Grundlagen für die Elektronik Teil 8:

Zusammengesetzte Schaltungen und Schwingkreise

9. Anfangs wollen wir verschiedene Schaltungsvarianten betrachten, bestehend aus R, L und C. Die auftretenden Spannungen und Ströme sollen besonders beachtet werden.

9.1. Reihenschaltung von Kondensator und Wirkwiderstand

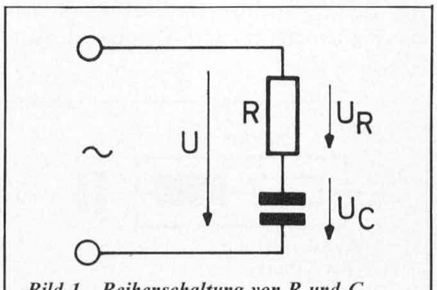

Bild 1 Reihenschaltung von R und C

Bei dieser Schaltungsart fließt durch beide Bauteile derselbe Strom, und am Wirkwiderstand fällt die Spannung U_w und am kapazitiven Blindwiderstand die Spannung U_C ab. Der Gesamtleistungsfaktor (siehe auch Teil 7) liegt zwischen Null (100% Blindanteil) beim Kondensator und 1 (100% Wirkanteil) beim Wirkwiderstand.

Hierzu nun nähere Betrachtungen anhand eines Beispiels:

Ein Lötkolben hat bei 110 Volt, 50 Hz eine Leistungsaufnahme von 60 Watt. Dieser Kolben soll nun an einer Spannung von 220 Volt bei gleicher Frequenz betrieben werden.

Es wäre möglich, dem Lötkolben einen Wirkwiderstand vorzuschalten, jedoch würde dieser sehr viel Verlustleistung in Form von Wärme abstrahlen müssen.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60\ \mathrm{W}}{110\ \mathrm{V}} = \underline{0{,}55\ \mathrm{A}}$$

$$P_V = U_V \cdot I = 110\ \mathrm{V} \cdot 0{,}55\ \mathrm{A} = \underline{\underline{60\ \mathrm{W}}}$$

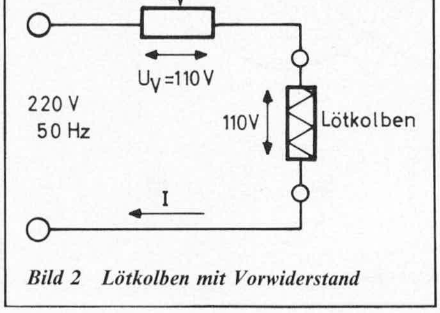

Bild 2 Lötkolben mit Vorwiderstand

Diese Verlustleistung würde in Wärme umgesetzt werden, wenn ein Wirkwiderstand zum Einsatz käme.

Statt dessen soll nun einmal ein „Vorkondensator" berechnet werden.

Die Spannung, die am Vorkondensator abfallen muß, berechnet sich folgendermaßen:

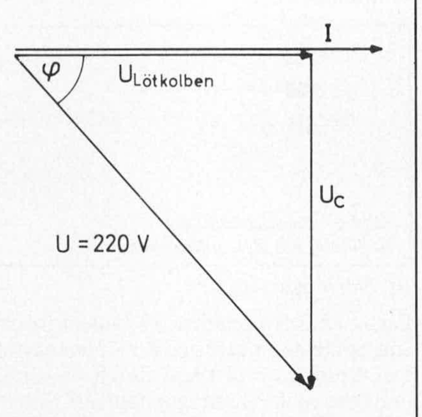

Bild 3 Zeigerbild für Lötkolben mit Vorkondensator

$$U^2 = U_{Löt}^2 + U_C^2$$

$$U_C^2 = U^2 - U_{Löt}^2$$

$$U_C = \sqrt{U^2 - U_{Löt}^2}$$

$$U_C = \sqrt{220^2 - 110^2}$$

$$U_C = \sqrt{36\,300} = \underline{190{,}53\ \mathrm{V}}$$

Hier ist wieder einmal deutlich zu sehen, daß bei „normaler" Addition (nicht geometrischer Addition) der Teilspannungen, nämlich 190,53 V + 110 V = 300,53 V, eine völlig falsche Gesamtspannung errechnet werden würde.

Es bleibt nun noch der kapazitive Blindwiderstand und die Kapazität zu berechnen, bei der bei einem Strom von 0,55 A ein Spannungsabfall von 190,53 V entsteht.

$I = 0{,}55\ \mathrm{A}: U_C = 190{,}53\ \mathrm{V}$

$$X_C = ? \quad X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{190{,}53\ \mathrm{V}}{0{,}55\ \mathrm{A}}$$

$$= \underline{346{,}4\,\Omega}$$

Für den Kondensator ergibt sich nachstehender Kapazitätswert

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot c}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 346{,}4}$$

$$= \underline{9{,}19\,\mu\mathrm{F}}$$

Durch Vorschalten dieses Kondensators wird die Spannung für den Lötkolben von 220 V auf 110 V herabgesetzt.

