

**Inhaltsverzeichnis**

Kapitel Nr.	Kapitel – Bezeichnung	Seitenzahl
1	Kreisförmige Leiterbewegung im Magnetfeld	6
2	Kreisförmig drehende Leiterschleufe im Magnetfeld	7
3	Frequenz, Polzahl und Wellenlänge	7
4	Bogenmass und Kreisfrequenz	8
5	Sinusförmige Wechselspannung / Wechselstrom (1. Teil)	9
6	Sinusförmige Wechselspannung / Wechselstrom (2. Teil)	10 – 11
7	Phasenverschiebungswinkel	11
8	Zeitlicher Verlauf von Wechselgrössen	12
9	Scheitelwert und Effektivwert	13
10	Arithmetischer Mittelwert und Gleichrichtwert	14
11	Formfaktor und Scheitelfaktor	15
12	Zusammenfassung der Wechselgrössen	16
13	Addition phasenverschobener Wechselgrössen	17
14	Wirkwiderstand im Wechselstromkreis	18
15	Idealer Kondensator im Wechselstromkreis	19 – 20
16	Ideale Spule im Wechselstromkreis	21 – 22
17	Leistung / Energie in einem Wirkwiderstand	23
18	Leistung / Energie in einem idealen Kondensator	24
19	Leistung / Energie in einer idealen Spule	25
20	Reihenschaltung von idealen Kapazitäten	26
21	Parallelschaltung von idealen Kapazitäten	27
22	Gemischte Schaltung von idealen Kapazitäten	28
23	Reihenschaltung von idealen Induktivitäten	29
24	Parallelschaltung von idealen Induktivitäten	30
25	Gemischte Schaltung von idealen Induktivitäten	31
26	Reihenschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (1. Teil)	32
27	Reihenschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (2. Teil)	33 – 34
28	Reihenschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (1. Teil)	35
29	Reale Spule im Wechselstromkreis	36
	Reihenschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (2. Teil)	
30	Reihenschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (3. Teil)	37 – 39
31	Parallelschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (1. Teil)	40
32	Realer Kondensator im Wechselstromkreis	41
	Parallelschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (2. Teil)	
33	Parallelschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (3. Teil)	42 – 45
34	Parallelschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (1. Teil)	45 – 46
35	Motor im Wechselstromkreis	47 – 48
	Parallelschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (2. Teil)	
36	Parallelschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (3. Teil)	49 – 50

