

# 5.

## Temperaturregelschaltungen für Prüfzwecke

Die gesteigerte Empfindlichkeit, gepaart mit höherer Auflösung, die digital anzeigende Instrumente gegenüber solchen mit analoger Meßwertdarstellung ermöglichen, zwingt auch den Amateur immer häufiger zu Tests, die Aussagen über die Temperaturabhängigkeit oder -stabilität der zu untersuchenden Schaltung liefern. Es ist z. B. vorteilhaft, wenn quartzgesteuerte Zeitasoszillatoren digitaler Frequenzmeßgeräte oder A/D-Umsetzer und deren Vorverstärker hinsichtlich ihrer Temperaturabhängigkeit untersucht werden. Natürlich kann im Amateurbereich bei weitem nicht der in der Industrie für solche Experimente übliche Aufwand getrieben werden. Meist ist das aber auch nicht erforderlich, weil oft schon Untersuchungen innerhalb des Umgebungstemperaturbereiches von  $\vartheta_a = 10^\circ\text{C}$  bis  $75^\circ\text{C}$  ausreichend Aufschluß über das prinzipielle Temperaturverhalten der zu prüfenden Schaltung geben. Für die erforderlichen Messungen eignen sich dann relativ einfache Luftthermostate, die die jeweils gewünschte Umgebungstemperatur innerhalb des oben genannten Bereiches für die zu untersuchende Schaltung bereitstellen. Detaillierte Aufschlüsse über den temperaturbedingten Einfluß eines bestimmten Bauelementes innerhalb einer Baugruppe gewinnt man mit sogenannten Spot-Heizern. Das sind eigentlich offene Miniaturthermostate, die auf Grund ihrer geringen Größe nur ein Bauelement (Transistor, Diode, Widerstand usw.) auf eine vorgegebene Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur der sonstigen Bauteile der Baueinheit aufheizen. Spot-Heizer ersetzen also die doch etwas archaische Methode der Erwärmung von Bauelementen mit dem LötKolben oder ähnlichen Instrumenten mit nicht definierter und meist zu großer Temperatur. Bauelementeausfälle während des Tests werden durch die kontrollierte Temperatur des Spot-Heizers vermieden.

Die beiden folgenden Abschnitte beschreiben einen Luftthermostat und einen Spot-Heizer. Charakteristisch für die vorgestellten Lösungen sind die Transistoren als Temperaturfühler und als Heizelemente.

### 5.1. Luftthermostat für einen Temperaturbereich von $\vartheta_{th} = 20^\circ\text{C}$ bis $75^\circ\text{C}$

Durchführungen sich in der Bodenplatte befinden, auf der dann auch der Heizer montiert wird. Über diesem ordnet man eine mehrfach durchbrochene Kunststoffplatte an, auf der sich die zu testende Baugruppe befindet.

Als Heizer für den Luftthermostaten, Bild 5.1 zeigt den Gesamtverdrahtungsplan, fungiert der Leistungstransistor V1. Er wird auf einen Kühlkörper aus Aluminiumblech montiert, damit die vom Transistor V1 erzeugte Wärme möglichst schnell der Luft im Innenraum des Thermostaten zugeführt wird. Die mechanischen Abmessungen des Kühlkörpers kann man Bild 5.2 entnehmen. Entsprechend dem in Bild 5.3 gezeigten Stromlaufplan des Luftthermostaten ist die Heizleistung des Transistors V1 eine Funktion seines Kollektorstromes. Die Kollektor-Emitter-Spannung von V1 ist im Rahmen der Änderung der Netzspannung konstant und liegt mit etwa  $U_{CEV1} = 15\text{V}$  so niedrig, daß auch bei dem für den Transistor V1 maximal möglichen Kollektorstrom von  $I_{CV1} = 0,68\text{A}$  keine Gefahr des zweiten Durchbruchs und damit der Zerstörung von V1 gegeben ist. Je nach dem Kollektorstrom des Transistors V1 läßt sich also dessen Heizleistung zwischen den beiden Endwerten  $P_{RVI} = 0\text{W}$  und  $10\text{W}$  verändern.

