

attempo

Auszug aus „Magnetische Bauteile und Baugruppen“

Vortrag über Grundlagen, Anwendungsbereiche, Hintergründe und Historie

Attempo

induktive Bauteile,
Feldbustechnik
Testhaus

Steinbruchstr. 15
72108 Rottenburg

Tel.: +49 (0) 7472 9623 90
Fax: +49 (0) 7472 9623 92

eMail: info@attempo.com
www.attempo.com



- Induktive Bauteile
Berechnung, Simulation
und Test
- Kleinserienfertigung
- Filtersysteme
- EMV –Test, Beratung
und Seminare
- Entwicklungsunter-
stützung
- Kommunikationstechnik
- Feldbusanalysen
und Komponententest
- Umweltprüfverfahren
- Information

G.Schindler 05.09.2009

Grundsätzliches zu Induktivitäten

Analoge Baugruppen oder Schaltungen verhalten sich selten so, wie die Schulweisheit es vorgaukelt.

Es gibt sehr viele beeinflussende Parameter:

- durch das Bauteil selbst
- durch seine Verwendung
- durch die Konstruktion
- durch die Peripherie
- durch Alterungsprozesse
- durch Umwelteinflüsse

Verfügbare Informationen

- Die angewendeten mathematischen Modelle sind und bleiben Näherungen und sind oft zu ungenau, um bestimmte Effekte zu beschreiben.
- Der physikalische, funktionale Zusammenhang zwischen bestimmten Eigenschaften ist nicht bekannt oder wird auch nicht gelehrt.
- Erschwerend ist auch, dass Datenblätter heutzutage, oft auf Powerpoint-Basis wegen der auf Propaganda angelegten Darstellung, als Entwicklungsunterlagen nur begrenzt brauchbar sind. Die Informationen sind leider oft unvollständig, oberflächlich oder sogar falsch.
- Die uneingeschränkte Nutzung einer Application Note für eine Anwendung ist nicht empfehlenswert und kaum verantwortbar.
- Für induktive Bauteile sind kaum weiterführende Informationen zu erhalten, wie
 - Netzwerkanalyse, Grenzwerte, Leistungsverlauf, Temperaturverhalten usw.
- Unterschiedliche Definitionen und Einheiten erschweren das zusätzlich Verständnis.

Die Mathematik bietet allerdings unbestechliche Beschreibungsmöglichkeiten, wodurch komplexe Vorgänge eindeutig, übersichtlich und oft auch einfach interpretiert werden können. Eine „grobe“, rechnerische Definition zur BauteilAuswahl ist bei den einzelnen Bauteilen bzw. Baugruppen dringen empfohlen.

Magnetische Bauteile von G.Schindler

Die Brauchbarkeit einer Simulation und Berechnung steht und fällt aber mit der Modelltreue, diese setzt allerdings das Wissen um die Zusammenhänge, auch komplexer Vorgänge voraus.

Heute sind sehr gute Mathematik- und Simulationsprogramme, mit vorgefertigten Makros für die verschiedensten Anwendungen verfügbar. Wir bei Attempo arbeiten mit folgenden Programmen:

Mathematik: SciLab/SciCos, Matlab, Mathcad

Simulation: MicroCap,

Entwicklung durch „Auswechseln“ von Bauelementen ist unseriös, fahrlässig und letztendlich teuer.

Auch sind Toleranzbetrachtungen durch Probieren ist niemals aussagefähig.

Qualität kann in ein Produkt nicht hineingeprüft werden.

Induktivitäten sind elektromagnetische Bauelemente, die in den üblichen Lehrbüchern stark idealisiert dargestellt werden. Man geht dabei oft von widerstandslosen, kapazitätsfreien, frequenz- und spannungsunabhängigen Bausteinen aus.

Das ist falsch und praxisfremd. Auch muss eine Induktivität immer in Zusammenhang mit peripheren Bauteilen, auch gegenüber umschließenden Gehäusen betrachtet werden.

Der praktische Aufbau zeigt erst später durch Messungen, inwieweit Theorie und Praxis, Planungen und Berechnungen übereinstimmen. Das beste Beispiel ist der Aufbaueinfluss und die Problematik bei ansteigenden Frequenzen.

