

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

1 ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

1-01 ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK TERVEZÉSE, FELÉPÍTÉSE ÉS AZOK TERMIKUS KONSTRUKCIÓJA

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET

VIETAB00

A háttérszín jelentése: IMSc anyag

BMEETT
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

•1

KÉSZÜLÉKEK FEJLESZTÉSI FÁZISAI

- Műszaki specifikáció meghatározása (50%*):
Egyeztetés, marketing, bench-marking, meglévő és várható előírások, hatósági előírások.
- Prototípus kifejlesztése (30%*):
Specifikáció, tesztelés, gyárthatóság, ár.
- Gyártástechnológia kidolgozása (10%*):
Gyártási költségek, gyártáskapacitás, tesztelés.
- Próbagyártás (10%*):
Tesztelés (kihozatal/ selejt arány).
- Gyártás (0%*):
Minőségellenőrzés, SPC.

*: a termék sikerességében való szerep aránya

BMEETT
Elektronikus készülékek
2/52

•2

ÚT A MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓIG

1. Mit kell létrehozni?

A mérnöki gyakorlatban olyan készülékekkel foglalkozunk, amelyekre igény mutatkozik.

Az igény lehet:

- valós:
 - Egyedi (pl. atomerőmű),
 - nem egyedi, vagy piaci (pl. autó),
- látens (pl. SMS),
- a kitalálás pillanatában még nem létező (pl. Rubik kocka).

BMEETT
Elektronikus készülékek
3/52

•3

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

ÚT A MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓIG

2. Ki lesz a felhasználó? (jelen és jövő)

- Gyerek, felnőtt (férfi vagy nő),
- idős/beteg,
- átlagos fogyasztó,
- szakember,
- specialista.

⇒ **funkciók, ergonómiai szempontok**

3. Hol használjuk? (jelen és jövő)

- Beltér/kültér, hideg/meleg (konyha, fürdőszoba),
- strandon, víz alatt, 20 000 m magasan,
- kemencében, váltóban (forró olajban), kipufogócsőben,
- műholdon.

⇒ a működés környezeti feltételei (T, RH, p stb.)



Elektronikus készülékek

4/52

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS.

•4

ÚT A MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓIG

4. Mikorra kell elkészíteni? Mennyire szigorú a **határidő**?

- A piaci megjelenés időpontjának optimuma van:
 - hosszabb fejlesztési idő alatt a készülék tulajdonságaival lehet megelőzni a konkurenciát,
 - gyors piaci megjelenéssel a készülék újdonságereje nagyobb,
 - egyéb szempontokat figyelmen kívül hagyva, a piaci megjelenés idejének csökkentésével a költségek meredeken növekszenek,
 - a határidő betartása:
 - az esetek többségében fontos, de csúszás tolerálható,
 - egyes esetekben kulcsfontosságú
(pl. Spirit Rover)
- 



Elektronikus készülékek

5/52

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

•5

ÚT A MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓIG

5. Mennyibe fog kerülni a készülék?

Pontosabban megfogalmazva: gazdaságos-e a készülék kifejlesztése, előállítás, gyártása? Mennyibe fog kerülni a piacra dobásig?

Az előzetes költségbecslés a tervet még a megszületése előtt keresztbe húzhatja. Hiába jó (és megvalósítható, eladható, stb.) egy ötlet, ha a gyártó számára nem gazdaságos a megvalósítás.

A költségek fontosabb összetevői:

- fejlesztés,
- gyártástervezés, gyártósor felállítás,
- gyártás,
- utóélet:
 - (üzemeltetés),
 - terméktámogatás (alkatrész utánpótlás),
 - karbantartás,
 - garanciális problémák kezelése,
 - újrahasznosítás.



Példa: Pro/Primo, Microkey
(minden szempontból
megfelelő, de gazdaságtalan)



Elektronikus készülékek

6/52

WIRE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

•6

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

ÚT A MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓIG

6. További kérdések

(sokszor már ezen a szinten pontos kell választ adni)

- a készülék tervezett és megvalósítható térfogatigénye, tömege,
- a készülék energiaigénye,
- tervezett élettartam,
- megfelelés a szabványoknak és direktíváknak.

Elkerülhette valami a figyelmünket a stratégiai kérdésekben?

Komplex fejlesztési projektekben megvalósíthatósági tanulmányt kell készíteni.

