

ELV-Serie micro-line

4 $\frac{1}{2}$ stelliges

LED-Präzisions-Thermometer



Originalgröße: 131 x 50 x 68 mm

Die immer weiter steigenden Anforderungen hinsichtlich Auflösung und Genauigkeit haben uns veranlaßt, ein 4 $\frac{1}{2}$ stelliges Digital-Thermometer zu entwickeln, dessen Auflösung bei 0,01° C liegt und das eine exzellente Genauigkeit bei guter Langzeitkonstanz aufweist.

Allgemeines

„Präzision ist Trumpf.“ Dies gilt in besonderem Maße für professionelle Anwendungen im Bereich der Industrie, in dem sich ELV-Geräte in zunehmendem Maße, nicht zuletzt aufgrund ihrer Zuverlässigkeit und Preiswürdigkeit, etablieren. Aber auch im Bereich der engagierten Hobby-Elektronik wachsen stetig die Anforderungen.

Wir stellen Ihnen daher in dem hier vorliegenden Artikel ein hochauflösendes Präzisions-Digital-Thermometer mit 4 $\frac{1}{2}$ stelliger LED-Anzeige vor, auf dessen Preis-/Leistungsverhältnis wir wohl zu Recht stolz sein dürfen. Angesichts der Tatsache, daß geeichte Präzisions-Glas-Quecksilberthermometersätze (z. B. 12 Stück für den Temperaturbereich von -5° C bis +105° C) mit einer Auflösung von 0,01 K preislich in der Größenordnung von DM 5000,— liegen, darf man sich an den Nachbau der hier vorgestellten Schaltung erfreut heranwagen.

Der Vollständigkeit halber muß jedoch gesagt werden, daß zwar die Auflösung des hier vorgestellten Gerätes gleichwohl 0,01 K beträgt, die absolute Genauigkeit hingegen im Bereich von 0,1 K liegt. Die Überprüfung der Nullseriengeräte erfolgte im ELV-Labor anhand der vorstehend erwähnten geeichten Präzisions-Glasthermometer. Da uns hinsichtlich Bauteilestreuungen und Langzeitstabilität nur eingeschränkte Erfahrungen in diesem hohen Genauigkeitsbereich zur Verfügung stehen, möchten wir derzeit auf die Angabe

von garantierten Daten verzichten. Die bereits vorliegenden Kenntnisse lassen jedoch Abweichungen von typ. \square 0,05 K als realistisch erscheinen, d. h., daß das vorliegende ELV-Präzisions-Digital-Thermometer durchaus zur Überprüfung und Kalibrierung gängiger elektronischer Thermometer mit einer Auflösung von 0,1 K einsetzbar ist.

Ein weiterer, sehr interessanter Anwendungsbereich ergibt sich durch das schnelle Erkennen von Temperaturschwankungen bzw. Tendenzen. Dies resultiert aus der Tatsache, daß zum einen der Temperaturfühler eine schnelle Ansprechzeit besitzt und zum anderen die Digital-Anzeige eine hohe Auflösung aufweist.

Der bei voller Genauigkeit gesichert überprüfte Temperaturbereich erstreckt sich von -5° C bis +105° C. Darüber hinaus stehen keine Präzisions-Vergleichsthermometer mit so hoher Auflösung zur Verfügung, so daß nur vermutet werden kann, daß die Toleranzen im Bereich von -20° C bis +120° C nur unwesentlich größer werden.

Grundsätzlich sollte man jedoch den Fühler möglichst selten und dann nur kurzzeitig auf Temperaturen von oberhalb 50° C bringen, damit die allen Bauteilen (also auch dem Fühler) anhaftende Alterung nicht unnötig beschleunigt wird (steigende Temperatur bedeutet schnellere Alterung). Dies bedeutet allerdings nicht, daß das Gerät für Dauermessungen bei 120° C ungeeignet wäre. In letztgenanntem Fall ist

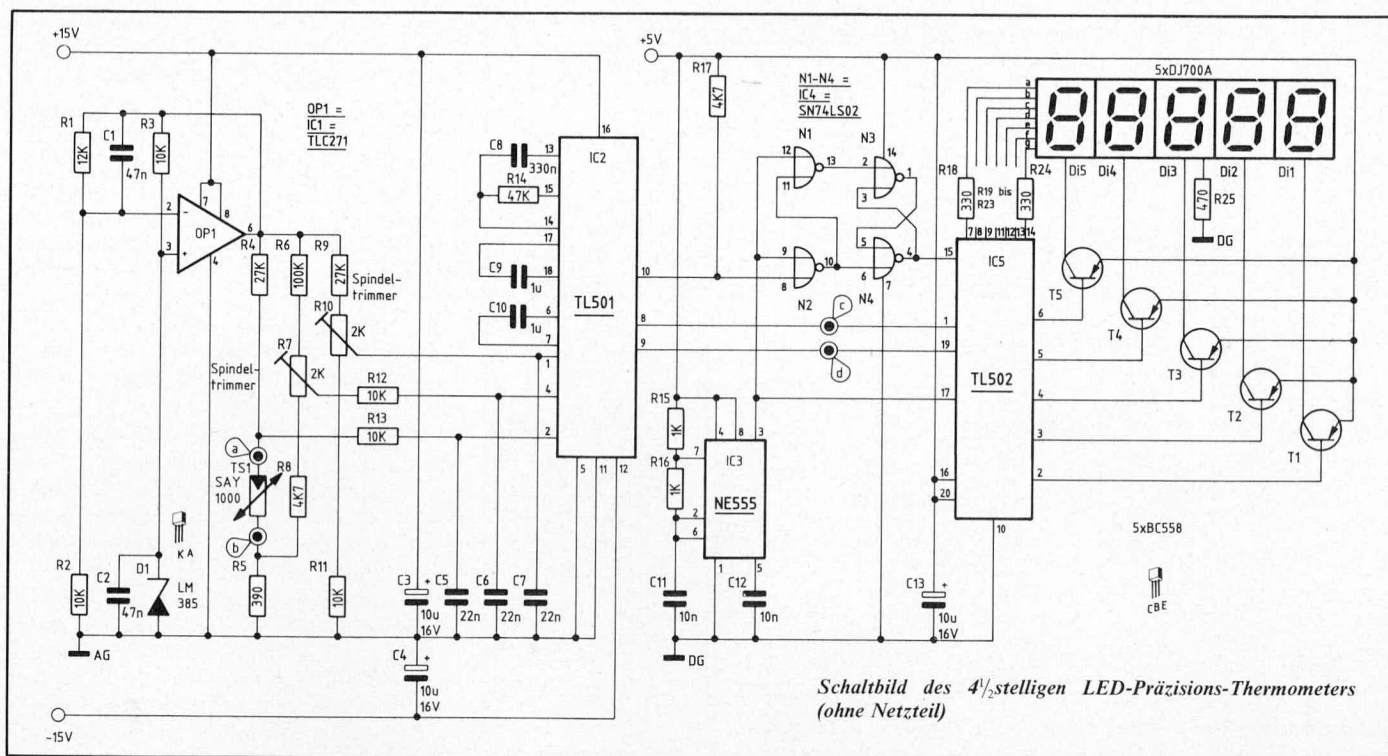
lediglich eine vorzeitige Neukalibrierung erforderlich, die normalerweise nur einmal im Jahr durchzuführen ist.