Projekte müssen immer durch entwicklungsbegleitende Messungen kontrolliert werden.

Die Hersteller können selten applikationsabhängig prüfen:

- Sind auf Fertigung spezialisiert
- Die Kosten können nur bei Großserien umgesetzt werden, andernfalls ist der Preisdruck zu hoch
- Es gibt gewachsene Messalgorithmen
- Das physikalische bzw. elektronische Know How ist nicht vorhanden
- Das Applikationsverständnis und –erfahrung fehlen
- Die Messtechnik ist nicht vorhanden

Was sind Induktivitäten

Das Induktionsgesetz beschreibt **nur** den linearen Zusammenhang zwischen der zeitlichen Änderung eines Stromes in einer Spule und der dabei an den Anschlüssen erzeugten Spannung. Dieser Proportionalitätsfaktor wird mit dem Symbol **L** definiert und heißt „**Induktivität**“:

$$L = U / (dI/dt) \quad [H, Vs/A, \Omega s]$$

L wird in H = Henry gemessen. 1 H ist diejenige Induktivität, bei der bei einer Stromänderung von 1 A in 1 s an den Spulenklammern eine Spannung von 1V induziert wird.

Soweit die Theorie!

Besonders wichtig sind bei Induktivitäten ferro- und ferrimagnetische Werkstoffe als Kernmaterialien, da sich hiermit die Induktivität und der Wirkungsgrad von Spulen und Übertragern bei konstantem Volumen drastisch steigern lässt. Bringt man Ferro- oder Ferri-Materie in eine Spule ein, so steigt die Induktivität, und damit der induktive Widerstand ωL , um den Faktor μ_r . μ_r = ist dabei ein variabler, dimensionsloser Multiplikator.

Prinzipieller Zusammenhang:

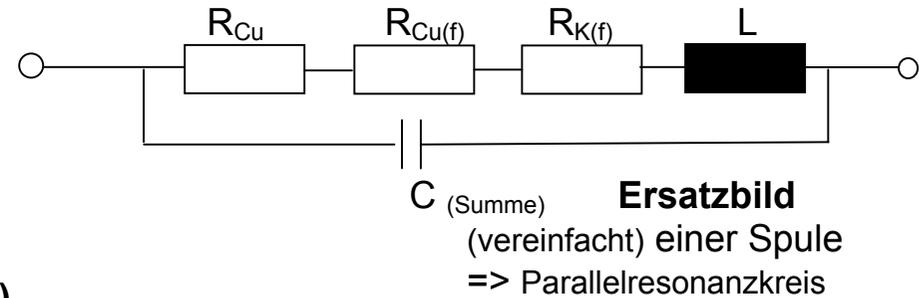
$$L := \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot A_e}{l_e}$$

L = Induktivität	H (Henry), Vs/A, Ωs
N = Windungszahl	
A_e = magnetische Fläche	$m^2, cm^2, mm^2, inch^2$
l_e = Länge der Spule	m, cm, mm, inch
μ_0 = Magnetische Feldkonstante von Luft	$1,257 \times 10^{-6} Vs/Am; 1,257 \times 10^{-4} Vs/Acm$
μ_r = relative Permeabilität	--

