

Radio-Meßtechnik

Eine Aufsatzfolge für den Funkpraktiker-(III)

§ 12. Meßbereichserweiterung

a) Bei Gleichstrom

Kann ein Meßwerk (Bild 11) mit dem Innenwiderstand R_i und dem Nennstrom I_1 den vollen Meßstrom $I_m = I_1 + I_2$ nicht aufnehmen, so muß der Überstrom I_2 durch einen Nebenwiderstand R_n geleitet werden. Damit beträgt der durch das Meßwerk fließende Meßstromanteil:

$$I_1 = I_m \frac{R_n}{R_n + R_i} \quad \text{oder} \quad I_1 = I_m - I_2$$

und der durch den Nebenwiderstand fließende Stromteil

$$I_2 = I_m \frac{R_i}{R_i + R_n} \quad \text{oder} \quad I_2 = I_m - I_1$$

Hierin ist $R_n / R_n + R_i$ eine Instrumentenkonstante, die in der Praxis so gehalten wird, daß die Anzeige des Meßwerkes nur mit einer geraden Zahl zu multiplizieren ist, um den gesamten Meßstrom I_m ablesen zu können. Die Meßbereichserweiterung soll also stets ein gerades Vielfaches sein. Für höhere Genauigkeitsansprüche wählt man die Bereichserweiterung 1:2, d. h. die Hälfte des Meßstromes fließt durch das Meßwerk, der Rest durch den Nebenwiderstand. Die Bereiche überlappen sich damit 1:2 oder um 50%. Für Vielbereichsinstrumente ist diese geringe Bereichserweiterung jedoch nicht immer tragbar, da unwirtschaftlich, weil zur Übersteuerung eines Gesamtmeßbereiches von z. B. 1 mA bis 10 A etwa 14 umschaltbare

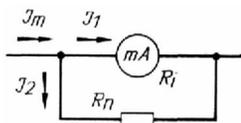


Bild 11. Erweiterung des Strommeßbereichs durch Nebenwiderstand zum Meßwerk. Gebräuchliches Stromverhältnis $I_2:I_1 = 2; 4; 5$ oder 10 von einem auf den nächst höheren Bereich

Rechts: Bild 12 Gleichstrommesser mit getrennt umschaltbaren Nebenwiderständen. Der Spannungsverbrauch ist in jedem Bereich gleich groß

Meßbereiche erforderlich wären. Außerdem ergäben sich damit für die höheren Bereiche unbequeme Vielfache von (z. B. 2: 4: 8: 16: 32: 64: 128 usw.), so daß für rasche Ablesung mehrere Skalen mit meist verwirrender Beschriftung notwendig wären. Man wählt die Vervielfachung vielmehr so, daß die Erweiterung vom ersten auf den zweiten Bereich z. B. 1:5 beträgt, vom zweiten auf den dritten 1:4, vom dritten auf den vierten wieder 1:4, vom vierten auf den fünften wieder 1:5 usw. Aber auch andere Verhältnisse sind möglich und zweckmäßig. Damit kommt man bei bequemer Umrechnung und Ablesung für sämtliche Meßbereiche mit nur einer einfach beschrifteten Skalenteilung aus. Die Erweiterung vom kleinsten Bereich ausgegangen beträgt dann z. B. $I_1 : I_m = 1:5; 1:20; 1:100; 1:500; 1:2000$ usw. Die einzelnen Nebenwiderstände ergeben sich aus:

$$R_n = \frac{I_1 \cdot R_i}{I_m - I_1} \quad (A; \Omega)$$

Die Schaltung nach Bild 12 hat ein Meßwerk für 1 mA bei Vollausschlag mit dem Innenwiderstand $R_i = 100 \Omega$. Für die Meßströme von 0...2000 mA sind sechs umschaltbare Bereiche zu 1; 5; 20; 100; 500 und 2000 mA vorgesehen. Der 1. Bereich erhält zur Ausnutzung der höchsten Meßwerk-Stromempfindlichkeit keinen Nebenwiderstand. Im 5-mA-Bereich fließen bei Vollausschlag 4 mA durch den Nebenwiderstand und 1 mA durch das Meßwerk. Der Nebenwiderstand R_1 beträgt:

$$R_1 = \frac{1 \cdot 100}{5 - 1} = 25 \Omega$$

Der Spannungsverbrauch in diesem Bereich beträgt somit:

$$U_v = I_m \cdot \frac{R_i \cdot R_1}{R_i + R_1} = 0,005 \cdot \frac{100 \cdot 25}{100 + 25} = 0,1 \text{ V}$$

