

Inhaltsverzeichnis

Kapitel Nr.	Kapitel – Bezeichnung	Seitenzahl
1	Kreisförmige Leiterbewegung im Magnetfeld	6 – 7
2	Kreisförmig drehende Leiterschleife im Magnetfeld	8 – 9
3	Frequenz, Polzahl und Wellenlänge	10 – 11
4	Bogenmass und Kreisfrequenz	12 – 13
5	Sinusförmige Wechselspannung / Wechselstrom (1. Teil)	14 – 15
6	Sinusförmige Wechselspannung / Wechselstrom (2. Teil)	16 – 17
7	Phasenverschiebungswinkel	18 – 19
8	Zeitlicher Verlauf von Wechselgrössen	20 – 21
9	Scheitelwert und Effektivwert	22 – 24
10	Arithmetischer Mittelwert und Gleichrichtwert	25 – 26
11	Formfaktor und Scheitelfaktor	27 – 28
12	Zusammenfassung der Wechselgrössen	29 – 30
13	Addition phasenverschobener Wechselgrössen	31 – 32
14	Wirkwiderstand im Wechselstromkreis	33 – 34
15	Idealer Kondensator im Wechselstromkreis	35 – 36
16	Ideale Spule im Wechselstromkreis	37 – 38
17	Leistung / Energie in einem Wirkwiderstand	39 – 40
18	Leistung / Energie in einem idealen Kondensator	41 – 42
19	Leistung / Energie in einer idealen Spule	43 – 44
20	Reihenschaltung von idealen Kapazitäten	45 – 46
21	Parallelschaltung von idealen Kapazitäten	47 – 48
22	Gemischte Schaltung von idealen Kapazitäten	49 – 50
23	Reihenschaltung von idealen Induktivitäten	51 – 52
24	Parallelschaltung von idealen Induktivitäten	53 – 54
25	Gemischte Schaltung von idealen Induktivitäten	55 – 56
26	Reihenschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (1. Teil)	57 – 58
27	Reihenschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (2. Teil)	59 – 60
28	Reihenschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (1. Teil)	61 – 62
29	Reale Spule im Wechselstromkreis Reihenschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (2. Teil)	63 – 64
30	Reihenschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (3. Teil)	65 – 67
31	Parallelschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (1. Teil)	68 – 69
32	Realer Kondensator im Wechselstromkreis Parallelschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (2. Teil)	70 – 71
33	Parallelschaltung aus Wirk- und kapazitivem Blindwiderstand (3. Teil)	72 – 74
34	Parallelschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (1. Teil)	75 – 76
35	Motor im Wechselstromkreis Parallelschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (2. Teil)	77 – 78
36	Parallelschaltung aus Wirk- und induktivem Blindwiderstand (3. Teil)	79 – 81

