

Erich Kaifler

SIPMOS-Depletionstransistoren – leitend auch ohne Ansteuersignal

SIPMOS®-Transistoren vom Verarmungstyp zeichnen sich gegenüber Transistoren vom Anreicherungstyp und Bipolartransistoren dadurch aus, daß sie bereits ohne Ansteuerspannung leitend sind. Diese Eigenschaft ermöglicht in vielen Fällen einfachere und damit auch zuverlässigere Schaltungen.

Das heutige Bauelementespektrum ist so vielfältig, daß für die meisten Anwendungen verschiedene Lösungsmöglichkeiten bestehen. Oberstes Gebot bei der Schaltungsentwicklung ist jedoch, die gewünschte Funktion mit möglichst wenigen Bauelementen zu realisieren. Dies hat nicht nur die naheliegenden Vorteile wie geringer Platzbedarf, einfache Montage und Kostenreduzierung, sondern führt auch zu höherer Zuverlässigkeit. MOSFET standen bisher hauptsächlich in Form von Anreicherungstypen zur Verfügung, die in der Literatur auch als Enhancementstypen bzw. Normally-off-Typen beschrieben werden. Im Vergleich zu bipolaren Transistoren zeichnen sich diese Transistoren besonders aus durch:

- hohen Eingangswiderstand
- kurze Schaltzeiten
- robustes Schaltverhalten.

Bild 1 zeigt, daß unipolare Transistoren prinzipiell mehr Varianten ermöglichen als bipolare Transistoren. Mit dem Angebot der neu hinzugekommenen SIPMOS-Verarmungstypen (Normally-on-Transistoren, Depletionstransistoren) lassen sich viele Schaltungen einfacher gestalten.

Grundsaltungen mit den Depletionstransistoren BSS 129, BSS 229, BSS 139

Die SIPMOS-Verarmungstypen BSS 129, BSS 229 und BSS 139 bieten die gleichen Vorteile wie die bekannten Anreicherungstypen, sie sind jedoch bei 0 V Gatespannung, das heißt ohne Ansteuersignal, leitend. Das Diffusionsprofil in der Kanalzone ist bei SIPMOS-Transistoren vom Verarmungstyp so ausgelegt, daß bei $U_{GS} = 0$ V genügend Ladungsträger (bei N-Kanal-Transistoren sind es Elektronen) zur Verfügung stehen, um z.B. beim Typ BSS 229 in der Drain-Source-Strecke einen Widerstand von kleiner 100 Ω bei $I_D = 14$ mA und $U_{GS} = 0$ V zu gewährleisten. Der Transistor geht bei etwa 100 mA in die Sättigung und arbeitet von sehr niedrigen U_{DS} -Spannungen ($U_{DS} \approx 1$ V) bis zur vollen Drain-Source-Sperrspannung als sehr präzise Konstantstromquelle (**Bild 2**).

Die Übertragungskennlinie des Depletionstransistors beginnt im negativen und reicht in den positiven Bereich. Positive Gate-Source-Spannungen reichern die Kanalzone mit Ladungsträgern weiter an und führen zu einer graduellen Reduzierung des Drain-Source-Einschaltwiderstandes $R_{DS(on)}$. Bei negativer Gatespannung werden die Elektronen verdrängt, die Kanalzone verarmt an Ladungsträgern und der Transistor geht in den Sperrzustand über.

Bei Gleichstromanwendungen setzt dies eine zusätzliche Quelle für die negative

Spannung voraus. Im Impulsbetrieb kann der Transistor recht einfach mit einem Kondensator im Gatezweig abgeschaltet werden, ohne daß eine eigene Spannungsversorgung für das Gatesteuersignal notwendig ist (**Bild 4**).

Mit vertikalen Depletionstransistoren steht ein »monolithischer Ruhekontakt« zur Verfügung, der die Daten von Sperrschicht-Feldeffekttransistoren bezüglich Strom und Spannung weit übertrifft. Der Transistor BSS 129 hat zum Beispiel einen maximalen Drainstrom von 150 mA und eine Drain-Source-Durchbruchspannung größer 240 V.

Schließt man Gate und Source kurz, so arbeitet der Transistor entsprechend der Ausgangskennlinie (**Bild 3**) bei $U_{GS} = 0$ als Strombegrenzer bzw. Konstantstromquelle.

