύο άκρα κάθε φασικού τυλίγματος.

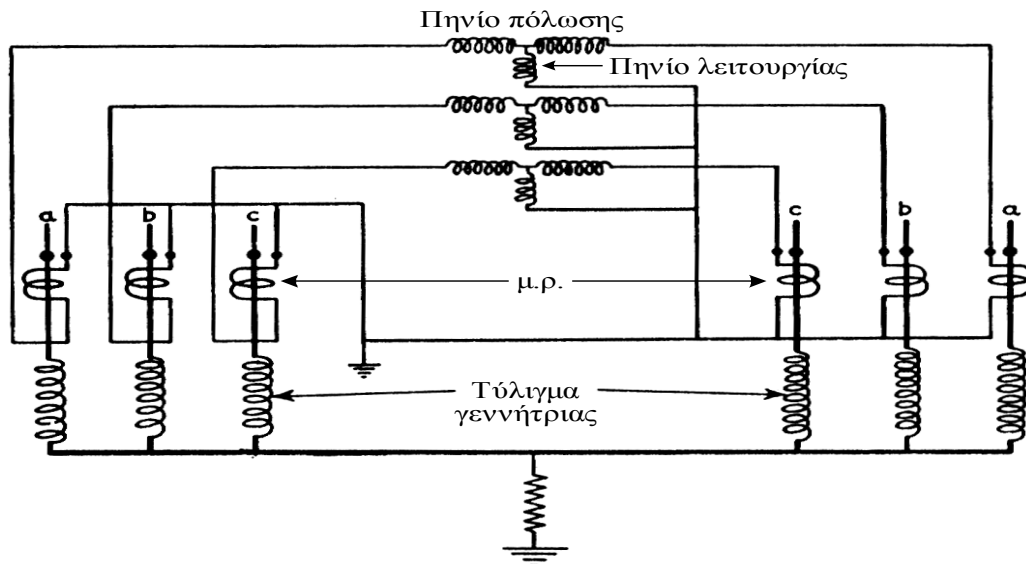


Σχηματική παράσταση για διαφορική προστασία γεννητριών.



Βραχυκυκλώματα στο στάτη μεταξύ φάσεων και γης(2)

- Αν υπάρχουν παράλληλα τυλίγματα της ίδιας φάσης που καταλήγουν σε διαφορετικούς ακροδέκτες, ένας άλλος ηλεκτρονόμος συγκρίνει τα δύο ρεύματα της ίδιας φάσης (εγκάρσια διαφορική προστασία). Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται και προστασία υποστήριξης και ανακαλύπτονται βραχυκυκλώματα μεταξύ των αγωγών της ίδιας φάσης.



Σχηματική παράσταση για εγκάρσια διαφορική προστασία γεννητριών.



Βραχυκυκλώματα στο στάτη μεταξύ φάσεων και γης(3)

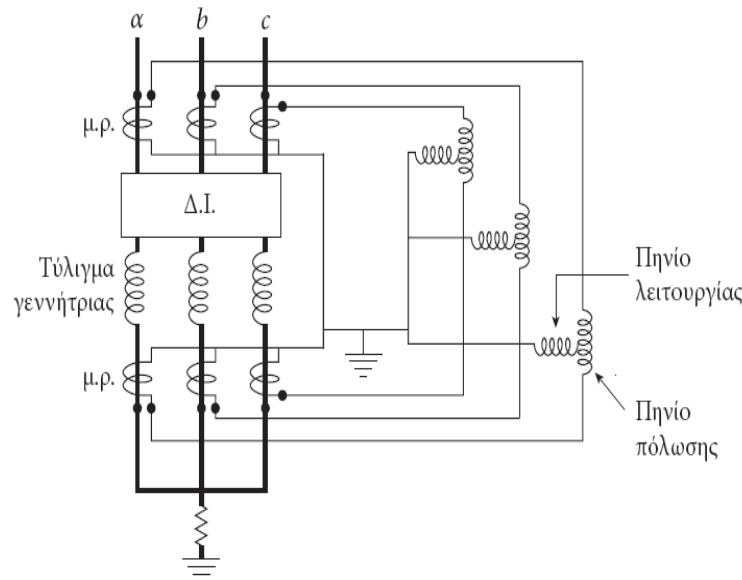
- Σε γεννήτριες μικρότερες του 1 MVA μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονόμοι υπέρτάσης, οι οποίοι όμως πρέπει να ελέγχονται από στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπότασης. Αυτοί κάνουν τους ηλεκτρονόμους υπέρτάσης ταχύτερους και πιο ευαίσθητους για πτώση τάσης κάτω του 50%, πράγμα που σημαίνει βραχυκύκλωμα στη γεννήτρια.
- Στις σύγχρονες μονάδες που χρησιμοποιείται το ζεύγος γεννήτρια-μετασχηματιστής ισχύος, ένας ευαίσθητος ηλεκτρονόμος μηδενικής ακολουθίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προστασία από όλα τα βραχυκυκλώματα γης.
- Μη γειωμένες γεννήτριες είναι σπάνιες, αλλά όταν υπάρχουν, ένα βραχυκύκλωμα γης του στάτη ανακαλύπτεται με ηλεκτροστατικούς ανιχνευτές γης, επειδή το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε αυτήν την περίπτωση είναι το μικρό χωρητικό ρεύμα που τροφοδοτούν οι υγιείς φάσεις.



Παράδειγμα

Μία γεννήτρια συνδεδεμένη σε αστέρα **37.5 MVA, 33 KV** έχει διαφορική προστασία ρεύματος με μετασχηματιστές ρεύματος που έχουν λόγο **600/1 A** και επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου **10%** του ονομαστικού του ρεύματος (**1A**).

- **(α)** Αν η αντίσταση γείωσης είναι **0.9 pu** (με βάση τις ονομαστικές τιμές της γεννήτριας) να υπολογίσετε τι ποσοστό (%) του τυλίγματος του στάτη δεν προστατεύεται από ένα βραχυκύκλωμα γης.
- **(β)** Αν θέλουμε να προστατεύσουμε το **90%** του τυλίγματος, να υπολογίσετε την τιμή της αντίστασης γείωσης σε Ω και σε pu με βάση τις ονομαστικές τιμές της γεννήτριας.



Λύση(1)

- **(α)** Για να λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος το ρεύμα στο πρωτεύον του μετασχηματιστή ρεύματος πρέπει να είναι:

$$I_p = 0.1 * 600 = 60 \text{ A}$$

- Αυτό το ρεύμα σε pu είναι:

37.5 MVA, 33KV

$$I_b = \frac{37.5 * 10^3}{\sqrt{3} * 33} \text{ A} = 656.09 \text{ A και}$$

$$I_p = \frac{60}{656.09} = 0.09145 \text{ pu}$$

- Αν R_e είναι η αντίσταση γείωσης, για να αναπτυχθεί σε αυτήν το ρεύμα I_p , χρειάζεται να εφαρμόσουμε μία τάση από το τύλιγμα της γεννήτριας ίση με:

$$V = R_e I_p = 0.9 * 0.09145 \text{ pu} = 0.0823 \text{ pu}$$

- Όλο το τύλιγμα δημιουργεί τάση 1 pu, άρα τάση 0.0823 pu δημιουργεί το 8.23 % του τυλίγματος από το σημείο γείωσης, που είναι και το ποσοστό του τυλίγματος που δεν προστατεύεται και προστατεύεται το 91.77 %.



