

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Αριθμός 1170**

**ΘΕΜΑ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  
ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ  
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ(ΕΣ):  
ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:  
ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2011**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένας τομέας ενασχόλησης των ηλεκτρολόγων μηχανικών είναι ο μετασχηματισμός της ηλεκτρικής ενέργειας για την μεταφορά της από τα σημεία παραγωγής προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τις οικιακές και βιομηχανικές ανάγκες. Η ηλεκτρική ενέργεια για να μεταφερθεί εύκολα και με μικρές απώλειες από τα σημεία παραγωγής της στα σημεία κατανάλωσης που είναι οι πόλεις ή τα βιομηχανικά πάρκα κλπ, πρέπει να ανυψώνεται σε υψηλότερη τάση από την παραγόμενη.

Οι γραμμές μεταφοράς που ξεκινούν από τους σταθμούς υψηλής τάσης (Υ.Τ),φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία στα οποία βρίσκονται οι υποσταθμοί υποβιβασμού τάσης του δικτύου, στην τιμή που χρησιμοποιούν οι καταναλωτές (220/380V). Επικρατεί λοιπόν το εναλλασσόμενο ρεύμα (E.P/ AC) χάρη στο πλεονέκτημά του να μετασχηματίζεται εύκολα, γρήγορα και οικονομικά με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανημάτων που ονομάζονται μετασχηματιστές. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση τροφοδοσίας φορτίων είναι η παράλληλη σύνδεση περισσότερων του ενός Μ/Σ. Ο παραλληλισμός Μ/Σ είναι μια διαδικασία που πρέπει να γίνεται με προσοχή, διαφορετικά είναι πιθανή η πρόκληση βλαβών στους Μ/Σ ή και η διακοπή τροφοδοσίας του φορτίου.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μια κατασκευή διάταξης παραλληλισμού τριφασικών μετασχηματισμών με σκοπό την παράλληλη λειτουργία δύο τριφασικών μετασχηματιστών με/ή χωρίς φορτίο και τη μέτρηση όλων των απαραίτητων ενδείξεων (V,I).

# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Μετασχηματιστές**

1.1 Γενικά

1.2 Βασικές αρχές - Αρχή Λειτουργίας

1.3 Λειτουργία Μ/Σ χωρίς φορτίο - Σχέση μεταφοράς

1.4 Λειτουργία Μ/Σ με φορτίο - Σχέση τάσεων και εντάσεων

1.5 Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ

1.6 Τάση Βραχυκύκλωσης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τριφασικοί Μετασχηματιστές**

2.1 Γενικά

2.2 Συνδεσμολογία Τριφασικών Μετασχηματιστών

2.3 Ονοματολογία Τριφασικών Μετασχηματιστών

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Παραλληλισμός Τριφασικών Μετασχηματιστών**

3.1 Γενικά

3.2 Υπολογισμός Γραμμής Τροφοδοσίας

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4-Κατασκευή Διάταξης Παραλληλισμού 3Φ Μ/Σ**

4.1 Γενικά

4.2 Διαδικασία Κατασκευής

## **Βιβλιογραφία**

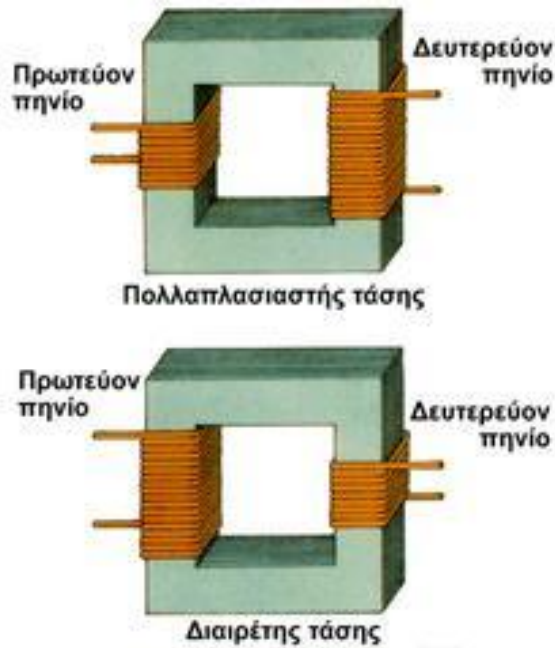
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο μετασχηματιστής είναι μια διάταξη που μετατρέπει εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός επιπέδου τάσης σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια διαφορετικού επιπέδου τάσης με την επίδραση μαγνητικού πεδίου. Μπορεί δηλαδή να μεταβάλει την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ο μετασχηματιστής διαθέτει δύο ή περισσότερα πηνία (συρμάτινες περιελίξεις τυλιγμένες γύρω από σιδερένιους πυρήνες). Όταν ένα εναλλασσόμενο ρεύμα ορισμένης τάσης, περνάει από το πρώτο πηνίο που ονομάζεται *πρωτεύον τύλιγμα* (*primary winding*), δημιουργεί ένα επίσης εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο μέσα στον σιδερένιο πυρήνα. Καθώς το μαγνητικό πεδίο αλλάζει διαρκώς κατεύθυνση, δημιουργείται ένα εναλλασσόμενο επαγωγικό ρεύμα στο δεύτερο πηνίο που ονομάζεται *δευτερεύον τύλιγμα* (*secondary winding*). Αυτό το ρεύμα του δευτερεύοντος πηνίου έχει μια άλλη τάση από το αρχικό, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών των δύο πηνίων (πρωτεύοντος-δευτερεύοντος). Αν υπάρχει και τρίτο πηνίο αυτό ονομάζεται *τριτεύον τύλιγμα* του μετασχηματιστή. Συγκεκριμένα, αν το δευτερεύον πηνίο έχει περισσότερες σπείρες από το πρωτεύον η τάση μεγαλώνει (Σχήμα. 1), ενώ στην αντίθετη περίπτωση μειώνεται (Σχήμα 1). Με αυτό τον τρόπο δεν μπορούμε να κερδίσουμε ενέργεια, γιατί όταν αυξάνεται η τάση, μειώνεται η ένταση του ρεύματος- και αντίστροφα- έτσι ώστε η ενέργεια να παραμένει σταθερή.

