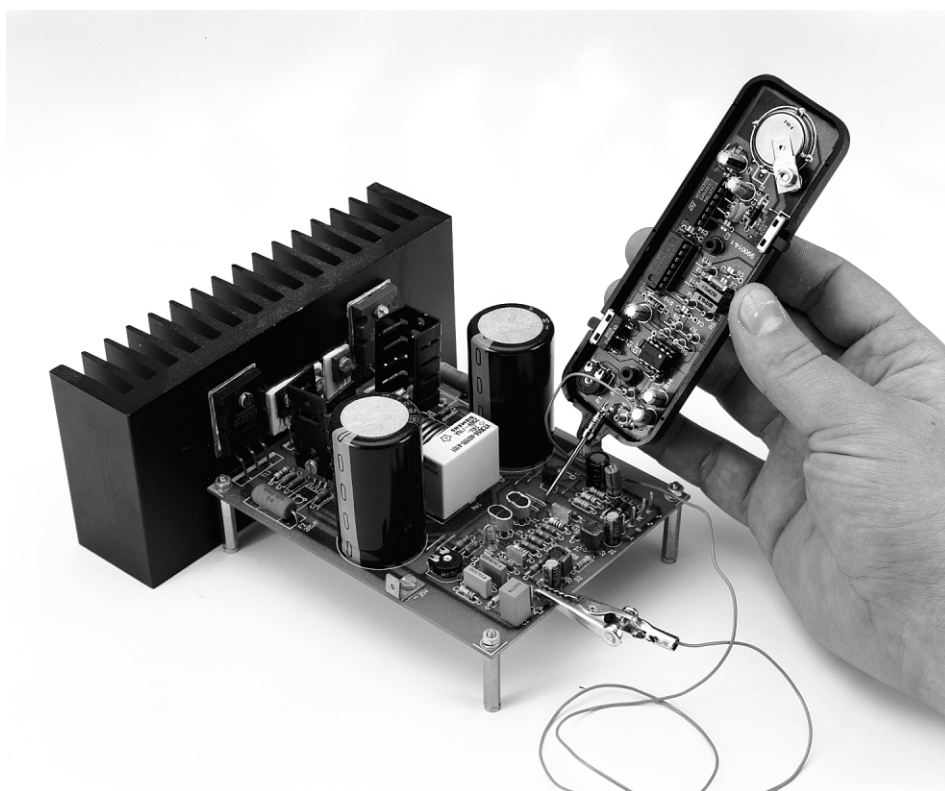


Rausch-Injektor

Weißes und Rosa Rauschen im Audiobereich

Rauschen ist eine beliebte Signalform für allerlei Messungen und Versuche an Verstärkern, Lautsprechern und in der Raumakustik. Ein guter Rauschgenerator gehört daher zur Grundausstattung für jeden, der sich ernsthaft mit der Elektroakustik beschäftigt. Der hier beschriebene kleine und handliche Rausch-Injektor kostet im Gegensatz zu Industriegeräten wenig, läßt sich leicht aufbauen und erfüllt seine Aufgaben perfekt.



Technische Daten

Frequenzbereich:	20...20.000 Hz
Signalformen:	Weißes Rauschen, Rosa Rauschen
Signalquelle:	Digitaler Pseudo-random-noise-Generator
Ausgangsspannung:	ca. $2 V_{SSmax}$
Abschwächer:	ca. -10 dB
Stromquelle:	3V-Lithiumbatterie CR 2032
Stromaufnahme:	ca. 4,5 mA

Rauschen entsteht infolge der Wärmebewegung der Elektronen in jedem Widerstand und in jedem P/N-Übergang. Das Frequenzband der entstehenden Rauschspannung reicht von den tiefsten bis zu höchsten techni-

schen Frequenzen. In der Elektroakustik interessiert natürlich besonders das Rauschen im hörbaren, niederfrequenten Bereich. Von den verschiedenen möglichen Rauschformen, die sich durch ihre

Spektralanteile unterscheiden, werden in der Elektroakustik vorwiegend *Weißes Rauschen* und *Rosa Rauschen* benutzt. Weißes Rauschen zeigt eine konstante Amplitude und einen Anstieg des Energieinhalts um 3 dB pro Oktave mit der Frequenz. Wegen seiner konstanten Amplitude eignet es sich für Messungen mit dem Oszilloskop oder Spektrum-Analyser.

