

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK



6 ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

**6-02 ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK
TERMIKUS KONSTRUKCIÓJA**

**ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET
VIETAB00**



BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

A TERMIKUS KONSTRUKCIÓ SZÜKSÉGESSÉGE

- Az elektronikus alkatrészekben működésük során hő keletkezik,
- a készülékeket kívülről különböző hőhatások érhetik,
- a hő és a hőmérséklet változása káros hatásokat gyakorolhat az elektronikus készülékek működésére.



Túlhevült furatszerelt ellenállás



Túláramtól sérült csatlakozóelemek



Túlhevült felületszerelt ellenállás




Termikus konstrukció

2/25


WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS


AZ ESZKÖZÖKBEN, ANYAGOKBAN DISSZIPÁLÓDÓ TELJESÍTMÉNY

- Rezisztív veszteség: $P(t) = \frac{1}{T} \int U(t) \cdot I(t) dt$
- Dielektromos veszteség: $P_d = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot k \cdot E_{eff}^2$
- Hiszterézis veszteség: $P_{hisz} = \gamma \cdot f \cdot V \cdot B_{max}^x$
(f: frekvencia, E_{eff} : effektív télerősség, B_{max} : indukció maximális értéke, V: térfogat, k, γ , x: anyagjellemző állandók)
- MOSFET: $P = I_D^2 \cdot R_{DS(on)}$ (bekapcsolt állapot)
 $P = f \cdot \left(\int_0^{t_{on}} U_{DS}(t) I_D(t) dt + \int_0^{t_{off}} U_{DS}(t) I_D(t) dt \right)$
- CMOS: $P = C_L \cdot f \cdot U_{DD}^2$ (csak kapcsoláskor disszipál)
(t_{on} , t_{off} : kapcsolási idők, f: kapcsolási frekvencia, C_L : terhelő kapacitás, U_{DD} : tápfeszültség)



↓





Termikus konstrukció

3/25

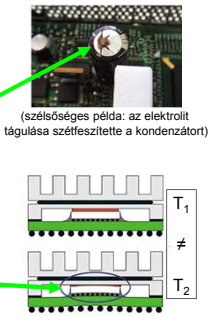
WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

Termikus konstrukció

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

A HŐ ÉS A HŐMÉRSÉKLETVÁLTOZÁS HATÁSAI

- Magas hőmérséklet:
 - anyagok vegyi bomlása,
 - diffúzió felgyorsul,
 - lágulás, fémek korróziója
 - polimerek öregedése,
 - villamos paraméterek (irreverzibilis és reverzibilis) változása,
 - intermetallikus réteg képződés.
- Hőmérséklet változása:
 - anyagok hőtágulásának illetetlenségéből származó mechanikai feszültség léphet fel.



(szélsőséges példa: az elektróit tágulása szétfeszítette a kondenzátort)

$T_1 \neq T_2$

BMEETT Termikus konstrukció 4/25

HŐVEZETÉS (KONDUKCIÓ)

A hőenergia terjedése a szilárdtestekben a helyhez kötött részecskék közötti kinetikus energiaátadással és a szabad részecskék diffúziójával valósul meg.

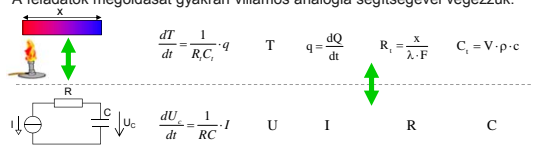
Matematikai leírása: **Fourier-törvény (1822):** $\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot F \cdot \frac{dT}{dx}$

ahol dQ/dt a hőáram, λ a hővezetési tényező, F a felület, dT/dx a hőmérsékleti gradiens.

A hővezetés általános egyenlete: $\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = \frac{\rho \cdot c}{\lambda} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$

ahol ρ a sűrűség, c a fajhő, λ a hővezetési tényező.

