

ELV-Lüfterkühlkörper

LK 75 Der LK 75 zeichnet sich durch große Wärmeabgaberate bei besonders geringer Baugröße aus. Angesiedelt an der Grenze des strangpreßtechnisch Machbaren, wurde bei dieser ELV-Entwicklung besonderer Wert auf eine wärmetechnisch ideale Gestalt gelegt.

Allgemeines

Bevor wir uns mit den bemerkenswerten Vorzügen des LK 75 befassen, gehen wir zunächst auf die Grundlagen zur Geräte-Kühlung ein und geben praktische Hinweise zur Kühlungskonzeption.

Abführung von Verlustwärme ist in fast allen größeren Elektronik-Geräten eine wichtige Voraussetzung für einwandfreie Funktion. Hierzu werden Kühlkörper, Lüftungsöffnungen, in zunehmendem Maße auch Lüfter eingesetzt. Letztere bewirken eine erhebliche Steigerung des Gehäuse-Luftdurchsatzes und ermöglichen dadurch die Verkleinerung der eingesetzten Kühl-

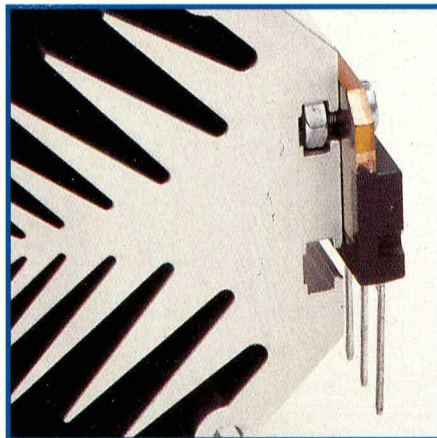


Bild 2: Halbleitermontage am LK 75.

körper, höhere Packungsdichte und gefälligere Gehäuseformen.

In den letzten Jahren haben sich im Kleinlüfterbereich zunehmend bürstenlose Lüfter mit elektronischer Kommutierung etabliert. Bei diesen existieren keine mechanischen Schleifkontakte zum Anker mehr, bislang ein wesentlicher Geräusch- und Verschleißfaktor, sondern der tellerförmige Rotor trägt einen Ring kleiner Dauermagnete. Auf dem Stator ist ein gleichartiger Ring von einzelnen Flachspulen angeordnet, welche nach Maßgabe einer Sensor- und Auswertungs elektronik zeitversetzt mit Strompulsen beaufschlagt werden und so die Rotation des Flügelrades bewirken.

Kleinlüfter zur Geräte-Kühlung sollen möglichst leise laufen. Sie blasen meist nach hinten aus, während der Luft eintritt über zahlreiche Öffnungen an den geeigneten Gehäusestellen erfolgt. Eine solche gleichmäßige Geräte kühlung mit Lüfter erhöht die zulässige interne Verlustleistung bereits enorm.

Sofern die Wärme in ganz erheblichem Umfang anfällt, jedoch nur an wenigen, lokal begrenzten Stellen, ist das beschriebene Konzept nur noch begrenzt sinnvoll

Bild 1:
Zwei gleichartige Halbprofile, fixiert durch einen Lüfter, bilden den kompletten LK 75.

oder hinreichend, denn intern müßte unverhältnismäßig viel Raum für Wärmeaustauschflächen eingeplant werden. Im Sinne einer Einbaugrößen-Minimierung besser geeignet sind daher bei extremen Halbleiter-Verlustleistungen spezielle Halbleiter-Kühlprofile, welche einen oberflächenreichen Kanal für die durchströmende Luft bilden. Der Lüfter wird direkt angeflanscht und bewirkt im Idealfall eine turbulente Zwangs-Strömung mit besonders guter Wärme-Übergangsmöglichkeit zwischen Gas und Metall.

Grundlagen zur Gerätekühlung

In elektrischen Schaltungen entsteht Wärme in allen ohmschen Widerstandsanteilen, in Halbleitern, in Transformatorblechen, z.T. auch durch chemische Hystereseprozesse bei Akkus oder Elkos, als Motorenreibung, Funken und anderweitig.

