GEBRAUCHSANWEISUNG

Präzisions-Lichtmarken-Leistungsmesser

Typen GLM 0,1 GLM 0,5
GLM 0,2 GLM 0,5 HO

H&B

HARTMANN & BRAUN AG · FRANKFURT / MAIN
MESS- UND REGELTECHNIK

INHALT

1. Anwendungsbereich 4

2. Beschreibung 5

3. Technische Daten des Leistungsmessers 5

4. Anschließen des Leistungsmessers 7
   4.1. Strompfad 7
   4.2. Spannungspfad 7

5. Vorbereitungen zur Messung 8
   5.1. Einstellen der Glühlampe 8
   5.2. Nullpunkt-Einstellung der Lichtmarke 8

6. Korrektur des Leistungsmesser-Eigenverbrauches 8

7. Messung bei Spannungen über 650 V 9

8. Wartung 10
   8.1. Auswechseln der Glühlampe 10
   8.2. Reinigen der Polwenderkontakte 10

9. Getrennte Vorwiderstände 10
   9.1.—9.5. Anwendungsbeispiele 12

10. Schaltbeispiele 15

Tabelle für den Skalenfaktor C

1. Anwendungsbereich

Die Präzisionslichtmarkenleistungsmesser ermöglichen Leistungsmessungen bei Gleich-, Einphasenwechsel- und Mischstrom sowie Wirk- und Blindleistungsmessungen nach der Ein-, Zwei- und Dreileistungsmessermethode bei Drehstrom.

Typ GLM 0,1 dient zu genauesten Leistungsmessungen in Laboratorien und Prüffeldern, außerdem zur Eichung von Präzisionszählern, die entweder zur Verrechnung großer Energiemengen oder als Eichzähler benutzt werden.

Typ GLM 0,2 eignet sich für genaue Leistungsmessungen in Laboratorien, Prüffeldern und Zähler-Eichstationen. Die kleinen Strombereiche (ab 25 mA Nennstrom) gestatten auch das Messen sehr kleiner Leistungen (von etwa 100 mW an).

Typ GLM 0,5 ist ein Spezialinstrument zum genauen Messen kleiner Leistungen bei kleinen Leistungsfaktoren, wie sie als Verluste von Kondensatoren oder Drosseln und bei Untersuchungen an Transformatoren oder Maschinen auftreten. Der Endausschlag der Lichtmarke wird bei Nennstrom und Nennspannung bereits beim Leistungsfaktor 0,1 erreicht.

Typ GLM 0,5 HO nimmt im hochohmigen Spannungspfad bei Nennspannung nur einen Strom von etwa 0,9 mA auf. Dadurch eignet er sich in besonderem Maße zu serienmäßigen Leistungsmessungen, insbesondere kleiner Leistungen, bei denen eine rechnerische Korrektur des Spannungspfad-Eigenverbrauchs im Interesse eines rationellen Arbeitsablaufes nicht vorgenommen werden kann.

Die Meßinstrumente sind zunächst ohne weiteres für die angegebenen Strom- und Spannungsbereiche verwendbar.

Bei größeren Wechselströmen werden die Instrumente in Verbindung mit Präzisions-Stromwandlern (vgl. Übersichtsblatt EU, insbesondere Typ Ti 53) und bei höheren Gleich- und Wechselspannungen in Verbindung mit getrennten Präzisions-Vorwiderständen benutzt. An höhere Wechselspannungen können die Lichtmarkenleistungsmesser auch über Präzisions-Spannungswandler angeschlossen werden. Für höhere Gleichströme können Instrumente mit den Bereichen 5 A oder 10 A zum Anschluß an Nebenwiderstände von 300 mV oder 600 mV abgeglichen werden.

Die von uns lieferbaren Vorwiderstände, die auch teilweise als Sternpunktwiderstände geschaltet werden können, entsprechen der Klasse 0,05 mit Ausnahme des umschaltbaren Vorwiderstandes, der der Klasse 0,1 genügt.

Bei der geringen Zahl von Lichtmarkenleistungsmessern, die auf besonderen Wunsch mit Schraubschaltern ausgestattet sind, ist bei geschlossenem Schraubschalter die Stromaufnahme des niedrigsten Spannungsbereichs bei Nennspannung 30 mA. Dadurch ist die Verwendung etwa vorhandener Vorwiderstände mit $33^1/_3$ Ω/V zur Erweiterung des niedrigsten Nennspannungsbereichs des Lichtmarkenleistungsmessers möglich. In allen übrigen Fällen können alle Nennspannungsbereiche der Lichtmarkenleistungsmesser mit Ausnahme des GLM 0,5 HO nur durch Vorschalten getrennter Vorwiderstände mit $66^2/_3$ Ω/V erweitert werden.

2. Beschreibung

Der Lichtmarkenleistungsmesser hat ein elektrodynamisches Meßwerk mit einer doppelten magnetischen Schirmung.

Die Schirmkappen bestehen aus einer hochpermeablen Legierung geringster Koerzitivfeldstärke, wodurch ein hochwertiger Schutz des Meßwerks auch gegen inhomogene Fremdfelder erreicht wird.

Das bewegliche Organ ist spannbandgelagert. Reibungsfehler sind somit ausgeschlossen. Das Instrument ist unempfindlich gegen Erschütterungen.

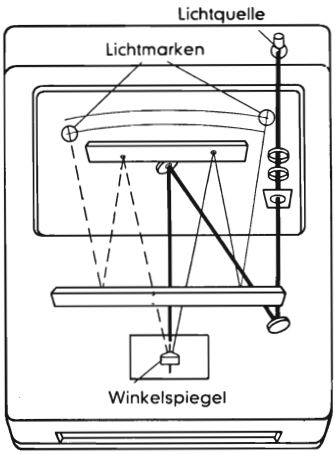


Bild 1 Lichtzeigerführung

Die kegelmantelförmige Skala ergibt an jeder Stelle verzeichnungsfreie Lichtmarken, deren große Helligkeit auch bei vollem Tageslicht eine gute Ablesbarkeit ermöglicht. Bei der Ausführung mit zweizeiliger Skala beträgt die Skalenlänge ca. 270 mm. Bei insgesamt 300 Skalenteilen bedeutet ein Zehntel Skalenteil ein Drittel Promille des Meßbereichendwerts. Diese große Ablesegenauigkeit ermöglicht eine gute Ausnutzung der hohen Anzeigegenauigkeit des Meßinstruments. Ein Irrtum bei der Ablesung ist ausgeschlossen, da eine Lichtmarke nur jeweils eine der beiden Skalenzeilen bestreicht. Die zweite Lichtmarke erscheint am Beginn der unteren Skalenzeile, wenn die erste das Ende der oberen Skalenzeile erreicht hat, ohne daß irgend eine Umschaltung vorgenommen werden muß.

