

Stel, de eerste transistor van het paartje dissipeert een vermogen P_1 en de tweede een vermogen P_2 . In de datasheet staat de thermische weerstand van een enkele transistor naar de omgeving, $R_{th\ j-a\ transistor}$, en van het hele ding, $R_{th\ j-a\ device}$. Logischerwijze moet $R_{th\ j-a\ device}$ haast wel slaan op het geval dat de dissipatie gelijkmatig is verdeeld tussen beide transistoren, anders zou het ontaarden in een omslachtige manier om nogmaals $R_{th\ j-a\ transistor}$ op te geven. We nemen aan dat de temperatuurverschillen met de omgeving lineair afhangen van de dissipatie, zodat we superpositie kunnen toepassen.

Drie speciale gevallen:

Geval A:

$P_1 = P_2 = P_A/2$. In dit geval geldt de $R_{th\ j-a\ device}$ en is het temperatuurverschil met de omgeving van beide transistoren dus $R_{th\ j-a\ device} P_A$.

Geval B:

$P_1 = P_B$ en $P_2 = 0$. In dit geval geldt de $R_{th\ j-a\ transistor}$ voor transistor 1 en is het temperatuurverschil met de omgeving van transistor 1 dus $R_{th\ j-a\ transistor} P_B$.

Geval C:

$P_1 = 0$ en $P_2 = P_C$. In dit geval geldt de $R_{th\ j-a\ transistor}$ voor transistor 2 en is het temperatuurverschil met de omgeving van transistor 2 dus $R_{th\ j-a\ transistor} P_C$.

Elk ander geval is te schrijven als een lineaire combinatie hiervan. Neem bijvoorbeeld $P_A = 2P_{2t}$ en $P_B = P_{1t} - P_{2t}$ en tel de eerste twee vergelijkingen op, en je vindt:

$P_1 = P_{1t}$ en $P_2 = P_{2t}$, het temperatuurverschil met de omgeving van transistor 1 is $2R_{th\ j-a\ device} P_{2t} + R_{th\ j-a\ transistor} (P_{1t} - P_{2t}) = R_{th\ j-a\ transistor} P_{1t} + (2R_{th\ j-a\ device} - R_{th\ j-a\ transistor}) P_{2t}$.

Al met al geldt dus voor het temperatuurverschil met de omgeving van transistor 1:

$$T_{j1} - T_A = R_{th\ j-a\ transistor} P_1 + (2R_{th\ j-a\ device} - R_{th\ j-a\ transistor}) P_2.$$

Uit de symmetrie volgt dat dezelfde vergelijking voor transistor 2 geldt, maar dan met de indices 1 en 2 omgedraaid:

$$T_{j2} - T_A = R_{th\ j-a\ transistor} P_2 + (2R_{th\ j-a\ device} - R_{th\ j-a\ transistor}) P_1.$$

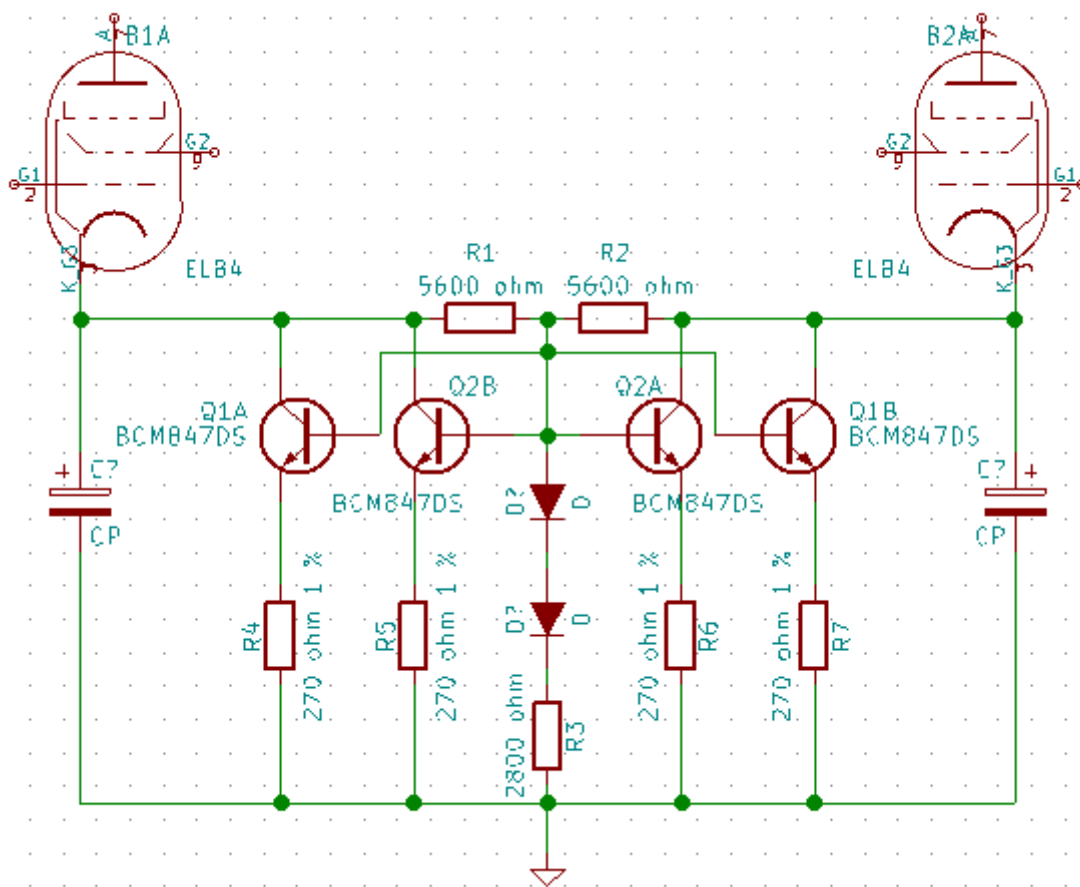
Voor het temperatuurverschil tussen beide transistoren geldt nu:

$$T_{j1} - T_{j2} = R_{th\ j-a\ transistor} (P_1 - P_2) + (2R_{th\ j-a\ device} - R_{th\ j-a\ transistor}) (P_2 - P_1) = 2(R_{th\ j-a\ transistor} - R_{th\ j-a\ device}) (P_1 - P_2).$$

Voorbeelden:

Stel dat er 1 V verschil in roosterspanning is tussen de EL84's. Bij een stroom van 34,5 mA levert dit een verschil in dissipatie op van 34,5 mW.

Twee BCM847DS'en:



Bij een BCM847DS is $R_{th\ j-a\ transistor} - R_{th\ j-a\ device}$ volgens de datasheet 172 K/W. We gebruiken er twee (twee dubbele transistoren dus), dus het verschil in dissipatie is maar de helft van 34,5 mW. Dit levert dan een temperatuurverschil $2(R_{th\ j-a\ transistor} - R_{th\ j-a\ device}) (P_1 - P_2)$ op van 5,934 K.

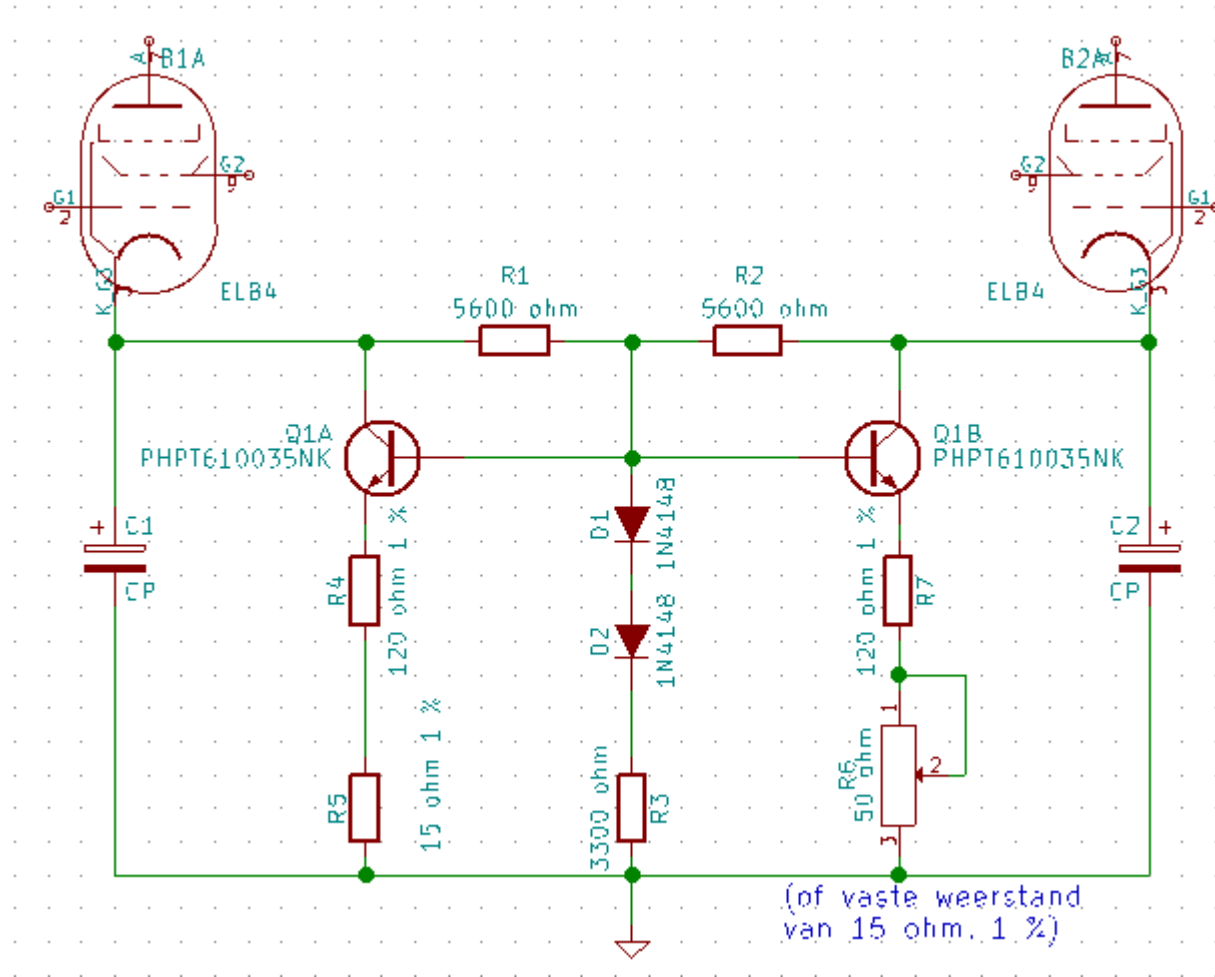
Volgens de vuistregel dat elke graad de V_{BE} ongeveer 2 mV laat afnemen, levert een temperatuurverschil van bijna 6 K een verschil in V_{BE} van ongeveer 12 mV op.

De hete transistoren krijgen daardoor elk zo'n 45 μA meer collectorstroom dan de koude transistoren. Totaal aan de hete kant dus zo'n 90 μA meer collectorstroom dan aan de koude kant.

Je zou kunnen denken dat dit ongeveer evenveel effect heeft op het verschil tussen de kathodestromen als het verschil in stroom tussen R_1 en R_2 . 1 V verschil in roosterspanning gedeeld door twee keer 5600 Ω is immers ook ongeveer 90 μA .