Aufgrund vorstehender Ausführungen wird der sachkundige Leser jetzt vielleicht sagen:

„Da werden aber doch einige Einschränkungen gemacht.“

Bei genauer Würdigung sämtlicher Randbedingungen wird sicher auch der kritische Leser diesem, im ELV-Labor entwickelten Präzisions-Digital-Thermometer, seine hohe Qualifikation zuerkennen. Auch, oder gerade bei den derzeit genauesten, geeichten Präzisions-Glasthermometern sind diverse, die Genauigkeit einschränkende Faktoren zu berücksichtigen. Wirklich genaue Messungen können damit nach unseren Erfahrungen nur unter Laborbedingungen erzielt werden. Sowohl die genaue Einhaltung der Eintauchtiefe als auch die verhältnismäßig große Zeitkonstante sind wichtige zu berücksichtigende Randbedingungen, die bei falscher Einschätzung und Behandlung zu Meßwertverfälschungen führen können. Darüber hinaus spielen Adhäsionskräfte innerhalb der superengen Kapillarröhren eine nicht zu vernachlässigende Rolle, die zu unkorrekten Meßergebnissen führen können.

Das ELV-Präzisions-Digital-Thermometer stellt somit einen guten Kompromiß hinsichtlich zuverlässiger Ablesbarkeit, einfacher Handhabung sowie hoher Genauigkeit und Langzeitkonstanz dar.



Schaltbild des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers (ohne Netzteil)

Zur Schaltung

Kernstück der Schaltung ist ein Halbleiter-Temperatursensor mit einer exakt definierten extrem genauen Kennlinie, die einer e-Funktion folgt. Dieser mathematisch genau erfassbare Kurvenverlauf muß von üblicherweise auftretenden „Schmutzeffekten“ weitgehend frei sein, damit die geforderte Genauigkeit auch tatsächlich erreicht wird.

Das von einem namhaften deutschen Halbleiterhersteller exklusiv produzierte Basis-Bauteil wird bei ELV sorgfältig ausgemessen, selektiert und zu dem Endprodukt, dem Präzisions-Temperaturfühler des Typs SAY 1000, weiterverarbeitet.

Die komplette Referenz- und Meßwertaufnehmerschaltung besteht aus den Bauteilen R 4 bis R 8 sowie dem Präzisions-Temperatursensor TS 1. Zu beachten ist, daß es sich bei diesem Bauteil um ein gepoltes Halbleiterelement handelt. Bei falschem Einbau wird der Sensor zwar nicht zerstört, er kann jedoch nicht einwandfrei arbeiten. Sofern der Meßsensor außerhalb der hier vorliegenden Aufnehmerschaltung verwendet werden soll, ist zu beachten, daß der max. fließende Strom 0,4 mA nicht überschreiten darf sowie die max. an ihm abfallende Spannung unter 3 V bleiben muß (es gilt jeweils der niedrigere Wert).

Auf der Basis der Präzisionsspannungsreferenz des Typs LM 385 (D 1) ist in Verbindung mit dem OP 1 mit Zusatzbeschaltung eine hochkonstante Versorgungsspannung für die Meßwertaufnehmerschaltung mit Referenzspannung- und Nullpunkteinstellung (R 4 bis R 11 sowie TS 1) aufgebaut. Diese an Pin 6 des OP 1 anstehende hochkonstante Spannung weist einen Wert von 2,7 V auf (min. 2,6 V, max. 2,8 V).

Die am Temperatursensor TS 1 abfallende Spannung (Punkt „a“) gelangt über R 13 auf den invertierenden (-) Eingang des A/D-Wandlerbausteines des Typs TL 501

(IC 2). Allerdings stellt dieser Baustein nur die eine Hälfte (Analogteil) eines kompletten A/D-Wandlersystems dar. Die zweite Hälfte (Digitalteil) wird vom IC 5 des Typs TL 502 dargestellt. Darüber hinaus sind selbstverständlich noch einige passive Bauelemente (C 8 bis C 13 sowie R 14 bis R 17) erforderlich, damit das System arbeiten kann. IC 3 dient lediglich zur Erzeugung einer konstanten Taktfrequenz, während IC 4 zur Störunterdrückung im Bereich des Nullpunktes dient. Auf die weitere Beschreibung dieses Systems wollen wir verzichten, da sie bereits ausführlich in dem 4 1/2-stelligen ELV-Digital-Multimeter DMM 7000 beschrieben wurde. Nur soviel sei noch gesagt:

Beim DMM 7000 wurde der TL 501 inzwischen durch den direkten kompatiblen (austauschbaren) Baustein des Typs TL 500 ersetzt. Dieser zeichnet sich durch eine noch bessere Linearität sowie durch einen sehr geringen Nullpunktfehler aus, was besonders beim DMM 7000 von Bedeutung ist. Für den hier vorliegenden Einsatz ist die Linearität des TL 501 jedoch in jedem Falle ausreichend. Der Nullpunktfehler hingegen spielt überhaupt keine Rolle, da mit dem Spindeltrimmer R 10 der Nullpunkt auf jeden Temperatursensor genau eingestellt wird, wodurch eine zusätzliche Nullpunktverschiebung des TL 501 „sauber“ ausgeglichen werden kann. Wie man sieht, ist der Einsatz des TL 501 vollkommen ausreichend und der teurere TL 500 würde praktisch keine Verbesserung bringen.