Die von einem elektrischen Gerät pro Zeiteinheit freigesetzte Wärmemenge muß auf Dauer im selben Tempo auch an die Umgebung weitergegeben werden. Hierzu steigt die Gerätetemperatur solange an, bis diese Abfuhrbedingung gerade erfüllt ist. Alle speziellen Kühlungsmaßnahmen dienen letztlich einer Absenkung des Gleichgewichtspunktes auf für die Bauteile noch zuträgliche Temperaturen.

Die 3 physikalischen Wärmetransportmechanismen sind Wärmestrahlung, Wärmeleitung und thermische Konvektion. Erstere leistet im üblichen Arbeitstemperaturbereich elektronischer Bauelemente keinen nennenswerten Beitrag (maximal einige Prozent), und wir gehen daher nicht näher darauf ein.

Wärmeleitung

Für den Wärmetransport in Feststoffen ist allein die Wärmeleitfähigkeit verantwortlich, besonders ausgeprägt bei Metallen, in Flüssigkeiten und Gasen dagegen klein und dort gegenüber der thermischen Konvektion vernachlässigbar.

Die 4 bestleitenden Stoffe sind Silber, Kupfer, Gold und Aluminium, mit Werten von 418, 398, 314 und 238 W/m•K; Wasser leitet dagegen nur mit 0,6, Luft gar nur mit 0,026 W/m•K.

Zwischen elektrischer und thermischer Leitfähigkeit der einzelnen Stoffe besteht eine gewisse Parallelität, die physikalisch auch ansatzweise erklärbar ist. Dennoch ist Wärmeleitung ein rein mechanischer Weitergabevorgang, vergleichbar etwa der Ausbreitung und Verteilung einer Störung in einer durch Federn gekoppelten Kugelreihe.

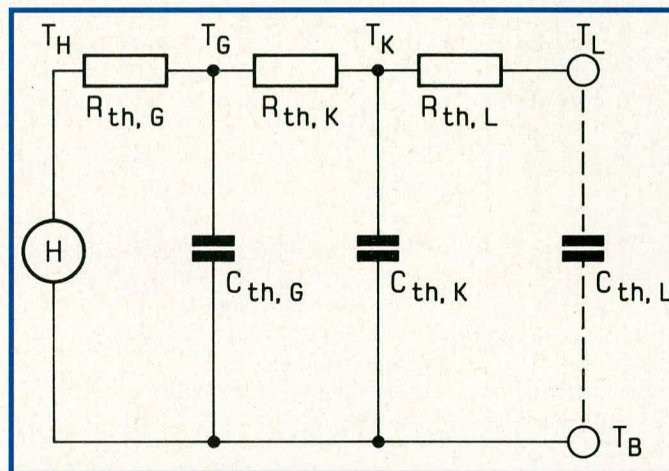


Bild 3: Vereinfachtes Wärmeflußschema eines auf einen Kühlkörper montierten Halbleiters. Die Zustände werden mit guter Näherung durch elektrische Ersatz-Schaltbilder veranschaulicht.

Spezifische Wärmekapazität

Wärmeleitung ist der primäre Prozeß bei jeder Bauteilkühlung. Ein auf einem Kühlkörper montierter Transistor wirkt zunächst praktisch ausschließlich auf diesen ein, d. h. die lokal zugeführte Wärme verteilt sich durch Leitung und erhöht die Temperatur der beteiligten Materialien.

Alle Stoffe können Wärme speichern, in Abhängigkeit von der Stoffmasse sowie einer materialabhängigen Konstante, der spezifischen Wärmekapazität. Sie gibt an, wieviel Joule Energie einem kg Material für eine Temperaturerhöhung von 1 Grad (Kelvin/Celsius) jeweils zugeführt werden müssen.

Eine besonders hohe spezifische Wärmekapazität hat übrigens Wasser (4,18 kJ/kg•K), weshalb es sich hervorragend als Speicher- und Abfuhrmedium von Wärme eignet; Aluminium bringt es, für Metalle sehr günstig, noch auf 0,88, Kupfer nur auf 0,38 kJ/kg•K.