3. Technische Daten des Leistungsmessers

Bezeichnung	GLM 0,1	GLM 0,2	GLM 0,5	GLM 0,5 HO	Einheit
Genauigkeitsklasse	0,1	0,2	0,5	0,5	
Leistungsfaktor für Endausschlag					
bei $U = U_N$ und $I = I_N$	1	1	0,1	1	
bei $U = U_{max}$ und $I = I_{max}$	0,125	0,125	0,0125	0,05	
Skalenlänge etwa	270	135	135	135	mm
Skalenausführung	zweizeilig	einzeilig	einzeilig	einzeilig	
Zeigerlänge	385	385	385	385	mm
Beruhigungszeit etwa	0,8	0,8	2,0	2,0	s
Nennfrequenz- und Frequenzeinflußbereich [1]	30...100...500	30...100...500	30...50..60...80	30...100...500	Hz
Prüfspannung (auch zwischen Strom- und Spannungspfad)	2	2	2	2	kV
Nennspannungsbereich und Spannungseinflußbereich	(0,5...0,8...1,6...2) · U_N			(0,5...0,8...1,6 ...5) · U_N	
Zulässiges Fremdfeld	5	5	1	5	mT
Strompfad					
Nennleistung	0,30	0,30	0,30	0,30	W
Nennscheinleistung bei 50 Hz	0,36	0,36	0,36	0,36	VA
cos β bei 50 Hz	0,83	0,83	0,83	0,83	
Dauerbelastbarkeit	4 I_N	4 I_N	4 I_N	4 I_N	
Spannungspfad					
Stromaufnahme bei Nennspannung	15,0	15,0	15,0	ca. 0,9	mA
Dauerbelastbarkeit	2 U_N	2 U_N	2 U_N	5 U_N	

Die Einflußfehler der Lichtmarken-Leistungsmesser beanspruchen die zulässigen Einflußfehlergrenzen nur zu einem Teil.

Fremdfeldeinflußtoleranz bei 5 (bzw.1) mT	±0,1	±0,2	(±0,5)	±0,5	% [2]

Frequenzfehler des GLM 0,1 bei 1000 Hz −0,1% [2]
Frequenzfehler des GLM 0,1 bei 2000 Hz −0,1% [2]
Leistungsfaktoreinfluß des GLM 0,1 bei 1000 Hz ±0,6% [2] [3]
Leistungsfaktoreinfluß des GLM 0,1 bei 2000 Hz ±1,3% [2] [3]

1) Die Anzeige liegt auch bei 16⅔ Hz in der Genauigkeitsklasse.
2) Bezogen auf Meßbereichendwert.
3) Das positive Vorzeichen gilt für eine induktive Phasenverschiebung von $\pi/2$ rad, das negative für eine kapazitive.

4. Anschließen des Leistungsmessers

Die zahlreichen Schaltbeispiele (Abschnitt 10) lassen die Anschlußmöglichkeiten des Lichtmarkenleistungsmessers erkennen und geben jeweils die günstigste Schaltung zur Wirk- und Blindleistungsmessung an.
Gemäß VDE 0410/10.59 § 17 sind die mit der Energiequelle zu verbindende Stromklemme und die mit dem Stromkreis zu verbindende Spannungsklemme mit einem Stern gekennzeichnet.

4.1. Strompfad

Bei Leistungsmessern mit **zwei** Strombereichen kann der Strompfad durch Anziehen der drei Klemmuttern mit dem beigegebenen Schraubenschlüssel kurzgeschlossen werden. Das Kurzschließen des Strompfades erfolgt zum Schutz des Lichtmarkenleistungsmessers, wenn die angegebene Dauer- oder die Stoßüberlastbarkeit nach VDE 0410/10.59 § 25 überschritten werden kann. Soll bei Geräten mit zwei Strombereichen der kleinere Bereich benutzt werden, so ist die mittlere Klemmutter fest anzuziehen und die beiden äußeren Klemmuttern müssen gelockert sein. Soll der größere der beiden Strombereiche benutzt werden, so sind die beiden äußeren

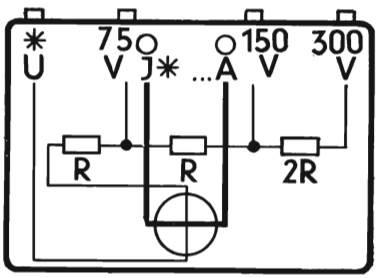


Bild 2 Innenschaltung des GLM

Klemmuttern fest anzuziehen und die mittlere Klemmutter ist zu lockern. Damit bei einer gelockerten Klemmutter keine Verbindung mehr zwischen der Klemmutter und der Klemmplatte besteht, ist darauf zu achten, daß die Klemmutter mindestens zwei volle Umdrehungen hochgeschraubt ist.

4.2. Spannungspfad

Der Spannungspfad des Lichtmarkenleistungsmessers nimmt mit Ausnahme des GLM 0,5 HO bei Nennspannung 15,0 mA auf. Bei Geräten mit Schraubschalter ist zur Vermeidung von Fehlmessungen darauf zu achten, daß der Schraubschalter links über dem Skalenfenster stets offen ist, das heißt, die Mutter muß gut zwei Umdrehungen hochgeschraubt sein. Nur wenn der kleinste Spannungsbereich des Gerätes mit Vorwiderständen von $33^1/_3\,\Omega/V$ erweitert werden soll, ist der Schraubschalter zu schließen.

Bei Geräten mit Polwender können in einfacher Weise positive und negative Ausschläge abgelesen werden. Die beiden Stellungen des Polwenders sind mit + und — gekennzeichnet. (Hierzu Abschnitt „Vorzeichenklärung" auf S. 15.)

5. Vorbereitung zur Messung

Die Beleuchtung der Lichtmarke erfolgt durch Anlegen von 6 V≃ an die beiden Buchsen, die in dem perforierten Blech auf der Instrumentenrückseite angebracht sind. Die Glühlampe nimmt 5 W auf. Ein entsprechender Transformator (200/6 Volt) ist lieferbar.

5.1. Einstellen der Glühlampe

Zur Erzielung gut ausgeleuchteter Lichtmarken muß die Glühwendel genau in die optische Achse gebracht werden. Zu diesem Zweck ist die Glühlampe auf- oder ab- und seitlich hin- oder herzubewegen, bis beide Lichtmarken voll ausgeleuchtet sind. Die Auf- und Abbewegung der Glühlampe erfolgt durch mehr oder weniger tiefes Einstecken des Kolbens, der die Glühlampe trägt, in den dafür vorgesehenen Tubus rechts hinter dem Skalenfenster. Die seitliche Hin- und Herbewegung geschieht durch Drehen am Hebel des Exzentertubus, in welchem der Lampenkolben steckt. Die besten Lichtmarken werden erzielt, wenn außerdem die Achse der Glühwendel senkrecht zur optischen Achse steht, das heißt, senkrecht zum Strahlengang, welcher schematisch im Bild 1 auf Seite 5 dargestellt ist.

5.2. Nullpunkt-Einstellung der Lichtmarke

Die Lichtmarke ist durch Drehen an der Nullpunktkorrektionsschraube im Deckel des Meßgerätes genau auf Null einzustellen. Zweckmäßig wird die Nullpunktkorrektionsschraube danach um einen Drehwinkel, der dem halben toten Gang der Schraube entspricht, zurückgedreht. Durch dieses Zurückdrehen wird vermieden, daß sich eventuelle kleine Materialspannungen (Verziehen des Preßstoffgehäuses) über die Nullpunktkorrektion in einer Verstellung der Lichtmarke auswirken.

