

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 9 Προστασία μηχανών ΕΡ



Γενικά περί προστασίας γεννήτριας

- Η εκλογή του συστήματος προστασίας πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά.
- Ανεπιθύμητη λειτουργία του επιφέρει σχεδόν τα ίδια προβλήματα, όπως και η αποτυχία λειτουργίας του.
- Πέρα από τη μηχανική κίνηση, άλλη δυσκολία που αντιμετωπίζουμε 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 τυλίγματος του στάτη και μετά την αποσύνδεση της, μέχρις ότου μηδενισθεί το πεδίο διέγερσης.
- Λίγες γεννήτριες έχουν διακόπτη για την αποσύνδεση του τυλίγματος από τον ουδέτερο και τη διακοπή του δρόμου βραχυκυκλώματος.
- Γι' αυτό, εκτός από τη λειτουργία του διακόπτη σύνδεσης χρειάζεται:
 - μηδενισμός του πεδίου,
 - διακοπή του ατμού, του νερού ή του καύσιμου στη συσκευή που δίνει τη μηχανική ενέργεια στον άξονα ή ακόμα και χρησιμοποίηση φρένου.
 - σε μερικές μεγάλες γεννήτριες τροφοδοτείται διοξείδιο του άνθρακα για το σβήσιμο πιθανού τόξου.

Αντίσταση γείωσης ουδέτερου

- Ένα βραχυκύκλωμα γης (περίπτωση βραχυκύκλωσης αγωγού του στάτη με τον πυρήνα) δημιουργεί τόξο υψηλής θερμοκρασίας με καταστροφικά αποτελέσματα.
- Για αυτό το λόγο 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 ουδέτερου 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.

- 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 ξεπερνά την τιμή:

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

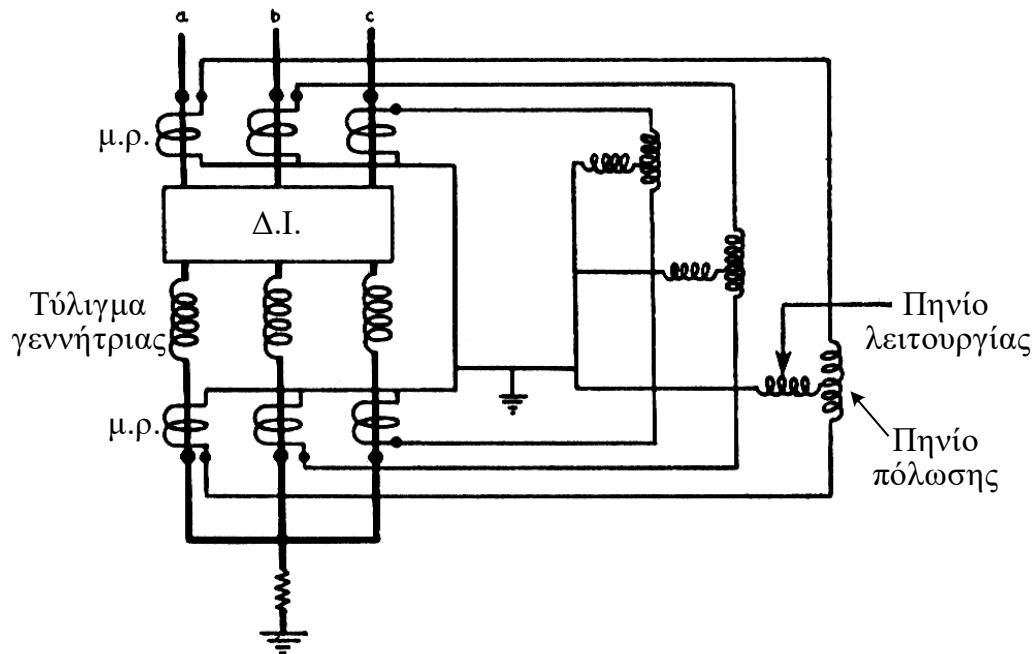
όπου: C είναι η χωρητικότητα του στάτη με τη γη ανά φάση σε μF .
 f είναι η συχνότητα του συστήματος.

- Όταν για τη γείωση χρησιμοποιείται Μ/Σ διανομής με φορτίο ωμική αντίσταση η τιμή αυτής της αντίστασης πρέπει να αναφερθεί στο πρωτεύον.
- Έτσι πρέπει να πολλαπλασιάζεται με το τετράγωνο του λόγου σπειρών N του Μ/Σ διανομής και η τιμή της δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή:

