

FM-Synthese

Julius Hackel

Stefan Gerasch

Markus Bullmann

Matthias Kemmer



Agenda

Julius Hackel

Einführung

Markus Bullmann

Besonderheiten der FM-Synthese

Matthias Kemmer

Komplexe FM-Synthese

Stefan Gerasch

Praktische Anwendung



Einführung in die FM-Synthese

Julius Hackel



Gliederung

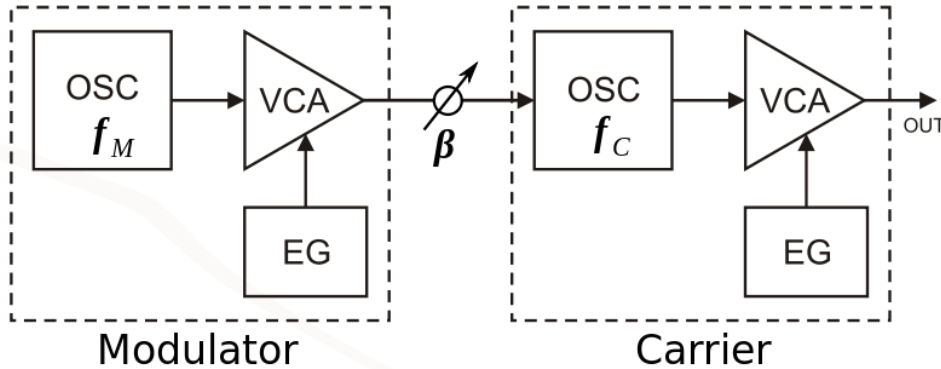
- Prinzip
- Beispiele
- Geschichte
- Mathematische Grundlagen
- Parameter nach John Chowning

Prinzip der FM-Synthese

- Bekannt aus Nachrichtentechnik
- Allgemein: Innerer Sinus moduliert Frequenz eines Trägersinus
- Formel: $e(t) = A \sin(\alpha t + I \sin(\beta t))$
- Funktioniert analog mit Kosinus



Darstellung als Schaltung



f_M, f_C : Frequenzen der Oszillatoren

β : Modulationsindex

VCA: Spannungsgesteuerter Verstärker

EG: Hüllkurvengenerator

Quelle: http://mmmmaven.com/wp-content/uploads/800px-2op_FM.svg_.png
Stand: 18.06.2015

Darstellung mit MATLAB

Besonderheit:

- Einfach zu erzeugen
- Schwer zu verstehen



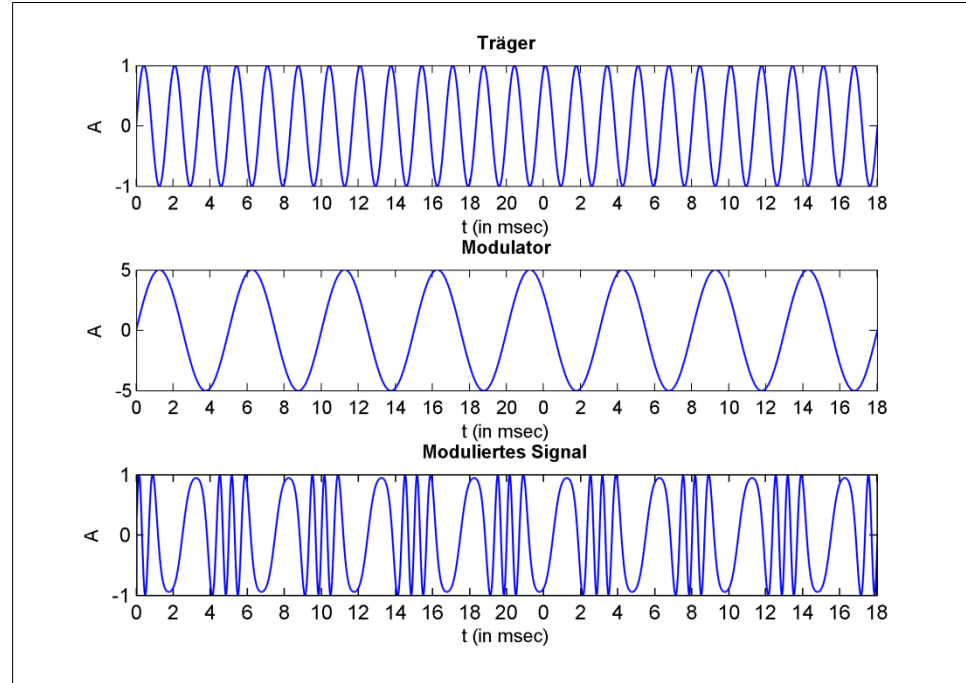
Träger



Modulator



Ergebnis



Beispiele

Beispiel 1

Träger

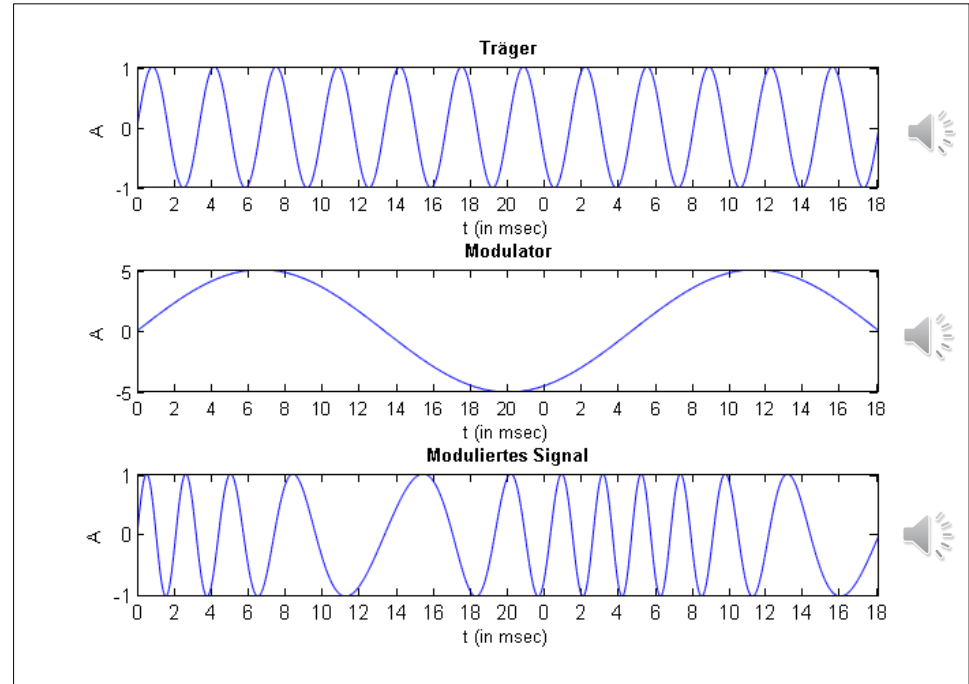
$$y(t) = \sin(2\pi 600 \cdot t)$$

Modulator

$$y(t) = 5 \sin(2\pi 75 \cdot t)$$

Resultierendes Signal

$$y(t) = \sin(2\pi 600 \cdot t + 5 \sin(2\pi 75 \cdot t))$$



Beispiele

Beispiel 2

Träger

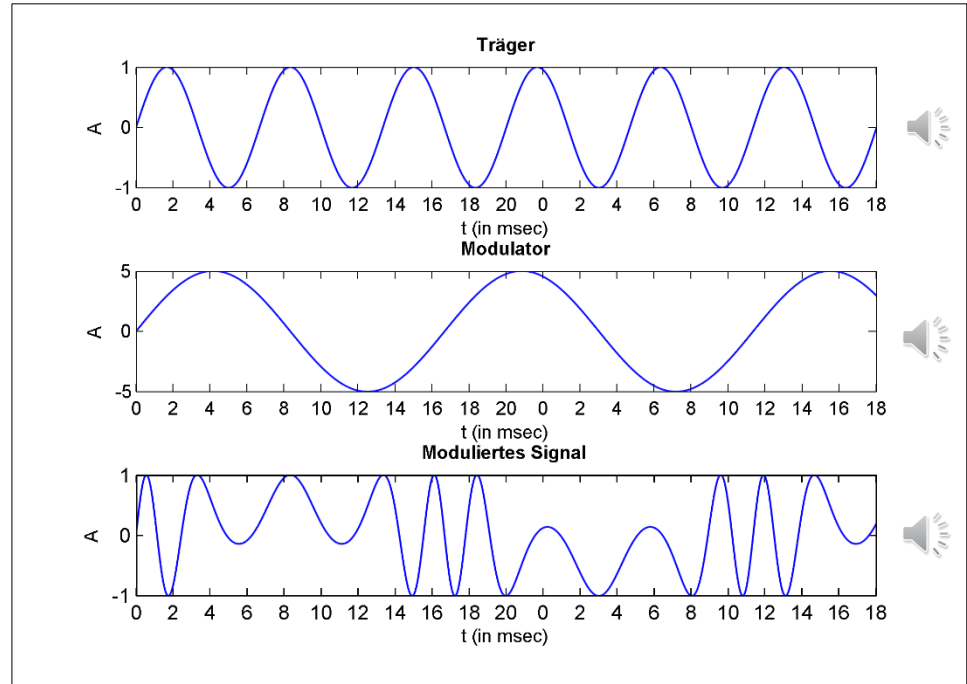
$$y(t) = \sin(2\pi 300 \cdot t)$$

Modulator

$$y(t) = 5 \sin(2\pi 120 \cdot t)$$

Resultierendes Signal

$$y(t) = \sin(2\pi 300 \cdot t + 5 \sin(2\pi 120 \cdot t))$$



Songbeispiele

- Erste, mit FM-Synthese erstellte Stücke
- Von John Chowning

- „Sabelithe“ (1971)



- „Turenas“ (1972)



Geschichte der FM-Synthese

- Grundlage: Frequenzmodulation
- Bekannt aus Nachrichtentechnik
- Erfinder der FM-Synthese:
Prof. Dr. John Chowning



Quelle: <http://arts.mit.edu/wp-content/uploads/2014/07/ChowningYamaha.jpg>
Stand: 18.06.2015

Geschichte der FM-Synthese

- Erste Entdeckung im Jahre 1967
- Chowning experimentierte mit Vibratos
- Vibrato: Langsame periodische Änderung eines Tons
- Neue Obertöne bei höheren Modulationsfrequenzen



Geschichte der FM-Synthese

- John Chowning 2005 in einem Interview:

*“I was experimenting with just a **sinusoid** and kept increasing the vibrato **rate**, so all of a sudden it didn’t sound like listening to a change in pitch in time, but rather I began to hear **timbral differences**.[...]”*

Geschichte der FM-Synthese

- Nach 3 Jahren: Durchblick der mathematischen Hintergründe
- Nachbildung von verschiedenen Instrumenten
- Veröffentlichung von „Sabelithe“ 1971
- Veröffentlichung von „Turenas“ 1972

Geschichte der FM-Synthese

- Chownings Intention: Komposition neuer Stücke
- Jedoch: Hoffnung auf kommerzielle Anwendung
- Lizenzierung durch das OTL (Office of Technology Licensing)
- Wenig Interesse zu Beginn
- Zitat Andy Moor:
“[...] It was really discouraging. John was so proud of having put this damn thing together and people didn't really get the idea of spatializing the sound.”

Geschichte der FM-Synthese

- 1973: Veröffentlichung der Erfindung
- 1974: Vorstellung der FM-Synthese bei Yamaha
- Kazukiyo Ishimura erkannte das Potenzial
- Yamaha lizenziert die FM-Synthese im gleichen Jahr
- 1975: Chowning kehrt nach Stanford zurück
- Gründung des CCRMA („Karma“)
 - Center for Computer Research in Music and Acoustics

Gründer des CCRMA



Quelle: [Nel15, S. 52] - Figure 4.1

Geschichte der FM-Synthese

- Großer Erfolg für Yamaha
- Erste digitale FM-Synthesizer: GS1 (1980) und GS2 (1982)
- Kosten: 30.000 DM und 16.000 DM
- Durchbruch 1983 mit dem DX7