Λύση(2)

- **(β)** Για να προστατεύσουμε το 90% του τυλίγματος, το τύλιγμα που δεν θα προστατεύεται είναι 10% και σύμφωνα με τα προηγούμενα:

$$0.1 = R_e I_p \text{ και } R_e = \frac{0.1}{0.09145} pu = 1.0934 pu$$

- Επειδή:

37.5 MVA, 33KV

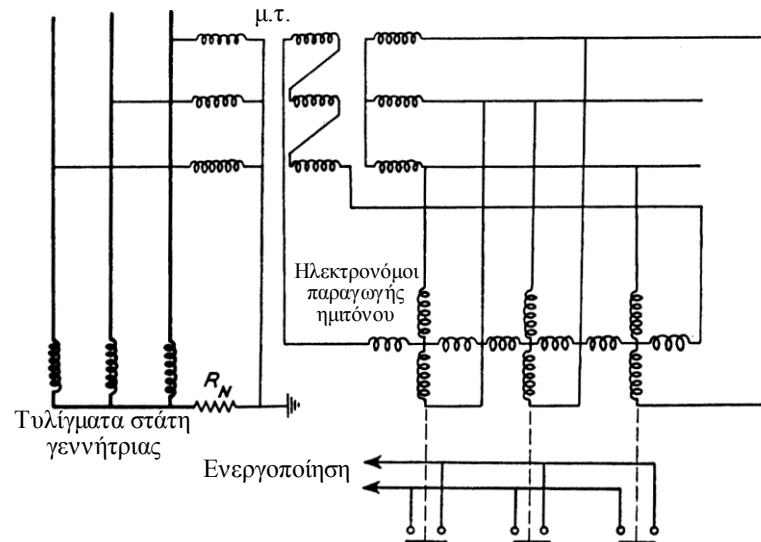
$$Z_b = \frac{33^2}{37.5} \Omega = 29.04 \Omega, \text{ έχουμε:}$$

$$R_e = 1.0934 * 29.04 \Omega = 31.752 \Omega$$



Εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών του στάτη(1)

- Η διαφορική προστασία δεν μπορεί να ανακαλύψει εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών, εκτός από αυτά που συμβαίνουν μεταξύ αγωγών διαφορετικών φάσεων, που βρίσκονται στο ίδιο αυλάκι.
- Όπως αναφέρθηκε, σε γεννήτριες με παράλληλα τυλίγματα που καταλήγουν σε διαφορετικούς ακροδέκτες, χρησιμοποιείται η εγκάρσια διαφορική προστασία.
- Στις υπόλοιπες γεννήτριες, για την ανακάλυψη τέτοιων βραχυκυκλωμάτων, στηριζόμαστε στη μηδενική ακολουθία τάσης, που δημιουργείται λόγω της ελάττωσης της ενεργού τιμής της βραχυκυκλωμένης φάσης.



Εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών του στάτη(2)

- Μία άλλη μέθοδος για την ανακάλυψη βραχυκυκλωμάτων σπειρών στο στάτη βασίζεται στο γεγονός, ότι κάθε ασυμμετρία στα ρεύματα του στάτη δημιουργεί μία συνιστώσα αρνητικής ακολουθίας.
- Αυτή δημιουργεί ένα πεδίο που περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα, όπως το πεδίο της συνιστώσας θετικής ακολουθίας του στάτη, αλλά στην αντίθετη κατεύθυνση και έτσι επάγει ένα ρεύμα διπλάσιας συχνότητας στο κύκλωμα του πεδίου.
- Αυτό το ρεύμα μπορεί να ανιχνευτεί από κατάλληλο ηλεκτρονόμο συντονισμού ΕΡ στο κύκλωμα του πεδίου. Ο ηλεκτρονόμος αυτός παρακολουθείται από ένα ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης αρνητικής ακολουθίας, που με αυτή τη σύνδεση ενεργοποιείται από όλα τα βραχυκυκλώματα στο τύλιγμα του στάτη και μένει ανεπηρέαστος από τα ασύμμετρα βραχυκυκλώματα εξωτερικά της γεννήτριας.
- Σε μεγάλες γεννήτριες εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών του στάτη δεν συμβαίνουν, γιατί υπάρχει μόνο μία στροφή μίας φάσης σε κάθε αυλάκι.

