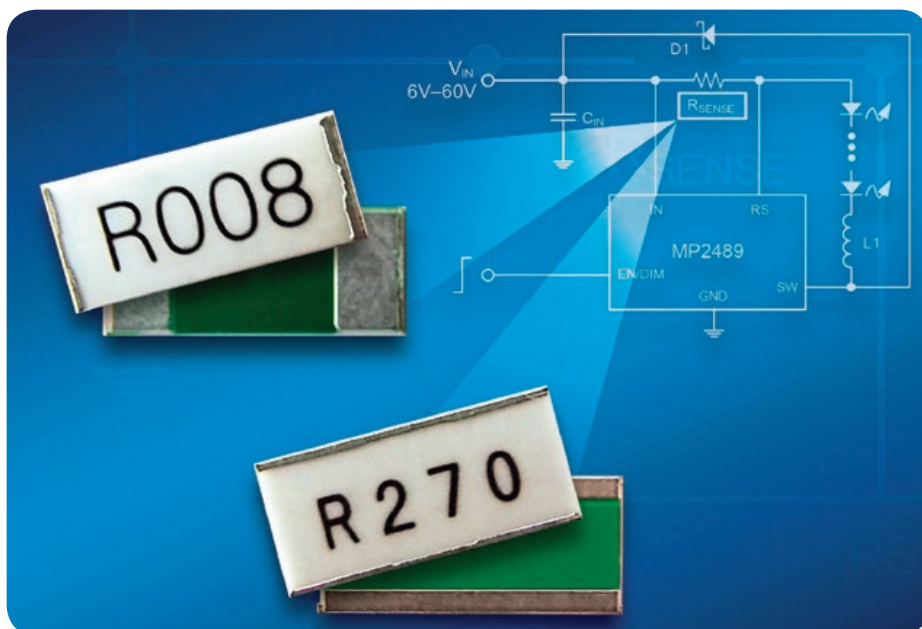


Áramérzékelő ellenállások technikai paramétereit

Elektronikai áramkörben való árammérésre manapság leggyakrabban pontos értéken tartott, alacsony ellenállású áramérzékelő csipellenállásokat használnak, és a rajtuk eső feszültséget mérve az áramérték az Ohm-törvényen alapulva kalkulálható.



Az ilyen eszközökkel szemben támasztott követelmények a szobahőmérsékleten értelmezett szűk tolerancia, annak alacsony hőfüggése (TCR), a nagy névleges teljesítmény és a kis méret. Azonban vannak más faktorok is, melyek befolyásolják a mérés pontosságát. Például az ellenálláson magán keletkező hőveszteség hőmérsékleti hatása (PCR), az ellenállás anyagának a mérés pontosságára gyakorolt hatása, illetve, elsősorban nagy frekvencián használt áramérzékeléskor, az ellenállás ekvivalens soros induktivitásának jeltorzító hatása. Írásunkban ezeknek a jelenségeknek az értelmezésével és a mérés pontosságára gyakorolt hatásukkal foglalkozunk egy vezető precíziósellenállás-gyártó, a japán Susumu cég KRL sorozatú söntellenállásainak bemutatásával.

Csipellenállások katalógusadatai

Az alacsony ellenállású áramérzékelő csipellenállások először túláramvédelmi megoldásként tápegységek áramköreibe kerültek felhasználásra, majd a DC/DC konverterek egyre szélesebb körben való elterjedésével az elektronikus eszközök tápegységeiben váltak kulcsfontosságú elemekké az áramérzékelés és -beállítás területén. Amikor egy tervezőmérnök különböző gyártóktól származó áramérzékelő ellenállásokat hasonlít össze, ha egyedül az adatlapokban szereplő TCR- (Thermal Coefficient of Resistance – ellenállás-stabilitás a környezeti hőmérséklet-változás függvényében) értékeket figyelembe véve jár el, nem fog precíz információt kapni a mérés várható pontosságáról, mert a mérendő áram hatására keletkező hő miatt is változik az ellenállás. Egy komponens betervezésekor első

közelítésben a komponens gyártói adatlapjában szereplő értékeket szokás figyelembe venni, azonban ajánlatos ezeket az adatokat az alkalmazásbeli vagy laboratóriumi teszteléssel valós viszonyok közt is ellenőrizni. Csipellenállások esetén a klasszikus paraméterek, mint az ellenállás, névleges teljesítmény és a szobahőmérsékletre megadott ellenállás-tolerancia értékei, mellett nagy hangsúlyt kell hogy kapjon a már említett TCR-érték is, annak megállapítására, hogy hogyan fog változni az ellenállás, ha a környezeti hőmérséklet emelkedik.

