

Der JFET als steuerbarer Widerstand

Manfred Zollner

Der Feldeffekt-Transistor (JFET) wird überwiegend als Spannungs-Verstärker eingesetzt, er lässt sich aber auch als spannungsgesteuerter Widerstand verwenden. Mit deutlichen Einschränkungen: Seine Strom/Spannungs-Charakteristik ist ziemlich nichtlinear, die damit produzierten Verzerrungen sind erheblich. Der folgende Artikel beschreibt Theorie und Messergebnisse, und zeigt ein Kompensationsverfahren, mit dem sich der Klirrfaktor reduzieren lässt.

In der Audio-Elektronik gibt es mehrere Geräte, die ein steuerbares System benötigen: Phaser, Flanger, Chorus, Vibrato, Tremolo, Kompressor, Limiter. In all diesen Fällen muss ein Systemparameter (Verstärkung oder Filterkennfrequenz) signalabhängig verändert werden. In den Anfängen der Schaltungstechnik, als nur Röhren als Verstärkerelemente bereit standen, war das typische steuerbare Element die "Regelpentode" – eine Röhre, deren Steilheit durch Arbeitspunktverschiebung variiert wurde. Als dann Anfang der Sechzigerjahre Halbleiter-Bauelemente in größerem Umfang am Markt verfügbar waren, begannen erste Versuche mit Feldeffekt-Transistoren und Fotowiderständen [1].

Beim Feldeffekt-Transistor (JFET) fließt Strom zwischen den Anschlüssen **Source** (S) und **Drain** (D) durch einen Halbleiterkanal, dessen Widerstand von einem quer dazu wirkenden elektrischen Feld gesteuert wird. Im Gegensatz zum PNP- oder NPN-Bipolartransistor muss dieser Strom keinen PN-Übergang passieren, was einen bipolaren Betrieb ermöglicht. Bipolar im Sinne von "Betrieb an einer Wechsellspannung", denn der JFET wird gelegentlich auch als *Unipolar-Transistor* bezeichnet. Das bezieht sich jedoch nicht auf die anliegende Spannung, sondern auf seine Ladungsträgerart (nur Majoritätsträger). Das steuernde Feld wirkt zwischen den Anschlüssen **Gate** (G) und Source, die Steuerung ist praktisch leistungslos, solange einige Bedingungen eingehalten werden.

Die Idee zum Feldeffekt-Transistor entstand bereits in den Zwanzigerjahren. Der Name **Transistor** kommt von "Transfer Resistor", was man in etwa mit "steuerbarer Widerstand" übersetzen könnte. Im engeren Sinne bedeutet "transfer" übertragen: die Eigenschaften des steuernden Signals (Gate/Source-Spannung) werden auf den gesteuerten Widerstand, und damit auf den Drainstrom, übertragen. Schon 1926 meldete Julius Edgar Lilienfeld die Idee zum Patent an (also weit vor dem Bipolar-Transistor), 1952 folgte dann eine analytische Beschreibung durch Shockley. Doch erst in den Sechzigerjahren, mit Fortschritten bei der Silizium-Technologie, werden JFETs industriell hergestellt. Hauptsächlich als Verstärker-Bauelemente, aber in kleinem Umfang auch als steuerbare Widerstände. Gegenüber ihren Konkurrenten, den Fotowiderständen, arbeiten sie im Audiobereich trägheitslos, doch teilen sie mit diesen eine unschöne Eigenschaft: sie sind schon bei relativ kleinen Spannungen nichtlinear. Die Aussage "ein JFET kann im Gegensatz zum Bipolar-Transistor mit Wechsellspannung betrieben werden" beschränkt sich auf Spannungen unter etwa 1 V. Welche Verzerrungen entstehen, und wie sie verringert werden können, wird im Folgenden erläutert.

Die restlichen Seiten sind als PDF downloadbar: www.gitec-forum.de