Inhaltsverzeichnis

Kapitel Nr.	Kapitel – Bezeichnung	Seitenzahl
37	Reihenschaltung aus R, X_L und X_C	82 – 83
38	Parallelschaltung aus R, X_L und X_C	84 – 85
39	Gemischte Schaltung aus R und X_C	86 – 87
40	Gemischte Schaltung aus R und X_L	88 – 89
41	Gemischte Schaltung aus X_C und X_L	90 – 91
42	Gemischte Schaltung aus R, X_L und X_C	92 – 93
43	Elektrische Schwingkreise	94 – 95
44	Reihen- oder Spannungsresonanz	96 – 97
45	Parallel- oder Stromresonanz	98 – 99
46	Frequenzglieder: Tiefpassschaltung	100 – 101
47	Frequenzglieder: Hochpassschaltung	102 – 103
48	Frequenzglieder: Bandpässe und Bandsperren	104 – 105
49	Integrier- und Differenzierschaltungen	106 – 107
50	Blindleistungskompensation bei Wechselstromverbrauchern	108 – 109
51	Ermitteln der Kompensationsblindleistung mit dem Einheitskreis	110 – 111
52	Grundschwingung und Oberschwingungen	112 – 113
53	Netzspannungs – Oberschwingungen	114 – 115
54	Leistungen in Netzen mit Stromoberwellen	116 – 117
55	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	118 – 119
56	Leistung bei Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	120 – 121
57	Sternschaltung mit symmetrischer Last	122 – 124
58	Sternschaltung mit unsymmetrischer Last (wird auch asymmetrisch genannt)	125 – 127
59	Dreieckschaltung mit symmetrischer Last	128 – 130
60	Dreieckschaltung mit unsymmetrischer Last (wird auch asymmetrisch genannt)	131 – 133
61	Vierleiter – Drehstromnetz mit gemischter Last	134 – 136
62	Sternschaltung mit Neutralleiterunterbruch	137 – 139
63	Leistung symmetrischer Drehstromverbraucher mit Störungen	140 – 142
64	Drehstromasynchronmotoren im Drehstromnetz	143 – 145
65	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz (Einzelkompensation)	146 – 147
66	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz (Gruppenkompensation)	148 – 149
67	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz (Zentralkompensation)	150 – 152
68	Oberschwingungen im Vierleiter – Drehstromnetz	153 – 154
69	Spannungsfall bei unverzweigten Leitungen (ohmsche Last an 230V)	155 – 156
70	Spannungsfall bei unverzweigten Leitungen (Last mit $\cos\varphi < 1$ an 230V)	157 – 159
71	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (ohmsche Last an 230V)	160 – 162
72	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (Last mit $\cos\varphi < 1$ an 230V)	163 – 164

Inhaltsverzeichnis

Kapitel Nr. Kapitel – Bezeichnung

73	Spannungsfall im Drehstromnetz (ohmsche Last am Drehstromnetz)	165 – 166
74	Spannungsfall im Drehstromnetz (Last mit $\cos\varphi < 1$ am Drehstromnetz)	167 – 168
75	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (ohmsche Last am Drehstromnetz)	169 – 170
76	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen (Last mit $\cos\varphi < 1$ am Drehstromnetz)	171 – 173
77	Einphasentransformator: Funktionsweise	174 – 175
78	Einphasentransformator: Spannungs-/ Strom-/ Widerstandsübersetzung	176 – 177
79	Einphasentransformator: Betrachtung im Belastungsfall	178 – 179
80	Einphasentransformator: Kurzschlussspannung	180 – 181
81	Einphasentransformator: Dauer- und Stosskurzschlussstrom	182 – 183
82	Einphasentransformator: Verluste im Leerlauf und im Belastungsfall	184 – 185
83	Einphasen- und Drehstromtransformator: Wirkungsgrad	186 – 187
84	Drehstromtransformator: Übersetzung	188 – 189
85	Drehstromtransformator: Bemessung von Transformatoren	190 – 191
86	Drehstromtransformator: Parallelschalten von Transformatoren	192 – 193
87	Kurzschlussstromberechnung in Niederspannungsnetze (1. Teil)	194 – 195
88	Kurzschlussstromberechnung in Niederspannungsnetze (2. Teil)	196 – 198
89	Nachweis thermischer Kurzschlussfestigkeit	199 – 200
90	Licht (Wellen- und Quantentheorie)	201 – 202
91	Lichtstrom, Lichtmenge und Lichtausbeute	203 – 204
92	Raumwinkel und Lichtstärke	205 – 206
93	Beleuchtungsstärke	207 – 208
94	Raumwirkungsgrad	209 – 210
95	Leuchten-, Leuchtenbetriebs- und Beleuchtungswirkungsgrad	211 – 212
96	Dimensionierung von Beleuchtungsanlagen	213 – 215

Anhang 1 / 2	216
Anhang 3 / 4 / 5 / 6 / 7	217
Anhang 8	218
Anhang 9	219 – 224
Anhang 10 / 11	225
Anhang 12	226
Anhang 13	227 – 229
Anhang 14 / 15 / 16	230
Anhang 17	231
Anhang 18	231 – 233
Überstromunterbrecher DIAZED	234
Zuordnung Nennauslösestromstärke der ÜUB zu den Leiterquerschnitten	234
Literatur	235