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

BMEETT

Elektronikus készülékek

7/52

•7

A KONSTRUKCIÓ KIALAKÍTÁSA

Elvi sík | Megvalósítás

Funkció

Környezet

Készülék

Kezelő

Konstrukció

Áramkört tervezés

Termikus tervezés

Üzembiztonság

Érintésvédelem

Gyárthatóság

Mechanikai tervezés

EMC

Környezetállóság

Ergonómia

Tesztelhetőség

Megbízhatóság

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

BMEETT

Elektronikus készülékek

8/52

•8

ÁRAMKÖR TERVEZÉS - ELEKTROMOS KONSTRUKCIÓ

1. Kapcsolási rajz készítés,
2. részegységekre bontás, csatlakozó kiosztás,
3. nyomtatott áramkört tervezés:
 - számítógépes tervezőrendszerek (ORCAD, Pads..),
 - alkatrész elrendezés (placer),
 - összehuzalozás (router),
4. készülékhuzaázás.

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

BMEETT

Elektronikus készülékek

9/52

•9

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

MECHANIKAI TERVEZÉS, SZERKEZETI KONSTRUKCIÓ

- Készülék mechanikai vázszerkezet tervezése,
- doboz és burkolat kialakítás – formatervezés,
- részegységek belső elrendezése:
 - sínrendszerű szerelés,
 - alaplap,
 - többkártyás rendszer,
- előlap-, kezelőlap-, hátlaptervezés – ergonómia.



BMEETT

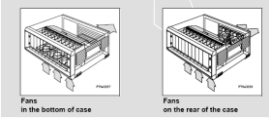
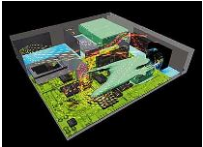
Elektronikus készülékek


10/52

•10

TERMIKUS TERVEZÉS

- Különösen fontos nagy elemsűrűségű (laptop) és nagy teljesítményű (tápegység) készülékek esetén
- Szoftver eszközök:
 - termikus szimuláció,
- hardver eszközök:
 - termikus interface,
 - hűtőbordák,
 - ventilátorok,
 - heat pipe.



BMEETT

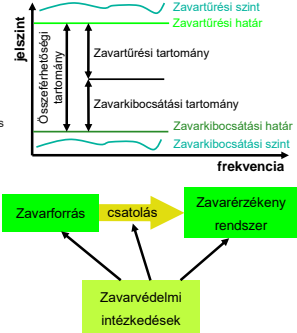
Elektronikus készülékek


11/52

•11

ELEKTROMÁGNESES ZAVARVÉDELMI TERVEZÉS 1.

- EMC (elektromágneses kompatibilitás):
 - a készülék által kibocsátott zavar megfelelően kicsi ,
 - a készülék immunitása megfelelően nagy.
- Zavarforrások:
 - természetes
 - villámítás, elektromos energia kisülés
 - kozmikus sugárzás,
 - naptevékenységgel kapcsolatos zavarok,
 - légkörből, ionoszférából érkező zavarok,
 - mesterséges:
 - műsorszórók: rádió és TV adók,
 - mobiltelefonok,
 - rádiótelefonok,
 - radarok,
 - teljesítmény kapcsolók, relék,
 - félvezetős teljesítményszabályozók,
 - motorok, egyenirányítók.



BMEETT

Elektronikus készülékek

12/52

•12

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

ERGONÓMIAI TERVEZÉS

-



WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

•13

ÜZEMBIZTONSÁGRA TERVEZÉS

- 14/52

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

•14

ÉRINTÉSVÉDELMI TERVEZÉS

- 15/52

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

•15

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK


GYÁRTHATÓSÁGRA TERVEZÉS (DFM)

- Minőségügy, 6 szigma,
- terméktervezés, amely figyelembe veszi a gyártási követelményeket,
- olyan tervezési lépés, amelyben csoportmunkát alkalmazunk a termék kifejlesztésére,
- több eszközt és technikát magába foglaló keret a gyártható termék létrehozására.

Előnyök:

- alacsonyabb fejlesztési költség,
- rövidebb fejlesztési idő,
- rövidebb idő a gyártás megkezdéséig,
- alacsonyabb szerelési és tesztelési költségek,
- jobb minőség.

