

# *Guitar-Letter*

## Impedanzwandler

**SB-1-C1**





Ulf Schaedla - 1964 in Hamburg geboren - begann im Alter von 12 Jahren autodidaktisch das Spiel der Gitarre zu erlernen. Zwei Jahre später ergänzte er sein spärliches Taschengeld bereits durch Nachhilfe- und Gitarrenunterricht. Schnell füllte sich sein Keller mit weiteren Instrumenten und auf die erste sechssaitige Westerngitarre folgte schon bald das zwölfsaitige Pendant. Im Alter von 16 Jahren kaufte er seine erste Elektrogitarre nebst Transistorverstärker, der auch heute noch im Einsatz ist, und begann in einer Schülerband als Gitarrist. Seit 1987 ist er durchgängig für eine Multi-Vocal Band im norddeutschen Raum tätig.

Bedingt durch das fehlende Kleingeld, sein Interesse an der Elektronik und angeregt durch das 1979 erstmalig erschienene Buch „Elektro Gitarren“ von Helmuth Lemme, begann er schon bald damit, sich intensiver mit dem Thema Gitarrenelektronik zu beschäftigen. In der Folge entstanden viele kleine Vorverstärker, Equalizer und Verzerrer, die - in kleine Plastikkästen verpackt - zum musikalischen Einsatz gebracht wurden. 1982 baute er zusammen mit einem Freund einen Röhrenverstärker, der im Laufe der Jahre mit verschiedensten Vorstufenschaltungen ausgerüstet wurde. Aber auch die Elektrogitarren waren vor seinem Bastelwahn nicht sicher. Kaum eines seiner Instrumente verfügt heute noch über ihre originale Schaltung.

Nach einem zweijährigen Ausflug in die Informatik an der Universität Hamburg, begann er 1986 eine Ausbildung zum Radio- und Fernstechniker, die er im Frühjahr 1989, nach nur zweieinhalbjähriger Lehrzeit, mit der Gesellenprüfung und schulischer Auszeichnung beendete. Parallel zu dem folgenden Studium der Elektrotechnik an der Fachhochschule Hamburg, mit dem Schwerpunkt Nachrichtentechnik, arbeitete er weiter in seiner Lehrfirma. Neben der Reparatur von HiFi- und Fernsehgeräten hatte er sich besonders auf Antennentechnik und die Projektierung großer Übertragungsanlagen spezialisiert.

Im Jahre 1992 leistete er in Hamburg bei einem großen Halbleiterkonzern sechs Monate lang sein Fachpraktikum ab, dem im Anschluß verschiedene Tätigkeiten als Werksstudent im Video- und Qualitätslabor folgten. Dort erstellte er 1995 auch seine Diplomarbeit mit dem Titel „Systemumgebung für einen rechnergesteuerten IC-Meßplatz“. Im Herbst 1995 wurde er als Testentwicklungsingenieur für Mixed-Signal-Schaltungen angestellt und im weiteren Verlauf dieser Tätigkeit spezialisierte er sich auf das Testen von DRAM-Schaltungen unter den Bedingungen der industrialisierten Massenproduktion.

Nach einer mehrjährigen Tätigkeit als Projektleiter einer internationalen Gruppe von Test- und Produkt-ingenieuren für die Industrialisierung von digitalen Videoschaltungen, erfolgte 2008 die Rückkehr zur Entwicklung. Nach CD- und DVD-Decoderschaltungen liegt der Schwerpunkt seiner Arbeit heute beim Testen analoger Tuner-Schaltungen.

Seit 2004 begann der Autor seinen Instrumentenbestand zu erweitern. Aus anfänglich drei Elektrogitarren sind mittlerweile dreizehn geworden. Daneben finden sich auch noch sieben akustische Saiteninstrumente in seinem Besitz. Seine Sammelleidenschaft gilt insbesondere den alten Instrumenten des japanischen Herstellers Aria. In der Folge gilt er auf diesem Gebiet bereits seit einiger Zeit als Experte.

Im gleichen Jahr begannen auch seine Aktivitäten in verschieden deutschsprachigen Online-Foren. Hier veröffentlichte er unter dem Pseudonym „DerOnkel“ seitdem mehr als 5000 Beiträge und Kommentare zum Thema Elektrogitarre und allgemeiner Elektrotechnik.

2005 erschien der erste größere Aufsatz mit dem Titel „Der elektromagnetische Tonabnehmer als Wandler“, dem nur zwei Monate später der Artikel „Klangveränderung am elektromagnetischen Tonabnehmer“ folgte. Beide Publikationen begründeten die Reihe der „Guitar-Letter“. 2009 erschien die erste Version von Zollners „Physik der Elektrogitarre“, in der viele theoretischen Überlegungen des Autors erstmalig durch wissenschaftliche Experimente bestätigt wurden.

2008 entstand die Internetpräsenz der Guitar-Letter, auf der seither in unregelmäßigen Abständen neue Fachartikel veröffentlicht und gepflegt werden.

**Ulf Schaedla**

# **IMPEDANZWANDLER**

## **SB-1-C1**

**Eigenverlag**

Autor: Ulf Schaedla  
Mail: Ulf.Schaedla@gmx.de  
Internet: <http://www.guitar-letter.de/>  
Datum: 22.11.2013  
Version: 1.80  
Status: Veröffentlicht  
Titelbild: SB-1-C1  
Bild auf der Rückseite: -

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen sowie anderweitige Veröffentlichungen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes, gleich welcher Art, ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der Lizenzvereinbarung sowie der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland zulässig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des deutschen Urheberrechtsgesetzes.

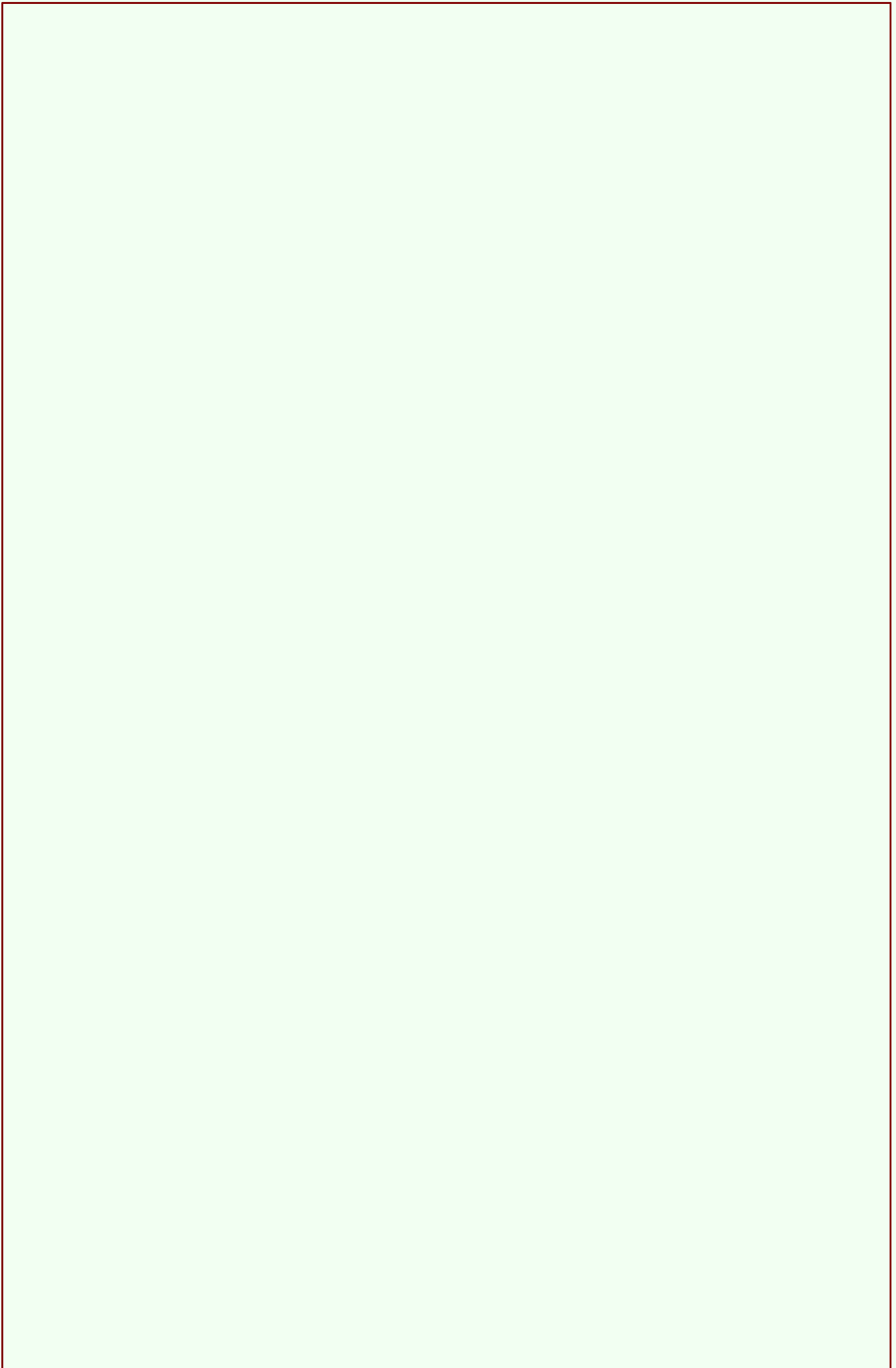
Die Wiedergabe von Marken- und Gebrauchsnamen usw. in diesem Werk berechtigen nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Der Autor betont ausdrücklich, daß er weder mit diesen Marken- und Gebrauchsnamen verbunden ist, noch sich diese zu eigen macht.

