

Ladeschaltung nach dem Reflex-Ladeverfahren

Für eine besonders effektive Schnellladung von NiCd- und NiMH-Akkus sorgt die hier vorgestellte Ladeschaltung. Die Schaltung ist mit einem speziellen, nach dem patentierten Reflex-Ladeverfahren arbeitenden Ladecontroller ausgestattet.

Allgemeines

Beim Reflex-Ladeverfahren erfolgt die Ladung grundsätzlich mit hohem Strom. Zur Erhöhung der Ladeeffektivität folgt periodisch nach einer kurzen Pause ein kurzer Entladeimpuls mit noch höherem Strom. Durch Elektrolyseprozesse entstehende Sauerstoffbläschen an den Elektroden werden dadurch abgebaut und die Erhöhung des Innenwiderstands verhindert.

Besonders bei sehr hohen Ladeströmen, d. h. wenn der entladene Akku in kürzester Zeit wieder zur Verfügung stehen soll, bietet dieses Ladeverfahren Vorteile. So verhindert das Reflex-Ladeverfahren den Memory-Effekt bei NiCd-Akkus auch ohne Vorentladung.

Der sogenannte Memory-Effekt entsteht

dadurch, daß sich an der Nickel-Elektrode mehr oder weniger große Kalium-Hydroxid-Kristalle bilden, die zur Verringerung der effektiven Elektrodenfläche führen. Durch mehrfache Entlade-/Ladezyklen ist der Memory-Effekt in den meisten Fällen wieder zu beseitigen. Allgemein wird zur Verhinderung des Memory-Effekts in regelmäßigen Zeitabständen (jeder 5. bis 10. Ladezyklus) eine Entladung des Akkus bis zur Entladeschlussspannung empfohlen.

Wird der zu ladende Akku mit einem sehr hohen Ladestrom beaufschlagt, so entstehen, wie bereits erwähnt, durch Elektrolyse-Prozesse an den Elektroden kleine Sauerstoffbläschen, die zur Reduzierung der Elektrodenfläche und somit zur Erhöhung des Innenwiderstands führen. Dadurch wird die Ladeeffektivität verschlechtert, und der Akku erwärmt sich mehr und

mehr, da die Energie nicht mehr vollständig aufgenommen werden kann. Der Druck innerhalb des Akkus kann dann unzulässig hohe Werte erreichen.

Auch beim Reflex-Ladeverfahren entstehen zunächst aufgrund des hohen Ladestroms die Sauerstoffbläschen an den Elektroden. Durch den periodisch auftretenden Entladeimpuls mit umgekehrtem Stromfluß werden bei diesem Ladeverfahren die kleinen Bläschen gelöst und rekombiniert.

Abbildung 1 zeigt dazu den zeitlichen Ablauf während des Schnellladevorgangs beim eingesetzten Ladecontroller des Typs ICS 1702. Ladezeiten von weniger als 30 Min. sind dabei realisierbar.

Nach dem Start des Ladevorgangs erfolgt zunächst innerhalb der ersten zwei Minuten ein Softstart, in dem kontinuierlich die Ladeimpulse verbreitert werden.

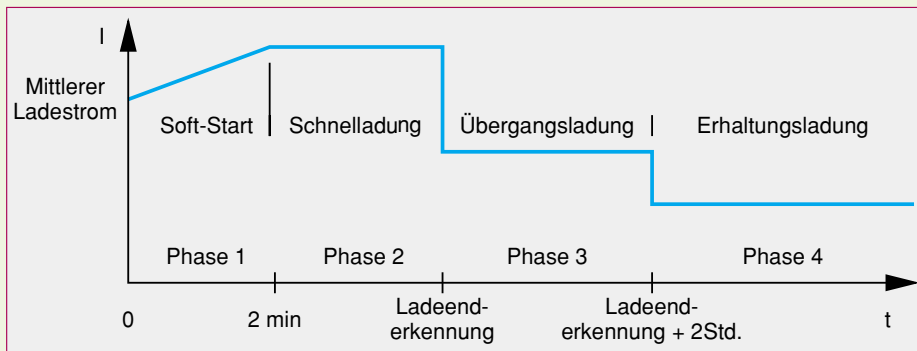


Bild 1: Zeitlicher Ablauf des Ladevorgangs beim ICS 1702

Der Schnelladestrom steigt dadurch im arithmetischen Mittel kontinuierlich an. Die Schnellladung erfolgt dann mit maximaler Ladeimpulsbreite.

