

Ισχύς βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον μετασχηματιστών

Παρατηρούμε στο παράδειγμα 6.16 ότι η σύνθετη αντίσταση στο δευτερεύον του ΜΤ στο σημείο Γ (21,7 Ω) δεν διαφέρει σημαντικά από την σύνθετη αντίσταση του ΜΤ (19,2 Ω). Σε πρώτη προσέγγιση μπορεί να ληφθεί ότι το πρωτεύον έχει άπειρη ισχύ βραχυκύκλωσης (άκαμπτη τάση) οπότε ισχύουν τα εξής

Δευτερεύον ΜΤ διανομής	
Ισχύς βραχυκύκλωσης	$S_k \approx \frac{S_T}{u_k} \times 100$
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	$I_k \approx \frac{I_T}{u_k} \times 100$
S_T	= ονομαστική ισχύς του ΜΤ
I_T	= ονομαστικό ρεύμα του ΜΤ
u_k	= ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης του ΜΤ

Η ακρίβεια της προσέγγισης αυξάνεται, όσο ο λόγος (η σχέση) των ισχύων βραχυκύκλωσης πρωτεύοντος/δευτερεύοντος μεγαλώνει. Η ακρίβεια είναι 10% περίπου για λόγο 10.

6.8. Προσδιορισμός μιάς γραμμής από την επιτρεπόμενη πτώση τάσης

6.8.1. Επιτρεπόμενη πτώση τάσης

Μία γραμμή πρέπει να μην προκαλεί ανεπίτρεπτη πτώση τάσης. Σε εγκατάσταση κίνησης, μεγάλη πτώση τάσης μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της ισχύος, ακόμη και αδυναμία εκκίνησης του κινητήρα. Σε εγκαταστάσεις φωτισμού πέφτει σημαντικά η ένταση του φωτός, πράγμα που ενοχλεί ιδιαίτερα σε μεταβαλλόμενα φορτία. Τα επιτρεπόμενα όρια είναι:

Μέγιστη πτώση τάσης από τον μετρητή

- Χ - 3% για κινητήρες και συσκευές με δικό τους κύκλωμα, π.χ. μαγειρεία θερμοσίφωνες κ.λ.π. (11,4 V για $U_N=380$ V και 6,6 V για $U_N=220$ V).
- Ν - 1% για φωτισμό και πρίζες γενικής χρήσης (2,2 V για $U_N=220$ V τροφοδότηση).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς DIN 180515, το 1% που ισχύει για φωτιστικά σώματα μπορεί να ληφθεί 3%. Στην Ελλάδα ισχύει ακόμα το 1%. Ουσιαστικά το 1% είναι υπερβολικό για λαμπτήρες φθορισμού.

6.8.2. Υπολογισμός πτώσης τάσης σε απλή γραμμή με ένα φορτίο και μία τροφοδότηση

Η πτώση τάσης ΔU υπολογίζεται συνήθως ανηγμένη στην ονομαστική τάση με βάση την αντίσταση R' και την αντίδραση X' ανά μονάδα μήκους, την ισχύ P και το συντελεστή ισχύος $\cos\varphi$.

Για μονοφασικό κύκλωμα είναι:

$$\frac{\Delta U}{U} = 2R'\Psi'/U^2 = 2R'I \cos\varphi/U, \quad (6.18)$$

(U = φασική τάση).

Για τριφασικό κύκλωμα είναι:

$$\frac{\Delta U}{U} = R'\Psi'/U^2 = \sqrt{3}R'I \cos\varphi/U, \quad (6.19)$$

(U = πολική τάση).

