

Félvezetők



Molnár Károly

PowerQuattro Zrt.

Fejlesztési igazgató

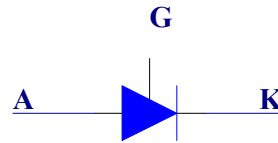


Félvezető típusok áttekintése

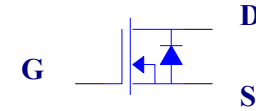
Dióda



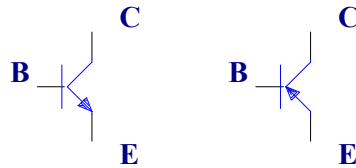
Tirisztor



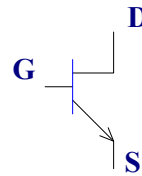
FET(Field-Effect Transistor)



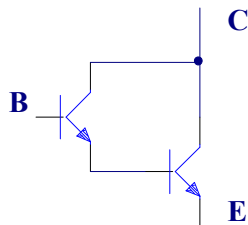
Bipoláris tranzisztor



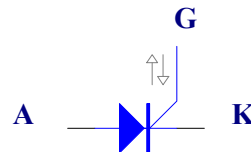
SIT(Static Induction Transistor)



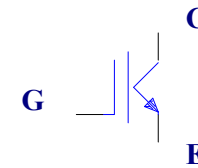
Darlington kapcsolás



GTO (Gate Turn-Off Thyristor)



IGBT(Isolated Gate Bipolar Transistor)



Félvezető típusok fejlődése

- Dióda

A szó eredete: di-ode görög (két út)
1919-ben William Henry Eccles (brit)

- Tranzisztor

1947 december 24.
1948 szabadalmaztatva
Walter Brattain, John Bardeen, William Shockley

- Tirisztor

~1950

- Power MOSFET

1970 vége

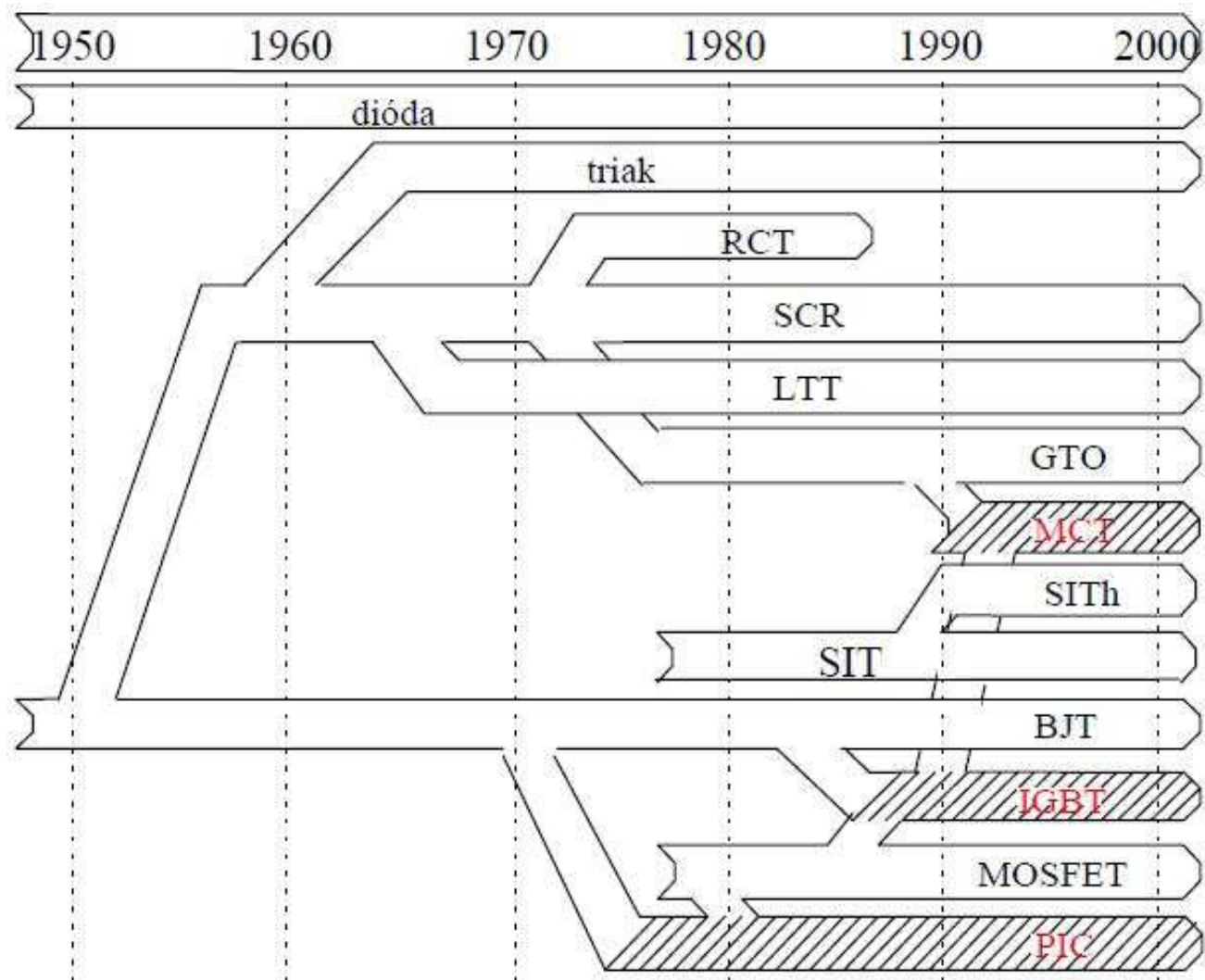
- SIT

~1970 közepe Jun-inchi Nishizawa

- IGBT

1980-1990

Félvezető típusok áttekintése



Kevésbé ismert elnevezések

- RCT: Reverse Conducting Thyristor
- SCR: Silicon Controlled Rectifier
- LTT: Light Triggered Thyristor
- MCT: MOS Controlled Thyristor
- PIC: Power Integrated Circuit