Sobald der Controller durch Spannungsgradienten-Auswertung am Akku das Ladeende erkennt, hat der angeschlossene Akku bereits ca. 90 % der speicherbaren Energie aufgenommen. Der Controller wertet dabei anstatt der Absolutspannung die Steigungsgeschwindigkeit der Ladenspannung aus, wobei das Abschaltkriteri-

kleinen Sauerstoffbläschen an den Elektroden abzubauen (Rekombination durch den umgekehrten Stromfluß).

Die in Abbildung 2 dargestellte Impulsfolge während der Schnellladung wiederholt sich beim ICS 1702 ungefähr im Sekundenzyklus. Abhängig von der externen Programmierung (SEL 0, SEL 1) sind mit dem ICS 1702 Schnellladezeiten von 15 Minuten bis 4 Stunden realisierbar. Bei 15 Minuten Schnellladezeit muß die Amplitude des Ladestromimpulses dann dem

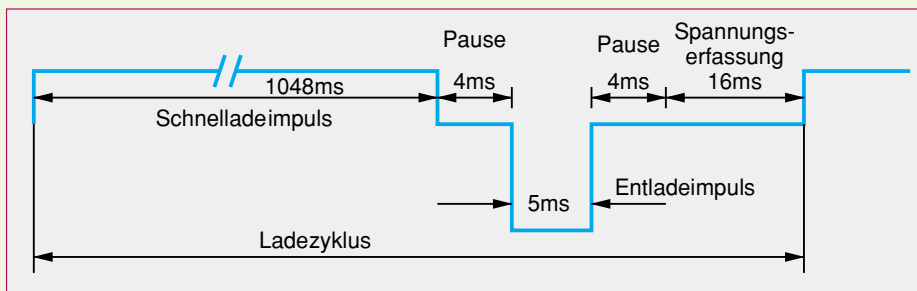


Bild 2: Ladezyklus des ICS 1702

um erreicht ist, sobald die Steigungsgeschwindigkeit der Akkuspannung zu 0 wird.

Ein Akku, der so schnell wie möglich geladen zur Verfügung stehen soll, kann bereits zu diesem Zeitpunkt aus dem Ladegerät entnommen werden. Ansonsten erfolgt im Anschluß an die Schnellladung eine zweistündige Impulsübergangsladung mit 10 % des maximalen Ladestroms, um den Akku auf 100 % der speicherbaren Energie zu bringen.

Nach der „Top-off-Charge“-Phase ist der angeschlossene Akku dann vollständig geladen, und der Controller schaltet automatisch in den Erhaltungslade-Modus mit C/40 Stromimpulsen um. Durch Selbstentladung entstehende Ladungsverluste werden dabei ständig wieder ausgeglichen. In diesem Betriebszustand darf der Akku zeitlich unbegrenzt am Ladegerät angeschlossen bleiben.

Betrachten wir nun detailliert den in Abbildung 2 dargestellten Schnellladevorgang. Im Gegensatz zu anderen Ladecontrollern besteht der Schnelllademodus des ICS 1702 nicht nur aus Lade-, sondern auch aus kurzen Entlade-Impulsen, um die während der Schnellladung entstehenden

vierfachen Wert der Akku-Nennkapazität entsprechen, d. h. also bei einem 0,5Ah-Akku 2 A.

Vorsicht! Die Schnellladung in 15 Min. ist nur bei entsprechend schnellladefähigen Akkus zulässig.

Nach jedem Ladeimpuls kommt eine kurze 4 ms lange Pause. Die Amplitude des

darauf folgenden Entladestromimpulses soll ungefähr 2 bis 3 mal so groß wie der Ladestromimpuls sein. Wird z. B. mit 2 A Ladestromimpulsen gearbeitet, so sind Entladestromimpulse von ungefähr 5 A erforderlich.

Es folgt nach einer weiteren 4 ms langen Pause die stromlose Erfassung der Akkuspannung für die Ladeerkennung. Sobald die Spannungserfassung abgeschlossen ist, folgt der nächste Ladeimpuls und der zuvor beschriebene Zyklus beginnt von neuem.

Für die Ladeerkennung wertet der Mikrocontroller immer mehrere aufeinanderfolgende Spannungsmeßwerte aus. Entscheidend ist dabei das Spannungsverhalten am Akku, oder besser gesagt die Steigungsgeschwindigkeit der Spannung.

