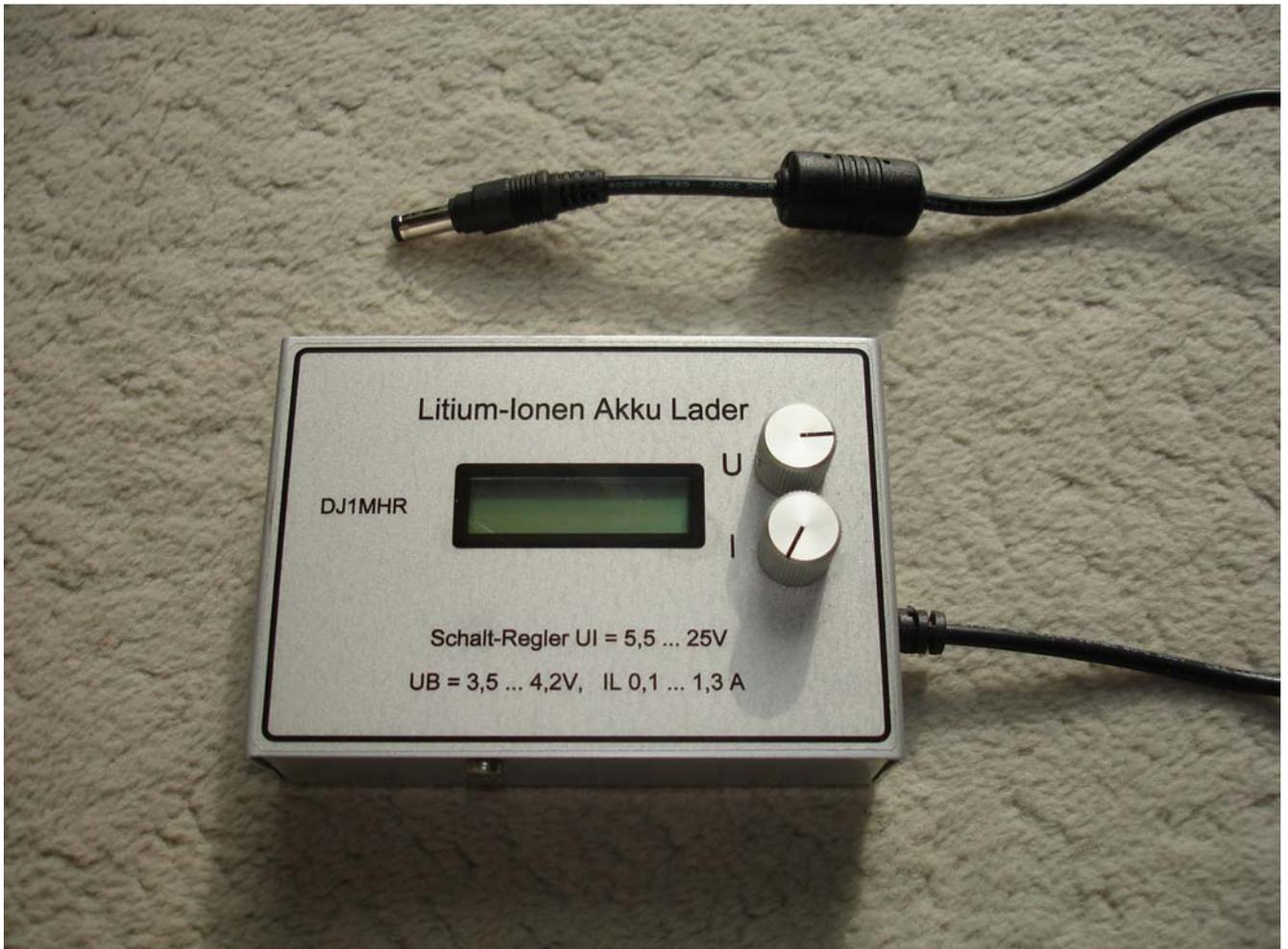


Li-Ionen Akku Ladegerät mit Schaltregler

Version 1.0 von DJ1MHR



Mit dem Li-Ionen Akku Ladegerät können einzelne LI-Ionen Zellen (keine Batterie Packs) aufgeladen werden. Das Gerät arbeitet nach einer reinen UI Kennlinie. Die Ladeschlussspannung kann von 3,00 bis 4,20 Volt entsprechend dem Akkutyp und der Ladestrom von 0,1 bis 1,3 A eingestellt werden. Zur Steuerung des Ladevorgangs zur Ausgabe der Daten und zur Bedienung des Schaltreglers wird ausschließlich der ATMEL Prozessor Attiny461 benutzt.

Beschreibung der Schaltung:

Das Schaltbild des Li-Ionen Ladegerätes ist in der Datei „LI-IonenLaderSR.dsn.pdf“ wiedergegeben. Die Hardware besteht im wesentlichen aus dem Prozessor IC1 (ATMEL Attiny461), einer 2x16 Zeichen LCD-Anzeige (J1), den Leistungselementen für die Schaltreglerfunktion und einigen anderen Komponenten. Die Eingangsspannung für das Gerät kann ca. 10 bis 24 Volt betragen und es wird am besten durch ein separates Steckernetzteil z.B. 12V/1A betrieben.

Die interne Stromversorgung für den Betrieb des Prozessors wird durch den Spannungsregler IC2 erzeugt.

Über die verschiedenen Analogeingänge werden vom Prozessor folgende Spannungen gemessen:

- ADC0: Einstellpoti für den maximalen Ladestrom I_{max} , Spannung am Port ca. 0...2,5V
- ADC1: Einstellpoti für die Ladeschlussspannung U_{Lmax} , Spannung am Port ca. 0...2,5V
- ADC2: Ausgangsspannung des Schaltreglers über Spannungsteiler 2:1, $U_{max} = 5V$
- ADC3: Batteriespannung über Spannungsteiler 2:1, $U_{max} = 5V$
