

1 Blindleistungsbedarf von Drehstrom-Normmotoren

Nennleistung	Zweipolige Maschine		Vierpolige Maschine	
	Leerlauf	Vollast	Leerlauf	Vollast
2 kW	0,9 kVAr	1,1 kVAr	1,4 kVAr	1,5 kVAr
3 kW	1,5 kVAr	2,0 kVAr	2,3 kVAr	2,6 kVAr
6 kW	2,6 kVAr	3,7 kVAr	3,0 kVAr	4,3 kVAr
11 kW	4,6 kVAr	6,9 kVAr	5,4 kVAr	7,8 kVAr
22 kW	7,3 kVAr	13,2 kVAr	10,2 kVAr	13,9 kVAr
30 kW	10,0 kVAr	17,8 kVAr	13,0 kVAr	17,6 kVAr
45 kW	13,0 kVAr	27,0 kVAr	17,0 kVAr	26,0 kVAr
75 kW	20,0 kVAr	42,0 kVAr	30,0 kVAr	45,0 kVAr
90 kW	23,0 kVAr	50,0 kVAr	33,0 kVAr	52,0 kVAr

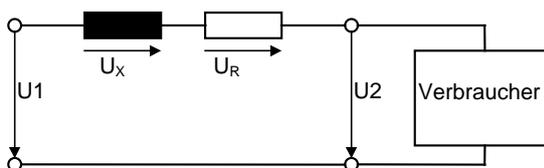
Tabelle 1: Blindleistungswerte von Drehstrom-Normmotoren 400 V, Käfigläufer [1]

2 Erforderliche Blindleistungskompensationsleistung

$$Q = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

φ_1 = Phasenwinkel ohne Kompensation

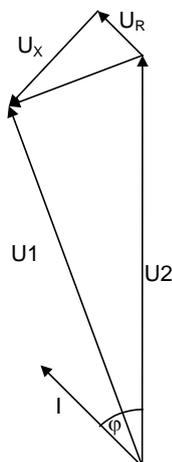
φ_2 = Phasenwinkel mit Kompensation (gewünschter Phasenwinkel)



Vorsicht:

Bei Überkompensation tritt eine Überspannung in der Kundenanlage auf.

Bild1: Vereinfachtes Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm eines kapazitiven Verbrauchers



3 Anschluss und Absicherung der Kompensationsanlage

3.1 Absicherung

Wird eine Kompensationsanlage an das Niederspannungsnetz der Stadtwerke Hilden GmbH angeschlossen, so ist die Kondensatorbatterie mindestens über einen Sicherungstrenner anzuschließen. Die Absicherung erfolgt mit dem 1,6...1,8 fachen des Nennstromes der Kompensationsanlage mit träger Charakteristik. Die Zuleitungskabel sind entsprechend zu dimensionieren.

$$I_S = (1,6 \dots 1,8) \cdot I_N$$

3.2 Anschluss an das Mittelspannungsnetz mit kundeneigenen Transformatoren

Die Anlagenteile, die eine Kompensationsanlage beinhalten, sollen in der Regel als Sternnetz betrieben werden (Vermeidung von Trafokupplungen auf der Unterspannungsseite). Dabei ist darauf zu achten, dass der Impedanzfaktor $\alpha^* \geq |0,5|$ ist.

$$\alpha^* = u_K \cdot \frac{f_S}{f_N} + \frac{S_{Tr}}{Q_K \cdot (1-p)} \cdot \left(p \cdot \frac{f_S}{f_N} - \frac{f_N}{f_S} \right)$$

Beispiel:

Trafobemessungsleistung	$S_{Tr} = 630 \text{ kVA}$
relative Kurzschlussspannung	$u_K = 4 \%$
Kompensationsleistung ohne Drossel	$Q_K = 10 \text{ kvar}$ $p = 0 \%$
Rundsteuerfrequenz	$f_S = 425 \text{ Hz}$
Netzfrequenz	$f_N = 50 \text{ Hz}$

$$\alpha^* = 0,04 \cdot \frac{425 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} - \frac{630 \text{ kVA}}{10 \text{ kvar}} \cdot \frac{50 \text{ Hz}}{425 \text{ Hz}} = -7,07$$

Das negative Vorzeichen bedeutet, dass die Resonanzfrequenz oberhalb der Rundsteuerfrequenz von 425 Hz liegt.