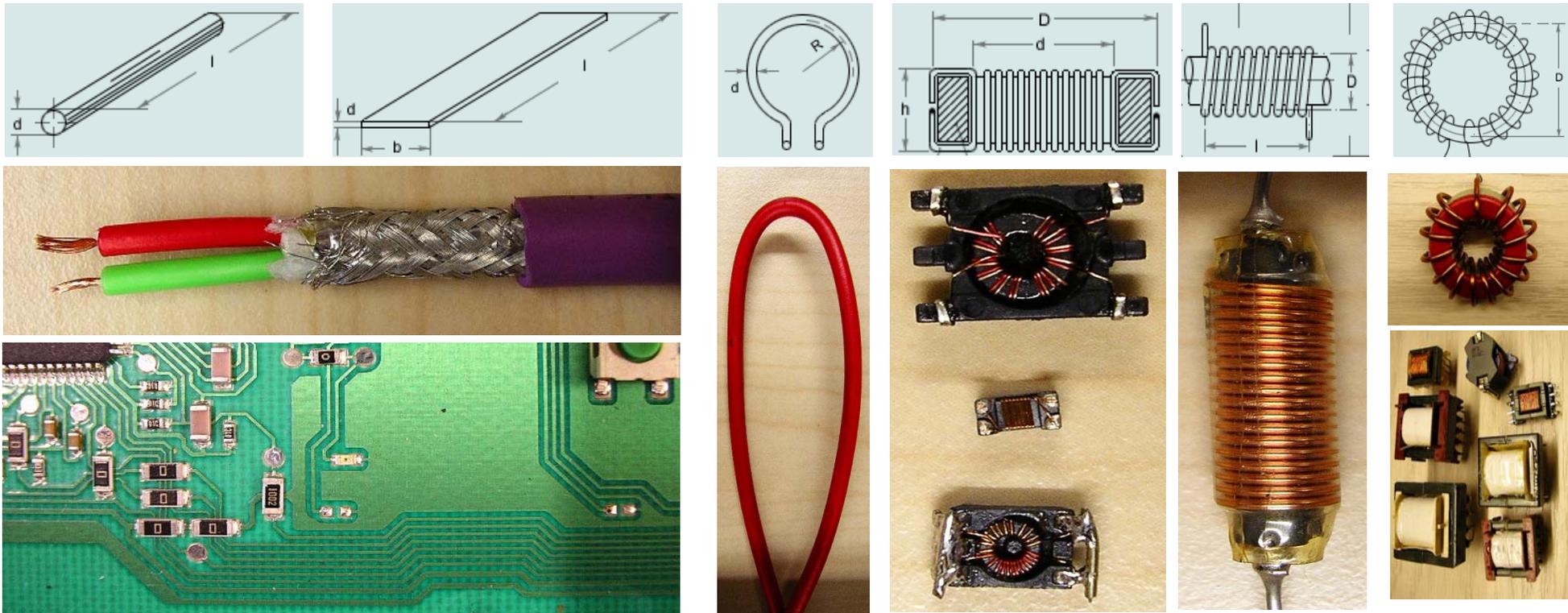
Achtung: Nicht immer werden in der Literatur und diversen Unterlagen die internationalen SI-Einheiten verwendet. Wegen eventueller Umrechnungen muss bei magnetischen Produkten sehr genau auf die verwendeten Einheiten und Definitionen geachtet werden!

Was sind Induktivitäten

- ✓ eine Leiterbahn
- ✓ eine Drahtverbindung
- ✓ eine Drahtschleife(n) (Windungen)
- ✓ auf einen Isolierkörper aufgewickelte Drahtschleife(n)
- ✓ aufgewickelte Drahtschleife(n) mit magnetisch leitendem Kernmaterial

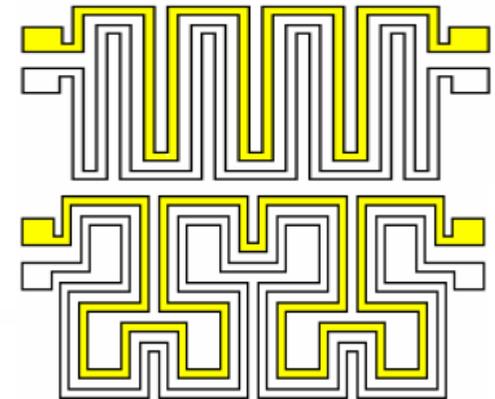
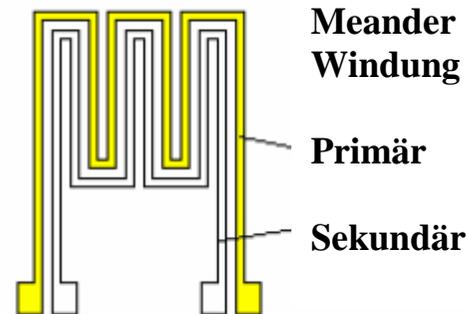
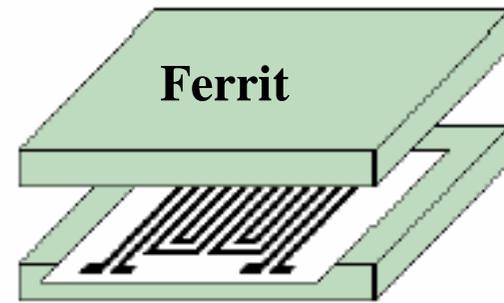
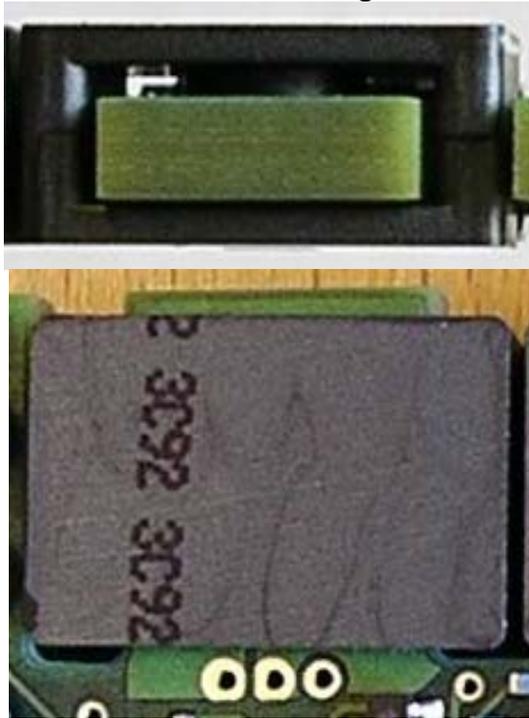