Dit klopt echter niet; in feite heeft het thermische effect ongeveer de helft van het effect van R_1 en R_2 . Met superpositie kun je de stroom door R_1 en R_2 beschouwen als de som van de stroom die er gelopen zou hebben als de roosterspanningen gelijk zouden zijn geweest plus een vereffeningsstroom van ongeveer 90 μA die veroorzaakt wordt door het roosterspanningsverschil van 1 V. Deze 90 μA komt aan de ene kant bij de kathodestroom en gaat er aan de andere kant af, en levert dus een verschil tussen de kathodestromen op van 180 μA , twee keer zo veel als de temperatuursverschillen.

Enkele PHPT610035NK:



Bij een PHPT610035NK is $R_{th\ j-a\ transistor} - R_{th\ j-a\ device}$ volgens de datasheet 30 K/W bij gebruik van een standaard footprint, met extra koelvlakken aan de collectors zelfs maar 12,5 K/W. Met 30 K/W levert 34,5 mW verschil in dissipatie een temperatuurverschil $2(R_{th\ j-a\ transistor} - R_{th\ j-a\ device}) (P_1 - P_2)$ op van 2,07 K. Dat is dus bijna drie keer zo weinig als bij twee stuks BCM847DS, en het effect ervan is ook ongeveer zes keer kleiner dan de vereffeningstroom die toch al liep door R_1 en R_2 .

Losse torren in TO92-huisjes

Losse torren in TO92-huisjes hebben doorgaans een thermische weerstand van 200 K/W tot 250 K/W van junctie naar de omgeving. 34,5 mW verschil in dissipatie levert dan een temperatuurverschil van 6,9 K tot 8,75 K op als de torren niet tegen elkaar aan gemonteerd worden.