

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΩΡΗΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2013

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία περιγράφηκε η συμπεριφορά σύγχρονης γεννήτριας όταν μεταβάλλεται ένα καθαρά χωρητικό φορτίο στους ακροδέκτες της, το οποίο τροφοδοτεί. Οι πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ηλεκτρολυτικοί και η σύγχρονη γεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε είχε ονομαστική τάση 55 V. Η αναμενόμενη συμπεριφορά της γεννήτριας, η οποία προσμετρήθηκε στο πείραμα, είναι η αύξηση της τάσης στους ακροδέκτες της μετά την εφαρμογή της μεταβλητής χωρητικής φόρτισης. Το παραπάνω συμπέρασμα είναι ενδεικτικό για την λειτουργία των σύγχρονων γεννητριών. Στο πρώτο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας περιγράφεται η λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας υπό φορτίο, με τα ανάλογα διανυσματικά διαγράμματα και τις εξισώσεις που καθορίζουν τη σχέση τάσης ακροδεκτών, εσωτερικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης της μηχανής και των χαρακτηριστικών της σύγχρονης γεννήτριας (σύγχρονη αντίδραση X_s). Έπειτα γίνεται μια σύντομη αναφορά στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών και έπειτα περιγράφονται τα διάφορα στάδια του πειράματος με το χωρητικό φορτίο. Μεταβάλλεται τόσο η χωρητική αντίδραση σε κάθε βήμα όσο και η σύνδεση των πυκνωτών σε αστέρα ή σε τρίγωνο. Αυτό το χωρητικό φορτίο κατασκευάστηκε από 9 πυκνωτές σε πλακέτα με διακόπτη και ασφάλεια για κάθε τριάδα που αναλογεί σε κάθε μία από τις τρεις φάσεις. Τελικά, τόσο τα υπολογιστικά χαρακτηριστικά του κάθε βήματος του πειράματος όσο και η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι κάτι που μπορεί να υπολογιστεί εφόσον υπάρχει γνώση των χαρακτηριστικών της σύγχρονης γεννήτριας, καθώς και με μετρήσεις που θα μπορούσαν να διεξαχθούν με τριφασικό μετρητικό όργανο ή με παλμογράφο για κάθε βήμα.

Abstract

This thesis described the behavior of a synchronous generator when changing a purely capacitive load at the machine's terminals. The capacitors used were electrolytic and the synchronous generator used had a nominal voltage of 55 V. The expected behavior of the generator, which is experimentally measured, is the increase of voltage at the terminals of the machine after the variable capacitive load is applied. The above conclusion is significant for the operation of synchronous generators. The first theoretical part of the essay described the operation of the synchronous generator under load, according to the vector diagrams and equations defining the relationship between terminal voltage, the internal electromotive force of the machine and the characteristics of the synchronous generator (synchronous reactance X_s). After a brief reference to the construction characteristics of electrolytic capacitors, the different stages of the experiment with a capacitive load are described. Changing both the capacitive response at each step and the connection of capacitors in delta or wye. The capacitive load is constructed of 9 capacitors in PCB with switch and fuses for each triplet corresponding to each of the three phases. Eventually, the computational characteristics of each step of the experiment and the waveform of the output voltage is something which can be calculated if there is knowledge of the characteristics of the synchronous generator, and that measurements could be carried out with three-phase measuring instrument or oscilloscope at each step.

Πρόλογος

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας κατασκευάστηκε πλακέτα 9 ηλεκτρολυτικών πυκνωτών των 100 μ F, 63V με στόχο την κατασκευή τριφασικού μεταβλητού χωρητικού φορτίου. Προτείνεται η διεξαγωγή πειραματικών δοκιμών σε βήματα, μεταβάλλοντας τη χωρητική φόρτιση κάθε φορά, και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Παρακάτω παρουσιάζεται τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο, η μαθηματική ανάλυση, όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στο πείραμα.

Το κεφάλαιο "1" της εργασίας ,αναφέρεται στις αρχές λειτουργίας μιας σύγχρονης γεννήτριας και στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της.

Στο κεφάλαιο "2"περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας ενός πυκνωτή δίνοντας έμφαση στους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη κατασκευή τριφασικού μεταβλητού χωρητικού φορτίου.

Το κεφάλαιο "3" αναλύει τους τρόπους μεταβολής του χωρητικού φορτίου στους πόλους της σύγχρονης γεννήτριας ,τροποποιώντας τη συστοιχία των πυκνωτών και παρουσιάζονται σχήματα με συνδεσμολογίες α) σε σειρά , κατά αστέρα και κατά τρίγωνο και β)σε παράλληλες συνδεσμολογίες κατά αστέρα και τρίγωνο.

Το κεφάλαιο "4" περιγράφει το σκοπό της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι σύγχρονες γεννήτριες ονομάζονται σύγχρονες γιατί υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ των στροφών της ΜΕΚ(n), και της συχνότητας f (σεΗΖ) της παραγόμενης τάσης,

Όπου $n = \text{rpm}$ (στροφές ανά λεπτό)

Η συχνότητα λαμβάνεται απ' τη σχέση $n\pi/120$

$n = \text{rpm}$

$p = \text{o αριθμός των στρεφόμενων μαγνητικών πόλων της γεννήτριας}$

$120 = \text{σταθερός αριθμός}$

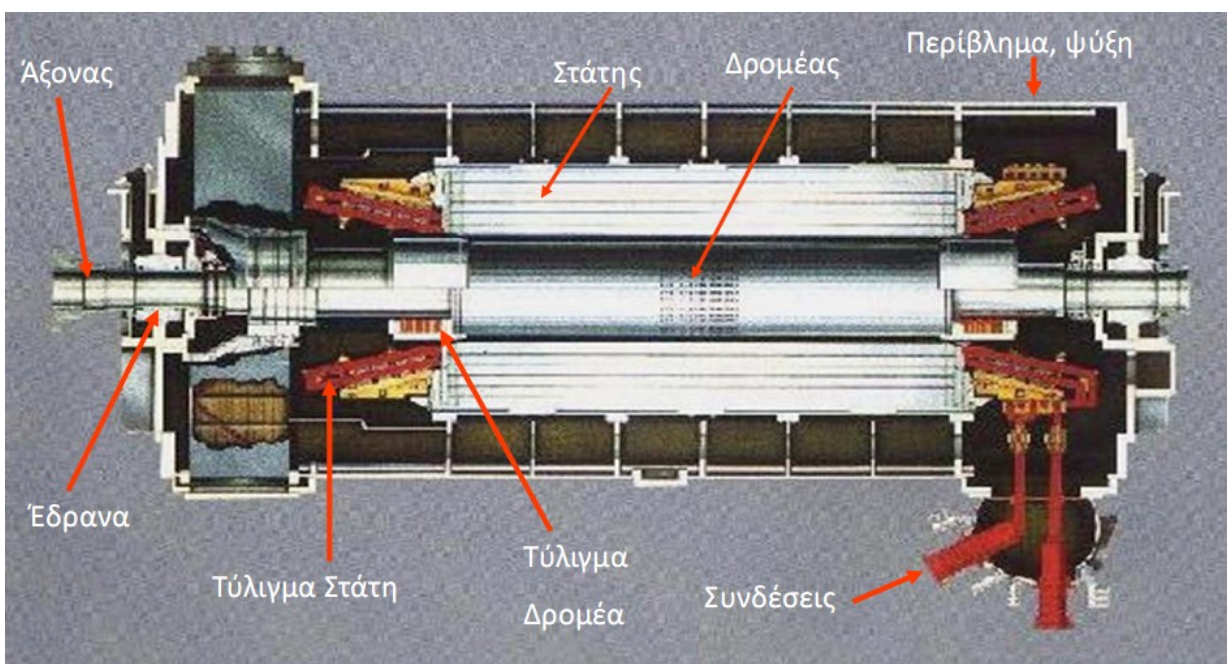
Αυτές οι γεννήτριες μετατρέπουν τη μηχανική ισχύ (πχ από ΜΕΚ, ατμοστρόβιλο κλπ) σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ισχύ. Όταν το τύλιγμα της γεννήτριας τροφοδοτηθεί με συνεχές ρεύμα παράγεται μαγνητικό πεδίο και όταν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τυλίγματος και μαγνητικού πεδίου, τα άκρα του τυλίγματος (το οποίο είναι ακίνητο) θα έχουν τάση εξ επαγωγής. Αυτή η τάση είναι η τριφασική εναλλασσόμενη τάση εξόδου της γεννήτριας. Η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα γίνεται α) από εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος που σ' αυτή την περίπτωση, πάνω στο δρομέα είναι τοποθετημένα δαχτυλίδια και ψήκτρες ή β) από πηγή συνεχούς ρεύματος η οποία βρίσκεται πάνω στον άξονα της.

Στην άκρη του άξονα της γεννήτριας υπάρχουν μεταλλικά δαχτυλίδια τα οποία είναι ηλεκτρικά μονωμένα απ' τον άξονα της γεννήτριας. Το πρώτο απ' τα δύο δαχτυλίδια είναι ενωμένο με το ένα ακραίο σημείο του τυλίγματος του δρομέα και το άλλο ακραίο σημείο του τυλίγματος, είναι ενωμένο στο δεύτερο δαχτυλίδι. Επομένως όταν έχουμε συνένωση του θετικού ακραίου σημείου της πηγής στη μία ψήκτρα και του αρνητικού άκρου στην άλλη ψήκτρα, το τύλιγμα του δρομέα θα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα.

Αυτή η τεχνική τροφοδοσίας έχει και μειονεκτήματα όπως είναι η ανάγκη για τοποθέτηση νέων ψηκτρών, διότι αυτές φθείρονται απ' την τριβή. Ένα άλλο μειονέκτημα τους είναι, η πτώση τάσης στις ψήκτρες, γεγονός που έχει ως ανεπιθύμητο αποτέλεσμα, απώλειες ισχύος. Παρόλα αυτά τα μειονεκτήματα, αυτή η τεχνική τροφοδοσίας, χρησιμοποιείται σε μικρής ισχύος γεννήτριες, γιατί το κόστος άλλων μεθόδων είναι πάρα πολύ υψηλό.

Οι γεννήτριες μεγάλου μεγέθους και υψηλής ισχύος ,για την τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος του δρομέα, έχουν διεγέρτριες μηχανές. Αυτές οι μηχανές είναι μικρές γεννήτριες και ο στάτης της κύριας μηχανής τροφοδοτεί το κύκλωμα διέγερσης της κύριας μηχανής. Το κύκλωμα οπλισμού των γεννητριών αυτών βρίσκεται στον άξονα του δρομέα. Για την επίτευξη συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιείται ένας ανορθωτής που είναι τοποθετημένος στον άξονα της μηχανής κι έτσι η τριφασική έξοδος της γεννήτριας μετατρέπεται σε συνεχή η οποία τροφοδοτεί το τύλιγμα διέγερσης της κύριας μηχανής. Μετασχηματίζοντας το συνεχές ρεύμα της διεγέρτριας ρυθμίζεται το ρεύμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας.

Με την ενσωμάτωση στον άξονα της σύγχρονης γεννήτριας ,μιας προδιεγέρτριας μηχανής η τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος της σύγχρονης γεννήτριας δεν έχει καμία ανάγκη από εξωτερικές πηγές. Διαθέτει δρομέα με μόνιμους μαγνήτες. Η διέγερση της γεννήτριας αυτής είναι ανορθωμένη που τελικά τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα το δρομέα της γεννήτριας. Μ' αυτόν τον τρόπο η γεννήτρια δεν έχει καμία ανάγκη από εξωτερικές πηγές για την τροφοδότηση του δρομέα της.



