

Erich Kaifler
Frank Möllmer
Jenő Tihanyi

Grundsaltungen mit SIPMOS-FET-Treibern

Neue Optokoppler erschließen neue Schaltungsvarianten

Feldeffekttransistoren benötigen zu ihrer Ansteuerung einige Volt Spannung, doch sehr wenig Strom. Es gibt Situationen, z. B. die potentialfreie Ansteuerung von SIPMOS-Transistoren, in denen die Steuerspannung nur mit großem Aufwand bereitgestellt werden konnte. In solchen Fällen führen die FET-Treiber BSA 21 und BSA 22 zu einfachen und kostengünstigen Lösungen.

Die FET-Treiber BSA 21 und BSA 22 sind optisch gekoppelte, schnelle Ansteuerbausteine für Feldeffekttransistoren. Auf der Eingangsseite haben sie eine GaAs-Sendediode. Diese wandelt das Ansteuersignal (den Strom) in Infrarotstrahlung, die über ein optisch transparentes Medium auf eine ausgangsseitige Fotodiodenkette geleitet wird. Die Fotodioden erzeugen wieder ein elektrisches Signal. Eine beigeordnete Steuerlektronik bewirkt ein schnelles Abschalten, wenn kein Ansteuersignal mehr vorhanden ist.

Die besonderen Eigenschaften der Treiber sind:

- hohe Isolationsspannung
- logikkompatibler Eingang
- schnell schaltbarer Spannungsgenerator am Ausgang
- geringe Koppelkapazität
- geringe Rückwirkung
- hohe Gleichtaktunterdrückung
- Langzeitstabilität
- keine HF-Störungen

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

Dipl.-Ing. Frank Möllmer,
Siemens AG, Bereich Halbleiter,
Entwicklung Optohalbleiter, Regensburg

Dr.-Ing. Jenő Tihanyi,
Siemens AG, Bereich Halbleiter,
Entwicklung SIPMOS-Halbleiter, München

SIPMOS-Transistoren sind spannungsgesteuerte Bauelemente. Ein wichtiges Kriterium für den Einsatz ist die Schwellenspannung $U_{GS(th)}$. Sie gibt an, bei welcher Gate-Source-Spannung ein bestimmter Drainstrom, bei Kleinsignaltransistoren z. B. 1 mA, fließt. Leistungstransistoren haben in der Regel eine Schwellenspannung von etwa 3 V. Kleinsignaltransistoren kommen mit 2 V aus. Die Schwellenspannung der sogenannten Logic-level-Transistoren liegt bei etwa 1 V und die der Depletion-Transistoren (Transistoren vom Verarmungstyp) bei typisch -1 V.

In allen Fällen wird eine Steuerspannung benötigt, um die Schwellenspannung des MOSFET zu erreichen, bzw. eine noch höhere Spannung, um den Transistor durchzuschalten. Dies ist unproblematisch, solange die erforderliche Gleichspannung in der Schaltung vorhanden ist. Es gibt jedoch Anwendungen, die eine galvanische Trennung von Eingang und Ausgang erfordern, diese Steuerspannung aber nicht enthalten. Dies ist beispielsweise der Fall bei

- der potentialfreien Ansteuerung von SIPMOS-Transistoren
- der Ansteuerung elektronischer Wechselspannungsschalter
- in elektronischen Lastrelais

Mit den Siemens-FET-Treibern BSA 21 (ein Schalter im DIP-6-Gehäuse) und BSA 22 (zwei Schalter im DIP-8-Gehä-

se, Bild 1) stehen heute Bauelemente zur Verfügung, die derartige Anwendungen mit geringem Aufwand ermöglichen.

Funktionen der FET-Treiber

Die Ausgangsseite des FET-Treibers besteht aus einer integrierten Schaltung. Sie enthält ein Fotodiodenarray mit nachgeschalteter Steuerelektronik (Bild 2) und ist von der Eingangsseite galvanisch getrennt. Die Ansteuerung des IC erfolgt durch die Strahlung der GaAs-Lumineszenzdiode über ein elektrisch isolierendes aber optisch transparentes Medium. Fällt die LED-Strahlung auf die Fotodioden, so wird zwischen den Punkten 4 und 6 eine Spannung von 5 V erzeugt. Der mögliche Ausgangsstrom beträgt ohne Beschaltung von Punkt 5 etwa 10 μ A. Damit lassen sich sowohl die Eingangskapazität eines MOSFET laden als auch Leckstromverluste im eingeschalteten Zustand kompensieren. Durch Abschalten der LED wird die Energiezufuhr unterbrochen. Gleichzeitig wird der Ausgangswiderstand zwischen den Anschlüssen 4 und 6 über die integrierte Abschaltautomatik niederohmig (etwa 1 k Ω). Damit ist es möglich, eine zwischen den Punkten 4 und 6 befindliche Kapazität, z. B. die Gate-Source-Kapazität eines MOSFET, schnell zu entladen.

