



Wirkleistungsmesser EM 1000-EM

Der Wirkleistungsmesser EM 1000-EM erweitert als sehr nützliche Zusatz-Komponente das Energiemonitor-System EM 1000. Er macht die Ermittlung der Leistungsaufnahme einzelner Geräte mit 230-V-Netzanschluss sehr einfach, und intensive Stromverbraucher sind so leicht ausfindig zu machen.

Stromfresser finden

Bei den vielen elektrischen Geräten, die wir in unseren Haushalten einsetzen, ist uns oft gar nicht bewusst, welche tatsächliche Stromaufnahme die einzelnen Geräte haben. Es bleibt damit auch häufig im Verborgenen, welche Geräte einen hohen Energieverbrauch haben und dadurch zu einer entsprechend hohen Stromrechnung beitragen. Einer der typischen Stromfresser ist der oft unbeachtet vor sich hin arbeitende Tiefkühlschrank – 10 bis 15 Jahre alt, gepflegt, sieht noch gut aus, schnurrt leise im Keller vor sich hin und verbraucht Strom für drei! Der Mehrverbrauch pro Jahr würde bequem ausreichen, einen Neuen zu kaufen, der dann mit entsprechend niedrigerem Verbrauch weiter Energie spart. Auch „vergessenes“ Abtauen lässt den Stromverbrauch sprunghaft steigen – sieht man nicht, kann man aber an der Steckdose messen!

Um diesen stromfressenden Geräten einfach und schnell auf die Spur zu kommen, verkörpert der Wirkleistungsmesser EM 1000-EM in Verbindung mit dem Energiemonitor EM 1000 die richtige Lösung. Durch die Unterbringung in einem Stecker-Steckdosen-Gehäuse kann der Wirkleistungsmesser bequem und schnell zwischen Netzsteckdose und elektrischem Verbraucher eingeschleift werden und so die benötigten Daten ermitteln. Diese Daten werden via integriertem Funksendemodul zum Energiemonitor bzw. zum Datenlogger gesendet, der sie dann aufbereitet und auf seinem Display anzeigt.

Der Energiemonitor (Empfänger) arbeitet batteriebetrieben und kann aus diesem Grund praktisch an jedem beliebigen Ort im Haus (innerhalb der Funkreichweite des Senders) positioniert werden. Dadurch lässt sich auch sehr einfach eine zentrale Stelle finden, die es ermöglicht, ohne großen Aufwand laufend über den Energieverbrauch eines Verbrauchers informiert

zu werden. Weiterhin kann der Energiemonitor bis zu vier Funksender gleichzeitig empfangen, wodurch die parallele Nutzung mehrerer Wirkleistungsmesser denkbar ist und so leicht und schnell ermittelt werden kann, welche Verbraucher eine hohe Stromaufnahme haben bzw. welche Geräte gerade aktiv sind.

Die Leistungsmessung

Der Wirkleistungsmesser erfasst nur die tatsächlich aufgenommene Wirkleistung P des Verbrauchers und nicht etwa

Technische Daten: EM 1000-EM

Betriebsspannung: 230 V/50 Hz
Laststrom: max. 16 A
Sendefrequenz: 868,35 MHz
Modulation: AM, 100 %
Reichweite: bis 100 m (Freifeld)
Abm. (B x H x T):	.. 56 x 134 x 77 mm

