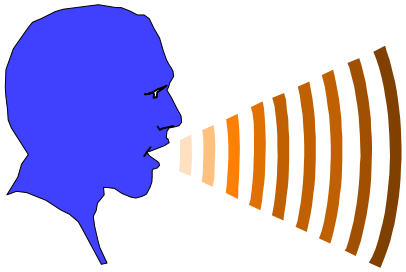
Physik & Musik



21

Fouriersynthese

1 Auftrag

Fouriersynthese

Bearbeitungszeit: 45 Minuten
Sozialform: Einzelarbeit
Voraussetzung: Posten 1: "Wie funktioniert ein KO ?"

Einleitung

Erzeugt man mit einer Oboe und einer Violine denselben Ton, beispielsweise den Kammerton a, so hört sich dies recht unterschiedlich an. Beide Töne besitzen die gleiche Tonhöhe, also die gleiche Frequenz. Die Klangfarbe ist jedoch verschieden. Ausser der für beide Instrumente gleichen Grundschwingung (440 Hz für den Kammerton a) werden nämlich instrumentabhängige Obertöne unterschiedlicher Intensität erzeugt. Träten sie nicht auf, dann klängen die auf beiden Instrumenten gespielten Töne absolut identisch.
Ein Klang ist also (meistens) aus mehreren Sinusschwingungen mit verschiedenen Frequenzen aufgebaut ist ? Vielleicht kennen Sie das schon vom Posten 15: “Frequenzanalyse“. Hier werden wir nun das Zusammensetzen (die sog. Synthese) der Schwingungen zu einem Klang kennenlernen.

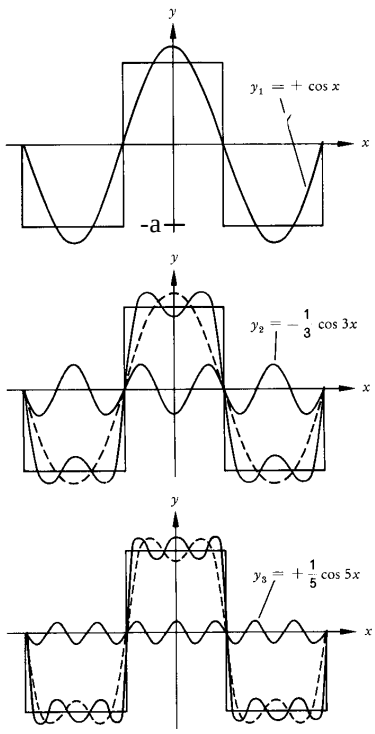
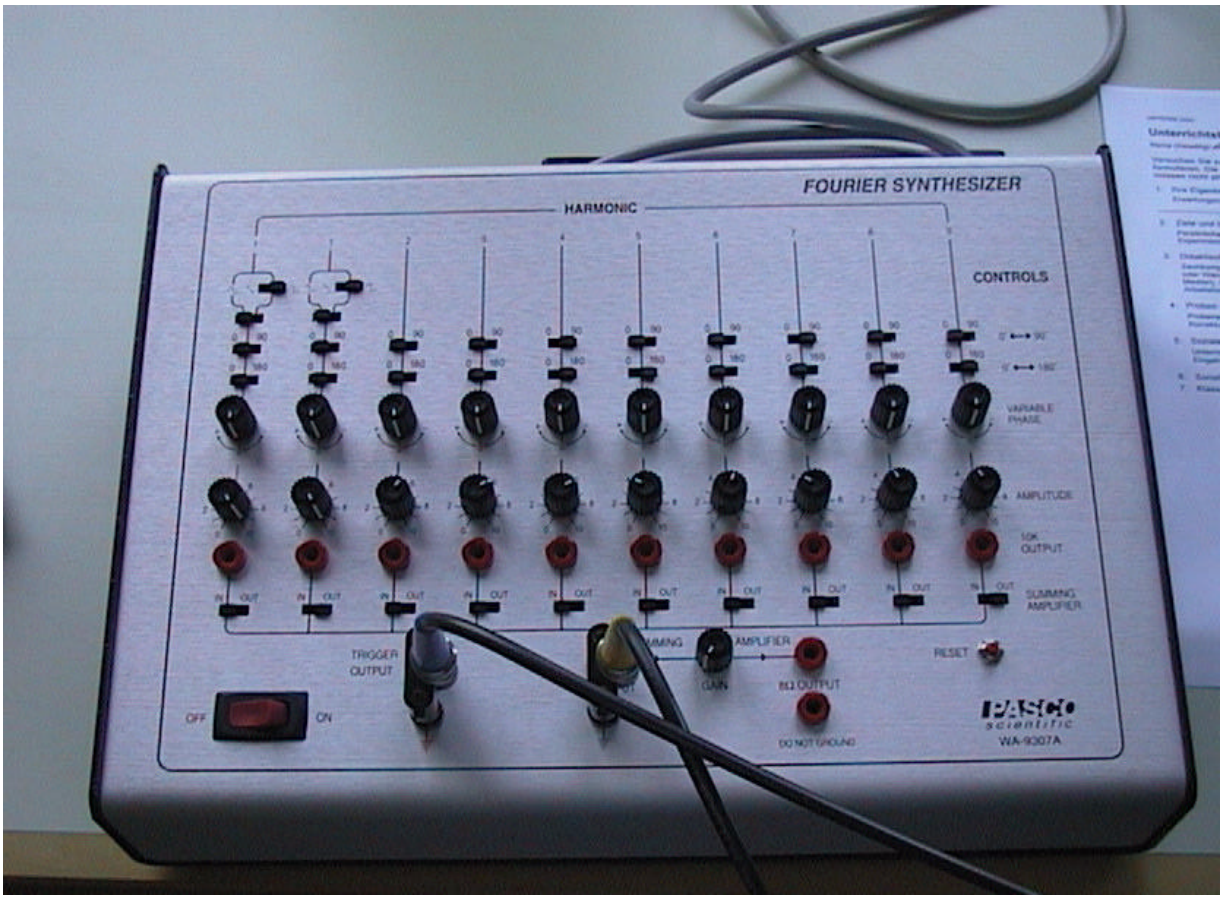


