



Messung von:

- Leistungsaufnahme
- Energiekosten
- Netzspannung
- Stromaufnahme
- Netzfrequenz
- Betriebszeit
- Einschaltzeit
- Min- und Max-Werte
- Automatische Meßbereichswahl

Energie-Monitor

EM 94

Teil 2

Im zweiten und abschließenden Teil dieses Artikels wenden wir uns der ausführlichen Schaltungsbeschreibung sowie dem Nachbau und der Inbetriebnahme zu.

Schaltung

Zum besseren Verständniss der Schaltung sei hier noch einmal auf das Blockschaltbild (Bild 2) des EM94 verwiesen, das im ersten Teil des Artikels vorgestellt und beschrieben wurde.

Für eine gute Übersichtlichkeit ist der gesamte Schaltplan in die folgenden 4 Bereiche aufgeteilt:

- Netzteil und Blockung (Bild 3)
- Meßverstärker und Nulldurchgangsdetektoren (Bild 4)
- AD Wandler (Bild 5)
- Prozessor und Anzeigenteil (Bild 6)

Netzteil (Bild 3)

Da elektronische Schaltungen ohne

Spannungsversorgung in der Regel nicht funktionieren, beginnen wir die Schaltungsbeschreibung mit dem Netzteil.

Die beiden benötigten erdsymmetrischen Betriebsspannungen von +5V und -5V werden über ST 1 und ST 3 (das sind die Stifte des Steckers) direkt dem 230V-Netz entnommen, wobei ST3 das Bezugspotential für das gesamte Gerät bildet. Über den Vorwiderstand, der aus R2, R3 und C1 gebildet wird, werden mit Hilfe der Gleichrichterdiolen D4 und D5 sowie der Z-Dioden D6, D7 und der Ladekondensatoren C4, C5 zwei unstabilisierte Spannungen von +15V und -15V erzeugt (D6 und D7 begrenzen dabei die Spannungen an den Elkos auf +15V bzw. -15V).

Durch die beiden Spannungsregler IC1 und IC12 werden diese unstabilisierten

Spannungen auf +5V bzw. -5V stabilisiert. C7 und C8 bilden dabei die Ladeelkos der Spannungsregler und die keramischen 100nF Kondensatoren C9, C10 sowie C20 bis C29 dienen zur Störunterdrückung auf den Versorgungsleitungen, wobei die Kondensatoren jeweils möglichst dicht den einzelnen ICs zugeordnet sind.

Nachdem die Spannungsversorgung sichergestellt ist, wenden wir uns der Aufbereitung der zu messenden Größen zu.

Meßverstärker und Nulldurchgangsdetektoren (Bild 4)

Wir beginnen die Erläuterung der in Abbildung 4 gezeigten Schaltung mit der Beschreibung des **Spannungszweiges**.

Die an ST1 anliegende Netzwechselspannung wird mit Hilfe der Gleichrichterdiode D1 gleichgerichtet, und mit R4 und C2 integriert. An C2 bildet sich bei einer Eingangswechselspannung von 230V somit eine Gleichspannung der Größe:

$$U_C = \frac{U_N \cdot 0.45 \cdot (R_5 + R_6)}{R_4 + R_5 + R_6} = 25.3 \text{ V}$$

Diese wird mit dem Spannungsteiler R5 und R6 auf 1.6V heruntergeteilt, die vom nachfolgenden AD-Wandler schadlos zu verarbeiten ist.

Zusätzlich wird von ST1 über die beiden Widerstände R10 und R11 noch die Eingangsspannung auf einen Verstärker mit dem Verstärkungsfaktor 100 geleitet (R7, R8, C3 und IC2A), um die Nulldurchgänge der Spannung zu erfassen. Die beiden Dioden D2 und D3 begrenzen die Spannung am OP auf ein für ihn unbedenkliches Niveau. Damit höherfrequente Störungen der Netzspannung keine Fehlwertung verursachen, ist der Verstärker mit Hilfe von C3 als Tiefpaß ausgeführt.

Am Ausgang des OP liegt jetzt eine netzfrequente Rechteckspannung an, deren positive Flanke über den Schalttransistor T3 im Prozessor einen Interrupt auslöst, wodurch dieser in der Lage ist, die Netzfrequenz und mit Hilfe der Stromnulldurchgänge, auf deren Erzeugung wir in nächsten Absatz noch eingehen werden, die Phasenverschiebung zu berechnen.

Nach der Erläuterung des Spannungszweiges, wenden wir uns dem **Stromzweig** zu.

Da der zu messende Verbraucher R_L in Reihe mit dem Meß-Shunt R1 geschaltet ist, fließt der Strom im Shunt sowie in der Last mit gleicher Stärke. Durch den Stromfluß im Shunt fällt über diesen eine dem Strom proportionale Wechselspannung ab, die mit Hilfe des Differenzverstärkers (R12, R13, R15, R16, C11 und IC3 A) auf das 18fache verstärkt wird. Um Störungen zu eliminieren ist der Differenzverstärker als Tiefpaß mit einer Grenzfrequenz von ca. 100Hz ausgeführt.

Über den Koppelkondensator C12 gelangt das Meßsignal auf den schaltbaren Verstärker (IC3B, R18, R19 und T1), der entweder eine Verstärkung von 1 (T1 gesperrt) oder 10 (T1 durchgeschaltet) hat. Geschaltet wird dieser Verstärker vom Prozessor über die Schaltstufe, die aus R20 bis R23 und T2 gebildet wird.