**Inhaltsverzeichnis**

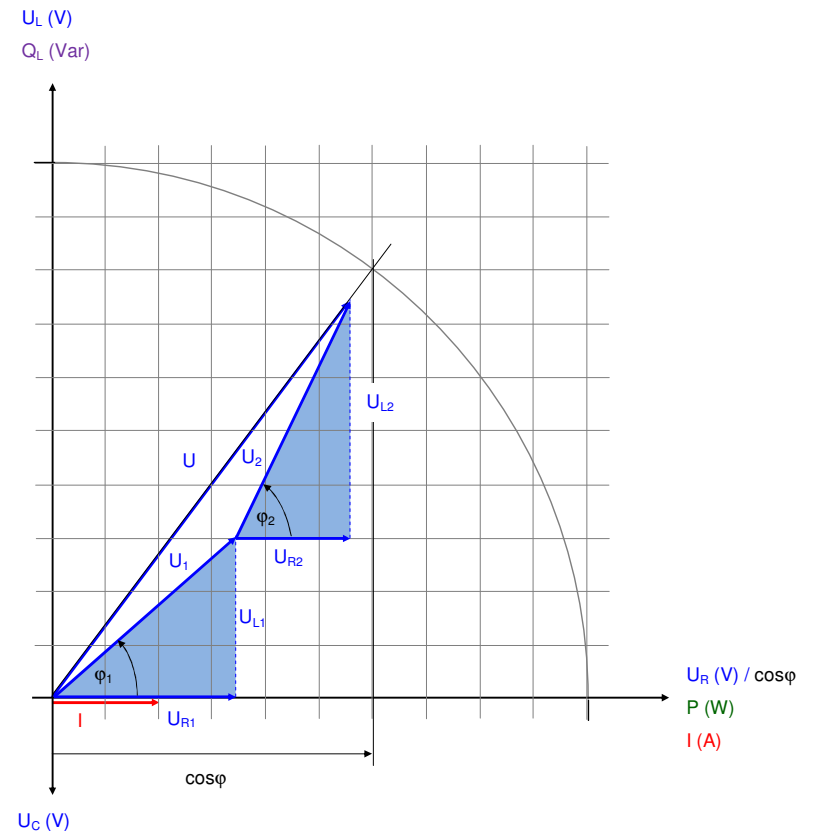
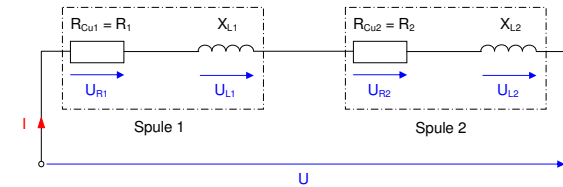
Kapitel Nr.	Kapitel – Bezeichnung	Seitenzahl
37	Reihenschaltung aus R, $X_L$ und $X_C$	51 – 52
38	Parallelschaltung aus R, $X_L$ und $X_C$	52 – 53
39	Gemischte Schaltung aus R und $X_C$	54 – 56
40	Gemischte Schaltung aus R und $X_L$	57
41	Gemischte Schaltung aus $X_C$ und $X_L$	58
42	Gemischte Schaltung aus R, $X_L$ und $X_C$	59
43	Elektrische Schwingkreise	60
44	Reihen- oder Spannungsresonanz	61
45	Parallel- oder Stromresonanz	62 – 63
46	Frequenzglieder: Tiefpassschaltung	64
47	Frequenzglieder: Hochpassschaltung	65
48	Frequenzglieder: Bandpässe und Bandsperrn	66
49	Integrier- und Differenzierschaltungen	66
50	Blindleistungskompensation bei Wechselstromverbrauchern	67
51	Ermitteln der Kompensationsblindleistung mit dem Einheitskreis	68 – 74
52	Grundschiwingung und Oberschwingungen	75
53	Netzspannungs – Oberschwingungen	76
54	Leistungen in Netzen mit Stromoberwellen	77
55	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	78
56	Leistung bei Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	79
57	Sternschaltung mit symmetrischer Last	80
58	Sternschaltung mit unsymmetrischer Last (wird auch asymmetrisch genannt)	81
59	Dreieckschaltung mit symmetrischer Last	82
60	Dreieckschaltung mit unsymmetrischer Last (wird auch asymmetrisch genannt)	83 – 84
61	Vierleiter – Drehstromnetz mit gemischter Last	85
62	Sternschaltung mit Neutralleiterunterbruch	85 – 86
63	Leistung symmetrischer Drehstromverbraucher mit Störungen	87
64	Drehstromasynchronmotoren im Drehstromnetz	88
65	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz (Einzelkompensation)	89
66	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz (Gruppenkompensation)	90
67	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz (Zentralkompensation)	91
68	Oberschwingungen im Vierleiter – Drehstromnetz	92
69	Spannungsfall bei unverzweigten Leitungen (ohmsche Last an 230V)	92
70	Spannungsfall bei unverzweigten Leitungen (Last mit $\cos\varphi < 1$ an 230V)	93 – 94
71	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (ohmsche Last an 230V)	94
72	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (Last mit $\cos\varphi < 1$ an 230V)	95

**Inhaltsverzeichnis**

Kapitel Nr.	Kapitel – Bezeichnung	Seitenzahl
73	Spannungsfall im Drehstromnetz (ohmsche Last am Drehstromnetz)	96
74	Spannungsfall im Drehstromnetz (Last mit $\cos\varphi < 1$ am Drehstromnetz)	97
75	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (ohmsche Last am Drehstromnetz)	97
76	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (Last mit $\cos\varphi < 1$ am Drehstromnetz)	98 – 99
77	Einphasentransformator: Funktionsweise	100 – 101
78	Einphasentransformator: Spannungs-/ Strom-/ Widerstandsübersetzung	101
79	Einphasentransformator: Betrachtung im Belastungsfall	102
80	Einphasentransformator: Kurzschlussspannung	103
81	Einphasentransformator: Dauer- und Stosskurzschlussstrom	103
82	Einphasentransformator: Verluste im Leerlauf und im Belastungsfall	104
83	Einphasen- und Drehstromtransformator: Wirkungsgrad	104
84	Drehstromtransformator: Übersetzung	105
85	Drehstromtransformator: Bemessung von Transformatoren	105
86	Drehstromtransformator: Parallelschalten von Transformatoren	106
87	Kurzschlussstromberechnung in Niederspannungsnetze (1. Teil)	107
88	Kurzschlussstromberechnung in Niederspannungsnetze (2. Teil)	108
89	Nachweis thermischer Kurzschlussfestigkeit	108
90	Licht (Wellen- und Quantentheorie)	109
91	Lichtstrom, Lichtmenge und Lichtausbeute	110
92	Raumwinkel und Lichtstärke	110
93	Beleuchtungsstärke	111
94	Raumwirkungsgrad	111
95	Leuchten-, Leuchtenbetriebs- und Beleuchtungswirkungsgrad	112
96	Dimensionierung von Beleuchtungsanlagen	113
	Zusammenfassung Dreiphasenwechselstrom $\Rightarrow$ Sternschaltung	114
	Zusammenfassung Dreiphasenwechselstrom $\Rightarrow$ Dreieckschaltung	115