Σχήμ

Σχήμα 1.1 – Δομή Σύγχρονης Γεννήτριας

1.1 Ταχύτητα περιστροφής των σύγχρονων γεννητριών

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που εξετάζονται εδώ, ονομάζονται *σύγχρονες* επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής τους. Η σχέση της ηλεκτρικής συχνότητας του στάτη με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

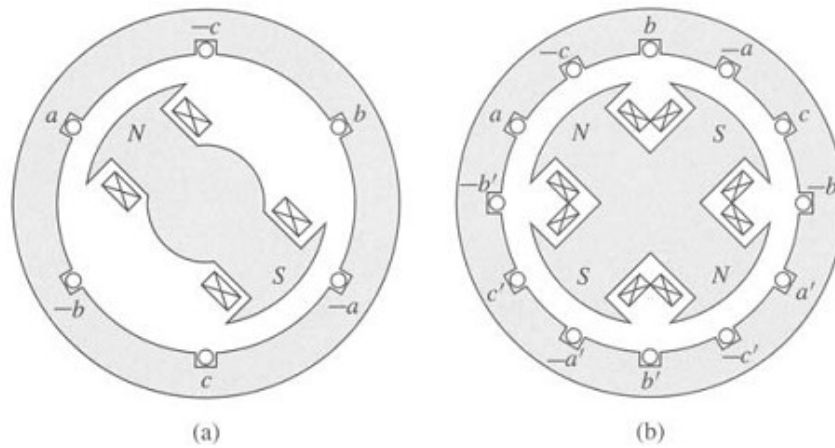
$$f_e = \frac{n_m * P}{120}$$

Όπου : f_e = η ηλεκτρική συχνότητα σε Hz

n_m = η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε r/min (ή αλλιώς η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα)

p = ο αριθμός των πόλων

Στις συγκεκριμένες μηχανές, ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται και το μαγνητικό πεδίο της (*σύγχρονη ταχύτητα*), και έτσι ο παραπάνω τύπος μας δίνει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα της μηχανής και της ηλεκτρικής συχνότητάς της. Οι περισσότερες γεννήτριες που κατασκευάζονται εργοστασιακά λειτουργούν σε συχνότητες **50 Hz** ή **60 Hz**, οπότε η αναγκαία ταχύτητα περιστροφής τους για συγκεκριμένο αριθμό πόλων είναι προκαθορισμένη. Για παράδειγμα, κατά την παραγωγή συχνότητας 50Hz μια μηχανή 4 πόλων θα πρέπει να περιστρέφεται με ταχύτητα 1500 r/min. Δηλαδή η παραπάνω εξίσωση δίνει την ταχύτητα με την οποία θα πρέπει να περιστρέφεται η μηχανή, ώστε να παράγει την συγκεκριμένη συχνότητα.



Σχήμα 1-2: Τριφασική γεννήτρια α) δύο πόλων και β) 4 πόλων

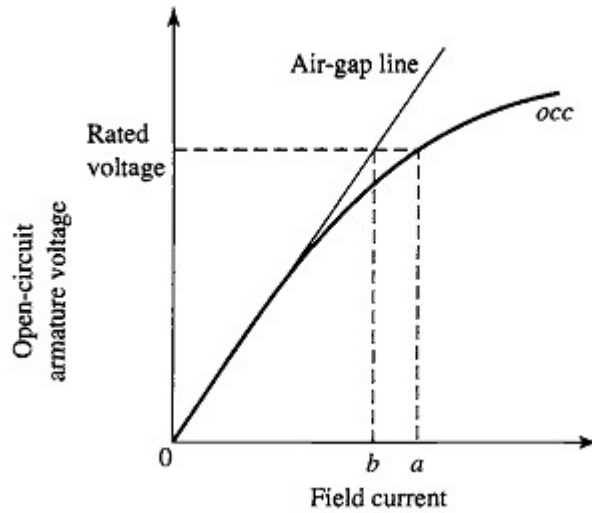
1.2 Παραγόμενη τάση στο εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας

Με βάση την περιγραφή του τρόπου λειτουργίας μιας σύγχρονης γεννήτριας όπως περιγράφηκε στις παραπάνω παραγράφους, το πλάτος της επαγόμενης εσωτερικής τάσης για κάθε φάση της μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος, θα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_A = \sqrt{2}\pi N_c \phi f$$

Δηλαδή, η E_A εξαρτάται από τη μαγνητική ροή ϕ , από τη συχνότητα f από την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής, και από κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της (αριθμός των αμπεροτυλιγμάτων ανά φάση του στάτη κ.ά).

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εξίσωση, η E_A εφόσον είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής, η οποία εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης (I_F), η σχέση της με το ρεύμα διέγερσης δίνεται από την χαρακτηριστική ανοικτού κυκλώματος της μηχανής, που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1-3 : Χαρακτηριστική ανοικτού κυκλώματος της σύγχρονης μηχανής

1.3 Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα της σύγχρονης γεννήτριας

Έστω E_A η επαγόμενη τάση μίας φάσης που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας. Αυτή η τάση σπάνια εμφανίζεται στους ακροδέκτες της μηχανής, και συγκεκριμένα μόνο κατά τη λειτουργία της γεννήτριας εν κενώ, δηλαδή χωρίς φορτίο συνδεδεμένο στους ακροδέκτες της. Αντίθετα η τάση ακροδεκτών είναι η V_ϕ . Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που διαφοροποιούν την E_A από την V_ϕ , όπως η παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής που προκαλείται από το ρεύμα του στάτη (αντίδραση οπλισμού), και οι αυτεπαγωγές και οι αντιστάσεις των αγωγών του στάτη.

Η διανυσματική εξίσωση που περιγράφει την σχέση μεταξύ E_A και V_ϕ , συνυπολογίζοντας τις παραμέτρους της σύγχρονης μηχανής που επηρεάζουν αυτή τη σχέση δίνεται παρακάτω:

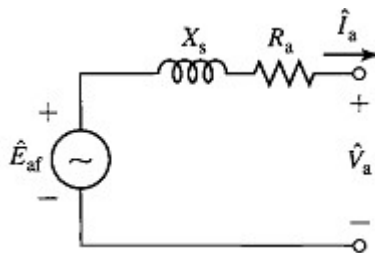
$$V_\phi = E_A - jX_s I_A - R_A I_A$$

Όπου : $\mathbf{X_s} = \omega_e \mathbf{L_s}$ είναι η *σύγχρονη αντίδραση της μηχανής*, που αντιπροσωπεύει την επίδραση της αντίδρασης οπλισμού και της αυτεπαγωγής των τυλιγμάτων του στάτη (ω_e : ηλεκτρική γωνιακή ταχύτητα της μηχανής = $2\pi f$) και:

R_A η αυτεπαγωγή του τυλίγματος μιας φάσης της μηχανής

I_A το ρεύμα μιας φάσης του στάτη

Συνέπεια όλων των παραπάνω είναι η εισαγωγή του *μονοφασικού ισοδύναμου κυκλώματος της γεννήτριας* που ισχύει μόνο για συμμετρική φόρτιση της μηχανής (ισοδύναμο φορτίο σε κάθε φάση), και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

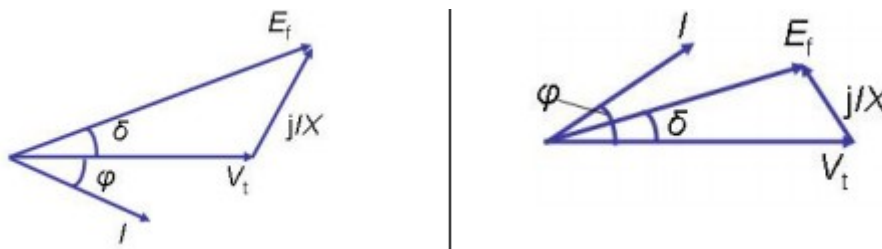


Σχήμα 1-4 : Μονοφασικό ισοδύναμο σύγχρονης μηχανής σε σύμβαση γεννήτριας

1.4 Διανυσματικό διάγραμμα γεννήτριας

Πρόκειται για ένα διάγραμμα που εκφράζει τις σχέσεις μεταξύ των τάσεων E_A , V_ϕ , $jX_s I_A$ και του ρεύματος I_A μιας σύγχρονης γεννήτριας. Το διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας διαφέρει για επαγωγική και χωρητική φόρτιση της γεννήτριας. Για γνωστή φασική τάση και ρεύμα οπλισμού της γεννήτριας, απαιτείται παραγωγή μεγαλύτερης τάσης E_A στο εσωτερικό της γεννήτριας για την τροφοδοσία *επαγωγικού φορτίου* σε σχέση με αυτήν που απαιτείται για την τροφοδοσία *χωρητικού φορτίου*. Δηλαδή για δεδομένο ρεύμα διέγερσης και ρεύμα φορτίου, το οποίο καθορίζεται από το

φορτίο που συνδέεται στους ακροδέκτες της γεννήτριας, η φασική τάση στα άκρα της γεννήτριας είναι μικρότερη στα επαγωγικά φορτία και μεγαλύτερη στα χωρητικά. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια διανυσματικά διαγράμματα για τη σύγχρονη γεννήτρια με βάση διάφορα φορτία (επαγωγικό, χωρητικό).



Σχήμα 1-5: Διανυσματικό διάγραμμα σύγχρονης γεννήτριας για α) επαγωγικό φορτίο και β) χωρητικό φορτίο.

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του χωρητικού φορτίου, του οποίου τις μεταβολές θα εξετάσουμε στο πείραμα της παρούσας εργασίας, έχουμε αύξηση της τάσης στους πόλους της γεννήτριας σε σύγκριση με την εσωτερική ηλεκτρεγερτική της δύναμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

Πυκνωτής (συμβ. C) ονομάζεται ένα σύστημα δύο αγωγίμων πλακών σε στενή γεωμετρική σχέση μεταξύ τους, με μονωτικό υλικό συνήθως να παρεμβάλλεται μεταξύ των πλακών, ειδικά σε εργοστασιακά κατασκευασμένους πυκνωτές. Κάποια είδη μονωτικών υλικών μπορεί να είναι αέρας, πλαστικό, μίκα κ.α. Οι δύο αγωγοί ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή, ενώ το μονωτικό υλικό που παρεμβάλλεται ονομάζεται διηλεκτρικό του πυκνωτή. Βασικό χαρακτηριστικό κάθε πυκνωτή είναι η ιδιότητά του να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια, σε μορφή ηλεκτρικού φορτίου των αγωγίμων πλακών του, την οποία αποθηκεύει ή προσδίδει στο ηλεκτρικό κύκλωμα στο οποίο είναι συνδεδεμένος. Όταν ένας πυκνωτής είναι φορτισμένος, οι οπλισμοί του έχουν ηλεκτρικά φορτία κατά μέτρο ίσα και αντίθετα. Ονομάζουμε φορτίο του πυκνωτή (Q_c) το φορτίο του θετικά φορτισμένου οπλισμού του.

Μεταξύ των οπλισμών ενός φορτισμένου πυκνωτή αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού, την οποία ονομάζουμε τάση του πυκνωτή (V_c). Το πηλίκο του φορτίου ενός πυκνωτή προς την τάση του ονομάζεται χωρητικότητα (C) του πυκνωτή, και αποτελεί το βασικό ηλεκτρικό χαρακτηριστικό του:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας του πυκνωτή είναι το *Farad*(F). Πρόκειται όμως για μεγάλη μονάδα, που σπάνια χρησιμοποιείται στην πράξη. Συνήθως χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του, μικροφαράντ (μF), νανοφαράντ (nF) και πικοφαράντ (pF).

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του και από τη φύση του διηλεκτρικού του, είναι όμως ανεξάρτητη από το υλικό των οπλισμών του. Η ποσότητα του φορτίου που μπορεί να συγκρατήσει ο πυκνωτής εξαρτάται από την επιφάνεια των οπλισμών του και την απόσταση μεταξύ των οπλισμών. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των οπλισμών και όσο μικρότερη η απόσταση των οπλισμών μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερο φορτίο μπορεί να συγκρατήσει. Το είδος του διηλεκτρικού υλικού επίσης παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην συγκράτηση του φορτίου.

2.1 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές έχουν σταθερή χωρητικότητα και η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτρολύσεως. Στους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές το διηλεκτρικό είναι οξείδιο του μετάλλου της ανόδου. Για να σχηματιστεί ένα οξείδιο είναι απαραίτητη η παρουσία μετάλλου της ανόδου, ένας ηλεκτρολύτης και η κάθοδος. Η κάθοδος μπορεί να είναι το ίδιο ή διαφορετικό μέταλλο με την άνοδο. Τα οξείδια που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι το *αλουμίνιο* και το *ταντάλιο*, γι' αυτό διαχωρίζουμε τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές σε δύο είδη α) τους **ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές αλουμινίου** και β) τους **ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές τανταλίου**.

Ένας άλλος επίσης διαχωρισμός των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών ανάλογα με το είδος κατασκευής τους είναι σε "*υγρούς ηλεκτρολυτικούς*" και τους "*ξηρούς ηλεκτρολυτικούς*".

Οι *υγροί ηλεκτρολυτικοί* περιέχουν υγρό στοιχείο για την διάλυση, ενώ στους *ξηρούς ηλεκτρολυτικούς* η διάλυση συγκρατείται από ένα φύλλο απορροφητικού χαρτιού, μεμβράνης, μίκας ή κεραμικού, το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ των οπλισμών.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές θα πρέπει να πολωθούν ορθά για να λειτουργήσουν σε κανονική λειτουργία, δηλαδή η άνοδος να είναι σε θετικό δυναμικό ενώ η κάθοδος αρνητικό. Η ανάστροφη πόλωσή τους έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή. Οι οπλισμοί μεταξύ τους βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της τιμής της χωρητικότητας.

α) Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου.

Κατασκευάζονται από λεπτά ελάσματα αλουμινίου υψηλής καθαρότητας. Μεταξύ των ελασμάτων παρεμβάλλεται ένα λεπτό στρώμα οξειδίου και ένα διηλεκτρικό υλικό όπως το χαρτί. Το διάλυμα που χρησιμοποιείται (ηλεκτρολύτης), στην δημιουργία του οξειδίου είναι το βορικό οξύ ή τρυγικό κάλιο. Η ταινία αλουμινίου είναι πάρα πολύ λεπτή πάχους 20-40μm. Η άνοδος του πυκνωτή έχει στην μία επιφάνειά της το οξείδιο. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια του οξειδίου τόσο αυξάνεται η χωρητικότητα του πυκνωτή.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου είναι κυλινδρικής μορφής και υπάρχουν είτε σε οριζόντια μορφή είτε σε κάθετη μορφή. Τα μεγάλα τους πλεονεκτήματα τους είναι οι μεγάλες χωρητικότητες για τις οποίες μπορούν να κατασκευαστούν, από 1μF έως πολλές χιλιάδες μF. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι δεν κατασκευάζονται σε πολύ υψηλές τάσεις ανάλογα με την χωρητικότητά τους και οι πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας σε μεγάλη τάση έχουν πολύ μεγάλο

μέγεθος. Οι τάσεις για τις οποίες κατασκευάζονται δεν ξεπερνούν τα 450V, για χωρητικότητες μέχρι 470μF.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου παρουσιάζουν διαρροές και μείωση της ονομαστικής τους χωρητικότητας και του φορτίου που μπορεί να συγκρατήσουν με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να αντικαθίστανται στα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται. Η διαρροή είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει συχνά σε βλάβες πυκνωτών. Στην περίπτωση αυτή έχουμε αλλοίωση της μονωτικής ικανότητας του διηλεκτρικού ανάμεσα στους οπλισμούς, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ηλεκτρικές εκκενώσεις με αποτέλεσμα βραχυκύκλωση των αγωγίμων πλακών. Τέλος η τάση στα άκρα του δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τάση που δίνει ο κατασκευαστής, διότι υπερθερμαίνεται και καταστρέφεται ο πυκνωτής.

β) Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές τανταλίου.

Οι πυκνωτές τανταλίου έχουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά από τους κοινούς ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές καθώς έχουν πολύ μικρό μέγεθος για μεγαλύτερες χωρητικότητες, εμφανίζουν μικρότερα προβλήματα διαρροής έναντι των πυκνωτών αλουμινίου, έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα φόρτισης - εκφόρτισης και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Είναι ακριβότεροι σε κόστος και δεν κατασκευάζονται για πολύ μεγάλες χωρητικότητες χιλιάδων μF όπως οι πυκνωτές αλουμινίου. Στην κατασκευή τους οι πυκνωτές τανταλίου χρησιμοποιούν οξείδια τανταλίου και το εξωτερικό τους περίβλημα μπορεί να είναι μεταλλικό ή πλαστικό υλικό. Έχουν και αυτοί πολικότητα και θα πρέπει να αποφεύγονται τα λάθη της ανάστροφης πολικότητάς τους για να μην καταστραφεί.

Οι πυκνωτές τανταλίου αναγράφουν την ονομαστική τους τιμή και την τάση λειτουργίας τους στο κέλυφός τους, όπως και οι πυκνωτές αλουμινίου, υπάρχουν όμως και πυκνωτές τανταλίου με χρωματικό κώδικα από τον οποίο καθορίζονται τα χαρακτηριστικά τους.

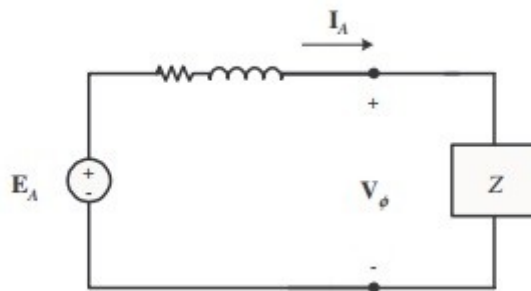


Σχήμα 2-1 : Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής στο εμπόριο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΧΩΡΗΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η κατανόηση των χαρακτηριστικών μιας σύγχρονης γεννήτριας γίνεται με την εξέτασή της κατά την τροφοδοσία κάποιου φορτίου. Στην περίπτωση του πειράματος που εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η σύγχρονη γεννήτρια (με ονομαστική τάση 55 V) αναλαμβάνει αυτόνομα την τροφοδοσία χωρητικού φορτίου που συνδέεται στα άκρα της, που κατασκευάζεται από συνδυασμούς σε αστέρα και τρίγωνο από 9 όμοιους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές του εμπορίου ονομαστικής τάσης 63 V και χωρητικότητας 100μF. Παρακάτω θα περιγραφούν τα διάφορα βήματα του πειράματος, συνδυάζοντας κάθε φορά με διαφορετικό τρόπο τους πυκνωτές με σκοπό να μεταβάλλεται σε κάθε βήμα του πειράματος το χωρητικό φορτίο. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά σε ένα μονοφασικό ισοδύναμο η σύνδεση της γεννήτριας με το φορτίο :



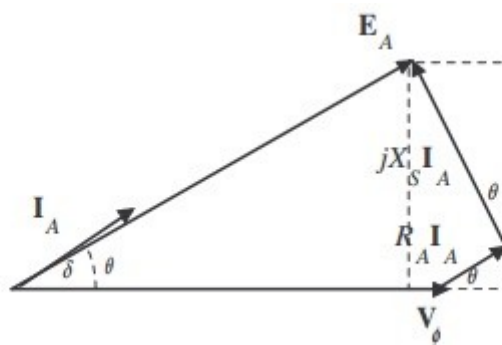
Σχήμα 3-1: Μονοφασικό Ισοδύναμο: όπου Z το φορτίο της γεννήτριας.

Στο παραπάνω κύκλωμα, η αντίσταση που παρουσιάζεται είναι η αντίσταση R_A του εσωτερικού των τυλιγμάτων του στάτη της γεννήτριας, εν σειρά με τη σύγχρονη αντίδραση jX_s της γεννήτριας, πριν από τους πόλους της γεννήτριας που μας δίνουν την τάση εξόδου V_ϕ , η οποία και μεταβάλλεται από τις μεταβολές του φορτίου. Το φορτίο Z (σε γενική μορφή), είναι στο συγκεκριμένο πείραμα της μορφής jX_c , συνεπώς καθαρά χωρητικό.

$$-jX_c = \frac{1}{j\omega C}$$

Στο σημείο αυτό θα περιγραφεί τι αλλάζει κατά την αλλαγή του φορτίου μιας γεννήτριας. Κατά την αύξηση του φορτίου, αυξάνεται η ενεργός και/ή η άεργος ισχύς εξόδου της γεννήτριας, καθώς και το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτεί το συγκεκριμένο φορτίο, στη γενική περίπτωση. Στο κύκλωμα διέγερσης της γεννήτριας δε αλλάζουν κι έτσι τόσο το ρεύμα διέγερσης όσο και η μαγνητική ροή στο εσωτερικό της παραμένουν σταθερά. Επίσης, επειδή ούτε η ταχύτητα της κινητήριας μηχανής της γεννήτριας αλλάζει, το πλάτος της τάσης που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας $E_A = K\omega$ παραμένει σταθερό.

Ένα διανυσματικό διάγραμμα βοηθάει πολύ στην παρουσίαση των μεγεθών που μεταβάλλονται κατά την αύξηση του φορτίου της γεννήτριας. Πιο συγκεκριμένα, θα υποθέσουμε ότι το φορτίο της γεννήτριας θα θεωρηθεί ότι είναι χωρητικό, όπως στο πείραμά μας, και ότι *αυξάνεται* διατηρώντας σταθερό το συντελεστή ισχύος του (στο συγκεκριμένο πείραμα πρόκειται για καθαρά χωρητικό φορτίο). *Η τάση V_ϕ αυξάνεται*. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εξαχθεί από το διανυσματικό διάγραμμα στην περίπτωση χωρητικής φόρτισης της γεννήτριας καθώς και τους αντίστοιχους τύπους, που δίνονται ενδεικτικά παρακάτω:



Σχήμα 3-2: Διανυσματικό διάγραμμα ενδεικτικής χωρητικής φόρτισης γεννήτριας.

Ανάλογα με το συντελεστή ισχύος της χωρητικής φόρτισης $\cos\theta$ βρίσκουμε τη γωνία θ μεταξύ της τάσης στους πόλους της γεννήτριας V_ϕ και του ρεύματος οπλισμού I_A . Οι υπολογισμοί στο τρίγωνο μέσω του πυθαγόρειου θεωρήματος στο διανυσματικό διάγραμμα μας οδηγεί στις εξισώσεις :

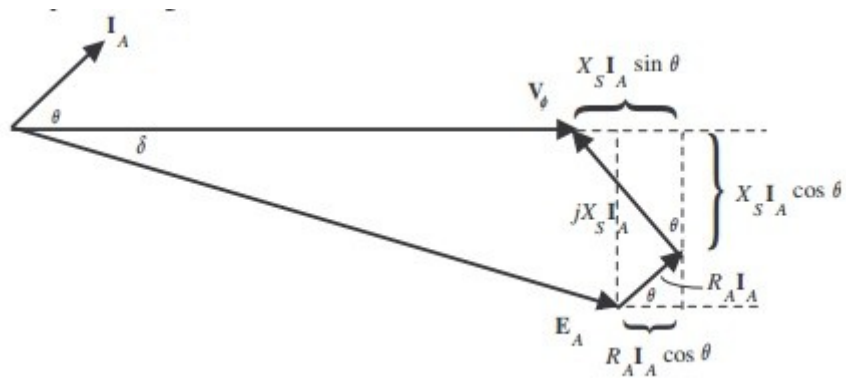
$$E_A^2 = \left(V_\phi + R_A I_A \cos\theta - X_s I_A \sin\theta \right)^2 + \left(X_s I_A \sin\theta + R_A I_A \cos\theta \right)^2$$

και

$$V_{\phi} = \sqrt{E_A^2 + (X_S I_A \sin \theta + R_A I_A \cos \theta)^2} - R_A I_A \cos \theta + X_S I_A \sin \theta$$

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση καθαρά χωρητικού φορτίου είναι $\theta=90^\circ$, που πρακτικά σημαίνει προπορεία του ρεύματος οπλισμού I_A από την τάση εξόδου της γεννήτριας V_{ϕ} κατά 90° .

Στο σημείο αυτό παρατίθεται και ένα διανυσματικό διάγραμμα το οποίο δείχνει τη μεταβολή τάσεων και ρευμάτων στο διανυσματικό διάγραμμα της σύγχρονης γεννήτριας δημιουργώντας χωρητική φόρτιση στους πόλους της :