Nachdem das zu messende Signal nun 18- bzw. 180fach verstärkt worden ist, gelangt es einerseits über C13 auf den aus R30 bis R32 und IC2 B aufgebauten Nulldurchgangsdetektor, der die Nulldurchgänge des Stromes über die Schaltstufe R33 und T4 dem Prozessor mitteilt.

Zusätzlich gelangt das Ausgangssignal von IC3 B über C14 auf den Präzisions-Zweiweg-Gleichrichter, gebildet aus R24 bis R29, D9, D10 sowie IC3 C und D. Da dem Gleichrichter noch ein Integrationskondensator C15 aufgeschaltet ist, liegt an seinem Ausgang jetzt eine dem Strom durch die Last proportionale Gleichspannung an, welche vom nachfolgenden AD-Wandler gemessen werden kann.

Die Schaltstufen T2, T3 und T4 sind erforderlich, weil die Analogstufen im Gegensatz zu den Digitalstufen mit zwei erdsymmetrischen Spannungen versorgt werden.

Nachdem die zu messenden Spannungen verstärkt bzw. abgeschwächt, gleichgerichtet und gesiebt sind, werden sie vom **AD-Wandler (Bild 5)** in einem dem Prozessor verständlichen Binärwert umgesetzt.

Ausgeführt ist dieser Wandler im Ein-

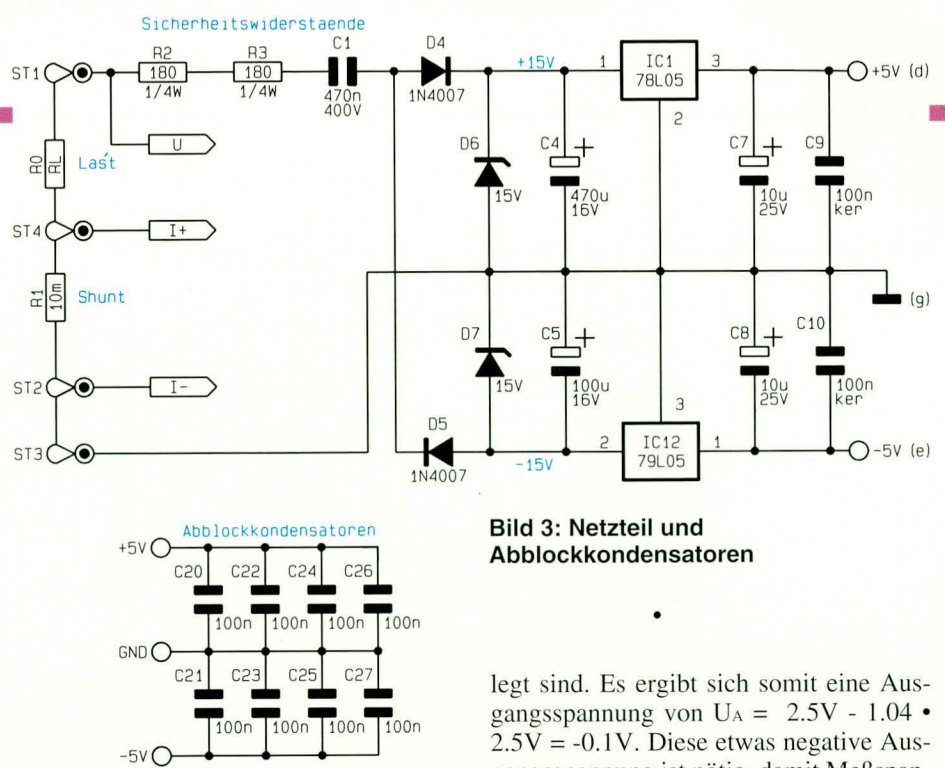


Bild 3: Netzteil und Abblockkondensatoren

legt sind. Es ergibt sich somit eine Ausgangsspannung von $U_A = 2.5V - 1.04 \cdot 2.5V = -0.1V$. Diese etwas negative Ausgangsspannung ist nötig, damit Meßspannungen ab 0V gewandelt werden können.

Im Speicherbetrieb sind beide Schalter A und B geöffnet und der OP ist als Integrierer ohne Eingangssignal geschaltet. Da keine (oder höchstens vernachlässigbar kleine) Eingangsströme fließen, ändert sich die Ausgangsspannung des OPs nicht.

Im Integriertbetrieb sind beide Schalter (A und B) geschlossen. Somit fließt über C16, R34 und dem Schalter A ein Strom nach Masse, der vom OP so groß geregelt wird, daß der Spannungsabfall an R34 gleich der Spannung über R36 ist. Dieser Strom lädt den Integriertkondensator C16 auf, und die Ausgangsspannung steigt an.

