

Elektronische Übungspfeife

für französische und barocke Griffweise

Jörg Becker

Text und Bilder sind urheberrechtlich geschützt, alle Rechte vorbehalten. Der Artikel darf uneditiert und mit dieser Notiz für private Nutzung frei weitergegeben werden. Kommerzielle Nutzung oder Weiterverbreitung ohne meine schriftliche Erlaubnis sind nicht gestattet.

The text and the pictures are copyrighted, all rights are reserved. The article may be distributed freely among individuals for private use as long as it remains unedited and appears with this notice. Any commercial use or republication requires my written permission.

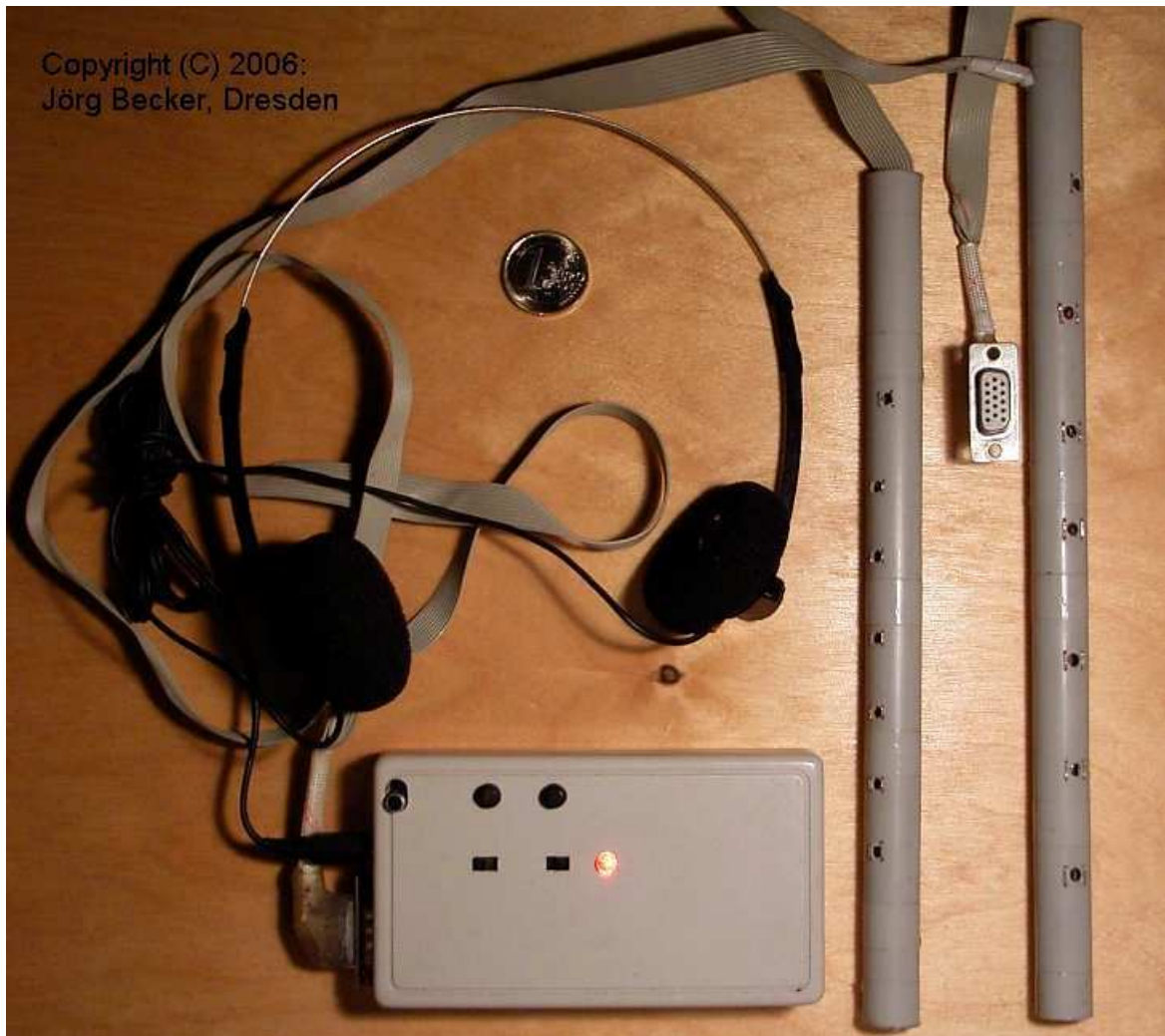


Bild 1: Gesamtansicht mit 2 Griffstäben (Sopran und Alt)