Ψ' είναι η ισοδύναμη αντίσταση ανά μονάδα μήκους, που είναι συνάρτηση της γραμμής και της γωνίας φ του συντελεστή ισχύος. Έχουμε τις σχέσεις:

$$\Psi' = R' + X' \tan\varphi, \quad (6.20)$$

$$R' = \frac{1}{\kappa A} \quad (= \text{ωμική αντίσταση}), \quad R = \rho \cdot R' \quad (6.21)$$

Τα σύμβολα εδώ είναι:

l = μήκος (m),

P = ισχύς (W),

U = τάση (V),

I = ρεύμα (A),

$\cos\varphi$ = συντελεστής ισχύος,

R', X' = αντίσταση, αντίδραση ανά μονάδα μήκους (Ω/m),

κ = αγωγιμότητα ($\Omega^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$), στην θερμοκρασία λειτουργίας, πιν. 6.3 σελ. 178.

A = διατομή (mm^2).

Για χαμηλή τάση και για διατομές $A < 35 \text{ mm}^2$ ισχύει $\Psi \approx R'$. Αν χρειαστεί να υπολογιστεί η X' , τότε ισχύει η πιο κάτω σχέση, τόσο για μονοφασικό όσο και για τριφασικό κύκλωμα και κυκλικές διατομές αγωγών.

$$X' = 0,0628 \left(\ln \frac{D}{r} + 0,25 \right) \quad (\text{m}\Omega/\text{m}), \quad (6.22)$$

όπου D = απόσταση κέντρων αγωγών για μονοφασικό κύκλωμα,

$$D = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}} \text{ για τριφασικό κύκλωμα.} \quad (6.23)$$

Εδώ είναι : D_{12}, D_{23}, D_{31} οι αποστάσεις μεταξύ των τριών φάσεων 1, 2, 3.
 r = ακτίνα αγωγών.

Οι αντιδράσεις για διάφορα συνήθη καλώδια δίνονται στο σχήμα 6.16 και τον πίνακα 5.15. Εάν ζητηθεί να βρεθεί η απαιτούμενη διατομή χαλκού για δοσμένη πτώση τάσης

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100,$$

τότε εργαζόμαστε ή με δοκιμές ή χρησιμοποιούμε τον τύπο που ισχύει γενικά προσεγγιστικά, αλλά με ικανοποιητική ακρίβεια για $A \leq 35 \text{ mm}^2$:

Διατομή του χαλκού για να έχουμε δοσμένη πτώση τάσης

$$A = \frac{I \cdot P}{U^2} \cdot \frac{100}{\kappa \varepsilon} \quad \text{για τριφασικά καλώδια,} \quad (6.24)$$

U = πολική τάση,

$$A = \frac{2IP}{U^2} \cdot \frac{100}{\kappa \varepsilon} \quad \text{για μονοφασικά καλώδια,} \quad (6.25)$$

U = φασική τάση.

Δηλαδή, η διατομή μειώνεται με το τετράγωνο της τάσης. Έτσι για μεγαλύτερες ισχύεις κινητήρων (π.χ. 500 kW), πρέπει να καταφεύγουμε σε υψηλότερες τάσεις (π.χ. 6000 V), για να έχουμε ανεκτές διατομές καλωδίων.

