

Tabelle1

1) Netzdaten

Nennspannung	U_n	10	kV 3AC
Nennfrequenz	f_n	50	Hz
Netz-Kurzschlussleistung	$S_k^{''}$	400	MVA
R/X-Verhältnis	R_N/X_N	0,1	
Spannungsfaktor	c	1,1	
Netzimpedanz	Z_N	0,275	Ω
Netzresistanz	R_N	0,0275	Ω
Netzreaktanzen	X_N	0,274	Ω
Induktivität des Netzes	L_N	0,87	mH
max. Kurzschlussstrom (überschlägig)	$I_{k3}^{''}$	23,09	kA
angestrebter Leistungsfaktor	$\cos(\varphi_{\text{soll}})$	0,98	ind.
angestrebter Verschiebungswinkel	φ_{soll}	11,48	deg

2) Maschinendaten

a) Nenndaten

Nennleistung (mechanisch)	P_n	12000	kW
Anker-Wirkungsgrad	η_A	0,95	
Nennleistung (elektrisch)	$S, P_{\text{el}}, P_{\text{di}}$	12631,58	kW

b) Gleichrichter

Typ	B6C		
-----	-----	--	--

c) Betriebsdaten (unkompensiert)

Nennstrom (netzseitig)	I_n	729,28	A
Nenn-Gleichstrom	I_d	893,19	A
Arbeitspunkte	2		
	Arbeitspunkt 1		Arbeitspunkt 2
Steuerwinkel	α_1	25 deg	α_2 70 deg
Ankerspannung	U_{A1}	12235,16 V DC	U_{A2} 4617,27 V DC
Wirkleistung	P_1	11448,10 kW	P_2 4320,25 kW
Blindleistung	Q_1	5338,34 kvar	Q_2 11869,80 kvar
Ist-Leistungsfaktor	$\cos(\varphi_1)$	0,91 ind.	$\cos(\varphi_2)$ 0,34 ind.
erforderliche Kompensationsleistung für $\cos(\varphi) = 0,98$ ind.	Q_{c1}	3013,70 kvar	Q_{c2} 10992,54 kvar

d) Betriebsdaten (kompensiert)

	Arbeitspunkt 1		Arbeitspunkt 2
Steuerwinkel	α_1	25 deg	α_2 70 deg
Wirkleistung	P_1	11448,10 kW	P_2 4320,25 kW
Scheinleistung	$S_{1,\text{komp}}$	11681,73 kVA	$S_{2,\text{komp}}$ 4408,42 kVA
Blindleistung	$Q_{1,\text{komp}}$	2324,64 kvar	$Q_{2,\text{komp}}$ 877,27 kvar
kompensierte Netzblindleistung	ΔQ_1	3013,70 kvar	ΔQ_2 10992,54 kvar
Netzstrom	$I_{1,\text{komp}}$	674,45 A	$I_{2,\text{komp}}$ 254,52 A
-Differenz	ΔI_1	54,84 A	ΔI_2 474,76 A

3) Filterkreis (Harmonic Filter)

a) Nenndaten			
Nennleistung des Filterkreises	$Q_{FC,r}$	11000,00	kvar
Abstimmfrequenz	f_{FC}	250	Hz
b) Bemessung des Filterkreises			
Bemessungsfrequenz	$f_{0R,r}$	240,00	Hz
Impedanz	Z_{FC}	9,09	Ω
Kapazität	C_{FC}	334,94	μF
Induktivität resultierende	L_{FC}	1,313	mH
Parallelresonanzfrequenz	f_{0P}	186,09	Hz
Verdrosselungsfaktor	p	4,34	%
c) Bemessung des Filter-Kondensators			
Spannungsanhebung am Kondensator	$U_{C,d}$	6035,46	V
Grundschwingsbelastung des Filter-Kondensators	$U_{1,C}$	6615,47	V
Oberschwingungsbelastrung des Filter-Kondensators	$U_{v,C}$	582,99	V
höchste dauerhafte Spannung	U_m	6639,00	V
Bemessungsspannung des Filterkreiskondensators	$U_{C,r}$	6639,00	V
Verzerrungsblindleistung	Q_d	30,06	kvar
Nennleistung des Filter-Kondensators	$Q_{C,r}$	12050,89	kvar
Nennstrom des Filter-Kondensators	$I_{C,r}$	605,05	A
harmonische Ströme (geometrische Summe)	$I_{v,ges}$	145,05	A
thermischer Effektivstrom	$I_{th,ges}$	622,20	A
Impedanz des Kondensators im Resonanzfall	$Z_{C,res}$	1,90	Ω
Schaltüberspannung beim Einschalten	U_S	17070,85	V
d) Bemessung der Filterkreisdrossel			
Bemessungsspannung	U_r	5,77	kV
höchste Betriebsspannung	U_s	6,35	kV
höchste Spannung für Betriebsmittel	U_m	6,93	kV
Bemessungs-Kurzzeit-Wechselspannung	U_{pn}	28,00	kV
Bemessungs-Blitzstoßspannung	U_{ps}	75,00	kV
Bemessungsinduktivität	L_r	1,313	mH
Bemessungsstrom	I_r	606,000	A
harmonische Ströme (geometrische Summe)	$I_{v,ges}$	145,05	A
thermischer Effektivstrom	$I_{th,ges}$	622,20	A