Motivation

Ende des letzten Jahrtausends habe ich mich für eine elektronische Übungspfeife interessiert, da Dudelsack und Mietwohnung eine recht ungünstige Kombination darstellen. Zu dieser Zeit gab es die Geräte von Manfred Deger und Anders Fagerström nur in schottischer Griffweise, so daß ich die hier beschriebene Schaltung entwickelt habe. Auch wenn es die kommerziellen Geräte inzwischen in französischer Griffweise gibt, bietet meine Schaltung einige Vorteile:

- + "Simuliert" eine echte Spielpfeife, d.h. falsche Griffe klingen auch falsch,
- + Vibrato und Vorschlagnoten sind gut hörbar,

- + geringer Stromverbrauch,
- + einfacher Aufbau,
- + Schaltung modifizierbar.

- Löcher sind entweder offen oder geschlossen (wie bei allen Geräten),
- andere Griffarten, Tonarten etc. erfordern eine Schaltungsänderung,
- keine digitalen Ausgänge,
- weiteres siehe Modifikationen.

Kurz gesagt ist das Ganze ein Übungsstab mit elektronischer Mithörkontrolle. Es ist zwar nicht möglich, gleichmäßiges Blasen und bestimmte Verzerrungen (z.B. gliding) zu üben, aber es ist genau richtig, um eine Melodie sauber "in die Finger" zu bekommen. Und das zu den "unmöglichsten" Zeiten und Gelegenheiten.

Inzwischen (2011) habe ich das Gerät um einige angenehme Kleinigkeiten erweitert. Diese sind ganz unten beschrieben und im Schaltplan eingetragen.

Schaltung

Der Aufbau der Schaltung erfordert einige Erfahrung, sollte aber keine Probleme machen. Die Schaltung besteht aus

- Sensorkontakten mit Triggern zur Detektion der Griffe.
- Zwei Widerstandsketten (umschaltbar für französisch und barock), die so dimensioniert sind, daß für jeden Griff der Strom durch die Widerstandskette der Frequenz des Tones entspricht (10Hz pro 1uA).
- Strom-Spannungs-Wandler, der eine Stromänderung von 1uA in eine Spannungsänderung von 1mV wandelt. Damit entspricht die Spannung der Frequenz (10Hz pro 1mV).
- VCO (spannungsgesteuerter Oszillator).
- Zeitschalter, der den Ausgang nach etwa 15s stumm schaltet, wenn der Griff nicht geändert wird.
- Verstärker in A-Schaltung.
- Blinkgeber als Metronom.

Im Prinzip wird damit eine Spielpfeife nachgebildet. Die in Reihe geschalteten Widerstände der Kette bilden die akustische Impedanz des Rohres ab, d.h. die Werte sind proportional zur Rohrlänge. Die gegen Masse geschalteten Widerstände entsprechen der akustischen Impedanz der Grifflöcher, d.h. sie sind proportional zu Wandstärke und Lochdurchmesser. Die folgende Elektronik wandelt die elektrischen Werte in den dem Griff entsprechenden Ton um. Im Ergebnis verhält sich das System wie eine reale Spielpfeife und muß auch so gestimmt werden.

Aufbau

Das Gerät besteht aus dem Griffstab mit den Sensorkontakten und einem Gehäuse mit der Elektronik (Steuergerät). Dadurch ist es möglich, Griffstäbe unterschiedlicher Geometrie anzuschließen (die allerdings immer gleich klingen).