6.8.3. Πτώση τάσης σε γραμμή με πολλά φορτία

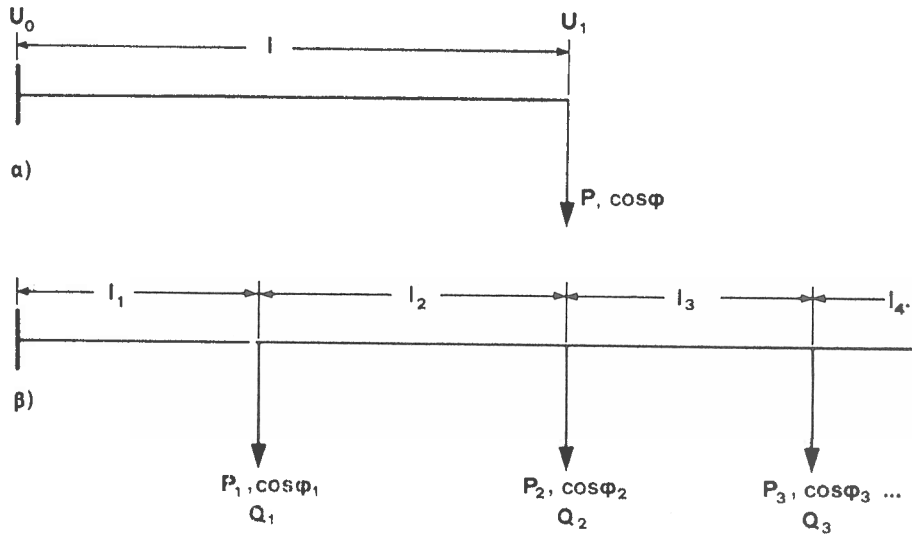
Σε γραμμές διανομής με κατανομημένα φορτία P_1, P_2, P_3 , με αποστάσεις l_1, l_2, l_3 μεταξύ τους όπως στο σχήμα 6.17, ισχύει:

– Για τριφασικό σύστημα (πολική τάση):

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Psi_1 \cdot P_1 \cdot l_1 + \Psi_2 \cdot P_2 \cdot l_2 + \Psi_3 \cdot P_3 \cdot l_3 + \dots}{U^2} \quad (6.26)$$

– Για μονοφασικό σύστημα (φασική τάση):

$$\frac{\Delta U}{U} = 2 \frac{\Psi_1 \cdot P_1 \cdot l_1 + \Psi_2 \cdot P_2 \cdot l_2 + \Psi_3 \cdot P_3 \cdot l_3 + \dots}{U^2} \quad (6.27)$$



Σχ. 6.17: Διάγραμμα για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης σε:
 α) απλή τροφοδότηση,
 β) πολλαπλή τροφοδότηση.

Η χρήση αυτών των τύπων γίνεται λαμβάνοντας υπόψη όχι τα πραγματικά φορτία P_1, P_2, \dots αλλά συνολικά πλασματικά φορτία.

$$P'_1, P'_2, P'_3, \dots \text{ και } Q'_1, Q'_2, Q'_3, \dots,$$

που αντιστοιχούν στα μήκη l_1, l_2, l_3, \dots

$$\begin{aligned} P'_1 &= P_1 + P_2 + P_3 + \dots, & Q'_1 &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots, \\ P'_2 &= P_2 + P_3 + P_4 + \dots, & Q'_2 &= Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots, \\ P'_3 &= P_3 + P_4 + P_5 + \dots, & Q'_3 &= Q_3 + Q_4 + Q_5 + \dots, \end{aligned} \quad (6.28)$$

$\Psi'_1, \Psi'_2, \Psi'_3, \dots$ είναι οι αντιστάσεις που αντιστοιχούν στα φορτία (P'_1, Q'_1), (P'_2, Q'_2), ... και στα μήκη l_1, l_2, l_3, \dots . Αν η γραμμή έχει σταθερή διατομή, μπορούμε να θέσουμε στους τύπους (6.26) και (6.27):

$$\Psi'_1 \approx \Psi'_2 \approx \Psi'_3 \approx \dots \approx \Psi'_m \quad (6.29)$$

όπου Ψ'_m είναι η μέση ισοδύναμη αντίσταση.

Ισχύει η σχέση:

$$\Psi'_m = R' + X' \tan \varphi_m \quad (6.30)$$

και φ_m είναι η γωνία ενός μέσου συντελεστή ισχύος.

Για τη γωνία φ_m έχουμε:

$$\cos\varphi_m = \frac{P_1 \cos\varphi_1 + P_2 \cos\varphi_2 + P_3 \cos\varphi_3 + \dots}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots} \quad (6.31)$$

Για την ΧΤ και διατομές μικρότερες από 25 mm^2 ισχύει $\Psi'_m \approx R'$.

