



Akku-Lade-Controller ALC 100

Bei diesem universell einsetzbaren Lademodul ist die gesamte Elektronik inklusive hinterleuchtetem LC-Display auf einer einzigen Leiterplatte mit den Abmessungen 170 x 82 mm untergebracht. Umfangreiche Programmfunktionen ermöglichen das Laden und Entladen von Einzelzellen und Akkupacks.

Allgemeines

Akkus und Akkupacks sind die Grundvoraussetzung für viele Geräte und deshalb in allen Bereichen des täglichen Lebens zu finden. Um eine möglichst lange Lebensdauer der teilweise recht teuren Energiespender zu erreichen, ist eine entsprechende Pflege erforderlich, da Überladung und Tiefentladung einen besonders schädigenden Einfluss haben.

Häufig gehört zum Lieferumfang von vielen mobilen Geräten aus Kostengründen nicht unbedingt ein gutes Ladegerät. Auch im Modellbaubereich wird durch ungeeignete Lademethoden oft nicht die maximal mögliche Lebensdauer der recht teuren Akkus und Akkupacks erreicht. Die Investition in ein gutes Ladegerät macht sich daher meist schnell bezahlt.

Die hier vorgestellte Ladeschaltung ist besonders auf die Anwender zugeschnitten, die Wert auf eine gute Ladetechnik legen, jedoch nicht das Geld für ein komplettes mikroprozessorgesteuertes Ladegerät mit Gehäuse investieren möchten.

Das Modul kann recht einfach in eine bestehende Anwendung oder in ein vorhandenes Gehäuse eingebaut werden, da

inklusive Endstufe und Display alle Komponenten auf einer einzigen Leiterplatte untergebracht sind. Zum Betrieb wird nur noch eine unstabilierte Gleichspannung zwischen 14 V und 24 V benötigt.

Das Lademodul verfügt über einen Lade- und Entladekanal und basiert auf der Technologie der ELV ALC-Geräteserie.

Zur Verringerung der Verlustleistung ist der Ladezweig mit einem PWM-Schaltregler ausgestattet. Die Überwachung der zum jeweiligen Akkutyp gehörenden Ladekurve erfolgt mit 14 Bit Genauigkeit, und die besonders wichtige Ladeerkennung wird dabei nach der bewährten Methode der negativen Spannungsdifferenz am Ende der Ladekurve durchgeführt.

Bei NC-Akkus erfolgt die Beendigung des Ladevorgangs bei einem $-\Delta U$ von 0,5 % und bei NiMH-Akkus bei einem $-\Delta U$ von 0,25 %. Damit Übergangswiderstände an den Anschlussklemmen und Messleitungen das Messergebnis nicht negativ beeinflussen, erfolgt die Messung der Akkuspannung grundsätzlich im stromlosen Zustand. Eine Pre-Peak-Erkennung verhindert das vorzeitige Abschalten bei überlagerten oder tiefentladenen Akkus.

Ein Kühlkörper zur Abfuhr der Verlustwärme wird direkt an der Leiterplatte be-

festigt, wobei eine Temperaturüberwachung das Modul in jeder Situation vor Überlastung schützt.

Trotz der umfangreichen Funktionen macht das komfortable Bedienkonzept mit grafischer Anzeige der jeweils ausgewählten Funktion eine Bedienungsanleitung im Grunde genommen überflüssig. Auf dem großen hinterleuchteten LC-Display werden die Akkuspannung, der Lade- bzw. Entladestrom und die eingeladene oder entladene Kapazität gleichzeitig dargestellt. Des Weiteren erfolgt die Anzeige von Statusinformationen auf dem großen Display.

Technische Daten: ALC 100

Lade-/Entladestrom: einstellbar bis 3 A
Ladbare Akkutypen: NC, NiMH
Ladespannung: max. 24 V
max. Zellenanzahl: 12
Versorgungsspannung:
je nach Zellenanzahl 16–24 V DC
Anzeigen: hinterleuchtetes Multifunktionsdisplay mit Grafiksymbolen und gleichzeitiger Anzeige von Akkuspannung, Ladestrom und Kapazität
Ladeerkennung:
negative Spannungsdifferenz ($-\Delta U$)
Abm. Platine: 170 x 82 mm

Bedienung und Funktion

Die Bedienung des Moduls orientiert sich an dem bewährten Bedienkonzept des ELV ALC 7000 Expert, da auch weitestgehend identische Funktionen und Ladeprogramme zur Verfügung stehen.