Copyright (C) 2006: Jörg Becker, Dresden

Bild 2: Steuergerät von oben (ohne Deckel) und von unten (offenes Batteriefach)

Der Griffstab besteht aus einem halbierten Rohr und alle Leitungen sind frei verdrahtet. Die Sensoren bestehen aus je zwei Drahtbrücken, zwischen denen ein Loch gebohrt ist. Damit entspricht das Gefühl beim Greifen dem einer realen Spielpfeife.

Da der Hautwiderstand bei trockener Haut sehr hoch ist, werden die Trigger mit Transistoren angesteuert. Diese befinden sich direkt am Sensor, um Störungen durch Einstrahlung auf die Leitung zwischen Griffstab und Elektronik zu vermeiden. Durch den hohen Widerstand der Sensorkontakte ist der Griffstab sehr empfindlich gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit - beides kann wie "Griffloch geschlossen" wirken.

Die Elektronik habe ich auf zwei übereinander liegenden Leiterplatten im Steuergerät untergebracht. Auf der oberen Leiterplatte, die eine größere Bestückungshöhe hat, befinden sich die Spindeltrimmer und die Bedienelemente. Die untere Leiterplatte ist nur mit Schaltkreisen und Widerständen bestückt und damit sehr flach.

Die Widerstände in der Kette sind kritisch für die genaue Stimmung. Es sollten Metallschicht-Widerstände mit geringer Toleranz (1%) verwendet werden. Einige Widerstandswerte entsprechen nicht den üblichen Wertereihen, diese Widerstände müssen aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen gebildet werden.

Für die Stromversorgung wird ein 9V-Block verwendet. Die Stromaufnahme der Schaltung ist etwa 5mA bei leise bzw. "stumm geschaltet", 7mA bei normaler und 22mA bei maximaler Lautstärke. Mit dem 160mA-Akku im Bild läuft das Gerät bei normaler Lautstärke theoretisch über 20 Stunden. Durch die Selbstentladung des NiMH-Akkus ist die Betriebszeit praktisch etwas kürzer, aber ausreichend lang.

Da ich kein umgekehrt logarithmisches Potentiometer auftreiben konnte, habe ich ein logarithmisches "falsch herum" angeschlossen (links laut, rechts leise). Beide Potentiometer haben keine zusätzlichen Bedienelemente, sondern ich habe die geriffelten 6mm-Achsen so gekürzt, daß sie etwas aus dem Gehäuse herausragen.

Als Steckverbinder wird das 15-polige D-Sub-System (VGA-Stecker) verwendet, da es klein, robust und preiswert ist. Den Stecker habe ich mit Heißkleber vergossen.

Angeschlossen werden kann jeder beliebige Kopf- oder Ohrhörer, ein billiger Hörer ist völlig ausreichend. Linker und rechter Kanal sind parallel geschaltet.



Bild 3: Details: Griffloch, Steckverbindung, Bedienelemente, übereinander liegende Leiterplatten

Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme des fertig aufgebauten Gerätes erfolgt in zwei Schritten. Benötigt werden ein Multimeter für Spannung und Strom und ein Frequenzmesser. Da die meisten Stimmgeräte die Frequenz nicht anzeigen, ist es am einfachsten, ein entsprechendes Programm für den PC, wie z.B. Tunelt! zu nutzen.

Einstellen der Auswerteelektronik:

1. Unterbrechen der Verbindung zur Widerstandskette (d.h. Umschalter noch nicht einbauen).
2. Einstellen der 2V am LM317.
3. Zwei Spindeltrimmer so einstellen, daß zwischen den Stromstärken 25uA und 50uA gewechselt werden kann.
4. Trimmer für Offset und Verstärkung etwa auf Mittelstellung drehen.
5. Offset und Verstärkung wechselweise so einstellen, daß der VCO bei 25uA mit 250Hz und bei 50uA mit 500Hz schwingt.

Stimmen jeder Widerstandskette:

1. Verbindung zur Widerstandskette herstellen (d.h. Umschalter einbauen).
2. Alle Löcher schließen und mit dem Trimmer am Schalter den Grundton (tiefster Ton) einstellen.
3. Mit dem tiefsten Ton beginnend alle Griffe der Grundskala einstellen.