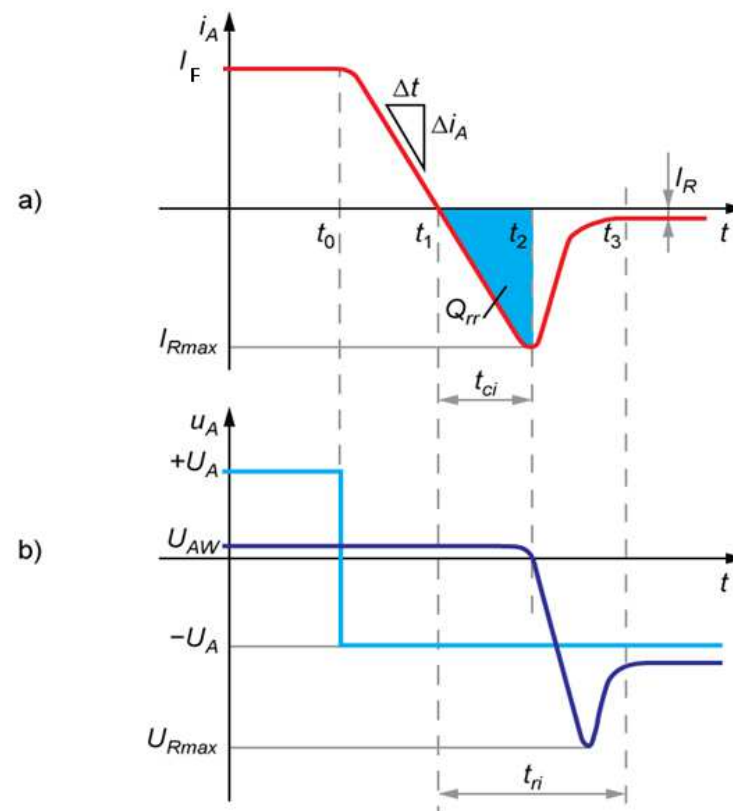
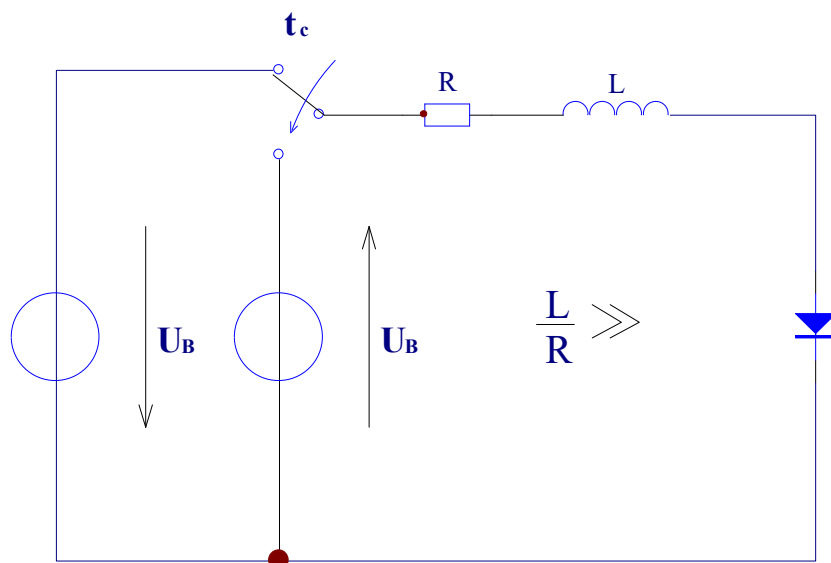
Diódák

- Sebességük szerinti csoportosítás:
 - normál
 - gyors
 - epitaxiális
 - schottky
 - sic

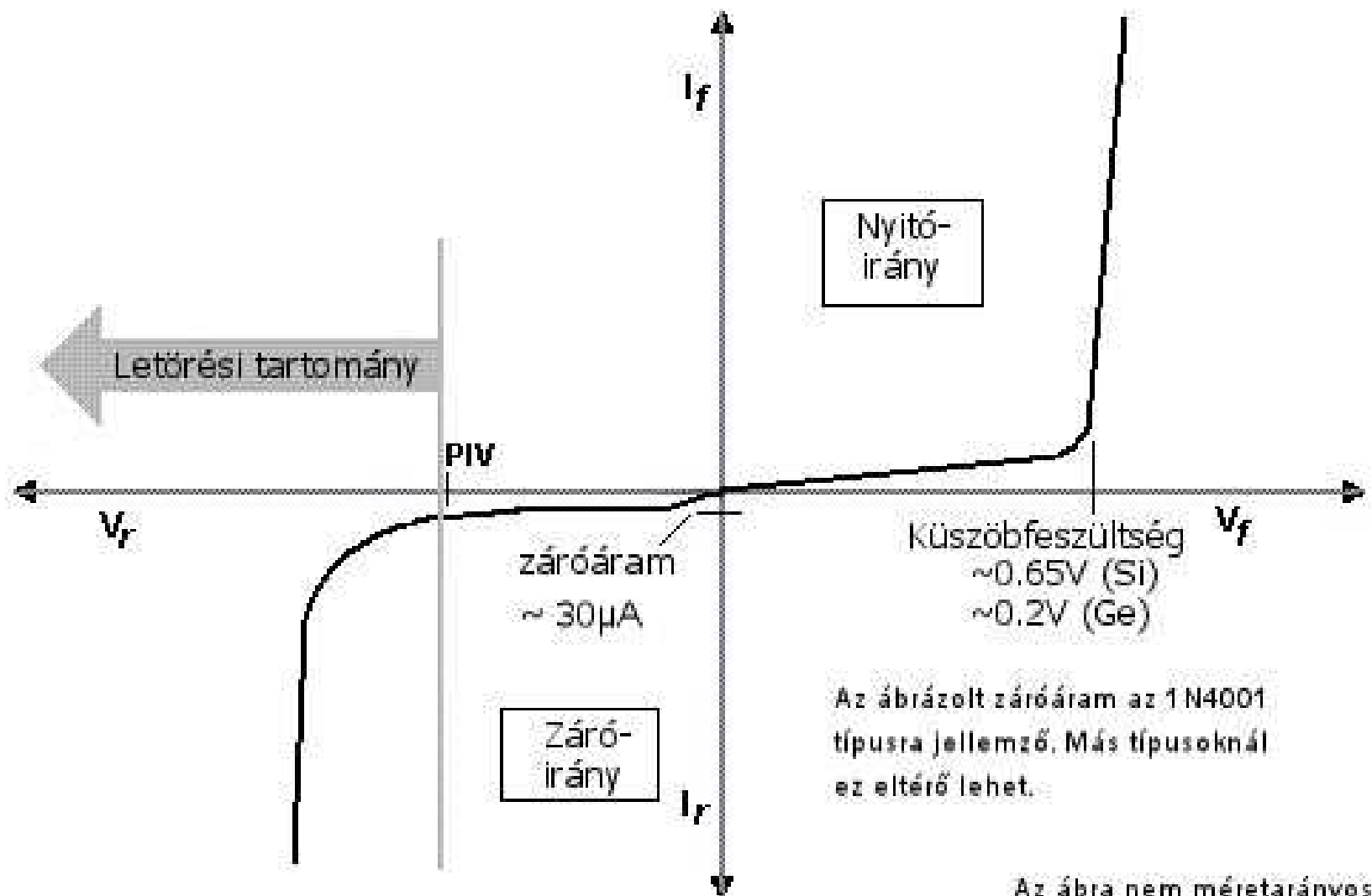
Diódák

Sebességük szerint:

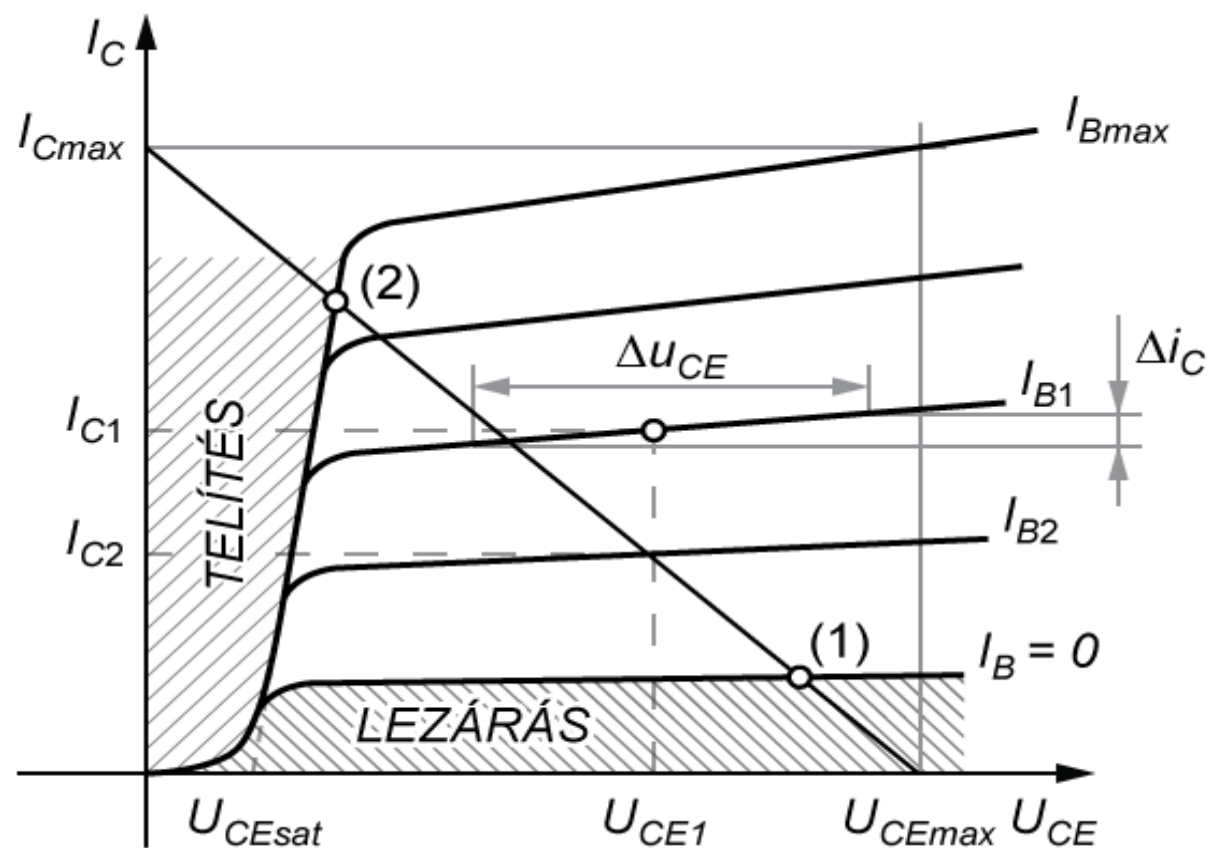
Mérési elrendezés



Dióda

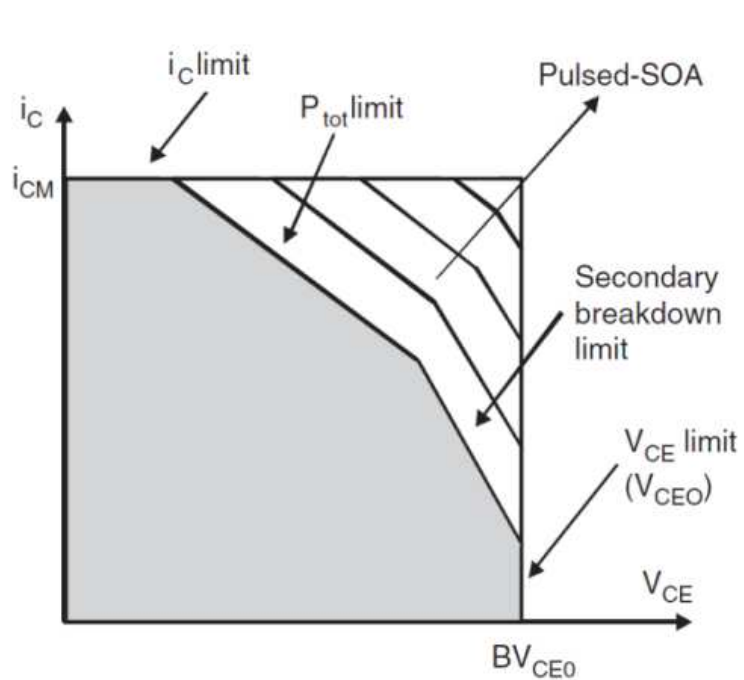


Tranzisztor

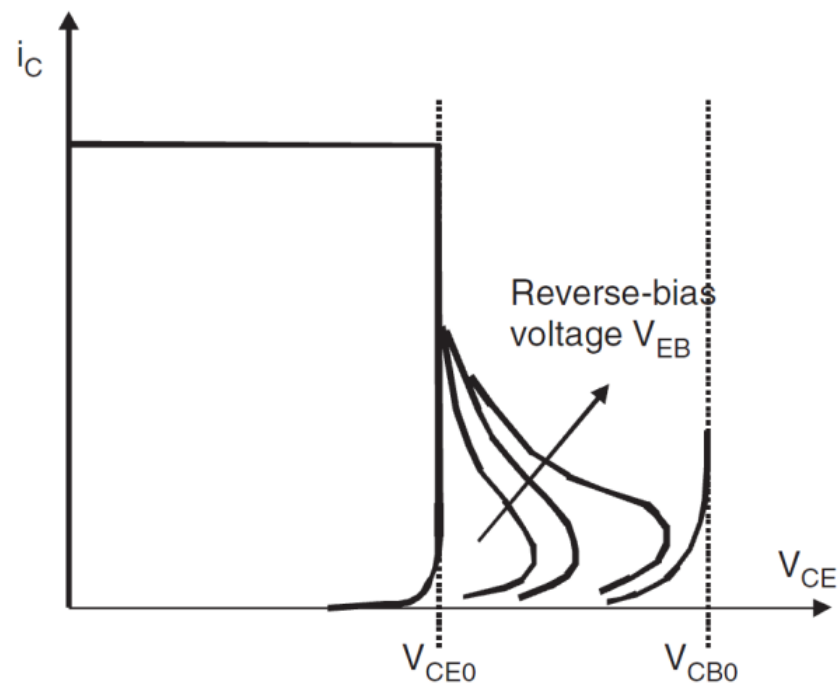


Telítés: $U_{BE} \geq U_{CE}$

Tranzisztor



Forward-bias safe operating area (FBSOA).



