



A hőmérséklet-érzékelés a szenzor-technika egyik legszerteágazóbb tudományos területe. A különböző működési elven működő érzékelők között léteznek érintésmentes és kontaktkivitelek is. Jelen írásunkban azon változatokkal foglalkozunk részletesen, melyek érzékelője közvetlen termikus kapcsolatban van a mérendő hőmérsékletű tárggyal vagy környezettel.

A hőmérséklet-érzékelés fizikai alapjai

Az elektronikus áramköri hőmérséklet-érzékelés során alkalmazott szenzor a hőt mint fizikai mennyiséget elektronikus jellé, feszültséggé vagy elektromos ellenállássá alakítja, melyet aztán a kiértékelő elektronika képes feldolgozni.

Számos technológia és ezek használatára kifejlesztett érzékelőeszköz áll a fejlesztők rendelkezésére hőmérséklet-mérési funkciók integrálására.

Ezek közül az egyik a hőelem, mely két különböző fémvezeték összehegesztésével vagy összeforrasztásával készül.

Az összeillesztési pont környezetében a vezetékek szabad végéhez viszonyított hőmérséklet-változás elektromotoros erőt gerjeszt, mely jelenséget fizikai tanulmányainkból Seebeck-effektus néven ismerjük. A vezetékek szabad végei közt keletkező potenciálkülönbség a termikus elektromotoros erő (TEMF). A melegpont hőmérsékletének emelkedésével a keletkező potenciálkülönbség növekszik, és bár ez a változás nemlineáris, a hőmérséklet-érzékelés feszültségméréssel megoldható.

A termoelem, illetve a számos termoelem sorba kapcsolásával létrehozott halmaz, angol nevén a

thermopile hőmérsékletszenzorok tehát a Seebeck-effektus alapján működnek, és alkalmasak két, eltérő hőmérsékletű közeg közti differenciális hőérzékelésre.

A hidegpont referencia-hőmérsékleten való tartásával (pl. 0°C) elérhető, hogy az indukált feszültség a melegpont hőmérsékletével legyen arányos, tehát ezek az eszközök hőmérséklet-feszültség átalakítóknak tekinthetők.

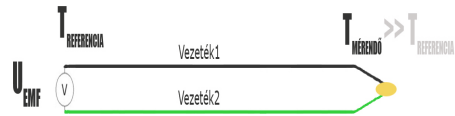
A feszültség és a hőmérséklet közötti összefüggést az alábbi integrál írja le:

$$Emf = \int_{T_{reference}}^{T_{measured}} S_{12} \cdot dT = \int_{T_{reference}}^{T_{measured}} (S_1 - S_2) \cdot dT$$

ahol az *Emf* a termoelem által indukált és a vezetékek szabad végén mérhető termikus elektromotoros erő, a $T_{referencia}$ - és $T_{mért}$ -értékek a hidegpont és a melegpont hőmérsékletei, az S_{12} a termoelemre jellemző úgynevezett Seebeck-koeficiens, míg az S_1 és S_2 a két vezetékre jellemző Seebeck-állandó. (Meg kell jegyeznünk, hogy ezen állandók értékei a vezetékek anyagára jellemzők és hőmérséklet-függők is, ami további nonlinearitást eredményez.)

Mint említettük, a termoelemes érzékelés differenciális mérés, melyben a mért közeg hőmérséklete (melegpont) és a hidegponti referencia-hőmérséklet (általában a környezet hőmérséklete) vesz részt. A szenzorban tehát az erősítő áramkör mellett helyet kap egy hidegponti hőmérséklet- kiegyenlítő

funkciót ellátó egység is, mely akkora korrekciós potenciálkülönbséget hoz létre, amekkora feszültség a termoelem környezeti hőmérsékleten lévő melegpontja és 0°C-on lévő hidegpontja esetén indukálódna.