Die Veröffentlichungen von Schaltungen und Verfahren erfolgen ohne Rücksicht auf bestehende Patente, da sie einzig zu Amateur- und Lehrzwecken bestimmt sind. Eine gewerbliche und kommerzielle Nutzung ist ohne die ausdrückliche und schriftliche Zustimmung des Autors und/oder der entsprechenden Rechteinhaber nicht gestattet.

Trotz sorgfältiger Überprüfung aller Inhalte, lassen sich Fehler nicht immer vermeiden. Der Autor kann deshalb weder eine Garantie auf Fehlerlosigkeit geben, noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung übernehmen. Für Hinweise auf Fehler sowie für Ergänzungs- oder Verbesserungsvorschläge ist der Autor zu jeder Zeit dankbar.

## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Beschreibung .....</b>                               | <b>7</b>  |
| <b>2 Die Vorteile eines Super-FET-Wandlers .....</b>      | <b>8</b>  |
| <b>3 Anschluß .....</b>                                   | <b>9</b>  |
| 3.1 Anschlußbelegung des SB-1-C1 .....                    | 9         |
| 3.2 Verbindung mit der Außenwelt .....                    | 10        |
| <b>4 Klangveränderungen mit dem Impedanzwandler .....</b> | <b>11</b> |
| 4.1 Übertragungscharakteristik des Tonabnehmers .....     | 11        |
| 4.2 Geänderte Übertragungscharakteristik .....            | 12        |
| <b>5 „Was will ich erreichen?“ .....</b>                  | <b>13</b> |
| 5.1 Der einfache Weg zum alten Klang .....                | 13        |
| 5.2 Kampf dem „Höhenklau“ .....                           | 13        |
| 5.3 Auf zu neuen klanglichen Ufern .....                  | 17        |
| <b>6 Verschiedene Einsatz-Szenarien .....</b>             | <b>20</b> |
| 6.1 Das Telecaster-Setup .....                            | 20        |
| 6.2 Das Strat-Setup .....                                 | 20        |
| 6.3 Das Paula-Setup .....                                 | 21        |
| <b>7 Elektrische Daten .....</b>                          | <b>22</b> |
| <b>8 Anhang .....</b>                                     | <b>23</b> |
| 8.1 Tabellenverzeichnis .....                             | 23        |
| 8.2 Bildverzeichnis .....                                 | 23        |
| 8.3 Veröffentlichungen des Autors .....                   | 23        |



## 1 Beschreibung

Der SB-1-C1 ist ein sogenannter Impedanzwandler, der speziell auf die Bedürfnisse in der passiven Elektrogitarre zugeschnitten wurde. Sein Einsatz sollte daher immer **in** der Elektrogitarre erfolgen! Die Hauptaufgabe des SB-1-C1 besteht in der elektrischen Entkopplung von Instrument und der äußeren Belastung durch die Kabelkapazität und den Eingangswiderstand der nachfolgenden Schaltung. Durch den Einsatz des SB-1-C1 wird der Klang der Elektrogitarre unabhängig von diesen Einflüssen.

Der SB-1-C1 arbeitet als Spannungsfolger. Er stellt eine gesteuerte ideale Spannungsquelle dar. Die Spannungsverstärkung ist dabei nur geringfügig kleiner als 1. Der Ausgang des SB-1-C1 ist niederohmig. Ein Ausgangswiderstand läßt sich nicht definieren, da dieser auch von der äußeren Belastung abhängt. Als Ersatzkenngröße dient die maximale Ausgangsspannung, welche an der definierten Last verzerrungsfrei bereitgestellt werden kann.

Der Eingangswiderstand des SB-1-C1 beträgt  $1\text{M}\Omega$  und ersetzt damit den typischen Eingangswiderstand von Instrumentenverstärkern. Die Eingangskapazität ist so gering, daß die Tonabnehmer einer Elektrogitarre im Leerlauf betrieben werden. Die Folge ist eine sehr große Resonanzfrequenz, die durch eine zusätzliche Lastkapazität am Eingang nach Belieben verringert werden kann.

**Achtung! Der Einsatz einer geeigneten Lastkapazität als Ersatz der Kabelkapazität ist in den meisten Fällen unbedingt erforderlich!**

Die Spannungsversorgung kann mit einer handelsüblichen 9V-Batterie vom Typ 6LR61 erfolgen. Ein Betrieb mit größeren Versorgungsspannungen bis zu 20V ist vorgesehen, bietet aber keinerlei Vorteile! Der Einsatz von Akkus ist ebenfalls möglich, allerdings sollten dann solche mit einer Klemmspannung von 9,6V bevorzugt werden. Die Versionen mit 8,4V sind nicht zu empfehlen, da das Ausgangssignal ab einer Versorgungsspannung von kleiner als 8,3V verzerrt wird. Der Betrieb mit diesen Akkus führt daher zu einer verkürzten Einsatzdauer des SB-1-C1.

**Achtung! Der Einsatz von 7,2V-Akkus ist aufgrund ihrer geringen Klemmspannung nicht möglich!**

Der SB-1-C1 verfügt nicht über einen Schutz gegen eine Verpolung der Betriebsspannung.

**Achtung! Eine negative Betriebsspannung kann zu Schäden am SB-1-C1 führen und sollte daher unbedingt vermieden werden!**

Jeder SB-1-C1 wird vor dem Versand auf korrekte Funktion getestet. Dabei wird der Prüfling mit einem sinus- und einem dreieckförmigen Signal mit einer Amplitude von 3Vs und einer Frequenz von 15kHz bei einer Betriebsspannung von 8,3V beaufschlagt und das Ergebnis am Oszilloskop beurteilt. Der Ausgang des SB-1-C1 wird dabei mit einem Widerstand von  $400\text{k}\Omega$  und einer Kapazität von 1nF belastet. Zusätzlich wird die Stromaufnahme ermittelt.

Der SB-1-C1 ist auf einer Lochrasterplatine aufgebaut. Die Unterseite ist nicht isoliert!

**Achtung: Die Unterseite des SB-1-C1 darf nicht mit leitenden Gegenständen oder Flächen in Berührung kommen! Ein eventueller Kurzschluß kann die Funktion des SB-1-C1 teilweise einschränken oder eine dauerhafte Beschädigung verursachen!**

## 2 Die Vorteile eines Super-FET-Wandlers

Schaltungen, die als Impedanzwandler arbeiten, gibt es viele. Man kann sie fertig kaufen oder selber bauen, so man über das notwendige Wissen und das entsprechende Geschick verfügt. Aber nicht jede Schaltung ist gleich gut für die Anwendung in einer Elektrogitarre geeignet und einige verdienen sogar die Bezeichnung „Impedanzwandler“ nicht wirklich. Wenn man einen großen Eingangswiderstand mit wenig Aufwand realisieren möchte, dann hat man leider keine große Auswahl.

Schaltungen mit einem bipolaren Transistor als Eingangsstufe scheiden aus, da der notwendige große Eingangswiderstand nur mit erheblichem Bauteilaufwand realisiert werden kann (Boot-Strapping).

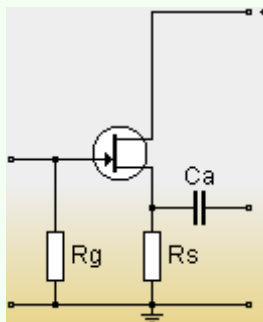


Abbildung 2-1: Einfacher FET-Impedanzwandler

Der Operationsverstärker wäre eine sehr gute Lösung, nur leider schränkt dieser den zur Verfügung stehenden Aussteuerbereich bei der üblichen Betriebsspannung von 9V stark ein. Darüber hinaus ist er nicht immer in der Lage, großen kapazitiven Lasten ohne Phasendrehungen sauber zu treiben. Im Extremfall fängt die Schaltung sogar zu schwingen an, was unter Umständen die Zerstörung des Operationsverstärkers zur Folge hat. Nebenbei bemerkt benötigen solche Schaltungen auch immer mehr Platz auf der Platine. Damit bleibt nur eine Lösung mit einem FET übrig. Hier lassen sich leicht auch extrem große Eingangswiderstände mit Hilfe nur eines Bauelementes erzeugen. Wie simpel eine solche Schaltung sein kann, zeigt Abbildung 2-1:

Aber nicht immer ist „einfach“ auch „gut“! Sehen wir uns einmal ein paar charakteristische Parameter einer solchen Schaltung an und vergleichen sie mit einem Super-FET-Wandler, der denselben FET verwendet:

Tabelle 2-1: FET- und Super-FET-Wandler im Vergleich

| Schaltung | Klirrfaktor | Verstärkung | Max. Ausgangsspannung |
|-----------|-------------|-------------|-----------------------|
| FET       | 1,15%       | 0,85        | 1,8Vs                 |
| Super-FET | 0,18%       | 0,98        | 2,2Vs                 |

Klirrfaktoren über ein Prozent nimmt das menschliche Gehör in der Regel wahr. Zum Vergleich: Die Hifi-Norm DIN45500 schrieb schon in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts einen Klirrfaktor von maximal 1% vor! Durch den Super-FET wird der Klirrfaktor um den Faktor 6,4 reduziert. Diese Verzerrungen sind nicht mehr zu hören!

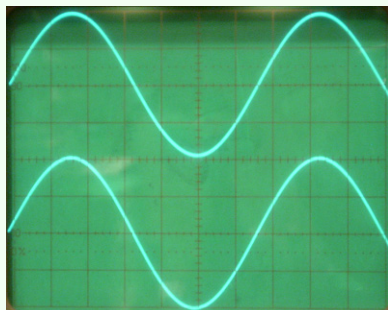


Abbildung 2-2: Ein- und Ausgangssignal eines SB-1-B3 bei Vollaussteuerung.

Die geringe Verstärkung des FET-Wandlers ist eine unmittelbare Folge der geringen Steilheit der Feldeffekttransistoren. Der Super-FET-Wandler liegt da deutlich dichter am gewünschten Ziel, einer Verstärkung von 1. Zu guter Letzt erhöht sich durch den Super-FET auch noch der maximale Aussteuerbereich.