Die Nebenwiderstände der übrigen Bereiche sind: $R_2 = 5,26 \Omega; R_3 = 1,11 \Omega; R_4 = 0,2 \Omega; R_5 = 0,05 \Omega$. Der Spannungsverbrauch ist in allen Bereichen gleich groß. Der Leistungsverbrauch $I_m \cdot U_v$ dagegen steigt mit wachsendem Meßbereich von 0,001...0,2 Watt.

In Schaltung Bild 13 liegen zur Einsparung von Widerstandsdräht die Nebenwiderstände in Reihe. Bei ihrer Berechnung beginnt man mit dem Widerstand (R_4) des höchsten Bereiches. Der Widerstand des 20-mA-Bereiches beträgt $R_3 + R_4$. Von dieser Summe ist R_4 abzuziehen, um R_3 zu erhalten usw.

Für die Schaltung Bild 12 und Bild 13 muß der Bereichschalter sehr geringen Kontaktwiderstand aufweisen, da dieser ja ein Teil des Nebenwiderstandes ist und damit in den höheren Meßbereichen die Messung erheblich fälschen kann. Außerdem soll sich der Schleifer des Schalters beim Umschalten von den Kontakten nicht abheben. Anderenfalls kann in diesem Augenblick der volle Meßstrom durch das Meßwerk fließen und dieses medianisch und elektrisch zerstören.

Völlig umgangen werden diese Nachteile mit der Schaltung Bild 14. Kontaktwiderstände sind hier ohne Einfluß auf die Nebenwiderstände und Schaltunterbre-

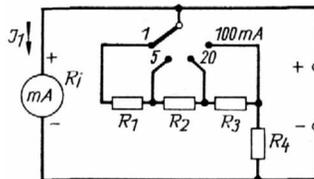
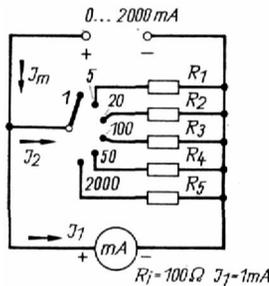


Bild 13. Gleichstrommesser mit in Reihe liegenden Nebenwiderständen zur Einsparung von Widerstandsdräht

chungen öffnen lediglich den Meßstromkreis. Ein Nachteil ist jedoch, daß nicht die volle Stromempfindlichkeit des Meßwerkes ausnutzbar ist, da ihm der gesamte Nebenwiderstand $R_{10}...R_{60}$ des kleinsten Meßbereiches ständig parallel liegt. Außerdem steigt hier der Spannungsverbrauch mit wachsendem Meßbereich, und zwar um so mehr, je näher man mit dem kleinsten Meßbereich an den Nennstrom I_1 des Meßwerkes herankommt. Es sind daher Meßwerke zu verwenden, deren Stromempfindlichkeit etwa 3- bis 5mal größer ist als die des kleinsten Meßbereiches. Z. B. $I_1 = 1 \text{ mA}, I_1 = 3 \text{ mA}$ bis 5 mA. Die Berechnung der Nebenwiderstände $R_{10}...R_{60}$ für die Schaltung Bild 14 geschieht folgendermaßen:

$$R_1 = \frac{I_1 \cdot R_i}{I_1 - I_i}; \quad R_2 = \frac{(I_1 \cdot R_i) + (I_1 \cdot R_1)}{I_2}$$

$$R_3 = \frac{(I_1 \cdot R_i) + (I_1 \cdot R_1)}{I_3}; \quad R_4 = \frac{(I_1 \cdot R_i) + (I_1 \cdot R_1)}{I_4}$$

$$R_5 = \frac{(I_1 \cdot R_i) + (I_1 \cdot R_1)}{I_5}; \quad R_6 = \frac{(I_1 \cdot R_i) + (I_1 \cdot R_1)}{I_6}$$

$$R_{10} = R_1 - R_2; \quad R_{20} = R_1 - (R_3 + R_{10})$$

$$R_{30} = R_1 - (R_4 + R_{10} + R_{20});$$

$$R_{40} = R_1 - (R_5 + R_{10} + R_{20} + R_{30})$$

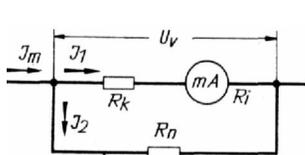


Bild 16. Vorwiderstand R_k verhindert überaperiodische Zeigereinstellung und kompensiert Temperaturfehler des Meßwerkes