$$V_{prim} I_{prim} = V_{sec} I_{sec}$$



Σχήμα 1

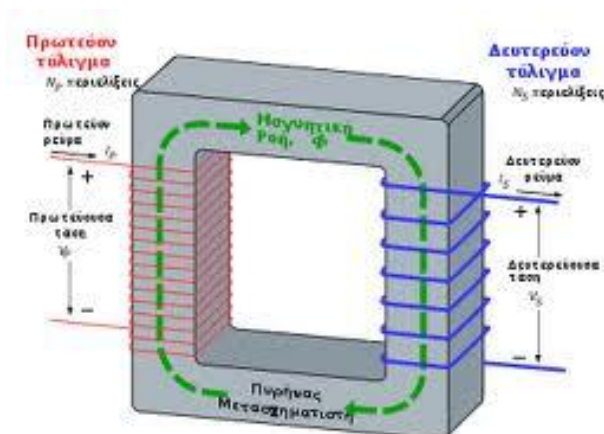
Ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) μετατρέπει το επίπεδο της εναλλασσόμενης τάσης που εφαρμόζεται στην είσοδό του (πρωτεύον τύλιγμα) σε τάση με διαφορετικό επίπεδο στην έξοδό του (δευτερεύον τύλιγμα) χωρίς σημαντικές απώλειες. Όταν η τάση εισόδου υποβιβάζεται, το ρεύμα στο δευτερεύον αυξάνεται αναλόγως, έτσι ώστε η ισχύς εξόδου να είναι ίση με την ισχύ εισόδου και αντιστρόφως, όταν ανυψώνεται η τάση στο δευτερεύον το ρεύμα μειώνεται αντίστοιχα (οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες). Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να μεταφερθεί η παραγόμενη ενέργεια από το σημείο παραγωγής της σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρές απώλειες, αφού πρώτα ανυψώσουμε το επίπεδο της τάσης με την βοήθεια καταλλήλων Μ/Σ. Γνωρίζουμε ότι οι απώλειες στη γραμμή μεταφοράς είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος της γραμμής ( $(I_{\text{γραμμής}})^2$ ). Άρα αν για παράδειγμα δεκαπλασιάσουμε την τάση πριν την μεταφορά θα μειωθεί αντίστοιχα το ρεύμα (υποδεκαπλασιαστεί). Αυτό θα έχει σαν κέρδος την μείωση της διατομής των γραμμών μεταφοράς, ενώ οι απώλειες μεταφοράς θα μειωθούν κατά εκατό φορές.

Φαίνεται καθαρά ότι χωρίς τη χρήση των μετασχηματιστών θα ήταν σχεδόν αδύνατη η μεταφορά της ενέργειας. Στο σημείο της κατανάλωσης απαιτείται ο υποβιβασμός της τάσης. Θα υποβιβαστεί σε χαμηλότερο επίπεδο αναλόγως των απαιτήσεων της κατανάλωσης με την βοήθεια καταλλήλων Μ/Σ υποβιβασμού τάσης. Έτσι από τα αρχικά 1000 ή 150KV με συνεχείς υποβιβασμούς θα κατέβει στα 400/220/110V και μπορεί με ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί σε σπίτια, γραφεία, εργοστάσια κλπ.

Ανάλογα με τη συγκεκριμένη λειτουργία και τοποθέτηση στο σύστημα οι Μ/Σ παίρνουν και διάφορες ονομασίες. Ο Μ/Σ που συνδέεται στην έξοδο μιας γεννήτριας και ανυψώνει το επίπεδο της τάσης, για παράδειγμα στα 150 KV, πριν οδηγηθεί στη γραμμή μεταφοράς ονομάζεται *μετασχηματιστής μονάδος*, ενώ ο μετασχηματιστής στο άλλο άκρο της γραμμής που υποβιβάζει την τάση στο επίπεδο ονομάζεται *μετασχηματιστής διανομής*. Ο Μ/Σ διανομής για παράδειγμα στα 25KV ονομάζεται *μετασχηματιστής υποσταθμού*. Τέλος έχουμε το μετασχηματιστή που υποβιβάζει την τάση στα επίπεδα χρήσης και ονομάζεται *μετασχηματιστής διανομής*.

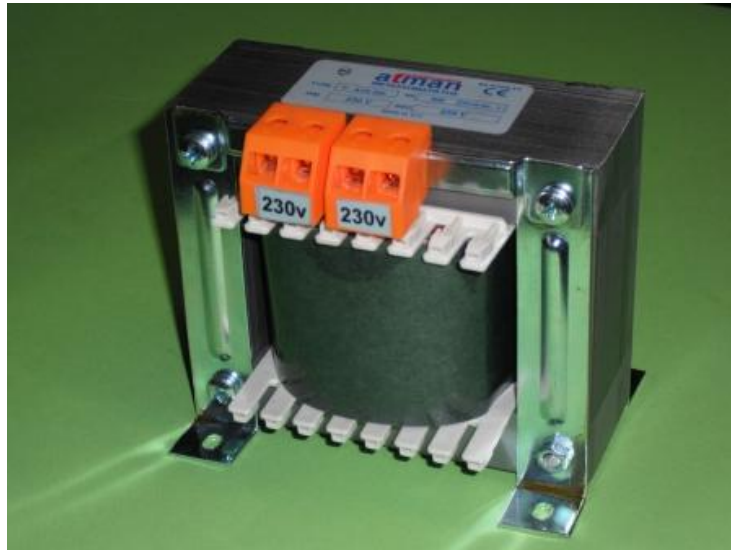
Οι Μ/Σ ισχύος κατασκευάζονται με δύο τρόπους:

1. Ο πρώτος τρόπος χρησιμοποιεί ένα ορθογώνιο πυρήνα με φύλλα χάλυβα και τα τυλίγματα τοποθετούνται στις δύο παράλληλες πλευρές του ορθογωνίου (Σχήμα 2). Αυτός ο τύπος ονομάζεται τύπου πυρήνα.



Σχήμα 2: Μ/Σ τύπου πυρήνα

2. Ο δεύτερος τρόπος κατασκευής του Μ/Σ πραγματοποιείται με την τοποθέτηση των δύο τυλιγμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος στο μεσαίο σκέλος πυρήνα με τρία σκέλη. Αυτός ο Μ/Σ ονομάζεται τύπου μανδύα (Σχήμα 3)