$$R_n = \frac{10^6}{6\pi f C N^2}$$

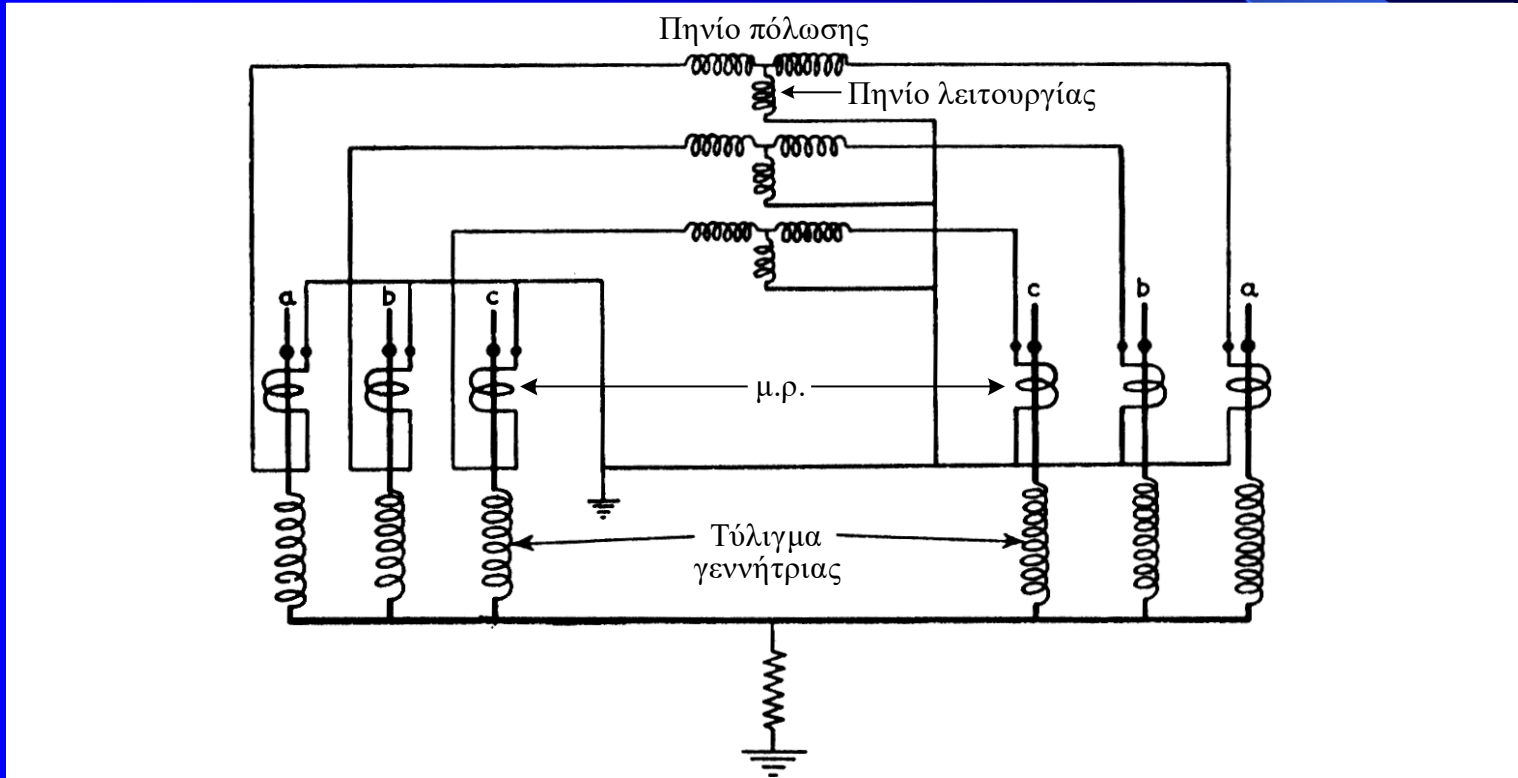
Βραχυκυκλώματα στο στάτη με τη γη

- Βραχυκυκλώματα μεταξύ αγωγού και πυρήνα σιδήρου μπορούν να λειώσουν και να συγκολλήσουν μεταξύ τους τις ραβδώσεις του, 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.

- 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.

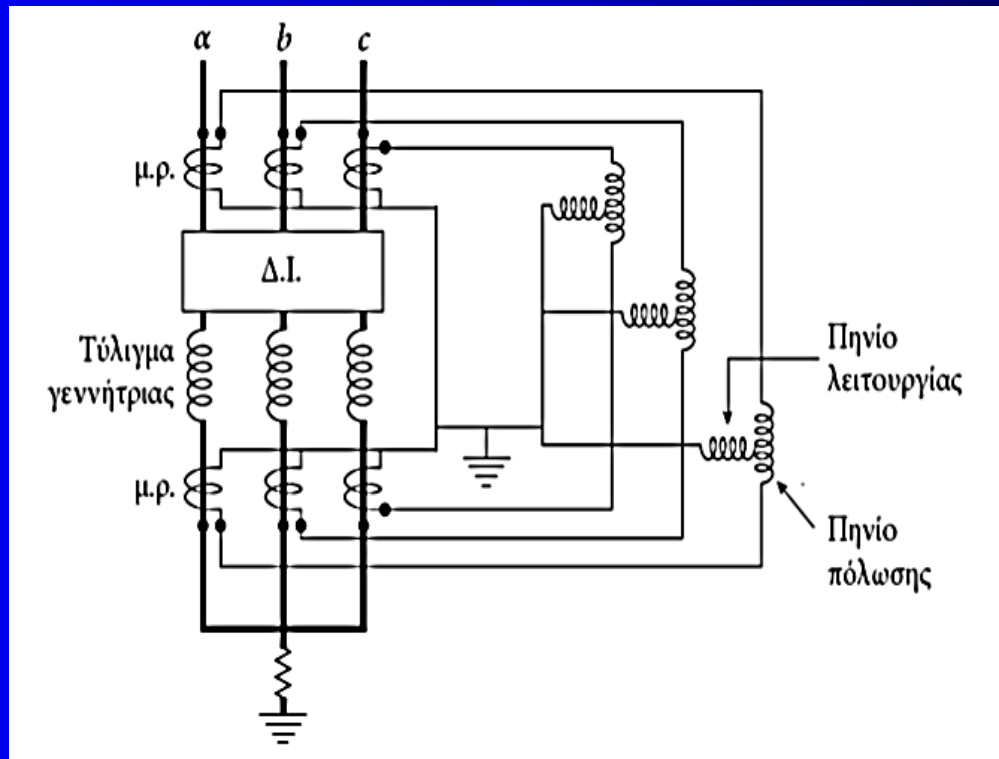


Σχηματική παράσταση για εγκάρσια διαφορική προστασία γεννητριών.

- Σε γεννήτριες μικρότερες του 1 MVA μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονόμοι υπέρτάσης, οι οποίοι όμως ελέγχονται από στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπότασης.
- Οι στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι κάνουν τους 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-M/Σ ισχύος, ένας ευαίσθητος ηλεκτρονόμος μηδενικής ακολουθίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προστασία από όλα τα βραχυκυκλώματα γης.
- Μη γειωμένες γεννήτριες είναι σπάνιες: νοσοκομεία, κρίσιμα αυτόνομα φορτία κλπ. όπου πιο σημαντική είναι η συνέχιση της παροχής.
- Σε αυτές, 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 Y, 37.5 MVA, 33 KV έχει διαφορική προστασία ρεύματος με μ.ρ. 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 $\mu\Omega$ (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 $\mu\Omega$ με βάση τις ονομαστικές τιμές της γεννήτριας.



Λύση:

Για να λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος το ρεύμα στο πρωτεύον του μ.ρ. πρέπει να είναι:

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

Αυτό το ρεύμα σε pu είναι:

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

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

37.5 MVA, 33 KV

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

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

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 %.

