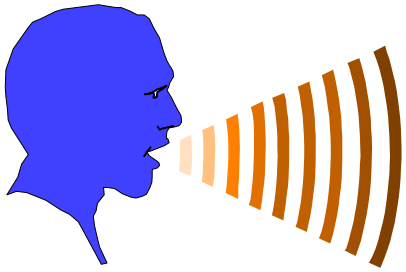
Physik & Musik



15

Frequenzanalyse

1 Auftrag

Frequenzanalyse

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

Einleitung

In der modernen Messtechnik haben Computer bereits eine sehr wichtige Stellung eingenommen. Besonders dort, wo sehr viele Messungen in kurzer Zeit vorgenommen werden müssen, die nachher auch noch möglichst schnell weiterverarbeitet werden sollen, ist der Einsatz von leistungsfähigen Rechnern nicht mehr wegzudenken.

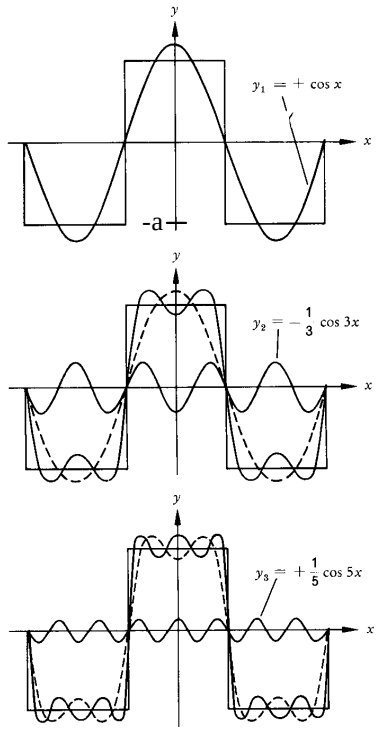


Abbildung 1: Aufbau einer Rechteckschwingung aus Sinuswellen verschiedener Frequenz (Sexl, Raab, 29)

Auch in der Akustik gibt es Bereiche, in denen der Computer bei Messungen sehr hilfreich sein kann. So z. B in der ***Spektralanalyse***, auch Frequenzanalyse genannt, wo untersucht wird, aus welchen Frequenzen die gemessenen Schwingungen zusammengesetzt sind.

Diese Technik 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:

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

Wenn man aber jedes sich wiederholende Signal so aufbauen kann, so sollte es doch auch möglich sein, das Umgekehrte zu erreichen, nämlich die Frequenzanalyse: man versucht herauszufinden, mit welchen Intensitäten man Sinuswellen verschiedener Frequenz addieren müsste, um wieder das Ausgangssignal zu erhalten. Vor dem Zeitalter der Computer wurde das z.B. mit Filtern veränderbarer Frequenz bewerkstelligt. Das war manchmal aber grossem technischen Aufwand verbunden. Der Computer macht das mit einer mathematischen Methode möglich, der FFT (Fast Fourier Transformation), die nicht ganz einfach zu verstehen ist, und auf die wir hier nicht eingehen wollen. Jedenfalls hat der Computer diese Technik vereinfacht und verschnellert.

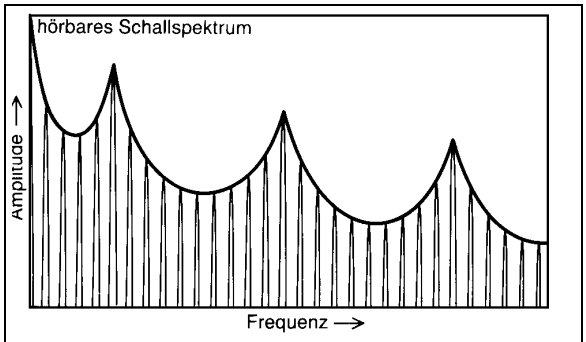


Abbildung 2: Bsp. für Spektrum (Physik der Musikinstrumente 16)

