

Name: _____ **MAX MUSTERMANN** _____

Kennnummer: **01012020** _____

Punktetabelle

Aufgabe	1	2	3	4	SUM	Bonus
maximale Punktezahl	15	15	8	7	45	
Punktezahl erreicht						

Hinweis:

Berechnungen, Herleitungen etc. sind nachvollziehbar zu gestalten. Falls nicht nachvollziehbar ist, wie das Ergebnis bzw. die Lösung erreicht wurde, können dafür keine Punkte vergeben werden.

Lösen Sie die Aufgaben (möglichst) vollständig, notieren Sie aber nur zugehörige Antworten: Richtige, aber nicht zur Frage/Aufgabenstellung gehörige Aussagen bringen keine Punkte bzw. können unter Umständen zu Punkteabzug führen.

Beantworten Sie die Fragen direkt nach/neben der Frage. Bei Bedarf kann auch zusätzliches, gestempeltes Papier als Ergänzung verwendet werden -> bitte um Verweis!

Bestätigung:

Hiermit bestätige ich, die Prüfungsergebnisse eigenständig ohne Zuhilfenahme von fremder Hilfe oder unerlaubter Hilfsmittel bzw. Unterlagen generiert zu haben. Es ist mir bewusst, dass in einem solchen Fall lt. aktuelle Studien- und Prüfungsordnung §11 Abs. (1) oder (2) die Prüfungsarbeit nicht beurteilt wird, der Prüfungsantritt aber zur Gesamtzahl der möglichen Wiederholungen angerechnet wird.

Unterschrift

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: AC Analyse

Ein elektrischer Motor weist auf seinem Typenschild die Leistung von $P=1800W$ und ein $\cos(\varphi)=0,68$ bei $U=230V / 50Hz$.

a) (3 P): Berechnen Sie die komplexe Leistung und zeichnen Sie das Leistungsdreieck

$$\underline{S} = 2647VA/47,16^\circ = 1800W + j 1941var \text{ (BEIDE Angaben!)}$$

b) (4 P): Ermitteln Sie die Ersatzschaltung (R-L Reihenschaltung) und zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für den komplexen Widerstand! Berechnen Sie auch den Strom.

$$L = 46,64mH \quad R = 13,588\Omega \quad \underline{I} = 11,5094 A / -47,16^\circ$$

$$\underline{Z} = 13,588 \Omega + j14,65275 \Omega = 19,98 \Omega / 47,16^\circ \text{ (BEIDE Angaben!)}$$

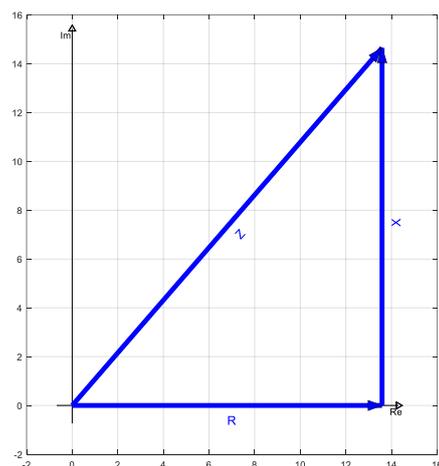
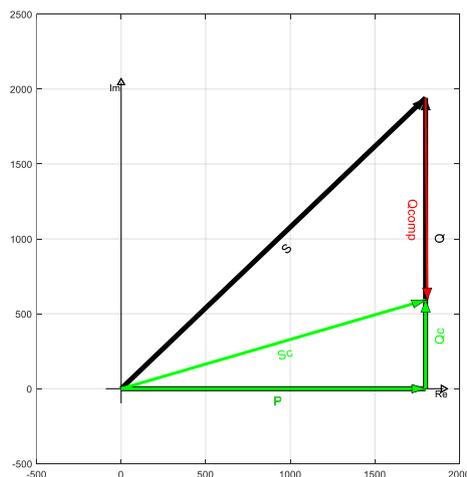
c) (3 P) Um wie viel Prozent könnten die Verluste in den Anschlussleitungen (Annahme: $R_{Leitung} = \text{const}$) durch vollständige Blindleistungskompensation reduziert werden?