Die obere Kurve in Abbildung 3 zeigt den typischen Spannungsverlauf am Akku während des Ladevorgangs und die untere Kurve die daraus abgeleitete Änderungsgeschwindigkeit.

Um bei Akkus, die kein normales Spannungsprofil aufweisen oder defekt sind, ebenfalls eine sichere Ladeerkennung zu garantieren, wird beim ICS 1702 zusätzlich die $-\Delta U$ -Methode genutzt. Sobald die Spannung am Akku leicht sinkt, ist dies ein sicheres Indiz für den Beginn einer leichten Überladung. Der Mikrocontroller stoppt daraufhin sofort die Schnellladung. Des Weiteren wird bei jedem Start des Ladevorgangs ein Sicherheits-Timer gesetzt, der nach Ablauf, unabhängig vom Spannungsverhalten am Akku, den Schnellladevorgang beendet.

Nach der Schnellladung steht der Akku mit ca. 90 % der maximalen Kapazität zur Verfügung. Um den Akku auf 100 % der zur Verfügung stehenden Kapazität zu bringen, ist noch eine Übergangsladung mit geringerem Ladestrom erforderlich.

Wie bereits erwähnt, beginnt die Phase der Übergangsladung automatisch, sobald

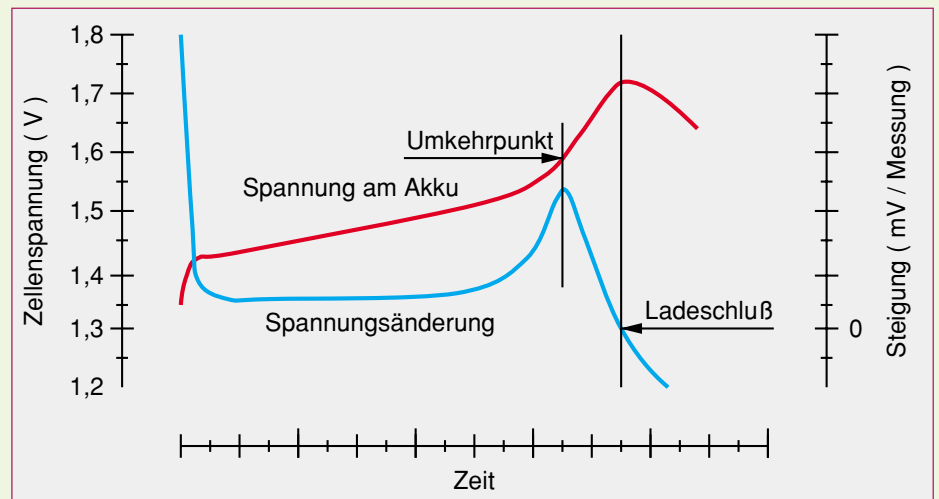


Bild 3: Spannungsverlauf an einer Zelle und die daraus abgeleitete Änderungsgeschwindigkeit

die Schnellladung vom Mikrocontroller beendet wurde. Der Akku wird hierbei mit einem Strom geladen, der 10 % seiner Nennkapazität entspricht. Bei 30 Minuten Schnellladezeit erhalten wir dann alle 20 Sekunden einen Ladeimpuls.

Nach der Übergangsladung erfolgt als letzte Phase die zeitlich unbegrenzte Erhaltungsladung. Durch Selbstentladung entstehende Kapazitätsverluste werden durch entsprechende Stromimpulse, die 1/40 der Nennkapazität entsprechen, ausgeglichen.

Als zusätzliches Feature bietet der ICS 1702 noch die Möglichkeit der Auswertung der Temperaturänderung am Akku. Da jedoch in der Praxis die Positionierung eines Temperatursensors am Akku schwierig ist, wird diese Möglichkeit in unserer Schaltung nicht genutzt.

Schaltung

Das Gesamtschaltbild unseres Ladegerätes nach dem Reflex-Ladeverfahren ist in Abbildung 4 zu sehen. Neben dem komplexen Ladecontroller des Typs ICS 1702 sind nur noch die Lade-/Entladeendstufe

und einige passive Bauelemente erforderlich. Die Schaltung wurde so ausgelegt, daß wahlweise 2-, 4-, 6- oder 7-zellige NC- bzw. NiMH-Akkupacks mit 2 A bis 4 A Ladestrom ladbar sind.

