

Anwendung von SIPMOS-Transistoren in Solarstromversorgungen

Eine kontinuierliche Solarstromversorgung erfordert einen elektrischen Energiespeicher, um Perioden mit geringem Sonnenenergieeinfall bzw. Nachtstunden zu überbrücken.

Zu diesem Zweck werden von verschiedenen Herstellern Bleiakkumulatoren angeboten, die eine hohe Lebensdauer von etwa 15 Jahren aufweisen, wenn geeignete Laderegler Verwendung finden.

Gefordert wird von einem solchen Laderegler:

- Überladungsschutz des Akkus,
- Ladung mit Spannungsbegrenzung »U-Ladung«,
- geringste Durchlaßverluste am Regeltransistor,
- sehr kleiner Leistungsverbrauch des Ladereglers,
- weiter Temperaturbereich,
- hohe Zuverlässigkeit,
- Rückstromschutz bei abgedunkeltem Solarmodul,
- Verpolungsschutz sowie
- kleine Bauform, d. h. geringer Aufwand.

In folgenden werden drei Laderegelschaltungen beschrieben. Durch Verwendung von SIPMOS®-Transistoren und den neuen »PNP«-Operationsverstärkern (PNP-Eingangsstufe) TAE 2453A bzw. TAE 4453A beträgt die Leistungsaufnahme jeweils nur 40 mW. Alle Schaltungen sind für 12-V-Systeme ausgelegt.

Regelprinzip

Verwendet wird bei allen Schaltungen ein Serienregler, der sehr kompakt aufgebaut werden kann. Im ungünstigsten Betrieb treten an ihm nur etwa 30% von der Verlustleistung auf, die die häufig eingesetzten »Shuntregler« aufweisen. Die erste Schaltungsvariante arbeitet mit der üblichen Rückstromdiode, die eine Entladung des Akkus über das abgedunkelte Solarmodul verhindert. Bei den anderen Schaltungsvarianten wird diese Diode durch einen SIPMOS-Transistor ersetzt, was ein noch besse-

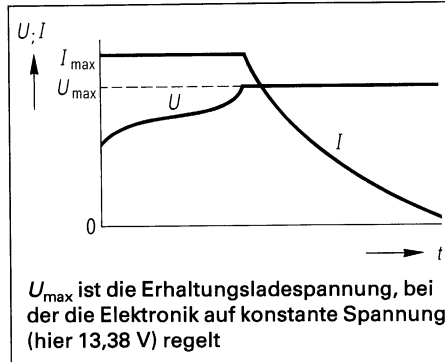


Bild 1 Ladekurven eines Bleiakkus mit »U-Ladung«

res Ausnützen der Solarenergie möglich macht.

Um ein Gasen zu verhindern, begrenzt der Regler die Zellenspannung des angeschlossenen Akkus bei der Ladung auf maximal 2,23 V. Bei kleinerer Zellenspannung erfolgt das Laden grundsätzlich mit vollem Solargeneratorstrom. Eine Überlastung des Akkus ist dabei ausgeschlossen, da das Solarmodul als Stromkonstantquelle wirkt und der maximal zulässige Ladestrom auch bei größter Beleuchtungsstärke nicht überschritten wird.

Wenn die Erhaltungsladespannung des Akkus erreicht ist, wird auf konstante Spannung geregelt (sogenannte »U-Ladung«), wobei der Akku selbst den Ladestrom bestimmt, bis schließlich nur noch der Erhaltungsladestrom fließt (Bild 1). Dieses Ladeverfahren garantiert nicht nur eine hohe Lebensdauer des Bleiakkus, sondern führt auch zu einer vollständigen Nutzung der Akku-Ladekapazität.

Als Regeltransistoren werden in allen Schaltungen die extrem niederohmigen SIPMOS-Transistoren BUZ 11 verwendet, deren Drain-Source-Einschaltwiderstand nur 40 m Ω beträgt, so daß praktisch keine Solarleistung verloren geht.

Die Leistungsverstärkung von SIPMOS-Transistoren ist nahezu unendlich groß. Dadurch konnte die Stromauf-

nahme der Regelschaltungen außerordentlich klein gehalten werden.