Der Mittelabgriff des zur Nullpunkteinstellung dienenden Spindeltrimmers R 10 gelangt direkt auf den nicht invertierenden (+) Eingang des IC 2.

Die Einstellung des Skalenfaktors erfolgt mit dem Spindeltrimmer R 7, dessen Mittelabgriff über R 12 auf den positiven Referenzeingang des IC 2 (Pin 4) gelangt. Der

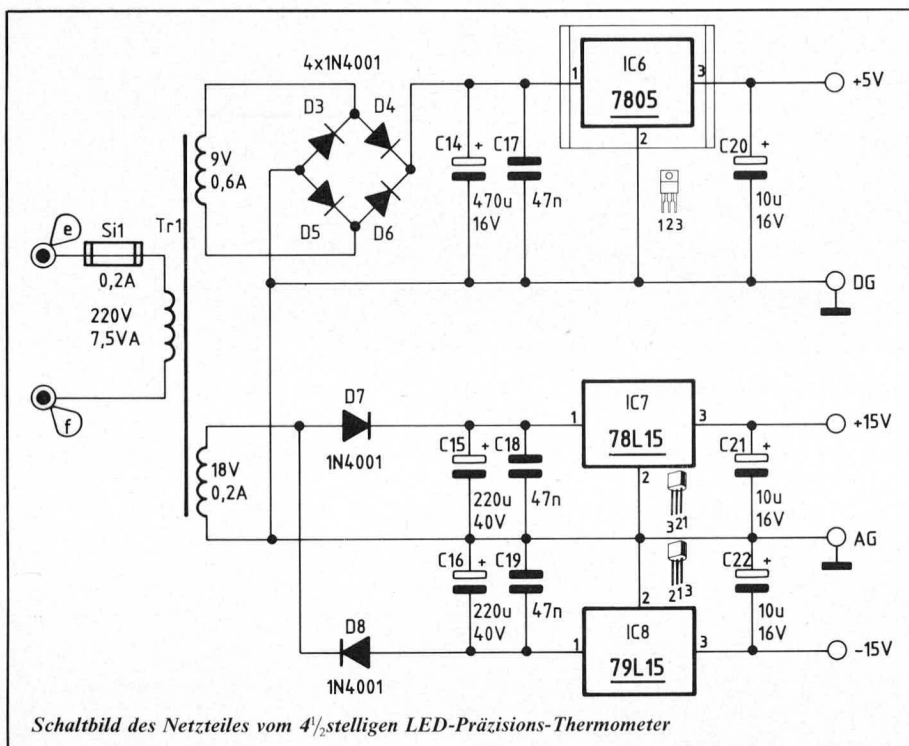
negative Referenzspannungseingang (Pin 5) liegt auf der Schaltungsmasse (Analog-Ground = AG). Die Linearisierung erfolgt u. a. durch die fein abgestimmte Dimensionierung der Widerstände R 4 bis R 8, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Referenzspannung je nach Temperatur von der Sensortemperatur mitgesteuert wird.

Der Analogteil der Schaltung benötigt zwei Versorgungsspannungen, und zwar ± 15 V.

Der Digitalteil erhält seine Stromversorgung aus dem Festspannungsregler IC 6 des Typs 7805 (+ 5 V). Hierin ist ebenfalls die Versorgung der fünf 7-Segment-Anzeigen enthalten, die einen verhältnismäßig hohen Stromverbrauch aufweisen (daher auch der Kühlkörper für das IC 6).

Analog-Ground (AG) und Digital-Ground (DG) sind innerhalb der Schaltung leitend miteinander verbunden. Damit jedoch Taktimpulse des Digitalteils auf den Analogteil keine störenden Einflüsse ausüben können, ist eine besonders sorgfältige Leiterbahnführung erforderlich, um auch sicherstellen zu können, daß die hohe Auflösung des 4 1/2-stelligen Displays voll genutzt werden kann und die letzte Stelle „ruhig“ steht.

Hierbei darf man sich nicht dadurch irritieren lassen, daß die Anzeige auch bei völlig ruhigen Luft- und konstanten Temperaturverhältnissen langsam etwas driftet. Dies entspricht den tatsächlichen Temperaturschwankungen, da die Anzeige eine extrem hohe Auflösung von hundertstel Grad Celsius besitzt. Es ist schon faszinierend anzusehen, wenn man mit der Handfläche auch nur in die Nähe des Temperatursensors gelangt und alleine aufgrund der geringen Wärmestrahlung die Temperatur langsam hochläuft (einige hundertstel Grad). Selbst wenn die Beleuchtung ein- bzw. ausgeschaltet wird, ergeben sich langsame Temperaturänderungen.



Zum Nachbau

Obwohl es sich um ein technisch hochpräzises und recht aufwendiges Gerät handelt, so ist der Aufbau verhältnismäßig einfach durchführbar. Dies beruht nicht zuletzt darauf, daß sämtliche Bauelemente ohne nennenswerten Verdrahtungsaufwand auf den drei Leiterplatten untergebracht sind. Das Layout der Schaltung ist so ausgelegt, daß die Platinen anschließend in ein Gehäuse der Serie „ELV micro-line“ eingebaut werden können.