Sowohl der Ladestrom als auch der Entladestrom sind in 100 Stufen von 0 bis 3 A einstellbar, wobei der Mikrocontroller grundsätzlich die Einstellung wählt, die am nächsten an der Sollwert-Vorgabe liegt. Für die Berechnung der eingeladenen bzw. entnommenen Akkukapazität wird der tatsächlich gemessene Stromwert herangezogen.

Nach dem Einschalten des Moduls (Betriebsspannung anlegen) erfolgt zunächst eine kurze Initialisierungsphase, in der auf dem Display alle zur Verfügung stehenden Segmente aktiviert werden. Nach dem Segmenttest übernimmt das Gerät die zuletzt genutzte und abgespeicherte Gerätekonfiguration wieder, da die letzten Daten in einem ferroelektrischen EEPROM abgespeichert sind. Bei Spannungsausfall wird grundsätzlich die zuletzt ausgeführte Funktion automatisch wieder gestartet.

Eingabe der Akkudaten

Sobald ein Akku oder Akkupack am Lademodul angeschlossen ist, erkennt der Mikrocontroller das und zeigt die zugehörige Akkuspannung auf dem Display an. Aus Sicherheitsgründen ist ein Start des Ladevorgangs erst möglich, wenn mit der „Eingabe“-Taste die aktuell ausgewählten Akkudaten abgefragt und angezeigt werden.

Zur Eingabe der Akkudaten ist die Taste „Eingabe“ kurz zu betätigen. Auf dem Display wird die aktuell aktivierte Akku-Technologie (NC oder NiMH) angezeigt, wobei eine Änderung mit den Pfeiltasten („↑“ und „↓“) möglich ist. Die Übernahme erfolgt dann durch eine kurze Betätigung der „Eingabe“-Taste. Nach einer kurzen weiteren Betätigung der Taste „Eingabe“ wird das Gerät in den Eingabemodus für die Akku-Nennkapazität umgeschaltet. Auf dem Display ist dann nur noch die zuletzt für diesen Kanal programmierte Nennkapazität mit dem „Funktions“-Symbol zu sehen. Im Bereich der Akku-Nennkapazität erstreckt sich der zulässige Einstellbereich von 0,01 Ah bis 99,99 Ah.

Mit den Cursor-Tasten ist der eingestellte Wert dann auf folgende Weise veränderbar:

Zunächst blinkt die niederwertigste rechte Stelle der Kapazitätsanzeige. Mit Hilfe der Pfeiltasten „↑“ und „↓“ erfolgt nun die Einstellung des Zahlenwertes für dieses Digit. Danach wird mit der „←“-Taste auf

die nächste Stelle (2. von rechts) umgeschaltet, die daraufhin blinkt. Nach der Zifferneinstellung mit den Tasten „↓“ und „↑“ wird dann zur nächsten Stelle weitergestellt, bis die Nennkapazitätseingabe abgeschlossen ist. Zum Korrigieren des gerade eingestellten Kapazitätswertes ist die Taste „←“ so oft zu betätigen, bis die zu ändernde Stelle blinkt, und mit den Tasten „↓“ und „↑“ wird der neue Zahlenwert eingestellt. Abgeschlossen wird die Nennkapazitäts-Eingabe mit einer kurzen Betätigung der „Eingabe“-Taste. Das Programm schaltet dann mit einer weiteren Betätigung der „Eingabe“-Taste auf den nächsten Menüpunkt zur Vorgabe der Akku-Nennspannung weiter.

In den meisten Fällen ist hier überhaupt keine Eingabe erforderlich, da der Prozessor den Spannungswert anhand der am angeschlossenen Akku gemessenen Spannung automatisch ermittelt. Korrekturen sind nur dann erforderlich, wenn der Prozessor den Wert aufgrund von zu großen Spannungsabweichungen, z. B. bei einem tiefentladenen Akku, nicht richtig ermitteln kann.

Mit den Cursor-Tasten „↓“ und „↑“ ist die Spannungsvorgabe in 1,2-V-Schritten veränderbar. Nach einer erneuten, kurzen Betätigung der „Eingabe“-Taste wird die eingestellte Akku-Nennspannung übernommen und das Gerät springt in den Betriebsmodus zur Lade-/Entladestrom-Vorgabe.