Im **Bild 5** wird durch den Widerstand R , bezogen auf das Gate des Transistors, eine negative Spannung erzeugt, die dem Ausgangskennlinienfeld entsprechend zu einer Strombegrenzung bei niedrigeren Werten führt. Auf diese Weise kann mit einfachen Mitteln die Strombegrenzung auf jeden Wert unterhalb des I_{DS} eingestellt werden. Für den Strom I_{konst} gilt die Formel

$$I_{konst} \approx \frac{U_{GS(th)}}{R}$$

Der Transistor BSS 129 ist besonders als »Ruhekontakt« bzw. für Schalteranwendungen geeignet. Im **Bild 6** ist der Transistor BSS 129 als Konstantstromquelle eingesetzt, die zusätzlich abgeschaltet werden kann. Da der Stromfluß bei SIPMOS-Transistoren auch umgekehrt werden kann, läßt sich die Schaltung nach **Bild 6** zu einem AC-Stromkonstanter dadurch erweitern, daß zwei Transistoren mit jeweils einem Widerstand im Sourcezweig zusammengefaßt

Dipl.-Ing. (FH) Erich Kaifler,
Siemens AG, Bereich Bauelemente,
Vertrieb SIPMOS-Halbleiter, München

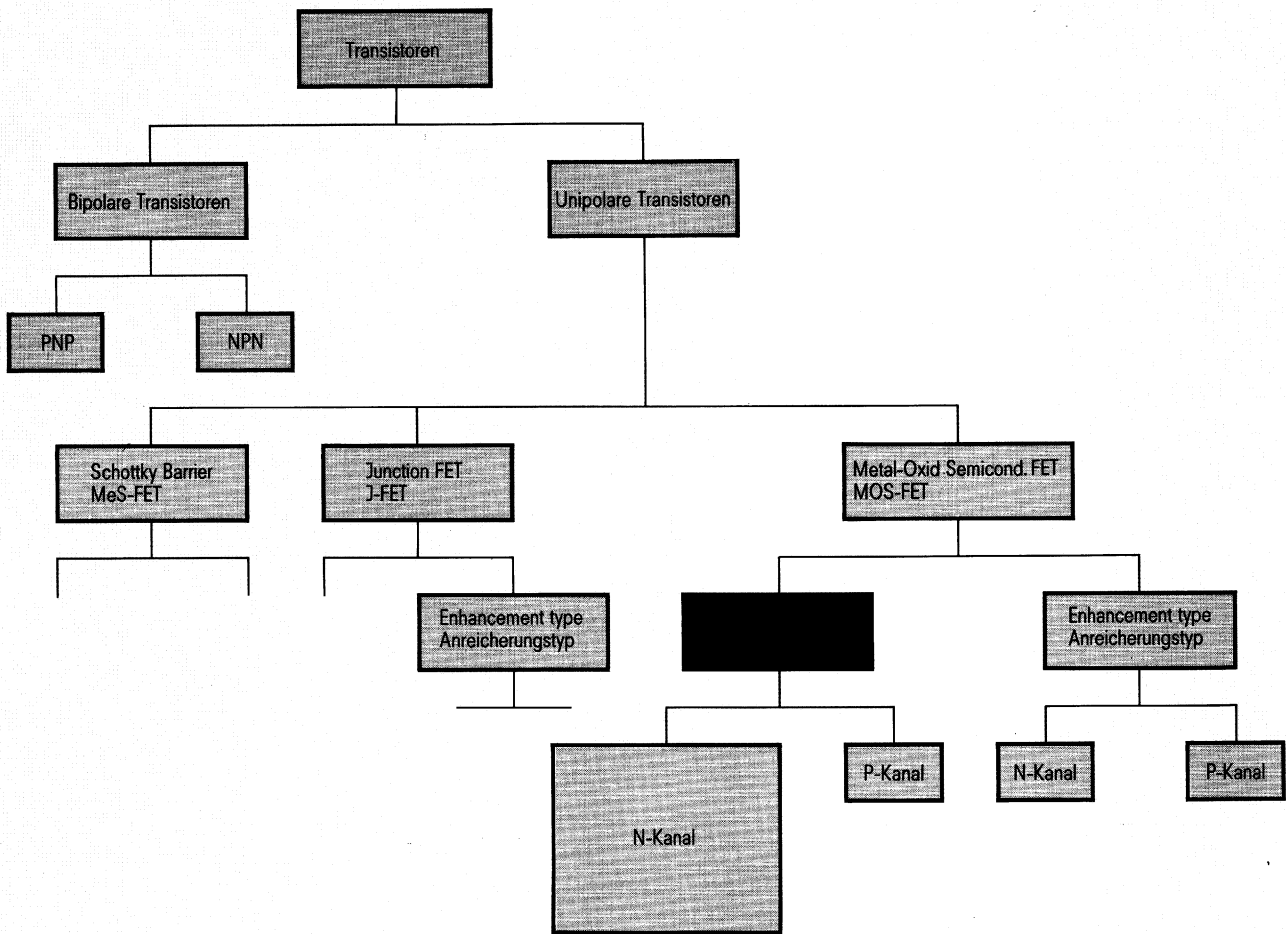


Bild 1 Technologische Varianten von Transistoren

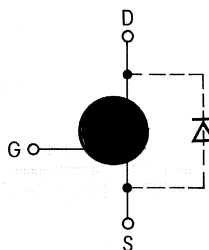


Bild 2 Schaltbild des N-Kanal-Depletionstransistors

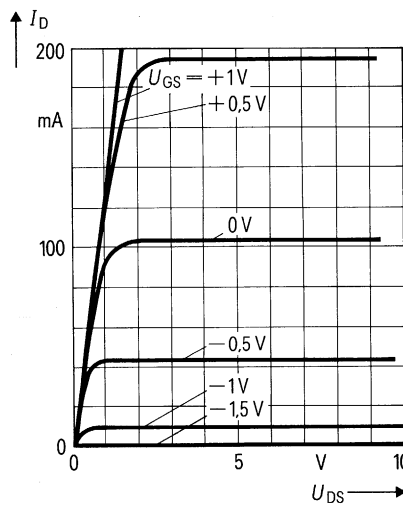


Bild 3 Ausgangskennlinienfeld des Transistors BSS 129

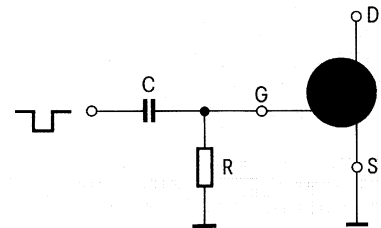


