



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ανάλυση Σ.Η.Ε

Ενότητα 7: Ασύμμετρα βραχυκυκλώματα

Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος
Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και τεχνολογίας Υπολογιστών



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.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

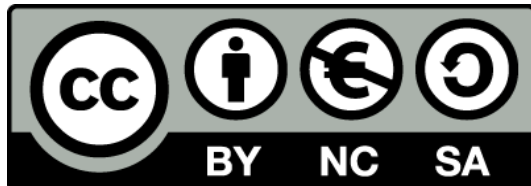
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Άδειες χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης creative commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκεινται σε άλλου τύπου άδειες χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



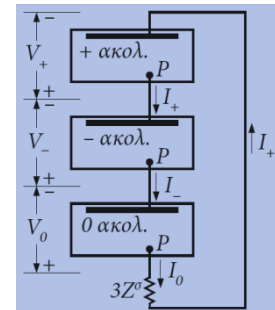
Εισαγωγή

- Τα περισσότερα σφάλματα που συμβαίνουν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ασύμμετρα. Αυτά μπορούν να είναι ασύμμετρα στερεά βραχυκυκλώματα ή ασύμμετρα βραχυκυκλώματα δια μέσου αντιστάσεων ή ανοιχτοκυκλωμένοι αγωγοί.
- Όλα τα ασύμμετρα βραχυκυκλώματα μπορούν να μελετηθούν με τη χρήση προγραμμάτων ψηφιακού υπολογιστή, που αξιοποιούν μια συγχώνευση του ΜΣΣ του Κεφαλαίου 3 και του θεωρήματος Thevenin, που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση συμμετρικών βραχυκυκλωμάτων στο Κεφάλαιο 2.
- Σε αρκετές όμως περιπτώσεις, μπορούμε να κάνουμε τη μελέτη με τον κλασικό τρόπο, τον οποίο θα περιγράψουμε πρώτα.





Κλασσικός τρόπος μελέτης ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(1)



- Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στην κατασκευή των δικτύων θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας του συστήματος και στη σύνδεσή τους, ανάλογα με τον τύπο του ασύμμετρου βραχυκυκλώματος, για την κατασκευή του τελικού δικτύου, από το οποίο θα υπολογιστούν οι συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος και της τάσης μετά το βραχυκύκλωμα στη θέση του βραχυκυκλώματος.
- Από αυτές τις συνιστώσες υπολογίζονται οι συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων και σε άλλα σημεία του δικτύου, εφ' όσον χρειάζονται, με τη βοήθεια των αντίστοιχων ακολουθιακών δικτύων.
- Το προσφαλματικό ρεύμα φορτίου μπορεί να ληφθεί υπόψη, είτε με πρόσθεσή του στις συνιστώσες θετικής ακολουθίας, αν χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα Thevenin στο κύκλωμα θετικής ακολουθίας, είτε με υπολογισμό των εσωτερικών τάσεων των μηχανών.
- Μετά τον υπολογισμό των συμμετρικών συνιστωσών των ρευμάτων και τάσεων υπολογίζονται οι φασικές τους συνιστώσες.
- Για την πραγματοποίηση της προηγούμενης διαδικασίας θα ακολουθήσουμε τα εξής βήματα:



Κλασικός τρόπος μελέτης ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(2)

- 1. Γράφουμε, ανάλογα με το είδος του βραχυκυκλώματος, τις χαρακτηριστικές τιμές που παίρνουν οι φασικές τάσεις και τα ρεύματα, στο σημείο του βραχυκυκλώματος (συνθήκες βραχυκυκλώματος).
- 2. Μετατρέπουμε τις συνθήκες που χαρακτηρίζουν τις φασικές ποσότητες, σε συνθήκες που χαρακτηρίζουν τις συμμετρικές συνιστώσες τους.
- 3. Από τις συνθήκες συμμετρικών συνιστωσών καθορίζουμε τον τρόπο που συνδέονται τα ακολουθιακά δίκτυα, για την κατασκευή του τελικού δικτύου.
- 4. Από το τελικό δίκτυο υπολογίζουμε τις συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος και της τάσης στη θέση του βραχυκυκλώματος.
- 5. Υπολογίζουμε τις φασικές τιμές των ρευμάτων και τάσεων στη θέση του βραχυκυκλώματος, με αντίστροφο μετασχηματισμό των συμμετρικών τους συνιστωσών.
- 6. Εφ' όσον απαιτείται, λαμβάνεται υπόψη το ρεύμα φορτίου στις γραμμές μεταφοράς: **α)** με πρόσθεσή του στις συνιστώσες θετικής ακολουθίας, αν χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα Thevenin στο κύκλωμα θετικής ακολουθίας **β)** το ρεύμα αυτό λαμβάνεται αυτόματα υπόψη, αν στο κύκλωμα θετικής ακολουθίας χρησιμοποιήσουμε τις εσωτερικές ΗΕΔ των μηχανών.

Κλασσικός τρόπος μελέτης ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(3)

- Τα πιο πάνω βήματα θα τα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων:
- **α)** Στους ακροδέκτες αφόρτιστων σύγχρονων μηχανών.
- **β)** Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικών συστημάτων.
- **γ)** Δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικών συστημάτων.



Συνθήκες φασικών ποσοτήτων ανάλογα με τον τύπο βραχυκυκλώματος(1)

Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών.

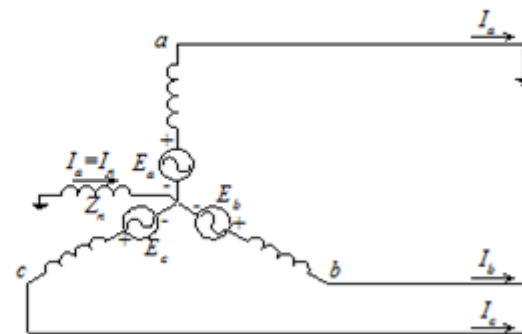
Όταν στη γεννήτρια δεν έχουμε συνδεδεμένο φορτίο, τα ρεύματα στις φάσεις της είναι μηδέν, εκτός από τα ρεύματα των φάσεων που είναι βραχυκυκλωμένες. Έτσι παίρνουμε:

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης *a* και της γης.

$$V_a = 0 \quad I_b = I_c = 0$$

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης *a* και της γης.

$$V_a = 0 \quad I_b = I_c = 0$$



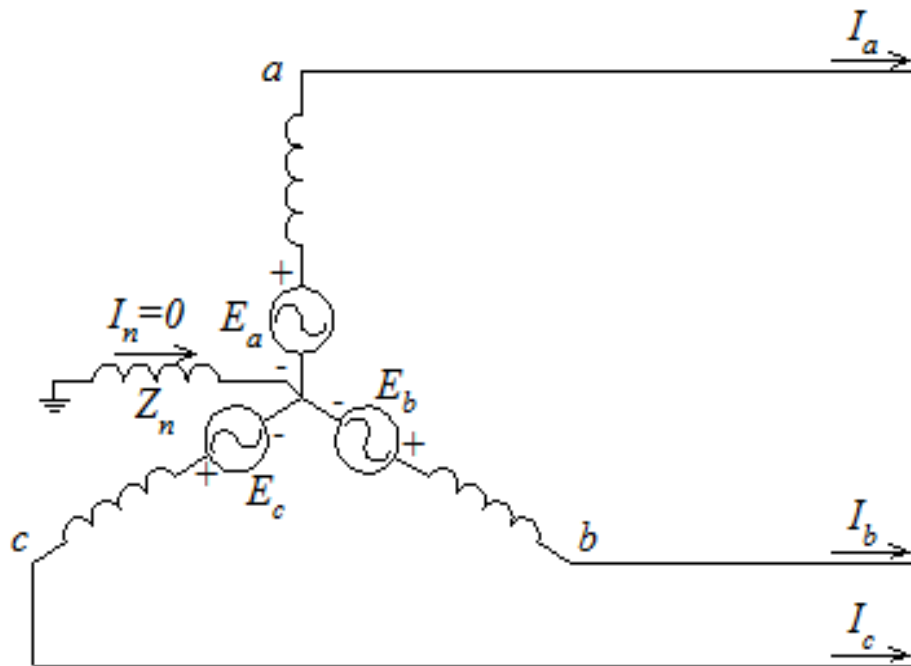
Μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Συνθήκες φασικών ποσοτήτων ανάλογα με τον τύπο βραχυκυκλώματος(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c .

$$V_b = V_c \quad I_b = -I_c \quad I_a = 0$$



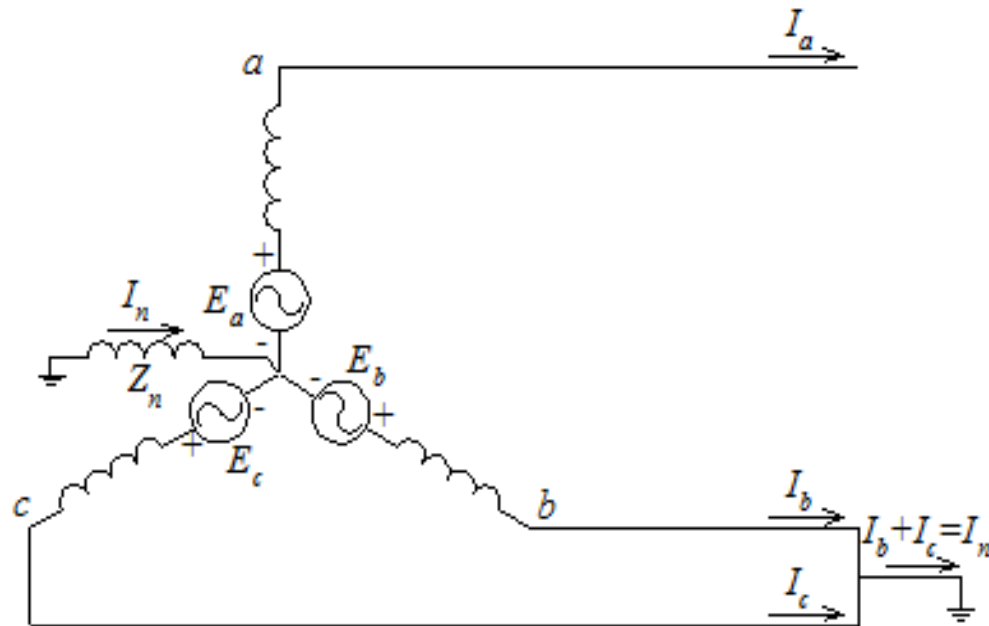
Διφασικό βραχυκύκλωμα.



Συνθήκες φασικών ποσοτήτων ανάλογα με τον τύπο βραχυκυκλώματος(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b, c και γης.

$$V_b = V_c = 0 \quad I_a = 0$$



Διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.