- ADC4: Versorgungsspannung über Spannungsteiler 5:1, $U_{max} = 25V$
- ADC5: Analog Ground für neg. Differenzverstärkereingang zur Messung des Ladestroms
- ADC6: Spannung an R14, pos. Differenzverstärkereingang zur Messung des Ladestroms

Der Schaltregler (Abwärtsregler) wird aus den Komponenten Schalttransistor Q3 (P-Channel FET), Speicherdrossel L2, Schottkydiode D3 und Ladekondensator C7 gebildet. Zur Ansteuerung des Gates von Q3 sind einige zusätzliche Elemente erforderlich. Mit Q4 wird zuerst der 5V-Pegel des PWM-Steuersignals vom Prozessor auf den Pegel der Versorgungsspannung angehoben. Die Transistoren Q6 und Q7 erzeugen die nötige Treiberleistung zur Ansteuerung des FET, da dieser eine Gatekapazität von einigen Nano-Farad aufweist. Die Zenerdiode D7 begrenzt die Gatespannung auf 12V bei hohen Eingangsspannungen. Der Widerstand R10 begrenzt dabei den Strom durch die Zenerdiode.

Der Prozessor erzeugt das PWM Signal für den Schaltregler am Port B.1. Die Frequenz des Signals ist ca. 30KHz und das Tastverhältnis wird im Bereich 250:1 entsprechen der erforderlichen Leistung vom Prozessor (in Inkrementen von 1) nach Auswertung von Batteriespannung und Ladestrom eingestellt.

Zur Bestimmung des Ladestroms wird der Spannungsabfall an dem 0,1Ohm Widerstand R14 gemessen. Der Prozessor Attiny461 verfügt über einen eingebauten programmierbaren Differenzverstärker mit einer Verstärkung von 20, dessen Ausgangsspannung über den DA-Wandler gemessen werden kann. Damit entfällt ein externer Operationsverstärker.