Abbildung 1: Aufbau einer Rechteckschwingung aus Sinuswellen verschiedener Frequenz (Sexl, Raab, 29)

Die Möglichkeit des Zusammensetzens beruht auf folgendem ***Lehrsatz von Fourier****:* Jede periodische Schwingung lässt sich aus genügend vielen Sinusschwingungen mit passender Frequenz und Amplitude zusammensetzen. Das mag auf den ersten Blick etwas unglaubwürdig, ja fast falsch wirken. Studiert man aber nebenstehende Abbildung 1, so sieht man, wie näherungsweise ein Rechteck-Signal eben aus verschiedenen Sinuswellen aufgebaut werden kann. Würde man noch mehr Schwingungen hinzunehmen, so würde das angestrebte Rechteck-Signal um so besser genähert. Etwa so ähnlich kann man jedes beliebige periodische (und übrigens auch nichtperiodische) Signal „zusammenbasteln“. (Fourier hat diese Tatsache exakt mathematisch bewiesen). Z.B. kann das Rechtecksignal in Abbildung 1 wie folgt aus cos-Schwingungen gewonnen werden:

$$y = \frac{4a}{\pi}\left(\cos(x) - \frac{1}{3}\cos(3x) + \frac{1}{5}\cos(5x) - \frac{1}{7}\cos(7x) + \ldots\right)$$

Genau diese Addition von einzelnen Sinus- und/oder Cosinusschwingungen zu einem Klang können wir mit dem **Fourier Synthesizer** bewerkstelligen. Dieses faszinierende Gerät wollen wir nun näher kennenlernen.



Wir betrachten beim Synthesizer zuerst die vertikalen ‘Linien’. Sie sehen 10 ungefähr gleich aussehende Verbunde von Knöpfen. Die ersten 2 stellen zweimal die Grundwelle dar. Man hat also die Möglichkeit die Grundwelle auf zwei verschiedene Arten einzustellen. Die nächsten 8 Linien bilden die harmonischen Oberwellen. Somit lässt sich also jede einzelne Oberwelle separat einstellen, verändern oder abstellen.