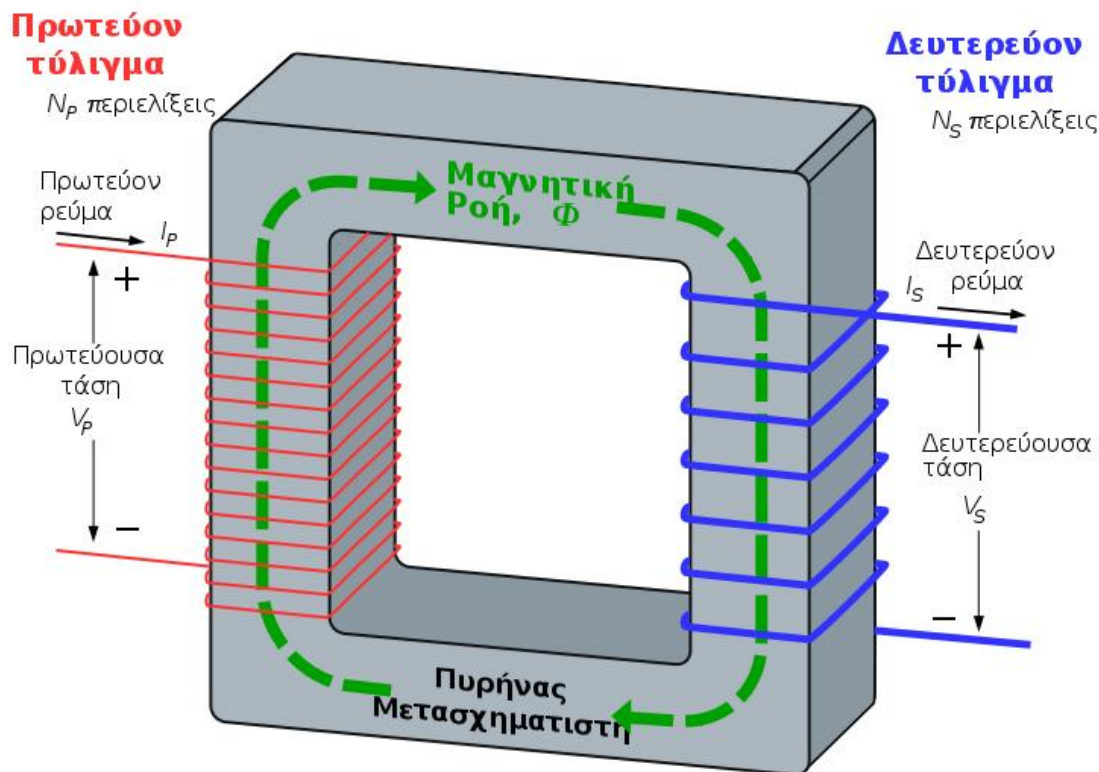


Σχήμα 3: Μ/Σ τύπου μανδύα

Στην πράξη τα τυλίγματα του Μ/Σ τοποθετούνται ομόκεντρα. Το τύλιγμα με το χαμηλότερο επίπεδο τάσης τοποθετείται εσωτερικά του άλλου τυλίγματος. Έτσι μειώνεται το πρόβλημα της μόνωσης μεταξύ πυρήνα και τυλίγματος υψηλής τάσης. Επίσης η μαγνητική διαρροή μειώνεται σημαντικά.

## 1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ-ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο μετασχηματιστής βασίζεται σε δύο αρχές: πρώτον, ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να παράγει ένα μαγνητικό πεδίο (ηλεκτρομαγνητισμός) και, δεύτερον, ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο σε ένα τυλιγμένο σύρμα ("τύλιγμα"), επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή). Μεταβάλλοντας το ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα, αλλάζει η ένταση του μαγνητικού του πεδίου. Εφόσον το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται και οι μαγνητικές γραμμές "περνούν" και στο δευτερεύον τύλιγμα, επάγεται διαφορά δυναμικού στα άκρα του δευτερεύοντος.



Σχήμα 4: Διάγραμμα Μ/Σ



### 1.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Μ/Σ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ – ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στο σχήμα 4 φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα μετασχηματιστή. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα από το πρωτεύον τύλιγμα δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο. Τόσο το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τύλιγμα περιελίσσονται γύρω από ένα μαγνητικό πυρήνα πολύ υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας, π.χ. από σίδηρο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι όσο το δυνατόν περισσότερες γραμμές του μαγνητικού πεδίου που παράγει το πρωτεύον ρεύμα, βρίσκονται εντός του πυρήνα και περνούν τόσο από το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τύλιγμα. Το δυναμικό που επάγεται στα άκρα του δευτερεύοντος μπορεί να υπολογιστεί από το νόμο της επαγωγής του Φάραντεϊ :

$$V_s = N_s d\Phi/dt \quad (1.1)$$

όπου

$V_s$  : η στιγμιαία τάση

$N_s$  : ο αριθμός των στrophών στο δευτερεύον

$\Phi$  : η μαγνητική ροή σε μία περιέλιξη του τυλίγματος.

Σε έναν ιδανικό μετασχηματιστή η ροή που περνά μέσα τόσο από το πρωτεύον όσο και από το δευτερεύον είναι ίδια, η στιγμιαία τάση στα άκρα του πρωτεύοντος τυλίγματος ισούται με:

$$V_p = N_p d\Phi/dt \quad (1.2)$$

Αν διαιρέσουμε τις δύο πιο πάνω σχέσεις 1.1 και 1.2 κατά μέλη, παίρνουμε τη βασική εξίσωση για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης:

$$V_s/V_p = N_s/N_p \quad (1.3)$$

## 1.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Μ/Σ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ – ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΕΩΝ

Αν το δευτερεύον είναι συνδεδεμένο σε φορτίο που επιτρέπει την ροή ρεύματος, τότε έχουμε μετάδοση ισχύος από το πρωτεύον στο δευτερεύον κύκλωμα. Αν ο Μ/Σ έχει τέλεια απόδοση όλη η ενέργεια που εισέρχεται στο πρωτεύον μεταφέρεται στο δευτερεύον μέσω του μαγνητικού πεδίου. Άρα:

$$P_{\text{εισερχομενη}} = I_p V_p = P_{\text{εξερχομενη}} = I_s V_s \quad (1.4)$$

έχουμε την εξίσωση του ιδανικού Μ/Σ:

$$V_s/V_p = N_s/N_p = I_p/I_s \quad (1.5)$$

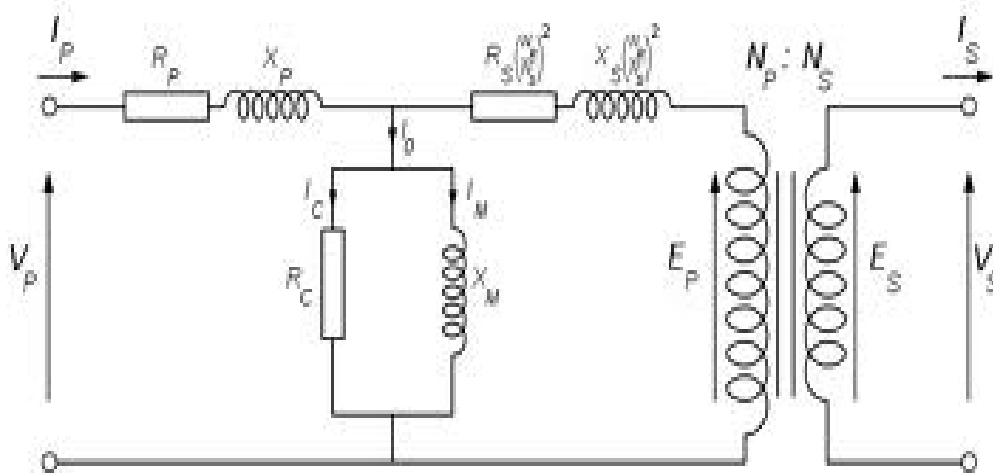
Αν η τάση αυξηθεί ( $V_s > V_p$ ), τότε το ρεύμα μειώνεται ανάλογα ( $I_s < I_p$ ).

Οι Μ/Σ έχουν υψηλή αποδοτικότητα, οπότε ο τύπος (1.5) προσεγγίζει την πραγματικότητα.