30.17  $P_{\text{Spule}} = 137.5\text{W}$      $P_{\text{einzel}} = 83.89\text{W}$      $P = 221.389\text{W}$      $Q_L = 225.86\text{Var}$   
 $S = 316.27\text{VA}$

$\Rightarrow$  Die Aufgaben lassen sich i.d.R. auch zeichnerisch lösen. Dazu eignet sich der Einheitskreis sehr gut!  
 (Siehe Kapitel 51)



**55 DREIPHASENWECHSELSTROM (DREHSTROM)**

Nr. Aufgabe

55.1 a)  $\vec{U}_{12} + \vec{U}_{2N} - \vec{U}_{1N} = 0V$     c)

$\vec{U}_{23} + \vec{U}_{3N} - \vec{U}_{2N} = 0V$

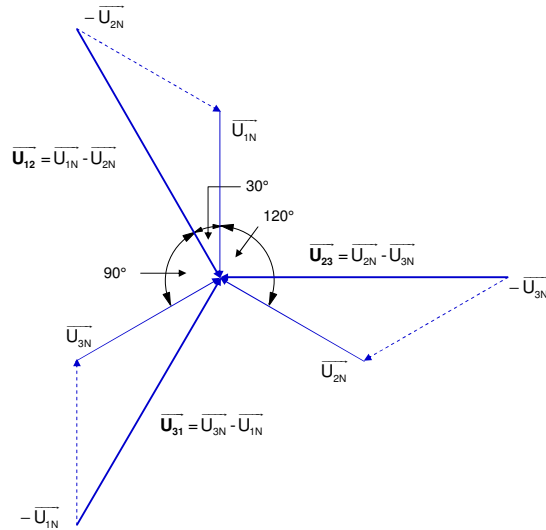
$\vec{U}_{31} + \vec{U}_{1N} - \vec{U}_{3N} = 0V$

b)  $\vec{U}_{12} = \vec{U}_{1N} - \vec{U}_{2N}$

$\vec{U}_{23} = \vec{U}_{2N} - \vec{U}_{3N}$

$\vec{U}_{31} = \vec{U}_{3N} - \vec{U}_{1N}$

d)  $\sqrt{3}$



55.2 a)  $\vec{I}_1 + \vec{I}_{31} - \vec{I}_{12} = 0A$

$\vec{I}_2 + \vec{I}_{12} - \vec{I}_{23} = 0A$

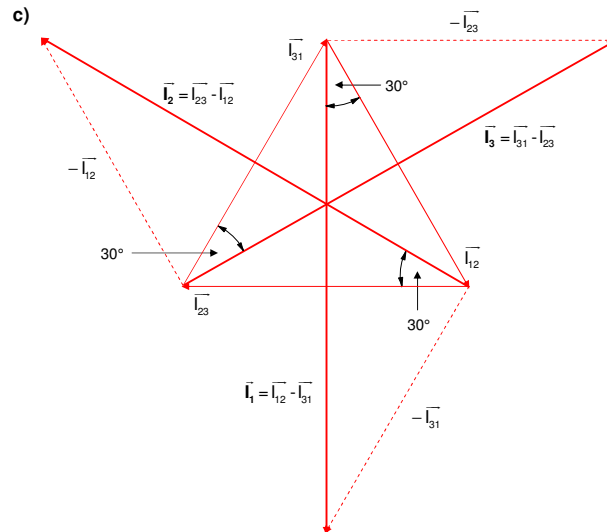
$\vec{I}_3 + \vec{I}_{23} - \vec{I}_{31} = 0A$

b)  $\vec{I}_1 = \vec{I}_{12} - \vec{I}_{31}$

$\vec{I}_2 = \vec{I}_{23} - \vec{I}_{12}$

$\vec{I}_3 = \vec{I}_{31} - \vec{I}_{23}$

d)  $\sqrt{3}$



55.3 a)  $n = 1'500U/min.$

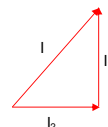
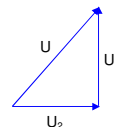
b)  $\varphi = 45^\circ$

c)  $U = 216.333V$

d)  $I_1 = 12A$

$I_2 = 18A$

$I = 21.633A$



76.6 a) $\Delta U_A = 1.716V$	$\Delta U_A\% = 0.429\%$	$\Delta U_B = 4.725V$	$\Delta U_B\% = 1.18\%$
$\Delta U_C = 3.059V$	$\Delta U_C\% = 0.765\%$	$\Delta U_D = 2.194V$	$\Delta U_D\% = 0.549\%$
$\Delta U_E = 2.56V$	$\Delta U_E\% = 0.639\%$	$\Delta U_F = 9.448V$	$\Delta U_F\% = 2.362\%$
$\Delta U_G = 2.352V$	$\Delta U_G\% = 0.588\%$	$\Delta U_H = 2.887V$	$\Delta U_H\% = 0.722\%$
$\Delta U_I = 8.805V$	$\Delta U_I\% = 2.2\%$	$\Delta U_J = 3.719V$	$\Delta U_J\% = 0.929\%$