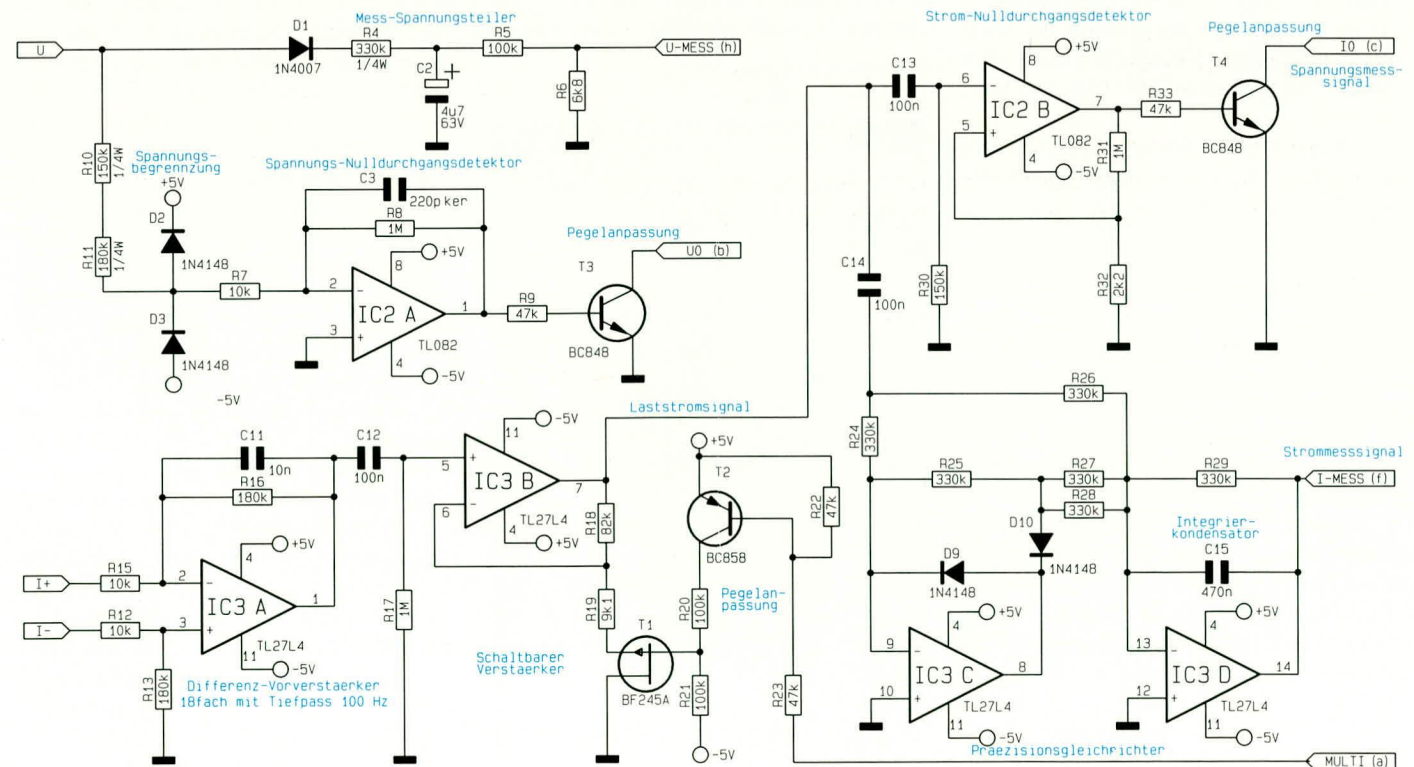


Bild 4: Schaltung der Meßverstärker und Nulldurchgangsdetektoren

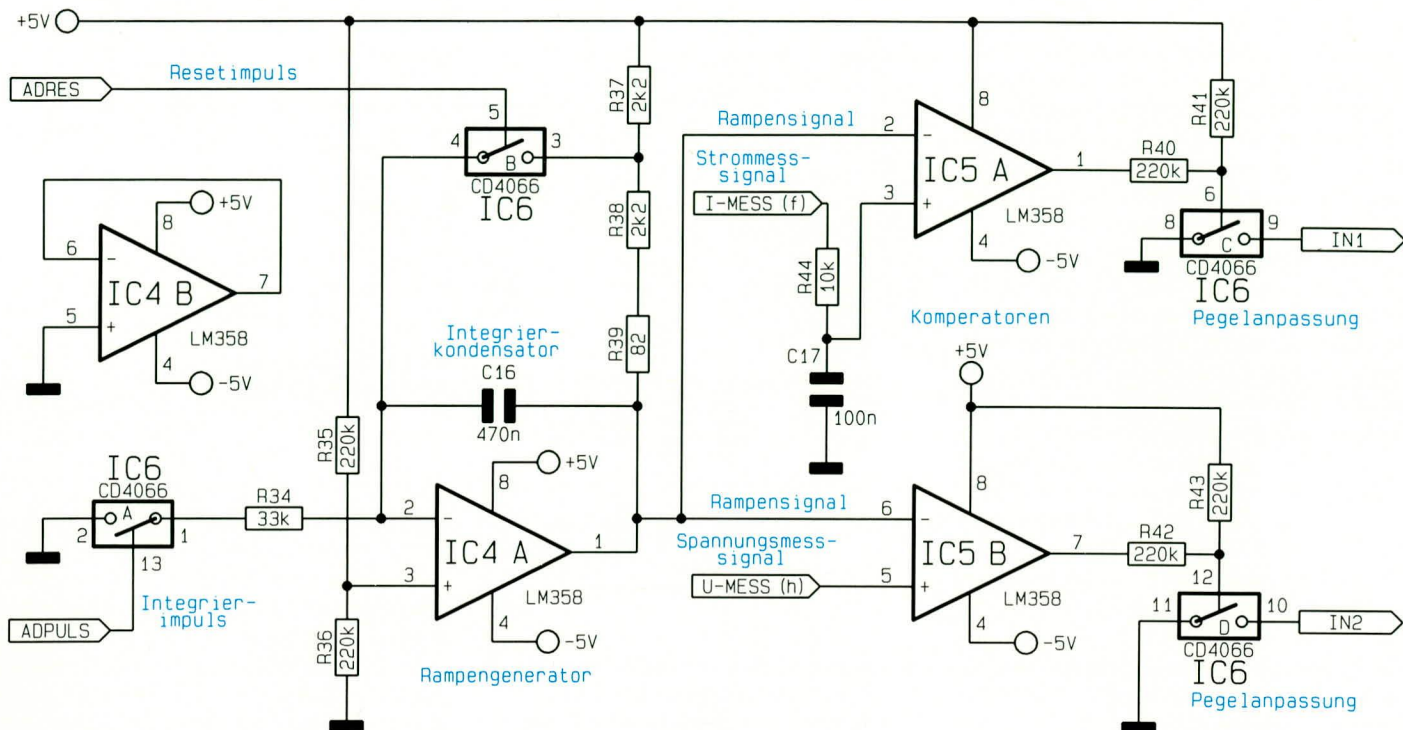


Bild 5: Schaltung des 11 Bit-A/D-Wandler

Der Spannungsanstieg am Ausgang läßt sich nach folgender Formel berechnen:

$\Delta U = (U_B \cdot t) / (2 \cdot R_{34} \cdot C_{16}) = 161 \text{ V/s} \cdot t$ und ist somit der Länge des Eingangsimpulses direkt proportional.

Erzeugt werden diese Impulse vom Prozessor und sind somit immer gleich lang. Dadurch steigt die Ausgangsspannung bei jedem Impuls um den gleichen Betrag an.

Die Ausgangsspannung des Rampengenerators gelangt auf die invertierenden Eingänge von zwei Komparatoren, an deren nicht invertierenden Eingängen die beiden zu messenden Spannungen (U_{Mess} und I_{Mess}) anliegen.

Solange das Rampensignal am invertierenden Eingang des Komparators kleiner dem Meßsignal am nicht-invertierenden Eingang des Komparators ist, ist der Ausgang positiv und der nachgeschaltete Schalter (C oder D) geschlossen. Erreicht die Rampenspannung die Größe der zu messenden Spannung und überschreitet diese, so schaltet der Komparator um und der Schalter öffnet. Dies wird vom Prozessor erkannt und er kann den momentanen Zählerstand des Integrierimpulszählers als Wandlungswert übernehmen.