A termoelem-„oszlopok” (thermopile) több termoelem soros összekapcsolásával kialakított hőmérsékletszenzorok, melyek nagyon érzékenyek, kis hőmérséklet-különbség mérésére is alkalmasak. Kimenetükön néhány tíz, esetleg száz mV nagyságrendű jel mérhető, és alkalmazhatóak érintésmentes mérésre is, hiszen érzékelik az infravörös sugárzás által keltett hőmérséklet emelkedést.

Egy másik hőmérsékletérzékelésre szolgáló lehetőség a bimetál-technológia alkalmazása, melynek működési elve két, eltérő hőtágulású fém együttes alkalmazásán alapul.

A két összeragasztott fémcsík hőmérsékletváltozás hatására eltérő módon változtatja alakját, a fellépő mechanikai erőhatás pedig felhasználható például egy mechanikus kapcsoló működtetésére. Mivel az eszköz nem igényel tápellátást és kellőképpen robusztus, gyakran használják nagy pontosságot nem igénylő feladatokra hőkapcsolóként.

Mivel mérési célokra nem alkalmas, elsősorban védelmi funkciók megvalósítására veszik igénybe.

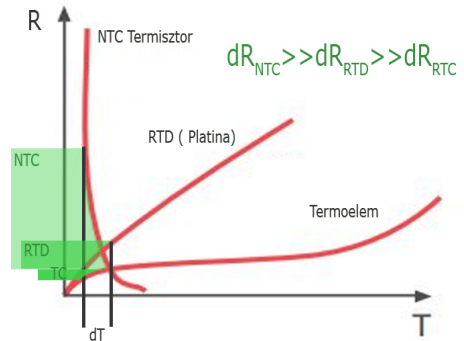
A legnépszerűbb és az elektronikában legfontosabb hőmérsékletszenzorok a hőmérsékletfüggő ellenállások.

Ezeknek az érzékelőknek a működése az alapanyaguk hőmérséklettel arányosan változó elektromos ellenállásán alapszik.

Két, legfontosabb csoportjuk a fémes és a félvezetőalapú hőmérsékletszenzorok. Előbbiek összefoglaló neve ellenállásos hőmérséklet detektor (RTD – resistive temperature detector), míg az utóbbiakat termisztornak hívjuk.

A fémes ellenállásos hőmérséklet-szenzorok (RTD) hőmérséklet-ellenállás karakterisztikája pozitív hőmérsékleti együtthatójú, azaz a hőmérséklet emelkedésével lineárisan növekszik az ellenállásuk is. Ez a linearitás előnyös tulajdonság, mert rendkívül pontos hőmérsékletmérést tesz lehetővé, ám termikus érzékenységük nagyon gyenge, hiszen a hőmérséklet változása csak nagyon kis, kb. $1 \Omega/^\circ\text{C}$ mértékű ellenállás-változást eredményez. Ez a jelenség a fémes RTD, a termoelem és a félvezető-alapanyagú NTC termisztor jelleggörbéit összehasonlító ábrán is látható.

A könnyű érzékelhetőségben a lineáris karakterisztika mellett a meredekségnek is nagy szerepe van, ez adja a szenzor érzékenységét.



A meredek jelleggörbe sajátossága, hogy kis hőmérséklet-változásra is nagy elektromos válaszjel, esetünkben ellenállásváltozás jelentkezik.

Az RTD szenzorok általában nagy tisztaságú, jól vezető fémekből készülnek, mint a réz, a nikkel vagy a platina. Ez utóbbi az alapanyaga az úgynevezett „platina hőmérőknek” (RTD – Platinum Temperature Detector), mint a jól ismert Pt100 szenzor, melynek 0°C -on az ellenállása 100Ω . Mivel a platina nagyon drága fém, az RTD érzékenységi problémája mellett a költségtényező is jelentős hátrány lehet.