Um einen sicheren Verpolschutz ohne Spannungsverluste zu gewährleisten wird der zu ladende Akku über ein Relais aufgeschaltet. Der Prozessor schaltet über Q1 das Relais erst ein, wenn eine Batteriespannung im positiven Bereich (z.B. +1... +5V) anliegt. Mit Hilfe des Widerstandes R14 kann bei Messung der Spannung an den Ladeklemmen zwischen einem offenen Eingang (ca. 0,5V) und einem falsch gepolten Akku (0V, da negative Spannungen nicht gemessen werden können) unterschieden werden.

Mit P1 wird der Kontrast der LCD-Anzeige eingestellt. Mit P2 und P3 können die Ladeschlussspannung und der Ladestrom eingestellt werden. Der Stecker J2 dient zum Anschluss des Programmierers für SW-Änderungen.

Beim Layout der Schaltung ist darauf zu achten, dass die hohen Schaltströme nicht die analoge Masse für die Spannungsmessungen beeinträchtigen.

Beschreibung der Software:

Nach Initialisierung der Ports, des LCDs, des AD-Wandlers des Timers 1 als PWM-Generator und nach Ausgabe des Logos beginnt der Ablauf mit der Main-Loop für den Betrieb. Der genaue Ablauf der Software ist auch im Flussdiagramm am Ende der Beschreibung zu finden. Hier vorab einige Hinweise zur Softwarestruktur:

Der Betrieb des Schaltreglers zusammen mit einem LCD Display machte eine besondere Softwarestruktur erforderlich. Einmal benötigt die Regelfunktion für den Schaltregler einen möglichst schnellen und vor allem regelmäßigen Ablauf bei Messung der Stellgrößen (UB und IL) und der Einstellung des PWM-Signals. Andererseits dauern die Zugriffe auf das LCD-Display bei Ausgabe von mehreren Zeichen verhältnismäßig und auch unterschiedlich lange. Um durch die LCD-Ausgaben nachteilige Auswirkungen auf die Reglereigenschaften zu vermeiden, wurde ein Ablauf gewählt, der immer nur ein Zeichen auf dem Display ausgibt und dann wieder die Reglerfunktion bedient. Nach der Ausgabe der gesamten Daten wird die LCD-Ausgabe unterdrückt und die neuen gemessenen Werte in den Ausgabepuffer eingetragen. Die Befehle zur Cursorpositionierung oder Löschen des Displays wurden innerhalb der Main Loop gänzlich vermieden, da diese noch wesentlich mehr an Zeit benötigen. Stattdessen wird zyklisch immer ein Zeichen von einer 80 Zeichen langen Zeichenkette ausgegeben. Die Ausgabe eines Zeichen positioniert den Cursor automatisch an die nächste Stelle. Die Zeichen 1 bis 16 belegen die Zeichen der 1. Zeile, die Zeichen 17 bis 40 sind unsichtbar, die Zeichen 41 bis 56 belegen die Zeichen der 2. Zeile, die Zeichen 57 bis 80 sind wieder unsichtbar. Das 81. Zeichen befindet sich wieder an Position 1 der ersten Zeile. Damit kann das gesamte Display beschrieben werden ohne eine explizite Cursorpositionierung durchführen zu müssen. Das PWM-Signal selbst wird dann entsprechend der Einstellungen unabhängig von irgendwelchen Softwarelaufzeiten vom Waveformgenerator selbständig erzeugt.

Der Main Loop beginnt mit der Messung von UB und IL. Solange die Klemmenspannung unter einem Mindestwert liegt, bleiben Laderelais und Regler abgeschaltet und der Status „Ready“ wird eingenommen. Im Falle dass UB=0 gemessen wird, liegt eine Falschpolung des Akkus vor und es wird „ChkPol!“ ausgegeben. Dann kehrt der Ablauf über die Zeichenausgabe oder den Dateneintrag wieder zum Beginn der Main Loop zurück.

Liegt UB über dem Mindestwert wird geprüft, ob die Ladung bereits aktiv ist. Wenn nicht, wird das Laderelais eingeschaltet, die Daten initialisiert und der Ladestatus eingenommen. Dann Rückkehr zur Main Loop wie oben.