Den oberen Wert bestimmt wesentlich das Isoliervermögen des Thermostatengehäuses. Die dafür charakteristische Kenngröße ist der Widerstand  $R_{thGeh}$  des Gehäuses. Das Berechnen dieser Größe ist aufwendig und meist auch nur von begrenzter Genauigkeit. Die erforderliche Heizleistung kann man einfacher im Bereich relativ niedriger Innenraumtemperaturen bestimmen und daraus den Wärmewiderstand des Gehäuses berechnen. Mit diesem Kennwert läßt sich anschließend die für die gewünschte obere Innenraumtemperatur minimal nötige Heizleistung und damit der Kollektorstrom des Heiztransistors V1 mathematisch bestimmen. Wie wird vorgegangen? Bei möglichst konstanter Umgebungstemperatur verändert man den Kollektorstrom durch den Transistor V1 so lange, bis sich zwischen der Umgebungstemperatur und der Temperatur im Innern des Thermostaten ein konstantes Gefälle von z. B.  $\vartheta_{th} - \vartheta_a = 20\text{K}$  einstellt. Für den Wärmewiderstand des Thermostatengehäuses gilt dann mit recht guter Genauigkeit die Gleichung:

$$R_{thGeh} = \frac{\vartheta_{th} - \vartheta_a}{U_{CEV1} \cdot I_{CV1}} \quad (5.1)$$

Mit diesem Wert, er betrug bei dem Erprobungsmuster  $R_{thGeh} = 8\text{K/W}$ , ermöglicht dann die nach  $P_{RVI} = U_{CEV1} \cdot I_{CV1}$  umgestellte Gleichung (5.1) das Berechnen der erforderlichen Heizleistung für andere Temperaturen des Innenraumes. Wenn es die für den Transistor V1 zulässigen Kenn-

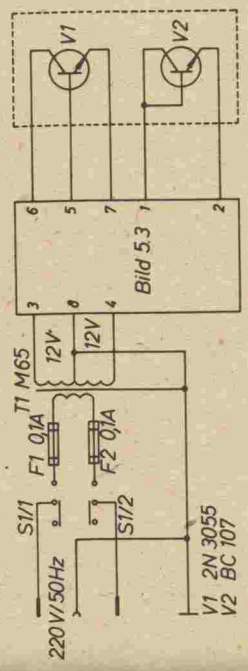


Bild 5.1  
Gesamtverdrahtung  
des Luftthermostaten



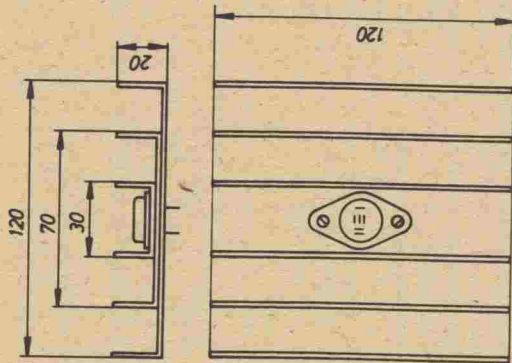


Bild 5.2  
Mechanische Abmessungen und Aufbau des Kühlkörpers für die Wärmeübertragung

daten erlauben, sollte im praktischen Betrieb allerdings ein etwas höherer Kollektorstrom als nach der Gleichung (5.1) zulässig sein, damit der Thermostat hinreichend schnell aufgeheizt wird.

Seinen Basisstrom bezieht der Transistor V1 von dem als proportionaler Temperaturregler geschalteten Baustein MAA 723. Diese integrierte Schaltung, sie arbeitet üblicherweise als Spannungsstabilisator mit einstellbarer Ausgangsspannung, beinhaltet alle 4 wesentlichen Baugruppen, die für einen proportionalen Temperaturregler notwendig sind. Zunächst liefert die interne Referenzspannungsquelle eine von Schwankungen der Speisepannung und der Umgebungstemperatur weitgehend unabhängige Referenzspannung, deren typische Größe  $U_{refA1} = 7,15V$  beträgt. Aus dieser Referenzspannung leitet in der Regelschaltung ein Spannungsteiler die Sollspannung ab, die der geforderten Temperatur im Innenraum des Thermostats entspricht. Weiterhin verfügt der integrierte Spannungsregler A1 über den Regelverstärker A1A1 mit Differenzeingang. Diesem folgt der aus den 2 Transistoren V3A1 und V4A1 bestehende Impedanzwandler, der als Stromverstärker arbeitet und den Steuerstrom für den externen Heiztransistor V1 zur Verfügung stellt. Schließlich beinhaltet A1 noch den Transistor V2A1, der so beschaltet werden kann, daß der Kollektorstrom des Transistors V1 einen vorgegebenen oberen Grenzwert nicht übersteigt. Durch diesen multifunktionalen Aufbau läßt sich der Baustein MAA 723 also mit wenigen zusätzlichen Bauelementen als proportionaler Temperaturregler einsetzen, dessen Funktionsweise nachstehend etwas näher beschrieben werden soll:

Der Transistor V2 arbeitet in der schon aus Abschnitt 4.1. bekannten Weise als Istwertgeber für die Temperatur im Innern des Thermostats. Durch den sternförmigen Miniaturkühlkörper aus Aluminiumblech wird die Temperatur der V2 umgebenden Luft besser seiner Sperrschicht zugeführt. Der Widerstand R1 legt den Kollektorstrom, er ist weitgehend konstant und betrug bei dem Erprobungsmuster etwa  $I_{Cv2} = 0,54 mA$ , des Transistors V2 fest. Die Reihenschaltung von dem als Diode geschalteten Transistor V2 und R1 liegt parallel zur internen Referenzspannungs-

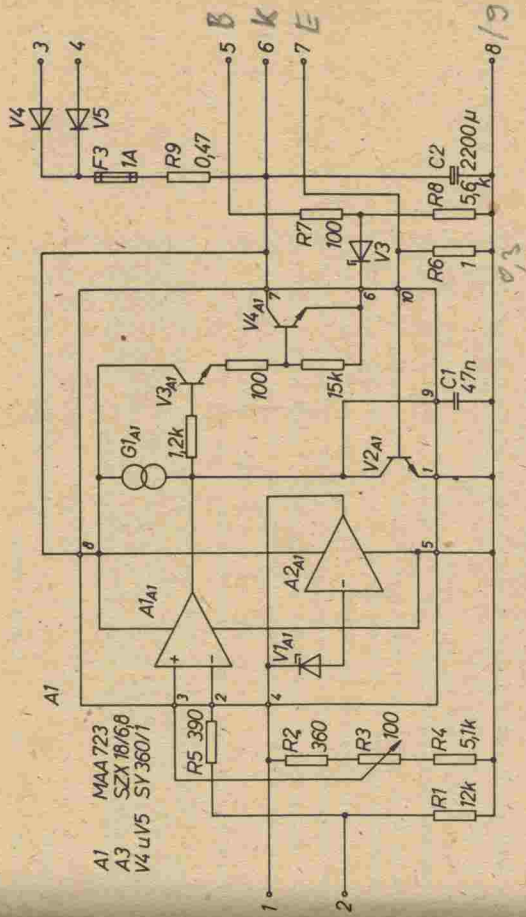


Bild 5.3  
Stromlaufplan des Luftthermostats

quelle, sie besteht aus der Z-Diode V1A1 und dem invertierenden Verstärker A2A1, von A1. Diese Spannungsquelle versorgt auch den Spannungsteiler mit den Widerständen R2 bis R4, der die Spannung erzeugt, die der Sollwerttemperatur des Thermostats entspricht. Der integrierte Differenzverstärker A1A1 von A1 vergleicht die Spannung über dem Transistor V2 mit dem Spannungsabfall zwischen dem Referenzspannungsanschluß von A1 und dem Schleifer des Potentiometers R3, mit dem Solltemperatur des Thermostats eingestellt wird. Solange nach dem Einschalten die Basis-Emitter-Spannung des Transistors V2 noch größer ist als der Spannungsabfall über R2 und dem Teilwiderstand des Potentiometers R3, erhält der invertierende Eingang des Differenzverstärkers A1A1 eine auf den nichtinvertierenden Eingang bezogene negative Spannung. Die Ausgangsspannung von A1A1 ist dann positiv, und die Transistoren V3A1, sowie V4A1, leiten. Über die Z-Diode V3, sie ist zum Sicherstellen des korrekten Arbeitsbereiches des Regelverstärkers unbedingt erforderlich, und den Widerstand R7 erhält der als Heizelement wirkende Transistor V1 Basisstrom. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, daß bei aus Importen stammenden Typen für A1, die sich in dem DIL-Gehäuse befinden, die für V3 notwendige Z-Diode mit einer Z-Spannung von  $U_{V3} = 6,2V$  bereits im Baustein mitintegriert wurde. Ohne weitere Maßnahmen steigt der Kollektorstrom des Heiztransistors auf einen Wert, den nur der maximal mögliche Basisstrom und der Großsignalstromverstärkung des Transistors V1 begrenzt. V1 wird nicht zerstört, weil der Heiztransistor im Konstantstrombetrieb arbeitet, solange die Temperatur im Innenraum des Thermostats noch erheblich den geforderten Sollwert unterschreitet. Mit zunehmender Annäherung der Isttemperatur an die Solltemperatur mindert der Regelverstärker A1A1 den Kollektorstrom von V1 so lange, bis sich gerade der Kollektorstrom einstellt, der zum Aufrechterhalten der Temperatur im Innenraum des Thermostats benötigt wird.