A tipikus, ellenállásos hőmérséklet-érzékelő ellenállása kb. 100Ω 0°C -on, ami egészen 140Ω -ig növekedhet a hőmérséklet 100°C -ra történő emelkedésekor, -200°C és $+600^\circ\text{C}$ közti működéshőmérséklet-tartományon.

Az ellenállásos hőmérsékletmérés elengedhetetlen feltétele az, hogy mérőáramot folyassunk át a komponensen, mert csak a szenzoron eső feszültséget lehet könnyen elektromos jelként feldolgozni.

Természetesen bármekkora is a pillanatnyi ellenállás, a mérőáram okozta $I_2 R$ fűtőteljesítmény mindenképpen hibát okoz a mérésben.

Ez a hiba az áramerősség négyzetével arányos, tehát minimalizálásához mindenképpen kis mérőáramra van szükség, vagy érdemes a hőmérsékletszenzort Wheatstone-híd-elemeként használni a hiba kiküszöböléséhez.

Termisztorok

Az ellenállás hőfüggésén alapuló szenzorok másik nagy csoportját a termisztorok alkotják. Ezeket a félvezető kerámia-alapanyagú alkatrészeket nemlineáris ellenállás-hőmérséklet karakterisztika jellemzi.

Ha a hőmérséklet emelkedésének hatására jobb áramvezetőkké válnak, akkor NTCnek, fordított esetben PTC-nek hívjuk az ilyen típusú termisztorot. Ha ismét az összehasonlító ábrát tekintjük, a PTC jellegű RTD szenzorok lineáris R-T karakterisztikával szemben az NTC erősen nemlineáris viselkedést mutat, azonban az NTC-k előnye a nagyobb érzékenység, hiszen ugyanakkora hőmérséklet-változás jelentősebb mértékben változtatja meg az ellenállás értékét, ezáltal a kiértékelő elektronika könnyebben dolgozhatja fel a nagyobb elektronikus válaszelet.

További előnye az NTC szenzoroknak az alacsony ár is.

Az NTC ellenállás hőfüggés-karakterisztikája első közelítésben exponenciális függvénynek tekinthető, mely az alábbi képlettel közelíthető:

$$R = R_{25} \cdot e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_{25}}} \quad (1)$$

$T_{25} = 298,15 [K] (25^\circ C)$, T : h mérésérték $[K]$

Az R_{25} a $+25^\circ C$ referencia-hőmérsékleten felvett ellenállás értéket jelenti, az ún. B-érték $[K]$ pedig a következő (1)-ből adódó logaritmikus összefüggéssel jellemezhető módon teremt összefüggést az ellenállás és a hőmérséklet között:

$$B = \frac{T \cdot T_{25}}{T_{25} - T} \ln \frac{R}{R_{25}} \quad (2)$$

A legtöbb alkalmazásban (1) elégséges matematikai korrelációt ad az ellenállás hőmérsékletfüggésének egy széles hőmérséklet-tartományon ($0^\circ C - 100^\circ C$) való $\pm 1^\circ C$ pontosságú leírásához, azonban, ha ennél akkurátusabb összefüggésre van szükség, akkor bonyolultabb képlet alkalmazása válik szükségessé.

A ma ismert és leginkább elfogadott közelítést a Steinhart–Hart-féle egyenlet adja:

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3 \quad (3)$$

Az R a T hőmérsékleten mért ellenállás értéke a (3) összefüggésben, az A, B és C együtthatók pedig a kísérleti mérésekből származó Steinhart Hart-koefficiensek, melyeket az NTC chip gyártója tesz közzé.

Ez a formula kb. $\pm 0,15^\circ$ pontosságot ad a -50°C – $+150^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományon, amiről elmondhatjuk hogy a legtöbb alkalmazásban messze-menőkig megfelelő. Ha elegendő csak a 0°C – $+100^\circ\text{C}$ tartományon közelíteni a függvényértékeket, elérhető vele a $\pm 0,01^\circ\text{C}$ pontosság is.