Wenn wir uns nun die verschiedenen horizontalen Knopfreihen anschauen, dann erkennen wir zuunterst kleine Schieberegler, welche mit **IN/OUT** beschriftet sind. Diese dienen dazu, die jeweilige Grund- oder Oberwelle ein bzw. auszuschalten. Bei den roten Buchsen hat man die Möglichkeit, sich die einzelne Welle anzuhören. Ein Stück weiter oben folgen die Drehknöpfe, um die Amplitude der Wellen zu ändern. Danach folgen die Regler für die Phasen der Wellen. Damit lassen sich die Wellen gegeneinander verschieben. Ganz zuoberst sieht man 2 Reihen von Schaltern, welche auch eine Phasenverschiebung bewirken. Diesmal aber um 90º und 180º.

Der letzte wichtige Knopf ist der **ON/OFF** - Schalter links unten.

Nun wollen wir aber endlich einen Ton mit diesem Gerät erzeugen:

Arbeitsauftrag

1. Der Fourier-Synthesizer sollte schon wie abgebildet mit dem KO und dem Lautsprecher verbunden sein.

2. Stellen Sie nun alle **IN/OUT**-Schalter auf **OUT**, alle Amplituden und alle Phasen auf 0. Jetzt können Sie den KO einschalten.

   Zuerst hören wir uns einen reinen Sinuston an. Schalten Sie dafür den **IN/OUT** - Schalter der ersten Grundwelle (ganz links) auf **IN**. Wenn Sie nun mit der Amplitude langsam raufgehen sollten Sie den Ton hören und am KO sehen.

   Wie gefällt Ihnen Ihr erster künstlicher Ton ?

3. Nun sollten Sie mit dem Gerät umgehen können. Erzeugen Sie jetzt also ein beliebiges Geräusch (bitte nicht zu laut), mit der Grundwelle und mit allen Oberwellen. Sie brauchen bei den Phasen vorläufig nichts einzustellen.

   Betrachten Sie das Geräusch schon bei seiner Entstehung am KO.

   Was hört sich besser an, ein reiner Sinuston oder ein Geräusch mit vielen Oberwellen ?

4. Wir wollen nun den eingestellten Ton erleben. Hören Sie sich den Ton an, und schalten Sie jetzt eine Oberwelle nach der anderen auf **OUT**. Beginnen Sie bei der 9. Oberwelle.

   Können Sie die Unterschiede erkennen ?

5. Wie Sie in der Einleitung gelesen haben, lässt sich jedes beliebige Signal aus Sinus- oder Cosinusschwingungen bilden. Genau dies wollen wir nun ausprobieren. Als Signal schwebt uns das erwähnte Rechtecksignal vor. Die Frage ist jetzt nur, wie wir dieses Signal erreichen. Versuchen Sie es selber zu erzeugen. Sie könne das Signal ja jederzeit am KO ansehen. (Kleiner Tip: Eine Phasenverschiebung um 90º macht aus einer Sinus- eine Cosinusschwingung und umgekehrt. Bei einer Phasenverschiebung um 180º werden die Schwingungen invertiert. Und selbstverständlich können Sie gleichzeitig 90º und 180º einschalten, was dann 270º ergibt.)

   Haben Sie es geschafft ?

   Falls nicht versuchen Sie es mit diesen Einstellungen (x bedeutet, dass nichts eingestellt werden muss):

Welle	**1**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
PHASE	0º	x	x	180º	x	0º	x	180º	x	0º
AMPLITUDE	10.0	x	x	3.3	x	2.0	x	1.4	x	1.1
IN/OUT	**IN**	**OUT**	**OUT**	**IN**	**OUT**	**IN**	**OUT**	**IN**	**OUT**	**IN**

6. Stellen Sie nun alle **ON/OFF**-Schalter auf **OFF**, ausser bei den beiden Grundwellen. Mit den geeigneten Einstellungen bei diesen zwei Schwingungen, erreichen Sie eine Auslöschung des Signals. Das heisst, dass die Schwingung verschwindet. Versuchen Sie dies zu erreichen.

Materialliste

- 1 Fourier-Synthesizer (z.B. von PASCO Scientific)
- 1 KO.
- 1 Lautsprecher.