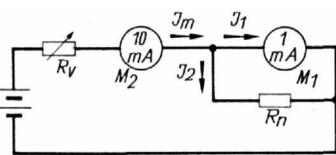


Bild 17. Ermittlung von Nebenwiderständen für M_1 mittels Stromvergleich durch M_2

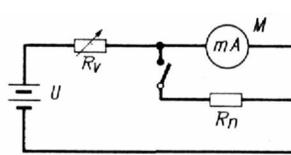


Bild 18. Einmalige Meßbereichserweiterung 1:2 bis 1:5 durch Ausschlagvergleich. Eichnormalen und Kenntnis des Meßwerksinnenwiderstandes sind nicht erforderlich

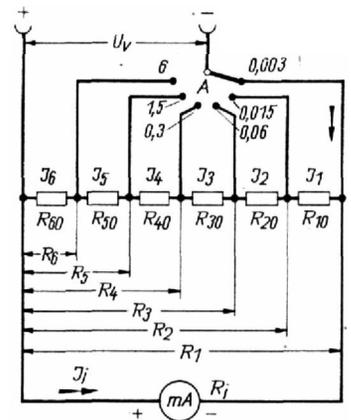


Bild 14. Gleichstrommesser mit 6-Meßbereichen. Kontaktwiderstände im Bereichschalter können die Nebenwiderstände nicht fälschen. Gesamtnebenwiderstand R_1 liegt dem Meßwerk ständig parallel. Dadurch Meßwerkempfindlichkeit nur mit 20 bis 30% ausnutzbar. Spannungsverbrauch U_v steigt mit wachsendem Meßbereich

$$R_{50} = R_5 - R_6; \quad R_{60} = R_6$$

Der Spannungsverbrauch im I_1 -Bereich beträgt:

$$U_v = I_1 \frac{R_1 \cdot R_i}{R_1 + R_i}$$

$$\text{Im } I_2\text{-Bereich: } U_v = I_2 \frac{R_2 + R_1 + R_{10}}{R_2 + R_1 + R_{10}}$$

$$\text{Im } I_3\text{-Bereich: } U_v = I_3 \frac{R_3 (R_1 + R_{10} + R_{20})}{R_3 + R_1 + R_{10} + R_{20}} \quad \text{usw.}$$

Es ist dabei nur zu bedenken, daß sich mit steigendem Meßbereich immer mehr Widerstände ($R_{10}...R_{50}$) dem Meßwerk vorschalten. Der Leistungsverbrauch im jeweiligen Meßbereich ergibt sich aus $I_1...I_6 \cdot U_v$.

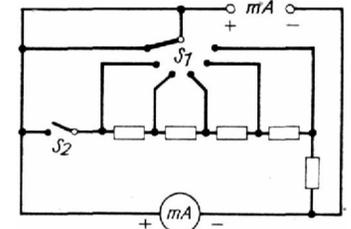


Bild 15. Schaltung wie Bild 14, jedoch Nebenwiderstände abschaltbar zur Ausnutzung der vollen Meßwerkstromempfindlichkeit im kleinsten Meßbereich

Beispiel zu Schaltung Bild 14: Meßwerkstrom $I_1 = 1 \text{ mA}$ bei Vollausschlag, Innenwiderstand $R_i = 100 \Omega$. Es sind sechs Meßbereiche für 0,003; 0,015; 0,06; 0,3; 1,5 und 6 A vorgesehen. Der gesamte Nebenwiderstand, das ist der des 0,003-A-Bereiches, beträgt:

$$R_1 = \frac{0,001 \cdot 100}{0,003 - 0,001} = \frac{0,1}{0,002} = 50 \Omega$$

Die Widerstandsteile je nach Stellung des Bereichschalters sind:

$$R_2 = \frac{(0,001 \cdot 100) + (0,001 \cdot 50)}{0,015} = \frac{0,15}{0,015} = 10 \Omega$$

$$R_3 = \frac{0,15}{0,06} = 2,5 \Omega \quad R_4 = \frac{0,15}{0,3} = 0,5 \Omega$$

$$R_5 = \frac{0,15}{1,5} = 0,1 \Omega \quad R_6 = \frac{0,15}{6} = 0,025 \Omega$$

