



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

---

## Εργαστήριο Ελέγχου και Ευστάθειας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

**Ενότητα:** Άσκηση 6 “Στατικοί ηλεκτρονόμοι για την προστασία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας”

Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Παναγής Βοβός

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

---

**ΑΝΟΙΚΤΑ** ακαδημαϊκά **ΠΠ**  
μαθήματα

## Περιεχόμενα

1. Σκοπός .....	3
2. Γενικές έννοιες της προστασίας ηλεκτρικών συστημάτων .....	3
3. Στατικοί ηλεκτρονόμοι .....	3
4. Περιγραφή των στατικών ηλεκτρονόμων που θα χρησιμοποιηθούν .....	5
4.1 Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι ρεύματος ή τάσης (instantaneous current or voltage relay (RXIG2/RXEG2)) .....	5
4.2 Ηλεκτρονόμοι υπερρεύματος με χρονική καθυστέρηση και αντιστρόφου χρόνου χαρακτηριστικά (Time-lag overcurrent relay with inverse time characteristic (RXIDF 2H) ..	6
4.3 Ηλεκτρονόμος διευθύνσεως με χαρακτηριστικά αντιστρόφου χρόνου (Directional relay with inverse time characteristic (RXPE)) .....	9
5. Περιγραφή της συσκευής που θα χρησιμοποιηθεί (MV 1431) .....	11
6. Συμβολισμοί .....	13
7. Πειραματικό μέρος.....	13
7.1 Εξοικείωση με τους στιγμιαίους ηλεκτρονόμους ρεύματος και τάσης.....	13
7.1.1 Στατικός ηλεκτρονόμος RXIG 2 και ηλεκτρομηχανικός ηλεκτρονόμος RXIC 1 .....	14
7.1.2 Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρονόμων τάσης RXEG 2 .....	18
7.2 Ηλεκτρονόμος υπερρεύματος με χρονική καθυστέρηση RXIDF 2H .....	19
7.2.1 Ρυθμιστής ρεύματος επιλογής.....	20
7.2.2 Ρυθμιστής στιγμιαίας λειτουργίας.....	21
7.2.3 Ρυθμιστής χρόνου .....	21
7.2.4 Έναρξη λειτουργίας (σημαία 1).....	22
7.3 Ηλεκτρονόμος διεύθυνσης για ισχύ ή ρεύμα με χαρακτηριστικά αντιστρόφου χρόνου RXPE 40.....	23
7.4 Προστασία συστημάτων .....	25
7.4.1 Περιγραφή του πειραματικού κυκλώματος.....	26
8. Σημειώματα .....	28
8.1 Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων/Έργου .....	28
8.2 Σημείωμα Αναφοράς.....	28
8.3 Σημείωμα Αδειοδότησης.....	28
8.4 Διατήρηση Σημειωμάτων .....	29
9. Χρηματοδότηση.....	29

## **1. Σκοπός**

Αντικείμενο της εργαστηριακής αυτής άσκησης είναι η εξοικείωση με την λειτουργία των διαφόρων τύπων ηλεκτρονόμων καθώς και η συνδυασμένη χρήση αυτών για τη δημιουργία ενός συστήματος προστασίας.

## **2. Γενικές έννοιες της προστασίας ηλεκτρικών συστημάτων**

Οι τεράστιες δαπάνες για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλουν την λήψη μέτρων όχι μόνο για την καλύτερη απόδοση των διαφόρων συστημάτων, αλλά και για την προφύλαξη τους από διάφορα σφάλματα. Όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα, η καταστροφική ικανότητα της τεράστιας ενέργειας των συστημάτων ισχύος μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στις διάφορες συσκευές του συστήματος και πιθανό θύματα, αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Με μια προσεκτική σχεδίαση τέτοια βραχυκυκλώματα μπορούν να περιορισθούν, αλλά είναι αδύνατο να αποφευχθούν τελείως λόγω των κεραυνών και των ατυχημάτων.

Ο σκοπός των συστημάτων προστασίας είναι να θέτουν σε λειτουργία τους κατάλληλους διακόπτες ισχύος, ώστε να αποσυνδέονται όσο το δυνατόν ταχύτερα τα τμήματα του ηλεκτρικού συστήματος που έχουν πάθει βλάβη και έτσι να περιορίζονται οι ζημιές από τα βραχυκυκλώματα. Το ιδανικό θα ήταν τα συστήματα προστασίας να προέβλεπαν και να εμπόδιζαν τα σφάλματα, αλλά αυτό είναι γενικά αδύνατον, εκτός των περιπτώσεων εκείνων που η αρχική αιτία του σφάλματος δημιουργεί κάποιο πρόβλημα, που μπορεί να θέσει σε λειτουργία ένα σύστημα προστασίας. Αυτό συμβαίνει μόνο στην προστασία των μετασχηματιστών, όπου η έναρξη κάποιου βραχυκυκλώματος υπερθερμαίνει το λάδι που εξαερώνεται και τα αέρια που δημιουργούνται ανιχνεύονται και ενεργοποιούν τα συστήματα προστασίας.

Τα συστήματα προστασίας απαρτίζονται από ηλεκτρονόμους, που είναι συσκευές που τροφοδοτούνται από διάφορες ηλεκτρικές ποσότητες π.χ. ρεύμα, τάση, συχνότητα κ.λ.π. και όταν πληρούνται ορισμένες συνθήκες κλείνουν ή ανοίγουν κάποιες επαφές. Με την συνεργασία των ηλεκτρονόμων τα συστήματα προστασίας μπορούν να διακρίνουν τα βραχυκυκλώματα που δημιουργούνται στην περιοχή που εποπτεύουν και να θέτουν σε λειτουργία τους κατάλληλους διακόπτες ισχύος, ώστε να απομονώσουν το βραχυκυκλωμένο τμήμα του ηλεκτρικού συστήματος.

## **3. Στατικοί ηλεκτρονόμοι**

Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας είναι τα εργαλεία του μηχανικού προστασίας ηλεκτρικών συστημάτων. Μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούντο μόνο

ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι, γιατί οι ημιαγωγοί δεν εθεωρούντο ικανοποιητικά αξιόπιστοι και ηλεκτρονικές συσκευές πολύ σπάνια χρησιμοποιούνταν στην προστασία ηλεκτρικών συστημάτων. Με την μεγάλη όμως αύξηση του ποσού ισχύος που διαχειρίζονται τα ηλεκτρικά συστήματα, η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών ήταν συχνά ο μόνος τρόπος για να κατασκευαστούν συστήματα προστασίας με την μεγάλη ταχύτητα και την υψηλή ακρίβεια που απαιτείτο. Ταυτόχρονα οι ηλεκτρονικές συσκευές έγιναν πολύ πιο αξιόπιστες και φτηνές και όλοι αυτοί οι παράγοντες συνέβαλαν στη γρήγορη ανάπτυξη των στατικών ηλεκτρονόμων (static relays).

Η Διεθνής Επιτροπή Ηλεκτροτεχνίας (International Electrotechnical Commission (IEC)) προτείνει τον εξής ορισμό για τον στατικό ηλεκτρονόμο: “στατικός ηλεκτρονόμος είναι ο ηλεκτρονόμος που η σχεδιασμένη απόκρισή του επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικές, μαγνητικές ή άλλες συσκευές χωρίς μηχανική κίνηση”. Παρ’ όλα αυτά, ο στατικός ηλεκτρονόμος έχει συχνά μια συσκευή ηλεκτρομηχανικής εξόδου. Οι προδιαγραφές για τους στατικούς ηλεκτρονόμους είναι ίδιες με αυτές των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων τους οποίους αντικαθιστούν.

Συνήθως οι στατικοί ηλεκτρονόμοι τροφοδοτούνται από μετασχηματιστές που μετατρέπουν το ρεύμα ή την τάση σ’ ένα επίπεδο κατάλληλο για το ηλεκτρονικό κύκλωμα. Αυτοί οι μετασχηματιστές παρέχουν και την απαραίτητη ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ του ηλεκτρικού συστήματος και του ηλεκτρονικού κυκλώματος. Αυτή η απομόνωση εμποδίζει τα μεταβατικά φαινόμενα του ηλεκτρικού συστήματος να καταστρέψουν τους ημιαγωγούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται “οπτικοί ζεύκτες” για να παρέχουν την ηλεκτρική απομόνωση αντί των μετασχηματιστών. Αυτοί παρέχουν απομόνωση μερικών kV μεταξύ των κυκλωμάτων. Η μονάδα τροφοδοσίας του στατικού ηλεκτρονόμου περιλαμβάνει επίσης συσκευές προστασίας, όπως διόδους ρυθμίσεως, πυκνωτές, varistors κ.λ.π.

Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα απαρτίζονται από ξεχωριστές συνιστώσες τοποθετημένες σε τυπωμένες πλακέτες σε μορφή “βησματούμενη” (plug – in). Συνδυάζοντας τέτοιες μονάδες σχηματίζουμε μεγαλύτερες και συνθετότερες μονάδες. Για την λειτουργία του στατικού ηλεκτρονόμου απαιτείται ξεχωριστή βοηθητική τάση τροφοδοσίας, που συνήθως παράγεται από μεγάλες μπαταρίες του σταθμού και είναι μικρότερη των 40 V. Η συσκευή που θα χρησιμοποιηθεί στις επόμενες ασκήσεις έχει ενσωματωμένη μονάδα τροφοδοσίας, που παράγει την επιθυμητή “συνεχή βοηθητική τάση τροφοδοσίας” και τροφοδοτείται απευθείας

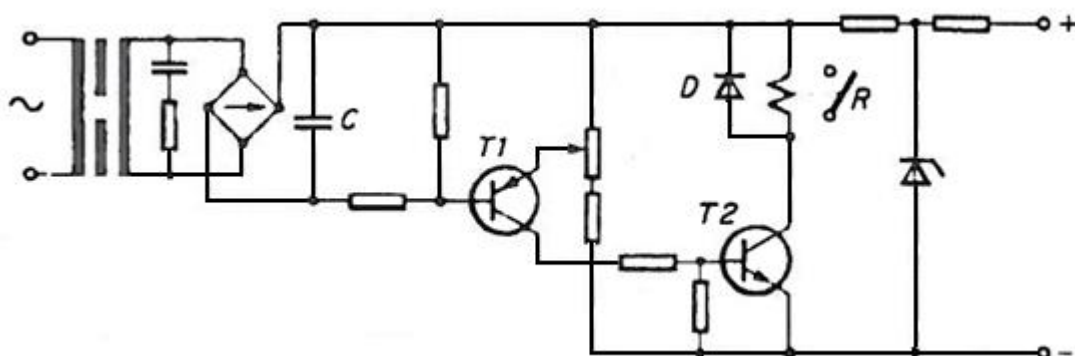
από το δίκτυο με 220 V.