Reverse-bias safe operating area (RBSOA).

Darlington tranzisztor

A Darlington tranzisztor kimeneti karakterisztikája megegyezik a hagyományos bipoláris tranzisztoréval.

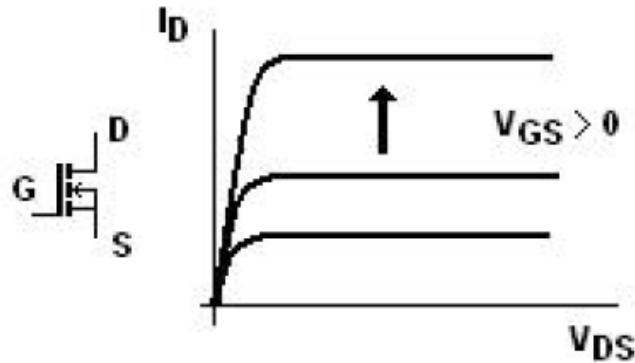
$V_{CE} = 3000V$ és $I_c = 1200A$ is lehet

$f_{m\ddot{u}köd} = 10-20kHz$

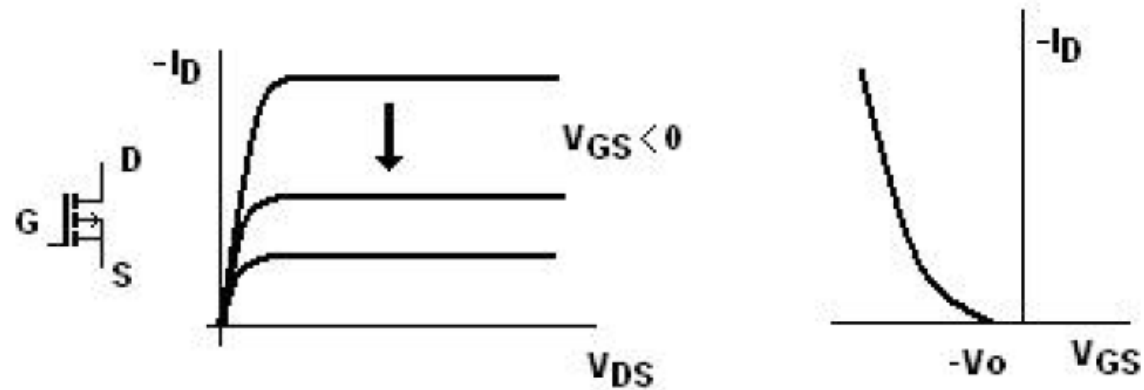
$\beta_{eredő} \approx \beta_1 * \beta_2$

