

HŐMÉRSÉKLETSZENZOROK ILLESZTÉSE MIKROKONTROLLERHEZ IOT ALKALMAZÁSOKBAN

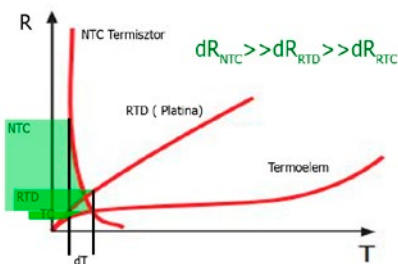
A hőmérsékletérzékelés a szenzortechnika egyik legszerteágazóbb tudományos területe és egyben az IoT világ megkerülhetetlen része. A különböző működési elven működő hőmérsékletérzékelők, melyek között léteznek érintésmentes és kontaktkivitelek is, majd minden környezeti paramétereket érzékelő kombinált szenzor részét képezik. Jelen írásunkban a fémes ellenállás detektorok (RTD) és a félvezető alapú negatív termikus karakterisztikájú NTC termisztorok működési alapelvét tekintjük át és kitérünk a szenzor mikrokontrolleres rendszerhez való illesztési kérdéseire is

A hőmérsékletérzékelés fizikai alapjai

Az elektronikus áramkörü hőmérsékletérzékelés 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 érzékelő eszköz áll a fejlesztők rendelkezésére hőmérsékletmérési funkciók integrálására.

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 félvezető alapú hőmérséklet szenzorok. Előbbiek összefoglaló neve ellenállásos hőmérséklet detektor (RTD – resistive temperature detector), míg az utóbbiakat termisztoroknak hívjuk.

A fémes ellenállásos hőmérséklet szenzorok (RTD) hőmérséklet-ellenállás karakterisztikája pozitív hőmérsékleti együttthatójú, azaz a hőmérséklet növekedésével lineárisan növekszik ellenállásuk



1. ábra. Különböző hőmérsékletszenzorok érzékenysége

is. Ez a linearitás előnyös tulajdonság, mert rendkívül pontos hőmérsékletmérést tesz lehetővé, azonban termikus érzékenységük nagyon gyenge, hiszen a hőmérséklet változása csak nagyon kis, kb. $1 \Omega/^\circ\text{C}$ mértékű ellenállásváltozást 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 hőmérsékletváltozásra is nagy elektromos válaszjel, esetünkben az 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, azonban nagyon magas hőmérsékleten más érintkezéses technológia nem jöhet számításba. A tipikus ellenállásos hőmérsékletérzékelő ellenállása kb. 100Ω 0°C -on, ami egészen 140Ω -ig növekedhet a hőmérséklet 100°C -ra történő emelkedésekor, -200°C és $+600^\circ\text{C}$ közötti működési hőmérséklet 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^2R fűtő-

teljesítmény 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 NTC-nek, fordított esetben PTC-nek hívjuk az ilyen típusú termisztor. 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 hőmérsékletváltozás jelentősebb mértékben változtatja meg az ellenállás értékét, ezáltal a kiértékelő elektronika könnyebben dolgozhatja fel a nagyobb elektronikus válaszjelet. További előnye az NTC szenzoroknak az alacsony ár is.

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

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

$$T_{25} = 298,15 \text{ [K]} \quad (25^\circ\text{C}),$$

$$T: \text{hőmérséklet [K]}$$

Az R_{25} a $+25^\circ\text{C}$ 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:

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

A legtöbb alkalmazásban (1) elégséges matematikai korrelációt ad az ellenállás hőmérsékletfüggésének egy széles hőmér-

sélektartományon (0 °C – –100 °C) való ± 1 °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:

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

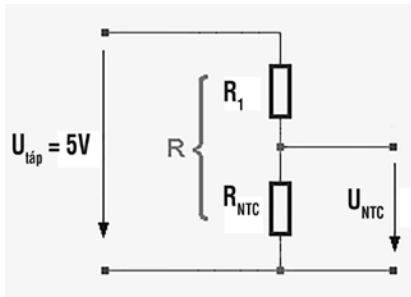
Az R a T hőmérsékleten mért ellenállás értéke a (3) összefüggésben, az A , B és C együtthatók pedig a kísérleti mérésekből származó Steinhart-Hart koeficiens, melyeket az NTC chip gyártója tesz közzé. Ez a formula kb. $\pm 0,15$ °C pontosságot ad a -50 °C – $+150$ °C hőmérsékletartományon, ami a legtöbb alkalmazásban messzesemenőig megfelelő. Ha elegendő csak a 0 °C – $+100$ °C tartományon közelíteni a függvényértékeket, akkor elérhető vele a $\pm 0,01$ °C pontosság is.