## 4. Περιγραφή των στατικών ηλεκτρονόμων που θα χρησιμοποιηθούν

### 4.1 Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι ρεύματος ή τάσης (instantaneous current or voltage relay (RXIG2/RXEG2))

Σ' αυτούς τους ηλεκτρονόμους ρυθμίζουμε μόνο την αναφορά ρεύμα ή τάση, που ονομάζεται "επίπεδο επιλογής" (pick-up level). Όταν το ρεύμα ή η τάση του κυκλώματος που εποπτεύεται ξεπεράσει αυτή την τιμή ο ηλεκτρονόμος κλείνει ή ανοίγει κάποιες επαφές.

Στο **Σχ. 6.1** φαίνεται το διάγραμμα του κυκλώματος για τον στιγμιαίο ηλεκτρονόμο ρεύματος. Το μετρούμενο εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) μετατρέπεται σε ένα μετασχηματιστή διακένου αέρα σε μια τάση ανάλογη του ρεύματος. Αυτή η εναλλασσόμενη τάση ανορθώνεται, εξομαλύνεται και συγκρίνεται με μια τάση αναφοράς στο τρανζίστορ T1. Όταν η μετρούμενη τάση υπερβαίνει την τάση αναφοράς, το T1 ενεργοποιεί το τρανζίστορ T2 και αυτό ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο εξόδου R. Αυτός ο ηλεκτρονόμος συνδέεται παράλληλα με μια δίοδο για να εκφορτίζεται η μαγνητική ενέργεια κατά την "επαναφορά" (drop out or reset) του ηλεκτρονόμου. Ο σκοπός του RC κυκλώματος μεταξύ του μετασχηματιστή και του ανορθωτή είναι να διατηρεί σταθερή την τάση λειτουργίας για υψηλές συχνότητες, όταν η τάση δευτερεύοντος του μετασχηματιστή είναι υψηλότερη.



**Σχήμα 6.1** Στατικός στιγμιαίος ηλεκτρονόμος ρεύματος

Ένα μειονέκτημα αυτού του ηλεκτρονόμου είναι ότι ο χρόνος επαναφοράς του είναι σχετικά μεγάλος, λόγω του μεγάλου χρόνου αποφόρτισης του πυκνωτή εξομάλυνσης. Αυτό το μειονέκτημα ξεπερνιέται αν χρησιμοποιηθεί 6-παλμική γέφυρα με τριφασική τροφοδοσία, οπότε δεν χρειάζεται ο πυκνωτής εξομάλυνσης. Αυτοί οι ηλεκτρονόμοι μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να μην επηρεάζονται από τις συνεχείς συνιστώσες (DC) του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

## 4.2 Ηλεκτρονόμοι υπερρεύματος με χρονική καθυστέρηση και αντιστρόφου χρόνου χαρακτηριστικά (Time-lag overcurrent relay with inverse time characteristic (RXIDF 2H))

Σ' αυτούς τους ηλεκτρονόμους ρυθμίζουμε:

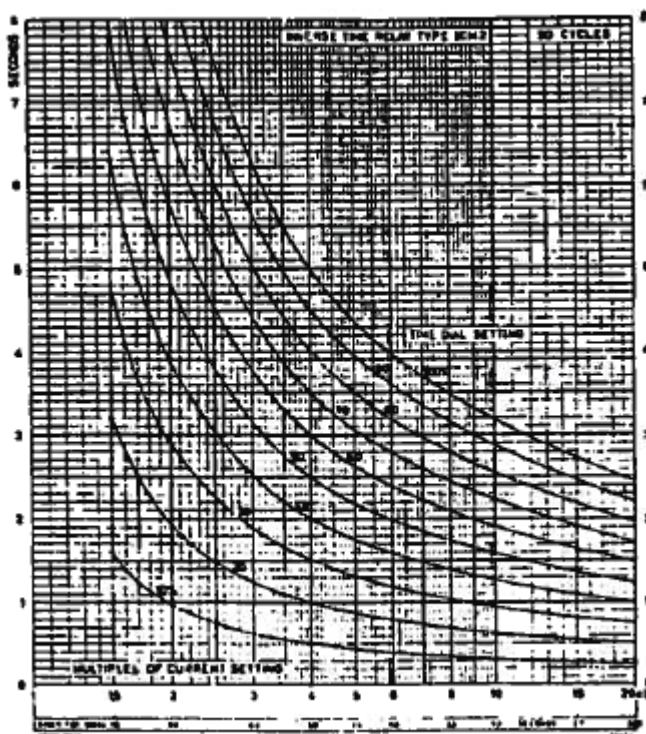
### 1. Το επίπεδο επιλογής (pick-up level)

Επίπεδο επιλογής ονομάζουμε την τιμή του ρεύματος ή τάσης κ.λ.π., που είναι το κατώφλι, πάνω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος κλείνει τις επαφές του.

### 2. Το χρόνο λειτουργίας (operating time)

Χρόνος λειτουργίας είναι ο χρόνος που παρέρχεται από τη στιγμή που θα επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής μέχρι ο ηλεκτρονόμος να κλείσει τις επαφές του.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας αυτών των ηλεκτρονόμων είναι ένα σύνολο καμπυλών αντιστρόφου χρόνου, **Σχ. 6.2**, δηλαδή ο χρόνος λειτουργίας τους είναι αντιστρόφως ανάλογος του ρεύματος που τους διεγείρει, για τιμές του ρεύματος μεγαλύτερες από το επίπεδο επιλογής.



**Σχήμα 6.2** Καμπύλες αντιστρόφου χρόνου

Για κάθε υποδιαίρεση του ρυθμιστή χρόνου παίρνουμε μια καμπύλη. Στο **Σχ. 6.2** παρατηρούμε ότι οι καμπύλες εκφράζονται συναρτήσει πολλαπλασίων του

επιπέδου επιλογής. Για πιο αποτελεσματική λειτουργία αυτών των ηλεκτρονόμων το επίπεδο επιλογής εκλέγεται έτσι ώστε ο ηλεκτρονόμος να λειτουργεί στο πιο αντίστροφο μέρος της καμπύλης λειτουργίας, δηλαδή η ελάχιστη τιμή του ρεύματος για την οποία ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.5 φορές το επίπεδο επιλογής. Γι' αυτό στο Σχ. 6.2 οι καμπύλες λειτουργίας αρχίζουν από το 1.5 του επιπέδου επιλογής.

Σύμφωνα με μια πρόταση της IEC τα χαρακτηριστικά αντιστρόφου χρόνου είναι τριών ειδών:

1. Κανονικά αντίστροφα
2. Πολύ αντίστροφα
3. Πάρα πολύ αντίστροφα

Ο ηλεκτρονόμος που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση έχει πολύ αντίστροφα χαρακτηριστικά και η σχέση μεταξύ μετρούμενου ρεύματος  $I$  και χρόνου  $t$  είναι της μορφής:

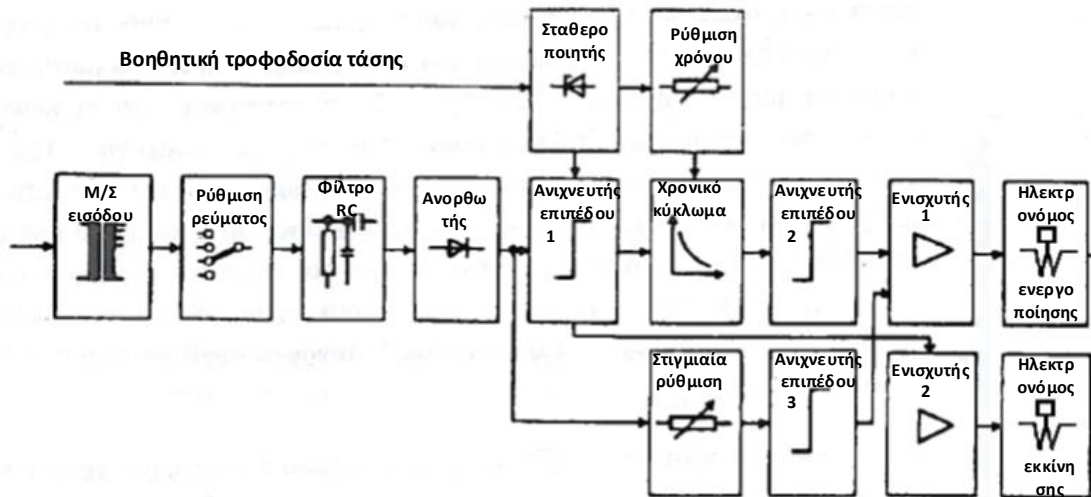
$$t = \frac{13.5}{\frac{I}{I_0} - 1}$$

όπου:  $t$  = χρόνος λειτουργίας σε secs

$I_0$  = επίπεδο επιλογής του ρεύματος

$I$  = ρεύμα εισόδου

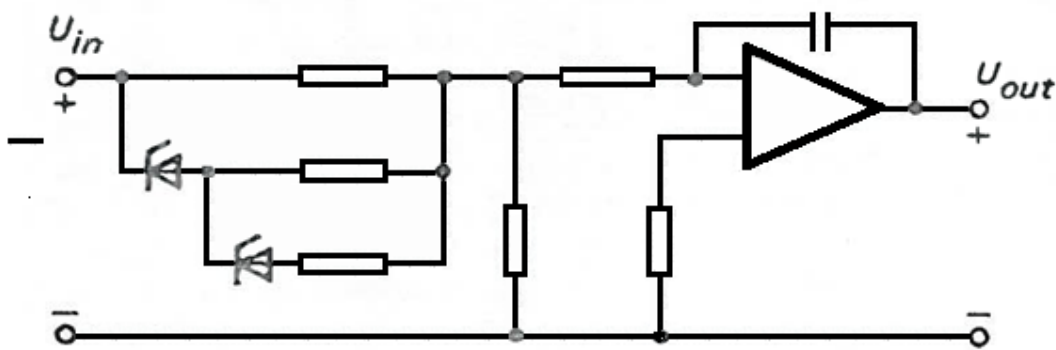
Στο **Σχ. 6.3** φαίνεται το διάγραμμα του στατικού ηλεκτρονόμου υπερρεύματος. Το επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου ρυθμίζεται με μεταβλητές λήψεις υπό φορτίο (tap changer) στο δευτερεύον του μετασχηματιστή εισόδου. Μια ωμική αντίσταση χρησιμοποιείται για να μετατρέπει το μετρούμενο ρεύμα σε μετρούμενη τάση, που τροφοδοτείται σ' έναν ανορθωτή μέσω ενός RC φίλτρου. Η ανορθωμένη τάση εξομαλύνεται και συγκρίνεται με μια τάση αναφοράς στον "ανιχνευτή επιπέδου" (level detector) (1). Όταν η μετρούμενη τάση υπερβαίνει την τάση αναφοράς ενεργοποιείται ένα "χρονικό κύκλωμα" και ένας ενισχυτής (2), που διεγείρει τον ηλεκτρονόμο εκκίνησης. Αυτός ο ηλεκτρονόμος έχει μια ενδεικτική σημαία (flag) κίτρινη και μέσω αυτού έχουμε την υλοποίηση ενός στιγμιαίου ηλεκτρονόμου. Μετά από κάποιο χρόνο, που καθορίζεται από το επίπεδο επιλογής που επιλέξαμε και το μετρούμενο ρεύμα, ο ηλεκτρομαγνητικός ηλεκτρονόμος ενεργοποίησης διεγείρεται μέσω του ανιχνευτή επιπέδου (2) και του ενισχυτή (1).