Seitenzahl

59 DREIECKSCHALTUNG MIT SYMMETRISCHER LAST

Kleingeräte sind i.d.R. für den Anschluss an das 230V Netz konzipiert. Dies setzt jedoch voraus, dass das Niederspannungsnetz als Vierleiter – Drehstromnetz ausgeführt wird (Sternschaltung mit Neutralleiter). Weil im Normalfall die Generatoren und Transformatoren hochspannungsseitig symmetrisch belastet sind, wird das Hochspannungsnetz als Dreileiternetz ausgelegt. Es verfügt somit nicht über einen gemeinsamen Rückleiter (Neutralleiter). Ebenfalls stehen auch nicht zwei Betriebsspannungen zur Verfügung. Dafür teilt sich der Strom in den Generatorentwicklungen auf die einzelnen Stränge auf. Da dies symmetrisch erfolgt, ist der Strangstrom um den Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$ kleiner als der jeweilige Aussenleiterstrom.

Es gibt aber auch viele Geräte, die in Dreieckschaltung betrieben werden. Meist sind dies leistungsstarke Verbraucher wie z.B. Motoren oder Elektroheizungen von Wassererwärmern. Der Anschluss erfolgt in Dreieckschaltung an das Vierleiternetz.

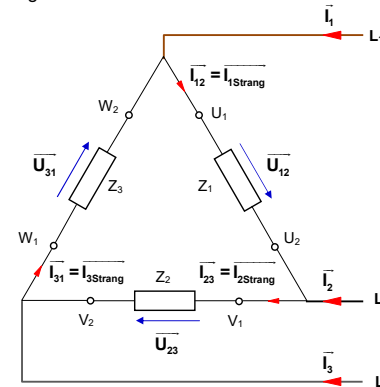


Bild 59.1 Verbraucher in Dreieckschaltung (symmetrische Last)

Beispiel (ohmsche Last)

$$\begin{aligned} \vec{I}_{12} = \frac{\vec{U}_{12}}{Z_{12}} &= \frac{400\text{V}}{40\Omega} = 10\text{A} \\ \vec{I}_{23} = \frac{\vec{U}_{23}}{Z_{23}} &= \frac{400\text{V}}{40\Omega} = 10\text{A} \\ \vec{I}_{31} = \frac{\vec{U}_{31}}{Z_{31}} &= \frac{400\text{V}}{40\Omega} = 10\text{A} \\ \vec{I}_1 = \vec{I}_{12} \cdot \sqrt{3} &= 10\text{A} \cdot \sqrt{3} = 17.32\text{A} \\ \vec{I}_2 = \vec{I}_{23} \cdot \sqrt{3} &= 10\text{A} \cdot \sqrt{3} = 17.32\text{A} \\ \vec{I}_3 = \vec{I}_{31} \cdot \sqrt{3} &= 10\text{A} \cdot \sqrt{3} = 17.32\text{A} \end{aligned}$$

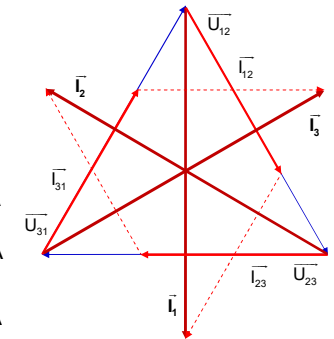


Bild 59.2 Vektorielle Addition der Strangströme zur Bestimmung der Aussenleiterströme.

Merke: Bei symmetrischer Belastung – unabhängig der Lastart (ohmsch / induktiv / kapazitiv) – sind die Aussenleiterströme um den Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$ grösser als die Strangströme. Auf eine grafische Lösung kann daher verzichtet werden.

Bild 59.2 zeigt eine Variante, wie die Aussenleiterströme dreieckgeschalteter Verbraucher grafisch ermittelt werden können. Aus Anhang 11 können Sie zudem das Vorgehen für ohmsch – induktive und rein kapazitive Lasten entnehmen.

