

Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik

SCHWINGKREISE (Versuch 11)



Fachhochschule Fulda
Fachbereich Elektrotechnik

durchgeführt von _____ Matrikel-
Nr. _____
(Protokollführer)

zusammen mit _____ Matrikel-
Nr. _____

Datum _____ Gruppe

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Ident Nr.	Bemerkung
1	Oszilloskop Hameg 205-3	020000056	
2	Spule 3600 Wdg.	06516.01	
3	Spule 1200 Wdg.	ET10/ET11	
4	2 Kondensatoren		
5	Digitalmultimeter M3610D	EJ164084	
6	Digitalmultimeter M3610D	EJ949131	
7	Digitalmultimeter M3610D	EG606681	
8	Digitalmultimeter M3610D	EI950005	
9	Digitalmultimeter M3610D	EJ053526	
10			
11			
12			

13			
14			
15			

Schwingkreise

1. Grundlagen

In diesem Versuch wird das charakteristische Verhalten elektrischer Schwingkreise demonstriert und untersucht. Voraussetzung für das Verständnis des Versuchs sind Grundlagenkenntnisse lt. Vorlesungsskript oder etwa im Umfang von *H. Frohne*: Einführung in die Elektrotechnik Bd. 3 (Wechselstrom), Kapitel 4'.

Schwingkreise sind passive Zwei- oder Vierpole, die mindestens zwei Energiespeicher für unterschiedliche Energieformen enthalten.

In diesem Versuch soll das Auftreten von Resonanzerscheinungen in einfachen elektrischen Netzwerken bei Speisung mit Wechselspannung oder Wechselstrom konstanter Amplitude aber veränderbarer Frequenz beschrieben und experimentell untersucht werden. Diesen Erscheinungen kommt sowohl in der Energie- als auch in der Nachrichtentechnik große Bedeutung zu.

Zur Einführung sollen nachstehend kurz die wesentlichen Begriffe und Gleichungen, jeweils getrennt für den Serien- und Parallelkreis, zusammengestellt werden.

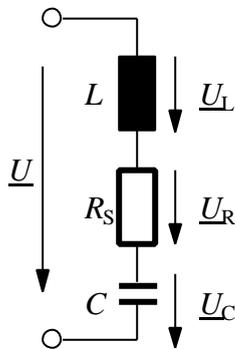


Bild 1a: Serienschwingkreis mit Verlustwiderstand (R_S)

$$\underline{Z} = R_S + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (1a)$$

$$|\underline{Z}| = \sqrt{R_S^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2a)$$

$$\mathbf{j} \varphi_Z = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R_S} \quad (3a)$$

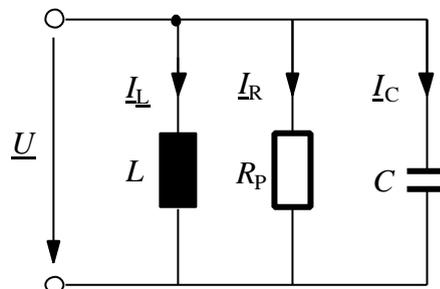


Bild 1b: Parallelschwingkreis mit Verlustwiderstand ($R_P = 1/G_P$)

$$\underline{Y} = G_P + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \quad (1b)$$

$$|\underline{Y}| = \sqrt{G_P^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad (2b)$$

$$\mathbf{j} \varphi_Y = \arctan \frac{\omega C - \frac{1}{\omega L}}{G_P} \quad (3b)$$

Die Abhängigkeit der komplexwertigen Impedanz \underline{Z} (bzw. der komplexwertigen Admittanz \underline{Y}) von der Kreisfrequenz ω kann Bild 2 entnommen werden.