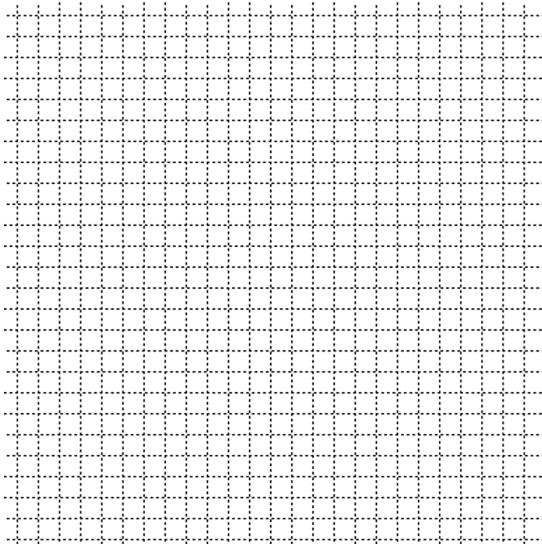
$$P\text{-Reduktion (\%)} = 56,76\%$$

d) (5 P) Berechnen Sie die notwendige Kapazität (Parallelkompensation) für eine Verbesserung des Leistungsfaktor auf 0,95. Wie groß ist der kompensierte Strom und um wie viel Prozent sind die Verluste in den Anschlussleitungen durch C gesunken?

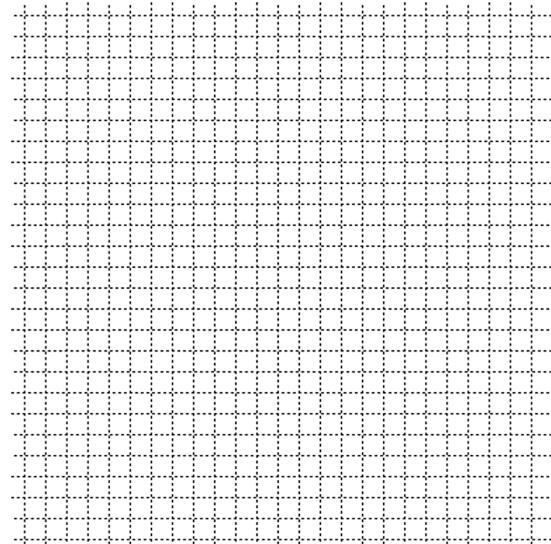
$$C = 81,19\mu F \quad I_{\text{comp}} = 8,2379A \quad P\text{-Reduktion (\%)} = 48,76\%$$

Zeichnen Sie den kompensierten Leistungszustand ebenfalls in das Leistungsdreieck ein!





Skizze Leistungsdreieck(e)



Skizze komplexer Widerstand

BERECHNUNGEN:

a) $S = P / \cos(\varphi) = 1800 \text{ W} / 0,68 = 2647 \text{ VA}$ $\varphi = \arccos(0,68) = 47,16^\circ$ $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 1941 \text{ var}$

b) Berechnung von Z z.B: über komplexe Leistung $S = UI^*$, daher: $I = S^* / U^* = 2647 \text{ VA} / \underline{-47,16^\circ} / 230 \text{ V} \rightarrow I = 11,5094 \text{ A} / \underline{-47,16^\circ}$.

Damit kann auch Z berechnet werden aus: $Z = U / I = 230 \text{ V} / 11,5094 \text{ A} / \underline{-47,16^\circ}$

$Z = 19,98 \Omega / \underline{-47,16^\circ} = 13,588 \Omega + j14,65275 \Omega = R + j\omega L$

Daraus: $L = X / \omega = 14,65275 \Omega / 314 \text{ s}^{-1} = 46,64 \text{ mH}$

c) Bei vollständiger Kompensation gilt: $S = P$, daher $I = P / U = 1800 \text{ W} / 230 \text{ V} = 7,826 \text{ A}$.