Η αντίσταση μετασχηματίζεται ανάλογα με το τετράγωνο του λόγου των περιελίξεων. Για παράδειγμα αν μια αντίσταση  $Z_s$  είναι συνδεδεμένη στα άκρα του δευτερεύοντος, εμφανίζεται στο πρωτεύον να έχει αντίσταση  $Z_s(N_p/N_s)^2$  ενώ στο δευτερεύον εμφανίζεται η αντίσταση  $Z_p$  του πρωτεύοντος ως  $Z_p(N_s/N_p)^2$ .

## 1.5 ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ Μ/Σ

Το ισοδύναμο κύκλωμα για ένα πραγματικό μετασχηματιστή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 και "χτίζεται" γύρω από το μοντέλο του ιδανικού Μ/Σ.



Σχήμα 5: Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ με τις σύνθετες αντιστάσεις δευτερεύοντος ανοιγμένες στην πλευρά του πρωτεύοντος.

Η απώλεια ισχύος στα τυλίγματα εξαρτάται από το ρεύμα και αναπαρίσταται με τις συνδεδεμένες σε σειρά αντιστάσεις  $R_p$  και  $R_s$ . Η απώλεια της μαγνητικής ροής δεν συνεισφέρει στη σύζευξη και οδηγεί στην πτώση της εφαρμοζόμενης τάσης, κατά συνέπεια μπορεί να παρουσιαστεί στο ισοδύναμο κύκλωμα με τις επαγωγικές αντιστάσεις  $X_p$  και  $X_s$  συνδεδεμένες σε σειρά με την τέλεια συζευγμένη περιοχή (ιδανικός μετασχηματιστής).

Οι απώλειες του πυρήνα οφείλονται κυρίως στην υστέρηση του πυρήνα και στις επιπτώσεις των δυνορευμάτων του πυρήνα και είναι ανάλογα του τετραγώνου της ροής του πυρήνα για την συγκεκριμένη συχνότητα. Η ροή στον πυρήνα είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης. Οι απώλειες φαίνονται στο Σχήμα 5 με μια αντίσταση  $R_c$  τοποθετημένη παράλληλα με τον ιδανικό μετασχηματιστή. Με μία

ημιτονοειδή τάση ( $V_p$ ), η ροή του πυρήνα υστερεί της επαγόμενης ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) κατά  $90^\circ$  και αυτό το φαινόμενο φαίνεται στο Σχήμα 5 σαν αντίδραση μαγνητισμού  $X_M$  παράλληλα με το στοιχείο απώλειας του πυρήνα  $R_c$ . Αν το δευτερεύον είναι ανοιχτό, το ρεύμα  $I_o$  λαμβάνουμε στον κλάδο μαγνητισμού αναπαριστά το ρεύμα μετασχηματιστή χωρίς φορτίο. Η δευτερεύουσα σύνθετη αντίσταση  $R_s$  και  $X_s$  συχνά ανάγονται στην πλευρά του πρωτεύοντος αφού πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή  $(N_p/N_s)^2$ .

## 1.6 ΤΑΣΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

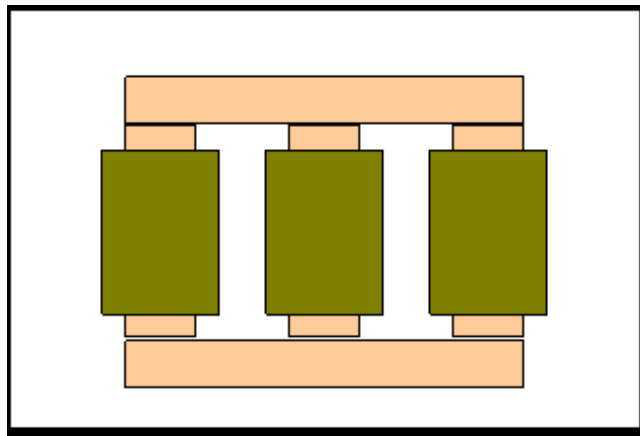
Τάση βραχυκύκλωσης Μ/Σ ονομάζουμε την τάση που πρέπει να εφαρμοστεί στο πρωτεύον του ώστε με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον τύλιγμα, να έχουμε τα κανονικά ρεύματα φόρτισης, τόσο στο πρωτεύον όσο και στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τριφασικοί Μετασχηματιστές

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σχεδόν το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από τριφασικές γεννήτριες και μεταφέρεται από τριφασικές γραμμές μεταφοράς. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στις τριφασικές γραμμές μεταφοράς αποτελούνται από τριφασικές συστοιχίες μονοφασικών Μ/Σ ή από αυτοτελείς τριφασικούς Μ/Σ. Οι πυρήνες των τριφασικών Μ/Σ έχουν την ίδια κατασκευή και τον ίδιο τρόπο συναρμολόγησης με αυτό των μονοφασικών, με τη διαφορά ότι τα ελάσματα έχουν σχήμα "διπλού πι".

Τα τυλίγματα των τριφασικών Μ/Σ είναι τοποθετημένα σε κοινό πυρήνα.



Σχήμα 6: Απεικόνιση τριφασικού Μ/Σ

Τα άκρα των τριών τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος καταλήγουν σε ακροδέκτες οι οποίοι στηρίζονται σε βάση από βακελίτη. Για κάθε ακροδέκτη χρησιμοποιείται ένα γράμμα ή αριθμός.

1. Οι ακροδέκτες του πρωτεύοντος συμβολίζονται με  $U-V-W$  ή  $A-B-C$  ή  $H_1-H_2 - H_3$ .
2. Οι ακροδέκτες του δευτερεύοντος συμβολίζονται με  $u-v-w$  ή  $a-b-c$  ή  $x_1 - x_2 - x_3$ .

3. Όταν υπάρχει ουδέτερος αγωγός, ο ουδέτερος κόμβος του πρωτεύοντος συμβολίζεται με  $N$  ή  $M_p$  ή  $H_0$  ενώ ο ουδέτερος κόμβος του δευτερεύοντος του δευτερεύοντος συμβολίζεται με  $n$ , ή  $m_p$ , ή  $x_0$ .

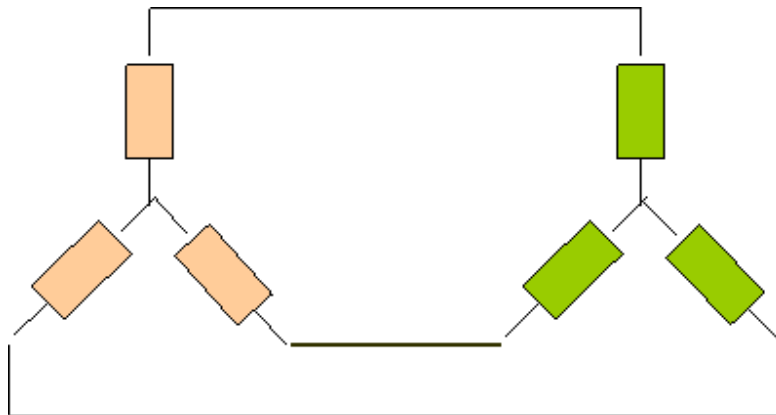
Τα προβλήματα που προκύπτουν από τις συνδέσεις των τριφασικών μετασχηματιστών αφορούν τις συνδέσεις των τάσεων, ρευμάτων, σύνθετων αντιστάσεων και ονομαστικής ισχύος των Μ/Σ.

