

Senderendstufen kühlen

Kühlsysteme für Endstufen



Bild 1:
Die HF-Leistungsröhren Eimac 8874 und Siemens RS1064C mit Lamellen-Metallköpfen für die Druckluftkühlung



Heinrich F. Reckemeyer, DJ9YW

Eine unzureichende Kühlung kann zu einem frühzeitigen Ausfall von PA-Röhren- und Transistoren führen. Der Beitrag gibt einige Hinweise zum richtigen Aufbau der wichtigen Endstufenkomponente.

Grundsätzlich ist ja bekannt, dass Energie nie verloren geht. Bei der Bearbeitung oder Umwandlung ergeben sich oft zusätzliche Energieformen und reduzieren den Wirkungsgrad. So entstehen bei Endstufen, wie auch in Kfz-Motoren oder bei der Strom-Erzeugung relativ hohe Wärmeverluste. Diese Energie muss dann leider oft ungenutzt an die kühlere Umwelt abgegeben werden, damit keine Schädigung bei der Funktion der Anlagen eintritt.

Kühlung von Hochfrequenzendstufen

Anfänglich gab es nur Röhrenendstufen. Bei Kleinleistungsröhren, z.B. der bekannten QQE03/12 reichte die Kühlung durch Wärmeabstrahlung aus. Auch wenn man die Anodenbleche schon mal mit über 1000 °C zum Glühen brachte, war die Röhre nicht gleich defekt. Bei großen Rundfunk-

und Fernsehsendern ging es dann jedoch ohne eine ausgeklügelte hochspannungsfeste Wasserkühlung nicht mehr. Für Funkamateure mit HF-Leistungen bis 750 W wurde vorwiegend eine Druckluftkühlung eingesetzt. Die verwendeten Röhren (**Bild 1**) besaßen dazu einen Lamellen-Kühlkopf an der Anode. Solche Röhren kamen von KW bis 23 cm zum Einsatz. Ein besonderes Problem der Kühlung war die



Bild 2: Eine bei Röhrenendstufen oft verwendete Radial-Lüfterbauform



Zur Person

Heinrich F. Reckemeyer, DJ9YW
Fernsehtechnikermeister, Funkamateure seit 1964.

Viele Jahre in der Entwicklung, der Fertigung und dem Service von Amateurfunk-Equipment tätig, befasste sich aber auch mit kommerziellen Funkgeräten, Endstufen und Messgeräten.
Zwei Jahre OVV von H44

Anschrift:
31860 Emmerthal
dj9yw@darf.de



Bild 3: Drucksteifer Hochleistungs-Ringverdichter mit 450 W

Drucksteifigkeit der oft verwendeten Radiallüfter (**Bild 2**), weil diese nicht zum Querschnitt der Röhrenkühlköpfe passten. Diese Forderung erfüllten meist nur recht teure Ringverdichter (**Bild 3**). Ein weiterer Nachteil war die hohe Lärmentwicklung dieser Gebläse, welche im Shack oft nur mit Kopfhörern zu ertragen war, um überhaupt noch empfangene Signale aufnehmen zu können.

Halbleiter-Endstufen

Im Laufe der Jahre haben sich immer mehr Halbleiter-Endstufen durchgesetzt. Bis 750 W sind solche Komponenten heute bis in den GHz-Bereich zu erhalten. Die Preise heutiger LD-MOS-Endstufen sind nunmehr auch erschwinglich. Die Vorteile sind neben der kompakten Bauweise, die sofortige Verfügbarkeit ohne Vorheizzeiten bzw. auch keine Ausfälle durch Hochspannungsüberschläge wie bei Röhrengeräten. Weiterhin ist kein ständiger Nachgleich erforderlich, und für die Kühlung kann man nunmehr leise und kleine Axiallüfter einsetzen. Ebenso ist der Halbleiterverschleiß vernachlässigbar. Zunehmend wird ja auch die Beschaffung von Ersatzröhren nicht einfacher, da viele Produktionen ausgelaufen sind.

Kühlung von Transistoren

Eine optimale Kühlung der Transistor-PA bestimmt deren Überleben. Deshalb sollte hier nicht verschwiegen werden, dass sich ein Transistorchip je nach Typ oft bereits bei Temperaturen von ca. 150 °C...200 °C verabschiedet. Durch vielfache Temperatur-Übergangswiderstände bis hin zum Kühlkörper sollten an diesem deshalb 60 °C auf keinen Fall überschritten werden. Mit 55 °C hätte man etwas Sicherheitsreserve. Gehen wir davon aus, dass im Shack 25 °C herrschen und das Gerät dann Standby vielleicht 30 °C aufweist, dürfte der Kühlkörper beim Senden auf

Dauer entsprechend nur 25 °C wärmer werden.