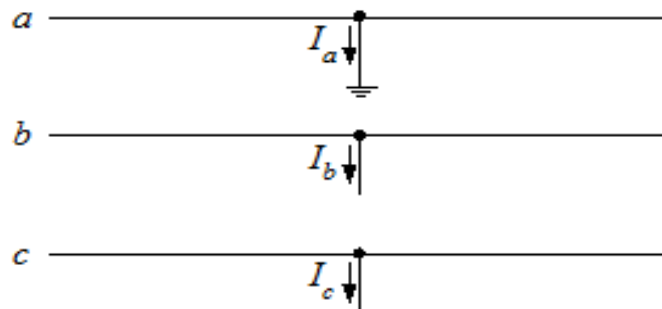


Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς(1)

- Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, που θέλουμε να υπολογίσουμε, ρέουν έξω από τη βραχυκυκλωμένη γραμμή. Έτσι, στις φάσεις που δεν είναι βραχυκυκλωμένες τα ρεύματα αυτά είναι μηδέν. Τις τάσεις μεταξύ των φάσεων και της γης, στο σημείο του βραχυκυκλώματος, θα τις συμβολίζουμε με V_a , V_b και V_c .

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης.

$$V_a = 0 \quad I_b = I_c = 0$$



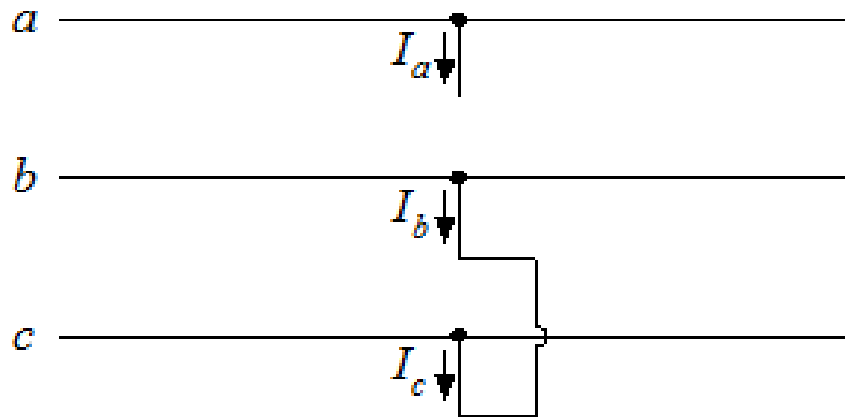
Μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c .

$$V_b = V_c \quad I_b = -I_c \quad I_a = 0$$



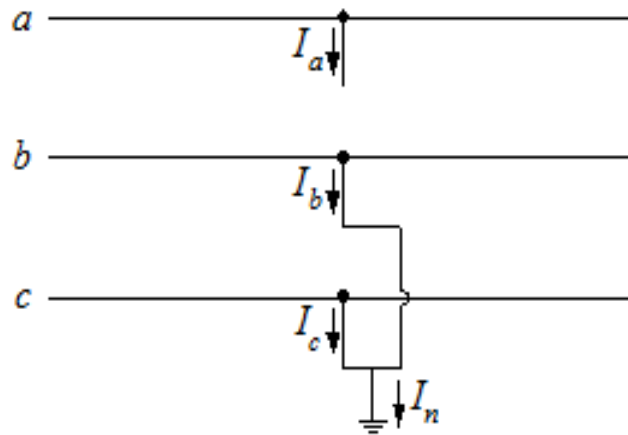
Διφασικό βραχυκύκλωμα.



Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b, c και γης.

$$V_b = V_c = 0 \quad I_a = 0$$



Διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.

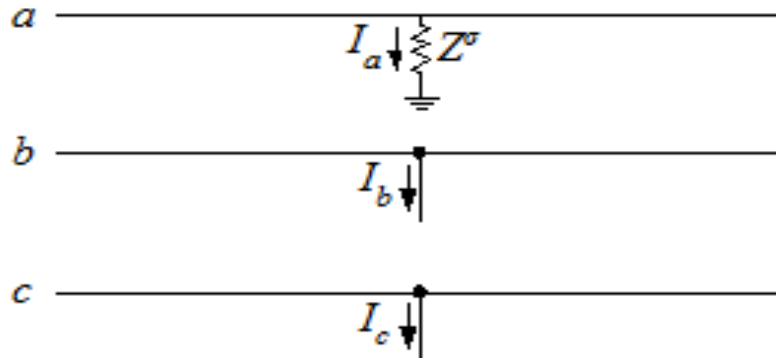


Βραχυκυκλώματα μέσω συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(1)

- Παρόλο που τα στερεά βραχυκυκλώματα μας δίνουν τα μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης (χειρότερη περίπτωση) και η αξιοποίησή τους εξασφαλίζει ασφάλεια, τα βραχυκυκλώματα συμβαίνουν συνήθως δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων.

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης, δια μέσου της Z^σ .

$$V_a = I_a Z^\sigma \quad I_b = I_c = 0$$



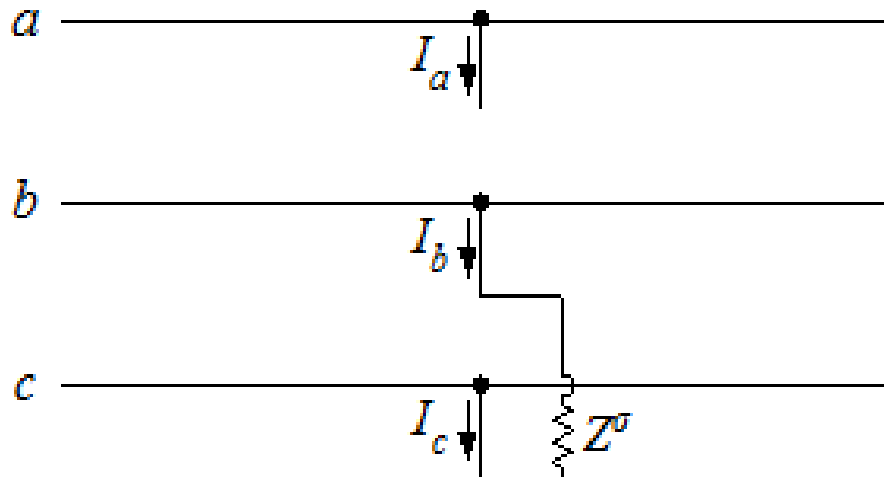
Μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Βραχυκυκλώματα μέσω συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c , δια μέσου της Z^{σ} .

$$V_c = V_b - I_b Z^{\sigma} \quad I_b = -I_c \quad I_a = 0$$



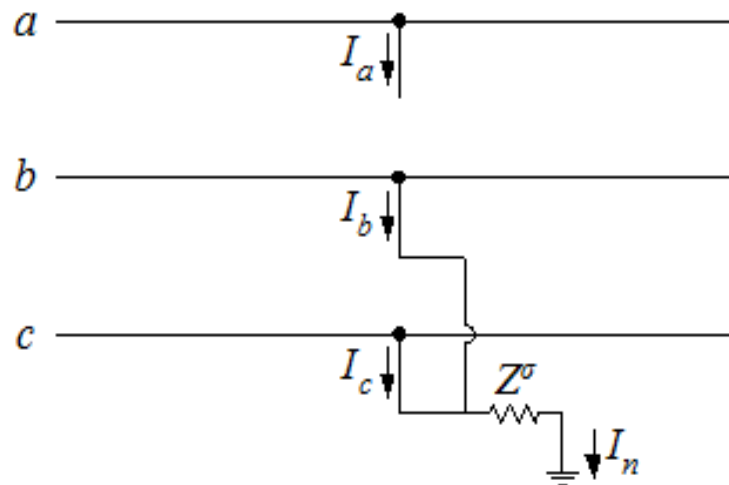
Διφασικό βραχυκύκλωμα.



Βραχυκυκλώματα μέσω συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b , c και γης, δια μέσου της Z^σ .

$$V_b = V_c = (I_b + I_c)Z^\sigma \quad I_a = 0$$



Διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.



Μετατροπή των φασικών συνθηκών βραχυκύκλωσης στις συμμετρικές τους συνιστώσες

- Για τη μετατροπή αυτή χρησιμοποιούμε τις εξισώσεις:

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

- Για τη μετατροπή αυτή μας χρειάζονται τρεις συνθήκες σφάλματος μεταξύ τάσεων ή ρευμάτων.



Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών(1)

α) Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών.

$$\text{Συνθήκες: } V_a = 0 \quad I_b = I_c = 0$$

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\alpha \\ I_\alpha \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \alpha V_b + \alpha^2 V_c \\ \alpha^2 V_b + \alpha V_c \\ V_b + V_c \end{bmatrix}$$

Από αυτές τις εξισώσεις παίρνουμε τις συνθήκες ΣΣ που είναι:

$$\text{Συνθήκες: } I_+ = I_- = I_0 = \frac{I_\alpha}{3}$$





Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c .

Συνθήκες: $V_b = V_c$, $I_b = -I_c$, $I_a = 0$

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \alpha I_b - \alpha^2 I_b \\ \alpha^2 I_b - \alpha I_b \\ 0 \end{bmatrix}$$

Άρα: $I_+ = -I_-$ και $I_0 = 0$

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_a + \alpha V_b + \alpha^2 V_c \\ V_a + \alpha^2 V_b + \alpha V_c \\ V_a + V_b + V_c \end{bmatrix}$$

Άρα: $V_+ = V_-$

Επιπλέον, επειδή το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας $I_0 = 0$, θα πρέπει και η τάση μηδενικής ακολουθίας $V_0 = 0$. Αν συνοψίσουμε τα προηγούμενα συμπεράσματα παίρνουμε τις συνθήκες ΣΣ που είναι:

$$I_+ = -I_-, \quad I_0 = 0, \quad V_+ = V_-, \quad V_0 = 0$$

Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b , c και γης.

Συνθήκες: $V_b = V_c = 0$, $I_a = 0$

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \alpha I_b + \alpha^2 I_c \\ \alpha^2 I_b + \alpha I_c \\ I_b + I_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\alpha \\ V_\alpha \end{bmatrix}$$

Από αυτές τις εξισώσεις παίρνουμε τις συνθήκες ΣΣ που είναι:

$$\text{Συνθήκες: } V_+ = V_- = V_0 = \frac{V_\alpha}{3}$$



Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς

- Επειδή οι συνθήκες είναι όμοιες με αυτές που ισχύουν για βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών, οι συνθήκες ΣΣ δίδονται από τις ίδιες εξισώσεις.



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(1)

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης, δια μέσου της Z^{σ} .

