

# Hilfsblatt zur VO „Energieversorgung“

Version 1.2

## Drehstromsysteme

Drehoperatoren

$$\underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) + j \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\underline{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) + j \sin\left(\frac{4\pi}{3}\right) = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\underline{a}^2 = \underline{a}^* = \underline{a}^{-1} \quad \underline{a}^3 = 1 \quad \underline{a}^4 = \underline{a} \quad \underline{a}^5 = \underline{a}^2$$

$$1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0 \quad \underline{a} - \underline{a}^2 = j\sqrt{3} \quad 1 - \underline{a}^2 = \sqrt{3} e^{j\frac{\pi}{3}}$$

Symmetrische Drehstrom-Komponenten

$$\underline{V}_{012} = \underline{T} \cdot \underline{V}_{abc} \quad \underline{V}_{abc} = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{V}_{012}$$

$$\underline{T} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{pmatrix} \quad \underline{T}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{pmatrix}$$

$$\underline{V}_0 = \frac{1}{3}(\underline{V}_a + \underline{V}_b + \underline{V}_c) \quad \underline{V}_1 = \frac{1}{3}(\underline{V}_a + \underline{a}\underline{V}_b + \underline{a}^2\underline{V}_c) \quad \underline{V}_2 = \frac{1}{3}(\underline{V}_a + \underline{a}^2\underline{V}_b + \underline{a}\underline{V}_c)$$

$$\underline{V}_a = (\underline{V}_0 + \underline{V}_1 + \underline{V}_2) \quad \underline{V}_b = (\underline{V}_0 + \underline{a}^2\underline{V}_1 + \underline{a}\underline{V}_2) \quad \underline{V}_c = (\underline{V}_0 + \underline{a}\underline{V}_1 + \underline{a}^2\underline{V}_2)$$

## Kurz- und Erdschlüsse

Netzimpedanz

$$Z_N = c_{S_k}'' \cdot \frac{U_n^2}{S_k''}$$

Generatorimpedanz

$$X_d'' = x_d'' \cdot Z_B$$

Trafo-Kurzschluss-Impedanz

$$Z_T = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$

Ersatzspannung an der Fehlerstelle

$$|\underline{E}_1| = c \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

Kurzschlussberechnung Stoßfaktor

$$i_p = \sqrt{2} \left(1 + e^{-10ms \frac{R}{L}}\right) I_k'' = \sqrt{2} \kappa I_k''$$

## Leitungsgleichungen

Ausbreitungskonstante der Leitung

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}$$

Dämpfungs- und Phasenkonstante (Näherungen gelten für  $R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$ )

$$\alpha \approx \frac{R'}{2} \sqrt{\frac{C'}{L'}} + \frac{G'}{2} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \omega \sqrt{L'C'}$$

Leitungsgleichungen

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{Z}_w \underline{I}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh(\underline{\gamma}x) & \sinh(\underline{\gamma}x) \\ \sinh(\underline{\gamma}x) & \cosh(\underline{\gamma}x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{U}(x) \\ \underline{Z}_w \underline{I}(x) \end{pmatrix}$$

Wellenwiderstand

$$\underline{Z}_w = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

Winkel- und Hyperbelfunktionen

$$\cos(x) = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2} \quad \cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\sin(x) = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j} \quad \sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

Ersatzradius des Bündelleiters

$$r_B = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot r_T^{n-1}}$$

n - Anzahl Teilleiter

Betriebsinduktivitätsbelag einer Einfach-Drehstromleitung (mit Bündelleitern)

$$L'_B = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{D}{r_B}\right) + \frac{1}{4n} \right]$$

Betriebskapazitätsbelag einer Einfach-Drehstromleitung (mit Bündelleitern)

$$C'_B \approx \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln\left(\frac{D}{r_B}\right)}$$

Spezifischer Wärmewiderstand

$$R'_w = \frac{\rho_w}{2\pi} \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)$$

## Windenergie

$$P_W = \frac{1}{2} \rho_L \cdot A \cdot v^3$$

$$c_p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right]$$

## Wirtschaftlichkeit

$$B_{0+} = Z\beta_+$$

$$\beta_+ = \frac{(q^m - 1) \cdot q}{q - 1}$$

$$B_{0-} = Z\beta_-$$

$$\beta_- = \frac{q^n - 1}{(q - 1) \cdot q^n}$$

$$K = \alpha \cdot A_0 + Z$$

$$\alpha = 1/\beta_-$$

## Konstanten

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$$