Térvezérlésű tranzisztorok

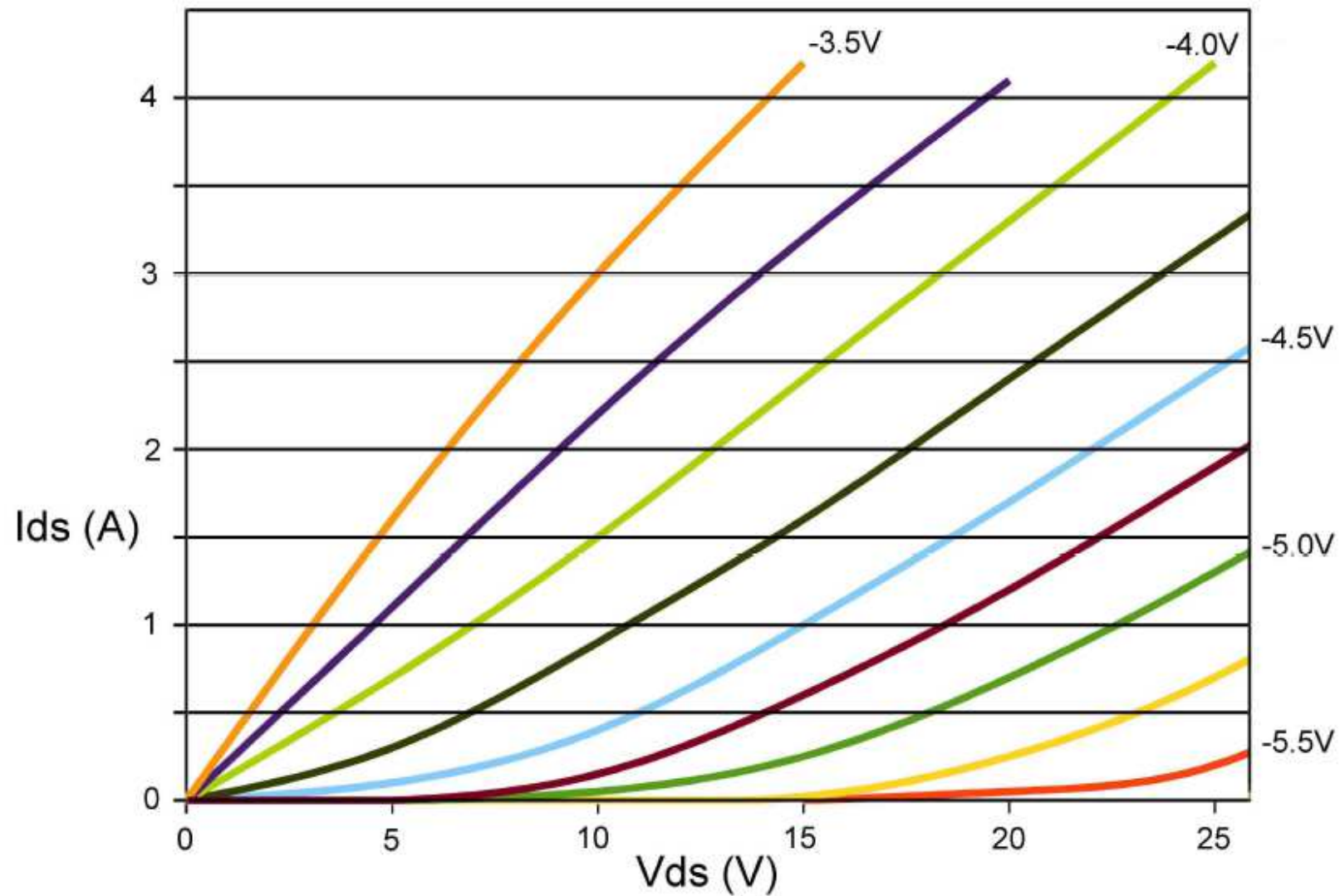
n csatolás
növekményes



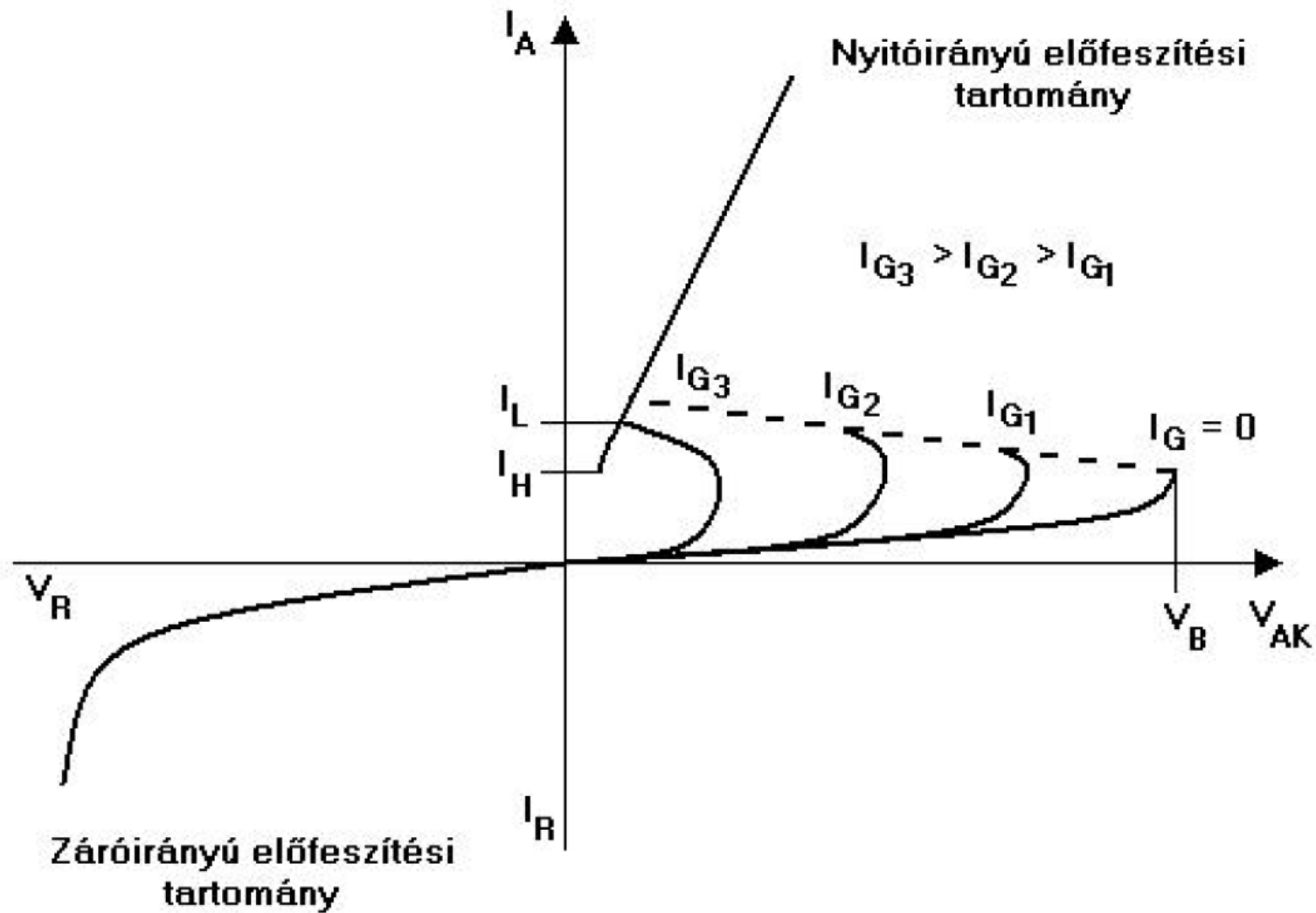
p csatolás
növekményes



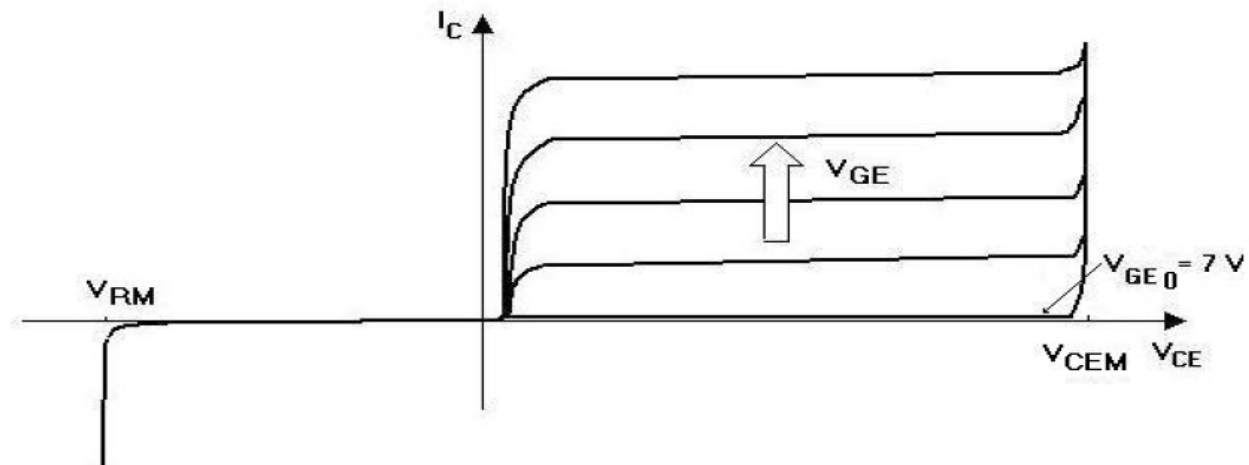
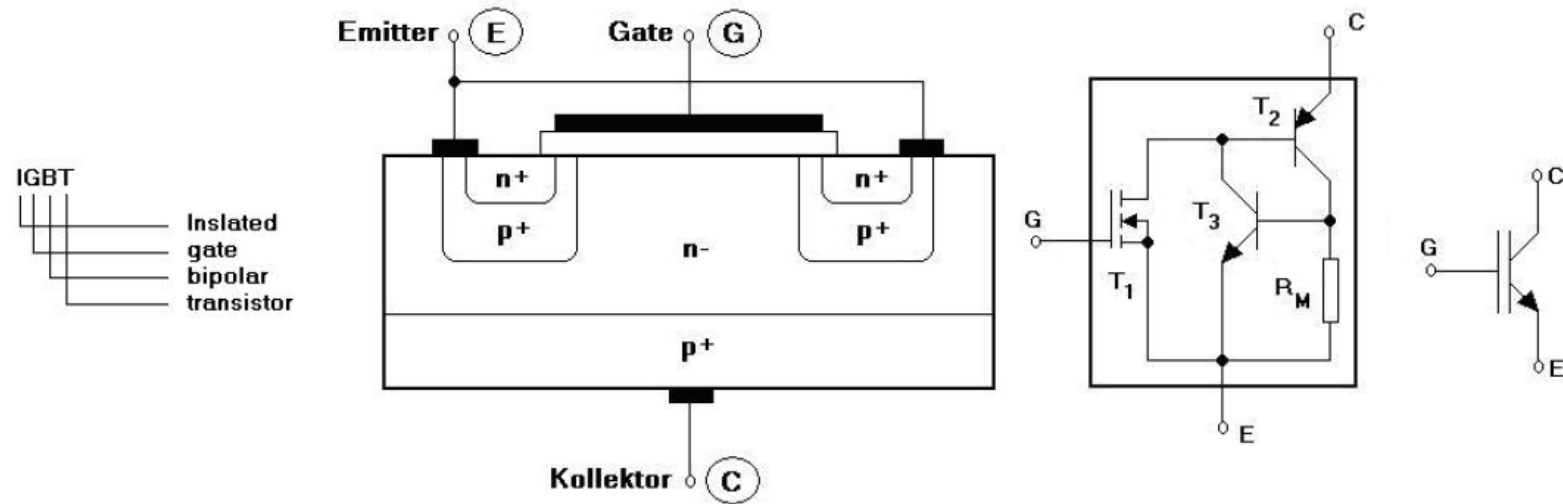
SIT (Static Induction Transistor)