Συνθήκες: $V_a = I_a Z^{\sigma}$, $I_b = I_c = 0$

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\alpha} \\ I_{\alpha} \end{bmatrix}$$

Άρα: $I_+ = I_- = I_0 = \frac{I_{\alpha}}{3}$



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(2)

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a Z^\sigma \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_a Z^\sigma + \alpha V_b + \alpha^2 V_c \\ I_a Z^\sigma + \alpha^2 V_b + \alpha V_c \\ I_a Z^\sigma + V_b + V_c \end{bmatrix}$$

Με πρόσθεση κατά μέλη αυτών των εξισώσεων, παίρνουμε τη γνωστή σχέση $V_a = I_a Z^\sigma$, δηλαδή:

$$V_+ + V_- + V_0 = \frac{1}{3} [3I_a Z^\sigma + (\alpha + \alpha^2 + 1)V_b + (\alpha + \alpha^2 + 1)V_c]$$

Αλλά: $\alpha + \alpha^2 + 1 = 0$, οπότε:

$$V_+ + V_- + V_0 = \frac{1}{3} (3I_a Z^\sigma) = 3 \left(\frac{I_a}{3} Z^\sigma \right) = (I_+ + I_- + I_0) Z^\sigma$$

Με μεταφορά του δεύτερου μέλους στο πρώτο, παίρνουμε τελικά:

$$(V_+ - I_+ Z^\sigma) + (V_- - I_- Z^\sigma) + (V_0 - I_0 Z^\sigma) = 0$$

Αυτές οι εξισώσεις μας δίνουν τις συνθήκες ΣΣ, που είναι:

$$\text{Συνθήκες: } I_+ = I_- = I_0 = \frac{I_a}{3}, (V_+ - I_+ Z^\sigma) + (V_- - I_- Z^\sigma) + (V_0 - I_0 Z^\sigma) = 0$$



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(3)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c , δια μέσου της Z^σ .

Συνθήκες: $V_c = V_b - I_b Z^\sigma$, $I_b = -I_c$, $I_a = 0$

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \alpha I_b - \alpha^2 I_b \\ \alpha^2 I_b - \alpha I_b \\ 0 \end{bmatrix}$$

Άρα: $I_+ = -I_-$, $I_0 = 0$

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_b - I_b Z^\sigma \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_a + \alpha V_b + \alpha^2 (V_b - I_b Z^\sigma) \\ V_a + \alpha^2 V_b + \alpha (V_b - I_b Z^\sigma) \\ V_a + V_b + V_b - I_b Z^\sigma \end{bmatrix}$$

Με αφαίρεση των δύο πρώτων εξισώσεων παίρνουμε:

$$3(V_+ - V_-) = (a - \alpha^2) I_b Z^\sigma = j\sqrt{3} I_b Z^\sigma$$



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(4)

Αλλά από την πρώτη εξίσωση που χρησιμοποιήσαμε παίρνουμε:

$$3I_+ = (a - a^2) I_b = j\sqrt{3}I_b$$

Αντικαθιστούμε αυτήν την εξίσωση στην προηγούμενη και παίρνουμε:

$$3(V_+ - V_-) = 3I_+ Z^\sigma \quad \text{ή} \quad V_+ - V_- = I_+ Z^\sigma$$

Άρα οι συνθήκες ΣΣ είναι:

$$\text{Συνθήκες: } I_+ = -I_-, \quad I_0 = 0, \quad V_+ - V_- = I_+ Z^\sigma$$



$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} aI_b - a^2I_b \\ a^2I_b - aI_b \\ 0 \end{bmatrix}$$



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(5)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b , c και γης, δια μέσου της Z^σ .

Συνθήκες: $V_b = V_c = (I_b + I_c)Z^\sigma$, $I_a = 0$

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \alpha I_b + \alpha^2 I_c \\ \alpha^2 I_b + \alpha I_c \\ I_b + I_c \end{bmatrix}$$

Με αντικατάσταση της τρίτης από αυτές τις εξισώσεις, δηλαδή ,

$I_0 = \frac{(I_b + I_c)}{3}$, στις συνθήκες των φασικών τάσεων, παίρνουμε:

$$V_b = V_c = 3 Z^\sigma I_0$$





Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές μεταφοράς(6)

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_b \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_a + (\alpha + \alpha^2)V_b \\ V_a + (\alpha^2 + \alpha)V_b \\ V_a + 2V_b \end{bmatrix}$$

Με αφαίρεση των δύο πρώτων από αυτές τις εξισώσεις παίρνουμε:

$$3(V_+ - V_-) = V_a + (\alpha + \alpha^2)V_b - V_a - (\alpha^2 + \alpha)V_b = 0, \text{ δηλ. } V_+ = V_-$$

Επίσης αφαιρούμε την τελευταία από την πρώτη και παίρνουμε:

$$3(V_+ - V_0) = V_a + (\alpha + \alpha^2)V_b - V_a - 2V_b = (\alpha + \alpha^2 + 1)V_b - 3V_b = -3V_b$$

$$\text{Άρα: } V_+ - V_0 = -V_b$$

Σε αυτήν την εξίσωση αντικαθιστούμε την εξίσωση $V_b = V_c = 3 I_0 Z^\sigma$ και παίρνουμε:

$$V_+ - V_0 = -3Z^\sigma I_0, \text{ δηλ. } V_+ = V_0 - 3Z^\sigma I_0$$

Αν συνοψίσουμε τις εξισώσεις ΣΣ έχουμε:

$$V_+ = V_+ = V_0 - 3Z^\sigma I_0$$

Σύνδεση ακολουθιακών δικτύων(1)

- Οι συνθήκες συμμετρικών συνιστωσών της προηγούμενης παραγράφου μας καθορίζουν τον τρόπο σύνδεσης των ακολουθιακών δικτύων, ώστε να κατασκευάσουμε το τελικό δίκτυο, από το οποίο υπολογίζουμε τις ΣΣ του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Οι βασικοί κανόνες που ακολουθούμε για τη σύνδεση των ακολουθιακών δικτύων είναι:
- **α)** Δύο ακολουθιακά δίκτυα συνδέονται παράλληλα, όταν οι τάσεις τους είναι ίσες ή τα ρεύματά τους αντίθετα.
- **β)** Δύο ακολουθιακά δίκτυα συνδέονται σε σειρά, όταν τα ρεύματά τους είναι ίσα.
- Η γνώση του τελικού δικτύου ανάλογα με τον τύπο του βραχυκυκλώματος, είναι ένας εύκολος τρόπος για να θυμόμαστε τις εξισώσεις, που χρησιμοποιούνται στην επίλυση του συγκεκριμένου βραχυκυκλώματος.



Σύνδεση ακολουθιακών δικτύων(2)

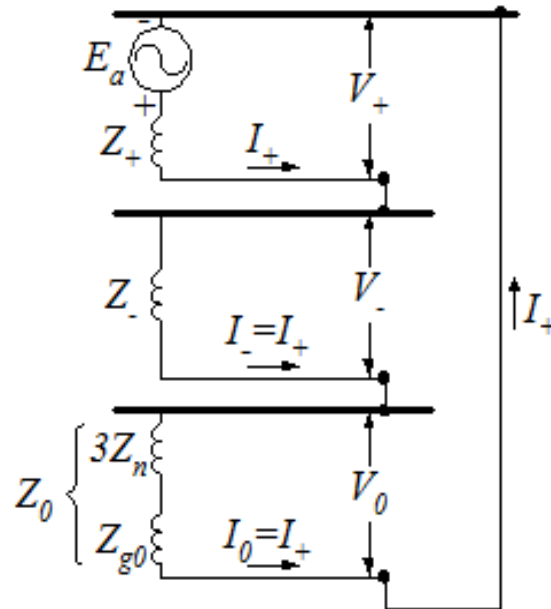
- Αν για την παράσταση του δικτύου θετικής ακολουθίας χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα Thevenin, χρειαζόμαστε και την προσφαλματική τάση στο σημείο του βραχυκυκλώματος.
- Σε αυτή την περίπτωση, το προσφαλματικό ρεύμα φορτίου στις γραμμές μεταφοράς λαμβάνεται υπόψη με κατάλληλη πρόσθεσή του στο ρεύμα θετικής ακολουθίας.
- Αν στην παράσταση του δικτύου θετικής ακολουθίας χρησιμοποιήσουμε τις εσωτερικές τάσεις των μηχανών, το προσφαλματικό ρεύμα φορτίου λαμβάνετε αυτομάτως υπόψη κατά την επίλυση του τελικού δικτύου ΣΣ.



Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών(1)

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης.

Συνθήκες: $I_+ = I_- = I_0 = \frac{I_\alpha}{3}$



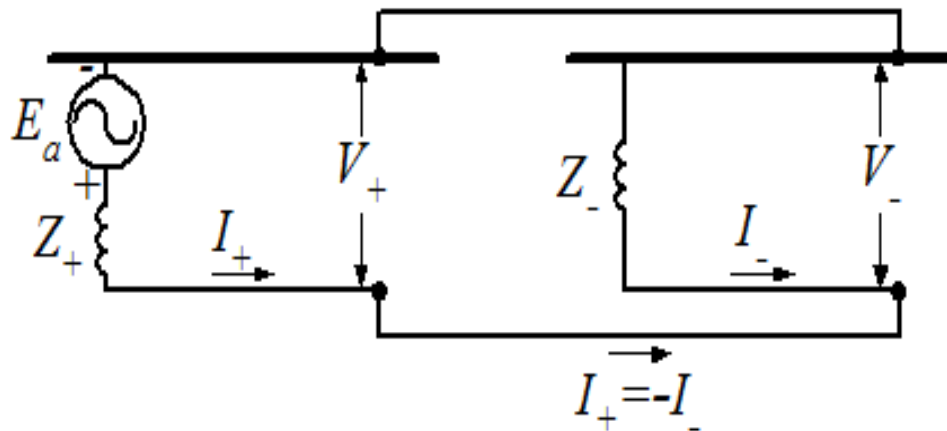
Σύνδεση δικτύων ΣΣ για μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c .

Συνθήκες: $I_+ = -I_-$, $I_0 = 0$, $V_+ = V_-$, $V_0 = 0$



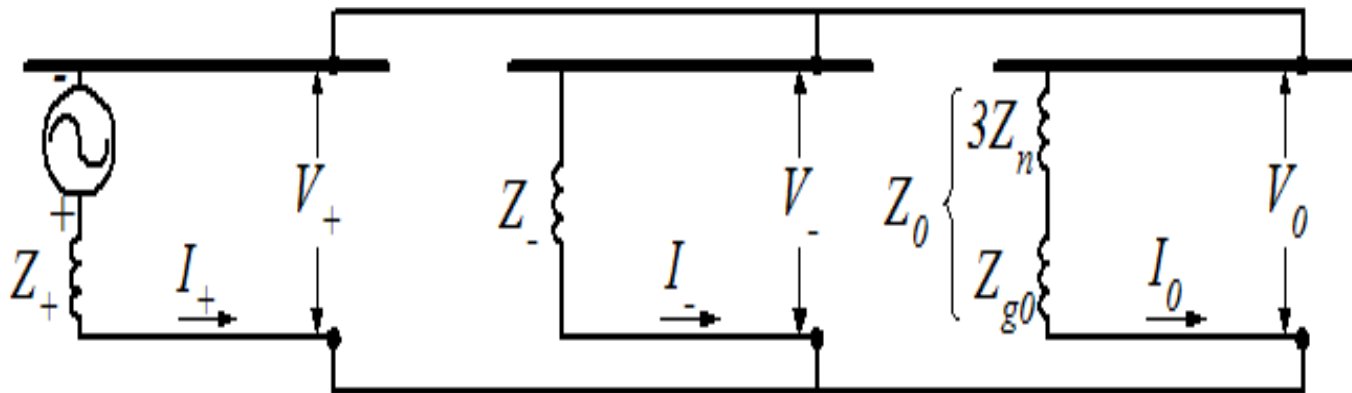
Σύνδεση δικτύων ΣΣ για διφασικό βραχυκύκλωμα.



Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b, c και γης

Συνθήκες: $V_+ = V_- = V_0 = \frac{V_\alpha}{3}$

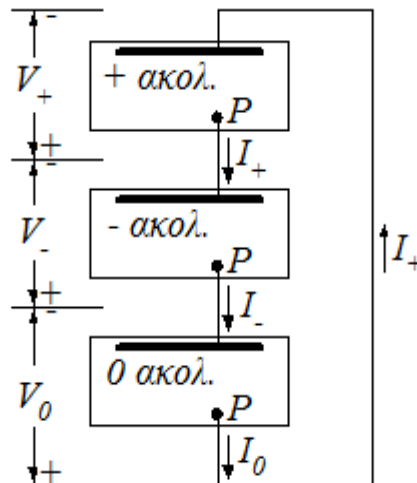


Σύνδεση δικτύων ΣΣ για διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.



Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς(1)

- Επειδή ισχύουν οι ίδιες συνθήκες ΣΣ με την προηγούμενη περίπτωση, έχουμε τον ίδιο τρόπο σύνδεσης των ακολουθιακών δικτύων, που φαίνεται στα επόμενα σχήματα.
- α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης *a* και της γης.**

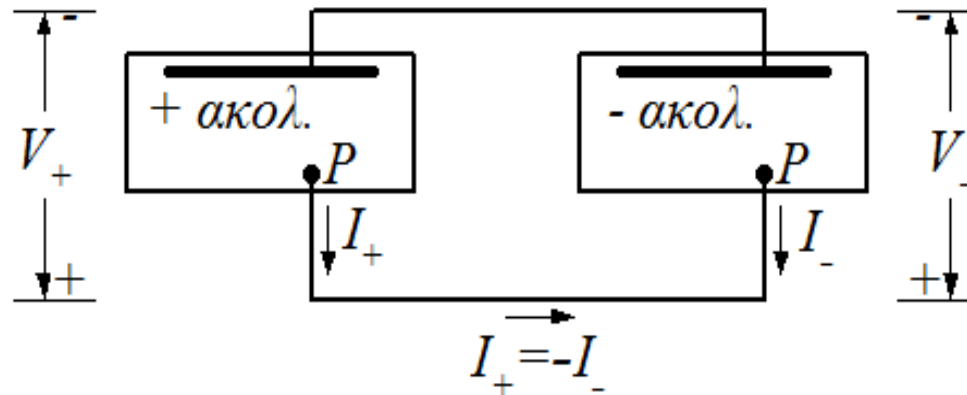


Σύνδεση δικτύων ΣΣ για μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων *b* και *c*.

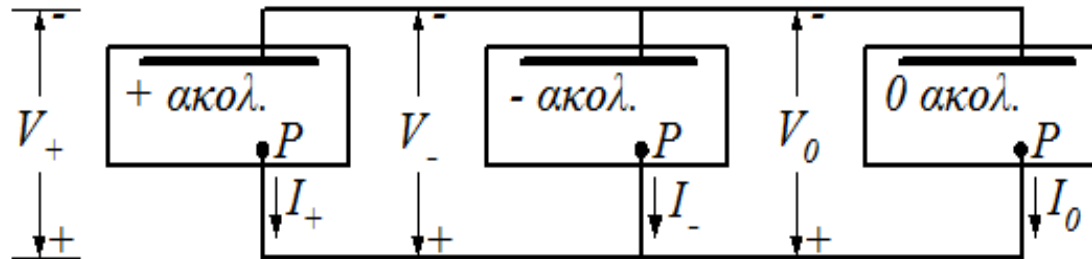


Σύνδεση δικτύων ΣΣ για διφασικό βραχυκύκλωμα.



Στερεά βραχυκυκλώματα σε γραμμές μεταφοράς(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b , c και γης.



Σύνδεση δικτύων ΣΣ για διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.

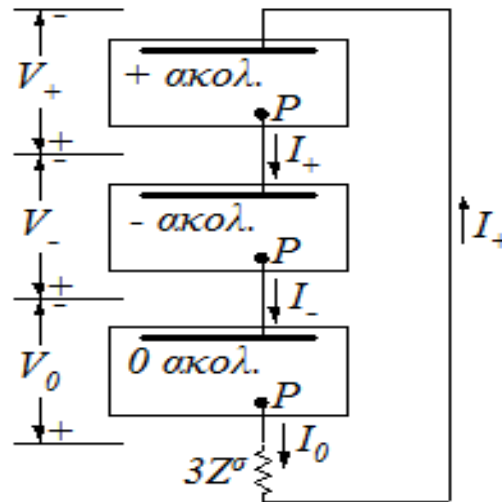


Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές(1)

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης, δια μέσου της Z^σ .

Συνθήκες:

$$I_+ = I_- = I_0 = \frac{I_a}{3}, (V_+ - I_+ Z^\sigma) + (V_- - I_- Z^\sigma) + (V_0 - I_0 Z^\sigma) = 0$$



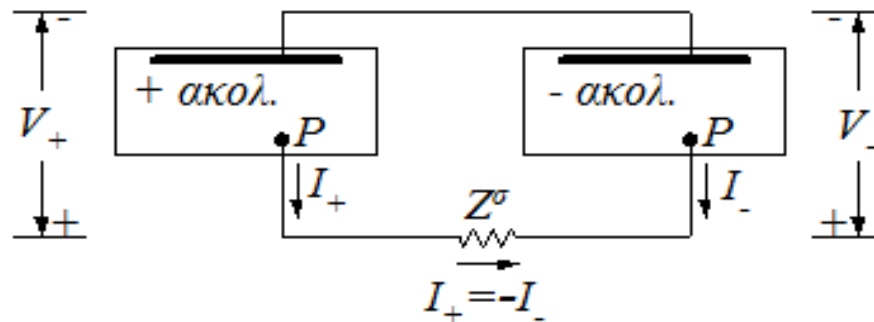
Σύνδεση δικτύων ΣΣ για μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές(2)

β) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b και c , δια μέσου της Z^σ .

Συνθήκες: $I_+ = -I_-$, $I_0 = 0$, $V_+ - V_- = I_+ Z^\sigma$



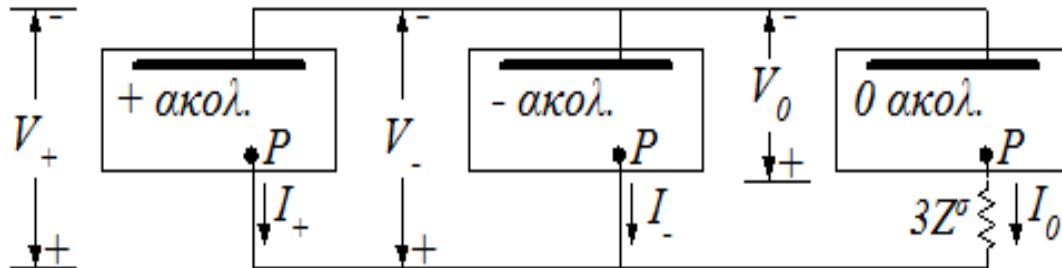
Σύνδεση δικτύων ΣΣ για διφασικό βραχυκύκλωμα.



Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές(3)

γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων b , c και γης, δια μέσου της Z^σ .

Συνθήκες: $V_+ = V_- = V_0 - 3 I_0 Z^\sigma$



Σύνδεση δικτύων ΣΣ για διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.



Υπολογισμός ρευμάτων και τάσεων στη θέση του βραχυκυκλώματος

- Μετά τη σύνδεση των ακολουθιακών δικτύων και τη κατασκευή του τελικού κυκλώματος, υπολογίζουμε απ' αυτό τις συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος στη θέση του βραχυκυκλώματος.
- Οι συμμετρικές συνιστώσες των τάσεων στο βραχυκύκλωμα υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

$$\begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V^\sigma \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_+ & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Z}_- & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{Z}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_+ \\ I_- \\ I_0 \end{bmatrix}$$

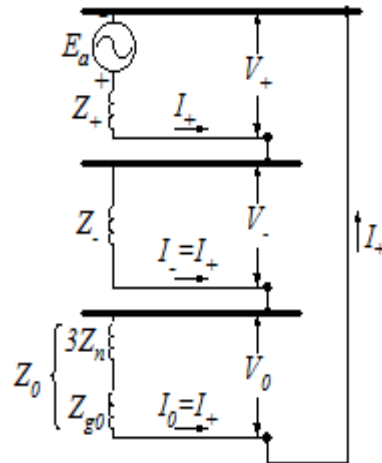
όπου \mathbf{Z}_+ , \mathbf{Z}_- και \mathbf{Z}_0 είναι οι ισοδύναμες σύνθετες αντιστάσεις, μεταξύ του σημείου βραχυκυκλώματος και του ζυγού αναφοράς, των δικτύων θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας, αντίστοιχα.





Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης.



$$I_+ = I_- = I_0 = \frac{E_+}{Z_+ + Z_- + Z_0} \text{ και}$$

$$V_+ = E_+ - I_+ Z_+ = E_+ - \frac{E_+ Z_+}{Z_+ + Z_- + Z_0} = \frac{Z_- + Z_0}{Z_+ + Z_- + Z_0} E_+$$

$$V_- = -I_- Z_- = -\frac{Z_-}{Z_+ + Z_- + Z_0} E_+$$

$$V_0 = -I_0 Z_0 = -\frac{Z_0}{Z_+ + Z_- + Z_0} E_+$$

Βραχυκυκλώματα δια μέσου συνθέτων αντιστάσεων σε γραμμές

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης, δια μέσου της Z^{σ} .

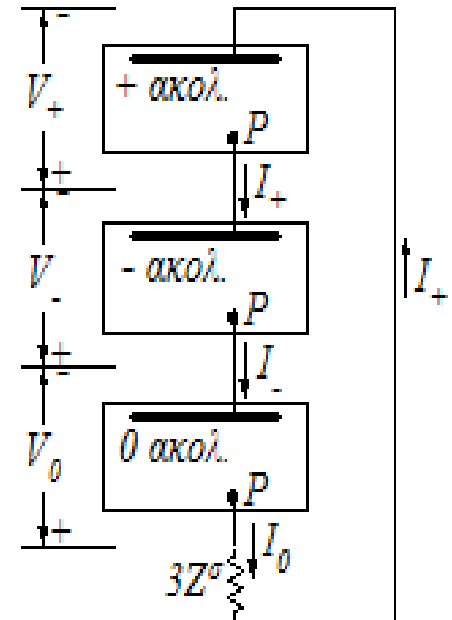
$$I_+ = I_- = I_0 = \frac{V^{\sigma}}{Z_+ + Z_- + Z_0 + 3Z^{\sigma}}$$

Οι ΣΣ της τάσης στη θέση του βραχυκυκλώματος είναι:

$$V_+ = V^{\sigma} - I_+ Z_+ = \frac{Z_- + Z_0 + 3Z^{\sigma}}{Z_+ + Z_- + Z_0 + 3Z^{\sigma}} V^{\sigma}$$

$$V_- = -I_- Z_- = -\frac{Z_-}{Z_+ + Z_- + Z_0 + 3Z^{\sigma}} V^{\sigma}$$

$$V_0 = -I_0 Z_0 = -\frac{Z_0}{Z_+ + Z_- + Z_0 + 3Z^{\sigma}} V^{\sigma}$$



Υπολογισμός των φασικών τιμών ρευμάτων και τάσεων βραχυκυκλώματος

- Μετά τον υπολογισμό των ΣΣ ρευμάτων και τάσεων στη θέση του βραχυκυκλώματος, ο υπολογισμός των φασικών τους τιμών είναι πολύ εύκολος με τις γνωστές εξισώσεις μετασχηματισμού.