Σχήμα 6.3 Στατικός ηλεκτρονόμος υπερρεύματος

Το χρονικό κύκλωμα είναι ένα RC κύκλωμα. Σημεία κατάρρευσης στη κανονική καμπύλη φόρτισης του πυκνωτή δημιουργούνται συνδέοντας ωμικές αντιστάσεις μέσω διόδων ρυθμίσεως. Αυτό το κύκλωμα φαίνεται στο **Σχ. 6.4**.

Η τάση εξόδου του ανορθωτή τροφοδοτείται επίσης σ' ένα ποτενσιόμετρο, που τροφοδοτεί τον ανιχνευτή επιπέδου (3). Όταν το μετρούμενο ρεύμα είναι πολύ μεγάλο και ξεπεράσει κάποια τιμή που έχουμε ορίσει, ο ανιχνευτής επιπέδου (3) ενεργοποιεί μέσω του ενισχυτή (1) τον ηλεκτρονόμο ενεργοποίησης. Δηλαδή, αυτό το κύκλωμα, για μεγάλες τιμές του μετρούμενου ρεύματος, παρακάμπτει το χρονικό κύκλωμα που καθυστερεί την ενεργοποίηση και οδηγεί σε στιγμιαία λειτουργία.



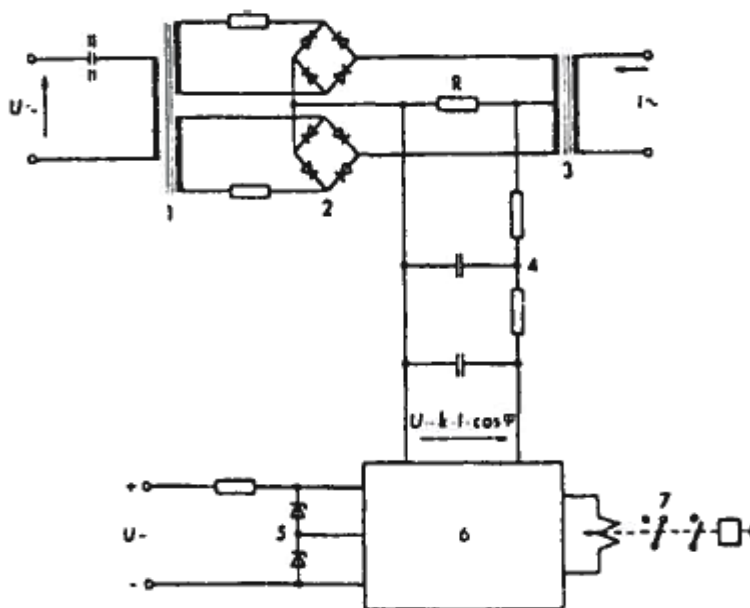
Σχήμα 6.4 Χρονικό κύκλωμα



### 4.3 Ηλεκτρονόμος διευθύνσεως με χαρακτηριστικά αντιστρόφου χρόνου (Directional relay with inverse time characteristic (RXPE))

Αυτοί οι ηλεκτρονόμοι τροφοδοτούνται συνήθως από μια τάση και ένα ρεύμα (μερικές φορές από δύο ρεύματα). Ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου επιτυγχάνεται μόνο όταν η φασική διαφορά μεταξύ τάσης και ρεύματος έχει συγκεκριμένο πρόσημο, (π.χ. όταν το ρεύμα προηγείται της τάσης) και τα μέτρα τους ξεπεράσουν κάποιες τιμές. Όταν η φασική γωνία τάσης και ρεύματος έχει αντίθετο πρόσημο, ενεργοποίηση δεν επιτυγχάνεται, όποια τιμή και αν πάρουν τα μέτρα της τάσης και του ρεύματος. Γι' αυτό και αυτοί οι ηλεκτρονόμοι ονομάζονται διευθύνσεως, δηλαδή για σταθερή τάση αναγνωρίζουν διαφορά μεταξύ ενός ρεύματος που τροφοδοτείται προς μια διεύθυνση ή την άλλη σε AC κυκλώματα. Για μια συγκεκριμένη φασική γωνία (που μπορεί να είναι και ρυθμιζόμενη σε ορισμένους τύπους ηλεκτρονόμων) η ευαισθησία του ηλεκτρονόμου είναι μέγιστη, δηλαδή ενεργοποιείται με την μικρότερη τιμή του μέτρου της τάσης και του ρεύματος. Αυτή η φασική γωνία ονομάζεται "χαρακτηριστική γωνία" ή "γωνία μέγιστης ροπής".

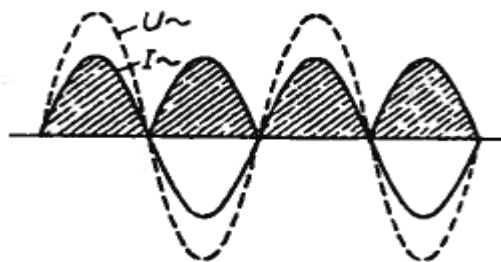
Το σχηματικό διάγραμμα ενός ηλεκτρονόμου διευθύνσεως φαίνεται στο Σχ. 6.5. Το ρεύμα και η τάση τροφοδοτούνται μέσω των μετασχηματιστών (1) και (3) σ' ένα μετατροπέα. Όταν θέλουμε να αλλάξουμε τη χαρακτηριστική γωνία του ηλεκτρονόμου παρεμβάλλεται μεταξύ των μετασχηματιστών και του μετατροπέα ένας πυκνωτής ολίσθησης φάσης. Ο μετατροπέας περιλαμβάνει δυο διοδικές γέφυρες (2), που κάθε μία συνδέεται με το ένα τύλιγμα του μετασχηματιστή τάσης (1) μέσω μιας ωμικής αντίστασης. Οι γέφυρες είναι διευθετημένες έτσι ώστε ένα ρεύμα ελέγχου από το μετασχηματιστή τάσης (1) να διέρχεται από αυτές εναλλακτικά κάθε ημιπερίοδο.



Σχήμα 6.5 Ηλεκτρονόμος διευθύνσεως

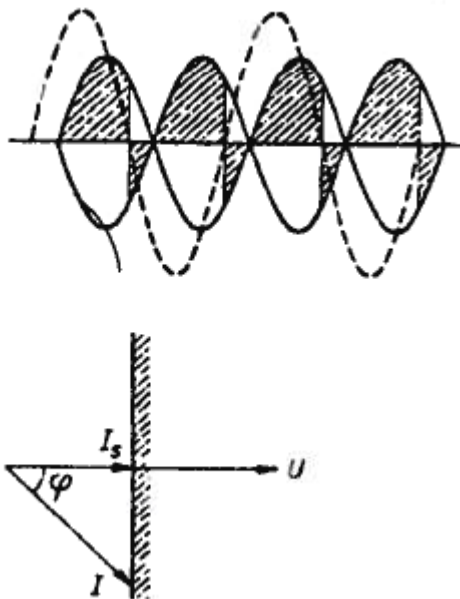
Το κύκλωμα επομένως είναι ένας ανορθωτής ευαίσθητος στη φάση, που άγει  $I$  από τον μετασχηματιστή ρεύματος (3) εναλλακτικά μέσω των διόδων γεφυρών (2) και της ωμικής αντίστασης  $R$ . Το ρεύμα ελέγχου είναι μεγάλο σε σχέση με το μετρούμενο ρεύμα και το μετρούμενο ρεύμα κατά συνέπεια μπορεί να διέρχεται μέσω των διόδων και από τις δύο διευθύνσεις.

Όταν οι στιγμιαίες τιμές του ρεύματος εισόδου και τις τάσης εισόδου είναι της ίδιας πολικότητας (και οι δύο θετικές ή αρνητικές) το ρεύμα ρέει μέσω της αντίστασης  $R$  στη μια διεύθυνση και όταν έχουν αντίθετη πολικότητα το ρεύμα ρέει στην αντίθετη διεύθυνση. Αυτό ισχύει και για τον ηλεκτρονόμο RXPE 40, που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση και του οποίου η χαρακτηριστική γωνία θα είναι  $\alpha = 40^\circ$  (δεν χρησιμοποιείται κύκλωμα ολίσθησης φάσης). Κατά συνέπεια σ' αυτό τον ηλεκτρονόμο η ευαισθησία είναι μέγιστη, όταν το ρεύμα και η τάση είναι συμφασικά. Αυτή η κατάσταση φαίνεται στο **Σχ. 6.6**. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αναπαριστά το ρεύμα στην αντίσταση  $R$ , όταν το ρεύμα και η τάση είναι συμφασικά, δηλαδή  $\varphi = 0^\circ$ .



**Σχήμα 6.6** Ρεύμα στον ηλεκτρονόμο για ρεύμα και τάση συμφασικά

Στο **Σχ. 6.7** δείχνονται οι αντίστοιχες κυματομορφές και το ανυσματικό διάγραμμα για  $\varphi = 45^\circ$ .



**Σχήμα 6.7** Ρεύμα στον ηλεκτρονόμο για  $\varphi = 45^\circ$

Η μέση τιμή αυτού του ρεύματος είναι ανάλογη του  $I \cos \varphi$ . Το ρεύμα μέσω της αντίστασης  $R$  δημιουργεί μια τάση, που εξομαλύνεται σε δύο φάσεις (4) και κατόπιν τροφοδοτείται στον ανιχνευτή επιπέδου και ενισχυτή εξόδου (6). Αυτός ενεργοποιεί έναν ηλεκτρομαγνητικό ηλεκτρονόμο εξόδου (7), ενώ η βοηθητική συνεχής τάση  $U$  σταθεροποιείται με τις διόδους ρύθμισης (5). Η δράση για να έχουμε χαρακτηριστικά εξόδου αντιστρόφου χρόνου καθυστερείται με αύξηση της χρονικής σταθεράς του κυκλώματος εξομάλυνσης.