Zunächst werden die drei Leiterplatten in noch unbestücktem Zustand probeweise ins Gehäuse eingepaßt und ggf. etwas nachgearbeitet.

Der Aufbau ist anhand der drei Bestückungspläne in gewohnter Weise vorzunehmen, wobei zunächst die passiven und dann die aktiven Bauelemente einzulöten sind. Bevor der 5 V Festspannungsregler (IC 6) eingebaut wird, ist dieser mit einer Schraube M 3 x 6 mm und einer Mutter M 3

an den U-Kühlkörper zu schrauben. Da die Anschlußbeinchen des IC 6 für die vorgesehene Montage zu kurz sind, erfolgt die Verbindung zur Leiterplatte über drei Lötstifte, an die das IC 6 so angelötet wird, daß der U-Kühlkörper an seiner zur Leiterplatte hinweisenden Stirnfläche die Platine berührt. Hierdurch ergibt sich eine gute mechanische Stabilität.

Der Transformator wird mit vier Schrauben M 4 x 35 mm sowie 12 Muttern mit der Platine fest verbunden. Hierzu wird jede der vier Schrauben von der Leiterbahnseite der Basisplatine her durch die entsprechenden Bohrungen gesteckt und mit der ersten Mutter auf der Platine festgezogen, während die zweite Mutter an der Trafounterseite anliegt. Die jeweils dritte Mutter für die vier Schraubverbindungen zieht dann auf der Trafioberseite die ganze Konstruktion fest. Zu beachten ist, daß sich keine unnötigen Spannungen zwischen Transformator und Leiterplatte ergeben. Deshalb empfiehlt es sich auch, die Lötun-

gen für den Transformator als letztes auszuführen, um auch hier unnötige mechanische Spannungen zu vermeiden.

Nachdem die Bestückung fertiggestellt und noch einmal sorgfältig überprüft wurde, kann zunächst die Basisplatine mit der senkrecht darauf angeordneten kleinen Zusatzplatine, auf der sich der Analogteil der Schaltung mit dem IC 2 befindet, verbunden werden. Hierzu lötet man an derjenigen Längsseite der Zusatzplatine, die später zur Basisplatine hinweist, sechs ca. 15 mm lange Silberdrahtstifte ein und biegt diese anschließend im 90° Winkel zur Basisplatine hinweisend ab.

Jetzt können diese Silberdrahtstifte in die dafür vorgesehenen Bohrungen der Basisplatine eingesteckt und auf der Platinenunterseite verlötet werden, und zwar so, daß die kleine Zusatzplatine jetzt senkrecht fest auf der Basisplatine steht.

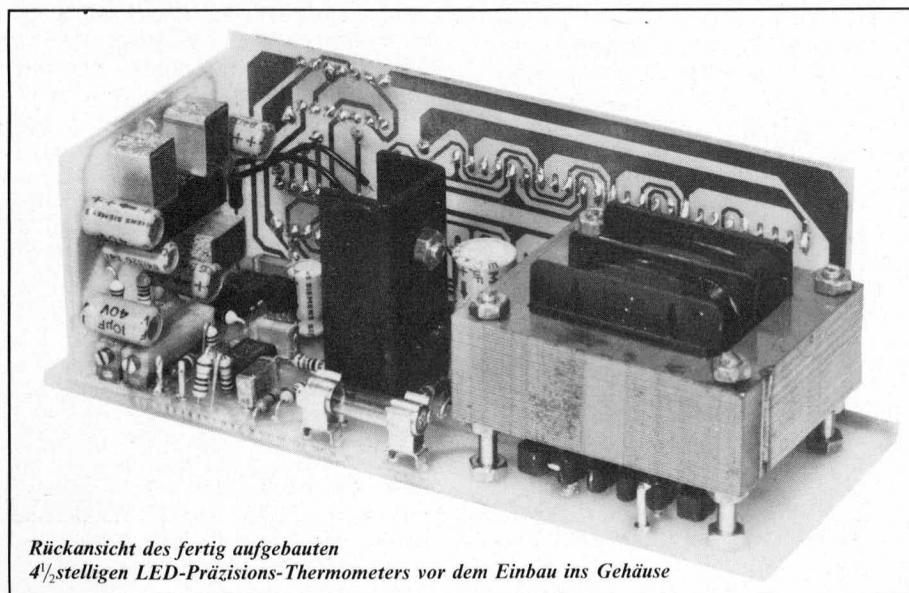
Als nächstes wird die Verbindung zwischen Zusatzplatine und Anzeigenplatine vorgenommen. Der obere der drei Verbindungspunkte erfolgt, wie auch bei der Basisplatine, über einen ca. 15 mm langen Drahtabschnitt. Die beiden unteren Verbindungspunkte (Punkt „c“ und „d“) werden über zwei ca. 30 mm lange isolierte Leitungen mit den entsprechenden Punkten auf der Anzeigenplatine verbunden.

Danach kann die Anzeigenplatine im rechten Winkel an die Basisplatine gelötet werden, und zwar so, daß die Anzeigenplatine ca. 2 mm unterhalb der Basisplatine hervorsteht. Besonders darauf zu achten ist in diesem Zusammenhang, daß sich keine Lötzinnbrücken zwischen den einzelnen Leiterbahnen an den Verbindungsstellen bilden.

Zur Spannungsversorgung des Gerätes dient eine zweiadrige Netzzuleitung, die an die entsprechenden Anschlußpunkte der Platine zu löten ist. In der Gehäuserückwand ist etwas oberhalb des Sicherungshalters eine Bohrung mit einem Durchmesser von 12 mm anzuordnen, in die die Netzkabeldurchführung mit Zugentlastung eingesetzt wird, damit keine unnötigen Kräfte auf die Lötstellen der Netzanschlußleitung wirken können. Es ist dafür Sorge zu tragen, daß auch bei abgerissener Netzzuleitung keine Verbindung des defekten Kabels zur übrigen Schaltung auftreten kann. Der Bereich des Sicherungshalters mit dem entsprechenden Lötstift für die Netzanschlußleitung ist daher mit etwas Isolierband o. ä. von der übrigen Schaltung abzutrennen.