Rosa Rauschen hat hingegen einen um 3 dB pro Oktave abfallenden Amplitudenverlauf, und dadurch konstante Energie pro Oktave. Seine hauptsächliche Anwendung findet es in der Audio-Meßtechnik, zum Beispiel in Verbindung mit Terz-Analysatoren.

Als Rauschquelle in industriell gefertigten Generatoren findet man oft im Knick der Begrenzungslinie betriebene Z-Dioden, was aber eine relativ hohe Betriebsspannung erfordert. Andere mögliche Rauschelemente wären etwa in Sperrichtung betriebene normale

empfindlich stört. Im Englischen wird dieser Effekt sehr treffend *Popcorn Noise* genannt.

Für den Selbstbau eines Rauschgenerators ist daher eine digitale Signalerzeugung wesentlich eleganter, die noch dazu mit kleinen Versorgungsspannungen (Batteriebetrieb!) gut funktioniert und eine recht genau definierte Ausgangsspannung ergibt. Dazu wird mit einem Taktoszillator eine Rechteckspannung generiert und einem Schieberegister zugeführt. Mit einem EXOR-Gatter erzeugt man einen Rücksetzimpuls, der den Beginn einer neuen Zählsequenz initiiert. Das so entstehende Signal hat keine konstante, sondern eine statistisch verteilte Frequenz und ist in seiner spektralen Zusammensetzung identisch mit Weißem Rauschen. Der einzige Unterschied besteht darin, daß normales Weißes Rauschen sich in seiner zeitlichen Struktur ständig verändert, während

registers IC2 zugeführt. Der 4006 enthält zwei 4stufige und zwei 5stufige Register, also insgesamt 18 Stufen. Diese sind hier zu einem Ring zusammengeschaltet, wobei jeweils der Ausgang eines Registers mit dem Dateneingang des nächsten verbunden ist. Die Gatter IC1c/d sorgen für den gewünschten Ablauf der Signalerzeugung. R3 und C3 erzeugen eine Art Power-on-Reset. Damit nach dem Einschalten das "Karussell" in IC2 richtig in Gang kommt, ist es wichtig, daß beim Anlegen der Betriebsspannung Pin 8 von IC1c auf Low liegt.

Das Ausgangssignal von IC2 an Pin 1 besitzt einen Spitze-Spitze-Wert nahe der Betriebsspannung, zuviel für den im Analogteil folgenden Opamp IC3a. Spannungsteiler R4/R5 löst das Problem.

Der erste Opamp IC3a ist lediglich ein Spannungsfolger, um den für das nachkommende Filter definierten