Yamaha DX7



Quelle: <http://www.electricdruoid.net/images/interface/larger/YamahaDX7.jpg>

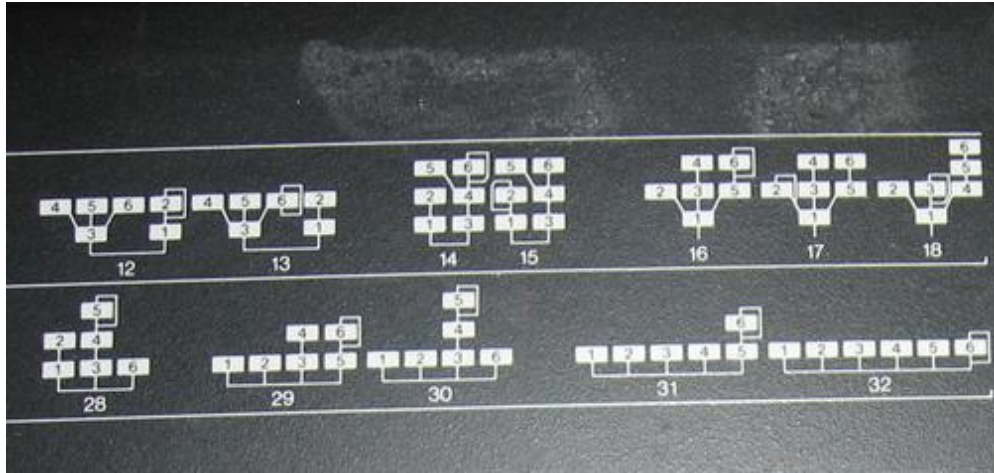
Stand: 18.06.2015

Yamaha DX7



- Parallele Verarbeitung von 16 Stimmen
- 6 einstellbare Operatoren
- 32 verschiedene Algorithmen
- Programmierbare „Voices“
- MIDI Schnittstelle
- Preis: Ca. 4.700 DM

Yamaha DX7



Quellen: http://www.publicsurplus.com/sms/docviewer/aucdoc/IMG_0966.jpg?auc=674141&docid=4542888
<http://www.electricdruid.net/images/interface/larger/YamahaDX7.jpg>
Stand: 18.06.2015

Geschichte der FM-Synthese

- 1983 – 1989 : Über 20 weitere digitale Synthesizer von Yamaha
- 1990: SY77 – Kombination aus FM-Synthese und Sampling
- Ab Mitte der 90er: Leistungsfähige Personal Computer
- Softwaresynthesizer mit MIDI-Keyboards
- Native Instruments FM7: Nachbildung des DX7

Einfache FM-Synthese

Grundlagen: Sinus und Kosinus

- Trigonometrische Funktionen (Winkelfunktionen)
- Periodische Funktion: $f(x + p) = f(x)$
- Einfache Verdeutlichung am Einheitskreis