Den Kollektorstrom im Heiztransistor V1 begrenzt der in dessen Emitterleitung eingefügte Widerstand R6, der zusammen mit dem Transistor



$V_{Z_{A1}}$  von A1 den Emitterstrom und damit praktisch auch den Kollektorstrom des Transistors V1 auf den maximalen Wert  $I_{CV1, \max}$  festlegt. Es gilt die Gleichung:

$$I_{CV1, \max} = \frac{U_{BEV_{A1}}}{R_6} \quad (5.2)$$

Der Kollektorstrom von V1 muß mindestens den Wert erreichen können, der mit der vorgegebenen Kollektor-Emitter-Spannung zur oben ermittelten minimalen Leistung von V1 führt, die auch bei der niedrigsten erlaubten Umgebungstemperatur des Thermostaten die geforderte maximale Innenraumtemperatur sichert. Im Interesse einer kurzen Aufheizzeit ist ein etwas größerer Wert für den Kollektorstrom vorteilhaft. Welcher Kollektorstrom und damit welche Verlustleistung dem Heiztransistor zugemutet werden können, bestimmen seine Kenndaten, die maximale Temperatur im Thermostaten und die Wärmewiderstände der Kombination Heiztransistor und Kühlkörper. Vernachlässigt man den Wärmewiderstand zwischen dem Transistor V1 und dem Kühlkörper, weil beide Bauelemente direkt miteinander verbunden sind, so gilt für die zulässige Verlustleistung des Heiztransistors V1 die Gleichung:

$$P_{HV1, \max} = \frac{\vartheta_{\max} - \vartheta_{th}}{R_{th} + R_{thk}} \quad (5.3)$$

In dieser Beziehung benennt  $\vartheta_{\max}$  die für V1 zulässige maximale Sperrschichttemperatur,  $R_{thk}$  den Wärmewiderstand zwischen der Sperrschicht von V1 und dessen Gehäuse und  $R_{th}$  den Wärmewiderstand des Kühlkörpers. Im Erprobungsmuster wurde ein Kühlkörper entsprechend Bild 5.2 verwendet, dessen Wärmewiderstand  $R_{thk} = 3,5 \text{ K/W}$  betrug. Für den verwendeten Transistortyp 2N3055 gelten die Angaben  $\vartheta_{\max} = 200^\circ\text{C}$  und  $R_{th} = 1,5 \text{ K/W}$ . Daraus und mit  $\vartheta_{th} = 75^\circ\text{C}$  erhält man mit der Gleichung (5.3)  $P_{HV1, \max} = 25 \text{ W}$ . Mit R6 wird der Strom auf  $I_{CV1} = 0,68 \text{ A}$  begrenzt; Daraus läßt sich bei einer Speisespannung von  $U_{S1} = 15 \text{ V}$  die Verlustleistung  $P_{HV1} = 10 \text{ W}$  errechnen. Dieser Wert liegt beträchtlich unterhalb des Rechenwertes nach der Gleichung (5.3), so daß ein ausreichender Sicherheitsabstand vorhanden ist.

In der Praxis wird der Luftthermostat vorteilhaft mit einem Thermometer versehen. Den geringsten Aufwand erfordert ein Flüssigkeitsthermometer, welches in der Abdeckhaube montiert wird. Zusätzlich kann noch das Potentiometer R3 mit einer kalibrierten Skala versehen werden, die experimentell ermittelt wird. Die optimale Fühlerposition muß man durch Versuche bestimmen. Abschließend noch der Hinweis, daß die beschriebene Schaltung natürlich auch sehr gut geeignet ist, bestimmte Bauelemente, z. B. Quarze, Differenzverstärker u. a., zu thermostatisieren. Sehr vorteilhaft ist es in diesen Fällen, wenn sich die betreffenden Bauelemente, der Temperaturfühler und der Heiztransistor gegeneinander elektrisch isoliert auf oder in einem Aluminium- oder Kupferblock befinden [51]. Die damit bewirkte sehr enge thermische Kopplung zwischen Temperaturfühler, Heiztransistor und dem zu temperierenden Bauelement garantiert eine hohe Stabilität der Temperatur ohne Regelschwingungen.

