

## ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ

Η αυτόνομη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών είναι πολύ σπάνια. Σχεδόν πάντα εμφανίζονται πάνω από μία γεννήτριες, που συνδέονται παράλληλα για την ικανοποίηση των αναγκών του φορτίου. Η παράλληλη λειτουργία γεννητριών επιτυγχάνεται με τα εξής δύο βήματα:

- 1) Συγχρονισμός και
- 2) Κατανομή του φορτίου.

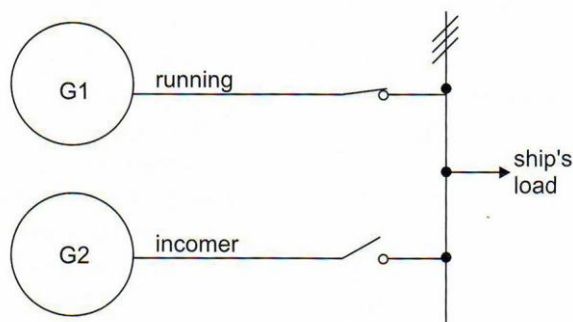
Οι δύο παραπάνω διαδικασίες γίνονται αυτόματα. Χειροκίνητη διαδικασία χρησιμοποιείται κάποιες φορές σαν εναλλακτική μέθοδος στον αυτόματο έλεγχο.

### Συγχρονισμός δύο (ή περισσότερων) γεννητριών

Για την επίτευξη συγχρονισμού δεν πρέπει να υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των τάσεων των υπό σύνδεση αντίστοιχων φάσεων των δύο γεννητριών. Για να συμβεί αυτό πρέπει:

- A) Οι ενεργές τιμές των τάσεων των δύο γεννητριών να είναι ίσες.
- B) Οι συχνότητες των δύο γεννητριών να είναι ίσες.
- Γ) Να μη υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων των φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν μεταξύ τους.
- Δ) Οι όμοιες φάσεις να συνδέονται μεταξύ τους όταν κλείνει ο διακόπτης παραλληλισμού (αυτό είναι εξασφαλισμένο από την εγκατάσταση).

Έστω λοιπόν ότι μία γεννήτρια G1 τροφοδοτεί όλο το φορτίο και μία άλλη G2 πρόκειται να παραλληλιστεί με αυτήν, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