3.2 Anschluss an das Niederspannungsnetz

Bei Kompensationsleistungen $\leq 10 \text{ kvar}$ ist keine Verdrosselung erforderlich. Kompensationsanlagen die größer als 10 kvar sind ist eine Verdrosselung mit $p = 6 \dots 7\%$ vorzunehmen

4 Auslegung von Blindstromkompensationsanlagen

4.1 Oberwellenanalyse

Die Kompensationsanlage bildet mit dem vorgeschalteten Netz einen Reihenschwingkreis. Die Resonanzkreisfrequenz dieses Schwingkreises beträgt

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_N \cdot C_K}}$$

$L_N =$ Induktivität des speisenden Netzes
 $C_K =$ Kapazität der Kompensationsanlage

Die Resonanzfrequenz der Netz-Kompensationsanlage darf nie in der Nähe von Oberwellen am Netz liegen, da sonst extrem hohe Spannungen am Kondensator auftreten

$$U_c = \frac{U_N}{R_N} \cdot \sqrt{\frac{L_N}{C_K}}$$

U_N = Netzspannung

R_N = Widerstand des speisenden Netzes

4.2 Verdrosseln von Kompensationsanlagen

In Hilden wird im Allgemeinen ein Drosselfaktor von 6 - 7% angestrebt.

An oberwellenbehafteten Anschlusspunkten sollten Kompensationsanlagen verdrosselt werden. Bei der Verdrosselung ist der Reihenresonanzpunkt der Drossel-Kompensationsanlage auf < 250 Hz zu legen.

$$p = \frac{XL}{XC} = \omega_N^2 \cdot L \cdot C$$

p = Drosselfaktor

XL = Ind. Blindwiderstand der Drossel bei Netzfrequenz

XC = Kop. Blindwiderstand der Kompensationsanlage bei Netzfrequenz

fr = Reihenresonanzpunkt

$$fr = 50\text{Hz} \cdot \frac{1}{\sqrt{p}}$$

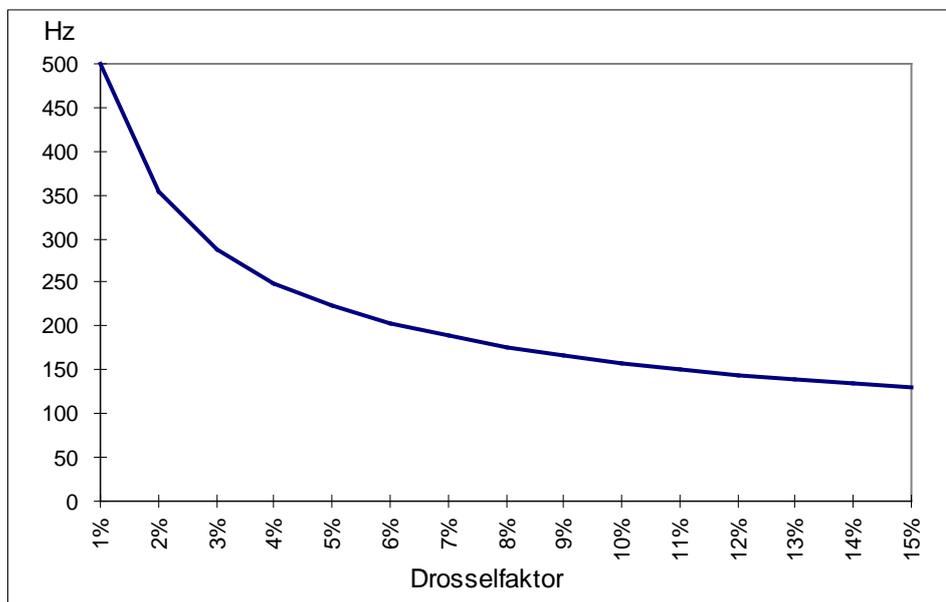


Bild 1: Resonanzfrequenz in Abhängigkeit vom Drosselfaktor

Der Reihenresonanzpunkt bei verdrosselten Kompensationsanlagen ist unabhängig von der Kompensationsleistung bei konstantem Drosselfaktor. Unterhalb des Resonanzpunktes ist die Gesamtanlage kapazitiv, oberhalb des Resonanzpunktes wirkt die Gesamtanlage induktiv.