In der Praxis des Elektronikers kommt eine Induktivität L [H, Vs/A] immer in Verbindung mit Widerständen R [Ω] und Kapazitäten C [F, As/V] vor. Deshalb ist diese Kombination (L , R , C) auch immer frequenzabhängig – ein Schwingkreis. Eine widerstandsfreie Verbindung ist nur bei Supraleitung, also bei extrem tiefen Temperaturen möglich.



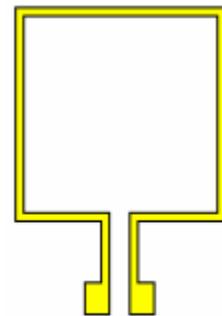
Planar Induktivitäten und Übertrager

Diese Technik wird immer interessanter, da die Schaltfrequenzen höher und dadurch kleinere Windungszahlen und Induktivitätswerte benötigt werden. Die Auswirkungen des Skin- und Proximityeffekts können durch flache, mit definiertem Abstand gestaltete Leitungen reduziert werden. Diese Technik basiert auf Kupferfolie oder direkt auf der Multi-Layer-Platine. Hier sind Hochleistungsbauteile auf kleinstem Platz möglich.

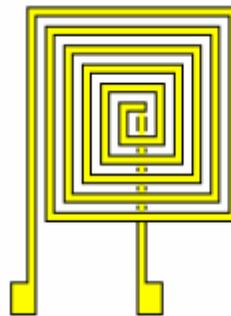


bessere Kopplung als oben .

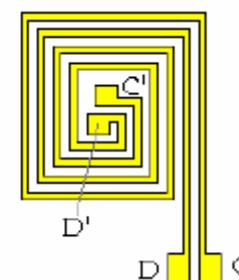
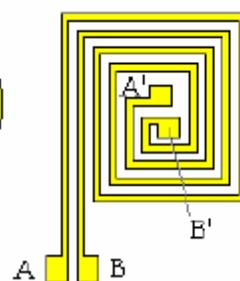
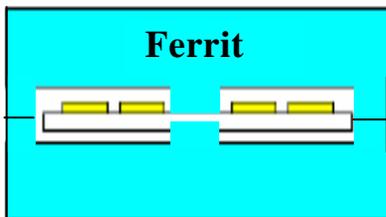
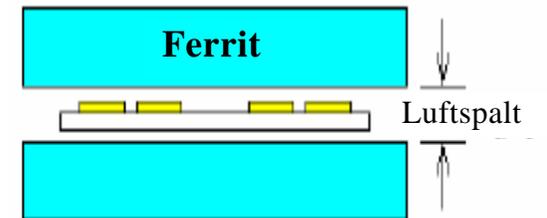
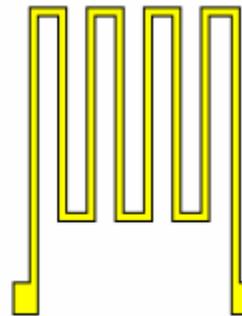
Schleife