Laderegler mit Rückstromsperrdiode Ladestromkreis

Bild 2 zeigt die Schaltung des Ladereglers mit Rückstromsperrdiode. Das Solarmodul SFH 140-36 (maximale Leistungsabgabe 33 W) liefert die Energie in einen 12-V-Akku. Als Serienregler ist, wie erwähnt, der SIPMOS-Transistor BUZ 11 vorgesehen. Bei einem maximalen Solargeneratorstrom von 2 A beträgt der Durchlaßverlust am Serienregler nur 0,16 W und ist damit gegenüber der Verlustleistung der Rückstromsperrdiode (= 1,8 W) vernachlässigbar klein. Die Rückstromsperrdiode D2 ist notwendig, da der PN-Übergang zwischen Drain und Source beim SIPMOS-Transistor T3 eine Inversdiode bildet und damit einen Rückstrom ermöglichen würde.

Laderegulation (U-Ladung)

Der OP1 ist als Regelverstärker geschaltet. Wenn der Akku die Erhaltungsladespannung von 13,38 V erreicht, wird der Ladestrom durch den SIPMOS-Transistor zurückgeregelt. OP1 vergleicht die geteilte Batteriespannung mit der Referenzspannung an D3 und steuert über R8, R9 und T2 den SIPMOS-Transistor T3 an. Innerhalb einer Batteriespannungsänderung von nur 10 mV wird der Ladestrom von 2 A auf Null zurückgeregelt. Der Regler arbeitet stabil und ohne jede Schwingneigung in diesem kleinen Spannungsbereich. Der Abgleich mit P1 muß so erfolgen, daß bei der Erhaltungsladespannung des Akkus die Stromregelung eintritt.

Temperaturstabilität der Abschaltchwelle

Da die Temperaturstabilität normaler Z-Dioden für diese Anwendung nicht ausreicht, wird eine Referenzdiode (1N 823A) verwendet. Der Temperaturgang der Abschaltchwelle ist < 70 mV im Temperaturbereich von -25 bis