Abbildung 2-2 ist das Oszillogramm der Ein- und Ausgangssignale eines SB-1-B3, der bei einer Vollaussteuerung von 2Vs an seiner Nennlast auch bei 15kHz noch ohne Rauschen und Verzerrungen arbeitet.

Man sieht, ein Super-FET-Wandler aus der SB-1-Serie bietet deutliche Vorteile. Im einfachsten Fall wird nur ein weiterer Transistor benötigt. Der Super-FET-Wandler ist eben „einfach“ und „gut“!



## 3 Anschluß

### 3.1 Anschlußbelegung des SB-1-C1

Die Platine des SB-1-C1 verfügt über insgesamt 5 Anschlußkabel mit drei verschiedenen Farben. Legen Sie die Schaltung so vor sich hin, daß die beiden Transistoren „oben“ sind, dann befinden sich links die Eingangsseite und rechts die Ausgangsseite.

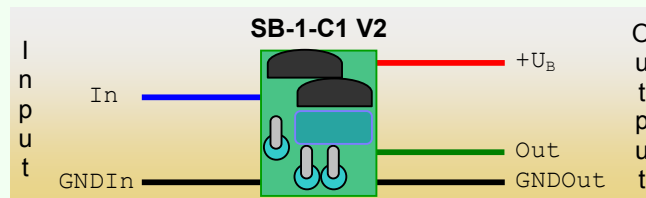


Abbildung 3-1: Die Platine des SB-1-C1

Die signalführenden Kabel (blau/schwarz und grün/schwarz) sind wegen der besseren abschirmenden Wirkung miteinander verdreht. Über die Funktion der einzelnen Anschlüsse gibt die folgende Tabelle Auskunft:

Tabelle 3-1: Die Anschlüsse des SB-1-C1

| Bezeichnung     | Farbe   | Port   | Beschreibung  |
|-----------------|---------|--------|---|
| In              | Blau    | Input  | Hier wird das „heiße“ Eingangssignal angeschlossen. In wird also zum Beispiel direkt mit dem „Ausgang“ des Tonabnehmerwahlschalters verbunden.  |
| GNDIn           | Schwarz | Common | Bezugsmasse für das Eingangssignal. GNDIn ist direkt mit GNDOut verbunden. Die Anschlüsse sind also gleichwertig.<br>An GNDIn kann auch der Minuspol der Batterie angeschlossen werden.                 |
| Out             | Grün    | Output | An diesem Pin kann das niederohmige Ausgangssignal abgenommen werden. Je nach Bedarf kann hier ein Lautstärkeinsteller oder direkt der TIP der Ausgangsbuchse der Gitarre angeschlossen werden.         |
| GNDOut          | Schwarz | Common | Bezugsmasse für das Ausgangssignal. GNDOut ist direkt mit GNDIn verbunden. Die Anschlüsse sind also gleichwertig.<br>An GNDOut kann ebenfalls der Minuspol der Batterie angeschlossen werden.           |
| +U <sub>B</sub> | Rot     | Power  | An +U <sub>B</sub> wird eine gegenüber GNDOut und GNDIn positive Versorgungsspannung angeschlossen.<br><b>Achtung! Ein Betrieb mit einer negativen Versorgungsspannung führt zu Schäden am SB-1-C1!</b> |

Der SB-1-C1 wird mit Hilfe der signalführenden Kabel mit dem Rest der Gitarrenelektronik und der Batterie verbunden. Die Kabel können bei Bedarf entsprechend gekürzt werden.

**Achtung! Lötarbeiten an der Platine können zu Kurzschlüssen oder Unterbrechungen führen. Für daraus resultierende Schäden oder Fehlfunktionen kann keine Gewährleistung übernommen werden!**

### 3.2 Verbindung mit der Außenwelt

Der SB-1-C1 wird üblicherweise als das letzte Glied der Kette direkt vor der Ausgangsbuchse der Gitarre untergebracht. Um die Spannungsversorgung automatisch einzuschalten, wird eine Stereoklinkenbuchse verwendet, über deren mittleren Anschluß der Minuspol der Batterie mit der Schaltungsmasse verbunden wird. Steckt man einen Monostecker in die Buchse, wird die Spannung eingeschaltet und der SB-1-C1 arbeitet.

**Achtung! Kabel mit einem Stereoklinkenstecker sind nicht kompatibel mit dem SB-1-C1!**

Das rote Anschlußkabel des Batterie-Clip (+) muß mit dem roten Kabel des SB-1-C1 verbunden werden. Das kann zum Beispiel mit einer Lüsterklemme geschehen. Besser ist es jedoch, die beiden Enden zu verlöten und die Lötstelle durch ein kurzes Stück Schrumpfschlauch zu isolieren.

Den grundsätzlichen Anschluß des SB-1-C1 zeigt das folgende Bild:

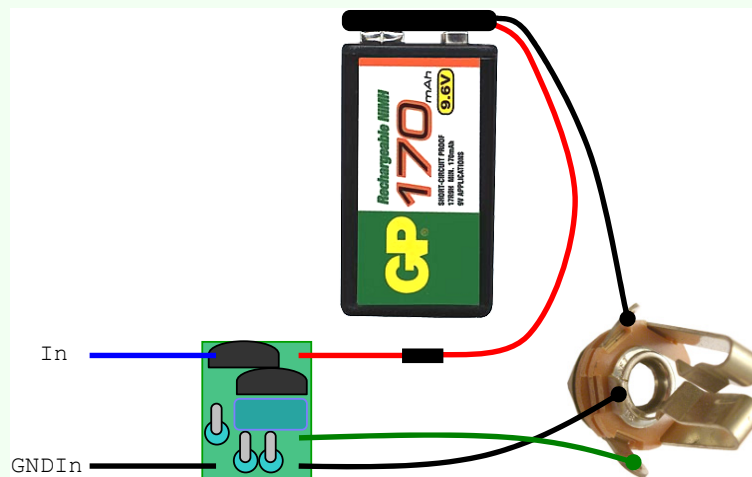


Abbildung 3-2: SB-1-C1 direkt vor der Ausgangsbuchse

Natürlich kann man am Ausgang des SB-1-C1 auch einen Lautstärkeeinsteller vorsehen. Der Kennwiderstand des entsprechenden Potentiometers sollte dann aber einen Wert von 680k $\Omega$  nicht unterschreiten. Die Verdrahtung zeigt das nächste Bild:

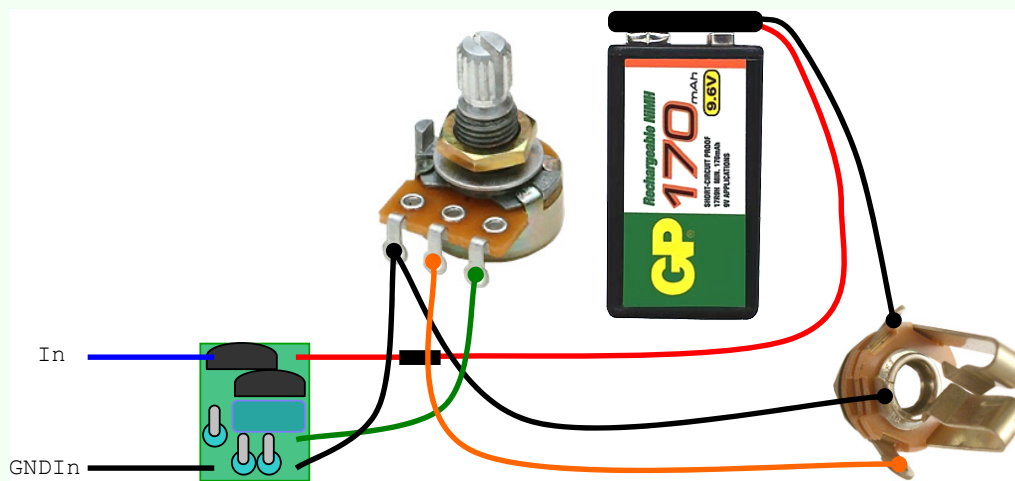


Abbildung 3-3: SB-1-C1 mit Lautstärkeeinsteller vor der Ausgangsbuchse

**Achtung! Aufgrund seiner Konstruktion ist der SB-1-C1 nicht in der Lage, ein niederohmiges Potentiometer von 25k $\Omega$  zu treiben!**

Da das Potentiometer mit der Kabelkapazität einen Tiefpaß bildet, tritt bei dieser Verdrahtung mit einem hochohmigen Potentiometer der bekannte Höhenverlust auf, wenn die Lautstärke verringert wird. Für den SB-1-C1 ist diese Betriebsart also nicht zu empfehlen!

## 4 Klangveränderungen mit dem Impedanzwandler

Die Tonabnehmer der passiven Elektrogitarre bilden zusammen mit dem Lautstärkeinsteller, der Tonblende, der Kapazität des Instrumentenkabels und dem Eingangswiderstand der nachfolgenden Verstärkerstufe ein Filter, welches stark klangbeeinflussend wirkt. Wer weiß, wie sich die Eigenschaften dieses Filters verändern lassen, kann mit wenig Aufwand viel erreichen und so dem ganz persönlichen „Klang“ deutlich näher kommen, ohne neue Tonabnehmer zu kaufen. Der Einsatz eines Impedanzwandlers erweitert die möglichen Klangveränderungen noch einmal um ein Beträchtliches. Billige Pickups mit einer „schlappen“ Resonanz können so zu einer unerwarteten Blüte gelangen. Um dieses Potential jedoch ausschöpfen zu können, muß man sich auch ein wenig Wissen zulegen und es dann auch noch richtig anwenden. Also, los geht es...