Tirisztor



IGBT



Félvezetők megbízhatósága

- Meghibásodás ismertebb okai lehetnek:
 - maximális feszültség túllépése
 - maximális áram túllépése
 - maximális réteghőmérséklet túllépése
- A fent felsoroltak az eszköz azonnali tönkremeneteléhez vezetnek.
- A továbbiakban nézzük meg, mely tényezők csökkentik még a várható élettartamot.

Félvezetők megbízhatósága

● meghibásodási gyakoriság

A gyakorlatban a meghibásodási gyakoriságot a következők szerint becslik:

$$\lambda_m \cong \frac{C_m}{N\Delta t}$$

ahol

C_m	- a meghibásodások száma
Δt	- a vizsgálati idő
N	- a szűrőpróbatétel mennyisége.

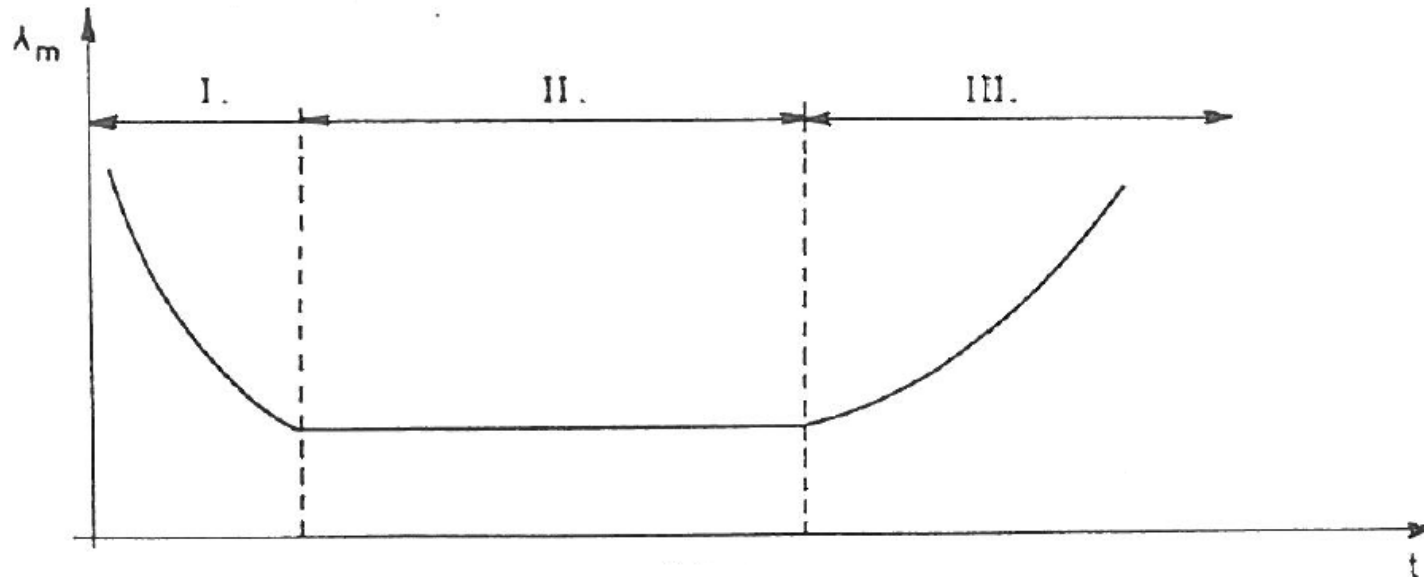
(Például, ha 10^3 alkatrész közül 10^3 órás vizsgálat alatt négy meghibásodás történt

$$\lambda_m = \frac{4}{10^3 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{h} \right])$$

Félvezetők megbízhatósága

● meghibásodási gyakoriság

A meghibásodás gyakoriságát ábrázoló jelleggörbét jellegzetes alakja miatt "fürdőkád-jelleggörbének" nevezik.



Félvezetők megbízhatósága

● meghibásodási gyakoriság

Ha a λ_m -állandó, a λ_m reciproka az átlagos élettartamot (m) adja.

$$m = \frac{1}{\lambda_m} [h]$$

Átlagos élettartamnak azonos objektumok várható élettartamát nevezzük. (Ha $\lambda_m =$ állandó, akkor $m = \text{MTBF}$). Az MTBF - érték (Mean-Time-Between-Failures) az a közepes időérték, amely több javítható egység két meghibásodása között eltelik. Az MTBF értéket többféle módon lehet becsülni.

