

Ing. Karl-Heinz Schubert

Aus der Meßpraxis Für die Meßpraxis

Aus den jüngsten Jahrgängen der Zeitschriften *Amatérské Radio* und *Radiovy Konstrukter* sollen einige Schaltungen aus der Meßpraxis vorgestellt werden. Dabei sind Schaltungen ausgewählt worden, die nicht zu kompliziert sind und die man für die Selbstbaupraxis, z. B. von Transistorempfängern, vordringlich benötigt.

Meßpraxis bei Spulen und Kondensatoren

Zur Messung der Induktivitätswerte von Spulen und der Kapazitätswerte von Kondensatoren dienen spezielle Meßgeräte. Nicht jeder hat sie zur Verfügung. Wie man sich mit einfachen Mitteln behelfen kann [1], zeigt die Schaltung Bild 1. Es genügt ein einfacher Detektorempfänger mit Transistorverstärker, wenn ein größerer Rundfunksender in der Nähe ist. Der Schwingkreis des Detektorempfängers wird zur Messung herangezogen. Damit man Kapazitäten von etwa 0 pF bis 950 pF bestimmen kann, besteht der Abstimm-drehkondensator des Detektorschwingkreises aus einem 2fach-Drehkondensator 2 x 500 pF. Der Abstimmknopf des Drehkondensators erhält einen Zeiger; die Skala ist von 50 ...1000 pF zu eichen. Die Antenne, bei größerer Entfernung vom Sender eine hochangebrachte Drahtantenne, wird über eine Antennenspule an die Schwingkreisspule angekoppelt. Die Antennenspule hat etwa 30 bis 50 % der Windungszahl der Schwingkreisspule.

Induktivität, Kapazität und Frequenz, dieser Zusammenhang ist durch die *Thomson'sche* Schwingkreisformel festgelegt :

$$L = \frac{25330}{f^2 * C}$$

L — Induktivität in μH ; f — Frequenz in MHz; C — Kapazität in pF.

Der Detektorschwingkreis ist so zu dimensionieren, daß bei voll eingedrehtem Drehkondensator (C = 1000 pF) gerade der in der Nähe liegende Rundfunksender empfangen wird, z. B. Berliner Rundfunk auf $f = 611 \text{ kHz} = 0,611 \text{ MHz}$. Dazu gehört eine Induktivität der Schwingkreisspule von

$$L = \frac{25330}{0,611^2 * 1000} = \frac{25330}{373,3} = 68 \mu\text{H}$$

Die Windungszahl legt man an Hand der Kernkonstanten des verwendeten HF-Spulenkörpers fest. Soll die Kapazität eines Kondensators bestimmt werden, so schaltet man den Schalter in Stellung C_X und schließt den Kondensator an die Buchsen C_X an. Dadurch wird der Schwingkreis verstimmt; durch Herausdrehen des Drehkondensators stimmt man wieder auf den zuvor eingestellten Rundfunksender ab. Dabei steht der Zeiger des Drehkondensators bei 300 pF. Die Differenz $1000 \text{ pF} - 300 \text{ pF} = 700 \text{ pF}$ ist der Kapazitätswert für den Kondensator C_X . Der Indikator zur Anzeige

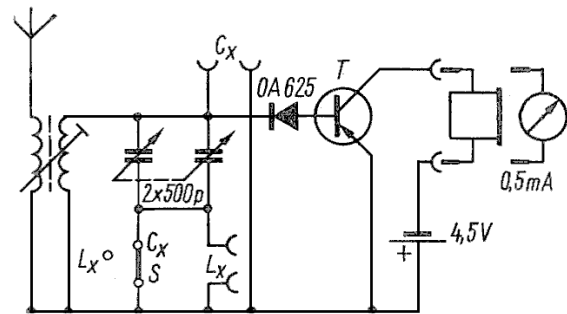


Bild 1 Einfacher Detektorempfänger als LC-Meßgerät

des Empfangs des Rundfunksenders kann der Kopfhörer oder ein Meßwerk (0,5 mA Endausschlag) sein (Bild 1). Als Betriebsspannung eignen sich solche von 1,5 bis 6 V.