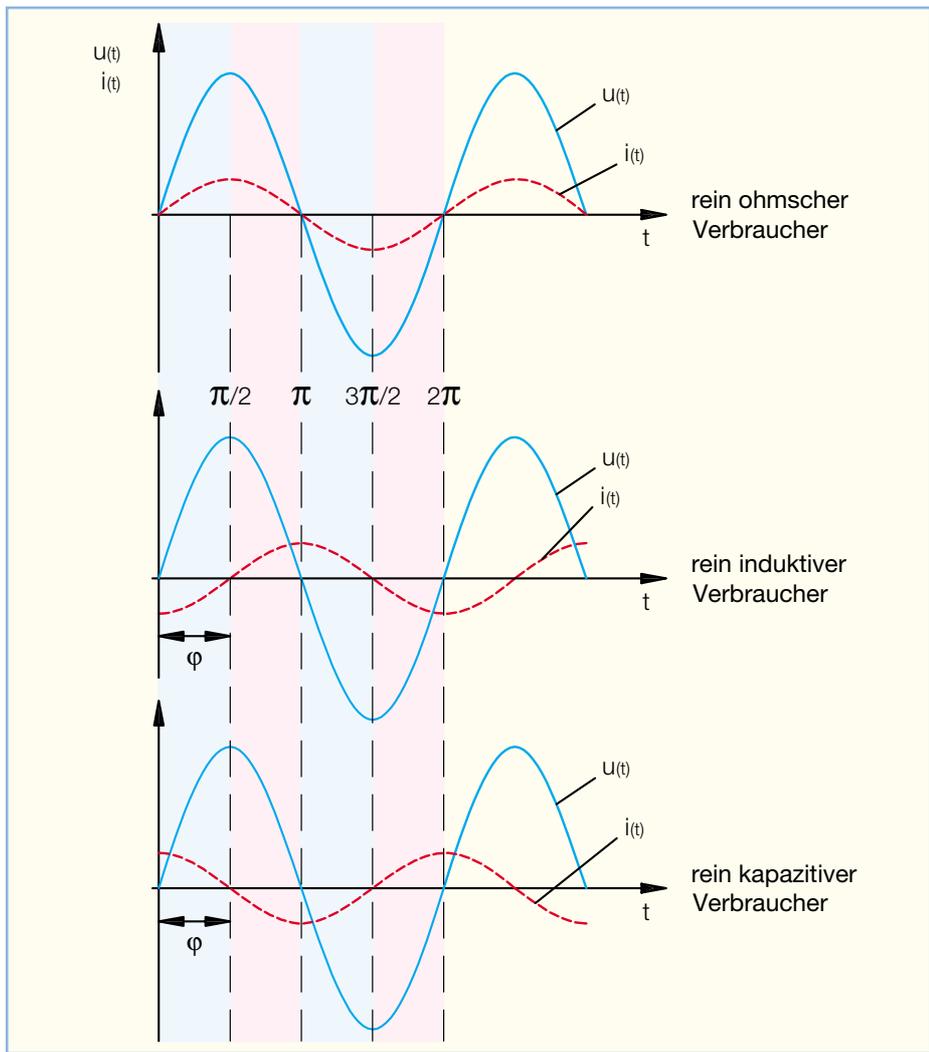


Bild 1: Strom- und Spannungsverlauf bei verschiedenen Verbrauchertypen

die Scheinleistung S , die sich aus dem Wirk- und dem Blindleistungsanteil zusammensetzt. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil die Berechnungsgrundlage für die Stromrechnung auf dem Verbrauch der Wirkleistung beruht und nicht etwa auf dem Verbrauch der Scheinleistung.

Die Blindleistung, die entsteht, wenn der angeschlossene Verbraucher keinen reinen ohmschen, sondern einen kapazitiven oder induktiven Widerstand darstellt, wird hier deshalb nicht berücksichtigt, weil hier keine „echte“ Energieaufnahme aus dem Netz erfolgt. Kapazitive oder induktive Lasten nehmen zeitlich gesehen zwar während der Dauer einer halben Periode Energie aus dem Netz auf, speisen diese allerdings in der restlichen Periodenzeit wieder zurück in das Netz, wodurch im Mittel kein Energieverbrauch stattfindet.

Die Scheinleistung S , die Wirkleistung P und die Blindleistung Q sind durch die folgenden Formeln zu berechnen:

$$\begin{aligned}
 S &= U \cdot I \\
 P &= U \cdot I \cdot \cos \varphi \\
 Q &= U \cdot I \cdot \sin \varphi
 \end{aligned}$$

Hierbei wird der Winkel φ als Phasenverschiebungswinkel und $\cos \varphi$ als Leistungsfaktor bezeichnet. Der Phasenverschiebungswinkel gibt die Verschiebung zwischen Spannung und Strom wieder und ist deshalb auch ein Maß dafür, wie groß der Blindwiderstand des Verbrauchers ist.

Handelt es sich beim Verbraucher um eine rein ohmsche Last, nimmt der Phasenverschiebungswinkel den Wert null an und der Leistungsfaktor entsprechend den Wert eins. Ist eine rein induktive Last angeschlossen, beträgt der Winkel 90° , und bei einer rein kapazitiven Last beträgt der Winkel -90° . In beiden Grenzfällen ist der Leistungsfaktor null und es wird keine Wirkleistung, sondern nur Blindleistung vom Verbraucher aufgenommen (vgl. Abbildung 1).