1. Όταν τρεις μονοφασικοί Μ/Σ συνδέονται τριφασικά πρέπει να είναι όμοιοι.
2. Οι συνθήκες τροφοδότησης και φόρτισής τους να είναι συμμετρικές.
3. Εφ' όσον οι διατάξεις είναι συμμετρικές, οι τρεις φάσεις έχουν την ίδια συμπεριφορά (τάση - Ρεύμα - κλπ). Η μόνη διαφορά που υπάρχει είναι η διαφορά των φάσεων κατά  $120^\circ$  στις τάσεις και ρεύματα.
4. Το φορτίο πρέπει να είναι συμμετρικό και τριφασικό. Ο κάθε μονοφασικός Μ/Σ θα παρέχει το  $1/3$  του τριφασικού φορτίου
5. Η ακολουθία των φάσεων για το πρωτεύον και το δευτερεύον πρέπει να είναι ίδια : ABC - abc.

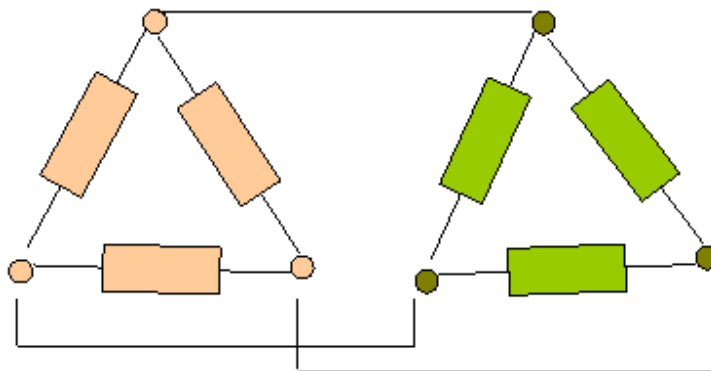
## 2.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Για να προκύψει ο τριφασικός μετασχηματιστής (3Φ Μ/Σ) ενώνονται τα τυλίγματα σε κάθε πλευρά (Υψηλή τάση / Χαμηλή τάση) με συγκεκριμένο τρόπο. Υπάρχουν τέσσερις συμμετρικές συνδέσεις των τριφασικών μετασχηματιστών :

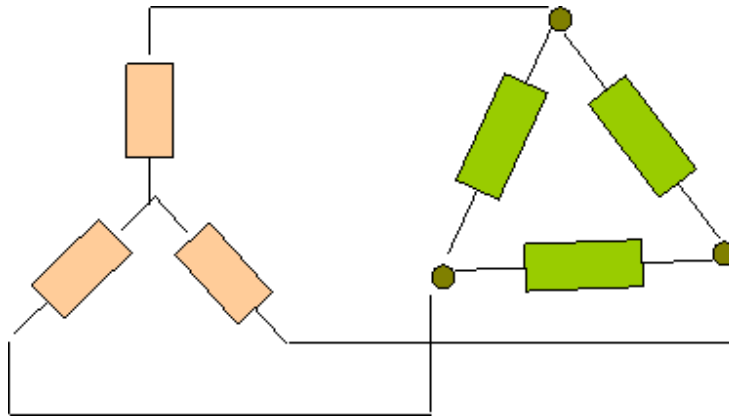
- i. αστέρας – αστέρας Υ -Υ (Σχήμα 7)
- ii. τρίγωνο - τρίγωνο Δ - Δ (Σχήμα 8)
- iii. αστέρας - τρίγωνο Υ - Δ (Σχήμα 9) και
- iv. τρίγωνο - αστέρας Δ -Υ (Σχήμα 10)



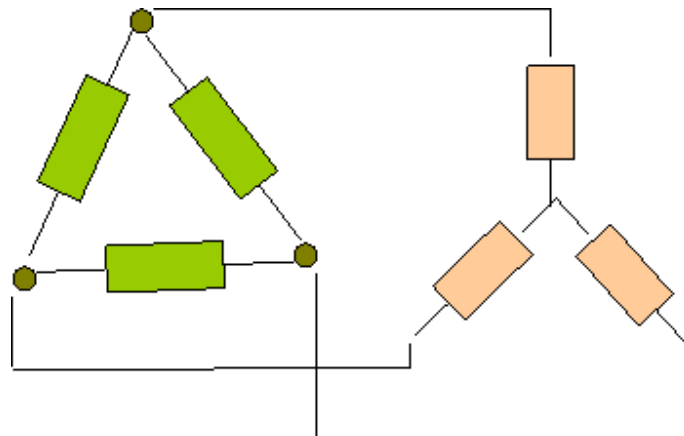
Σχήμα 7: Συνδεσμολογία Αστέρα-Αστέρα(Υ-Υ)



Σχήμα 8: Συνδεσμολογία Τριγώνου-Τριγώνου ( $\Delta$ - $\Delta$ )



Σχήμα 9: Συνδεσμολογία Αστήρα-Τριγώνου ( $Y$ - $\Delta$ )



Σχήμα 10: Συνδεσμολογία Τριγώνου-Τριγώνου ( $\Delta$ - $\Delta$ )

Ουσιαστικά πρόκειται για τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές στους οποίους συνδέουμε τα άκρα κατάλληλα. Κάθε μονοφασικός Μ/Σ μπορεί να έχει το δικό του πυρήνα εναλλακτικά μπορούν και οι τρεις να μοιράζονται τον ίδιο.



### 2.3 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ Μ/Σ

#### $A(N)b(n)K$

**A**: Αναφέρεται στη σύνδεση των τυλιγμάτων στην πλευρά της Υ.Τ.

Οι περιπτώσεις είναι:

1. **Y** : Σύνδεση τυλιγμάτων κατά αστέρα.
2. **D** : Σύνδεση τυλιγμάτων κατά τρίγωνο.
3. **Z** : Σύνδεση τυλιγμάτων κατά ζιγκ-ζαγκ.

**N** : Υπάρχει ουδέτερος στην πλευρά της Υ.Τ.

**b**: Αναφέρεται στη σύνδεση των τυλιγμάτων στην πλευρά της Χ.Τ.

Οι περιπτώσεις είναι:

1. **y**: Σύνδεση τυλιγμάτων κατά αστέρα.
2. **d**: Σύνδεση τυλιγμάτων κατά τρίγωνο.
3. **z**: Σύνδεση τυλιγμάτων κατά ζιγκ-ζαγκ.

**n**: Υπάρχει όταν στην πλευρά της Χ.Τ. υπάρχει ουδέτερος.

**k**: Λόγω της συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων κάθε πλευράς στους Μ.Σ, τα διανύσματα τάσης της Χ.Τ. ακολουθούν τα διανύσματα της Υ.Τ. κατά  $K=30^0$ .