Zur Messung der Induktivität einer Spule legt man den Schalter S in Stellung L_X und schließt die Spule an den Buchsen L_X an. Während bei der C-Messung der Kondensator parallel zum Schwingkreis angeschlossen wurde, ist bei der L-Messung die Spule in den Schwingkreis zu schalten (Reihenschaltung von Spulen). Die auftretende Verstimmung des Schwingkreises wird mit dem Drehkondensator wieder ausgeglichen. Angenommen, man hört den Rundfunksender bei $C = 600 \text{ pF}$ wieder, dann ist die durch L_X erforderliche Kapazitätsänderung $1000 \text{ pF} - 600 \text{ pF} = 400 \text{ pF}$. Bezogen auf die maximale Kapazität, ergibt sich das Verhältnis $1000/400 = 2,5$. In diesem Verhältnis hat sich durch die Reihenschaltung der Spulen auch die Induktivität im Schwingkreis verändert, also $68 \text{ } \mu\text{H} \cdot 2,5 = 170 \text{ } \mu\text{H}$. L_X ist dann die Differenz, also $170 \text{ } \mu\text{H} - 68 \text{ } \mu\text{H} = 102 \text{ } \mu\text{H}$.

Steht für die Meßpraxis ein abstimmbarer Prüfgenerator zur Verfügung, so kann man das im Bild 2a gezeigte Meßprinzip anwenden [2], [3]. An einem in den Schwingkreis geschalteten Widerstand ist die HF-Spannung des Prüfgenerators einzuspeisen. Der Prüfgenerator wird auf die Resonanzfrequenz des Schwingkreises eingestellt; als Abstimmhilfe dient ein empfindliches Messwerk mit Gleichrichterschaltung.

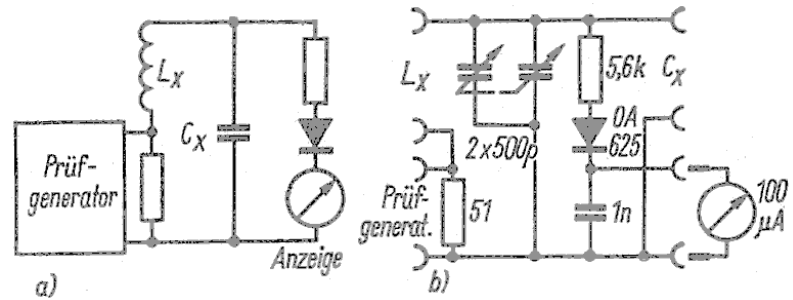


Bild 2 Zusatzgerät für den Prüfgenerator zur LC-Messung; A – Meßprinzip, b – Schaltung für das Zusatzgerät

Mit der im Bild 2b angegebenen Schaltung können Induktivitäten von $1 \text{ } \mu\text{H}$ bis 25 mH und Kapazitäten von 10 pF bis 25 nF bestimmt werden. Zusätzlich zu der angegebenen Schaltung benötigt man lediglich eine Normalspule $100 \text{ } \mu\text{H}$, ein Meßwerk $100 \text{ } \mu\text{A}$ und den Prüfgenerator. Die Eichung des 2fach-Drehkondensators im Bereich $10 \dots 1000 \text{ pF}$ kann mit Hilfe der Normalspule $100 \text{ } \mu\text{H}$, dem Prüfgenerator und Tabelle 1 vorgenommen werden.

L_x, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f MHz	L_x, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f MHz	L_x, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f MHz	L_x, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f MHz
10	5,04	210	1,10	410	0,784	680	0,610
20	3,55	220	1,08	420	0,775	700	0,601
30	2,90	230	1,05	430	0,767	720	0,592
40	2,51	240	1,025	440	0,759	740	0,585
50	2,25	250	1,005	450	0,749	750	0,580
60	2,05	260	0,988	460	0,740	760	0,576
70	1,90	270	0,969	470	0,734	780	0,569
80	1,78	280	0,950	480	0,725	800	0,562
90	1,68	290	0,935	490	0,719	820	0,555
100	1,59	300	0,920	500	0,714	840	0,548
110	1,51	310	0,905	520	0,697	850	0,546
120	1,45	320	0,890	530	0,684	860	0,542
130	1,39	330	0,875	540	0,676	880	0,536
140	1,34	340	0,863	560	0,671	900	0,531
150	1,30	350	0,850	580	0,661	920	0,525
160	1,26	360	0,839	600	0,650	940	0,518
170	1,22	370	0,824	620	0,639	950	0,515
180	1,19	380	0,815	640	0,629	960	0,513
190	1,14	390	0,805	650	0,624	980	0,509
200	1,12	400	0,795	660	0,620	1000	0,504