Spirale

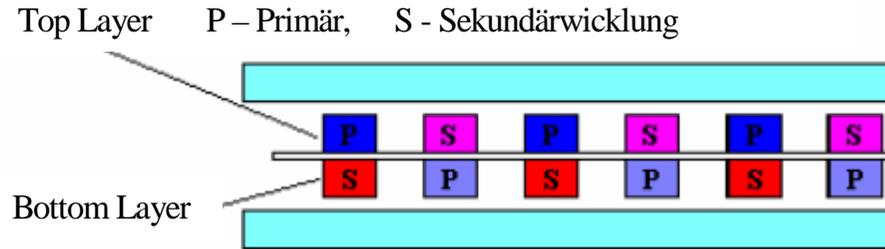
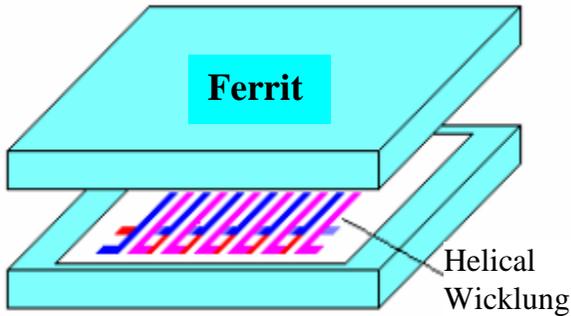


Meander



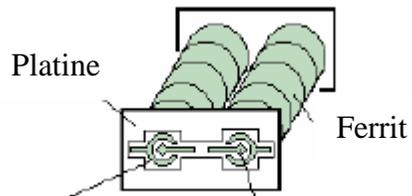
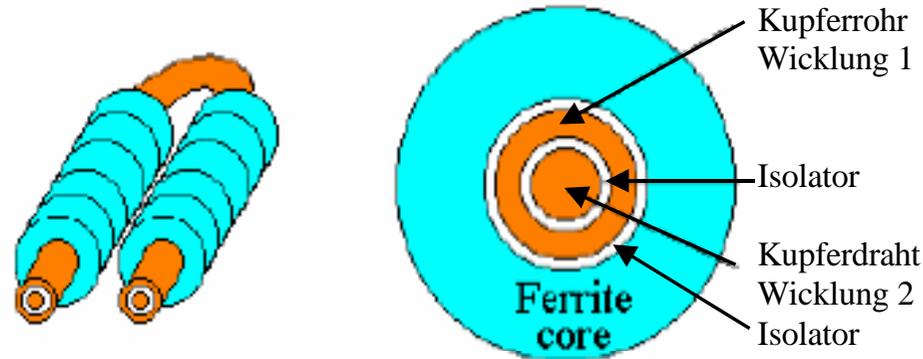
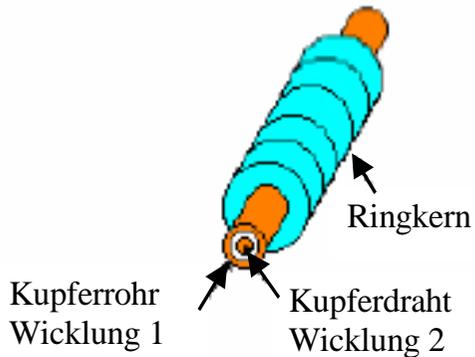
Die Helical Wicklung

Optimierung der Kopplung durch symmetrischen Layerwechsel (Durchkontaktierungen)
 Primär und Sekundär sind gegenüberliegend.