Der Zähler $(I_1 \cdot R_i) + (I_1 \cdot R_1)$ muß also nur einmal berechnet werden. Die Einzelwiderstände betragen:

$$R_{10} = 50 - 10 = 40 \Omega$$

$$R_{20} = 50 - (2,5 + 4,0) = 7,5 \Omega$$

$$R_{30} = 50 - (0,5 + 4,0 + 7,5) = 2 \Omega$$

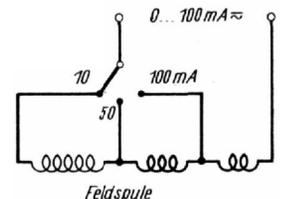
$$R_{40} = 50 - (0,1 + 4,0 + 7,5 + 2) = 0,4 \Omega$$


Bild 19. Dreheisen-Strommesser mit Abgriffen an der Feldspule zur Meßbereichänderung

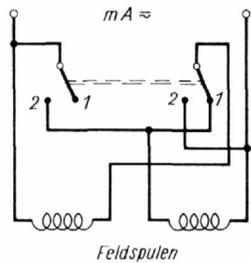


Bild 20. Dreheisen-Strommesser mit zwei gleichschaltbaren Feldspulen zur Meßbereichänderung. Kleiner Bereich: Spulen in Reihe; größerer Bereich: Spulen parallel

$$R_{50} = 0,1 - 0,025 = 0,075 \Omega$$

$$R_{80} = R_8 = 0,025 \Omega$$

Die Summe aller Einzelwiderstände muß wieder R_1 ergeben:

$$R_1 = 40 + 7,5 + 2 + 0,4 + 0,075 + 0,025 = 50 \Omega$$

Für Meßwerke mit größeren linearen Skalen ist zuweilen nur 10 prozentige Bereichüberlappung notwendig, um auf die erforderliche Genauigkeit zu kommen. Damit ergibt sich dekadische Bereichabstufung (z. B. 1; 10; 100 mA usw.). Die Berechnung der Nebenwiderstände wird dadurch etwas einfacher. Nach Bild 14 beträgt

$$R_1 = R_{10} + R_{20} + R_{30} + R_{40} + R_{50} + R_{60} = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_1 - I_1}$$

$$R_{10} = R_1 \cdot 0,9$$

$$R_{20} = R_1 \cdot 0,09$$

$$R_{30} = R_1 \cdot 0,009$$

$$R_{40} = R_1 \cdot 0,0009$$

$$R_{50} = R_1 \cdot 0,00009$$

$$R_{60} = R_1 \cdot 0,00001$$

Die Summe aller Einzelwiderstände ($R_{10} \dots R_{60}$) muß wieder R_1 ergeben.

Beispiel zu Schaltung Bild 14:

$I_1 = 0,1 \text{ mA}$; $R_1 = 1000 \Omega$; $I_2 = 0,5 \text{ mA}$; $I_3 = 5 \text{ mA}$; $I_4 = 50 \text{ mA}$; $I_5 = 500 \text{ mA}$; $I_6 = 5 \text{ A}$. Der Bereich I_6 fällt fort (R_{60} kurzgeschlossen). Der gesamte Nebenwiderstand R_1 beträgt:

$$R_1 = \frac{0,0001 \cdot 1000}{0,0005 - 0,0001} = 250 \Omega$$

Die Einzelwiderstände:

$$R_{10} = 250 \cdot 0,9 = 225,000 \Omega$$

$$R_{20} = 250 \cdot 0,09 = 22,500 \Omega$$

$$R_{30} = 250 \cdot 0,009 = 2,250 \Omega$$

$$R_{40} = 250 \cdot 0,0009 = 0,225 \Omega$$

$$R_{50} = 250 \cdot 0,00001 = 0,025 \Omega$$

$$R_1 = 250,000 \Omega$$

Will man auf die Stromempfindlichkeit I_1 nicht verzichten, so sind nach Bild 15 im kleinsten Bereich die

