
EN Formelsammlung

Tony Pham

12. Dezember 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Deckung des Energiebedarfs	2
1.1	Frequenz-Wirkleistungsregelung	2
1.2	Belastungsdiagramm, -dauer T_n	2
2	Transformatoren	2
2.1	Grundlagen	2
2.1.1	Grundgleichungen idealer Trafo	2
2.1.2	Bemessung Trafos	2
2.1.3	Wachstumsgesetze	2
2.2	ESB Trafo	2
2.3	Betriebskonstanten	2
2.3.1	Kurzschlussmessung	2
2.3.2	Berechnung Betriebskonstanten	2
2.4	Trafo-Schaltgruppen	2
2.5	Parallelbetrieb Trafos	3
2.5.1	Parallelbetrieb: Leerlauf	3
2.5.2	Parallelbetrieb: Last	3

1 Deckung des Energiebedarfs

1.1 Frequenz-Wirkleistungsregelung

a) stationärer Zustand (Gleichgewicht)

$$W_{rot} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_{mech}^2 \quad \omega_{el} = p \cdot \omega_{mech}$$
$$W_{mech-zu} = W_{el-ab} \quad P_{mech-zu} = P_{el-ab}$$

p : Polpaarzahl J : Massenträgheitsmoment

b) Störung

Sprunghafte Zunahme um $\Delta P \Rightarrow$ Abbremsen der Rotoren \Rightarrow Sinken der Drehzahl aller Generatoren \Rightarrow fehlende Energie wird aus gesp. Rotationsenergie aller elek. Maschinen übernommen ΔW_{rot}

$$W_{m-zu} \neq W_{el-ab} \quad P_{m-zu} \neq P_{el-ab}$$
$$\Delta W_{rot} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega_{stat} - \omega_{akt})$$

1.2 Belastungsdiagramm, -dauer T_n

$$W_{el} = P_n \cdot T_a = P_{max} \cdot T_m = P_{mittel} \cdot T_n$$

2 Transformatoren

2.1 Grundlagen

2.1.1 Grundgleichungen idealer Trafo

$$U_{ieff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi f \cdot N \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \hat{B} \cdot A_{Fe}$$

$$\text{Spannungstrafo: } \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{u}$$

$$\underline{U}'_2 = \ddot{u} \cdot \underline{U}_2$$

$$\text{Stromtrafo: } \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = \ddot{u}$$

$$\underline{I}'_2 = \underline{I}_2 \cdot \frac{1}{\ddot{u}}$$

$$\text{Impedanztrafo: } Z_1 = \ddot{u}^2 \cdot Z_2$$

$$R'_2 = \ddot{u}^2 \cdot R_2$$

$$L'_{2\sigma} = \ddot{u}^2 \cdot L_{2\sigma}$$

$$\text{Durchgangsleistung: } S_1 = S_2 = S_D$$

2.1.2 Bemessung Trafos

$$N_1 \cdot A_{L1} = N_2 \cdot A_{L2}$$

$$A_{Lges,1} = A_{Lges,2} = A_{cu,ges}$$

Windungsspannung:

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2} = U_{W1} = U_{W2} = U_W$$

$$U_W \approx k \cdot A_{Fe}$$

Bemessungsleistung 3-Phasen-Trafo:

$$S_{rT} = 3 \cdot 4,44 \cdot f \cdot \hat{B}_{zul} \cdot J_r \cdot (A_{Fe} \cdot A_{Cu})$$

$$S_{rT} = k \cdot (A_{Fe} \cdot A_{Cu})$$

Auslegung:

$$f = 50 \text{ Hz}, B = 1,7 \text{ T} - 1,8 \text{ T}, A_{Fe} = 1,2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

2.1.3 Wachstumsgesetze

Frage: 1 Trafo (900MVA) wirtschaftlicher als 3 Trafos (je 300 MVA)?

$$A_{Fe,neu} = A_{Fe} \cdot k^2 \quad A_{cu,neu} = A_{cu} \cdot k^2$$

$$V_{neu} = V \cdot k^3 \quad S_{rT,neu} = S_{rT} \cdot k^4$$

$$\text{Gewicht: } m_{neu} = m \cdot k^3 \Rightarrow \text{Kosten} \downarrow$$

$$\text{Verluste: } P_{V,Cu,neu} = P_{V,Cu} \cdot k^3$$

$$\text{Verluste: } P_{V,Fe,neu} = P_{V,Fe} \cdot k^3$$

$$P_{V,ges,neu} = P_{V,ges} \cdot k^3 \Rightarrow \text{Wirkungsgrad } \eta \uparrow$$

$$\text{Kühlung: } A_{Huell,neu} = A_H \cdot k^2$$

$$\Rightarrow \text{relative Kühlfläche} \downarrow, \text{ Aufwand Kühlung} \uparrow$$