Stromvorgabe

Die Programmierung des Lade- und Entladestromes erfolgt analog zu der Nennkapazitätseinstellung mit den Cursor-Tasten. Wir beginnen dabei mit dem Ladestrom, wobei auf dem Display „Stromvorgabe“ und der Zahlenwert des zuletzt für diesen Kanal programmierten Ladestromes abzulesen ist. Änderungen sind auch hier mit den Cursor-Tasten „←“, „↑“ und „↓“ vorzunehmen und mit der „Eingabe“-Taste zu übernehmen.

Mit einer weiteren Betätigung der „Eingabe“-Taste ist dann die Vorgabe des Entladestromes möglich. Neben „Stromvorgabe“ und dem Zahlenwert erscheint zusätzlich auf dem Display „Entladen“. Nach Einstellung des Zahlenwertes in der gleichen Weise wie beim Ladestrom wird mit der „Eingabe“-Taste die komplette Eingabe der Akkudaten abgeschlossen.

Programme zur Akku-Pflege

Das Lademodul verfügt über umfangreiche Funktionen und Ladeprogramme, die eine umfassende Akku-Pflege erlauben. Die Auswahl der gewünschten Funktion erfolgt mit Hilfe der Taste „Funktion“. Auch hier schaltet jeder Tastendruck zur

nächsten Funktion weiter, wobei die Anzeige mit eindeutigen grafischen Symbolen im Display erfolgt.

Laden

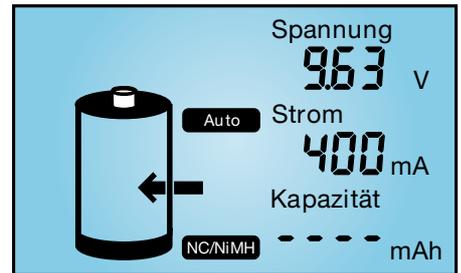


Bild 1: Laden

In dieser Funktion führt das Gerät eine Ladung des angeschlossenen Akkus gemäß der eingestellten Werte durch. Vor Ladebeginn ist keine Entladung erforderlich, trotzdem wird der Akku unabhängig von einer eventuell vorhandenen Restladung auf 100 % seiner tatsächlichen Kapazität aufgeladen. Neue Akkus können dabei zum Teil mehr als die angegebene Nennkapazität speichern, während ältere Akkus diese nicht mehr erreichen.

Nach Eingabe der Akkudaten und Auswahl der Funktion „Laden“ wird der Ladevorgang mit der „Start/Stopp“-Taste aktiviert. Solange der angeschlossene Akku geladen wird, leuchtet die Lade-Kontroll-LED.

Die eingeladene Kapazität wird im Display ständig aufaddiert, so dass genau zu erkennen ist, wie viel Energie bereits im Akku eingeladen wurde. Üblicherweise liegt der Ladefaktor bei 1,2 bis 1,4, d. h. es muss 1,2- bis 1,4-mal so viel Energie eingeladen werden, wie später entnommen werden kann.

Wenn der Akku bzw. das Akkupack seine maximal speicherbare Kapazität erreicht hat, zeigt das Display „VOLL“, und die grüne Kontroll-LED erlischt. Nun erfolgt eine zeitlich unbegrenzte Impuls-Erhaltungsladung, um durch Selbstentladung entstandene Ladeverluste wieder auszugleichen. So darf der Akku für unbegrenzte Zeit am eingeschalteten Lademodul angeschlossen bleiben.

Entladen

Ausgehend vom Lademodus wird durch einmaliges Betätigen der Taste „Funktion“



Bild 2: Entladen

auf Entladen umgeschaltet. Diese Funktion wird durch einen aus dem Akku weisenden Pfeil im Display symbolisiert. Nach Betätigung der „Start/Stop“-Taste erfolgt eine Entladung bis zur jeweiligen Entladeschluss-Spannung von 1 V je Zelle mit dem programmierten Entladestrom. Den Abschluss des Entladevorgangs kennzeichnet das Blinken der grünen LED und die Anzeige „Entladen“ im Display. Die aus dem Akku entnommene Kapazität ist direkt auf dem Display abzulesen.

Entladen/Laden



Bild 3: Entladen/Laden

Diese Funktion wird im Display durch einen Lade- und Entladepfeil grafisch dargestellt. Sobald die Starttaste betätigt wird, beginnt zuerst der Entladevorgang zur Vorentladung des angeschlossenen Akkus. Wenn der Akku die Entladeschluss-Spannung von 1 V je Zelle erreicht hat, startet automatisch der Ladevorgang mit dem programmierten Ladestrom. Durch eine regelmäßige Vorentladung kann bei NC-Akkus zuverlässig der Memory-Effekt verhindert werden. Den Abschluss des Ladevorgangs bildet wieder die Funktion der Impuls-Erhaltungsladung.