Thermische Konvektion

Mit steigender Übertemperatur des

Kühlkörpers kommt mehr und mehr die thermische Konvektion in Gang, als meist einzige Möglichkeit, auch wirklich Wärmeenergie abzuführen. Denn das jeweilige Gerät ist ja üblicherweise so gut wie vollständig von Luft umgeben, besitzt selbst aber nur ein begrenztes Wärmespeichervermögen. Somit muß nach einer begrenzten Aufwärmzeit die gesamte im Gerät pro Zeiteinheit freigesetzte Wärmeenergie in derselben Rate auch an die Luft abgegeben werden (sieht man einmal von dem geringfügigen Beitrag der Wärmestrahlung ab).

Veranschaulichen kann man sich den Wärmefluß durch ein elektrisches Ersatzschaltbild, in der die Wärmekapazitäten als Kondensatoren, die Wärmewiderstände als ohmsche Widerstände betrachtet werden. Abb. 3 zeigt dies am Beispiel eines auf einem Kühlkörper befindlichen Transistors.

Die Bezugstemperatur T_B wird beliebig gewählt, Quelle für einen konstanten

Wärmefluß (entsprechend einem elektrischen Strom) sei der Halbleiterkristall H . Es ergeben sich die Übergangswiderstände vom Kristall zum Außengehäuse ($R_{th,G}$), von diesem auf und durch den Kühlkörper ($R_{th,K}$) sowie vom Kühlkörper auf die Luft ($R_{th,L}$). An den Knotenpunkten stellen sich die jeweiligen Zwischentemperaturen von Kristall, Außengehäuse, Kühlkörperoberfläche und Außenluft ein (T_H - T_L). Die Wärmekapazitäten von Transistorgehäuse und Kühlkörper $C_{th,G}$ und $C_{th,K}$ besitzen Pufferwirkung. Zwischen den Punkten T_L und T_B kann man sich die Wärmekapazität der Luft $C_{th,L}$ als nahezu unendlich großen Wert vorstellen.

Thermische Konvektion kommt zustande aufgrund der Ausdehnung erwärmter Gase/Flüssigkeiten und der damit verbundenen Verringerung des spezifischen Gewichts. Es bildet sich also eine - bevorzugt vertikale - Strömung entlang der Übergangsfächen aus, wodurch ständig kühles Material nachgeführt und erwärmtes abtransportiert wird. Es gibt auch den umgekehrten Effekt, also eine nach unten gerichtete Strömung an einer besonders kalten Grenzfläche.

Thermische Konvektion ist für sehr viele Prozesse in der Natur verantwortlich - von der Gestalt einer Kerzenflamme bis hin zur Kontinentaldrift. Neben der thermischen Konvektion kennt der Physiker auch noch eine durch Oberflächenspannungsdifferenzen hervorgerufene Konvektion, die im Zusammenhang mit Kühlung jedoch keine Rolle spielt. Sie ist z. B. verantwortlich für die heftigen Turbulenzen im flüssigen Wachs unter einer Kerzenflamme.

Praktisch alle Kühlkörper und -profile der Elektronik arbeiten über die freie Konvektion, d.h. eine am Metall laminar vorbeistreichende Luftströmung, und sind dafür optimiert.

Die Rippen der Kühlkörper sollen eine

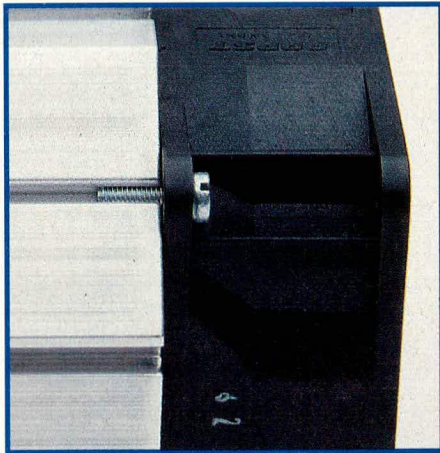


Bild 4: Einfachste Lüftermontage durch M 3-Schrauben, ohne Nacharbeit.