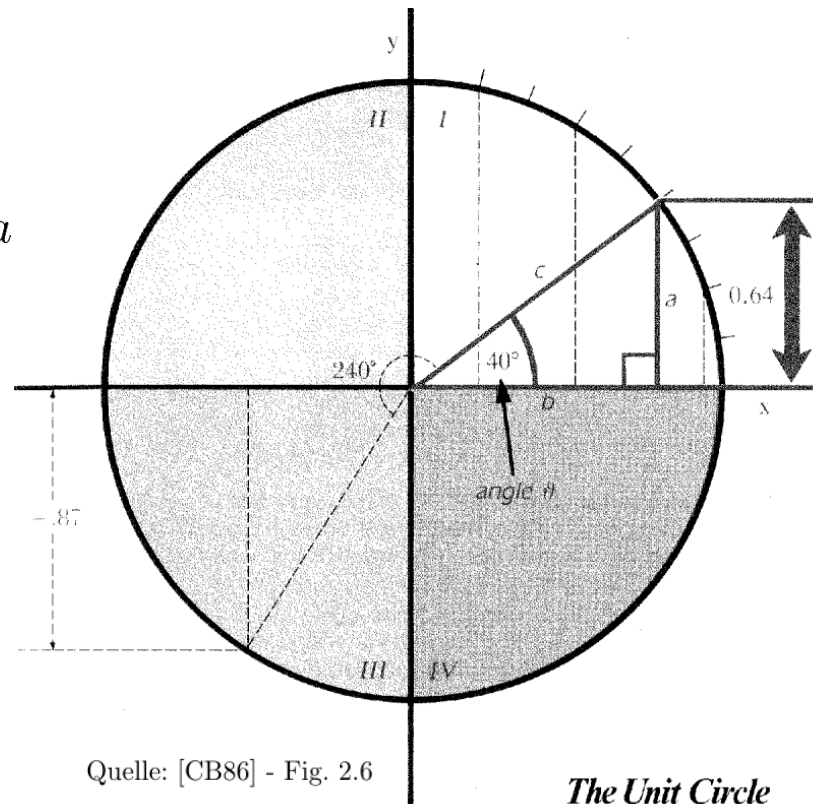
Grundlagen: Sinus und Kosinus

- Sinus:

$$\sin(\theta) = \frac{\text{gegenüberliegende Seite}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{a}{c} = \frac{a}{1} = a$$

- Kosinus:

$$\cos(\theta) = \frac{\text{anliegende Seite}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{b}{c} = \frac{b}{1} = b$$

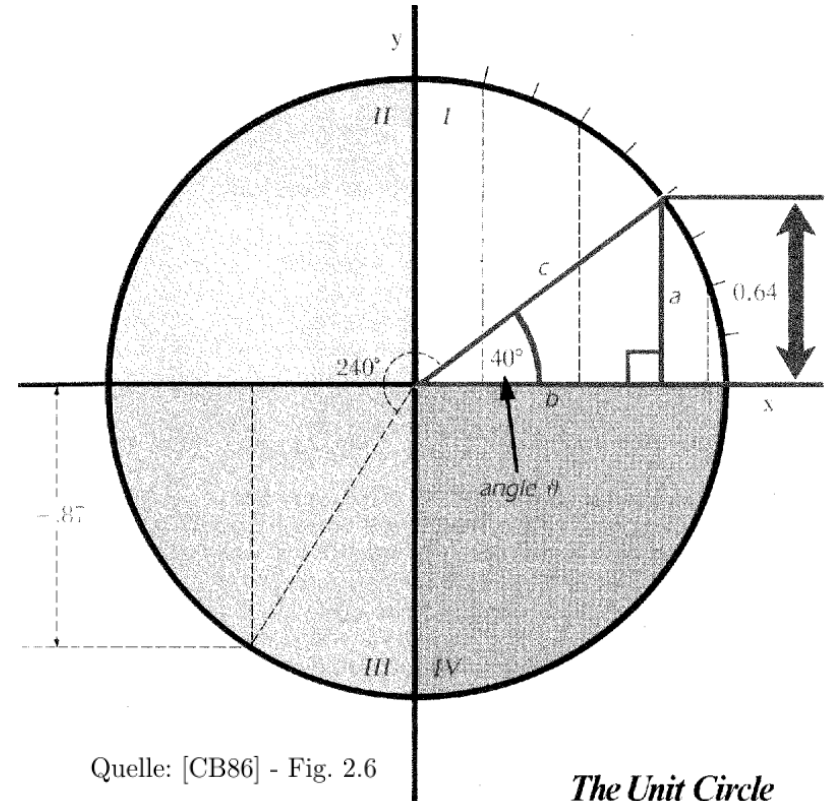


Quelle: [CB86] - Fig. 2.6

The Unit Circle

Grundlagen: Sinus und Kosinus

- Winkelangabe im Bogenmaß
- Angabe des abgelaufenen Bogens
- Bogenmaß π :
Halbe Umdrehung
- Bogenmaß 2π :
Ganze Umdrehung