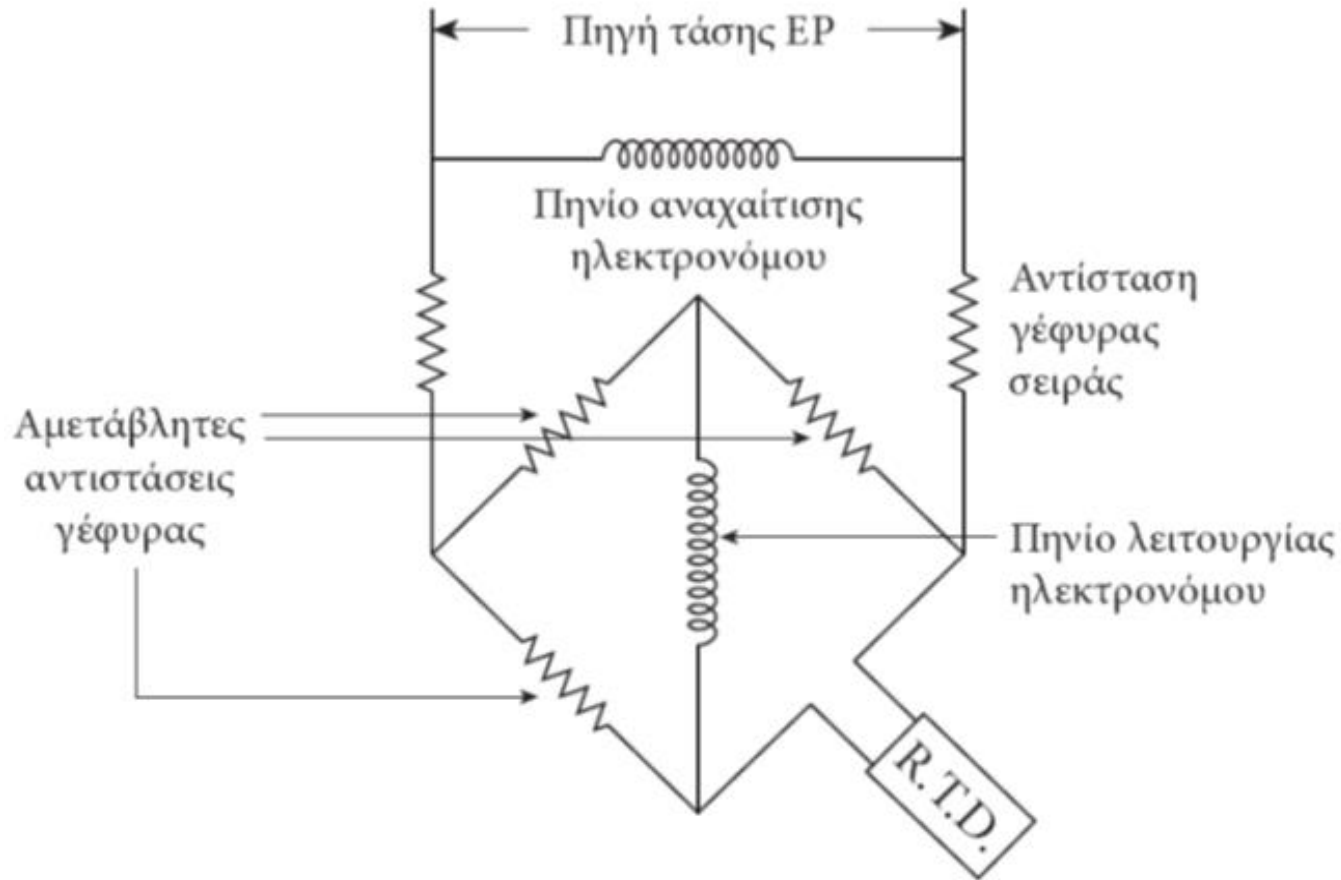


Υπερθέρμανση του στάτη(1)

- Οι κύριες αιτίες υπερθέρμανσης του στάτη προέρχονται από κακή ψύξη, υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα αγωγού με τον πυρήνα σιδήρου.
- Υπάρχουν δύο μέθοδοι για την ανίχνευση υπερθέρμανσης, που χρησιμοποιούνται όμως μόνο σε γεννήτριες μεγαλύτερες των 2 MVA.
- Με τη μία μέθοδο συγκρίνεται η θερμοκρασία του ψυκτικού υλικού στην είσοδο και στην έξοδο της γεννήτριας (το ψυκτικό υλικό μπορεί να είναι αέρας, υδρογόνο ή νερό).
- Με την άλλη μέθοδο χρησιμοποιούνται συσκευές που διαφοροποιούν τα χαρακτηριστικά τους συναρτήσει της θερμοκρασίας και τοποθετούνται στα αυλάκια σε διαφορετικά σημεία του τυλίγματος.



Υπερθέρμανση του στάτη(2)



Ανιχνευτής θερμοκρασίας με R.T.Ds και επαγωγικό ηλεκτρονόμο.



Υπέρταση στο στάτη

- Εκτός από τις μεταβατικές υπερτάσεις χειρισμών και κεραυνών η υπέρταση μπορεί να οφείλεται σε επιτάχυνση του δρομέα ή να προκαλείται από ελαττωματικό ρυθμιστή τάσης.
- Σε σύγχρονες γεννήτριες, που χρησιμοποιούν τη μηχανική ενέργεια ατμοστροβίλων, ο έλεγχος πραγματικής ισχύος είναι αρκετά γρήγορος για να προλαβαίνει μεγάλες υπερταχύνσεις και ο ρυθμιστής τάσης ενεργεί αρκετά γρήγορα, ώστε να προλαβαίνει σοβαρές υπερτάσεις, που οφείλονται στην επιτάχυνση της γεννήτριας όταν χάνει το φορτίο.
- Σε υδροστροβίλους η επιτάχυνση είναι μεγαλύτερη, γιατί απαιτείται περισσότερος χρόνος για το σταμάτημα της ροής του νερού στο στρόβιλο. Γι' αυτό συστήματα προστασίας υπέρτασης χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο σε συστήματα υδροστροβίλων.
- Ο ηλεκτρονόμος υπέρτασης έχει δύο μονάδες. Μία στιγμιαία που λειτουργεί για υπέρταση 25% για ατμοστρόβιλο ή 40% για υδροστρόβιλο και μία μονάδα αντίστροφου χρόνου, που αρχίζει να ενεργοποιείται για υπέρταση 10%. Στις δύο μονάδες πρέπει να λαμβάνονται μέτρα αντιστάθμισης της μεταβολής της συχνότητας.



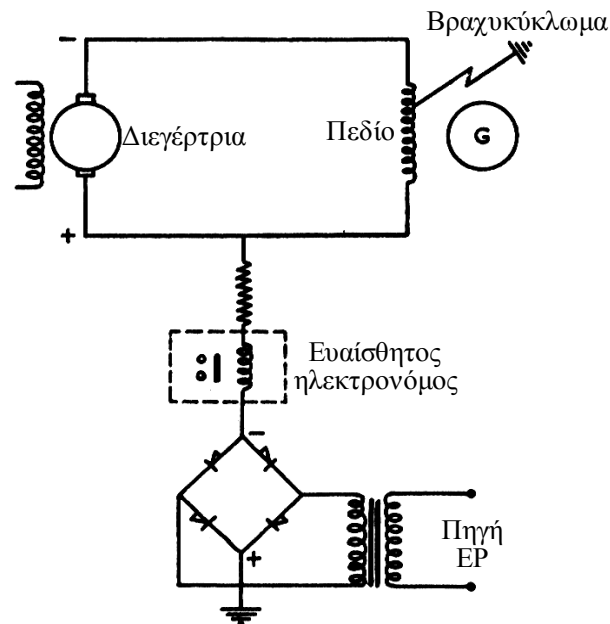
Προστασία του δρομέα

- Ζημιές στο τύλιγμα του δρομέα μπορούν να γίνουν από βραχυκυκλώματα γης ή ανοικτοκυκλώματα.
- Επίσης ζημιές στα διάφορα τεμάχια που αποτελούν το δρομέα μπορούν να συμβούν λόγω υπερθέρμανσης που προκαλείται από τα ασύμμετρα ρεύματα στο στάτη.



Βραχυκυκλώματα γης

- Αν το τύλιγμα του δρομέα είναι αγείοτο ένα βραχυκύκλωμα γης δεν προκαλεί διαταραχή, αλλά ένα δεύτερο βραχυκύκλωμα γης θα αυξήσει το ρεύμα σε ένα τμήμα του τυλίγματος, με αποτέλεσμα να δημιουργήσει ασύμμετρη ροή διακένου.
- Όμως μία ασυμμετρία ροής προκαλεί σοβαρές ταλαντώσεις, και συστροφή του δρομέα που είναι δυνατόν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές. Επίσης ένα δεύτερο βραχυκύκλωμα μπορεί να προκαλέσει τοπική θέρμανση και παραμόρφωση του δρομέα.