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

 BMEETT

Elektronikus készülékek

16/52


•16

GYÁRTHATÓSÁGRA, TESZTELHETŐSÉGRE TERVEZÉS (DFM)

Irányelvek:

- minimalizáljuk az alkatrészek számát,
- használjunk szabványos és azonos elemeket,
- minimalizáljuk a szerelési sikok számát (Z-axis),
- használjunk standard szerszámfejeket, fúrókat, eszközöket,
- kerüljük a szűk furatokat (forgácsok, egyenesség, eltömődés),
- használjunk közös méretet a szerszámrögzítéshez,
- minimalizáljuk a szerelési irányokat,
- maximalizáljuk a hozzáférhetőséget; szerelésre tervezés,
- minimalizáljuk a kézi műveleteket,
- küszöböljük ki az utólagos állítást,
- használjunk ismételhető, jól ismert folyamatokat,
- tervezzük az alkatrészeket a hatékony tesztelés lehetőségére,
- kerüljük a rejtett részleteket,
- hozzunk létre szimmetriát két irányban,
- kerüljük az összekuszálás lehetőségét,
- tervezzünk önmegvezető (önpozicionáló) elemeket.

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

 BMEETT

Elektronikus készülékek


17/52

•17

MEGBÍZHATÓSÁGI TERVEZÉS

- Soros struktúrájú (redundanciamentes) rendszer jellemzői:**
 - a rendszer véges számú elemből áll,
 - egy elem meghibásodása a rendszer meghibásodásához vezet,
 - a meghibásodások egymástól függetlenek,
 - a kommersz elektronikai berendezések soros struktúrájúak.
- Melegtartalékolt (párhuzamos) rendszer jellemzői:**
 - a rendszer n azonos elemből áll,
 - a rendszer működéséhez egy elem működése szükséges,
 - hibafelismerő elem, kapcsolóelem esetenként szükséges,
 - a tartalék állapota ismert,
 - a tartalék is fogyaszt energiát, elhasználódik.
- Hidegtartalékolt rendszer jellemzői:**
 - a rendszer n azonos elemből áll,
 - a rendszer működéséhez egy elem működése szükséges,
 - a tartalékban lévő elem nincs bekapcsolva, nem fogyaszt energiát,
 - a tartalékban lévő elem nem hibásodhat meg,
 - hibafelismerő és kapcsolóelemre van szükség,
 - a tartalékelem bekapcsolása időt vesz igénybe.

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

 BMEETT

Elektronikus készülékek

18/52

•18

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

A MEGBÍZHATÓSÁG MUTATÓI

A meghibásodási sűrűségfüggvény „felhasználása”:

- megmutatja, hogy adott működési idő mekkora valószínűséggel várható,
- adott időintervallumban történő meghibásodás valószínűsége:

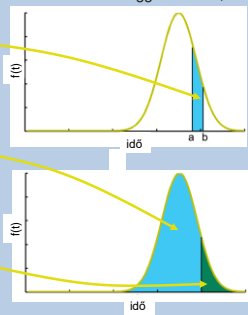
$$P(a \leq \tau \leq b) = \int_a^b f(t) dt$$

- adott időpontig bekövetkező meghibásodás valószínűsége (meghibásodási függvény, $F(t)$):


$$F(t) = P(\tau \leq t) = \int_0^t f(t) dt$$

- adott időpontig történő működés valószínűsége (megbízhatósági függvény, $R(t)$):

$$R(t) = P(t \leq \tau) = \int_t^\infty f(t) dt = 1 - F(t)$$



MEGCONCEPT CHIPS AND SYSTEMS

 Elektronikus készülékek 19/52

•19

A MEGBÍZHATÓSÁG MUTATÓI

A megbízhatósági vizsgálatok legfontosabb kérdése:

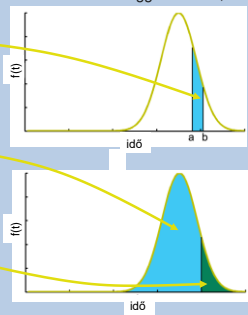
Ha üzemeltetünk egy alkatrészt, vagy készüléket, milyen gyakran számíthatunk meghibásodásra?

Erre a kérdésre a hibaráta függvény (hazárd függvény) ad választ, amely: egy alkatrészpulációban történt meghibásodások száma osztva a meghibásodásig (vagy a vizsgálat végéig) eltelt idők összegével.


