

## 11. Spule und Kondensator im Stromkreis

Das Verhalten von Kapazitäten und Induktivitäten kann mit dem gleichen Grundmodell sowohl für Gleichstromkreise wie für Wechselstromkreise beschrieben werden. Dabei geht es um die dynamischen Aspekte, also um Ein- und Ausschaltvorgänge bei Spulen, Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren und elektromagnetische Schwingungen. In Modellergänzungen werden die Arbeit bei der Kondensatorladung und die Leistung im Wechselstromkreis untersucht.

### 11.1 Physikalische Grundstruktur

In den bisherigen Modellen ging es um die Beschreibung von Bewegungen unter dem Einfluß von Kräften. Mit dem vorliegenden Kapitel wechseln wir in einen anderen Strukturbereich physikalischer Modelle. Die Beschreibung von Strom- und Spannungsverläufen in elektrischen Stromkreisen werden in Lehrplänen unter dem Thema „Felder“ eingeordnet. Da mit Modellbildungsumgebungen sinnvollerweise *dynamische* Systeme beschrieben werden, geht es hier nicht um die Berechnung von stationären Zuständen in Parallel- oder Reihenschaltungen mit Ohmschen Widerständen, sondern um instationäre Vorgänge, bei denen Strom- und Spannungsverläufe zeitlich variieren. Das ist der Fall bei Auf- und Entladevorgängen von Kondensator, Ein- und Ausschaltvorgängen von Spulen oder elektrischen Schwingkreisen. Ebenso wie mechanische Schwingungen sich mit Hilfe von Modellbildungssystemen sinnvoll in die Newtonsche Dynamik eingliedern lassen (vgl. Kapitel 10), können elektromagnetische Schwingungen direkt aus Modellen des Bereichs „Felder“ entwickelt werden.

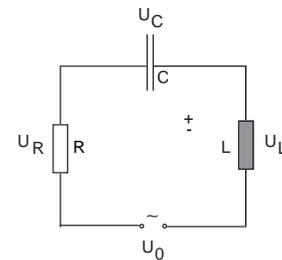
Man kann entsprechend der Newtonschen Grundstruktur  $F_i \rightarrow F_{res} \rightarrow a \rightarrow v \rightarrow s$  eine *elektrodynamische Grundstruktur* angeben. Die Rolle der Einzelkräfte  $F_i$  wird von den auftretenden Einzelspannungen  $U_i$  übernommen. An die Stelle der Summation der Kräfte tritt die Maschenregel „Die Summe aller Spannungen eines Stromkreises ist Null“, bzw. „Die Summe aller treibenden Spannungen ist gleich der Summe aller Spannungsabfälle“:

$$\sum F_i = F_{result}$$

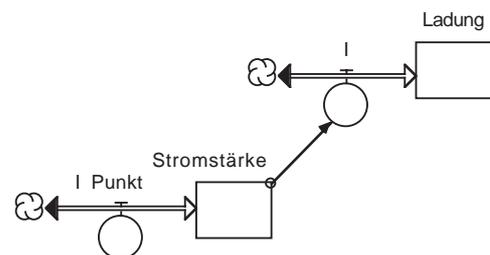
$$\sum U_i = 0$$

Während das Suchprogramm bei Bewegungen lautete: „Bestimme die auf einen Körper einwirkenden Kräfte ...“, lautet die entsprechende Strategie beim Stromkreis im Kern: „Bestimme die auftretenden Spannungen ...“.

Als Zustandsgrößen sind die Stromstärke und die Kondensatorladung von zentraler Bedeutung. Aus der Kenntnis von  $I$  und  $Q$  lassen sich die anderen Beschreibungsgrößen vorhersagen.