Ανίχνευση βραχυκυκλώματος γης.



Ανοικτοκύκλωμα

- Ανοικτοκύκλωμα του δρομέα είναι πολύ σπάνιο, αλλά όταν συμβεί πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί, γιατί το τόξο που ακολουθεί μπορεί να προκαλέσει ζημιές στο σίδηρο του δρομέα.
- Ο ηλεκτρονόμος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ανοικτοκυκλώματος είναι ο ίδιος που χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη της απώλειας πεδίου και περιγράφεται στη συνέχεια.



Ασύμμετρα ρεύματα στο στάτη(1)

- Η συνιστώσα αρνητικής ακολουθίας των ασύμμετρων ρευμάτων του στάτη επάγει ρεύματα διπλάσιας συχνότητας στο δρομέα.
- Αν η ασυμμετρία είναι σημαντική, προκαλείται υπερθέρμανση στα διάφορα κατασκευαστικά μέρη του δρομέα, που τείνει να εξασθενήσει τις σφήνες και τα δακτυλίδια συγκράτησης.
- Ο χρόνος για τον οποίο ο δρομέας μπορεί να αντέξει σε αυτές τις συνθήκες είναι αντίστροφα ανάλογος του τετραγώνου του ρεύματος αρνητικής ακολουθίας, δηλαδή:



Ασύμμετρα ρεύματα στο στάτη(2)

$$I_{-t} = K$$

- όπου K είναι μία σταθερά που παίρνει τιμές μεταξύ 7, για μεγάλα ατμοηλεκτρικά συστήματα με απ' ευθείας ψύξη και 60 για υδροηλεκτρικά συστήματα με έκτυπους πόλους και αερόψυκτο στάτη.
- Είναι σημαντικό για τον ηλεκτρονόμο προστασίας να έχει χρόνου-ρεύματος χαρακτηριστικά, που να ομοιάζουν όσο είναι δυνατόν περισσότερο με τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας, που δίνονται από την εξ. αντοχής.
- Γιατί, όσο είναι σημαντικό να αποσυνδέσουμε τη γεννήτρια μόλις ξεπεραστεί το K , το ίδιο σημαντικό είναι να μην την αποσυνδέσουμε, εφόσον δεν είναι απαραίτητο.



Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα σε στάτη και δρομέα(1)

(α) Επιτάχυνση.

- Όταν μία γεννήτρια χάσει το φορτίο της επιταχύνεται.
- Για ένα ατμοηλεκτρικό σύστημα είναι δυνατή η άμεση διακοπή της παροχής ατμού και η αποφυγή καταστροφών.
- Για υδροηλεκτρικά συστήματα αυτό δεν είναι δυνατόν, λόγω της μηχανικής και υδραυλικής αδράνειας και μπορεί να παρατηρηθεί υπερτάχυνση μέχρι 150% της κανονικής ταχύτητας.
- Οι υδροστρόβιλοι και οι ατμοστρόβιλοι προστατεύονται από μηχανικές συσκευές υπερτάχυνσης, αλλά λόγω της βραδείας απόκρισης των υδροστροβίλων, συνήθως σε αυτούς χρησιμοποιούνται και ηλεκτρονόμοι υπερτάχυνσης. Το επίπεδο επιλογής αυτών των ηλεκτρονόμων είναι 115% για μηχανές ατμού και 140% για υδροηλεκτρικές μηχανές.



Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα σε στάτη και δρομέα(2)

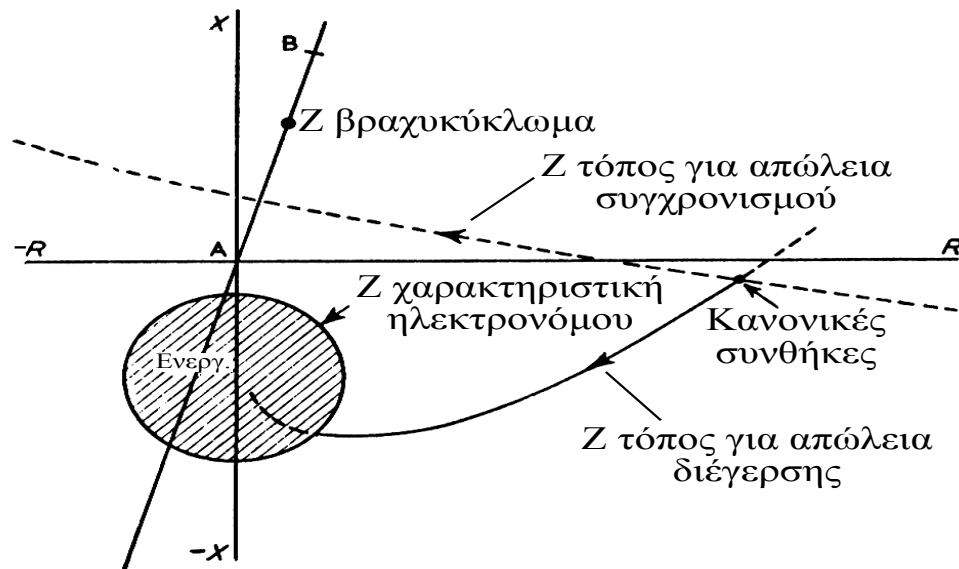
(β) Λειτουργία σαν κινητήρας.

- Μερικές φορές η γεννήτρια φθάνει σε κατάσταση να λειτουργεί σαν κινητήρας. Μία τέτοια κατάσταση ανακαλύπτεται από βαττομετρικούς ηλεκτρονόμους, που ενεργοποιούνται όταν έχουμε περίπου 0.5% αντιστροφή ισχύος.



Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα σε στάτη και δρομέα(3) (γ) Απώλεια του πεδίου.

- Όταν μία γεννήτρια χάσει το πεδίο της επιταχύνεται ελαφρά και δρα σαν μία επαγωγική γεννήτρια που δεν έχει τύλιγμα απόσβεσης.
- Ο πιο αξιόπιστος τρόπος για την ανακάλυψη τέτοιων σφαλμάτων είναι η χρησιμοποίηση ηλεκτρονόμων σύνθετης αγωγιμότητας (mho) ή κατεύθυνσης - σύνθετης αντίστασης, που τα χαρακτηριστικά τους βρίσκονται στην περιοχή αρνητικής σύνθετης αντίστασης.