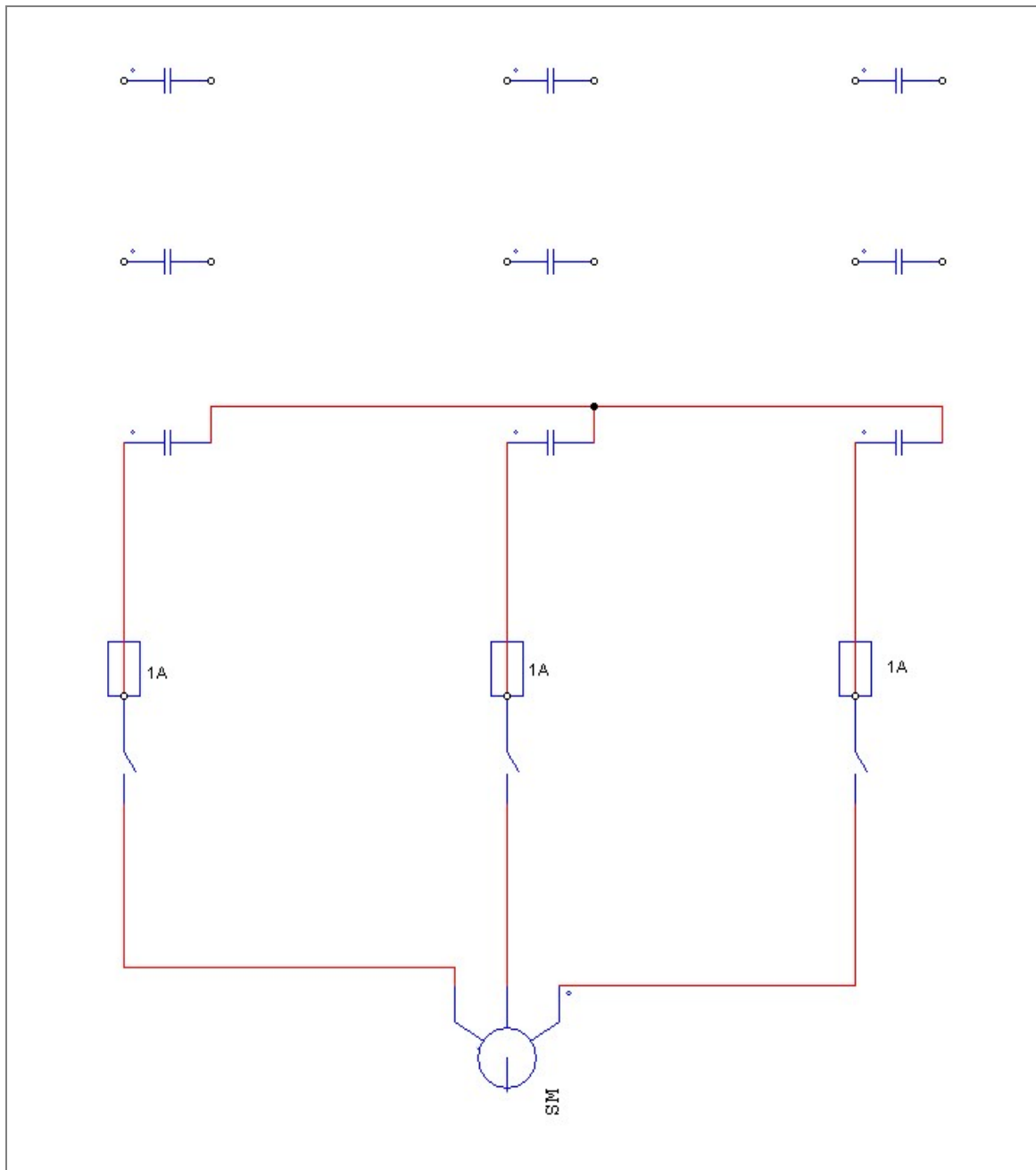


Σχήμα 3-3 : Διανυσματικό διάγραμμα χωρητικής φόρτισης με οποιαδήποτε συμβολή στην εκάστοτε αλλαγή της τάσης.

3.1.1 Περιπτώσεις χωρητικής φόρτισης σε πείραμα μεταβολής της χωρητικής φόρτισης σύγχρονης γεννήτριας

Σύνδεση πυκνωτών σε αστέρα

3.1.1.1 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : $100\mu\text{F}$

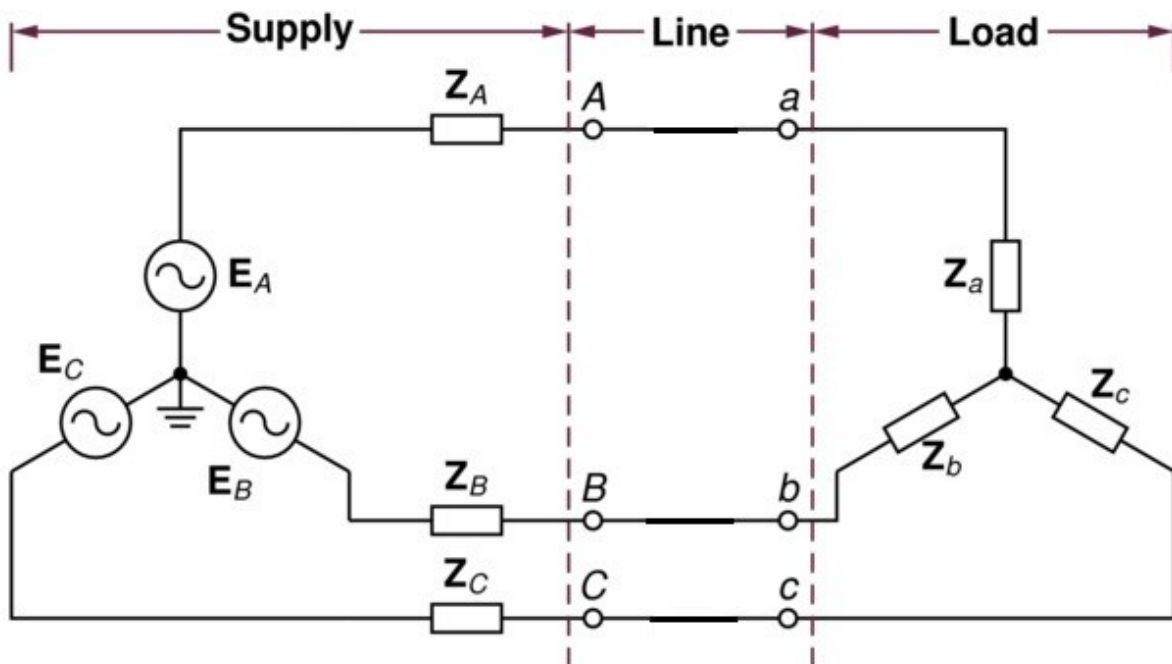


Σχήμα 3-4: $100\mu\text{F}$ σε αστέρα

Θα χρησιμοποιήσουμε τον παραπάνω τύπο όπως προαναφέρθηκε για να προσμετρήσουμε την τάση στους πόλους της γεννήτριας.

$$V_{\phi} = \sqrt{E_A^2 + (X_s I_A \sin \theta + R_A I_A \cos \phi)^2} - R_A I_A \cos \phi + X_s I_A \sin \theta$$

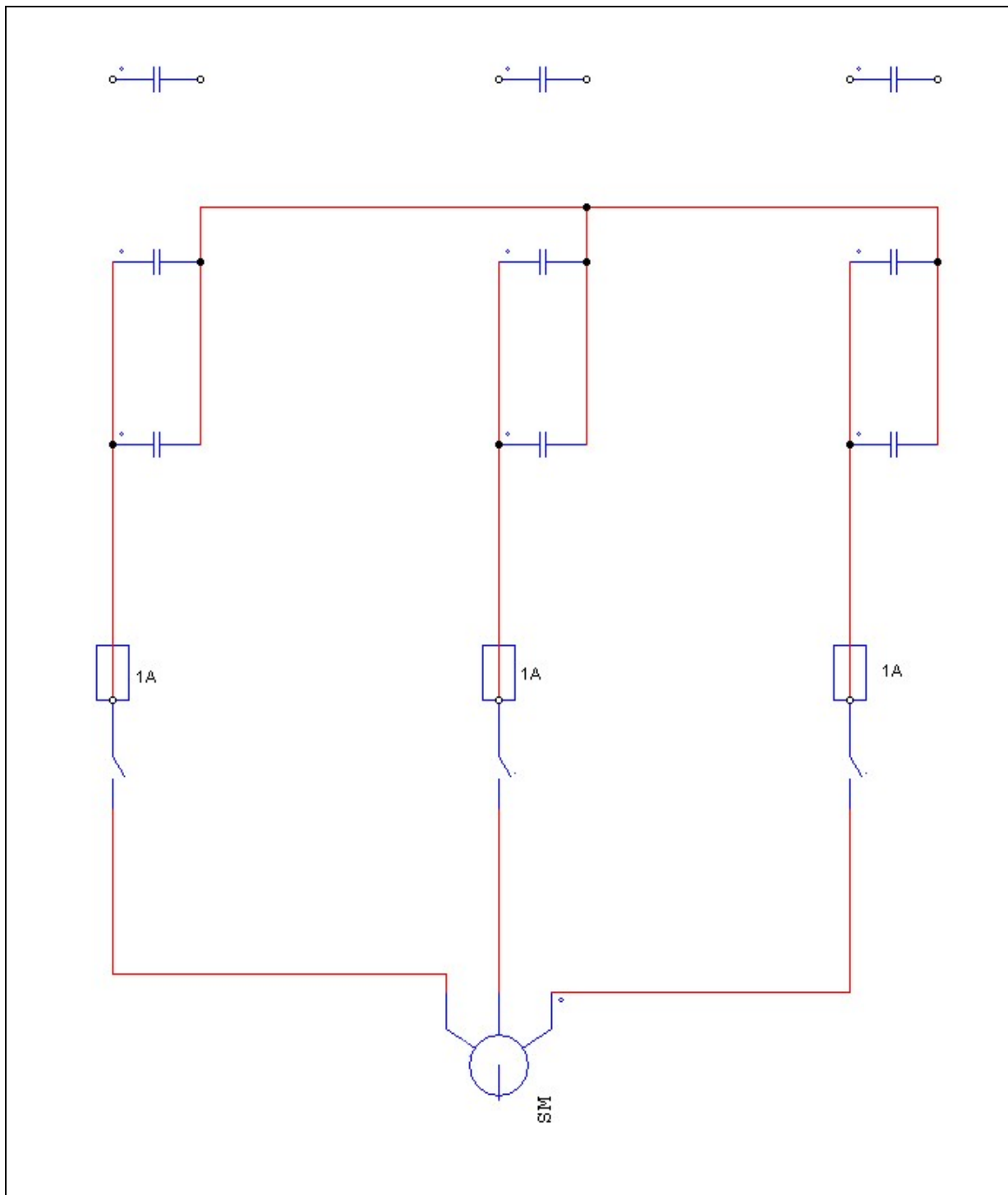
Το ρεύμα οπλισμού I_A μεταβάλλεται ανάλογα με την συστοιχία των πυκνωτών που χρησιμοποιούμε κάθε φορά και μπορεί να μετρηθεί με κάποιο αμπερόμετρο συνδεδεμένο εν σειρά στην έξοδο της γεννήτριας ή να ευρεθεί από την κυκλωματική επίλυση του τριφασικού κυκλώματος που παρατίθεται παρακάτω:



Σχήμα 3-5: Τριφασικό συμμετρικό φορτίο στα άκρα γεννήτριας σε αστέρα.

Στο παραπάνω σχήμα τα Z_A , Z_B , και Z_C αντιπροσωπεύουν την ανά φάση σύγχρονη αντίδραση της γεννήτριας jX_s (ph) ενώ οι E_A , E_B , E_C την ανά φάση ηλεκτρεγερτική δύναμη της γεννήτριας. Τα Z_a , Z_b , Z_c , αντιπροσωπεύουν στην περίπτωσή μας τα χωρητικά φορτία ανά φάση $-jX_c = 1/j\omega C$ όπου $\omega = 2\pi f$ η κυκλική συχνότητα ($f = 50\text{Hz}$ ή 60Hz ανάλογα με τα ονομαστικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας που θα χρησιμοποιήσουμε) και $C = 100\mu\text{F}$ σε αυτή την περίπτωση. Τα τυλίγματα των 3 φάσεων της γεννήτριας καθώς και το φορτίο είναι συνδεδεμένα σε αστέρα.

3.1.1.2 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 200 μ F



Σχήμα 3-6: 200 μ F σε αστέρα, εν παραλλήλω

Σε αυτή την περίπτωση θα μετρηθεί εκ νέου το ρεύμα οπλισμού I_A (ή θα βρεθεί από το τριφασικό κύκλωμα που παραθέσαμε και στην παραπάνω περίπτωση, εφόσον γνωρίζουμε όλα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας – ΗΕΔ, σύγχρονη αντίδραση, ονομαστικές στροφές κτλ) και θα χρησιμοποιήσουμε πάλι τις εξισώσεις :

$$E_A^2 = \left(V_\phi + R_A I_A \cos\theta - X_s I_A \sin\theta \right)^2 + \left(X_s I_A \sin\theta + R_A I_A \cos\theta \right)^2$$