4) Thyristor-controlled Reactor (TCR)

Tabelle1

a) Bemessung			
Nennspannung	U_n	10,00	kV 3AC
Nennfrequenz	f_n	50,00	Hz
höchste Betriebsspannung	U_s	11,00	kV
höchste Spannung für Betriebsmittel	U_m	12,00	kV
Bemessungs-Kurzzeit-Wechselspannung	U_{pn}	28,00	kV
Bemessungs-Blitzstoßspannung	U_{ps}	75,00	kV
Nennleistung des Filterkreises	$Q_{TCR,r}$	11000,00	kvar
Verschaltung	Δ		
Stromrichter-Topologie	W3C		
Stromaufnahme TCR (Außenleiter)	$I_{TCR,L}$	366,67	A
Stromaufnahme TCR pro Dreieckstrang	$I_{TCR,\Delta}$	211,70	A
Bemessungs-Steuerwinkel	$\alpha_{TCR,r}$	100,00	deg
Bemessungsinduktivität ($\alpha = 100^\circ$) pro Dreieckssehne	L_r	67,71	mH
Bemessungsreaktanz pro Dreieckssehne	X_r	21,27	Ω
Bemessungsstrom	I_r	212,00	A

5) Oberschwingungsanalyse

Netzebenenfaktor		$k_{n,MS}$	0,4				
Mittelspannung							
a) Oberschwingungen (unkompensiert)							
	v	I_v	U_v	$u_{v,ist}$	$u_{v,max}$	zulässig	Bewertung
Grundschwungsanteil	1	696,42 A					
Oberschwungsanteile	2	348,21 A	330,47 V	3,30 %	2,00 %	0,800%	
	3	232,14 A	330,23 V	3,30 %	5,00 %	2,000%	
	4	174,10 A	330,15 V	3,30 %	1,00 %	0,400%	
	5	139,28 A	330,12 V	3,30 %	6,00 %	2,400%	verletzt
	6	116,07 A	330,10 V	3,30 %	0,50 %	0,200%	
	7	99,49 A	330,08 V	3,30 %	5,00 %	2,000%	verletzt
	8	87,05 A	330,08 V	3,30 %	0,50 %	0,200%	
	9	77,38 A	330,07 V	3,30 %	1,50 %	0,600%	
	10	69,64 A	330,07 V	3,30 %	2,50 %	1,000%	
	11	63,31 A	330,06 V	3,30 %	3,50 %	1,400%	verletzt
	12	58,03 A	330,06 V	3,30 %	2,13 %	0,850%	
	13	53,57 A	330,06 V	3,30 %	3,00 %	1,200%	verletzt
	14	49,74 A	330,06 V	3,30 %	1,86 %	0,743%	
	15	46,43 A	330,06 V	3,30 %	0,40 %	0,160%	
	16	43,53 A	330,06 V	3,30 %	1,66 %	0,663%	
	17	40,97 A	330,06 V	3,30 %	2,00 %	0,800%	verletzt
	18	38,69 A	330,05 V	3,30 %	1,50 %	0,600%	
	19	36,65 A	330,05 V	3,30 %	1,76 %	0,704%	verletzt
	20	34,82 A	330,05 V	3,30 %	1,38 %	0,550%	
	21	33,16 A	330,05 V	3,30 %	0,30 %	0,120%	
	22	31,66 A	330,05 V	3,30 %	1,27 %	0,509%	
	23	30,28 A	330,05 V	3,30 %	1,41 %	0,563%	verletzt