### 4.1 Übertragungscharakteristik des Tonabnehmers

Neben seiner grundsätzlichen Aufgabe als Wandler von mechanischen in elektrische Schwingungen, wirkt der magnetische Tonabnehmer immer auch als Filter. Die qualitative Übertragung der einzelnen Frequenzen sieht so aus:

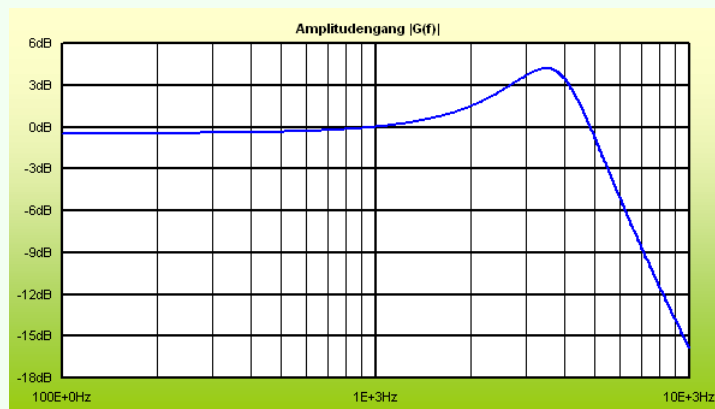


Abbildung 4-1: Typischer Amplitudengang eines magnetischen Tonabnehmers

Man erkennt, daß ein bestimmter Frequenzbereich besonders gut übertragen wird und daß tiefe Frequenzen bis 1kHz praktisch unbeeinflusst bleiben.

Die Spitze des betonten Bereiches liegt bei der sogenannten Resonanzfrequenz. Sie wird häufig als  $f_0$  bezeichnet. Wie hoch die Spitze ist, wird durch die Güte  $Q$  beschrieben. Etwas oberhalb der Resonanzfrequenz fällt die Übertragungskurve stark ab. Diese Frequenzen werden also praktisch nicht mehr übertragen! Im praktischen Betrieb kann man für die üblichen E-Gitarren sagen, daß diese Grenze maximal bei 5,5kHz liegt. Weniger kommt häufig vor, mehr ist sehr ungewöhnlich.

Für den elektrischen „Klang“ eines Tonabnehmers sind einzig und allein die Lage der Spitze und ihre Höhe - also die Güte - ausschlaggebend! Je größer die Resonanzfrequenz, desto mehr verschiebt sich die Betonung zu hohen Frequenzen und umgekehrt. Je größer die Güte ist, desto ausgeprägter ist die Spitze und desto mehr werden die Frequenzen um die Resonanzfrequenz herum betont. Das Ganze ist ein sogenanntes Tiefpaßfilter mit Resonanzstelle.

Man kann das Ganze auch sehr einfach und „blumig“ ausdrücken:

*Der Klang eines Tonabnehmers ist wie ein Berg. Es kommt nur darauf an, wo der Berg steht und wie hoch dieser ist!*

Alles klar?

## 4.2 Geänderte Übertragungscharakteristik

Wie schon erwähnt, trennt ein Impedanzwandler die Elektronik einer passiven Elektrogitarre von ihren äußeren Belastungen wie der Kabelkapazität und dem Eingangswiderstand der folgenden Verstärkerstufe. Diese Eigenschaft hat jedoch Auswirkungen auf den Klang des Instrumentes, denn nun werden die Tonabnehmer im Leerlauf betrieben und ihre Resonanzfrequenz liegt deutlich höher. Der alte Sound ist unweigerlich dahin. Oh weh!

Wie sich das Übertragungsverhalten, zum Beispiel das einer Stratocaster mit dem bekannten Tonabnehmer, durch den Einsatz eines Impedanzwandlers der SB-1Serie in verschiedenen Anwendungsfällen verändern kann, zeigt das folgende Bild:

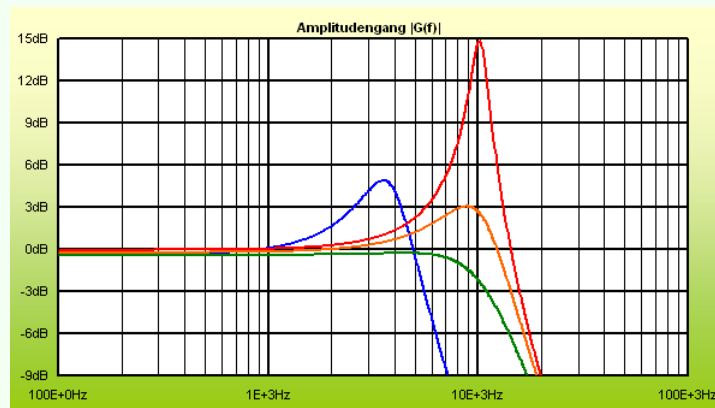


Abbildung 4-2: Übertragungsverhalten bei verschiedenen Einsatzfällen

Die Ausgangssituation findet sich in der blauen Kurve: Potentiometer mit einem Kennwiderstand von 250k $\Omega$  und ein Kabel mit einer angenommenen Kapazität von 700pF sorgen für eine Resonanz bei 3,5kHz mit einer Spitze von gut 4,9dB, was einer Güte von 1,8 entspricht. Die obere Grenzfrequenz liegt in etwa bei 5,6kHz. Das sind die typischen elektrischen Rahmendaten, die den metallischen Klang einer Stratocaster charakterisieren.

Schaltet man den Impedanzwandler einfach an den Ausgang der Gitarre, so entsteht die grüne Kurve. Die Resonanz wurde vollständig unterdrückt. Dafür liegt die obere Grenzfrequenz nun bei 11,3kHz. Es können also deutlich höhere Frequenzen übertragen werden. Da die Resonanz fehlt, klingt das ganze jedoch sehr farblos und dünn. Es fehlt sozusagen ein wenig das „Salz in der Suppe“.

Verschiebt man den Lautstärkeeinsteller „hinter“ den Impedanzwandler, so bleibt nur die Tonblende als Belastung des Tonabnehmers. Die Resonanz der Schaltung liegt jetzt bei 8,8kHz mit einer schwachen Spitze von 3dB. Die Grenzfrequenz ist sogar auf 14kHz angestiegen. Das alles ist der orangenen Kurve zu entnehmen. Eine leichte Klangeinfärbung ist also vorhanden, aber die meisten Gitarristen werden damit wohl nicht zufrieden sein. Ist man jedoch auf der Suche nach einer Art „akustischem“ Klang, kann einem diese Betriebsart vielleicht doch zusagen.

Wird auch die Tonblende weggelassen, so entsteht die rote Kurve. Der Tonabnehmer arbeitet fast im Leerlauf. Die Resonanzfrequenz beträgt 10,2kHz und die Spitze liegt bei gigantischen 14,8dB, was einer Güte von 5,5 entspricht und den Klang sehr spitz machen wird. Auch nicht jedermanns Fall!

„Also, eigentlich ist das doch Mist mit dem Impedanzwandler!“

Nein, denn der augenscheinliche klangliche Nachteil ist tatsächlich ein Vorteil,... wenn man weiß, was zu tun ist! Dahinter verbirgt sich allerdings die Frage:

## 5 „Was will ich erreichen?“

Beim Einsatz eines Impedanzwandlers kann man grundsätzlich drei Anwendungsfälle unterscheiden:

1. Man möchte den originalen Klang des Instrumentes erhalten, der jedoch unabhängig vom Kabel sein soll.
2. Man möchte den Höhenverlust beim Leiserdrehen verhindern.
3. Man möchte den Klang gezielt verändern, indem zum Beispiel die Resonanzfrequenz vergrößert oder die Spitze erhöht wird.

Mehr wird man mit einem Impedanzwandler kaum anfangen wollen, aber diese drei einfachen Anwendungen bergen für den Laien bereits ausreichende Fehlermöglichkeiten. Sehen wir uns diese Fälle also einmal kurz an:

### 5.1 Der einfache Weg zum alten Klang

Der erste der eben beschriebenen drei Fälle ist vergleichsweise einfach und man muß dann von der grünen Kurve in Abbildung 4-2 ausgehen:

Da dem Tonabnehmer die gewohnte kapazitive Last fehlt, muß jetzt ein Kondensator von 700pF parallel zum Tonabnehmer geschaltet werden. Mehr ist nicht notwendig. Da man einen solchen Kondensator jedoch nicht kaufen kann, ist eine Kapazität von 680pF unsere Wahl. Das Ergebnis ist dann eine Resonanz von 3,56kHz mit einer Spitze von 4,8dB. Na, das ist doch schon recht nahe!

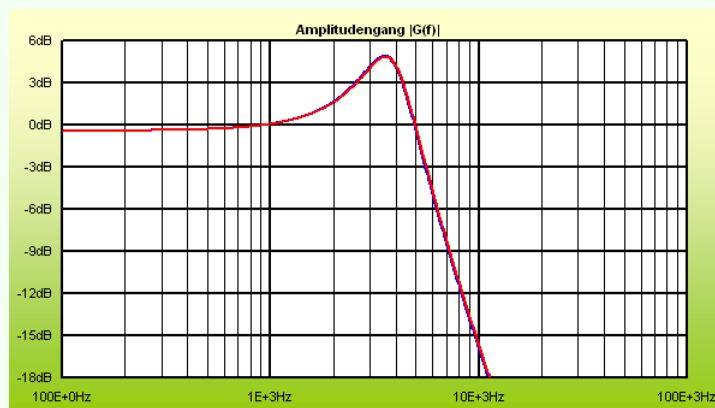


Abbildung 5-1: Mit einer zusätzlichen Last von 680pF ist kaum ein Unterschied zu erkennen

Den verbleibenden Unterschied wird wohl keiner wahrnehmen und wer es doch vermeint zu können, der kauft eben noch einen Kondensator mit 22pF...