Test



Bild 4: Test

Die Funktion „Test“ dient zur Messung der Akkukapazität. Üblicherweise wird die Messung der Akkukapazität unter Nennbedingungen durchgeführt, da die aus einem Akku entnehmbare Energiemenge unter anderem auch vom jeweiligen Entladestrom abhängt. Oft gilt bei NC-Zellen die Kapazitätsangabe bei einem Ladestrom, der 20 % der Nennkapazitätsangabe (C/5) entspricht. Ein 1-Ah-Akku wäre dann z. B. mit einem Strom von 200 mA zu entladen.

Um die Kapazität zu ermitteln, wird der

Akku zuerst vollständig aufgeladen. Danach schließt sich die Entladung unter den zuvor eingestellten Nennbedingungen an, bei fortlaufender Messung bis zur Entladeschluss-Spannung.

Den Abschluss dieser Funktion bildet das Aufladen des Akkus mit automatischem Übergang auf Impuls-Erhaltungsladung. Dieser Zustand wird durch das „VOLL“-Symbol im Display angezeigt.

Zyklen/Regenerieren

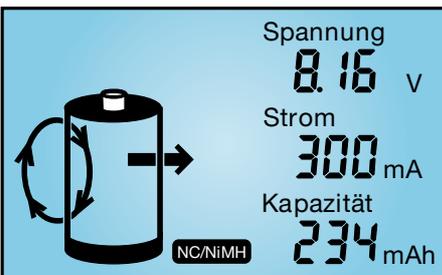


Bild 5: Zyklen

Akkus, die über einen längeren Zeitraum nicht genutzt wurden, sind meistens nicht in der Lage, die volle Kapazität zur Verfügung zu stellen. Die Funktion „Zyklen“ dient nun in erster Linie zur Belebung von derartigen Akkus. Das Programm führt automatisch so lange den Lade-Entlade-Zyklus mit dem vorgegebenen Lade- und Entladestrom durch, bis keine Kapazitätssteigerung mehr festzustellen ist. Die Anzahl der durchlaufenen Ladezyklen wird auf dem Display oberhalb des Akkusymbols angezeigt, wobei die maximale Anzahl der Lade-Entlade-Zyklen auf 10 begrenzt ist. Nach Ablauf des Programms wird die maximale Kapazität auf dem Display angezeigt, und die danach automatisch startende Impuls-Erhaltungsladung gleicht Ladeverluste durch Selbstentladung selbsttätig aus.

Auffrischen



Bild 6: Auffrischen

Diese Funktion des ALC 100 ist in erster Linie für schadhafte Akkus vorgesehen, die nach Durchlaufen dieses Programms meistens wieder für eine weitere Verwendung zur Verfügung stehen. Tiefentladene und überlagerte Akkus sowie Akkus, die einen Zellschluss aufweisen, sind danach meist wieder nutzbar.

Zuerst überprüft das Programm, ob eine Akkuspannung vorhanden ist oder nicht. Es erfolgt dann eine definierte Entladung bis zur Entladeschluss-Spannung. Akkus, bei denen überhaupt keine Ladung festzustellen ist, werden zuerst mit Stromimpulsen beaufschlagt, um einen eventuellen Feinschluss zu beseitigen. Danach führt das Lademodul automatisch zwei Lade-Entlade-Zyklen durch.

Der erste Zyklus wird dabei mit einem Strom durchgeführt, der 10 % der Nennkapazitätsvorgabe entspricht. Da die Ladekurve eines derart vorgeschädigten Akkus oft nicht mehr den typischen Verlauf aufweist, ist beim ersten Ladezyklus die $-\Delta U$ -Erkennung abgeschaltet. Da nun eine timergesteuerte Ladung erfolgt, ist die richtige Nennkapazitätsvorgabe wichtig.

Der danach folgende Ladezyklus wird mit dem programmierten Ladestrom durchgeführt, wobei die $-\Delta U$ -Erkennung wieder aktiviert ist.

Nach Abschluss des Auffrisch-Vorganges wird auf dem Display „VOLL“ angezeigt und der Akku mit der Impuls-Erhaltungsladung ständig im voll geladenen Zustand gehalten.