Betrachten wir zuerst die recht einfache externe Beschaltung des Ladecontrollers (IC 1). Zunächst sind Pin 3 bis Pin 5 jeweils mit einer Leuchtdiode zur Statusanzeige beschaltet. Angezeigt werden die Schnellladung, die Übergangs-/Erhaltungsladung und ein offener Akkuanschluß, d. h. die Ladebereitschaft.

Die Laderate des Bausteins ist mit Hilfe der Kodierbrücken J 1 und J 2 an den Preset-Eingängen SEL 0 und SEL 1 (Pin 7, Pin 10) einstellbar. In Tabelle 1 sind die zur jeweiligen Kodierbrücken-Einstellung gehörende Laderate sowie die Laufzeit des Sicherheits-Timers dargestellt.

Entsprechend dem eingestellten Ladestrom (zwischen 2 A und 4 A) und der Nennkapazität des angeschlossenen Akkus ist die Laderate auszuwählen. Soll z. B. ein Modellbau-Akku mit 1,5 A/h geladen werden, besteht die Möglichkeit, in 45 Minuten mit ca. 2 A oder in 30 Minuten mit ca. 3 A zu laden. Anschließbar sind an

unsere Ladeschaltung Akkunennkapazitäten von 500 mA/h bis 16 A/h. Die Genauigkeit der Stromeinstellung hat keinen Einfluß auf das Ladergebnis.

Kommen wir nun zur weiteren externen Beschaltung des Controllers. Der integrierte Oszillator des Bausteins ist an Pin 12 extern zugänglich und wird lediglich mit einer R/C-Kombination (R 13, C 2) beschaltet. Sämtliche angegebenen Zeiten beziehen sich auf eine Oszillator-Frequenz von 1 MHz.

Über den mit R 5, R 8 - R 13 aufgebauten und mit S 1 umschaltbaren Spannungsteiler mißt der Controller die Akkuspannung, wobei die Referenzspannung an Pin 17 die maximale Zellenspannung bestimmt.

Um einen definierten Power-On-Reset zu erhalten, ist der Reset-Eingang (Pin 11) mit dem Elko C 4 und der Diode D 4 beschaltet. Der Eingang verfügt über einen internen Pullup-Widerstand von 75 k Ω .

Die Ladeendstufe wird über Pin 1 und der Entladetransistor über Pin 2 des Controllers gesteuert. Beide Ausgänge sind aktiv „High“.