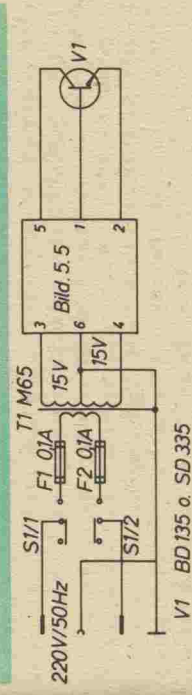
### 5.2. Spot-Heizer zum punktförmigen Aufheizen einzelner elektronischer Bauelemente auf eine definierte Temperatur

Ursache für ein unstabiles Temperaturverhalten einer elektronischen Schaltung kann z. B. eine außerhalb der Norm liegende Temperaturabhängigkeit eines bestimmten Bauelementes der Gesamtschaltung sein. Fehler dieser Art sind meist sehr schwierig zu orten. Eine relativ rationelle Methode ist das lokale Erwärmen verdächtiger Bauelemente, wobei gleichzeitig das Ausgangssignal der Schaltung beobachtet wird. Zur punktförmigen Erwärmung einzelner Bauteile sind die sogenannten Spot-Heizer besonders brauchbar. Bei ihnen handelt es sich um offene Kleinstthermostaten, die über eine geeignete Armatur verfügen, die das zu testende Bauelement hinreichend umschließt. Die möglichst auswechselbare Armatur sollte aus einem sehr gut wärmeleitfähigen Material bestehen. Besonders geeignet sind Kupfer oder Aluminium. Eine elektronische Regelung sorgt für eine definierte Temperatur des Spot-Heizers. Dadurch wird ein unbeabsichtigtes Zerstören des zu prüfenden Bauelementes sicher vermieden. Das ist bei einem unkontrollierten Aufheizen mit weniger geeigneten Instrumenten, z. B. mit dem Lötkolben, nicht auszuschließen. Der erprobte Spot-Heizer ermöglicht Temperaturen der Armatur zwischen  $\vartheta_{sp} = 20^\circ\text{C}$  und  $75^\circ\text{C}$ .

Beim beschriebenen Spot-Heizer arbeitet der Transistor nicht nur als Heizelement, sondern gleichzeitig als Temperaturfühler [52]. Die Lösung (Bild 5.4 und 5.5) spart Bauteile, und es entfallen die Probleme der thermischen Kopplung zwischen Temperaturfühler und Heizung. Bild 5.6 zeigt einige, für verschiedene Anwendungen nötige, Armaturen. Nicht unerwähnt soll bleiben, daß der Spot-Heizer sich auch auszeichnet als Miniaturthermostat verwenden läßt. In einem solchen Fall muß natürlich das zu temperierende Bauelement zusammen mit dem Heiztransistor in einem wärmeisolierenden Gehäuse untergebracht werden, damit die erforderliche Heizleistung ein Minimum erreicht und die Regelschwingungen klein bleiben.

Der Heiztransistor V1 in Bild 5.4 arbeitet als Konstantstromquelle. Die Verlustleistung von V1, also die Heizleistung des Spot-Heizers wird durch Ändern der Kollektor-Emitter-Spannung des Transistors V1 variiert. Beim Konstantstrombetrieb eines Transistors ist dessen Basis-Emitter-Spannung weitgehend unabhängig von der Kollektor-Emitter-Spannung. Deshalb eignet sich die Basis-Emitter-Spannung des Transistors V1 als Maß für seine Chiptemperatur. Die integrierte Schaltung A1 in Bild 5.5 fungiert als Regelverstärker und liefert außerdem eine Referenzspannung, aus der der Sollwert der Temperatur des Spot-Heizers abgeleitet wird. Der Heiztransistor V1 erhält seine Basisspannung vom Referenzspannungsgenerator A2<sub>A1</sub> des integrierten Spannungsgreglers A1. Mit dem Emitterwiderstand R1 und der Referenzspannung  $U_{REFA1}$  sowie der Basis-Emitter-Spannung  $U_{BEV1}$  des Transistors V1 ergibt sich dessen Kollektorstrom mit der Gleichung:

$$I_{CV1} = \frac{U_{REFA1} - U_{BEV1}}{R1} \quad (5.4)$$



V1 BD 135 o. SD 335

Bild 5.4  
Gesamtverdrahtung  
des Spot-Heizers