Στερεά βραχυκυκλώματα στους ακροδέκτες σύγχρονων γεννητριών

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης a και της γης.

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_+ \\ I_+ \\ I_+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3I_+ \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_+ \\ V_- \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha^2 V_+ + \alpha V_- + V_0 \\ \alpha V_+ + \alpha^2 V_- + V_0 \end{bmatrix}$$

και τελικά:

$$\text{Ρεύματα: } I_a = \frac{3E_+}{Z_+ + Z_- + Z_0}, I_b = 0, I_c = 0$$

$$\text{Τάσεις: } V_a = 0$$

$$V_b = \frac{(\alpha^2 - a)Z_- + (\alpha^2 + 1)Z_0}{Z_+ + Z_- + Z_0} E_+$$

$$V_c = \frac{(a - \alpha^2)Z_- + (a - 1)Z_0}{Z_+ + Z_- + Z_0} E_+$$



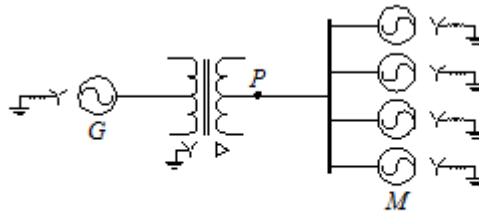


Παράδειγμα

Μια γεννήτρια **7.5 MVA**, **4.16 KV** τροφοδοτεί μια ομάδα τεσσάρων ίδιων σύγχρονων κινητήρων δια μέσου ενός τριφασικού μετασχηματιστή, που αποτελείται από τρεις μονοφασικούς, που ο καθένας είναι **2400/600 V**, **2.5 MVA** και έχει επαγωγική αντίσταση σκέδασης 10%. Το **600 V** τύλιγμα συνδέεται σε τρίγωνο στους κινητήρες και το **2.4 KV** τύλιγμα συνδέεται σε αστέρα στη γεννήτρια. Ο ουδέτερος του μετασχηματιστή είναι στερεά γειωμένος. Οι επαγωγικές αντιστάσεις της γεννήτριας είναι $X''_d = 10\%$, $X_- = 10\%$ και $X_0 = 5\%$. Οι κινητήρες είναι **600 V** και λειτουργούν με **89.5%** απόδοση, όταν φέρουν πλήρες φορτίο με συντελεστή ισχύος μονάδα και ονομαστική τάση. Το άθροισμα των ονομαστικών εξόδων τους είναι **6000 hp**. Η επαγωγική αντίσταση κάθε κινητήρα είναι $X''_d = 20\%$, $X_- = 20\%$ και $X_0 = 4\%$ και ο καθένας είναι γειωμένος με αντίσταση **2%**. Οι κινητήρες ισομοιράζονται ένα συνολικό φορτίο **5000 hp** και λειτουργούν με ονομαστική τάση, **85%** συντελεστή ισχύος επαγωγικό και απόδοση **88%**, όταν ένα στερεό μονοφασικό βραχυκύκλωμα συμβαίνει στη πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή. Να χειριστείτε την ομάδα των κινητήρων σαν ένα απλό ισοδύναμο κινητήρα. Να ορίσετε πλήρως τα ακολουθιακά δίκτυα και το τελικό δίκτυο, παριστάνοντας τη γεννήτρια και τους κινητήρες με τις εσωτερικές τους τάσεις υπό φορτίο. Με τη χρήση του ισοδύναμου Thevenin, να προσδιορίσετε τα υπομεταβατικά ρεύματα γραμμής σε όλα τα μέρη του συστήματος: **α)** με αμελητέα προσφαλματικά ρεύματα **β)** λαμβάνοντας υπόψη τα προσφαλματικά ρεύματα. Επιλέξτε τα ονομαστικά μεγέθη της γεννήτριας σαν βάση.



Λύση(1)



Μονογραμμικό διάγραμμα του συστήματος.

Οι βάσεις στα διάφορα σημεία του κυκλώματος είναι:

Στη γεννήτρια: **7.5 MVA, 4.16 KV**

Στους κινητήρες: **7.5 MVA, 600 V**, γιατί ο τριφασικός μετασχηματιστής έχει λόγο τάσεων: $\sqrt{3} * 24 = 4.16 KV/600V$

Τα δεδομένα της γεννήτριας είναι εκφρασμένα στο δικό μας σύστημα βάσεων. Το ίδιο ισχύει και για τον τριφασικό μετασχηματιστή, γιατί έχει ισχύ: $3 * 2.5 = 7.5 MVA$. Ο ισοδύναμος κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ:

$$\frac{6000 * 0.746}{0.895} = 5000 KVA = 5MVA$$

Οι επαγωγικές αντιστάσεις του ισοδύναμου κινητήρα είναι:

$$X''_d = \frac{0.2}{4} * \frac{7.5}{\frac{5}{4}} = 0.2 * \frac{7.5}{5} = 0.3 pu$$

$$X_- = 0.2 * \frac{7.5}{5} = 0.3 pu$$

$$X_0 = 0.04 * \frac{7.5}{5} = 0.06 pu$$

Λύση(2)

Στο δίκτυο μηδενικής ακολουθίας, η επαγωγική αντίσταση περιορισμού του ρεύματος στον ουδέτερο έχει τιμή:

$$3X_n = 3 * 0.02 * \frac{7.5}{5} = 0.09 \text{ pu}$$

Θα υπολογίσουμε τώρα τις εσωτερικές τάσεις της γεννήτριας και του ισοδύναμου κινητήρα υπό φορτίο. Επειδή ο κινητήρας προσφαλματικά εργάζεται με ονομαστική τάση, ίση με τη βάση τάσης μας, αν πάρουμε αυτή την τάση σαν αναφορά, έχουμε:

$$V^s = 1 \angle 0^\circ \text{ pu}$$

Το ρεύμα φορτίου των κινητήρων είναι:

$$\frac{746 * 5000}{\sqrt{3} * 600 * 0.88 * 0.85} = 4810 \text{ A}$$

Η βάση ρεύματος στους κινητήρες είναι:

$$\frac{7500000}{\sqrt{3} * 600} = 7220 \text{ A}$$

Οι κινητήρες εργάζονται με συντελεστή ισχύος 0.85 επαγωγικό, που αντιστοιχεί σε γωνία -31.8° και επομένως το ρεύμα φορτίου σε **pu** στους κινητήρες είναι:

$$\frac{4810}{7220} \angle -31.8^\circ = 0.667 \angle -31.8^\circ = 0.566 - j0.351 \text{ pu}$$



Λύση(3)

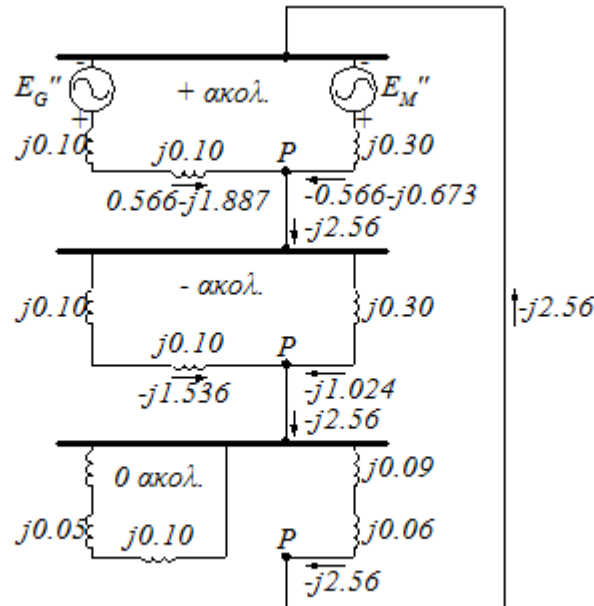
Επομένως, η υπομεταβατική εσωτερική τάση του ισοδύναμου κινητήρα είναι:

$$E''_M = 1 - j0.3(0.566 - j0.351) = 0.895 - j0.17 = 0.912 \angle -10.8^\circ \text{ pu}$$

και της γεννήτριας:

$$E''_G = 1 + (j0.1 + j0.1)(0.566 - j0.351) = 1.07 - j0.1132 = 1.075 \angle 6.03^\circ \text{ pu}$$

Μετά τους υπολογισμούς αυτούς, για μονοφασικό βραχυκύκλωμα που τα ακολουθιακά δίκτυα συνδέονται σε σειρά, το τελικό δίκτυο είναι:

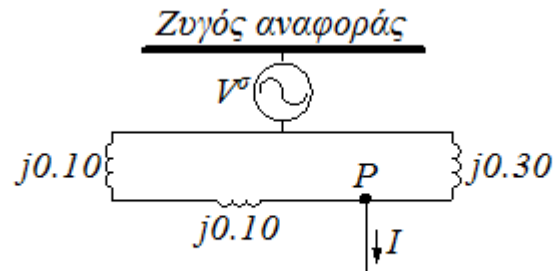


Τελικό δίκτυο με τη χρήση των εσωτερικών τάσεων των μηχανών.





Λύση(4)



Ισοδύναμο κατά Thevenin του δικτύου θετικής ακολουθίας.

Με το θεώρημα Thevenin, θα υπολογίσουμε τώρα όλα τα ρεύματα, χωρίς να λάβουμε υπόψη το ρεύμα φορτίου.

Το δίκτυο θετικής ακολουθίας παίρνει τη μορφή:

$$Z_+ = \frac{(j0.1+j0.1)(j0.3)}{j(0.1+0.1+0.3)} = j0.12 pu$$

$$Z_- = \frac{(j0.1+j0.1)(j0.3)}{j(0.1+0.1+0.3)} = j0.12 pu$$

$$Z_0 = j0.09 + j0.06 = j0.15 pu$$

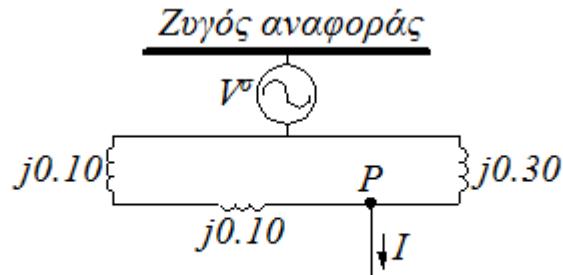
Άρα:

$$I_a = I^\sigma = \frac{3V^\sigma}{Z_+ + Z_- + Z_0} = \frac{3 \cdot 1}{j(0.12+0.12+0.15)} = -j7.68 pu$$

$$I_b = I_c = 0$$



Λύση(5)



Ισοδύναμο κατά Thevenin του δικτύου θετικής ακολουθίας.