A feladatok megoldását gyakran villamos analógia segítségével végezzük:



$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{R \cdot C_i} \cdot q$ T $q = \frac{dQ}{dt}$ $R_i = \frac{x}{\lambda \cdot F}$ $C_i = V \cdot \rho \cdot c$

$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{RC} \cdot I$ U I R C

BMEETT Termikus konstrukció 5/25

HŐSZÁLLÍTÁS (KONVEKCIÓ)

A hőenergia terjedése gázokban és folyadékokban leginkább a közeget alkotó részecskék rendezett elmozdulásával (áramlás) valósul meg. (Szerepet játszhat a részecskék közötti molekuláris szintű hővezetés és sugárzás is.)

Matematikai leírása: $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho c}{\lambda} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$

ahol w_x, w_y, w_z a közeg sebességösszetevői, melyek a Navier-Stokes egyenlet segítségével határozhatók meg.

A közegben a sebességtér kialakulása lehet:

- természetes (az anyagok sűrűsége hőmérsékletfüggő, ezért melegítés hatására áramlás alakul ki),
- mesterséges (a gáz vagy folyadék mesterséges áramoltatása).

BMEETT Termikus konstrukció 6/25

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

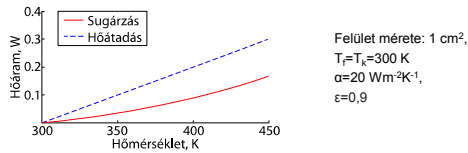
HŐSUGÁRZÁS

Az energia térbeli terjedésének elektromágneses hullámok formájában megvalósuló folyamata.

Matematikai leírása: **Stefan-Boltzmann törvény (1879):** $\frac{dQ}{dt} = \epsilon \cdot \sigma_0 \cdot F \cdot (T_{sz}^4 - T_k^4)$

ahol dQ/dt a hőáram, ϵ az emissziós tényező, σ_0 a Stefan-Boltzmann állandó ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), F a felület, T_{sz} a szilárd test hőmérséklete, T_k a környezet hőmérséklete.

A sugárzás és a hőátadás összehasonlítása:



HŐÁTADÁS

A hőátadás a szilárd testek és a folyadékok (gázok) határfelületén létrejövő hőterjedés, melyben a vezetés, a szállítás és a sugárzás is szerepet játszik.

Matematikai leírása: **Newton-szabály (1701):** $\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot F \cdot (T_{sz} - T_f)$

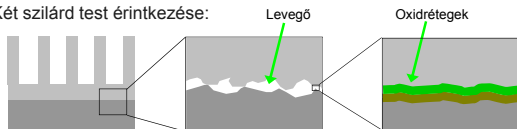
ahol dQ/dt a hőáram, F a felület, T_{sz} a szilárd test hőmérséklete, T_f a folyadék (gáz) hőmérséklete, α az ún. hőátadási tényező.

A hőátadási tényező függ:

- a test felületének minőségétől,
- áramló közeg áramlási tulajdonságaitól (turbulens, lamináris),
- a folyadék/gáz fizikai tulajdonságaitól (hőmérséklet, nyomás, áramlási sebesség, áramlás típusa...).

A HŐÁTADÁS SPECIÁLIS ESETE

Két szilárd test érintkezése:



Az átmenetben mindhárom vezetési forma jelen van:

- vezetés (gyakran a szilárd test oxidjainak, vegyületeinek vezetése),
- hőátadás-szállítás,
- sugárzás.

Az átmenet igen nagy termikus ellenállást jelenthet, amely csökkenthető:

- a felületek polírozásával, és egymáshoz nyomásával,
- a felületek összprezselésével,
- a felületek egymáshoz való forrasztásával,
- a felületek közé helyezett ún. termikus interfész alkalmazásával.

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

TERMIKUS INTERFÉSZ MEGOLDÁSOK

Termikus interfész anyagok:

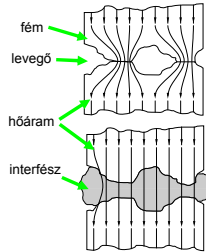
- rugalmasságuknak/viskozitásuknak köszönhetően kitöltik a réseket,
- viszonylag nagy hővezető képességgel rendelkeznek (levegőhöz képest),
- reaktív komponenseik segítségével a felületek minőségét javíthatják.