Während des Entladeimpulses schaltet

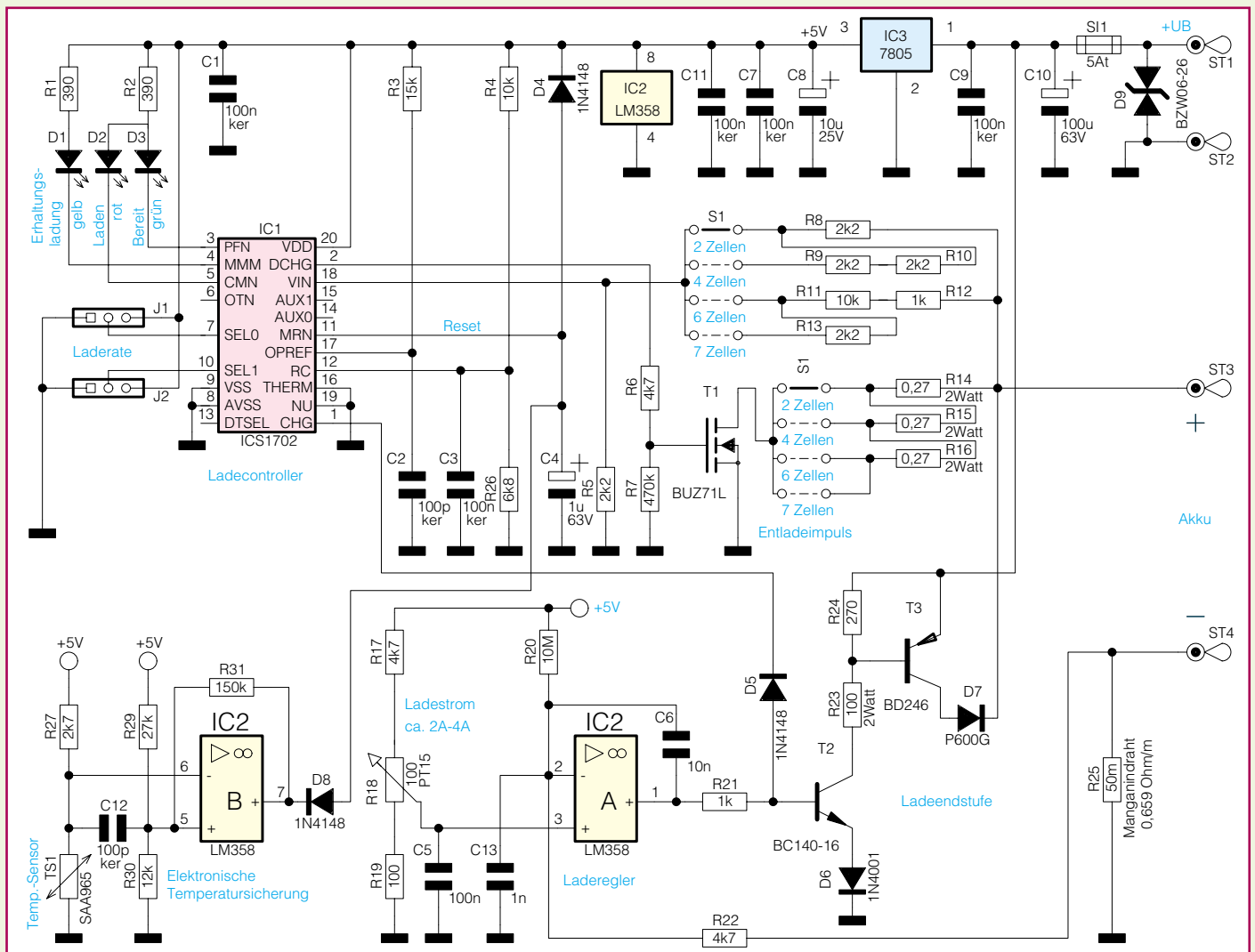


Bild 4: Schaltbild der Reflex-Ladeschaltung

Tabelle 1: Laderate des ICS 1702

JP 1 SEL 0	JP 2 SEL 1	Laderate	typische Schnellladezeit	Übergangslade- Impulsabstand	Erhaltungslade- Impulsabstand	Sicherheitstimer Laufzeit
Masse (L)	Masse (L)	4 C	15 Min.	40 Sek.	160 Sek.	21 Min.
Masse (L)	+ 5 V (H)	2 C	30 Min.	20 Sek.	80 Sek.	39 Min.
Masse (L)	offen	1,3 C	45 Min.	13 Sek.	53 Sek.	57 Min.
+ 5 V (H)	Masse (L)	1 C	60 Min.	10 Sek.	40 Sek.	75 Min.
+ 5 V (H)	offen	C / 1,5	90 Min.	7 Sek.	27 Sek.	110 Min.
+ 5 V (H)	+ 5 V (H)	C / 2	120 Min.	5 Sek.	20 Sek.	144 Min.
offen	Masse (L)	C / 2,5	150 Min.	4 Sek.	16 Sek.	212 Min.
offen	offen	C / 3	180 Min.	3 Sek.	13 Sek.	244 Min.
offen	+ 5 V (H)	C / 4	240 Min.	2 Sek.	10 Sek.	275 Min.

der Logic-Level-Feldeffekttransistor T 1 durch und legt je nach Zellenzahl die Widerstände R 14 - R 16 parallel zum Akku.

Der Konstantstrom-Laderegler ist mit IC 2 A, T 2, T 3 und externer Beschaltung realisiert. Der am Shunt R 25 abfallende stromproportionale Spannungswert wird über R 22 auf den invertierenden Eingang des mit IC 2 A aufgebauten Stromreglers gegeben. Hier wird nun diese Ist-Spannung mit der vom Einstellregler R 18 kommenden Sollwert-Vorgabe (Pin 3) verglichen. Der Ausgang (Pin 1) steuert über R 21 den Treiber-Transistor T 2 und dieser wiederum die mit T 3 aufgebaute Ladeendstufe. Die Leistungsdiode D 7 dient in diesem Zusammenhang als Verpolungsschutz.

Zur Spannungsversorgung des Ladecontrollers ist eine stabilisierte Spannung von 5 V erforderlich, die vom Festspannungsregler IC 3 bereitgestellt wird.

Die erforderliche Ladespannung der Schaltung ist abhängig von der Zellenzahl des angeschlossenen Akkus. Während für 2 Zellen bereits eine Spannung von 7,5 V ausreicht, ist für 7 Zellen eine Spannung von mindestens 14,5 V erforderlich.