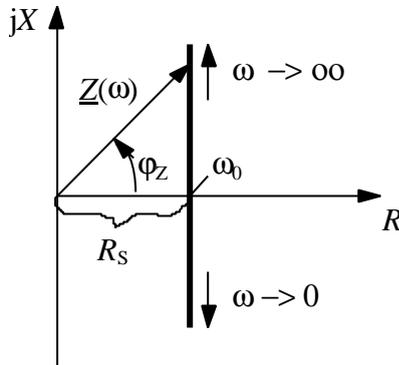


Bild 2a: Ortskurve der Impedanz \underline{Z} des Serienschwingkreises

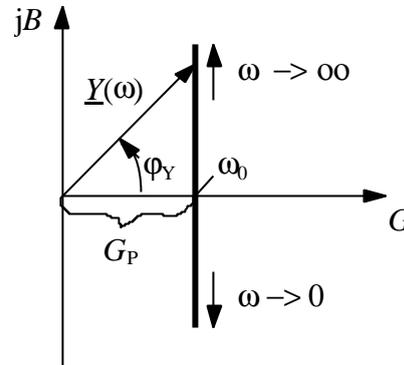


Bild 2b: Ortskurve der Admittanz \underline{Y} des Parallelschwingkreises

Im Resonanzpunkt $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ sind Strom und Spannung (beim Serien- wie beim Parallelschwingkreis) in Phase, die aufgenommene Blindleistung wird zu Null, es wird nur Wirkleistung aufgenommen. Weiter gilt:

$$\underline{Z} = \text{Re}\{\underline{Z}\} = R_S \quad (4a)$$

$$\underline{Y} = \text{Re}\{\underline{Y}\} = G_P = \frac{1}{R_P} \quad (4b)$$

$$|\underline{Z}| = \text{minimal} \quad (5a)$$

$$|\underline{Y}| = \text{minimal} \quad (5b)$$

Die aufgenommene Scheinleistung wird somit minimal beim

<u>Serienschwingkreis</u>	mit	<u>eingepprägtem Strom</u> ($ I = \text{const.}$)
<u>Parallelschwingkreis</u>	mit	<u>eingepprägter Spannung</u> ($ U = \text{const.}$);

sie wird maximal beim

<u>Serienschwingkreis</u>	mit	<u>eingepprägter Spannung</u> ($ U = \text{const.}$)
<u>Parallelschwingkreis</u>	mit	<u>eingepprägtem Strom</u> ($ I = \text{const.}$).

Die beschriebenen Schwingkreiseigenschaften werden genutzt zur

- 1). Blindleistungskompensation. Um die Blindleistungsaufnahme eines Verbrauchers auf-zuheben oder zu verringern, wird ein Blindwiderstand parallelgeschaltet der betragsmäßig mit der Größe des Blindanteils der Verbraucherimpedanz übereinstimmt, jedoch ein entgegengesetztes Vorzeichen hat.
- 2). die Realisierung bestimmter Übertragungseigenschaften unter Ausnutzung der Frequenzselektivität eines Schwingkreises (Filtereigenschaft).

Aus der Ortskurve der Impedanz/Admittanz kann bei gegebener Speisung des Schwingkreises der Verlauf der Amplitude der abhängigen Größe (Gesamtstrom oder Gesamtspannung) sowie die Phasenlage zu einer gewählten Bezugsgröße bestimmt und im sog. Bodediagramm dargestellt werden, siehe Bild 3. Zur Vereinfachung werden im Bodediagramm meist normierte Größen dargestellt.