Amikor NTC szenzort használunk, nagy figyelmet kell fordítani a mérőáram erősségének megfelelő megválasztására, ha az túl nagy, akkor a termisztor melegedése (I^2R) hibát okozhat a mérésben. A gyártói adatlap tartalmazza a disszipációs faktor értékét, ami megmutatja, hogy mekkora elektromos teljesítményre van szükség a termisztor a környezeti hőmérséklet fölé 1 °C-al való felmelegedéséhez. A gyakorlatban érdemes ezen érték alatt maradni. Végezetül tervezéskor szem előtt kell tartani az NTC hőtehetetlenségét is, hiszen a hőmérsékletváltozást az elektronikus válaszel (az ellenállás változása) némi késleltetéssel követi csak, 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 hőmérsékletre tartozó végértékének 63,2%-át eléri.

Termisztor illesztése mikrokontrolleres rendszerhez

A hőmérsékletet a termisztor ellenállásának közvetett mérésével határozhatjuk meg. Ehhez az azon eső feszültség értékének detektálásával az ellenállás számításával a mikrokontrollert kell segítségül hívni, majd az ellenállás ismeretében a hőmérséklet számítható.

A következő ábrán látható elvi kapcsolási rajz nem más, mint egy feszültségosztó, ahol az R_1 ellenállás egy ismert ellenállásérték (célszerűen megegyezik az NTC 25 °C-on vett ellenállásértékével), ezzel sorba kötve helyezkedik el az NTC.



2. ábra. Ellenállásos osztó áramkör

Az R_1 célszerűen az MCU tápfeszültségére van felhúzva, még az NTC másik lába 0 potenciálon van.

Az R_{NTC} ellenállás értéke az alábbi képlettel számítható:

$$R_{NTC} = R_1 \cdot \left(\frac{U_{táp}}{U_{táp} - U_{NTC}} - 1 \right) \quad (4)$$

Ahol R_1 és $U_{táp}$ ismert adatok, az U_{NTC} pedig a mikrokontroller A/D átalakítóján mért feszültség értéke.

Amennyiben az R_{NTC} számított értéke rendelkezésre áll több lehetőség van a kívánt hőmérsékletérték meghatározására.

1. módszer:

A legtöbb alkalmazásban az (1) egyenletről származtatott képlettel közelítően számított hőmérsékletérték elégséges matematikai korrelációt ad az hőmérséklet ellenállásfüggésének egy széles hőmérséklet-tartományon (0 °C – –100 °C) való ± 1 °C pontosságú leírásához

$$T_{NTC} = \frac{B}{\ln \left(\frac{R_{NTC}}{R_1 \cdot e^{-\frac{B}{273+25}}} \right)} - 273 \text{ [°C]} \quad (5)$$

2. módszer:

Ha az 1. módszernél akkurátusabb összefüggésre van szükség, akkor bonyolultabb képlet alkalmazása válik szükségessé. A ma ismert és leginkább elfogadott közelítést a korábban elmondottak alapján a Steinhart-Hart-féle egyenlet adja, ebből a hőmérséklet az alábbi módon számolható:

$$T_{NTC} = \frac{1}{A + B \cdot \ln(R_{NTC}) + C \cdot \ln(R_{NTC})^3} \text{ [K]} \quad (6)$$

3. módszer:

Gyártói katalógusadat a diszkrét adatpárokból álló NTC R-T táblázat, ahol az egyes szomszédos adatok között a jellegző görbe lineárisnak tekinthető. Egy a táblázatban nem szereplő R_{NTC} mért ellenállás



