

## عنوان : محاسبه و تحلیل هیت سینک مورد نیاز در نیمه هادیها

نویسنده : بهزاد خزاما

نسخه اول , دوشنبه ۱۳ آبان ۱۳۸۷

درود بر ایرانیان

مواردی رو که در این مقاله میخوانید ممکن هست که قبلا خیلی ساده در موردش فکر میکردید حتی بسیاری از مهندسين و طراحان هم همین فکر رو دارند و طراحی مدارات و محاسبات گرما و نحوه خنک سازی قطعات رو تنها چیزی میدونند که نیازی به یادگیری ندارند!! این نگرش بسیار بسیار خطرناک هست البته نه برای مدارهای مبتدی و نه برای اونها که همیشه ماژولهای آماده استفاده میکنند یا کسانی که به دنبال شماتیک بلوکهای مختلف طرحشون میکردند و اونها رو به هم چسب میزنند. منظور من وقتی هست که مثلا میخواهید ترانزیستورهای طبقه خروجی یک منبع تغذیه یا یک تقویت کننده و در حالت کلی هر قطعه نیمه هادی استفاده شده در مدار که دارای توان تلفاتی بالاتر از چند دهم وات هست را خودتان طراحی کنید و انتظار هم دارید طرحتان برای همیشه روشن بماند. خیلی جاها دیدم که افراد برای اطمینان از اینکه طرحشون بعد از مدتی نمیسوزه اونرو برای یک ساعت روشن نگه میدارند و اگه نسوخت یعنی ایول به این طرح! خیلی ها هم این فکر رو میکنند که : "یک تکه آلومینیوم که دیگه این همه حرف و حدیث نداره".

به هر حال امیدوارم که با خواندن این مقاله علت از کار افتادن مدارات یا ترکیدن خازنها بعد مدتی کار رو بفهمید. همچنین این محاسبات از ضروریات محاسبات تعداد و نوع ترانزیستورهای قدرت هست که در ادامه حتما شما هم به این نتیجه خواهید رسید.

اولین و ابتدایی ترین نحوه محاسبه و انتخاب ترانزیستور طبقات پر قدرت مراجعه به کاتالوگ ترانزیستور و دیدن میزان توانی هست که قطعه میتونه تحمل کنه اما این یعنی ترکیدن یا سوختن ترانزیستور! چنین اشتباهی در طراحی میتونه بسیار گرون قیمت تموم بشه مثلا سوختن ترانزیستور خروجی یک منبع تغذیه معمولا باعث یکسره شدنش میشه و این یعنی بالا رفتن ولتاژ خروجی تا حد ولتاژ ورودی و در نتیجه سوختن یا دود شدن دستگاهی که به این منبع متصل بوده.

فکر کنم شدیداً عصبانی هستم. به هر نحو باید شما رو قانع کنم که مسئله جدیست.

با مثال شروع میکنم:

فرض کنیم میخواهید یک منبع ولتاژ ثابت طرح کنید که مثلا ولتاژ ۲۰ ولت رو به ۵ ولت تبدیل کنه و بتونه ۵ آمپر جریان در خروجی ایجاد کنه. شاید مثال ساده باشه و راههای دیگه ای هم باشه ولی هدفم فقط میزان توان تلفاتی هست که میتونه در هر طرح دیگه ای هم

ایجاد بشه(مثلا در یک منبع از نوع سوئیچینگ). توی این مثال اول از همه ببینیم میزان توان تلفاتی در ترانزیستور یا آی سی خروجی چقدر هست(در این موارد برای دور نشدن از بحث اصلی از توضیحات جانبی خودداری میکنم).

ولتاژ ورودی ۲۰ و ولتاژ خروجی ۵ ولت هست پس تقریبا ۱۵ ولت روی ترانزیستور افت ولتاژ داریم که با ضرب در جریان ۵ آمپری خروجی توان تلفاتی روی ترانزیستور یا آی سی خروجی برابر ۷۵ وات خواهد بود. در این مرحله شاید اولین حدس انتخاب مثلا یک ترانزیستور 2N3055 هست که توی کاتالوگش توان قابل تحمل حدود ۱۱۵ وات رو نوشته. حتما خیلی خوشحال هستید که چنین ترانزیستور ارزان قیمتی رو انتخاب کردید و هنوز کلی هم جا برای توان بیشتر دارید شاید میگرد هنوز کو تا ۱۱۵ وات! اما در عمل ترانزیستور شما به سرعت خواهد سوخت شاید هم از فروشنده دلگیر بشید که مارک مرغوب این ترانزیستور رو نداده و مشکل از جنس چینی یا روسی یا ... هست!