6. Korrektur des Leistungsmesser-Eigenverbrauches

Bei allen elektrischen Leistungsmessungen unterscheidet sich die vom Leistungsmesser angezeigte Leistung von der zu messenden Leistung je nach Schaltung.
Es geht entweder der Eigenverbrauch des Strompfades oder des Spannungspfades in die Messung ein. Die folgenden Schaltungen (Bild 3a, b) zeigen die möglichen Fälle:

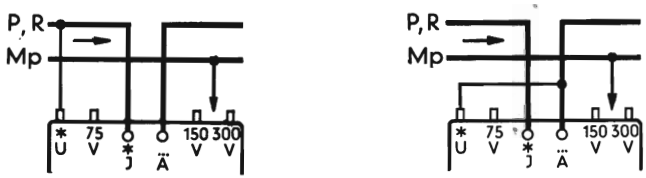


Bild 3a und **3b**

Ist der Spannungspfad vor dem Strompfad angeschlossen (Bild 3a), so ist

I) die von der Stromquelle bezogene Leistung P_Q gleich der vom Leistungsmesser angezeigten Leistung P_α plus dem Eigenverbrauch des Spannungspfades P_U

$$P_Q = P_\alpha + P_U$$

II) und somit die vom Verbraucher bezogene Leistung P_V gleich der vom Leistungsmesser angezeigten Leistung P_α minus dem Eigenverbrauch des Strompfades P_I

$$P_V = P_\alpha - P_I$$

Ist der Spannungspfad hinter dem Strompfad angeschlossen (Bild 3b), so ist

III) die von der Stromquelle bezogene Leistung P_Q gleich der vom Leistungsmesser angezeigten Leistung P_α plus dem Eigenverbrauch des Strompfades P_I

$$P_Q = P_\alpha + P_I$$

IV) und somit die vom Verbraucher bezogene Leistung P_V gleich der vom Leistungsmesser angezeigten Leistung P_α minus dem Eigenverbrauch des Spannungspfades P_U.

$$P_V = P_\alpha - P_U$$

Der Eigenverbrauch des Strompfades P_I errechnet sich zu:

$$P_I = I^2 \; R_I$$

wobei bedeutet:

I Strom im Strompfad;

R_I Widerstand des Strompfades (auf dem Leistungsmesser angegeben).

Der Eigenverbrauch des Spannungspfades P_U ergibt sich zu:

$$P_U = \frac{U^2}{R_U}$$

wobei bedeutet:

U Spannung am Spannungspfad;

R_U Widerstand des Spannungspfades (auf dem Leistungsmesser angegeben).

Die Vornahme der beschriebenen Korrektur wird erforderlich, sobald der Eigenverbrauch des Strompfades oder des Spannungspfades des Leistungsmessers mindestens die halbe Größe der Klassentoleranz des Gerätes erreicht.

7. Messung bei Spannungen über 650 V

Hochspannungsmessungen sollen nach Möglichkeit nur unter Benutzung von Strom- und Spannungswandlern vorgenommen werden, da durch diese die Hochspannung vom Meßgerät und besonders von dem Messenden ferngehalten wird.

Können aus irgendeinem Grunde Strom- und Spannungswandler nicht verwendet werden, z. B. bei Gleichstrommessungen, oder werden bei Wechselstrom nur Strom-, jedoch keine Spannungswandler oder nur Spannungs-, jedoch keine Stromwandler benutzt, so ist bei der Anbringung von etwaigen Erd- und Ausgleichsverbindungen zur Vermeidung von Kurzschlüssen und Überschlägen und auch wegen der Gefahr für das Meßgerät und den Messenden größte Vorsicht geboten!

Insbesondere ist darauf zu achten, daß zwischen den beiden mit einem Stern bezeichneten Klemmen des Leistungsmessers keine größere Spannung als 650 V auftritt. Die mit einem Stern versehene Spannungsklemme des Leistungsmessers muß also bei wandlerlosen Messungen in Anlagen mit Spannungen über 650 V unbedingt an die Leitung gelegt werden, die über den Strompfad des Leistungsmessers geführt wird.

Eine nicht mit einem Stern bezeichnete Spannungsklemme des Leistungsmessers wird dann mit dem Vorwiderstand verbunden (Schaltung 10.2.2 auf Seite 16).
Leitungsunterbrechungen müssen unbedingt vermieden werden, da sie in den meisten Fällen zu hohen Spannungen im Meßgerät führen. **Auch die Bedienung eines im Meßgerät eingebauten Polwenders führt zu einer kurzzeitigen Unterbrechung des Spannungspfades und darf daher nur bei abgeschalteter Spannung vorgenommen werden.**
Es müssen sowohl der Leistungsmesser als auch die Zubehörteile einschließlich Strom- und Spannungswandlern entsprechend der Größe der Hochspannung isoliert aufgestellt werden. Der Messende selbst muß Vorkehrungen treffen, daß er dabei nicht mit Teilen in Berührung kommt, die Hochspannung führen. Irgendwelche Handhabungen an den Geräten und am Meßstromkreis dürfen nur vorgenommen werden, wenn die Hochspannung vollkommen ausgeschaltet ist.

8. Wartung

8.1. Auswechseln der Glühlampe

Wenn eine Glühlampe defekt ist, so wird sie durch eine neue ersetzt, indem man den Kolben, der die Lampenfassung trägt, aus dem Tubus rechts oberhalb des Skalenfensters herauszieht, die Glühlampe (6 V, 5 W, Edisongewinde 10), wechselt und den Kolben wieder in den Tubus einsteckt. Danach wird die Lichtmarke gemäß Abschnitt 5.1 eingestellt. Es ist ratsam, stets eine Ersatzglühlampe bereit zu haben.

8.2. Reinigen der Polwenderkontakte

Der Knopf des Polwenders kann zum Reinigen der Kontakte abgeschraubt werden. Dadurch werden vier federnde Kontakte freigelegt. Durch Reinigen der Kontakte mit Petroleum und Aufbringen einer hauchdünnen Schicht Kontaktvaseline wird der Übergangswiderstand des Polwenders klein gehalten. Beim Wiederaufsetzen des Knopfes ist der kräftige Federdruck zu überwinden.

9. Getrennte Vorwiderstände

Die getrennten Präzisions-Vorwiderstände zu den GLM-Typen (nicht verwendbar für GLM 0,5 HO) enthalten, wie die Schaltbilder (4...7) zeigen, Kombinationen von R-Werten (1 R = 5 kΩ entsprechend 75 V). Da der Widerstand des Spannungspfades der zugehörigen Meßinstrumente ebenfalls 5 kΩ pro 75 V beträgt, lassen sich bei geeigneter Schaltung die in nachfolgender Tabelle zusammengestellten Nennspannungen erzielen. Innerhalb der angegebenen Grenzen können alle Zwischenwerte in Stufen von 75 V erreicht werden. Für Drehstrom werden die Vorwiderstände als Sternwiderstände verwendet, wobei das Instrument und die in ihm eingebauten Vorwiderstände zur Sternbildung mitverwendet werden.
Die Prüfspannung der Vorwiderstände richtet sich nach der maximal erreichbaren Spannung entsprechend den VDE-Vorschriften. Sofern 650 V Betriebsspannung überschritten wird, muß das Meßinstrument (Prüfspannung 2 kV) isoliert aufgestellt werden. Für seine Bedienung sind in diesen Fällen besondere Vorsichtsmaßnahmen erforderlich.
Für Wirk- und Blindleistungsmessungen bei beliebig belastetem Dreileiterdrehstrom steht ein auf vier Nennspannungen umschaltbarer Vorwiderstand zur Verfügung (siehe Bild 8).

