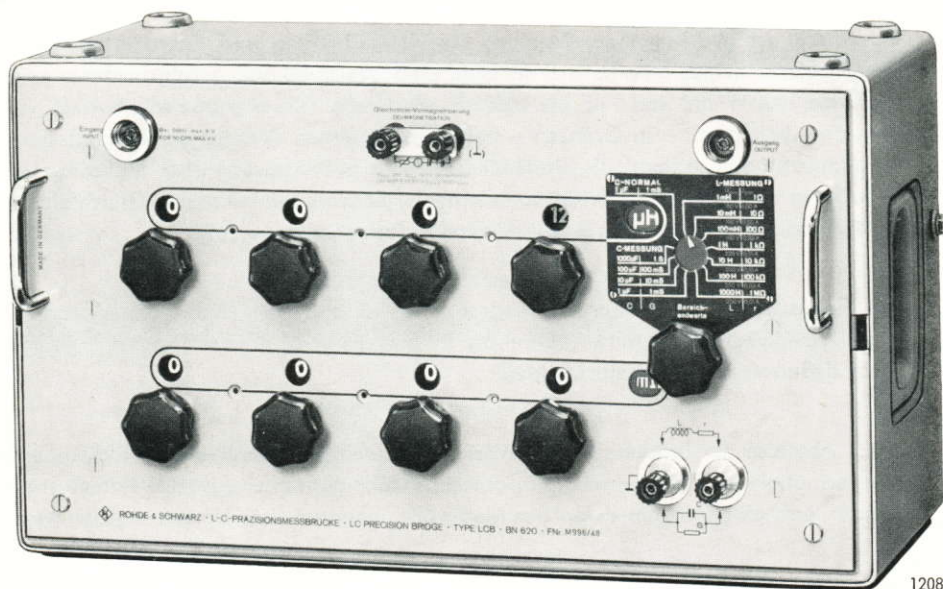


L-C-PRÄZISIONSMESSBRÜCKE

50 Hz ... 20 kHz

10 μ H ... 1000 H10 nF ... 1000 μ F

Besondere Anwendungsgebiete:

- Universeller Einsatz in Labor und Prüffeld
- Fertigungs- und Wareneingangskontrolle an Bauelementen
- Grundlegende Untersuchungen an Bauelementen mit sehr hohen Kapazitäts- und Induktivitätswerten unter besonderen definierten Meßbedingungen (Meßfrequenz, Meßspannung, Vormagnetisierung, Vorspannung)
- Bestimmung der elektrischen Kennwerte von Stoffen mit extrem hohen Dielektrizitätszahlen (bis 10^6 und mehr)
- Darstellung von definierten Scheinwiderständen, Kapazitäten und Leitwerten für Eichzwecke oder zum Aufbau externer Brückenordnungen.

Charakteristische Eigenschaften:

- Weite Meßbereiche:
10 μ H ... 1000 H
10 nF ... 1000 μ F
- Weiter Frequenzbereich:
50 Hz ... 20 kHz
- Hohe Meßgenauigkeit: $\pm 0,3\%$
- Hochwertige Brückenelemente auch als Dekaden-Normalien verwendbar:
100 pF ... 1 μ F
0,1 ... 1000 μ S (10 M Ω ... 1 k Ω)
- Getrennte digitale Anzeige der Blind- und Wirkgrößen und automatische Kommaeinstellung
- Einknopf-Meßbereichswahl
- Vormagnetisierung und Vorspannung des Meßobjektes möglich

1. Aufgaben und Anwendung

Die Selbstinduktivität einer Drosselspule oder die Kapazität eines Elektrolytkondensators schnell und mit angemessener Genauigkeit zu bestimmen, ist eine Aufgabe, bei deren Lösung man auch in gut ausgestatteten Labors und Prüffeldern auf Schwierigkeiten stoßen kann. Meist dürfen bei keiner dieser Forderungen – Schnelligkeit und Genauigkeit – Zugeständnisse gemacht werden. Hier füllt die L-C-Präzisionsmeßbrücke LCB eine Lücke. Sie verbindet **hohe Meßgenauigkeit** mit **leichter Bedienbarkeit** und ermöglicht so rasches, rationelles Arbeiten bei großer Bedienungssicherheit **über weite Bereiche der Meßgrößen und der Meßfrequenz**.