In den angegebenen Formeln handelt es sich bei Strom und Spannung um die so genannten Effektivwerte. Der Effektivwert I eines Wechselstromes bezeichnet dabei den sich aus den Augenblickswerten i ergebenden Dauerwert, der in einem ohmschen Widerstand die gleiche Wärmeleistung erzeugt wie ein Gleichstrom der gleichen Höhe. Bei sinusförmigem Ver-

lauf von Spannung und Strom kann der Effektivwert sehr leicht gewonnen werden, indem der Scheitelwert (der maximale Spannungswert bzw. der maximale Stromwert) mit dem Faktor

$$1/\sqrt{2}$$

multipliziert wird. D. h. zur Berechnung der Wirkleistung stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen kann die Wirkleistung mit Hilfe der Formel durch Einsetzen der effektiven Spannung U , des effektiven Stromes I und des Phasenverschiebungswinkels φ ermittelt werden oder zum anderen durch die Multiplikation der Augenblickswerte von Spannung u und Strom i .

Für unsere spätere Berechnung wollen wir auf die zweite Möglichkeit zurückgreifen, da wir somit nicht voraussetzen müssen, dass der angeschlossene Verbraucher tatsächlich einen sinusförmigen Strom aufnimmt.

Bedienung und Funktion

Um den EM 1000-EM in Betrieb zu nehmen, ist dieser einfach zwischen Steckdose und elektrischen Verbraucher einzuschleifen, und nach kurzer Zeit kann man die Leistungsaufnahme am Energiemonitor EM 1000 ablesen.

Bei der ersten Inbetriebnahme ist zunächst eine Anmeldung am Energiemonitor EM 1000 vorzunehmen. Dazu ist an diesem zunächst mit Hilfe der „Sensor“-Taste ein freier Speicherplatz zu wählen. Anschließend kann durch die gleichzeitige Betätigung der Taster „Sensor“ und „Energie“ zum Anmeldemodus gewechselt werden, im Display erscheint jetzt als Zeichen für die Aktivierung „Sync“. Nun ist lediglich der Wirkleistungsmesser EM 1000-EM in eine Steckdose zu stecken, und nach wenigen Sekunden erfolgt die Anmeldung. In der Anzeige des Energiemonitors verschwindet die Anzeige „Sync“, und mit Hilfe der Taster „+“ und „-“ kann ein beliebiger Kostenfaktor eingestellt werden. Zur Bestätigung des gewählten Kostenfaktors ist die „Sensor“-Taste zu betätigen.

Der Adresscode des Wirkleistungsmessers ist werkseitig auf die Adresse 5 eingestellt. Besteht der Wunsch, einen zweiten Wirkleistungsmesser an dem Energiemonitor anzumelden, ist die voreingestellte Adresse zu verändern. Zur Auswahl stehen generell die Adressen 5 bis 8. Zur Änderung ist der Taster des Wirkleistungsmessers ca. 5 Sek. zu betätigen, bis die LED aufleuchtet. Nach dem Loslassen der Taste blinkt die LED je nach aktuell eingestellter Adresse periodisch auf. Fünfmal für Adresse 5, sechsmal für Adresse 6 usw.