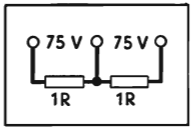


Bild 4 Zweistufen-Vorwiderstand

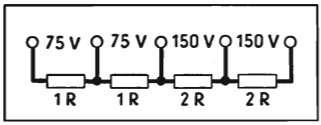


Bild 5 Vierstufen-Vorwiderstand

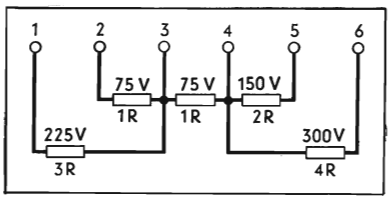


Bild 6 Mehrfach-Vorwiderstand

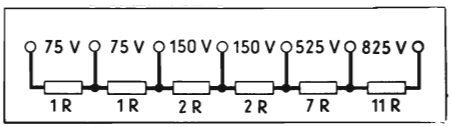


Bild 7 Sechsstufen-Vorwiderstand

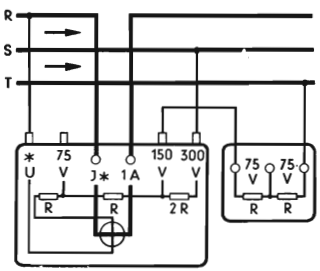
Bild 8 Umschaltbarer Vorwiderstand für Wirk- und Blindleistung

Getrennte Vorwiderstände (nicht verwendbar für GLM 0,5 HO) Klasse 0,05

Stromart	Erzielbare Nennspannungen an Instrumenten mit den Bereichen 150 V	75, 150 V	75, 150, 300 V	Wirkschaltbild
Gleich-,	225... 300 V	225... 300 V	225... 450 V	4
Einphasen-	225... 600 V	225... 600 V	225... 750 V	5
wechsel-	225... 750 V	225... 750 V	225... 900 V	6
oder Mischstrom	225...1950 V	225...1950 V	225...2100 V	7
	—	130 V	130, 260 V	4
Gleichbelasteter	260 V	130, 260 V	130, 260 V	5
Drehstrom	260, 390, 520 V	130, 260, 390, 520 V	130, 260, 390, 520 V	6
	260 V	130, 260 V	130, 260 V	7
Wirk- und Blindleistung bei beliebig belastetem Dreileiterdrehstrom	—	150, 300, 375, 525 V	150, 300, 375, 525 V	Bild 8 Klasse 0,1

Für jeden getrennten Vorwiderstand wird im folgenden ein typisches Anwendungsbeispiel gebracht. Anhand dieser Beispiele sind alle anderen Schaltungsmöglichkeiten leicht zu finden. Zur Ermittlung des geeigneten Spannungsbereiches geht man von der Spannung des zu messenden Netzes aus. Der zu wählende Spannungsbereich des Instrumentes mit dem getrennten Vorwiderstand zusammen sollte einer ersten Überlegung zufolge der Nennspannung des zu messenden Netzes möglichst nahe kommen. Wenn allerdings weitere Erwägungen eine Minderbelastung des Spannungspfades oder eine Ausnutzung der Überlastungsmöglichkeit angebracht erscheinen lassen, dann kann ohne weiteres der gewählte Spannungsbereich von Instrument plus getrenntem Vorwiderstand von der Nennspannung des zu messenden Netzes im Rahmen der zulässigen Grenze abweichen. Der Skalenfaktor C zur Leistungsberechnung hängt dabei in keinem Fall von der Nennspannung des zu messenden Netzes, sondern einzig und allein von dem eingestellten Spannungsbereich von Instrument plus getrenntem Vorwiderstand ab.

9.1. Beispiel für die Verwendung eines Zweistufen-Vorwiderstandes zusammen mit einem Instrument mit den Nennspannungen 75, 150 und 300 V zur Wirkleistungsmessung bei gleichbelastetem Drehstrom mit der Nennspannung 380 V



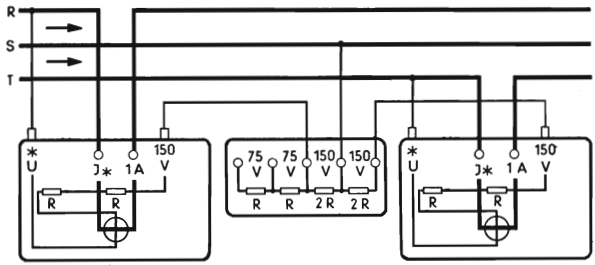
In der dargestellten Schaltung bildet die 150-V-Klemme des Instrumentes einen Sternpunkt. Die Leiter-Sternpunkt-Nennspannung beträgt für den eingestellten Bereich 150 V, die Leiternennspannung dementsprechend $\sqrt{3} \cdot 150 = 260$ V. Das Gerät wird in der angegebenen Schaltung infolge der Überlastung des Spannungspfades nur dann Ausschläge innerhalb der Skala zeigen, wenn der Wirkstrom kleiner als 68% des Nennstromes ist.

Bei Benutzung eines GLM 0,1 mit dem Strombereich 1 A beträgt die Leistung

$$P = 1{,}5 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}} \alpha$$

(vgl. Abschnitte 10.1 und 10.5 auf S. 15 und 18).

9.2. Beispiel für die Verwendung eines Vierstufen-Vorwiderstandes zusammen mit zwei Instrumenten mit der Nennspannung 150 V zur Wirkleistungsmessung nach der Zweileistungsmessermethode bei beliebig belastetem Dreileiterdrehstrom mit der Nennspannung 300 V

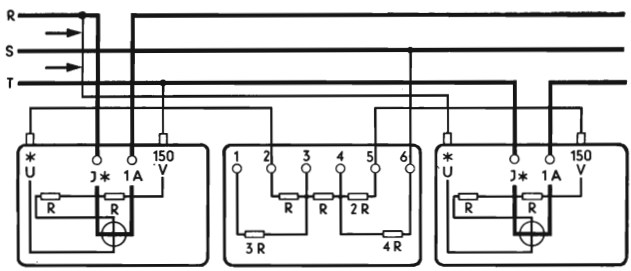


Bei Benutzung zweier GLM 0,2 mit den Strombereichen 1 A beträgt die Leistung

$$P = 2\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}}\,(\alpha_1 + \alpha_2)$$

(vgl. Abschnitte 10.1 und 10.7 auf S. 15 und 19).