Például egy ± 100 ppm (TCR) pontoságú komponens ellenállása a környezeti hőmérséklet egy $^{\circ}\text{C}$ vagy $^{\circ}\text{K}$ fokkonkénti változásakor a névleges

értékhez képes 0,01%-ot változik, amely 100 $^{\circ}\text{K}$ hőmérséklet-eltérés esetén már 1% pontatlanságot okoz, ami kültéri vagy autóiipari alkalmazásokban szokásos érték. Bár az áramérzékelő ellenállások kis ohmos értékkel rendelkeznek, nagy áramok mérésekor az sem mindegy, hogy a saját hőtermelés mennyire befolyásolja a pontosságot. Az elektronikus eszközöktől elvárt feladatok mennyisége és a jelfeldolgozási sebesség növekedésének igénye az áramkörtervezőket olyan kihívások elé állítja, mint a nagyfrekvenciás zajok kezelése. Nagyfrekvencián az ellenállásnak mint vezetőnek a saját induktivitása is jelentős faktor az eredő impedanciában, jelentősen befolyásolja annak viselkedését.

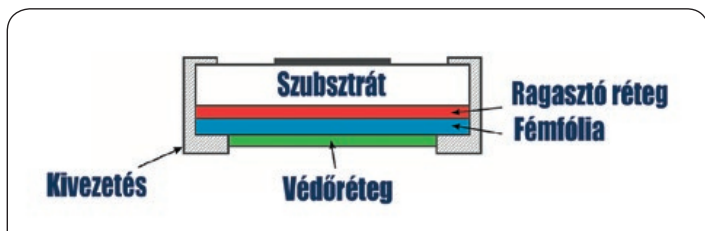
Cikkünkben a Susumu Japán precíziósellenállás-gyártó cég KRL áramérzékelő ellenállás sorozatában alkalmazott megoldásain keresztül mutatjuk be azt a kívánatos szerkezetkialakítást, ami lehetővé teszi a megbízható érzékelést. A KRL sorozat rendkívül népszerű a kis ellenállásérték melletti nagy névleges teljesítménye és kis öninduktivitása miatt, mely utóbbi lehetőséget ad a nagyfrekvenciás zajok elkerüléséhez, amit a speciális hosszúoldali kivezetések alkalmazásával érnek el. Ennek a konstrukciónak az előnye az is, hogy a keletkező hő is könnyebben távozik a szélesebb forrasztások mentén a nyomtatott áramkör felé. A KRL áramérzékelő ellenállások alkalmasak akár a háztartási gépek és berendezések nagyáramú elektronikai áramköreibe, akár autóiipari alkalmazásokban való használatra, mert rendelkeznek az AEC-Q200 tanúsítványokkal is.

Áramérzékelő ellenállások saját melegedése

Az áramérzékelő ellenállások hővesztesége arányos az ellenállásértékükkel és a rajtuk átfolyó – mérni kívánt – áram erősségével, az Ohm-törvényből származtatva:

$$P = UI = I^2R$$

Az ennek hatására fellépő hőmérséklet-változás a környezeti hőmérséklet változásának hatására fellépő ellenállás-változáshoz adódva tovább növeli a mérési pontatlanságot, ezért értékét minimalizálni kell. Egyik lehetőség az ellenállás értékének csökkentése, a legtöbb gyártó ebben a kategóriában általában milli- vagy mikroohm nagyságrendben kínál komponenseket. Azonban az ipari trendek hatására folyamatosan növekvő áramok mellett ez korántsem elegendő, hiszen az áram a hőveszteség keletkezésében sokkal nagyobb szerepet kap, hiszen annak képletében is a második hatványon szerepel. Emiatt elsősorban arról kell gondoskodni, hogy a keletkező hőt minél hamarabb elvezessük a komponensről, és annak hőmérsékletét ne emelje jelentősen.



KRL sorozat: A fémfólia ellenálláselem a hordozó kerámia szubsztrátum alá való ragasztásával kiváló hőleadó képességgel ruházta fel a gyártó a komponens

Ezt különböző technológiai fogásokkal lehet elérni, mint például speciális többrétegű kialakítással, ahol a vékony fémfólia ellenálláselem a kerámia hordozó alá való ragasztásával sokkal közelebb kerül a nyomtatott áramkörhöz, így a keletkező hő gyorsabban elvezethető, mint a versenytársak megoldásainál, ahol az ellenálláselem a szubsztrátum tetején van, így a hő nagy részét a rosszabb hőátadási együtthatójú környező levegőbe kell disszipálni.