Οι συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι:

$$I_+ = I_- = I_0 = \frac{I_\alpha}{3} = \frac{-j7.68}{3} = -j2.56 \text{ pu}$$

Η συνιστώσα του ρεύματος I_+ από το μετασχηματιστή προς το P είναι:

$$-j2.56 * \frac{j0.3}{j0.2+j0.3} = -j1.536 \text{ pu}$$

και η συνιστώσα του ρεύματος από τον κινητήρα προς το P είναι:

$$-j2.56 * \frac{j0.2}{j0.2+j0.3} = -j1.024 \text{ pu}$$

Όμοια, η συνιστώσα του I_- από το μετασχηματιστή είναι $-j1.536 \text{ pu}$ και από τον κινητήρα $-j1.024 \text{ pu}$. Όλο το I_0 ρέει από το P προς τον κινητήρα.



Λύση(6)

Τα ρεύματα γραμμής στο βραχυκύκλωμα είναι:

Από το μετασχηματιστή προς το P σε pu:

$$I_A = I_+ + I_- + I_0 = -j1.536 - j1.536 + 0 = -j3.072$$

$$I_B = a^2 I_+ + a I_- + I_0 =$$
$$(-0.5 - j0.866)(-j1.536) + ((-0.5 + j0.866)(-j1.536)) = j1.536$$

$$I_C = a I_+ + a^2 I_- + I_0 =$$
$$(-0.5 + j0.866)(-j1.536) + ((-0.5 - j0.866)(-j1.536)) = j1.536$$

Από τον κινητήρα προς το P σε pu:

$$I_a = I_+ + I_- + I_0 = -j1.024 - j1.024 - j2.56 = -j4.608$$

$$I_b = a^2 I_+ + a I_- + I_0 =$$
$$(-0.5 - j0.866)(-j1.024) + ((-0.5 + j0.866)(-j1.024)) - j2.56 =$$
$$-j1.536$$

$$I_c = a I_+ + a^2 I_- + I_0 =$$
$$(-0.5 + j0.866)(-j1.024) + ((-0.5 - j0.866)(-j1.024)) - j2.56 =$$
$$-j1.536$$



Λύση(7)

Οι συνιστώσες θετικής και αρνητικής ακολουθίας των ρευμάτων γεννήτριας έχουν φασική μετατόπιση $+90^\circ$ και -90° αντίστοιχα, από τις αντίστοιχες συνιστώσες μετά το μετασχηματιστή, αν δεχθούμε ότι ισχύουν οι εξισώσεις 6.47. Έτσι :

$$I_{a+} = j(-j1.536) = 1.536$$

$$I_{a-} = -j(-j1.536) = -1.536$$

$I_{a0} = 0$ επειδή δεν υπάρχει ρεύμα μηδενικής ακολουθίας στη πλευρά της γεννήτριας.

$$I_a = I_{a+} + I_{a-} = 0$$

$$I_b = a^2 I_+ + a I_- =$$
$$(-0.5 - j0.866)(1.536) + ((-0.5 + j0.866)(-1.536)) = -j2.66 \text{ pu}$$

$$I_c = a^2 I_+ + a I_-$$
$$= (-0.5 + j0.866)(1.536) + ((-0.5 - j0.866)(-1.536))$$
$$= j2.66 \text{ pu}$$

Αν ζητούσαμε τις τάσεις στα διάφορα σημεία του συστήματος, θα τις υπολογίζαμε από τα ρεύματα και τις επαγωγικές αντιστάσεις των ακολουθιακών δικτύων.

Λύση(8)

Η βάση ρεύματος στον κινητήρα βρήκαμε ότι είναι 7220 A, ενώ η βάση ρεύματος στη γεννήτρια είναι:

$$\frac{7500000}{\sqrt{3} \cdot 4160} = 1040 \text{ A}$$

Έτσι οι απόλυτες τιμές των ρευμάτων είναι:

$$\text{Ρεύμα στο βραχυκύκλωμα: } 7.68 * 7220 = 55500 \text{ A}$$

Ρεύματα στις γραμμές μεταξύ του κινητήρα και του βραχυκυκλώματος:

$$\text{Στη γραμμή } a: 4.608 * 7220 = 33300 \text{ A}$$

$$\text{Στη γραμμή } b: 1.536 * 7220 = 11100 \text{ A}$$

$$\text{Στη γραμμή } c: 1.536 * 7220 = 11100 \text{ A}$$

Ρεύματα στις γραμμές μεταξύ του μετασχηματιστή και του βραχυκυκλώματος:

$$\text{Στη γραμμή } a: 3.072 * 7220 = 22200 \text{ A}$$

$$\text{Στη γραμμή } b: 1.536 * 7220 = 11100 \text{ A}$$

$$\text{Στη γραμμή } c: 1.536 * 7220 = 11100 \text{ A}$$

Ρεύματα στις γραμμές στην πλευρά της γεννήτριας:

$$\text{Στη γραμμή } a: 0$$

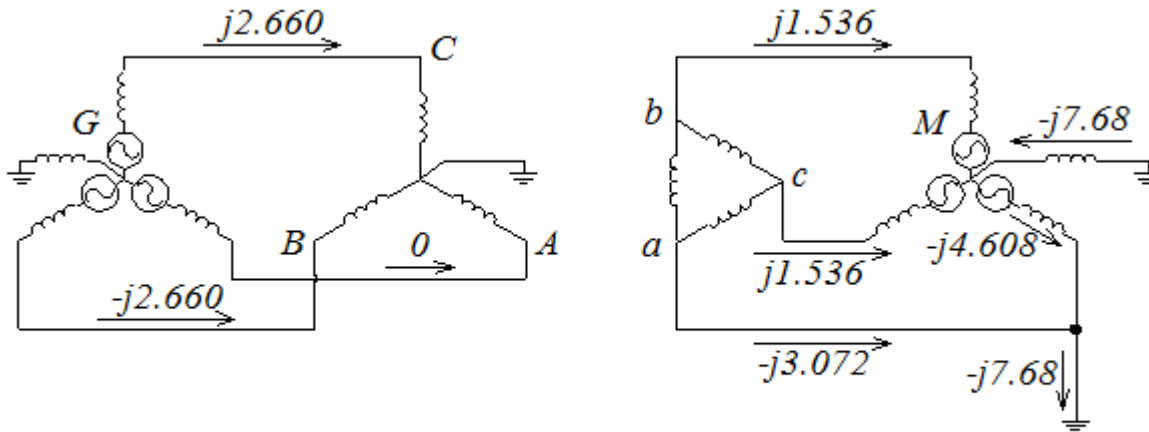
$$\text{Στη γραμμή } b: 2.66 * 1040 = 2765 \text{ A}$$

$$\text{Στη γραμμή } c: 2.66 * 1040 = 2765 \text{ A}$$





Λύση(9)



Τα ρυ ρεύματα σε όλα τα μέρη του συστήματος.

Όλα τα προηγούμενα ρεύματα που υπολογίσαμε δεν περιλαμβάνουν το προσφαλματικό ρεύμα φορτίου και φαίνονται στο Σχήμα.

Για να λάβουμε υπόψη το ρεύμα φορτίου, προσθέτουμε αυτό το ρεύμα στη συνιστώσα I_+ , που ρέει προς το P από το μετασχηματιστή (είναι της ίδιας φοράς) και το αφαιρούμε από το I_+ , που ρέει από τον κινητήρα στο P (έχουν αντίθετη φορά). Έτσι, οι νέες τιμές θετικής ακολουθίας του ρεύματος είναι:

Από το μετασχηματιστή στο P:

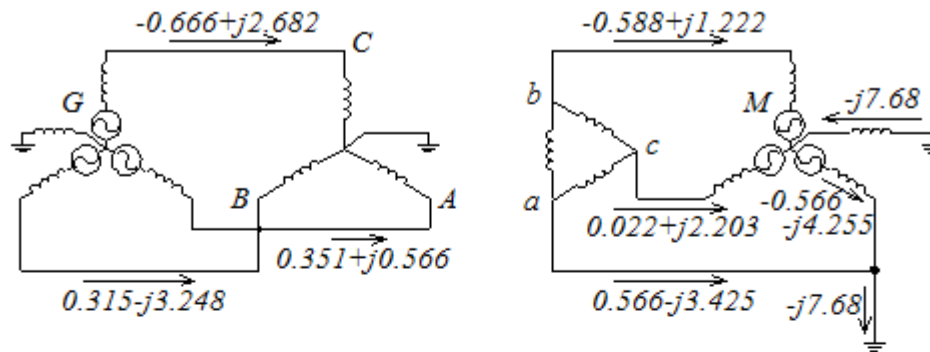
$$0.566 - j0.351 - j1.536 = 0.566 - j1.887$$

Από τον κινητήρα στο P:

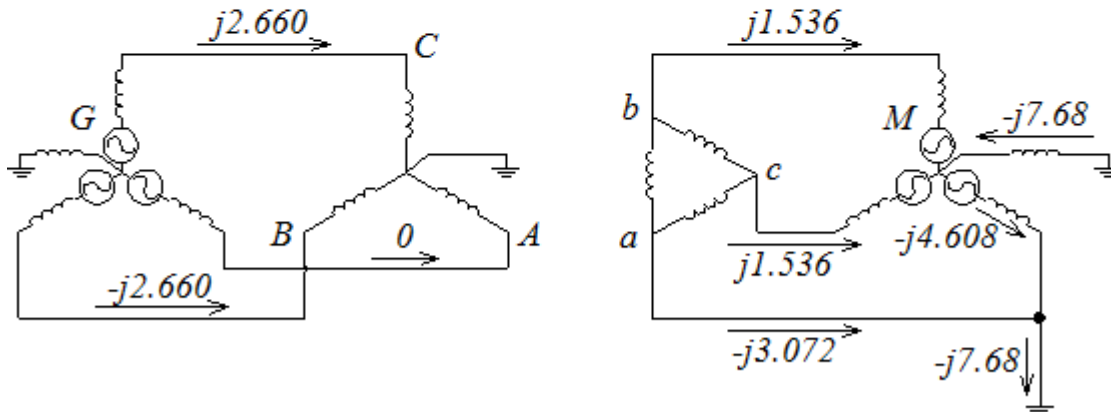
$$-0.566 + j0.351 - j1.024 = -0.566 - j0.673$$

Λύση(10)

Τα υπόλοιπα βήματα υπολογισμών είναι παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση. Στο Σχήμα φαίνονται τ' αποτελέσματα όλων αυτών των υπολογισμών.



Τα ρι ρεύματα στο δίκτυο με το προσφαλματικό ρεύμα συνυπολογισμένο.



Τα ρι ρεύματα στο δίκτυο χωρίς το προσφαλματικό ρεύμα συνυπολογισμένο.