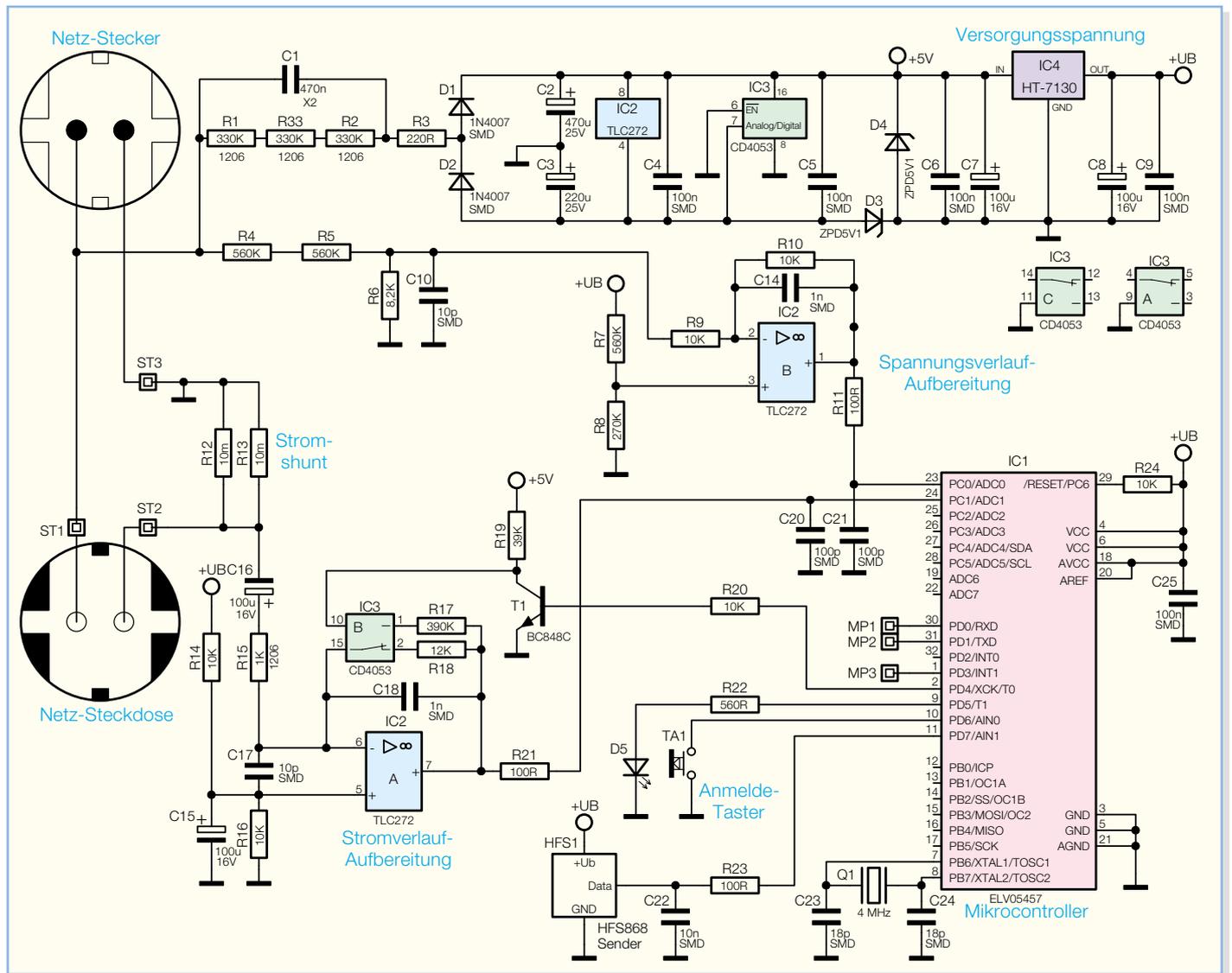


Bild 2: Schaltbild des EM 1000-EM

Um zur nächsten Adresse zu wechseln, ist lediglich der Taster einmal kurz zu drücken. Nachdem die gewünschte Adresse ausgewählt wurde, ist der Taster für ca. 5 Sek. zu drücken, und das Gerät wechselt zurück in den Betriebsmodus. Danach kann man das Gerät mit der neuen Adresse anmelden.

Um die Wirkleistung eines anliegenden Verbrauchers bestimmen zu können, sind, wie oben schon erwähnt, der Netzspannungsverlauf und der Stromverlauf zu ermitteln.

Der Spannungsverlauf an der Last entspricht dem der Netzspannung. Zur Verarbeitung sind die positive und die negative Spannungsamplitude so umzuwandeln, dass diese auf den A/D-Wandler des auswertenden Mikrocontrollers geführt werden können. Anschließend ist nur noch durch den Mikrocontroller eine entsprechende Abtastung vorzunehmen, so dass der Spannungsverlauf hinreichend genau ermittelbar ist.

Um den Stromverlauf bestimmen zu

können, ist in den Lastkreis ein Shuntwiderstand in Reihe zur Last geschaltet. Der Spannungsverlauf der über den Shunt abfallenden Spannung entspricht (bis auf einen Umrechnungsfaktor, der von der Größe des Shunts abhängt) dem Stromverlauf. Nach einer Erhöhung der Amplitude wird auch dieses Signal auf den Eingang eines A/D-Wandlers des Mikrocontrollers geführt und anschließend abgetastet.