Für die Aufgaben des vorliegenden Kapitels sind grafische Lösungen nicht von Nöten. Trotzdem möchte ich Ihnen eine zweite Variante zur Bestimmung der Aussenleiterströme aufzeigen. Eine dritte folgt sodann im nächsten Kapitel, wo es um unsymmetrisch belastete Dreieckschaltungen geht.

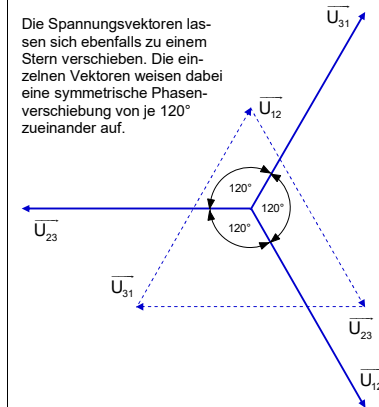
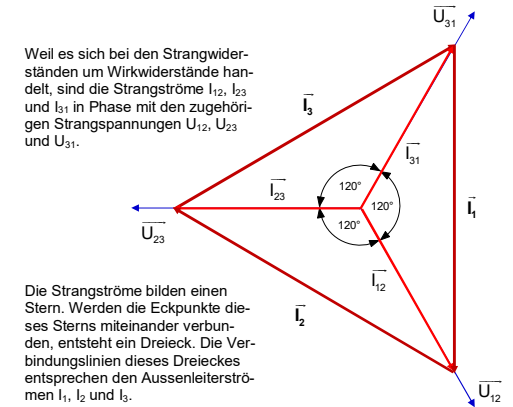


Bild 59.3 Anordnung der Strangspannungen zu einem Stern



Weil es sich bei den Strangwiderständen um Wirkwiderstände handelt, sind die Strangströme I_{12} , I_{23} und I_{31} in Phase mit den zugehörigen Strangspannungen U_{12} , U_{23} und U_{31} .

Die Strangströme bilden einen Stern. Werden die Eckpunkte dieses Sterns miteinander verbunden, entsteht ein Dreieck. Die Verbindungslinien dieses Dreiecks entsprechen den Aussenleiterströmen I_1 , I_2 und I_3 .

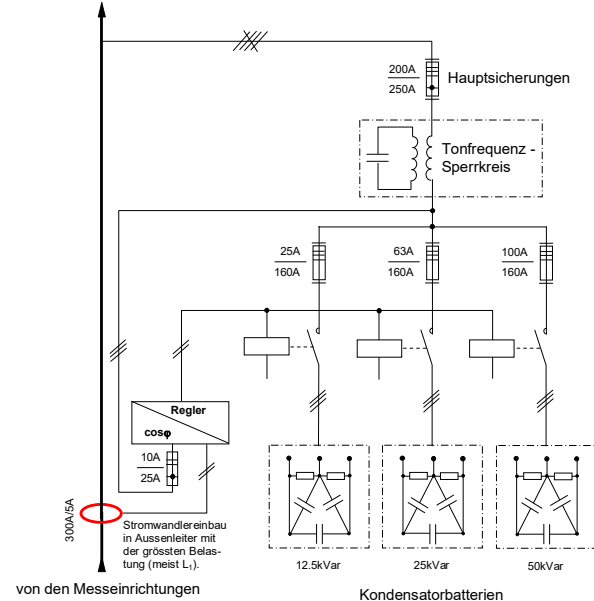
Bild 59.4 Vektorielle Addition der Strangströme (symmetrische Last)

67 BLINDLEISTUNGSKOMPENSATION IM DREHSTROMNETZ (ZENTRALE KOMPENSATION)

Bei grösseren Anlagen installiert man häufig eine **Zentralkompensationsanlage**. Der grosse Vorteil der Zentralkompensation liegt an der schaltbaren kapazitiven Blindleistung. Durch eine Blindleistungsregelung wird jeweils der momentan vorliegende Leistungsfaktor erfasst und durch Zuschalten der entsprechenden Kondensatorbatterien auf den voreingestellten $\cos\phi$ kompensiert. Die Kondensatorleistungen lassen sich dadurch viel besser ausnutzen und die Überwachung der Wirksamkeit ist ebenfalls viel einfacher. Auch kann durch die automatische Regelung die Anlage – meist ohne irgendwelche Zusatzaufwände – erweitert werden. Als Nachteil gilt sicherlich zu erwähnen, dass die Leitungen zu den induktiven Leistungsbezugern nicht kompensiert werden.

Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, eine gemischte Kompensation vorzunehmen. Dies sollte von Fall zu Fall beurteilt werden. Alle aufgeführten Varianten weisen Vorzüge aber auch Nachteile auf.

Zu den Verbrauchern



von den Messeinrichtungen
Bild 67.1 Prinzipschema einer Zentralkompensations – Anlage

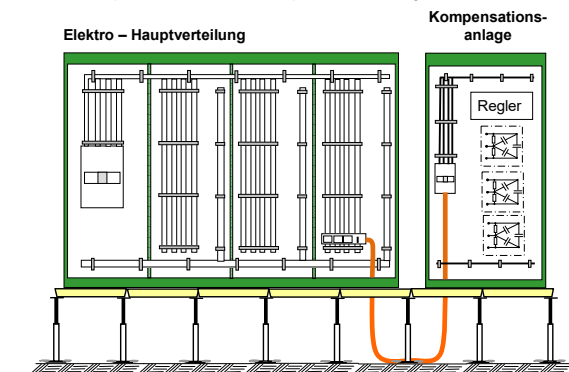


Bild 67.2 Anschluss der Kompensationsanlage an die Elektro – Hauptverteilung

mit transformatorischer Ankoppelung ein. Bei der Wahl der Verdrosselung (inkl. deren Frequenz) sollte auch auf die Vermeidung von Resonanzerscheinungen durch Oberschwingungen geachtet werden. Durch eine geschickte Wahl der Verdrosselung können nicht nur kritische Resonanz erhöhungen vermieden, sondern das Netz auch von Oberwellenströmen befreit werden, d.h. zur Verbesserung der Netzqualität beitragen.

Kurzer Beschrieb:

Die Kondensatorleistung muss dem jeweiligen Blindleistungsbedarf angepasst werden, weshalb die Kondensatorleistungen in mehrere Einheiten unterschiedlicher Grösse aufgeteilt werden. Ein Blindleistungsregler kann je nach Bedarf einzelne Stufen zu- oder abschalten, damit der gewünschte $\cos\phi$ eingehalten werden kann. Zudem verhindert der Regler eine Überkompensation. Dies würde nämlich zu einer gefährlichen Spannungsüberhöhung führen.

Weil Kondensatoren hohe Einschaltströme hervorrufen, muss die Vorsicherung grösser gewählt werden als was aufgrund des eigentlichen Nennstromes notwendig wäre. Dafür sollten die Herstellervorgaben beachtet werden (meist $1.6 \dots 1.8 \cdot I_N$).

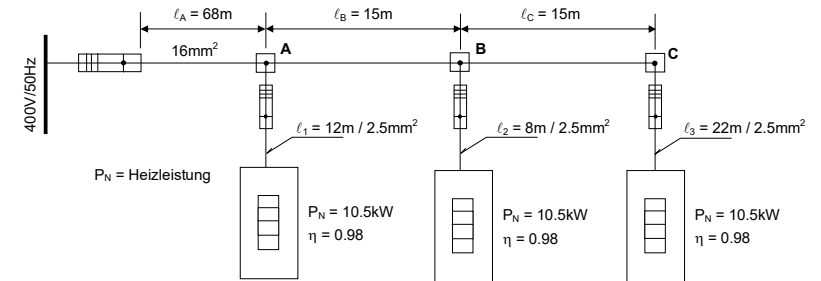
Bei der Auswahl von Schaltgeräten, Schutzeinrichtungen und Leitungen ist auf die zulässige Überlastmögklichkeit zu achten. Kondensatoren müssen unter den vorgegebenen Temperaturbedingungen dauernd den 1.3 – fachen Nennstrom führen können (z.B. durch Spannungs- und Frequenzerhöhungen sowie Oberschwingungen). Die Spannung darf dabei nicht mehr als das 1.1 – fache der Nennspannung betragen. Unter Berücksichtigung der zulässigen Kapazitätsabweichung von 10% und dem 1.3 – fachen des Nennstromes ergibt sich $(1.1 \cdot 1.3)$ ein 1.43 – facher Kondensatorbemessungsstrom.