Das Gerät ist **gleich gut** zur Messung von **Induktivitäten und Kapazitäten** geeignet, wobei die Umschaltung des Brückenprinzips automatisch mit dem Meßbereichsschalter erfolgt, welcher dekadisch gestufte Stellungen von 1 mH bis 1000 H und von 1 μ F bis 1000 μ F umschließt. Dieser große Meßbereich in Verbindung mit der Möglichkeit, das Objekt mit – in Grenzen – beliebigen Strömen (**Vormagnetisierung**) oder Spannungen (**Vorspannung**) zu beaufschlagen, erlaubt die Durchführung auch außergewöhnlicher Meßaufgaben wie beispielsweise die Untersuchung der Selbstinduktivität von Drosselspulen als Funktion der Gleichfeldstärke oder der Kapazität von Tantalkondensatoren bei der vorgesehenen Polarisationsspannung.

Die Eigenschaften der Meßbrücke insgesamt lassen auch die Untersuchung von modernen HDK-Massen (**Hohe Dielektrizitätskonstante**) mit ϵ -Werten bis 10^6 und mehr zu, wenn diese auf geeignete Weise das Dielektrikum eines definierten Kondensators bilden.

Nach Abgleich der Brücke sind die Werte der jeweiligen **Blind- und Wirkkomponenten getrennt und direkt** in Fenstern über den Dekadenschaltern ablesbar. Automatisch eingerückte Kommastellen und die ebenfalls in einem Fenster erscheinende Dimension der Meßgröße ersparen jede Umsetzung der Anzeige.

Der Meßgegenstand wird entsprechend den physikalischen Brückenprinzipien immer als Reihenschaltung einer verlustlosen Induktivität mit einem reinen Wirkwiderstand bzw. als Parallelschaltung einer verlustlosen Kapazität mit einem reinen Wirkleitwert dargestellt, unabhängig von der tatsächlichen elektrischen Gestalt des Meßobjektes. Setzt sich dieses jedoch in umgekehrter Weise zusammen – die gewählte Darstellung entspricht dem natürlichen Auftreten der Verlustgrößen – und interessieren dann die wirklichen Komponenten eines dazu invers komplexen Objektes, so lassen sich diese über die bekannten Inversionsgleichungen verhältnismäßig einfach berechnen.

Die Dimensionierung der Brücke erlaubt ebenso wie **verlustbehaftete Blindgrößen** auch „**reaktanzenbehaftete**“ **Wirkgrößen** und im Grenzfall **reine Wirkgrößen** zu messen. Beispielsweise ist dadurch die Untersuchung drahtgewickelter Widerstände auf deren induktive oder kapazitive Komponenten zur Bestimmung ihrer Zeitkonstante bzw. der Grenzfrequenz möglich; ein Anwendungsgebiet, auf dem die üblichen Resonanzmethoden zumeist versagen.

Der Anwendungsbereich der Präzisionsmeßbrücke LCB erschöpft sich nicht in der L- und C-Messung allein; die wertvollen Bezugselemente (Normalkondensatoren und -leitwerte) können auch einer weitergehenden Verwendung zugeführt werden.

In der dafür vorgesehenen Bereichsschalterstellung sind beide Normaldekaden an die Objektklemmen gelegt und damit bei abgeschalteten übrigen Brückenzeigen von außen zugänglich. Beide Dekaden sind parallel geschaltet, so daß sich auch beliebige Scheinwiderstände darstellen lassen. Sowohl die Leitwert- wie auch die Kapazitätsdekade stehen mit ihrer vollen Genauigkeit als **einstellbarer Meßwiderstand bzw. Meßkondensator** für vieltgestaltige Aufgaben zur Verfügung.

Insgesamt stellt die L-C-Präzisionsmeßbrücke LCB ein Meßgerät dar, welches bei universellen Anwendungs- und Schaltmöglichkeiten alle sinnvollen Messungen an Blind-, Schein- und Wirkwiderständen im Rahmen des vorgesehenen weiten Meß- und Frequenzbereiches ermöglicht, wobei die oberen Meßbereichsgrenzen alle praktisch vorkommenden Objekte zulassen. Wo eine Erweiterung des L- und C-Meßbereiches nach kleineren Werten hin erwünscht ist, bedient man sich unserer L- und C-Meßgeräte LARU (BN 610) und KARU (BN 510), welche mit höheren Frequenzen nach dem Resonanzprinzip arbeiten und den Bereich bis 0,1 μ H bzw. 1 pF erfassen.