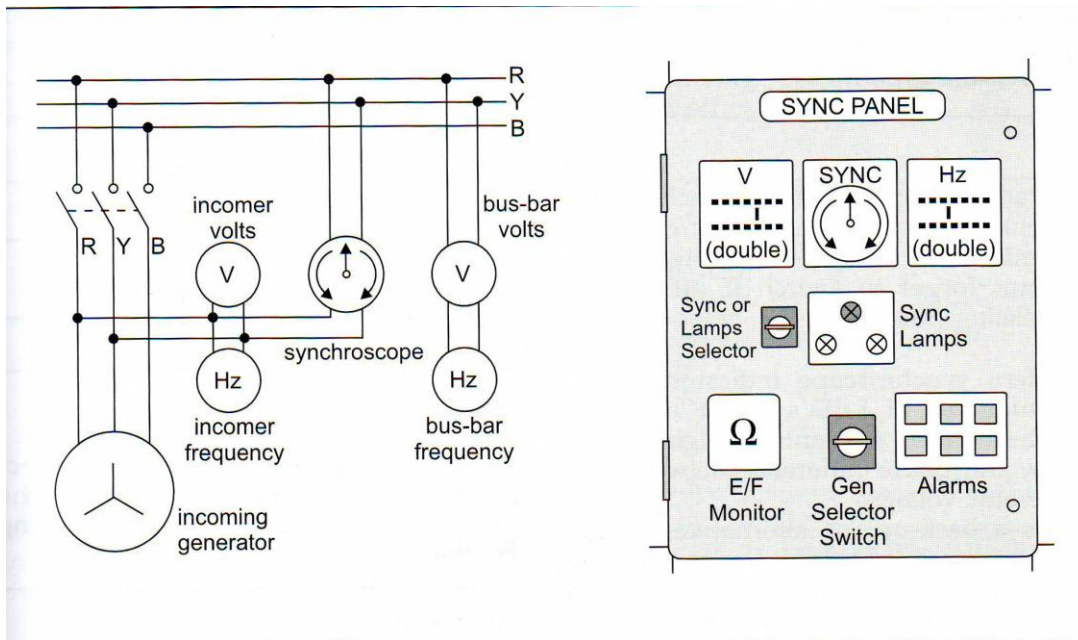


Εάν κάποια από τις παραπάνω συνθήκες συγχρονισμού δεν εξασφαλιστεί, θα υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των τάσεων των φάσεων προς σύνδεση. Τη στιγμή κλεισίματος του διακόπτη που θα εισάγει τη G2 στο δίκτυο, θα δημιουργηθεί ένα ρεύμα μεταξύ των δύο γεννητριών, που οφείλεται στη συγκεκριμένη διαφορά δυναμικού, με φορά από την γεννήτρια με τη μεγαλύτερη στιγμιαία τάση προς τη γεννήτρια με την μικρότερη στιγμιαία τάση. Το ρεύμα αυτό προκαλεί ανεπιθύμητα μεταβατικά φαινόμενα, γρήγορη επιτάχυνση της μιας γεννήτριας με ταυτόχρονη επιβράδυνση της άλλης, με σκοπό τον συγχρονισμό τους. Οι ισχυρές δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι σε θέση να καταστρέψουν τις γεννήτριες και τις κινητήριες μηχανές τους, γι αυτό υπάρχουν προστατευτικές διατάξεις που απαγορεύουν την σύνδεση της G2, εάν δεν τηρούνται οι προϋποθέσεις συγχρονισμού.

Η διαδικασία παραλληλισμού είναι η εξής:

- 1) Η τάση της G2 ρυθμίζεται μέσω του AVR της, έτσι ώστε να είναι ίση με την τάση της υπό λειτουργία με το φορτίο G1.
- 2) Η συχνότητα της G2 ρυθμίζεται έτσι, ώστε να είναι περίπου ίση με τη συχνότητα της G1. Κανονικά οι συχνότητες πρέπει να είναι ακριβώς ίσες. Επειδή όμως αυτές ρυθμίζονται από τα Governors αυτό δεν είναι δυνατόν. Για το λόγο αυτόν η συχνότητα της G2 ρυθμίζεται έτσι ώστε να είναι ελαφρά μεγαλύτερη από αυτήν της G1. Η γεννήτρια προς παραλληλισμό θα πρέπει να έχει λίγο μεγαλύτερη συχνότητα ώστε να εισαχθεί στο σύστημα σαν γεννήτρια και όχι σαν κινητήρας. Λόγω της αναπόφευκτης διαφοράς στις συχνότητες δημιουργείται έτσι κι αλλιώς διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων των φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν. Η σύνδεση των δύο γεννητριών πρέπει να γίνει τη στιγμή που οι κυματομορφές των τάσεων των αντίστοιχων φάσεων που θα συνδεθούν είναι η μία πάνω στην άλλη, δηλαδή είναι πλήρως συγχρονισμένες.

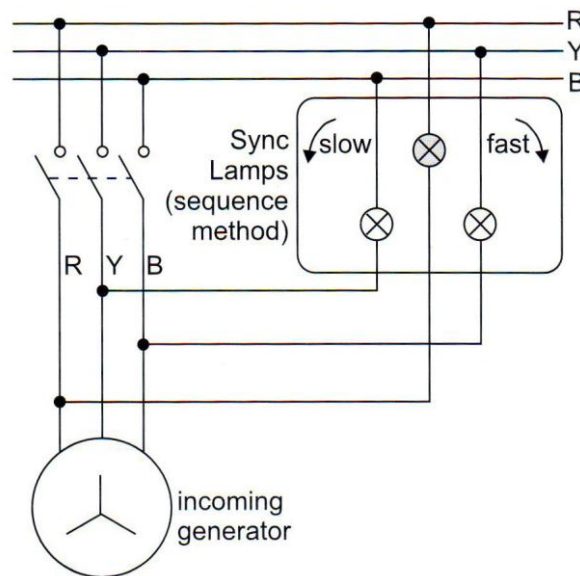
Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα όργανα παραλληλισμού.



Η διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων των φάσεων προς παραλληλισμό μπορεί να παρατηρηθεί στο συγχρονοσκόπιο ή στις λάμπες συγχρονισμού.

Όσον αφορά το συγχρονοσκόπιο η προς σύνδεση γεννήτρια συνδέεται έτσι, ώστε ο δείκτης του συγχρονοσκοπίου να περιστρέφεται αργά με τη φορά του ρολογιού (περίπου μία περιστροφή ανά 4 δευτερόλεπτα). Ο διακόπτης παραλληλισμού πρέπει να κλείσει όταν ο δείκτης του συγχρονομέτρου πλησιάσει τη θέση που αντιστοιχεί στο 12 ενός ρολογιού με δείκτες. Εκείνη τη στιγμή που ο δείκτης βρίσκεται στο 12 δεν υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων των δύο γεννητριών. Εάν τώρα ο διακόπτης κλείσει σε θέσεις του δείκτη του συγχρονοσκοπίου που αντιστοιχούν από το 12 παρά 5 μέχρι το 12 και 5, το σύστημα μπορεί να ανεχθεί τα περιορισμένα μεταβατικά φαινόμενα, αρκεί η περιστροφή του δείκτη να είναι αρκετά αργή.