Das war's. Die Widerstandskette ist so dimensioniert, daß bei richtig gestimmter Grundskala die Halbtöne auch stimmen. Ausnahme ist das Gis (bzw. Cis beim G-Instrument) bei der französischen Griffweise, da bei diesem Griff mehr Löcher offen sind als beim A (bzw. D).

Modifikationen

Die Schaltung kann problemlos erweitert werden. Bisher vermisse ich die Möglichkeiten, die diese Änderungen bieten, allerdings noch nicht so sehr, daß ich sie umsetzen würde.

- Einstellen Grundton: Der Widerstand am VCO (100kΩ) kann durch einen Trimmer und/oder durch umschaltbare Widerstände ersetzt werden. Dabei bedeutet halber Widerstandswert die doppelte Frequenz, d.h. eine Oktave höher.
- Umschalten in Oktave: Im Steuergerät kann ein Schalter integriert werden, der einen nachgeschalteten 2:1-Frequenzteiler zu- und abschaltet. Das Steuergerät wird dann einfach unter den Arm geklemmt und eine Druckerhöhung schaltet in die Oktave.
- Vibrato bei Druckänderung: Wird im Steuergerät ein Drucksensor eingebaut, der parallel zu dem Widerstand am VCO (100kΩ) geschaltet wird, kann mit dem Druck die Frequenz geändert werden. Der Drucksensor kann auch genutzt werden, um in die Oktave zu schalten.
- Bordun: Statt für ein Metronom kann das Gatter auch zum Erzeugen eines konstanten Tones genutzt werden, der mit dem Potentiometer gestimmt wird.
- Logik für fehlenden Halbton (französische Griffweise): dieser Halbton einen akustischen Effekt nutzt, der durch diese Schaltung nicht nachgebildet wird, muß er explizit "eingebaut" werden. Dazu muß durch eine Logikschaltung erkannt werden, daß nicht A sondern G# gegriffen wird. Durch diese Logik wird vom Standard-Trimmer für A auf einen zusätzlichen Trimmer umgeschaltet, mit dem G# richtig eingestellt werden kann.
- Widerstandskette im Griffstab: Wird die Widerstandskette in den Griffstab eingebaut, kann man für jede Griffweise einen Griffstab bauen, ohne das Steuergerät zu verändern. Außerdem wird statt der 10-poligen nur eine 3-polige Verbindung benötigt. Momentan können Griffstäbe beliebiger Geometrie angeschlossen und französische oder barocke Griffweise gewählt werden. Für die geschlossene Griffweise habe ich ein zweites Gerät gebaut.
- Alternative Bauelemente: Der LM317 kann durch einen der Festspannungsregler 2V, die inzwischen erhältlich sind, ersetzt werden. Der LT1491 ist relativ teuer und inzwischen sind preiswertere rail-to-rail Operationsverstärker erhältlich. Da bei mehreren Triggern nur ein Eingang benötigt wird, kann statt des 4093 (4 Trigger mit je zwei Eingängen) der 40106 (6 Trigger mit je einem Eingang) verwendet werden. Für den Einschalter könnte ein Schaltpotentiometer verwendet werden. Da es umgekehrt logarithmische Schaltpotentiometer nicht gibt, muß das Potentiometer aber "falsch herum" angeschlossen werden. Statt der DIL-Schaltkreise können, um Platz zu sparen, SMD-Bauelemente verwendet werden.
- Kosmetik: Ich habe beim Aufbau wenig Wert auf Schönheit gelegt. Da wäre einiges machbar ...

Ergänzungen 2011

Den Hebel des Einschalters habe ich so weit gekürzt, daß er nicht mehr übersteht. Damit wird ein versehentliches Einschalten und das damit verbundene Entladen des Akkus verhindert.

Die Logik für das G# habe ich inzwischen nachgerüstet. Dazu wird, sobald Zeige- und Ringfinger der unteren Hand offen sind, ein weiterer Trimmer von 50kΩ in Reihe zu dem 25kΩ-Trimmer für das A geschaltet. Mit diesem Trimmer wird zuletzt (!) das G# gestimmt.