*Χαρακτηριστικά σύνθετης αντίστασης ηλεκτρονόμου mho
για την ανακάλυψη απώλειας πεδίου.*



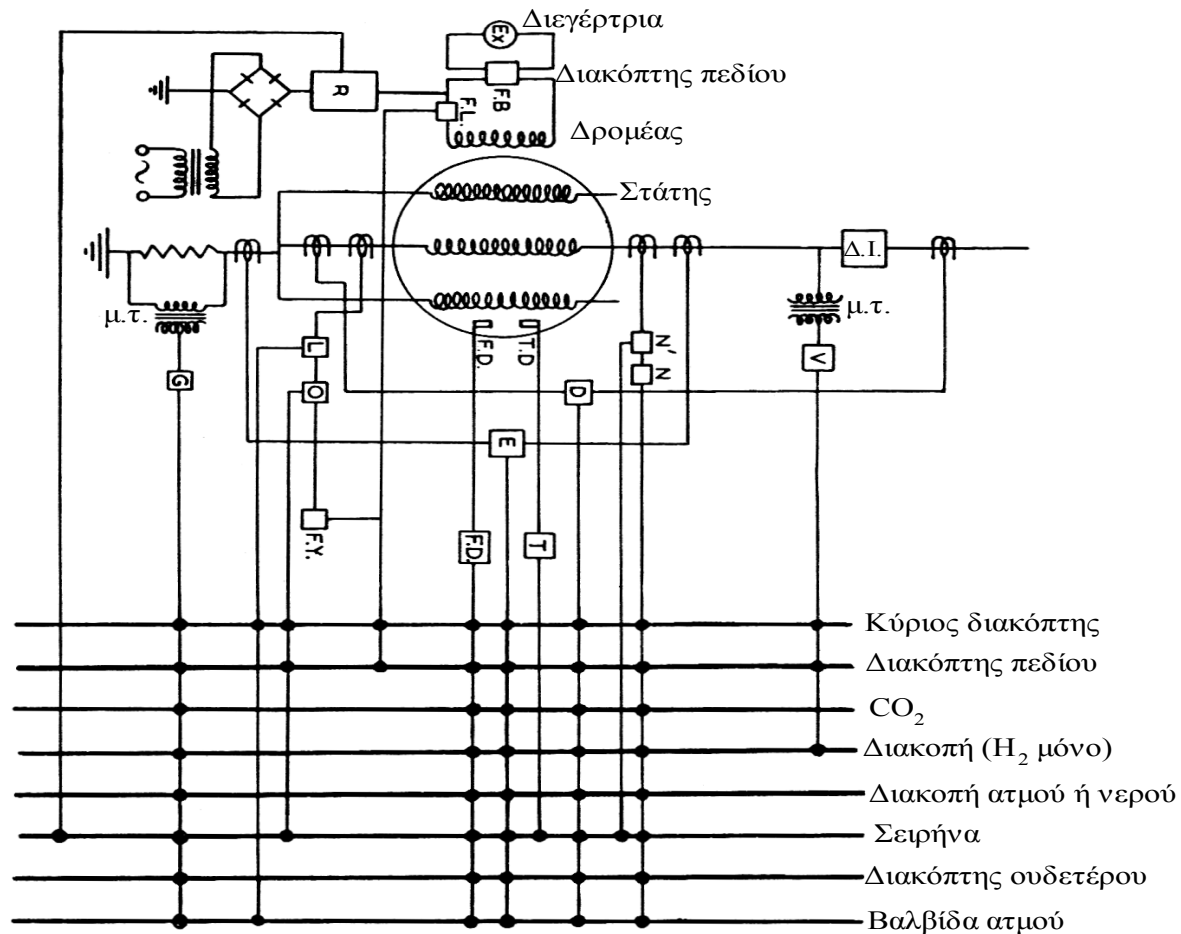
Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα σε στάτη και δρομέα(4)

δ) Εσφαλμένη λειτουργία του ρυθμιστή τάσης.

- Για προστασία χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης ΣΡ ορισμένου χρόνου, που τροφοδοτείται από ένα ΣΡ μετασχηματιστή ρεύματος στο κύκλωμα του δρομέα.
- Επειδή ο δρομέας δέχεται υπερεύματα και κατά τη διάρκεια βραχυκυκλωμάτων στο σύστημα, ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το χρόνο εκκαθάρισης των βραχυκυκλωμάτων στο σύστημα.
- Έτσι ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί μόνο αν η κατάσταση υπερέντασης στο δρομέα διατηρηθεί πέραν αυτού του χρόνου εκκαθάρισης και επαναφέρει τη διέγερση σε μία καθορισμένη τιμή.



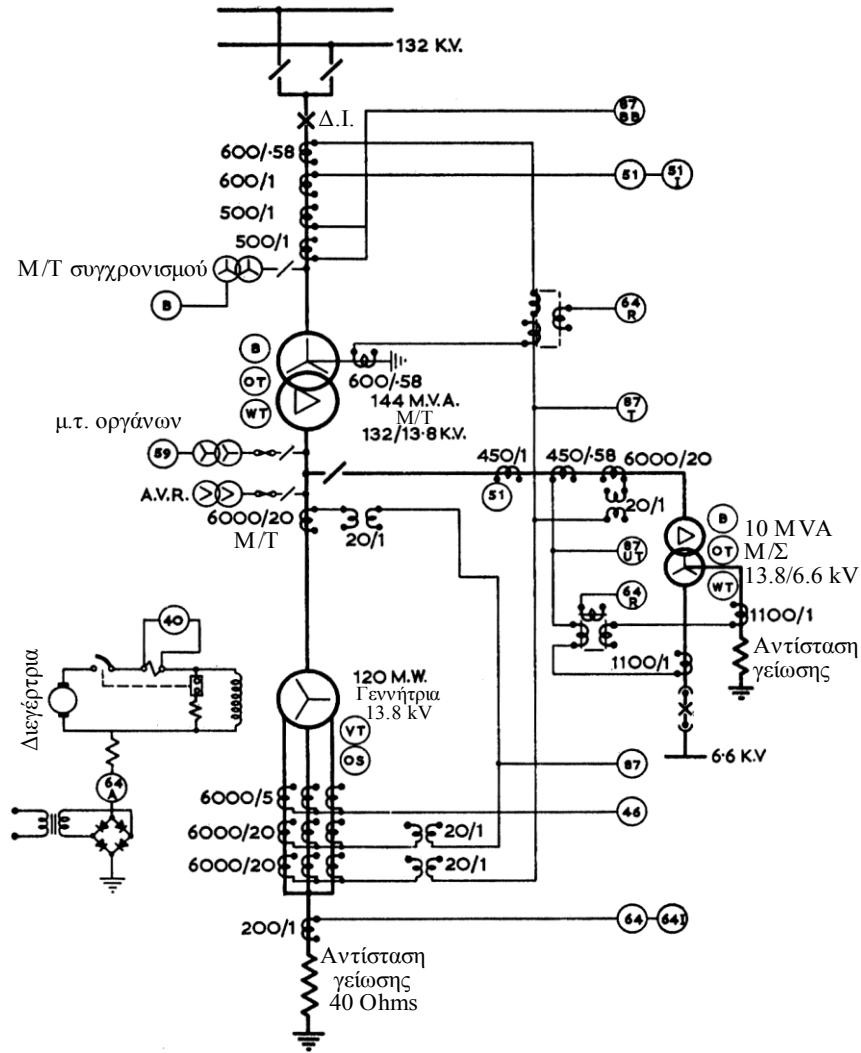
Γενικό διάγραμμα προστασίας γεννήτριας



Γενικό διάγραμμα προστασίας γεννήτριας.