Tabelle 1 Für Werte $10 \dots 1000 \text{ } \mu\text{H}$ und 1000 pF (Bild 2b)

Tabelle 2 dient zur Bestimmung der Werte im Bereich $1 \dots 25 \text{ nF}$, bzw. $1 \dots 25 \text{ mH}$.

Die Normalspule $100 \text{ } \mu\text{H}$ stellt man selbst her, allerdings verwendet man dazu keine HF-Spulenkörper mit HF-Abgleichkern. Geeigneter ist eine 1 lagige Zylinderspule auf einem Keramik-

L_c, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f kHz	L_x, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f kHz	L_x, C_x $\mu\text{H}, \text{pF}$	f kHz
1000	504	2700	307,8	6800	193,5
1100	479	3000	291	7500	183,5
1200	459	3300	278	8200	175,2
1300	442	3600	265	9100	167
1500	412	3900	255,8	10000	159
1600	398	4300	241	12000	145,1
1800	376	4700	232	15000	130
2000	356,3	5100	223	18000	118,2
2200	341	5600	212,6	20000	112,4
2400	325,9	6200	202,3	25000	100,2

Tabelle 2 Für Werte 1 ...25 mH und 1 ...25nF (Bild 2b)

körper. Bei einem Durchmesser von 18 bis 20 mm sind etwa 100 Wdg., bei 25 mm etwa 70Wdg., 0,25- mm-CuL, erforderlich.

Messung kleiner Kapazitäten

Bei L_X wird die Normalspule 100 μH , bei C_X der zu messende Kondensator angeschlossen. Den Drehkondensator bringt man auf minimale Kapazität (Drehkoanfangskapazität etwa 10 pF). Mit dem angeschlossenen Prüfgenerator wird im Bereich 0,5 ...5 MHz die Resonanzfrequenz des Schwingkreises gesucht. Das Meßwerk 100 μA zeigt dabei einen maximalen Zeigerausschlag. Läßt sich am Prüfgenerator die Frequenz 650 kHz ablesen, so entspricht das nach Tabelle 1 einer Kapazität von 600 pF. Davon zieht man noch die Drehkoanfangskapazität (10 pF) ab, so daß

$$C_X = 600 \text{ pF} - 10 \text{ pF} = 590 \text{ pF} .$$

Es ist auch möglich, den Kondensator C_X bei der eingestellten Resonanzfrequenz abzuklemmen und durch Abstimmen mit dem Drehkondensator erneut die Resonanzstelle zu suchen. An der Kapazitätsskala kann man dann einen Wert ablesen, der dem von C_X entspricht. Nach der *Thomsonschen* Schwingkreisformel ist

$$C_X = \frac{253 * 10^8}{L * f^2}$$

in pF, μH und kHz.

Bei $L=100 \mu\text{H}$ (Normalspule) ist dann

$$C_X = \frac{253 * 10^6}{f^2}$$

In pF und kHz.

Messung größerer Kapazitäten

Man verwendet bei diesen Messungen ebenfalls die Normalspule 100 μH . Der Drehkondensator wird auf einen Wert von 100 pF eingestellt, der Prüfgenerator im Bereich 100 bis 500 kHz benutzt. Mit der Tabelle 2 bestimmt man mit Hilfe des abgelesenen Frequenzwertes den Kapazitätswert des unbekanntem Kondensators. Es gilt für Zwischenwerte die Formel

$$C_X = \frac{253 * 10^6}{f^2} - 100 \quad \text{in pF und kHz.}$$

Messung der Induktivität > 10 μH

Der Drehkondensator ist auf 95 pF einzustellen, so daß gleichzeitig die Wicklungskapazität der Spule berücksichtigt wird. Für die Schwingkreiskapazität gilt dann der Wert 100 pF. Bei Berücksichtigung dieses Wertes ergibt sich

$$L_x = \frac{253 \cdot 10^6}{f^2}$$

in μH und kHz.