b) $UV - 01: U = 398.284V$	$U_G: U = 395.454V$
$U_B: U = 393.559V$	$UV - 03: U = 388.358V$
$U_C: U = 395.225V$	$U_H: U = 385.471V$
$UV - 02: U = 397.806V$	$U_I: U = 379.553V$
$U_E: U = 395.247V$	$U_J: U = 384.64V$

c) $P_{VA} = 428.085W$	$P_{VA}\% = 0.808\%$	$P_{VB} = 383.21W$	$P_{VB}\% = 2.555\%$
$P_{VC} = 516.63W$	$P_{VC}\% = 1.36\%$	$P_{VD} = 1'428.418W$	$P_{VD}\% = 0.807\%$
$P_{VE} = 648.843W$	$P_{VE}\% = 0.865\%$	$P_{VF} = 2'213.94W$	$P_{VF}\% = 3.689\%$
$P_{VG} = 385.873W$	$P_{VG}\% = 0.918\%$	$P_{VH} = 86.62W$	$P_{VH}\% = 0.722\%$
$P_{VI} = 1'188.893W$	$P_{VI}\% = 4.246\%$	$P_{VJ} = 269.903W$	$P_{VJ}\% = 1.349\%$
$P_{VTotal} = 7'550.415W$	$P_{VTotal}\% = 3.283\%$		

d) Leitungsabschnitt für  $I_B \rightarrow$  neuer Querschnitt  $A = 5 \times 16mm^2 \rightarrow P_V = 239.5W$  (1.597%)

Leitungsabschnitt für  $I_F \rightarrow$  neuer Querschnitt  $A = 5 \times 95mm^2 \rightarrow P_V = 1'165.23W$  (1.942%)

Leitungsabschnitt für  $I_I \rightarrow$  neuer Querschnitt  $A = 5 \times 35mm^2 \rightarrow P_V = 543.5W$  (1.94%)

$P_{VTotal} = 5'712.6W$      $P_{VTotal}\% = 2.484\%$

**Tipps für die Praxis:**

- Die Formeln beziehen sich auf eine Leitertemperatur von 20°C, was im Betriebsfall selten zutrifft.
- Der von der Norm empfohlene max. Spannungsfall von 4% bezieht sich nicht auf einzelne Leitungsabschnitte, sondern vom Anschlussüberstromunterbrecher bis zum Verbraucher.
- Die Norm empfiehlt einen max. Spannungsfall von 4% um den Betrieb der Verbraucher sicherzustellen. Aus ökologischer Sicht sollte jedoch den Leistungsverlust ebenfalls etwas Beachtung geschenkt werden. Geräte mit einem schlechten Leistungsfaktor weisen zwar einen niedrigen\* Spannungsfall auf, der Leistungsverlust kann dennoch erheblich sein.

- Beispiel: Geg.:  $I = 100A, \ell = 150m, \rho = 0.0175\Omega mm^2/m, A = 35mm^2, \cos\varphi_a = 1, \cos\varphi_b = 0.5$

Ges.:  $\Delta U, P_V, \Delta U\%, P_V\%$

$$\Delta U_{a)} = \frac{0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot \sqrt{3} \cdot 150m \cdot 100A \cdot 1}{35mm^2} = 13V / 3.247\%$$

$$\Delta U_{b)} = \frac{0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot \sqrt{3} \cdot 150m \cdot 100A \cdot 0.5}{35mm^2} = 6.5V / 1.624\%$$

$$P_{V(a)} = \frac{0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot 3 \cdot 150m \cdot (100A)^2}{35mm^2} = 2'250W / 3.247\%$$

$$P_{V(b)} = \frac{0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot 3 \cdot 150m \cdot (100A)^2}{35mm^2} = 2'250W / 6.495\%$$

\* Der tatsächliche Spannungsfall ist zwar gleich gross wie bei einem Verbraucher mit einem  $\cos\varphi = 1$ , aufgrund der Phasenverschiebung aber nicht phasengleich mit der Betriebsspannung.

76.7 a) $\Delta U_{Total} = 13.934V$	$\Delta U_{Total}\% = 3.484\%$	$P_{VTotal} = 4'399.67W$	$P_{VTotal}\% = 7.33\%$
b) $\Delta U_{Total} = 20.901V$	$\Delta U_{Total}\% = 5.22\%$	$P_{VTotal} = 4'399.67W$	$P_{VTotal}\% = 4.89\%$