Der Präzisions-Temperatursensor des Typs SAY 1000 wird mit einer abgeschirmten, ca. 1 m langen isolierten Zuleitung geliefert. Wie bereits vorstehend erwähnt, handelt es sich hierbei um ein gepoltes Bauelement, auf dessen richtige Einbaulage zu achten ist. Die Mittelader wird an den Platinenanschlußpunkt „a“ gelötet, während die Abschirmung mit dem Platinenanschlußpunkt „b“ zu verbinden ist. Ein versehentliches Verpolen schadet dem Sensor nicht — auf der Anzeige erscheint lediglich in der linken Ziffer eine „1“, während die übrigen Ziffern dunkel bleiben.

Soll der Sensor zu externen Messungen verwendet werden, empfiehlt es sich, die



Zuleitung in voller Länge bestehen zu lassen, während bei rein stationärem Betrieb zur Überwachung der Raumtemperatur die Zuleitung auf ca. 10 cm gekürzt werden kann. Der Sensorkopf braucht dann lediglich 15 bis 20 mm aus der Gehäuserückwand herauszuragen, damit die Umgebungstemperatur mit hinreichend schneller Ansprechgeschwindigkeit erfaßt werden kann.

Eine Verlängerung der Sensorzuleitung ist mit abgeschirmter Leitung bis auf einige wenige Meter durchführbar. Die maximale Verlängerung hängt vom jeweiligen Standort ab, in Verbindung mit den am Aufstellort vorherrschenden Störfeldern. In dem Moment, in dem die Anzeige in der höchstauflösenden Stelle unruhig wird, kann man auf große Störfelder schließen und der Standort ist zu wechseln bzw. die Sensorleitung zu kürzen.

Auf die Einhaltung der VDE-Bestimmungen ist zu achten.

Künstliche Voralterung

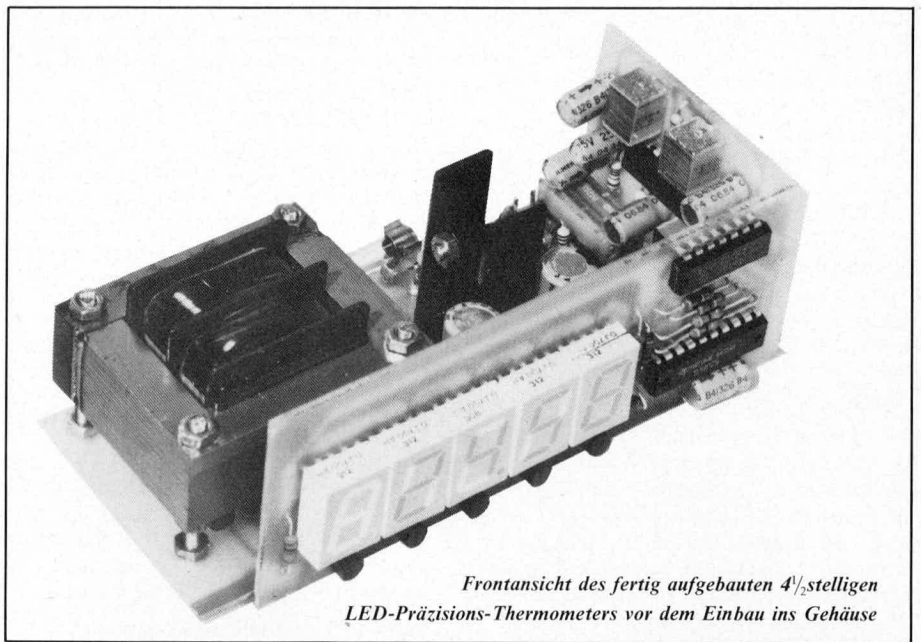
Um eine gute Langzeitstabilität zu erreichen, ist es erforderlich, bei diesen hochpräzisen elektronischen Meßsystemen eine künstliche Voralterung der Bauelemente vorzunehmen.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme bringt man das gesamte Gerät für einige Stunden auf eine möglichst niedrige Temperatur im Bereich zwischen -15°C und -25°C . Damit die Schaltung vor Feuchtigkeit gut geschützt ist, empfiehlt es sich, das gesamte Gerät (ohne Gehäuse) in eine dicht schließende Kunststoff-Folie (z. B. Gefrierbeutel) einzuschließen, so daß lediglich die Netzzuleitung herausführt.

Nach einigen Stunden wird das Gerät, z. B. im Backofen, auf eine Temperatur zwischen $+50^{\circ}\text{C}$ und $+70^{\circ}\text{C}$ aufgeheizt und ca. 1 bis 2 Stunden auf dieser Temperatur belassen (min. 15 Minuten).

Als nächstes wird das Gerät wieder auf die niedrige Temperatur gebracht, um dann wieder erhitzt, abgekühlt, erhitzt usw. zu werden. Zwischen den einzelnen Phasen und immer, wenn das Gerät berührt wird, ist es vorher unbedingt vom Netz zu trennen, d. h., es muß spannungslos sein. Die einzelnen Zyklen brauchen nicht unbedingt unmittelbar aufeinanderfolgend abzulaufen, sondern das Gerät kann ohne weiteres mehrere Stunden oder auch Tage auf Zimmertemperatur gehalten werden, wobei es zwischenzeitlich häufiger ein- und wieder auszuschalten ist. Nachdem 10 bis 20 vorstehend beschriebener Temperaturzyklen durchfahren wurden, kann man von einer hinreichenden Voralterung des Gerätes sprechen. Die Gesamtbetriebszeit, einschließlich der Pausen, in denen das Gerät (im Gehäuse) bei Zimmertemperatur eingeschaltet war, sollte hierbei min. 4 Wochen betragen, bevor die endgültige Kalibrierung vorgenommen wird.