Bild 4 SIPMOS-Depletionstransistor als Schalter. Der Transistor wird durch eine negative Spannung am Gate abgeschaltet

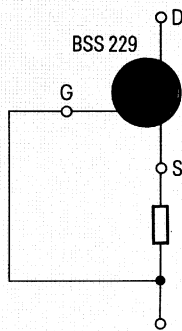


Bild 5 BSS 229 als Konstantstromquelle beschaltet

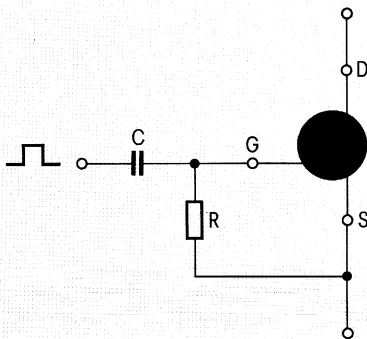


Bild 6 Beschaltung des Transistors als Strombegrenzer und Schalter

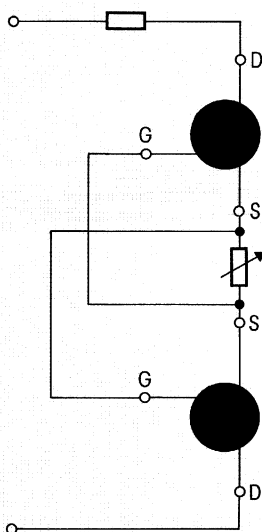


Bild 7 Konstantstromquelle bei Wechselspannung

werden. Die Schaltung wird weiter vereinfacht, wenn der für den Spannungsabfall nötige Widerstand für beide Transistoren herangezogen wird (**Bild 7**).

In vielen Fällen wird der niedrige Drain-Source-Einschaltwiderstand des BSS 129 nicht benötigt, während anwendungsbedingt andere Daten stärker berücksichtigt werden müssen, zum Beispiel Sperrspannung, Kennlinienverlauf oder Schwellenspannung. Für Aufgaben wie Hilfsstromversorgungen, Schwellenschalter, Strombegrenzer oder Konstantstromquellen eignet sich der neue Deple-

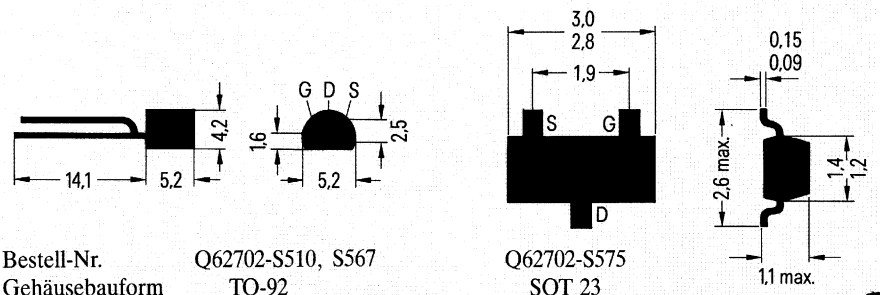
tionstransistor BSS 229, der in seine technischen Daten obigen Forderungen angepaßt ist. Die Spannungsfestigkeit $U_{DS(BR)}$ dieses Transistors ist größer 250 V, der Drain-Source-Einschaltwiderstand $R_{DS(on)}$ beträgt maximal 100 Ω . Die Schwellenspannung $U_{GS(th)}$ liegt zwischen -2,5 und -0,7 V.