Auswahl des Kühlkörpers

Wir nehmen einmal an, unser Transistor hätte, ähnlich einer guten Röhre 50 % Wirkungsgrad, was heute durchaus möglich ist. Bei 100 W HF-Ausgangsleistung würden dann weitere 100 W als Wärme auftreten. Bei der oben erwähnten zulässigen Differenz von 25 °C für 100 W müsste der Kühlkörper dann zu einer Wärmeabfuhr von 0,25 K/W (Kelvin pro Watt) bei Dauerstrahlung in der Lage sein. Das wäre ein riesiger Alu-Klotz. Da hilft dann auch

bei dort schon einmal 35 °C im Schatten auftreten können. Hier ist dann immerhin schon ein Wert von 0,15 K/W erforderlich.

Im Kfz könnte es im Sommer besonders kritisch werden. Dort sollte man auf jeden Fall eine Digital-Thermometer-Kontrolle einbauen, um bei Bedarf Pausen einlegen zu können. Zur Beruhigung der Lage kann man aber die Sende/Empfangsphasen mit in die Berechnung einbeziehen, sodass nur etwa 50 % dieser Wärmeableitung berücksichtigt werden müssen. Bei CW/SSB würde sich eine weitere Reduktion durch Mittelwertbildung ergeben.



Bild 4:
Axiallüfter
für Halbleiter-
Kühlkörper
von 1,9 W
bis 4,6 W

eine Schwärzung zur besseren Temperatur-Abstrahlung nur wenig. Nun sind hierfür aber Hohlrippen-Kühlkörper auf dem Markt, welche eine aktive Innenbelüftung erlauben. Durch spezielle Innenlamellen erreicht man eine größere Oberfläche. Je nach Lüfter (**Bild 4**) werden damit die oben geforderten 0,25 K/W bequem erreicht. Häufig werden solche Endstufen aber auch bei DXpeditionen eingesetzt, wo-

Wegen der zunehmenden Nutzung von FSK, welches sich in der Bilanz wie FM verhält, sollte man aber besser den Faktor von 0,5 beibehalten. Also müsste der Kühlkörper bei 35 °C Umgebungstemperatur und dann etwa 40 °C im Gerät bei 100 W und dem Rx/Tx-Faktor 0,5 einer Forderung von 0,3 K/W nachkommen können. Hierfür würde sich optimal der Blockkühlkörper SK150-62 (**Bild 5**) eignen.

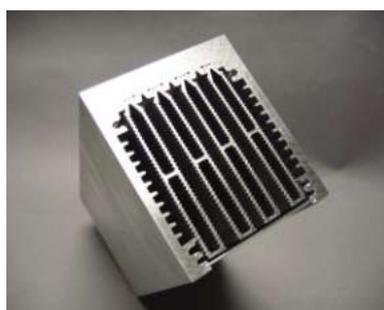


Bild 5: Optimierter Hohlrippenkühlkörper in Verbindung mit Axiallüftern

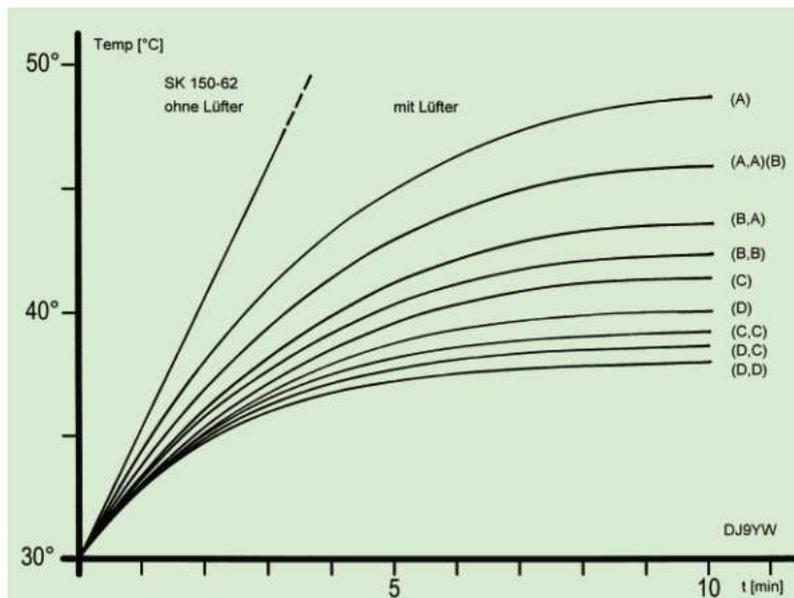


Bild 6: Kühlkörper-Messaufbau mit zwei 50-W-Leistungswiderständen



Bild 7: Kühlkörper mit PA-Modul auf einer 5-mm-Cu-Platte und beidseitiger Lüftermontage

Bild 8:
Grafische Kurven
mit einigen
Messergebnissen



Temperaturmessung im Labor

Entscheidend für die Ergebnisse sind hierbei die Lüfterleistungen. Dazu wurde der in der **Tabelle 2** aufgeführte Wärmeableitwert bei 25 °C Raumtemperatur und 13 V messtechnisch ermittelt. Der SK 150-62 Kühlkörper mit 30 °C Grundtemperatur erhielt beidseitig zwei Hochlast-Metalblock-Widerstände (**Bild 6**), welche jeweils 50 W