TCR és PCR

Ahogy azt korábban írtuk, sőtellenállások összehasonlításakor egyedül a TCR nem ad megfelelő tájékoztatást a mérés várható pontosságáról, hiszen az ellenállás nemcsak a környezeti hőmérséklet változásának hatására változik, hanem a saját melegedés is befolyásolja. Így a TCR mellett még egy paramétert figyelembe kell venni, a PCR-t (Power Coefficient of Resistance). Egy kisebb TCR-értékű komponens akkor tud pontosabb mérést végrehajtani a konkurens termékénél, ha az önmelegedésével együtt is szignifikánsan kisebb az ellenállás-változás.

Példa: A táblázat második sorában bemutatott vastagréteg sönt az alacsonyabb TCR-értéke miatt elvileg pontosabb mérési értékeket kellene hogy adjon, mint a magasabb TCR-rel rendelkező KRL. Az $R = 100 \text{ m}\Omega$ szobahőmérsékleten értelmezett névleges ellenállással rendelkező alkatrészek azonban strukturális kialakításuk miatt jelentősen eltérő saját melegedésre jellemző

értékekkel rendelkeznek. Ebben a példában a „B” típus az alacsonyabb TCR-értéke ($\pm 40 \text{ ppm}$) mellett $100 \text{ }^\circ\text{K}$ -kal, míg a KRL fémréteg-ellenállás a magasabb TCR ($\pm 50 \text{ ppm}$) mellett is csak $60 \text{ }^\circ\text{K}$ -kal melegszik (lásd táblázat).

A saját melegedés hatására megnövekedett ellenállás a következő képlettel számítható: $R = R_0 \text{ TCR } \Delta T$

„B” ellenállás esetén: $100,4 \text{ m}\Omega$

KRL ellenállás esetén: $100,3 \text{ m}\Omega$

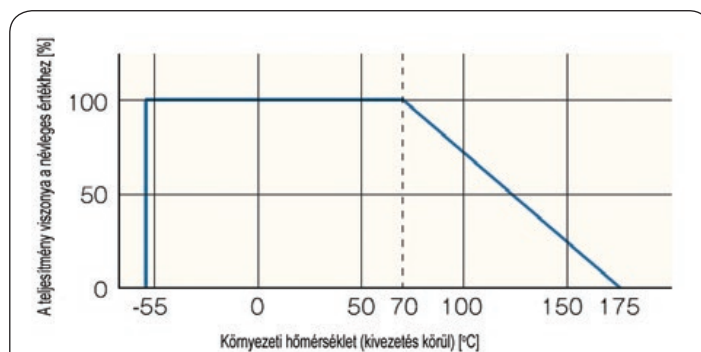
Típus	Technológia	TCR[ppm]	Saját melegedés ΔT [°K]	Névleges ellenállás R_0 [mΩ]	Valós ellenállás R [mΩ]
KRL	Fémfólia a kerámia alatt	+/- 50	60	100	100.3
„B”	Vastagréteg sönt	+/- 40	100	100	100.4

A fémfólia KRL áramérzékelő ellenállás sorozat és egy vastagréteg sönt TCR- és PCR-értékeinek összevetése

Megállapítható, hogy a TCR magasabb értéke ellenére is precízebb, stabilabb ellenállásértékkel, így nagyobb mérési pontossággal rendelkezik a jobb hőleadást biztosító konstrukciójú KRL fémréteg áramérzékelő ellenállás, mint a kisebb TCR-rel rendelkező, de jobban melegedő konkurens termék.