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

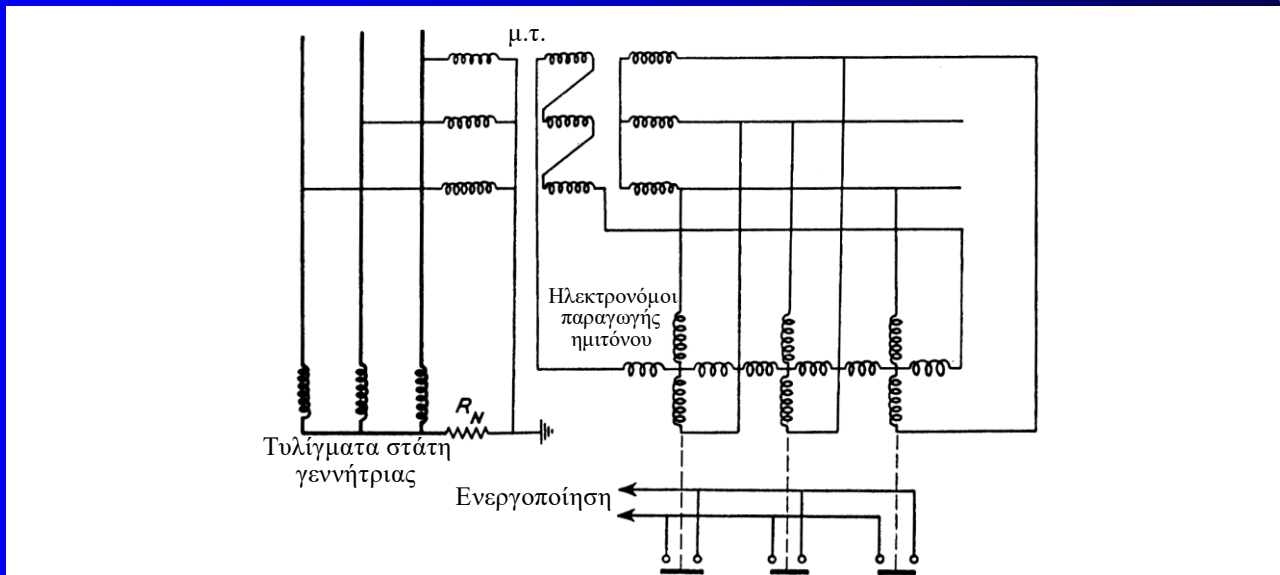
$$0.1 = R_e \cdot I_p \quad \text{και} \quad R_e = \frac{0.1}{0.09145} \, pu = 1.0934 \, pu$$

37.5 MVA, 33 KV

Επειδή: $Z_b = \frac{33^2}{37.5} \, \Omega = 29.04 \, \Omega$, έχουμε $R_e = 1.0934 \cdot 29.04 \, \Omega = 31.752 \, \Omega$

Εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών του στάτη

- 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 (δημιουργία ασυμμετρίας).

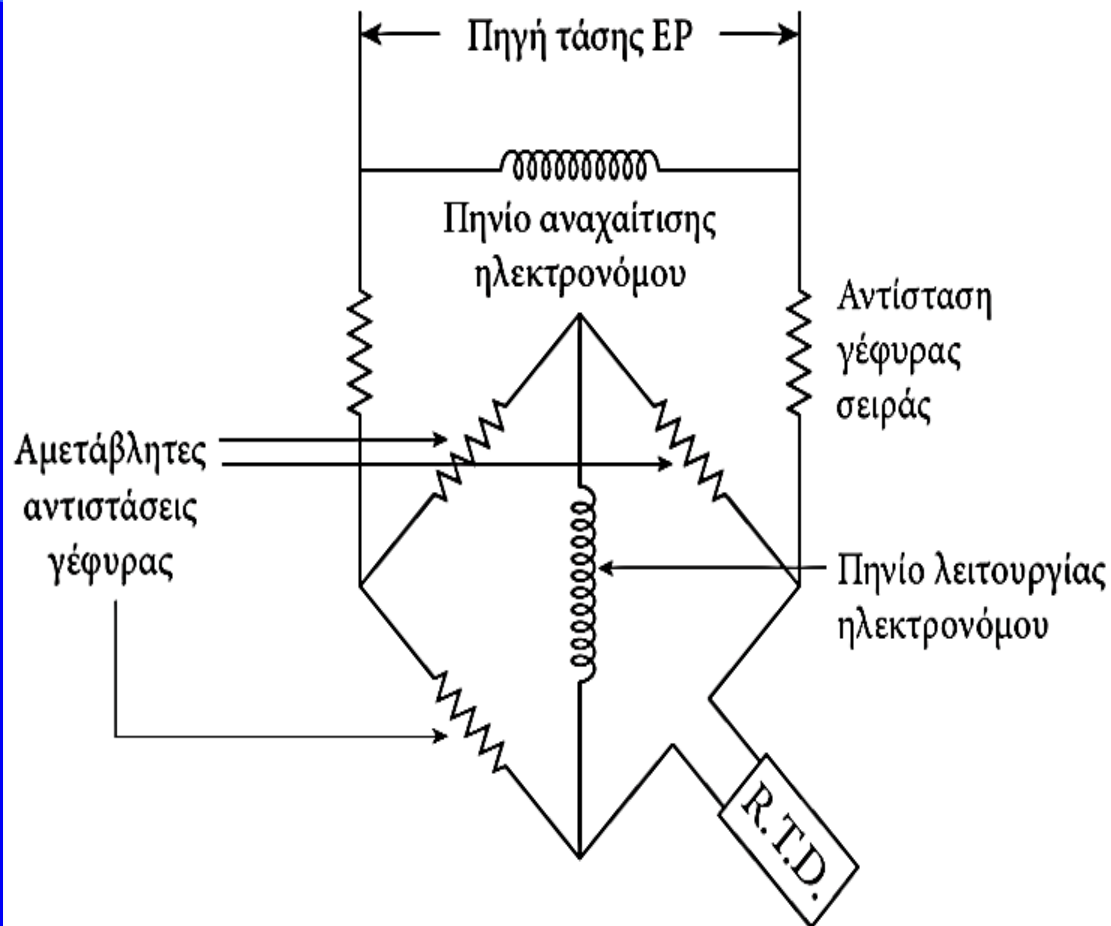


Ανίχνευση εσωτερικού βραχυκυκλώματος σπειρών του στάτη.

- 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 EP στο κύκλωμα του πεδίου.
- Ο ηλεκτρονόμος αυτός παρακολουθείται από ένα ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης αρνητικής ακολουθίας.
- Με αυτή τη σύνδεση ενεργοποιείται από όλα τα βραχυκυκλώματα στο τύλιγμα του στάτη και μένει ανεπηρέαστος από τα ασύμμετρα βραχυκυκλώματα εξωτερικά της γεννήτριας (επίσης δημιουργούν ρεύματα αρνητικής ακολουθίας).
- Σε μεγάλες γεννήτριες εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών του στάτη δεν συμβαίνουν, γιατί υπάρχει μόνο μία στροφή μίας φάσης σε κάθε αυλάκι.

Υπερθέρμανση του στάτη

- Οι κύριες αιτίες υπερθέρμανσης του στάτη προέρχονται από:
i) κακή ψύξη, ii) υπερφόρτιση και iii) 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.



