

Άσκηση 3.6: 3φ ΜΣ

α) Υπολογισμός παραμετρικών στοιχείων τριφασικού Μ/Τ

Δίνεται Μ/Τ με χαρακτηριστικά: Yd5, $U_{1N} / U_{2N} = 6,6kV/0,4kV$, $S_N = 200kVA$, $f = 50Hz$, $u_k=8\%$, $L_{1\sigma} = 0,9L'_{2\sigma}$, $R_1 = 2R'_2$. Σε δοκιμή εν κενώ υπό ονομαστική τάση U_{1N} μετρήσαμε: $P_o = 5kW$, $I_o = 1,0A$. Σε δοκιμή βραχυκυκλώσεως υπό ονομαστικό ρεύμα I_{1N} μετρήσαμε: $P_{\kappa} = 12kW$. Να βρεθούν τα παραμετρικά στοιχεία του μονοφασικού ισοδύναμου κυκλώματος του Μ/Τ.

Λύση:

Τα ονομαστικά μεγέθη επομένως είναι πολικά, ενώ ο λόγος των σπειρών υπολογίζεται από τον πίνακα των συνδεσμολογιών.

Αρχικά υπολογίζουμε τα I_{1N} και n :

$$S_N = \sqrt{3}U_{1N}I_{1N} \Rightarrow I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = 17,8A$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_{1N}}{U_{2N}} \Rightarrow n = 9,7$$

Αφού τα τυλίγματα υψηλής τάσης είναι σε αστέρα (Y), τα ονομαστικά ηλεκτρικά μεγέθη ανά

φάση είναι: $U_{1\phi} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}}$, $I_{1\phi} = I_{1N}$.

i) Εν κενώ λειτουργία

Στο μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα εν κενώ, η ισχύς $P_{o\phi}$ είναι:

$$P_{o\phi} = \frac{P_o}{3} = 1,67kW$$

άρα:

$$P_{o\phi} = U_{1\phi} I_o \cos \phi_o = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}} I_o \cos \phi_o \Rightarrow \cos \phi_o = \sqrt{3} \frac{P_{o\phi}}{U_{1N} I_o} \Rightarrow \cos \phi_o = 0,43$$

$$\sin \phi_o = \sqrt{1 - \cos^2 \phi_o} = 0,9$$

$$P_{o\phi} = \frac{U_{1\phi}^2}{R_{FE}} \Rightarrow R_{FE} = \frac{U_{1N}^2}{3P_{o\phi}} \Rightarrow \boxed{R_{FE} = 8,7k\Omega}$$

$$2\pi f L_m = \frac{U_{1\phi}}{I_m} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_o \sin \phi_o} \Rightarrow L_m = \frac{1}{2\pi f} \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_o \sin \phi_o} \Rightarrow \boxed{L_m = 13,7H}$$

ii) Βραχυκύκλωμα

Σε αντιστοιχία με την εν κενώ λειτουργία:

$$P_{\kappa\phi} = \frac{P_{\kappa}}{3} = 4kW$$

Αφού το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το ονομαστικό, η τάση βραχυκύκλωσης του πρωτεύοντος είναι:

$$U_{1κ} = u_K \cdot U_{1φ} = \frac{8}{100} \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}} = 311V$$

άρα:

$$Z_K = \frac{U_{1κ}}{I_{1κ}} = \frac{U_{1κ}}{I_{1N}} = 17,5\Omega$$

$$P_{κφ} = I_{1κ}^2 R_K = I_{1N}^2 R_K \Rightarrow R_K = \frac{P_{κφ}}{I_{1N}^2} \Rightarrow R_K = 12,6\Omega$$

$$\left. \begin{aligned} R_K &= R_1 + R_2' \\ R_1 &= 2R_2' \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{R_1 = 8,4\Omega}, \boxed{R_2' = 2,4\Omega}$$