Da der Präzisions-Tempersensor des Typs SAY 1000 jedoch bis $+120^{\circ}\text{C}$ einsetzbar ist, muß dieser separat vorgealtert werden. Hierzu erhitzt man zweckmäßigerweise etwas Öl auf eine Temperatur zwischen 120°C und 150°C in einem feuerfesten Gefäß und taucht den Sensor für einige



Frontansicht des fertig aufgebauten $4\frac{1}{2}$ -stelligen LED-Präzisions-Thermometers vor dem Einbau ins Gehäuse

Stunden ca. 20 mm tief ein. Hierbei kann das Öl durchaus langsam abkühlen, um zwischendurch wieder nachgeheizt zu werden. Temperaturen von über 150°C sind unbedingt zu vermeiden, da der Sensor sonst Schaden nehmen kann. Außerdem ist die Eintauchtiefe von 20 mm nicht zu überschreiten, da nach ca. 40 mm von der Meßspitze an gerechnet, ein Isoliermaterial für die Anschlußleitung Verwendung findet, das bis maximal $+70^{\circ}\text{C}$ Dauertemperaturfest ist und nur kurzzeitig höher belastet werden darf. Nur die ersten ca. 30 mm des Sensors sind bis 120°C Dauertemperaturfest (Grenztemperatur: 150°C).

Nachdem der Sensor einige Stunden der erhöhten Temperatur ausgesetzt wurde, sollte er gleichfalls für mehrere Stunden auf eine niedrige Temperatur zwischen -15°C und -25°C gebracht werden.

Auch hier sind ca. 10 bis 20 Temperaturzyklen zu durchlaufen, um eine gute Voralterung zu erzielen, wobei die Elektronik des Gerätes immer oder zumindest in der überwiegenden Zeit eingeschaltet sein sollte.

Nimmt man z. B. eine erste Vorkalibrierung zu Beginn der künstlichen Alterung vor, so kann man die Temperaturen bereits ungefähr ablesen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, daß oberhalb von $+120^{\circ}\text{C}$ starke Nichtlinearitäten auftreten, so daß die Anzeige des Gerätes maximal 130°C betragen darf, um sicherzustellen, daß der Sensor nicht überhitzt wird.

Abschließend wollen wir noch besonders darauf hinweisen, daß während der künstlichen Voralterungsprozesse unbedingt sichergestellt werden muß, daß kein Unbefugter das netzspannungsführende Gerät berühren kann. Diesem Punkt ist besondere Beachtung zu schenken, und man sollte sich seiner Verantwortung unbedingt bewußt sein.

Zur Kalibrierung

Nachdem ein Vorabgleich (Kalibrierung) erfolgte, der im Prinzip genauso durchgeführt wurde, wie die nachfolgend beschrie-

bene Endkalibrierung sowie nach Abschluß der Voralterung, kann die genaue Einstellung von Nullpunkt und Skalenfaktor vorgenommen werden.

Da es sich um ein besonders genaues und hochauflösendes Präzisionsmeßinstrument handelt, kommt dem Abgleich große Bedeutung zu.

Durch die Eigenerwärmung des Gerätes stellt sich innerhalb des Gehäuses eine etwas erhöhte Temperatur ein. Die Endkalibrierung ist daher im geschlossenen Gehäuse vorzunehmen. In der Gehäuserückwand sind dazu an den entsprechenden Stellen für die Einstellung der Spindeltrimmer vor außen Bohrungen von 5 mm \varnothing vorzunehmen.

Vor Beginn der Einstellarbeiten sollte das Gerät min. 5 Stunden bei derjenigen Raumtemperatur betrieben werden, bei der später die Messungen durchgeführt werden sollen. Größere Umgebungstemperaturschwankungen sind zu vermeiden, da dies zu Genauigkeitseinbußen führt. Da die Raumtemperatur normalerweise bei $+20^{\circ}\text{C}$ liegt und im allgemeinen um nicht mehr als $\pm 2\text{ K}$ davon abweicht, wird die volle Genauigkeit unter vorstehenden Bedingungen ca. 30 Minuten nach dem Einschalten erreicht (das Gerät muß seine Betriebstemperatur angenommen haben).

Als erstes wird der Nullpunkt eingestellt. Hierzu wird eine Thermoskanne aus einem Gemisch von kleinstoßenen Eiswürfeln und Wasser mindestens bis zur Hälfte gefüllt. Der Wasseranteil darf hierbei maximal ein Drittel betragen. D. h., der Anteil der kleinstoßenen Eiswürfel muß unbedingt überwiegen. Wird dieses Eis-Wasser-Gemisch kontinuierlich, d. h. nicht zu schnell, gerührt, kann man davon ausgehen, daß sich eine Temperatur von sehr exakt $0,00^{\circ}\text{C}$ einstellt (zu schnelles Rühren ist zu vermeiden, da dies wiederum Reibung und Wärmezeugung bedeutet).

In diesem kontinuierlich gerührten Eis-Wasser-Gemisch wird nun der Präzisions-Tempersensor mindestens 5 cm eingetaucht, wobei man sorgfältig darauf achten

muß, daß er keinen direkten Kontakt zum Rand der Thermoskanne bekommt.

Nachdem der Sensor mindestens 10 Minuten in diesem Eis-Wasser-Gemisch eingetaucht war, kann mit dem Spindeltrimmer R 10 zur Nullpunkteinstellung die Anzeige auf exakt 0,00° C eingestellt werden. Schwankungen von maximal ± 2 Digit (0,02 K) sind zulässig, während größere Schwankungen auf eine ungleichmäßige Temperatur innerhalb des Eis-Wasser-Gemisches hindeuten. Anzumerken ist noch, daß unsere Testgeräte sich alle „sauber“ auf 0,00° C bei maximalen Abweichungen von 1 Digit einstellen ließen.