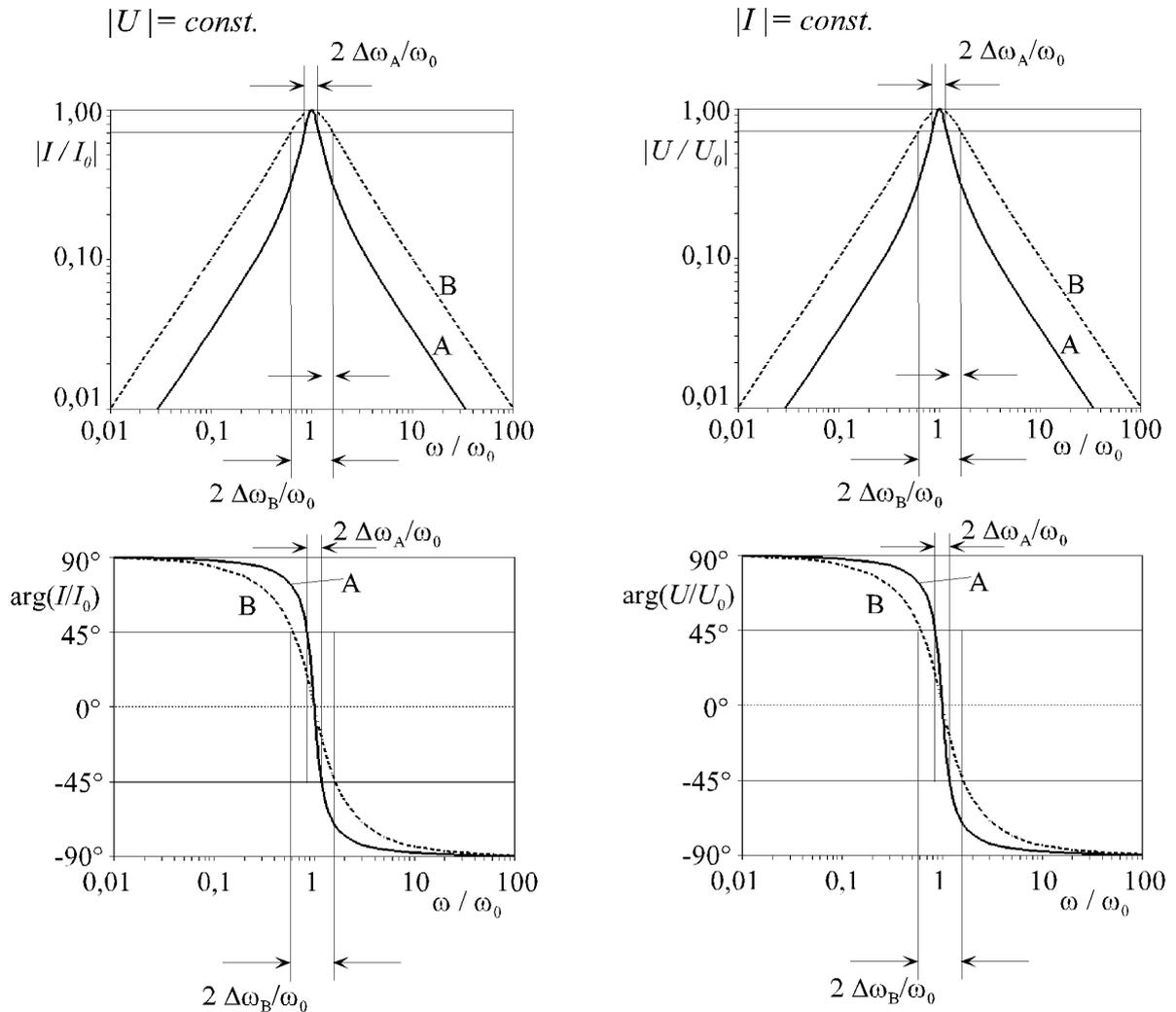


Bild 3a: Bodediagramm für einen Serienschwingkreis bei Speisung aus einer Spannungsquelle veränderlicher Frequenz; $R_{S,A} < R_{S,B}$

Bild 3b: Bodediagramm für einen Parallelschwingkreis bei Speisung aus einer Stromquelle veränderlicher Frequenz; $R_{P,A} > R_{P,B}$

Dem Bodediagramm kann direkt die Bandbreite $2 \Delta \omega$ entnommen werden, indem die Differenz der beiden Frequenzen ermittelt wird, bei denen die Amplitude auf das $\frac{1}{\sqrt{2}}$ -fache des Maximalwertes abgefallen ist. Diese Frequenzen sind auch dadurch festgelegt, daß hier die Phase Werte von $\pm 45^\circ$ annimmt.