Hibaráta függvény meghatározása: $\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot R(t)} = - \frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$

A hibaráta függvény meghatározásának lehetőségei:

- alkatrészek modellezésével (bonyolultsága miatt erősen korlátozott lehetőségek),
- kísérletek segítségével:
 - szabvány alapján (pl. Mil-HDBK 217F),
 - saját mérésekkel és azok kiértékelésével.



MEGCONCEPT CHIPS AND SYSTEMS

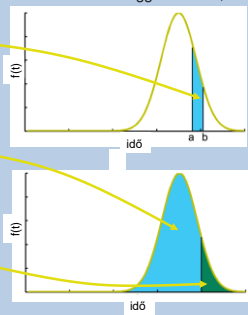
 Elektronikus készülékek 20/52

•20


A HIBARÁTA FÜGGVÉNY

Egy alkatrész megbízhatósága (hibaráta függvénye) nagyban függ az alkatrész kivitelétől és az üzemeltetés körülményeitől. Elektronikus alkatrészek esetén a legfontosabb tényezők:

- kiviteli típus (kereskedelmi, ipari, katonai...),
- előállítás technológiája (pl. nagy és kis értékű ellenállások gyártástechnológiája eltérő),
- hőmérséklet,
- terhelés,
- a készülék (amely az alkatrészt tartalmazza) üzemeltetési körülményei:
 - hőmérséklet ingadozása,
 - páratartalom és ingadozása,
 - rázás, ütés (pl. asztali, mobil, autóelektronikai készülék),
 - egyéb hatások (pl. korrozív környezet).



MEGCONCEPT CHIPS AND SYSTEMS

 Elektronikus készülékek 21/52

•21

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

A HIBARÁTA FÜGGVÉNY, ALKATRÉSZEK FAJTÁI

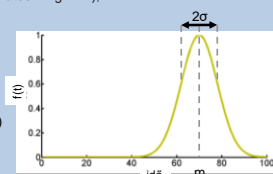
A megbízódásért felelős mechanizmusok a különböző alkatrésztípusoknál eltérőek, ezért az alkatrészek megbízhatóságának időfüggése is eltérő. Az egyes csoportokat az $f(t)$ -re illeszthető függvények szerint különböztetjük meg:

1. normál (Gauss),

- a meghibásodásért felelős jelenség a bekapcsolt állapotban nagyságrendekkel gyorsabb,
- $\lambda(t)$ az időben monoton nő (folyamatos öregedés),

- leírás: $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$

m : várható élettartam,
 σ : szórás (bizonytalansági paraméter)



Példák: izzólámpa, relé, kapcsoló, potenciométer



Elektronikus készülékek

22/52

•22

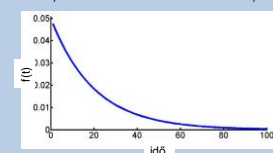
A HIBARÁTA FÜGGVÉNY, ALKATRÉSZEK FAJTÁI

- ## 2. Exponenciális:

- a meghibásodásért felelős jelenség sebessége bekapcsolt állapotban nem mutat jelentős eltérést a kikapcsolt állapothoz képest,
- $\lambda(t)$ az időben állandó, $\lambda(t) \Rightarrow \lambda$ (az alkatrész nem öregszik, ún. örökifjú tulajdonságot mutat),

- leírás: $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $R(t) = e^{-\lambda t}$ $\lambda(t) = \lambda = \frac{1}{T_c}$

- a matematikai reprezentáció egyszerűsége miatt használata elterjedt (szabványokban gyakran minden alkatrésztípust ezzel a leírással közelítenek).



Példák: ellenállás, tranzisztor,
integrált áramkörök



Elektronikus készülékek

23/52

•23

A HIBARÁTA FÜGGVÉNY, ALKATRÉSZEK FAJTÁI, ÉS AZ ÚN. „KÁDGÖRBE”

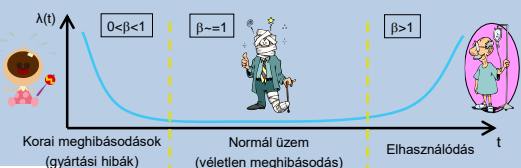
- ### 3. Weibull:

- összetett rendszerek leírására alkalmas, melyeknél az élettartam kezdeti szakaszában korai meghibásodások lehetnek, az élettartam végén pedig elhasználódás jellegű hibajelenségek léphetnek fel,

- $\lambda(t)$ az élettartam során csökken, stagnál, majd növekszik,

- leírás: $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$ $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$

η : karakterisztikus élettartam, β : alakparaméter



Korai meghibásodás
(gyártási hibák)

Normál üzem
(véletlen meghibásodás)

Elhasználódás



Elektronikus készülékek

24/52

•24

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

SZABVÁNYOKRA ÉPÜLŐ MEGVALÓSÍTÁS

Előnye:

- nem szükséges intuitív tervezés,
- minden paraméter (méret, térfogategységre eső disszipáció, stb. szabványokból kiválasztható,
- rejtett hibák felbukkanásának esélye kisebb.

