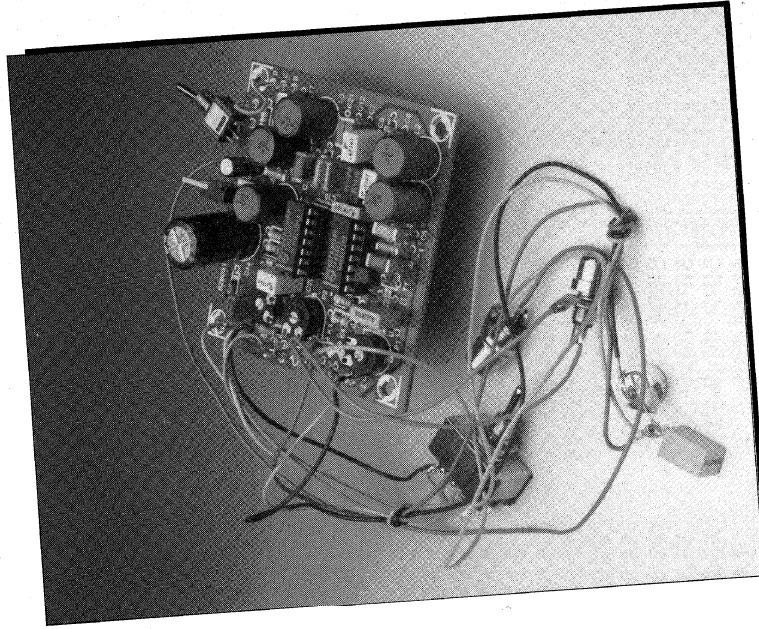


# Scrambler

Sprachsignale auf den Kopf gestellt



**Tagebücher oder Briefe auf Kassette, Telefon, Autotelefon (B-Netz), CB-Funk: alles Medien, die gegen unbefugtes Mithören nicht geschützt sind. Der hier beschriebene Scrambler sorgt für etwas mehr Privatsphäre. Er verzerrt die Sprachsignale, die sich dann nur noch mit einem passenden Descrambler entschlüsseln lassen.**

Der "Äther" ist voll von Berichten, die eigentlich nicht für fremde Ohren bestimmt sind. Durch "Scrambler" lassen sich Sprachsignale so weit verändern, daß die Sendungen gegen Abhören "Normalbürger" ausreichend geschützt sind.

### Sprachspektrum

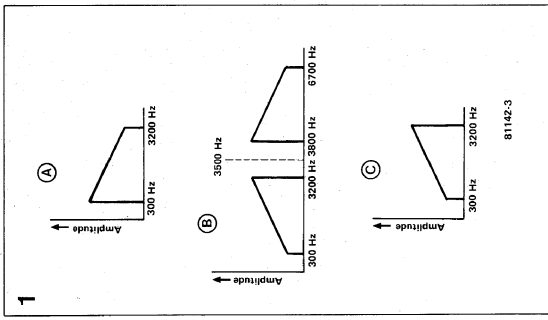
Der hier beschriebene Scrambler ist in der Lage, das gesamte Sprachspektrum im wahrsten Sinne des Wortes auf

den, der verschlüsselt, und einen, der wieder entschlüsselt. Bei der vorgestellten Schaltung ist der (finanzielle) Aufwand im Vergleich zu käuflichen Geräten äußerst gering.