Ψηφιακός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων με χρήση της Z_{bus}

- Με μικρές μόνο τροποποιήσεις, θα ακολουθήσουμε την πορεία ανάλυσης συμμετρικών βραχυκυκλωμάτων με τη χρήση υπολογιστή.
- Επειδή είμαστε υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουμε μεγάλο πλήθος συμβόλων για τις μεταβλητές και υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας σύγχυσης θα ακολουθήσουμε ορισμένους κανόνες συμβολισμού:
 1. Τιμές μεταβλητών πριν το βραχυκύκλωμα θα συμβολίζονται με τον πάνω δείκτη 0 .
 2. Τιμές μεταβλητών μετά την εισαγωγή του βραχυκυκλώματος θα συμβολίζονται με τον πάνω δείκτη σ .
 3. Φασικές τιμές των ρευμάτων και τάσεων θα συμβολίζονται διανυσματικά με τον κάτω δείκτη p και διακεκριμένα με τους κάτω δείκτες a, b ή c .
 4. Οι συμμετρικές συνιστώσες θα συμβολίζονται διανυσματικά με τον κάτω δείκτη s και διακεκριμένα με τους κάτω δείκτες $+, -$ ή 0 .
 5. Οι αριθμητικοί δείκτες θα παριστούν τους αριθμούς των ζυγών.

Επιλογή μοντέλου δικτύου

- Για τη μελέτη ενός συμμετρικού δικτύου n ζυγών, το τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής του μοντέλου του είναι η $n * n$ μήτρα συνθέτων αγωγιμοτήτων ζυγών Y_{bus} ή η αντίστροφή της $n * n$ μήτρα συνθέτων αντιστάσεων ζυγών Z_{bus} .
- Για μια μελέτη ασύμμετρου δικτύου το μοντέλο γίνεται πιο πολύπλοκο, γιατί πρέπει να κατασκευάσουμε χωριστά μοντέλα δικτύων για τα τρία ακολουθιακά δίκτυα, που είναι γενικά όλα διαφορετικά.



Ακολουθιακά δίκτυα(1)

Όταν ξέρουμε τις σύνθετες αντιστάσεις θετικής ακολουθίας των γεννητριών, μετασχηματιστών και γραμμών μπορούμε να κατασκευάσουμε το δίκτυο θετικής ακολουθίας για το σύστημα n ζυγών και από αυτό να υπολογίσουμε τη μήτρα Y_{+bus} ή την αντίστροφή της Z_{+bus} .

Αυτές οι μήτρες συσχετίζουν τις συνιστώσες θετικής ακολουθίας των τάσεων ζυγών με τις συνιστώσες θετικής ακολουθίας των ρευμάτων ζυγών με την παρακάτω σχέση:

$$J_{+bus} = Y_{+bus} V_{+bus} \quad \text{ή}$$

$$V_{+bus} = Z_{+bus} J_{+bus}$$

όπου τα διανύσματα J_{+bus} και V_{+bus} ορίζονται από τις σχέσεις:

$$V_{+bus} = \begin{bmatrix} V_{+1} \\ V_{+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{+n} \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad J_{+bus} = \begin{bmatrix} J_{+1} \\ J_{+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ J_{+n} \end{bmatrix}$$



Ακολουθιακά δίκτυα(2)

Με την ίδια διαδικασία παίρνουμε τις μήτρες αγωγιμοτήτων ζυγών αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας Y_{-bus} και Y_{0bus} και τις αντίστοιχες αντίστροφές τους Z_{-bus} και Z_{0bus} . Αυτές οι μήτρες συσχετίζουν τις συνιστώσες αρνητικής ακολουθίας των τάσεων ζυγών με τις συνιστώσες αρνητικής ακολουθίας ρευμάτων ζυγών με τις σχέσεις:

$$J_{-bus} = Y_{-bus} V_{-bus} \quad \text{ή}$$

$$V_{-bus} = Z_{-bus} J_{-bus}$$

Το ίδιο ισχύει και για τις συνιστώσες μηδενικής ακολουθίας:

$$J_{0bus} = Y_{0bus} V_{0bus} \quad \text{ή}$$

$$V_{0bus} = Z_{0bus} J_{0bus}$$

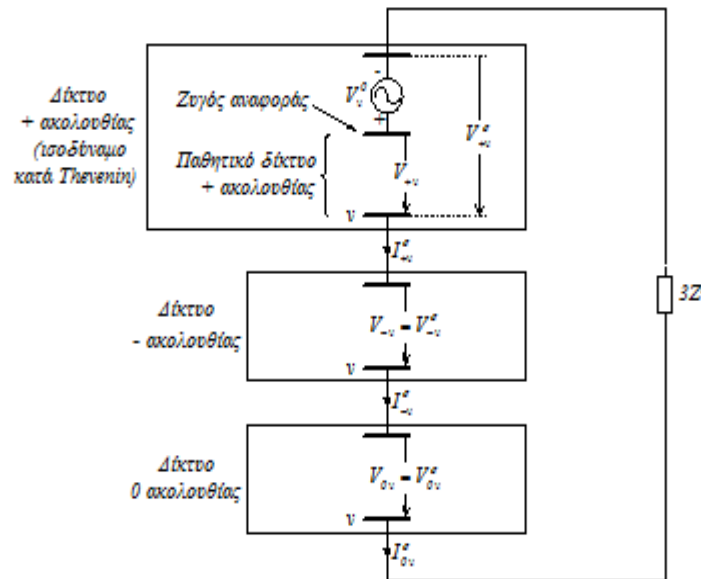
όπου:

$$V_{-bus} = \begin{bmatrix} V_{-1} \\ V_{-2} \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{-n} \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad J_{+bus} = \begin{bmatrix} J_{-1} \\ J_{-2} \\ \cdot \\ \cdot \\ J_{-n} \end{bmatrix}, \quad V_{0bus} = \begin{bmatrix} V_{01} \\ V_{02} \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{0n} \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad J_{0bus} = \begin{bmatrix} J_{01} \\ J_{02} \\ \cdot \\ \cdot \\ J_{0n} \end{bmatrix}$$



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(1)

Υποθέτουμε, για παράδειγμα, ότι ένα μονοφασικό βραχυκύκλωμα εισάγεται στο ζυγό v ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, για την εξομοίωση του βραχυκυκλώματος τα ακολουθιακά δίκτυα του συστήματος πρέπει να συνδεθούν σε σειρά, όπως φαίνεται στο Σχήμα.



Σύνδεση ακολουθιακών δικτύων για μονοφασικό βραχυκύκλωμα στο ζυγό.



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(2)

Παρατηρούμε ότι στο παθητικό δίκτυο θετικής ακολουθίας το μόνο ρεύμα που εισάγεται είναι το $-I^{\sigma}_{+n}$ στο ζυγό n και επομένως για το δίκτυο αυτό έχουμε:

$$J^{\sigma}_{+bus} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ -I^{\sigma}_{+n} \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

Με αντικατάσταση αυτής της εξίσωσης στην εξίσωση τάσεων ζυγών θετικής ακολουθίας, βρίσκουμε ότι η τάση θετικής ακολουθίας του ζυγού n στο παθητικό δίκτυο θετικής ακολουθίας, ισούται με:

$$V^{\sigma}_{+n} = -Z_{+nn} I^{\sigma}_{+n}$$

Από αυτήν την εξίσωση προκύπτει ότι η αντίσταση θετικής ακολουθίας για ένα ασύμμετρο βραχυκύκλωμα στο ζυγό n ενός δικτύου, ισούται με το διαγώνιο στοιχείο της μήτρας Z_{+bus} , που αντιστοιχεί στο ζυγό n .

Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(3)

Επίσης το δίκτυο αρνητικής ακολουθίας διεγείρεται μόνο από το ρεύμα $-I^{\sigma}_{-ν}$ στο ζυγό $ν$ και επομένως:

$$J^{\sigma}_{-bus} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ -I^{\sigma}_{-ν} \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

Με αντικατάσταση αυτής της εξίσωσης στην εξίσωση τάσεων ζυγών αρνητικής ακολουθίας, παίρνουμε:

$$V^{\sigma}_{-ν} = -Z_{-νν} I^{\sigma}_{-ν}$$

Δηλαδή το διαγώνιο στοιχείο της μήτρας Z_{-bus} , που αντιστοιχεί στο ζυγό $ν$, ισούται με την αντίσταση αρνητικής ακολουθίας του δικτύου.



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(4)

Με παρόμοιο τρόπο, για το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας έχουμε:

$$J_{0bus}^{\sigma} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ -I_{0n}^{\sigma} \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

και

$$V_{0n}^{\sigma} = -Z_{0nn} I_{0n}^{\sigma}$$

Δηλαδή, το στοιχείο Z_{0nn} ισούται με την αντίσταση μηδενικής ακολουθίας του δικτύου



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(5)

Μετά τον υπολογισμό των ακολουθιακών αντιστάσεων δικτύου, είναι δυνατός ο υπολογισμός των ΣΣ του ρεύματος βραχυκύκλωσης, από το γνωστό τρόπο σύνδεσης των ακολουθιακών δικτύων, ανάλογα με τον τύπο του βραχυκυκλώματος. Επομένως, για το παράδειγμα μας, παίρνουμε:

$$I^{\sigma}_{+ν} = I^{\sigma}_{-ν} = I^{\sigma}_{0ν} = \frac{V^0_{ν}}{Z_{+νν} + Z_{-νν} + Z_{0νν} + 3Z^{\sigma}}$$

Για όλους τους τύπους ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό ν διαμέσου σύνθετης αντίστασης, οι ΣΣ του ρεύματος βραχυκύκλωσης έχουν υπολογιστεί με τον κλασικό τρόπο μελέτης ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων (§ 7.6.3). Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στον επόμενο Πίνακα, στο οποίο τα V^{σ} , Z_{+} , Z_{-} και Z_0 της § 7.6.3 έχουν αντικατασταθεί από τα V^0_{ν} , $Z_{+νν}$, $Z_{-νν}$ και $Z_{0νν}$ αντίστοιχα.



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(6)

Τύπος Σφάλ- ματος	I_{+v}^{σ}	I_{-v}^{σ}	I_{0v}^{σ}
Φ-Γ	$\frac{V_v^0}{Z_{+vv} + Z_{-vv} + Z_{0vv} + 3Z^{\sigma}}$	I_{+v}^{σ}	I_{+v}^{σ}
Φ-Φ	$\frac{V_v^0}{Z_{+vv} + Z_{-vv} + Z^{\sigma}}$	$-I_{+v}^{\sigma}$	0
Φ-Φ-Γ	$\frac{V_v^0}{Z_{-vv}(Z_{0vv} + 3Z^{\sigma}) / (Z_{-vv} + Z_{0vv} + 3Z^{\sigma}) + Z_{+v}}$	$-\frac{Z_{0vv} + 3Z^{\sigma}}{Z_{-vv} + Z_{0vv} + 3Z^{\sigma}} I_{+v}^{\sigma}$	$-\frac{Z_{-vv}}{Z_{-vv} + Z_{0vv} + 3Z^{\sigma}} I_{+v}^{\sigma}$
Φ-Φ- Φ-Γ	$\frac{V_v^0}{Z_{+vv} + Z^{\sigma}}$	0	0





Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(7)

Με γνωστές τις $\Sigma\Sigma$ του ρεύματος βραχυκύκλωσης στο ζυγό ν (προηγούμενος Πίνακας), οι $\Sigma\Sigma$ της τάσης μετά το βραχυκύκλωμα στο τυχαίο ζυγό μ υπολογίζονται προσθέτοντας στην προσφαλματική τιμή της τάσης του ζυγού μ την τάση, που αναπτύσσεται στο ζυγό μ , λόγω της εισαγωγής του κατάλληλου ακολουθιακού ρεύματος στο ζυγό ν .