Ist die Ladung bereits aktiv, wird eine Prüfung des Voll-Zählers durchgeführt. Siehe Bedienung des Voll-Zählers im Abschnitt Einträge B2. Dann wieder Rückkehr zur Main Loop wie oben.

Als nächstes wird die Stellung des Zählers (D) der den Rhythmus zur RI-Bestimmung festlegt, abgefragt. Im Normalfall, wenn keine RI-Bestimmung durchgeführt werden soll, werden die aktuellen Werte für Batteriespannung und Ladestrom abgespeichert. Jetzt erfolgt die Bedienung des Schaltreglers. Wenn die aktuelle Batteriespannung den Maximalwert noch nicht erreicht hat, wird der aktuelle Ladestrom mit dem Maximalwert verglichen. Ist der maximale Ladestrom ebenfalls noch nicht erreicht, wird das Tastverhältnis des PWM-Signals um eine Einheit erhöht, dadurch wird die Dauer des Stromflusses durch die Speicherdrossel und damit die Ausgangsspannung des Schaltreglers erhöht. Anderenfalls wird das Tastverhältnis des PWM-Signals um eine Einheit reduziert. Wenn die zuvor gemessene Batteriespannung den Maximalwert erreicht hat, wird ohne Berücksichtigung des Ladestroms die Ausgangsleistung des Schaltreglers um eine Einheit reduziert. Dann Rückkehr zur Main Loop wie oben.

Wenn die o.g. Prüfung des RI- Rhythmus Zählers (D) eine RI-Bestimmung verlangt, dies ist alle ca. 60 Sekunden der Fall, wird als erstes der Ladestrom abgeschaltet und nach einer Wartezeit in der der Ladestrom sicher abgeklungen ist, zur Main Loop zurückgekehrt. Beim nächsten Durchlauf wird dann anhand der vorher bei Ladung gemessenen Batteriespannung, der jetzt bei abgeschaltetem Ladestrom gemessenen Leerlaufspannung dem vorher gemessenen Ladestrom der Innenwiderstand des Akkus berechnet. Nach Rücksetzen des Zählers (D) kehrt der Ablauf wieder zur Main Loop zurück.

Die oben beschriebenen Aktionen sind alle in der Hauptregelschleife untergebracht, die möglichst häufig durchlaufen wird. Im Anschluss daran wird in Abhängigkeit des Zeichenzählers (N), bei $N \leq 80$ die Ausgabe eines Zeichens aus dem Ausgabepuffer auf das Display oder bei $N > 80$ der Eintrag einer auszugebenden Größe in den Ausgabepuffer vorgenommen.

Ausgabe eines Zeichens auf dem Display:

Das Display verfügt über 2x16 Zeichen, demzufolge besteht der Ausgabertext aus einer Zeichenkette mit 32 Positionen. Die ersten 16 Zeichen sollen in Zeile 1 und die Zeichen 17 bis 32 in Zeile 2 als eines von insgesamt 80 Zeichen ausgegeben werden. Dazu wird aus N ein Index I berechnet, der auf das auszugebende Zeichen zeigt. Die Zeichen 17 bis 40 und 57 bis 80 sind außerhalb des Darstellungsbereiches des Displays und werden fest mit dem Zeichen 10, einem Blank, aus dem Ausgabertext belegt. Nach der Ausgabe eines Zeichens wird N jeweils um eins erhöht.

Eintrag eines Wertes in den Ausgabepuffer:

Das Eintragen der Daten in den Ausgabepuffer wird in 4 Teilen vorgenommen, um die Bedienung der Reglerfunktion nicht zu lange zu unterbrechen. Dazu werden in Abhängigkeit des Zählers (B) unterschiedliche Einträge bearbeitet:

Als erstes wird Zähler B inkrementiert. Wird $B > 4$ so wird B wieder auf 1 gesetzt und ein weiterer Zähler (C) inkrementiert. Das Produkt aus den Laufzeiten $B \cdot C$ zusammen mit der Dauer der Ausgabesequenz legt die Zeit für die Displayaktualisierung fest. Diese Zeit bildet zugleich die Zeiteinheit für die Bestimmung der dem Akku zugeführten Ladung und dient zur Festlegung des Zeitabstandes zwischen den einzelnen RI-Bestimmungen. Wenn C seinen Maximalwert erreicht hat, wird mit $N=1$ die Displayaktualisierung eingeschaltet, Zähler (D) für die RI-Bestimmung inkrementiert und die Ladung QL mit dem aktuellen IL aufsummiert.