2. Arbeitsweise und Aufbau

Das Gerät arbeitet für die Induktivitätsmessung als Maxwell- und für die Kapazitätsmessung als Wheatstonebrücke. Die Umschaltung erfolgt beim Übergang von L- auf C-Messung automatisch mit dem Bereichsschalter. Als Anschluß für den Meßgegenstand bei Brückenmessungen wie für die Verwendung als Dekadenkondensator oder Dekadenleitwert dient ein gemeinsames Klemmenpaar. Hochwertige Spezialkondensatoren mit Styroflexisolation im Normalbrückenweig verbürgen definierte Temperaturabhängigkeiten und hohe Langzeitkonstanz sowie auch minimale Störverlustwinkel. Die Verhältniswiderstände in den übrigen Brückenweigen wie auch die Leitwert-„Widerstände“ der beiden ersten Leitwertdekaden sind bifilar gewickelt, daher arm an Blindkomponenten; unvermeidliche Restbeträge davon sind in der Schaltung kompensiert. Sie werden mit höchster Genauigkeit abgeglichen und in langwierigen Imprägnier- und Alterungsvorgängen von mehreren Monaten Dauer auf höchste Konstanz gezüchtet. Das Widerstandsmaterial ist Manganin, dessen Zuverlässigkeit und extrem niedrige Temperaturabhängigkeit (einige $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) allgemein bekannt sind.

Kapazitätsarme Präzisionsdekadenschalter mit Edelmetallkontakten und praktisch unbegrenzter Lebensdauer gewährleisten eine sichere Funktion über lange Zeit. Die Kontakte sind selbstreinigend und brauchen nur bei sehr ungünstigen Staubverhältnissen in größeren Zeitabständen überprüft zu werden.

Die Zuführung der Speisespannung erfolgt über einen besonderen Eingangstransformator, der u. a. zur galvanischen Trennung des an sich geerdeten Speiseweiges zum Zwecke der Einführung der Vormagnetisierungs- bzw. Polarisationsspannung dient. Im Diagonalzweig liegt ebenfalls ein mehrfach geschirmter Ausgangstransformator mit extrem niedriger Durchgriffskapazität; dies zur Vermeidung von kapazitiven Querströmen, die das Meßergebnis fälschen könnten. Seine Aufgabe ist die Umwandlung der symmetrischen Diagonalspannung in eine erdbezogene, so daß der Meßempfänger unsymmetrisch betrieben werden kann.

Bei der Auswahl eines passenden Speisegenerators ist, sofern man nicht auf die weiter unten empfohlenen Typen zurückgreift, auf ausreichende Leistungsfähigkeit und den gewünschten Meßfrequenzbereich zu achten. Im allgemeinen wird eine Spannungsabgabe von einigen Volt an einigen $10\ \Omega$ ausreichend sein.

Der Anzeigeverstärker soll abstimbar sein und eine Bandbreite von einigen Prozent aufweisen. Dadurch wird vermieden, daß Oberwellen der Speisefrequenz, die eine andere Abgleichbedingung der Brücke finden, das Anzeigeminimum trüben. Nur bei weniger genauen Messungen und klirrarmlen Speisegeneratoren genügen NF-Breitbandvoltmeter. Die Ableseempfindlichkeit eines geeigneten Anzeigeverstärkers soll einige $10\ \mu\text{V}$ für gute Ablesung betragen. Der unter Ziffer 4.7 „Notwendiges Zubehör“ aufgeführte Abstimmbare Anzeigeverstärker UBM ist prädestiniert für diese Aufgabe.