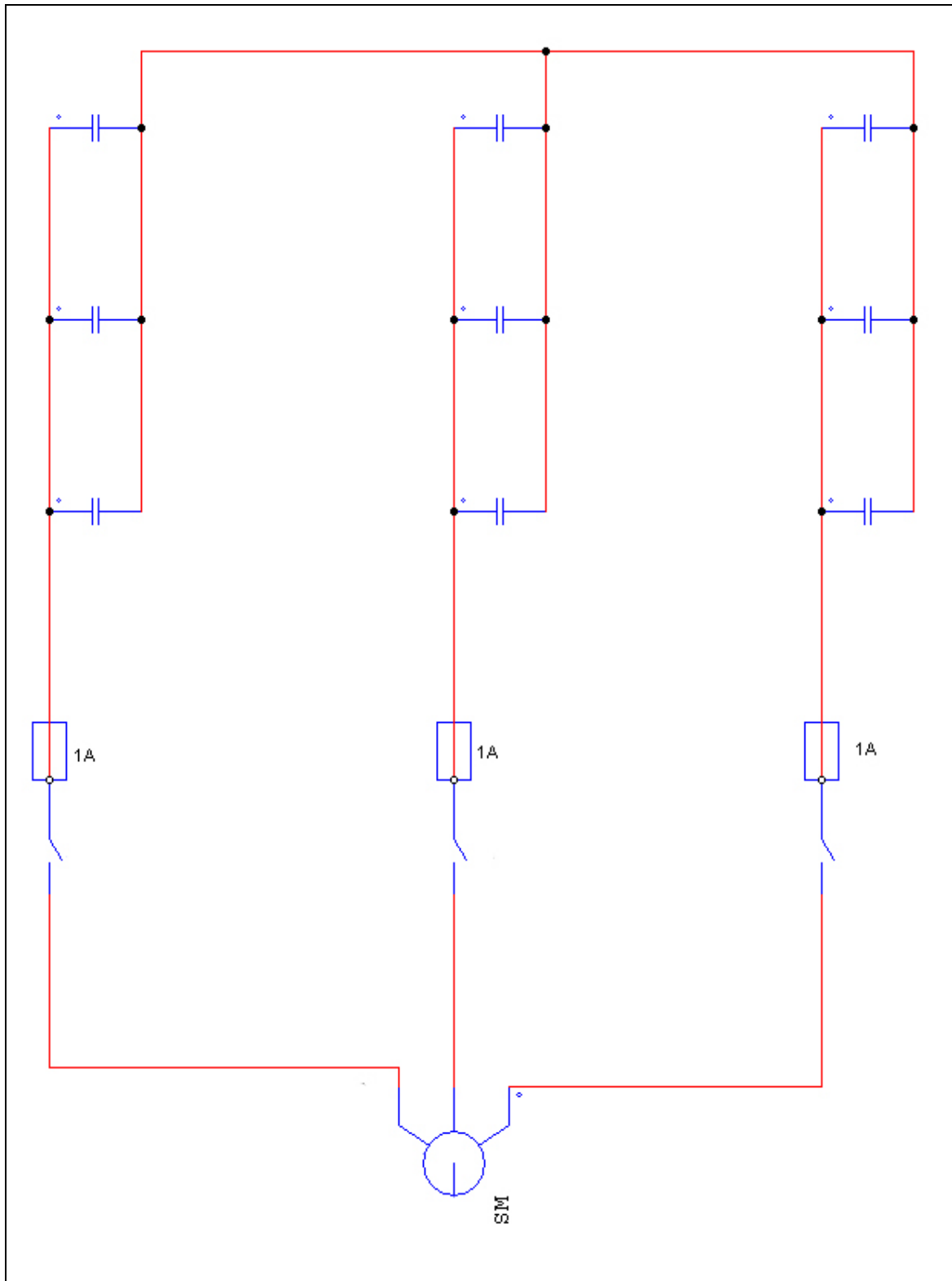
$$V_\phi = \sqrt{E_A^2 + (X_s I_A \sin\theta + R_A I_A \cos\theta)^2} - R_A I_A \cos\theta + X_s I_A \sin\theta$$

για να βρούμε τη νέα ανύψωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας.

Το τριφασικό κύκλωμα είναι όμοιο με την προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι οι χωρητικές αντιδράσεις $I/j\omega C$ ως φορτία σε κάθε φάση μεταβάλλονται λόγω της μεταβολής του $C=200\mu F$.

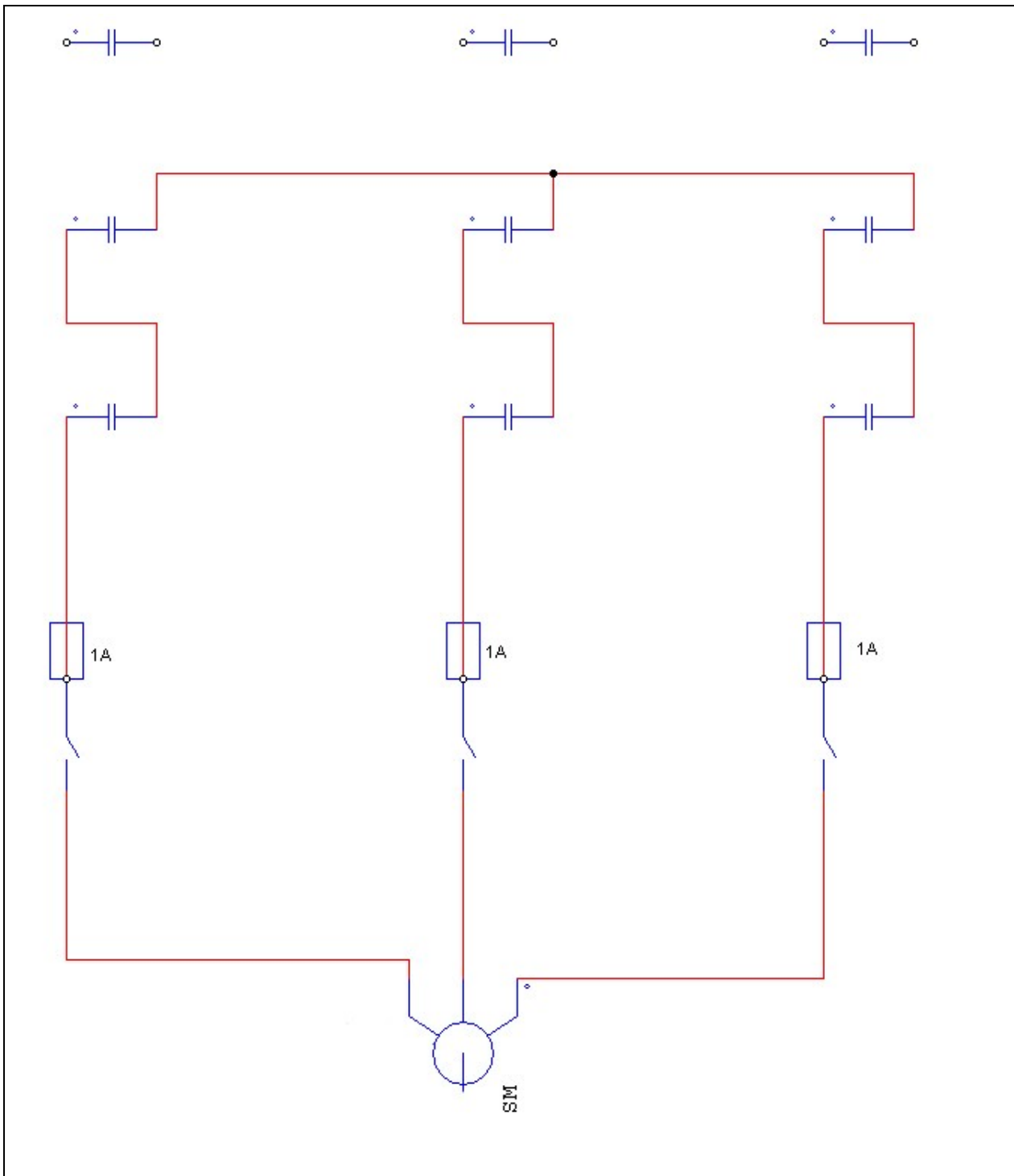
Όμοια ακριβώς ακολουθείται η ίδια διαδικασία για να βρεθεί η τάση εξόδου V_ϕ στους πόλους της γεννήτριας για τις περιπτώσεις συνδεσμολογιών που θα παρατηρηθούν παρακάτω σε αστέρα, δηλαδή για $C=300\mu F$, $C=50\mu F$, $C=33.3\mu F$, $C=66.6\mu F$ ανά φάση. **Τονίζεται σε αυτό το σημείο ότι είναι απαραίτητη η γνώση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της γεννήτριας για να ευρεθεί μαθηματικά η τάση εξόδου στους ακροδέκτες της, δηλαδή της σύγχρονης αντίδρασης της ανά φάση (από το πείραμα κενού και βραχυκύκλωσης) και της συχνότητας ονομαστικής λειτουργίας της.**

3.1.1.3 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 300 μ F



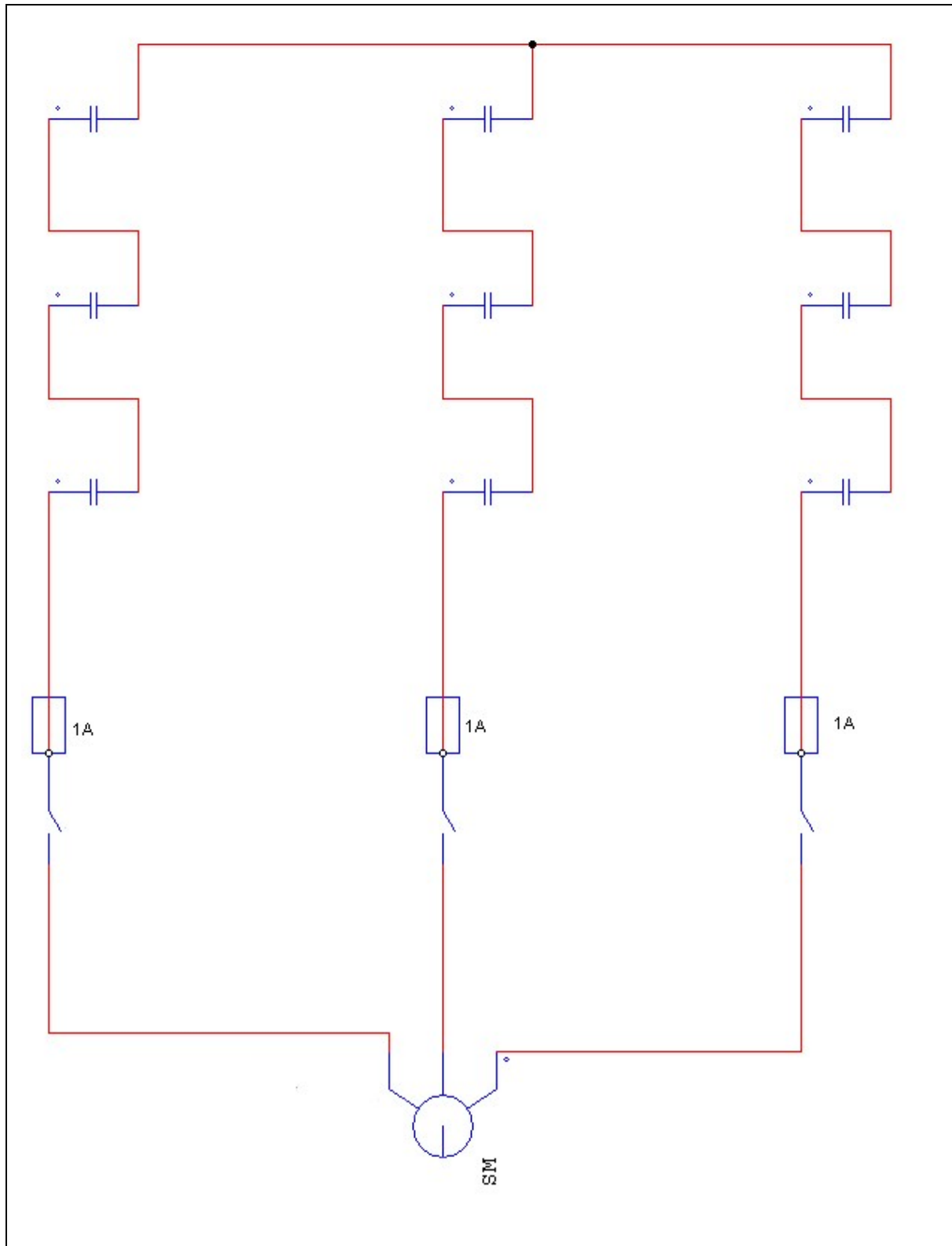
Σχήμα 3-7: 300 μ F σε αστέρα, 3 πυκνωτές εν παραλλήλω ανά φάση.