Alkalmazásuk szempontjai:

- hővezető képesség,
- elektromos vezetőképesség,
- rugalmassági/területi jellemzők,
- hosszútávú stabilitás és megbízhatóság,
- kezelhetőség.

Megvalósítás:

- hővezető paszta,
- hővezető ragasztó,
- hővezető alátét,
- halmazállapotváltó anyagok.



TERMIKUS INTERFÉSZ MEGOLDÁSOK

Hővezető paszta:

- leggyakrabban (oxidált) fémpehely szuszpenziója,
- a felületeket összeszorítva kell tartani,
- alkalmazása körülményes.

Hővezető ragasztó:

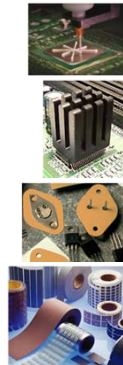
- leggyakrabban kerámia por, UV-ra, illetve hőre keményedő szuszpenzióban,
- kikeményítés után a felületeket nem kell összeszorítva tartani,
- elektromosan vezető változata is elterjedt,
- hővezető képessége kisebb.

Hővezető alátét:

- leggyakrabban nagy hővezetőképességű polimerek,
- a felületeket összeszorítva kell tartani,
- a réseket nem töltik ki tökéletesen (kevésbé rugalmasak),
- szigetelőképességük és átütési ellenállásuk nagy.

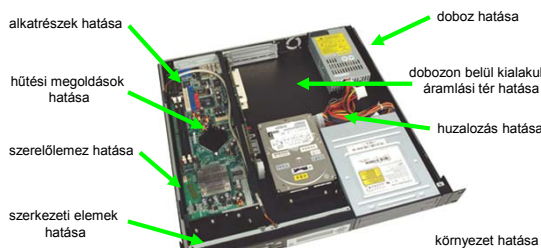
Halmazállapotváltó anyagok:

- fémpehely vagy kerámia por szuszpenziója,
- a felületeket összeszorítva kell tartani,
- az alacsony olvadáspont miatt a réseket jól kitölti,
- alkalmazása jól automatizálható.



TERMILKUS KONSTRUKCIÓ

A tervezésnél figyelembe kell venni:



Termikus konstrukció

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HŰTŐBORDÁK ÉS LEMEZEK

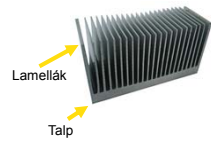
A megvalósítás szempontjai:

- a hőt jellemzően kis felületről kell elvezetni,
- lehetőleg nagy felületen kell leadni,
- termikus ellenállást minimalizálni kell,
- a megoldás legyen gazdaságos (anyag, megmunkálás),
- hőleadást mesterséges konvekcióval javítani lehet.

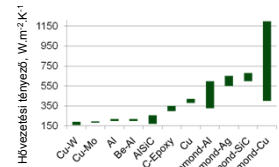
Hűtőlemez (heat spreader):



„Klasszikus” hűtőborda felépítése:



Alkalmazott anyagok hővezetési tényezői:



Termikus konstrukció

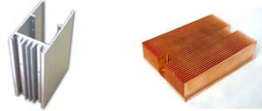
13/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HŰTŐBORDÁK ÉS LEMEZEK

Hűtőbordák és lemezek anyagai:

- alumínium:
 - olcsó,
 - könnyen megmunkálható,
 - jó hőleadás.
- vörösréz:
 - magasabb ár,
 - nehezen megmunkálható,
 - jobb hővezetőképesség,
 - rosszabb hőleadás,
- (ezüst, fémhab, szénszálak kompozit, grafit, mesterséges gyémánt...).



Hőleadási tényező javítása: mesterséges konvekció

Ventilátorok alaptípusai:

- axiális:
- radiális.

Legfontosabb jellemzők:

- fordulatszám,
- méret,
- lapátok dőlésszöge,
- lapátok kialakítása, felületének minősége.