9.3. Beispiel für die Verwendung eines Mehrfach-Vorwiderstandes zusammen mit zwei Instrumenten mit den Nennspannungen 150 V zur Blindleistungsmessung nach der Zweileistungsmessermethode bei beliebig belastetem Dreileiterdrehstrom mit der Nennspannung 500 V

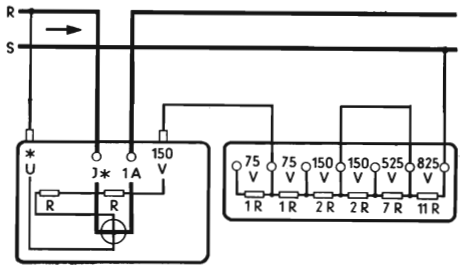


In der dargestellten Schaltung bildet die Klemme 4 des getrennten Vorwiderstandes einen Sternpunkt. Die Leiter-Sternpunkt-Nennspannung des eingestellten Spannungsbereichs beträgt 300 V, die Leiternennspannung dementsprechend $\sqrt{3} \cdot 300\ \mathrm{V} = 520\ \mathrm{V}$. Bei Benutzung zweier GLM 0,1 mit den Strombereichen 1 A ergibt sich die Blindleistung zu:

$$Q = \sqrt{3}\,\frac{\mathrm{var}}{\mathrm{Skt}}\,(\alpha_1 + \alpha_2)$$

(vgl. Abschnitte 10.1 und 10.7 auf S. 15 und 19).

9.4. Beispiel für die Verwendung eines Sechsstufen-Vorwiderstandes zusammen mit einem Instrument mit der Nennspannung 150 V zur Wirkleistungsmessung bei Einphasenwechselstrom mit der Nennspannung 1200 V

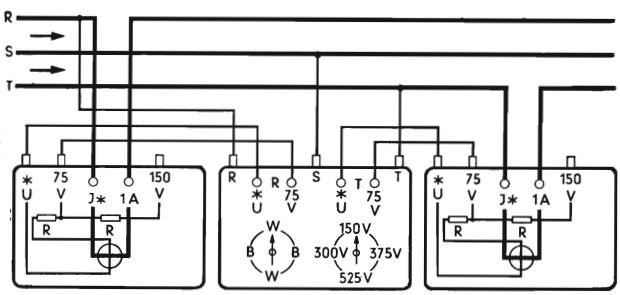


Bei Benutzung eines GLM 0,5 mit dem Strombereich 1 A ist die Wirkleistung

$$P = 0{,}8 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}} \alpha$$

(vgl. Abschnitte 10.1 und 10.2 auf S. 15 und 16).

9.5. Beispiel für die Verwendung eines umschaltbaren Vorwiderstandes (siehe Bild 8) zusammen mit zwei Instrumenten mit den Nennspannungen 75 V und 150 V zur Wirk- und Blindleistungsmessung nach der Zweileistungsmessermethode bei beliebig belastetem Dreileiterdrehstrom



Bei Benutzung zweier GLM 0,2 mit den Strombereichen 1 A ist die

Leistung $P = 1 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ und die Blindleistung $Q = 1 \frac{\mathrm{var}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ bei 150 V

Leistung $P = 2 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ und die Blindleistung $Q = 2 \frac{\mathrm{var}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ bei 300 V

Leistung $P = 2{,}5 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ und die Blindleistung $Q = 2{,}5 \frac{\mathrm{var}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ bei 375 V

Leistung $P = 3{,}5 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ und die Blindleistung $Q = 3{,}5 \frac{\mathrm{var}}{\mathrm{Skt}} (\alpha_1 + \alpha_2)$ bei 525 V

als eingeschaltetem Spannungsbereich.

10. Schaltbeispiele

10.1. Erläuterungen

10.1.1. Kurzbezeichnungen

P	Wirkleistung in W
Q	Blindleistung in var
α	Ablesung am Leistungsmesser in Skt (Skalenteilen)
C	Skalenfaktor in $\frac{\text{W}}{\text{Skt}}$ oder $\frac{\text{var}}{\text{Skt}}$; er kann anhängender Tabelle entnommen werden
U_{L}	Leiterspannung
U_{LM}	Leiter-Sternpunkt-Spannung
$\frac{U_{\text{N}}}{100\,\text{V}}$	Übersetzungsverhältnis eines Spannungswandlers mit 100 V sekundärer Nennspannung
$\frac{I_{\text{N}}}{5\,\text{A}}$	Übersetzungsverhältnis eines Stromwandlers mit 5 A sekundärem Nennstrom

10.1.2. Vorzeichenerklärung

Setzt man den Ausschlag α des Leistungsmessers mit dem sich bei der Messung ergebenden Vorzeichen in die angegebenen Formeln ein, so bedeutet ein positiver Wert für P den Bezug von Wirkleistung. Die Leistung wird dann also in Pfeilrichtung übertragen. Ein positiver Wert für Q bedeutet den Bezug induktiver Blindleistung.
Gemäß VDE 0410 wird dabei die Leistungsrichtung von der I^*-Klemme zur zweiten I-Klemme des Geräts oder von der K-Klemme zur L-Klemme des Stromwandlers als Bezug bezeichnet.
Negative Ausschläge eines Lichtmarkenleistungsmessers kann man ablesen, wenn man bei Geräten mit Polwender diesen auf Minus stellt, oder wenn man die beiden Zuführungen zu den Stromklemmen untereinander vertauscht. **Achtung: Leitung vorher stromlos machen!** Die Vertauschung der Anschlüsse an zwei Spannungsklemmen ist nicht ratsam, da hierdurch Potentialdifferenzen zwischen fester und beweglicher Spule auftreten.

10.1.3. Nennspannung

Die Größe des Widerstandes im Spannungspfad in R-Werten (1 R = 5000 Ω) stellt ein eindeutiges Kriterium zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in der Tabelle dar. Der Wert der Nennspannung ergibt sich, wenn man für 1 R jeweils 75 V ansetzt.

$$1\,\text{R} \triangleq 75\,\text{V}$$

10.1.4. Oberschwingungen

Die Wirkleistung wird bei jedem beliebigen Oberschwingungsgehalt von Strom und Spannung gemäß der Definitionsgleichung

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \ldots + U_n I_n \cos \varphi_n$$

richtig angezeigt.

In der Gleichung bedeuten:

U	Effektivwert der Spannung
U_n	Effektivwert der n-ten Harmonischen der Spannung
I	Effektivwert des Stromes
I_n	Effektivwert der n-ten Harmonischen des Stromes
n	Indexziffer, die die Ordnungszahl der jeweiligen Harmonischen angibt

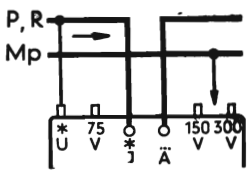
Die Blindleistung wird nur dann genau gemessen, wenn die Spannungen und die Ströme oberschwingungsfrei sind.