### 5.2 Kampf dem „Höhenklau“

Wohl jeder Elektrogitarrist hat es schon einmal bemerkt: Wenn man die Gitarre leiser dreht, dann verschwinden mehr oder weniger stark auch die Höhen. Als Lösung wird in der Regel ein Bypass-Kondensator (Treble-Bleed) propagiert, der parallel zum „Eingang“ des Volume-Potis und dem Anschluß des Schleifers angeschlossen wird.

Um es kurz und knapp auf den Punkt zu bringen: *Den* Kondensator gibt es grundsätzlich nicht, denn hier spielen immer auch die elektrischen Daten von Tonabnehmer und Instrumentenkabel eine Rolle und aus technischer Sicht kann der Bypass-Kondensator auch keine Lösung sein, sondern er kann lediglich die Symptome etwas mildern. Nicht mehr, aber auch nicht weniger!

Wer auf der Suche nach der richtigen Lösung für den Höhenklau ist, muß zunächst verstehen, wie das Problem eigentlich entsteht und das ist sogar sehr einfach:

Wenn das Volume-Poti etwas „zu“ ist, dann bildet das Potentiometer einen Spannungsteiler, der aus den beiden Teilwiderständen  $P_a$  und  $P_b$  besteht. Dieser Spannungsteiler wird kapazitiv durch das Instrumentenkabel mit der Kapazität  $C_{\text{Kabel}}$  belastet.

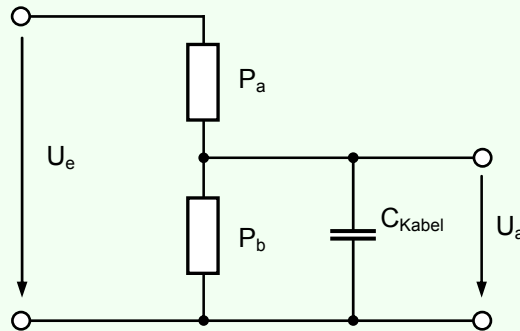


Abbildung 5-2: Die Ursache des „Höhenklau“ bei der Lautstärkeeinstellung

Anschaulich bildet  $P_a$  zusammen mit  $C_{\text{Kabel}}$  einen Tiefpaß. Dabei gilt: Je kleiner der Drehwinkel, desto größer ist  $P_a$ , desto geringer die ist Grenzfrequenz des Tiefpaß und desto weniger hohe Frequenzen können übertragen werden.

Die Grenzfrequenz läßt sich mit Hilfe einer einfachen Formel berechnen. Wer mag, sucht im Internet nach den Begriffen „RC-Tiefpaß“ und „Grenzfrequenz“ und wird dann schnell fündig werden. Der absolute Wert dieser Grenzfrequenz ist jedoch uninteressant, denn tatsächlich muß man die gesamte Schaltung aus Abbildung 5-2 berechnen und darf dabei auch nicht die nicht gezeigten elektrischen Daten des Tonabnehmers, und gegebenenfalls auch die der Tonblende, vergessen!

Die dabei entstehenden Formeln sind dann jedoch sehr umfangreich, selbst für einen Fachmann schwer zu interpretieren und für einen Laien schlicht unverständlich. Etwas leichter wird es, wenn man die Ergebnisse in grafischer Form darstellt. Was geschieht, wenn man die Lautstärke durch Drehen am Poti verringert zeigt die folgende Schar von Amplitudengängen:

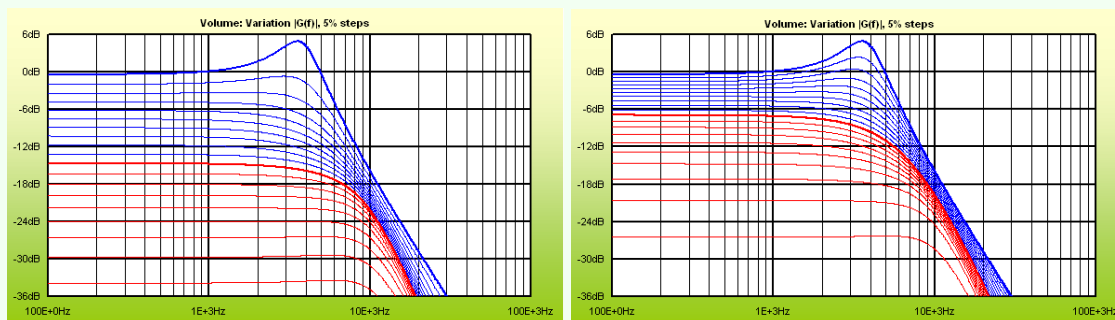


Abbildung 5-3: Der Höhenklau bei logarithmischem (links) und linearem Volume-Poti (rechts)

Man erkennt deutlich, daß es nicht nur einfach leiser wird, sondern daß die „Höhen“ oder besser gesagt die Ausprägung der Resonanz (Güte) auch immer schwächer wird. Schon eine Änderung von 100% des Drehwinkels auf 95% erzeugt eine starke Dämpfung der Güte. Das ist der Höhenklau grafisch dargestellt. Mancher mag diesen Effekt. Andere empfinden diesen Höhenverlust als störend.

Die Verwendung eines Potis mit linearer Charakteristik ändert an diesem Effekt grundsätzlich nichts. Die Dämpfung „verschiebt“ sich nur etwas. Was ist also nun zu tun?

Antwort: Die Grenzfrequenz, und damit auch der Tiefpaß, dürfen gar nicht erst entstehen!

Also,  $P_a$  muß 0 werden oder  $C_{\text{Kabel}}$  muß 0 werden. So einfach ist das!

Das „Entstehen“ des Teilwiderstandes  $P_a$  läßt sich aber leider nicht verhindern, denn sonst gibt es keinen Spannungsteiler und damit auch keine Lautstärkeeinstellung. Man kann also lediglich versuchen, seinen Wert möglichst klein zu halten.

Also muß der Kennwiderstand des Volume-Potis möglichst klein sein!  $25\text{k}\Omega$  sind ein Wert, der den Effekt des „Höhenklau“ bei den üblichen Instrumentenkabeln zu so hohen Frequenzen hin verlagert, daß er nicht mehr stört, denn mehr als  $10\text{kHz}$  kommen selten aus einer Elektrogitarre. Aber dann wird die Tonabnehmerresonanz bereits so stark bedämpft, daß quasi auch keine Höhen mehr da sind. Da fehlt also noch was... Der Impedanzwandler!

Kommen wir nun zur Kabelkapazität. Hier gilt: Kein Kabel, keine Kapazität, aber... Klar, ohne Kabel geht es nun mal nicht, aber mit Hilfe der äußerst geringen Rückwirkung eines Impedanzwandlers kann man den schändlichen kapazitiven Einfluß quasi „wegzaubern“.

Beim Kampf gegen den „Höhenklau“, gibt es also zwei Möglichkeiten:

1. Man schaltet den Lautstärkeinsteller vor den Impedanzwandler, dann kann das Potentiometer auch hochohmig sein oder
2. man schaltet den Lautstärkeinsteller hinter den Impedanzwandler. Dann muß der Kennwiderstand des Potentiometers niederohmig sein!

Zum ersten Fall ist nicht mehr viel zu sagen. Alles Wichtige wurde bereits in 5.1 dargelegt. Wichtig ist nur, daß die notwendige Lastkapazität immer parallel zu den Tonabnehmern, also vor dem Volume-Poti, angeschlossen wird. Macht man das nicht, ist der „Höhenklau“ wieder da!

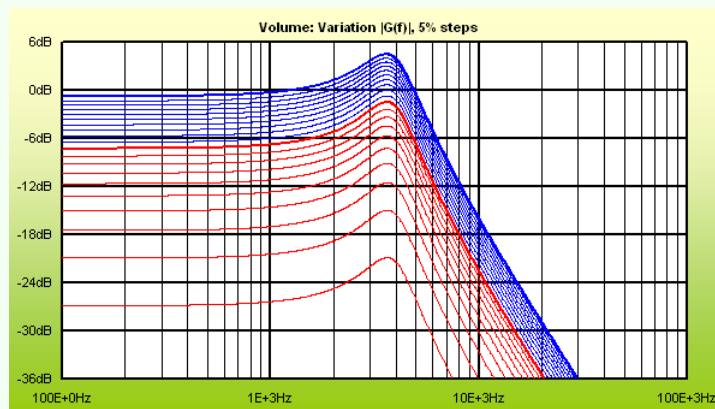


Abbildung 5-4: Lautstärkeinstellung einer Stratocaster mit Impedanzwandler und  $680\text{pF}$  Last

Im zweiten Fall muß der Lautstärkeinsteller unbedingt als niederohmiges Potentiometer hinter den Impedanzwandler geschaltet werden. Die Tonblende bleibt vor dem Impedanzwandler. Aus diesem Grund ist also die orange Kurve aus Abbildung 4-2 der Startpunkt:

Zunächst fügen wir die fehlende kapazitive Last von  $700\text{pF}$  hinzu (also  $680\text{pF}$  parallel zum Tonabnehmer). Dann ist eine Resonanzfrequenz von  $3,7\text{kHz}$  die Folge, was im Vergleich zum originalen Klang etwas zu viel ist. Die Spitze beträgt nun allerdings  $8,3\text{dB}$  und das ist deutlich zu viel.