Ist die Wandlung von beiden zu messenden Spannungen beendet, wird der AD-Wandler zurückgesetzt und eine neue Wandlung kann beginnen. Die Auflösung dieses AD-Wandlers beträgt 11 Bit (2048 Stufen) und eine Wandlung dauert ca. 300ms.

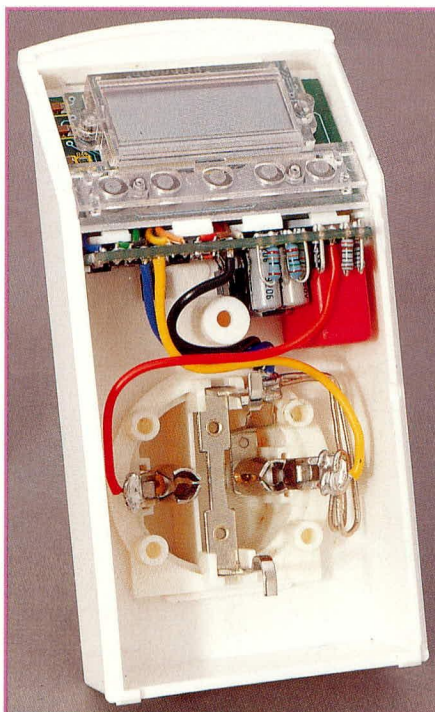
Prozessor und Anzeigenteil (Bild 6)

Den zentralen Kern des ganzen Gerätes bildet der Prozessor IC 7 vom Typ 80C52.

Über seine Ports P2 und P0 sowie über die serielle 24 Bit Porterweiterung IC 9, IC 10 und IC 11 steuert der Prozessor eine 39segmentige LCD Anzeige, auf der alle gemessenen und berechneten Werte mit ihren Einheiten darstellbar sind.

Die serielle Porterweiterung wird durch drei 8Bit Schieberegister mit Latch, die zu einem 24Bit Schieberegister verschaltet sind, gebildet. Über die Portausgänge P3.0 und P3.1 werden die 24 Bit mit einer synchronen Datenübertragung vom Prozessor

Innenansicht des fertigen Gerätes



in die 3 Schieberegister übertragen und mit einem Übernahmeimpuls am Portpin P1.5 in die Ausgangslatches übernommen. Über die Portpins P1.6 und P1.7 erfolgt per I²-C-Bus die Kommunikation des Prozessors mit dem EEPROM, in dem die Referenzmessungen und bei Stromausfall alle relevanten Daten gespeichert werden.