Da die Ansteuerenergie durch IR-Strahlung vom Eingang zum Ausgang übertragen wird, ist die zur Verfügung stehende Leistung verhältnismäßig gering. Bei 5 mA Eingangsstrom sind es etwa 3 μ A Ausgangsstrom bei niederohmiger Last bzw. 5 V zwischen den Anschlüssen 4 und 6 bei hochohmiger Last (Bild 3a). Werden größere Ströme benötigt, z. B.

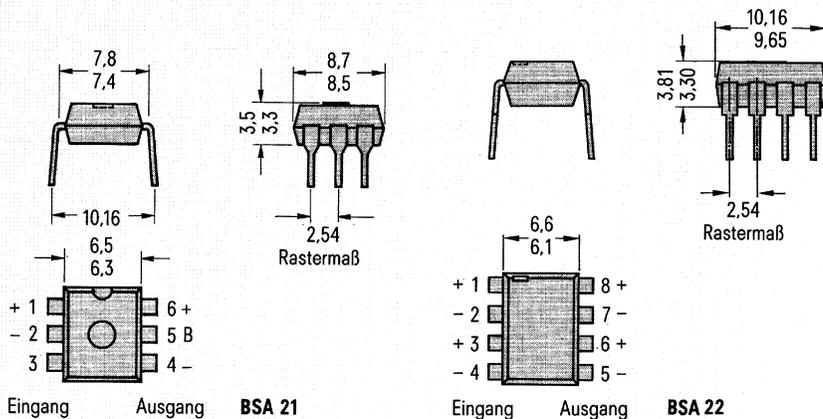


Bild 1 Maßzeichnung und Anschlußfolge für die FET-Treiber BSA 21 und BSA 22

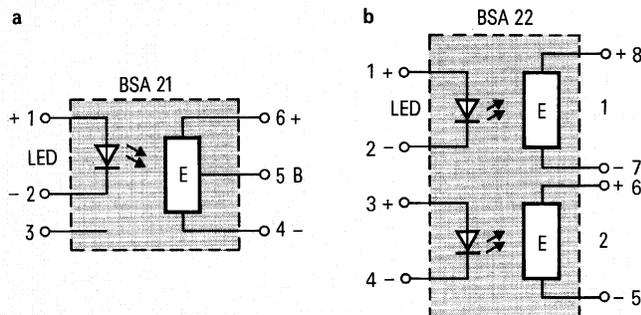


Bild 3 Prinzipschaltbild und Anschlußfolge der FET-Treiber BSA 21 und BSA 22

Vorläufige Daten der Ansteuerbausteine für MOS-Transistoren

Kenndaten ($\vartheta_A = 25^\circ\text{C}$)		BSA 21	BSA 22	
Sender (IR-GaAs-Lumineszenzdiode)				
Durchlaßspannung ($I_F = 60\text{ mA}$)	U_F	1,25 ($\leq 1,65$)	1,25 ($\leq 1,65$)	V
Durchbruchspannung ($I_R = 10\ \mu\text{A}$)	U_{BR}	30 (≥ 6)	30 (≥ 6)	V
Sperrstrom ($U_R = 6\text{ V}$)	I_R	0,01 (≤ 10)	0,01 (≤ 10)	μA
Kapazität ($U_R = 0\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$)	C_O	25	25	pF
Empfänger				
Sperrstrom (B zu -, $U_{RB} = 100\text{ V}$)	I_B	100	100	nA
Sperrspannung (B zu -)	U_{RB}	6		V
Durchlaßstrom (B zu +)	I_B	1	1	mA
FET Treiber				
Ausgangswiderstand ($I_F = 0$) (dynamisch)	R_{6-4}	1		k Ω
Ausgangsspannung ($I_F = 5\text{ mA}$)	U_{6-4}	5		V
Ausgangsstrom ($I_F = 5\text{ mA}$, $R_L < 10\text{ k}\Omega$)	I_{6-4}	3 (≥ 1)		μA
Ausgangsstrom ($I_F = 5\text{ mA}$, $U_S = U_{B,ext}$)	I_{6-4}	1		mA
Ausgangswiderstand ($I_F = 0$) (dynamisch)	R_{6-5}		1	k Ω
	R_{8-7}		1	k Ω
Ausgangsspannung ($I_F = 5\text{ mA}$)	U_{6-5}		5	V
	U_{8-7}		5	V
Ausgangsstrom ($I_F = 5\text{ mA}$, $R_L < 10\text{ k}\Omega$)	I_{6-5}		3 (≥ 1)	μA
	I_{8-7}		3 (≥ 1)	μA
Koppelkapazität	C_K	1	1	pF