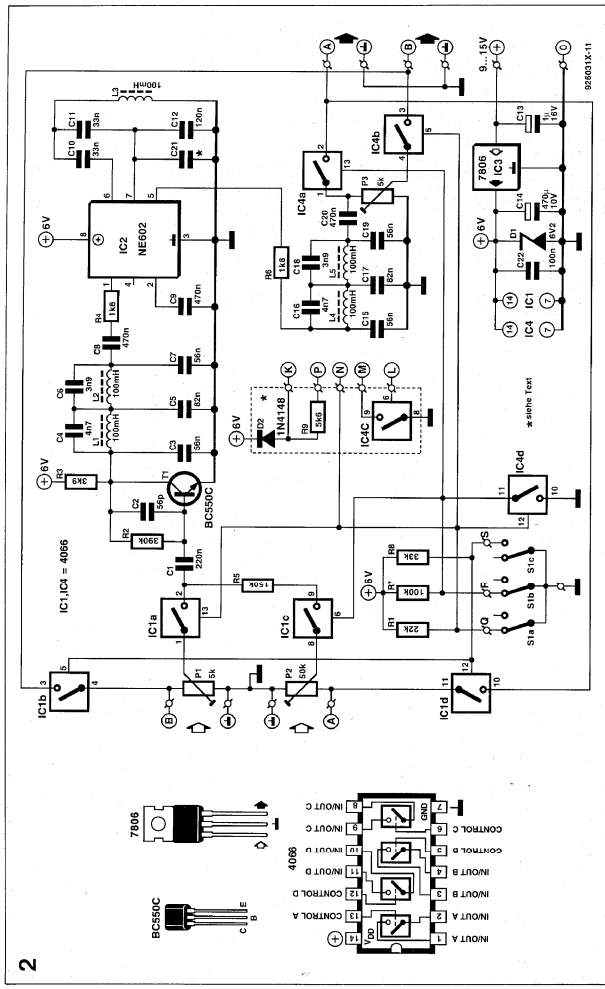
In Bild 1 sehen wir das für Sprachsignale relevante Frequenzspektrum, das von 300 Hz bis etwa 3200 Hz reicht und auch der Bandbreite einer Telefonleitung entspricht. Zur Verschlüsselung eines breiteren (musiktauglichen) Spektrums sind umfangreichere Schaltungen erforderlich (siehe Audio-Scrambler in Elektor 10/91).

### Seitenbänder

Im Prinzip funktioniert der Scrambler ähnlich wie ein amplitudenmodulierender Sender, der die Amplitude einer Trägerfrequenz mit dem NF-Signal moduliert. Allerdings ist die Trägerfrequenz beim Scrambler mit nur 3,5 kHz sehr viel niedriger als bei jedem Rundfunksender. Bekanntlich entstehen beim Mischen eines Trägersignals mit einer Modulationsfrequenz zwei neue Frequenzen, nämlich die Summen- und die Differenzfrequenz. Ein Beispiel: Wenn ein Mittelwellensender mit einem Träger von 600 kHz mit einem niederfrequenten Signal von 1 kHz moduliert wird,



**Bild 1. Aus dem Sprachspektrum, das hier (A) schon durch ein Tiefpaßfilter geleitet wurde, entstehen zwei Seitenbänder (B), die an dem Trägergeräusch von 3500 Hz gespiegelt sind. Das untere Seitenband, das in der Frequenz invertiert ist, wird benötigt, das obere Seitenband und der Träger werden herausgefiltert (C).**



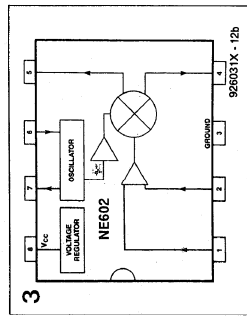
**Bild 2. Der eigentliche Scrambler besteht aus IC2 und den damit verbundenen Bauteilen. Die elektronischen Schalter sorgen lediglich dafür, daß die Schaltung zwischen Scramblen, Descramblen und Bypass umgeschaltet werden kann.**

entstehen zu beiden Seiten des Trägers neue Signale: Eines mit 601 kHz und eines mit 599 kHz - beide mit 1 kHz Abstand vom Träger. Wenn der Sender nun aber nicht mit einer Festfrequenz, sondern mit einem 3 kHz breiten Audiofrequenzspektrum moduliert wird, entstehen auf den Seiten des Trägers nicht nur zwei neue Frequenzen, sondern zwei vollständige Seitenbänder. Das obere umfaßt den Frequenzbereich von 600...603 kHz, das untere von 597...600 kHz. In der Funktechnik werden die Bänder USB (upper side band) und LSB (lower side band) genannt. In Bild 1b ist zu sehen, wie sich die Seitenbänder um den Träger gruppieren, nur ist hier bereits die Trägerfrequenz von 3500 Hz des Scramblers eingetragener. Es fällt auf, daß die Seitenbänder völlig symmetrisch an der 3500-Hz-Frequenz gespiegelt liegen. Das obere Seitenband in Bild 1b entspricht dabei dem ursprünglichen Frequenzband in Bild 1a, es ist lediglich in der Frequenz um 3500 Hz angehoben, da zu allen Eingangsfrequenzen 3500 Hz addiert werden. Die tiefste Sprachfrequenz von 300 Hz liegt jetzt bei 3800 Hz, die oberste Frequenz im Ursprungssignal (3200 Hz) findet sich bei 6700 Hz wieder.