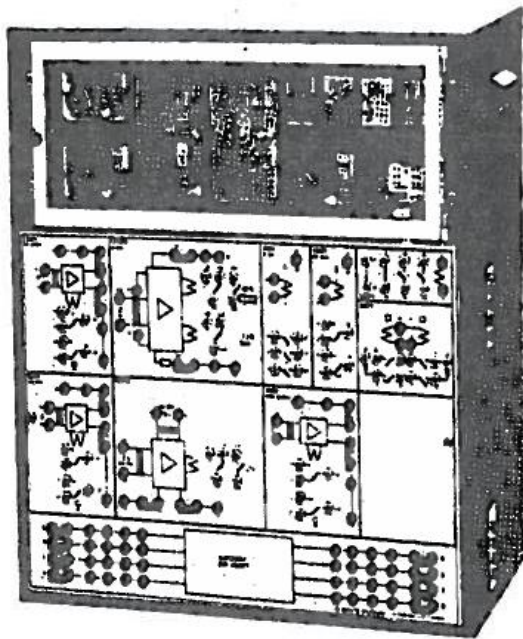
## 5. Περιγραφή της συσκευής που θα χρησιμοποιηθεί (MV 1431)

Οι στατικοί ηλεκτρονόμοι που περιλαμβάνονται στη συσκευή είναι:

- i. Ένας στιγμιαίος ηλεκτρονόμος τάσης
- ii. Δύο στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι ρεύματος
- iii. Ένας ηλεκτρονόμος υπερρεύματος με χρονική καθυστέρηση
- iv. Ένας ηλεκτρονόμος διεύθυνσης

Όλοι οι στατικοί ηλεκτρονόμοι είναι τοποθετημένοι στο επάνω μέρος της συσκευής και οι ακροδέκτες τους εμφανίζονται από κάτω, όπου υπάρχουν και οι σχηματικές παραστάσεις των ηλεκτρονόμων. Οι προδιαγραφές των ηλεκτρονόμων έχουν επιλεγεί έτσι ώστε οι περισσότερες ασκήσεις να μπορούν να γίνουν χωρίς μετασχηματιστές ρεύματος και το κύκλωμα να παραμένει απλό, για καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρονόμων. Οι ασκήσεις αποσκοπούν στη διερεύνηση της λειτουργίας των ηλεκτρονόμων και την κατασκευή και λειτουργική δοκιμή των συστημάτων προστασίας. Η συσκευή περιλαμβάνει μια τροφοδοτική μονάδα για την τροφοδοσία των ηλεκτρονόμων με τη βοηθητική συνεχής τάση των 110 V.

Στα πλάγια και στο μπροστινό κάτω μέρος της συσκευής υπάρχουν ακροδέκτες για την σύνδεση πηγών, φορτίων, γραμμής, μετασχηματιστών και μετρητικών οργάνων, όπως δείχνεται στο **Σχ. 6.8**. Σημειώνεται ότι η γραμμή που φαίνεται στη πρόσοψη της συσκευής δεν υπάρχει. Το γράμμα  $a$  υποδηλώνει την πραγματική θέση των ηλεκτρονόμων στην συσκευή ενώ το  $b$  υποδηλώνει τη θέση των ακροδεκτών του αντίστοιχου ηλεκτρονόμου στη συσκευή.



1a	3a	4a	5a	6a	8a	9a
2a			7a			
1b	3b	4b	5b	6b	8b	9b
2b			7b			
10						





**Σχήμα 6.8** Συσκευή που περιλαμβάνει τους στατικούς ηλεκτρονόμους(MV1431)

1. Στιγμιαίος ηλεκτρονόμος τάσης RXEG 2, 1-3x80 V
2. Στιγμιαίος ηλεκτρονόμος ρεύματος RXIG 2, 1-3x2.5 A
3. Ηλεκτρονόμος υπερρεύματος με χρονική καθυστέρηση RXIDF 2H, 0.5-20 A
4. Ηλεκτρονόμος διεύθυνσης RXPE 40, 1-4 A
5. Ρυθμιζόμενος ηλεκτρονόμος ρεύματος RXIC, 1-2.5x2 A
6. Χρονικής καθυστέρησης ηλεκτρονόμος RXKN 1, 0.2-2 s
7. Στιγμιαίος ηλεκτρονόμος ρεύματος RXIG 2, 1-3x25 mA
8. Βοηθητικός ηλεκτρονόμος RXME 1
9. Ηλεκτρονόμος σήματος RXSF 1
10. Ακροδέκτες για σύνδεση συσκευών προς δημιουργία του ηλεκτρικού συστήματος.

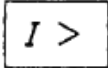
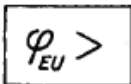
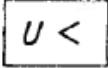
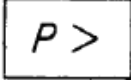
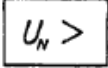
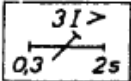
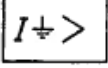
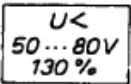
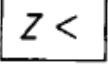
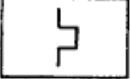
## 6. Συμβολισμοί

Οι συμβολισμοί είναι σύμφωνοι με την IEC 117-3B (1972) και IEC 27-1 (1971) εκτός και αν δηλώνεται διαφορετικά.

### A. Λειτουργία

<u>Σύμβολο</u>	<u>Σημασία</u>
$>$	Λειτουργεί όταν η ποσότητα είναι μεγαλύτερη από την καθορισμένη τιμή
$<$	Λειτουργεί όταν η ποσότητα είναι μικρότερη από την καθορισμένη τιμή
$= 0$	Λειτουργεί όταν η ποσότητα είναι μηδέν
	Καθυστερούμενη λειτουργία
	Καθυστερούμενη λειτουργία, ρυθμιζόμενη
	Καθυστερούμενη λειτουργία με χαρακτηριστικά αντιστρόφου χρόνου
	Λειτουργία πολλών βημάτων
$0 \rightarrow 1$	Ενεργοποίηση (pick-up) (δεν περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές της IEC).
$1 \rightarrow 0$	Απενεργοποίηση (drop-out) (δεν περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές της IEC)

### B. Ηλεκτρονόμοι προστασίας

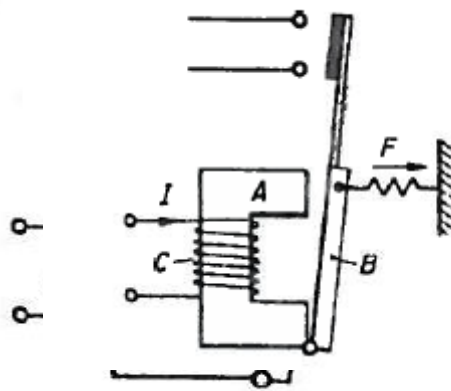
<u>Σύμβολο</u>	<u>Τύπος προστασίας</u>	<u>Σύμβολο</u>	<u>Τύπος προστασίας</u>
	Υπερέυματος		Απώλεια συγχρονισμού (όχι στις IEC)
	Υποτάσεως		Μέγιστη ισχύ
	Τάση ουδετέρου σημείου		Τριφασική υπερέυματος Ρυθμιζόμενη 0.3 - 2s
	Ρεύμα γής		Υποτάσεως με περιοχή αναφοράς 50 μέχρι 80 V, λόγος απενεργοποίησης 130%
	Προστασία απόστασης		Θερμικό υπερφόρτισης

## 7. Πειραματικό μέρος

### 7.1 Εξοικείωση με τους στιγμιαίους ηλεκτρονόμους ρεύματος και τάσης

### 7.1.1 Στατικός ηλεκτρονόμος RXIG 2 και ηλεκτρομηχανικός ηλεκτρονόμος RXIC 1

Σκοπός αυτού του τμήματος της άσκησης είναι να γίνει μια σύγκριση μεταξύ ενός ηλεκτρονικού και ενός ηλεκτρομηχανικού ηλεκτρονόμου. Πριν αρχίσουμε την άσκηση θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή του ηλεκτρομηχανικού ηλεκτρονόμου, για να γίνουν κατανοητές οι κατασκευαστικές του διαφορές από τον στατικό ηλεκτρονόμο. Η λειτουργία του στιγμιαίου ηλεκτρομηχανικού ηλεκτρονόμου βασίζεται στη δύναμη που παράγεται μεταξύ ενός ηλεκτρομαγνήτη  $A$  και ενός κινούμενου σπλισμού  $B$ , Σχ. 6.9. Αυτή η δύναμη είναι ανάλογη του ρεύματος  $I$  που διαρρέει το πηνίο  $C$ . Όταν η δύναμη αυτή υπερνικήσει τη δύναμη του ελατηρίου  $F$ , ο σπλισμός έλκεται προς τον ηλεκτρομαγνήτη και ανοίγει ή κλείνει κάποιες επαφές. Με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο  $C$  επιλέγουμε διαφορετικά επίπεδα επιλογής ( $1-2.5 \times 2A$ ), ενώ μπορεί να γίνει και ρύθμιση της τάσης του ελατηρίου στον σπλισμό. Η βαθμολόγηση της κλίμακας του αντιστοιχεί στην περίπτωση που έχουμε βραδεία αύξηση του μετρούμενου ρεύματος. Αν το ρεύμα αυξάνεται γρήγορα, όπως στη περίπτωση βραχυκυκλώματος, ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται για τιμές ρεύματος περίπου 10% μικρότερες, αν έχουν αναπτυχθεί πλήρως DC συνιστώσες στο ρεύμα.

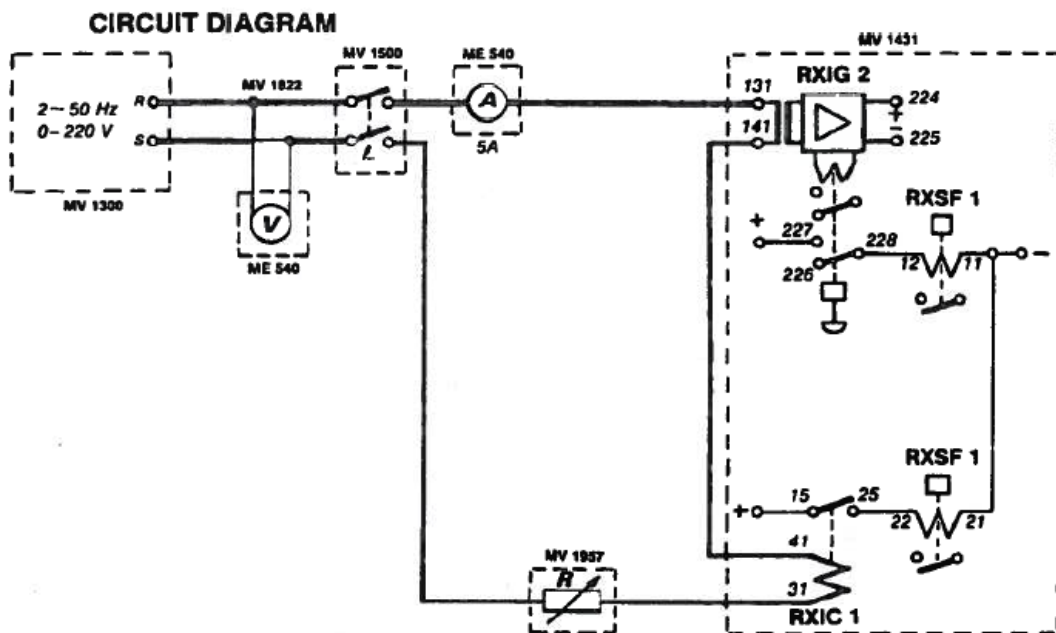


Σχήμα 6.9 Στιγμιαίος ηλεκτρομηχανικός ηλεκτρονόμος

#### Π6.1 Τιμές ενεργοποίησης και απενεργοποίησης

- Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.10 και τοποθετήστε τον συντελεστή κλίμακας στο 1 στον RXIG 2 και στο 1.25 στον RXIC 1.
- Ελέγξτε ότι η τάση τροφοδοσίας είναι στο μηδέν και κλείστε τον διακόπτη.
- Αυξήστε προσεκτικά την τάση τροφοδοσίας και βρείτε την τιμή του ρεύματος λειτουργίας και των δύο ηλεκτρονόμων\*.
- Ελαττώστε προσεκτικά την τάση τροφοδοσίας και βρείτε την τιμή του ρεύματος απενεργοποίησης και των δύο ηλεκτρονόμων\*.