Rechnerisch kann die Bandbreite mit Hilfe der Güte Q aus

$$2 \Delta \omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad (6)$$

bestimmt werden.

Hierin ist

$$Q = \frac{X_0}{R_S} \text{ für den Serienschwingkreis} \quad Q = \frac{B_0}{G_P} = \frac{R_P}{X_0} \text{ für den Parallelschwingkreis} \quad (7a) \quad (7b)$$

mit

$$X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8)$$

Die Kreisgüte legt die Spannungsüberhöhung an den (idealen) Blindelementen des Reihenschwingkreises bzw. des Parallelschwingkreises fest:

$$\frac{|\underline{U}_C(\omega_0)|}{|\underline{U}|} = Q = \frac{|\underline{U}_L(\omega_0)|}{|\underline{U}|} ; \quad \frac{|\underline{I}_C(\omega_0)|}{|\underline{I}|} = Q = \frac{|\underline{I}_L(\omega_0)|}{|\underline{I}|}$$

Serienkreis bei Speisung mit $|\underline{U}| = \text{const.}$ Parallelkreis bei Speisung mit $|\underline{I}| = \text{const.}$

(9a) (9b)

Die Spannungsmaxima an den (idealen) Blindelementen des Serienkreises bei Speisung mit konstanter Spannung treten nicht bei der Resonanzfrequenz, sondern bei den Frequenzen

$$\omega_{0C} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \quad (10a) \quad \text{bzw.} \quad \omega_{0L} = \omega_0 \left(\sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \right)^{-1} \quad (10b)$$

auf; auch die Strommaxima in den (idealen) Blindelementen des Parallelkreises bei Speisung mit konstantem Strom treten nicht genau bei der Resonanzfrequenz auf. Der Unterschied ist in der Praxis (wegen $Q \gg 1$) allerdings meist nur von geringer Bedeutung.

Zu beachten ist, daß für die Schwingkreisgüte schaltungsabhängig auch folgende Wirkwiderstände von Bedeutung sein können:

- a). der ohmsche Anteil der Impedanz der speisenden Quelle
- b). der ohmsche Anteil von nicht-idealen Blindelementen im Schwingkreis
- c). der Wirkanteil von Impedanzen, die am Schwingkreis angeschlossen sind (z.B. Verstärkerstufen oder - wie im Versuch - Innenwiderstände von Meßgeräten).

Meßtechnisch kann die Güte eines Serienschwingkreises auch dadurch ermittelt werden, daß der Kreis zum Zeitpunkt $t = 0$ s mit einer Gleichspannung U_0 beaufschlagt wird und der sich dann einstellende transiente Spannungsverlauf $u_C(t)$ am Kondensator oszillographiert wird, siehe Bild 4. Die Güte ist dann der Beziehung

$$\frac{1}{2Q} = \frac{J_n}{\sqrt{4p^2 n^2 + J_n^2}} \quad \text{mit} \quad J_n = \ln \frac{\Delta_1}{\Delta_{(1+n)}} \quad (11)$$

zu entnehmen.