Σαν εναλλακτική μέθοδος του συγχρονοσκοπίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σετ από λάμπες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Οι λάμπες συνδέονται μεταξύ της υπό σύνδεση γεννήτριας και των γραμμών τροφοδοσίας. Η διάταξη δείχνει μια περιστροφή της φωτεινότητας των λαμπών, η οποία δηλώνει εάν η υπό σύνδεση μηχανή έχει μεγαλύτερη συχνότητα (όταν η φορά περιστροφής της φωτεινότητας είναι ωρολογιακή), ή μικρότερη συχνότητα (όταν η φορά περιστροφής της φωτεινότητας είναι αντίθετη με τη φορά περιστροφής των δεικτών ενός ρολογιού). Τη στιγμή του παραλληλισμού η λάμπα στην κορυφή πρέπει να είναι σβηστή, καθώς η διαφορά δυναμικού στα άκρα της θα είναι μηδέν και οι δύο λάμπες στο κάτω μέρος πρέπει να είναι εξίσου φωτεινές, καθώς στα άκρα τους θα έχουν την πολική τάση του δικτύου, 440V.

#### Κατανομή του Φορτίου

Μετά το κλείσιμο του διακόπτη παραλληλισμού το φορτίο μπορεί να μοιραστεί μεταξύ των γεννητριών. Το ποσοστό του φορτίου που τροφοδοτεί κάθε γεννήτρια δεν υπόκειται σε κανέναν περιορισμό, π.χ. μπορεί να ισομοιραστεί ή να μεταφερθεί εξ ολοκλήρου στη νέα γεννήτρια στο δίκτυο. Στην παράλληλη λειτουργία ο ρυθμιστής στροφών κάθε μηχανής ελέγχει την πραγματική ισχύ της, ενώ η άεργος κάθε μίας ελέγχεται μέσω του AVR. Η κατανομή του φορτίου στις παραλληλισμένες γεννήτριες γίνεται αυτόματα, με ηλεκτρονικό σύστημα. Το σύστημα αυτό συγκρίνει το φορτίο π.χ. σε KW κάθε γεννήτριας και η διαφορά χρησιμοποιείται για να παράγει ένα σήμα που αυξάνει ή μειώνει τη ρύθμιση στον ρυθμιστή στροφών της κινητήριας μηχανής κάθε γεννήτριας.

## Η ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### Εγκαταστάσεις με Γειωμένο Ουδέτερο και Μονωμένο Ουδέτερο

Στις εγκαταστάσεις με γειωμένο ουδέτερο ο ουδέτερος είναι συνδεδεμένος με τη γη (χαλύβδινη κατασκευή του πλοίου). Στα συστήματα με μονωμένο ουδέτερο ο ουδέτερος είναι στον αέρα, δηλαδή ηλεκτρικά μονωμένος σε σχέση με τη γη. Οι δύο αυτοί τύποι εγκαταστάσεων φαίνονται στο σχήμα της επόμενης σελίδας, Fig. 2.3

Στις εγκαταστάσεις των 440V ο ουδέτερος είναι συνήθως στον αέρα, δηλαδή δεν γειώνεται. Ας σημειωθεί ότι σε παρόμοιες εγκαταστάσεις στην ξηρά ο ουδέτερος γειώνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή στο πλοίο έχει πρωταρχική σημασία η διατήρηση της ηλεκτρικής τροφοδοσίας στα φορτία, ενώ στην ξηρά σημασία έχει η άμεση απομόνωση της συσκευής στην οποία έχουμε διαρροή προς τη γη. Στις εγκαταστάσεις πλοίων υψηλής τάσης όμως (>1000V) ο ουδέτερος γειώνεται μέσω μιας κατάλληλης αντίστασης γείωσης (NER: Neutral Earthing Resistor).

Στις εγκαταστάσεις με μονωμένο ουδέτερο, που είναι οι πιο συνηθισμένες στα πλοία, υπάρχουν τα εξής τρία βασικά σφάλματα που μπορούν να παρατηρηθούν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και περιγράφονται στο σχήμα, Fig. 2.4.

A) Ανοικτό κύκλωμα: οφείλεται σε διακοπή κάποιου ενεργού αγωγού, όπως στο σημείο A, οπότε δεν έχουμε ροή ρεύματος στο κύκλωμα.

B) Γείωση ενεργού αγωγού ή βραχυκύκλωμα σε σχέση με τη γη: οφείλεται σε επαφή ενός ή περισσότερων σημείων ενεργού αγωγού με τη γη ή με κάποιο γειωμένο μεταλλικό περίβλημα μηχανής ή συσκευής, όπως στο σημείο B.

Γ) Βραχυκύκλωμα: δύο σημεία διαφορετικών αγωγών, κανονικά μονωμένων μεταξύ τους, ενώνονται όπως στο C, οπότε έχουμε ένα μεγάλο ρεύμα δια μέσου του κυκλώματος που ορίζεται από τα δύο σημεία προς τη γη. Το μέγεθος του ρεύματος βραχυκύκλωσης εξαρτάται από την ολική αντίσταση του κυκλώματος βραχυκύκλωσης.