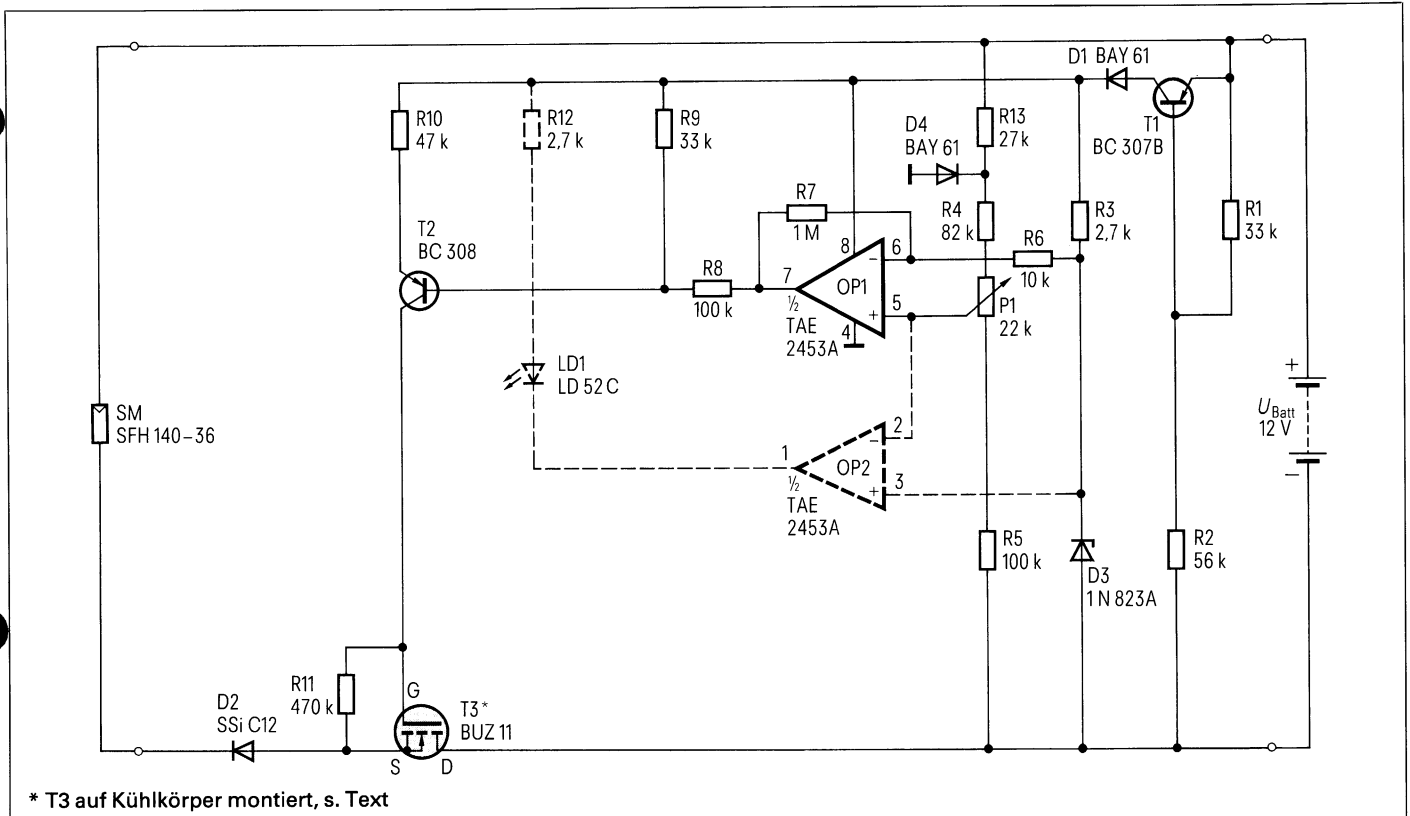


Bild 2 Schaltung des Ladereglers mit Rückstromsperrdiode

+85°C und wird allein durch das Referenzelement bestimmt. Die Referenzdiode benötigt einen minimalen Arbeitsstrom von 2 mA.

Verpolungsschutz

Der Transistor T1 sowie die Dioden D1 und D4 sind als Verpolungsschutz vorgesehen. Der Regler ist damit gegen jegliches Falschpolen der Ein- und Ausgangsklemmen gesichert.

Zustandsanzeige

Der OP2 ist als Komparator geschaltet, dessen Ausgang LD1 ansteuert,

wenn die Erhaltungsladespannung erreicht wird.

Verlustleistungsbetrachtung

Im Kennlinienfeld $I_p = f(U_p)$ des Solarmoduls SFH 140-36 (Bild 3) ergibt sich im Arbeitspunkt 2 A/19 V ($T_U = 0^\circ\text{C}$) die maximale Verlustleistung am Regeltransistor. Dabei beträgt die Spannung am SIPMOS-Transistor $19\text{ V} - 13,38\text{ V} = 5,62\text{ V}$ und die maximale Verlustleistung demzufolge $5,62\text{ V} \times 2\text{ A} = 11,24\text{ W}$. Diese maximale Verlustleistung muß vom Kühlkörper

Technische Daten der 12-V-Laderegler mit Rückstromsperrdiode (Bild 2) und ohne Rückstromsperrdiode (Bilder 4 und 5)

Typische Durchlaßverlustleistung bei voll durchgesteuertem SIPMOS-Transistor ($I_p = 2\text{ A}$; $U_{\text{Batt}} \leq 13,38\text{ V}$)	$P_{V\text{ typ}}$	2,16 W (Bild 2) 320 mW (Bilder 4 und 5)
Maximale Verlustleistung im Regelbetrieb ($T_U = 0^\circ\text{C}$)	$P_{V\text{ max}}$	11,24 W
Maximale Modulspannung ($I_p = 0\text{ A}$)	$U_{p\text{ max}}$	23 V
Erhaltungsladespannung	$U_{\text{Batt max}}$	13,38 V
Minimal zulässige Batteriespannung	$U_{\text{Batt min}}$	4 V
Spannungsänderung (Regelbereich) für eine Stromrückregelung von 2 A auf 0 A	ΔU_{Batt}	10 mV
Temperaturstabilität der Abschaltsschwelle (13,38 V) im Bereich von -25 bis +85°C	ΔU_θ	$\leq 70\text{ mV}$
Eigenstromaufnahme	I_S	3 mA
$U_{\text{Batt}} = 13,38\text{ V}$	I_{S1}	6,7 mA
$U_{\text{Batt}} = 13,38\text{ V}$; mit einer LED	I_{S2}	10 mA
mit zwei LED	T_U	-25 bis +85°C
Betriebstemperaturbereich		
Kühlkörper für T3: $R_{\text{thk}} \leq 8\text{ K/W}$		