11.1 Serienschwingkreis mit Kapazität, Induktivität und Ohmschem Widerstand.

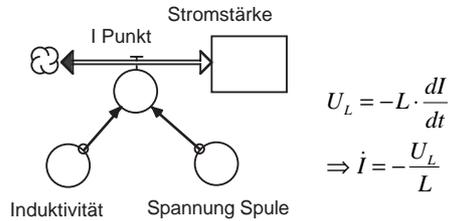


11.2 Elektrodynamische Grundstruktur.

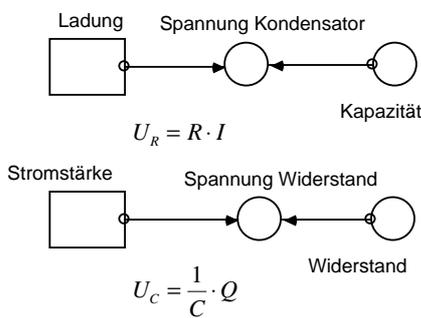
Die *Änderungsrate* der Ladung ist die Stromstärke  $I$  (vgl. *Geschwindigkeit* als Zustandsgröße und *Änderungsrate* in der Newtonschen Grundstruktur).

$$\dot{Q} = I = \frac{U_R}{R}$$

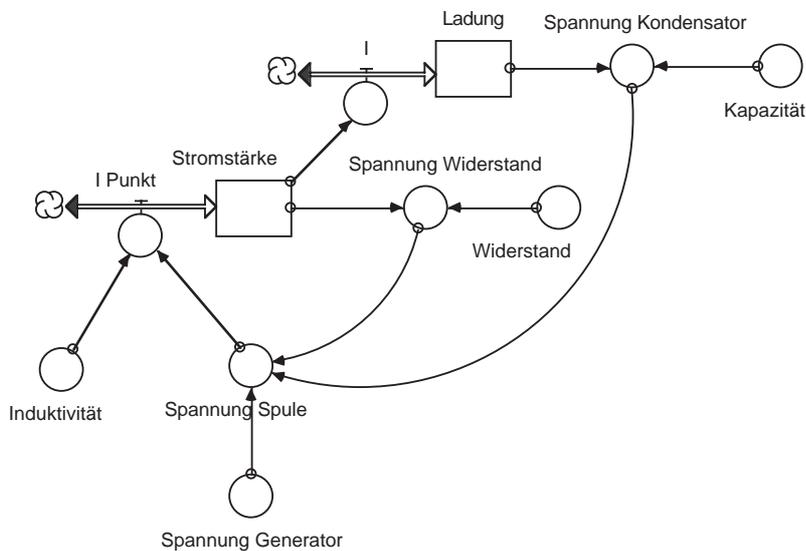
Die *Änderungsrate* der Stromstärke  $I_{\text{Punkt}}$  ergibt sich funktional aus der Selbstinduktionsspannung  $U_L$  und der Induktivität  $L$ . Man ist gewohnt an dieser Stelle *kausal* zu denken: *Wenn* sich der durch eine Spule fließende Strom ändert, *dann* wird in der Spule eine Spannung induziert. Physikalisch liegt jedoch genausowenig eine Kausalität oder gar zeitliche Abfolge vor wie beim dritten Newtonschen Axiom „*actio* gleich *reactio*“.



Um in die Iterationskette  $\dot{I} \rightarrow I \rightarrow \dot{Q} \rightarrow Q$  eintreten zu können, muß demnach die Induktionsspannung  $U_L$  ermittelt werden. Aus den Zustandsgrößen Stromstärke und Ladung kann man die Spannung am Ohmschen Widerstand  $U_R$  und die Spannung an der Kapazität  $U_C$  ermitteln.



Als weitere Spannungen können eine konstante Batteriespannung  $U_B$  oder eine zeitlich variable Generatorspannung  $U_G(t)$  auftreten. Mit Hilfe der Maschenregel kann man aus diesen Teilspannungen die Spannung an der Induktivität ermitteln, die man für die Berechnung von  $I_{\text{Punkt}}$  benötigt.



11.3 Gesamtmodell zu elektrischen Schwingungen.