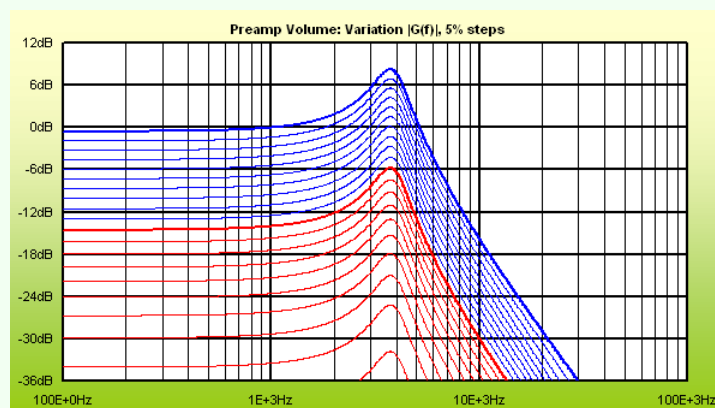


Abbildung 5-5: Lautstärkeinstellung mit niederohmigem Volume am Ausgang

„Scharf wie eine Rasierklinge“ wird den entstehenden Klang wohl treffend beschreiben. Warum das so ist, wird im nächsten Abschnitt ein wenig erläutert.

Diese große Spitze kommt zustande, weil dem Tonabnehmer noch die ohmsche Belastung durch den Lautstärkeeinsteller fehlt. Da man einen Festwiderstand von 250k $\Omega$  in der Regel nicht kaufen kann, entscheiden wir uns für 240k $\Omega$ . Das Resultat ist dann eine Resonanz bei 3,57kHz mit einer Spitze von 4,4dB. Na bitte! Natürlich kann man auch 270k $\Omega$  verwenden. Dann sind 3,59kHz und 5dB die Folge. Auch nicht schlecht!

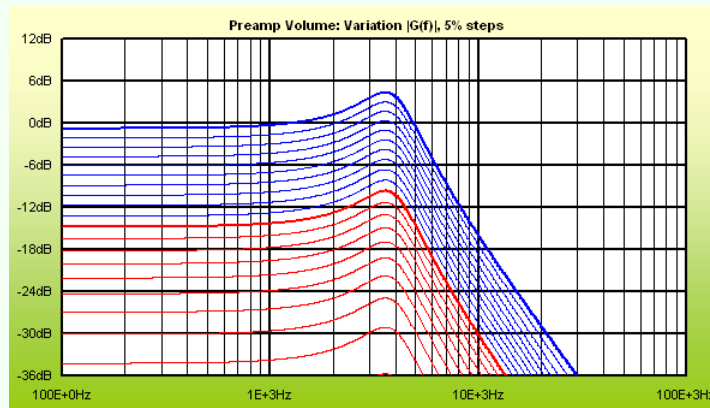


Abbildung 5-6: Lautstärkeeinstellung mit niederohmigem Volume am Ausgang und 240k $\Omega$  als Dämpfung

Beide Varianten sind im Grunde genommen gleichwertig. Die Lösung mit dem niederohmigen Potentiometer erzeugt jedoch eine größere Güte und damit (gefühl) mehr „Höhen“. Wer einem „schlappen“ Tonabnehmer also mehr „Höhen“ entlocken will, der sollte unbedingt ein niederohmiges Potentiometer am Ausgang des Impedanzwandlers vorsehen!

Hat man, aus welchem Grund auch immer, auch die Tonblende weggelassen oder hinter den Impedanzwandler verschoben, dann gehen wir von der roten Kurve aus:

Zunächst kommt wieder die fehlende kapazitive Last hinzu (also 680pF). Ergebnis: 3,8kHz und 15,9dB. Hoppla, da fehlt ja noch die ohmsche Last: Zwei parallelgeschaltete Potentiometer mit einem Kennwiderstand von 250k $\Omega$ . Das sind also 125k $\Omega$ . Wir wählen 130k $\Omega$  und erhalten dann 3,6kHz und 5dB. Wunderbar!

Diese Zahlenspielerei gilt natürlich nur für den betrachteten Tonabnehmer. Bei anderen Pickups ergeben sich andere Resonanzen, aber das Prinzip ist immer das gleiche. Wenn man also den originalen Klang seiner Elektrogitarre mit dem Impedanzwandler behalten möchte, gelten zwei einfache Regeln:

### 1. Der Tonabnehmer muß die gleich kapazitive Last erhalten, wie vorher.

Um den oder die Tonabnehmer nicht im Leerlauf zu betreiben, ist eine bestimmte kapazitive Last erforderlich, die im Normalfall durch das Instrumentenkabel gebildet wird. Da der Impedanzwandler die Tonabnehmer vom Instrumentenkabel trennt, muß diese Kapazität durch den Einsatz eines geeigneten Kondensators vor dem Impedanzwandler hinzugefügt werden.

Für die Bestimmung der geeigneten Kapazität gibt es mehrere Möglichkeiten:

1. Die Kapazität des Instrumentenkabels wird mit einem Kapazitätsmeßgerät ermittelt und ein geeigneter Kondensator aus der E-Reihe ausgesucht.
2. Ohne Meßgerät kann die Kapazität des Instrumentenkabels auch abgeschätzt werden. Gängige Werte liegen bei 80pF bis 100pF pro Meter Länge. Dann muß nur die Kabellänge ermittelt und das Ergebnis entsprechend multipliziert werden. Ein Kabel mit einer Länge von 5m kann dann eine Kapazität zwischen 400pF und 500pF aufweisen.



## 2. Der Tonabnehmer muß die gleich ohmsche Last erhalten, wie vorher.

Die Impedanzwandler der SB-Serie und die Verstärker der GP-Serie verfügt über einen Eingangswiderstand von  $1M\Omega$ . Mit den üblichen Belastungen ergibt sich in der passiven Elektrogitarre ein gesamter Lastwiderstand von  $200k\Omega$  für Humbucker und  $110k\Omega$  für Single-Coils. Der Eingangswiderstand des Impedanzwandlers ist so dimensioniert, daß diese Belastung wieder entsteht. Läßt man jedoch die Tonblende weg oder verschiebt man den Lautstärkeinsteller hinter den Impedanzwandler, dann verringert sich die gesamte Belastung. In der Folge steigt die Güte der Schaltung an und es klingt heller und spitzer.

Als Gegenmaßnahme muß man einen zusätzlichen Dämpfungswiderstand  $R_L$  einfügen, der in etwa dem Kennwiderstand des entfernten Potentiometers entsprechen sollte. Er wird am besten parallel zu den Tonabnehmern angeschlossen, also „vor“ dem Lautstärkeinsteller, damit diese zusätzliche Belastung nicht die Einstellcharakteristik des Potentiometers nachteilig beeinflusst.

Die Lösung für den „Höhenklau“ ergibt sich immer und quasi als nettes Nebenprodukt. Grundsätzlich gilt dabei:

**Lautstärkeinsteller „nach“ dem Impedanzwandler müssen niederohmig sein!**

Ganz so einfach ist es dann aber doch nicht, denn der Impedanzwandler selber muß natürlich in der Lage sein, diese niederohmige Last auch zu treiben, sonst sind Verzerrungen unweigerlich die Folge! Von allen Varianten der SB-Serie sind nur die Versionen A3, B3, C3 und D3 für diese Anwendung vorgesehen.

## 5.3 Auf zu neuen klanglichen Ufern...

Mit der Resonanz ergibt sich quasi ein zweidimensionales Feld in dem wir unseren Klang hin- und herschieben können. Durch den Einsatz eines Impedanzwandlers wird dieses Feld stark vergrößert. Die beiden Parameter, die dieses Feld aufspannen, heißen Resonanzfrequenz und Güte. Sie lassen sich durch die parallel zum Tonabnehmer liegende kapazitive und ohmsche Last verändern. Einfach ausgedrückt läßt sich dieses Verhalten wie folgt beschreiben:

1. Je größer die kapazitive Last, desto kleiner ist die Resonanzfrequenz.
2. Je größer die ohmsche Last, also je kleiner der Widerstand<sup>1</sup>, desto geringer wird die Güte.

Diese Aussagen sind häufig in der (spärlichen) Literatur und auch im Internet zu finden. Allerdings muß man ebenfalls feststellen, daß die erste Aussage deutlich bekannter ist, was dazu führt, daß Laien, auf der Suche nach dem ultimativen Sound, mit schöner Regelmäßigkeit nur die Kapazität zu ändern versuchen.

Grundsätzlich sind beide Aussagen nicht ganz falsch, aber leider eben auch nicht ganz richtig! Tatsächlich sind die Zusammenhänge etwas komplizierter, denn alle passiven elektrischen Schaltungen haben die unangenehme Eigenschaft, daß jedes Bauelement sich auf die Eigenschaften der gesamten Schaltung auswirkt!

<sup>1</sup> Ja, das ist kein Widerspruch! Ersetzt man den Widerstand durch seinen Kehrwert (Leitwert), dann wird es deutlicher: Je größer der Leitwert, desto größer die Last.

Das heißt, wenn zum Beispiel die kapazitive Last verändert wird, verändert sich zwar die Resonanzfrequenz, aber leider auch die Güte. Dieses Verhalten ist prinzipbedingt und läßt sich bedauerlicherweise nicht ändern! Man muß also im Zweifelsfall stets an mehreren „Schrauben“ drehen, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten.

Diese Unkenntnis der Verbindung von Resonanzfrequenz und Güte haben schon so manchen Gitarristen zur Verzweiflung gebracht, die mit einem parallelen Lastkondensator den Klang ein wenig „mittiger“ machen wollten, das Resultat als zu „spitz“ empfanden, dann nicht wußten, was zu tun war und seit diesem frustrierenden Erlebnis nicht müde werden, der Welt mitzuteilen, daß die Sache mit dem Kondensator ja „großer Blödsinn“ sei.

Nun gut, aber wie verhält es sich denn nun mit der Güte und der Resonanzfrequenz in Abhängigkeit der Belastung? Um das zu verstehen, muß man etwas weiter in die Systemtheorie einsteigen. Wer das möchte, findet in [2] genügend Lesestoff. Hier soll sich nur auf möglichst einfache Dinge beschränkt werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß die ohmsche Belastung einen vergleichsweise kleinen Einfluß auf die Resonanzfrequenz ausübt. Unter Freunden kann man das also unter den Tisch fallen lassen. Anders sieht es jedoch mit der kapazitiven Last aus. Sie beeinflußt ebenfalls stark die Güte der Schaltung.