Teljesítménydegradáció

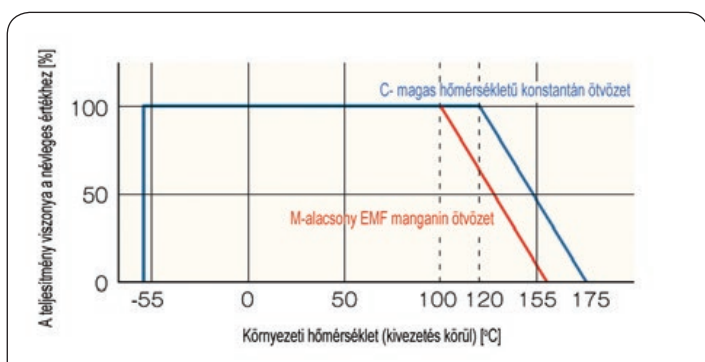
Mind anyagtechnológiai, mind kialakításbeli változtatásokkal befolyásolható az a maximális névleges teljesítmény, melyet a komponens termikus korlátjai határoznak meg. Ezek felmérését vagy az alkatrész felületén, vagy a terminálokon végzett hőmérsékletméréssel végzik. Amikor a hőmérséklet eléri a felső határértéket, a komponens hőleadási képessége csökken. Az a maximális teljesítményveszteség, ami mellett az ellenállás értéke változatlan marad, az alkatrész hőleadási képességétől jelentősen függ. Azért, hogy elkerülhessük a nominális teljesítmény csökkenését, lehetőleg a konstrukció kialakításával a lehetőségekhez képest egyenes hőelosztást kell biztosítani a komponensben, és el kell kerülni a hotspot kialakulását. Az ellenállások névleges teljesítmény szerinti osztályozása azon alapul, hogy mekkora az az energia, amit a komponens hő formájában károsodás



Hagyományos sönt: Teljesítménycsökkenési diagram

nélkül képes leadni. A legtöbb gyártó általában 70 °C-on és szabad légáramlatban specifikálja a névleges teljesítményt, efeletti hőmérsékleten az alkalmazható teljesítmény az anyag károsodásának elkerülése miatt csökken. Az a hőmérséklet, melyhez már nem tartozik teljesítmény, a komponens maximális tárolási hőmérséklete is egyben.

A Susumu KRL sorozatai esetén, attól függően, hogy az ellenálláselemnél alkalmazott anyag a jobb hőmérséklet-állóságú konstantánötvözet, vagy az alacsonyabb termikus EMF- (Seebeck effektus) értékkel bíró mangáninötvözet, a teljesítménycsökkenés csak magas hőmérsékleten, 100–120 °C-on jelentkezik. Ez az oka annak, hogy a KRL sorozat egyes elemei más gyártók ugyanakkora méretű termékeinél nagyobb névleges teljesítménnyel rendelkeznek, vagy ugyanakkora teljesítményen használva kisebb tokozású áramérzékelő is elegendő.



„C” és „M” típusú KRL áramérzékelő ellenállás: Teljesítménycsökkenési diagram

Áramérzékelés a gyakorlatban

Az áramérzékelő ellenállásokkal történő fent leírt módszer akár autóiipari alkalmazásokban, akár háztartási gépek elektronikai részegységeiben is megbízhatóan használható. Ilyen megoldások találhatóak például a gépjárművek csomagtartónyitó vagy ülésbeállító automatikáiban, szelepvezérlésekben, de a fékrendszerek is precíz árammérésre igényelnek. Egy háztartásokban használt takarítórobotokra specializált felhasználó például egyszerre három problémát oldott meg a KRL áramérzékelő ellenállások használatával.

A robot tápegységének DC/DC konvertere egy 10 mΩ-os söntellenállás használatát igényelte, melyet minimum 2 W-os névleges teljesítményre kellett méretezni a 10 A feletti áramok mérésére, mivel a kontroller bemeneti feszültsége 100 mV nagyságrendű. A kereskedelemben kapható 2 W-os névleges teljesítményű áramérzékelő ellenállásai rendszerint 2512 méretben kaphatók, de itt ez a méret nem fért el a szűk hely miatt. A Susumu KRL sorozatának hosszúoldali kivezetésű kivitelű változataiból választva, egy kisebb 2010 tokozású ellenállás is elegendő volt, részben a fent leírt speciális konstrukció, részben pedig a szélesebb kivezetések nyújtotta kedvezőbb hőelvezetési jellemzők miatt.

Az ellenálláselem anyaga

Mivel az áramérzékelés egy precízen tartott, jól ismert értékű ellenálláson való feszültségmérésen alapuló kalkulációs módszer, minden olyan tényező, ami ennek a mért feszültségnek az értékét befolyásolja, a mérés

pontatlanságához vezet. Ilyen hatás a melegedés fent részletezett ellenállás-változtató hatása (TCR és PCR), de egyéb hatásokkal is találkozhatunk a gyakorlatban. Az ellenállás konstrukciójából adódóan különböző fémek alkotnak kapcsolódási pontokat, melyek és a kivezetések közt a külső hőmérséklet változásakor mikrovolt nagyságrendű hőmérsékleti elektromotoros erő ébred (EMF), ami az ellenálláson eső feszültséghez adódva torzíthatja a mérést. A jelenség a termoelem (Seebeck)-effektussal magyarázható.