Erfolgt der Einbau einer Kompensationsanlage in Netzen mit einer Tonfrequenz – Rundsteueranlage muss beachtet werden, dass die ausgesendeten Signale durch die Kondensatorbatterien nicht unzulässig reduziert oder erhöht werden. Dafür setzt man i.d.R. Sperrdrosseln, Sperrkreise mit Hilfskondensatoren oder Sperrkreise

75 SPANNUNGSFALL BEI VERZWEIGTEN LEITUNGEN (ohmsche Last am Drehstromnetz)

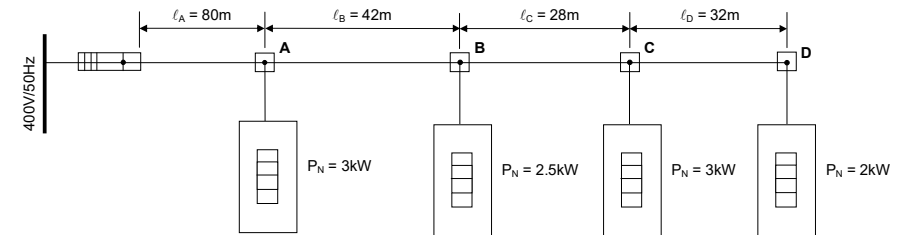
Nr. Aufgabe

75.1 In einer Jugendherberge sind für die Etageduschen auf jedem Stockwerk 10.5kW Durchlauferhitzer installiert. Die Absicherungen wurden im jeweiligen Korridor platziert.



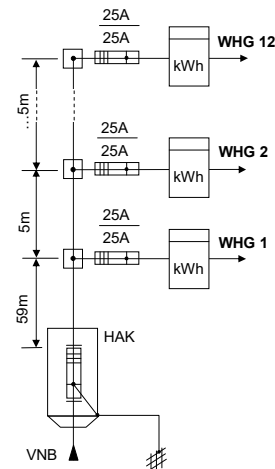
- a) Wie gross ist in der Hauptleitung der Spannungsfall in V und in %?
- b) Wie gross ist in der Hauptleitung der Leistungsverlust in W und in %?
- c) Welche Spannung ist jeweils an den Klemmen der Durchlauferhitzer messbar?

75.2 In einer Lagerhalle sollen drei Elektroheizungen gemäss Darstellung an das Drehstromnetz angeschlossen werden. Berechnen Sie:



- a) Den zu wählenden Querschnitt bei einem max. Spannungsfall von 6%.
- b) Den Spannungsfall, wenn ein Normquerschnitt grösser gewählt wird.
- c) Für Aufgabe a) und b) die Leistungsverluste in W und %.

75.3



In einem Mehrfamilienhaus befinden sich die Zählerplätze im Korridor, auf der Etage der jeweiligen Wohnungen. Der Hausanschlusskasten (HAK) ist im Keller.

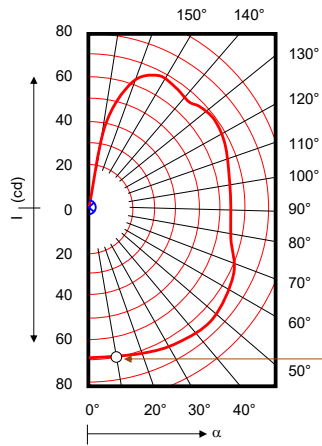
Aufgrund mangelhafter Isolation muss die Steigleitung ersetzt werden. Der AÜU soll für zukünftige Inst. ausreichen.