- ε) Επαναλάβετε τα βήματα γ και δ δύο φορές επιπλέον ( για να βρείτε τη μέση τιμή).
- στ) Επαναλάβετε τα βήματα γ, δ, και ε για συντελεστή κλίμακας 2 στον RXIG 2 και 2.5 στον RXIC 1.
- ζ) Συμπληρώστε το φυλλάδιο απαντήσεων.
- Σημειώνεται ότι η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων γίνεται φανερή από τους ηλεκτρονόμους RXSF.



Σχήμα 6.10

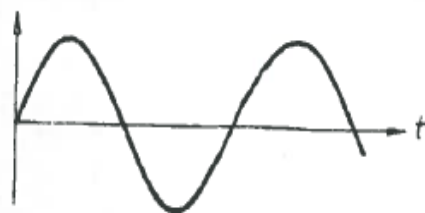
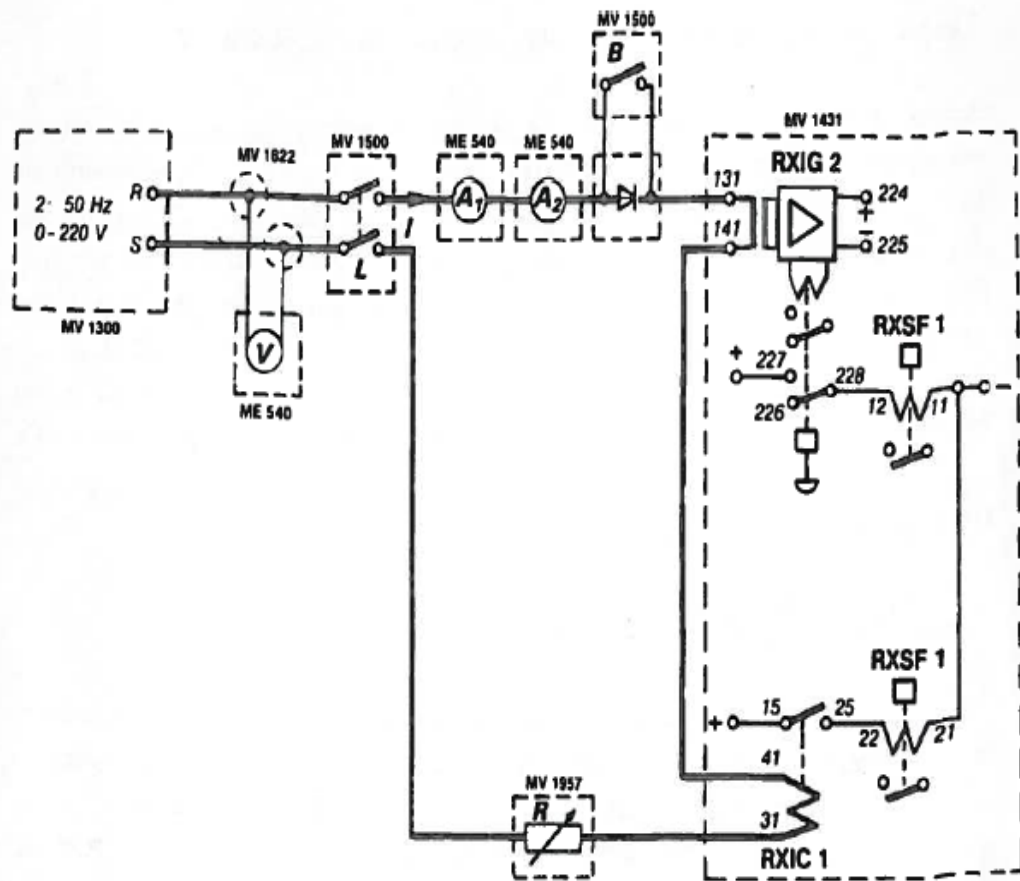
### Π6.2 Κατανάλωση ισχύος ηλεκτρονόμων

- α) Στο κύκλωμα του τοποθετήστε τον συντελεστή κλίμακας στο 1 και στους δύο ηλεκτρονόμους .
- β) Συνδέστε ένα βολτόμετρο στα άκρα του RXIC 1 (σημεία 31 και 41 στο διάγραμμα).
- γ) Προσεκτικά αυξήστε την τάση τροφοδοσίας και σημειώστε το ρεύμα ενεργοποίησης και την τάση λίγο πριν και μετά την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου.
- δ) Επαναλάβετε το βήμα γ δύο ακόμη φορές.
- ε) Συνδέστε το βολτόμετρο στον RXIG 2 και επαναλάβετε τα βήματα γ και δ.
- στ) Συμπληρώστε στο φυλλάδιο απαντήσεων.

### Π6.3 Επίδραση των συνιστωσών συνεχούς ρεύματος (DC)

- α) Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.11 και τοποθετήστε τον συντελεστή κλίμακας στο 1 και για τους δύο ηλεκτρονόμους. Ρυθμίστε το αμπερόμετρο  $A_1$  να μετρά AC και το  $A_2$  DC ρεύματα. Όταν ο διακόπτης B είναι “On” οι ηλεκτρονόμοι τροφοδοτούνται με AC ρεύματα, ενώ όταν είναι “Off” οι ηλεκτρονόμοι τροφοδοτούνται με ημιανορθωμένα ρεύματα.
- β) Τοποθετήστε στον διακόπτη B στο “On” και με μηδέν τάση τροφοδοσίας κλείστε το διακόπτη L.
- γ) Προσεκτικά αυξήστε το ρεύμα λειτουργίας του RXIC 1 και κατόπιν αυξάνοντας περισσότερο το ρεύμα βρείτε το ρεύμα λειτουργίας του RXIG 2.
- δ) Ελαττώστε προσεκτικά το ρεύμα και βρείτε το ρεύμα απενεργοποίησης των ηλεκτρονόμων.
- ε) Επαναλάβετε τα βήματα γ και δ δύο ακόμη φορές.
- στ) Με το διακόπτη B στο “Off” επαναλάβετε τα βήματα γ, δ και ε σημειώνοντας όμως ξεχωριστά τις τιμές του  $A_1$  και του  $A_2$ .
- ζ) Συμπληρώστε στο φυλλάδιο απαντήσεων.





Διακόπτης "On"



Διακόπτης "Off"

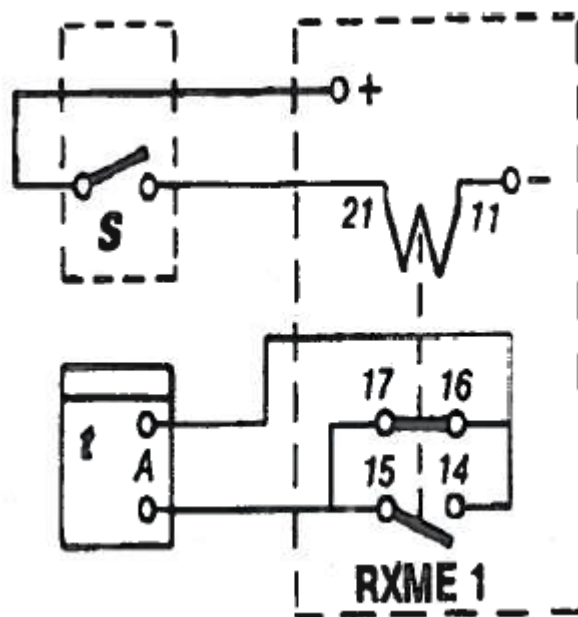
Σχήμα 6.11

### 7.1.2 Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρονόμων τάσης RXEG 2

Χρόνος λειτουργίας (operating time) ενός ηλεκτρονόμου είναι ο χρόνος που περνά από τη στιγμή που θα επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής μέχρι ο ηλεκτρονόμος να κλείσει τις επαφές του. Για την μέτρηση του θα χρησιμοποιηθεί το χρονόμετρο MV 1918, που αρχίζει να μετρά η να σταματά, όταν αλλάξει η κατάσταση στους ακροδέκτες του (από βραχυκύκλωμα σε ανοικτοκύκλωμα ή από ανοικτοκύκλωμα σε βραχυκύκλωμα). Για τον έλεγχο του χρονομέτρου θα χρησιμοποιήσουμε τον ηλεκτρονόμο RXME 1, του οποίου ο χρόνος λειτουργίας θα περιλαμβάνετε στα αποτελέσματα. Για να διορθώσουμε τ' αποτελέσματα πρώτα θα μετρήσουμε το χρόνο λειτουργίας του RXME 1.

#### Π6.4 Χρόνος λειτουργίας του RXME 1

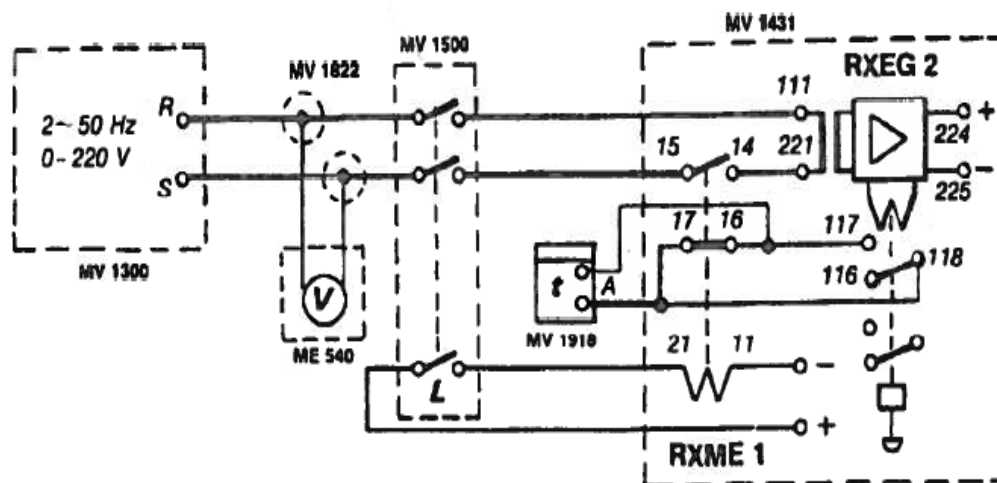
- α) Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.12.
- β) Κλείστε στο διακόπτη S που ενεργοποιεί τον RXME 1 και καταγράψτε το χρόνο που δείχνει το χρονόμετρο.
- γ) Επαναλάβετε το βήμα β άλλες δύο φορές και βρείτε την μέση τιμή του χρόνου λειτουργίας.



