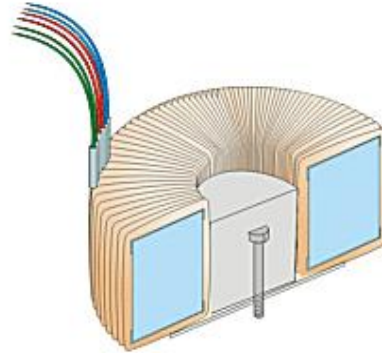


Leseprobe aus Kapitel 6 ‚Transformatoren und Übertrager‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter [strukturbildung-simulation.de](http://strukturbildung-simulation.de)

Im vorherigen Abschnitt wurde aus der Detail-Struktur des Übertragers ein Anwenderblock gemacht (siehe Struktur 6-15). Damit soll nun dessen Frequenzgang für unterschiedliche Lastwiderstände simuliert werden.



### 6.8 Übertrager-Simulation

Für die Übertrager-Simulation müssen wir dessen Struktur bilden. Referenz ist die folgende Abbildung zweier magnetisch gekoppelter Spulen mit Wicklungs-Widerständen und Wicklungs-Kapazitäten.

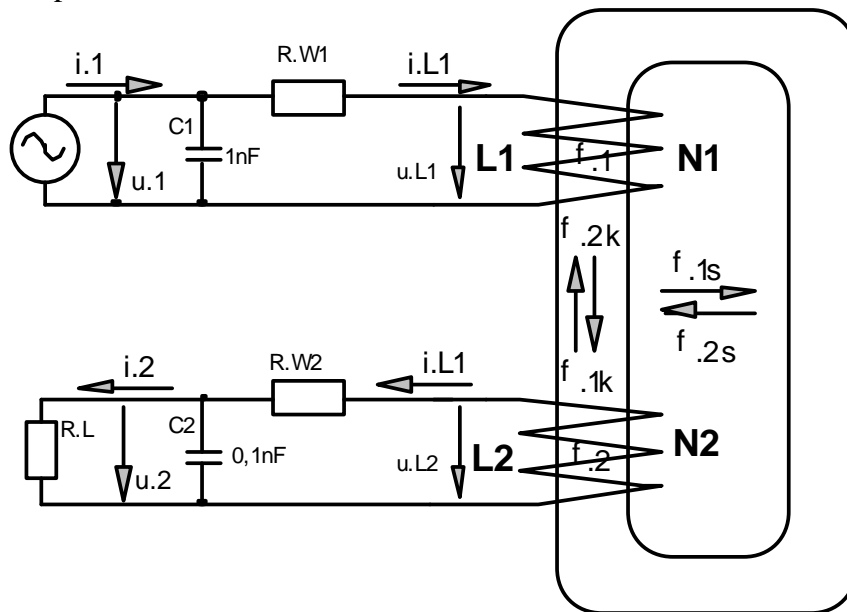
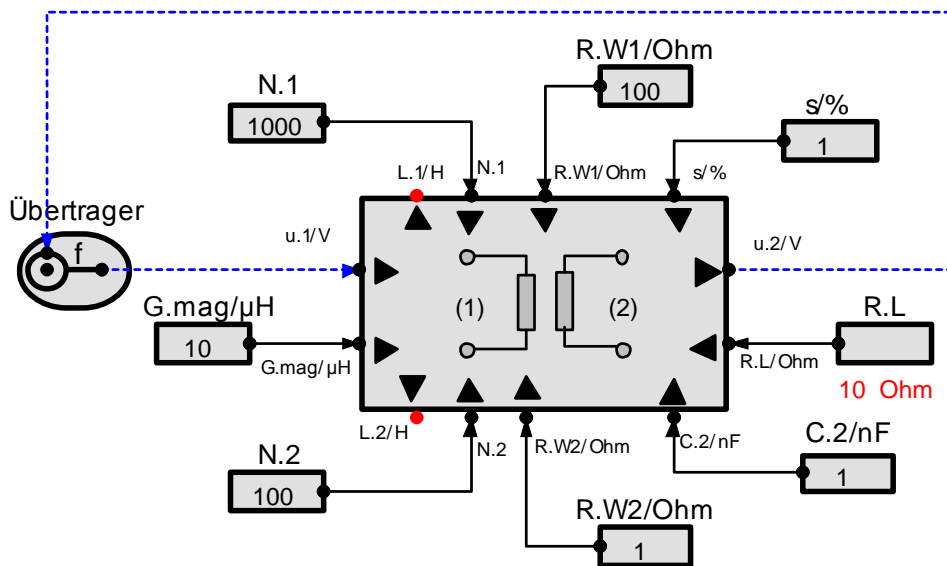