Am Kondensator entsteht dann eine Blindleistung von

$$Q_C = U_C \cdot I = 190{,}53 \cdot 0{,}55\ \mathrm{A}$$

$$Q_C = \underline{104{,}8\ \mathrm{Var}}$$

9.2. Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihenschaltung

Werden die drei genannten Bauteile in Reihe geschaltet, so entstehen in der Induktivität und in der Kapazität entgegengesetzte Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung. Aus diesem Grund können induktive Blindspannungen und kapazitive Blindspannungen, wie auch die entsprechenden Widerstände, voneinander abgezogen werden. Dagegen müssen verschiedenartige Spannungen und Widerstände bekanntlich geometrisch addiert werden. Diese Summe der Widerstände ist der Scheinwiderstand „Z".

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

Scheinwiderstand bei Reihenschaltung von R, L, C

Beispiel:

Eine Reihenschaltung von $R = 500\,\Omega$,
Eine Reihenschaltung von $C = 10\,\mu\mathrm{F}$,
Eine Reihenschaltung von $L = 2\ \mathrm{H}$
Eine Reihenschaltung von $U = 220\ \mathrm{V}$
Eine Reihenschaltung von $f = 30\ \mathrm{Hz}$

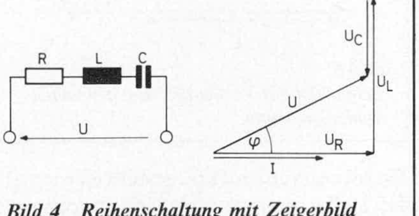

Bild 4 Reihenschaltung mit Zeigerbild

Wie groß sind die Teilspannungen?

Zunächst sollen X_L und X_C berechnet und hiermit dann der Scheinwiderstand bestimmt werden.

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2 = \underline{628{,}32\,\Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{318{,}31\,\Omega}}$$

$$Z^2 = R^2 + X^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{500^2 + (628{,}32 - 318{,}31)^2}$$

$$Z = \sqrt{346\,106} = \underline{588{,}31\,\Omega}$$

Der Strom, der durch diese Reihenschaltung fließt, errechnet sich wie folgt:

$$I = \frac{U}{Z}$$

[ohmsches Gesetz für Wechselstrom]

$$I = \frac{220\,V}{588{,}31\,\Omega} = 0{,}374\,A$$

Der Strom I ist für alle drei Widerstände der gleiche.
Interessant wird es bei der Bestimmung der Teilspannungen.

Spannung am ohmschen Widerstand:

$$U_R\, I \cdot R = 0{,}374\,A \cdot 500\,\Omega = \underline{187\,V}$$

Spannung am kapazitiven Blindwiderstand:

$$U_C = I \cdot X_C = 0{,}374\,A \cdot 318{,}31\,\Omega = \underline{119{,}05\,V}$$

Spannung am induktiven Blindwiderstand:

$$X_L = I \cdot X_L = 0{,}374\,A \cdot 628{,}32\,\Omega = \underline{234{,}99\,V}$$

Die Spannung am induktiven Blindwiderstand ist offensichtlich größer als die Gesamtspannung. Das dazugehörige Zeigerbild soll die Zusammenhänge verdeutlichen:

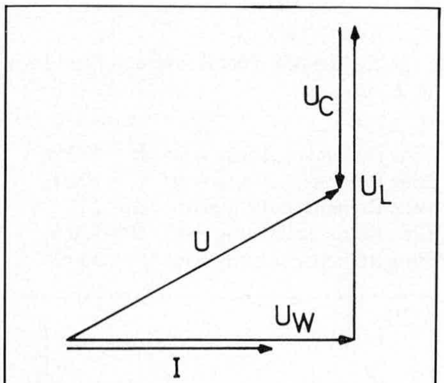

Bild 5
Zeigerbild zur Verdeutlichung der hohen Spulenspannung

Es soll noch einmal klargestellt werden, daß die Teilspannungen tatsächlich vorhanden und meßbar sind. Durch die nachfolgende geometrische Addition wird bewiesen, daß sich aus den Teilspannungen die anliegende Netzspannung errechnen läßt.

$$U = \sqrt{U\omega^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$U = \sqrt{187^2 + (234{,}99 - 119{,}05)^2}$$

$$U = \underline{\underline{220\,V}}$$

Überwiegt der induktive Blindwiderstand gegenüber dem kapazitiven, so wirkt die Gesamtschaltung induktiv. Im anderen Fall wirkt die Schaltung kapazitiv. Sind beide Blindwiderstände gleich groß, dann heben sie sich in ihrer Wirkung vollständig auf und der Strom erreicht seinen Höchstwert, da er nur noch durch den Wirkwiderstand „R" bestimmt wird.