möglichst große Übertragungsfläche zur durchströmenden Luft garantieren und müssen für optimalen Luftdurchsatz parallel zur Strömungsrichtung ausgerichtet sein (i. a. also senkrecht stehen). Der Wärme- fluß verzweigt sich innerhalb des Metalles baumartig in alle Rippen. Da die Energieabfuhr pro Flächeneinheit relativ zum Leitungsvermögen des Metalls gering ist, sind schlanke Rippen, mit fast parallelen Wänden, möglich, dazwischen vergleichsweise ausladende Luftzwischenräume. Der Luft soll ja ein möglichst geringer Durchströmungs-Widerstand geboten werden.

Praktische Hinweise zur Geräte- kühlung

Charakterisierung von Kühlkörpern

Kühlkörper sollen als Puffer und Wärmeverteiler wirken und der Luft eine möglichst große Übergabefläche bieten. Wesentliche Kennzeichnungsgröße von Kühlkörpern ist die Temperaturerhöhung pro zugeführter Leistung, bis diese sich im Konvektionsgleichgewicht befinden. Eine Angabe von 17°/W bedeutet z. B., daß ein Kühlkörper sich mit jedem zusätzlich beaufschlagten Watt Leistung um 17° erwärmen würde.

Rahmenbedingung für die zugrundeliegenden Messungen ist allerdings die konvektionstechnisch ideale Anbringung dieses Kühlkörpers, also dessen völlig freie Anordnung im Luftraum, bei vertikal verlaufenden Rippen. Gemessen wird normalerweise die zum Erreichen einer definierten Kühlkörper-Gleichgewichtstemperatur benötigte Leistung, von wo aus dann auf die genannte Kenngröße zurückgeschlossen wird. Konvektion funktioniert in Wirklichkeit aber gar nicht linear.

In der Einsatzpraxis sind die Wärmewiderstandsangaben von Kühlkörpern daher mit einer gewissen Vorsicht zu genießen. Eine ideale Anordnung der Kühlkörper ist meist nicht erreichbar, so daß eine Überdimensionierung um den Faktor 1,5 bis 3 geraten erscheint. Man geht also z. B. von der doppelten Nennleistung des zu kühlenden Bauteils aus, rechnet mit einer hochsommerlichen Raumtemperatur von 35° C und einer zulässigen Kühlkörpertemperatur von 100° C. Division von Temperaturerhöhung durch Leistung ergibt den zulässigen maximalen Wärmewiderstand des Kühlkörpers.

Benötigte Kühlluftmenge

Die Menge der zur Kühlung benötigten Luft läßt sich quantitativ durch eine einfache, ziemlich genaue Faustformel abschätzen:

Unter Normalbedingungen erwärmt sich ein Liter Luft pro Joule zugeführter Energie um ein Grad.

Abgekürzt kann man also schreiben:

$$V/t = \frac{w}{T_2 - T_1}$$

V/t ist hierbei das Luftvolumen pro Zeiteinheit (in l/sek), w die Energie (in Joule), T₁ die Luft-Anfangstemperatur und T₂ die entsprechende Endtemperatur (in Grad Kelvin oder Celsius). Für die korrekten Einheiten innerhalb der Gleichung wäre auf der rechten Seite noch der Faktor

$$1 \frac{K \cdot l}{J \cdot s}$$

erforderlich, kann aufgrund seines Zahlenwertes von 1 aber auch weggelassen werden. Aus der für Lüfter normalerweise in m³/h angegebenen Umsatzmenge läßt sich die Größe l/s gewinnen, indem durch 3,6 dividiert wird.

Mit dieser Formel läßt sich gut rechnen. Angenommen, in unserem Gerät werden 100 Watt Verlustleistung als Wärme frei, die Umgebungstemperatur betrage 18° C, die Halbleitertemperatur solle bei 120° C liegen dürfen. Pro Sekunde werden also 100 Wattsekunden (=Joule) frei. Die Luft solle von 18 auf 80° C, also um 62° erwärmt werden. Dann beträgt die erforderliche Luftmenge immerhin 100/62 = 1,61 Liter pro Sekunde, umgerechnet 5,8 m³/h.