Anzeige der programmierten Einstellungen und der eingeladenen und entnommenen Kapazität

Sämtliche programmierten Einstellungen der einzelnen Ladekanäle sind jederzeit, auch während des normalen Betriebes, durch einen Druck auf die Pfeiltaste „←“ abzufragen. Das Display zeigt dann den Akkutyp, die Ladestrom-Vorgabe und die Nennkapazität an. Zur Anzeige der Akku-Nennspannung und der Entladestrom-Vorgabe ist eine weitere kurze Betätigung der „←“-Taste erforderlich. Eine dritte Betätigung der Pfeiltaste führt dann zur Anzeige der eingeladenen Kapazität, und eine vierte Betätigung der Pfeiltaste zeigt die entnommene Kapazität an. Durch eine weitere Betätigung ist dann die Rückkehr in den normalen Anzeigemodus möglich.

Schaltung

Die Schaltung des ALC-100-Lademoduls ist in die beiden Teilschaltbilder Mikroprozessor-Steuereinheit und Analogteil aufgeteilt. Während der Digitalteil in erster Linie den zentralen Mikrocontroller mit Display und den genauen Dual-Slope-AD-Wandler beinhaltet, sind im Analogteil der PWM-Step-down-Schaltregler des Ladekanals und der als Linearregler ausgeführte Entladekanal dargestellt.

Mikroprozessor-Steuereinheit

Die detaillierte Schaltungsbeschreibung beginnen wir mit der Mikroprozessor-Steu-