Amikor NTC szenzort használunk, nagy figyelmet kell fordítani a mérőáram erősségének megfelelő megválasztására: ha túl nagy, akkor az NTC melegeése (I^2R) hibát okozhat a mérésben!

A gyártói adatlap tartalmazza a disszipációs faktor értékét, ami megmutatja, hogy mekkora elektromos teljesítményre van szükség a termisztornak 1°C -kal a környezeti

hőmérséklet fölé történő felmelegedéséhez.

A gyakorlatban érdemes ezen érték alatt maradni.

Végezetül tervezéskor szem előtt kell tartani az NTC hőtehetetlenségét is, hiszen a hőmérséklet-változást az elektronikus válaszcél (az ellenállás változása) csak némi késleltetéssel követi: minél kisebb az NTC chip, annál gyorsabban.

A termikus időállandó „T” definíció szerint az az idő, mely alatt egységnyi hőmérsékletlépcsőt véve alapul, az ellenállás az új hőmérséklethez tartozó végértékének 63,2%-át eléri.

Ha az NTC tervezésekor vevő- vagy alkalmazásspecifikus jellemzők egyedi beállítására van szükség, feltétlenül olyan gyártópartnerre van szükség, aki eléggé flexibilis ahhoz, hogy az akár gyakran változó vevői igényekre is gyorsan reagáljon.

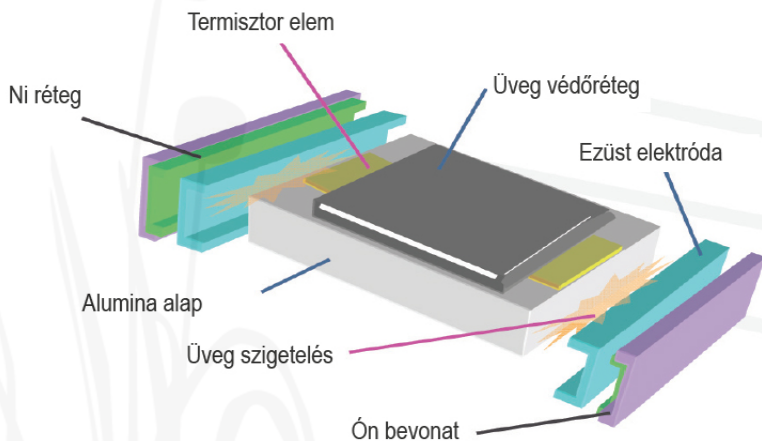
Ehhez leginkább saját komponens-fejlesztésre és saját NTC chipgyártásra van szükség. Az R_{25} - és a B-értéket a félvezető anyagösszetétele és a szinterezési folyamat előtt hozzáadott nanorészecskék határozzák meg.

Ezután történik meg a wafer szeletelése (chipekre való szétvágása). A precíz gyártástechnológiával válogatás nélkül is elérhető a $\pm 0,05\%$ tolerancia.

Kivételesen nagy pontosság

Nagy méréspontosságot igénylő feladatok esetén nemcsak az ellenállásérték kezdeti alacsony toleranciája lényeges, hanem annak hosszú távú időbeni stabilitása is. A kezdeti szűk tolerancia és ezzel együtt járó kis hiba szokásos elvárás az NTC-vel szemben, de mi történik, ha az ellenállásérték az idő előrehaladtával változik? Ennek a fő oka a levegő nedvességtartalmának esetleges behatolása a porózus kerámia félvezető anyagba, melynek negatív hatását üvegpaszvizációs védőréteg kialakításával lehet csökkenteni. Vezető japán gyártónk, a Tateyama vastagréteg SMD termisztorai kerámiasubsztrátra (96% Al_2O_3) kerülnek, és az NTC anyagát üveg védőréteg borítja a pára és a jelen lévő, egyéb káros gázok behatolásának megelőzésére (lásd. ábra).