Der Grundton, d.h. der tiefste verfügbare Ton, ist umschaltbar. Das Gerät wird auf den Grundton C (Festwiderstand 100kΩ) gestimmt und mit dem Trimmer kann dann ein beliebiger anderer Grundton (höher als C) eingestellt werden. Ich habe als zweiten Grundton F gewählt, womit die Stimmung eines G-Sackes nachgebildet wird. Bei meinem Gerät wird der Grundton mit dem roten Schalter gewählt.

In einer freien Ecke im Gehäuse konnte ich noch einen Miniatur-Piepser mit Metallmembran unterbringen. Damit kann das Gerät auch ohne Kopfhörer betrieben werden. Statt des Piepsers kann auch

ein Piezo-Schwinger verwendet werden, der aber, da er mit gepulster Gleichspannung betrieben wird, mit einem Widerstand (ca. $1k\Omega$) überbrückt werden muß.

Der Miniatur-Piepser, den ich aus einem alten Telefon ausgebaut habe, hat einen Widerstand von gut 40Ω . Da ich keine weiteren Daten habe, ist er in Bild 4 vergrößert dargestellt. Im Steuergerät sitzt er hinter dem kleinen Loch links unten.

Inzwischen habe ich einen weiteren Griffstab, diesmal aus Holunder, gebaut. Die Geometrie entspricht ebenfalls einem realen Instrument und es sieht etwas netter aus. Wird Holz verwendet, ist die Leitfähigkeit ein Problem, daher sollte das Holz mit einem Harzlack behandelt werden.

Die Kontakte habe ich bei dem Griffstab aus Konservenblech geschnitten. Wichtig ist, daß der Abstand zwischen den Kontakten möglichst groß ist. Der gemeinsame Kontakt (Pin 11-15) ist jeweils der Hand zugewandt.

Der kleine Messingstreifen neben dem Kabel ist der von außen sichtbare Teil der Zugentlastung. Als Knickschutz habe ich daß erste Stück des Flachbandkabels mit einem Stück Schlauch überzogen.



Bild 4: Griffstab aus Holz, modifiziertes Steuergerät und Miniatur-Piepser

Hinweise zum Berechnen der Widerstandskette

Der Widerstandswert der Kette bei einem bestimmten Griff ergibt sich aus Parallel- und Reihenschaltung der zugeschalteten Widerstände. Der Meßwiderstand des Strom-Spannungs-Wandlers ($1k\Omega$) ist zusätzlich in Reihe geschaltet. Der fließende Strom berechnet sich dann nach dem Ohmschen Gesetz aus Steuerspannung ($2V$) und Widerstandswert.

Kritisch sind die Werte der Kette nur, wenn auch zusätzliche Gabelgriffe stimmen sollen. Bei einem diatonischen Instrument, bei dem jedes Griffloch nur einen Ton bestimmt, kann der Widerstandswert einfach proportional zur realen Länge gewählt werden. Z.B. wäre für ein Instrument mit Grundton G (etwa $200Hz$) der Strom $20\mu A$, was einem Widerstandswert von $100k\Omega$ entspricht. Bei einer Länge von $400mm$ ergibt das einen Faktor von $250\Omega/mm$, mit dem alle Abstände multipliziert werden. Gestimmt wird dann wie beschrieben mit den Spindeltrimmern. Ist der Ton bei Maximalwert des Trimmers immer noch zu hoch, wird einfach ein Festwiderstand in Reihe geschaltet oder ein Trimmer mit größerem Wert eingesetzt.

Es ist ebenso möglich, die Widerstandskette zu erweitern, um Klappen oder Doppellöcher nachzubilden. Zudem kann auch der Trimmer eines einzelnen Tones umschaltbar ausgelegt werden, um Pfeifen, bei denen Töne umschaltbar sind, nachzubilden.

Und zum Schluß ...

Viel Erfolg beim Nachbauen!

Jörg Becker