Για το παθητικό δίκτυο θετικής ακολουθίας, οι διακυμάνσεις των τάσεων θετικής ακολουθίας, λόγω του βραχυκυκλώματος, (ή τάσεις Thevenin) προκαλούνται από το ρεύμα J_{+bus}^{σ} και οι μετασφαλματικές τιμές τάσεων δίνονται από την εξίσωση:

$$V_{+bus}^{\sigma} = V_{+bus}^0 + Z_{+bus} J_{+bus}^{\sigma}$$

Λόγω της μορφής του ρεύματος J_{+bus}^{σ} , αν γράψουμε αναλυτικά την προηγούμενη εξ., η μετασφαλματική τάση θετικής ακολουθίας του τυχαίου ζυγού μ δίνεται από την εξίσωση:

$$V_{+\mu}^{\sigma} = V_{+\mu}^0 - Z_{+\mu\nu} I_{+\nu}^{\sigma} \quad \text{για} \quad \mu = 1, 2, \dots, n$$

Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(8)

Επειδή για τα δίκτυα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας όλες οι προσφαλματικές τάσεις είναι μηδέν, ακολουθώντας μια ανάλογη πορεία με αυτή που χρησιμοποιήσαμε για το δίκτυο θετικής ακολουθίας, βρίσκουμε ότι οι μετασφαλματικές τάσεις αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας του τυχαίου ζυγού μ δίνονται από τις εξισώσεις:

$$V^{\sigma}_{-\mu} = -Z_{-\mu\nu} I^{\sigma}_{-\nu} \quad \text{για} \quad \mu = 1, 2, \dots, n$$

$$V^{\sigma}_{0\mu} = -Z_{0\mu\nu} I^{\sigma}_{0\nu} \quad \text{για} \quad \mu = 1, 2, \dots, n$$



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(9)

Με γνωστές τις $\Sigma\Sigma$ των μετασφαλματικών τάσεων ζυγών, οι $\Sigma\Sigma$ των ρευμάτων στις γραμμές υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

$$I^{\sigma}_{+ij} = Y_{+ij}(V^{\sigma}_{+i} - V^{\sigma}_{+j})$$

$$I^{\sigma}_{-ij} = Y_{-ij}(V^{\sigma}_{-i} - V^{\sigma}_{-j})$$

$$I^{\sigma}_{0ij} = Y_{0ij}(V^{\sigma}_{0i} - V^{\sigma}_{0j})$$

όπου τα i και j είναι δύο τυχαίοι ζυγοί, που συνδέονται με τις εν σειρά σύνθετες αγωγιμότητες $\Sigma\Sigma$ Y_{+ij} , Y_{-ij} και Y_{0ij} (που είναι στοιχεία των μητρών Y_{+bus} , Y_{-bus} και Y_{0bus} αντίστοιχα) και τα ρεύματα ορίζονται θετικά στη διεύθυνση $i \rightarrow j$.



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(10)

Τέλος, με γνωστές τις $\Sigma\Sigma$ των μετασφαιματικών τάσεων ζυγών και ρευμάτων, οι φασικές τάσεις και ρεύματα υπολογίζονται με τη χρήση του μετασχηματισμού συμμετρικών συνιστωσών:

$$V_p^\sigma = T V_s^\sigma$$

$$I_p^\sigma = T I_s^\sigma$$



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(11)

- Ίσως η μέθοδος, που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την παράγραφο, να δίνει την εντύπωση ότι είναι πιο επίπονος από τη μέθοδο υπολογισμού των ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων, που χρησιμοποιήθηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Για να αξιολογηθεί όμως σωστά πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι:
- **α)** είναι η μόνη, που μπορεί να εφαρμοστεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή
- **β)** μετά την κατασκευή των ακολουθιακών μητρών συνθέτων αντιστάσεων ζυγών η ανάλυση για βραχυκύκλωμα σε οποιοδήποτε ζυγό γίνεται πολύ εύκολα και
- **γ)** οι μήτρες αντιστάσεων μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν για να παραστήσουν δομικές αλλαγές του δικτύου, που μελετάμε.



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(12)

Home Area

406 MW
123 MVR

200 MW
100 MVR

63 MW
-8 MVR

1,000 pu

142 MW
32 MVR

7 L

100 MW
10 MVR

100 MW
0 MVR

62 MW
15 MVR

Bus 1

1,00 pu

100 MW
67 MVR

62 MW
52 MVR

39 MW
-3 MVR

61 MW
-47 MVR

0,950 pu

100 MW
50 MVR

0 MVR

0,960 pu

0,998 pu

Bus 2

Bus 3

Bus 4

Bus 5

AGC ON
AVR ON

Fault Analysis

Fault Data | Fault Options | Matrices

Choose the Faulted Bus

Sort by Name | Sort by Number

1 (Bus 1) [345 KV]
2 (Bus 2) [345 KV]
3 (Bus 3) [345 KV]
4 (Bus 4) [138 KV]
5 (Bus 5) [34,5 KV]

Location %
0

Fault Location
 Bus Fault
 In-Line Fault

Fault Type
 Single Line-to-Ground
 Line-to-Line
 3 Phase Balanced
 Double Line-to-Ground

Data Type Shown
Current Units
 p.u. Amps

Online Display
 Normal Phase A Phase C
 All Phases Phase B

XF Wye-Delta Phase Shift
 Include in Calculation

Fault Cur
Magnitude
594,396
Angle:
-70,81

Buses | Lines | Generators | Loads | Switched Shunts

	Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
	1	1 Bus 1	0,00000	1,48642	1,07398	0,00	-128,03	148,50
	2	2 Bus 2	0,26151	1,43899	1,09388	30,23	-123,05	151,83
	3	3 Bus 3	0,08367	1,42983	0,99385	-10,23	-129,39	147,16
	4	4 Bus 4	0,15704	1,43241	1,01570	9,71	-127,99	148,35
	5	5 Bus 5	0,18301	1,52272	1,01160	-14,47	-131,85	144,71

Calculate | Clear | Clear/Close | Close



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(13)

The screenshot shows a power system simulation software interface. The background displays a single-line diagram with five buses (Bus 1 to Bus 5) and various power sources and loads. The foreground shows the 'Fault Analysis' window with a list of buses and a table of phase voltages and angles.

Home Area

Fault Analysis

Fault Data | Fault Options | Matrices

Choose the Faulted Bus

Sort by Name Sort by Number

1 (Bus 1) [345 KV]
 2 (Bus 2) [345 KV]
 3 (Bus 3) [345 KV]
 4 (Bus 4) [138 KV]
 5 (Bus 5) [34,5 KV]

Fault Location

Bus Fault
 In-Line Fault

Location %
 0

Fault Type

Single Line-to-Ground
 Line-to-Line
 3 Phase Balanced
 Double Line-to-Ground

Data Type Shown

Current Units
 p.u. Amps

Online Display
 Normal Phase A Phase C
 All Phases Phase B

XF Wye-Delta Phase Shift
 Include in Calculation

Fault Cur
 Magnitud
 781,085
 Angle:
 -133,25

Buses | Lines | Generators | Loads | Switched Shunts

Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1 Bus 1	1,00000	0,49999	0,49999	0,00	180,00	180,00
2	2 Bus 2	1,00000	0,37724	0,74025	5,95	-136,02	167,65
3	3 Bus 3	0,95005	0,41437	0,54622	-2,52	-172,75	170,09
4	4 Bus 4	0,95951	0,37072	0,63459	-0,59	-157,69	166,28
5	5 Bus 5	0,99839	0,38574	0,66031	-6,31	-163,42	160,55

Calculate Clear Clear/Close Close



Συστηματικός υπολογισμός ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων(14)

Home Area

406 MW
123 MVR

200 MW
100 MVR

63 MW
-8 MVR

1,000 pu

142 MW
32 MVR

7 L

100 MW
10 MVR

100 MW
0 MVR

62 MW
15 MVR

1,000 pu

62 MW
52 MVR

39 MW
-3 MVR

0 MVR

61 MW
-47 MVR

0,360 pu

0,350 pu

100 MW
67 MVR

1,00 pu

AGC ON
AVR ON

Bus 2

Bus 1

Bus 4

Bus 3

Bus 5

Fault Analysis

Fault Data | Fault Options | Matrices

Choose the Faulted Bus

Sort by Name Sort by Number

1 (Bus 1) [345 KV]
2 (Bus 2) [345 KV]
3 (Bus 3) [345 KV]
4 (Bus 4) [138 KV]
5 (Bus 5) [34,5 KV]

Location %
0

Fault Location

Bus Fault
 In-Line Fault

Fault Type

Single Line-to-Ground
 Line-to-Line
 3 Phase Balanced
 Double Line-to-Ground

XF Wye-Delta Phase Shift
 Include in Calculation

Data Type Shown

Current Units
 p.u. Amps

Online Display
 Normal Phase A Phase C
 All Phases Phase B

Fault Cur
Magnitud
901,917
Angle:
-43,25

Buses | Lines | Generators | Loads | Switched Shunts

	Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	Bus 1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0,00
2	2	Bus 2	0,35618	0,35618	0,35618	47,07	-72,93	167,07
3	3	Bus 3	0,11184	0,11184	0,11184	40,97	-79,03	160,97
4	4	Bus 4	0,23068	0,23068	0,23068	43,20	-76,80	163,20
5	5	Bus 5	0,24003	0,24003	0,24003	37,47	-82,53	157,47

Calculate | Clear | Clear/Close | Close



Περίληψη

- Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύχθηκαν οι τρόποι ανάλυσης ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων.
- Για απλά δίκτυα η ανάλυση μπορεί να γίνει με την κατασκευή των ακολουθιακών κυκλωμάτων του δικτύου και τη σύνδεσή τους ανάλογα με τον τύπο του βραχυκυκλώματος. Έτσι γίνεται η κατασκευή του τελικού δικτύου, από το οποίο υπολογίζονται όλα τα ρεύματα και οι τάσεις στις επιθυμητές θέσεις του δικτύου.
- Για πραγματικά δίκτυα η ανάλυση γίνεται μόνο με τη βοήθεια υπολογιστών. Γι' αυτό περιγράφηκε ένας γενικός και συστηματικός τρόπος ανάλυσης ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων για ένα γενικό σύστημα n -ζυγών και παρήχθησαν οι εξισώσεις υπολογισμού ρευμάτων και τάσεων.



Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτήν την ενότητα είναι από το βιβλίο «Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Ν. Α. Βοβός, Γ. Β. Γιαννακόπουλος, Εκδόσεις Ζήτη.



Χρηματοδότηση

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