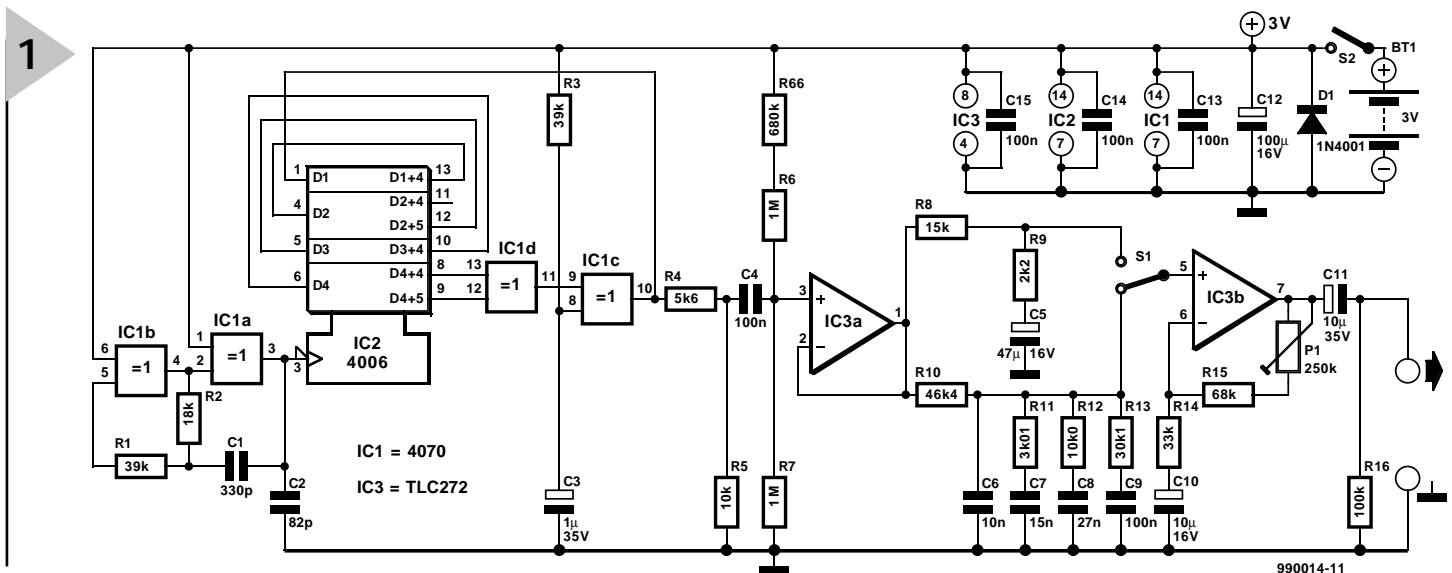


Bild 1. Die Schaltung des Rausch-Injektors besteht aus einem digitalen Generator- und einem analogen Verstärker- und Filterteil.

Dioden oder Basis-Emitter-Strecken von Transistoren. Ein Schönheitsfehler all dieser Methoden ist, daß die als Rauschquelle verwendeten Bauteile selektiert sein müssen. Einmal, weil die abgegebene Rauschspannung von Exemplar zu Exemplar sehr stark schwankt. Da diese Spannung überdies sehr klein ist, ist es schwierig, einen verbindlichen Wert für die notwendige Verstärkung zum Erreichen einer definierten Ausgangsspannung anzugeben. Zum anderen tritt bei manchen Halbleiterelementen ein sogenanntes *Funkeln* auf, das das an sich gleichmäßige Rauschsignal stört. Man bezeichnet damit eine kurze, besonders bei tiefen Frequenzen in unregelmäßigen Abständen zu beobachtende "knallartige" Erhöhung der Ausgangsamplitude, die jede Messung

sich das mit dem Schieberegister erzeugte Rauschen nach jedem Durchlauf quasi wiederholt. Es wird daher oft auch als *pseudo random noise* bezeichnet. Für den angestrebten Zweck hat dies aber keinerlei Nachteile.

DIE SCHALTUNG

Die Schaltung (Bild 1) zeigt deutlich das Zusammenspiel der digitalen Signalerzeugung mit IC2 und den EXOR-Gattern und des analogen Verstärker- und Filterteils (von IC3a bis zum Ausgang). Zwei Gatter (IC1a/b) bilden einen Rechteck-Oszillator, der mit etwa 50 kHz schwingt. Sein Ausgangssignal wird dem Clock-Eingang des Schiebe-

niedrigen Quellwiderstand bereitzustellen. Da IC3 unsymmetrisch versorgt wird, sorgen R6, R66 und R7 für den richtigen Arbeitspunkt etwas unterhalb von $U_B/2$, weil sich der Opamp bei der niedrigen Betriebsspannung so besser symmetrisch aussteuern läßt. Mit dem TLC272, der fast Rail-to-rail-Eigenschaften hat, läßt sich trotz der geringen Versorgungsspannung von 3 V ein Ausgangssignal von etwa $2 V_{SS}$ erreichen.