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι Μ.Σ. στη βιομηχανία είναι:

1. **Dyn5**: Στην πλευρά της Υ.Τ. τα τυλίγματά του είναι συνδεδεμένα κατά τρίγωνο. στην πλευρά της Χ.Τ. κατά αστέρα (με ουδέτερο), και τα διανύσματα της Χ.Τ. ακολουθούν αυτά της Υ.Τ. κατά  $150^0$ . ( $5 \times 30^0$ ).
2. **Dyn11**: Ίδιες συνδεσμολογίες με τον προηγούμενο, αλλά τα διανύσματα Χ.Τ. ακολουθούν αυτά της Υ.Τ. κατά  $(11 \times 30^0) 330^0$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αντίθεση με την αυτόνομη λειτουργία η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι η παράλληλη σύνδεση περισσότερων του ενός Μ/Σ για την τροφοδοσία φορτίων. Μια τέτοια επιλογή συνοδεύεται από διάφορα πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα τροφοδοσίας μεγάλων φορτίων, η μεγαλύτερη αξιοπιστία του συστήματος, η δυνατότητα απομάκρυνσης κάποιου Μ/Σ από το δίκτυο χωρίς επιπτώσεις σε αυτό, η λειτουργία ορισμένων μόνο Μ/Σ όταν το φορτίο είναι μικρό κ.α. Ο παραλληλισμός, δηλαδή των Μ/Σ επιτρέπει την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με αξιόπιστο και αποτελεσματικό τρόπο. Ωστόσο, ο παραλληλισμός Μ/Σ είναι μια διαδικασία που πρέπει να γίνεται με προσοχή, διαφορετικά είναι πιθανή η πρόκληση βλαβών στους Μ/Σ ή και η διακοπή τροφοδοσίας του φορτίου.

Για να συνδέσουμε δύο μετασχηματιστές παράλληλα μεταξύ τους χωρίς κίνδυνο για τους μετασχηματιστές και να υπάρχει ομοιόμορφη φόρτιση, δηλαδή να διαρρέονται οι μετασχηματιστές από ρεύματα ανάλογα με το μέγεθός τους, πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις:

1. Η σχέση μεταξύ των ονομαστικών ισχύων των μετασχηματιστών να είναι μεταξύ 1/3 και 3.
2. Οι ονομαστικές τάσεις και ρυθμίσεις στην πλευρά της ΥΤ να είναι ίσες (με μια ανοχή  $\pm 0,05\%$ )
3. Οι ονομαστικές τάσεις βραχυκύκλωσης των μετασχηματιστών να είναι ίσες με ανοχή 10% επί της τάσης βραχυκύκλωσης
4. Οι συνδεσμολογία και στις δύο πλευρές να είναι ίδιες, και να συνδεθούν οι ανάλογοι ακροδέκτες. Υπό προϋποθέσεις μπορούν να συνδεθούν παράλληλα μετασχηματιστές Dy5-Dy11 (Όταν συμπίπτουν οι τάσεις τους με κατάλληλη αντιστοίχιση των ακροδεκτών).
5. Πριν γίνει πλήρης παραλληλισμός πρέπει να ελεγχθεί αν υπάρχουν σφάλματα στη συνδεσμολογία.

6. Συνδέονται οι μετασχηματιστές στην πλευρά της ΥΤ και μετράμε με βολτόμετρα την τάση μεταξύ των ακροδεκτών που θα συνδεθούν μεταξύ τους στην πλευρά της ΧΤ.
7. Η μετρούμενη τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.5 της ονομαστικής τάσης των μετασχηματιστών.

#### ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΟΡΓΑΝΑ

i.ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ (Μέτρηση τάσης τυλιγμάτων)



ii.ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ (Μέτρηση ρεύματος)



iii.ΒΑΤΟΜΕΤΡΟ (Μέτρηση Ισχύος Μ/Τ).



### 3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στην πράξη τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Όπως είναι γνωστό έχουμε τρεις διαφορετικές μορφές καταναλώσεων. Αυτές είναι :

1. Ωμικές
2. Επαγωγικές
3. Χωρητικές

Στην πράξη παρουσιάζεται συνήθως και ο συνδυασμός τους. Αυτό απαιτεί διαφορετικό τρόπο υπολογισμού της γραμμής τροφοδοσίας ανάλογα με τη μορφή της κατανάλωσης.

#### 3.2.1 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

1) Μονοφασική γραμμή με ωμικό φορτίο.

Στην περίπτωση αυτή για τον υπολογισμό της διατομής της γραμμής έχουμε:

$$P = U \times I \Leftrightarrow I = \frac{P}{U}$$

Από πίνακα βρίσκουμε την διατομή του αγωγού. Για τον έλεγχο της πτώσης τάσης χρησιμοποιούμε τον τύπο :

$$u = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{S}$$

2) Μονοφασική γραμμή με επαγωγικό φορτίο.

Στην περίπτωση αυτή για τον υπολογισμό της διατομής της γραμμής πρέπει να συνυπολογιστεί και το  $\cos\phi$ . Πιο συγκεκριμένα :

$$P = U \times I \times \cos\phi \Leftrightarrow I = \frac{P}{U \times \cos\phi}$$

Από τον πίνακα διατομών βρίσκουμε την διατομή του αγωγού. Για τον έλεγχο της πτώσης τάσης χρησιμοποιούμε τον τύπο :

$$u = \frac{2 \times \rho \times l \times I \times \cos\phi}{S}$$

### 3.2.2 ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

Για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών των γραμμών αυτών ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία.

1. Υπολογίζουμε το ρεύμα της γραμμής από τον τύπο:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times p \times U_{\text{ολικό}} \times \cos\phi}$$

2. Από τον πίνακα των διατομών βρίσκουμε την διατομή S των αγωγών που αντιστοιχεί στο ρεύμα που βρήκαμε. Για τον έλεγχο της πτώσης τάσης χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$u = \frac{\sqrt{3} \times p \times l \times I \times \cos \phi}{S}$$

Αν αυτή είναι μικρότερη του 15 Volt (4% της τάσης τροφοδοσίας) η διατομή που βρήκαμε είναι αποδεκτή. Στην αντίθετη περίπτωση επιλέγουμε την αμέσως μεγαλύτερη διατομή και επαναλαμβάνουμε τον έλεγχο μέχρις ότου η τιμή της γίνει αποδεκτή δηλαδή το 4% της τάσης τροφοδοσίας.