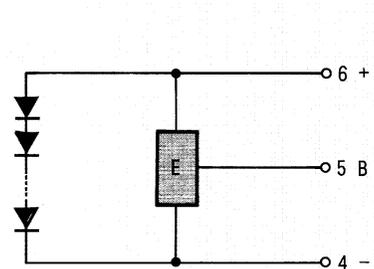


Bild 2 Prinzipschaltbild der Ausgangsseite des FET-Treibers BSA 21, bestehend aus einer Kette von Minifotoelementen und einer Abschaltelronik, mit der der Ein- und Ausschaltvorgang beschleunigt werden kann

um einen Leistungstransistor mit größerer Eingangskapazität zu schalten, oder um generell kürzere Schaltzeiten zu erreichen, so kann beim BSA 21 der Strom mit Hilfe eines zwischen Punkt 5 und 4 zugeschalteten Kondensators von 10 nF auf etwa 1 mA erhöht werden (**Bild 4**). Dieser Kondensator muß durch eine externe Versorgung auf mindestens 7 V geladen sein.

Bild 3b zeigt den prinzipiellen Aufbau des Ansteuerbausteins BSA 22. Die Kenndaten für den Eingang sind gleich denen des BSA 21 (**Tabelle**). Die Ansteuer-LED schalten jedoch zwei Ausgangsstufen, die wahlweise für zwei Einzelschalter oder in Serie betrieben für einen Schalter verwendet werden können. In diesem Fall stehen 10 V Ansteuererspannung bzw. 3 μA Ausgangsstrom zur Verfügung. Im abgeschalteten Zustand ($I_F = 0$) bewirkt die Elektronik E des Bausteins die Entladung der Eingangskapazität des angeschlossenen Transistors. Der Innenwiderstand, gemessen bei $I_F = 0$, beträgt während des Entladevorganges etwa 1 k Ω .

Allgemeine Anwendungen

Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist die Ansteuerung von N-Kanal-Transistoren, wobei der Lastwiderstand R_L einseitig mit Masse verbunden ist (high side switch). Im Kfz-Bereich ist dies üblich, um elektrostatische Korrosion zu vermeiden. Bei derartigen Schaltungen braucht man zur Ansteuerung des Transistors eine Betriebsspannung, die größer als die Batteriespannung ist.

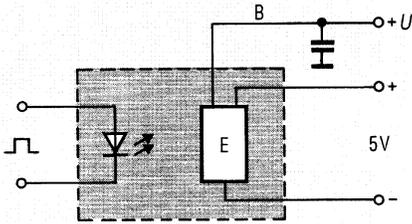


Bild 4 Prinzipschaltbild des BSA 21 mit externem Beschleunigerkondensator

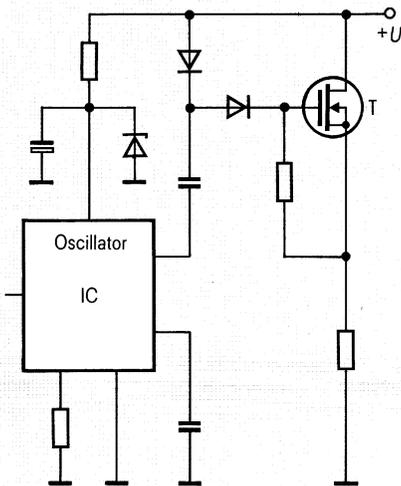


Bild 5 High-Side-Switch herkömmlicher Art mit Ladungspumpe

Um die Steuerspannung zu erzeugen, bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, z.B. eine eigene Spannungsquelle mit $U > U_{\text{Batt}}$ oder ein DC-DC-Wandler bzw. eine Bootstrap-Schaltung. Darüber hinaus werden heute moderne Bauelemente wie smart SIPMOS-Transistoren angeboten, bei denen die Hilfsschaltung für den Spannungshub bereits integriert ist.

Zumindest im Falle von diskret aufgebauten DC-DC-Wandlern setzt das Bereitstellen der zusätzlichen Spannungsquelle eine größere Anzahl von Bauelementen voraus und hat damit ungünstige Auswirkungen auf Zuverlässigkeit und Kosten. Mit den Ansteuerbausteinen BSA 21/22 stehen nun Bauelemente zur Verfügung, die die Spannung zur Ansteuerung von MOS-Transistoren unabhängig von der Batteriespannung und völlig isoliert erzeugen.

Die FET-Treiber können als positive wie auch als negative Spannungsquelle betrieben werden. Im **Bild 5** wird der Leistungstransistor T auf konventionelle Weise angesteuert, wobei die Spannungsüberhöhung mit einem Oszillator-IC und verschiedenen diskreten Bauelementen erzielt wird.

Im **Bild 6** ist diese Hilfsschaltung auf den Einsatz eines BSA 21 reduziert, der am Ausgang die benötigte Spannung von 5 V zur Verfügung stellt. Kürzere Schaltzeiten können durch die oben beschriebene Variante mit einem zusätzlichen Pufferkondensator erreicht werden, was im **Bild 7** am Beispiel einer Motorsteuerung gezeigt ist.

Arbeitspunkteinstellung für Feldeffekttransistoren, speziell für GaAs-Mikrowellen-FET mit dem Ansteuerbaustein BSA 21

Rauscharme GaAs-FET werden bevorzugt mit einem Betriebsstrom $I_D < I_{DSS}$ betrieben, wobei die zur I_D -Einstellung erforderliche Gate-Source-Spannung U_{GS} in der Polarität der Drain-Source-Betriebsspannung entgegengesetzt ist. Bei Mikrowellen-FET ist aus HF-Gründen oft eine unmittelbare Source-Erdung notwendig, wodurch eine eigene negative Gate-Spannung erforderlich wird. Diese wird bisher über eine eigene Leitung zugeführt oder geräteintern über einen DC-Spannungswandler aus der positiven Betriebsspannung gewonnen. Beide Lösungen sind aufwendig und teuer. Mit dem BSA 21 läßt sich der Aufwand zur Erzeugung der Gate-Vorspannung bei gleichzeitiger I_D -Regelung mit

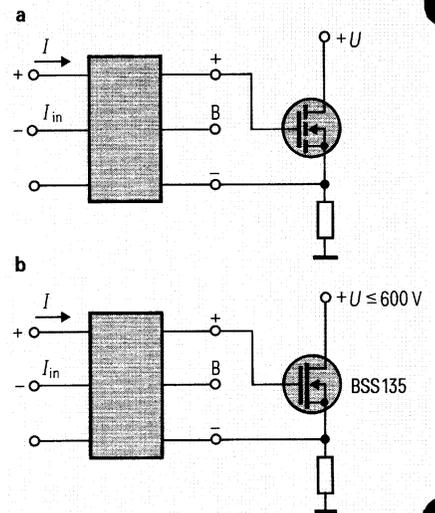


Bild 6 High-Side-Switch unter Verwendung des FET-Treibers BSA 21 und eines beliebigen N-Kanal-Kleinsignal-Transistors (a). Es können auch P-Kanal-Transistoren verwendet werden. In diesem Fall ist lediglich die Polarität der Ausgangsseite des FET-Treibers zu vertauschen. Die Schaltung kann für beliebige Spannungen verwendet werden, zum Beispiel unter Verwendung des N-Kanal-Depletion-Transistors BSS 135 für 600 V (b)

einem Minimum an Bauelementen realisieren.

Bild 8 zeigt die Gleichstrombeschaltung mit gleichzeitiger I_D -Regelung für einen FET, **Bild 9b** den Zusammenhang des sich einstellenden $I_D = f(G) = f(1/R)$ und **Bild 9a** die sich einstellenden Gate-Spannungen für zwei verschiedene FET mit unterschiedlichen I_{DSS} (30, 60 mA) bei einem I_D -bestimmenden Widerstand (Beispiel $R = 100 \Omega \triangleq G = 10 \text{ mS}$).

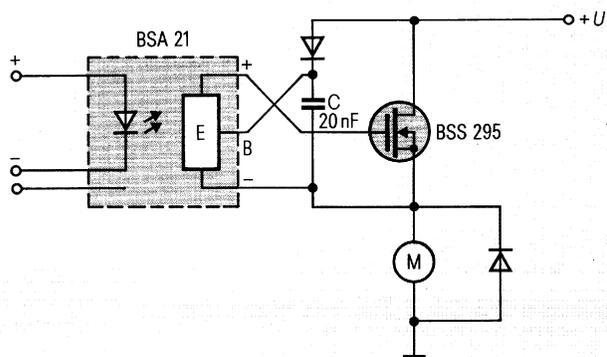


Bild 7 Einsatz des BSA 21 zur Motorsteuerung. Der Kondensator C dient zur Verkürzung der Schaltzeiten

Der DC-Drainstrom fließt über den Widerstand R parallel zur LED des BSA 21. Bei $I_D \cdot R > U_{F, LED} \approx 1,2 \text{ V}$ erzeugt der BSA 21 über die Fotoelementkette E eine negative Gate-Spannung bis zur Einregelung von $I_D = U_{F, LED} \cdot G + K \approx 1,2 \text{ V} \times G + K \leq I_{DSS}$.

K ist eine Konstante, die, abhängig vom Bauelement und von der Schaltung, in der Größenordnung 1 bis 3 mA liegt.

Da der BSA 21 nur einen begrenzten Strom zu erzeugen vermag, dürfen die zu regelnden FET nur einen begrenzten Gate-Leckstrom ($< 1 \mu\text{A}$) haben. Unter der Voraussetzung gepaarter FET können mehrere FET über einen BSA 21 an den Gates parallel versorgt werden.

Der Pufferkondensator C glättet eventuelle externe Störimpulse, die jedoch meistens durch eine entsprechende HF-Beschaltung vermieden werden können.

Automatische Lastabschaltung mit BSA 21

Der stufenförmige Verlauf der Ausgangsspannung wird in der Schaltung nach **Bild 10** zur Lastabschaltung (R_L) bei Unterschreiten von $U_{B, \text{min}}$ genutzt, um eine Batterie vor vollständiger Entladung zu schützen. Bei ausreichender Betriebsspannung ist der Strom I_F mit R1, R2 und D2 so dimensioniert, daß die Ausgangsspannung $U_a = U_{GS}$ den Transistor T1 leitend schaltet.

Sinkt die Batteriespannung ab, so verringert sich auch der Strom I_F bis U_a auf einen Wert nahe 0 V und damit unter $U_{GS(\text{th})}$ springt. T1 sperrt, R_L ist abgeschaltet. Da das Potential an der Kathode der Diode D3 nun höher ist als an der Anode, sperrt D3 und es fließt nur noch Strom über D1, D2 und R1. Dieser Strom liegt deutlich unter dem Sprungwert I_{FS} . Durch diese Hysterese (R2, D3) wird der Schalter entprellt.

FET-Treiber für elektronische Relais

Relais zeichnen sich u. a. dadurch aus, daß Eingang und Ausgang galvanisch getrennt sind, daß sie auch bei niedrigen Strömen und Spannungen eine lineare Ausgangscharakteristik haben und vor allem, daß sowohl Wechsel- als auch Gleichströme in beiden Richtungen geschaltet werden können. Diese Forde-

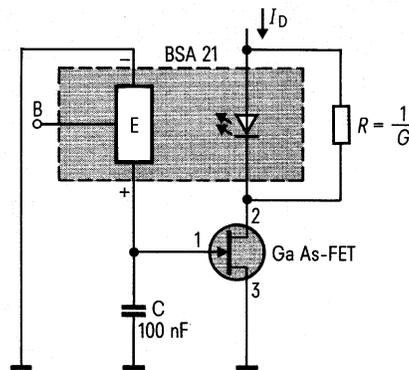


Bild 8 Einsatz des BSA 21 für die automatische Arbeitspunkteinstellung eines Mikrowellen-GaAs-Transistors

rungen waren mit herkömmlichen Halbleitern nur schwer zu erfüllen. Mit dem FET-Treiber BSA 21 ist das nun möglich, da bei ihm ohnehin Eingang und Ausgang galvanisch getrennt und die zugeschalteten SIPMOS-Transistoren bis in den Nulldurchgang linear sind. Entsprechend **Bild 11** können sie als Allstromschalter eingesetzt werden. Daneben gelten für diese Lösung all die Vorteile, die Halbleiter ermöglichen:

- $\mu\text{P/TTL}$ -kompatibler Eingang
- prellfreies Schalten
- Unempfindlichkeit gegenüber Lageänderung, Vibration, Schock, Magnetfeld usw.

