

**Generatoren:**

$X_d$	[ $\Omega$ ]	Reaktanz
$x\%$	[%]	relative synchrone Reaktanz(0,01)
$U_n$	[V]	NennSpannung
$S_n$	[VA]	NennScheinleistung
$U_P$	[V]	PolradSpannung
$U_G$	[V]	GeneratorSpannung/Klemmenspannung
$I_G$	[A]	GeneratorStrom / Strang $\sqrt{3}$
$\delta$	[°]	Polradwinkel
$Q_G$	[VA]	Generator Blindleistung
$S_G$	[VA]	Generator Scheinleistung
$P_G$	[W]	Generator Leistung
$\cos(\varphi)$	[1]	Leistungsfaktor

$$X_d = \frac{x\% \cdot U_n^2}{S_n} \text{ Bei } \% \text{ immer } \frac{1}{100}.$$

$$U_P = \frac{P_G \cdot X_d}{U_G \cdot \sin(\delta)}$$

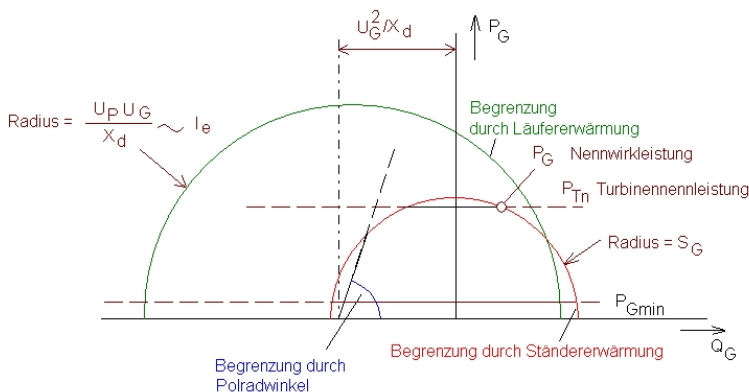
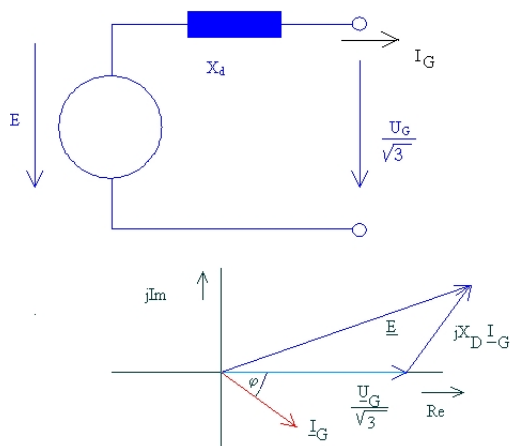
$$Q_G = \frac{U_P \cdot U_G \cdot \cos(\delta)}{X_d} - \frac{U_G^2}{X_d}$$

$$\cos(\varphi) = \frac{P_G}{S_G}$$

$$\underline{U}_P = U_G + j \cdot \sqrt{3} \cdot X_d \cdot \underline{I}_G$$

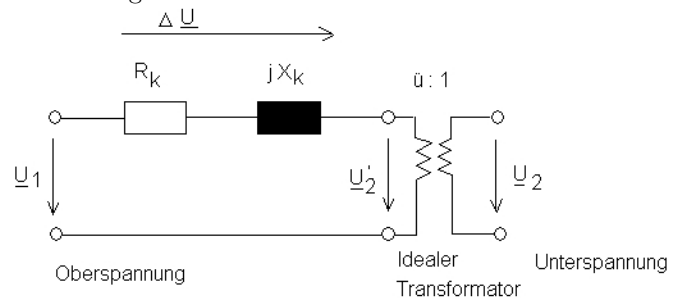
$$\text{ Bemessungsleistung } S_r = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P_{G,min} = P_G \cdot 0,4, P_G = S_G \cdot \cos(\varphi), Q_G = S_G \cdot \sin(\varphi)$$

**ESB-Synchronmaschine****Transformatoren:**

$Z_k$	[ $\Omega$ ]	ScheinW'/Längsreaktanz
$R_k$	[ $\Omega$ ]	W'
$X_k$	[ $\Omega$ ]	BlindW'
$V_k$	[W]	VerlustLeistung o. $P_{CU}$
$\Delta U$	[V]	VerlustSpannung
$S_n$	[VA]	NennScheinleistung
$U_n$	[V]	NennSpannung
$I_n$	[A]	NennStrom
$u_k$	[%]	relative KurzschlussSpannung
$u_r$	[%]	relativer ohmscher Spannungsabfall
$u_x$	[%]	relativer Spannungsabfall
$\ddot{u}$	[1]	Uebersetzung
$\cos(\varphi)$	[1]	Leistungsfaktor
$?_{OS}$	[ ]	OberspannungsSeite
$?_{US}$	[ ]	UnterspannungsSeite