9.3. Parallelschaltung von R, L und C

Bei dieser Parallelschaltung eilt der Strom in der Induktivität gegenüber der Spannung um 90° nach. Der Strom im Kondensator dagegen um 90° voraus. Die Gesamtwirkung der Schaltung ist davon abhängig, welcher Blindstromanteil überwiegt. Sind beide Ströme gleich groß, so heben sie sich aufgrund ihrer Phasenverschiebung auf und der fließende Strom wird nur noch durch R bestimmt.

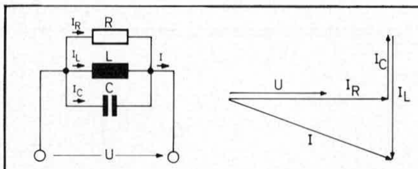

Bild 6 Parallelschaltung (induktiv) mit Zeigerdiagramm

10. Schwingkreise

Legt man einen geladenen Kondensator an eine Spule, so entlädt sich der Kondensator. Der Entladestrom fließt durch die Spule und baut in ihr ein Magnetfeld auf. Sobald der Kondensator entladen ist, beginnt das Magnetfeld zu schwinden. Hierdurch entsteht eine Selbstinduktionsspannung (Lenzsche Regel), durch die der Strom in gleicher Richtung, wie der Entladestrom des Kondensators, weiterfließt. Der Kondensator wird jetzt mit entgegengesetzter Polarität aufgeladen. Wenn kein Ladestrom mehr fließt, beginnt wieder der Entladevorgang über die Spule und der Vorgang läuft erneut ab.

Die Ladung des Kondensators und das magnetische Feld der Spule wechseln sich periodisch ab.

In einem praktischen Schwingkreis wird der fließende Strom durch den ohmschen Widerstand der Spule bedämpft. Die Spannung und der Strom werden mit jeder Schwingung kleiner, bis sie völlig abgeklungen sind. Dann nämlich hat sich die gesamte Energie in Wärme umgesetzt.

Eine abklingende Schwingung nennt man gedämpfte Schwingung.

10.1. Resonanz

Durch die Größe von Induktivität und Kapazität ist die Frequenz eines Schwingkreises festgelegt.

Damit jedoch die Schwingung nicht infolge der Dämpfung aufhört, muß der Schwingkreis fortlaufend von außen mit einer Frequenz angeregt werden, die genau seiner Eigenfrequenz entspricht. Dieses Mitschwingen bei Anregung nennt man Resonanz.

Ein Schwingkreis ist also in Resonanz, wenn die anregende Frequenz gleich der Eigenfrequenz des Schwingkreises ist.

10.2. Der Reihenschwingkreis

Als Reihenschwingkreis bezeichnet man eine Reihenschaltung aus Kondensator und Spule.

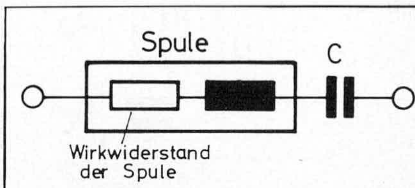

Bild 8 Reihenschwingkreis

Wie wir unter 9.2. gesehen haben, ist der Strom bei dieser Schaltung am größten, wenn der induktive und der kapazitive Widerstand gleichgroß sind. Sie heben sich dann in ihrer Wirkung auf und der Strom wird lediglich durch den Wirkwiderstand bestimmt. In diesem Fall herrscht Resonanz.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \mathrel{\widehat{=}} \text{Resonanzfrequenz}$$

Nach ihrem Entdecker wird die Formel als „Thomsonsche Schwingungsformel" bezeichnet.

Beim nächsten Mal werden wir das Gebiet der Schwingkreise abschließen und mit einem neuen Thema beginnen.

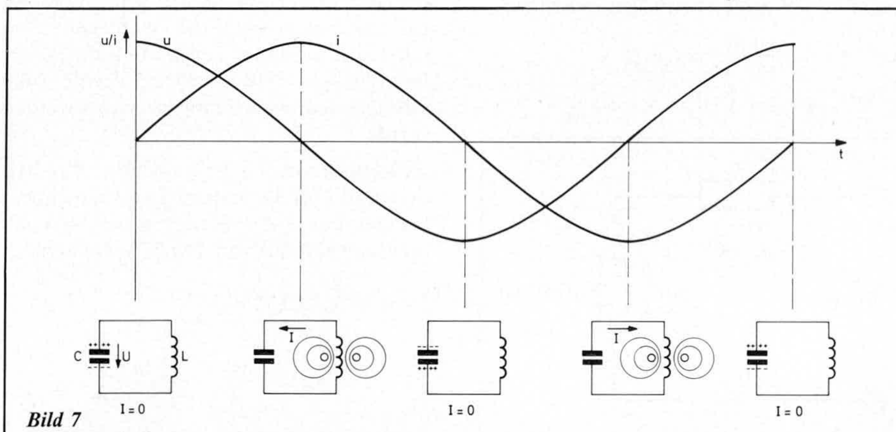

Bild 7
Strom- und Spannungsverhältnisse beim Schwingungsvorgang