Mit der abgelesenen Resonanzfrequenz findet man den Induktivitätswert für $f > 500$ kHz in Tabelle 1, für $f < 500$ kHz in Tabelle 2.

Messung der Spulenwicklungskapazität

Mit einem beliebig eingestellten Kapazitätswert (z. B. $C_1 = 480$ pF) stellt man bei angeschlossener Spule die Resonanzfrequenz ein (z.B. $f_1 = 725$ kHz). Nun wird der Prüfgenerator auf die doppelte Frequenz ($f_2 = 2 \times 725$ kHz = 1450 kHz) abgestimmt. Mit dem Drehkondensator sucht man wieder die Resonanzstelle (z.B. $C_2 = 110$ pF). Zur Berechnung der Spulenwicklungskapazität C_L gilt die Formel

$$C_L = \frac{C_1 - 4 \cdot C_2}{3} \quad \text{in pF.}$$

Für das Messbeispiel erhält man

$$C_L = \frac{480 - 4 \cdot 110}{3} = \frac{480 - 440}{3} = \frac{40}{3} \approx 13 \text{ pF.}$$

Messung der Induktivität 1 bis 10 μH

Obwohl dieser Bereich in den Tabellen nicht enthalten ist, kann man Spulen in diesem L-Bereich messen. Der Meßvorgang entspricht dem der Messung der Spulenwicklungskapazität. Für die Berechnung gilt die Formel

$$L_x = \frac{19000}{f_1^2 (C_1 - C_2)} \quad \text{in } \mu\text{H, MHz und pF.}$$

Ein LC-Meßgerät [4], [5], das nach dem HF-Resonanzverfahren arbeitet, zeigt Bild 3. Der zu messenden Induktivität bzw. Kapazität liegt ein entsprechend dimensionierter HF-Schwingkreis parallel. Die von einem abstimmbaren Oszillator (linke Röhre EF 80) erzeugte Frequenz wird im Resonanzfall als Resonanzspannung mit einem Röhrenvoltmeter (rechte Röhre EF 80) gemessen. Der mit dem Oszillator erfaßte Frequenzbereich ist 300...600 kHz. Neben der LC-Messung in den Meßbereichen

$$10 \dots 100 \mu\text{H}, 100 \dots 1000 \mu\text{H}, 1 \dots 100 \text{ mH};$$

$$0 \dots 100 \text{ pF}, 0 \dots 1000 \text{ pF}, 0 \dots 1 \text{ nF}$$

kann das Gerät als unmodulierter Prüfgenerator (mit Oberwellen bis 3 MHz), zur Bestimmung der Kernkonstanten k von HF-Eisenkernspulen (mit Probespule mit 100 Wdg.) und zum Gütevergleich bzw. Abgleich von Schwingkreisen im Bereich 300...600 kHz verwendet werden.

In Stellung 1 des Schalters S1a / S1b liegt die Oszillatorfrequenz an den Buchsen L_X/C_X , so daß Messungen an Schwingkreisen bzw. Abgleicharbeiten möglich sind. Die Schalterstellungen 2...4 dienen zur L-Messung, die von 5...7 zur C-Messung. Für die angeschalteten Meßkreise gibt Tabelle 3 die entsprechenden Werte an. Da sich die Skalen für die einzelnen L- bzw. C-Bereiche decken, genügt eine Skala für die L-Messung und eine für die C-Messung. Dazu kommt eine Skala für die Kernkonstante k und eine Frequenzskala. (Werte dafür in den Tabellen 4, 5 und 6). Zur Eichung der Frequenzskala kann man die Frequenzen bekannter Rundfunksender benutzen. Außerdem sollte man folgende L- bzw. C-Werte mit guter Genauigkeit zur Verfügung haben: 10 μH , 100 μH , 1 mH, 100 pF, 1 nF und 10 nF.