Abb. 6-34 Skizze eines realen Übertragers mit Wicklungs-Widerständen und –Kapazitäten und Streuung

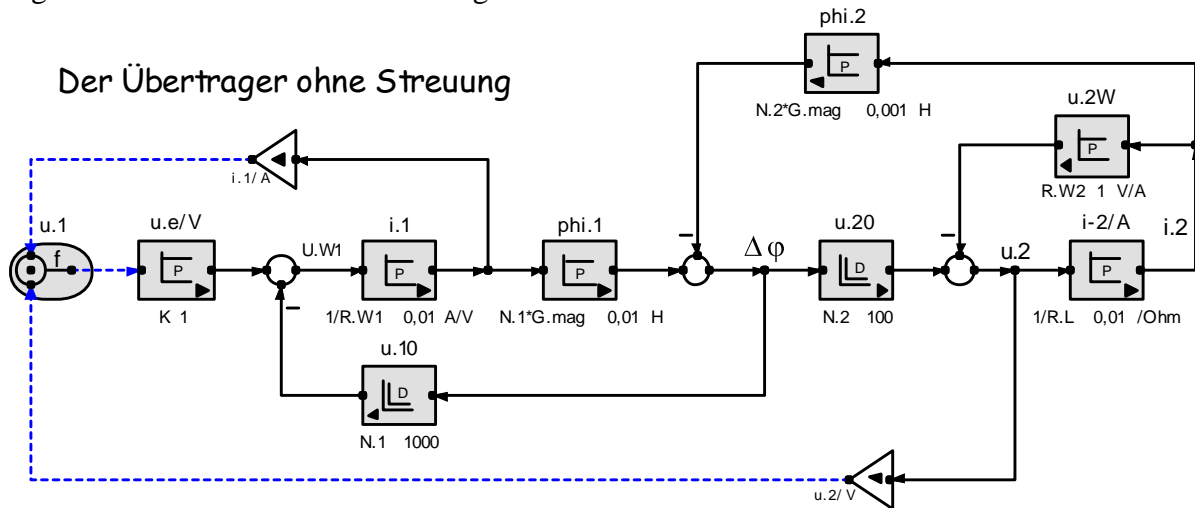
Die eingezeichneten Wicklungs-Kondensatoren sind ein Ersatz für alle im Trafo verteilten Kapazitäten zwischen den Windungen der Spulen. Direkt messbar sind sie wegen der dominierenden Induktivitäten nicht. Wohl aber wird die Wirkung von C.2 im Frequenzgang durch eine Resonanz, die sie bei hohen Frequenzen erzeugt, erkennbar. Näheres dazu klärt die Übertrager-Analyse. Die Eingangs-Kapazität C.1 macht den Eingangs-Strom  $i.1$  bei hohen Frequenzen kapazitiv. Für den Frequenzgang des Spannungs-gesteuerten Übertragers ist sie ohne Bedeutung.

Die nun angegebene Block-Struktur soll die Sekundär-Spannung  $u.2$  als Funktion der Primär-Spannung  $u.1$  berechnen und zeigen, welche Parameter das Verhältnis bestimmt:



**Struktur 6-15** Die den Frequenzgang eines Übertragers bestimmenden Parameter: Windungszahlen  $N$ , magnetischer Leitwert  $g.mag$  des Trafo-Kerns, die Wicklungswiderstände  $R.W$ , die Streuung  $s$  des magnetischen Flusses und die sekundäre Wicklungs-Kapazität  $C.2$

Zunächst besprechen wir die Struktur eines Transformators ohne Streuung. Anschließend folgt der realistische Fall mit Streuung.