10.1.5. Frequenzabhängigkeit

Alle Schaltungen zur Messung der Wirkleistung liefern in dem Frequenzbereich, der auf dem Lichtmarkenleistungsmesser angegeben ist, richtige Meßergebnisse.
Alle angegebenen Schaltungen für Blindleistungsmessungen bei Drehstrom liefern frequenzunabhängige Meßergebnisse im Gegensatz zu Kunstschaltungen, wie sie im Einphasenwechselstrom zur Blindleistungsmessung erforderlich sind.

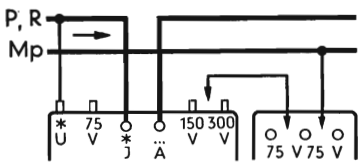
10.2. Gleichstrom und Einphasenwechselstrom

10.2.1. Messung ohne getrennten Vorwiderstand



$P = C\alpha$

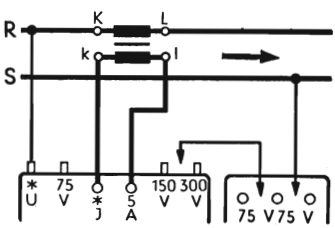
10.2.2. Messung mit getrenntem Vorwiderstand



$P = C\alpha$

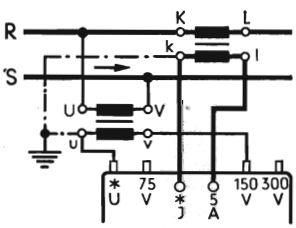
10.3. Einphasenwechselstrom, Wirkleistungsmessung

10.3.1. Messung mit Stromwandler und getrenntem Vorwiderstand



$$P = \frac{I_N}{5\,\mathrm{A}}\,C\alpha$$

10.3.2. Messung mit Strom- und Spannungswandler



$$P = \frac{I_N\,U_N}{5\,\mathrm{A}\cdot 100\,\mathrm{V}}\,C\alpha$$

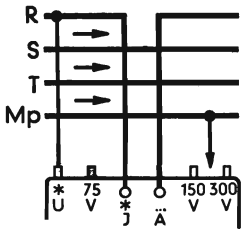
10.4. Gleichbelasteter Vierleiterdrehstrom, Wirkleistungsmessung

10.4.1. Messung ohne Zusatzgerät

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in anhängender Tabelle ist die Leiter-Sternpunkt-Nennspannung U_{LMN} maßgebend.

Die Ergebnisse von Messungen nach Schaltung 10.4.1. werden richtig, wenn das Drehstromsystem voraussetzungsgemäß gleichbelastet und außerdem symmetrisch ist, d. h. wenn $U_{RM} = U_{SM} = U_{TM} = U_{LM}$ und $U_{RS} = U_{ST} = U_{TR} = U_L$ ist.

$$P = 3\ C\alpha$$



10.4.2. Messung mit Strom- und Spannungswandler

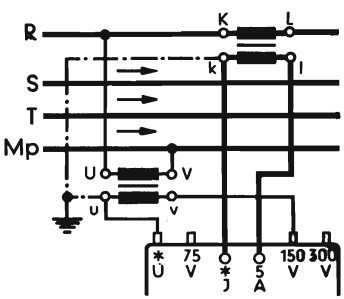
Der Skalenfaktor C ist in der 150-V-Spalte der anhängenden Tabelle verzeichnet.

Unter Ausnutzung der Überlastbarkeit des Spannungspfads kann zur Erzielung größerer Ausschläge der 75-V-Bereich des Lichtmarkenleistungsmessers an den Spannungswandler angeschlossen werden, wobei der Skalenfaktor C der 75-V-Spalte der Tabelle zu entnehmen ist.

Die Primärnennspannung U_N des Spannungswandlers soll zweckmäßig den Wert der Leiter-Sternpunktspannung U_{LM} des Netzes haben, da der Spannungswandler an U_{LM} liegt.

Auch bei der Schaltung 10.4.2 werden richtige Meßergebnisse nur erzielt, wenn das Drehstromsystem gleichbelastet und symmetrisch ist.

$$P = 3\,\frac{I_N\ U_N}{5\,A \cdot 100\,V}\ C\alpha$$

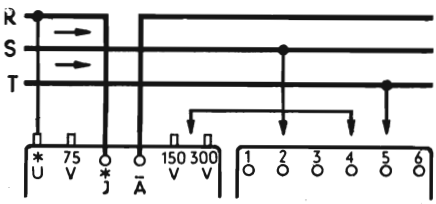


10.5. Gleichbelasteter Dreileiterdrehstrom, Wirkleistungsmessung

Messung mit getrenntem Sternpunktwiderstand

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in anhängender Tabelle ist die Leiter-Sternpunkt-Nennspannung U_{LMN} maßgebend. Liegen beispielsweise in jedem der drei Zweige des Sternpunktwiderstandes 2 R, so findet sich C in der Spalte unter 2 R (≙ 150 V) der Tabelle. Die Leiternennspannung ist in diesem Fall $U_{LN} = 260$ V.

Auch bei der Schaltung 10.5 werden nur richtige Ergebnisse erzielt, wenn das Drehstromsystem gleichbelastet und symmetrisch ist.



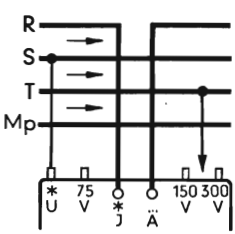
$$P = 3\ C\alpha$$

10.6. Gleichbelasteter Dreileiter- oder Vierleiterdrehstrom, Blindleistungsmessung

10.6.1. Messung ohne Zusatzgerät

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in der Tabelle ist die Leiternennspannung U_{LN} maßgebend.

Auch bei den Schaltungen 10.6.1 und 10.6.2 ist zur Erzielung richtiger Meßergebnisse die Symmetrie des Drehstromsystems Voraussetzung, da die Leiterspannung U_{ST} der Leiter-Sternpunkt-Spannung U_{RM} um $\frac{\pi}{2}$ rad nacheilen muß.

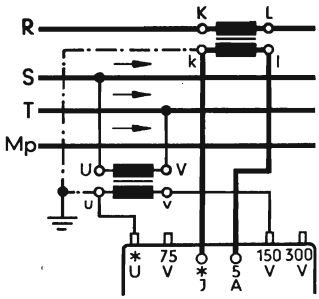


$$Q = \sqrt{3}\ C\alpha$$

10.6.2. Messung mit Strom- und Spannungswandler

Der Skalenfaktor C ist in der 150-V-Spalte der anhängenden Tabelle verzeichnet. Hierzu siehe auch Absatz 2 zu Schaltung 10.4.2 und Absatz 2 zu Schaltung 10.6.1.

$$Q = \sqrt{3}\,\frac{I_N \cdot U_N}{5\,\mathrm{A} \cdot 100\,\mathrm{V}}\ C\alpha$$



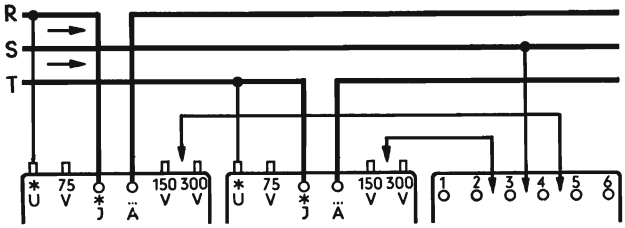
10.7. Beliebig belasteter Dreileiterdrehstrom, Wirkleistungsmessung nach der Zweileistungsmessermethode

10.7.1. Messung mit einem getrennten Vorwiderstand

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in anhängender Tabelle ist die Leiternennspannung U_{LN} maßgebend.