Durch die Multiplikation der abgetasteten Werte, der Augenblickswerte, kann anschließend die Wirkleistung berechnet werden.

Schaltung

In Abbildung 2 ist die Schaltung des Wirkleistungsmessers dargestellt.

Die Erzeugung der Betriebsspannungen für die verwendeten ICs sowie des Mikrocontrollers und des Sendemoduls erfolgt direkt aus der 230-V-Netzspannung. Da dadurch innerhalb der gesamten Schaltung keine galvanische Netztrennung besteht,

ist der Betrieb ausschließlich in dem dafür vorgesehenen Gehäuse zulässig.

Die Betriebsspannung wird mittels des Kondensators C 1, der als kapazitiver Vorwiderstand arbeitet, erzeugt. Die Widerstände R 1, R 2 und R 33 dienen der schnellen Entladung des Kondensators C 1 bei der Trennung des Wirkleistungsmessers vom Netz. Da der Kondensator C 1 im Einschaltmoment einen sehr kleinen Widerstandswert besitzt, wird der Widerstand R 3 in Reihe zu C 1 geschaltet, um den Einschaltstrom zu begrenzen.

Aufgebaut ist das Netzteil im Wesentlichen aus der als Spitzenwert-Gleichrichter arbeitenden Anordnung der Dioden D 1 und D 2 sowie der Kondensatoren C 2 und C 3. Die Stabilisierung der Spannung auf einen konstanten Wert erfolgt mit Hilfe der Z-Dioden D 3 und D 4. Durch diese stellt sich eine positive und eine negative Spannung von ca. 5,1 V ein. Diese Spannungen versorgen direkt den Operationsverstärker IC 2 und den Multiplexer IC 3. Dabei sorgen die Kondensatoren C 2 und

C 3 für die Pufferung und die Kondensatoren C 4 und C 5 für eine entsprechende Störunterdrückung.

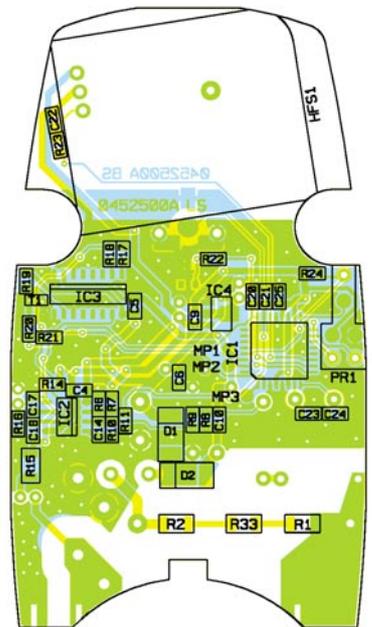
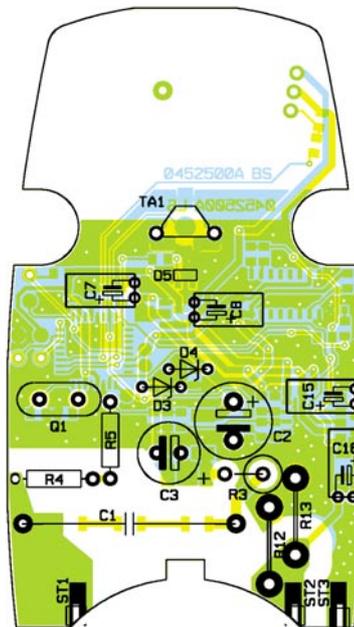
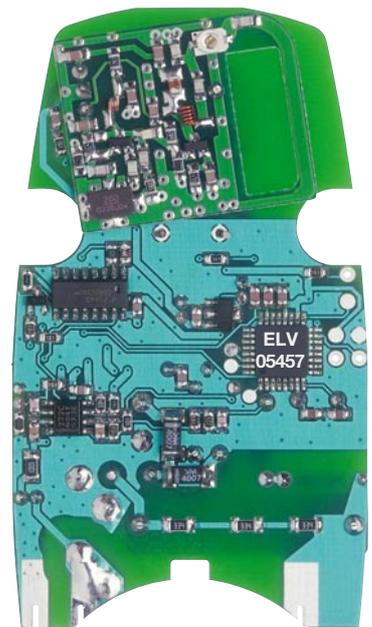
Mit Hilfe des nachgeschalteten Spannungsreglers IC 4 wird eine stabilisierte 3-V-Spannung erzeugt, die als Versorgungsspannung für den Mikrocontroller IC 1 und das Sendemodul HFS 1 dient. Zur Pufferung der stabilisierten Spannung dienen die Elektrolyt-Kondensatoren C 7 und C 8, zur hochfrequenten Störunterdrückung sind die Kondensatoren C 6 und C 9 eingesetzt.