Termikus konstrukció

14/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

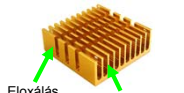
HŰTŐBORDÁK MEGVALÓSÍTÁSI FORMÁI

Egyszerű alumínium borda:



Elvékonyodó lamellák

Továbbfejlesztett lamellák:

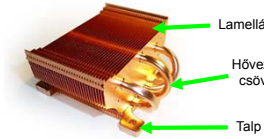


Eloxálás
Megnövelt felület

Kereszthornyos:



Szerelt borda, lemez lamellákkal:



Lamellák
Hővezető csövek
Talp

Betétes borda:



Réz betét (talp), alumínium lamellák



Termikus konstrukció

15/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

Termikus konstrukció

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – A SZERELŐLEMEZ

A szerelőlemez részt vesz az alkatrészekben disszipálódó hő elvezetésében.

A szerelőlemez termikus viselkedése javítható:

- több, egybefüggő rézréteg beépítésével a NYHL-be,
- fémbetéttel alkalmazásával,
- termikus viák alkalmazásával,
- nagy hővezető képességgel rendelkező hordozó alkalmazásával (pl. kerámia)

Alkatrészek

Belső, összefüggő rézrétegek hatása

Réz betét:

Réz alaplemez:

BMEETT Termikus konstrukció 16/25

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – A SZERELŐLEMEZ

Termikus via alkalmazása (nagy teljesítményű LED példáján):

LED oxidált alumínium hordozó (heat spreader)

vastagréteg kerámia szerelőlemez

szerelőlemez rajzolata:

- Kivezetések
- Hőelvezető réz réteg, forrasztási felület
- Termikus via, mely lehet:
 - kitöltetlen (egyszerű megvalósítás)
 - kitöltött (jobb hővezetés).

A hordozó alsó oldalán összefüggő rézfelület biztosítja a hő elvezetését, de hűtőborda is alkalmazható.

BMEETT Termikus konstrukció 17/25

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK - FOLYADÉKHŰTÉS

Kifejlesztésének motivációja:

- a folyadékok fajhője nagyobb a gázokénál, ezért azonos térfogatú folyadék nagyobb hőmennyiséget képes elszállítani (levegő: $0,001 \text{ J.cm}^{-3}\text{K}^{-1}$, víz: $4 \text{ J.cm}^{-3}\text{K}^{-1}$),
- a folyadékok hővezetési tényezője nagyobb a gázokénál (levegő: $0,026 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$, víz: $0,61 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$), ezért a határfelületek hőleadási tényezője folyadékűtés esetén nagyobb (levegő: $20 \dots 200 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$, víz: $500 \dots 10000 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$).

Jellemzői:

- nagy hűtési teljesítmény és alacsonyabb hőmérséklet érhető el (léghűtéshez képest),
- alacsony működési zaj,
- hosszú élettartam, megbízható működés, zárt rendszer (környezetből szennyezés nem jut be),
- megvalósítása, gyártása körülményesebb,
- mérete, tömege nagy, rázás-, ütészállósága kicsi.

Megvalósítási lehetőségek:

- indirekt,
- direkt.

BMEETT Termikus konstrukció 18/25

Termikus konstrukció

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – INDIREKT FOLYADÉKHŰTÉS

Indirekt folyadékhűtés:
a hűtőfolyadék közvetlenül nem érintkezik az elektronikus alkatrészekkel.

Felépítése:

Alkatrész

Hőcserélő

Hőcserélő Ventilátor (opcionális)

Tárolási tartály

Folyadékpumpa

Csatlakozások

Csatornák

Tömítés

Réz tálp

Csőmeander alumínium lamellákkal

Termikus konstrukció

BMEETT

19/25

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – DIREKT FOLYADÉKHŰTÉS

Direkt folyadékhűtés:
a hőcserélő elhagyásával a hűtőfolyadék érintkezésbe kerül az alkatrészekkel.

Jellemzői:

- az alkatrész és a hűtőfolyadék között a termikus ellenállás drasztikusan csökken,
- a hűtőfolyadék csak elektromosan szigetelő lehet,
- megvalósítása körülményes.