Dann erfolgt bei $B=1$ im Falle Ladung aktiv, der Eintrag von UB und im Falle Ladung nicht aktiv, die Messung und der Eintrag von U_{bmax} . Anschließend wird grundsätzlich noch IL_{max} gemessen.

Bei $B=2$ wird der aktuell gemessene Ladestrom mit einem Minimalwert verglichen. Solange dieser nicht unterschritten ist, wird der Ladestrom in den Ausgabepuffer eingetragen. Wird der Minimalwert unterschritten wird der Voll-Zähler (Fcnt) abgefragt. Hat dieser seinen Maxwert erreicht wird die Ladung abgeschaltet und der Status „Full!“ eingenommen, anderenfalls wird Fcnt inkrementiert. Der anschließende Waitzyklus dient zur Einstellung der Laufzeit, damit alle Eintragszweige in etwa gleich lange dauern.

Bei $B=3$ wird, wenn bereits ein Messwert für RI vorliegt, dieser in den Ausgabepuffer eingetragen, anderenfalls wird die aktuelle Versorgungsspannung gemessen und an dieser Stelle eingetragen. Der anschließende Waitzyklus dient zur Einstellung der Laufzeit, damit alle Eintragszweige in etwa gleich lange dauern.

Bei $B=4$ wird, wenn bereits ein Messwert für QL vorliegt, dieser in den Ausgabepuffer eingetragen, anderenfalls wird die IL_{max} an dieser Stelle eingetragen. Auch hier wird ein Waitzyklus angeschlossen, damit alle Eintragszweige in etwa gleich lange dauern.

Wenn alle Einträge ausgeführt sind wird ein gemeinsamer Waitzyklus durchlaufen, damit die Eintragssequenzen in etwa solange dauern, wie die Ausgabesequenz und ein regelmäßiger Durchlauf der Regelschleife gewährleistet ist.

Weitere Anmerkungen zur Software:

Alle wichtigen Konstanten sind am Anfang des Programmcodes als Konstanten definiert, so können sie bei Bedarf leicht abgeändert werden. Für manche Konstanten, die von anderen abhängig sind, ist die Formel angegeben und sie werden vom Compiler berechnet. Für die Ausgabe von Batteriespannung und Ladestrom wird ein Ringpuffer benutzt und der Mittelwert aus den gespeicherten Werten ausgegeben. Dadurch werden die durch den Schaltregler bedingten Schwankungen etwas gedämpft.