Unvermeidbare innere und äußere Schaltinduktivitäten und Zuleitungswiderstände bedingen Einschränkungen des Meßfrequenzbereiches in Abhängigkeit vom Meßwert; so ist beispielsweise die Messung eines Elektrolytkondensators von $500\ \mu\text{F}$ bei $20\ \text{kHz}$ nicht ohne Einschränkung möglich aber auch nicht sinnvoll, da dessen eigene Störkomponenten (innere Reiheninduktivität und innerer Reihenwiderstand) seinen Einsatz bei solchen Frequenzen in der Regel gar nicht zulassen. Insgesamt sind die Frequenzen aber immer anwendbar, die im weitesten Sinn als Betriebsfrequenzen der betreffenden Bauelemente in Frage kommen. Die folgende Darstellung gibt einen Überblick über diejenigen höchsten Meßfrequenzen, bei denen noch sinnvolle Meßresultate zu erwarten sind. Genaue Schaubilder über die Meßfehler bei extremen Meßbedingungen sind in der Gerätebeschreibung enthalten.

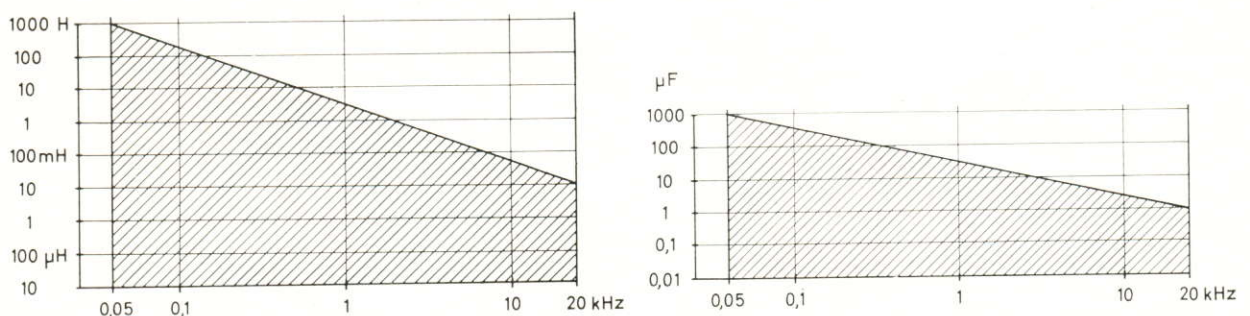


Bild 1 und 2: Bereich der für L- und C-Messungen anwendbaren Meßfrequenzen, bei denen sinnvolle Meßergebnisse zu erwarten sind (siehe obiger Text).

3. Die Schaltung

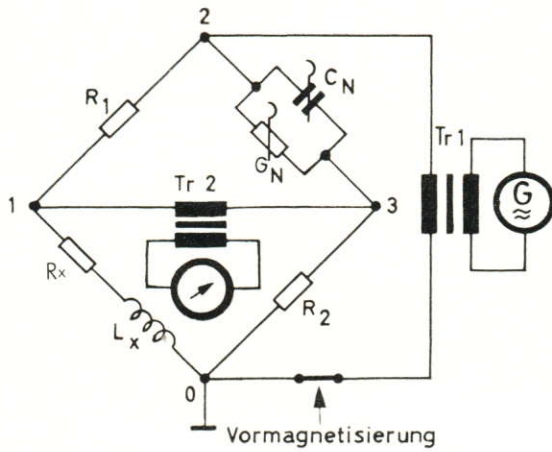


Bild 3: Prinzipschaltung als Induktivitätsmeßbrücke

Die Abgleichbedingungen der Maxwellbrücke (L_x -Messung, L_x in Reihe mit R_x) sind:

$$L_x = R_1 \cdot R_2 \cdot C_N \quad \text{und} \quad R_x = R_1 \cdot R_2 \cdot G_N$$