Ez a felépítés továbbá kellőképpen ellenállóvá teszi a komponenst a hőtágulás okozta mechanikai stresszhatásokkal szemben is: gyártói és vevői tesztek egyaránt bizonyítják, hogy az NTC még többszöri nagy hőmérséklet-különbségnek való kitettség esetén sem sérül. Ez kiváló forraszthatóságot és nagyfokú megbízhatóságot biztosít az alkatrész számára. Az alkalmazott üvegborításnak köszönhetően a páratartalom, de még az olyan agresszív korrodáló gázok jelenlétére sem érzékeny, mint a kéndioxid. További előnye a Tateyama szabadalmaztatott vastagréteg-gyártástechnológiájának, hogy tetszőlegesen beállítható R_{25} – (100 Ω –2 M Ω) és B (2700 – 5000 K) értékek valósíthatók meg, és ezek toleranciája is megfelelő ($\pm 1 \dots \pm 10$). SMD termisztoraik mindegyike rendelkezik az autóipar számára fontos TS16949/AEC-Q tanúsítvánnyal, és 0201 ... 0805



méretekben rendelhető. Kedvező árak és hosszú távú stabilitásuk okán eredményesen integrálhatóak klíma-vezérlőkbe, háztartási gépek elektronikájába, hőmennyiségmérőkbe vagy éppen az akkumulátoros kéziszerszámok töltőelektronikájába.

A vastagréteg-termisztor technológia egészen 150°C-ig használható. Minél kisebb a komponens, annál kisebb a hőtehetlensége, azaz válaszideje is: alacsony termikus időállandóval rendelkeznek. Az olyan alkalmazásban, ahol a hőmérséklet gyors változásait kell követni, a lehető legkisebb, 0201 méretű szenzor használata javasolt.

A másik japán NTC-beszállítónk, a Semitec nem vastagréteg-technológiát használ, az ő termisztoraik kerámia félvezetőanyagból készülnek.

Jellemzőjük a B- és az R_{25} -értékre vonatkoztatott alacsony tolerancia ($\pm 1\%$). Az „AP”- sorozat a legpontosabb NTC-család ($\pm 0,5\%$ B-érték/ R_{25}), a -50 – $+70$ °C hőmérséklet- tartományon, rendszerkalibrálás nélkül lehetővé téve a 0,5 K-nél is pontosabb mérést.

Ezek a vékony, mindössze 0,5 mm vastag kaptonszalag NTC-k elsősorban az újratölthető elem-technikában használatosak.



A „KT”-család a Semitec SMD NTC-sorozata, kiváló ára mellett legnagyobb előnye az üveg védőréteg biztosította, hosszú távú stabilitás, mely a hőmennyiségmérő órák számára elengedhetetlenül szükséges, mert azok kalibrálás nélkül is minimum 10 évig pontosan kell működjenek.

Az „AT-4”-sorozatot elsősorban kéziszerszámokban való használatra fejlesztették ki, különösen a 6,8 k Ω -os típust, melynek ajánlott felhasználási területe az akkumulátortöltő elektronika hőmérséklet-monitorozása.

Az NTC, vagy a Platina RTD (Pt100-PT1000) chipek, melyek a fent leírt technológiák valamelyikével készülnek, nemcsak önállóan, hanem valamilyen konfekcionált, egyedi kialakítású hőmérsékletszenzorba építve is használhatók.

Speciális kábelkivezetéssel (pl. mint PVC, teflon, hidegkötéses huzal, halogénmentes, IP68-védett, élelmiszerkonform stb.) és egyedi alkalmazásspecifikus csatlakozókkal szerelve, rozsdamentes acél-, réz-, bronz- vagy műanyag házban is rendelhetők, a vevő igénye szerint. Ezeket a szerelt szenzorokat európai beszállítónk, a TEWA gyártja.

A hőmérsékletszenzorok felhasználási terület szerint is nagy változatosságot mutatnak.