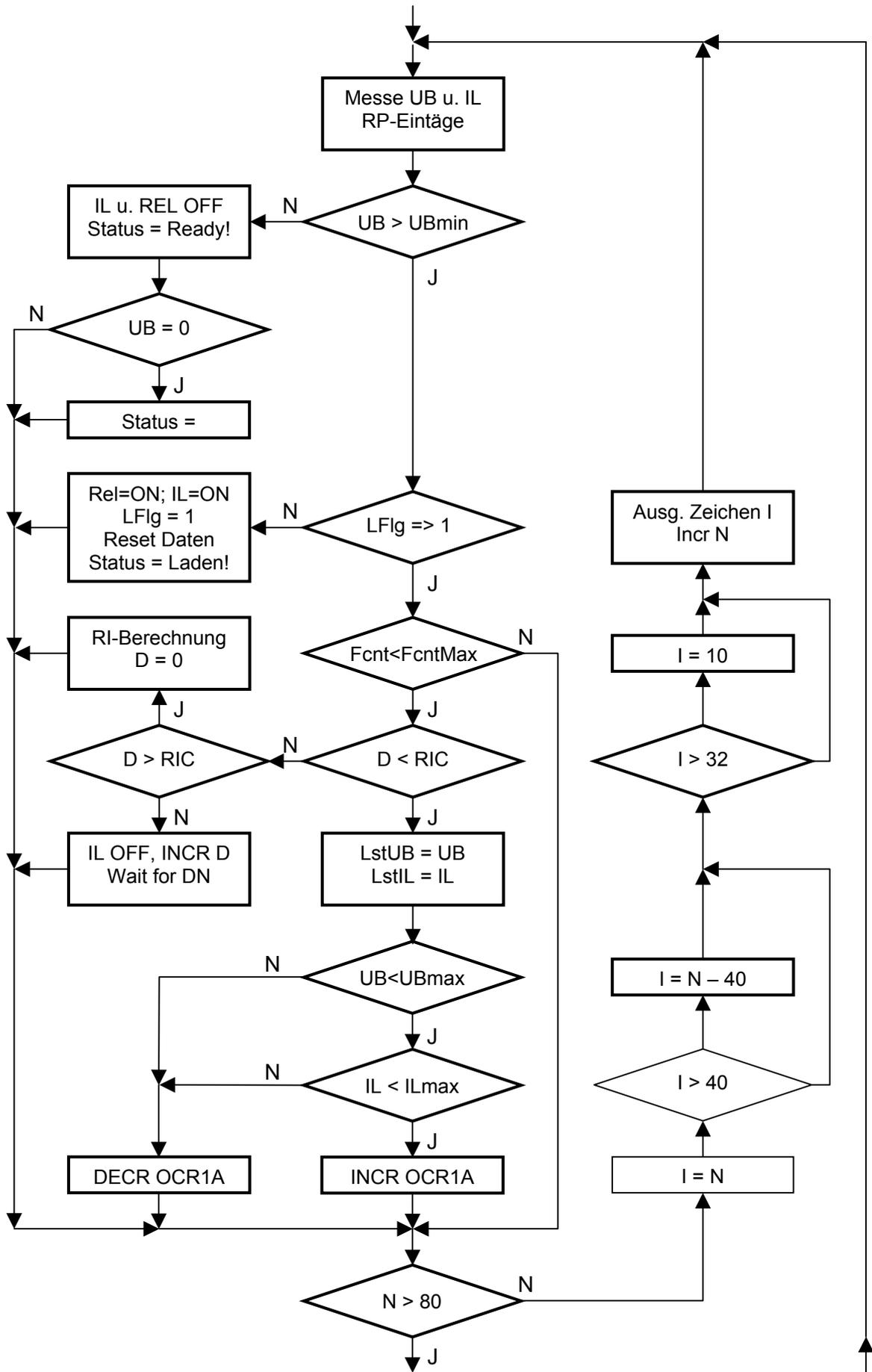
Um auf den Ausgabepuffer selektiv zugreifen zu können wurden die Positionen der einzelnen Werte als Overlay über den Hauptpuffer definiert. Im Anschluss an den Eintrag eines Wertes muss das Textendezeichen (Ascii 0) mit einem ausgebenen Zeichen überschrieben werden.

Der Timer 1 wird durch direkte Einstellung der Controlregister für Fast-PWM konfiguriert, da über Bascom die erforderlichen Feinheiten nicht konfigurierbar sind.

Beim Einschalten des Laderelais wird vorher der Schaltregler aktiviert und gewartet bis die Spannung am Ladekondensator die Höhe der anliegenden Batteriespannung erreicht hat. Auf diese Weise werden Stromspitzen, die sonst beim Anschalten des entladenen Kondensators auftreten, verhindert.

Weitere Details der Softwareimplementierung sind aus den Kommentaren im Code zu entnehmen.

Li-Ionen Lader Flußdiagramm: Main Loop Entry



Li-Ionen Lader Flußdiagramm: Einträge in Ausgaberegister