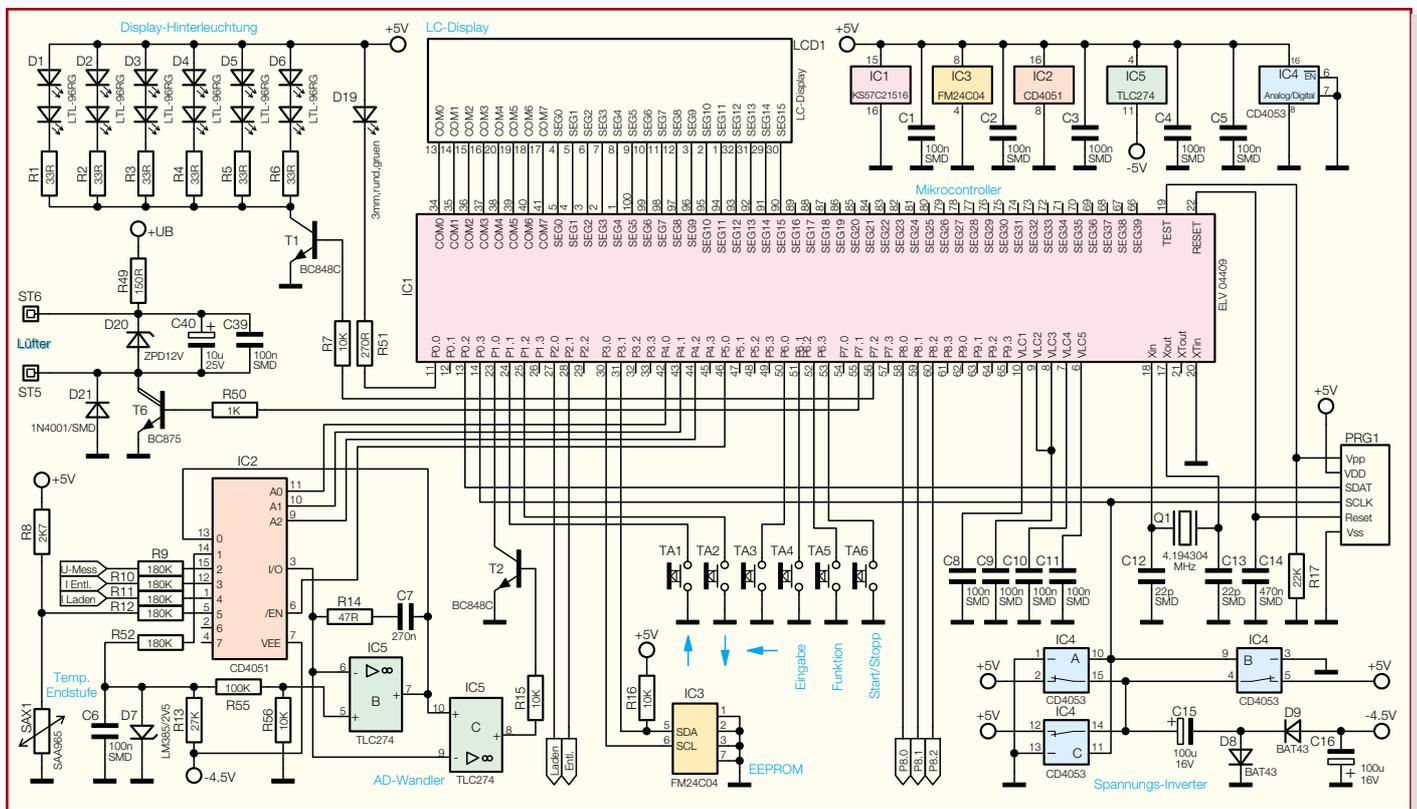


Bild 7: Mikroprozessor-Steuereinheit des Lademoduls ALC 100

ereinheit in Abbildung 7. Zentrales Bauelement ist dabei der Single-Chip-Mikrocontroller (IC 1), der alle Steueraufgaben innerhalb des Moduls übernimmt und direkt die Anzeige der Daten auf dem Display vornimmt.

Das Display verfügt über insgesamt acht COM-Leitungen und 16 Segmentleitungen und ist direkt mit den entsprechenden Portanschlüssen des Mikrocontrollers verbunden. Das Gleiche trifft auch auf die insgesamt 6 Bedientaster des Lademoduls zu. Da der Controller über interne Pull-up-Widerstände verfügt, ist in diesem Bereich keine weitere externe Beschaltung erforderlich.

Beim Lademodul sind vorwiegend analoge Messwerte zu verarbeiten. Daher ist ein A/D-Wandler mit entsprechender Genauigkeit erforderlich. Der hier eingesetzte Dual-Slope-Wandler erreicht eine Auflösung von 14 Bit. Die Grundelemente dieses trotz kostengünstigen Aufbaus sehr genauen Wandlers sind der als invertierender Integrator geschaltete Operationsverstärker IC 5 B und der Komparator IC 5 C. Grundvoraussetzung bei diesem 2-Rampen-Wandler ist, dass die Mess- und Referenzspannung entgegengesetzte Vorzeichen haben.

Die eigentliche Messwert-Abfrage sowie die Messung der Referenzspannung von -2,5 V erfolgt über den 8fach-Analogschalter IC 2 im Multiplexverfahren. Von Pin 3 gelangen die Messspannungen dann auf den Integratoreingang. Die Auswahl des Messeingangs erfolgt über Port 4.0 bis 4.2 und Port 5.0 des Prozessors.

Der nachgeschaltete Komparator (IC 5 C) schaltet um, wenn die Ausgangsspannung des Integrators wieder im Ruhezustand ist.

T 2 erzeugt dann eine Spannungsflanke an Port 1.0 des Mikrocontrollers IC 1.

Mit D 7 wird die für die Wandlung erforderliche Referenzspannung von -2,5 V generiert. Die Referenzspannung wird dann über den Integrationswiderstand R 9 zum Multiplexer des integrierenden AD-Wandlers, und zum Ladestrom bzw. Entladestrom proportionale Messspannungen werden über R 10 und R 11 zugeführt. Der Temperatursensor SAX 1 überwacht am Kühlkörper die Endstufentemperatur.

Ein ferroelektrisches EEPROM (IC 3) ist über die I²C-Bus-Leitungen SCL und SDA mit Port 3.0 und Port 3.1 des Mikroprozessors verbunden. Das EEPROM dient zum Backup der Bedienelemente und zum Speichern der letzten Daten bei einem Spannungsausfall. Des Weiteren werden bei normalem Betrieb die gemessenen Akkukapazitäten hier gespeichert. Die zuletzt gespeicherten Daten bleiben bei einem Netzausfall selbst über Jahre erhalten.

Die LED-Hinterleuchtung des LC-Displays erfolgt mit sechs Side-Looking-Lamps (D 1 bis D 6). Jedes Anzeigeelement enthält dabei zwei in Reihe geschaltete Leuchtdioden. Aktiviert wird die Beleuchtung mit Hilfe des Transistors T 1, der wiederum von Port 7.2 des Mikrocontrollers gesteuert wird.

Der Mikrocontroller arbeitet mit einem Takt von 4,19 MHz. Dazu ist der an Pin 17 und Pin 18 extern zugängliche Oszillator mit einem Quarz (Q 1) und den Kondensatoren C 12 und C 13 beschaltet.