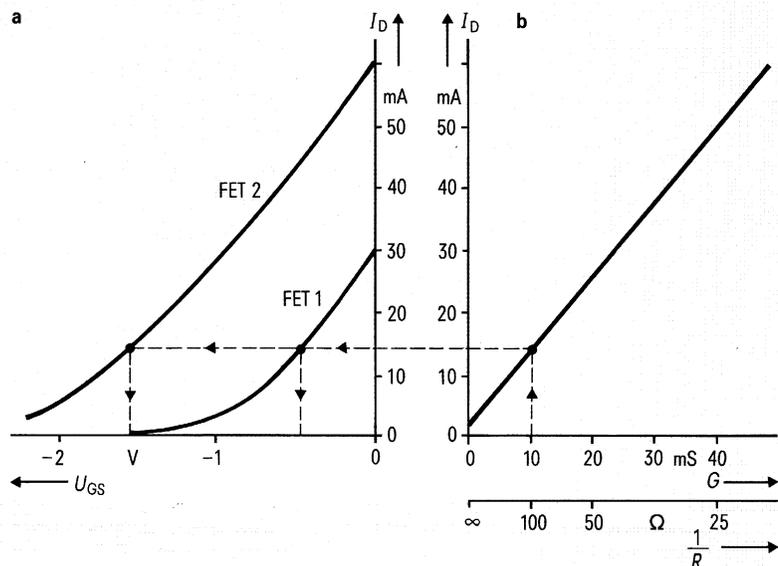


Bild 9 Schematisierte Darstellung der Arbeitspunkteinstellung für die Schaltung nach **Bild 8** für Antennenverstärker

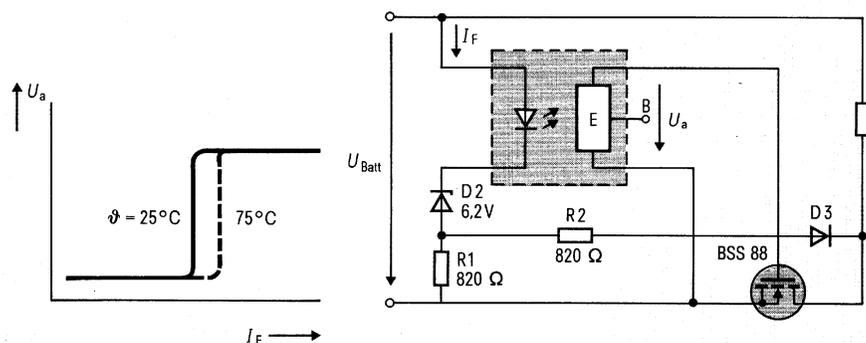


Bild 10 Lastabschaltung bei Unterspannung mit BSA 21. Die Besonderheit der Schaltung liegt vor allem in der einfachen potentialfreien Ansteuerung des Längstransistors

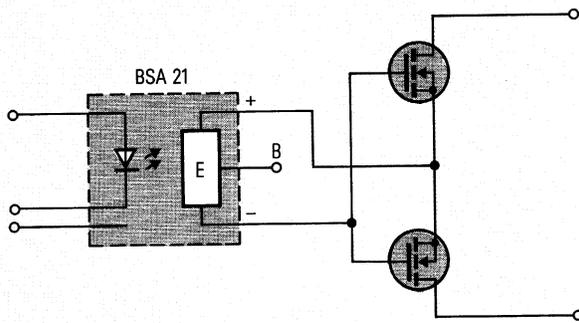


Bild 11 AC-Analogschalter unter Verwendung des FET-Treibers BSA 21 mit galvanisch getrenntem Ausgang (für beliebige Kleinsignaltransistoren geeignet)

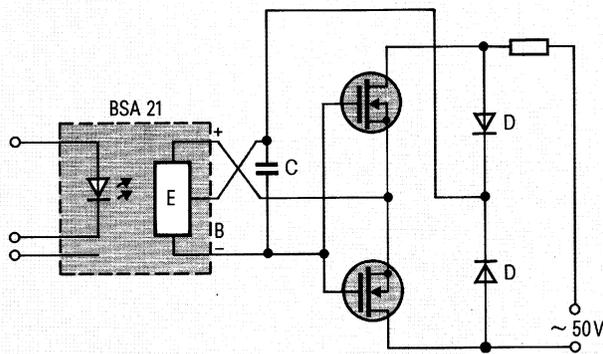


Bild 12 AC-Relais für höhere Ausgangsströme unter Verwendung des FET-Treibers BSA 21 und von Hochstrom-SIPMOS-Leistungstransistoren. Zur Beschleunigung wird der im abgeschalteten Zustand aufgeladene Kondensator C als Energiequelle zur Ladung der Eingangskapazitäten verwendet

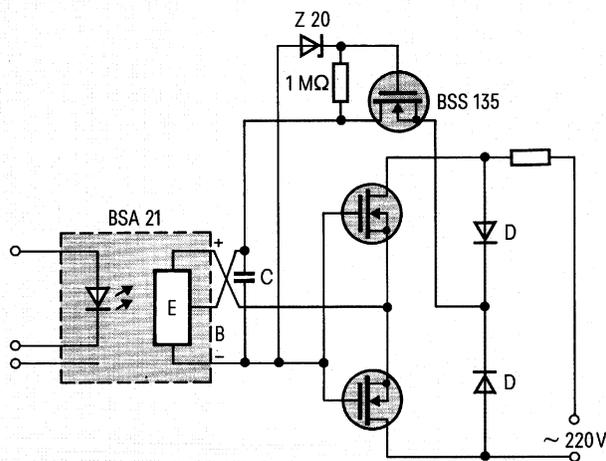


Bild 13 AC-Relais für hohe Spannungen mit hochsperrenden SIPMOS-Transistoren, z. B. BUZ 330. Der SIPMOS-Kleinsignaltransistor BSS 135 dient zur Limitierung der Spannung am Kondensator C