Da die Verluste in den anschlussleistungen proportional zu I^2 sind, gilt:

$P_{\text{ist}} = I^2 R = 11,5094^2 \text{ A}^2 * R$ sowie $P_{\text{comp}} = I_{\text{comp}}^2 * R = 7,826^2 \text{ A}^2 * R$. Die prozentuelle Veränderung ergibt sich aus: $7,826^2 / 11,5094^2 = 0,462$. Die Veränderung ist: $-0,538$, das sind $-53,8\%$

d) Teilkompensation hat eine Rest – Blindleistung. Diese wird über P , $\cos(\varphi_c)$ und S_c berechnet:

$S_c = P / \cos(\varphi_c) = 1800 \text{ W} / 0,95 = 1894,7 \text{ VA}$ $\varphi_c = \arccos(0,95) = 18,19^\circ$

$Q_c = \sqrt{S_c^2 - P^2} = 591,6 \text{ var}$. Die Differenz der Blindleistung muss vom

Kompensationskondensator zur Verfügung gestellt werden. $Q' = U^2 / X_c = U^2 * (-\omega C)$:

$Q' = Q_c - Q = (591,6 - 1941) \text{ var} = -1349,36 \text{ var}$

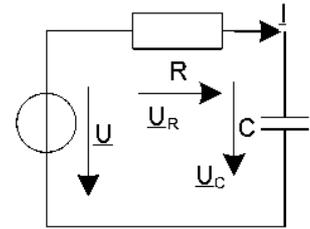
Dadurch ist: $C = 1349 \text{ var} / 230^2 \text{ V}^2 / 314 \text{ s}^{-1} = 81,19 \mu\text{F}$

Der kompensierte Strom ist $I_c = S_c / U = 1895 \text{ VA} / 230 \text{ V} = 8,2379 \text{ A}$

Die Reduktion der Verlustleistung ist dann: $I_c^2 / I^2 = 8,238^2 / 11,509^2 = 0,512 \rightarrow$ Reduktion der Verlustleistung im $48,76\%$!

Aufgabe 2: Frequenzabhängigkeit

Ein Signal (\underline{U}) enthalte neben der eigentlichen Signalfrequenz (800Hz) Störungen, und zwar bei den Frequenzen $f_1 = 16\text{kHz}$ und $f_2 = 32\text{kHz}$. Um die Störungen zu verringern, wird ein R-C Tiefpassfilter verwendet:



- a) (5 P) Dimensionieren Sie das Filter so, dass beide Störfrequenzen um mindestens -20dB unterdrückt werden, die Signalfrequenz aber möglichst unbeeinflusst davon bleibt. C sei mit 10nF vorgegeben. Runden Sie R! Wie groß sind die Dämpfungen A (in dB) der beiden Frequenzen in etwa?

$$R = 10\text{k}\Omega$$

$$A_{f_1} = -20\text{dB}$$

$$A_{f_2} = -26\text{dB}$$

- b) (6 P) Berechnen Sie den Frequenzgang von $\underline{U}_C/\underline{U}$ unter Verwendung von $\tau=RC$. Berechnen Sie auch dessen Betrags- und Winkelverlauf U_C/U . Zeichnen Sie das Bode - Diagramm!

$$\underline{U}_C/\underline{U} = \frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} = \frac{1}{1+j\omega\tau} \quad U_C/U = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}} \quad \angle U_C/U = \frac{-\arctan(\omega\tau)}{}$$

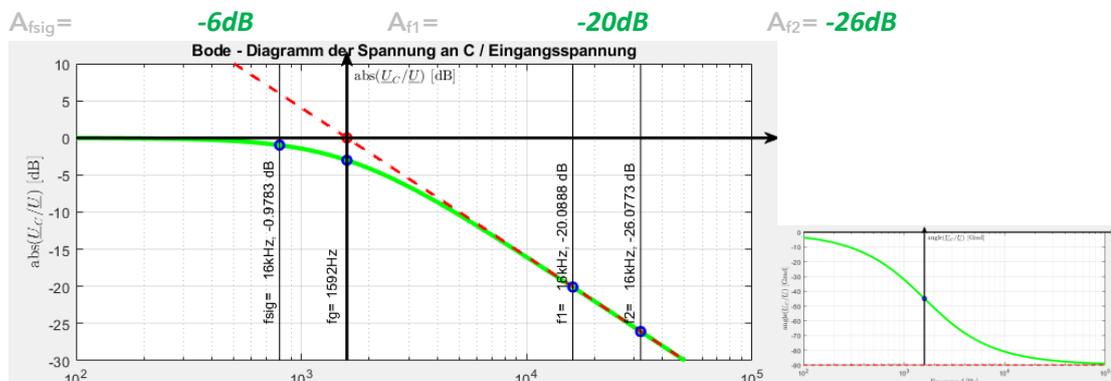
- c) (4 P) Eine niederohmige nachfolgende Schaltung wirkt wie ein paralleler Widerstand zu C mit $R_x=10\text{k}\Omega$. Ergänzen Sie diesen Widerstand in der Schaltung (zeichnen) und berechnen Sie wiederum den Frequenzgang von $\underline{U}_C/\underline{U}$ (allgemein mit R, R_x , C - keine Werte!). Wie groß ist der maximale Betrag des Frequenzgangs?