Mit IC 2 B und externen Komponenten ist eine elektronische Temperatursicherung für die Ladeendstufe realisiert, wobei der Temperatursensor TS 1 direkt am Kühlkörper der Ladeendstufe montiert ist. Sobald die Spannung an Pin 6 (invertierender Eingang) die mit R 29 und R 30 am nicht-invertierenden Eingang eingestellte Spannung übersteigt, wechselt der Pegel am Ausgang (Pin 7) von „High“ nach „Low“. Solange am Kühlkörper eine erhöhte Temperatur gemessen wird, bleibt der Controller über D 8 im Reset-Zustand.

R 31 sorgt für eine ausreichend große Schalthysterese, so daß die Temperatursicherung bei ca. 80°C anspricht, jedoch erst bei Unterschreiten von 50°C die Ladeschaltung wieder freigibt.

Nachbau

Dank einer ausgereiften Leiterplattenkonstruktion ist der praktische Aufbau die-

ser universell einsetzbaren Ladeschaltung einfach und schnell erledigt.

Die Bestückungsarbeiten werden entsprechend der Stückliste und des Bestückungsplanes vorgenommen, wobei sinnvollerweise mit den niedrigsten Komponenten zu beginnen ist.

Nach dem Einlöten der drei Brücken aus versilbertem Schaltdraht werden die Anschlußbeinchen der 1%igen Metallfilmwiderstände entsprechend dem Rastermaß abgewinkelt, durch die zugehörigen Bohrungen der Platine geführt und an der Platinenunterseite leicht angewinkelt.

Als dann ist die Platine umzudrehen und

alle Anschlußbeinchen sind nacheinander zu verlöten. Mit einem scharfen Seitenschneider werden die überstehenden Drahtenden direkt oberhalb der Lötstelle abgeschnitten.

Nun sind 4 Lötstifte mit Öse stramm in die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu pressen und mit ausreichend Lötzinn festzusetzen.

Es folgen die Keramik- und Folienkondensatoren, die mit beliebiger Polarität und möglichst kurzen Anschlußbeinchen einzulöten sind.

Die Elektrolyt-Kondensatoren sind gepolt und daher unbedingt polaritätsrichtig

Stückliste: Reflex-Ladeschaltung

Widerstände:

78mm Manganindraht	
(0,659Ω/m), 50mΩ	R25
0,27Ω/2W	R14-R16
100Ω	R19
100Ω/2W	R23
270Ω	R24
390Ω	R1, R2
1kΩ	R12, R21
2,2kΩ	R5, R8-R10, R13
2,7kΩ	R27
4,7kΩ	R6, R17, R22
6,8kΩ	R26
10kΩ	R4, R11
12kΩ	R30
15kΩ	R3
27kΩ	R29
150kΩ	R31
470kΩ	R7
10MΩ	R20
PT15, stehend, 100Ω	R18
Temperatursensor SAA965	TS1

Kondensatoren:

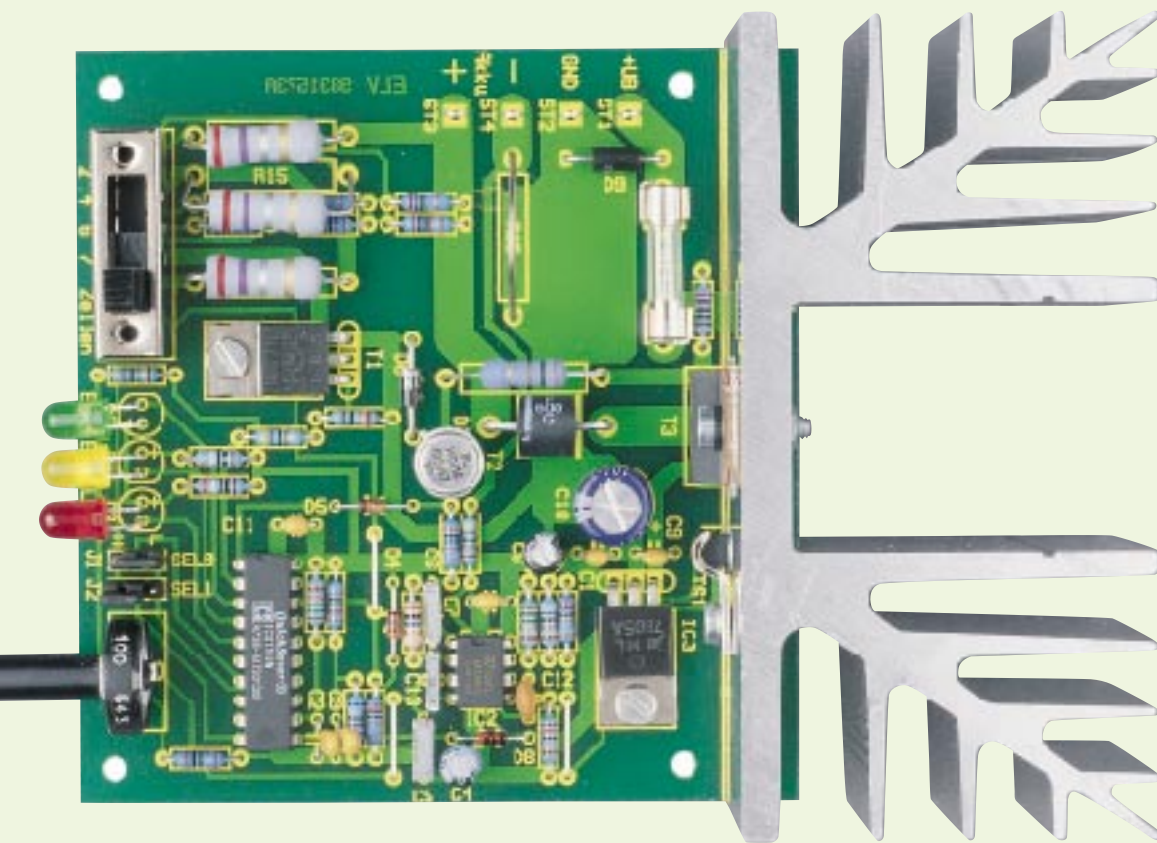
100pF/ker	C2, C12
1nF	C13
10nF	C6
100nF	C5
100nF/ker	C1, C3, C7, C9, C11
1µF/63V	C4
10µF/25V	C8
100µF/63V	C10

Halbleiter:

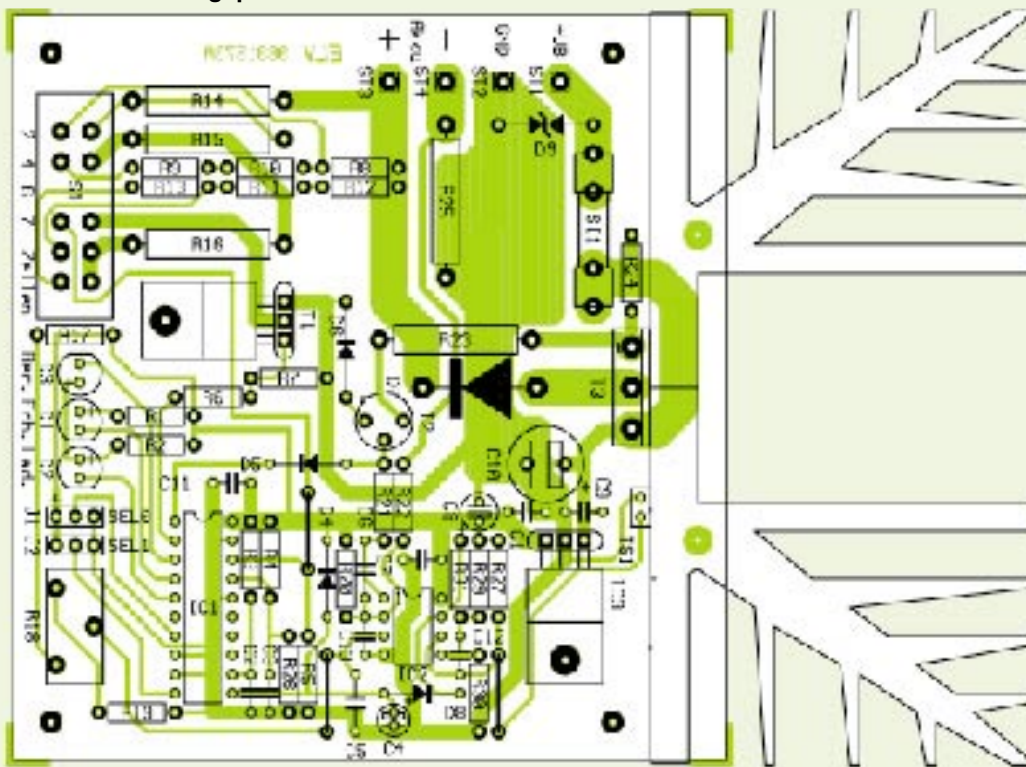
ICS1702	IC1
LM358	IC2
7805	IC3
BUZ71L	T1
BC140-16	T2
BD246	T3
1N4148	D4, D5, D8
1N4001	D6
P600G	D7
BZW06-26	D9
LED, 5mm, gelb	D1
LED, 5mm, rot	D2
LED, 5mm, grün	D3