Ο μεγαλύτερος αριθμός των περιστατικών βραχυκυκλώματος ενεργών καλωδίων σε σχέση με τη γη οφείλεται σε σπάσιμο της μόνωσης σε συγκεκριμένα σημεία ή σε επαφή κάποιου ενεργού αγωγού με γειωμένη μεταλλική επιφάνεια. Για την προστασία του ανθρώπου από ηλεκτροπληξία ή πυρκαγιά, τα μεταλλικά περιβλήματα των ηλεκτρικών μηχανών και συσκευών πρέπει να είναι γειωμένα. Ο αγωγός γείωσης συνδέει το μεταλλικό περίβλημα με τη γη, έτσι ώστε να αποτραπεί να έχουμε επικίνδυνη τάση σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο η τάση όλων των περιβλημάτων παραμένει πάντα 0 Volt.

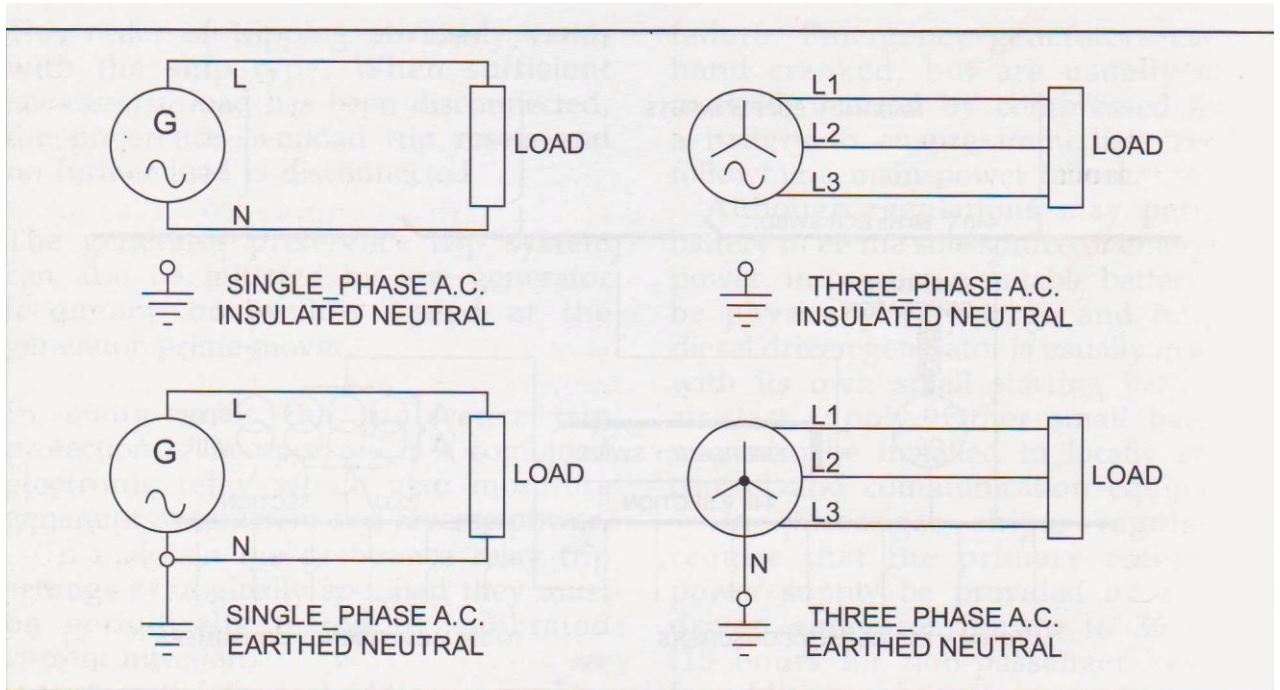


Fig. 2.3 Insulated and earthed neutral systems.