Παρατήρηση: Η αγωγιμότητα που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της ωμικής αντίστασης είναι $56 \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{m}$ στους 20°C για χαλκό. Για διαφορετικές θερμοκρασίες θ πρέπει να χρησιμοποιηθεί η αγωγιμότητα κ όπου

$$\kappa = 56 \{1 - 4 \cdot 10^{-3} (\theta - 20)\} \quad (6.32)$$

με θ την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

Παράδειγμα 6.17:

Μονοφασικός καταναλωτής 220 V τροφοδοτείται με καλώδιο H05VV-R 3 G 2,5 (NYM $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$) μήκους 40 m. Να βρεθεί η πτώση τάσης αν το ρεύμα είναι $I=16 \text{ A}$, ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\varphi = 0,7$ και η θερμοκρασία είναι 20°C .

Ο τύπος της πτώσης τάσης είναι:

$$\frac{\Delta U}{U} = 2 \cdot I \cdot \Psi' \cdot \cos\varphi / U.$$

Επειδή η διατομή είναι μικρότερη των 25 mm^2 ισχύει:

$$\Psi' \approx R' = \frac{1}{\kappa A} = \frac{1}{56 \cdot 2,5} = 7,143 \text{ m}\Omega/\text{m},$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 2 \cdot 40 \cdot 7,143 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{16 \cdot 0,7}{220} = 2,909 \cdot 10^{-2} \approx 3\%.$$

Παράδειγμα 6.18:

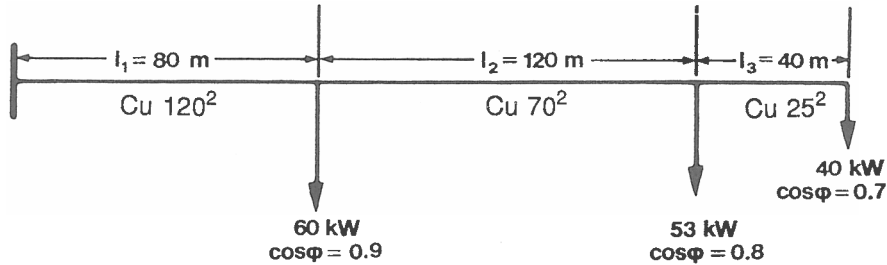
Τριφασικός καταναλωτής $I=16 \text{ A}$, $\cos\varphi=0,7$, 380 V τροφοδοτείται με καλώδιο H05VV-R 4 G 2,5 (NYM $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$) μήκους 40 m. Να βρεθεί η πτώση τάσης.

$$\frac{\Delta U}{U} = \sqrt{3} I \Psi' \frac{\cos\varphi}{U} = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 7,143 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot \frac{0,7}{380} = 1,46\%.$$

Δηλαδή σε τριφασικό σύστημα, για το ίδιο ρεύμα η πτώση τάσης είναι $(2,909/1,46 =) 2,0$ φορές μικρότερη απ' ό,τι σε μονοφασικό σύστημα.

Παράδειγμα 6.19:

Τριφασική γραμμή διανομής 380 τύπου JVV-R ή κατά VDE (NYY) τροφοδοτεί τρία φορτία, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.18. Να βρεθεί η πτώση τάσης στο περισσότερο απομακρυσμένο σημείο.



Σχ. 6.18: Διάγραμμα για παράδειγμα υπολογισμού πτώσης τάσης.

$$P_1 = 60 \text{ kW}, \quad P_2 = 53 \text{ kW}, \quad P_3 = 22 \text{ kW}.$$

$$\cos\varphi_1 = 0,9, \quad \cos\varphi_2 = 0,8, \quad \cos\varphi_3 = 0,7.$$

$$\varphi_1 = 25,8^\circ, \quad \varphi_2 = 36,9^\circ, \quad \varphi_3 = 45,6^\circ.$$

$$\tan\varphi_1 = 0,483, \quad \tan\varphi_2 = 0,750, \quad \tan\varphi_3 = 1,020.$$

$$Q_1 = 60 \cdot 0,483 = 28,98 \text{ kvar},$$

$$Q_2 = 53 \cdot 0,750 = 39,75 \text{ kvar},$$

$$Q_3 = 22 \cdot 1,020 = 22,40 \text{ kvar},$$

Θα βρεθούν αρχικά οι επιμέρους πτώσεις τάσης.