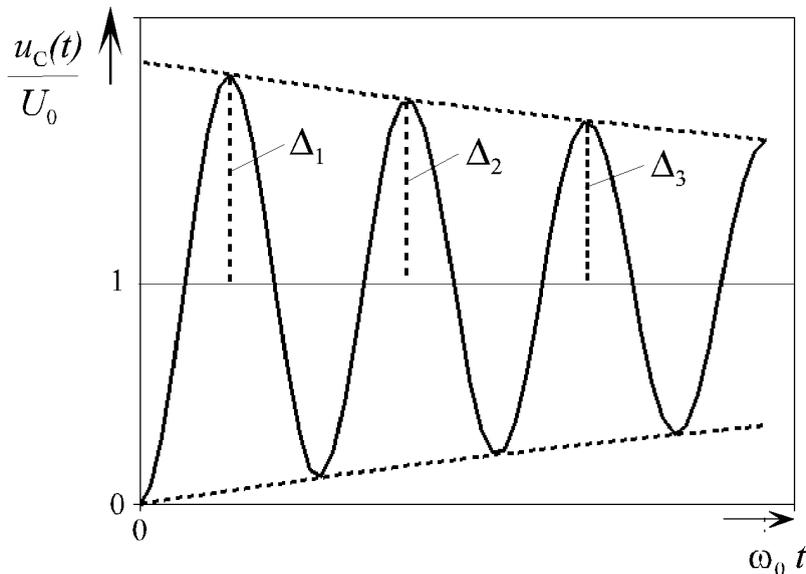


Bild 4: Normierte Kondensatorspannung als Funktion der normierten Zeit

Die Auslegung eines Schwingkreises für erwünschte Resonanzen soll nachstehend am Beispiel einer Blindleistungskompensation und eines Antenneneingangskreises beispielhaft erläutert werden.

- 1). Blindleistungskompensation: Gegeben sei ein Verbraucher der Impedanz Z am Netz konstanter Spannung \underline{U}_N und konstanter Frequenz f , siehe Bild 5. Die Impedanz Z setzt sich zusammen aus einem induktiven Blindwiderstand X_L und einem Wirkwiderstand R_S in Serie. Um den Leistungsfaktor zu verbessern, wird ein Blindanteil entgegengesetzten Vorzeichens parallel zum Verbraucher geschaltet. Der Leistungsfaktor $\cos \phi$ wird dabei in der Regel nicht auf den Wert 1 kompensiert, sondern es wird ein geringerer Wert $\cos \phi = 0,9$ angestrebt. Aus der Bedingung

$$\cos \mathbf{f} \approx 0,9 = \cos \left[\arctan R_P \left(\frac{1}{\omega L_P} - \omega C_K \right) \right] \quad (12)$$

kann die Kompensationskapazität C_K bestimmt werden. Hierin sind R_P und L_P Kennwerte von Schaltelementen einer äquivalenten Parallelschaltung.

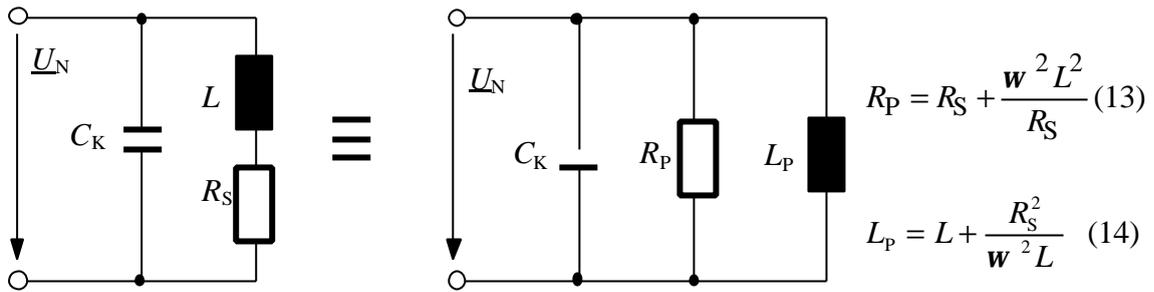
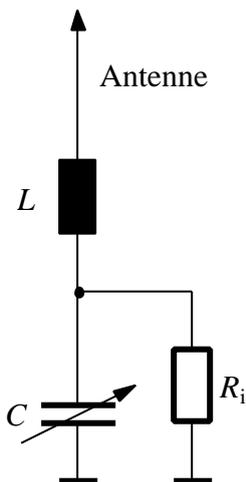


Bild 5: Kompensationsschaltung für einen Induktiven Verbraucher, C_K : Kompensationskapazität

- 2). Antenneneingangskreis: Eine Spannung bestimmter Frequenz (der Frequenz des gewünschten Senders) soll maximal verstärkt werden, während alle übrigen Frequenzen möglichst stark unterdrückt werden sollen. Diese Forderung wird durch einen Serien-schwingkreis hoher Güte nach Bild 6 erfüllt.