Bizonyos alkalmazások nagy mérési pontosságot és kis szórást követelnek, másoknál az a fontos elvárás, hogy olyan zord környezeti feltételek mellett is működjenek, ahol a hőmérséklet akár elérheti a +1000°C-t is.

Egyes orvoselektronikai alkalmazásokban a miniatűr kivétel az elvárás, mert például katéter részeként a vénában áramló vér hőmérsékletének mérése a feladat, máshol, ahol csak egyszerű hőmérséklet-kompenzálást kell végezni, az ár lehet a kritikus tényező.

Piaci trendek

A legutóbbi pénzügyi válság után helyreálló gazdasági környezetben 2009-től a hőmérsékletszenzorok piaca teljesen átalakult, és mára stabil növekedést mutat, változatos területeken. A nemzeti szabályozások, mint például Németországban a béringszabályozásokban kötelezően előírt füst- és tűzérzékelők alkalmazása is segíti a hőmérséklet-szenzorok terjedését.

A következő évek várakozása is a piac e szegmensek mentén való bővülését valószínűsíti, azonban az erősen exportfüggő és hagyományosan konzervatív autópiacon nagy igényt nagyon nehéz megbecsülni.

A hibrid és az elektromos járművek felé tolódo hangszly azonban valószlnsíti a hőmérsékletszenzorok, elsősorban a

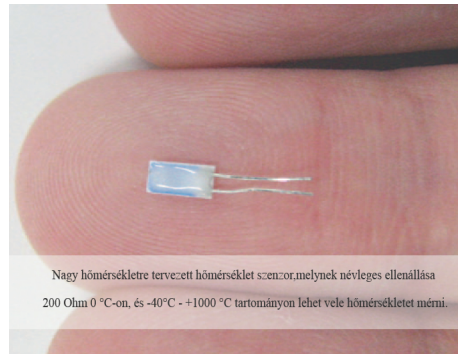
vevőspecifikus kivitelek iránti növekvő igényt, hiszen az akkumulátor-csomagok, a DC/DC átalakítók és az elektromos motorok igénylik az ilyen érzékelőket.

A hagyományos járműgyártás egyes területein is szükség van speciális kivitelű hőmérséklet-érzékelőkre, és az olyan cégek, mint az Endrich is, amelyek képesek az elsősorban dízeljárművek nagy hőmérsékletű kipufogógázainak hőmérsékletmérésére szolgáló megoldást kínálni, nagy reményekkel tekinthetnek a jövőre, hiszen az újonnan forgalomba kerülő járművek EURO6 környezetvédelmi besorolásához szükséges elektronika egyik alapja ez a szenzortípus.

A kipufogógáz analizálásához speciális hőmérsékletszenzorra van szükség, mint a Pt200 RTD platinaszenzor, melynek 0°C-on az ellenállása 200 Ω, és -40-től +1000°C-ig terjedő hőmérséklet tartománybeli mérésre tervezték ±10 K pontossággal -40 és +300°C között, vagy ±3 K pontossággal +300 és +900°C között.

A Pt200 jellemzői megfelelnek a DIN IEC 751 szabványban előírtaknak. Speciális felépítése ötvözi a vékony- és vastagréteg-technológiát, ezáltal biztosítva a kiváló hő- és mechanikai ellenállóságot, illetve a nagy hőingadozással szembeni immunitást.

Az alkalmazott felületi bevonat biztosítja a kipufogógázban történő használatát.



Mi az Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH-nál készek vagyunk arra, hogy technikai és kereskedelmi oldalról is támogassuk vevőink egyedi vagy sztenderd hőmérsékletszenzort igénylő alkalmazásfejlesztését.

Évtizedes tapasztalatunk a területen valamint a mögöttünk álló beszállítók professzionalitása a biztosíték, hogy sikeresen tudjunk együttműködni akár orvoselektronikai, általános ipari, háztartási elektronikai vagy autóiipari szektorban is.