$$R_2' = n^2 R_2 \Rightarrow \boxed{R_2 = 25,5m\Omega}$$

$$2\pi f L_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} \Rightarrow L_K = 38,7mH$$

$$\left. \begin{aligned} L_K &= L_{1\sigma} + L_{2\sigma}' \\ L_{1\sigma} &= 0,9L_{2\sigma}' \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{L_{1\sigma} = 18,3mH}, \boxed{L_{2\sigma}' = 20,4mH}$$

$$L_{2\sigma}' = n^2 L_{2\sigma} \Rightarrow \boxed{L_{2\sigma} = 217\mu H}$$

β) Υπολογισμός βαθμού απόδοσης τριφασικού Μ/Τ

Ο παραπάνω Μ/Τ τροφοδοτεί συμμετρικό τριφασικό φορτίο στην πλευρά χαμηλής τάσης, υπό ονομαστική τάση U_{2N} . Τα χαρακτηριστικά του φορτίου είναι $S = 180kVA$, $\cos\phi = 0,8$ επαγ. Να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης του Μ/Τ για τη συγκεκριμένη περίπτωση φορτίου.

Λύση:

$$\eta = \frac{P_{εξόδου}}{P_{εισόδου}} = \frac{P_{εξόδου}}{P_{εξόδου} + P_{απωλειών}} \quad (1)$$

$$P_{εξόδου} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2\pi} \cos\phi = S \cos\phi = 180kVA \cdot 0,8 \Rightarrow P_{εξόδου} = 144kW$$

$$P_{απωλειών} = 3R_2' I_{2φ}^2 + 3R_1 I_1^2 + 3 \frac{U^2}{R_{Fe}} \quad (2)$$

Για να υπολογιστούν οι απώλειες του Μ/Τ, πρέπει να υπολογισθεί το ανηγμένο φασικό ρεύμα της χαμηλής τάσης, η τάση εξ επαγωγής και το φασικό ρεύμα της υψηλής τάσης.

Το φασικό ρεύμα της χαμηλής τάσης είναι:

$$S = \sqrt{3}U_{2N}I_{2\pi} = 180kVA \Rightarrow I_{2\pi} = 264,7A$$

$$\text{Συνδεσμολογία τριγώνου: } \begin{cases} I_{2\phi} = \frac{I_{2\pi}}{\sqrt{3}} = 155,7A \\ U_{2\phi} = U_{2N} = 0,4kV \end{cases}$$

$$\text{Ανηγμένα Μεγέθη: } \begin{cases} I'_{2\phi} = \frac{I_{2\phi}}{n} = 16,1A \\ U'_{2\phi} = nU_{2\phi} = 3,9kV \\ \phi = \angle \overrightarrow{U'_{2\phi}}, \overrightarrow{I'_{2\phi}} = \arccos 0,8 \text{ επαγ} = -37^\circ \end{cases}$$

Για τον υπολογισμό της τάσης εξ επαγωγής και του φασικού ρεύματος στην υψηλή τάση, απαιτείται η ανάλυση του M/T με τη βοήθεια του διανυσματικού διαγράμματος για το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα. Φυσικά, δεν απαιτείται η πλήρης κατασκευή του διαγράμματος, αλλά ο υπολογισμός μόνο της τάσης εξ επαγωγής. Αυτή δίνεται από τη διανυσματική σχέση:

$$\overrightarrow{U_{επ}} = \overrightarrow{U'_{2\phi}} + \overrightarrow{R'_2 I'_{2\phi}} + \overrightarrow{2\pi f L'_{2\sigma} I'_{2\phi}}$$

Τα μέτρα των παραπάνω διανυσμάτων είναι:

$$U'_{2\phi} = 3,9kV$$

$$R'_2 I'_{2\phi} = 2,4\Omega \cdot 16,1A = 38,6V$$

$$2\pi f L'_{2\sigma} I'_{2\phi} = 6,4\Omega \cdot 16,1A = 103,1V$$

Επειδή η πτώση τάσης στην αντίσταση R'_2 είναι μικρότερη από το 1% της τάσης αναφοράς $U_{2\phi}$, αγνοείται. Ως κλίμακα, επιλέγουμε: 0,2kV/cm, 4A/cm. Έτσι, το διάνυσμα $\overrightarrow{U'_{2\phi}}$ έχει