3.1.1.4 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 50μF



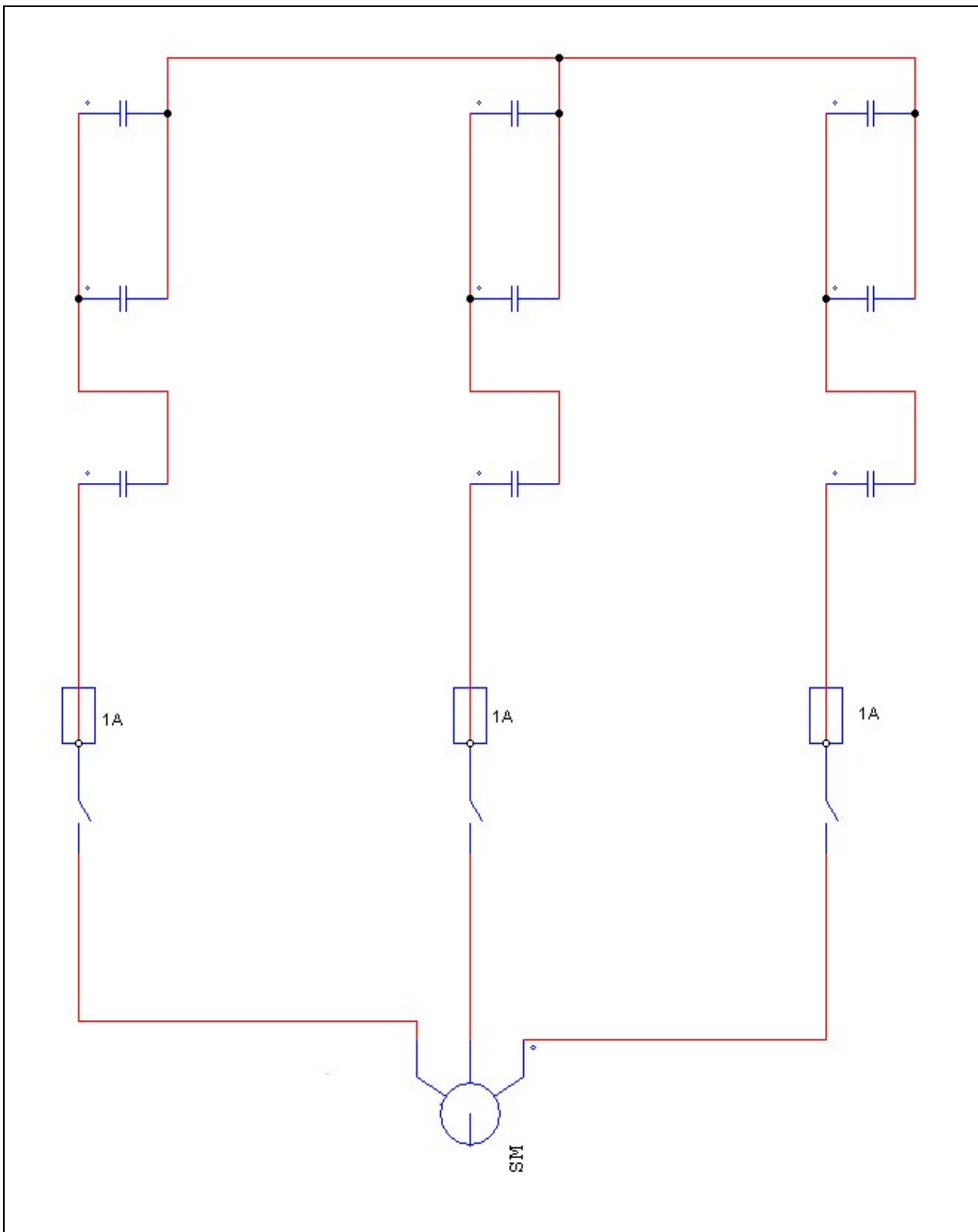
Σχήμα 3-8: 50μF σε αστέρα, 2 πυκνωτές εν σειρά ανά φάση.

3.1.1.5 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 33.3 μ F



Σχήμα 3-9: 33.3 μ F σε αστέρα, 3 πυκνωτές εν σειρά ανά φάση.

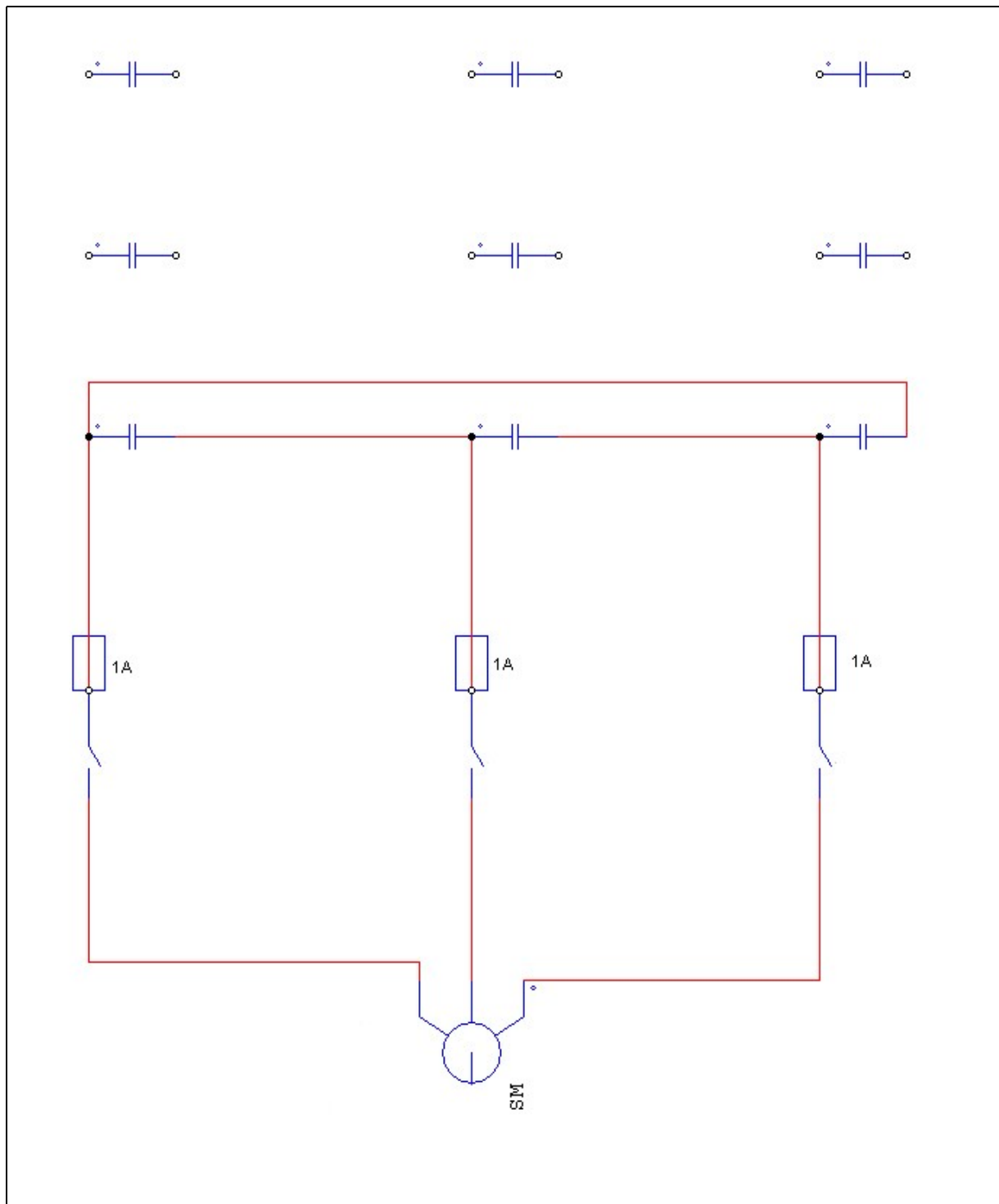
3.1.1.6 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 66.6 μ F



Σχήμα 3-10: 66.6 μ F σε αστέρα, 2 πυκνωτές εν παραλλήλω και 1 εν σειρά ανά φάση.

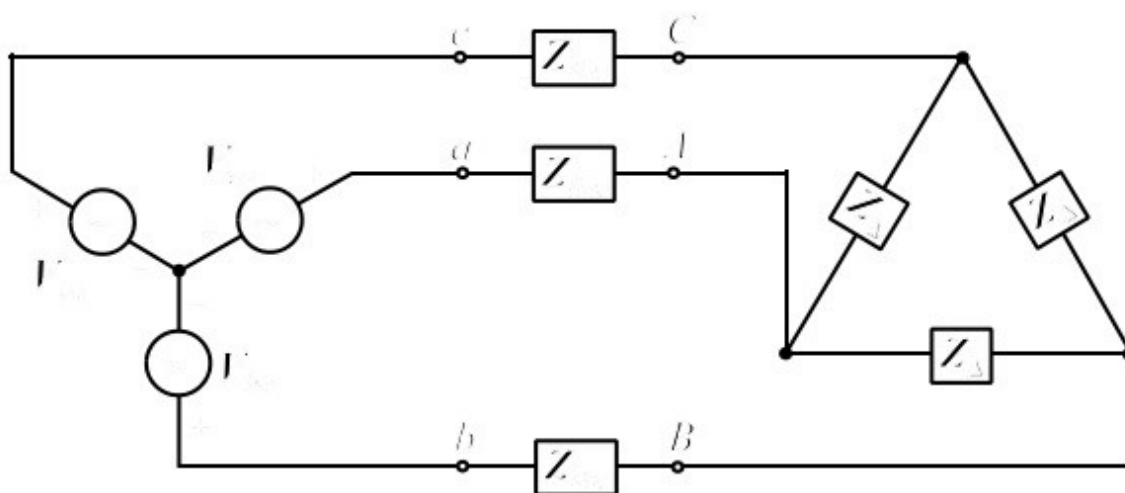
3.1.2 Σύνδεση πυκνωτών σε τρίγωνο

3.1.2.1. Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: $100\mu\text{F}$



Σχήμα 3-11: $100\mu\text{F}$ ανά φάση, σε τρίγωνο

Σε αυτή την συνδεσμολογία, τα ρεύματα που διαρρέουν τους κλάδους των πυκνωτών ανά φάση βρίσκονται μέσω του τριφασικού κυκλώματος που αναπαριστά τη συνδεσμολογία φορτίου γεννήτριας σε τρίγωνο. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, με τους ακροδέκτες της γεννήτριας συνδεδεμένους σε αστέρα και το φορτίο συνδεδεμένο σε τρίγωνο:



Σχήμα 3-12: Συνδεσμολογία αστέρα – τριγώνου γεννήτριας – φορτίου.

Από την επίλυση του παραπάνω κυκλώματος, βρίσκουμε τα φασικά ρεύματα γραμμής που φτάνουν στους κόμβους του φορτίου καθώς και τα τρία ρεύματα που διαρρέουν τους τρεις κλάδους του τριγώνου. Στο παραπάνω σχήμα, για το συγκεκριμένο πείραμα που εκτελείται στην παρούσα εργασία, θα μπορούσαμε να αντικαταστήσουμε τα Z του τριγώνου με χωρητικές αντιδράσεις $-jX_c$.

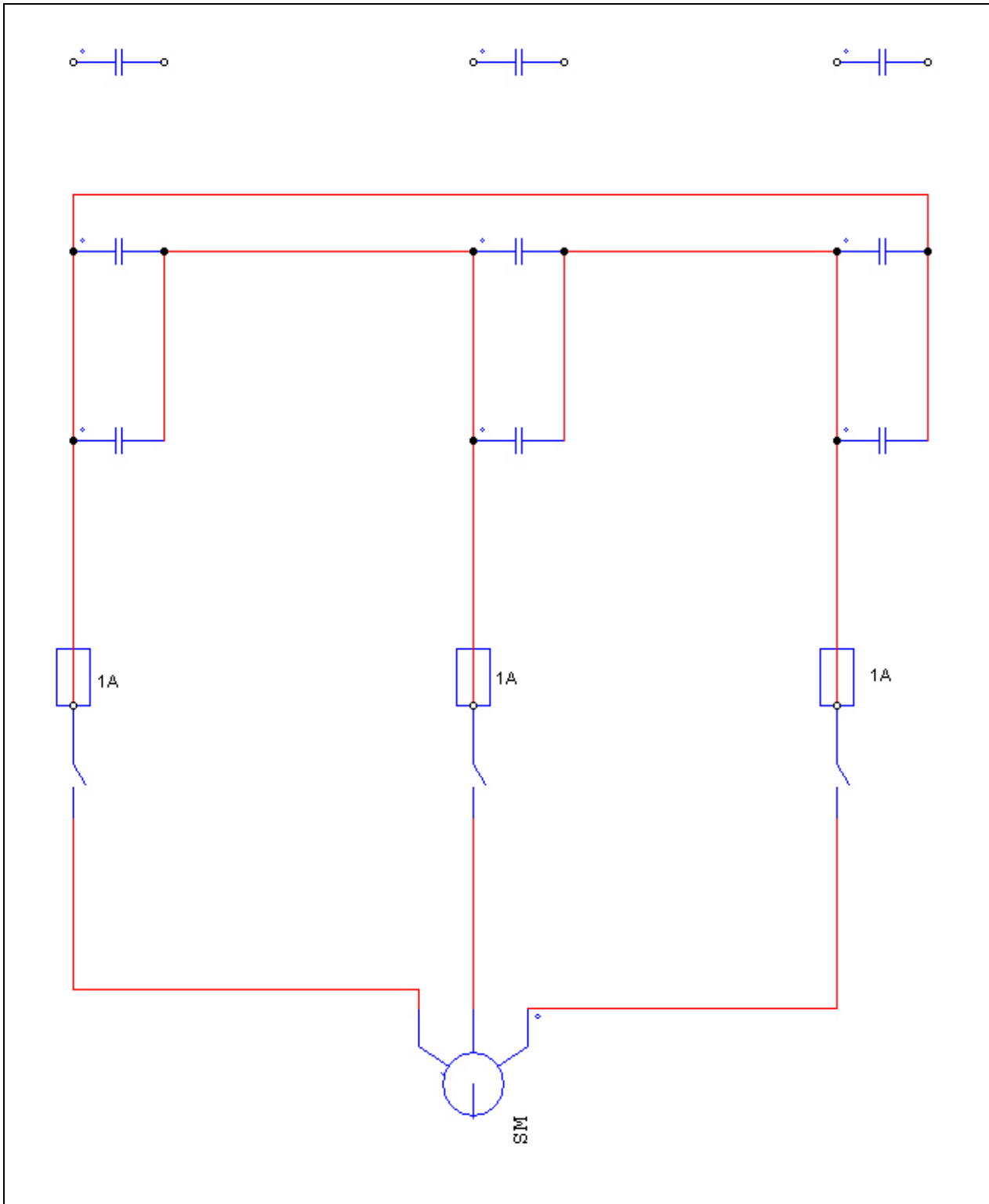
Η ανάλυση του μονοφασικού ισοδύναμου γίνεται και εδώ με τον ίδιο τρόπο όπως στις προηγούμενες συνδεσμολογίες. Οι τύποι για την ΗΕΔ της γεννήτριας και της τάσης ακροδεκτών της είναι οι ίδιοι:

$$E_A^2 = \left(V_\phi + R_A I_A \cos \theta - X_s I_A \sin \theta \right)^2 + \left(X_s I_A \sin \theta + R_A I_A \cos \theta \right)^2$$

$$V_\phi = \sqrt{E_A^2 + \left(X_s I_A \sin \theta + R_A I_A \cos \theta \right)^2} - R_A I_A \cos \theta + X_s I_A \sin \theta$$

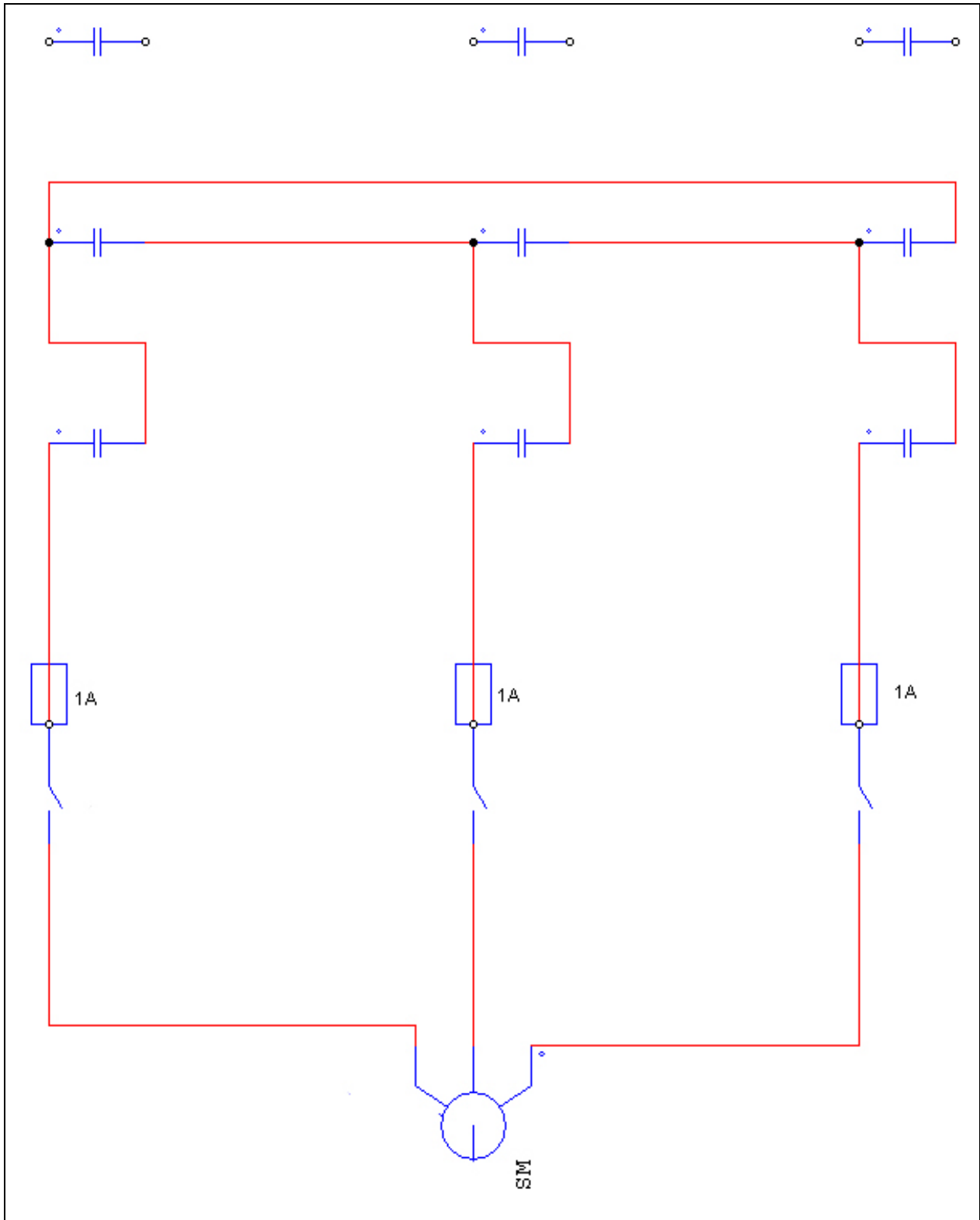
Το ρεύμα οπλισμού I^A μεταβάλλεται, και στις επόμενες συνδεσμολογίες που θα παραθέσουμε παρακάτω, ανάλογα με την χωρητική φόρτιση της γεννήτριας σε κάθε περίπτωση. Η τιμή του μπορεί να βρεθεί με την κυκλωματική επίλυση του παραπάνω τριφασικού κυκλώματος ή με μετρητικά όργανα που θα συνδεθούν στη διάταξη μεταβλητού χωρητικού φορτίου. Όπως έχει αναφερθεί και για το αντίστοιχο πρόβλημα σε αστέρα, πρέπει να υπάρχει γνώση της σύγχρονης αντίδρασης της γεννήτριας, και της συχνότητας ονομαστικής λειτουργίας της για να επιλυθεί η διανυσματική εξίσωση, διαφορετικά καταφεύγουμε σε μετρητικά όργανα για κάθε βήμα του πειράματος.

3.1.2.2 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 200 μF



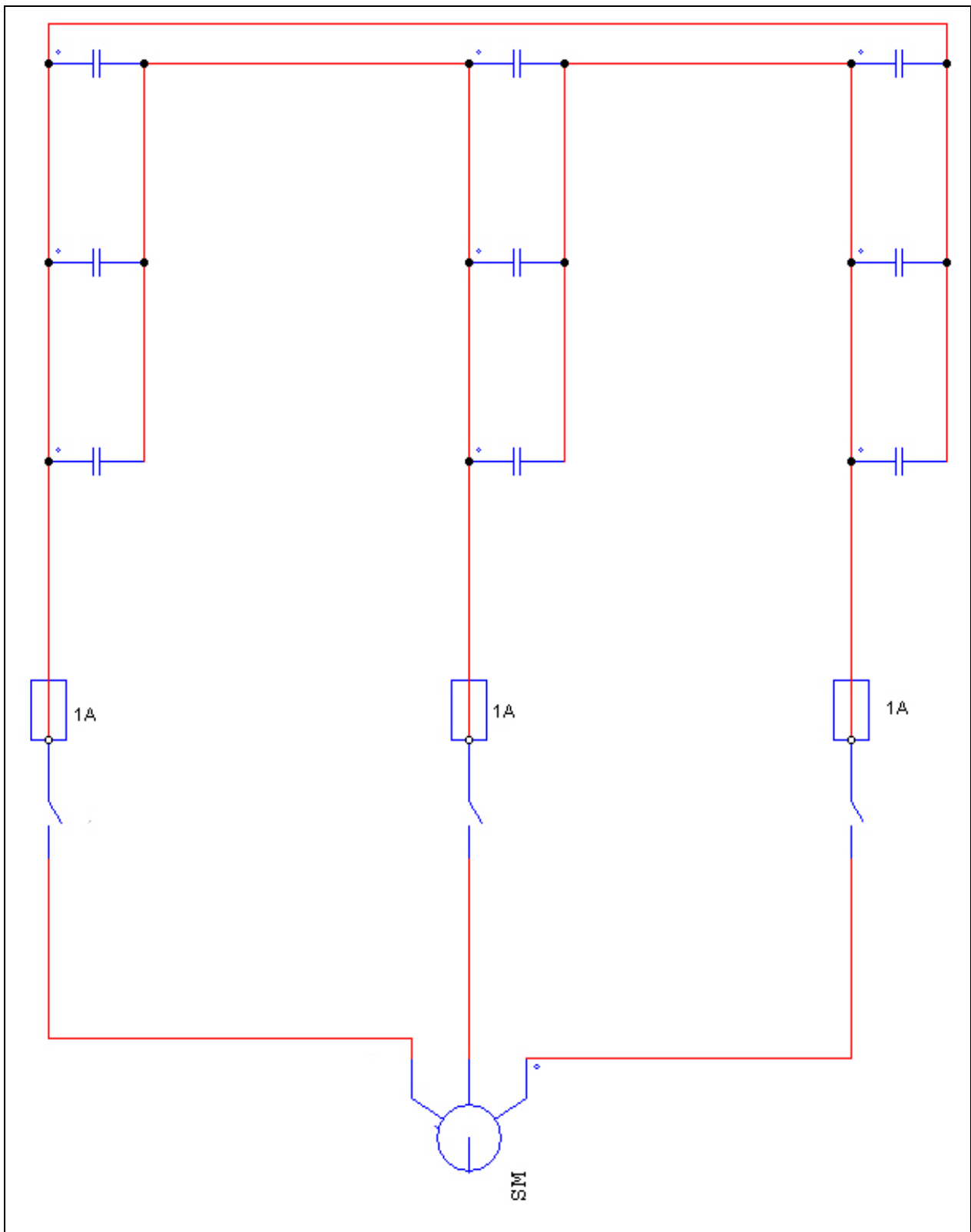
Σχήμα 3-13: 200µF ανά φάση, 2 πυκνωτές εν παραλλήλω.

3.1.2.3 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 50 µF



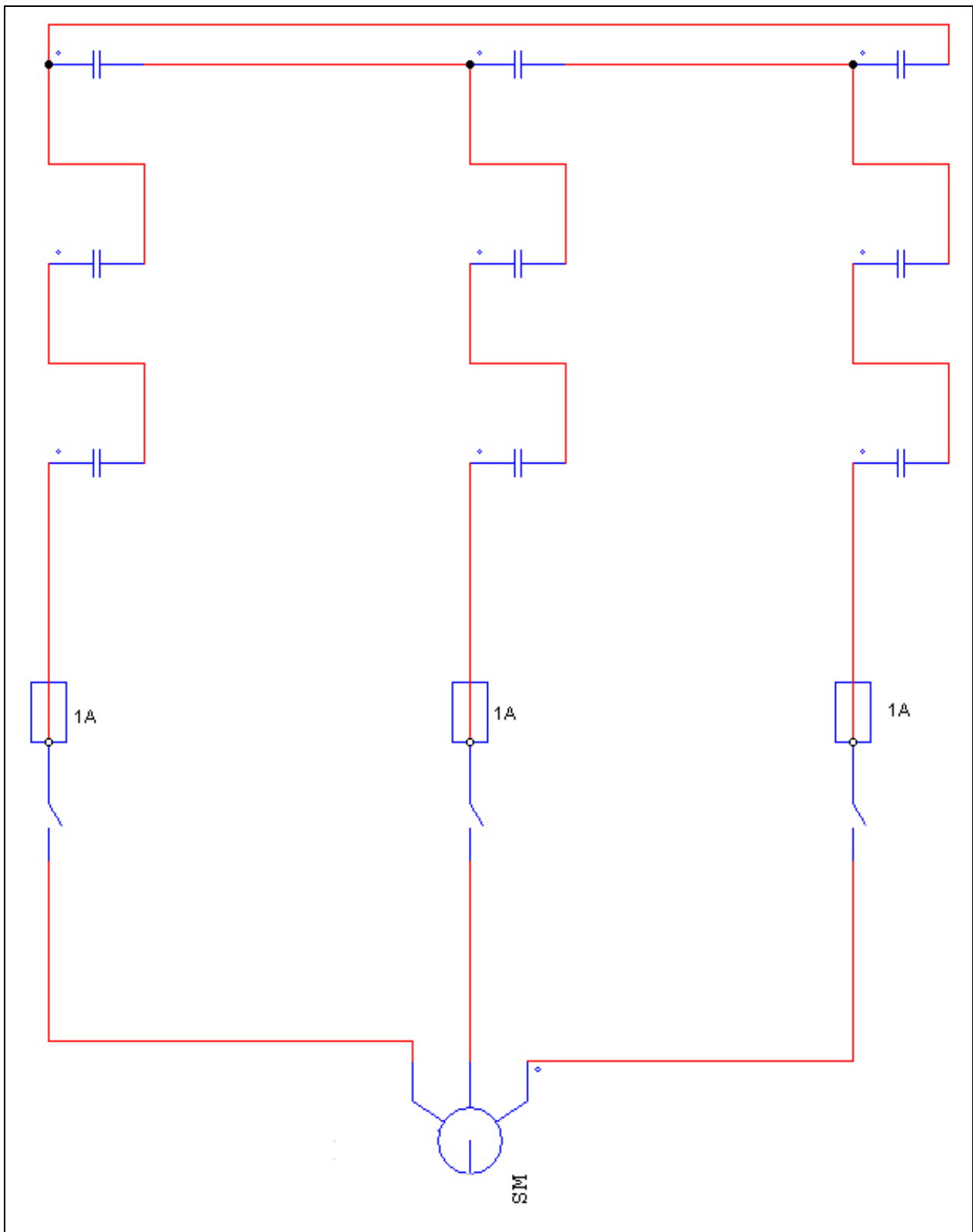
Σχήμα 3-14: 50μF ανά φάση, 2 πυκνωτές εν σειρά.