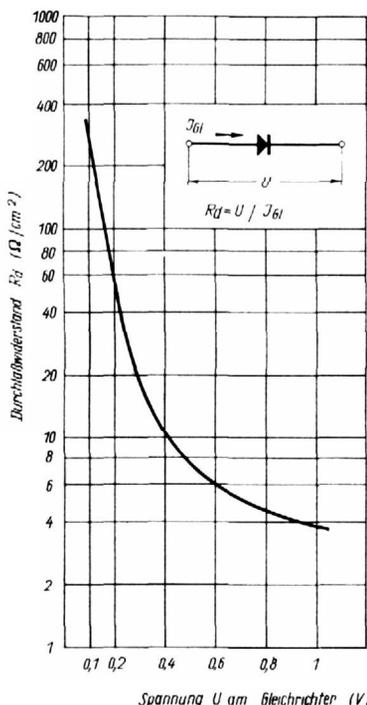


Bild 23. Abhängigkeit des Durchlaßwiderstandes eines Kupferoxydulgleichrichters von der an ihm liegenden Spannung

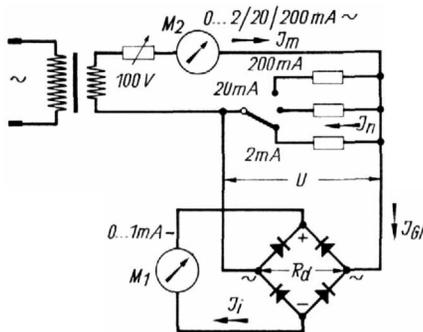


Bild 21. Wechselstrommesser mit Drehspulmeßwerk und Trockengleichrichter in Grätzschaltung. Im 1. und 2. Bereich ist der Verlauf des Stromverhältnisses $I_m : I_{G1}$ nicht gleich. Dadurch stimmen Skalenverläufe im 1. und 2. Bereich nicht überein

Nebenwiderstände durch einen zusätzlichen Schalter S_2 abzuschalten. Im übrigen sind die Nebenwiderstände wie in Schaltung Bild 14 zu bemessen. Vielen Meßwerken kann man mit Rücksicht auf die Systemdämpfung nicht beliebig kleine Nebenwiderstände parallel schalten, sonst ergibt sich in den größeren Meßbereichen eine überaperiodische (kriechende) Zeigerstellung. Abhilfe schafft nach Bild 16 ein fester Vorwiderstand R_k , zum Meßwerk, der durch Versuch, zu ermitteln und so niederohmig als tragbar zu halten ist, um den Spannungsverbrauch nicht unnötig zu erhöhen. Zur Berechnung der Nebenwiderstände ist dann als Meßwerkinnenwiderstand der Wert $R_k + R_1$ einzusetzen. Ist R_k ein Manganin-Widerstand, so kann damit auch der Temperaturkoeffizient des Meßwerkes zum Teil kompensiert werden. Hochwertige Meßwerke erhalten fast immer einen derartigen Vorwiderstand mit dem 3- bis 6fachen Ohmwert der Drehspule. Dadurch bleibt der Temperatureinfluß praktisch bedeutungslos. Ist der Innenwiderstand eines Meßwerkes nicht genau meßbar, so kann nach Bild 17 die Ermittlung der Nebenwiderstände für M_1 mit Hilfe eines zweiten Strommessers M_2 geschehen. Der Strom in M_2 wird mittels Regelwiderstand R_v für die gewünschte Bereichserweiterung des Meßwerkes M_1 eingeregelt und der Nebenwiderstand R_{11} durch Versuch abgeglichen.

Einmalige Bereichserweiterung (z. B. 1 mA auf 5 mA) durch Nebenwiderstand ist nach Bild 18 ohne weitere Eichmittel und ohne Kenntnis des Meßwerkinnenwiderstandes möglich. Mittels Regelwiderstand R_v , dessen Ohmwert mindestens 100- bis 200mal größer sein muß als R_n , wird im Meßwerk Vollausschlag eingestellt. Soll nun der Meßbereich z. B. um das Fünffache erweitert werden, so ist der Nebenwiderstand einzuschalten und so abzugleichen, daß der Meßwerkerausschlag auf ein Fünftel des Vollausschlages zurückgeht. Somit fließt ein Fünftel des Gesamtstromes durch das Meßwerk, der Rest durch den Nebenwiderstand. Die Genauigkeit dieser einfachen Methode ist um so größer, je geringer die Bereichserweiterung und je besser die Genauigkeitsklasse des Meßwerkes ist. Eine zweite und dritte Meßbereichserweiterung des bereits geshunteten Meßwerkes ist nicht zu empfehlen, weil sich die Fehler stets mit demselben Vorzeichen additiv vermehren.