Wir müssen nun also erstens dafür sorgen, daß diese Luftmenge auch tatsächlich fließen kann, etwa durch Lüftungsöffnungen oder auch durch einen zusätzlichen Lüfter. Zweitens muß die kalkulierte Temperaturerhöhung auch tatsächlich zustandekommen, d. h. es sind hinreichend große Übergabeflächen und eine genügend lange Verweilzeit der Luft im Gerät erforderlich.

Die oben genannte Formel kann man natürlich auch umstellen und z. B. die Temperaturerhöhung für eine gegebene Luftmenge und Wärmezufuhr ausrechnen.

Lüftereinsatz/erzwungene Konvektion

Die Verhältnisse am Kühlkörper ändern sich grundlegend, wenn der Gasdurchsatz durch Lüfter wesentlich verstärkt wird. Man spricht dann von erzwungener Konvektion, welche sich, in speziellen Lüfter-Kühlkörpern, neben größerem Luftdurchsatz vor allem auch durch einen Umschlag von laminarer in turbulente Strömung auszeichnen kann.

Die pro Flächeneinheit abführbare Leistung steigt durch Zwangslüftung um teilweise mehrere Zehnerpotenzen an, weshalb nun der Zufuhrwiderstand innerhalb des Kühlkörpermetalls eine ganz andere Rolle als bei freier Konvektion spielt und entsprechend optimiert sein sollte.

Das Verhältnis von Metall- zu Luftquerschnitt muß bei Lüfterkühlkörpern daher drastisch verschoben werden, d. h. dicke, in relativ stumpfen Winkeln zulaufende Rippen sind nun erforderlich, zumal der Strömungswiderstand wegen der Zwangslüftung ohnehin weit weniger ins Gewicht fällt als bei freier Konvektion.

Weniger kompakte Rippen wären allenfalls bei einer besonders langen Kühlröhre tolerierbar; doch würde hier die normalerweise im Vordergrund stehende Optimierung von Bauvolumen zu Wärmeabfuhr grob verfehlt. Demnach ist also auch die Auslegungslänge eines Lüfter-Kühlkörpers eine wichtige Ausgangsgröße für seine Konstruktion.

Diese Erkenntnisse sind naheliegend und ziemlich einleuchtend. Schon allein darin unterscheiden sie sich markant von der Tatsache, daß anscheinend fast alle der bislang kommerziell angebotenen Lüfter-Kühlkörper hinsichtlich ihrer Rippen-Struktur eigentlich Profile für freie Konvektion sind. Dies ist verblüffend, und sicherlich gibt es hier auch Ausnahmen; doch ist ELV auf der Suche nach einem für seine Zwecke geeigneten Profil ihrer nicht ansichtig geworden und hat deshalb eine Eigenentwicklung in Angriff nehmen müssen.

Es bringt nun einmal nichts, an einer im Querschnitt langen, millimeterdünnen Rippe pro Minute kubikmeterweise Luft vorbeiz-

zuschaukeln: Bereits wenige Millimeter jenseits der Ansatzstelle entspricht die Rippentemperatur praktisch der Lufttemperatur. Der Rest der Rippe nimmt am Übergabeprozess gar nicht mehr meßbar teil, ragt als unsinniges Aluminiumstück in die Landschaft. Fazit: Dieselbe Kühlleistung würde sich, bei wesentlich gedrungeneren Aluminium-Strukturen, auch durch eine erheblich raumsparendere Ausführung realisieren lassen.

Der ELV-Lüfterkühlkörper LK 75

Der LK 75 besteht aus 2 gleichartigen Profilen, die über formschlüssige Schwalbenschwanzkonturen zu einem geschlossenen Kanal zusammengeschoben werden. Das Komplettgewicht beträgt genau 1000 g, bei einer Auslegungs-Nettolänge von 140 mm.