Die Tasten TA1 bis TA5 sowie die Konfigurationsdiode D11 werden über die Portpins P1.0, P1.2, P1.3, P1.4 sowie P3.0 und P3.1 abgefragt. Die Portpins P3.3 und P3.7 steuern den AD-Wandler und über P3.4 und P3.5 wird der Zustand der beiden Komparatoren des AD-Wandlers abgefragt. Mit dem Portpin P3.6 wird der schaltbare Verstärker im Stromzweig gesteuert und mit P3.2 und P1.1 die Nulldurchgänge der Spannung und des Stromes detektiert. Zu erwähnen wären jetzt noch die 8 Pull-up-Widerstände R46 bis R53, die nötig sind, weil der Port P0 des Prozessors Tristate Ausgänge besitzt und nicht wie an den anderen Ports interne Pull-ups.

Nachbau

Die recht komplexe Schaltungstechnik des Energie-Monitors EM 94 ist in einem formschönen, kompakten Stecker-Steckdosengehäuse untergebracht. Ein großer Teil der eingesetzten Bauteile ist dabei in SMD-Technik ausgeführt. Zur Erleichterung des Nachbaus sind die SMD-Komponenten werkseitig bereits eingesetzt und verlötet.

Die Bestückung der weiteren Bauteile erfolgt in gewohnter Weise anhand der Stückliste des Bestückungsplanes sowie

des Bestückungsaufdruckes. Für alle Bauteile gilt, falls nichts anderes angegeben ist, daß sie stehend und so dicht als möglich einzusetzen sind. Nach dem Verlöten der Anschlußbeinchen sind diese so kurz als möglich abzuschneiden, ohne dabei aber die Lötungen oder die Leiterbahnen zu beschädigen.

Wir beginnen den Aufbau mit der Meßverstärker-Platine, die auch gleichzeitig die Spannungsversorgung trägt. Zuerst sind die Dioden D 1 und D 4 bis D 7 stehend einzusetzen, wobei auf die richtige Einbaulage zu achten ist. Es folgen die Widerstände R 2, R 3, R 6, R 10, R 11, deren genaue Positionierung dem Bestückungsdruck zu entnehmen ist.

Nachdem auch die beiden Spannungs-

regler IC 1, IC 12 sowie der Transistor T 1 eingesetzt und verlötet sind, folgt der Einbau der 5 Elkos C 2, C 4, C 5, C 7 und C 8 sowie des großen Kondensators C 1. Bei den Elkos ist ebenfalls auf die richtige Polung zu achten.

Anschließend wird die 8adrige farbige Flachbandlitze in einzelne Adern aufgeteilt, die Adern an ihren Enden abisoliert, verzinnt und von der Rückseite der Platine her an den Anschlußpunkten „a“ bis „h“ angelötet. Hierüber erfolgt später die Verbindung mit der Prozessorplatine. Damit ist die erste Leiterplatte so weit fertigge-

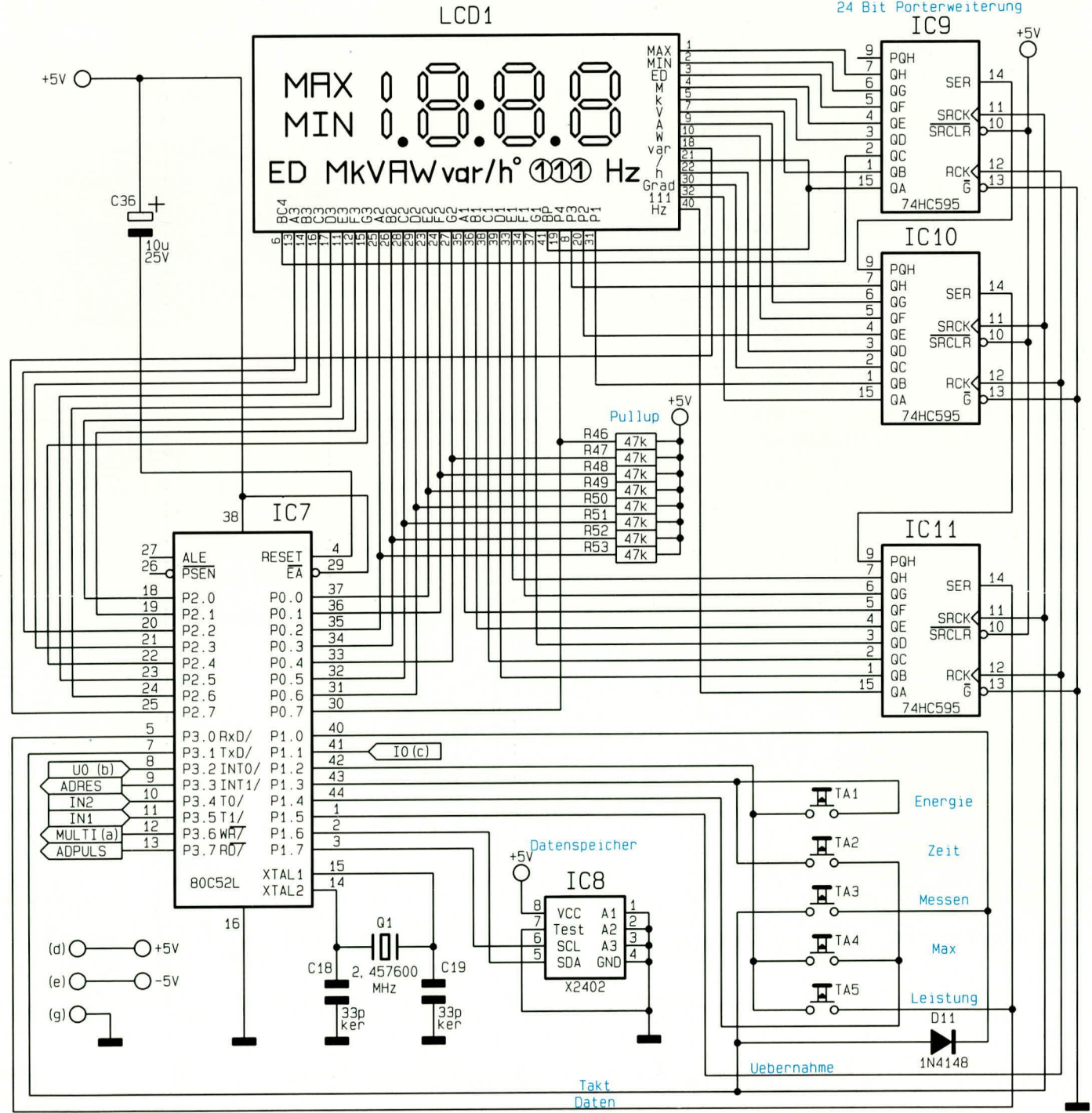
stellt, und wir wenden uns der zweiten Platine zu.