ARM CORTEX mikrovezérlő

GigaDevice GD32™ ARM® Cortex®-M23 alacsony fogyasztású µkontroller

- Flexibilis memória konfiguráció max. 3024 KB beágyazott Flash és maximum 96 KB SRAM memóriával
- Arm® Cortex®-M0 / Cortex®-M0+ utódja
- 1,8 V-3,6 V feszültség tartományon táplálható, I/O akár 5V
- Alvó üzemmódban a készenléti áram mindössze 0,7µA
- Ipari kommunikációs interfészek sorát támogatja az MCU: SPI, I²C, USART, USB 2.0 OTG FS és CAN interfész
- Max. 3 12-bit 1Msps ADC, max. 10 16-bites időzítő, egy PWM timer
- 3 energiakímélő üzemmód az élesztési sebesség és a fogyasztás optimalizálásához kis teljesítményű, telepes táplálás esetére



Tel.: +(361) 297-4191
hungary@endrich.com

www.endrich.com

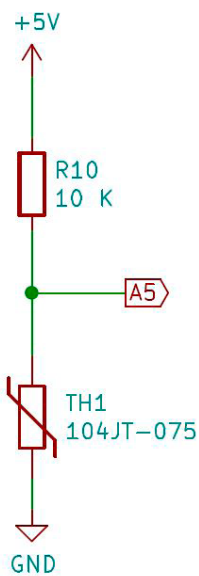
esetén a legközelebbi létező szomszédos R_1 és R_3 értékekhez tartozó T_1 és T_3 hőmérsékletadatokból a T_{NTC} a következőképp számítható:

$$T_{NTC} = T_3 - \frac{(R_{NTC} - R_3) \cdot (T_3 - T_1)}{(R_1 - R_3)} [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

Maga a kapcsolás a következő oldali 3. ábrán látható. A tápfeszültségnek nevezett feszültség természetesen bármilyen ismert, a mikrokontrolleres rendszerben elérhető fix DC feszültség lehet, de célszerű értékét és az R_1 ellenállás értékét is úgy megválasztani, hogy az MCU ADC bemenetének felbontását maximálisan ki tudjuk használni. Egy 12 bites ADC az MCU tápfeszültségét 2^{12} részre osztja fel, azaz a 0 V-hoz 0, a tápfeszültséghez 4096 érték tartozik. 5 V tápfeszültség esetén a felbontás 0,00122 V. Ha az NTC 25 °C-on vett ellenállásával megegyező értékű R_1 ellenállást választunk, akkor 25 °C-on a mért feszültség éppen a tápfeszültség fele lesz.

$$U_{NTC} = U_{\text{táp}} \left(1 - \frac{R_1}{R_{NTC} + R_1} \right) \quad (8)$$

Abban az esetben, ha $R_{NTC} \gg R_1$ (nagyon alacsony hőmérsékleten) a mért feszültség tart a tápfeszültség értékéhez, míg magas hőmérsékleten, ahol $R_{NTC} \ll R_1$ U_{NTC} tart a nullához. Az ADC teljes felbontását kihasználtuk ezzel az elrendezéssel 0 – $U_{\text{táp}}$ tartományon (az alábbi ábrán 5 V-os MCU tápfesz. esetén):



3. ábra. NTC illesztése az MCU ADC (analóg) bemenetére

A hőmérséklet meghatározása az 1. módszert használva a 4. ábrán látható C kódrészlettel valósítható meg.

```
// Voltage dividers
const float ref_voltage = 5; // voltage on pullup resistors in the design [V]
const long pullup_resistor = 10000; // pullup resistor value [Ohm]
const int beta_value = 4390; // NTC beta value [K]
const int resistance_25 = 10000; // NTC R25 value [Ohm]
float resistance_value; // NTC resistance @ T [Ohm]
float temperature_value; // NTC temperature T [decC]
float measured_voltage; // NTC voltage drop [V]

// NTC sensor part:
ain_NTC_value = analogRead(ain_NTC_pin);
measured_voltage = ain_NTC_value * ref_voltage / 1023;
resistance_value = (pullup_resistor*ref_voltage / (ref_voltage-measured_voltage))-pullup_resistor;
temperature_value = beta_value/ log(resistance_value/(resistance_25*exp(-1*beta_value/298))) -273;
sprintf(sensordata, "T%06d", (long) (temperature_value*100));
```

4. ábra

Egyedi kivitelű NTC

Ha vevő-, vagy alkalmazás specifikus jellemzők egyedi beállítására van szükség az NTC tervezésekor, akkor feltétlenül olyan gyártópartnerre van szükség, aki eléggé flexibilis ahhoz, hogy az akár gyakran változó vevői igényekre is gyorsan reagáljon. Ehhez saját komponensfejlesztésre és saját NTC chipgyártásra van leginkább 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 szétválgása). A precíz gyártástechnológiával válogatás nélkül is el lehet érni a $\pm 0,05\%$ toleranciát.

Kivételesen nagy pontosság

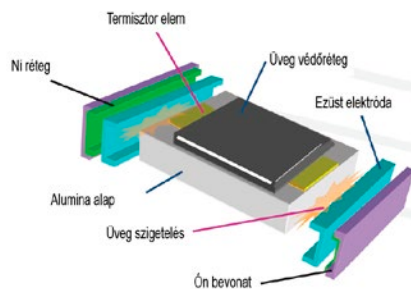
Nagy méréspontosságot igénylő feladatok esetén nem csak az ellenállásérték kezdeti alacsony toleranciája lényeges, hanem annak hosszú távú időbeni stabilitása is. A kezdeti szűk tolerancia és ezzel együtt járó kis hiba szokásos elvárás az NTC-vel szemben, de mi történik, ha az ellenállásérték az idő előrehaladtával változik? Ennek a fő oka a levegő nedvességtartalmának esetleges behatolása a porózus kerámia félvezető anyagba, melynek negatív hatását üveg passzivációs védőréteg kialakításával lehet csökkenteni. Vezető Japán gyártónk, a Tateyama vastagréteg

SMD termisztorai kerámia szubsztrátra (96% Al_2O_3) kerülnek, és az NTC anyagát üveg védőréteg borítja a pára és a jelenlévő egyéb káros gázok behatolásának megelőzésére (lásd 5. ábra).

Ez a felépítés továbbá kellőképpen ellenállóvá teszi a komponenszt a hőtágulás okozta mechanikai stressz-hatásokkal szemben is, gyártói és vevői tesztek is bizonyítják, hogy az NTC nem sérül még többszöri nagy hőmérséklet különbségnek való kitettség esetén sem. Ez kiváló forraszthatóságot és nagyfokú megbízhatóságot biztosít az alkatrész számára. Az alkalmazott üvegborítás miatt sem a páratartalomra sem az olyan agresszív korródáló gázok jelenlétére, mint a például a kéndioxid nem érzékeny. További előnye a Tateyama szabadalmaztatott vastagréteg gyártástechnológiájának, hogy tetszőlegesen beállítható $R_{25} - (100 \Omega - 2 \text{ M}\Omega)$ 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 méretekből rendelhető. Kedvező árak és hosszú távú stabilitásuk miatt eredményesen integrálhatóak klímavezérlőkbe, háztartási gépek elektronikájába, hőmennyiség mérőkbe, vagy éppen akkumulátoros kéziszerszámok töltőelektronikájába.

A vastagréteg termisztor technológia egészen 150 °C-ig használható. Minél kisebb a komponens, annál kisebb a hőterheltsége, 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 félvezető anyagból készülnek. Jellemzőjük a B és az R_{25} értékre vonatkoztatott ala-



5. ábra. Tatemaya NTC felépítése

cseny 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. A vékony, mindössze 0,5 mm vastag kapton szalag NTC-k elsősorban a tölthető elem technikában használatosak. A "KT" család a Semitec SMD NTC sorozata kiváló ára mellett legnagyobb előnye az üveg védőréteg biztosította hosszú távú stabilitás, melyet a hőmenyiség mérőórák számára elengedhetetlenül szükséges, mert azok kalibrálás nélkül is minimum 10 évig pontosan kell, hogy működjének. Az "AT-4" sorozat elsősorban kéziszerszámokban való használatra lett kifejlesztve, különösen a 6,8 k Ω -os típus, mely ajánlott felhasználási területe az akkumulátor töltőelektronika hőmérséklet monitorozása.