Hátránya:

- a tervező keze teljesen kötött,
- egyedi ötletek megvalósítása nem lehetséges,
- a készülék az esetek döntő többségében jelentősen „túltervezett”,
- nagyobb tételben a gyártás gazdaságtalanná válhat.



BMEETT



Elektronikus készülékek


25/52

•25

SZABVÁNYOKAT RÉSZBEN KÖVETŐ MEGVALÓSÍTÁS

- Ez a gyakoribb eset,
- kötelező szabványok (EMC, érintés védelem, gép direktíva stb.) minden körülmények között betartandóak,
- lehetőség van az ár/költség/kihozatal/gyártási kapacitás optimalizálására,
- valamennyi tervezési fázis szükséges,
- lehetőség van minden paraméterben a folyamatos gyártmány fejlesztésre,
- példa: notebook kontsrukció.



BMEETT

Elektronikus készülékek

26/52

•26

A TERMIKUS KONSTRUKCIÓK

- 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.



Túlhévíült
furatszerelt ellenállás

Túláramtól sérült
csatlakozóelemek

Túlhévíült
felületszerelt ellenállás

BMEETT

Elektronikus készülékek

27/52


•27

Készülékek tervezése, felépítése


ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

AZ ESZKÖZÖKBEN, ANYAGOKBAN DISSZIPÁLÓDÓ TELJESÍTMÉNY

- Rezisztív veszteség: $P(t) = \frac{1}{t} \cdot \int U(t) \cdot I(t) dt$
- Dielektromos veszteség: $P_d = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot k \cdot E_{eff}^2$
- Hiszterézis veszteség: $P_{hisz} = \gamma \cdot f \cdot V \cdot B_{max}^2$
(f: frekvencia, E_{eff} : effektív térerősség, B_{max} : indukció maximális értéke, V: térfogat, k, γ , x: anyagjellemző állandók)
- MOSFET: $P = I_D^2 \cdot R_{DS(ON)}$ (bekapcsolt állapot)
$$P = f \cdot \left(\int_0^{t_1} U_{DS}(t) I_D(t) dt + \int_0^{t_2} U_{DS}(t) I_D(t) dt \right)$$
- CMOS: $P = C_L \cdot f \cdot U_{DD}^2$ (csak kapcsoláskor disszipál)
(t_{s1} , t_{s2} : kapcsolási idők, f: kapcsolási frekvencia, C_L : terhelő kapacitás, U_{DD} : tápfeszültség).



ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS



Elektronikus készülékek 28/52

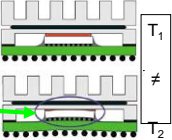
•28

A HŐ ÉS A HŐMÉRSÉKLETVÁLTOZÁS HATÁSAI

- Magas hőmérséklet:
 - anyagok vegyi bomlása,
 - diffúzió felgyorsul,
 - lágylulás, fémek korrozója
 - polimerek öregedése,
 - vilamos paraméterek (irreverzibilis és reverzibilis) változása,
 - intermetallikus réteg képződés.
- Hőmérséklet változása:
 - anyagok hőtágulásának illesztetlenségéből származó mechanikai feszültség léphet fel.



(szélsőséges példa: az elektrolit tágulása szétfeszítette a kondenzátort)



ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS



Elektronikus készülékek 29/52

•29



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:



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

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

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS



Elektronikus készülékek 30/52

•30

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

HŐSZÁLLÍTÁS (KONVEKCIÓ)


A hőenergia terjedése gázokban és folyadékokban a közeg alkotó részecskék rendezett elmozdulásával (áramlás) valósul meg, de szerepet játszhat a részecskék közötti molekuláris szintű hővezetés és sugárzás is.

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

(a sugárzás elhanyagolásával, ha az áramló közegben csak hővezetés, és a tömegáramból adódó hőáramlás van), 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).