$$\underline{U}_C/\underline{U} = \frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} = \frac{R_x}{R + R_x} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \frac{R \cdot R_x}{R + R_x} \cdot C} \quad \max(U_C/U) = \frac{R_x}{R + R_x} = 0.5 = -6\text{dB}$$

ZUSATZPUNKTE (max. 5)

- d) Berechnen und skizzieren Sie das Bode - Diagramm der Schaltung lt. Punkt c) (Asymptoten, Schnittpunkt der Asymptoten mit 0dB ...)! Berechnen Sie die Grenzfrequenz sowie die resultierenden Dämpfungen der Schaltung!

$$f_c = \frac{1}{2\pi C} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_x} \right) \quad f_c = 3200 \quad \text{Hz}$$



Das heißt: Die Störfrequenzen bleiben gleich stark, aber die Signalfrequenz ist nur mehr halb so groß -> Störungen wirken sich dadurch in Relation stärker aus!

- **Grenzfrequenz?** -> bei 16 kHz soll die Dämpfung bereits -20dB sein. Bei -20dB pro Dekade muss die Grenzfrequenz daher $\leq 1.6\text{kHz}$ sein (1 Dekade weniger). Daher: $f_c=1.6\text{kHz}$
- Da $f_c = 1/(2\pi RC)$ gilt: $R = 1/(2\pi f_c C) = 1/(2\pi \cdot 1600 \cdot 10 \cdot 10^{-9}) = 9947\Omega$, d.h. ca. 10 kΩ. Die Dämpfungen können mit -20dB und ($f_2 = 2 \cdot f_1 \rightarrow 6\text{ dB}$ weniger) geschätzt werden oder auch berechnet: $20 \cdot \log(\text{abs}(1/(1 + 2\pi \cdot f_1 \cdot R \cdot C))) = -20.08\text{dB}$, bei f_2 : -26.07dB

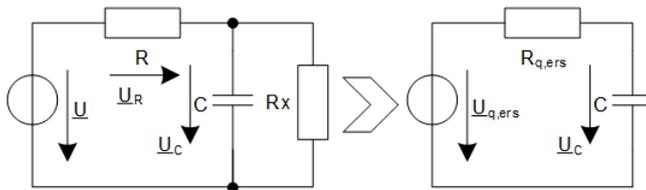
- **Herleitung des Frequenzgangs über komplexen Spannungsteiler:** $\underline{U}_C/\underline{U} = \underline{Z}_C/(\underline{R} + \underline{Z}_C) = \dots =$

$$\frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} = \frac{1/(j\omega C)}{R + 1/(j\omega C)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

. Zerlegt in Betrag/Phase:

$$\left| \frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} \right| = \frac{|1|}{|1 + (j\omega\tau)|} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (\omega\tau)^2}} \quad \text{und} \quad \angle \frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} = \frac{\angle 1}{\angle 1 + (j\omega\tau)} = 0^\circ - \arctan(j\omega\tau/1)$$

- **Das Dazuschalten eines „Belastungswiderstandes“** verändert die Schaltung erheblich, d.h. alle vorigen Berechnungen müssten neu erstellt werden. Einfacher ist es, durch das Ersatzquellenverfahren die Schaltung auf die vorige rückzuführen. Dabei wird alles außer C (U_q, R, R_x) ersetzt durch eine lineare Spannungsquelle $U_{q,ers}, R_{q,ers}$