Προστασία συστήματος γεννήτριας-μετασχηματιστή



Τυπική προστασία συστήματος γεννήτριας-μετασχηματιστή.



Προστασία κινητήρων ΕΡ

- Στους κινητήρες ΕΡ περιλαμβάνονται οι σύγχρονοι κινητήρες, οι σύγχρονοι αντισταθμιστές και οι επαγωγικοί κινητήρες.
- Οι μικρότεροι κινητήρες, που χρησιμοποιούνται σαν βοηθητικές συσκευές στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και τη βιομηχανία, προστατεύονται από βραχυκυκλώματα στο στάτη, υπερφόρτιση, ασύμμετρα φασικά ρεύματα, αντίστροφη ή ανοικτοκυκλωμένης φάσης εκκίνηση και υπόταση.
- Η προστασία μεγάλων σύγχρονων κινητήρων και σύγχρονων αντισταθμιστών είναι όμοια με των σύγχρονων γεννητριών.
- Γι αυτό στη συνέχεια θα ασχοληθούμε κυρίως με επαγωγικούς κινητήρες. Γι αυτούς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που πρέπει να συνεκτιμηθούν είναι η μεταβολή του μεγάλου ρεύματος εκκίνησης συναρτήσει του χρόνου, το ρεύμα κατά την απώλεια στήριξης (stall) του δρομέα και η ικανότητά τους σε θερμική καταπόνηση κατά τη χρήση τους σε διαφορετικές εφαρμογές.



Προβλήματα κινητήρων(1)

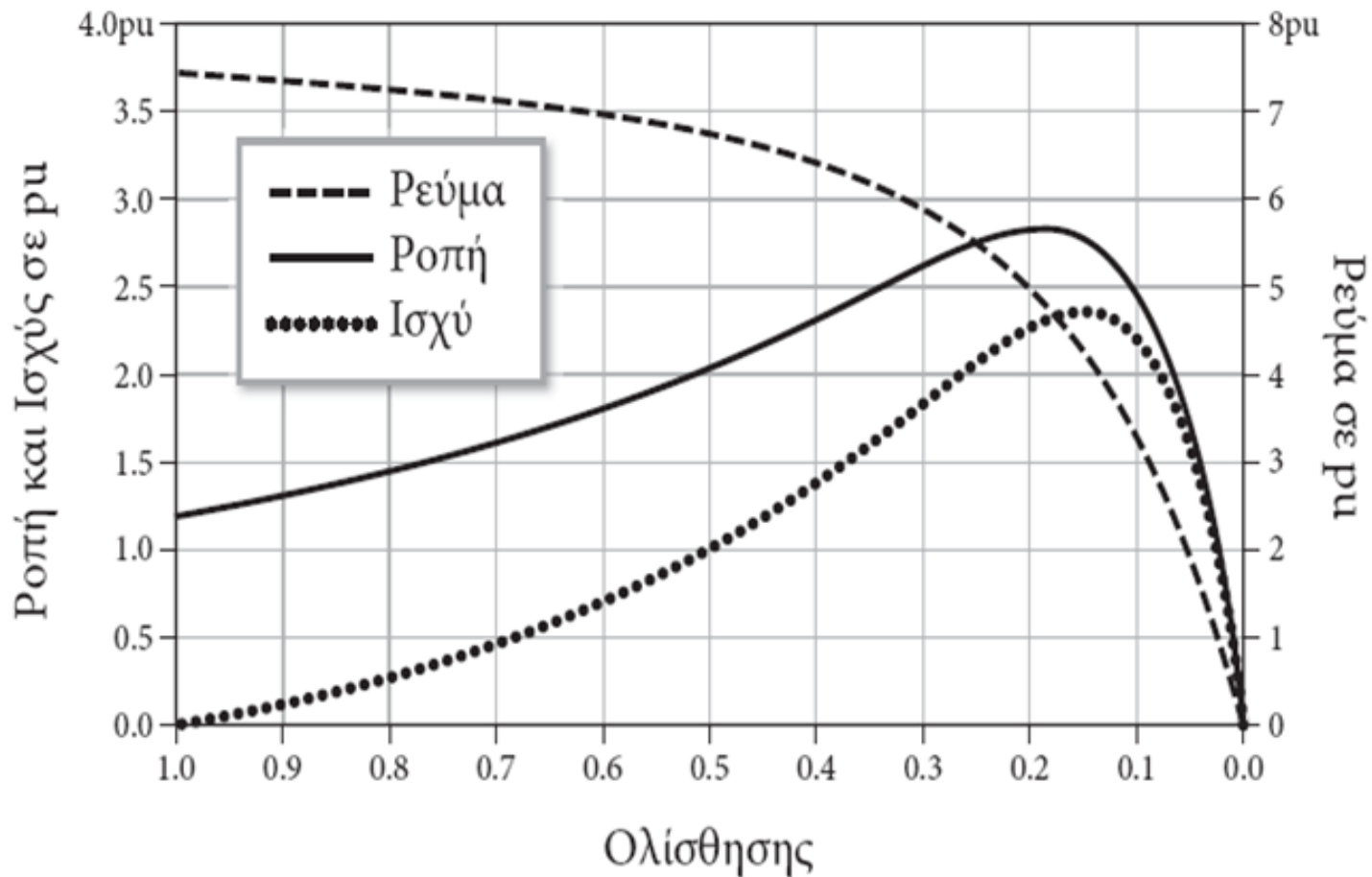
Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

1) Προβλήματα από σφάλματα εντός της μηχανής ηλεκτρικά ή μηχανικά.

- Αυτά περιλαμβάνουν βραχυκυκλώματα τυλιγμάτων (πάντα στο τέλος περιλαμβάνουν τη γη), καταστροφές τριβέων (ρουλεμάν) και επερχόμενους κινδύνους από υπερθέρμανση τυλιγμάτων και φθορές τριβέων.
- Το πρόβλημα για τα συστήματα προστασίας τους είναι ότι τα ρεύματα βραχυκυκλωμάτων πρέπει να διακριθούν από τα ρεύματα εκκίνησης των κινητήρων, που είναι εξίσου μεγάλα.



Προβλήματα κινητήρων(2)



Ρεύμα, ισχύς και ροπή επαγωγικού κινητήρα συνάρτηση της ολίσθησης από την εκκίνησή του μέχρι την κανονική λειτουργία.