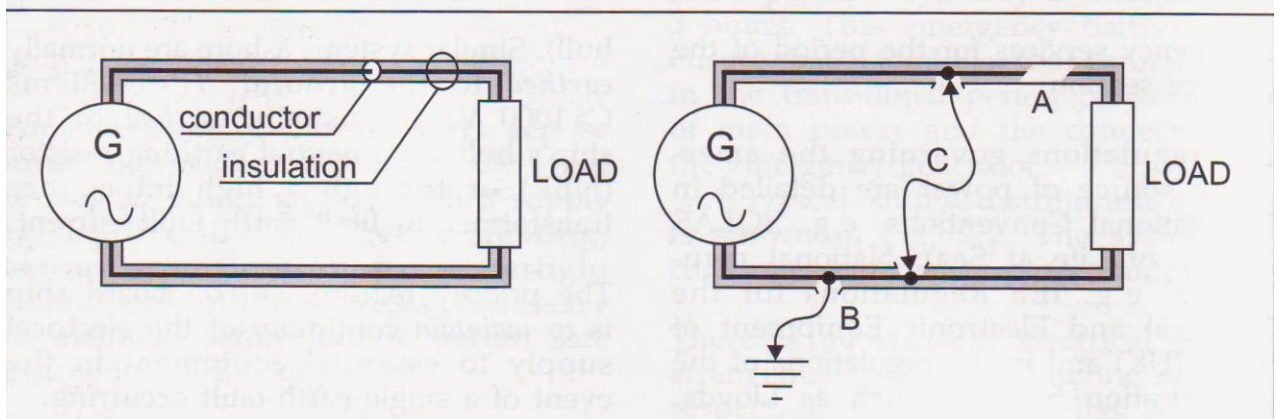


Fig. 2.4 Circuit faults.

Fig. 2.3 Συστήματα διανομής με μονωμένο και γειωμένο ουδέτερο.

Fig. 2.4 Είδη σφαλμάτων σε ηλεκτρικά κυκλώματα

## Σημασία των Βραχυκυκλωμάτων σε σχέση με τη Γη

Σε ένα σύστημα με γειωμένο ουδέτερο εάν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα σε σχέση με τη γη, προκύπτει ένα πολύ μεγάλο ρεύμα με αποτέλεσμα να ενεργοποιηθούν οι μηχανισμοί προστασίας και να απομονωθεί το προβληματικό κύκλωμα. Όμως η απώλεια αυτή ισχύος μπορεί να είναι επικίνδυνη, εάν αφορά διατάξεις στις οποίες είναι απαραίτητη, για λόγους ασφάλειας, η συνεχής τροφοδοσία.

Αντίθετα, σε ένα σύστημα με ουδέτερο στον αέρα, ένα και μοναδικό βραχυκύκλωμα σε σχέση με τη γη δεν θα γίνει αιτία διακοπής του συγκεκριμένου κυκλώματος. Από την άλλη μεριά ένα δεύτερο βραχυκύκλωμα θα προκαλέσει ένα πολύ μεγάλο ρεύμα δια μέσου της χαλύβδινης κατασκευής του πλοίου και τότε θα έχουμε διακοπή των εμπλεκόμενων κυκλωμάτων. Δηλαδή χρειάζονται δύο βραχυκυκλώματα για να έχουμε πρόβλημα τροφοδοσίας.

Ενώ τα συνήθη κυκλώματα των 440V έχουν ουδέτερο μονωμένο σε σχέση με τη γη, κυκλώματα υψηλής τάσης (3,3KV και πάνω) έχουν συνήθως γειωμένο ουδέτερο. Η γείωση γίνεται μέσω κατάλληλης ωμικής αντίστασης, έτσι ώστε το μέγιστο ρεύμα σε περίπτωση βραχυκυκλώματος να περιορίζεται στα επίπεδα του ονομαστικού. Σε αυτά τα πλοία κάποια φορτία, στα οποία δεν πρέπει ποτέ να διακόπτεται η τροφοδοσία, τροφοδοτούνται μέσω μετασχηματιστή ο οποίος έχει τον ουδέτερο στον αέρα. Εξάιρεση αποτελούν τα τάνκερ στα οποία πρέπει παντού ο ουδέτερος να είναι στον αέρα, έτσι ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος κυκλοφορίας υψηλών ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο σώμα του πλοίου, σε περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος έκρηξης ή εύφλεκτο υλικό.

### **Ερωτήσεις:**

1) Μονοφασικό φορτίο 10A τροφοδοτείται με τάση 220V μέσω γραμμών με αντίσταση 0,01Ω. Πόσο ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα όταν έχουμε:  
α) διακοπή του κυκλώματος, β) βραχυκύκλωμα ως προς τη γη, γ) βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσης και ουδέτερου.

2) Πόση πρέπει να είναι η τιμή της NER προς περιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώματος σε σχέση με τη γη σε μια τριφασική γεννήτρια 3,3KV, 2MW, με συντελεστή ισχύος φορτίου 0,8.