Για διάφορα μήκη l_1 , l_2 , l_3 έχουμε τις εξής τιμές:

Μήκος l_1 :

$$\text{Ισχύς} \quad P'_1 = P_1 + P_2 + P_3 = 60 + 53 + 22 = 135 \text{ kW},$$

$$\begin{aligned} \text{άεργη ισχύς} \quad Q'_1 &= P_1 \tan\varphi_1 + P_2 \tan\varphi_2 + P_3 \tan\varphi_3 = \\ &= 60 \cdot 0,483 + 53 \cdot 0,75 + 22 \cdot 1,020 = 91,17 \text{ kvar}. \end{aligned}$$

Ισοδύναμη αντίσταση:

Από το σχήμα 6.16 έχουμε

$$X'_1 = 80 \mu\Omega/\text{m},$$

$$\begin{aligned} \Psi'_1 &= R'_1 + X'_1 \frac{Q'_1}{P'_1} = \frac{1}{56 \cdot 120} + 80 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{91,17}{135} = \\ &= 148,8 \cdot 10^{-6} + 54,0 \cdot 10^{-6} = 0,203 \text{ m}\Omega/\text{m}, \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta U_1}{U} = l_1 \cdot \Psi'_1 \frac{R'_1}{U^2} = 80 \cdot 0,203 \cdot 10^{-3} \cdot 135 \cdot 10^3 = 1,52 \%$$

Μήκος l_2 :

$$\text{Ισχύς} \quad P_2' = P_2 + P_3 = 53 + 22 = 75 \text{ kW},$$

$$\text{άεργη ισχύς} \quad Q_2' = Q_2 + Q_3 = 39,75 + 22,40 = 52,15 \text{ kvar},$$

$$X_2' = 82 \text{ } \mu\Omega/\text{m} \text{ (σχήμα 6.16)},$$

$$\Psi_2' = \frac{1}{56 \cdot 70} + 82 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{52,15}{75} = (255,1 + 57,0) \cdot 10^{-6} = 0,3 \cdot 12 \text{ m}\Omega/\text{m},$$

$$\frac{\Delta U_2}{U} = l_2 \cdot \Psi_2' \cdot P_2' / U^2 = 120 \cdot 0,312 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 10^3 / 380^2 = 1,94\%$$

Μήκος l_3 :

$$Q_3' = Q_3 = 22,4 \text{ kvar}, \quad P_3' = P_3 = 22 \text{ kW},$$

$$X_3' = 85 \text{ } \mu\Omega/\text{km},$$

$$\Psi_3' = R_3' + X_3' \frac{Q_3'}{P_3'} = \frac{1}{56 \cdot 25} + 85 \cdot 10^{-6} \frac{22,4}{22} = (714,3 + 86,5) \cdot 10^{-6} = 0,801 \text{ m}\Omega/\text{m},$$

$$\frac{\Delta U}{U} = l_3 \Psi_3' / U^2 = 40 \cdot 0,801 \cdot 10^{-3} \cdot 22 \cdot 10^3 / 380^2 = 0,49\%.$$

Η πτώση τάσης στο πιο απομακρυσμένο σημείο της γραμμής είναι:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta U_1}{U} + \frac{\Delta U_2}{U} + \frac{\Delta U_3}{U} = 1,52 + 1,94 + 0,49 = 3,95\%$$

Αυτή η πτώση τάσης (3,95%) δεν επιτρέπεται. Μπορεί εύκολα να υπολογιστεί ότι, για να περιοριστεί η πτώση τάσης στο επιτρεπτό όριο 3%, θα έπρεπε στο πρώτο μήκος l_1 η διατομή να γίνει 150 mm^2 αντί 120 mm^2 που είναι τώρα και στο δεύτερο μήκος l_2 η διατομή να γίνει 120 mm^2 αντί 70 mm^2 που είναι τώρα.