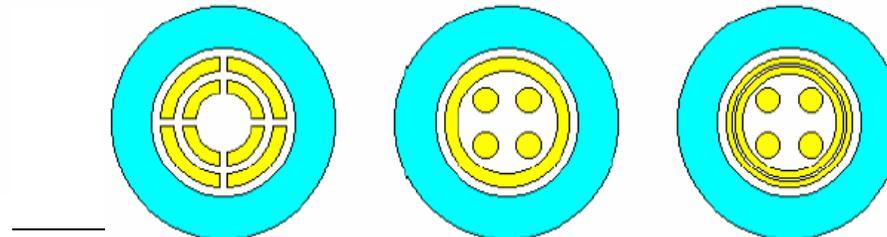


Coaxialwicklung

Coaxialsysteme haben hervorragende Kopplungswerte bei hohen Frequenzen



- Primär
 Copyright attempo
 Sekundär



Diverse Querschnitte

Der Gyrator

Ist eine Transformationsschaltung, mit der man beliebige Impedanzen umwandeln kann z.B:

Kapazitäten => Induktivitäten

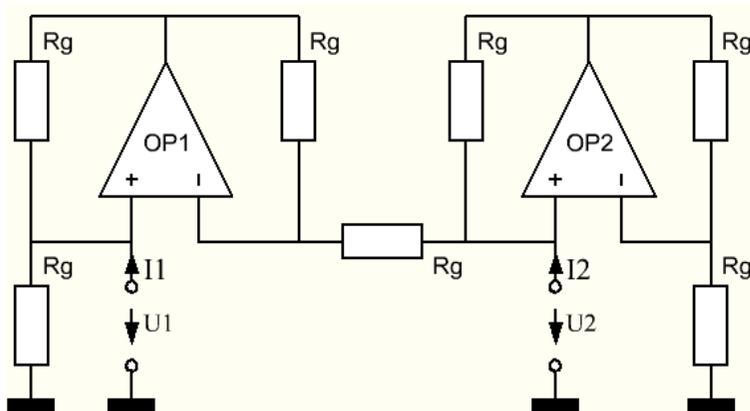
Induktivitäten => Kapazitäten

Hauptsächlich werden damit aber sehr große verlustarme Induktivitäten von >10H realisiert.

Hierzu sind lediglich zwei spannungsgesteuerte Stromquellen mit hohen Eingangs- und Ausgangswiderständen erforderlich.

Das ist machbar mit zwei OP's und einigen Widerständen.

Das Prinzip ist die Kombination zweier INICs (**N**egativ **I**mpedance **C**onverter –Strom(I) wird bei gleich bleibender Spannung umgepolt)



Gyrator mit zwei INIC's

[Beschreibung](#)

Der Transduktor

ist eine steuerbare Induktivität. Eine Spule mit Zusatzwicklung. Diese Zusatzwicklung, zumeist nur ein Windung, wird mit einem Strom gespeist –vormagnetisiert.

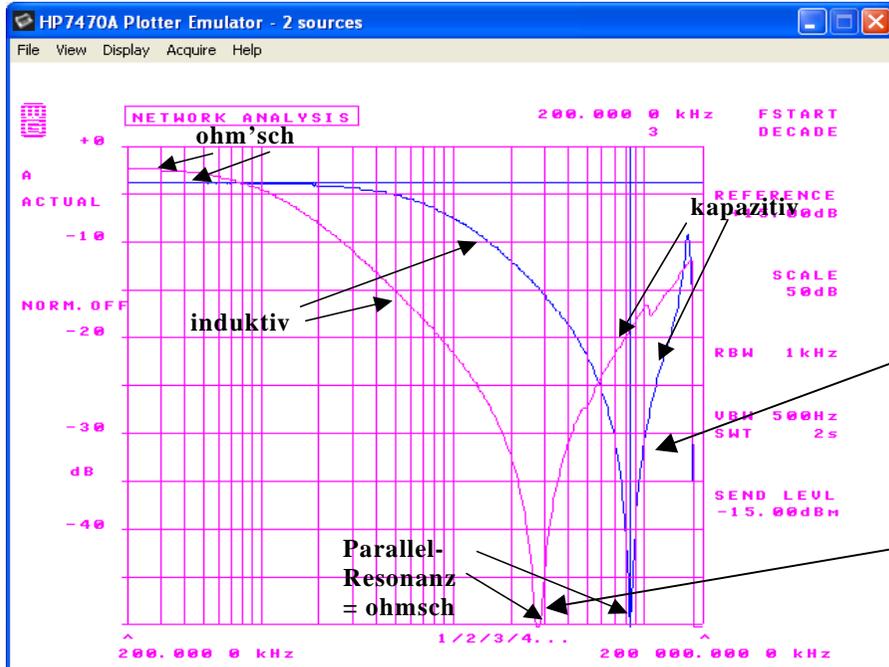
Dadurch können große elektrische Leistungen durch kleine Ströme beeinflusst/gesteuert werden.