Στην περίπτωση που έχουμε περισσότερα του ενός φορτία στην γραμμή με διαφορετικά  $\cos \phi$  τότε θα πρέπει να γνωρίζουμε και τον ισοδύναμο συντελεστή ισχύος, ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\cos \phi_{\text{μέσο}} = \frac{\Sigma(I_i \cos \phi_i)}{\Sigma(I_i)}$$

Στην πράξη ο υπολογισμός της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς στην κίνηση βρίσκεται, με μεγάλη προσέγγιση και ικανοποιεί πλήρως τις εγκαταστάσεις λειτουργίας με πρακτικό τρόπο που είναι:

1. Στην περίπτωση που η ισχύς του κινητήρα δίνεται σε Hp η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος δίνεται από τον πρακτικό τύπο:

$$I = 1,5 \times P(A)$$

2. Στην περίπτωση που η ισχύς του κινητήρα δίνεται σε KW η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος δίνεται από τον πρακτικό τύπο:

$$I = 2 \times P(A)$$

3. Στην περίπτωση που έχουμε κινητήρες στην ένταση ρεύματος για τον υπολογισμό των διατομών, παίρνουμε ρεύμα, προσαυξημένο κατά 25% από αυτό που υπολογίσαμε διότι κατά την εκκίνηση των κινητήρων έχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ονομαστικό.

Η μικρότερη διατομή για την κίνηση είναι 2.5 mm<sup>2</sup> ενώ για τον φωτισμό 1.5mm<sup>2</sup>

1. Η επιτρεπτή πτώση τάσης είναι :

- i. στον φωτισμό 1%
- ii. στην κίνηση 4%

2. Οι διακόπτες επιλέγονται μια κατηγορία μεγαλύτερη από ότι είναι η ασφάλεια.

Με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την διατομή καλωδίων για μονοφασική και τριφασική γραμμή.

(Σημείωση: Εάν το αποτέλεσμα του υπολογισμού είναι μια διατομή που δεν υπάρχει παίρνουμε την αμέσως μεγαλύτερη!)

<b>Υπολογισμός διατομής καλωδίων</b>			
<b>Μονοφασική γραμμή</b>		<b>Τριφασική γραμμή</b>	
Τάση γραμμής (V)	230,00	Τάση γραμμής (V)	400,00
Μήκος γραμμής (m)		Μήκος γραμμής (m)	
Ένταση (ρεύμα) (A)		Ένταση (ρεύμα) (A)	
Ειδική αντίσταση καλωδίου	0,0176	Ειδική αντίσταση καλωδίου	0,0176
Πτώση τάσης (%)	4%	Πτώση τάσης (%)	4%
cosφ (εάν υπάρχει)	1,00	cosφ (εάν υπάρχει)	1,00
<b>Διατομή (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>0,00</b>	<b>Διατομή (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>0,00</b>
<a href="#">◀ Επιστροφή</a>			

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ 3Φ Μ/Σ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την κατανόηση του παραλληλισμού των τριφασικών μετασχηματιστών κατασκευάστηκε μια διάταξη παραλληλισμού, η οποία θα χρησιμοποιηθεί από τους σπουδαστές του Τμήματος στο Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών.

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά και όργανα:

1. Βολτόμετρα (2) για τη μέτρηση των τάσεων των δύο Μ/Σ
2. Αμπερόμετρα (3) για τον έλεγχο ρεύματος του κάθε Μ/Σ και το ολικό ρεύμα του φορτίου
3. Διακόπτες μεταγωγικούς (2) για τον έλεγχο των τάσεων κάθε Μ/Σ
4. Διακόπτης μαχαιρωτός για τον παραλληλισμό των Μ/Σ
5. Ασφάλειες
6. Μπόρνες ασφαλείας για τις συνδέσεις
7. Ενδεικτικά λαμπάκια για τον έλεγχο των φάσεων

Η επιλογή των οργάνων έγινε με δεδομένο την ασφάλεια κατά τη χρήση και την ευκολία στην ανάγνωση (μέγεθος.)

Έτσι επιλέχθηκαν:

1. μπόρνες ασφαλείας ,
2. ασφαλειοθήκες,
3. μεταγωγικοί διακόπτες 25 A,
4. μαχαιρωτός διακόπτης 40 A,
5. ευανάγνωστα λαμπάκια Φ22 και
6. όργανα διαστάσεων 96x96

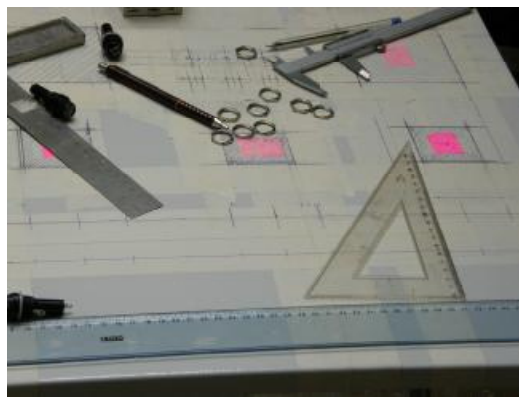


## 4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την κατασκευή, αρχικά, Αγοράστηκαν τα υλικά και τοποθετήθηκαν πρόχειρα στην τελική τους θέση όπως φαίνεται στη Εικόνα 1 και καθόρισαν και τη διάσταση του πάνελ (κιβωτίου) που έπρεπε να αγοραστεί. Επιλέχθηκε πάνελ διαστάσεων 65 χ 50 χ 20. Με τη βοήθεια παχυμέτρου μετρήθηκαν οι διαστάσεις των οργάνων(Βολτόμετρα, Αμπερόμετρα) και των υλικών(διακόπτες, ασφαλειοθήκες, μπόρνες, λαμπάκια). Έπειτα σχεδιάστηκαν οι θέσεις τους σε ένα χαρτόνι (Εικόνα 2) και τελικά χαράχτηκαν οι θέσεις και οι διαστάσεις των οργάνων στη πρόσοψη του μεταλλικού κιβωτίου.



Εικόνα 1:Πρόχειρη τοποθέτηση οργάνων



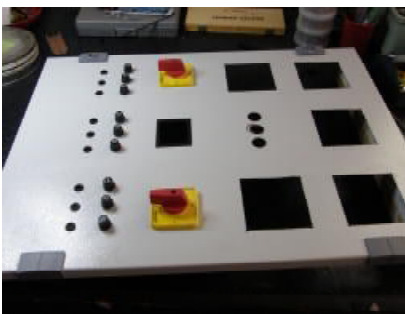
Εικόνα 2:Σχεδίαση χαρτονιού

Στη συνέχεια, έγινε χρήση δραπάνου και σέγας για να κοπεί το κιβώτιο στα προσχεδιασμένα σημεία, έτσι ώστε να τοποθετηθούν τα όργανα και τα υλικά στις ακριβείς τους θέσεις (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Άνοιγμα τρυπών με τη χρήση δραπάνου

Αφού ολοκληρώθηκε η μηχανουργική διαδικασία, ξεκίνησε η τοποθέτηση των οργάνων στο κιβώτιο (Εικόνα 4 & 5)



Εικόνα 4



Εικόνα 5

Για να ολοκληρωθεί η κατασκευή έπρεπε να υπολογισθεί η διατομή των καλωδίων, ώστε να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες συνδέσεις. Επομένως:

Από τον τύπο του τριφασικού ρεύματος έχουμε

$$u = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times l \times I \times \cos\phi}{S}$$