**Struktur 6-16** Übertrager ohne Streuung

Zur Erklärung der Übertrager-Struktur werden diese Beziehungen benötigt:

$$G.mag = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A / l$$

$$L = N^2 \cdot G.mag$$

$$\phi = N \cdot G.mag \cdot i = \phi.k + \phi.s$$

Koppel-Fluss:  $\phi.k = k \cdot \phi$

Streu-Fluss:  $\phi.s = s \cdot \phi$

**Abb. 6-35** Die zur Erklärung der Übertrager-Struktur benötigten Formeln. Sie erhalten bei der Primär-Seite den Index 1 und bei der Sekundär-Seite den Index 2. Solange keine Übersteuerung eintritt, sind die Induktivitäten  $L$  konstant.

Frequenzgang eines Übertragers ohne Streuung:

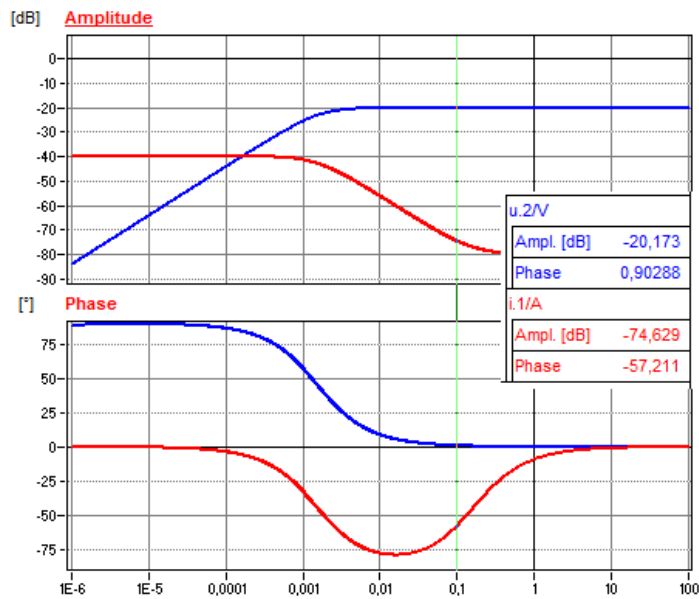
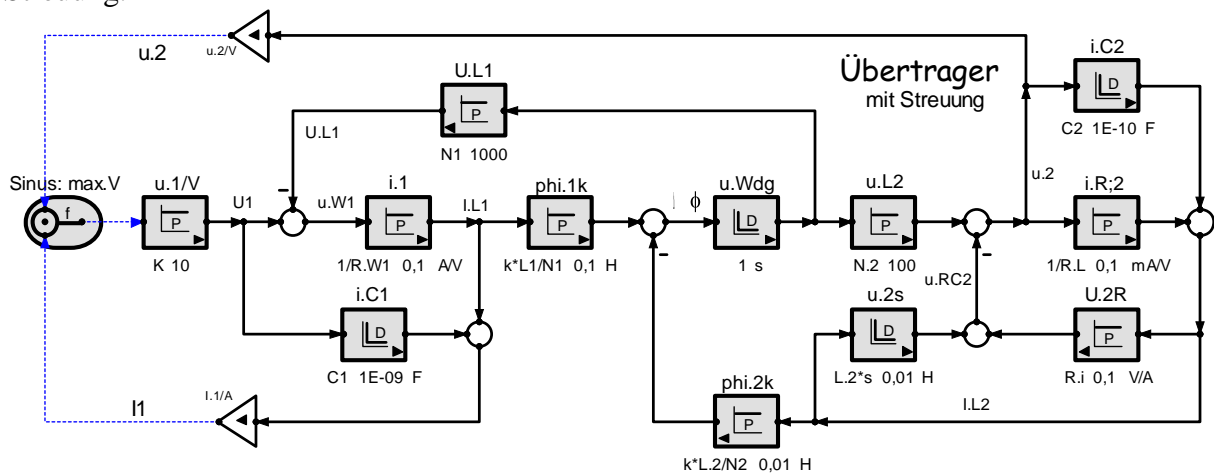


Abb. 6-36 Ohne Streuung besitzt der Übertrager nur eine untere Grenzfrequenz, aber keine obere.