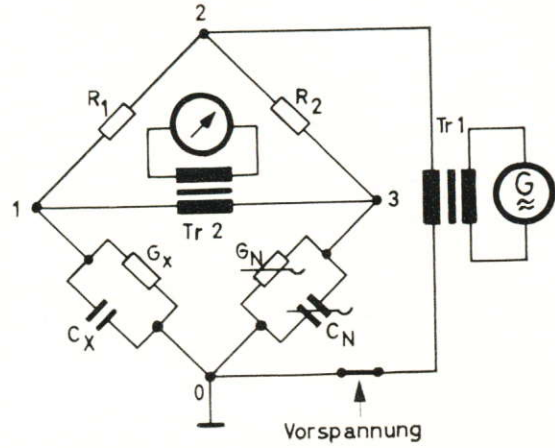
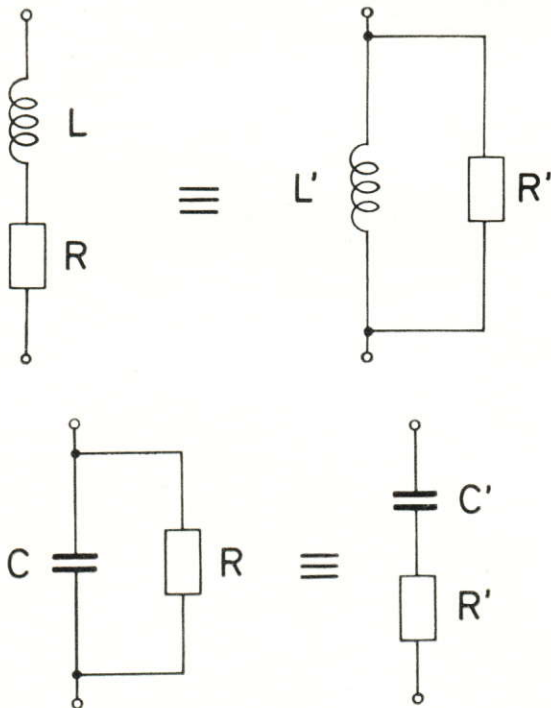


Bild 4: Prinzipschaltung als Kapazitätsmeßbrücke

Die Abgleichbedingungen der Wheatstonebrücke (C -Messung, C_x II G_x) sind:

$$C_x = C_N \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad \text{und} \quad G_x = G_N \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Die Inversionsgleichungen für die Schaltungsumwandlungen lauten:



$$L' = \frac{R^2}{\omega^2 \cdot L} + L$$

$$R' = \frac{(\omega L)^2}{R} + R$$

$$C' = \frac{1}{(\omega R)^2 \cdot C} + C$$

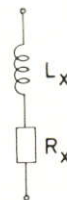
$$R' = \frac{R}{1 + (\omega RC)^2}$$

Bild 5: Der Meßgegenstand wird dem hier angewandten Brückenprinzip entsprechend jeweils nach dem linken Ersatzschaltbild dargestellt. Bei tatsächlich umgekehrter Zusammensetzung lassen sich die wirklichen Komponenten mit den obigen Inversionsgleichungen berechnen (Brückenmeßwert G ist über $R = 1/G$ in R umzurechnen).

4. Eigenschaften

4.1 Als Induktivitätsmeßbrücke

Der Meßwert entspricht der Ersatzschaltung einer verlustlosen Induktivität (L_x) in Reihe mit einem reinen Wirkwiderstand (R_x).



Meßbereich

Induktivität 10 μ H ... 1000 H
 Reihenwirkwiderstand 10 m Ω ... 1 M Ω
 unterteilt in 7 Bereiche mit den Maximalwerten . . . 1 / 10 / 100 mH / 1 / 10 / 100 / 1000 H
 1 / 10 / 100 Ω / 1 / 10 / 100 / 1000 k Ω

Fehlergrenzen

(im Temperaturbereich + 15° ... + 25° C)

Induktivität im Meßbereich

100 μ H ... 10 H $\pm 0,3\%$
 10 H ... 1000 H $\pm 0,6\%$
 10 μ H ... 100 μ H $\pm 0,8\%$

in den Meßbereichen 100 H und 1000 H gelten erweiterte Fehlergrenzen bei $Q < 1$, die den Kurvenblättern in der Gerätebeschreibung zu entnehmen sind

Reihenwirkwiderstand $\pm 3\%$ für $Q \leq 100$
 für $Q > 100$ siehe Kurvenblätter der Gerätebeschreibung

Den Meßklemmen parallel liegende innere Schaltkapazität etwa 10 pF

innere Induktivität in Reihe zum Meßobjekt etwa 0,08 μ H

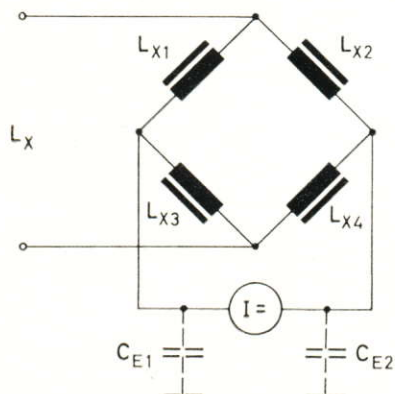
Gleichstrom-Vormagnetisierung

des Meßobjektes über besondere Klemmen

max. mögliche Vormagnetisierungsströme für das Meßobjekt:

Meßbereich	1 mH	10 mH	100 mH	1 H	10 H	100 H	1000 H
I_{max}	1,00 A	0,50 A	0,30 A	0,15 A	0,10 A	0,03 A	0,01 A

Die Gleichstromvormagnetisierung läßt sich auf ein Vielfaches dieser Werte steigern, wenn 4 gleichartige Objekte zu einer Brücke zusammengeschaltet werden. Die Stromspeisung erfolgt dann in der Brückendiagonale; der Meßwert ist der Mittelwert aus allen 4 Objekten.



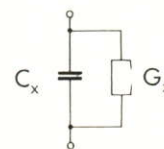
$$L_{X1} \approx L_{X2} \approx L_{X3} \approx L_{X4} \approx L_x$$

$$\omega L_x \ll \frac{1}{\omega(C_{E1} + C_{E2})}$$

Bild 6: Brückenschaltung von vier gleichartigen Meßobjekten zur beliebigen Gleichstromvormagnetisierung.

4.2 Als Kapazitätsmeßbrücke

Der Meßwert entspricht der Ersatzschaltung einer verlustlosen Kapazität (C_x) mit parallelgeschaltetem Wirkleitwert (G_x).



Meßbereich

Kapazität 10 nF... 1000 μ F
 Parallelwirkleitwert 10 μ S... 1 S
 unterteilt in 4 Bereiche mit den Maximalwerten 1 / 10 / 100 / 1000 μ F
 1 / 10 / 100 mS / 1 S

Fehlergrenzen

(im Temperaturbereich + 15° ... + 25° C)

Kapazität im Meßbereich

100 nF... 10 μ F $\pm 0,3\%$
 10 μ F... 1000 μ F $\pm 0,6\%$
 10 nF... 100 nF $\pm 0,8\%$

für Meßobjekte mit $\tan\delta > 1$ gelten in den Bereichen 10 μ F... 1000 μ F erweiterte Fehlergrenzen, die aus den Kurvenblättern der Gerätebeschreibung zu entnehmen sind

Parallelwirkleitwert $\pm 3\%$ für $\tan\delta \geq 10^{-2}$

für $\tan\delta < 10^{-2}$ siehe Kurvenblatt der Gerätebeschreibung

innere Induktivität in Reihe zum Meßobjekt etwa 0,08 μ H

Gleichspannungsbeaufschlagung

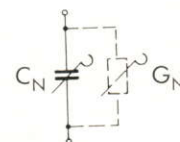
des Meßobjektes über besondere Klemmen
 max. mögliche Gleichspannungswerte am Meßobjekt

Meßbereich	1 μ F	10 μ F	100 μ F	1000 μ F
U_{max}	140 V	210 V	250 V	250 V

4.3 Als Präzisionskondensator

Kapazitätsbereich 100 pF... 1 μ F

einstellbar in 4 Dekaden 12 x 100 pF
 10 x 1 nF
 10 x 10 nF
 10 x 100 nF

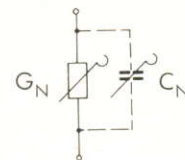


Fehlergrenzen(im Temperaturbereich $+15^{\circ} \dots +25^{\circ} \text{C}$)Dekaden $10 \times 100 \text{ nF}$ und $10 \times 10 \text{ nF}$ $\pm 0,2\%$ Dekade $10 \times 1 \text{ nF}$ allein $\pm 0,2\%$

zusammen mit der

Dekade $12 \times 100 \text{ pF}$ $\pm 0,7\%$ Dekade $12 \times 100 \text{ pF}$ $\pm 0,7\%$ Beim Parallelschalten der Leitwertdekaden zum Präzisionskondensator kommt eine Kapazitätsunsicherheit von $\leq 30 \text{ pF}$ hinzu.Reiheninduktivität $< 0,45 \mu\text{H}$