Bei der Messung von Induktivitäten bzw. Kapazitäten sucht man die Resonanzstelle, man stimmt also auf maximalen Zeigerausschlag ab. Zu berücksichtigen bleibt lediglich der eingeschaltete Multiplikationsfaktor des Meßbereichs. Um Induktivitäten $< 10 \mu\text{H}$ messen zu können, schaltet man eine Induktivität von $L_2 = 10 \mu\text{H}$ mit der zu messenden Spule L_X in Reihe.

Es wird

$$L_x = L_1 - L_2 = L_1 - 10 \mu\text{H},$$

L_1 = gemessene Induktivität der Reihenschaltung in μH

Tabelle 3 Spulen- und Kapazitätswerte der Schwingkreise (Bild 3)

Bereich 2	Bereich 3	Bereich 4	Bereich 5	Bereich 6	Bereich 7
10...100 μH	100...1000 μH	1...100 mH	0...10000 pF	0...1000 pF	0...100 pF
$L_1 = 30 \mu\text{H}$	$L_2 = 300 \mu\text{H}$	$L_3 = 3 \text{ mH}$	$L_4 = 21,2 \mu\text{H}$	$L_5 = 212 \mu\text{H}$	$L_6 = 2,12 \text{ mH}$
$C_1 = 9400 \text{ pF}$	$C_2 = 940 \text{ pF}$	$C_3 = 94 \text{ pF}$	$C_4 = 3333 \text{ pF}$	$C_5 = 333 \text{ pF}$	$C_6 = 33,3 \text{ pF}$
4 x 13 Wdg.	4 x 43 Wdg.	4 x 134 Wdg.	4 x 11 Wdg.	4 x 36 Wdg.	4 x 114 Wdg.
0,2-mm-CuL	0,2-mm-CuL	0,1-mm-CuL	0,2-mm-CuL	0,2-mm-CuL	0,1-mm-CuL

Verwendet wird ein 4-Kammer-Spulenkörper mit HF-Abgleichkern.

$L_0 = 4 \times 52 \text{ Wdg.}$, 0,2-mm-CuL, Anzapfung bei 17. Wdg. vom kalten Ende.

Tabelle 4 Kernkonstante k in Abhängigkeit vom L -Wert
(Bereich 100...1000 μH , Probespule mit 100 Wdg.)

L μH	K	L μH	K	L μH	K
1000	100	309	180	148	260
826	110	277	190	137	270
694	120	250	200	127	280
591	130	226	210	119	290
510	140	206	220	111	300
444	150	189	230	104	310
390	160	173	240		
346	170	160	250		