Der LK 75 besitzt im Außenquerschnitt die Kontur eines regelmäßigen Achtecks von 31 mm Kantenlänge, entsprechend 75 mm Höhe/Breite. Er belegt aufgrund der achteckigen Form bei liegender Montage nur eine relativ geringe Leiterplattenfläche, was entsprechend zusätzliche Bestückungsmöglichkeiten bedeutet.

Insgesamt 8 Struktur-Nuten auf dem Kühlkörper-Umfang erlauben das Einschleiben von M3-Muttern und hierüber das Befestigen auf der Trägerplatine oder anderweitig, das Anschrauben der Leistungs-Halbleiter, Temperaturfühler, kleiner Zusatzplatten etc. in beliebiger Position, ohne daß Nacharbeiten wie z. B. Bohrungen erforderlich würden.

Die Leistungs-Halbleiter werden auf beiden Seiten des LK 75 gleichmäßig verteilt. Die sich nach innen anschließende massivedrungene Aluminiumkontur ermöglicht hohe Ableitungen und gleichmäßige Verteilung der Wärme zu allen Oberflächen des durchlüfteten Hohlraumes. Es wurde großer Wert auf gute Durchströmbarkeit und ein sinnvolles Verhältnis von Luftquerschnitt zu nachlieferndem Alu-Querschnitt gelegt (etwa 1:1). Im Kühlkörper ist die Strömung bei Lüfter-Nennleistung turbulent, so daß für die gesamte Kühlluft Wandkontakte möglich und wahrscheinlich sind. Zusätzlich garantiert der LK 75 allein aufgrund seiner Materialmasse eine hervorragende Abpufferung auch bei impulsartig auftretender Belastung.

Die Anschlußbeinchen der Halbleiter reichen nicht bis in die Platine, sondern sind über Lötstifte angelötet, wodurch sich eine große Servicefreundlichkeit ergibt. Die Auswechslung etwaig defekter Halbleiter kann lokal erfolgen, ohne daß die Unterseite der Trägerplatine zugänglich sein müßte.

Auch die Lüftermontage ist am LK 75 ohne Nachbearbeitung möglich. Genau im Format der Lüfter-Befestigungsbohrungen

stehen vier Aufnahmenuten von rundem Querschnitt mit kleinen Rippen bereit, in welche sich die M3-Befestigungsschrauben ohne nennenswerten Kraftaufwand einschneiden.

Der Lüfter arbeitet vom Geräteinneren her in den Kühlkörper hinein, was dort für besonders gute Verwirbelung sorgt, Lüfter und sonstige Schaltung aber kühl hält. Durch die im Gerät heranströmende Luft sind somit also auch weitere Gerätekomponenten, wie etwa ein Leistungs-Trafo, hinreichend kühlbar.

Ausgeblasen wird die Luft in gezieltem Strahl ins Freie und kann deshalb auch nicht laminar zum Gerät zurückströmen. Zum Ansaugen sind im Gehäuse entsprechende Eintrittsschlitze mit einer Gesamtdurchgangsfläche von mindestens 100 cm² vorzusehen.

Der LK 75 ist ausgelegt auf eine ge-

grad herausragenden Lüfter Typ 612 der Fa. Papst an, der bei seiner Nennspannung von 12 V immerhin 40 m³/h umsetzt (ca. 210 W). Wird er mit seiner zulässigen Höchstspannung von 15,0 V betrieben, so sind über den LK 75 sogar bis zu 250 W abführbar.

Die Geräuschentwicklung des Papst-Lüfters ist aufgrund der gesteigerten Leistung etwas höher als beim Fernost-Typ. Beide Lüfter arbeiten aber auch bei Vollastbetrieb noch ausgesprochen leise und in keiner Weise störend.

Die folgende Grafik zeigt für beide Lüftertypen die am Halbleiterblech gemessene Temperatur in Abhängigkeit von der Verlustleistung an. Raumtemperatur war 20° C, verwendet wurden 6 Leistungstransistoren Typ BD 249 C in gleichmäßiger Anordnung beidseitig des LK 75, Lüfterversorgungsspannung war 12,0 V.