Anders beim unteren Seitenband. Hier sind nämlich die Audiofrequenzen vom Trägersignal subtrahiert worden. Aus

### Der Scrambler

In Bild 2 ist die Schaltung des Scramblers zu sehen. Die eigentliche Scrambler-Schaltung ist rund um IC2 aufgebaut, die zahlreichen elektronischen Schalter (IC1/IC4) sind eher Beiwerk. IC2 enthält, wie man in Bild 3 sehen kann, einen Oszillator und eine Mischstufe, daneben noch einige Pufferverstärker und eine Spannungsbildung. Der externe Abstimmkreis des Oszillators besteht aus der Spule L3 und den Kondensatoren C10...C12 sowie C21. Letzterer muß nur dann ein- und ausgeschaltet werden, wenn sich der Oszillator nicht auf die korrekte Frequenz einstellen läßt. Pin 1 ist der Eingang des Mischers, Pin 5 der Ausgang. Sowohl



**Bild 3. NE602 intern: Das IC enthält einen Oszillator und einen Mischer sowie eine Spannungsstabilisierung.**

dem Eingang zum Oszillator/Mischer als auch dem Ausgang sind Triepabfilter vor- beziehungsweise nachgeschaltet. Das Eingangsfilter besteht aus L1, L2 und C3...C7. Das Ausgangsfilter wird von L4, L5 und C15...C19 gebildet. C8 und C20 sind Koppelkondensatoren, um unerwünschte Gleichspannungskomponenten vom Ein- oder Ausgang des ICs fernzuhalten. Die beiden Widerstände R4 und R6 sorgen für die korrekte Anpassung von Filter und IC. Aufgabe des Ausgangsfilters ist es, das obere Seitenband zu unterdrücken. Da ein symmetrischer Mischer (Ringmodulator) verwendet wird, liegen am Ausgang des Mixers die beiden Seitenbänder bereits mit unterdrücktem Träger an. Ganz so perfekt wird der Träger aber doch nicht unterdrückt, so daß das Ausgangsfilter auch zum Ausfiltern der Trägerreste dient. Obwohl das Eingangsfilters identisch zum Ausgangsfilters ist, hat es doch eine völlig andere Funktion. Es läßt zwar auch nur Frequenzen bis 3200 Hz durch, aber zu einem anderen Zweck. Höhere Frequenzen als 3200 Hz würden bei der nur 300 Hz höher liegenden Trägerfrequenz von 3500 Hz das gewünschte invertierte Spektrum erheblich stören, die Verständlichkeit würde später leiden. Um den IC-Eingang ordentlich auszusteuern, wurde mit T1 ein kleiner Vorverstärker vorgeschaltet. Da der Widerstand zur Basisministeilung (R2) mit dem Kollektor verbunden ist, ist die Arbeitspunktministeilung durch Gleichstromgegenkopplung stabilisiert. Wechselspannungsmäßig bildet der kleine Kondensator C2 zwischen Basis und Kollektor (parallel zu R2) eine starke Gegenkopplung für sehr hohe Frequenzen. C2 sorgt so dafür, daß T1 keine Hochfrequenz verstärken oder durch den Basis/Emitter-Übergang gleichrichten kann. Dies ist bei Verwendung des Scramblers in Verbindung mit einem Funkgerät nicht ganz unwichtig. C1 dient als Koppelkondensator, um Gleichspannungsanteile im Audiosignal von der Basis von T1 fernzuhalten.

**Transceiver**

Mit Hilfe der CMOS-Schalter besteht auch die Möglichkeit, die Schaltung als Scrambler/Descrambler im Gegenstrombetrieb einzusetzen, wie beispielsweise in Verbindung mit einem CB-Transceiver (Sender und Empfänger). Das Mikrofonsignal des CB-Senders wird durch die Schaltung scrambled und dann wie gewöhnlich frequenzmoduliert zum Empfänger gesendet. Dort ist der andere Scramblerverstärker vorgeschaltet. Da der Widerstand zur Basisministeilung (R2) mit dem Kollektor verbunden ist, ist die Arbeitspunktministeilung durch Gleichstromgegenkopplung stabilisiert.