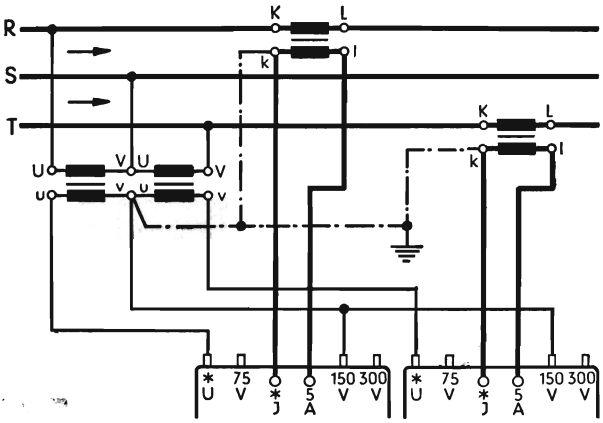
Bei der Zweileistungsmessermethode ist zu beachten, daß Messungen an einem Netz mit Erdschluß unsicher sind, da die Voraussetzung für die Zweileistungsmessermethode, daß die Summe der in den drei Leitern fließenden Ströme gleich Null sein muß, nicht mehr erfüllt ist. In diesem Fall liefert nur die Dreileistungsmessermethode richtige Meßergebnisse (Schaltbeispiele siehe 10.9.1 und 10.9.2).

$$P = C\,(\alpha_1 + \alpha_2)$$



10.7.2. Messung mit Strom- und Spannungswandlern in V-Schaltung

Der Skalenfaktor C ist in der 150-V-Spalte der anhängenden Tabelle verzeichnet.



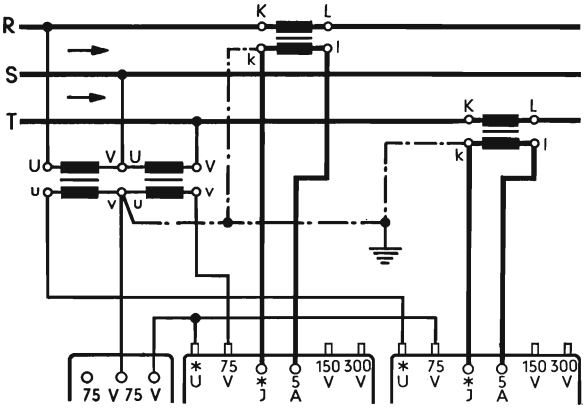
Hierzu siehe auch:
Absatz 2 zu Schaltung 10.4.2.
Absatz 2 zu Schaltung 10.7.1.

$$P = \frac{I_N \cdot U_N}{5\,A \cdot 100\,V} \; C\,(\alpha_1 + \alpha_2)$$

10.8. Beliebig belasteter Dreileiterdrehstrom, Blindleistungsmessung nach der Zweileistungsmessermethode

Messung mit Strom- und Spannungswandlern und einem getrennten Vorwiderstand

Den Skalenfaktor C dieser Schaltung findet man in der 75-V-Spalte der anhängenden Tabelle.



$$Q = \sqrt{3}\,\frac{I_N \cdot U_N}{5\,A \cdot 100\,V} \; C\,(\alpha_1 + \alpha_2)$$

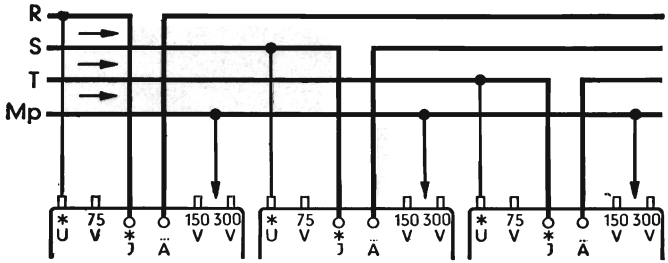
Bei der Blindleistungsmessung nach der Zweileistungsmesser - Methode wirkt sich eine Unsymmetrie des Drehstromsystems als Fehler im Meßergebnis aus. Daher wird bei Unsymmetrie des Drehstromsystems die Blindleistungsmessung nach der Dreileistungsmesser - Methode (Schaltbeispiele 10.10.1 und 10.10.2) empfohlen. Hierzu siehe auch Absatz 2 zu Schaltung 10.7.1.

10.9. Beliebig belasteter Dreileiter- oder Vierleiterdrehstrom, Wirkleistungsmessung nach der Dreileistungsmessermethode

10.9.1. Messung ohne Zusatzgerät

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in anhängender Tabelle ist die Leiter-Sternpunkt-Nennspannung U_{LMN} maßgebend.

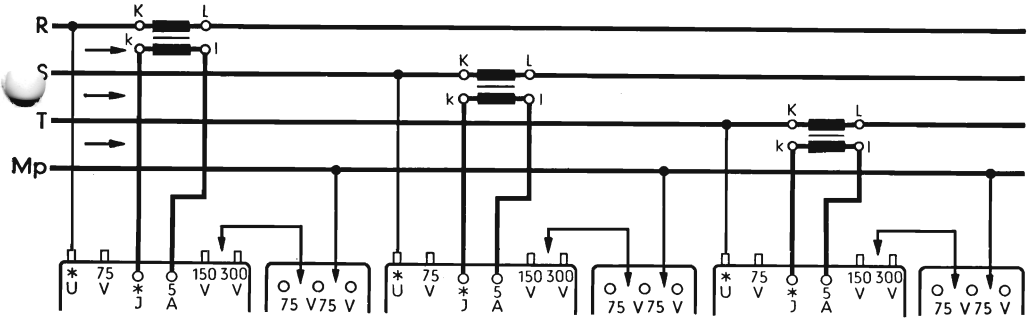
Soll die Dreileistungsmessermethode für Netze ohne Sternpunktleiter verwendet werden, so sind die drei im Schaltbild am Sternpunktleiter angeschlossenen Spannungsleitungen zur Bildung eines künstlichen Sternpunktes zusammenzuschließen. Die Widerstände der drei Spannungspfade müssen dabei gleichgroß und für die Leiter-Sternpunktspannung bemessen sein. Die Summe der mit den drei Geräten gemessenen Einzelleistungen gibt dann die tatsächliche Gesamtleistung des Netzes an, d. h. es gilt die angegebene Formel. Die Leistungsangabe jedes einzelnen Leistungsmessers deckt sich jedoch nicht genau mit der Leistung des von ihm gemessenen Leiters, da der durch das Zusammenschließen der Spannungsanschlüsse entstehende künstliche Sternpunkt nur bei einem symmetrischen Drehstromsystem mit dem natürlichen Sternpunkt zusammenfällt.



$$P = C\,(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

10.9.2. Messung mit Stromwandlern und getrennten Vorwiderständen

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in anhängender Tabelle ist die Leiter-Sternpunkt-Nennspannung U_{LMN} maßgebend. Hierzu siehe auch Absatz 2 zu Schaltung 10.9.1.