Wenn man aber mit dem Computer Messungen machen will, stellt sich ganz allgemein folgendes Problem: Messgrössen wie Spannung, Temperatur oder Druck usw., die elektrisch erfasst werden, erzeugen meist ***analoge*** Signale. Das bedeutet, dass das Signal stufenlos jeden beliebigen Wert zwischen 0 und 10 Volt annehmen kann. Vielleicht haben Sie schon gehört, dass der Computer aber ein ***digitales*** Gerät ist. Das bedeutet, dass der Computer Informationen in Form von 0 und 1 speichert und verarbeitet, und gar keine Werte dazwischen. Also nicht 0.5, oder 0.3214, sondern nur 0 und 1. Stellt man nun viele Nullen und Einsen hintereinander, so kann man trotzdem differenziertere Information speichern. Mit vier Leitungen z.B. würde man jeder Kombination eine Zahl zuweisen, nach untenstehender Tabelle. Hätte der messende Computer also 4 Stellen, man sagt 4 Bits, zur Verfügung, so würde er den vorherigen Wertebereich von 0 bis 10 Volt in 16 Stufen unterteilen. Jede analoge Messung, die ja hier einen beliebigen Wert zwischen 0 und 10 annehmen kann, wird dann einer der 16 Unterteilungen zugeordnet, ja nachdem, welcher der 16 Einteilungen die Messung am nächsten liegt. Nun haben wir also anstelle einer Leitung, die jede beliebige Spannung zwischen 0 und 10 Volt überträgt (analoge Leitung), vier Leitungen, die jede für sich nur Spannung oder keine Spannung übermittelt. Diese vier Leitungen nennt man „***Datenleitungen***“. Die Umwandlung des ursprünglichen analogen Signals in ein digitales heisst „***Digitalisierung***“, das Bauteil, das diese Transformation vornimmt „***Analog-Digital-Wandler***“ oder meist nur „***AD-Wandler***“.

0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	10
0011	3	1011	11
0100	4	1100	12
0101	5	1101	13
0110	6	1110	14
0111	7	1111	16

Nun werden Sie sich vielleicht fragen, ob denn bei dieser Umwandlung nicht Genauigkeit verloren geht. Schliesslich wird in unserem Fall ein kontinuierliches Signal von 0 bis 10 Volt

umgewandelt in nur 16 Abschnitte, von je 0.625 Volt . Und damit hätten sie ins Schwarze getroffen. Das war auch ein anfängliches Problem von digitalen Geräten. Diese Vorläufer der heutigen, präzisen Messgeräte, hatten noch zu wenige Datenleitungen, um eine genügende Exaktheit erreichen zu können. Hat man aber anstelle von vier Datenleitungen fünf zur Verfügung, so sind doppelt so viele Einteilungen möglich: Einmal alle Kombinationen von der obigen Tabelle mit einer Null vorausgehend, und zweitens wieder alle 16 Kombinationen von oben mit einer Eins vorgestellt. Somit könnten wir unsere Skala von 0 bis 10 in 2*16=32 Intervalle aufteilen. Das ist schon besser. Einigermassen gute Geräte haben heute typischerweise 16 bzw. 32 Datenleitungen, womit 65536 bzw. 4.296 Milliarden Abstufungen erreicht werden. Für die meisten Anwendungen ist das genügend.

In diesem Posten steht Ihnen ein PC zu Verfügung, der mit einer AD-Karte mit integriertem Spektralanalysator und angeschlossenem Mikrophon ausgerüstet ist. Somit haben Sie nun die Möglichkeit, von diversen Signalen eine Spektralanalyse vorzunehmen und so die spektralen Qualitäten von mehreren Geräuschen zu vergleichen. Der integrierte Frequenzanalysator berechnet in Echtzeit das Spektrum des Eingangssignals.

Arbeitsauftrag

1. Die Software für den Spektralanalysator sollte schon gestartet sein. Sie sehen auf dem Bildschirm zwei Ausgabebereiche: oben ein Graph des gemessenen Signals aufgetragen gegen die Zeit, unten die Intensität des Signals aufgetragen gegen die Frequenz. Das untere Bild ist also die vorher besprochene Frequenzanalyse. Dort erkennen Sie, wie gross der Anteil einer Schwingung mit ... Hz am gemessenen Geräusch ist. Auch Obertöne können Sie nachher in diesem Diagramm erkennen. Das obere Bild ist eine Darstellung ähnlich wie ein KO sie vom Signal erzeugen würde.