Tabelle1

	24	29,02	A	330,05	V	3,30 %	1,19 %	0,475%	
	25	27,86	A	330,05	V	3,30 %	1,27 %	0,509%	verletzt
	26	26,79	A	330,05	V	3,30 %	1,12 %	0,446%	
	27	25,79	A	330,05	V	3,30 %	0,20 %	0,080%	
	28	24,87	A	330,05	V	3,30 %	1,05 %	0,421%	
	29	24,01	A	330,05	V	3,30 %	1,06 %	0,424%	verletzt
	30	23,21	A	330,05	V	3,30 %	1,00 %	0,400%	
	31	22,47	A	330,05	V	3,30 %	0,97 %	0,390%	verletzt
	32	21,76	A	330,05	V	3,30 %	0,95 %	0,381%	
	33	21,10	A	330,05	V	3,30 %	0,20 %	0,080%	
	34	20,48	A	330,05	V	3,30 %	0,91 %	0,365%	
	35	19,90	A	330,05	V	3,30 %	0,83 %	0,333%	verletzt
	36	19,34	A	330,05	V	3,30 %	0,88 %	0,350%	
	37	18,82	A	330,05	V	3,30 %	0,77 %	0,309%	verletzt
	38	18,33	A	330,05	V	3,30 %	0,84 %	0,337%	
	39	17,86	A	330,05	V	3,30 %	0,20 %	0,080%	
	40	17,41	A	330,05	V	3,30 %	0,81 %	0,325%	
					THD-U	11,43 %	8,00 %	3,200%	verletzt

b) Oberschwingungen (kompensiert)

	ν	$Z_{FC}(\nu)$		$Z_N(\nu)$		$Z_{ers}(\nu)$	$Z_c(\nu)$
Grundschwingungsanteil	1	9,09	Ω	0,28	Ω	0,266926 Ω	
Oberschwingungsanteile	2	3,93	Ω	0,55	Ω	0,480838 Ω	
	3	1,93	Ω	0,82	Ω	0,576177 Ω	
	4	0,73	Ω	1,09	Ω	0,436513 Ω	
	5	0,16	Ω	1,37	Ω	0,144603 Ω	1,90 Ω
	6	0,89	Ω	1,64	Ω	0,577555 Ω	
	7	1,53	Ω	1,92	Ω	0,850505 Ω	1,36 Ω
	8	2,11	Ω	2,19	Ω	1,074905 Ω	
	9	2,66	Ω	2,46	Ω	1,277939 Ω	
	10	3,17	Ω	2,74	Ω	1,469571 Ω	
	11	3,67	Ω	3,01	Ω	1,654348 Ω	0,86 Ω
	12	4,16	Ω	3,28	Ω	1,834653 Ω	
	13	4,63	Ω	3,56	Ω	2,011864 Ω	0,73 Ω
	14	5,10	Ω	3,83	Ω	2,186836 Ω	
	15	5,55	Ω	4,10	Ω	2,36013 Ω	
	16	6,01	Ω	4,38	Ω	2,532132 Ω	
	17	6,45	Ω	4,65	Ω	2,703114 Ω	0,56 Ω
	18	6,90	Ω	4,93	Ω	2,873276 Ω	
	19	7,34	Ω	5,20	Ω	3,042769 Ω	0,50 Ω
	20	7,77	Ω	5,47	Ω	3,211707 Ω	
	21	8,21	Ω	5,75	Ω	3,380181 Ω	
	22	8,64	Ω	6,02	Ω	3,54826 Ω	
	23	9,07	Ω	6,29	Ω	3,716002 Ω	0,41 Ω
	24	9,50	Ω	6,57	Ω	3,883453 Ω	
	25	9,93	Ω	6,84	Ω	4,050651 Ω	0,38 Ω
	26	10,36	Ω	7,11	Ω	4,217628 Ω	
	27	10,78	Ω	7,39	Ω	4,384411 Ω	
	28	11,21	Ω	7,66	Ω	4,551022 Ω	
	29	11,63	Ω	7,94	Ω	4,717479 Ω	0,33 Ω
	30	12,06	Ω	8,21	Ω	4,8838 Ω	
	31	12,48	Ω	8,48	Ω	5,049998 Ω	0,31 Ω
	32	12,90	Ω	8,76	Ω	5,216085 Ω	
	33	13,32	Ω	9,03	Ω	5,382072 Ω	