Die Kenndaten am Ausgang können weitgehend vom Anwender bestimmt werden, indem für den jeweiligen Fall die passenden Transistoren verwendet werden. Das Typenspektrum von SIPMOS-Transistoren umfaßt bedrahtete Bauformen (TO-92, TO-18, TO-202, TO-220, TO-218, TO-3) sowie die SMD-Bauformen SOT-23, SOT-89, SOT-223 in den verschiedensten Varianten bezüglich Strom und Spannung.

Mit zwei nach **Bild 11** in Serie geschalteten MOS-Transistoren können auf einfache Weise AC-Schalter aufgebaut werden. Zur Ansteuerung der beiden Transistoren ist nur eine Spannungsquelle nötig, deren Spannung jedoch unabhängig vom Ausgangspotential sein muß. Wie auch bei der Ansteuerung von Einzeltransistoren mit R_L an Masse, ist dazu bei Verwendung herkömmlicher Bauelemente ein relativ großer Aufwand nötig. Mit dem FET-Treiber reduziert sich der Schaltungsaufwand für die Ansteuerung auf einen Bauelement.

Für höhere Schaltgeschwindigkeiten wird nach **Bild 12** über die Dioden D der Pufferkondensator zum Laden der Eingangskapazitäten C_{iss} herangezogen. Wenn solch eine Schaltung für das 220-V-Netz geeignet sein soll, oder wenn am Ausgang mit hohen Spannungsspitzen zu rechnen ist, wie sie beim Schalten von Induktivitäten vorkommen können, so kann für die Versorgung des Pufferkondensators C eine Schaltung nach **Bild 13** mit dem 600-V-Depletion-Transistor BSS 135 verwendet werden.

Die FET-Treiber BSA 21 und BSA 22 sind ein ideales Bindeglied zwischen Central Processing Unit und peripheren Schaltern. Eingangsseitig sind die Bauteile TTL-, CMOS- bzw. mikroprozessorkompatibel. Am Ausgang besteht die Möglichkeit, je nach Bedarf einen Transistor kleinerer oder größerer Leistung zu verwenden oder Transistoren niedrigerer oder höherer Sperrspannung. Dem Anwender bleibt die Wahl zwischen verschiedenen Gehäusebauformen bzw. bedrahteten oder SMD-Transistoren. Durch die Verfügbarkeit von Depletion-Transistoren eröffnet sich eine weitere Variante. Anstelle des Schalters nach **Bild 13**, der mittels des Eingangssignales einschaltet, kann mit der Kombination BSA 21 und Depletion-Transistoren auch ein Schalter aufgebaut werden, der

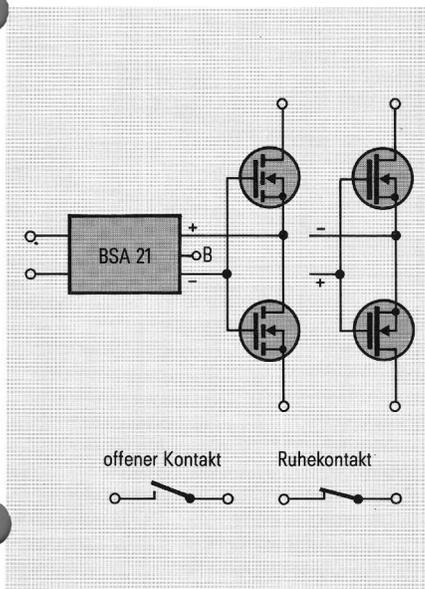


Bild 14 Wechselstromrelais (Analog-Schalter) für Ruhekontakt (Depletion-Transistor) und Arbeitskontakt (Enhancement-Transistor)