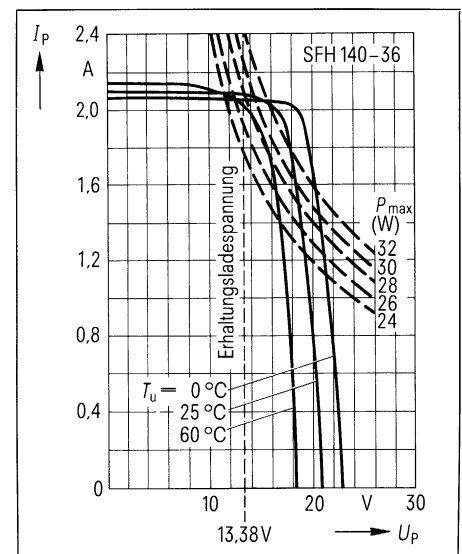


Bild 3 Solarmodul I_p in Abhängigkeit von der Spannung U_p beim Großflächen-Solarmodul SFH 140-36; Parameter ist die Umgebungstemperatur T_U

($R_{\text{thk}} \leq 8\text{ K/W}$)* des SIPMOS-Transistors abgeführt werden. Die technischen Daten der Schaltung nach Bild 2 sind in der Tabelle zusammengestellt.

* Unter der Annahme, daß der Solargenerator und die Regelelektronik bei gleicher Umgebungstemperatur betrieben werden.