4.2.1 Dimensionierung der Drosseln

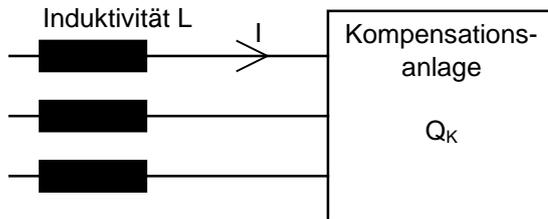


Bild 3: Anschluss von Drosseln an einer Kompensationsanlage

Die zu wählende Induktivität beträgt in Abhängigkeit der Kompensationsleistung und des Drosselfaktors

$$L = \frac{U_N^2 \cdot p}{Q_K \cdot \omega_N}$$

U_N = Netzspannung
 Q_K = Kompensationsleistung
 ω_N = Netzkreisfrequenz
 p = Drosselfaktor

Die Leistung der zu wählenden Drossel errechnet sich aus (siehe Anhang):

$$Q_L = \frac{Q_K \cdot p}{3}$$

Q_L = Leistung der Drossel

Kompensationsleistung	Induktivität 7% [mH]	Drosselleistung
20 kVA	1,783	0,467 kVA
30 kVA	1,188	0,700 kVA
40 kVA	0,891	0,933 kVA
50 kVA	0,713	1,167 kVA
60 kVA	0,594	1,400 kVA
70 kVA	0,509	1,633 kVA
80 kVA	0,446	1,867 kVA
90 kVA	0,396	2,100 kVA
100 kVA	0,357	2,333 kVA
110 kVA	0,324	2,567 kVA
120 kVA	0,297	2,800 kVA
130 kVA	0,274	3,033 kVA
140 kVA	0,255	3,267 kVA
150 kVA	0,238	3,500 kVA

Tabelle 2: Induktivität und Leistung von Drosseln bei p = 7%

Anhang:

Induktivität der Drossel:
$$Q_K = \frac{U_N^2}{XC} \quad (1)$$

$$p = \frac{XL}{XC} \quad \Rightarrow \quad XC = \frac{XL}{p} \quad (2)$$

(2) in (1)
$$Q_K = \frac{U_N^2}{XL} \cdot p \Rightarrow XL = \frac{U_N^2}{Q_K} \cdot p \quad (3)$$

$$\Rightarrow \boxed{L = \frac{U_N^2 \cdot p}{Q_K \cdot \omega_N}}$$

$$Q_K = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{NK} \quad (4)$$

I_{NK} = Nennstrom der Kompensationsanlage

$$\Rightarrow I_{NK} = \frac{Q_K}{\sqrt{3} \cdot U_N}$$

Leistung der Drossel:
$$Q_L = I_{NK}^2 \cdot XL \quad (5)$$

(4)+(3) in (5)
$$Q_L = \left(\frac{Q_K}{\sqrt{3} \cdot U_N} \right)^2 \cdot \frac{U_N^2 \cdot p}{Q_K} \quad (6)$$

$$\boxed{Q_L = \frac{Q_K \cdot p}{3}}$$

Quellenangabe:

[1] Blindstrom-Kompensation in der Betriebspraxis
Wolfgang Just
1991 VDE-Verlag GmbH, Berlin & Offenbach

[2] Empfehlungen über die Anwendung von Tonfrequenzsperrern für Kondensatoren in
Niederspannungsnetzen mit TRA, VDEW-Verlag

Anlage

Für Trafo gilt:

$$Z_T = u_K \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}}$$

$$X_T \approx Z_T$$

$$\Rightarrow L_T \approx \frac{u_K \cdot U_N^2}{\omega_N \cdot S_{NT}}$$

S_{NT} = Nennleistung des Trafo
 u_K = rel. Kurzschlussspannung

U_N = Nennspannung
 Z_T = Trafonennimpedanz
 ω_N = Kreisfrequenz bei Netzfrequenz

Für Kompensationsanlage in analoger Sternschaltung gilt:

$$X_C = \frac{U_N^2}{Q_K}$$

$$\Rightarrow C_K = \frac{Q_K}{U_N^2 \cdot \omega_N}$$

Q_K = Kompensationsleistung

C_K = Kompensationskapazität

Für Resonanzpunkt gilt:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$\Rightarrow \omega_r = \frac{1}{\sqrt{\frac{u_K \cdot U_N^2}{\omega_N \cdot S_{NT}} \cdot \frac{Q_K}{U_N^2 \cdot \omega_N}}}$$

$$\omega_r = \frac{\omega_N}{\sqrt{\frac{u_K \cdot Q_K}{S_{NT}}}}$$

mit L_T und C_K

$$\Rightarrow \boxed{\frac{f_r}{f_N} = \frac{1}{\sqrt{\frac{u_K \cdot Q_K}{S_{NT}}}}}$$