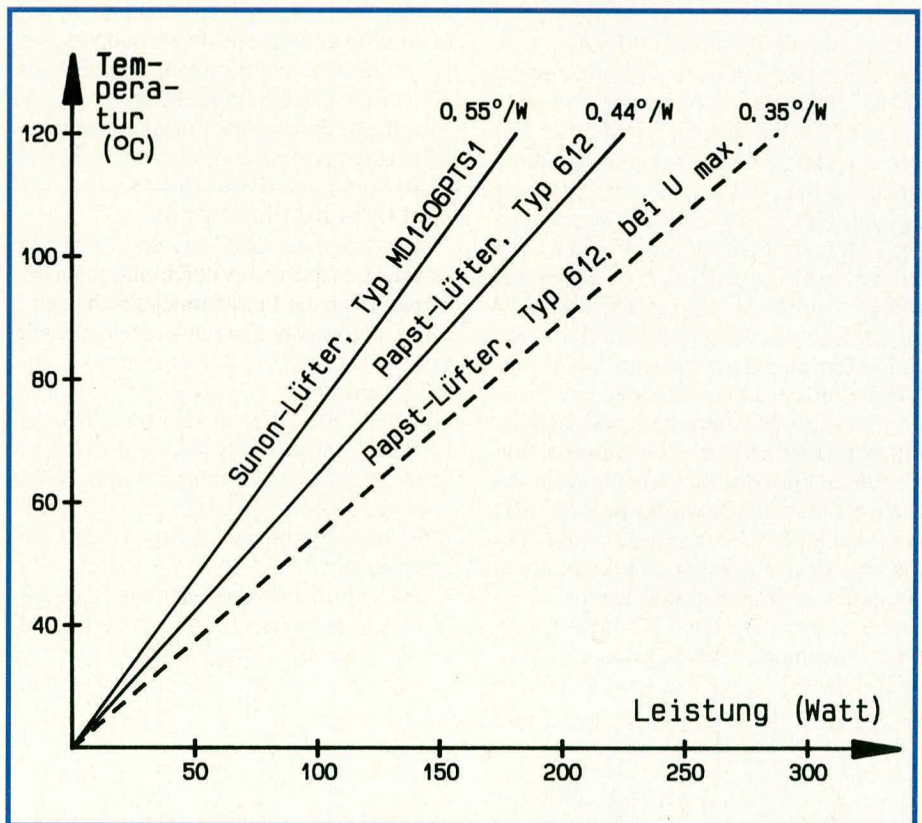


Bild 5: Temperatur am zu kühlenden Transistorgehäuse, in Abhängigkeit von der Gesamt-Abgabeleistung des LK 75.

bräuchliche, elektronisch kommutierte Lüftertype mit 4 Montagebohrungen auf einem Quadrat von 60 mm Seitenlänge. Diese Baugröße wird identisch von mehreren Herstellern angeboten.

Ein hochwertiger Fernost-Lüfter (Sunon, Typ MD 1206PTS1) fördert 29 m³ Luft pro Stunde und zeichnet sich durch ein besonders geringes Laufgeräusch und günstigen Preis aus. Er ist für Verlustleistungen bis etwa 160 W einsetzbar.

Für Hochleistungsanwendungen bietet ELV den in Luftdurchsatz und Wirkungs-

Es ergeben sich Wärmewiderstände von 0,55 K/W bzw. 0,44 K/W je nach Lüftertype. Bei Betrieb des Papst-Lüfters mit der zulässigen Maximalspannung von 15 V ist ein Grenzwert von 0,35 k/W erreichbar.

Mit dem ELV-Lüfterkühlprofil LK 75 haben wir eine kompakte, leistungsfähige und vergleichsweise preiswerte Möglichkeit geschaffen, beträchtliche Halbleiter-Verlustleistungen etwa von Leistungsverstärkern oder -Netzteilen auf optimal kleinem Raum abzuführen. Dadurch wird es möglich, auch Hochleistungsgeräte insgesamt in einer „Handlichkeit“ zu konzipieren, die ansonsten nicht denkbar wäre. **ELV**