Dabei gilt:

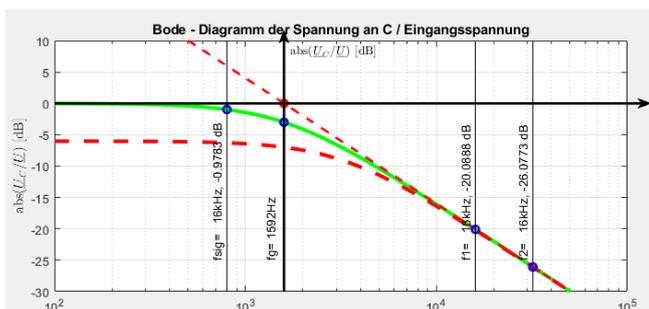
- $U_{q,ers} = U_q \cdot R_x / (R + R_x)$ sowie: $R_{q,ers} = R \parallel R_x = R \cdot R_x / (R + R_x)$. Dann gilt wieder:

$$\frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} = \frac{R_x}{R + R_x} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \frac{R \cdot R_x}{R + R_x} \cdot C}$$

$U_C/U_{q,ers} = 1/(1 + j\omega R_{q,ers} \cdot C)$. Eingesetzt: gilt dann dann noch gilt: $R=R_x$ (beide 10k) kann weiter vereinfacht werden zu:

$$\frac{\underline{U}_C}{\underline{U}} = \frac{R}{R + R} \cdot \frac{1}{1 + (j\omega \frac{R \cdot R}{R + R} C)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + (j\omega \frac{1}{2} RC)} = \frac{1}{2 + j\omega RC}$$

- Die Maximale Verstärkung ist bei DC ($\omega=0$) = $R_x/(R+R_x)$. Nachdem beide Widerstände 10k sind, ist die maximale Verstärkung $\frac{1}{2}$ oder -6dB.
- Die Grenzfrequenz ist wieder da, wo der Betrag gegenüber dem Maximum auf die Hälfte gesunken ist, d.h. wo $1/(2 + j\omega RC) = \frac{1}{2}$ ist! Das ist da der Fall, wo $\omega RC=2$ ist, dh. $f_c = 2/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C) = 2 \cdot \text{ursprüngliche Grenzfrequenz} = 3,2\text{ kHz}$! Die Dämpfungen bei der Signalfrequenz ist (da Maximum) nun -6dB, die Dämpfung bei den Störfrequenzen bleibt gleich! Im Bode – Diagramm ist quasi die „Horizontale“ nach unten gerutscht!



Aufgabe 3: Energie- und Schutztechnik

- a) (2 P): Nennen Sie mind. 3 Effekte, welche durch Stromfluss im Körper auftreten können (Effekte nach ansteigenden Stromstärken, mit Angabe von I, falls möglich)!

*15mA...25mA, d.h. ab ca. 15V: gut spürbar, Muskelkontraktionen
25mA...40mA, d.h. ab ca. 25V: Schmerzgefühl, potentielle Herzrhythmusstörungen
40mA...500mA, d.h. ab ca. 40V: Blutdrucksteigerung, Bewußtlosigkeit,
Herzkammerflimmern, kann zum Tod führen (bei langen Einwirkzeiten >0,5s)
0,5A...3A, d.h. ab ca. 500V: Herzkammerflimmern, Verbrennungen*

- b) (2 P): Welche Maßnahmen in welcher Reihenfolge ergreifen Sie bei einem Strom - Unfall?

*Strom/Spannung abschalten (Trennen)
Aus dem Gefahrenbereich entfernen
Erste Hilfe leisten
Hilfe holen (Rettung...)*

- c) (2 P): Nennen Sie die 5 Grundregeln, die beim Arbeiten mit höheren Spannungen (>1KV) unbedingt eingehalten werden müssen!

*Freischalten: Die Anlage muss von allen spannungsführenden Teilen getrennt werden
gegen Wiedereinschalten(zufälliges oder unbeabsichtigtes Wiedereinschalten) sichern
Spannungsfreiheit feststellen: (Messen)
Erden und Kurzschließen
benachbarte, unter Spannung stehende Teile gegen Berührung schützen!*

- d) (2 P): Nennen Sie mind. 1 typische Schutzeinrichtungen zum Personenschutz und zum Anlagenschutz. Beschreiben Sie kurz die Funktionsweise!