Während der Programmieradapter PRG 1

ausschließlich in der Produktion zur Programmierung des Mikrocontrollers benötigt wird, sorgt der Kondensator C 14 für einen definierten Reset des Controllers beim Anlegen der Versorgungsspannung.

Eine negative Hilfsspannung von -4,5 V wird mit Hilfe der in IC 4 integrierten CMOS-Schalter C 15, C 16, D 8 und D 9 erzeugt. Die CMOS-Schalter erhalten am Steuereingang ein Rechtecksignal von Port 0.3, wodurch der positive Anschluss von C 15 wechselweise auf +5 V und Massepotential gelegt wird. D 8 klemmt das Signal in der Ladephase von C 15 auf Masse und nach der Gleichrichtung mit D 9 steht am Pufferelko C 16 die negative Hilfsspannung zur Verfügung.

Optional besteht die Möglichkeit, das Lademodul mit einem Lüfter auszustatten, der dann an ST 5 und ST 6 anzuschließen ist. Gesteuert wird der Lüfter von Port 7.1 des Mikrocontrollers über den Transistor T 6, wobei D 21 zum Schutz des Transistors vor Gegeninduktionsspannungen dient. Der Vorwiderstand R 49 versorgt den Lüfter mit Spannung, D 20 dient zur Spannungsbegrenzung am Lüfter selbst, und C 39, C 40 unterdrücken Störungen. Wie oben rechts im Schaltbild zu sehen ist, werden die integrierten Schaltkreise des Digitalteils mit +5 V versorgt. Lediglich der Operationsverstärker IC 5 benötigt an Pin 11 zusätzlich noch eine negative Hilfsspannung. Die Kondensatoren C 1 bis C 5 unterdrücken hochfrequente Störungen direkt an den Versorgungspins der einzelnen integrierten Schaltkreise.