Σχήμα 6.12

## Π6.5 Χρόνος λειτουργίας του RXEG 2

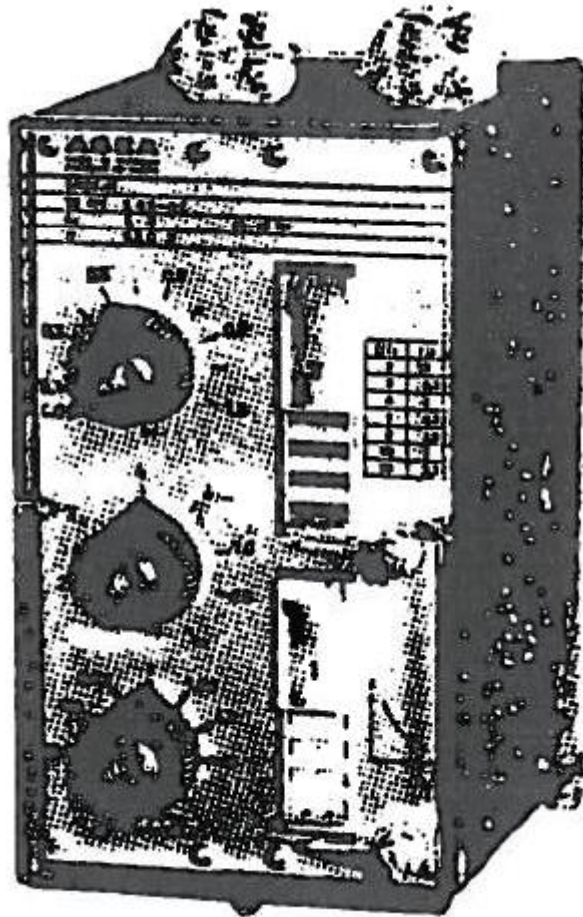
- α) Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.13 και με μηδέν τάση τροφοδοσίας κλείστε το διακόπτη L.
- β) Τοποθετήστε το συντελεστή κλίμακας στο 1 (max θέση)
- γ) Αυξήστε την τάση τροφοδοσίας στα 88 V, ανοίξτε το διακόπτη L και μηδενίστε το χρονόμετρο.
- δ) Κλειστέ το διακόπτη L, καταγράψτε το χρόνο λειτουργίας του RXEG 2 και διορθώστε τον με τη μέση τιμή του χρόνου λειτουργίας του RXME 1.
- ε) Επαναλάβετε την μέτρηση άλλε δύο φορές.
- στ) Αυξήστε την τάση στα 120 και 200 V και επαναλάβετε τις μετρήσεις.
- ζ) Συμπληρώστε στο φυλλάδιο απαντήσεων.



Σχήμα 6.13

## 7.2 Ηλεκτρονόμος υπερρεύματος με χρονική καθυστέρηση RXIDF 2H

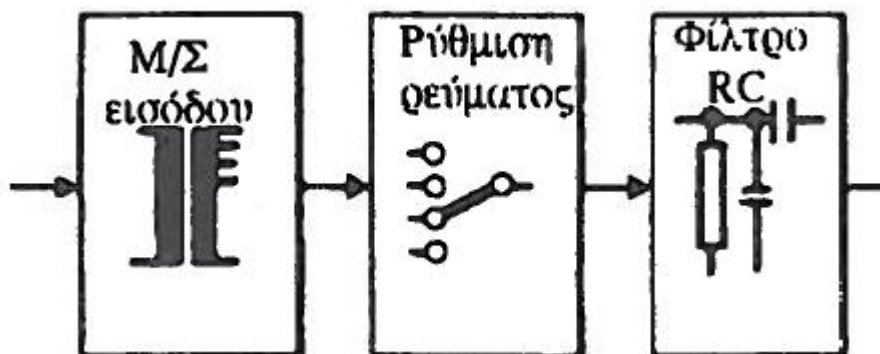
Θα αρχίσουμε με μια σύντομη περιγραφή του πραγματικού ηλεκτρονόμου, Σχ. 6.14, για να εξοικειωθούμε με τους διακόπτες επιλογής και να τους αντιστοιχίσουμε με τους ρυθμιστές του Σχ. 6.11.



Σχήμα 6.14 Ηλεκτρονόμος RXIDF 2H

### 7.2.1 Ρυθμιστής ρεύματος επιλογής

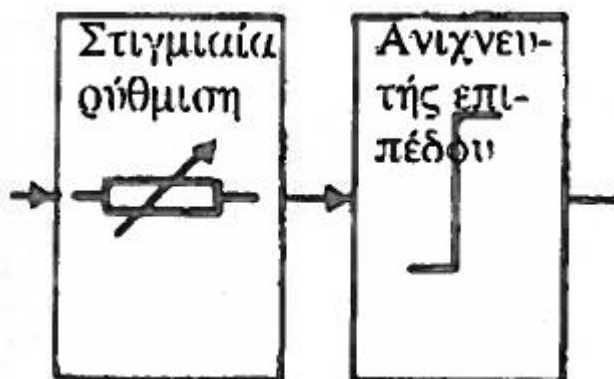
Ο διακόπτης επιλογής A στο κάτω μέρος της πρόσοψης του ηλεκτρονόμου RXIDF 2H έχει 7 θέσεις βαθμολογημένες από 0.5 έως 2, με ρυθμιζόμενο ρεύμα επιλογής 0.5 – 5 A. Αυτός είναι ο ρυθμιστής του επιπέδου επιλογής, που αντιστοιχεί στις μεταβλητές λήψεις του μετασχηματιστή, Σχ. 6.15. ο τύπος του διακόπτη είναι τέτοιος ώστε η ρύθμιση του επιπέδου επιλογής μπορεί να γίνεται υπό φορτίο χωρίς κίνδυνο καταστροφής του μετασχηματιστή εισόδου.



Σχήμα 6.15

### 7.2.2 Ρυθμιστής στιγμιαίας λειτουργίας

Ο μεσαίος διακόπτης Β χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του επιπέδου επιλογής για στιγμιαία λειτουργία (σημαία 2) και αντιστοιχεί στο ρυθμιστή του Σχ. 6.16. Το επίπεδο επιλογής ρυθμίζεται στην περιοχή 2-20 φορές το ρεύμα επιλογής, που επιτυγχάνεται με το διακόπτη Α. Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση α η στιγμιαία λειτουργία εμποδίζεται πλήρως. Όταν ρυθμίζουμε την στιγμιαία λειτουργία λαμβάνουμε υπόψη μόνο τις AC συνιστώσες του ρεύματος βραχυκύκλωσης, γιατί ο ηλεκτρονόμος δεν αντιδρά στις DC συνιστώσες.

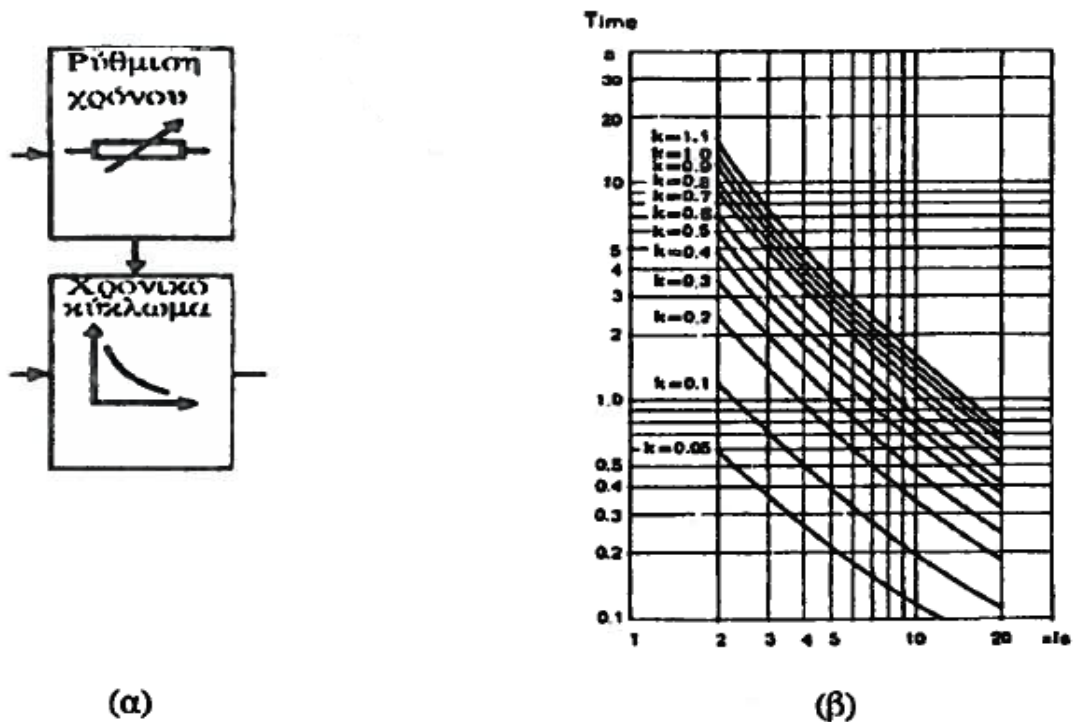


Σχήμα 6.16

### 7.2.3 Ρυθμιστής χρόνου

Ο επάνω διακόπτης επιλογής C χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης (συντελεστής K), αντιστοιχεί στο ρυθμιστή του Σχ. 6.17(α) και μας δίνει τις καμπύλες του Σχ. 6.17(β).

Στην πρόσοψη του ηλεκτρονόμου, δεξιά της σημαίας 2, υπάρχει πίνακας που συνδέει τις ποσότητες  $I/I_s$  και  $t(s)$  για  $K=1$ .  $I$  είναι το μετρούμενο ρεύμα και  $I_s$  είναι το επίπεδο επιλογής, που επιτυγχάνουμε με το διακόπτη Α. Αν ο διακόπτης Α είναι 0.75, τότε  $I_s = 0.75 * 4 = 3 A$ . Για ένα ρεύμα  $I = 9 A$ , δηλαδή  $I/I_s = 3$  ο χρόνος λειτουργίας είναι 6.3 s από τον πίνακα. Με τις ίδιες συνθήκες αν χρησιμοποιήσουμε  $K=0.1$ , τότε ο χρόνος λειτουργίας είναι  $6.3 \times 0.1 = 0.63 s$ . Τα ίδια αποτελέσματα παίρνουμε και από τις καμπύλες του Σχ. 6.17(β). Επειδή υπάρχει αναλογία μεταξύ των καμπυλών του Σχ. 6.17(β), για λόγους ευκολίας, στον υπολογισμό του χρόνου λειτουργίας χρησιμοποιούμε τον πίνακα ή την καμπύλη για  $K=1$  του Σχ. 6.17(β) και το χρόνο που βρίσκουμε τον πολλαπλασιάζουμε με το πραγματικό K που χρησιμοποιούμε.