Möchte man besonders präzise Messungen durchführen, ist es empfehlenswert, den Nullpunkt wie vorstehend beschrieben, vor jeder neuen Messung zu überprüfen und ggfs. mit R 10 nachzustellen. Hierdurch wird eine geringfügige Nullpunktdrift zuverlässig ausgeglichen. Wichtig ist, daß der Skalenfaktor hierbei unverändert bleibt und lediglich der Nullpunkt korrigiert wird, der mit verhältnismäßig einfachen Mitteln genau reproduzierbar und einstellbar ist.

Der zweite Meßpunkt wird zur Einstellung des Skalenfaktors benötigt und sollte im vorliegenden Fall bei 100,00° C liegen. Diese Temperatur erreicht kochendes Wasser, bei einem mittleren vorherrschenden atmosphärischen Luftdruck von 1013,5 mbar (= 1013,5 hP). Bei den normalerweise mit Standardthermometern erzielbaren Genauigkeiten, spielt der Luftdruck zur Überprüfung der Genauigkeit anhand des Siedepunktes des Wassers nur eine untergeordnete Rolle. Bei den hier zu erwartenden Genauigkeiten dieses 4½stelligen Präzisions-Thermometers hingegen, ist der Einfluß nicht mehr zu vernachlässigen.

Zweckmäßigerweise wartet man also einen Zeitpunkt ab, in dem der örtliche Luftdruck, der z. B. aus dem Radio oder von einem nahegelegenen Flugplatz zu erfahren ist, einen Wert zwischen 1013 und 1014 mbar aufweist.

Der Temperatursensor wird jetzt ca. 2 Minuten ungefähr 30 mm tief in das kochende Wasser eingetaucht. Hierbei ist zu beachten, daß das Wasser richtig sprudelnd kochen muß (Vorsicht: Verbrennungsgefahr). Der Sensor darf den Topfboden nicht berühren, da dieser u. U. noch heißer ist und das Ergebnis dadurch verfälschen kann. Die Anzeige ist nun mit dem Spindeltrimmer R 7 auf 100,00° C anzugleichen.

Zur Überprüfung kann man anschließend den Sensor nochmals in das Eis-Wasser-Gemisch einbringen und kontrollieren, ob sich der Nullpunkt wieder „sauber“ einstellt. Wurde die Voralterung sorgfältig durchgeführt, so dürfen die Abweichungen maximal bei 5 Digit, entsprechend 0,05 K, liegen (typ. 0,02 K). Treten größere Abweichungen auf, so sollte das Gerät nach einigen Wochen Dauerbetrieb erneut kalibriert werden.

Grundsätzlich besteht allerdings auch die Möglichkeit, daß man den Abgleich mit Hilfe eines Fieberthermometers durchführt, das immerhin eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ K besitzt. Hierzu geht man wie folgt vor:

Nachdem sowohl das Fieberthermometer als auch der Temperatursensor desinfiziert und gereinigt wurden, mißt man zunächst seine eigene Körpertemperatur, am besten im Mund, mit dem Fieberthermometer.

Nehmen wir einmal an, daß sich eine Anzeige von z. B. 36,9° C einstellt. Der Temperatursensor wird dann in den Mund genommen. Nach 1 bis 2 Minuten kann die Anzeige mit dem Spindeltrimmer R 7 auf diesen Wert eingestellt werden. Zu Kontrollzwecken empfiehlt es sich, gleichzeitig die Temperatur noch einmal mit dem Fieberthermometer zu überprüfen.

Letztgenannte Kalibrierungsmethode ist für die vorliegende hohe erreichbare Genauigkeit nur eingeschränkt geeignet, da zum einen sowohl Ablesegenauigkeit als auch absolute Genauigkeit des Fieberthermometers nicht den hier gestellten Anforderungen entsprechen und zum anderen der Kalibrierungspunkt (Größenordnung 37° C) wesentlich dichter am Nullpunkt (1. Kalibrierungspunkt) liegt als der vorgeschlagene Wert bei 100° C (im allgemeinen ist es günstig, den zweiten Kalibrierungspunkt ins obere Drittel des Meßbereiches zu legen — hier: 100° C).

Abschließend wollen wir noch auf die Möglichkeit hinweisen, Ihr Gerät im ELV-Labor anhand von geeichten Präzisions-Glasthermometersätzen kalibrieren zu lassen. Hierbei erfolgt die Zweipunktkalibrierung zum einen bei 0° C und zum anderen bei 100° C. Zusätzlich wird hierbei ein Meßprotokoll angefertigt, in dem die absoluten Abweichungen im Bereich zwischen 10° C und 90° C im Abstand von jeweils 10 K angegeben sind, so daß Sie die Gewähr haben, ein wirkliches Präzisions-Thermometer zu besitzen.

Stückliste: 4½-stelliges LED- Präzisions-Thermometer

Halbleiter

IC1	.....	TLC 271
IC2	.....	TL 501
IC3	.....	NE 555
IC4	.....	SN 74LS02
IC5	.....	TL 502
IC6	.....	μ A 7805
IC7	.....	μ A 78L15
IC8	.....	μ A 79L15
T1-T5	.....	BC 558
D1	.....	LM 385
D3-D8	.....	1N4001
Di1-Di5	.....	DJ 700 A
TS1	.....	SAY 1000

Kondensatoren

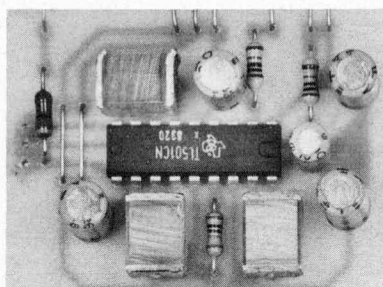
C1, C2, C17-C19	.....	47 nF
C3-C4, C13, C20-C22	.....	10 μ F/16 V
C5-C7	.....	22 nF, Ker
C8	.....	0,33 μ F
C9, C10	.....	1 μ F
C11, C12	.....	10 nF
C14	.....	470 μ F/16 V
C15, C16	.....	220 μ F/40 V

