

Magisch musizieren

Das Theremin, ein elektroakustisches Musikinstrument, wird berührungslos gespielt.

Ulrich Kilian

Fremdartig, geheimnisvoll, schaurig, fast wie ein Sinusgenerator, aber doch mit eigenem Klang – so hört sich das Theremin an: ein einzigartiges Instrument, das in diesem Jahr seinen hundertsten Geburtstag feiert. Wer Glück hat und einen Virtuosen am Theremin live erleben darf, staunt meist genauso wie die ersten Zuhörer 1920. Der russische Physiker Lew Sergejewitsch Theremin – später nannte er sich Leon Theremin – präsentierte mit seiner Erfindung ein Gerät, das vollkommen berührungslos gespielt wird: Kein Anschlagen von Tasten, kein Zupfen von Saiten, allein die Bewegungen der Hände entlocken dem Instrument schwebende Töne. Ein unscheinbarer Kasten ist mit einer horizontalen und einer vertikalen Antenne verbunden. Die rechte Hand des Spielers bewegt sich vor der vertikalen Antenne und verändert die Tonhöhe; die linke Hand steuert zusammen mit der horizontalen Antenne die Lautstärke – auf scheinbar magische Weise entsteht Musik.

Das Theremin gilt als das erste elektroakustische Musikinstrument und ist eine Frühform des Synthesizers. Neben den Antennen besteht es aus einigen Röhren, Spulen und Kondensatoren, die sich in einem Kasten befinden. Im Herz des Theremins



Carolina Eyck hat bei der Großnichte von Lew Theremin gelernt, das Theremin zu spielen. Die Virtuosa interpretiert damit auch klassische Musik.

oszillieren drei Schwingkreise: zwei für die Tonhöhe, also die Frequenz bzw. deren Änderung. Die Resonanzfrequenz des Steuer-Schwingkreises für die Tonhöhe ist ohne Berührung veränderbar. Die vertikale Antenne bildet zusammen mit dem Körper des Musikers einen virtuellen Kondensa-

tor (**Abb. 1a**). Dessen Kapazität von einigen Pikofarad hängt vom Abstand zwischen Hand und Antenne ab: je kleiner der Abstand, desto größer die Kapazität. Mit steigender Kapazität C sinkt die Resonanzfrequenz f_{res} des Steuer-Schwingkreises bei konstanter Induktivität L gemäß $f_{res} = (2\pi\sqrt{LC})^{-1}$. Die Änderung Δf_{res} ist so klein, dass

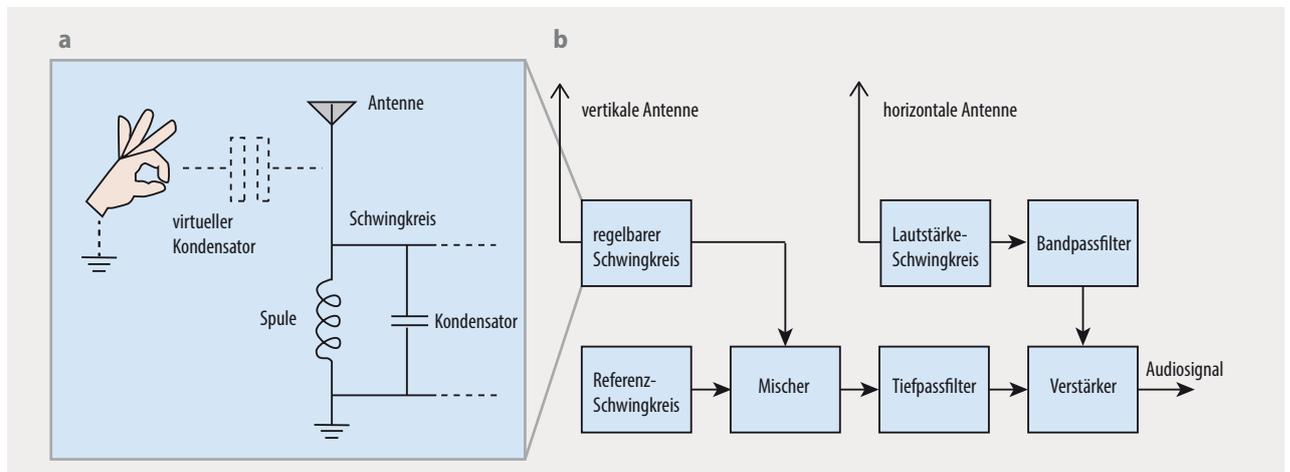


Abb. 1 Beim Theremin bilden Spielhand und vertikale Antenne einen regelbaren Kondensator, der die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises steuert (a). Im Mischer entsteht mithilfe eines Referenz-Signals die Tonhöhe (b). Die horizontale Antenne regelt die Lautstärke.

sie nur bei Frequenzen oberhalb 100 kHz zum Tragen kommt – das ist für den Menschen nicht hörbar. Lew Thermen nutzte daher das Heterodyn-Verfahren aus der Radiotechnik, um die Frequenzen in den hörbaren Bereich zwischen 20 Hz und 20 kHz zu übersetzen.