Um die Wirkleistung des angeschlossenen Verbrauchers mit dem Mikrocontroller berechnen zu können, müssen diesem Spannungs- und Stromverlauf zugeführt werden. Da der Mikrocontroller bereits integrierte Analog-Digital-Wandler besitzt, sind die Signale nur noch entsprechend auf dessen spezifizierte Eingangsspannung (0 – Vcc) aufzubereiten. Vcc entspricht in unserem Fall der Betriebsspannung des Mikrocontrollers von 3 V und ist somit der höchst zulässige Spannungswert am Analog-Digital-Eingang.

Der Spannungsverlauf wird mit Hilfe der Spannungsteiler R 4, R 5 und R 6 ermittelt. Dabei sind die Widerstände so ausgelegt, dass der Wert der Spannungsamplitude an R 6 $\pm 1,5$ V nicht überschreitet. Dieses Spannungssignal wird über den Widerstand R 9 auf den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC 2 B geführt. Da der Widerstand R 10 den gleichen Wert wie R 9 besitzt, findet keine Signalverstärkung statt. Weil aber durch die Widerstände R 7 und R 8 am nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers eine definierte Offset-Spannung anliegt, wird das Signal am Ausgang des OPs gleichspannungsmäßig angehoben. Die Signalamplitude liegt dann im Bereich von 0 bis 3 V und erfüllt somit die Kriterien, um vom A/D-Wandler des Mikrocontrollers ausgewertet werden zu können. Die Kondensatoren C 10 und C 21 dienen zur Unterdrückung hochfrequenter Störungen, C 14 unterdrückt die Schwingneigung des OPs.

Zur Erfassung des Stromverlaufs im Verbraucher sind die Shuntwiderstände R 12 und R 13 direkt in Reihe mit dem Verbraucher in den Lastzweig eingeschleift. Durch das Abgreifen der abfallenden Spannung an den Shuntwiderständen kann der Stromverlauf des Laststroms ermittelt werden, da sich die abfallende Spannung phasengleich und proportional zum Strom verhält. Damit der Spannungsabfall und damit die umgesetzte Leistung an den Shunts gering bleiben und außerdem der Messfehler minimal gehalten wird, sind diese mit entsprechend kleinem Widerstand dimensioniert.

Durch den Operationsverstärker IC 2 A und seine Beschaltung mit den Widerständen



Ansicht der fertig bestückten Platine des EM 1000-EM mit zugehörigem Bestückungsplan, links von der Bestückungsseite, rechts von der Lötseite

den R 15 und R 17 bzw. R 18 wird zunächst eine Verstärkung des Signals und eine gleichzeitige Anhebung des Gleichspannungssignalpegels am Ausgang des OPs durch eine entsprechend angelegte Offset-Spannung am nichtinvertierenden Eingang vorgenommen. Eine Verstärkung der Offset-Spannung, die sich durch die Widerstände R 14 und R 16 einstellt, wird mit Hilfe des Kondensators C 16 unterdrückt. Außerdem ist der Kondensator C 15 parallel zu R 16 geschaltet, damit die Offset-Spannung möglichst konstant ist. Die Anhebung des Signalpegels am Ausgang des OPs erfolgt, wie schon bei der Ermittlung der Netzspannung, um eine direkte Verbindung zwischen dem OP und dem Analog-Eingang des Mikrocontrollers herstellen zu können.

Da der Laststrom in einem weiten Bereich (0–16 A) erfasst werden muss, wird zur exakten Bestimmung der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers IC 2 A mit Hilfe des Multiplexers IC 3 B variabel gehalten. Registriert der Mikrocontroller, dass der Laststrom unter 0,5 A fällt, wird der Verstärkungsfaktor, der zunächst durch die Widerstände R 15 und R 18 bestimmt wird, nach Ansteuerung des Multiplexers durch die neue Kombination R 15 und R 17 vergrößert. Schwingneigungen des OPs werden mit dem Kondensator C 18 im Gegenkoppelkreis und Störspannungseinflüsse durch den Kondensator C 17 verhindert.