Die über dem Kondensator abgegriffene Spannung ist in der Nähe der Resonanzfrequenz etwa um den Faktor der Güte Q größer als die Speisespannung ($Q \gg 1$). Zwecks Erzielung hoher Kreisgüten müssen verlustarme Bauelemente gewählt werden. Außerdem muß darauf geachtet werden, daß der Eingangswiderstand R_i eines nachgeschalteten Transistorverstärkers (Parallelwiderstand zum Kondensator) die Kreisgüte ebenfalls beeinflusst. Er muß im interessierenden Frequenzintervall also groß sein gegen die Reaktanz X_C des Kondensators ($R_i \gg |X_C|$). Unter diesem Gesichtspunkt ist eine möglichst große Kapazität C und eine kleine Induktivität L zur Realisierung eines frequenz-selektiven Kreises vorgegebener Mittenfrequenz (=Empfangsfrequenz des gewünschten Senders) einzusetzen.

Bild 6: Antenneneingangskreis

Unerwünschte Resonanzerscheinungen, die wegen der damit verbundenen Spannungs- und/ oder Stromerhöhungen zur Gefährdung oder Zerstörung von Bauelementen führen können oder die Impedanz eines Bauelementes stark verändern, treten sowohl in der Energietechnik als auch in der Nachrichtentechnik auf. In der Energietechnik bilden Leitungen und Kabel und die angeschlossenen kapazitiven und induktiven Verbraucher Schwingkreise, deren Resonanzfrequenz zwar durch geeignete Netzauslegung weitab von der Netzfrequenz liegt, die aber bei Einschalt- oder Stoßvorgängen (Blitzschlag) zu kurzzeitigen - über Oberwellen auch zu stationären - Schwingungen angeregt werden können.

Für die Nachrichtentechnik sind parasitäre oder zu Unrecht vernachlässigte Blindelemente (z.B. Leitungskapazitäten und -Induktivitäten) von Bedeutung, die durch Resonanzeffekte eine starke Änderung der wirksamen Impedanz einer Schaltung hervorrufen können. Hierdurch kann die Funktion der Schaltung gestört oder es können in gekoppelten Schaltkreisen unerwünschte

Schwingungen angeregt werden. Bei der Wahl von Bauelementen ist daher stets deren Eigenresonanzfrequenz zu beachten.

Bei Zusammenschaltung mehrerer verschiedener Energiespeicher können Konfigurationen entstehen, die nicht auf Schaltungen nach Bild 1 zurückzuführen sind. Es können dann mehrere Resonanzstellen auftreten. Ein Beispiel hierfür erhält man, wenn bei einer Spule die parasitären Wicklungskapazitäten mit in einem Ersatzschaltbild erfaßt werden.

2. Versuchsdurchführung

Am Versuchstisch steht u.a. ein Frequenzgenerator und ein Zweikanaloszilloskop zur Verfügung, mit dem Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung gemessen werden können. Die Multimeter sind für einen Frequenzbereich zwischen 40 und 400 Hz spezifiziert.

2.1 Reihenschwingkreis

- Halten Sie die Spannung U am Reihenschwingkreis konstant. Nehmen Sie den Amplitudenverlauf $I(f)$ und den Phasenverlauf $\phi(f)$ auf. ϕ bezeichnet die Phasenverschiebung des Stromzeigers \underline{I} gegen den Spannungszeiger \underline{U} . Stellen Sie die Ergebnisse graphisch über der Frequenz dar.