- a) Wie gross sollte der Anschlussüberstromunterbrecher (AÜU) bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0.25 sein?
- b) Welcher Leiterquerschnitt ist beim erwähnten Gleichzeitigkeitsfaktor zu wählen, damit der max. Spannungsfall in der Steigleitung 2% nicht überschreitet?
- c) Wie gross müsste der Anschlussüberstromunterbrecher und der Leiterquerschnitt sein, wenn kein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt wird?
- d) Am obersten Zähler wird eine Spannung von 394V gemessen. Welche Leistung wird im Durchschnitt je Wohnung bezogen, wenn der Querschnitt aus Aufgabe b) eingezogen wurde?

92 RAUMWINKEL UND LICHTSTÄRKE

Nr. Aufgabe

Info



In Herstellerkatalogen wird die Lichtstärke von Lampen resp. Lampen inkl. Leuchten mit Lichtstärke – Verteilkurven (LVK) dargestellt. Daraus lässt sich erkennen, welche Lichtstärke bei welcher Raumrichtung von der Leuchte zu erwarten ist. Zu beachten gilt, dass die Grafik sich immer auf einen Gesamtlichtstrom von **1'000lm** bezieht.

z.B. Lichtstärke einer 25W/400lm Glühlampe für den Ausstrahlungswinkel von 10°.

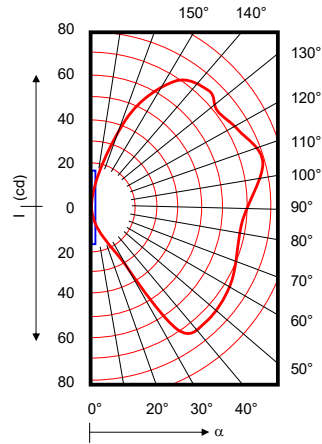
$$I_{10^\circ} = I_{LVK} \cdot \frac{\Phi}{1'000\text{lm}} = 68\text{cd} \cdot \frac{400\text{lm}}{1'000\text{lm}} = \mathbf{25.6\text{cd}}$$

$$I_\alpha = I_{LVK} \cdot \frac{\Phi}{1'000\text{lm}}$$

- I_α = Lichtstärke bei Ausstrahlungswinkel α
- I_{LVK} = Lichtstärke aus LVK bei α
- 1'000lm = Bezugsgrösse
- Φ = Lichtstrom der Lampe in lm

- 92.1** Wie gross sind die Lichtstärken gemäss der aufgeführten Lichtstärke – Verteilkurve der 25W Glühlampe für die Ausstrahlungswinkel 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° und 180°?
- 92.2** Sie stehen 10m distanziert vor einer Werbetafel mit den Abmessungen 6m auf 3.5m. Wie gross ist der Raumwinkel?
- 92.3** Ein Baustellenscheinwerfer ist mit einer 70W Halogen – Metaldampflampe bestückt. Der Lichtstrom beträgt 5'500lm und der Raumwinkel 0.157sr. Wie gross ist die Lichtstärke ohne Scheinwerfergehäuse (Annahme gleichmässige und allseitige Lichtverteilung) und mit Scheinwerfergehäuse?

92.4



Die dargestellte Lichtstärke – Verteilkurve gehört einer Leuchte mit einer 36W/3'350lm Leuchtstofflampe.

a) Ermitteln Sie die Lichtstärke für die Ausstrahlungswinkel 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° und 180°.

Die 36W Leuchtstofflampe wird ersetzt. Die neue Lampe hat noch einen Lichtstrom von 2'350lm.

- b) Ermitteln Sie erneut die Lichtstärke für die Ausstrahlungswinkel 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° und 180°.
- c) Bei welchem Ausstrahlungswinkel tritt die grösste Lichtstärke auf?
- d) Wie gross sind für die beiden Lampentypen die Lichtausbeute?