Einseitiges ESB:



$$Z_k = \frac{u_k \cdot U_n^2}{S_n}$$

$$R_k = \frac{Z_k \cdot u_r}{u_k}$$

$$Z_{ref} = \frac{U_{OS}^2}{S_n}$$

$$U_{nUS} = \frac{U_{nOS}}{\ddot{u}}$$

$$I_{US} = I_{OS} \cdot \ddot{u}$$

$$\underline{S}^* = S \cdot (\cos(\varphi) \pm j \sin(\varphi)) = S \cdot e^{\pm j \varphi}$$

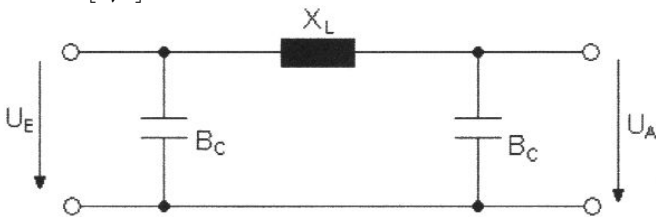
$$\left. \begin{aligned} u_k &= \frac{Z_{kOS} \cdot I_{nOS} \cdot \sqrt{3}}{U_{nOS}} \\ u_k &= \frac{Z_{kUS} \cdot I_{nUS} \cdot \sqrt{3}}{U_{nUS}} \\ u_x &= \sqrt{u_k^2 - u_r^2} \end{aligned} \right\} \text{ in } \%$$

$$\Delta U = I_{OS} (R_k + j \cdot X_k)$$

$$\text{Parallelbetrieb: } \frac{S_1}{S_2} = \frac{S_{1N} \cdot U_{k2}\%}{S_{2N} \cdot U_{k1}\%}$$

## Drehstromleitung:

$U_E$	[V]	Eingangsspannung
$U_A$	[V]	Ausgangsspannung
$I_E$	[A]	Eingangsstrom
$I_A$	[A]	Ausgangsstrom
$X_L$	[Ω]	LängsReaktanz
$B_C$	[Ω]	QuerKapazität
$Y_C$	[S]	Leitwert zur QuerKapazität
$Z_W$	[Ω]	WellenW'
$L'$	[H/km]	Kilometrische längsInduktivität
$C'$	[F/km]	Kilometrische querKapazität
$\omega$	[1/s]	Kreisfrequenz
$l$	[km]	Leitungslänge
$\alpha$		Dämpfungskonstante
$\beta$	[rad/km]	Kilometrische Phasendrehung/
$b$		Phasenkonstante /-mass
$\delta$	[rad]	Phasendrehung/Verdrehungswinkel
$Q$	[V Ar]	BlindLeistung
$P$	[W]	WirkLeistung
$S$	[VA]	ScheinLeistung
$P_{nat}$	[W]	NatürlicheWirkLeistung
$Q_A$	[V Ar]	AusgangsBlindLeistung
$Q_E$	[V Ar]	EingangsBlindLeistung
$S_A$	[VA]	AusgangsScheinLeistung
$S_E$	[VA]	EingangsScheinLeistung
[H]	$\left[\frac{V \cdot s}{A}\right]$	
[F]	$\left[\frac{A \cdot s}{V}\right]$	



$$U_E = U_A \cdot \cos(\beta \cdot l) + j \cdot Z_W \cdot I_A \cdot \sin(\beta \cdot l)$$

Bei leerlaufender Leitung:

$$I_A = 0 \quad U_E = U_A \cdot \cos(\beta \cdot l)$$

sonst:

$$Z_W = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \beta = \omega \sqrt{L' \cdot C'}$$

$$b = \beta \cdot l$$

Bis 250km:

$$X_L = \omega \cdot L' \cdot l \quad B_C = \frac{2}{\omega \cdot C' \cdot l}$$

$$Y_P = Y_C = \frac{1}{B_C} = \frac{\omega \cdot C' \cdot l}{2}$$

sonst:

kapazitiv:  $\Delta \underline{U} = (R_k + j \cdot X_k) \cdot \underline{I}_{OS}$

induktiv:  $\Delta \underline{U} = (R_k - j \cdot X_k) \cdot \underline{I}_{OS}$

verkettete Spannung:

$$\underline{U}_1 = \underline{u}_n \cdot \underline{U}_2 + \sqrt{3} \cdot \Delta \underline{U}$$

sonst:

$$U'_2 = U_1 - \sqrt{3} \Delta \underline{U}$$

$$U_2 = \frac{U'_2}{\ddot{u}}$$

ab 250km:

$$X_L = Z_W \cdot \sin(\beta \cdot l)$$

Taschenrechner für nächste Gleichung entweder auf RAD gestellt werden, oder ihr wandelt  $\beta$  vorm tan mit  $\frac{180^\circ}{\pi}$  von [rad] in [°] um.