An Pin 1 von IC3 steht nun Weißes Rauschen zur Verfügung. Um zu Rosa Rauschen zu kommen, muß dieses Signal mit einem Filter um 3 dB/Oktave (10 dB/Dekade) abgeschwächt werden. Mit einem einfachen R/C-Glied (6 dB/Oktave) ist dies leider nicht zu erreichen, es sind schon mehrere Filterglieder (R10...R13 und C6...C9) erfor-

derlich. Obwohl das Filter für einen Frequenzumfang von fast zehn Oktaven recht einfach ausgefallen ist, läßt sich mit den angegebenen 1-%igen Widerständen und auf etwa 2 % ausgemessenen Kondensatoren ein maximaler Fehler von nur 0,5 dB erreichen. Werden die Kondensatoren nicht speziell ausgesucht, so kann der Fehler etwa 2 dB ausmachen, was aber auch noch keine Katastrophe ist. In jedem Fall wird die Rauschamplitude durch das Filter aber kräftig abgeschwächt.

Auf das Filter folgt der Schalter S1, mit dem zwischen Weißem und Rosa Rauschen umgeschaltet werden kann. Das Weiße Rauschen wird vor dem Filter abgegriffen und in seiner Amplitude durch den Teiler R8/R9 an die des Rosa Rauschens angepaßt. Elko C10 erhält das Gleichspannungspotential des Arbeitspunkts von IC3a. IC3b verstärkt die Signale dann wieder, so daß am Ausgang der Schaltung ein Signal von maximal $2 V_{SS}$ zur Verfügung steht. R16 gewährleistet auch bei offenem Ausgang die nötige Polarisationsspannung für C11.

Als Stromquelle dient eine 3 V-Lit-

hium-Batterie CR2032. Eine Verpolungs-Schutzdiode ist nicht vorgesehen, da sie die

ohnehin geringe Versorgungsspannung noch weiter verringern würde. Wer auf einen Schutz trotzdem nicht verzichten will, kann Diode D1 einbauen, die eine verkehrt eingesetzte Batterie kurzschließt und so die Bauteile der Schaltung vor Falschpolung schützt. Die Stromaufnahme beträgt rund 4,5 mA.

DER AUFBAU

Zum Einbau für das Mustergerät wurde ein sehr handliches Tastkopf-Gehäuse gewählt. Auf der in **Bild 2** dargestellten einseitigen Platine sind nahezu alle Bauteile stehend zu montieren. Da die Platine nicht festgeschraubt werden kann, wird sie im Gehäuse (eventuell unter Zuhilfenahme einiger Schaumstoffstreifen) festgeklemmt. Man kann die Ausgangsspannung mit einem Schraubendreher durch ein Loch im Deckel einstellen, aber auch das Trimmporti mit einer geeigneten Steckachse oder Rän-

Stückliste

Widerstände:

R1,R3 = 39 k
R2 = 18 k
R4 = 5k6
R5 = 10 k
R66 = 680 k
R6,R7 = 1 M
R8 = 15 k
R9 = 2k2
R10 = 46k4, 1 %
R11 = 3k01, 1 %
R12 = 10k0, 1 %
R13 = 30k1, 1 %
R14 = 33 k
R15 = 68 k
R16 = 100 k
R66 = 680 k
P1 = Trimpoti 250 k

Kondensatoren:

C1 = 330 p
C2 = 82 p
C3 = 1 μ /35 V stehend
C4,C9,C13...C15 = 100 n
C5 = 47 μ /16 V stehend
C6 = 10 n
C7 = 15 n
C8 = 27 n
C10 = 10 μ /16 V stehend
C11 = 10 μ /35 V stehend
C12 = 100 μ /16 V stehend

Halbleiter:

D1 = 1N4001
IC1 = 4070
IC2 = 4006
IC3 = TLC272CP

Außerdem:

BT1 = 3-V-Lithiumzelle CR2032 mit Halter für Platinenmontage
S1 = Schiebeschalter 1 · um für Platinenmontage, gewinkelt
S2 = Schiebeschalter 1 · an für Platinenmontage, gewinkelt
Tastkopfgehäuse (Conrad 526886)

delscheibe ausstatten.