όπου:

$\rho$ : Ειδική αντίσταση χαλκού (0.0176)

$l$ : το μήκος της γραμμής (30μ)

$I$ : το ρεύμα διάταξης (10 A)

$U$ : πτώση τάσης (1%)

$\cos\phi$  (Για Ωμικό φορτίο- 0,8 Κινητήρες)

Λύνουμε τον τύπο ως προς "S" αντικαθιστώντας τις τιμές και έχουμε :

$$S_1 = 2,29 \text{ mm}^2 \text{ για } \cos\phi=1$$

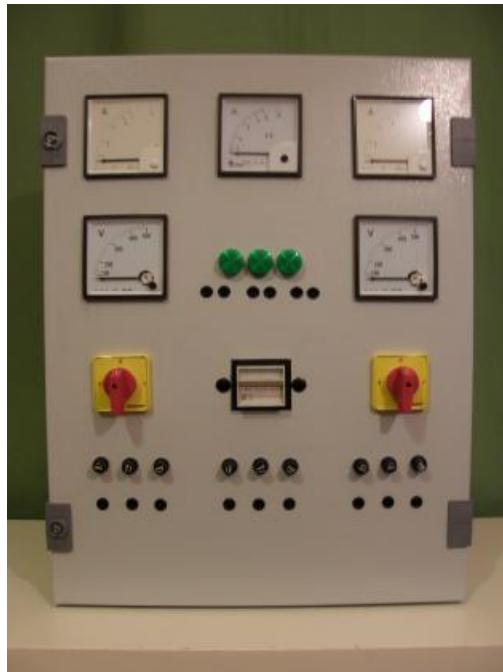
$$S_2 = 1.83 \text{ mm}^2 \text{ για } \cos\phi=0,8$$

Άρα, επιλέχθηκαν καλώδια  $2,5 \text{ mm}^2$ , τα οποία τοποθετήθηκαν και έγιναν όλες οι απαραίτητες συνδέσεις(Εικόνα 6 & 7)

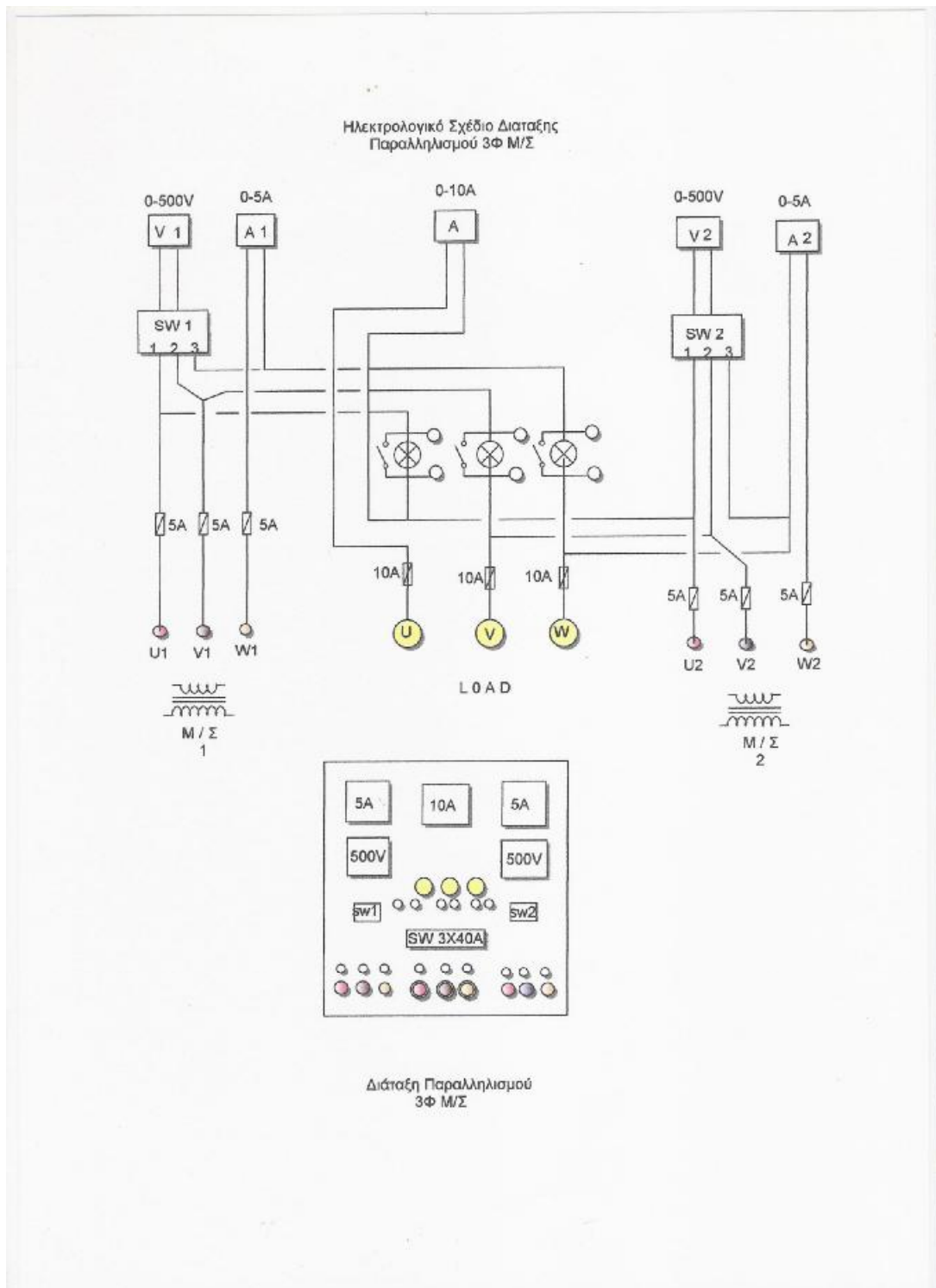


Εικόνα 6 & 7:Συνδεσμολογία καλωδίων

Η τελική μορφή του κιβωτίου παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες:



Τέλος, το ηλεκτρολογικό σχέδιο της κατασκευής παρουσιάζεται παρακάτω:



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Charman, S., J., 2003, Ηλεκτρικές Μηχανές, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
2. Σαμοίλης, Β., Καζάζη, Γ., 2007, Μετασχηματιστές, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
3. Ραΐσιος, Π., Ε., 2000, Μελέτη Μετασχηματιστών, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
4. Χρήστου, Δ., Κ., 1999, Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών, Εκδόσεις Ίων
5. Γαντζούδης, Σ., Λαγουδάκος, Μ., Μπινιάρης, Α., Ηλεκτρικές Μηχανές, Εκδόσεις ΟΕΔΒ

Πηγές internet:

1. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (10/05/2011)
2. [www.astroelectronics.gr](http://www.astroelectronics.gr) (30/05/2011)
3. [www.markidis.gr](http://www.markidis.gr) (30/05/2011)