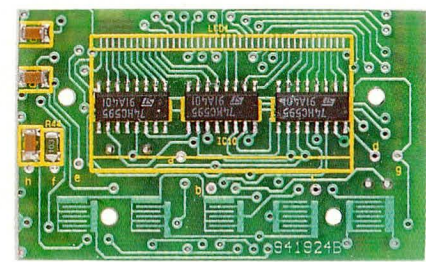
Auf der Prozessorplatine brauchen nur 2 Bauteile, nämlich der Quarz und der Elko C 36 bestückt zu werden. Bei letzterem ist auf die richtige Einbaulage zu achten.

Nun kann die LCD-Anzeige montiert werden, gefolgt von den Tasten. Hierbei gibt es einige Punkte, die zu beachten sind.:

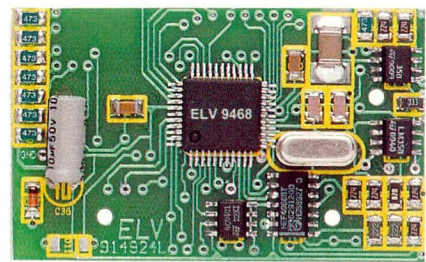
Zum Schutz gegen Kratzer ist das Display auf der Vorderseite mit einer Folie versehen, die vor dem Einbau zu entfernen ist. Da die LCD-Anzeige aus 2 Glasscheiben mit einer sich dazwischen befindlichen Flüssigkeit besteht, ist sie empfindlich gegen Druck und Stöße. Um eine Beschädigung zu verhindern, ist eine sorgsame Behandlung nötig.

Bild 6: Schaltbild des Prozessor- und Anzeigeteils





Ansicht der komplett aufgebauten Vorderseite der Prozessorplatine mit zugehörigem Bestückungsplan



Fertig aufgebaute Rückseite der Prozessorplatine mit Bestückungsplan

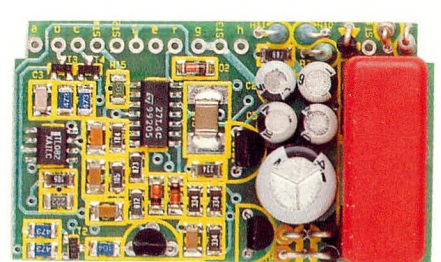


Foto der Vorderseite der Meßverstärkerplatine mit zugehörigem Bestückungsplan

Stückliste: Energie-Monitor

Widerstände:

82Ω	R39
180Ω	R2, R3
2,2kΩ/SMD	R32, R37, R38
6,8kΩ/SMD	R6
9,1kΩ/SMD	R19
10kΩ/SMD	R7, R12, R15, R44
33kΩ/SMD	R34
47kΩ/SMD	R9, R22, R23, R33, R46 - R53
82kΩ/SMD	R18
100kΩ/SMD	R5, R20, R21
150kΩ/SMD	R30
150kΩ	R10
180kΩ/SMD	R13, R16
180kΩ	R11
220kΩ/SMD	R35, R36, R40 - R43
330kΩ	R4
330kΩ	R24 - R29
1MΩ/SMD	R8, R17, R31

Kondensatoren:

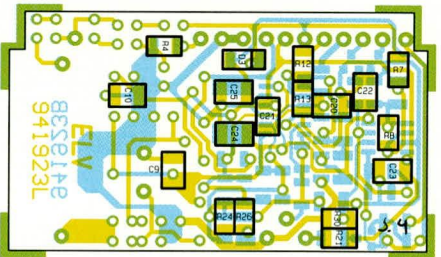
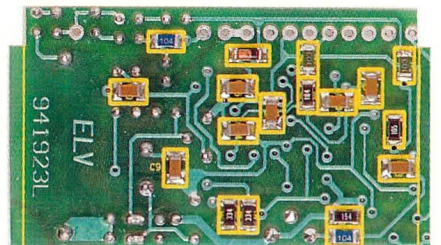
33pF/SMD	C18, C19
220pF/SMD	C3
10nF/SMD	C11
100nF/ker/SMD	C9, C10, C20 - C29
100nF/SMD	C12 - C14, C17
470nF/SMD	C15, C16
470nF/400V/WIMA	C1
4,7µF/63V	C2
10µF/25V	C7, C8, C36
100µF/16V	C5
470µF/16V	C4