Die folgende Struktur zeigt die Berechnung eines nicht-übersteuerten Übertragers mit Streuung.



Struktur 6-17 Übertrager-Simulation: ... zeigt die Übertrager-Struktur. Die magnetische Differenzbildung in der Mitte zeigt die Kopplung der Spulen durch die magnetischen Flüsse – das Prinzip der Transformation.

### Simulierter Übertrager-Frequenzgang mit Streuung

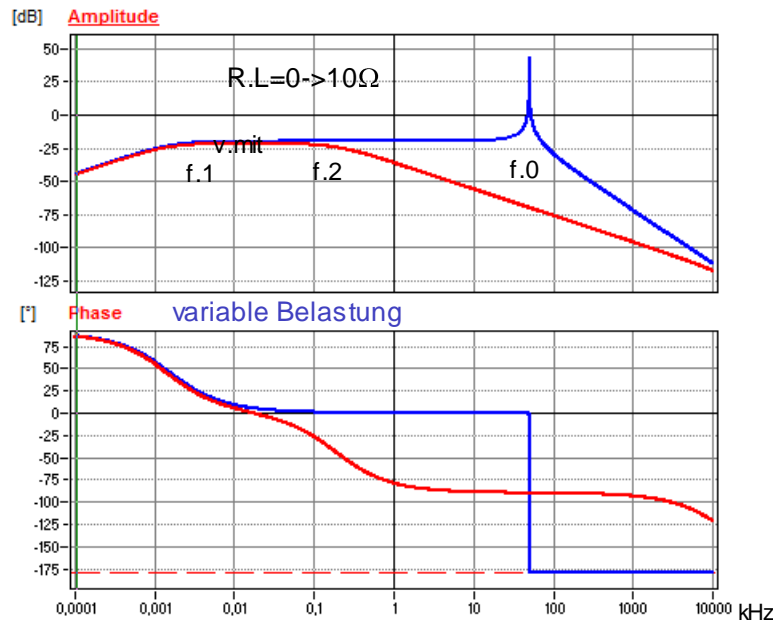


Abb. 6-37 Frequenzgang eines Netztrafos. Blau = Leerlauf: idealer Frequenzgang bis zu einer Resonanz bei 100kHz. Rot = Nenn-Last: Die obere Grenzfrequenz sinkt von  $f.0=100\text{kHz}$  nach  $f.2=1\text{kHz}$ . Die untere Grenzfrequenz  $f.1=10\text{Hz}$  bleibt unverändert.

### Der belastete Übertrager

Die Ausgangs-Amplitude steigt bis zum Erreichen einer unteren Grenzfrequenz  $f.1$ , hier 3Hz, Frequenz-proportional an, bleibt bis zu einer Grenzfrequenz  $f.2$ , hier 120kHz, konstant und fällt danach mit  $1/f$  ab.  $f.1$  soll möglichst klein sein,  $f.2$  soll möglichst groß sein. Die Übertrager-Analyse muss klären, wovon  $f.1$  und  $f.2$  abhängen, damit der Übertrager entsprechend dimensioniert werden kann.