Der Transistor BSS 229 hat die Bestellnummer Q62702-S567. Für Anwendungen, die eine engere U_{GS} -Streuung bzw. einen exakten Referenzpunkt voraussetzen, werden die Transistoren bei Bedarf auch gruppiert unter der Bestellnummer Q62702-S567-P1 geliefert. In

Stempelcode	U_{GS} (V)	Liefernummer
F	-1,385 bis -1,535	Q62702-S574
G	-1,485 bis -1,635	Q62702-S572
A	-1,585 bis -1,735	Q62702-S569
B	-1,685 bis -1,835	Q62702-S570
C	-1,785 bis -1,935	Q62702-S571
D	-1,885 bis -2,035	Q62702-S573

Tabelle 1 Transistoren BSS 229 können auch nach der Gate-Source-Spannung gruppiert geliefert werden. Meßbedingungen: $I_D = 10 \mu A$, $U_{DS} = 3 V$

Grenzwerte		BSS 129	BSS 229	BSS 139	
Drain-Source-Spannung	U_{DS}	240	250	250	V
Drain-Gleichstrom	I_D	150	70	40	mA
Gate-Source-Spannung (nicht periodisch)	U_{GS}	± 20	± 20	± 20	V
Max. Verlustleistung	P_D	1	1	0,36	W
Kennwerte					
Gate-Schwellenspannung ($U_{DS} = 3 V$; $I_D = 1 mA$)	$U_{GS(th)}$	-1 (<-0,7)	-1 (<-0,7)	-1 (<-0,7)	V
Drain-Reststrom ($U_{DS} = 240 V$; $U_{GS} = -3 V$; $\vartheta = 25 ^\circ C$)	I_{DS}	<100	<100	<100	nA
Gate-Source-Leckstrom ($U_{GS} = 20 V$; $U_{DS} = 0 V$)	I_{GSS}	10 (<100)	10 (<100)	10 (<100)	nA
Drain-Source-Einschaltwiderstand	$R_{DS(on)}$	<20	<100	<100	Ω



Bestell-Nr. Q62702-S510, S567
Gehäusebauform TO-92

Q62702-S575
SOT 23

Tabelle 2 Einige technische Daten der SIPMOS-N-Kanal-Transistoren vom Verarmungstyp BSS 129, BSS 139 und BSS 229

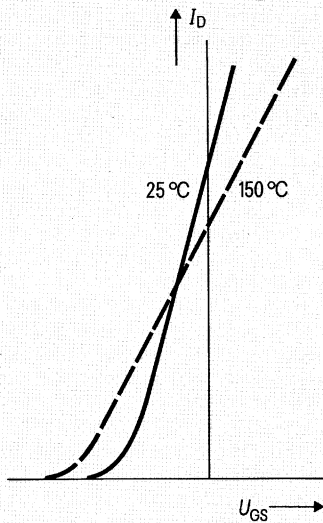


Bild 8 Übertragungscharakteristik
 $I_D = f(U_{GS})$ des Transistors BSS 229

Fällen, die eine größere Streubreite von U_{GS} nicht erlauben, müssen für die Lieferung mindestens drei Einzelgruppen akzeptiert werden (**Tabelle 1**). Die Transistoren BSS 229 haben einen besonders abrupten Übergang vom ohmschen Bereich in den Pentodenbereich. Dies ermöglicht es, zusammen mit der engen U_{GS} -Gruppierung, einen sehr exakten Referenzpunkt festzulegen.