   Zunächst machen Sie sich mit der Bedienung dieser Software vertraut. Das ist nicht ganz einfach und Sie müssen die Einstellungen jeweils an den Ton anpassen, den Sie zu messen gedenken. Das heisst, bevor sie effektiv ein Spektrum drucken, müssen Sie in mehreren Testläufen mit demselben Ton die Parameter der Software so gut wie möglich einstellen. Spielen Sie ein bisschen mit den Parametern, um herauszufinden was man beim entsprechenden Signal noch alles sichtbar machen könnte.

2. Messen und drucken Sie die Spektren sowie die Schwingungen im Zeitbereich folgender Tonerzeuger:

   - Monochord
   - Stimmgabel 440Hz
   - Stimmgabel 1700Hz
   - Trillerpfeife
   - „Rauschen“ (z.B. mit einem Radio, oder notfalls mit Ihrem Mund durch Fauchen)
   - Menschliche Stimme (sagen Sie z.B. „A“ in angenehmer Stimmlage)
   - Geräusche von 3 Gegenständen, die Sie selbst wählen dürfen

   Natürlich dürfen Sie noch mehr Messungen machen, falls Sie z.B. das Spektrum Ihres eigenen Instrumentes interessiert, können Sie es ja mitnehmen oder Zuhause mit einem Kassettenrecorder aufnehmen und dann abspielen.

3. Vergleichen Sie das Spektrum eines „i“ und „u“, das Sie selbst bei ungefähr gleicher Höhe sprechen. Geben Sie sich dabei Mühe, das „i“ möglichst weit vorne bei den Zähnen und hell zu sagen, während Sie das „u“ weit unten im Hals zu erzeugen versuchen. Wodurch unterscheiden sich diese Spektren?

4. Wodurch unterscheidet sich das von Ihnen aufgenommene Spektrum vom „Rauschen“ von allen anderen Spektren?

5. Legen Sie Ihr Mikrophon auf die Tischplatte und schlagen Sie in der Nähe des Mikrophons mit einem Weichgummihämmerchen ca. 2-3 Mal pro Sekunde auf den Tisch. Sie können z.B.: das Hämmerchen von Posten „Stimmgabeln“ verwenden. Vergleichen Sie dieses Spektrum mit dem vom „Rauschen“. Was fällt Ihnen auf?

Um diesen Posten erfolgreich zu beenden, sollten Sie die ausgedruckten Spektren zu den Aufgaben 2. bis 5. und die Antworten auf dem Arbeitsblatt eingetragen haben. Weiter sollten Sie auf folgende Fragen ausführliche Antworten geben können. Ausführlich bedeutet, dass Sie in 2-3 Sätzen die Antworten formulieren können.

a) Was ist ein Spektrum?

b) Was besagt der Satz von Fourier?

c) Was sind analoge bzw. digitale Signale?

d) Was ist ein AD-Wandler?

Arbeitsblatt

3. Wodurch unterscheiden sich die Spektren eines „i“ bzw. „u“?

_____

_____

4. Wodurch zeichnet sich das Spektrum von „Rauschen“ aus?

_____

_____

5. Was fällt Ihnen beim Vergleich des Spektrums eines Weichgummi-Hammerschlages mit dem Spektrum von „Rauschen“ auf?

_____

_____

Materialliste

- 1 PC mit Messkarte, die Signale in Zeitauflösung und in Spektraldarstellung zeigen kann z.B. National Instruments NI AT DSP-2200.
- 1 Geeignetes Mikrophon mit Vorverstärker für Anschluss am PC.
- 1 Monochord.
- Stimmgabeln 440 Hz und 1700 Hz.
- Trillerpfeife.
- 1 Weichgummihämmerchen.