Προβλήματα κινητήρων(3)

- Επίσης κάποια φορτία μπορούν να προκαλέσουν απώλεια στήριξης του κινητήρα, μία κατάσταση που δημιουργεί ρεύματα όμοια με την εκκίνηση.
- Για να την αντιμετωπίσουμε πρέπει ή να μεταβάλλουμε το μηχανικό φορτίο ή να αποσυνδέσουμε τον κινητήρα πριν η μεγάλη θερμοκρασία φθείρει τη μόνωση.
- Αυτό σημαίνει ότι η προστασία πρέπει να επιτρέπει τη μέγιστη αξιοποίηση του κινητήρα αλλά και να τον προφυλάσσει ακόμα και από προσωρινές «κανονικές» φορτίσεις, που μπορούν να του προκαλέσουν ζημιές.



Προβλήματα κινητήρων(4)

- Η φθορά απλών τριβέων που χρησιμοποιούν οι κινητήρες μέχρι 500 hr δεν ανακαλύπτεται πριν τη μηχανική καταστροφή, οπότε η προστασία πρέπει να αποσυνδέσει τον κινητήρα πολύ γρήγορα.
- Για μεγαλύτερους κινητήρες που οι τριβείς τους λιπαίνονται με λάδι υπό πίεση (από ξεχωριστά συστήματα), η παρακολούθηση της θερμοκρασίας λαδιού μπορεί να μας προειδοποιήσει για φθορές, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει κάποια τιμή.



Προβλήματα κινητήρων(5)

2) Προβλήματα από σφάλματα εκτός της μηχανής.

- Αυτά τα προβλήματα επηρεάζουν την απόδοση των κινητήρων και είναι αιτία για άμεσα ή επερχόμενα σφάλματα των κινητήρων, για αυτό απαιτούν παρακολούθηση και πιθανή ενεργοποίησή της προστασίας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

(α) Ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας με ακραία περίπτωση την απώλεια μίας φάσης.

- Η ασυμμετρία των τάσεων προκαλεί ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, που οδηγούν σε πολύ μικρή ροπή και η σημαντικότερη επίδρασή τους είναι η αύξηση των θερμικών απωλειών του δρομέα .
- Μία ασυμμετρία των τάσεων κατά 10% μειώνει την ονομαστική ισχύ εξόδου στο 55% και πρέπει να παρακολουθείται για να αποτρέπεται μακροχρόνια υπερθέρμανση των κινητήρων.



Προβλήματα κινητήρων(6)

(β) Ελαττωμένη συχνότητα συστήματος.

- Σε αυτήν την περίπτωση ο επαγωγικός κινητήρας στρέφεται με μικρότερη ταχύτητα, αποδίδει μικρότερη ισχύ στο φορτίο, απορροφά μεγαλύτερη άεργο ισχύ και περιορίζεται η απόδοση του συστήματος ψύξεως του, που συνήθως εξαρτάται από την ταχύτητά του, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του.
- Αυτή η κατάσταση δεν προκαλεί υποχρεωτικά ζημιά στον κινητήρα, αλλά μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στο φορτίο του.



Προβλήματα κινητήρων(7)

(γ) Απώλεια στήριξης του κινητήρα.

- Αυτό συμβαίνει όταν το φορτίο ξεπεράσει τη ροπή που μπορεί να δώσει ο κινητήρας, είτε κατά την εκκίνηση είτε όταν περιστρέφεται.
- Απώλεια στήριξης επίσης μπορεί να συμβεί όταν χάσουμε μια φάση, οπότε μειώνεται σημαντικά η αναπτυσσόμενη από τον κινητήρα ροπή.
- Κατά την απώλεια στήριξης το ρεύμα αυξάνεται πέντε με οκτώ φορές περισσότερο από το κανονικό πλήρες ρεύμα φορτίου και η προστασία πρέπει γρήγορα να αποσυνδέσει τον κινητήρα για να μην υποστεί μόνιμες καταστροφές.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(1)

- **Προστασία φασικών βραχυκυκλωμάτων.**
- Παρόλο που τα φασικά βραχυκυκλώματα γρήγορα εξελίσσονται σε βραχυκύκλωμα γης, η πρακτική είναι να υπάρχει και προστασία για φασικά βραχυκυκλώματα.
- Για μετρίου μεγέθους κινητήρες χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι υπέρεντασης, στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπέρεντασης και ασφάλειες, αλλά η επιλογή των χαρακτηριστικών τους και η ρύθμισή τους είναι δύσκολη.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(2)

- Το επίπεδο επιλογής των ηλεκτρονόμων υπερέντασης ρυθμίζεται να είναι περίπου τέσσερις φορές το ονομαστικό ρεύμα, αλλά με αρκετή καθυστέρηση ώστε να μη λειτουργούν κατά την εκκίνηση.
- Το επίπεδο επιλογής των στιγμιαίων ηλεκτρονόμων υπερέντασης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα κατά την απώλεια στήριξης του κινητήρα, αλλά μικρότερο από το φασικό ρεύμα βραχυκυκλώματος.
- Η χαρακτηριστική της ασφάλειας πρέπει να είναι πάνω από την καμπύλη του ρεύματος εκκίνησης του κινητήρα και όσο το δυνατόν πλησιέστερα σε αυτήν.
- Λόγω των προηγούμενων δυσκολιών σε μεγάλους κινητήρες χρησιμοποιείται διαφορική προστασία ρεύματος σε κάθε φάση, με επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου 10% του πλήρες ρεύματος φορτίου.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(3)

- **Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης.**
- Αυτή η προστασία περιλαμβάνεται σε όλους τους κινητήρες και επειδή έχουν συνδεδεμένα τα τυλίγματα τους σε αγείωτο αστέρα η προστασία γίνεται από στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπέρ έντασης, που τοποθετούνται στον αγωγό γείωσης του αστέρα του μετασχηματιστή που τροφοδοτεί τον κινητήρα.
- Το επίπεδο επιλογής τους είναι περίπου 20% του πλήρους ρεύματος φορτίου.
- Για να αποφύγουμε ενεργοποίηση κατά την εκκίνηση του κινητήρα λόγω άνισου κόρου των μετασχηματιστών ρεύματος χρησιμοποιούμε ρυθμίσεις που οδηγούν όλους τους μετασχηματιστές ρεύματος σε ομοιόμορφο μεγάλο κόρο ή χρησιμοποιούμε αντίσταση σταθεροποίησης στον ηλεκτρονόμο.