Die Ansteuerung des Multiplexers IC 3 B wird über den Mikrocontroller vorgenommen. Dieser steuert über den Vorwiderstand R 20 den Transistor T 1 immer

**Stückliste:
Wirkleistungsmesser
EM 1000-EM**

Widerstände:

4 cm Manganindraht,	
0,659 Ω/m	R12, R13
100 Ω/SMD/0805	R11, R21, R23
220 Ω/2 W/Metalloxid	R3
560 Ω/SMD/0805	R22
1 kΩ/SMD/1206	R15
8,2 kΩ/SMD/0805	R6
10 kΩ/SMD/0805	R9, R10,
	R14, R16, R20, R24
12 kΩ/SMD/0805	R18
39 kΩ/SMD/0805	R19
270 kΩ/SMD/0805	R8
330 kΩ/SMD/1206	R1, R2, R33
390 kΩ/SMD/0805	R17
560 kΩ/SMD/0805	R7
560 kΩ	R4, R5

Kondensatoren:

10 pF/SMD/0805	C10, C17
18 pF/SMD/0805	C23, C24
100 pF/SMD/0805	C20, C21
1 nF/SMD/0805	C14, C18
10 nF/SMD/0805	C22
100 nF/SMD/0805	C4-C6, C9, C25
470 nF/250 V~/X2	C1
100 µF/16 V	C7, C8, C15, C16
220 µF/25 V	C3
470 µF/25 V	C2

Halbleiter:

ELV05457	IC1
TLC272/SMD	IC2
CD4053/SMD	IC3
HT7130/SMD	IC4
BC848C	T1
SM4007/SMD	D1, D2
ZPD 5,1 V	D3, D4
LED, SMD, Rot, low current	D5

Sonstiges:

Quarz, 4 MHz, HC49U4	Q1
Schaltkontakt	TA1
Sendemodul HFS868, 3 V,	
868 MHz	HFS1
1 Stecker-Steckdosen-Gehäuse OM54, komplett, bedruckt	

dann an, wenn die erkannte Stromamplitude einen Wert von 0,7 A überschreitet. Wird der Transistor angesteuert, schaltet er durch, und der Steuereingang des Multiplexers wird auf Massepotential gezogen.

Die eigentliche Betriebs-Peripherie des Mikrocontrollers IC 1 besteht lediglich aus dem Quarz Q 1 und den Kondensatoren C 23 und C 24. Durch diese Bauteile erfolgt eine Stabilisierung des internen Mikrocontroller-Hauptoszillators auf eine Frequenz von 4 MHz.

Mit dem Taster TA 1 kann später im Betrieb die Anmeldung an den Energie-monitor erfolgen, wobei die LED D 5 mit dem Vorwiderstand R 22 dabei als optisches Hilfsmittel für die Quittierung von Eingaben dient.

Das Sendemodul HFS 1 erhält im Betrieb über den Widerstand R 23 vom Mikrocontroller die an den EM 1000 zu übermittelnden Datenpakete.

Nachbau

Da mit dem verwendeten Stecker-Steckdosen-Gehäuse eine nur geringe Gehäusgröße zur Verfügung steht, ist die Schaltungsrealisierung bis auf wenige konventionelle Bauelemente hauptsächlich mit Hilfe von SMD-Komponenten ausgeführt. Aufgrund von Bauteiltoleranzen ist nach dem Schaltungsaufbau ein Abgleich vorzunehmen. Da dieser Abgleich nur mit entsprechenden Test-Tools durchgeführt werden kann, sind die SMD-Komponenten auf der Lötseite schon komplett vorbestückt. Weiterhin sind auf der Bestückungsseite der Platine die Bauteile vorbestückt, die für den Abgleich entscheidend sind.

Der Aufbau beschränkt sich somit auf die Bestückung einiger konventioneller Bauelemente sowie des Funksendemoduls sowie den Einbau in das Stecker-Steckdosen-Gehäuse.