Ha a meghibásodási gyakoriság állandó az MTBF érték (Θ'):

$$\Theta' = \frac{N\Delta t}{C_m}$$

Félvezetők megbízhatósága

● meghibásodási gyakoriság

Lehet azonban minden egyes egység első meghibásodásáig eltelt időt is jegyezni (m_i) és ezután ezt a vizsgált egységek (i) számával osztani.

$$\Theta'' = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i}{i}$$

Végül lehet egyetlen egységet is vizsgálni és az első meghibásodásig eltelt időtartamot (m') meghatározni. A javítás után az egység ismét rendeltetésszerűen működik egészen a második meghibásodásig, ameddig m'' idő telik el. A második javítás után a harmadik meghibásodásig m''' üzemidő telik el. Ebben az esetben a következő összefüggések érvényesek:

$$\Theta''' = \frac{m'_1 + m'' + m''' + \dots + m^b}{b}$$

Félvezetők megbízhatósága

● A hőmérséklet hatása a meghibásodás gyakoriságára

Sok meghibásodási mechanizmus - különösen a félvezető alkatrészek esetében - hőmérsékletfüggő. A meghibásodási folyamatot leíró egyenlet az Arrhenius-egyenlet egy változata.

Az élettartam - hőmérsékletfüggését a következő összefüggés adja meg:

$$m_s = A e^{\frac{E_a}{kT}}$$

- | | |
|-------|---|
| A | - az adott anyagra jellemző állandó |
| E_a | - az elektronvoltban megadott aktivációs energia, amely egy lezárt P-N átmenet vezető állapotba való kapcsolásához szükséges (Ge – 0,78 eV, Si – 1,12 eV) |
| K | - a Boltzmann állandó $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} = 8,617 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K}$ |
| T | - az abszolút hőmérséklet. |

Félvezetők megbízhatósága

● A hőmérséklet hatása a meghibásodás gyakoriságára

A (8.3) összefüggésből levezethető a 10 °C-os szabály. A 10 °C-os szabály azt mondja ki, hogy a félvezetőkre megengedett határhőmérséklet alatt a félvezető élettartama a felére csökken, ha a hőmérséklet 10 °C-kal emelkedik, illetve a hőmérséklet 10 °C-os csökkentésével az élettartam megkétszereződése várható. (Bizonyításként, ha $T_1 = 393\text{K}$, $T_2 = 383\text{K}$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2,48 \approx 2)$$

A grafikus ábrázolás érdekében az (8.3) egyenlet természetes alapú logaritmusát szokás venni.

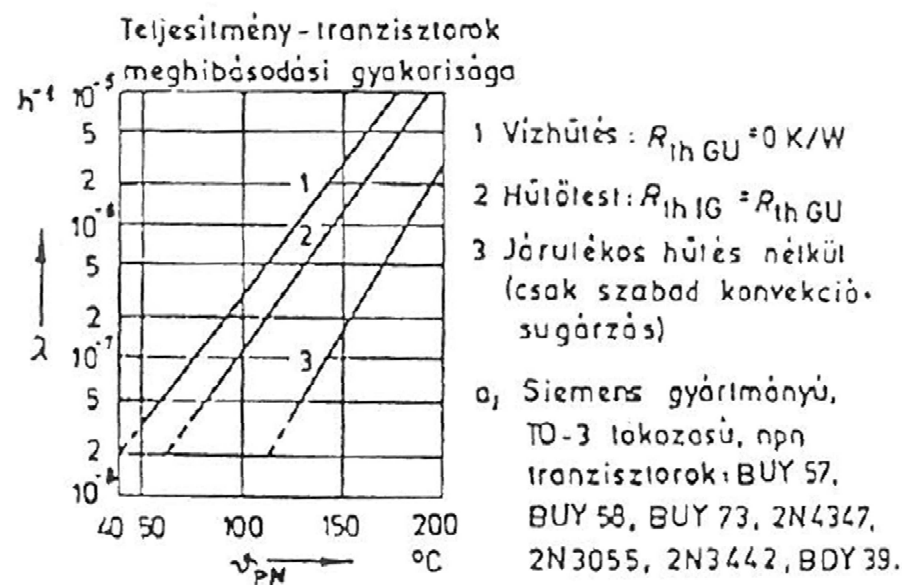
$$\ln \cdot m = \ln \cdot A + \frac{E_a}{KT}$$

A gyakorlatban a 10 °C-os szabály érvényességére több példát is lehet találni. Az akkumulátorok egyik régóta ismert tulajdonsága, hogy a környezeti hőmérséklet 10 °C-kal való emelkedésekor az akkumulátor típus élettartama feleződik. (Akkumulátorok esetében az Arrhenius egyenlet egy másik alakja használatos!) A meghibásodási gyakoriság kétszeresére növekedését a félvezetők réteghőmérsékletének növekedésekor is megfigyelhetjük. Példaként a 8.2. ábra egy teljesítménytranzisztor meghibásodási gyakoriságának változását mutatja a P-N átmenet hőmérsékletének függvényében.

Félvezetők megbízhatósága

● A hőmérséklet hatása a meghibásodás gyakoriságára

8.2. ábra egy teljesítménytranszisztor meghibásodási gyakoriságának változását mutatja a P-N átmenet hőmérsékletének függvényében.



8.2. ábra

Az ábrából jól látszik, hogy a λ_m kétszeresére növekszik, ha a P-N átmenet hőmérsékletet 140 °C-ról 150 °C-ra növeljük.

Félvezetők megbízhatósága

- hőciklus igénybevétel hatása a meghibásodás gyakoriságára

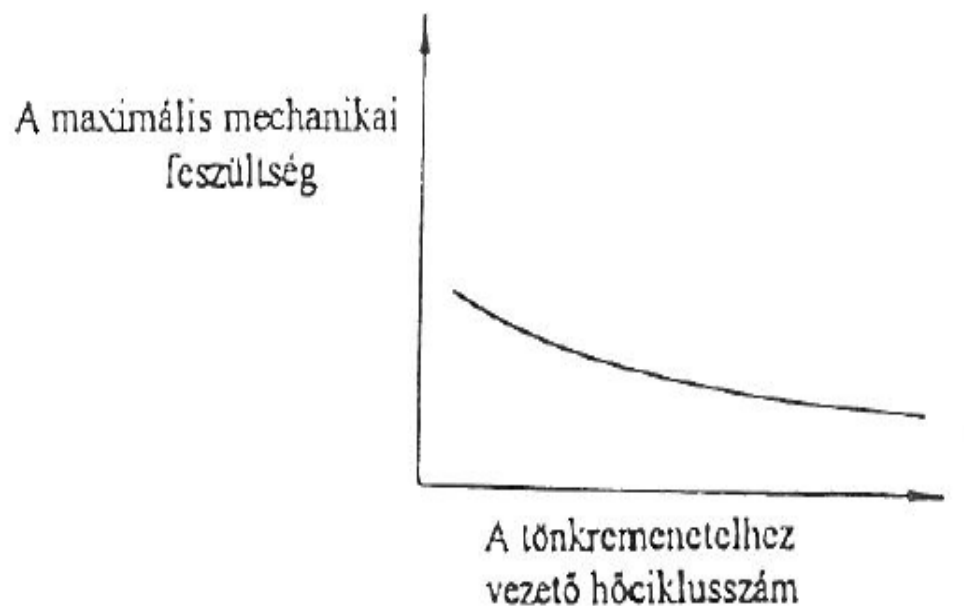
$$N = A_0 e^{\frac{\varphi_0}{(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta \vartheta L}}$$