Wie sich die Dinge verhalten, erkennt man am besten, wenn man die Amplitudengänge eines Tonabnehmers bei verschiedenen kapazitiven Lasten miteinander vergleicht. Zu diesem Zweck wurden die bekannten Daten des Stratocaster-Tonabnehmers rechnerisch mit einem Widerstand von  $1\text{M}\Omega$  und verschiedenen Kapazitäten belastet und das Übertragungsverhalten, also der Amplitudengang, berechnet.

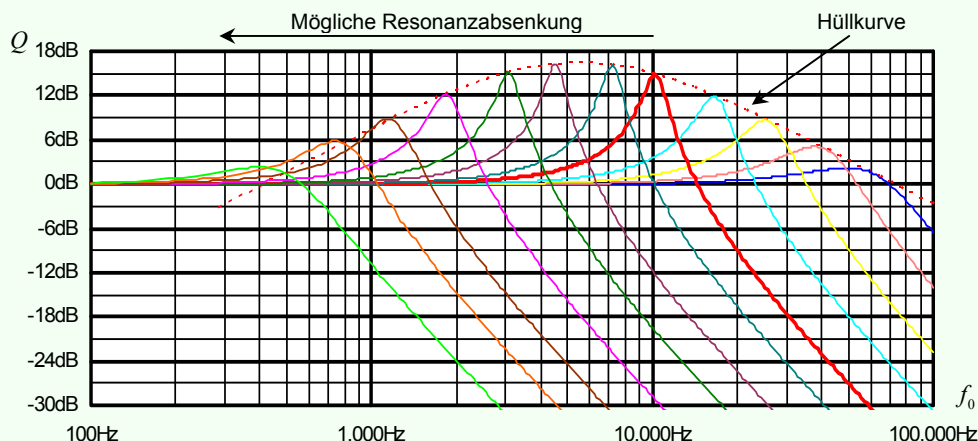


Abbildung 5-7: Amplitudengänge und Kenn-Güte eines belasteten Stratocaster-Tonabnehmers

Man erkennt, daß die Spitzen der einzelnen Resonanzfrequenzen von einer parabelförmigen Kurve quasi eingehüllt werden. Diese Hüllkurve entspricht in etwa dem Verlauf der sogenannten Kenn-Güte. Besonders bemerkenswert ist die rote Kurve, welche den Amplitudengang des angenommenen Tonabnehmers für die gegebene Wicklungskapazität von  $110\text{pF}$  darstellt. Dieses Maximum ist die sogenannte Leerlaufresonanz. Sie kann aus anschaulichen Gründen in der Praxis nicht überschritten werden, denn die Wicklungskapazität des Tonabnehmers ist ja immer da!

Verbindet man den Tonabnehmer direkt mit dem Impedanzwandler, so entsteht ganz genau diese Situation. Jetzt haben wir nach unten reichlich Raum zum Experimentieren.

Fügt man diesem Tonabnehmer eine steigende kapazitive Last hinzu, so steigt die Güte zunächst noch leicht an, um dann wieder abzufallen. Man bewegt sich dabei auf der Einhüllenden nach links.

Dieser parabelförmige Verlauf der Güte in Abhängigkeit der Lastkapazität ist charakteristisch für alle passiven Elektrogitarren. Die Lage des Maximums wird dabei maßgeblich durch den Lastwiderstand bestimmt. Dabei gilt: Je größer der Widerstand, desto größer ist die Frequenz bei der das Maximum auftritt und desto größer ist das Maximum selber.

Wer mit diesem Klangfeld experimentieren möchte, der benötigt eine Anzahl von verschiedenen Folienkondensatoren mit Kapazitäten zwischen 10pF und 2,2nF sowie eine paar Widerstände zwischen 100kΩ und 1MΩ. Beides sind bei den gängigen Elektronikversendern Cent-Artikel.

Neben diesem Material ist noch etwas weiteres sehr wichtig: Etwas Geduld und ein aufmerksames Ohr. Ach ja, Verzerrungen sind für die ersten Versuche mit Sicherheit kontraproduktiv!

Das Vorgehen bei einem solchen Experiment sollte immer wie folgt sein:

### 1. Die Resonanzfrequenz wird durch einen parallelen Kondensator verringert.

Die notwendige Kapazität wird durch Probieren ermittelt. Dabei gilt: Je kleiner die Kapazität desto größer die Resonanzfrequenz und desto „heller“ der Klang.

Grundsätzlich geht es hier nur darum, die gewünschte Lage der Betonung und damit die gewünschte Klangeinfärbung zu erreichen.

### 2. Die Güte wird bei Bedarf durch einen parallelen Lastwiderstand verringert.

Wenn die gewählte Klangfarbe stimmt kann es sein, daß es trotzdem zu „spitz“ klingt. Dann ist die Güte zu groß und muß verringert werden. Dabei gilt: Je kleiner der Widerstand, desto größer die Last und desto geringer die Güte.

Man kann den benötigten Widerstand durch Probieren ermitteln oder einfach die Tonblende zu Hilfe nehmen, denn die verringert ebenfalls die Güte<sup>2</sup>. Also wird die Tonblende so weit „zugemacht“, bis die unerwünschte Schärfe weg ist. Dann wird der eingestellte Widerstand des Potis mit einem Multimeter gemessen ( $R_{soll}$ ) und man kann den notwendigen Widerstand berechnen:

$$R_L = \frac{P_{Tone} \cdot R_{soll}}{P_{Tone} - R_{soll}}$$

Grundsätzlich ist man in der Wahl von Kapazität und Widerstand frei! Wenn der entstehende Klang gefällt, ist alles in Ordnung, wenn nicht, werden eben andere Werte genommen. Weitere Details zur Dimensionierung eines Lastkondensators sind in [2] nachzulesen.

Zum Schluß noch ein paar Worte zum Kondensator:

Für die Anwendung im Audiobereich sind im allgemeinen Folienkondensatoren eine gute Wahl. Sehr gut eignen sich MKT-Kondensatoren. Sind sie nicht erhältlich, kann auch Polypropylen eingesetzt werden. Allerdings sind MKT-Kondensatoren mit Kapazitäten unter 1nF in der Regel nicht verfügbar. Hier muß man dann auf Polypropylen oder Polystyrol (Styroxflex) ausweichen.



Abbildung 5-8: MKT- (links), Styroxflex- (oben) und Polypropylen-Kondensator (rechts)

Vom Einsatz keramischer Kondensatoren oder Elko's ist aus klanglichen Gründen abzuraten!

<sup>2</sup> Zumindest auf der oberen Hälfte des Drehwinkels.

## 6 Verschiedene Einsatz-Szenarien

In den folgenden Schaltbildern wird grundsätzlich ein einspulgiger Tonabnehmer dargestellt. Selbstverständlich kann statt dessen auch ein Humbucker oder mehrere verwendet werden. Sie finden dann an PU2 und PU3 Anschluß. Die „äußere“ Last der Elektrogitarre, die Kabelkapazität  $C_K$  und der Eingangswiderstand  $R_{in}$ , werden in Blau dargestellt. Die beim Einsatz eines Impedanzwandlers notwendige Ersatz dieser beiden Größen, die Lastkapazität  $C_L$  sowie der Lastwiderstand  $R_L$ , sind grundsätzlich rot gezeichnet. Schauen wir uns einmal drei verschiedene Möglichkeiten an:

### 6.1 Das Telecaster-Setup

Die Schaltung der Telecaster ist im Normalfall recht einfach: Zwei Tonabnehmer, die mit Hilfe eines Tonabnehmerwahlschalter einzeln oder zusammen betrieben werden können. Dazu eine Tonblende und ein Lautstärkeeinsteller, die auf beide Tonabnehmer wirken. Der SB-1-C1 läßt sich hier ohne großen Aufwand integrieren. Er wird einfach an den Schleifer des Lautstärkeeinstellers angeschlossen, wie das folgende Bild zeigt:

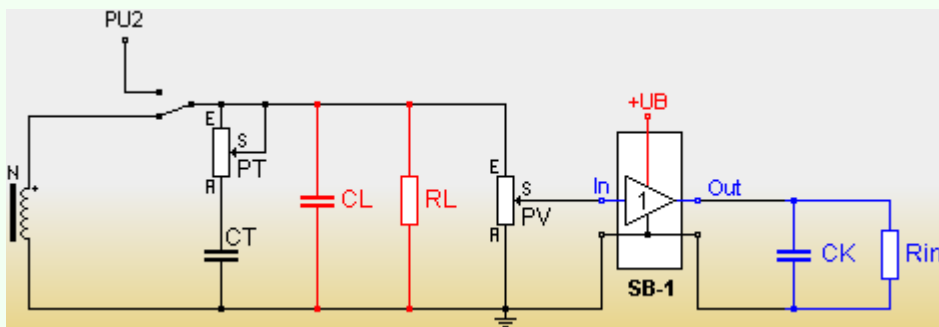


Abbildung 6-1: Telecaster-Setup

Die Lastkapazität  $C_L$  könnte man parallel zum Eingang des SB-1-C1 unterbringen. Aber das ist jedoch eine schlechte Lösung, denn dann bleibt der bekannte „Höhenklau“ beim Verringern der Lautstärke erhalten! Also muß dieser Kondensator vor den Lautstärkeeinsteller. Er kann in der Praxis einfach parallel zu den beiden äußeren Anschlüssen des Lautstärkeeinstellers angeschlossen werden.