Wärme als Ersatz der Transistor Verlustleistung lieferten. Alle Lüfter hatten die Maße 60 mm × 60 mm bei verschiedenen Höhen. Die Unterschiede der Lüfterkühlung in senkrechter oder waagerechter Kühlblockstellung waren unerheblich. Ohne Lüfter wurden nur unbrauchbare Werte von >1 K/W erzielt. Die verschiedenen 12-V-Lüfter wurden jeweils blasend montiert. Preis-

werte Lüfter von Sunon waren recht gut, erreichten aber nicht die Werte der teureren aber auch lautereren Hochleistungslüfter von Papst. Die im Preis dazwischen liegenden Bi-Sonic Lüfter mit speziellen Flügelformen bestachen neben angenehmer Geräusentwicklung sowie einem recht guten Wirkungsgrad mit den besten Werten.

Eine weitere Messreihe bestand in der Montage eines zweiten Lüfters (**Bild 7**) auf der Gegenseite mit saugender Wirkung. Hierbei ergaben sich die besten Leistungssteigerungen bei Verwendung gleicher Typen. Jedoch kam es dabei öfter zu störenden Interferenztönen. Deshalb wurden auch andere Kombinationen getestet, wobei Erfolge nur bei nicht zu großer Abweichung der Leistungsklassen eintraten.

Die Luftmenge bei Lüftern wird in m³/h (Kubikmeter pro Stunde) angegeben. Zeitweilig wird auch das amerikanische Maß c.f.m. verwendet. Diesen Wert muss man grob mit dem Faktor 1,7 multiplizieren, um auf vergleichbare Werte zu kommen. Für höhere Wärmeableitungen werden entsprechend der Leistung auch größere Hohlrippen-Kühlkörper und passende Lüfter angeboten. Ergebnisse für 750-W-PAs sind in Vorbereitung.

Tabelle 1

A = Sunon KD 1206PHS2	4000 U/min	13 V/0,16 A
B = Sunon KDE1206PTS1	3300 U/min	13 V/0,20 A
C = EBM Papst NGH	5600 U/min	13 V/0,23 A
D = EBM Papst NGHH	6850 U/min	13 V/0,34 A
E = Bi-Sonic BP602512HH03	7000 U/min	13 V/0,39 A

Die Messergebnisse

Die aufgeführten Kühlkörper Endtemperaturen in **Tabelle 2** ergeben sich bei ungehemmter Luft Zu- und Abfuhr mit 100 W Dauer-Wärmeentwicklung wie z.B. im sommerlichen 40 °C Standby-Betrieb.

Dabei sollte noch beachtet werden, dass in Geräte eingebaute Kühlkörper oder der Standort der Geräte selber einer Blockade der Luftzirkulation unterliegen können und somit der Maximalwert nicht immer voll erreicht werden kann.

Es wurden verschiedene 12-V-Axiallüfter gemessen. In der Kurven-Grafik sind einige Lüfter-Ergebnisse einzeln oder in Kombination bei 13 V und 30 °C Standby-Temperatur dargestellt (**Bild 8**).



Tabelle 1:
Gemessene
12-V-Axiallüfter

Tabelle 2

Luft Eintritt (SK150-62)	Luftaustritt	Ableitwert	Kühlkörper-temperatur*
A	---	0,21 K/W	61°C
A	A	0,17 K/W	57°C
B	---	0,17 K/W	57°C
B	A	0,14 K/W	54°C
B	B	0,13 K/W	53°C
C	---	0,11 K/W	51°C
D	---	0,098 K/W	49,8°C
C	C	0,093 K/W	49,3°C
D	C	0,088 K/W	48,8°C
D	D	0,075 K/W	45°C
E	---	0,075 K/W	45°C

Tabelle 2:
Gemessene
Wärmeleitwerte

Tabelle 3

Hersteller	Typ	Leistung	Menge	Schall	Maße [mm]	Bezugsmöglichkeit
Sunon	A	1,9 W	30m ³ /h	31 dBA	60 × 60 × 15	www.reichelt.de
Sunon	B	2,3 W	37m ³ /h	34 dBA	60 × 60 × 25	www.reichelt.de
Papst	C	2,4 W	46m ³ /h	38 dBA	60 × 60 × 25	www.rsonline.de
Papst	D	3,7 W	56m ³ /h	43 dBA	60 × 60 × 25	www.rsonline.de
Bi-Sonic	E	4,6 W	65m ³ /h	46 dBA	60 × 60 × 25	www.farnellinone.de
Fischer	SK 150-62	0,21...0,075 K/W			150 × 62 × 75	www.db6nt.de

Tabelle 3:
Lüfter- und
Kühlkörper-
daten mit
Bezugsquelle