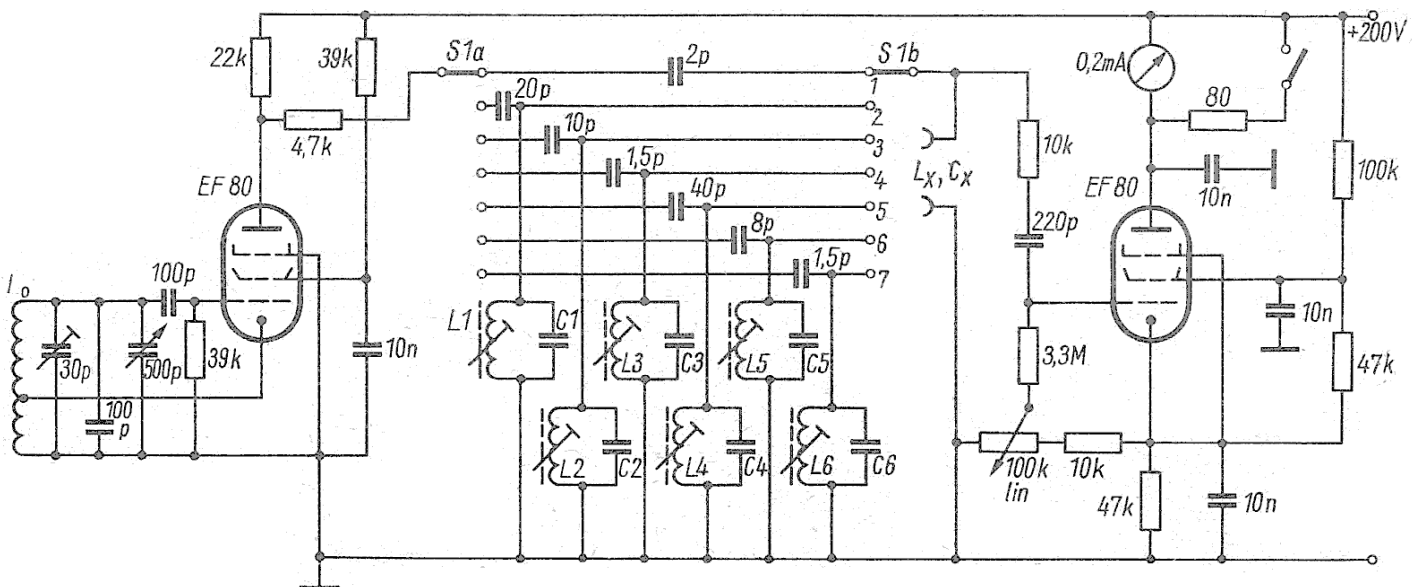


Bild 3 Schaltung eines LC-Meßgerätes nach dem Resonanzverfahren

Tabelle 5 *Skalenwerte zur Induktivitätsmessung*

f kHz	L_x μH	f kHz	L_x μH	f kHz	L_x μH
602	10	464	22	353	80
581	11	452	24	348	90
563	12	441	26	343	100
548	13	433	28	330	150
533	14	426	30	323	200
522	15	411	35	316	300
510	16	399	40	312	400
502	17	389	45	310	500
490	18	381	50	306	1000
483	19	369	60	301	∞
476	20	360	70		

Tabelle 6 *Skalenwerte zur Kapazitätsmessung*

f kHz	C_x pF	f kHz	C_x pF	f kHz	C_x pF
602	0	505	14	381	50
594	1	495	16	370	55
585	2	485	18	360	60
577	3	476	20	351	65
569	4	467	22	342	70
561	5	459	24	334	75
554	6	451	26	327	80
547	7	444	28	320	85
540	8	437	30	313	90
533	9	421	35	307	95
528	10	406	40	301	100
517	12	393	45		

Tabelle 7 *Skalenwerte zur Messung von Induktivitäten < 10 μH*

f kHz	L_x μH	f kHz	L_x μH	f kHz	L_x μH
602	0	510	6	452	14
581	1	502	7	441	16
563	2	490	8	433	18
548	3	483	9	426	20
533	4	476	10		
522	5	464	12		

Für den Meßbereich 10...100 μH gibt Tabelle 7 die bereits umgerechneten Werte an. Bei Induktivitäten $> 100 \text{ mH}$ schaltet man eine Induktivität $L_2 = 1 \text{ mH}$ parallel zur Induktivität L_x . Es wird

$$L_x = \frac{L_1 * L_2}{L_1 - L_2} \quad \text{in mH}$$

L_1 — gemessene Induktivität der Parallelschaltung in mH.

Ebenso verfährt man bei der Messung von Kapazitäten $> 10000 \text{ pF}$ (10 nF), man schaltet zum Kondensator C_x einen Kondensator $C_2 = 10 \text{ nF}$ in Reihe.

Es gilt

$$C_x = \frac{C_1 * C_2}{C_1 - C_2} \quad \text{in nF}$$

C_1 — gemessene Kapazität der Reihenschaltung in nF.

Um bei einem HF-Spulenkörper mit HF-Eisenkern die Windungszahl für eine bestimmte Induktivität festzulegen, muß man die Kernkonstante k kennen.

Es gilt

$$k = \frac{w}{\sqrt{L}}$$

k — Kernkonstante;

w — Windungszahl;

L — Induktivität in mH.

Wickelt man auf den HF-Spulenkörper $w = 100 \text{ Wdg.}$, so ist

$$k = \frac{100}{\sqrt{L}}$$

Zur Messung der Induktivität dieser Probspule benutzt man den Meßbereich 100 ...1000 μH , den man nach Tabelle 4 auch in k -Werten eichen kann.