Damit ein Raum genügend ausgeleuchtet ist, muss von den Lampen ein Gesamtlichtstrom von 63'400lm abgestrahlt werden.

- e) Berechnen Sie je die Anzahl Lampen und die elektrische Aufnahmeleistung.

- 92.5** Die Lichtstärke einer Leuchte mit einem Lampenlichtstrom von 155lm beträgt 120cd. Wie gross ist der Raumwinkel?

Rechnungsbeispiel unsymmetrische Belastung in Sternschaltung

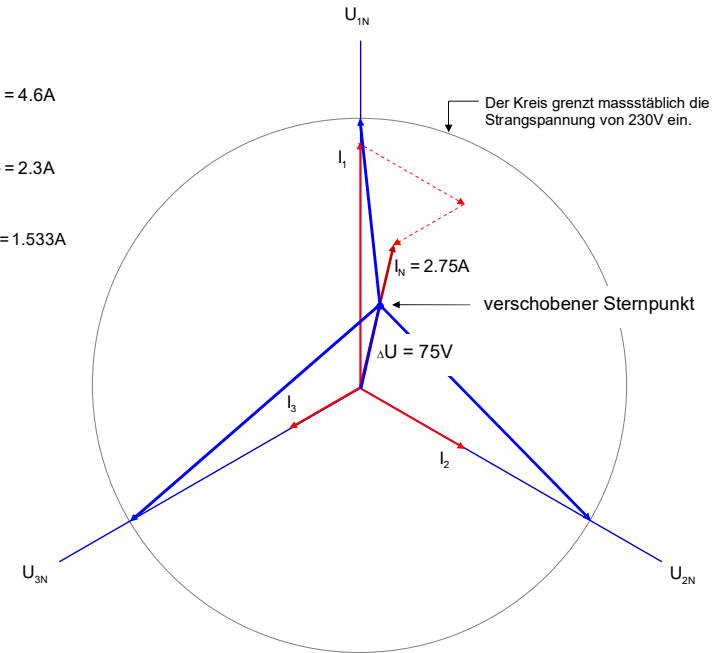
Gegeben: $R_1 = 50\Omega, R_2 = 100\Omega, R_3 = 150\Omega, U_{1N} = U_{2N} = U_{3N} = 230\text{V}/50\text{Hz}$

Gesucht: ΔU bei einem Neutralleiterunterbruch, $U'_{1N}, U'_{2N}, U'_{3N}, I'_{1N}, I'_{2N}, I'_{3N}$

$$I_1 = \frac{U_{1N}}{R_1} = \frac{230\text{V}}{50\Omega} = 4.6\text{A}$$

$$I_2 = \frac{U_{2N}}{R_2} = \frac{230\text{V}}{100\Omega} = 2.3\text{A}$$

$$I_3 = \frac{U_{3N}}{R_3} = \frac{230\text{V}}{150\Omega} = 1.533\text{A}$$



$$\Delta U = I_N \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)} = 2.75\text{A} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{50\Omega} + \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{150\Omega}\right)} = \mathbf{75\text{V}}$$

Die effektiven Spannungen an den Widerständen lassen sich aus der Grafik messen und mit dem entsprechenden Massstab umwandeln.

$$U'_{1N} = \mathbf{160\text{V}}$$

$$U'_{2N} = \mathbf{275\text{V}}$$

$$U'_{3N} = \mathbf{300\text{V}}$$

Die tatsächlich durch die einzelnen Widerstände fliessende Stromstärke kann nun ebenfalls berechnet werden.

$$I'_{1N} = \frac{U'_{1N}}{R_1} = \frac{160\text{V}}{50\Omega} = \mathbf{3.2\text{A}}$$

$$I'_{2N} = \frac{U'_{2N}}{R_2} = \frac{275\text{V}}{100\Omega} = \mathbf{2.75\text{A}}$$

$$I'_{3N} = \frac{U'_{3N}}{R_3} = \frac{300\text{V}}{150\Omega} = \mathbf{2.0\text{A}}$$