Halbleiter:

ELV9468	IC7
X24C02/SMD	IC8
TL082/SMD	IC2
TL27L4/SMD	IC3
LM358/SMD	IC4, IC5
74HC595/SMD	IC9 - IC11
CD4066/SMD	IC6
78L05	IC1
79L05	IC12
BC848/SMD	T3, T4
BC858/SMD	T2
BF245A	T1
ZPD15V/0,4W	D6, D7
1N4007	D1, D4, D5
1N4148/SMD	D2, D3, D9 - D11

Sonstiges

- 1 LC-Display
- 1 Quarz, 2,457600MHz
- 1 Tasterelement, bestehend aus 5 Tastern
- 1 Gehäuse für EM94
- 18cm Manganindraht, 1,2mm²
- 6cm Flachbandkabel, RM 1,27mm, 8pol
- 7cm flexible Leitung, ST1, 0,5mm², rot
- 7cm flexible Leitung, ST1, 0,5mm², schwarz
- 7cm flexible Leitung, ST1, 0,5mm², blau
- 7cm flexible Leitung, ST1, 0,5mm², grün



Ansicht der komplett aufgebauten Rückseite sowie Bestückungsplan der Meßverstärkerplatine

Zur Verdeutlichung ist in Bild 7 die seitliche Ansicht des Displays skizziert. Die Anschlüsse der Anzeige sind am oberen Rand angebracht. Dies ist zu erkennen, indem die Anzeige etwas schräg gegen das

Licht gehalten wird. Für die weitere Montage empfiehlt sich als Unterlage ein weiches, fusselfreies Tuch.

Als erstes wird das durchsichtige Kunststoffteil so auf die Arbeitsfläche gelegt,

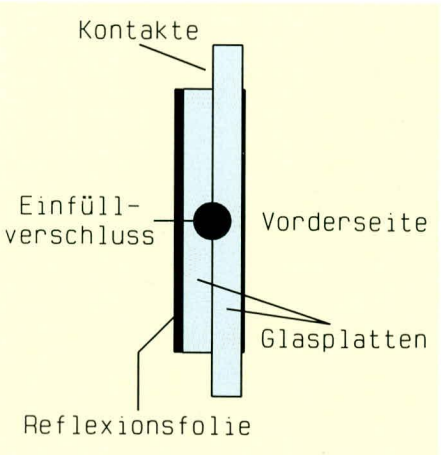


Bild 7: Querschnitt der LCD-Anzeige

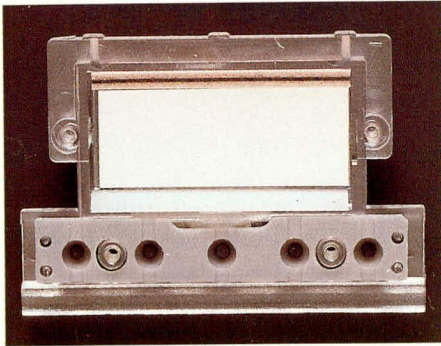


Bild 8:
Rückseite der
LCD- Anzei-
geneinheit

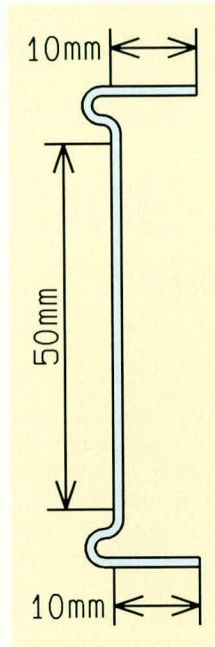


Bild 9:
Vorbereitung
des Wider-
standsdrahtes

daß das Kunststoffteil auf der planen Vorderseite aufliegt und sich die Bohrungen für die Taste unten befinden. Jetzt wird das Display mit der Vorderseite zuerst in die dafür vorgesehene Vertiefung eingelegt, und zwar so, daß sich die Anschlüsse der Anzeige oben befinden. Auf diese Anschlüsse wird das zweifarbig gestreifte Leitgummi und auf den unteren Absatz der Anzeige der weiße Distanzstreifen plaziert.

Nachdem das raue Tastengummi über die dafür vorgesehenen Bohrungen angeordnet wurde, folgt die Montage der Leiterplatte.

Zur Kontrolle ist in Bild 8 die komplett vorbereitete Anzeigeneinheit ohne die Prozessorplatine dargestellt. Bei der Montage der Prozessorplatine ist darauf zu achten, daß erstens das Leitgummi und der Distanzstreifen nicht umkippen und zweitens die Führungsstifte des Anzeigenhalters genau in die dafür vorgesehenen Bohrungen der Platine passen.