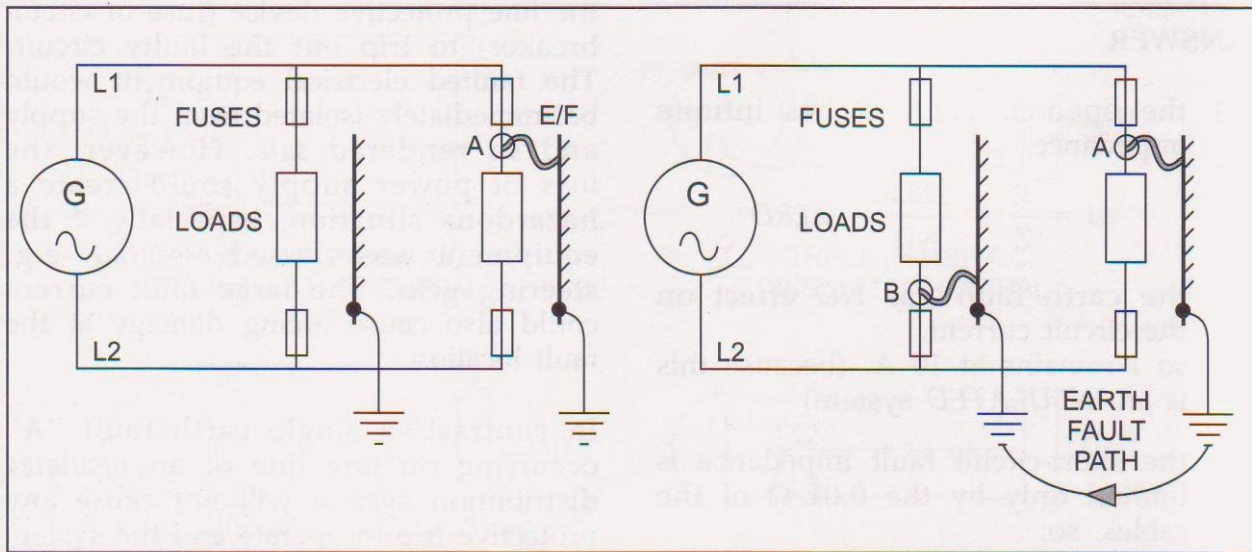


Fig. 2.5 Double earth faults in an insulated system.

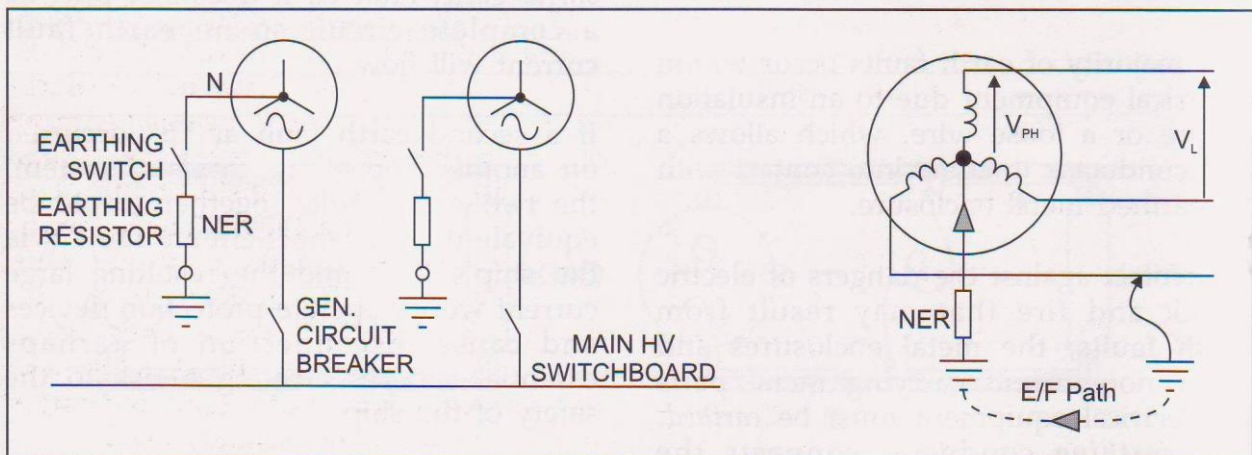
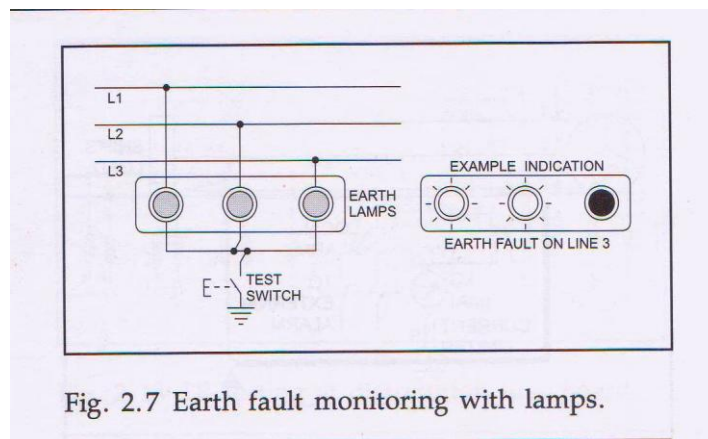


Fig. 2.6 Neutral earthing in HV system.