Bis in die 60-Jahre wurden Transduktoren für die Motorregelung verwendet. Heute werden sie nur noch im Gleichstrombereich für Messwerke oder zur Hochspannungsregelung eingesetzt.

Magnetische Bauteile von G.Schindler

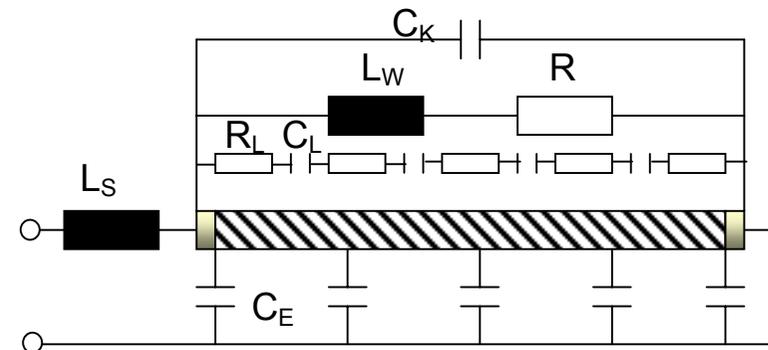
Weitere „Induktivitäten“

Am Beispiel „gewickelte“ Drahtwiderstände



Ersatzschaltbild

- C_K = Kontaktierungskapazität
- L_W = Wendelinduktivität
- R = Widerstand
- R_L = verteilte Lagen- bzw. Längswiderstände
- C_L = verteilte Lagen- bzw. Längskapazitäten
- L_S = Induktivität der Anschlussdrähte
- C_E = Erd- oder Gehäusekapazitäten



Eigenschaften Induktiver Bauteile

Welche idealen Eigenschaften hat eine Spule (Induktivität):

- frequenzabhängigen Blindwiderstand X_L

Welche nicht idealen Eigenschaften hat eine Spule (Induktivität):

- Sie hat immer einen ohmschen Widerstand (DC).
- Sie hat einen frequenzabhängigen ohmschen Widerstand (Skin-Proximityeffekt)
- Sie hat einen variablen ohmschen Widerstand durch Kontaktierung
- Sie hat ein Netz von variablen Kapazitäten der Windungen gegeneinander.
- Sie hat ein Netz von variablen Kapazitäten der Wicklungslagen gegeneinander.
- Sie hat ein Netz von variablen Kapazitäten gegen die Umgebung z.B. benachbarte Leitungen
- Sie hat ein Netz von variablen Kapazitäten durch Drahtisolationen
- Sie hat ein Netz von variablen Kapazitäten durch Lagenisolationen
- Sie hat ein Netz von variablen Kapazitäten durch Vergussmaterialien ϵ_r
- Sie ändert ihre Induktivität mit verändertem Kernmaterial
- Sie ändert ihre Induktivität mit verändertem Magnetfluss / Strom
- Sie ändert ihre Induktivität mit veränderter Spannung
- Sie ändert ihre Induktivität mit veränderter Frequenz und Signalform
- Sie ändert ihre Induktivität mit veränderter Geometrie
- Sie ändert ihre Induktivität mit dem Abstand der Windungen zum Kern
- Sie ändert ihre Induktivität mit der Wicklungsart
- Sie ändert ihre Induktivität mit veränderter Temperatur
- Sie ändert ihre Induktivität mit der Zeit durch Alterung (Desakkommodation)
- Sie ändert ihre Induktivität durch mechanische Spannung
- Sie ändert ihr Volumen durch das magnetische Feld (Magnetostriktion)
- Sie hat Leistungsverluste durch benachbarte Windungen (Proximity), Magnetfelder, Abstrahlung, Schirmung...
- Sie beeinflusst und wird beeinflusst durch benachbarte Bauelemente
- Sie übt mechanische Kräfte auf benachbarte Materie aus, hauptsächlich Eisen, Nickel, Kobalt...