b) Bei Wechselstrom

Bei jeder Meßbereichserweiterung durch Nebenwiderstände in direkter Verbindung mit Drehspulinstrumenten, also nur zur Gleichstrommessung, bleibt der Skalenverlauf des nicht geshunteten Meßwerkes auch nach dem Parallelschalten eines Nebenwiderstandes vollkommen unverändert, da der ohmsche Widerstand R_1 der Drehspule durch unterschiedliche Meßströme nicht verändert wird. Ein Meßwerk für 2 mA und $R_1 = 100 \Omega$ hat also stets 100Ω Innenwiderstand, ob nun 2 mA oder 0,2 mA durch die Spule fließen. Demzufolge bleibt auch das Verhältnis zwischen dem Meßwerkstrom und dem Strom im Nebenwiderstand bei beliebigen Meßströmen konstant und die Skalenverläufe stimmen daher bei beliebiger Meßbereichserweiterung vollkommen überein.

Bei Thermoinstrumenten dagegen trifft dies nur selten zu, da sich hier der Widerstand des Heizleiters je nach Werkstoff des Heizdrahtes mit der Temperatur verändert. Je geringer die Temperatur im Heizleiter, d. h. je kleiner der Meßstrom, desto kleiner ist der Heizleiterwiderstand; ähnlich der Widerstandsänderung eines Glühlampfadens bei verschiedenen Spannungen. Deshalb ist es bei Thermoelementen meist nicht möglich, den Skalenverlauf des Drehspulmeßwerkes bei nicht geshuntetem Heizleiter mit dem Skalenverlauf bei geshuntetem Heizleiter genau in Übereinstimmung zu bringen. Bei für Vollausschlag abgeglichenen Nebenwiderständen werden die Abweichungen der Skalenverläufe um so größer, je niedriger der Heizstrom und je kleiner der Nebenwiderstand, d. h. je mehr der Meßbereich erweitert wird. Beträgt der Unterschied der Skalenverläufe nur wenige Prozent, so kann man den Anzeigefehler auf beide Skalenhälften verteilen und dadurch verkleinern, indem man den Nebenwiderstand etwa für Halbaus-

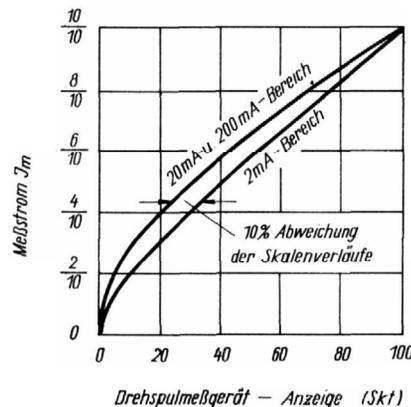


Bild 22. Eichkurven der Schaltung Bild 21. Abweichung der Kurven ist bedingt durch Änderung des dem Gleichrichter parallel liegenden Nebenwiderstandes

schlag abgleicht. Bleibt die Genauigkeit bei geshuntetem Heizleiter dennoch unzureichend, so ist eine zweite Skala oder eine Korrektortabelle anzulegen. Nebenwiderstände für Thermoinstrumente müssen mit Rücksicht auf Frequenzunabhängigkeit möglichst frei von Selbstinduktion und Eigenkapazität sein. Es kommen daher nur kurze gestreckte Widerstandsdrähte, oder nach besonderer Art bifilar gewickelte Widerstände, oder Schichtwiderstände in Betracht.