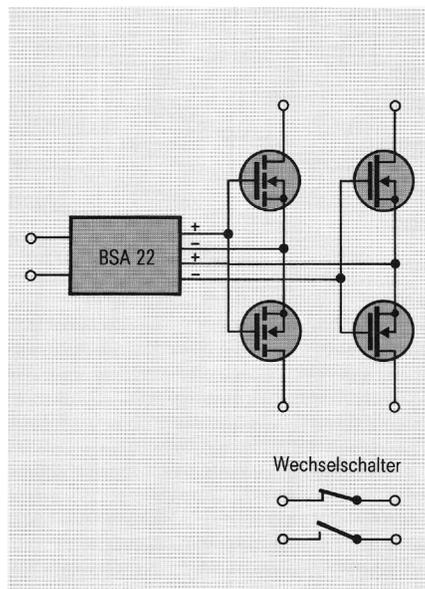


Bild 15 Unter Verwendung des Dual-FET-Treibers BSA 22 kann ein monolithischer Wechselschalter aufgebaut werden, indem sowohl Depletion- (Ruhekontakt) als auch Enhancement-Transistoren (Arbeitskontakt) eingesetzt werden

sollen auch während des Betriebs ausgetauscht bzw. repariert werden können. Der Schalter nach **Bild 16** erfüllt diese Forderungen. Die einzelnen Module können durch die zentrale Bus-Überwachung bei Fehlermeldung automatisch abgeschaltet werden, so daß die Anlage bzw. das Fahrzeug weiterhin betriebsbereit ist. Selbstverständlich können durch externe Schalter Teile der Anlage für Reparatur- oder Wartungszwecke auch von Hand abgeschaltet werden. Der Einsatz derartiger Schalter erhöht die Betriebszeit der Anlage. Da mechanische Schalter entfallen, werden auch höhere Zuverlässigkeitsansprüche bei ungewöhnlichen Betriebsbedingungen, wie Beschleunigung oder Vibration, erfüllt. Hinzu kommt, daß bei Verwendung von Depletion-Transistoren die Module ohne Ansteuersignal eingeschaltet sind und nur während der wesentlich kürzeren Test-, Wartungs- oder Reparaturzeiten ausgeschaltet werden. Demgegenüber wird man bei Modulen, die nur sehr kurze Zeit in Betrieb genommen werden, vorzugsweise Enhancement-Transistoren einsetzen.

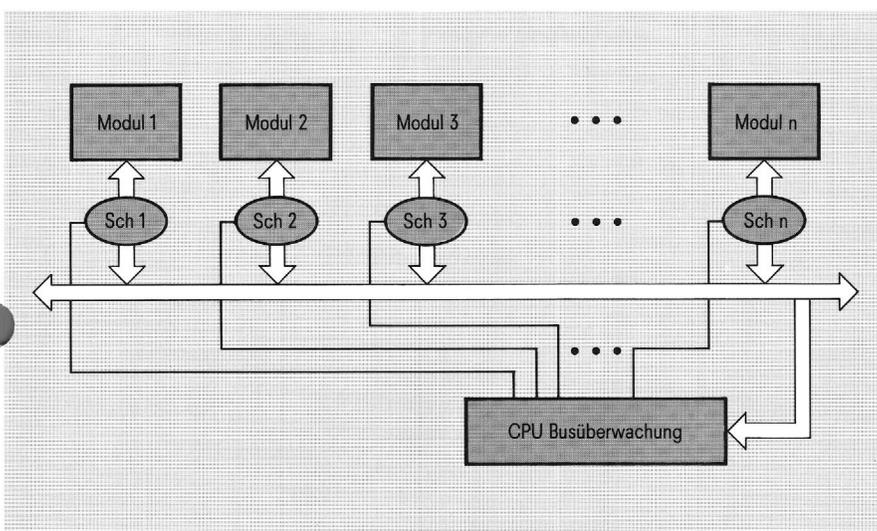


Bild 16 Das Schaltersystem, aufgebaut nach Bild 14 und Bild 15, trennt die peripheren Module vom Zentralbus einer DV-Anlage

im Ruhezustand leitend ist und bei Anlegen eines Eingangssignals in den Sperrzustand übergeht. Wie bereits erwähnt, werden beim FET-Treiber BSA 22 zwei Ausgänge angesteuert. Dadurch kann auf einfachste Art und Weise ein Wechselschalter aufgebaut werden, indem für den Ruhekontakt Depletion-Transistoren und für den offenen Kontakt Enhancement-Transistoren verwendet werden (**Bild 15**).

Bussysteme für DV-Anlagen

Die Schaltung nach Bild 10 ist ein ideales Bindeglied zu den verschiedenen Modulen komplexer DV-Anlagen. In der Automatisierungstechnik und bei elektronischen Steuerungen in Kraftfahrzeugen werden vorteilhaft busorientierte Rechensysteme verwendet. Zu den Voraussetzungen für solche Anlagen gehört, daß der Ausfall eines Moduls nicht die gesamte Anlage stilllegt. Die Module