Befinden sich Platine, Anzeige und Tasten alle an dem für sie vorgesehenen Platz, wird die Leiterplatte mit Hilfe der Schrauben mit dem Kunststoffteil verbunden. Jetzt können die 8 Verbindungsleitungen „a“ bis „h“ von der ersten Platine kommend mit den entsprechenden Lötunkten der

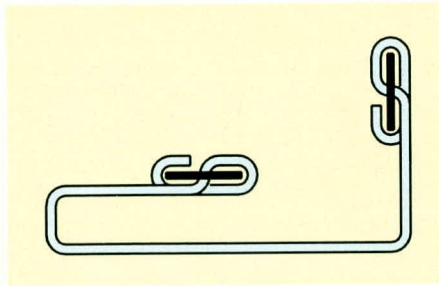


Bild 10: Verlegung des
Widerstandsdrahtes

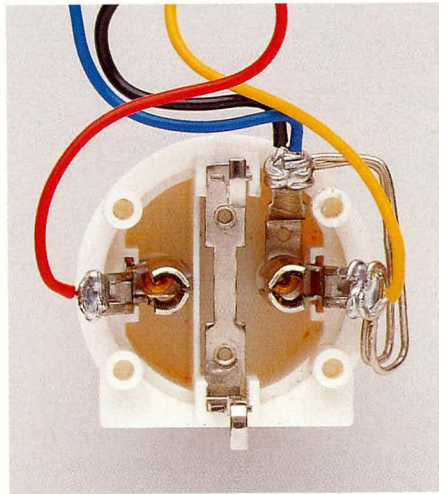


Bild 11: Vorbereitete Stecker-
Steckdoseinheit

Prozessorplatine verbunden werden.

Nachdem nun beide Leiterplatten so weit fertiggestellt sind, kommen wir zur Verdrahtung der Stecker-Steckdoseinheit. Der Shunt-Widerstand R 1 wird aus 2 jeweils 90 mm langen Widerstandsdrahtabschnitten gebildet, die wie in Bild 9 dargestellt, vorzubereiten sind. Ebenso werden die 4 verschiedenfarbigen Leitungsabschnitte an einem Ende auf 1,5 cm abisoliert.

Sodann sind die beiden Widerstandsdrahtabschnitte sowie der schwarze und der blaue Leitungsabschnitt durch die Bohrung im Anschluß „A“ der Stecker-Steckdoseinheit zu führen, um diesen dar-umzuwickeln und zu verlöten. Anschließend werden die Widerstandsdrähte wie aus Bild 10 und Bild 11 ersichtlich, um die Stecker-Steckdoseinheit herumgeführt und zusammen mit dem gelben Leitungsabschnitt durch die Bohrung im Anschluß „B“ gesteckt, ebenfalls herumgewickelt und verlötet.

Nachdem der rote Leitungsabschnitt durch die Bohrung im Anschluß „C“ gesteckt, herumgewickelt und verlötet wurde, ist die Einheit so weit fertig verdrahtet.

Vorder weiteren Montage empfiehlt sich ein Probearbeit ins Gehäuse, wobei darauf zu achten ist, daß der Widerstandsdraht

bei hohen Belastungen eine erhebliche Temperatur entwickeln kann, und deshalb an keiner Stelle mit einem Kunststoffteil in Verbindung kommen darf.

Ist der Probearbeit abgeschlossen und der Widerstandsdraht ggf. in seiner Position optimiert, können die 4 Anschlußleitungen der Stecker-Steckdoseinheit an die dafür vorgesehenen Anschlußpunkte ST 1 bis ST 4 angelötet werden. Die Zuordnung der Leitungen zu den Lötunkten sieht dabei wie folgt aus:

Rote Leitung	—> ST1
Gelbe Leitung	—> ST2
Schwarze Leitung	—> ST3
Blaue Leitung	—> ST4

Nachdem jetzt alle Komponenten fertiggestellt und miteinander verbunden sind, kommen wir zum Gehäuseeinbau. Als erstes wird die Meßverstärkerplatine senkrecht in die dafür vorgesehenen Führungen des Gehäuses eingeschoben. Es folgt die Prozessorplatine, die im oberen abgeschrägten Bereich des Gehäuses eingesetzt wird, indem die Oberkante der Leiterplatte unter die kurze Leiste im Gehäuseoberteil geschoben wird. Durch leichten Druck auf die Unterkante rastet die Leiterplatte ins Gehäuse ein. Zu beachten ist, daß dabei keine Leitungen gequetscht oder beschädigt werden.

Abschließend wird die Stecker-Steckdoseinheit eingesetzt. Es folgt das Einsetzen der 5 Tasten in den Deckel des Gehäuses. Von der Vorderseite her empfiehlt sich zunächst eine Fixierung der Tasten mit Klebeband. Der so vorbereitete Deckel wird jetzt auf das Gehäuse aufgesetzt und von der Rückseite mit einer Schraube verschraubt. Der Zusammenbau ist damit abgeschlossen, und wir wenden uns dem Abgleich zu.

Achtung: Im Inneren des EM 94 ist die lebensgefährliche 230 V-Netzwechselspannung frei geführt. Das Gerät darf daher nur von Fachkräften aufgebaut und in Betrieb genommen werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Darüber hinaus darf das Gerät nur dann mit Spannung versorgt werden, wenn es ordnungsgemäß aufgebaut ist und der Einbau in das dafür vorgesehene Gehäuse abgeschlossen ist und keine spannungsführenden leitenden Teile berührbar sind.

Abgleich

Wird das Gerät zum erstenmal in Betrieb genommen, so liegen noch keine Referenzmessungen vor, und auf der Anzeige erscheint „CAL“, um eine Kalibrierung anzufordern. Das Gerät wird daraufhin, wie im ersten Teil dieses Artikels beschrieben, abgeglichen. Im Anschluß daran kann dieser nützliche Energie-Monitor seine Aufgaben übernehmen.

ELV