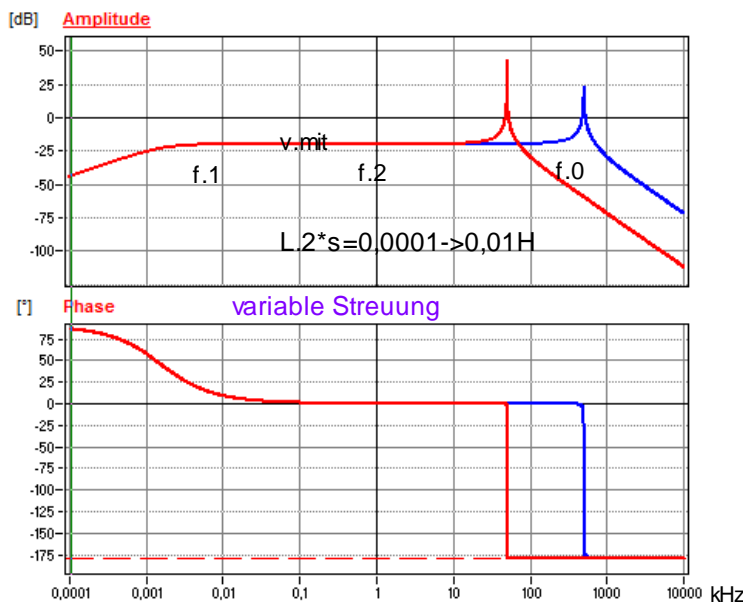


Abb. 6-38 Übertrager-Frequenzgänge bei Variation der Streuung  $s$  von 1% nach 0,01%.

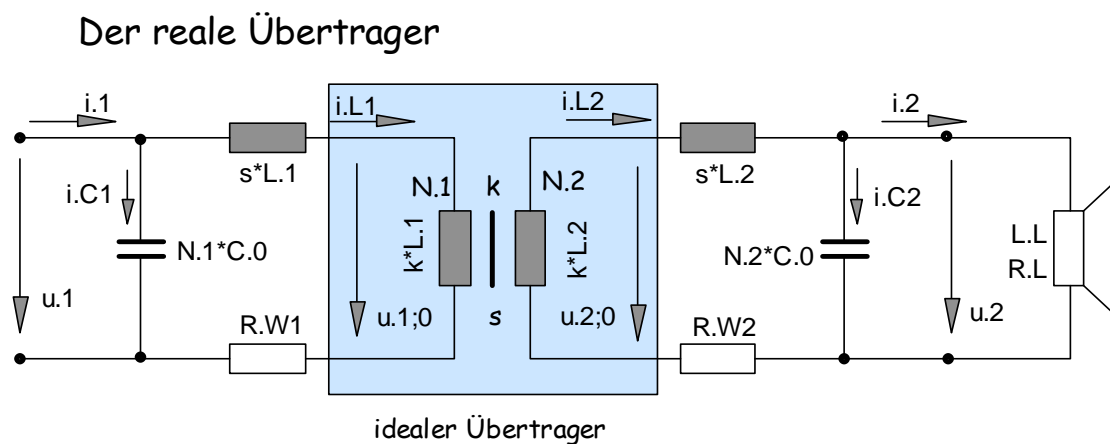
### Der Übertrager im Leerlauf

Im Leerlauf betriebene Übertrager besitzen einen weiten Proportional-Bereich, der bei einer Resonanz-Frequenz  $f_0$  endet. Ab  $f_0$  fällt die mit  $1/f^2$  ( $=-40\text{dB/Dek}$ ) ab. Die Simulation zeigt, dass  $f_0$  umso kleiner wird, je größer die Streuung  $s$  des Eisenkerns ist.

Um das Verhalten des Übertrager zu verstehen, entwickeln und berechnen wir aus der Struktur des Transformators eine Ersatz-Schaltung.

### Ersatzschaltung eines Übertragers mit Streuung

Um einen Übertrager dimensionieren zu können, müssen die Zusammenhänge zwischen den geforderten Daten und den Parametern des Übertragers bekannt sein. Zur Berechnung verwenden wir die aus dem Aufbau des Übertragers mit Streuung gewonnene Ersatz-Schaltung (Abbildungen oben).



**Abb. 6-39 Die Übertrager-Ersatzschaltung:**

Die Primär- und die Sekundär-Induktivitäten  $L.1$  und  $L.2$  teilen sich in Kopplungs-Anteile  $L.k = k \cdot L$  und Streu-Anteile  $L.s = s \cdot L$  auf. Zur Berechnung werden der noch zu bestimmende oder geforderte Streufaktor  $s$ , bzw. der Koppel-Faktoren  $k = 1 - s$ , benötigt ( $k + s = 1$ ).