Σχήμα 6.17

#### 7.2.4 Έναρξη λειτουργίας (σημαία 1)

Ένας ξεχωριστός ηλεκτρονόμος εξόδου (βλέπε Σχ. 6.11, ηλεκτρονόμος εκκίνησης) λειτουργεί μόλις το μετρούμενο ρεύμα φτάσει στην τιμή  $I_s$  (τότε ενεργοποιείται η σημαία 1). Ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται για  $I = 100 - 107\%$  του  $I_s$  και απενεργοποιείται για  $I \geq 0.95 I_s$ , αν δεν έχει λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος ενεργοποίησης (βλέπε Σχ. 6.11). Αν έχει λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος ενεργοποίησης, ο ηλεκτρονόμος εκκίνησης απενεργοποιείται για  $I \geq 0.85 I_s$ .

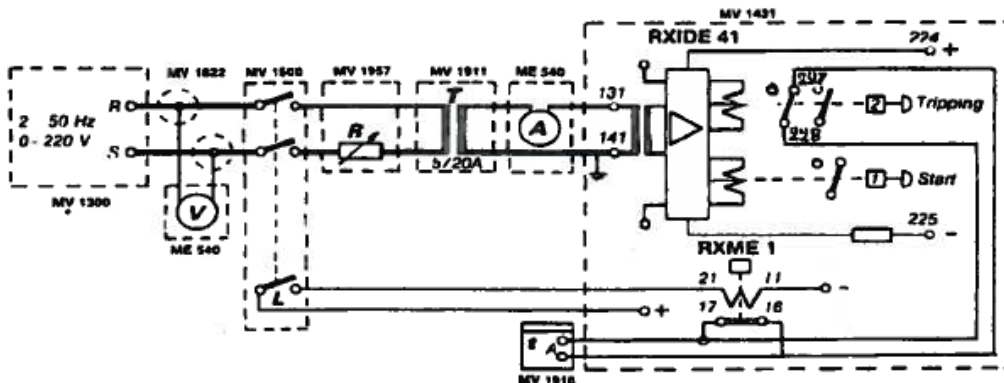
Μόνος του ο ηλεκτρονόμος RXIDF 2H μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προστασία υπερρεύματος χωρίς διεύθυνση σε μηχανές, μετασχηματιστές ή γραμμές μεταφοράς. Οι επαφές του ηλεκτρονόμου εκκίνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- Στιγμαία ενεργοποίηση του διακόπτη ισχύος με γρήγορο επανακλείσιμο και καθυστερημένο συγκεκριμένου χρόνου άνοιγμα και πάλι του διακόπτη
- Εμπόδιση άλλης προστασίας, όταν έχουμε υπερρεύμα
- Ενεργοποίηση απαριθμητών που καταγράφουν σφάλματα, που δεν οδηγούν σε λειτουργία του διακόπτη ισχύος

- Σύνδεση ξεχωριστών συσκευών ένδειξης

### Π6.6 Κατασκευή καμπυλών αντίστροφου χρόνου

- Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.18. Το χρονόμετρο συνδέεται έτσι ώστε να ξεκινά με το διακόπτη L και να σταματά με τον ηλεκτρονόμο ενεργοποίησης.
- Εξασφαλίστε ότι η πηγή τροφοδοσίας έχει τάση μηδέν, πριν κλείσετε τον διακόπτη L.
- Τοποθετήστε το διακόπτη B στο  $\infty$  (φραγμένη ή στιγμιαία λειτουργία), το διακόπτη C στο  $K=1.1$  και το διακόπτη A στο 2 ( $I_s = 2 A$ ).
- Κλείστε το διακόπτη L και τροφοδοτήστε στο κύκλωμα ρεύμα 4 A.
- Ανοίξτε το διακόπτη L και μηδενίστε το χρονόμετρο.
- Κλείστε το διακόπτη L και όταν λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος γράψτε στο φυλλάδιο απαντήσεων το χρόνο του χρονόμετρου.
- Επαναλάβετε τα βήματα ε και στ δύο φορές ακόμα.
- Αλλάξτε τις ρυθμίσεις του ηλεκτρονόμου, όπως υποδεικνύεται στους πίνακες του φυλλαδίου απαντήσεων και συνεχίστε τις μετρήσεις.



Σχήμα 6.18

### 7.3 Ηλεκτρονόμος διεύθυνσης για ισχύ ή ρεύμα με χαρακτηριστικά αντιστρόφου χρόνου RXPE 40

Αυτός ο ηλεκτρονόμος τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη (AC) τάση και ρεύμα. Η τάση χρησιμοποιείται σαν αναφορά, έχει ονομαστική τιμή 110 V, αλλά ο ηλεκτρονόμος μπορεί να λειτουργήσει και με πολύ μικρότερες τιμές. Ο διακόπτης επιλογής στην πρόσοψη του ηλεκτρονόμου είναι για τη ρύθμιση του ρεύματος λειτουργίας  $I_s$  και βαθμολογείται από 1-4 A. Ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί όταν:

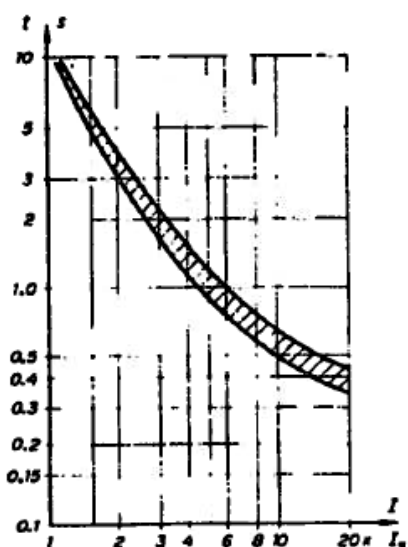
$$I \cos(\varphi - \alpha) > I_s$$

όπου:  $I$  είναι το μετρούμενο ρεύμα

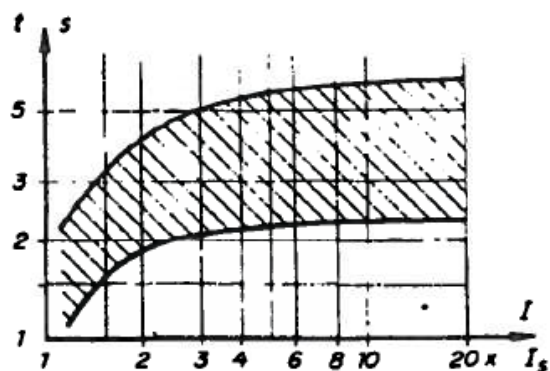
$\varphi$  είναι η γωνία μεταξύ τάσης και ρεύματος (+ όταν η τάση προηγείται)

$\alpha$  η χαρακτηριστική γωνία του ηλεκτρονόμου ( $\alpha = 0$  για τον RXPE 40)

Έχοντας μετασηματιστές εισόδου για την τάση και το ρεύμα ο ηλεκτρονόμος δεν επηρεάζεται από τις DC συνιστώσες, έχει μικρή κατανάλωση ισχύος, αλλά επηρεάζεται από τις αλλαγές στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και απενεργοποίησης του δείχνονται στο **Σχ.6.19**.



α) περιοχή λειτουργίας



β) Περιοχή απενεργοποίησης για στιγμιαία μεταβολή του ρεύματος από  $I$  σε μηδέν

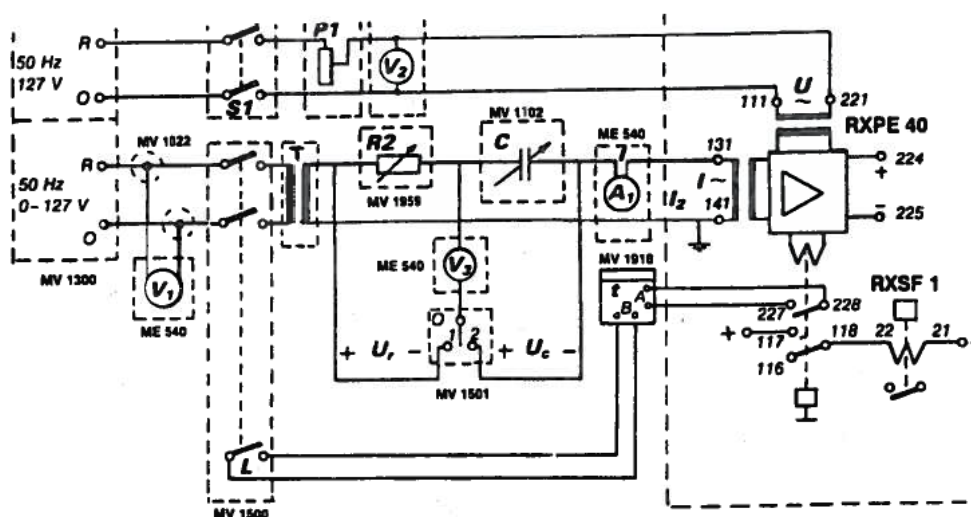
Σχήμα 6.19

Οι κύριες εφαρμογές αυτού του ηλεκτρονόμου είναι:

- Προστασία διεύθυνσεως για πραγματική και άεργο ισχύ σε συμμετρικά φορτισμένα κυκλώματα με ή χωρίς ουδέτερο.
- Προστασία διεύθυνσεως ρεύματος γης.
- Προστασία απώλειας συγχρονισμού σύγχρονων μηχανών.