Elektronikus készülékek

31/52

•31

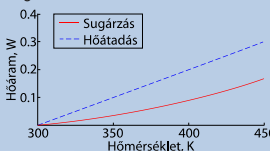
HŐSUGÁRZÁS

Az energia térbeli terjedésének elektromágneses hullámok formájában megvalósuló folyamata.


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

(csak ún. szürke testekre érvényes!) 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:



- Felület mérete: 1 cm^2 ,
- $T_k = T_{sz} = 300 \text{ K}$
- $\alpha = 20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$,
- $\varepsilon = 0,9$



Elektronikus készülékek

32/52

•32

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...).



Elektronikus készülékek

33/52

•33

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 összepréselésével,
- a felületek egymáshoz való forrasztásával,
- a felületek közé helyezett ún. termikus interfész alkalmazásával.

Elektronikus készülékek

34/52

•34

TERMIKUS INTERFÉSZ MEGOLDÁSOK

Termikus interfész anyagok:

- rugalmasságuknak/viszkozitásuknak 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.

Elektronikus készülékek

35/52

•35

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 hővezetőképeségű polimer, a felületeket összeszorítva kell tartani,
- a réseket nem töltik ki tökéletesen (kevésbé rugalmasak),
- szigetelőképeségük 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.

Elektronikus készülékek

36/52

•36

Készülékek tervezése, felépítése

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

TERMIKUS KONSTRUKCIÓ

A tervezésnél figyelembe kell venni:

alkatrészek hatása

hűtési megoldások hatása

szerelőlemez hatása

szerkezeti elemek hatása

doboz hatása

dobozon belül kialakuló áramlási tér hatása

huzalozás hatása

környezet hatása

BMEETT

Elektronikus készülékek

37/52

•37

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:

Lamellák

Talp

Hővezetési tényező, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

BMEETT

Elektronikus készülékek

38/52

•38

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, szén-szál kompozit, grafit, mesterséges gyémánt...).

Hőleadási tényező javítása: mesterséges konvekció

Ventilátorok alaptípusai:

- axiális,
- radiális.

Legfontosabb jellemzőik:

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

axiális:

radiális:

BMEETT

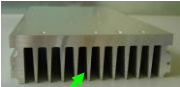
Elektronikus készülékek

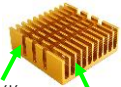

39/52


•39

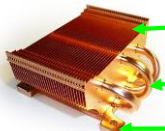
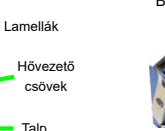
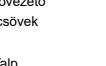
ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK


HŰTŐBORDÁK MEGVALÓSÍTÁSI FORMÁI


Egyszerű alumínium borda:  Elvékonyodó lamellák

Továbbfejlesztett lamellák:  Eloxálás  Megnövelt felület

Kereszthornyos: 

Szerelt borda, lemez lamellákkal:  Lamellák  Hővezető csövek  Talp

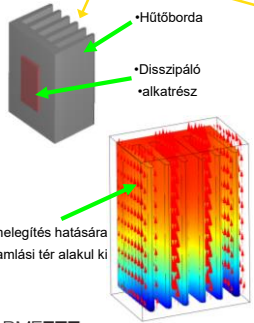
Betétes borda:  Réz betét (talp), alumínium lamellák

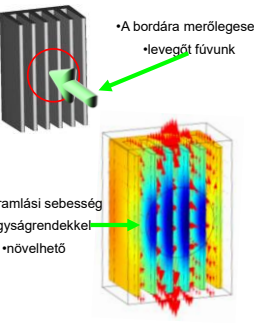
 Elektronikus készülékek 40/52


•40

HŐSZÁLLÍTÁS (KONVEKCIÓ)

A természetes és a mesterséges konvekció összehasonlítása:

 •Hűtőborda
•Disszipáló alkatrész
•A melegítés hatására áramlási tér alakul ki

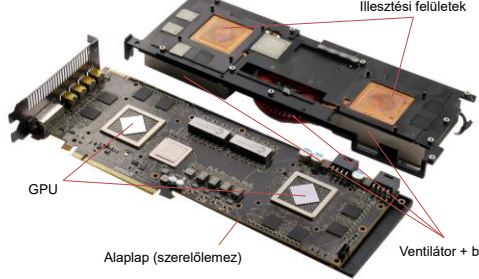
 •A bordára merőlegesen levegőt fúvunk
•Az áramlási sebesség nagyságrendekkel növelhető


 Elektronikus készülékek 41/52

•41

HŰTŐBORDÁK MEGVALÓSÍTÁSI FORMÁI

GPU kártyán komplex hűtőborda és ventilátor kialakítás.

