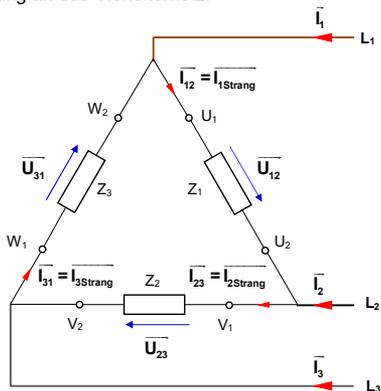


59 DREIECKSCHALTUNG MIT SYMMETRISCHER LAST

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 Generatorwicklungen 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.



Beispiel (ohmsche Last)

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

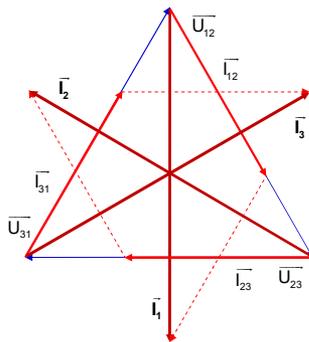


Bild 59.1 Verbraucher in Dreieckschaltung (symmetrische Last)

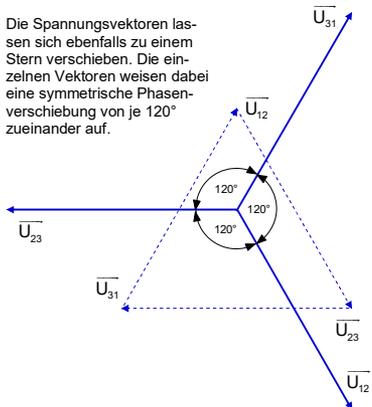
Bild 59.2 vektorielle Addition der Strangströme zur Bestimmung der Aussenleiterströme.

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.

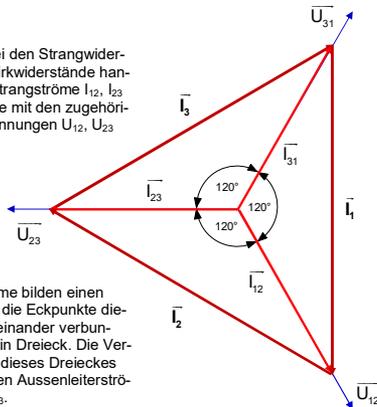
Bild 59.2 zeigt eine Variante, wie die Aussenleiterströme dreieckgeschalteter Verbraucher grafisch ermittelt werden können. Aus Anhang 11 können Sie zudem das Vorgehen für ohmsch – induktive und rein kapazitive Lasten entnehmen.

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.

Die Spannungsvektoren lassen sich ebenfalls zu einem Stern verschieben. Die einzelnen Vektoren weisen dabei eine symmetrische Phasenverschiebung von je 120° zueinander auf.



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 59.3 Anordnung der Strangspannungen zu einem Stern

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

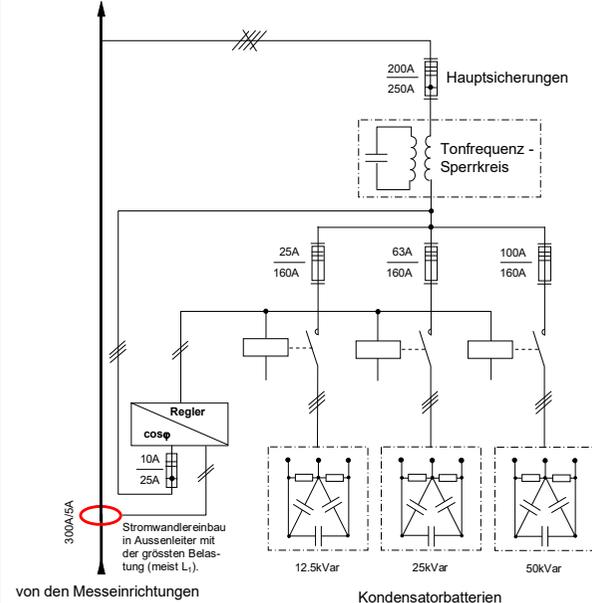


Bild 67.1 Prinzipschema einer Zentralkompensations – Anlage

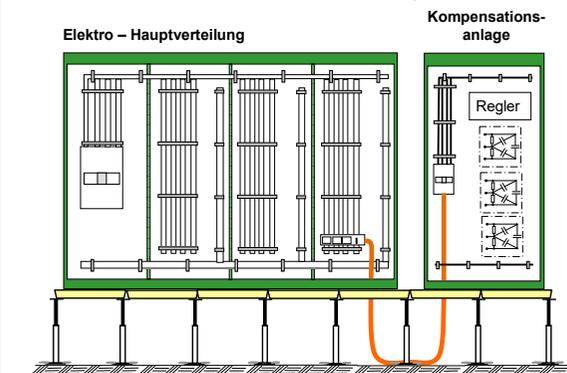


Bild 67.2 Anschluss der Kompensationsanlage an die Elektro – Hauptverteilung

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 $1.6 \dots 1.8 \cdot I_N$).