### 6.2 Das Strat-Setup

Die Stratocaster ist wohl die am meisten gebaute Elektrogitarre überhaupt. Ihre elektrische Schaltung unterscheidet sich von der der Telecaster nicht wesentlich. Neben dem einzigen Lautstärkeeinsteller spendierte Leo Fender dieser Gitarre sogar zwei Tonblenden. Nur der „arme Kleine“ am Steg darf die Welt weiterhin ungebremst mit seinen schrillen Höhen „erfreuen“!

Auch hier läßt sich der Impedanzwandler leicht hinzufügen. Er wird wieder einfach an den Schleifer des Lautstärkeeinstellers angeschlossen, wie das folgende Bild zeigt:

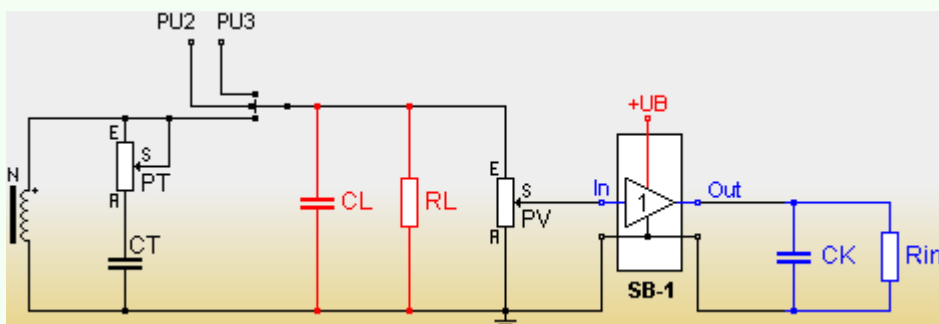


Abbildung 6-2: Strat-Setup

### 6.3 Das Paula-Setup

Neben der Strat und der Tele von Fender, gehört die Les Paul zu den bekanntesten Elektrogitarren. Sie dient hier als Vertreter der klassischen HH-Gitarre. Jeder ihrer beiden Tonabnehmer verfügt über eine eigene Tonblende und einen eigenen Lautstärkeeinsteller. Danach folgt ein Tonabnehmerwahlschalter, der die drei bekannten Kombinationen ermöglicht.

Der Impedanzwandler kann unmittelbar am „Ausgang“ des Wahlschalters untergebracht werden. Das sieht dann so aus:

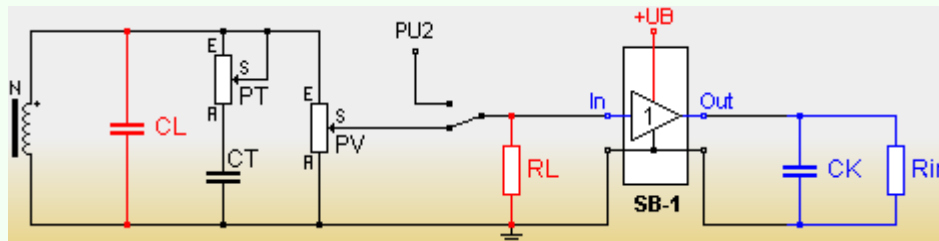


Abbildung 6-3: Paula-Setup mit Impedanzwandler

Der Widerstand  $R_L$  wird unmittelbar nach dem Tonabnehmerwahlschalter, parallel zum Eingang des Impedanzwandlers, untergebracht und wirkt so auf beide Tonabnehmer.

Für die Lastkapazität  $C_L$  gelten die schon bekannten Überlegungen. Sie muß vor dem Lautstärkeeinsteller untergebracht werden. Damit verschieben wir die kapazitive Last aber auch vor den Tonabnehmerwahlschalter. Aus diesem Grund muß jeder Tonabnehmer einen eigenen Lastkondensator erhalten.

## 7 Elektrische Daten

Tabelle 7-1: Elektrische Daten des SB-1-C1

|                            | Min           | Typ             | Max          |
|----------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| Eingangswiderstand         | -             | 1M $\Omega$     | -            |
| Eingangskapazität (typ.)   | -             | 10pF            | -            |
| Verstärkung (typ.)         | -             | 0,970 (-0,26dB) | -            |
| Obere Grenzfrequenz        | -             | -               | 15kHz        |
| Minimaler Lastwiderstand   | 400k $\Omega$ | -               | -            |
| Maximale Lastkapazität     | -             | -               | 1nF          |
| Maximaler Aussteuerbereich | -             | -               | 3Vs (8,8dBu) |
| Betriebsspannung           | 8,3V          | 9,0V            | 20V          |
| Stromaufnahme              | 970 $\mu$ A   | 1,1mA           | 1,4mA        |

## 8 Anhang

### 8.1 Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 2-1: FET- und Super-FET-Wandler im Vergleich..... | 8  |
| Tabelle 3-1: Die Anschlüsse des SB-1-C1 .....             | 9  |
| Tabelle 7-1: Elektrische Daten des SB-1-C1 .....          | 22 |

### 8.2 Bildverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 2-1: Einfacher FET-Impedanzwandler.....   | 8  |
| Abbildung 2-2: Ein- und Ausgangssignal eines SB-1-B3 bei Vollaussteuerung.....                      | 8  |
| Abbildung 3-1: Die Platine des SB-1-C1.....   | 9  |
| Abbildung 3-2: SB-1-C1 direkt vor der Ausgangsbuchse .....  | 10 |
| Abbildung 3-3: SB-1-C1 mit Lautstärkeinsteller vor der Ausgangsbuchse .....                         | 10 |
| Abbildung 4-1: Typischer Amplitudengang eines magnetischen Tonabnehmers.....                        | 11 |
| Abbildung 4-2: Übertragungsverhalten bei verschiedenen Einsatzfällen .....                          | 12 |
| Abbildung 5-1: Mit einer zusätzlichen Last von 680pF ist kaum ein Unterschied zu erkennen.....      | 13 |
| Abbildung 5-2: Die Ursache des „Höhenklau“ bei der Lautstärkeinstellung .....                       | 14 |
| Abbildung 5-3: Der Höhenklau bei logarithmischem (links) und linearem Volume-Poti (rechts) .....    | 14 |
| Abbildung 5-4: Lautstärkeinstellung einer Stratocaster mit Impedanzwandler und 680pF Last.....      | 15 |
| Abbildung 5-5: Lautstärkeinstellung mit niederohmigem Volume am Ausgang .....                       | 15 |
| Abbildung 5-6: Lautstärkeinstellung mit niederohmigem Volume am Ausgang und 240kΩ als Dämpfung..... | 16 |
| Abbildung 5-7: Amplitudengänge und Kenn-Güte eines belasteten Stratocaster-Tonabnehmers .....       | 18 |
| Abbildung 5-8: MKT- (links), Styroflex- (oben) und Polypropylen-Kondensator (rechts).....           | 19 |
| Abbildung 6-1: Telecaster-Setup .....   | 20 |
| Abbildung 6-2: Strat-Setup .....  | 20 |
| Abbildung 6-3: Paula-Setup mit Impedanzwandler .....  | 21 |

### 8.3 Veröffentlichungen des Autors

In der Reihe „Guitar-Letter“ sind vom Autor bisher folgende Titel im Internet veröffentlicht worden:

| Titel   | Datum      | Inhalt   |
|---|------------|--|
| [1] <b>Guitar-Letter I:</b><br>Der magnetische Tonabnehmer als Wandler                | 03.02.2005 | Eine Arbeit über die Funktionsweise des Wandlerprinzips von magnetischen Tonabnehmern in der Elektrogitarre.   |
| [2] <b>Guitar-Letter II:</b><br>Klangveränderungen am elektromagnetischen Tonabnehmer | 06.04.2005 | Ausgehend vom den „PAF's“ wird das Thema Klang bei der Elektrogitarre ein wenig beleuchtet. Am Ende findet sich eine praktische Anleitung zur Veränderung des Klanges. |
| [3] <b>Guitar-Letter III:</b><br>Onkel's Best: Beiträge aus den Onlineforen           | 04.09.2006 | Eine Sammlung von Fachbeiträgen des Autors aus diversen deutschen Onlineforen.   |

Die Reihe wird in unregelmäßigen Abständen fortgesetzt.

## **Die SB-1-Serie**

Impedanzwandler sind ein sehr wirkungsvolles Mittel, um den Klang der passiven Elektrogitarre unabhängig vom Einfluß des verwendeten Instrumentenkabels und dem Eingangswiderstand des nachfolgenden Verstärkers zu machen.

Gleichzeitig wird das Signal der Gitarre niederohmig. Damit sinkt die Störempfindlichkeit des gesamten Systems.

Die Impedanzwandler der SB-1-Serie sind das Ergebnis einer umfangreichen mathematischen Studie über das Großsignalverhalten von Sperrschichtfeldeffekttransistoren. Die daraus folgende diskrete Super-FET-Technologie beseitigt die Schwächen einer reinen FET-Schaltung.

Die Impedanzwandler der SB-1-Serie arbeiten als echter Spannungsfolger mit einer Verstärkung von 1. Sie sind damit in der Lage, Wechselspannungen von 1Vs, 2Vs, 2,5Vs oder gar 3Vs an einer definierten Last von minimal 10k $\Omega$  und maximal 1nF verzerrungsfrei zu treiben.

Die obere Grenzfrequenz von 15kHz reicht weit über das Spektrum der Elektrogitarre hinaus. Zusammen mit einem Klirrfaktor von unter 0,1% kann man wirklich sagen: „Der SB-1 ist nicht zu hören!“

Für einen SB-1 werden ausschließlich handselektierte Transistoren verwendet und die Dimensionierung der Schaltung entsprechend angepaßt. Jeder Wandler dieser Serie ist somit ein Unikat!

Zusammen mit einem positiven Funktionstest am Meßplatz erhält der Anwender dadurch die Sicherheit, daß „sein“ SB-1 stets die spezifizierten Eigenschaften aufweist.