Sonstiges:

Schiebeschalter, 2 x 4 Stellungen	S1
Lötstifte mit Lötöse	ST1-ST4
Stiftleisten, 1 x 3 polig	J1, J2
Sicherung, 5A, träge	SI1
1 Platinensicherungshalter (2 Hälften)	
2 Jumper	
2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 6mm	
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 12mm	
3 Zylinderkopfschrauben, selbstschneidend, M3 x 6mm	
3 Muttern, M3	
1 Isolier nipple	
1 Glimmerscheibe, TO-3P	
1 Sensorschelle	
1 Kunststoff-Steckachse, 6 ø x 44 mm	
1 Kühlkörper, SK88, bearbeitet	
5 cm Schaltdraht, blank, versilbert	



Oben: Ansicht der fertig bestückten Platine
 Unten: Bestückungsplan der Platine



einzubauen. Üblicherweise ist der Minuspol gekennzeichnet.

Sämtliche Dioden sind an der Katodenseite (Pfeilspitze) durch einen Ring gekennzeichnet. Bei der Leistungsdiode D 7 ist zusätzlich darauf zu achten, daß das Bauelement mit ca. 5 mm Platinenabstand montiert wird.

Der Spannungsregler (IC 3) und der Leistungs-FET (T 1) werden jeweils liegend mit einer Schraube M3 x 5 mm und zugehöriger Mutter montiert. Erst danach sind die Anschlußbeinchen zu verlöten.

Im nächsten Arbeitsschritt werden der Platinensicherungshalter (in den gleich die 5A-Feinsicherung gedrückt wird), die Stiftleisten zur Aufnahme der Kodierstecker J 1 und J 2, der Einstelltrimmer R 18 und der 4stufige Schiebeschalter S 1 eingelötet.

Danach sind der Transistor T 2 und die beiden integrierten Schaltkreise (IC 1, IC 2) einzulöten, wobei unbedingt auf die korrekte Polarität zu achten ist. Die ICs sind so einzusetzen, daß die Gehäusekerbe des Bauelements mit dem Symbol im Bestück-

lichen Betriebsspannung richtet sich nach der Anzahl der zu ladenden Zellen. Für zwei Zellen sind dabei mindestens 7,5 V, für vier Zellen 9,5 V, für sechs Zellen 12,5 V und für sieben Zellen mindestens 14,5 V erforderlich (Strom 4 A).

Der zu ladende Akku ist mit dem Pluspol an ST 3 und mit dem Minuspol an ST 4 anzuschließen. Nach dem Einbau in ein geeignetes Gehäuse steht mit dem Reflexlader ein hochwertiger Ladegerät-Baustein für NC- und NiMH-Akkupacks zur Verfügung.

kungsdruck übereinstimmt.

Vor der Montage des Leistungskühlkörpers mit zwei gewindschneidenden Schrauben sind der Ladetransistor T 3 und der Temperatursensor TS 1 anzuschrauben. Der Transistor ist mit Glimmerscheibe und Isolierbuchse zu montieren, wobei die Glimmerscheibe zur besseren thermischen Kopplung auf beiden Seiten mit Wärmeleitpaste dünn zu bestreichen ist.

Der Stromshunt R 25 wird aus 78 mm Manganin-Draht mit $0,659 \Omega/m$ hergestellt. In einem Bogen nach oben ist der Shunt so einzulöten, daß 76 mm des Widerstandsdrahtes wirksam bleiben, d. h. daß der Draht jeweils 1 mm unterhalb der Leiterbahnseite hervorsteht.

Die Einbauhöhe der 3 Leuchtdioden richtet sich nach den individuellen Gegebenheiten, wobei der untere Gehäusekragen der Bauelemente an der Katodenseite abgeflacht ist.

Nach einer gründlichen Überprüfung hinsichtlich Löt- und Bestückungsfehler sind die Aufbauarbeiten abgeschlossen. Zum Betrieb ist die Versorgungsspannung mit dem Pluspol an ST 1 und mit dem Minuspol an ST 2 anzuschließen. Die Höhe der erforder-