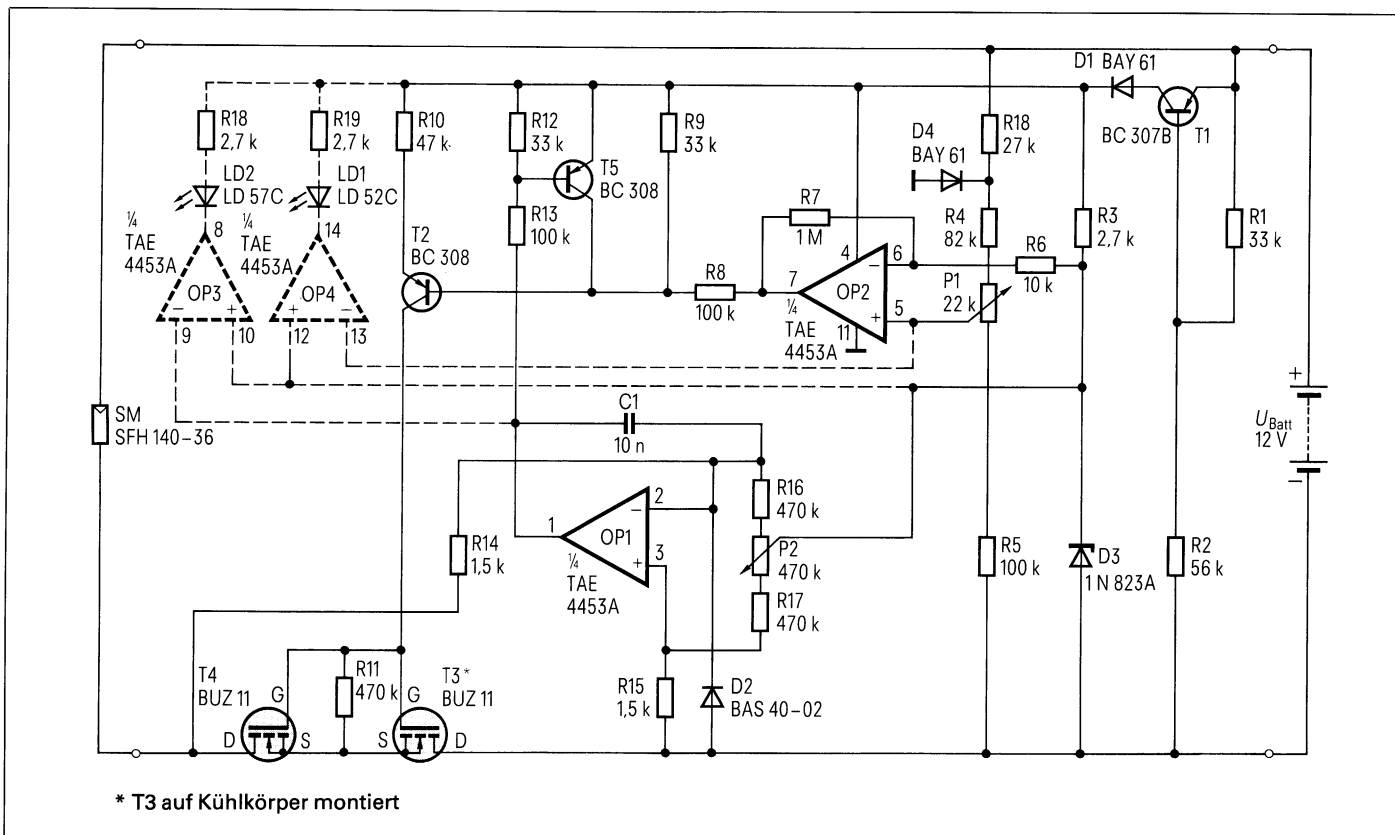


Bild 4 Schaltung des Ladereglers mit SIPMOS-Transistor anstelle einer Rückstromsperrdiode