Verlustfaktor

Dekaden $10 \times 1 \text{ nF}$ bis $10 \times 100 \text{ nF}$ $\tan\delta \approx 2 \cdot 10^{-4}$ (Polystyrol)Dekade $12 \times 100 \text{ pF}$ $\tan\delta \approx 10^{-3}$ (Keramik)Zusätzlich ist ein durch die Verdrahtung bedingter Reihenwiderstand von max. $20 \text{ m}\Omega$ zu berücksichtigen.**Spannungsbelastbarkeit** max. $150 \text{ V} \sim$ oder $250 \text{ V} =$ bzw. Summe aus Scheitelwert einer Wechselspannung und einer überlagerten Gleichspannung . . . max. 250 V **4.4 Als Präzisionsleitwert****Leitwertbereich** $0,1 \mu\text{S} \dots 1 \text{ mS}$ einstellbar in 4 Dekaden $11 \times 0,1 \mu\text{S}$ $11 \times 1 \mu\text{S}$ $11 \times 10 \mu\text{S}$ $11 \times 100 \mu\text{S}$ **Fehlergrenzen**(und Belastbarkeit im Temperaturbereich $+15^{\circ} \dots +25^{\circ} \text{C}$)Dekade $11 \times 100 \mu\text{S}$ allein $\pm 0,2\%$ (3 W)zusammen mit den übrigen Dekaden $\pm 0,5\%$ Dekade $11 \times 10 \mu\text{S}$ allein $\pm 0,8\%$ ($0,5 \text{ W}$)zusammen mit den kleineren G-Werten $\pm 1,0\%$ Dekade $11 \times 1 \mu\text{S}$ allein $\pm 1,2\%$ ($0,25 \text{ W}$)zusammen mit der Dekade $11 \times 0,1 \mu\text{S}$ $\pm 2,0\%$ Dekade $11 \times 0,1 \mu\text{S}$ $\pm 4,0\%$ ($0,1 \text{ W}$)**4.5 Allgemeine Daten**Frequenzbereich $50 \text{ Hz} \dots 20 \text{ kHz}$ Eingangsspannung max. 4 V (bei 50 Hz)
frequenzproportional ansteigend bis 30 V (zulässig ab etwa 400 Hz)Eingangswiderstand $10 \Omega \dots 1 \text{ k}\Omega$
(je nach Frequenz und Meßbereich)Ausgangsquellenwiderstand $2 \dots 10 \text{ k}\Omega$
(je nach Frequenz und Meßbereich)

L-C-PRÄZISIONSMESSBRÜCKE LCB

Anschlüsse

für Brücken-Eingang und -Ausgang	koaxiale 13-mm-Buchsen DIN 47284
für das Meßobjekt	Rändelklemmen mit 4-mm-Bohrung, Mittenabstand 30 mm
für die Vormagnetisierung bzw. Vorspannung	Rändelklemmen mit 4-mm-Bohrung, Mittenabstand 30 mm
Abmessungen	470 x 275 x 260 mm (B x H x T) (R & S-Normkasten Größe 46)
Gewicht	12 kg

4.6 **Bestellbezeichnung** ► L-C-Präzisionsmeßbrücke Type LCB BN 620

4.7 **Notwendiges Zubehör** (gesondert zu bestellen)

Speisegenerator
wie z. B.

- RC-Generator Type SRM (BN 4085) oder
- RC-Generator Type SRB (BN 40851) oder
- Video-Breitband-Meßsender Type SBF (BN 40861) oder
- Schwebungssummer Type SIT (BN 40341)

Anzeigeverstärker
wie z. B.

- Abstimmbarer Anzeigeverstärker Type UBM (BN 12121/2) oder
- NF-Millivoltmeter Type UVN (BN 12001) (Einschränkung der Anwendbarkeit siehe Ziffer 2 „Arbeitsweise und Aufbau“)

Verbindungskabel

- 2 x Kabel, 50 cm BN 9111407/50

Änderungen, insbesondere solche, die durch den technischen Fortschritt bedingt sind, vorbehalten

ROHDE & SCHWARZ · 8 MÜNCHEN 8 · MÜHLDORFSTR. 15 · TELEPH. 401981 · TELEGR. ROHDESCHWARZ