3.1.2.4 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 300 μF



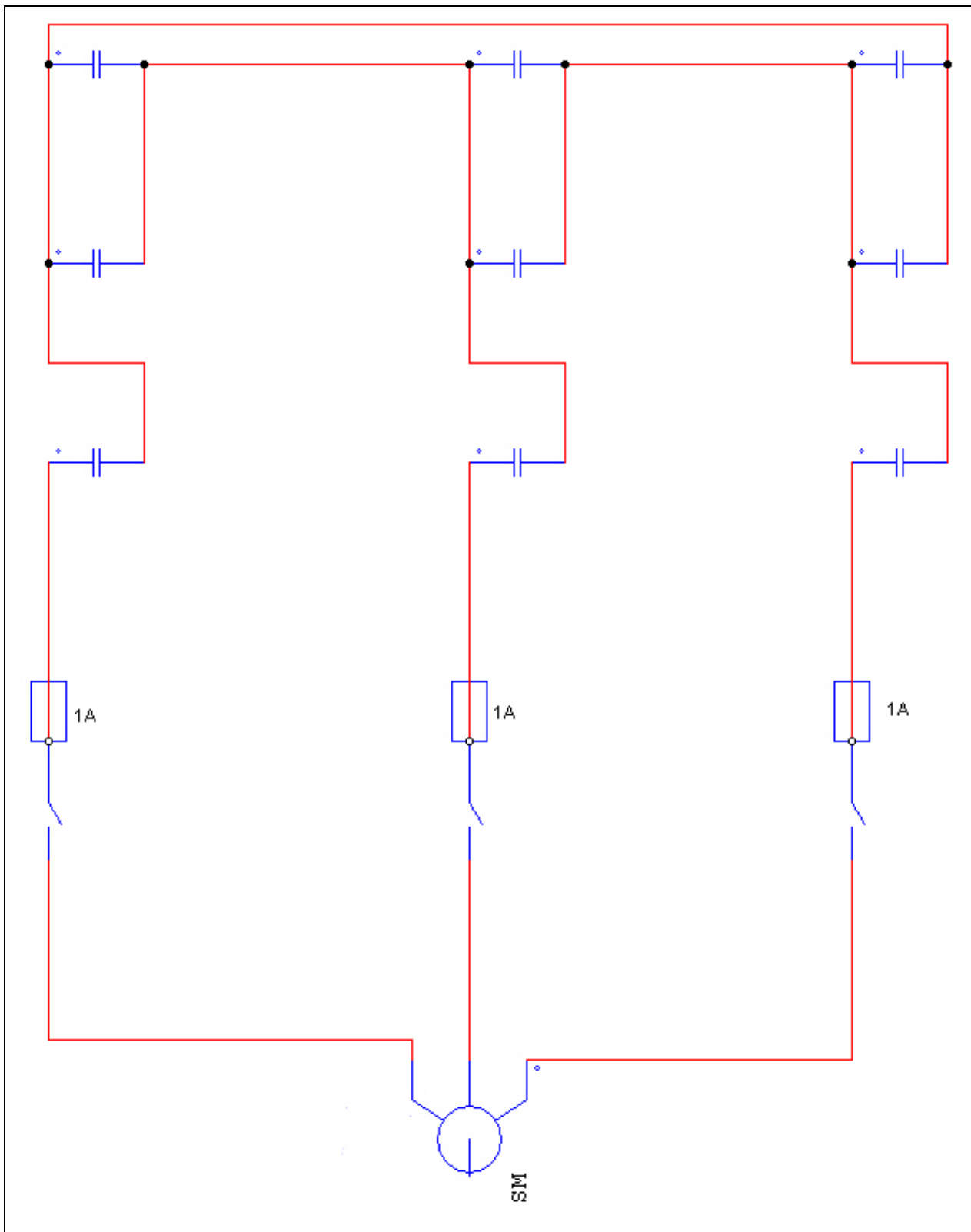
Σχήμα 3-15: 300µF ανά φάση, 3 πυκνωτές εν παραλλήλω.

3.1.2.5 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 33.3 μF



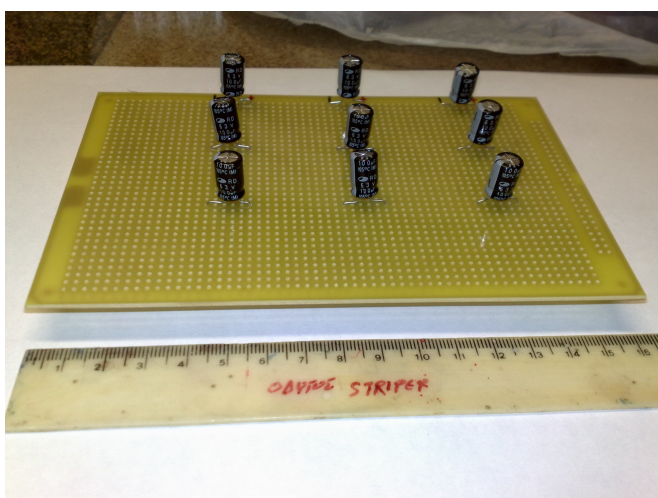
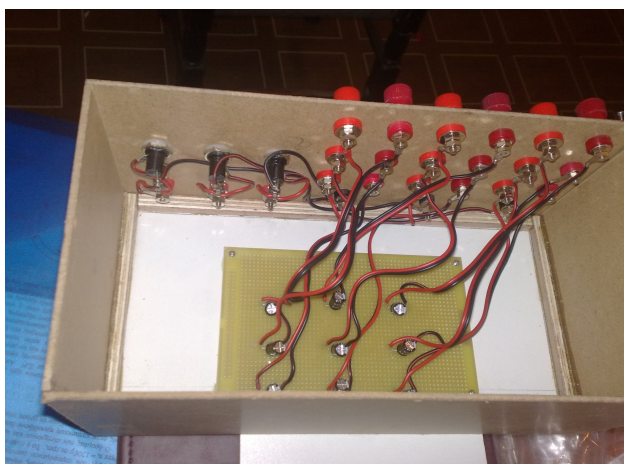
Σχήμα 3-16: 33.3 μF ανά φάση, 3 πυκνωτές εν σειρά.

3.1.2.6 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 66.6 μF



Σχήμα 3-17: 66.6 μF ανά φάση, 2 πυκνωτές εν παραλλήλω και ένας εν σειρά.

Εικόνες από την κατασκευή του τριφασικού μεταβλητού χωρητικού φορτίου



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το παραπάνω πείραμα το οποίο διενεργήθηκε με σκοπό την παρατήρηση της συμπεριφοράς μιας σύγχρονης γεννήτριας σε συνθήκες αμιγώς χωρητικής φόρτισης οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Αφενός η χωρητική αντίδραση του φορτίου που αλλάζει σε κάθε βήμα διαφοροποιεί το ρεύμα του στάτη για τις τρεις φάσεις της σύγχρονης γεννήτριας. Αυτό οδηγεί σε αύξηση, κατά κανόνα, της τάσης εξόδου στους ακροδέκτες της γεννήτριας.
- Η αύξηση της τάσης εξόδου και γενικά η μεταβολή της σε κάθε βήμα του πειράματος μπορεί να εξευρεθεί με βάση τη διανυσματική εξίσωση του μονοφασικού ισοδύναμου της γεννήτριας εφόσον είναι γνωστά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της ($HE\Delta$ ή E_A ανά φάση, που δεν μεταβάλλεται εφόσον παραμείνει αμετάβλητη η διέγερση της γεννήτριας και η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της, X_s – σύγχρονη αντίδραση της γεννήτριας ανά φάση, που εξαρτάται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της, και την ονομαστική συχνότητα λειτουργίας της γεννήτριας).
- Η τάση εξόδου σε κάθε βήμα του πειράματος μπορεί να μετρηθεί και με τριφασικό μετρητικό όργανο, με αποτέλεσμα την εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο για την μεταβολή της αρχικής γωνίας των τριών διανυσματικών τάσεων για κάθε φάση, όσο και για το πλάτος των διανυσματικών τάσεων για κάθε φάση επίσης, ως αποτέλεσμα της επίδρασης του χωρητικού φορτίου που μεταβάλλει τα διανυσματικά διαγράμματα της γεννήτριας με βάση την ορθογώνια περιστροφή τους λόγω της φανταστικής μιγαδικής μονάδας στην χωρητική αντίδραση.

Βιβλιογραφία

[1]. Stephen J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals, 4th edition

[2] Capacitors – Electronic Circuits Magazine, ElectronicsLab.eu

[3] A.E. Fitzgerald, Electric Machinery, 6th edition

[4] Νίκος Ι. Μάργαρης – Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων

Περιεχόμενα

<i>1.Πρόλογος.....</i>	<i>6</i>
<i>2. Κεφάλαιο 1: Σύγχρονες γεννήτριες.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1 Ταχύτητα περιστροφής των σύγχρονων γεννητριών.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Παραγόμενη τάση στο εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας.....</i>	<i>10</i>
<i>1.3 Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα της σύγχρονης γεννήτριας.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4 Διανυσματικό διάγραμμα γεννήτριας</i>	<i>12</i>
<i>3. Κεφάλαιο 2: Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές</i>	<i>13</i>
<i>2.1 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές.....</i>	<i>14</i>
<i>4. Κεφάλαιο 3: Μεταβλητό χωρητικό φορτίου στους πόλους σύγχρονης γεννήτριας.....</i>	<i>16</i>
<i>3.1 Περιπτώσεις χωρητικής φόρτισης σε πείραμα μεταβολής της χωρητικής φόρτισης σύγχρονης γεννήτριας.....</i>	<i>19</i>
<i>3.1.1 Σύνδεση πυκνωτών σε αστέρα.....</i>	<i>19</i>
<i>3.1.1.1 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 100μF.....</i>	<i>19</i>
<i>3.1.1.2 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 200μF.....</i>	<i>21</i>
<i>3.1.1.3 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 300μF.....</i>	<i>23</i>
<i>3.1.1.4 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 50μF.....</i>	<i>24</i>
<i>3.1.1.5 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 33.3μF.....</i>	<i>25</i>
<i>3.1.1.6 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε αστέρα : 66.6μF.....</i>	<i>26</i>
<i>3.1.2 Σύνδεση πυκνωτών σε τρίγωνο.....</i>	<i>27</i>

<i>3.1.2.1. Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 100μF.....</i>	<i>27</i>
<i>3.1.2.2. Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 200μF.....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.2.3 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 50 μF.....</i>	<i>31</i>
<i>3.1.2.4 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 300 μF.....</i>	<i>32</i>
<i>3.1.2.5 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 33.3 μF.....</i>	<i>33</i>
<i>3.1.2.6 Συνολικό χωρητικό φορτίο σε τρίγωνο: 66.6 μF.....</i>	<i>34</i>
<i>4. Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα.....</i>	<i>35</i>
<i>5.</i>	
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	<i>36</i>