### Λαμπτήρες Απωλειών

Οι λαμπτήρες απωλειών δείχνουν τυχόν βραχυκύκλωμα σε σχέση με τη γη. Η διάταξή τους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όταν δεν έχουμε σφάλματα οι λαμπτήρες είναι όλοι αναμμένοι με μεσαία ένταση. Εάν υπάρχει βραχυκύκλωμα μεταξύ μιας γραμμής και γης, η λάμπα που είναι συνδεδεμένη στη συγκεκριμένη γραμμή σβήνει καθώς μηδενίζεται η διαφορά δυναμικού στα άκρα της, ενώ οι άλλες δύο λάμπες λάμπουν εντονότερα ενώ αυξάνει η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους.



**Ερώτηση:** Στο παραπάνω σχήμα όπου υπάρχει βραχυκύκλωμα της γραμμής 3 σε σχέση με τη γη, πόση είναι η τάση στα άκρα κάθε λάμπας πριν και μετά το βραχυκύκλωμα;

**Μόνιτορ Σφάλματος ως προς τη Γη με Μέτρηση της Αντίστασης Μόνωσης**

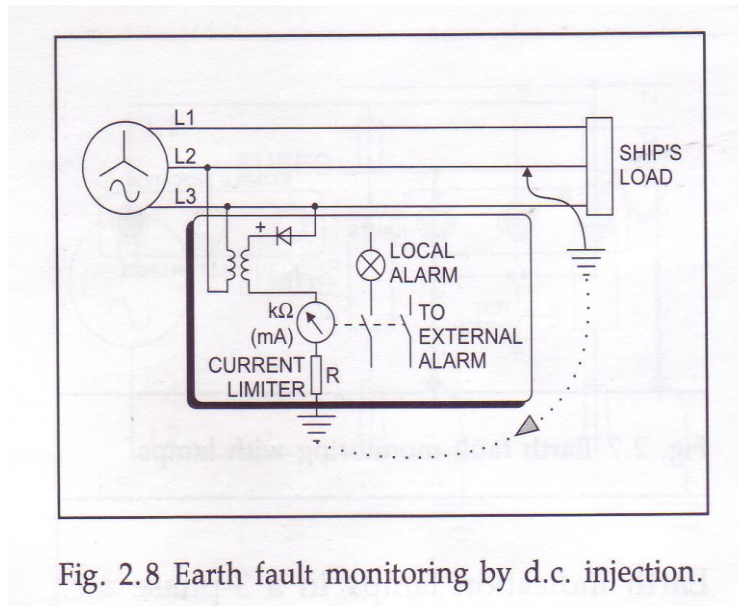


Fig. 2.8 Earth fault monitoring by d.c. injection.

Οι λυχνίες απωλειών υπήρξαν η πιο συνηθισμένη μέθοδος ανίχνευσης βραχυκυκλώματος ως προς τη γη για πολλά χρόνια. Η εγκατάστασή τους δεν είναι ακριβή και η διάταξη είναι πολύ απλή. Όμως το σύστημα δεν έχει ευαισθησία. Το μεγαλύτερο ανιχνευόμενο ρεύμα διαρροής είναι περίπου 60 mA.

Το όργανο μέτρησης που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ανιχνεύει ρεύμα διαρροής μόνο 1mA το ελάχιστο. Η ένδειξη είναι κατευθείαν σε KΩ ή MΩ και έχουμε συνεχώς ένδειξη της αντίστασης μόνωσης.

Όταν δεν υπάρχει βραχυκύκλωμα ως προς τη γη το κύκλωμα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή είναι ανοικτό. Έχουμε τάση εξ επαγωγής αλλά δεν έχουμε ρεύμα. Εάν συμβεί βραχυκύκλωμα όπως φαίνεται στο σχήμα στη γραμμή L2, τότε το κύκλωμα του δευτερεύοντος κλείνει και ανάλογα με τη συνολική αντίστασή του έχουμε και ένδειξη με ενεργοποίηση των alarm.

### Παράδειγμα Εντοπισμού Βραχυκυκλώματος ως προς τη Γη

Έστω ότι το μόνιτορ απωλειών ως προς τη γη που βρίσκεται στον πίνακα διανομής δικτύου φωτισμού 220V, δείχνει ότι υπάρχει βραχυκύκλωμα (σχ. 2.12). Ανοίγουμε και κλείνουμε διαδοχικά τους διακόπτες A, B και C μέχρι να διαπιστώσουμε ποιο κύκλωμα είναι το προβληματικό. Έστω ότι είναι το B.