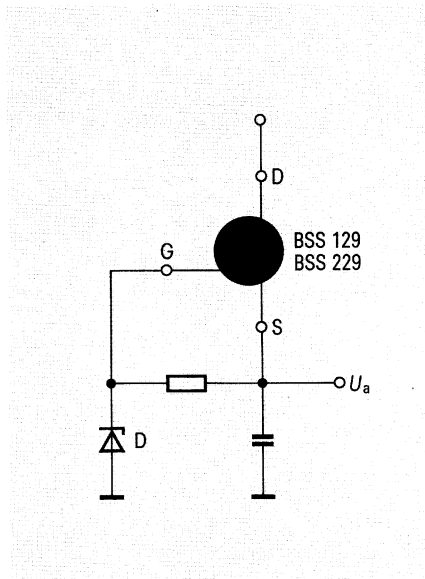


Bild 9 SIPMOS-Transistor als Spannungsregler beschaltet

Da die Übertragungsteilheit g_{fs} von MOS-Transistoren bei kleinen Arbeitspunkten nicht linear ist, werden die in den Datenblättern angegebenen Meßwerte meist durch Kennlinien ergänzt. Zu beachten ist dabei, daß die Übertragungskennlinie bei kleinen Arbeitspunkten einen negativen Temperaturkoeffizienten hat, der bei höheren Strömen zu positiven Werten übergeht (**Bild 8**).

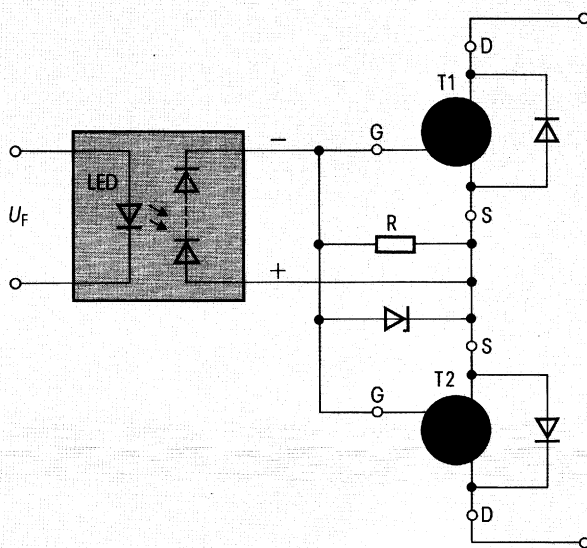


Bild 10 Zweirichtungsschalter. Unabhängig von der Polarität der anliegenden Spannung werden die beiden Transistoren mit nur einer Ansteuerung geschaltet

Beim Transistor BSS 229 ist es gelungen, den Schnittpunkt der Kennlinien in den bevorzugten Arbeitsbereich, d.h. in den Depletionbereich zu legen, so daß dem Anwender ein sehr temperaturstabiles Bauelement zur Verfügung steht.

Bild 9 zeigt einen Spannungsregler mit der Ausgangsspannung $U_a \approx U_Z + U_{GS(th)}$. Diese Anordnung bietet den Vorteil, daß der Regler im Ruhezustand praktisch keine Verluste hat. Bei Stromentnahme hat der Transistor zunächst rein ohmsches Verhalten. Bei Kurzschluß geht der Transistor in den Pentodenbereich über und dient als Schutz, indem er den Strom begrenzt.

SIPMOS-Depletionstransistoren haben auch in diesem Fall wegen ihrer hohen Sperrspannung und des scharfen Übergangs vom ohmschen in den Pentodenbereich Vorteile gegenüber anderen Transistorarten.

Aufgrund der engtolerierten U_{gs} -Gruppen ist es auch möglich, Schaltungen aufzubauen, die bei einer bestimmten Schwelle reagieren. Dies kann zur Unterspannungserkennung genutzt werden, beispielsweise um die völlige Entladung eines Akkus zu verhindern.

Für selbstleitende Wechselstromschalter mit höheren Sperrspannungen benötigt man zwei Depletionstransistoren. Diese haben wie auch Enhancementstransistoren eine integrierte Inversdiode. Bei AC-Anwendungen muß man deshalb zwei Depletionstransistoren antiseriell schalten.

Im **Bild 10** sind die Source- und Gateanschlüsse von T1 und T2 miteinander verbunden. Dadurch ist es möglich, beide Transistoren mit nur einer Ansteuerung zu schalten.

Bei $U_F = 0$ ist U_{GS} der beiden Transistoren gleich Null, d.h. beide Transistoren sind leitend. Fließt der Eingangsstrom I_F , so wird der gemeinsame Gateanschluß gegenüber den Sourceanschlüssen negativ vorgespannt. Die Transistoren sperren.

Unabhängig von der an D-D anliegenden Spannung (positiv oder negativ) sperrt auch eine der beiden Inversdioden. Wird I_F abgeschaltet, so entladen sich die Gatekapazitäten über R auf $U_{GS} = 0$ und schalten die Drain-Drain-Strecke wieder ein. Die Diode Z dient als Schutz für die G-S-Strecken von T1 und T2.