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

- Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ένα τυπικό παράδειγμα γέφυρας Wheatstone που χρησιμοποιεί R.T.Ds (resistance temperature detectors).
- Ένας διακόπτης επιλογής περιστρέφεται και ελέγχει κάθε μία από αυτές, θέτοντας σε λειτουργία ένα σύστημα συναγερμού σε περίπτωση υπερθέρμανσης.

Υπέρταση στο στάτη

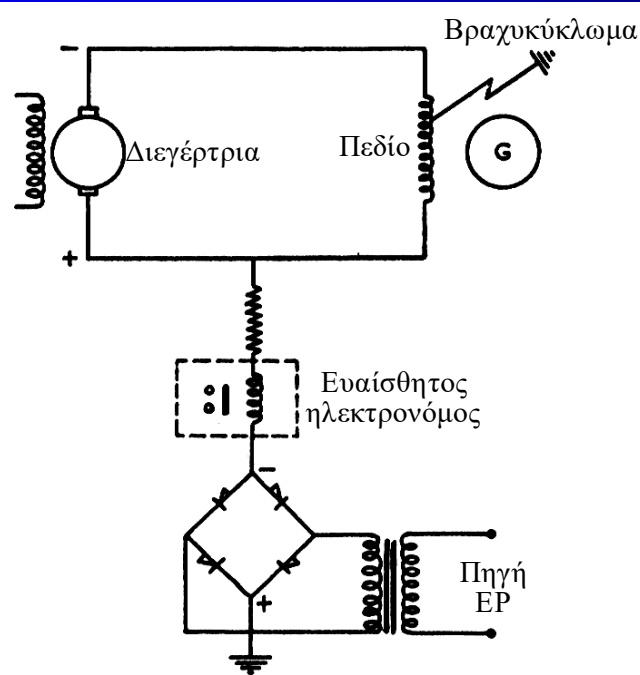
- Εκτός από τις μεταβατικές υπερτάσεις χειρισμών και κεραυνών, η υπέρταση μπορεί να οφείλεται σε επιτάχυνση του δρομέα ή να προκαλείται από ελαττωματικό ρυθμιστή τάσης.
- Σε σύγχρονες γεννήτριες, που κινούνται από ατμοστρόβιλους:
- α) ο έλεγχος πραγματικής ισχύος είναι αρκετά γρήγορος για να προλαβαίνει μεγάλες υπερταχύνσεις και ...
- β) ο ρυθμιστής τάσης ενεργεί αρκετά γρήγορα, ώστε να προλαβαίνει σοβαρές υπερτάσεις, που οφείλονται στην επιτάχυνση της γεννήτριας όταν χάνει το φορτίο.
- Σε υδροστρόβιλους η επιτάχυνση είναι μεγαλύτερη, γιατί απαιτείται περισσότερος χρόνος για το σταμάτημα της ροής του νερού στο στρόβιλο: συχνά χρειάζονται συστήματα προστασίας υπέρτασης.
- Ο ηλεκτρονόμος υπέρτασης έχει δύο μονάδες:
 - μία στιγμιαία που λειτουργεί για υπέρταση 25% για ατμοστρόβιλο ή 40% για υδροστρόβιλο και
 - μία αντίστροφου χρόνου, που αρχίζει να ενεργοποιείται για υπέρταση 10%.
 - Και στις δύο 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 δρομέα γης

- Αν το τύλιγμα του δρομέα είναι αγείοτο ένα βραχυκύκλωμα γης δεν προκαλεί διαταραχή.
- Όμως, ένα δεύτερο βραχυκύκλωμα θα αυξήσει το ρεύμα σε ένα τμήμα του τυλίγματος, με αποτέλεσμα:
- Α) Ασύμμετρη ροή διακένου, προκαλώντας σοβαρές ταλαντώσεις και συστροφή του δρομέα (παρατεταμένα, οδηγεί σε σοβαρές ζημιές).
- Β) Τοπική θέρμανση και παραμόρφωση του δρομέα.



Ανίχνευση βραχυκυκλώματος γης.

- Στο παραπάνω σχήμα το κύκλωμα πεδίου πολώνεται από μία αρνητική τάση ΣΡ από την έξοδο της μονάδας Μ/Σ-ανορθωτή.
- Αναγκάζει ένα ρεύμα να περάσει από τον ηλεκτρονόμο, αν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα γης.
- Αυτό το σύστημα μπορεί να διατηρεί την πλήρη τάση διέγερσης, όταν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα κοντά στο ένα άκρο του τυλίγματος (το επάνω, στο συγκεκριμένο σχήμα).

Ανοικτοκύκλωμα δρομέα

- Το ανοικτοκύκλωμα του δρομέα είναι πολύ σπάνιο.
- Όταν όμως 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 (παρακάτω: «Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα στο στάτη και στο δρομέα: γ) απώλεια πεδίου»).

Προβλήματα δρομέα από ασύμ. ρεύματα στάτη

- 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 I , δηλαδή η «εξίσωση αντοχής» του είναι :

$$I^2 t = K$$

- 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 χαρακτηριστικά χρόνου-ρεύματος, που να ομοιάζουν όσο είναι δυνατόν περισσότερο με τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας, που δίνονται από την εξίσωση 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 στο στάτη και στο δρομέα: α) επιτάχυνση.

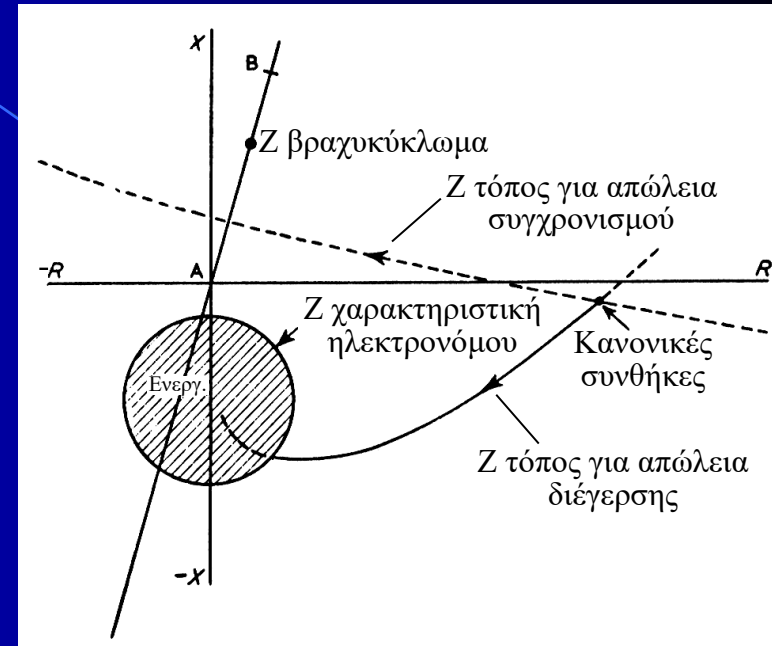
- Όταν μία γεννήτρια χάσει το φορτίο της επιταχύνεται.
- Για ένα ατμοηλεκτρικό σύστημα είναι δυνατή η άμεση διακοπή της παροχής ατμού και η αποφυγή καταστροφών.
- Για υδροηλεκτρικά συστήματα αυτό δεν είναι δυνατόν, λόγω της μηχανικής και υδραυλικής αδράνειας.
- Μπορεί να παρατηρηθεί υπερτάχυνση μέχρι 150% της κανονικής ταχύτητας.
- Οι υδροστρόβιλοι και οι ατμοστρόβιλοι προστατεύονται από μηχανικές συσκευές υπερτάχυνσης.
- Λόγω της βραδείας απόκρισης των υδροστρόβιλων, 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 στο στάτη και στο δρομέα: β) λειτουργία ως 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 στο στάτη και στο δρομέα: γ) απώλεια πεδίου.