Der eigentliche Scrambler besteht also aus den Bauteilen von C1 über IC2 bis inklusive C20. Diese Schaltung reicht aus, um beispielsweise einen gesprochenen Brief zu verschlüsseln. Man schließt einfach ein Mikrofon an C1 und Masse an, greift das Ausgangssignal an C20 ab und führt es zum Eingang eines Kassettenrekorders. Sinnvoll ist es dabei, die beiden Potis P1 und P3 aufzunehmen. Sie werden dann vor und hinter die beiden Kondensatoren gelötet, um einerseits IC2 (mit P1) und andererseits mit P3 am Ausgang den an-

Funktionen werden von den acht elektronischen Schaltern ermöglicht, die in Bild 2 zu sehen sind. Sie werden mittels Push-to-talk-Taster durch einen Push-to-talk-Taster (Sprechtaaste des Mikros) gesteuert. Der Scrambler besitzt zwei Eingänge. An Eingang B werden niedrigpegelige Signalquellen wie das Mikrofon angeschlossen, während Eingang A weniger empfindlich für die Signale geeignet ist, die am (Empfangs-) Lautstärkpoti eines Transceivers oder am Line-Ausgang eines Audiogerätes abgegriffen werden. Daß Eingang A weniger empfindlich ist als Eingang B, liegt an der Signalabschwächung durch R5. B ist der eigentliche Scrambler-Eingang an C1, natürlich nur, wenn der elektronische Schalter IC1a geschlossen ist. Eingang A kann nur aktiv werden, wenn Schalter IC1c das Signal zu R5 und C1 weiterleitet.

Nicht nur an den Ein-, sondern auch an den Ausgängen sind elektronische Schalter zu finden. Wenn IC4a geschlossen ist, ist der Scrambler-Ausgang über P3 mit Ausgang B verbunden. An diesen Ausgang soll beispielsweise der Mikrofon-Eingang eines Transceivers angeschlossen werden. Ein Ausgang A liegt, wenn IC4a geschlossen ist, das unabgeschwächte Signal.

Die Ein- und Ausgänge A und B können nie gleichzeitig aktiv sein. So soll zum Beispiel bei einem Transceiver, der auf Senden geschaltet ist, das Mikrofonsignal Eingang B zugeführt werden, über IC1a zum Scrambler gelangen und die Schaltung an P3 und IC4b wieder Richtung Sender verlassen. Genau so gehen die Ein- und Ausgänge A und B zusammen. Der Transceiver ist auf Empfangen geschaltet. Das Signal wird vom Demodulator oder Lautstärkpoti abgegriffen, an Eingang A angeschlossen und über den Weg IC1c, R5 zum Scrambler geleitet. Das entscheidende Signal verläßt die Schaltung diesmal über C20 und IC4a und kann von jedem Line-Verstärker verarbeitet werden.

Wenn das Signal überhaupt nicht übertragen werden soll, verbinden die elektronischen Schalter den Scrambler weder mit den beiden Ein- noch mit den beiden Ausgängen. Es ist natürlich auch möglich, das Audiosignal durchzuschleifen, ohne es anzusteuern. In diesem Fall ist Eingang A mit Ausgang A und Eingang B mit Ausgang B verbunden. Es sind die beiden Schalter IC1b und IC1d, die für diese Verbindung sorgen. Während IC1b die B-Leitung schließt und IC1d Eingang A auf Ausgang A leitet, sind die anderen vier Schalter (IC1a, IC1c, IC4a, IC4b) offen, der Scrambler übt keine Funktion mehr aus.

**Steuerleitungen**

Die Steuerleitungen der elektronischen Schalter sind im Scrambler mit dem dreipoligen Umschalter S1 verbunden. Damit kann die Schaltung zwischen (De)Scramblen und Bypass umgeschaltet werden. Bei Transceiver-Anschluß muß der Scrambler zwischen Ein/Ausgang A und Ein/Ausgang B mit Hilfe der Sprech-Taste am Mikro umgeschaltet werden. Der Push-to-talk-Taster wird an Punkt N in Bild 2 gekoppelt. Ein High an diesem Anschluß schaltet Ein/Ausgang B ein und den Scrambler in die Mikrofonleitung zum Sender. Wenn ein Low an Anschluß N gelegt wird, soll die Scrambler-Schaltung empfangen, also sind Ein/Ausgang A aktiv.