## Π6.7 Επίδραση της μεταβολής της φασικής γωνίας



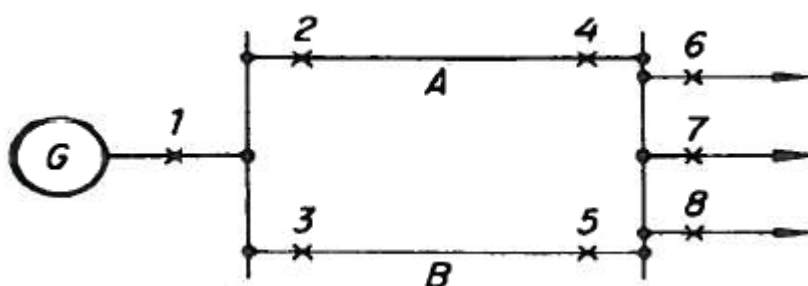
Σχήμα 6.20

- α) Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.20. Ο μετασχηματιστής T είναι μονοφασικός με 4 τυλίγματα δευτερεύοντος 55V το καθένα. Αυτά τα τυλίγματα συνδέονται παράλληλα και ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται σαν μετασχηματιστής ρεύματος 5/20 A.
- β) Τοποθετείστε το διακόπτη επιλογής του ηλεκτρονόμου στο 1, κλείστε το διακόπτη  $S_1$  και ρυθμίστε την τάση τροφοδοσίας 1 ώστε  $V_2 = 110 V$ .
- γ) Τοποθετείστε την  $R_2$  στο μέγιστο και βραχυκυκλώστε τον C.
- δ) Με  $V_1 = 0$  κλείστε τον διακόπτη L και αυξήστε το ρεύμα μέχρι  $I = 1.1 A$ .
- ε) Ανοίξτε τον L και μηδενίστε το χρονόμετρο. Ο ηλεκτρονόμος πρέπει να μην έχει ρεύμα για 30 s μεταξύ των μετρήσεων.
- στ) Κλείστε τον L και γράψτε το χρόνο λειτουργίας στο φυλλάδιο απαντήσεων. Ανοίξτε τον L χωρίς ν' αλλάξετε το  $V_1$ .
- ζ) Τοποθετείστε  $C = 70 \mu F$ . Κλείστε τον L και μετρείστε τα  $U_R$  και  $U_C$ .
- η) Υπολογίστε  $\tan \varphi$ ,  $I = 1.1 / \cos \varphi$  και αυξήστε την τάση  $V_1$  ώστε το  $A_1$  να δείχνει το ρεύμα το υπολογίσατε.
- θ) Κλείστε τον L, γράψτε το χρόνο λειτουργίας και συνεχίστε τις μετρήσεις, όπως δείχνεται στο φυλλάδιο απαντήσεων.

## 7.4 Προστασία συστημάτων

Μετά την εξοικείωση των σπουδαστών με την λειτουργία των διάφορων ηλεκτρονόμων, στην άσκηση αυτή θα παρουσιάσουμε ενδεικτικά μια συνδυασμένη

χρήση ηλεκτρονόμων για τη δημιουργία ενός συστήματος προστασίας για παράλληλες γραμμές. Αυτό το σύστημα προστασίας δεν σχετίζεται με τα χρησιμοποιούμενα συστήματα προστασίας σε παράλληλες γραμμές, αλλά δημιουργήθηκε μόνο για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Βασικός στόχος ενός συστήματος προστασίας είναι ν' αποσυνδέσει το μικρότερο δυνατό τμήμα του συστήματος για την απομόνωση του βραχυκυκλώματος. Το σύστημα προστασίας πρέπει να λαμβάνει υπόψη ότι η ισχύς βραχυκύκλωσης τροφοδοτείται στο βραχυκύκλωμα από όλες τις διευθύνσεις, ανεξάρτητα της διεύθυνσης της κανονικής ισχύος φορτίου. Στο **Σχ. 6.21** φαίνεται ένα παράδειγμα με δύο παράλληλες γραμμές. Αν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα στη γραμμή Β, πρέπει να λειτουργήσουν οι διακόπτες 3 και 5 και το σύστημα πρέπει να συνεχίσει να τροφοδοτεί ισχύ μέσω της Α.

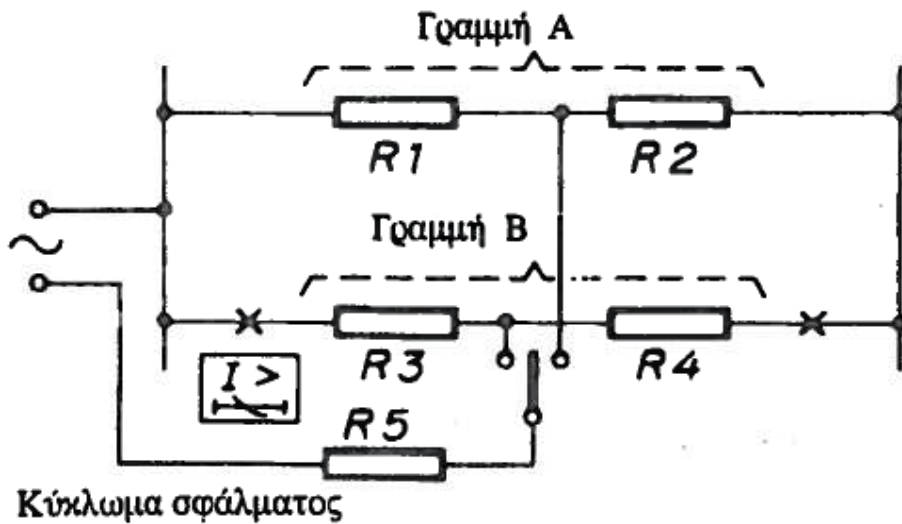


**Σχήμα 6.21**

Αν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα στην Α, οι διακόπτες 2 και 4 πρέπει να λειτουργήσουν, ενώ οι 3 και 5 να μην επηρεαστούν. Η ιδιότητα αυτή του συστήματος προστασίας ονομάζεται “επιλεκτικότητα”, δηλαδή “επιλεκτικότητα” είναι η ικανότητα του συστήματος προστασίας να διακρίνει ένα σφάλμα στη ζώνη που εποπτεύει από ένα σφάλμα σ' άλλη ζώνη. Αν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα κοντά στον διακόπτη 5 στη γραμμή Β, οι προστασίες του 4 και 5 θα δεχτούν το ίδιο ρεύμα, αλλά η ροή ισχύος στον 4 θα είναι κανονική και θα αντιστραφεί στον 5. Αυτή η διαφορά μπορεί να αξιοποιηθεί από έναν ηλεκτρονόμο διεύθυνσης και να επιτευχθεί η επιλεκτικότητα. Στην άσκηση που ακολουθεί, επειδή δεν υπάρχουν αρκετοί κατάλληλοι ηλεκτρονόμοι για να αναπτύξουμε το πραγματικό σύστημα προστασίας γραμμών μεταφοράς, εκμεταλλευόμαστε κυρίως το μέτρο του ρεύματος στο προτεινόμενο σύστημα προστασίας.

#### **7.4.1 Περιγραφή του πειραματικού κυκλώματος**

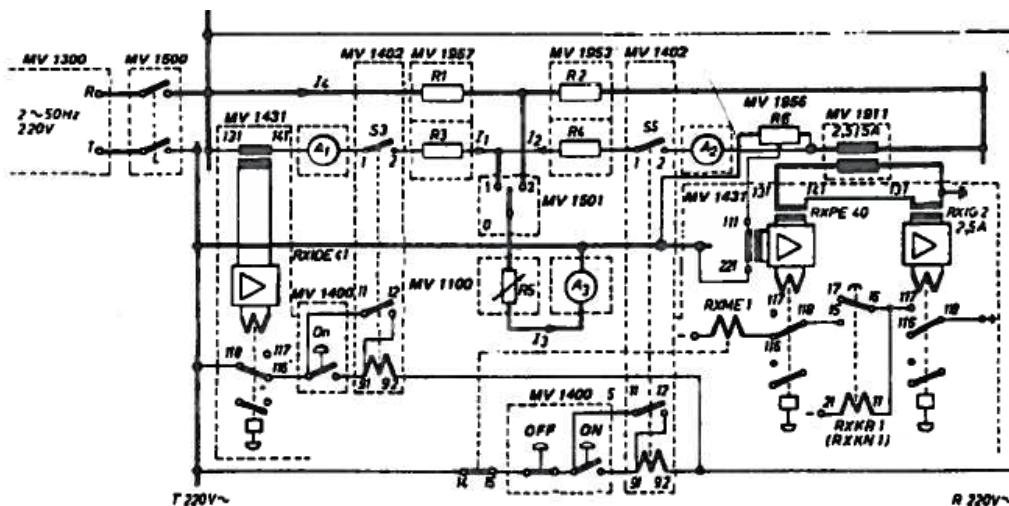
Η άσκηση ασχολείται με βραχυκυκλώματα στο μη φορτισμένο δίκτυο του **Σχ. 6.22**. Ένα κύκλωμα σφάλματος περιλαμβάνεται για την εξομοίωση των βραχυκυκλωμάτων στις γραμμές. Αυτός είναι και ο άλλος πόλος του δικτύου. Οι αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  παριστούν τη γραμμή Α, ενώ οι  $R_3$  και  $R_4$  παριστούν τη γραμμή Β.



Σχήμα 6.22

**Π6.8 έλεγχος και ερμηνεία της λειτουργίας του συστήματος προστασίας**

α) Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6.23 και ρυθμίστε τους ηλεκτρονόμους όπως υποδεικνύεται. Ειδικά για τον ηλεκτρονόμο RXIDF 2H τοποθετήστε το διακόπτη επιλογής στιγμιαίας λειτουργίας στο  $\alpha$  και τον συντελεστή χρόνου  $K=0.1$ .



Σχήμα 6.23

β) Για το διακόπτη Ο στη θέση 1 αναλύστε στο φυλλάδιο απαντήσεων το κύκλωμα, υπολογίζοντας τα ρεύματα που θα δεχθούν όλοι οι ηλεκτρονόμοι. Ποιος ηλεκτρονόμος θα λειτουργήσει πρώτος;

- γ) Μετά την λειτουργία του πρώτου ηλεκτρονόμου και το άνοιγμα του αντίστοιχου διακόπτη, υπολογίστε πάλι τα ρεύματα και προσδιορίστε αν θα λειτουργήσει άλλος ηλεκτρονόμος και αν ναι ποιος. Γίνεται εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος;
- δ) Μελετήστε προσεκτικά και ερμηνεύστε την λειτουργία και τον σκοπό που εξυπηρετούν όλες οι συσκευές του κυκλώματος. Με τον διακόπτη Ο στην ουδέτερη θέση ρυθμίστε την τάση των πηγών τροφοδοσίας στις υποδεικνυόμενες τιμές. Προσέξτε την πολικότητα της τάσης στον ηλεκτρονόμο διεύθυνσης RXPE 40, ώστε ο ηλεκτρονόμος να λειτουργεί όταν το ρεύμα έχει τη φορά που θέλετε (διαπιστώστε την σωστή πολικότητα με ξεχωριστές δοκιμές). Όταν είστε έτοιμοι τοποθετήστε το διακόπτη Ο στη θέση 1 και ελέγξτε αν έχετε το επιθυμητό αποτέλεσμα.
- ε) Επαναλάβετε το βήμα δ με τον διακόπτη Ο στη θέση 2.

## 8. Σημειώματα

### 8.1 Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων/Εργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση X.YZ.

### 8.2 Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος «Εργαστήριο Ελέγχου και Ευστάθειας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Άσκηση 6». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: σύνδεσμο μαθήματος.

### 8.3 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.

#### 8.4 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.

### 9. Χρηματοδότηση

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