Dreheisen-Strommesser werden gewöhnlich nicht mit Nebenwiderständen versehen, da sonst deren erst schon hoher Eigenverbrauch meist untragbar wird. Man erreicht Meßbereichserweiterungen durch Unterteilung der Feldspule nach Bild 19 für mehrere Meßbereiche, oder durch umschaltbare Feldspulen nach Bild 20 für zwei Meßbereiche, wobei für den kleinen Bereich die Spulen in Reihe (Schaltstellung 1), für den größeren Bereich parallel liegen (Schaltstellung 2). Bezüglich Eigenverbrauch ist die Schaltung nach Bild 19 ungünstig, da der volle Wickelraum der Feldspule nur im empfindlichsten Bereich ganz ausnutzbar ist. In Schaltung Bild 20 dagegen werden stets beide Feldspulen entweder vom halben oder vom ganzen Meßstrom durchflossen. Der Spulenwiderstand kann daher zur Erzielung einer gewissen Zahl Amperewindungen, die ja in jedem Meßbereich gleich groß sein muß, kleiner gehalten werden.

Drehspulmeßwerke mit Trockengleichrichter (Kupferoxydul oder Selen) sind zur Wechselstrommessung am gebräuchlichsten, da der hiermit erzielbare Eigenverbrauch bei Verwendung empfindlicher Drehspulmeßwerke wesentlich geringer gehalten werden kann als bei Thermo- oder Dreheiseninstrumenten. Ohne Zwischenschaltung von Stromwandlern erreicht man zwar nicht den gleichneren Spannungsverbrauch von etwa 0,1 V wie bei Drehspulmeßwerken zur Gleichstrommessung, bei geeigneter Wahl des Gleichrichters und bei entsprechender Gleichrichterleistungssteuerung gelingt es jedoch, mit etwa 0,6...1,5 V auszukommen. Dabei sind etwa 50...80 % des Skalenverlaufes linear, der übrige Teil annähernd quadratisch. Mit Hilfe von Stromwandlern dagegen ist es möglich, nahezu mit dem gleichneren Spannungsverbrauch auszukommen wie bei Gleichstrom. Zudem kann die Wechselstromskala bedeutend linearer gemacht werden.

Bild 21 zeigt eine Meßschaltung mit drei getrennt umschaltbaren Nebenwiderständen für die Wechselstrommeßbereiche zu 2 mA, 20 mA und 200 mA. Die Nebenwiderstände werden auf dieselbe Art umgeschaltet wie nach Bild 12. Während dort die Skalenverläufe der einzelnen Gleichstrommeßbereiche vollkommen übereinstimmen, trifft dies für die Wechselstromschaltung nach Bild 21 keineswegs zu. Bild 22 zeigt den Verlauf der Eichkurven. Die größte Abweichung der Kurven beträgt etwa 10 % E. zwischen dem 2-mA- und dem 20-mA-Bereich. Der 200-mA-Bereich und gegebenenfalls noch höhere Bereiche stimmen mit dem zu 20 mA praktisch überein. Es sind also zwei Wechselstromskalen erforderlich; eine für den 2-mA-Bereich und eine zweite für alle höheren Bereiche. Ursache der Skalenabweichung bei verschiedenen Nebenwiderständen ist die Abhängigkeit des Durchlaßwiderstandes im Gleichrichter von der an ihm liegenden Spannung. Bild 23 zeigt den Durchlaßwiderstand R_d einer Gleichrichterzelle mit 1 cm wirksamer Gleichrichterfläche für Spannungen von 0,1...1 V. Daraus erkennt man, daß in der Schaltung Bild 21 das Stromverhältnis $I_m : I_{G1}$

zwischen dem Strom im Nebenwiderstand und dem Strom im Gleichrichter sich mit der Höhe des Meßstromes I_m verändert, und dies um so mehr, je kleiner die am Gleichrichter liegende Spannung U wird, und je kleiner die dem Gleichrichter parallel liegenden Widerstände sind. Je niedriger also in einem Bereich der Meßstrom wird, desto mehr verlagert sich dieser auf den Nebenwiderstand. Dieser Umstand ist eben durch die nichtlineare Stromspannungs-Kennlinie (Bild 23) bedingt. Damit ist auch die Erzielung einer völlig linearen Wechselstromskala unmöglich; vorausgesetzt, daß nicht durch umständliche Kunstschaltungen und durch geeignete Formung der Polschuhe im Drehspulmeßwerk die Linearisierung der Skala erzwingen wird. Davon macht man aber bei Vielbereich-Instrumenten keinen Gebrauch, da hierdurch die Linearität der Gleichstromskala verlorenginge.

(Fortsetzung folgt)