Παράδειγμα 6.20:

Τριφασικός κινητήρας 11 kW, βραχυκυκλωμένου κλωβού, πρέπει να συνδεθεί με γραμμή Η05VV-R (\cong NYM) 140 μέτρων. Ζητούμε τη διατομή του καλωδίου για θερμοκρασία περιβάλλοντος 40°C .

$$P_T = 11 \text{ kW}, \quad U_T = 380 \text{ V}, \quad I_T = 21,6 \text{ A}, \quad \cos\varphi = 0,88.$$

Η ισχύς του δικτύου είναι:

$$P_N = \sqrt{3} \cdot U_T \cdot I_T \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 21,6 \cdot 0,88 = 12,51 \text{ kW}.$$

Υπολογισμός διατομής σύμφωνα με το θερμικό ρεύμα:

Το θερμικό ρεύμα υπολογισμού είναι 25% μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα:

$$I_{th} = 1,25 \cdot I_T = 1,25 \cdot 21,6 = 27,00 \text{ A}.$$

Επειδή έχουμε 40°C, το ρεύμα επαυξάνεται κατά το θερμοκρασιακό συντελεστή του πίνακα 6.4, που είναι $f_{\theta} = 0,82$. Συνεπώς, το θερμικό ρεύμα για το οποίο θα υπολογιστεί η διατομή είναι:

$$I_{th} = \frac{27,00}{0,82} = 32,93 \text{ A.}$$

Η διατομή είναι κατά την ομάδα I του πίνακα 6.3: $A = 6 \text{ mm}^2$.

Υπολογισμός διατομής από την πτώση τάσης:

Επειδή η διατομή είναι μικρή ($< 16 \text{ mm}^2$) θέτουμε:

$$\Psi' \approx R' = \frac{1}{\kappa A}.$$

Ανάλογα με την θερμοκρασία, η αγωγιμότητα δεν λαμβάνεται 56 $\Omega\text{m}/\text{mm}^2$ αλλά μειώνεται:

$$\kappa = 56\{1 - \alpha(\theta - 20)\} = 56(1 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot 20) = 52 \Omega^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}.$$

Συνεπώς είναι:

$$\Psi' = \frac{1}{\kappa \cdot A} = \frac{1}{52 \cdot A}.$$

Για επιτρεπόμενη πτώση τάσης 3% ισχύει:

$$\frac{\varepsilon}{100} = \frac{\Delta U}{U} = I \Psi' P / U^2,$$

$$A = \frac{IP}{U^2} \cdot \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{100}{\varepsilon}$$

$$A = \frac{140 \cdot 12,5 \cdot 10^3 \cdot 100}{380^2 \cdot 52 \cdot 3} = 7,76 \text{ mm}^2.$$

Συνεπώς, η διατομή λόγω πτώσης τάσης είναι μεγαλύτερη από αυτή που προσδιορίστηκε για θερμικούς λόγους. Η επόμενη τυποποιημένη διατομή των 7,76 mm^2 είναι:

$$A = 10 \text{ mm}^2.$$

Το καλώδιο που θα εκλεγεί είναι J1VV-R4G10, $4 \times 10 \text{ mm}^2$ (ή NY Y $4 \times 10 \text{ mm}^2$), 3 φάσεις και ένας αγωγός γείωσης.

6.9. Προστασία γραμμών και καλωδίων

Γραμμές και καλώδια πρέπει να προστατευθούν

- σε βραχυκυκλώματα και
- σε συνεχή υπερφόρτιση.

Τα βραχυκυκλώματα μπορούν να οδηγήσουν σε απαράδεκτα υψηλές