1 Trafo wirtschaftlicher!

2.2 ESB Trafo

$$\text{Maschengleichung: } \begin{pmatrix} R_1 & j\omega L'_{1\sigma} \\ R'_2 & j\omega L'_{2\sigma} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ -\underline{I}'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}'_2 \end{pmatrix}$$

$$U_1 = R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega L_{1\sigma} \cdot \underline{I}_1 - R'_2 - \underline{I}'_2 - j\omega L'_{2\sigma} \cdot \underline{I}'_2 + \underline{U}'_2$$

$$\text{Mit } \underline{I}_1 = -\underline{I}_2 \text{ und } \underline{U}'_2 = \ddot{u} \cdot \underline{U}_2:$$

$$U_1 = (R_1 + R_2) \cdot \underline{I}_1 + j(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}) \cdot \underline{I}_1 + \ddot{u} \cdot \underline{U}_2$$

$$\text{Mit } R_T = R_1 + R_2 \text{ und } X_T = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}:$$

$$U_1 = (R_T + jX_T) \cdot \underline{I}_1 + \ddot{u} \cdot \underline{U}_2$$

2.3 Betriebskonstanten

2.3.1 Kurzschlussmessung

Kurzschluss(KS) der Klemmen an OS/US

\Rightarrow Messen der Spannung an US/OS

\Rightarrow Angabe relative KS-Spannung u_k in %

komplexe KS-Spannung: $\underline{U}_{kn} = U_{kn,R} + jU_{kn,X}$

$$u_{k1} = \frac{U_{k1}}{U_{rT1}/\sqrt{3}}$$

$$u_{k1} = u_{k2} = u_k = u_{kR} + j u_{kX}$$

$$\text{KS-Strom: } I_k = \frac{I_{rT}}{u_k}$$

$$\text{KS-Spannung: } U_k = u_k \cdot U_{rT}$$

2.3.2 Berechnung Betriebskonstanten

Betrag Impedanz Z :

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_{rT}^2}{\sqrt{3} I_{rT} U_{rT}} = \frac{u_k \cdot U_{rT}^2}{100\% \cdot S_{rT}} = \frac{u_k}{100\%} \cdot Z_{\text{Bezug}}$$

Resistanz R :

$$R_T = u_{kR} \cdot \frac{U_{rT}}{\sqrt{3} I_{rT}} = \frac{u_{kR} \cdot U_{rT}^2}{100\% \cdot S_{rT}} = P_{kT} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}^2}$$

$$u_{kR} = \frac{P_{kT}}{S_{rT}}$$

$$u_{kX} = \sqrt{u_k^2 - u_{kR}^2}$$

Reaktanz X :

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = u_{kX} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

Leistung Kurzschlussverlust P_{kT} :

$$P_{kT} \approx 3 \cdot R_T \cdot I_{rT}^2$$

2.4 Trafo-Schaltgruppen

tableofcontents

tableofcontents

tableofcontents

2.5 Parallelbetrieb Trafos

Allgemein:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{1,T1} &= \underline{U}_{1,T2} = \underline{U}_{1T} \\ \underline{U}_{2,T1} &= \underline{U}_{1T} \cdot \ddot{u}_{T1} \cdot e^{j\alpha_{T1}} \\ \underline{U}_{2,T2} &= \underline{U}_{1T} \cdot \ddot{u}_{T2} \cdot e^{j\alpha_{T2}} \\ \underline{S}_{T,ges} &= \underline{S}_{T1} + \underline{S}_{T2}\end{aligned}$$

2.5.1 Parallelbetrieb: Leerlauf

$$\begin{aligned}\underline{I}_M &= \frac{\Delta \underline{U}}{\underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{T2}} = 0 \\ \underline{I}_{T1} &= \underline{I}_{T2} \Rightarrow \\ \Delta \underline{U} &= \underline{U}_{2,T1} - \underline{U}_{2,T2} = 0 \\ \ddot{u}_{T1} &= \ddot{u}_{T2} \\ \alpha_{T1} &= \alpha_{T2} \\ \text{Bsp.: Dy5} &\parallel \text{Yz5 möglich!}\end{aligned}$$

2.5.2 Parallelbetrieb: Last

$$\begin{aligned}u_{k,T1} &\neq u_{k,T2} \quad S_{r,T1} \neq S_{r,T2} \\ \text{Stromteiler:} \\ I &= I_{T1} + I_{T2} \\ \underline{I}_{T1} &= \frac{\underline{Z}_{T2}}{\underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{T2}} \cdot \underline{I} \\ \frac{\underline{I}_{T1}}{\underline{I}_{T2}} &= \frac{\underline{Z}_{T2}}{\underline{Z}_{T1}} \\ \underline{S}_{T1} &= \end{aligned}$$