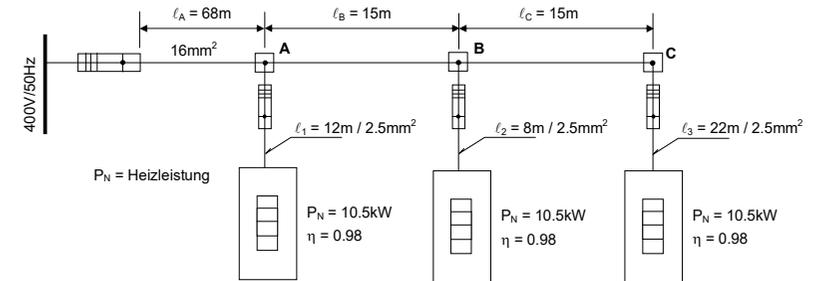
Bei der Auswahl von Schaltgeräten, Schutzeinrichtungen und Leitungen ist auf die zulässige Überlastmögklichkeit zu achten. Kondensatoren müssen unter den vorgegebenen Temperaturbedingungen dauernd den 1.3 – fachen Nennstrom führen können (z.B. durch Spannungs- und Frequenzerhöhungen sowie Oberschwingungen). 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)

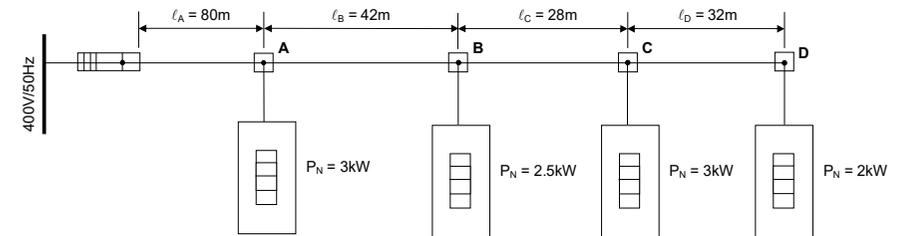
Nr. Aufgabe

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



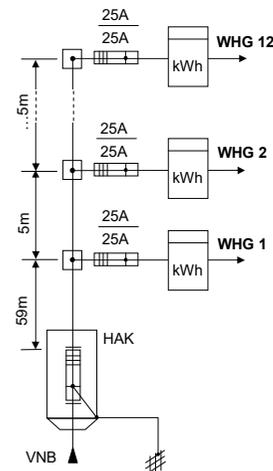
- a) Wie gross ist in der Hauptleitung der Spannungsfall in V und in %?
- b) Wie gross ist in der Hauptleitung der Leistungsverlust in W und in %?
- c) Welche Spannung ist jeweils an den Klemmen der Durchlauferhitzer messbar?

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.

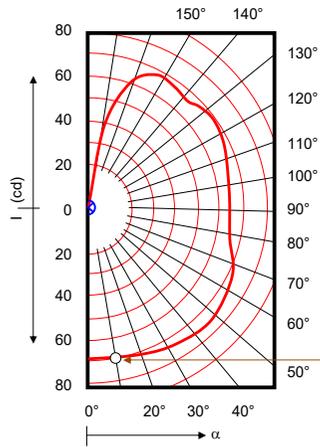
Aufgrund mangelhafter Isolation muss die Steigleitung ersetzt werden. Der AÜU soll für zukünftige Inst. ausreichen.

- 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°.

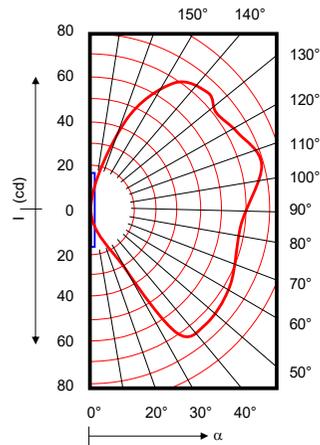
$$I_{10^\circ} = I_{LVK} \cdot \frac{\Phi}{1'000\text{lm}} = 68\text{cd} \cdot \frac{400\text{lm}}{1'000\text{lm}} = \mathbf{25.6\text{cd}}$$

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

- 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

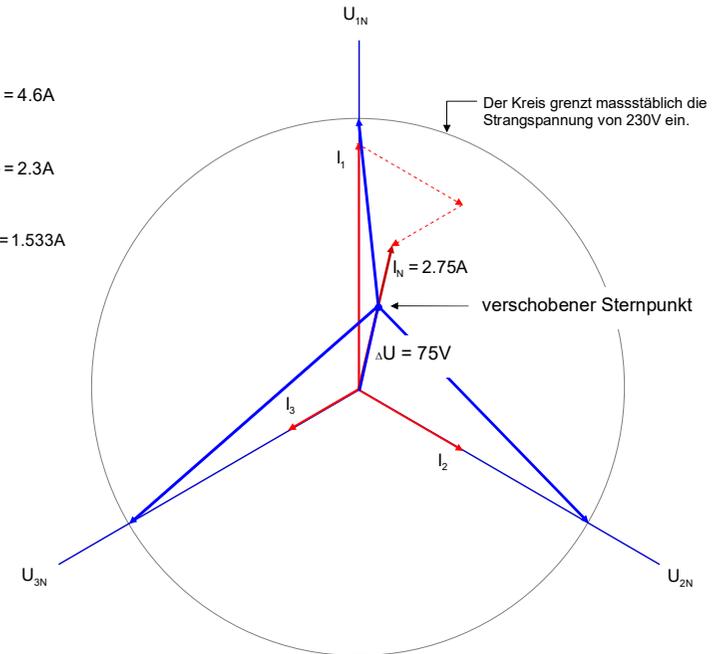
Gegeben: $R_1 = 50\Omega, R_2 = 100\Omega, R_3 = 150\Omega, U_{1N} = U_{2N} = U_{3N} = 230\text{V}/50\text{Hz}$

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

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

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

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



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

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.

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

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

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