- Όταν μία γεννήτρια χάσει το πεδίο της επιταχύνεται ελαφρά και δρα σαν μία επαγωγική γεννήτρια που δεν έχει τύλιγμα απόσβεσης.
- Απορροφώντας μεγάλες ποσότητες άεργης ισχύος δημιουργούνται μεγάλα ρεύματα στο στάτη, τα οποία επάγουν αντίστοιχα μεγάλα ρεύματα στον δρομέα και τον υπερθερμαίνουν.
- Αξιόπιστος τρόπος για την ανακάλυψη τέτοιων σφαλμάτων είναι η σύνδεση στο στάτη ηλεκτρονόμων σύνθετης αγωγιμότητας (mho) ή κατεύθυνσης - σύνθετης αντίστασης (αντίδρασης).
- Τα χαρακτηριστικά τους, όμως, βρίσκονται στην περιοχή αρνητικής αντίδρασης $-X$ («κοιτούν» προς τη γεννήτρια: απορρόφηση άεργης).

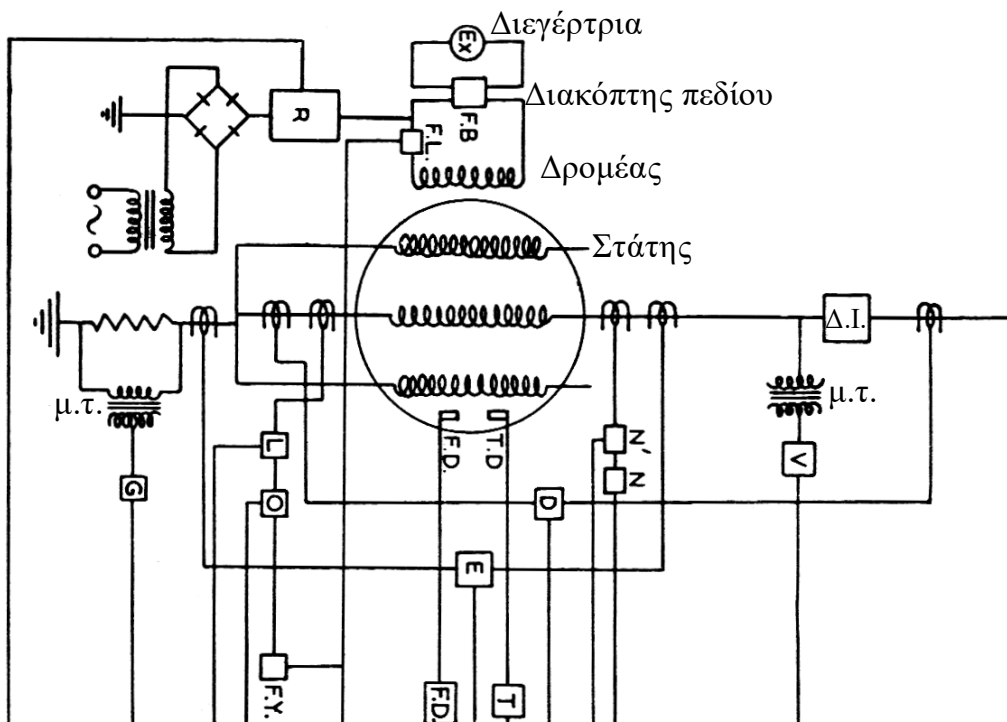


Χαρακτηριστικά σύνθετης αντίστασης ηλεκτρονόμου mho για την ανακάλυψη απώλειας πεδίου.

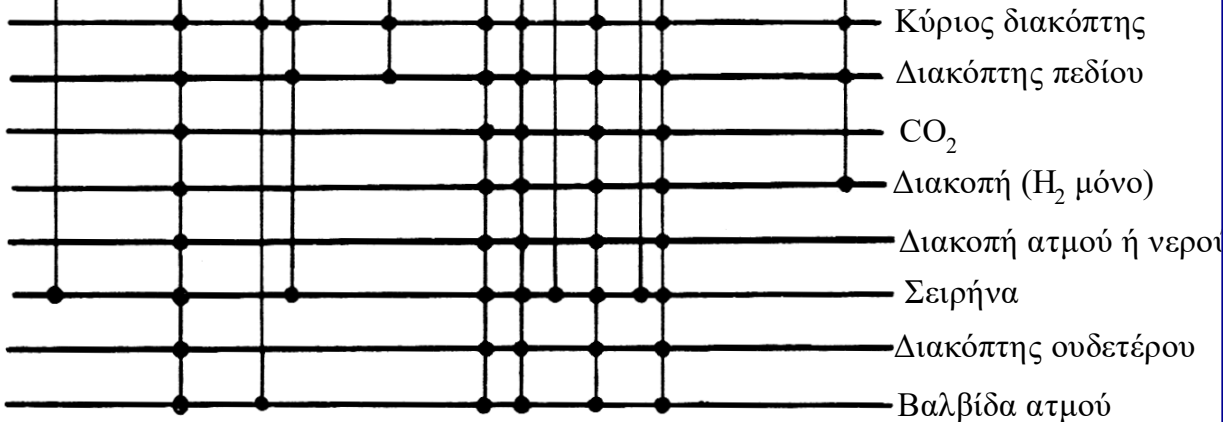
Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα στο στάτη & δρομέα: δ) δυσλειτουργία ρυθμιστή τάσης.