Analogteil

Der Analogteil des ALC 100 (Abbil-

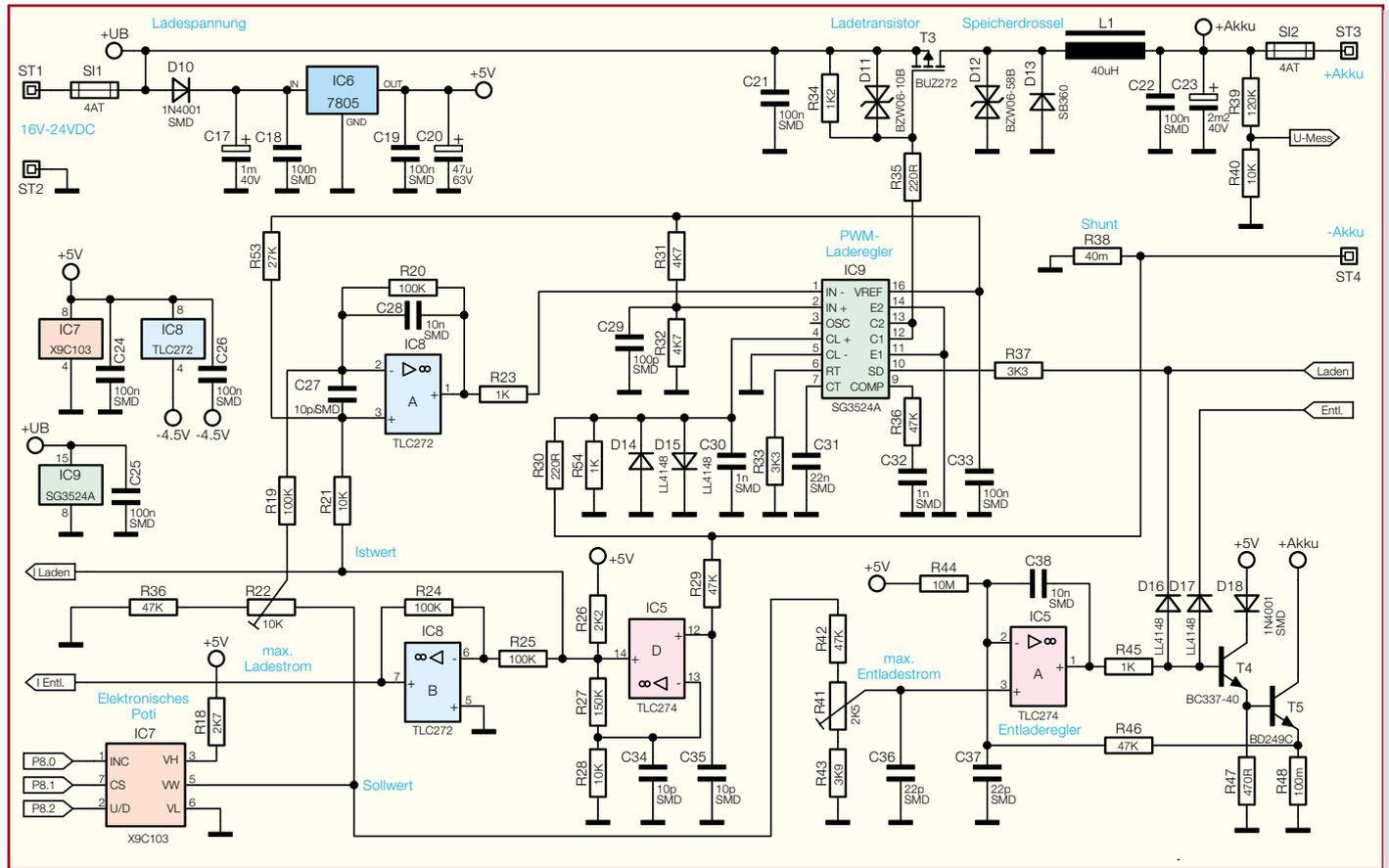


Bild 8: Analogteil des Lademoduls ALC 100, bestehend aus Lade- und Entladekanal

gangsspannung von 5 V und verhindert gleichzeitig Schwingneigungen am Ausgang des Festspannungsreglers.

Die Entlade-Endstufe ist recht einfach und mit IC5A, T4, T5 und externer Beschalung realisiert. Auch hier erfolgt die Sollwert-Vorgabe mit Hilfe des elektronischen Potis IC7, gesteuert vom Mikrocontroller.

Über den Spannungsteiler R41 bis R43 wird der Sollwert direkt dem nicht invertierenden Eingang des mit IC5A aufgebauten Reglers zugeführt. R41 dient dabei zum Abgleich des maximalen Entladestroms.

Die Freigabe des Entladekanals erfolgt durch ein High-Signal an der Katode von D17. Bei Freigabe steuert der OP-Ausgang über R45 den Emitterfolger T4 und dieser wiederum den Entladetransistor T5.

Am (Shunt-)Widerstand R48 entsteht ein entladestromabhängiger Spannungsabfall, der über R46 auf den invertierenden Eingang von IC5A gegeben wird. Der Regelkreis ist damit geschlossen.

Die Regeleigenschaften werden in erster Linie von C38 bestimmt, und C36, C37 dienen zur HF-Störunterdrückung an den OP-Eingängen. Damit der Regler unabhängig vom Offset des OPs immer sicher auf null gefahren werden kann, wird der invertierende Eingang über R44 leicht vorgespannt. Im „ELVjournal“ 4/2004 erfolgt die Beschreibung des Aufbaus und der Inbetriebnahme des ALC 100. **ELV**

gangsspannung von 5 V und verhindert gleichzeitig Schwingneigungen am Ausgang des Festspannungsreglers.

Die Entlade-Endstufe ist recht einfach und mit IC5A, T4, T5 und externer Beschalung realisiert. Auch hier erfolgt die Sollwert-Vorgabe mit Hilfe des elektronischen Potis IC7, gesteuert vom Mikrocontroller.

Über den Spannungsteiler R41 bis R43 wird der Sollwert direkt dem nicht invertierenden Eingang des mit IC5A aufgebauten Reglers zugeführt. R41 dient dabei zum Abgleich des maximalen Entladestroms.

Die Freigabe des Entladekanals erfolgt durch ein High-Signal an der Katode von D17. Bei Freigabe steuert der OP-Ausgang über R45 den Emitterfolger T4 und dieser wiederum den Entladetransistor T5.

Am (Shunt-)Widerstand R48 entsteht ein entladestromabhängiger Spannungsabfall, der über R46 auf den invertierenden Eingang von IC5A gegeben wird. Der Regelkreis ist damit geschlossen.

Die Regeleigenschaften werden in erster Linie von C38 bestimmt, und C36, C37 dienen zur HF-Störunterdrückung an den OP-Eingängen. Damit der Regler unabhängig vom Offset des OPs immer sicher auf null gefahren werden kann, wird der invertierende Eingang über R44 leicht vorgespannt. Im „ELVjournal“ 4/2004 erfolgt die Beschreibung des Aufbaus und der Inbetriebnahme des ALC 100. **ELV**