μήκος: $\frac{3,9kV}{0,2kV/cm} = 19,5cm$ και το διάνυσμα $\overrightarrow{2\pi f L'_{2\sigma} I'_{2\phi}}$ έχει μήκος:

$$\frac{103,1V}{0,2kV/cm} = \frac{103,1V}{200V/cm} = 0,52cm. \text{ Στη γραφική αναπαράσταση βέβαια, η ακρίβεια είναι}$$

0,1cm για ευκολία. Το διάνυσμα αυτό είναι κάθετο στο διάνυσμα $\overrightarrow{I'_{2\phi}}$. Το διάνυσμα $\overrightarrow{I'_{2\phi}}$, κατ'

αναλογία, έχει μήκος: $\frac{16,1A}{4A/cm} = 4cm$.

Επομένως, από το διανυσματικό διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$U_{\varepsilon\pi} \cong 20cm \frac{0,2kV}{cm} = 4kV$$

$$\phi_1 = \left| \overrightarrow{U_{2\phi}}, \overrightarrow{U_{\varepsilon\pi}} \right| \cong 1,5^\circ$$

Το φασικό ρεύμα της υψηλής τάσης προκύπτει από τη διανυσματική σχέση:

$$\overrightarrow{I_{1\phi}} = \overrightarrow{I_{2\phi}} + \overrightarrow{I_{\mu}}$$

$$\overrightarrow{I_{\mu}} = \overrightarrow{I_{Fe}} + \overrightarrow{I_m}$$

Τα μέτρα των I_{Fe} και I_m είναι:

$$I_{Fe} = \frac{U_{\varepsilon\pi}}{R_{Fe}} = 0,46A \xrightarrow{4A/cm} 0,12cm$$

$$I_m = \frac{U_{\varepsilon\pi}}{2\pi fL_m} = 0,93A \xrightarrow{4A/cm} 0,24cm$$

Παρατηρούμε πως το ρεύμα I_{Fe} μπορεί να αγνοηθεί, αφού το μήκος του είναι στο όριο της ακρίβειας της κλίμακας ρεύματος. Άρα, το ρεύμα I_{μ} συμπίπτει στο διάγραμμα με το I_m , το οποίο είναι κάθετο στην τάση εξ επαγωγής. Το φασικό ρεύμα της υψηλής τάσης προκύπτει:

$$I_{1\phi} \cong 4,3cm \frac{4A}{cm} = 17,2A$$

$$\phi_2 \cong \left| \overrightarrow{U_{2\phi}}, \overrightarrow{I_{1\phi}} \right| = 40^\circ$$

Επομένως, από τη σχέση (2) προκύπτει:

$$P_{απωλειών} = \left[3 \cdot 4,2 \cdot 16,1^2 + 3 \cdot 8,4 \cdot 17,2^2 + 3 \frac{4^2 \cdot 10^6}{8,7 \cdot 10^3} \right] W \Rightarrow P_{απωλειών} = 15,95kW$$

και τελικά, από τη σχέση (1) ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{144kW}{144kW + 15,95kW} \Rightarrow \eta \cong 90\%$$

Σημειώνεται πως εάν είχε επιλεγεί μικρότερη κλίμακα, ώστε να συμπεριληφθούν όλα τα διανύσματα, το αποτέλεσμα θα είχε ανεπαίσθητη διαφορά. Αυτό οφείλεται στην καλή ποιότητα του συγκεκριμένου Μ/Τ, που σημαίνει μικρή μεταβολή της επαγωγικής τάσης σε σχέση με το φορτίο.

Κλίμακα: 300V/cm
4A/cm