Der zweite Schwingkreis für die Tonhöhe besitzt eine konstante Resonanzfrequenz f_{konst} von einigen 100 kHz (**Abb. 1b**). Beim Mischen der beiden harmonischen Signale aus den Schwingkreisen entstehen zwei neue Frequenzen: die Summe beider Resonanzfrequenzen und deren Differenz. Ein Tiefpass filtert das hochfrequente Summensignal heraus, sodass allein das Differenzsignal weiterverarbeitet wird. Gilt beispielsweise $f_{\text{konst}} = 200$ kHz und führt die Handbewegung dazu, dass sich f_{res} von 200 auf 198 kHz reduziert, ändert sich die Frequenz des Differenzsignals am Ausgang des Mixers von 0 auf 2 kHz. Mit dieser Schaltung, die in der Hochfrequenztechnik auch Schwebungssummer heißt, produziert das Theremin Töne.

Laut und leise durch auf und ab

Das Original-Theremin regelte die Lautstärke über ein Pedal, einige Jahre später ging auch das berührungslos. Das Prinzip entspricht demjenigen für die Abstimmung der Tonhöhe. Auch die horizontale Antenne bildet mit dem Musiker einen Kondensator, der die Frequenz eines Schwingkreises beeinflusst: je geringer der Abstand, desto leiser der Ton. Die gebogene Form der Antenne sorgt für ein Feld mit geringer seitlicher Ausdehnung: Nur die Hand, nicht der Körper des Spielers kann dieses beeinflussen. Die Ausgangsspannung steuert einen Voltage Controller Amplifier (VCA), ein Verstärker, der sich in vielen elektronischen Instrumenten und Effektgeräten findet. Die Schwingkreise für Tonhöhe und Lautstärke arbeiten bei unterschiedlichen Frequenzen, damit sie sich nicht gegenseitig stören.

Beim Theremin entscheidet der Mischer, wie das Instrument klingt. Beim Original enthielt er eine Röhre mit vier Elektroden; die Schwingkreise für die Tonhöhe steuerten zwei

davon. Theoretisch erzeugt eine solche Tetrode mit zwei perfekten Sinuswellen als Input wieder eine perfekte Sinuswelle – einen reinen Ton. Aber für viele Zuhörer erinnert der Klang des Theremins in den höheren Lagen an den Gesang einer Sopranistin und bei tieferen Tönen an ein Cello. Um das Theremin mit charakteristischen Obertönen anzureichern, enthielt das Original zusätzliche „Spulen, Kondensatoren und andere Bauteile“, so Leon Theremin in seiner US-Patentschrift von 1928. Erst die so erwirkte Abweichung vom reinen Ton macht das Theremin zum Musikinstrument.

Theremisten gleiten beim Spielen durch knappe, klar definierte Fingerbewegungen von Note zu Note, weil das Theremin linear auf Abstandsänderungen der Hand reagiert. Wäre die Antenne direkt an den Schwingkreis gekoppelt, käme es aber zu einer exponentiellen Abhängigkeit: je näher die Hand an der Antenne, desto kürzer die Strecke pro Oktave. Um das zu vermeiden, ist zwischen Antenne und Tonhöhen-Schwingkreis eine Spule geschaltet, die mit der Antenne einen Reihenschwingkreis bildet. Mehrere Oktaven lassen sich auf diese Weise linear realisieren.

Die zunächst Ätherophon genannte Erfindung löste große Begeisterung aus, selbst Lenin erbat sich eine Privataudienz. 1927 ging Lew Thermen auf Welttournee und ließ sich als Leon Theremin in den USA nieder. Einzigartige Instrumentalisten machten die Theremin-Musik in den 1930er-Jahren populär, beispielsweise Clara Rockmore. Sie arbeitete eng mit dem Erfinder zusammen und entwickelte eine spezielle Fingertechnik, um ein Glissando zu vermeiden und auch klassische Stücke zu spielen. Obwohl einige Avantgarde-Komponisten das Theremin einsetzten und es auch in populärer Musik von Led Zeppelin und den Beach Boys vorkommt, ist es heute ein Nischeninstrument. Viele kennen seinen Klang nur aus Filmen, wo es für übernatürliche oder gruselige Töne sorgt; Virtuosen gibt es nur vereinzelt. Denn ein Theremin lässt sich mit dem passenden Bausatz zwar einfach zusammensetzen, ist aber ähnlich anspruchsvoll zu spielen wie ein Cello.



Dr. Felix Rohde, Product Management

Lock around the clock!

Frequency combs act as precise reference for optical frequencies, as well as for seeding phase-stable laser amplifiers. TOPTICA offers complete solutions including the frequency comb, wavelength conversion, beat detection and stabilization units for cw-lasers.

The fiber-based comb provides the convenience of fiber lasers with a new level of robustness and ultra-low noise performance. This laser creates a completely new frequency comb experience, it is made to **lock around the clock**.

Frequency Combs @ TOPTICA

- ▶ Intrinsic CEP-stability
- ▶ f_{rep} -locking bandwidth > 400 kHz
- ▶ RMS phase stability < 40 mrad
- ▶ f_{rep} and f_{CEO} perfectly decoupled



Visit us at BiOS/Photonics West
Booth #3209