Die Bestückung der Platine sollte keine besonderen Schwierigkeiten bereiten. Vergessen Sie nicht die Drahtbrücke bei IC2 und denken Sie an die korrekte Polung der Elkos und der ICs (und D1, so man die Diode einsetzt).

Zum in der Stückliste genannten Gehäuse gehört eine 30 mm lange verchromte Tastspitze, die am Signalausgang befestigt wird. Für die Masseverbindung kann man ein Stückchen weiche Litze mit einer Krokoklemme einsetzen. Die Sechskant-Einlegemutter zum Einschrauben der Tastspitze muß eventuell ein wenig abgefeilt werden, damit das Gehäuse sauber schließt.

RICHTIG ANWENDEN

Zur Funktionskontrolle ist ein Oszilloskop sehr hilfreich. Als erstes kontrolliert man an Pin 3 von IC1 die Rechteckspannung mit einer Frequenz von 50...55 kHz. An Pin 1 von IC2 muß

dann schon die Pseudo-Rauschspannung sichtbar sein, die auf dem Schirm als zwei Begrenzungslinien im Abstand der Betriebsspannung erscheint. Bei passender Einstellung der Zeitbasis sieht man dazwischen in unregelmäßigen Abständen von Pegelsprüngen stammende vertikale Linien, die das eigentliche Rauschsignal repräsentieren.

Sicherheitshalber sollte man dann den Arbeitspunkt von IC3 kontrollieren, weil dieser von Exemplar zu Exemplar etwas streuen kann. Dazu zieht man IC1 und IC2 aus der Fassung und legt an Pin 1 und Masse eine Sinusspannung mittlerer Frequenz mit einer Amplitude von $1 V_{\text{eff}}$ an. An Pin 1 von IC3 muß dieses Signal jetzt unverzerrt sichtbar sein. Dann erhöht man die Amplitude des Sinus, bis bei den Spitzen eine Begrenzung sichtbar wird. Diese Begrenzung sollte oben und unten absolut symmetrisch auftreten. Wenn nicht, so kann der Arbeitspunkt leicht korrigiert werden, indem man R66 etwas anpaßt. Diese Einstellung ist für eine maximale unverzerrte Ausgangsspannung wichtig. Beim Mustergerät waren für R6+ R66 genau $1,7 M\Omega$ erforderlich. Stellt man S1 auf Weißes Rauschen und dreht P1 voll auf (Rechtsanschlag), so muß das Signal auch am Ausgang des Rausch-Injektors in gleicher Weise sichtbar sein. Damit ist die Funktionskontrolle auch schon beendet.

Bild 3 zeigt die Spektren von Weißem und Rosa Rauschen im Vergleich. Die Frequenzanteile des Weißen Rauschens sind im Audibereich bis etwa 20 kHz linear verteilt, bis 30 kHz sackt die Kurve nur um ein paar Dezibel. Die absolute Höhe des Spektrums ist hier natürlich unerheblich.

Bei der praktischen Anwendung kann der Rausch-Injektor das Signal an jeder geeigneten Stelle in das zu prüfende Gerät durch einfaches Antippen einspeisen. Dabei ist aber Vorsicht am Platz, damit das zu prüfende Gerät nicht übersteuert wird. Rauschsignale weisen teilweise hohe Spitzen auf, die zum Beispiel Hochtonlautsprechern gefährlich werden können. Mit eingespeistem Weißem Rauschen kann man dann etwa die Funktion eines Klangstellers oder eines gehörrichtigen Lautstärkestellers überprüfen.

Mit Rosa Rauschen läßt sich gut die Raumakustik überprüfen, etwa die Beeinträchtigung der Klangabstrahlung der Boxen durch Möbelstücke oder Vorhänge. Der Standort der Boxen läßt sich auf diese Weise optimieren.

In jedem Fall empfiehlt es sich, mit den Rauschsignalen etwas zu experimentieren, bevor man endgültige Entscheidungen trifft. Ein bißchen Erfahrung ist zur Auswertung der Höreindrücke schon notwendig!

(980014)rg

3

Bild 3. Weißes (B) und Rosa (A) Rauschen im Vergleich.