Az NTC, vagy a Platina RTD (Pt100-PT1000) chippek, melyek a fent leírt

technológiák valamelyikével készülnek nem csak önállóan, hanem valamilyen konfekcionált, egyedi kialakítású hőmérsékletszenzorba építve is használhatók. Speciális kábelkivezetéssel (PVC, tefflon, hidegkötéses huzal, halogénmentes, IP68 védett, élelmiszer-konform stb.) és egyedi alkalmazás specifikus 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 igényelnek, másoknál az a fontos elvárás, hogy zord környezeti feltételek mellett is működjének, ahol a környezeti hőmérséklet elérheti az akár $+1000$ °C-t is. Egyes orvos elektronikai alkalmazásokban a miniatűr kivitel az elvárás, mert például katéter részeként a vénában áramló vér hőmérsékletének mé-

rése a feladat, máshol, ahol csak egyszerű hőmérsékletkompenzálást kell végezni, az ár lehet kritikus tényező.

Mi, az Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH-nál készek vagyunk arra, hogy technikai és kereskedelmi oldalról is támogassuk vevőink egyedi vagy szten-derd hőmérséklet szenzort igénylő alkalmazásfejlesztését. Évtizedes tapasztalatunk a területen és a mögöttünk álló beszállítók professionalitása a biztosíték, hogy sikeresen tudjunk együttműködni akár orvoselektronikai, általános ipari, háztartási elektronikai vagy autói-
ipari területen is.



KISS ZOLTÁN,
OKL. VILLAMOSMÉRŐK, EXPORTIGAZGATÓ

ENDRICH BAUELEMENTE VERTRIEBS GMBH
WWW.ENDRICH.HU

Nincs ideje kivárni
következő lapszámunk megjelenését?
Látogassa meg naponta frissülő portálunkat!

www.elektro-net.hu



FOTOELEKTROMOS ÉRZÉKELŐK A GYAKORLATBAN A MOZGÁS IRÁNYÁNAK FELISMERÉSE

A különböző ipari automatikai alkalmazásokban leggyakrabban kétféle érzékelőket használnak, úm.: fotoelektromos, valamint induktív (közelítésérzékelő) szenzorokat. Mindkettőnek megvannak a maga hátrányos és előnyös tulajdonságai, amelyek jellemzően meg is határozzák az alkalmazási területeiket. És valóban: említsük például azt, hogy az indukciós szenzor képes érzékelni az átlátszatlan, nemfémes akadály mögött elhelyezkedő fémes objektumot, a fotoelektromos szenzornak viszont ezen képesség hiányában valamilyen fénytartományban „látnia kell” a tárgyat. Másrészt viszont, ha a második esetben lézertényt használunk, akkor a detektálás hatótávja nagyon nagy is lehet, elérheti pl. a többször 10 méter távolságot is. Ilyen hatótávval az induktív érzékelő nem dicsekedhet

A fotoelektromos érzékelő működése az adóegység által emittált és a vevőegység fényérzékeny elemére eső fénycsóva erősségének mérésén alapul. Az érzékelő rendeltetésétől függően alkalmaznak különböző

típusú fényeket, ill. modulálják a fénycsóvát. Leggyakrabban az emberi szem által láthatatlan infravörös fényt alkalmazzzák. Ennek köszönhetően a detektálás a figyelem elterelése nélkül megtörténhet, de en-

nek megvan persze a hátránya is, amiről bárki meggyőződhetett, amikor pl. egy olyan érzékelőt kellett kapuba szerelnie, melynek meg kell akadályozni annak becsukódását, ha egy jármű áll benne. Éppen ezért szerelési munkálatok közben kiegészítő kellékként gyakran használnak lézeres jelölőket, melyek megkönnyítik a vevő és adóegységek kölcsönös pozicionálását.

Számos fotoelektromos érzékelő el van látva működésjelző diódákkal, beleértve az adó és vevő helyes együttműködését jelző LED-eket is. Ezen diódák állapotának és színének megfigyelésével elősegíthető az érzékelők megfelelő módon történő felszerelése, valamint a kimenet státuszának vagy az objektumreakció megfelelőségének a meghatározása, ami különösen fontos, ha az érzékenység szabályozható.