Tabelle1

	34	13,74 Ω	9,30 Ω	5,547968 Ω			
	35	14,17 Ω	9,58 Ω	5,713782 Ω	0,27	Ω	
	36	14,59 Ω	9,85 Ω	5,87952 Ω			
	37	15,00 Ω	10,12 Ω	6,045189 Ω	0,26	Ω	
	38	15,42 Ω	10,40 Ω	6,210794 Ω			
	39	15,84 Ω	10,67 Ω	6,376341 Ω			
	40	16,26 Ω	10,94 Ω	6,541834 Ω			
	v	I_v	U_v	u_{v,ist}	u_{v,max}	zulässig	Bewertung
Oberschwingungsanteile	2	348,21 A	167,43 V	1,67 %	2,00 %	0,800%	
	3	232,14 A	133,75 V	1,34 %	5,00 %	2,000%	
	4	174,10 A	76,00 V	0,76 %	1,00 %	0,400%	
	5	139,28 A	20,14 V	0,20 %	6,00 %	2,400%	verbessert
	6	116,07 A	67,04 V	0,67 %	0,50 %	0,200%	
	7	99,49 A	84,61 V	0,85 %	5,00 %	2,000%	verbessert
	8	87,05 A	93,57 V	0,94 %	0,50 %	0,200%	
	9	77,38 A	98,89 V	0,99 %	1,50 %	0,600%	
	10	69,64 A	102,34 V	1,02 %	2,50 %	1,000%	
	11	63,31 A	104,74 V	1,05 %	3,50 %	1,400%	verbessert
	12	58,03 A	106,47 V	1,06 %	2,13 %	0,850%	
	13	53,57 A	107,78 V	1,08 %	3,00 %	1,200%	verbessert
	14	49,74 A	108,78 V	1,09 %	1,86 %	0,743%	
	15	46,43 A	109,58 V	1,10 %	0,40 %	0,160%	
	16	43,53 A	110,21 V	1,10 %	1,66 %	0,663%	
	17	40,97 A	110,73 V	1,11 %	2,00 %	0,800%	verletzt
	18	38,69 A	111,17 V	1,11 %	1,50 %	0,600%	
	19	36,65 A	111,53 V	1,12 %	1,76 %	0,704%	verletzt
	20	34,82 A	111,83 V	1,12 %	1,38 %	0,550%	
	21	33,16 A	112,10 V	1,12 %	0,30 %	0,120%	
	22	31,66 A	112,32 V	1,12 %	1,27 %	0,509%	
	23	30,28 A	112,52 V	1,13 %	1,41 %	0,563%	verletzt
	24	29,02 A	112,69 V	1,13 %	1,19 %	0,475%	
	25	27,86 A	112,84 V	1,13 %	1,27 %	0,509%	verletzt
	26	26,79 A	112,97 V	1,13 %	1,12 %	0,446%	
	27	25,79 A	113,09 V	1,13 %	0,20 %	0,080%	
	28	24,87 A	113,19 V	1,13 %	1,05 %	0,421%	
	29	24,01 A	113,29 V	1,13 %	1,06 %	0,424%	verletzt
	30	23,21 A	113,37 V	1,13 %	1,00 %	0,400%	
	31	22,47 A	113,45 V	1,13 %	0,97 %	0,390%	verletzt
	32	21,76 A	113,52 V	1,14 %	0,95 %	0,381%	
	33	21,10 A	113,58 V	1,14 %	0,20 %	0,080%	
	34	20,48 A	113,64 V	1,14 %	0,91 %	0,365%	
	35	19,90 A	113,69 V	1,14 %	0,83 %	0,333%	verletzt
	36	19,34 A	113,74 V	1,14 %	0,88 %	0,350%	
	37	18,82 A	113,78 V	1,14 %	0,77 %	0,309%	verletzt
	38	18,33 A	113,82 V	1,14 %	0,84 %	0,337%	
	39	17,86 A	113,86 V	1,14 %	0,20 %	0,080%	
	40	17,41 A	113,90 V	1,14 %	0,81 %	0,325%	
			THD-U	3,63 %	8,00 %	3,200%	verletzt