N	- a tönkrementelhez vezető hőciklusszám
φ_0, A_0	- a P-N átmenet felerősítő (rögzítő) rendszerére jellemző állandók
α_1	- annak az anyagnak a hőtágulási együtthatója, amelyikre a P-N átmenet fel van szerelve
α_2	- a szilíciumlapka hőtágulási együtthatója
$\Delta \vartheta$	- az érintkező felületek hőmérsékletváltozása
L	- a szilíciumlapka maximális mérete

Félvezetők megbízhatósága

● hőciklus igénybevétel hatása a meghibásodás gyakoriságára

Az alábbi ábrán látszik, hogy a maximális mechanikai feszültség csökkenése a tönkremenetelhez vezető hőciklus számot növeli.



Különböző anyagok hőtágulási együtthatója:

$$\alpha_{SI} = 3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\alpha_{mo} = 6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\alpha_{FE} = 14 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\alpha_{CU} = 17,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Félvezetők megbízhatósága

A 8.4. ábrán példaként az RCA cég által gyártott 2N 3055 típusú tranzisztor teljesítmény disszipáció - hőciklusszám - tok hőmérsékletváltozás görbéi láthatóak. A görbékéből látható, hogy a tönkremenetelhez vezető hőciklusszám jelentősen csökken, ha a félvezető hőmérsékletváltozása $\Delta\vartheta$ nő.

A meghibásodási gyakoriságot a félvezetők hőciklus "érzékenysége" növeli. A meghibásodási gyakoriságot a hőciklus igénybevétel, valamint a hőmérséklet (Arrhenius egyenlet) figyelembe vételével a következő alakban lehet felírni:

$$\lambda_m = \lambda_\vartheta + \lambda_{\Delta\vartheta}$$

, ahol

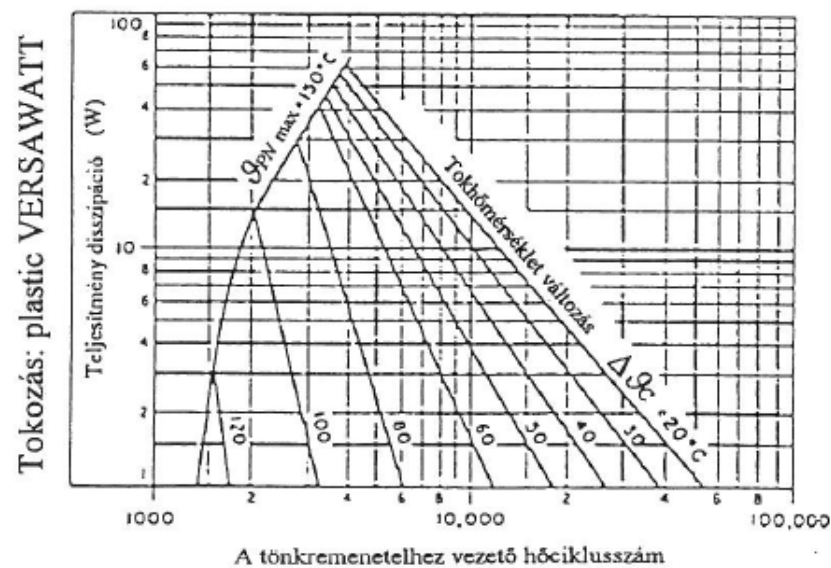
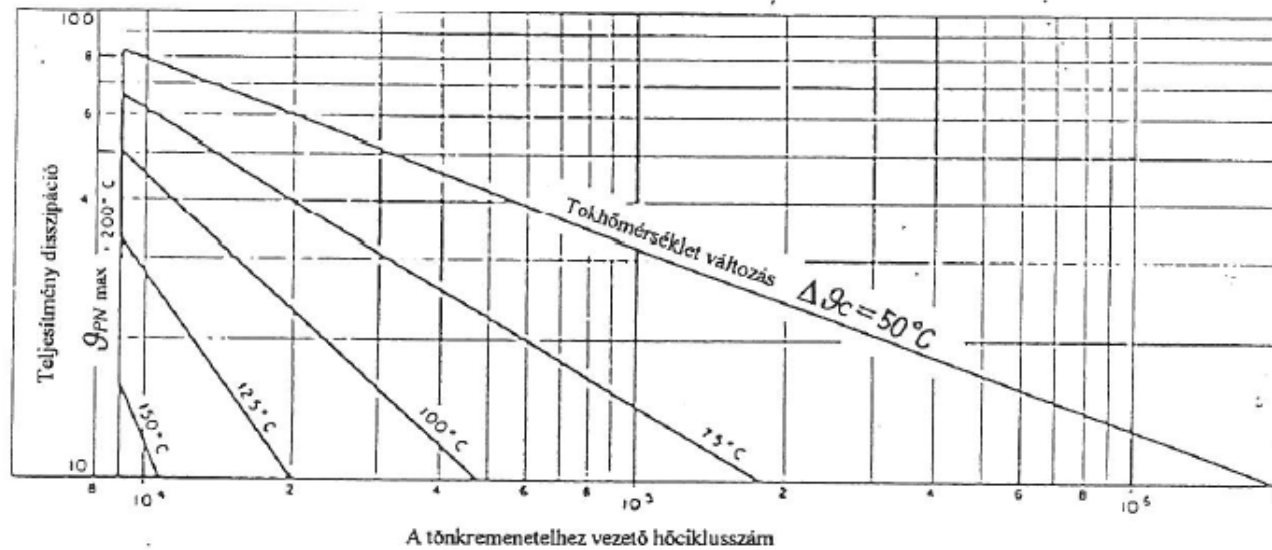
λ_m - meghibásodási gyakoriság

λ_ϑ - a meghibásodási gyakoriság hőmérsékleti összetevője

$$(\lambda_\vartheta = \frac{1}{m_\vartheta} \quad (8.2) \text{ összefüggés})$$

$\lambda_{\Delta\vartheta}$ - a meghibásodási gyakoriság hőciklus összetevője.

Félvezetők megbízhatósága



Köszönöm a figyelmet!