- Χρησιμοποιείται ηλεκτρονόμος υπερέντασης ΣΡ ορισμένου χρόνου, που τροφοδοτείται από ένα ΣΡ μετασχηματιστή ρεύματος στο κύκλωμα του δρομέα.
- Επειδή ο δρομέας δέχεται υπερεντάσεις 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 υπερένταση στο δρομέα διατηρηθεί πέραν αυτού του χρόνου εκκαθάρισης, επαναφέροντας τη διέγερση σε μία καθορισμένη τιμή.

Γενικό διάγραμμα προστασία γεννήτριας



- D = διαφορικός ηλεκτρονόμος.
- E = ηλεκτρονόμος βραχυκυκλώματος γης.
- O = ηλεκτρονόμος υπερέντασης (με έλεγχο τάσης) ή mho
- L = ηλεκτρονόμος απώλειας φορτίου.
- F = ηλεκτρονόμος απώλειας πεδίου (υπερέντασης).
- F.Y. = ηλεκτρονόμος απώλειας πεδίου (σύνθετης αγωγιμότητας).
- F.D. = ανιχνευτής φωτιάς.
- G = ηλεκτρονόμος υπέρτασης ουδετέρου.
- R = ηλεκτρονόμος βραχυκυκλώματος γης στο δρομέα.
- Ta = ηλεκτρονόμος θερμοκρασίας τυλίγματος στο στάτη.
- T.D. = ανιχνευτής θερμοκρασίας ένθετος στα αυλάκια του στάτη.
- V = ηλεκτρονόμος υπέρτασης (για υδροστροβιλικές μόνο).
- N = ηλεκτρονόμος αρνητικής ακολουθίας $I^2t = K$.
- N' = συναγερμός αρνητικής ακολουθίας.



Οι ηλεκτρονόμοι προστατεύουν από:

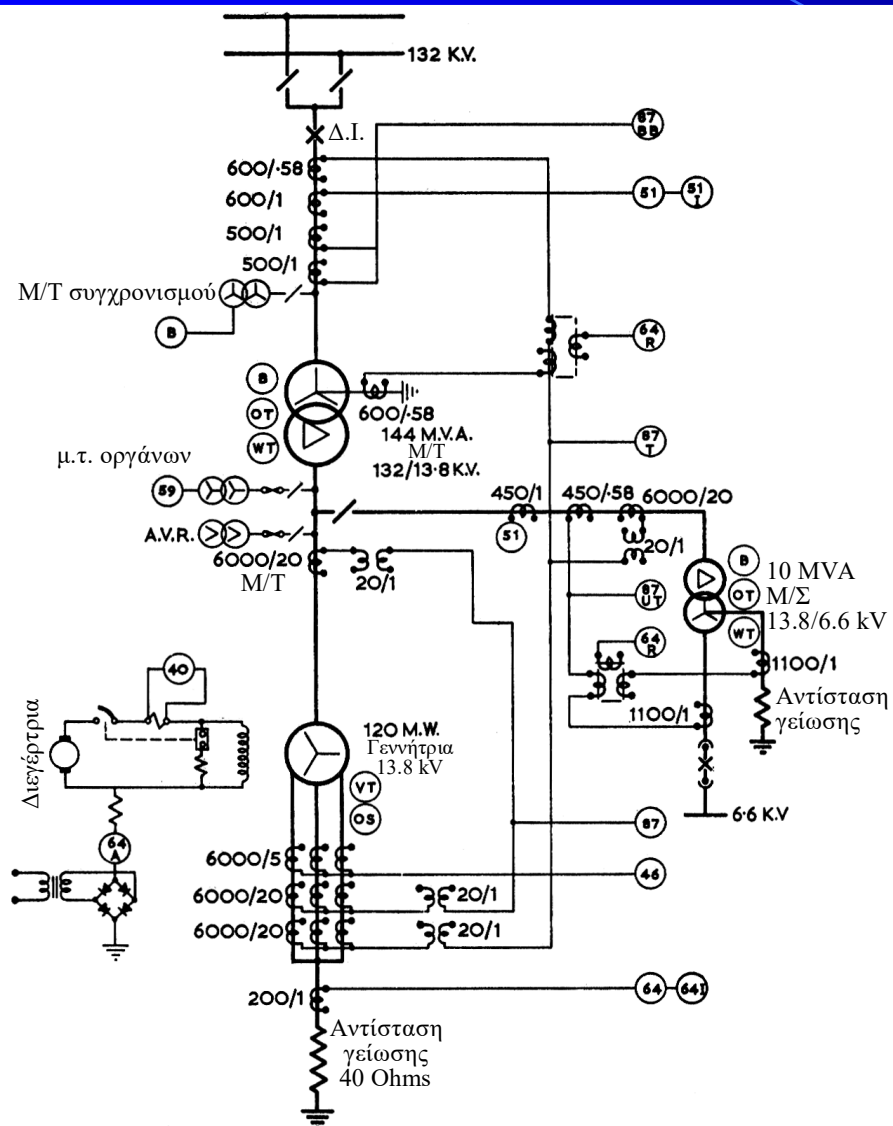
- υπερφόρτιση
- υπερθέρμανση
- υπέρταση
- αρνητική ακολουθία ρεύματος
- υπερθέρμανση λόγω βραχ.δικτύου

Ενεργοποιούν:

- κύριο και διακόπτη πεδίου
- εφαρμόζουν πέδηση
- τροφοδοτούν CO₂ (σβήσιμο τόξου)
- σταματούν την παροχή ατμού.

Γενικό διάγραμμα προστασίας γεννήτριας.

Προστασία συστήματος γεννήτριας-Μ/Σ



Στο σύστημα δεν υπάρχει διακόπτης ισχύος μεταξύ γεννήτριας και Μ/Σ.

Τυπική προστασία συστήματος γεννήτριας-μετασχηματιστή.

Προστασία βοηθητικών συσκευών σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- Οι βοηθητικές συσκευές σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαιρούνται στις ουσιώδεις και τις μη ουσιώδεις.

- Στις **ουσιώδεις** ανήκουν:

Αντλίες τροφοδοσίας του λέβητα.	Αντλίες κυκλοφορίας.
Αντλίες συμπυκνωτή (ατμός σε νερό).	Σύστημα διέγερσης.
Ανεμιστήρες εξαναγκασμένης ροής αέρα.	Αντλίες πρόκλησης ρεύματος αέρα.
Κύριοι ανεμιστήρες αέρα.	Τροφοδότες κονιορτοποίησης κάρβουνου.
Καυστήρες.	Μονάδες κονιορτοποίησης κάρβουνου.

- Στις **μη ουσιώδεις** ανήκουν:

Συσκευές επεξεργασίας κάρβουνου.	Σπαστήρες κάρβουνου.
Κεντρικοί κονιορτοποιοί κάρβουνου.	Μεταγωγείς θερμότητας.
Τροχιστές.	Ανεμιστήρες εξαερισμού.
Συμπιεστές αέρα.	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.

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:
 - i) βραχυκυκλώματα στο στάτη,
 - ii) υπερφόρτιση,
 - iii) υπόταση.
 - iv) ασύμμετρα φασικά ρεύματα,
 - v) αντίστροφη ή ανοικτοκυκλωμένη φάση εκκίνησης,
- Η προστασία μεγάλων σύγχρονων κινητήρων και σύγχρονων αντισταθμιστών είναι όμοια με των σύγχρονων γεννητριών.
- Για αυτό στη συνέχεια θα ασχοληθούμε κυρίως με επαγωγικούς κινητήρες.

Προστασία επαγωγικών κινητήρων

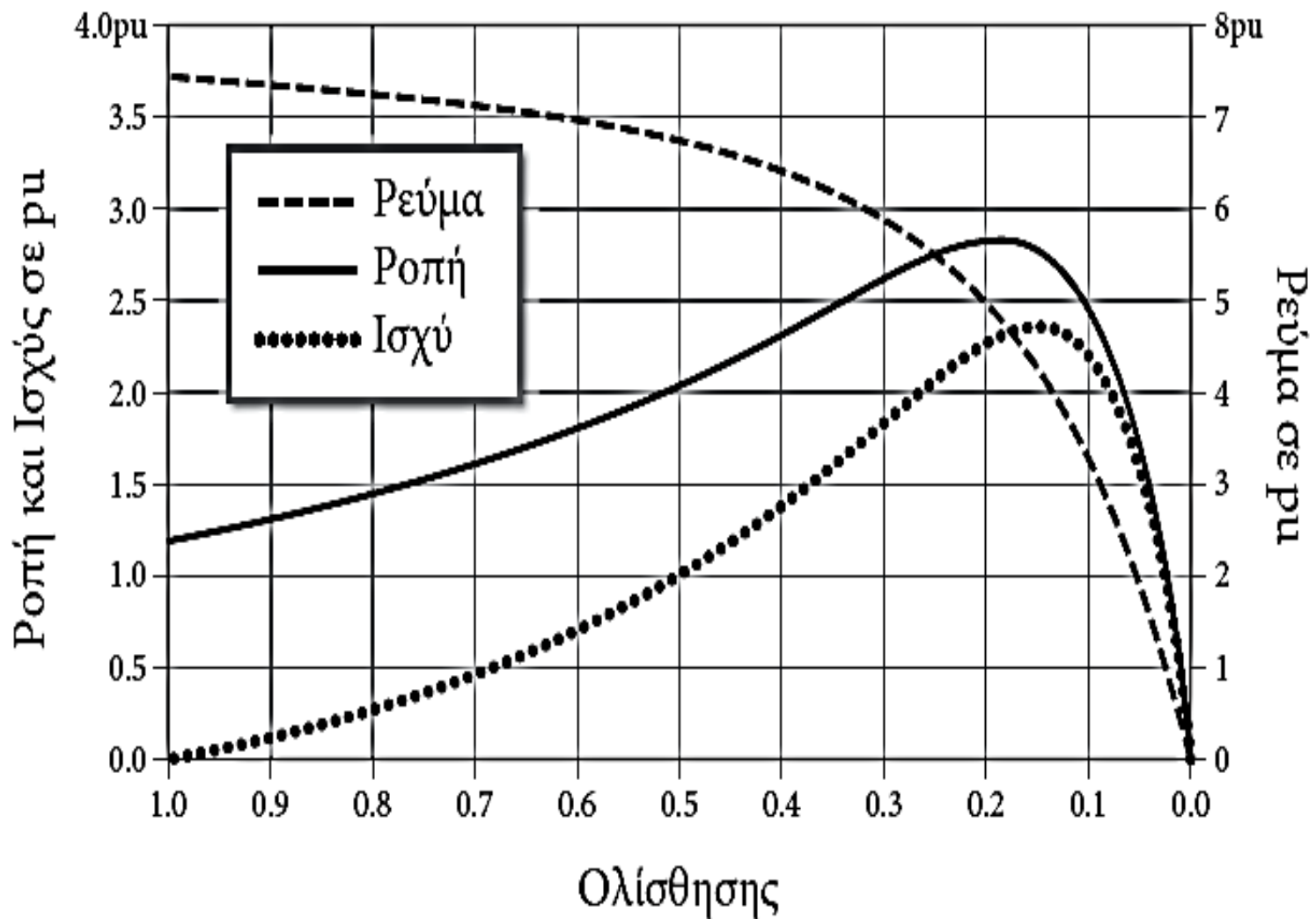
- Για αυτούς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που πρέπει να συνεκτιμηθούν είναι:
- i) η μεταβολή του μεγάλου ρεύματος εκκίνησης συναρτήσει του χρόνου,
- ii) το ρεύμα κατά την απώλεια στήριξης (stall) του δρομέα,
- iii) η αντοχή τους σε θερμική καταπόνηση κατά τη χρήση τους σε διαφορετικές εφαρμογές.

Προβλήματα κινητήρων

Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

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

- Αυτά περιλαμβάνουν:
 - βραχυκυκλώματα τυλιγμάτων (πάντα περιλαμβάνουν γη),
 - καταστροφές τριβέων (ρουλεμάν),
 - 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.



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

- 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:
 - α) να επιτρέπει τη μέγιστη αξιοποίηση του κινητήρα ,
 - β) να τον προφυλάσσει ακόμα και από προσωρινές «κανονικές» φορτίσεις, που μπορούν να του προκαλέσουν ζημιές.

- Σε κινητήρες < 500 hp, η φθορά των απλών τριβέων που χρησιμοποιούν δεν ανακαλύπτεται πριν τη μηχανική καταστροφή.
- Σε αυτές τις περιπτώσεις, πρέπει η προστασία να «δει» τα μεγάλα ρεύματα του «μπλοκαρίσματος» για να τους αποσυνδέσει πολύ γρήγορα.
- Για κινητήρες >500 hp, οι τριβείς τους λιπαίνονται με λάδι υπό πίεση (από ξεχωριστά συστήματα).
- Σε αυτές τις περιπτώσεις, η παρακολούθηση της θερμοκρασίας λαδιού μπορεί να μας προειδοποιήσει για φθορές.

2) Προβλήματα από σφάλματα εκτός της μηχανής.

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

Ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας με ακραία περίπτωση την απώλεια μίας φάσης.