میزان توانی که توی کاتالوگ قطعات نوشته شده برای دمای ۲۵ درجه محاسبه شده پس شما برای اینکه ۱۱۵ وات رو بتونید با 2N3055 که عاشقش شدید فراهم کنید باید اونرو توی همین دما نگه دارید در واقع ۱۱۵ وات میزان توانی هست که در صورتی که روی ترانزیستور افت کنه دمای ترانزیستور رو به میزان سوختن اون که معمولا ۱۵۰ درجه هست میرسونه (دمای اولیه ترانزیستور هم ۲۵ درجه فرض میشه).

حالا کمی آروم شدم کمی تحمل کنین و این موارد که در ابتدا ساده هم هستند رو بخونید. زیاد طول نمیکشه.

حرارت از نقاط گرم به نقاط با دمای کمتر حرکت میکنه تا در کل جسم به ثبات دمایی برسه این حرکت به دو صورت تماسی و تابشی صورت میگیره در حالت تماسی دما از طریق جسم منتقل میشه. مانند حرکت جریان الکتریکی توی یک رسانا جسمی که حرارت رو منتقل میکنه هم دارای مقاومت هست که به اون مقاومت حرارتی میگیم و با  $R_{th}$  نشون میدیم که مخفف **Thermal Resistance** هست و باز مانند افت ولتاژ روی مقاومت در اثر عبور جریان الکتریکی اینجا هم حرکت حرارت در یک جسم که دارای مقاومت حرارتی مخصوص به خودش هست باعث افزایش حرارت روی اون میشه.

واحد اندازه گیری مقاومت حرارتی کلوین بر وات هست به عنوان نمونه اگر جسمی (مثلا هیئت سینک که مورد نظر ما هست) دارای مقاومت حرارتی ۸ کلوین بر وات باشه یعنی در صورت عبور ۲ وات حرارت ۱۶ کلوین افزایش دما روش ایجاد میشه که معادل با ۱۶ درجه سانتیگراد افزایش هست.

اما در تابش نیازی به وجود یک ماده برای عبور نیست. همه اجسام دارای تابش حرارتی هستند و همچنین حرارت تابش شده از اطراف رو جذب میکنند. میزان تابش و جذب حرارت اجسام مختلف متفاوت هست و بسته به دمای جسم و رنگ اون داره! یک جسم سیاه تابش حرارت بیشتری داره و همچنین جذب حرارت بیشتری هم داره مثلا لباس خیلی سریع توی نور خورشید گرم میشه چون تابش

تمامی حقوق مادی و معنوی متعلق به نویسنده میباشد نقل تمام یا بخشی از این مقاله تنها با ذکر نام نویسنده یا لینک سایت [www.khazama.com](http://www.khazama.com) مجاز است.

حرارت خورشید رو جذب میکنه. اجسام شفاف و سیقلی کمترین میزان تابش رو دارند و کمترین میزان جذب تابش اما در عوض دارای قدرت بیشتری در انعکاس حرارت تابشی هستند شاید گرمکنهایی رو دیده باشید که دارای یک سینی آئینه مانند در پشت لامپ تابش کننده هستند.

خوب اینها بحثهای اولیه بود که شاید قبلا هم توی فیزیک خوندید اما یک نکته همینجا همیشه گفت اونم انتخاب رنگ هیت سینک هست! اگه هیت سینک توی یک محیط باز اما به دور از خورشید هست بهتره سیاه باشه درسته؟ این باعث میشه بیشتر تابش کنه و حرارت رو منتقل کنه اما اگه زیر نور خورشید هست یا اجسام داغتری با تابش بیشتر اطرافش هستند بهتره سیقلی باشه تا تابش اونهارو منعکس کنه و جذب کمتری داشته باشه.

مقاومت حرارتی باز به مانند مقاومت الکتریکی قابل سری یا موازی یا ترکیبی از سری و موازی شدن هست. نحوه محاسبه مقاومت حرارتی معادل هم باز به مانند مقاومت الکتریکی هست یعنی مثلا توی حالت سری مقاومتها با هم جمع میشن.

به مثال برمیگردیم. بعد از چند بار سوختن ترانزیستور حتما به فکر هیت سینک می افتید. سعی میکنید ترانزیستور رو روی یک قطعه فلزی دیگه نصب کنید تا خنک بشه. گفتیم میزان توان قابل تحمل این ترانزیستور ۱۱۵ وات هست که باعث میشه دمای اون به ۱۵۰ درجه برسه. حالا با توضیحاتی که در مورد مقاومت حرارتی دادم میتونیم مقاومت حرارتی قاب ترانزیستور رو حساب کنیم که در واقع مابین بلور سیلیکون داخلی و قاب ترانزیستور هست. با فرض دمای ۲۵ درجه برای محیط محاسبه میشه که :