Die beiden Pegel an Punkt N stimmen überein mit Masseniveau und maximal 6 V. Viele Transceiver arbeiten allerdings mit einer höheren Betriebsspannung an der Sprech-Taste, beispielsweise 12 V. Diese Spannung ist für die elektronischen Schalter viel zu hoch. Deshalb sollte man die Anschlüsse K und N verbinden und an P den Push-to-talk-Taster anschließen. Die Diode sorgt dafür, daß die Spannung an Punkt N nicht über 6,6 V steigen kann.

Jetzt kann allerdings noch ein weiteres Problem auftreten, nämlich daß bei ihrem Transceiver ein High an der Sprech-Taste nicht mit Senden und ein Low nicht mit Empfangen korrespondiert, sondern daß es sich genau umgekehrt verhält. Auch für diesen Fall gibt es eine recht einfache Lösung. Mit IC4c kann der Pegel an Punkt N invertiert werden. Dazu muß man lediglich die Punkte N und M sowie L und K verbinden. Anschluß P wird dann zum Sprech-Taster führen.

**Netzteil**

Schließlich noch zur Spannungsversorgung. Ein Festspannungsregler (IC3) sorgt für ausreichende Stabilität, schließlich hängt auch eine stabile Oszillatorfrequenz von der Konstanz der Betriebsspannung ab. Der Regler erhält entweder die (üblicherweise) 12 V hohe Betriebsspannung eines Transceivers oder 9...15 V von einem kleinen Steckernetzteil und liefert stabile 6 V am Ausgang. Die Z-Diode D1 garantiert, daß die 6-V-Betriebsspannung nicht über R9 vom Transceiver auf ein höheres Niveau angehoben werden kann. Der Stromverbrauch des Scramblers beträgt bei 12 V Betriebsspannung etwa 20 mA.

**Aufbau**

Die Schaltung kann nun wie gewohnt auf der Platine (Bild 4) aufgebaut werden. In der üblichen Reihenfolge montiert man die Bauteile, steckt aber zu-

4

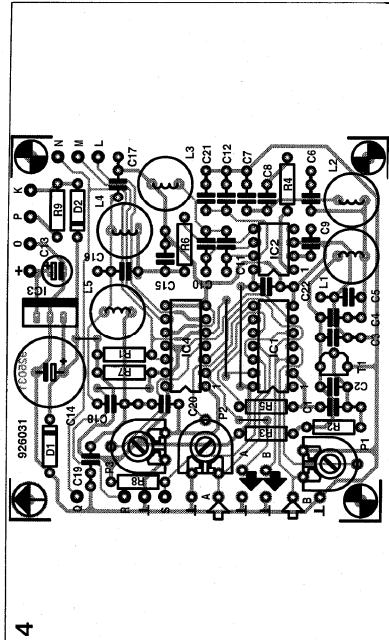


Bild 4. Die Schaltung findet auf einer relativ kleinen Platine Platz.

**Stückliste**

- Widerstände:
  - R1 = 22 k
  - R2 = 390 k
  - R3 = 319 kΩ
  - R4, R6 = 1 kΩ
  - R5 = 150 k
  - R7 = 100 k
  - R8 = 5 k
  - R9 = 5 k
  - P1, P3 = 5 k Trimmpot
  - P2 = 50 k Trimmpot
- Kondensatoren:
  - C10 = 220 n
  - C11 = 33 n
  - C12 = 120 n
  - C13 = 1 µF/16 V radial
  - C14 = 470 µF/10 V radial
  - C2 = 56 pF
  - C21 = (siehe Text)
  - C22 = 100 n
  - C3, C7, C15, C19 = 56 n
  - C4, C16 = 477
  - C5, C17 = 82 n
  - C6, C18 = 919
  - C8, C9, C20 = 470 n
- Spulen:
  - L1, L5 = 100 mH
- Halbleiter:
  - D1 = Z-Diode 5,2 V/400 mW
  - D2 = 1N4148
  - T1 = BC550C
  - IC1, IC4 = 4066
  - IC2 = NE5602
  - IC3 = 7806
- Außerdem:
  - S1 = Schalter 3 x um
  - Platine 9250031