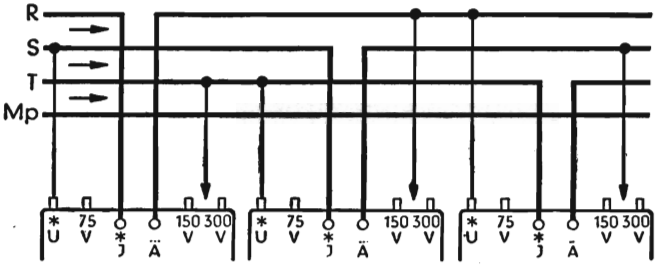


$$P = \frac{I_N}{5\,A}\,C\,(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

10.10. Beliebig belasteter Dreileiter- oder Vierleiterdrehstrom, Blindleistungsmessung nach der Dreileistungsmessermethode

10.10.1. Messung ohne Zusatzgerät

Zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in anhängender Tabelle ist die Leiternennspannung U_{LN} maßgebend.

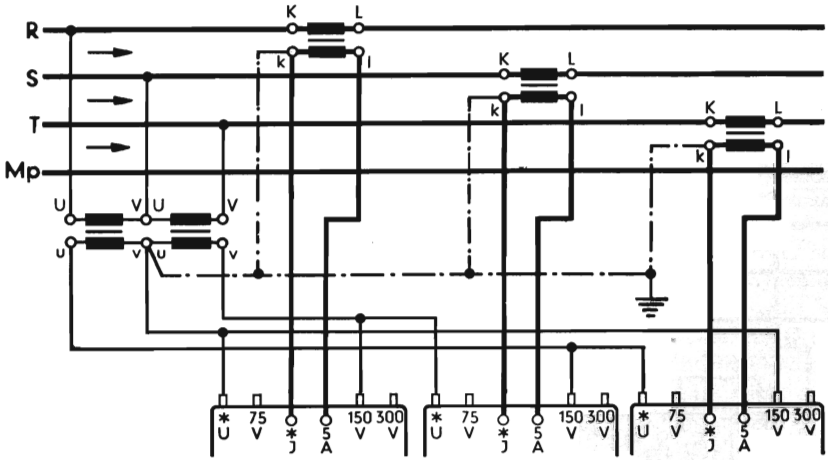


$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} C (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

10.10.2. Messung mit Strom- und Spannungswandlern in V-Schaltung

Den Skalenfaktor C dieser Schaltung findet man in der 150-V-Spalte der anhängenden Tabelle.

Hierzu siehe auch Absatz 2 zu Schaltung 10.4.2.



$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_N \cdot U_N}{5\,A \cdot 100\,V} C (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

Tabelle für den Skalenfaktor C

Diese Tabelle ist nur für die übliche Ausführung des Lichtmarkenleistungsmessers mit Nennspannungsbereichen bestimmt, die ganzzahlige Vielfache von 75 V darstellen.

	Nennspannung 1)	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275	1350	1425	1500	V	
	Widerstand im Spannungspfad 2)	1 R 3)	2 R	3 R	4 R	5 R	6 R	7 R	8 R	9 R	10 R	11 R	12 R	13 R	14 R	15 R	16 R	17 R	18 R	19 R	20 R		
Gilt für GLM 0,1 mit 300 Skt	0,25 A	0,0625	0,125	0,1875	0,25	0,3125	0,375	0,4375	0,5	0,5625	0,625	0,6875	0,75	0,8125	0,875	0,9375	1	1,0625	1,125	1,1875	1,25	W/Skt oder var/Skt	Gilt für GLM 0,1 mit 300 Skt
	0,5 A	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25	1,375	1,5	1,625	1,75	1,875	2	2,125	2,25	2,375	2,5		
	1 A	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5		
	2 A	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10		
	2,5 A	0,625	1,25	1,875	2,5	3,125	3,75	4,375	5	5,625	6,25	6,875	7,5	8,125	8,75	9,375	10	10,625	11,25	11,875	12,5		
	5 A	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10	11,25	12,5	13,75	15	16,25	17,5	18,75	20	21,25	22,5	23,75	25		
	10 A	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50		
Gilt für GLM 0,2 mit 150 Skt	0,025 A	0,0125	0,025	0,0375	0,05	0,0625	0,075	0,0875	0,1	0,1125	0,125	0,1375	0,15	0,1625	0,175	0,1875	0,2	0,2125	0,225	0,2375	0,25		Gilt für GLM 0,2 mit 150 Skt
	0,05 A	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25	0,275	0,3	0,325	0,35	0,375	0,4	0,425	0,45	0,475	0,5		
	0,1 A	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1		
	0,2 A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2		
	0,25 A	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25	1,375	1,5	1,625	1,75	1,875	2	2,125	2,25	2,375	2,5		
	0,5 A	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5		
	1 A	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10		
	2 A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
	2,5 A	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10	11,25	12,5	13,75	15	16,25	17,5	18,75	20	21,25	22,5	23,75	25		
	5 A	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50		
	10 A	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
Gilt für GLM 0,5 mit 150 Skt	0,25 A	0,0125	0,025	0,0375	0,05	0,0625	0,075	0,0875	0,1	0,1125	0,125	0,1375	0,15	0,1625	0,175	0,1875	0,2	0,2125	0,225	0,2375	0,25		Gilt für GLM 0,5 mit 150 Skt
	0,5 A	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25	0,275	0,3	0,325	0,35	0,375	0,4	0,425	0,45	0,475	0,5		
	1 A	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1		
	2 A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2		
	2,5 A	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25	1,375	1,5	1,625	1,75	1,875	2	2,125	2,25	2,375	2,5		
	5 A	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5		
	10 A	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10		

Erläuterungen der Fußnoten:

1) Bei Drehstromschaltungen ist zum Aufsuchen des Skalenfaktors in der Tabelle die Leiterspannung U_L maßgebend, wenn die Spannungspfade der Leistungsmesser an der Leiterspannung liegen. Dagegen ist bei Drehstromschaltungen zum Aufsuchen des Skalenfaktors in der Tabelle die Leiter-Sternpunktspannung U_{LM} maßgebend, wenn die Spannungspfade der Leistungsmesser an der Leiter-Sternpunkt-Spannung liegen oder Sternpunktwiderstände verwendet werden.

Im symmetrischen Drehstromsystem besteht zwischen der Leiterspannung und der Leiter-Sternpunkt-Spannung die bekannte Beziehung $U_L = \sqrt{3}\ U_{LM}$.

2) Die Größe des Widerstandes im Spannungspfad in R-Werten stellt ein eindeutiges Kriterium zum Aufsuchen des Skalenfaktors C in der Tabelle dar. Der Wert der Nennspannung ergibt sich, wenn man für 1 R jeweils 75 V ansetzt. 1 R ≙ 75 V.

Der Widerstand im Spannungspfad ist die Summe aus dem im Gerät geschalteten Widerstand und dem diesem Gerät vorgeschalteten Widerstand.

3) R = 5000 Ω.