$$R_{th} = \frac{150 - 25}{115} \approx 1.09 \text{ K/W}$$

این مقداری که محاسبه کردیم در واقع مقاومت حرارتی بین اتصال بلور سیلیکون و قاب ترانزیستور هست (قاب یا بسته بندی این ترانزیستور از نوع TO-3 هست که توی بازار به قابلمه ای معروفه). اینجا برای نصب ترانزیستور روی هیت سینک نیاز به کمی اتصالات داریم و اینجاست که در واقع داریم مقاومتهای حرارتی مختلف رو سری میکنیم. از "بلور داخلی به قاب" از "قاب به مثلا کمی گریس سیلیکون" از "گریس به مثلا یک ورقه میکا" برای ایزوله کردن بدنه ترانزیستور از هیت سینک و بعد هم باز مقداری گریس سیلیکون و بعد هیت سینک و بعد هم هوای محیط. البته شاید هم طلق میکا استفاده نکنید که در این صورت باید مواظب باشید هیت سینک (کلکتور ترانزیستور) به جایی اتصال نکنه. در این صورت مقاومتهای حرارتی سری شده شامل بلور به قاب + گریس سیلیکون + قاب به هیت سینک + مقاومت حرارتی هیت سینک میشه.

خوب با این توضیحات حالا میشه برگردیم به مثال اول خودمون و ببینیم برای اینکه ترانزیستور دم به ساعت نسوزه و بتونیم شب با خیال راحت بخوابیم و ترس سوختن دستگامون دست مشتری رو نداشته باشیم نیازمند حداقل چه مقدار مقاومت حرارتی هستیم تا

ترانزیستور در دمای مجاز کارش رو ادامه بده. قبلا محاسبه کردیم که توان تلفاتی روی ترانزیستور تقریبا 75 وات هست با این حساب محاسبه میشه که :

$$R_{th} = \frac{150 - 25}{75} \approx 1.67$$

این مقدار یعنی حداکثر مقاومت حرارتی برای توان تلفاتی 75 وات باید 1.67 کلون بر وات (که معادل سانتیگراد بر وات هست) یا کمتر باشه و قبلا هم محاسبه کردیم که مقاومت حرارتی داخلی ترانزیستور 1.09 یا حدود 1.1 هست. در نتیجه برای باقی اتصالات فقط 0.57 کلون بر وات مجاز هستیم.

کمی بیشتر جلو میریم. به کاتالوگ ترانزیستور که نگاه کنید میزان مقاومت حرارتی بین قاب و هیت سینک در حالتی که از گریس سیلیکون استفاده شده نوشته شده. این مقدار معمولا برای بدنه های TO-3 حدود 0.4 هست پس باز هم شرایط بدتر شد باید از مقدار فضای 0.57 کلون که مجاز بودیم برای اتصالات استفاده کنیم 0.4 رو برای اتصال بین قاب و هیت سینک قرار بدیم. این یعنی مقاومت حرارتی هیت سینکی که مورد نیاز هست 0.17 کلون بر وات میشه تازه اگر از طلق میکا استفاده نشه (در صورت استفاده از طلق میکا باید حدود 0.6 کلون بر وات برای طلق گریسی شده در نظر بگیرید) و تمام شرایط بهینه باشه. در واقع ساخت چنین هیت سینکی یعنی یک صفحه به مساحت بیش از 30000 سانتیمتر مربع و این دقیقا یعنی بیخیال بشین! اینجا باید دنبال راهی باشیم تا بتونیم فضای بیشتری برای مقاومت حرارتی اتصالات و هیت سینک داشته باشیم. قبلا اشاره کردم که مقاومت حرارتی مثل مقاومت الکتریکی قابل سری و موازی شدن هست و اینجا ما باید مقاومت های حرارتی اتصالات و همچنین مقاومت داخلی ترانزیستور (مقدار 1.1 برای 2N3055) رو موازی کنیم تا مقدار معادلش کمتر بشه و فضای بیشتری برای مقاومت حرارتی هیت سینک بمونه و در نتیجه اندازه هیت سینک کم بشه. گفتیم مجموع مقاومت حرارتی بلور سیلیکون ترانزیستور تا هیت سینک برابر مقاومت حرارتی بلور به قاب و قاب به هیت سینک هست. در شرایطی که از گریس سیلیکون استفاده کنید این مقدار برابر :

$$1.1 + 0.4 = 1.5 \text{ K/W}$$

خواهد بود حالا با فرض اینکه دو تا ترانزیستور موازی با هم استفاده بشن این مقدار نصف میشه و 0.75 کلون بر وات خواهد بود. گفتیم برای این مثال به حداکثر 1.67 کلون بر وات یا حدود 1.7 نیاز داریم و در نتیجه  $1.7 - 0.75 = 0.95$  کلون بر وات برای هیت سینک باقی میمونه که با تقریب هیت سینکی با مساحت حدود 120 سانتیمتر مربع نیاز هست میبینید که در مقایسه با یک ترانزیستور خیلی کمتر شده. این مقدار بهتر هست و همیشه چنین مساحتی رو با هیت سینک نسبتا بزرگی که دارای چند پره بزرگ هم هست ساخت یا اینکه همین محاسبات رو برای سه ترانزیستور موازی هم انجام بدید تا نیاز به هیت سینک کوچکتري داشته باشید. بهر حال معلوم شد ترانزیستور 115 واتی که ابتدا بهش مطمئن بودیم به تنهایی مناسب نیست.