Alkatrészűtés:

hűtőfolyadék

csatlakozók

tokozás

chip-ek

Részegység, szerelőlemez hűtése:

tartály

hűtőfolyadék

hőcserélő

pumpa

víz

Szekunder kör, hűtőközege víz, nyitott rendszer

Primer kör, hűtőközege vill. szigetelő, zárt rendszer

Termikus konstrukció

BMEETT

20/25

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – FÁZISÁTALAKULÁS

Kifejlesztésük motivációja, hogy a folyadékok elforrásával nagyobb hő lehet elvonni, mint az áramoltatással (pl. 1 kg víz 20-100°C-ra melegítése 0,335 MJ, elforrálása 2,26 MJ energiát igényel).

Megvalósítás lehetőségei:

- direkt:
 - folyadéktartály gáztérrel:
 - külső lecsapatással,
 - belső lecsapatással,
 - folyadékkal feltöltött tartály:
 - lecsapatóval,
 - hűtött fallal.
- indirekt (heat pipe).

hűtőborda ventilátorral

szelep

lecsapató

gőztér

hűtőfolyadék

szerelőlemez

hűtővíz

nyomás-kiegyenlítő

lecsapató

hűtött tartályfal

ventilátor

hűtővíz

Termikus konstrukció

BMEETT

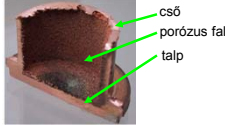
21/25

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

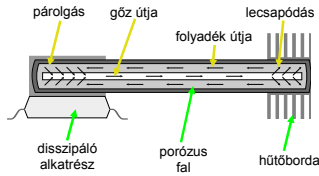
HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – FÁZISÁTALAKULÁS

A hővezető cső (heat pipe): a fázisátalakulással működő hűtés megvalósítása kompakt kivitelben, a lehető legkisebb termikus ellenállás elérése érdekében. Hővezetőképessége 100...1000-szer akkora, mint a réz.

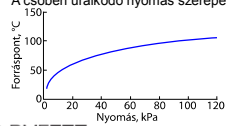
Felépítés: porózusfalú vákuumcső, kis mennyiségű folyadékkal (víz).



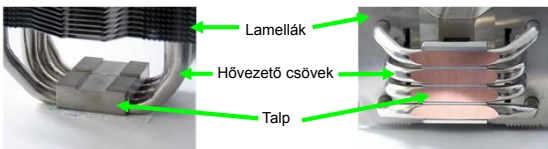
Működési elv:



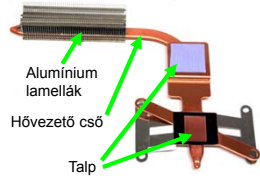
A csőben uralkodó nyomás szerepe:



HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HEAT PIPE, PÉLDÁK

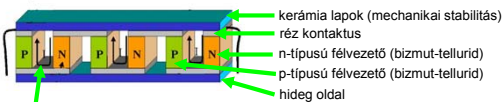


Borda különböző talpakkal:



HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – PELTIER-HŰTÉS

Peltier-elem: félvezető alapú hőszivattyú (a meleg oldalról disszipálni kell!)
Felépítés és működési elv:



az átmenetek elektromosan sorba, termikusan párhuzamosan vannak kapcsolva

a külső energiaforrás segítségével áthajtott elektronok az alacsonyabb energiaszinttel rendelkező n-típusú félvezetőből a magasabb energiaszinttel rendelkező p-típusú félvezetőbe lépve a szükséges energiát a környezetből veszik fel.

Felhasználása üresközökben és termikus zaj csökkentése esetén indokolt (pl. CCD chip), többlépcsős változattal ~ -150°C is elérhető.



ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

KITEKINTÉS

Az elektronikus készülékek termikus konstrukciójának fejlesztési irányai:

- hővezető anyagok:
 - fejlesztésük napjainkban már nem jellemző,
- hűtési megoldások:
 - léghűtés: az ár és a felépítés bonyolultsága háttérbe szorul a teljesítmény mellett,
 - folyadékűtés elterjedése, továbbfejlesztése,
 - kompresszoros hűtés,
 - fázisátalakulásra épülő, aktív hűtés,
- termikus interfészek:
 - minél könnyebb alkalmazhatóság, termikus ellenállás csökkentése,
 - a felületek minőségének javítása,
- funkciók összevonása a készüléken belül,
- modellezés alkalmazása (ököl szabályok helyett).



Termikus konstrukció

25/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS