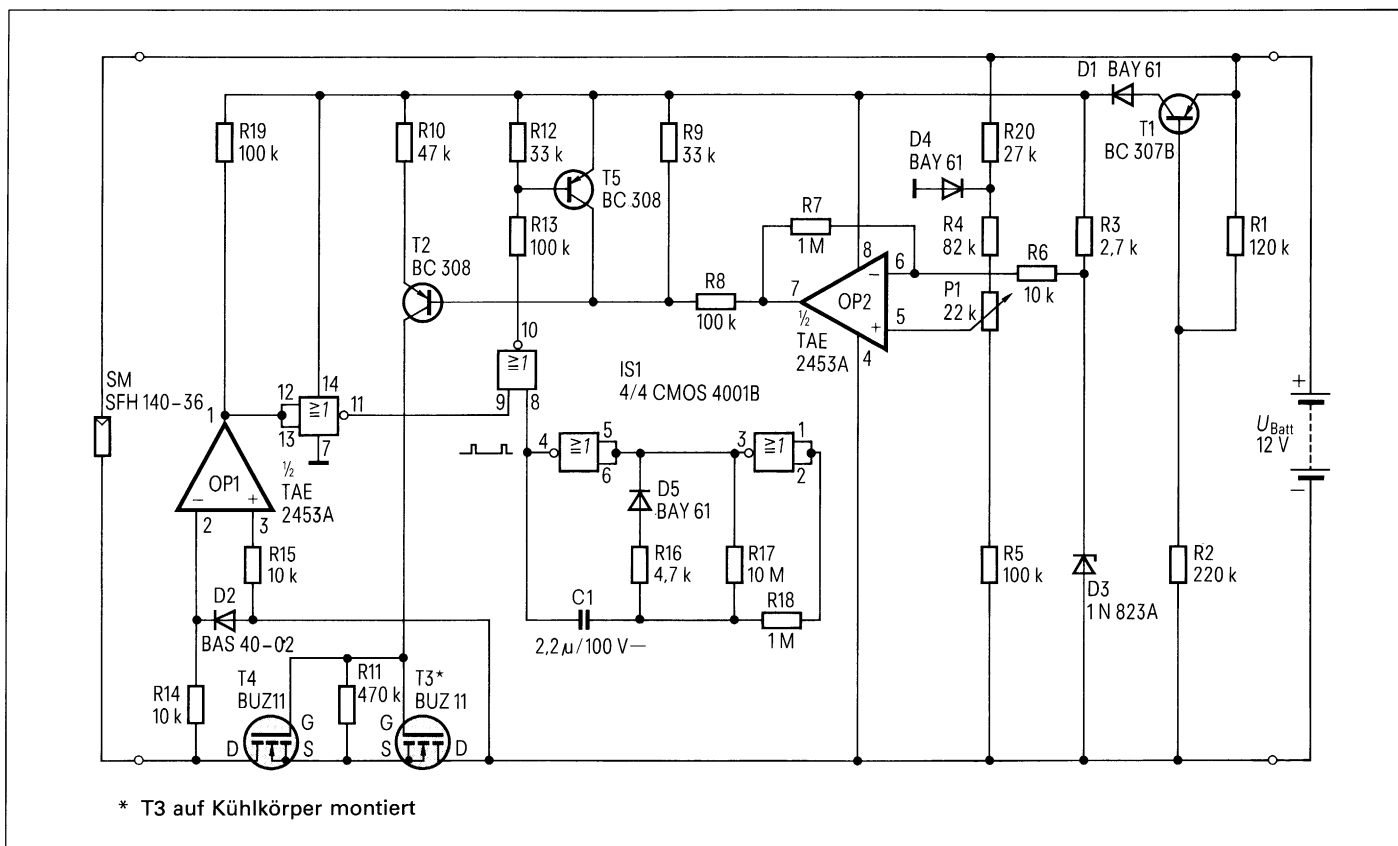


Bild 5 Schaltung des Ladereglers mit SIPMOS-Transistor anstelle einer Rückstromsperrdiode und mit periodischem Spannungsvergleich zur Rückstromabschaltung. Die verwendeten Bauteile sind in der Stückliste zusammengestellt

Stückliste für die Schaltung nach Bild 5

		Bestell-Nr.
C1	MKT-Schichtkondensator, 2,2 μ F \pm 5%, 100 V-	B32562-D1225-J
D1	Silizium-Schaltdiode BAY 61	Q62702-A389
D2	Schottky-Diode BAS 40-02	Q62702-A629
D3	Silizium-Referenzdiode 1 N 823A; 5,9 bis 6,5 V	Q62702-Z769-F82
D4	Silizium-Schaltdiode BAY 61	Q62702-A389
IS1	CMOS-4fach-NOR-Glied mit je 2 Eingängen, HEF 4001B	-
OP1	PNP-Zweifach-Operationsverstärker TAE 2453A	Q67000-A2107
P1	Trimmerwiderstand 22 k Ω , 0,1 W	-
R1 bis R20	Kohleschichtwiderstände KARBOWID [®] , 0,5 W	B51370-A2*** - + (vollständige Bestell-Nr. je nach Wert)
SM	Großflächen-Solarmodul SFH 140-36 (33 W; für 12-V-Akkus geeignet)	Q62702-P842-F1
T1	Silizium-NF-Transistor BC 307B	Q62702-C324
T2	Silizium-NF-Transistor BC 308	Q62702-C704
T3, T4	SIPMOS-Transistor BUZ 11	C67078-A1301-A2
T5	Silizium-NF-Transistor BC 308	Q62702-C704

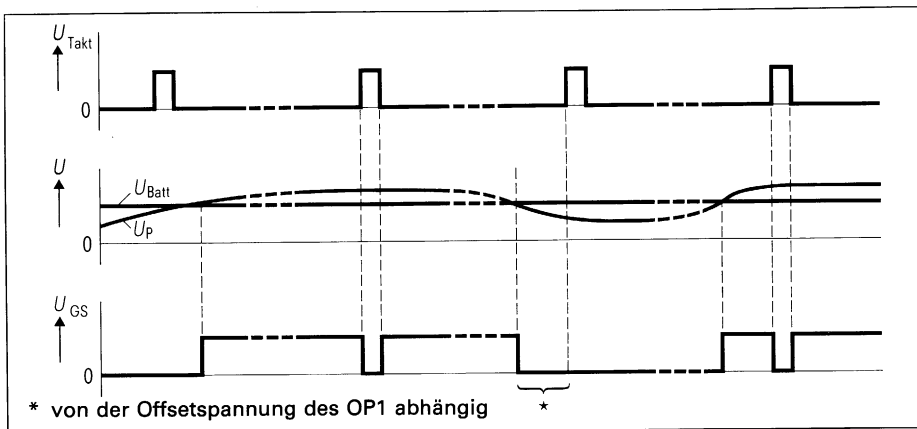


Bild 6 Impulsdiagramm für das periodische Abfragen der Polarität an den SIPMOS-Transistoren zur Rückstromabschaltung (Schaltung nach Bild 5)

Laderegler mit SIPMOS-Transistor anstelle der Rückstromsperrdiode

In der Schaltung nach Bild 2 entsteht beim Laden des Akkus an der Rückstromsperrdiode eine beträchtliche Verlustleistung von 1,8 W. Die Schaltung Bild 4 zeigt, wie man bei Ersatz dieser Diode durch einen weiteren SIPMOS-Transistor die Verlustleistung stark reduzieren und damit die Solarenergie noch besser nutzen kann.

Schaltungsbeschreibung von Bild 4

Gate und Source der beiden SIPMOS-Transistoren sind zusammengeschaltet. Es kann dadurch eine gemeinsame Ansteuerung erfolgen. Die Drain-Source-Diode von T4 ist in Sperrrichtung gepolt, solange die Solarmodulspannung kleiner als die Akkuspannung ist. Ohne Ansteuerung der SIPMOS-Transistoren kann somit kein Rückstrom fließen. Während des Ladens, das Gate ist angesteuert, werden

T3 und T4 niederohmig geschaltet. Der Kanalwiderstand der beiden SIPMOS-Transistoren beträgt dann $2 \times 0,04 \Omega$ und die Verlustleistung bei einem Panelstrom von 2 A nur 0,32 W. OP1 ist als Komparator geschaltet. Er mißt die Polarität der Spannung zwischen den Drainanschlüssen der SIPMOS-Transistoren und sperrt über T5 und T2 die SIPMOS-Transistoren, wenn die Solargeneratorspannung kleiner als die Akkuspannung ist. OP1 muß bei einer gegenüber Substrat negativen Eingangsspannung noch funktionieren. Hierzu eignen sich der Doppel-Operationsverstärker TAE 2453A und der Vierfach-Operationsverstärker TAE 4453A.

Offsetabgleich

Der sehr niederohmige SIPMOS-Kanal macht einen Offsetabgleich notwendig. Bei einem Offset von -5 mV könnte ohne Abgleich ein Rückstrom von

$5 \text{ mV} / 0,08 \Omega = 62,5 \text{ mA}$ fließen. Der Offsetabgleich erfolgt mit P2. Dabei müssen die SIPMOS-Transistoren überbrückt werden und der Ausgang von OP1 auf »Low« wechseln.

Zustandsanzeige

Wird eine Zustandsanzeige gewünscht, so können die beiden weiteren OP des TAB 4453 dazu verwendet werden. LD 1 leuchtet bei Erreichen der Erhaltungsladespannung (U_{max} in Bild 1). LD 2 leuchtet, wenn ein Ladestrom fließt.

Verbesserte Schaltung nach Bild 5

Beim Laderegler mit Stromrichtungserkennung nach Bild 4 ist die Rückstromabschaltung durch den geringen Spannungsabfall am niederohmigen SIPMOS-Kanal nur mit einem Offsetabgleich möglich. Der Laderegler nach Bild 5 kommt ohne diesen Abgleich aus. Während des Ladevorgangs werden T3/T4 durch den CMOS-Taktgenerator (IS1) periodisch alle 14 s kurzzeitig (15 ms) gesperrt. In der Sperrphase stellt der Komparator OP1 die Polarität des Potentials über den SIPMOS-Transistoren T3 und T4 fest. Ist die Solarmodul-Leerlaufspannung kleiner als die Akkuspannung, so kippt der Komparator auf »Low« und die SIPMOS-Transistoren bleiben durch das nachfolgende NOR-Glied gesperrt. Dieser Zustand bleibt solange erhalten, bis die Solarmodul-Leerlaufspannung größer als die Akkuspannung ist. Ist dies der Fall, kippt der Ausgang des Komparators OP1 auf »High«; die Ladung und der Abtastvorgang werden wieder fortgesetzt. Das Impulsdiagramm Bild 6 zeigt den Funktionsverlauf.

Bei dem hier vorliegenden extrem kleinen Tastverhältnis von $\approx 1 : 1000$ ist beim Laden durch das kurzzeitige Sperren praktisch kein Energieverlust zu verzeichnen. Die Schaltung kann um eine Zustandsanzeige, wie in Bild 4 angegeben, erweitert werden. Die technischen Daten der Schaltung nach Bild 5 sind identisch mit denen der Schaltung nach Bild 4 und in der Tabelle zusammengestellt.

Leistungserweiterung

Zur Steigerung der Ladeleistung können mehrere Solarmodule mit je einem Laderegler auf den gleichen Akku arbeiten. Ebenso besteht die Möglichkeit, den Leistungsteil des Ladereglers (SIPMOS-Transistoren, Rückstromschutzdiode) noch leistungsstärker auszuführen, so daß mehrere, parallelgeschaltete Solarmodule auf einen Laderegler arbeiten. Dies gilt für alle drei Schaltungen.

Alfred Hauenstein, Bernhard Schwager