ما تمامی محاسبات رو در حالت بهینه انجام دادیم و خوب حتما در عمل بهتره مقداری درصد خطا هم اضافه کنید اما قیمت یک ترانزیستور خیلی کمتر از هیت سینک به این اندازه ها هست پس با موازی کردن سه ترانزیستور ضریب اطمینان خیلی بیشتر و قیمت و اندازه هیت سینک هم خیلی کمتر میشه.

اما حتما به این فکر میکنید که چطور اندازه هیئت سینک رو از روی مقاومت حرارتی محاسبه کردیم. در واقع محاسبه اندازه هیئت سینک بسیار به شکل و جنس و بسیاری پارامترهای محیطی مربوط هست اما به صورت تقریبی

میشه از این فرمول استفاده کرد.

$$A_{(cm^2)} = \left( \frac{50}{R_{th}} \right)^2$$

البته این فرمول برای مواردی استفاده میشه که مساحت مورد استفاده دارای تهویه هوایی مناسبی باشه و در غیر اینصورت مقدار خیلی تقریبی میشه.

مثال: یک نوار آلومینیوم ۳ \* ۶ دارای مساحت ۱۸ سانتی متر مربع هست و چون دو طرف اون در تماس با هوا هست پس مساحت تهویه اون ۳۲ سانتی متر مربع هست که با استفاده از این فرمول دارای مقاومت حرارتی حدود ۹ خواهد بود. اما اگه مثلا از جعبه فلزی دستگاہ برای هیئت سینک استفاده میکنید به دلیل اینکه سطح داخلی جعبه دارای تهویه نیست فقط باید مساحت سطح خارجی که تهویه داره رو در فرمول استفاده کنید. در پایان چند نکته رو هم که مربوط به مسائل دمایی هست مینویسم:

خازنهای الکترولیت بسیار بیشتر از ترانزیستور به دما حساس هستند. معمولا روی خازنهای الکترولیت میزان دمای قابل تحمل اونها برای هزار ساعت کاری یعنی فقط حدود یکماه نوشته شده. معمولا این دما ۸۵ درجه هست یعنی در صورتی که دمای خازن ۸۵ درجه باشه فقط یکماه کار میکنه! پس بسیار در جاگذاری قطعات دقت کنید که نزدیک محلهای داغ نباشن و یا خازنهایی که بار زیادی رو تحمل میکنند مثلا خازنهای خروجی ترانسهای سوئیچینگ که دارای ریپل زیادی باشن و جریان زیادی رو تامین میکنند به شدت داغ میشن و در صورتی که فکری برای کاهش دمای اونها نکنید به سرعت در عرض چند ساعت یا چند روز میترکند.

نمونه های جدیدی از صفحات عایق الکتریکی بجای میکا استفاده میشن که معمولا توی پاورهای کامپیوتر میتونید ببینید. تنها برتری اونها نسبت به میکا این هست که نیازی به گریس ندارند ولی از لحاظ مقاومت حرارتی در حدود میکا هستند. میتونید برای کاهش حجم هیئت سینک از فن استفاده کنید که ۵ تا ۱۰ برابر باعث کاهش مقاومت حرارتی هیئت سینک میشه ولی علاوه بر مصرف توان و ایجاد صدا و لرزش احتمال از کار افتادنش هم زیاده.

راههای دیگه ای هم مثل استفاده آب یا روشهای پیچیده تر هم وجود داره که بحثهای طولانیتری دارند ولی به طور تجربی خنک سازی آب ۳۰۰۰ برابر بیشتر از هوا هست.

بسیار بهتره که محل تماس قطعه و هیئت سینک از جنس مس باشه و باقی جرم هیئت سینک از آلومینیوم (به لحاظ سبکی و قیمت کمتر) این مورد رو هم میتونید توی هیئت سینکهای سی پی یو های کامپیوتر ببینید که هسته مرکزی هیئت سینک از مس و پره ها از آلومینیوم هست.

برای دریافت نسخه های جدید تر و کاملتر این مقاله به [www.khazama.com](http://www.khazama.com) مراجعه نمایید.

بهزاد خزاما - ۱۳ آبان ۱۳۸۷