Widerstände

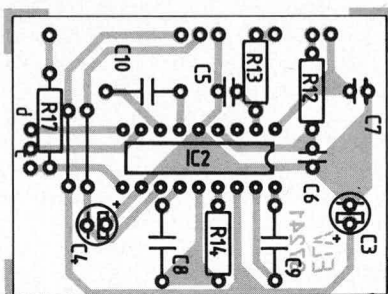
R1	.....	12 k Ω
R2, R3, R11, R12, R13	.....	10 k Ω
R4, R9	.....	27 k Ω
R5	.....	390 Ω
R6	.....	100 k Ω
R7, R10	.....	2 k Ω , Spindeltrimmer
R8	.....	4,7 k Ω
R14	.....	47 k Ω
R15, R16	.....	1 k Ω
R17	.....	4,7 k Ω
R18-R24	.....	330 Ω
R25	.....	470 Ω

Sonstiges

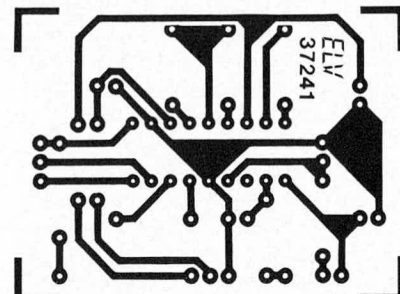
Tr1	.....	prim: 220 V/7,5 VA sek: 9 V/0,6 A 18V/0,2 A
Si1	.....	0,2 A
1	Platinensicherungshalter	
1	Kühlkörper SK 13	
13	Muttern M3	
1	Schraube M3 x 6 mm	
4	Schrauben M3 x 35 mm	
7	Lötstifte	
25	cm Silberdraht	
10	cm isolierter Schaltdraht	
1	2-adriges Netzkabel	
1	Zugentlastung	



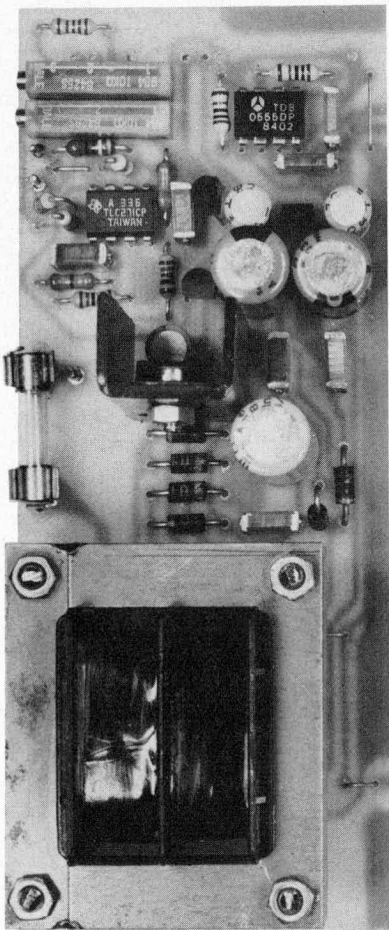
Ansicht der fertig bestückten Zusatzplatine



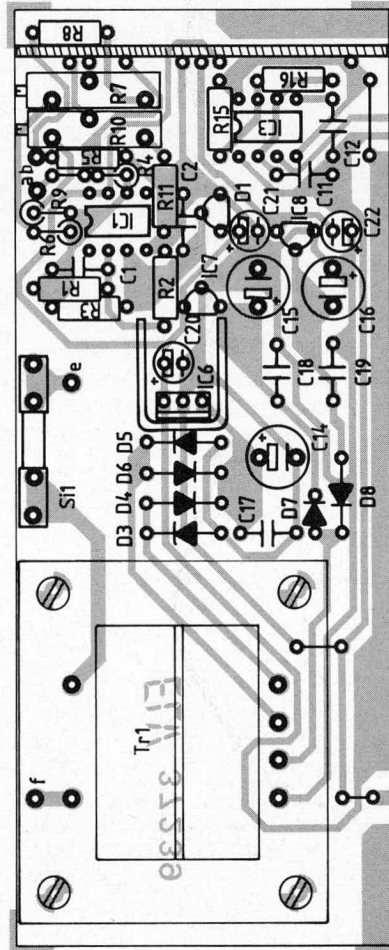
Bestückungsseite der Zusatzplatine



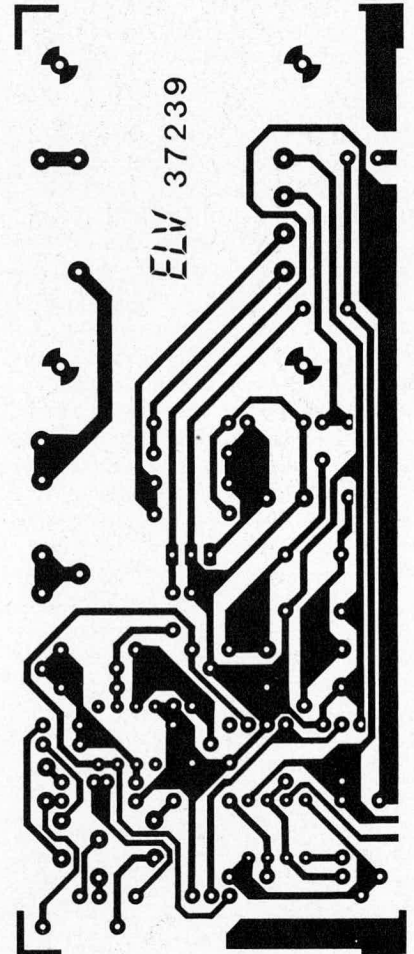
Leiterbahnseite der Zusatzplatine



Obern: Ansicht der fertig bestückten Anzeigenplatine des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers
 Linksn: Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers



Obern: Bestückungsseite der Anzeigenplatine des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers
 Linksn: Bestückungsseite der Basisplatine des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers



Obern: Leiterbahnseite der Anzeigenplatine des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers
 Linksn: Leiterbahnseite der Basisplatine des 4 1/2-stelligen LED-Präzisions-Thermometers