Wichtiger Sicherheitshinweis: Aufgrund der im Gerät frei geführten Netzspannung dürfen Aufbau und Inbetriebnahme nur von Fachkräften durchgeführt werden, die durch ihre Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits-

und VDE-Bestimmungen sind unbedingt zu beachten. Insbesondere ist es bei der Inbetriebnahme zwingend erforderlich, zur sicheren galvanischen Trennung einen entsprechenden Netz-Trenntransformator vorzuschalten, da beim EM 1000-EM keine Netztrennung vorhanden ist.

Die Bestückungsarbeit beginnt mit dem Widerstand R 3, dieser ist aus Platzgründen stehend zu bestücken und anschließend auf der Platinenrückseite zu verlöten. Es folgen dann die Elektrolyt-Kondensatoren C 2 und C 3. Hier ist auf die Polarität (Minuspol-Markierung) zu achten, um eine Zerstörung bei der Inbetriebnahme zu verhindern. Schließlich ist der Kondensator C 1 zu bestücken und auf der Platinenunterseite zu verlöten.

Auf dieser wird nun zum Abschluss das Funksendemodul mit seinen Lötstiften in die dafür vorgesehenen Löcher der Platine eingesetzt, bis es auf die Platine aufsetzt. Anschließend sind die Anschlüsse auf der Lötseite zu verlöten und zu kürzen.

Damit ist der Aufbau der Platine abgeschlossen. Jetzt kann mit dem Einbau in das Stecker-Steckdosen-Gehäuse begonnen werden. Dazu ist zunächst der Steckdoseneinsatz gemäß Abbildung 3 vorzumontieren. Nun ist die Platine mit der Seite der bedrahteten Bauteile nach oben auf die Metallkontakte des Steckdoseneinsatzes zu schieben und das Verlöten mit den Kontakten vorzunehmen. Sind die Kontakte zu lang, ist es erforderlich, diese vor dem Verlöten an den entsprechenden Stellen zu kürzen.

Des Weiteren ist es sinnvoll, die gesamte Einheit vor dem Verlöten kurz in die untere Gehäuseschale einzusetzen, um die Passgenauigkeit zu prüfen.

Nach der Vormontage kann der Steckdoseneinsatz samt Platine in das Gehäuseunterteil eingesetzt und das Gehäuseoberteil samt Tastereinsatz zum Verschließen auf das Gehäuseunterteil aufgesetzt werden.

Das Gehäuseoberteil ist abschließend mit den 3 zugehörigen Gehäuseschrauben mit dem Unterteil zu verschrauben – damit ist das Gerät fertig gestellt und kann in Betrieb genommen werden. **ELV**

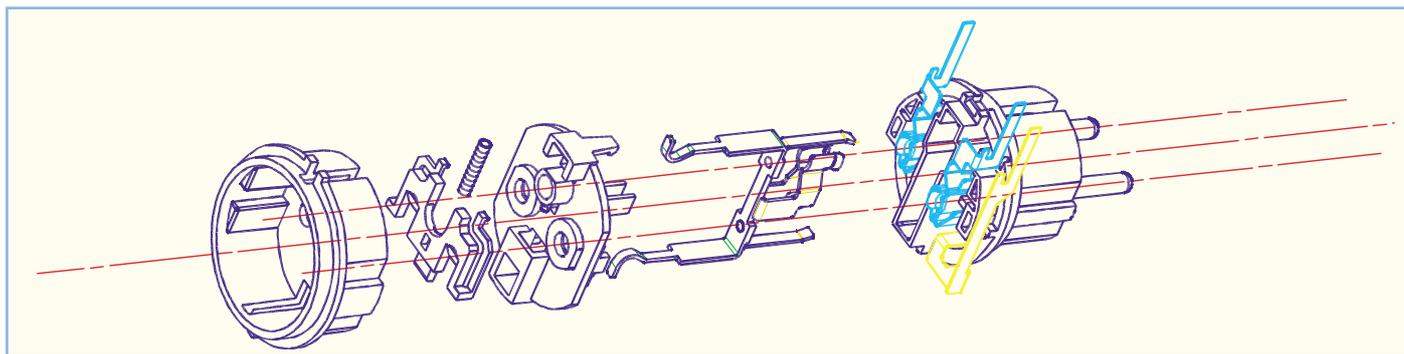


Bild 3: Die Montage des Steckdoseneinsatzes