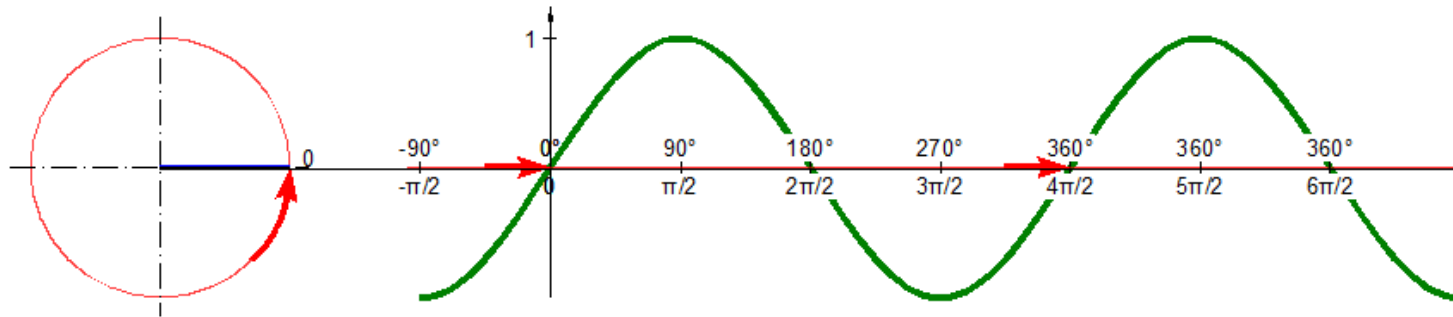


Quelle: [CB86] - Fig. 2.6

The Unit Circle

Grundlagen: Sinus und Kosinus

- Festlegung der Ablaufgeschwindigkeit durch Faktor f
- f = Frequenz
- Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi \cdot f$



Quelle: http://www.ulrich-rapp.de/stoff/mathematik/Sinus_Einheitskreis.gif
Stand: 18.06.2015

Grundlagen: Sinus und Kosinus

- Zusammenhang Sinus/Kosinus:
- Um $\frac{\pi}{2}$ verschoben
- Daraus folgt: $\sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cos(x)$
 $\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin(x)$ (Komplementärformeln)
- Ton: $y(t) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$
- A : Amplitude, Lautstärke des Tons
- f : Frequenz, Tonhöhe
- Physikalisch: Schwingende Luftmoleküle

Grundlagen: Parameter nach Chowning

- Grundlage:
„The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation“ von 1973
- Aus „Journal of the Audio Engineering Society“

Grundlagen: Parameter nach Chowning

$$e(t) = A \sin(\alpha t + I \sin(\beta t))$$

- $e(t)$: Amplitude zum Zeitpunkt t
- A : Maximale Amplitude des Signals
- α : Kreisfrequenz des Trägers in $\frac{1}{s}$
- β : Kreisfrequenz des Modulators in $\frac{1}{s}$
- I : Modulationsindex

Grundlagen: Parameter nach Chowning

$$e(t) = A \sin(\alpha t + I \sin(\beta t))$$

- Modulationsindex $I = \frac{d}{m}$
 - d : Frequenzhub der Modulation
 - m : Kreisfrequenz des Modulators
- $\Rightarrow I = \text{Verhältnis Frequenzhub zu Modulationsfrequenz}$

Fazit

- Einfaches Prinzip, komplexe sinnvolle Durchführung
- Sehr weitreichende Einflussmöglichkeiten
- Erfunden 1973 von John Chowning
- Sehr profitabel für Stanford und Yamaha
- Durchbruch durch den DX7
- Grundlagen zu Sinus und Kosinus wichtig für das Verständnis

Quellen

- [Cho73] John M. Chowning. The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation. *Journal of the Audio Engineering Society*, pages 526–534, 1973.
- [Nel15] Andrew J. Nelson. *The sound of innovation - Stanford and the computer music revolution*. Number 978-0-262-02876-9 in Inside Technology. MIT Press, 2015.
- [Cro15] Zachary Crockett. The father of the digital synthesizer. <http://priceconomics.com/the-father-of-the-digital-synthesizer/>, Stand 23.03.2015.
- [Fie15] Markus Fiedler. Die fm-synthese, ein Überblick. <http://www.markus-fiedler.de/fm/fm.html>, Stand 09.06.2015.
- [Yam83] Yamaha. Dx7 operating manual, 1983.

Quellen

- [CB86] John M. Chowning and David Bristow. *FM Theory & Applications - By Musicians for Musicians*. Number 4-636-17482-8. Yamaha Music Foundation, 1986.
- [Sti81] Peter Stingl. *Mathematik für Fachhochschulen*. Number 3-446-13481-6. Carl Hanser Verlag München Wien, 1981.
- [PDEZ67] Prof. Dr. Richard Feldtkeller Prof. Dr. Eberhard Zwicker. *Das Ohr als Nachrichtenempfänger - 2. Aufl.* S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1967.