*Personenschutz: z.B: Schutzisolierung (Berührungsschutz), FI – Schalter (Beträgt die Summe der Ströme mehr als x, z.B. 30mA, muss dieser den Stromkreis unterbrechen!
Arbeiten mit Kleinspannungen (SELV)*

*Anlagenschutz:
Sicherungen (Überstromschutz) als Glasrohrsicherung, Sicherungsautomat etc.:
Wird der Strom zu hoch, wird der Stromkreis als gesamtes unterbrochen*

Aufgabe 4: Materialien und reale Bauelemente

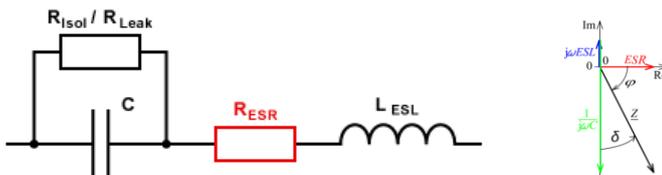
- a) (2 P) Beschreiben Sie zwei Aufbauarten (innerer Aufbau!) von Festwiderständen (incl. Skizze)!

*z.B. Metall – Filmwiderstand: Aufdampfen einer dünnen Metallschicht auf Träger (Rohr...)
 VT: genau, durch Lasertrimmen individuell abgleichbar! (Skizze: s. Lernmodul)
 z.B. Leistungswiderstand als Wickelwiderstand (Draht um Träger gewickelt)
 VT: Draht kann dick sein (hohe Leistungen/Ströme), aber: Induktivität, groß...
 z.B. BULK- Widerstand: gepresstes Material (Kohlepulvergemisch); robust
 z.B. Schichtwiderstand: (bei SMD): Foliendicke entscheidet über R. günstig!*

- b) (1 P) Wieso hat ein verstellbarer Widerstand 3 Anschlüsse?

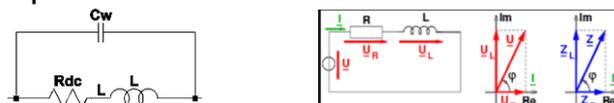
*„Potentiometer“: gesamter Widerstand wird durch 3. Anschluss „geteilt“, d.h.:
 $R_{13} \dots = R_{ges}$, = konstant; R_{12} zwischen 0 und R_{ges} veränderbar, $R_{23} = R_{ges} - R_{12}$*

- c) (2 P) Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild eines realen Kondensators. Beschreiben Sie die Bedeutung der einzelnen Komponenten! Welchen Effekt haben diese auf das Frequenzverhalten?



*C: IDEALE Kapazität; R_{leak}: nicht ideales Dielektrikum; R_{esr}: subsummiert alle Wärmeverluste (Zuleitung, Umpolung...). L_{esl} -> Induktivität der Zuleitungen!
 Frequenzverhalten: bei fixer Frequenz: weniger als 90° Phasenverschiebung, durch „Verlustwinkel“ $\delta = 90^\circ - \text{Phasenwinkel}$ gekennzeichnet (s. Skizze).
 Frequenzgang: für hohe Frequenzen: (Serien) Resonanz CL, d.h. minimale Impedanz, für höhere Frequenzen: nicht mehr als C verwendbar (L)*

- (2 P) : Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild einer realen Spule. Beschreiben Sie die Bedeutung der einzelnen Komponenten! Welchen Effekt haben diese auf das Frequenzverhalten?



*L: IDEALE Induktivität; R_{DC} Verluste (primär bei DC relevant), z.B. Windungen Aber auch Umpolverluste; C_w: Windungskapazität ; Bei f=fix: Phasenverschiebung < 90°, durch „Verlustwinkel“ $\delta = 90^\circ - \text{Phasenwinkel}$ gekennzeichnet (s. Skizze).
 Frequenzgang: für hohe Frequenzen: (Parallel) Resonanz CL, d.h. maximale Impedanz, für höhere Frequenzen: nicht mehr als L verwendbar (C)*