 Illesztési felületek
GPU
Alaplap (szereplőlemez)
Ventilátor + bordák

 Elektronikus készülékek 42/52

•42

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,
- fémbetét alkalmazásával,
- termikus viák alkalmazásával,
- nagy hővezető képességgel rendelkező hordozó alkalmazásával (pl. kerámia)

Alkatrészek

Belső, összefüggő rézrétegek hatása

Réz betét:

Réz alaplemez:

BMEETT

Elektronikus készülékek

43/52

•43

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – A SZERELŐLEMEZ

Termikus via alkalmazása (nagyteljesítményű LED példáján):

oxidált alumínium hordozó (heat spreader)

LED

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

Elektronikus készülékek

44/52

•44

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK - FOLYADÉKHŰTÉS

Kifejlesztésének motivációja:

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

Jellemzői:

- nagy hűtési teljesítmény és alacsonyabb hőmérséklet érhető el (légűtéshez 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

Elektronikus készülékek

45/52

•45

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – INDIREKT FOLYADÉKHŰTÉS

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

Felépítése:

Hőcserélő Hőcserélő Tágulási Folyadékpumpa
Csatlakozások Ventilátor (opcionális) tartály

BMEETT Elektronikus készülékek 46/52

•46

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – DIREKT FOLYADÉKHŰTÉS

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

Jellemzői:

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

Alkatrészűtés: Részegység, szerelőlemez hűtése:

Alkatrészűtés: hűtőfolyadék, csatlakozók, tokozás, chip-ek

Részegység, szerelőlemez hűtése: tartály, részegységek/szerelőlemezek, hűtőfolyadék, hőcserélő, pumpa

Szekunder kör, hűtőközege víz, nyitott rendszer
Primer kör, hűtőközege vill. szigetelő, zárt rendszer

BMEETT Elektronikus készülékek 47/52

•47

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – FÁZISÁTALAKULÁS

Kifejlesztésük motivációja, hogy a folyadékok elforralásával nagyobb hőt lehet elvonni, mint az áramoltatásukkal (pl. 1 kg víz 20-100°C-ra melegítése 0,335 MJ, elforralása 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, szerelőlemezek, nyomás-kiegyenlítő, lecsapató, hűtött tartályfal, ventilátor, hűtővíz

BMEETT Elektronikus készülékek 48/52

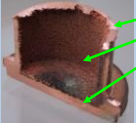
•48

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

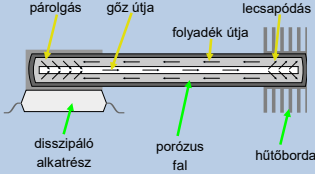
HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – FÁZISÁTALAKULÁS

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 rézé.

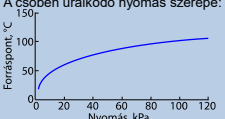
Felépítés: porózusfalú vákuumcső, kis mennyiségű folyadékkal (víz).




Működési elv:



A csőben uralkodó nyomás szerepe:



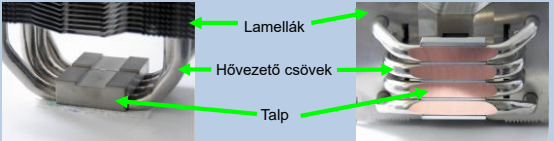


Elektronikus készülékek



49/52


•49

HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HEAT PIPE, PÉLDÁK



Borda különböző talpakkal:





Elektronikus készülékek

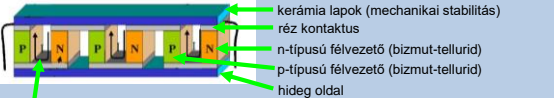
50/52

•50

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

51/52

•51

ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

TARTALOMJEGYZÉK

- Elektronikus készülékek tervezési fázisai
 - Specifikáció
 - Áramköri tervezés
 - Mechanikai tervezés
 - Termikus tervezés
 - Egyéb szempontok: zavarvédelem, ergonómia, üzembiztonság, érintésvédelem, gyárthatóság, tesztelhetőség, életciklus
- A megbízhatóság mutatói
- Termikus tervezés, hűtési megoldások