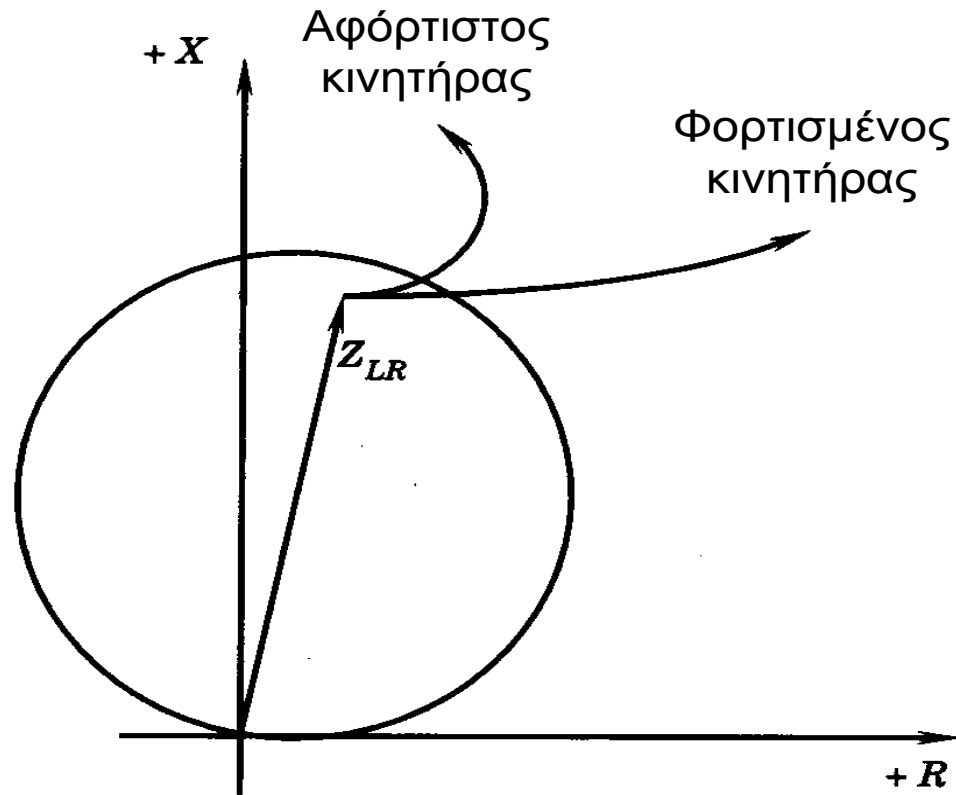


Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(4)

- Προστασία κατά την απώλεια στήριξης.
- Ένας τυπικός επαγωγικός κινητήρας μπορεί να δεχθεί το ρεύμα κατά την απώλεια στήριξης για περίπου 20 s, οπότε αν η πλήρη εκκίνηση του κινητήρα διαρκεί μέχρι περίπου 10s υπάρχει περιθώριο ώστε ο ηλεκτρονόμος υπερέντασης να μην ενεργοποιείται στην εκκίνηση αλλά στην απώλεια στήριξης.
- Αν δεν υπάρχει το προαναφερθέν χρησιμοποιείται ένας διμεταλλικός θερμικός ηλεκτρονόμος με χαρακτηριστική $I^2 t$, ώστε να ενεργοποιείται περίπου στο χρόνο που μπορεί να ανεχθεί ο κινητήρας το ρεύμα απώλειας στήριξης.
- Για τη προστασία της απώλειας στήριξης κατά την εκκίνηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μηο ηλεκτρονόμος απόστασης με χρονοδιακόπτη.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(5)



Χαρακτηριστική τμηο ηλεκτρονόμου για προστασία κινητήρα κατά την απώλεια στήριξης.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(6)

- **Προστασία υπερφόρτισης.**
- Σχεδιάζεται για να αποτρέπει την υπερθέρμανση κατά την παρατεταμένη υπερφόρτιση του κινητήρα.
- Για την πραγματοποίησή της σε όχι πολύ σημαντικούς κινητήρες χρησιμοποιείται η μέθοδος έμμεσης μέτρησης της θερμοκρασίας.
- Για μεγαλύτερους κινητήρες χρησιμοποιείται η άμεση μέτρηση της θερμοκρασίας με τη γέφυρα Wheatstone.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(7)

- **Προστασία υπότασης.**
- Ελάττωση της τάσης τροφοδοσίας προκαλεί μείωση της ταχύτητας περιστροφής και αύξηση του ρεύματος.
- Η προστασία υπότασης εφαρμόζεται τουλάχιστον σε μια φάση για μικρούς κινητήρες και σε όλες τις φάσεις για κινητήρες μεγαλύτερους από 1500 hp.
- Παρέχεται από ηλεκτρονόμους υπότασης αντίστροφου χρόνου, αν και εφεδρική προστασία παρέχεται από ηλεκτρονόμους υπέρτάσης και υπερφόρτισης.
- Σε κρίσιμες υποτάσεις ο κινητήρας πρέπει να αποσυνδέεται αμέσως.
- Προστασία υπότασης παρέχεται επίσης από όλες τις διατάξεις ελέγχου (με αντιστροφείς πηγής τάσης) επαγωγικών κινητήρων.



Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων(8)

- **Προστασία σε ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας.**
- Προστασία σε ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας μπορεί να παρέχεται από ένα τριφασικό ηλεκτρονόμο τάσης απαγωγικού δίσκου.
- Αυτός εμποδίζει την εκκίνηση του κινητήρα με ασύμμετρες τάσεις, αλλά δεν τον προστατεύει από την υπερθέρμανση, όταν η ασυμμετρία των τάσεων συμβεί κατά τη λειτουργία του.
- Επειδή η ασυμμετρία των τάσεων προκαλεί ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, ένας στιγμιαίος ηλεκτρονόμος υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας παρέχει μέγιστη ευαισθησία σε ασυμμετρία τάσεων.



Προστασία βοηθητικών συσκευών σε ηλεκτρικούς σταθμούς

- Οι βοηθητικές συσκευές στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαιρούνται στις **ουσιώδεις** και τις **μη ουσιώδεις**. Στις πρώτες ανήκουν:
 - Αντλίες τροφοδοσία του λέβητα.
 - Αντλίες συμπυκνωτή.
 - Ανεμιστήρες εξαναγκασμένης ροής αέρα.
 - Κύριοι ανεμιστήρες αέρα.
 - Καυστήρες.
 - Αντλίες κυκλοφορίας.
 - Σύστημα διέγερσης.
 - Αντλίες πρόκλησης ρεύματος αέρα.
 - Τροφοδότες κονιορτοποίησης κάρβουνου.
 - Μονάδες κονιορτοποίησης κάρβουνου.
- Στις **μη ουσιώδεις** περιλαμβάνονται:
 - Συσκευές επεξεργασίας κάρβουνου.
 - Κεντρικοί κονιορτοποιοί κάρβουνου.
 - Τροχιστές.
 - Συμπιεστές αέρα.
 - Σπαστήρες κάρβουνου.
 - Μεταγωγείς θερμότητας.
 - Ανεμιστήρες εξαερισμού.
 - Αντλίες εξυπηρέτησης.
- Η προστασία των δυο ομάδων είναι συνήθως όμοια, αλλά η προστασία των **ουσιωδών** συσκευών περιλαμβάνει και εφεδρική τροφοδοσία για την ταχύτερη επαναλειτουργία τους, σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας τους.



Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτήν την ενότητα είναι από το βιβλίο «Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Ν. Α. Βοβός, Εκδόσεις Ζήτη.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» 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.