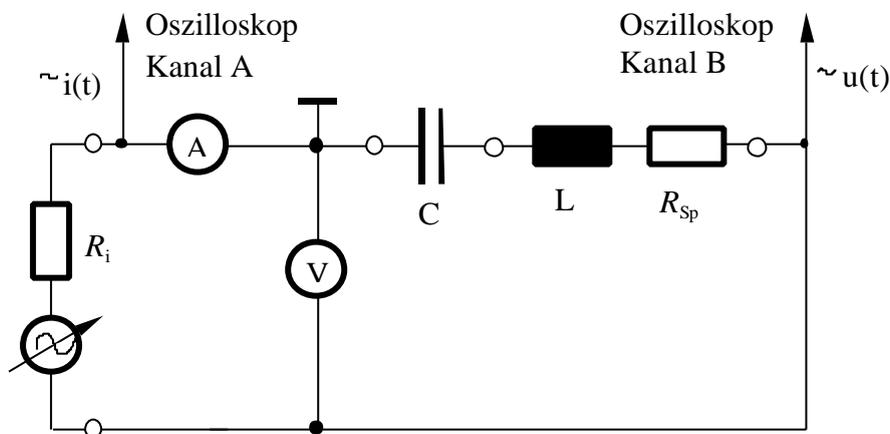


Bild 7: Schaltungsvorschlag zu Aufgabe 2.1.1

- Nehmen Sie für konstante Speisespannung die Amplitudenverläufe $U_C(f)$ und $U_{Sp}(f)$ auf. Stellen Sie die Ergebnisse graphisch über der Frequenz dar.
- Ermitteln Sie die Kreisgüte Q
 - aus den Meßwerten für U_{sp} und I und dem Gleichstromwiderstand R_{sp} nach Gl. 7a
 - aus der Bandbreite der Stromkurve (Gl. 6)
 - aus der Spannungsüberhöhung (Gl. 9a)

2.2 Parallelschwingkreis

- Nehmen Sie für konstanten Speisestrom den Amplitudenverlauf $U(f)$ und den Phasenverlauf $\phi(f)$ auf. Stellen Sie die Ergebnisse graphisch über der Frequenz dar.
- Ermitteln Sie die Kreisgüte Q
 - aus Gl. 7b. Dazu werden der äquivalente Parallelwiderstand R_p und die äquivalente Parallelinduktivität L_p nach Gl. 13 benötigt.
 - aus der Bandbreite der Spannungskurve (Gl. 6); benutzen Sie für die Festlegung der Bandbreite diejenigen Frequenzwerte, bei denen die Spannung auf den $(1/\sqrt{2})$ -fachen Teil des

Maximalwertes abgefallen ist. Welche Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung sind an den Bandgrenzen zu messen ?

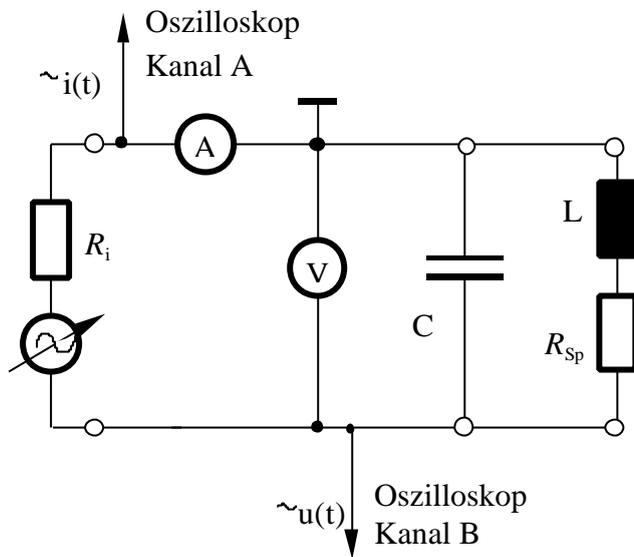


Bild 7: Schaltungsvorschlag zu Aufgabe 2.2.1