**ACHTUNG!!!** Wenn ihr umgestellt habt, wieder zurück stellen!

$$Y_C = \frac{1}{B_C} = \frac{1}{Z_W} \cdot \tan\left(\frac{\beta \cdot l}{2}\right)$$

TR normal:

$$\delta = \arcsin\left(\frac{P \cdot X_L}{U_A \cdot U_E}\right)$$

Bei natürlicher Leistung:

$$\delta = \beta \cdot l$$

Blindleistungsbedarf bei Uebertragung der natürlichen Leistung  $Q=0$

$$P_{nat} = \frac{U_n^2}{Z_W}$$

sonst:

Wenn  $Q_A$  negativ  $\Rightarrow$  Leitung gibt Leistung ab

Wenn  $Q_A$  positiv  $\Rightarrow$  Leitung nimmt Leistung auf

$$Q_A = \frac{U_A \cdot U_E \cdot \cos(\delta) - U_A^2}{X_L} + Y_C \cdot U_A^2$$

Wenn  $Q_E$  negativ  $\Rightarrow$  Leitung nimmt Leistung auf

Wenn  $Q_E$  positiv  $\Rightarrow$  Leitung gibt Leistung ab

$$Q_E = \frac{U_E^2 - U_A \cdot U_E \cdot \cos(\delta)}{X_L} - Y_C \cdot U_E^2$$

sonst:

$$S_A = \frac{j \cdot U_E \cdot U_A (\cos(\delta) - j \cdot \sin(\delta))}{X_L} + j \cdot Y_C \cdot U_A^2$$

$$S_E = ?$$

**Leitung:**

$$Q_L = \frac{U_{1N} \cdot U_{2N}}{X_L} \cdot \cos(\delta) - \frac{U_{N2}^2}{X_L}$$

$$Q_C = \omega \cdot C' \cdot \frac{l}{2} \cdot U_{N2}$$

$$Q_2 = Q_C + Q_L$$

**Hinweise:**

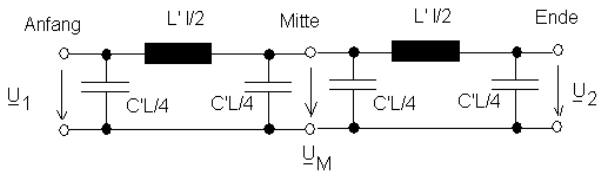
$$M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} ; I \approx M$$

$$\frac{3}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}$$

$$P = |I|^2 \cdot R ; Q = |I|^2 \cdot X$$

$$|r| = \sqrt{RE^2 + IM^2} ; \varphi = \arctan\left(\frac{IM}{RE}\right)$$

$$ARG \underline{z} = \varphi ; ABS \underline{z} = |z|$$

**Leitungsmitte:**

Aufteilung der gesamten Leitungskapazität  $C'$  auf vier Glieder mit je  $C'l/4$

Aufteilung der gesamten Leitungsinduktivität  $L'$  auf zwei Glieder mit je  $L'/2$

kurze Leitung:

$$U_M = \frac{U_1}{1 - (\omega^2 \cdot L' \frac{l}{2} \cdot C' \frac{l}{4})}$$

exact:

$$U_M = \frac{U_1}{1 - \left( \tan\left(\frac{\beta \cdot l}{4}\right) \cdot \sin\left(\frac{\beta \cdot l}{2}\right) \right)}$$

mit  $\tan\left(\frac{\beta \cdot l}{4}\right) \approx \frac{\beta \cdot l}{4}$  und  $\sin\left(\frac{\beta \cdot l}{2}\right) \approx \frac{\beta \cdot l}{2}$  bei kurzer Leitung:

$$U_M \approx \frac{U_1}{1 - (\beta \cdot l \cdot \frac{2}{8})}$$

**Beliebiger Leitungspunkt:**

$$L_K = \frac{Z_W \cdot \sin(\beta \cdot l)}{\omega \cdot (1 - \cos(\beta \cdot l))}$$

x=Länge bis zum Punkt:

$$U_x = U_2 \left[ \cos(\beta \cdot x) + \frac{Z_W}{\omega \cdot L_K} \sin(\beta \cdot x) \right]$$

mit  $\frac{Z_W}{\omega \cdot L_K} = \frac{1 - \cos(\beta \cdot l)}{\sin(\beta \cdot l)} = \tan\left(\frac{\beta \cdot l}{2}\right)$ :

$$U_X = U_2 \left[ \cos(\beta \cdot x) + \tan\left(\frac{\beta \cdot l}{2}\right) \cdot \sin(\beta \cdot x) \right]$$

**Hochspannungsfreileitung**

$\underline{\gamma}$  [rad/km] Komplexes  $\beta$  (imaginärteil =  $\beta$ )

$$U_A = U_E \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_E \cdot Z_W \cdot \sinh(\gamma \cdot l)$$

$$I_A = I_E \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + \frac{U_E}{Z_W} \cdot \sinh(\gamma \cdot l)$$

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta$$

$$\gamma = \sqrt{L' \cdot C'} \cdot j \cdot \omega$$

Theoreme:

$$\cosh(j \cdot \beta \cdot l) = \cos(\beta \cdot l)$$

$$\sinh(j \cdot \beta \cdot l) = j \cdot \sin(\beta \cdot l)$$

Euler:

$$\cos(\beta \cdot l) + j \sin(\beta \cdot l) = e^{j \cdot \beta \cdot l}$$