- Η ασυμμετρία προκαλεί ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, που:
 - η σημαντικότερη επίδρασή τους είναι η αύξηση των θερμικών απωλειών του δρομέα και ...
 - περιορίζουν τη ροπή.
- π.χ. μία ασυμμετρία των τάσεων κατά 10% μειώνει την ονομαστική ισχύ εξόδου στο 55%.
- Επομένως, πρέπει να παρακολουθείται για να αποτρέπεται μακροχρόνια υπερθέρμανση των κινητήρων, η οποία προκαλείται ακόμα και σε κίνηση κανονικού φορτίου.

Ελαττωμένη συχνότητα συστήματος.

- **Επιπτώσεις στον κινητήρα:**
 - Στρέφεται με μικρότερη ταχύτητα.
 - Αποδίδει μικρότερη ισχύ στο φορτίο.
 - Απορροφά μεγαλύτερη άεργο ισχύ.
 - Περιορίζεται η απόδοση του συστήματος ψύξεως, που συνήθως εξαρτάται από την ταχύτητά, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας.
- Αυτή η κατάσταση δεν προκαλεί υποχρεωτικά ζημιά στον κινητήρα, αλλά μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στο φορτίο του.

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.
- 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.
- Όμως, η επιλογή των χαρακτηριστικών τους και η ρύθμισή τους είναι δύσκολη.

- 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.

2) Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης

- Περιλαμβάνεται σε όλους τους κινητήρες.
- Επειδή έχουν συνδεδεμένα τα τυλίγματα τους σε αγείο αστερά ...
- τοποθετούνται στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης στον αγωγό γείωσης του αστερά του μετασχηματιστή που τροφοδοτεί τον κινητήρα.
- Το επίπεδο επιλογής τους είναι ~20% του πλήρες ρεύματος φορτίου.

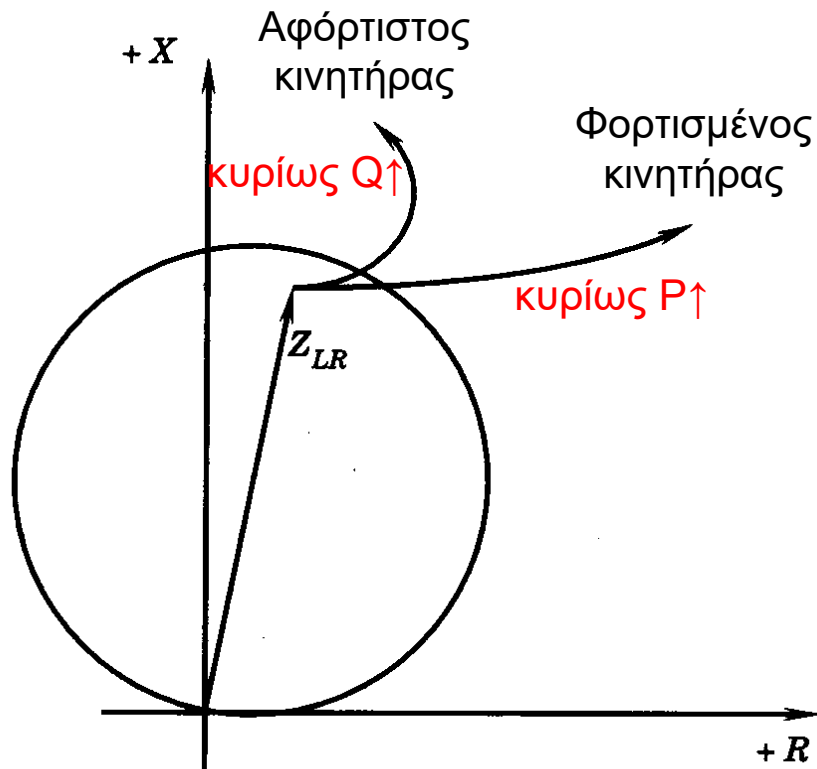
3) Προστασία κατά την απώλεια στήριξης

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

Για την προστασία της απώλειας στήριξης κατά την εκκίνηση: χρησιμοποιείται ηλεκτρονόμος απόστασης mho με χρονοκαθυστέρηση.

Η χαρακτηριστική σύνθετης αντίστασης του κινητήρα κατά την εκκίνηση βρίσκεται μέσα στη ζώνη ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου.

Αν κατά την εκκίνηση ο κινητήρας δεν επιταχύνεται καλά, μετά από μία ρυθμιζόμενη χρονική καθυστέρηση έχουμε ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου.



Αν έχουμε κανονική επιτάχυνση:

- 1) η σύνθετη αντίσταση του κινητήρα αυξάνει γρήγορα και
- 2) μετακινείται έξω από την περιοχή ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου.

4) 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 με δειγματοληψία του ρεύματος και εκτίμηση του θερμικού του αποτελέσματος από την εφαρμογή/προσομοίωσή του σε αντίσταση (βλ. Μ/Σ).
- Για μεγαλύτερους κινητήρες χρησιμοποιείται η άμεση μέτρηση της θερμοκρασίας με θερμίστορ και τη γέφυρα Wheatstone (βλ. γεννήτριες).

5) Προστασία υπότασης

- Ελάττωση της τάσης τροφοδοσίας προκαλεί μείωση της ταχύτητας περιστροφής και αύξηση του ρεύματος.
- Για κινητήρες <1500 hp η προστασία υπότασης εφαρμόζεται τουλάχιστον σε μια φάση.
- Για κινητήρες >1500 hp εφαρμόζεται σε όλες τις φάσεις.
- Παρέχεται από ηλεκτρονόμους υπότασης αντίστροφου χρόνου, αν και εφεδρική προστασία παρέχεται από ηλεκτρονόμους υπερέντασης και υπερφόρτισης.
- Σε κρίσιμες (μεγάλες) υποτάσεις ο κινητήρας πρέπει να αποσυνδέεται αμέσως.
- Προστασία υπότασης παρέχεται επίσης από όλες τις διατάξεις ελέγχου της κίνησης των επαγωγικών κινητήρων (που διαθέτουν αντιστροφείς πηγής τάσης).

6) Προστασία σε ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας

- Κατάλληλη προστασία μπορεί να παρέχεται από ένα 3Φ ηλεκτρονόμο τάσης επαγωγικού δίσκου.
- Αυτός εμποδίζει την εκκίνηση του κινητήρα με ασύμμετρες τάσεις.
- Δεν τον προστατεύει όμως 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 υπέρεντασης αρνητικής ακολουθίας παρέχει μέγιστη ευαισθησία σε ασυμμετρία τάσεων.