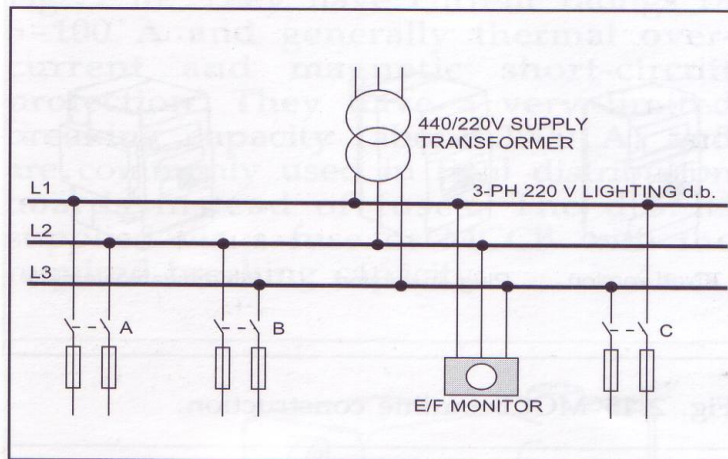


Fig. 2.12 Three phase to single phase distribution.

Το κύκλωμα B τροφοδοτεί έναν πίνακα διανομής που είναι τοποθετημένες κοντά στα τροφοδοτούμενα από αυτόν κυκλώματα φωτισμού. Εδώ δεν υπάρχει μόνιτορ απωλειών, επομένως πρέπει να κάνουμε Megger test (σχ. 2.13). Οι ασφάλειες 1 αφαιρούνται για να απομονωθεί το φορτίο από την τροφοδοσία του. Η Megger τοποθετείται μεταξύ του b και της «γης». Εάν το κύκλωμα αυτό είναι εντάξει η Megger τοποθετείται στο a και επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση της αντίστασης μόνωσης. Εάν και εδώ δεν διαπιστωθεί πρόβλημα οι ασφάλειες 1 μπορούν να επανατοποθετηθούν.

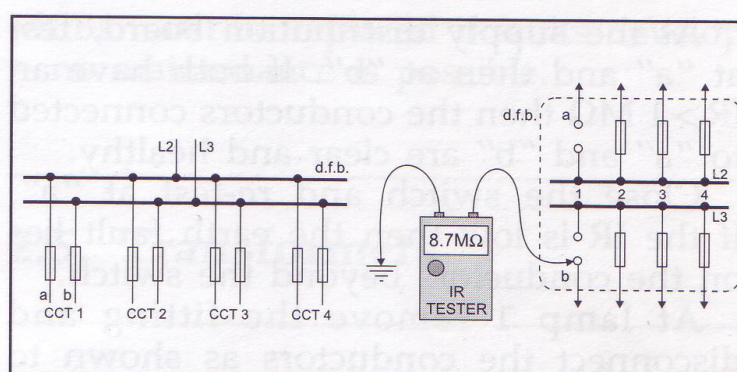


Fig. 2.13 TR testing at distribution fuse board.

Τώρα αφαιρούνται οι ασφάλειες 2 και γίνεται έλεγχος στα αντίστοιχα a και b. Έστω ότι εδώ έχουμε ένδειξη χαμηλής μόνωσης. Το προβληματικό κύκλωμα έχει εντοπιστεί. Εξακολουθούμε όμως ελέγχοντας και τις υπόλοιπες γραμμές, 3 και 4, μήπως και εκεί υπάρχει κάποια απώλεια. Στο προβληματικό κύκλωμα όλες οι ασφάλειες πρέπει να αφαιρεθούν, όλοι οι διακόπτες να ανοίξουν και όλες οι λάμπες να αφαιρεθούν, όπως φαίνεται στο παρακάτω κύκλωμα. Με αυτόν τον τρόπο, «σπάμε» το κύκλωμα σε πολλά ανεξάρτητα τμήματα. Πώς συνεχίζουμε την ανίχνευση;

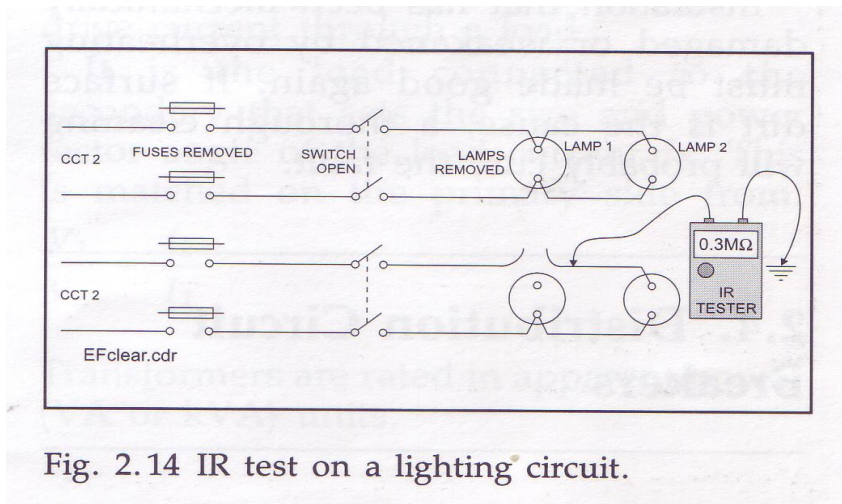


Fig. 2.14 IR test on a lighting circuit.