Az eltérő anyagú fémek, mint például a kivezetések réz anyaga, illetve az ellenálláselem fémötvözetei (konstantán, mangánin stb.), közös pontokon kapcsolódnak, és ha ezeket a pontokat hő éri, akkor mini hőelemként viselkednek, és jelentkezik az EMF. A konstantánötvözetből készült ellenállások, bár jobban bírják a magasabb hőmérsékletet, nagyobb EMF-et gerjesztenek rézzel kombinálva, mint ha mangáninötvözetet választanánk alapanyagul. Ha ez a hatás jelentkezik az applikációban, érdemes ilyen alacsony EMF-fel rendelkező mangánin anyagú ellenállást választani.

Egyenértékű soros induktivitás (ESL)

Nagyfrekvencián alkalmazva a söntellenállást, annak impedanciáját már nemcsak az ohmos ellenállása, de az induktív reaktancia is befolyásolja, mert mint minden vezető, ez is rendelkezik parazita induktivitással, amit az áramkörü modellben az ESL jellemez. Az induktivitás értékét a jeltorzulás korlátozásához a lehető legkisebb értéken kell tartani. Manapság az elektronikus eszközök nagy része kíván olyan sokféle és pontos tápfeszültséget, melyet csak DC/DC konverterekkel lehet biztosítani jó hatásfokkal. Ezek a kapcsolóüzemű eszközök több száz kHz frekvencián működnek. Amennyiben az alkalmazott áramérzékelő ellenállás induktivitása nagy, a kapcsolási impulzusokban zaj jelenik meg, amely a vezérlés pontosságát negatívan befolyásolja. Az induktív reaktancia egyenesen arányos mind a frekvenciával, mind az induktivitás értékével, ezért adott frekvencián csak az ESL csökkentésével minimalizálható:

$$Z \sim 2 \pi f \text{ ESL}$$

Látható, hogy amennyiben az ESL értéke kellően kicsi, a zaj elhanyagolható lesz.

Egy egyenes (nem tekercselt) vezető parazita induktivitása az alábbi közelítő formulával kalkulálható:

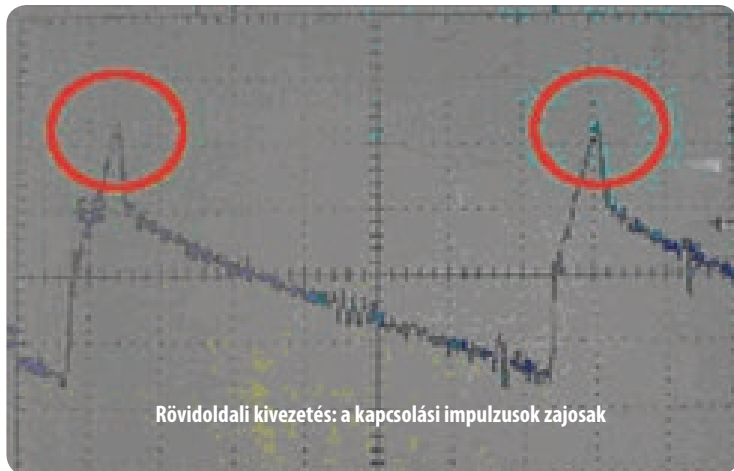
$$L = 0,002 h(2.303 \log 104h/d - 1 + \mu/4)$$

Ahol

h: vezető hossza,
d: vezető szélessége,
μ: permeabilitás

Az anyag permeabilitásának és a kivezetés hosszának növekedésével az eszköz induktivitása nő, míg a szélesség növekedése az induktivitás csökkenéséhez vezet. Ebből következően adott anyag esetén rövid, de vastag kivezetés alkalmazásával lehet alacsony ESL-értéket

realizálni. A Susumu emiatt úgy alakítja ki a KRL sorozatú csipellenállásainak egyes változatait, hogy azok hosszabb oldalain találjuk meg a hozzávezetéseket, így a rövid, de vastag mechanikai kiképzés miatt alacsony parazita induktivitás jellemzi ezt a sorozatot, miközben egyben növekszik a sönt hőleadó képessége is.



Rövid- és hosszúoldali kivezetésű áramérzékelők összehasonlítása DC/DC konverterben való használatkor, a kapcsolási zajok szempontjából

Az ábrán a bal oldali oszcilloszkóp-képernyő rövidoldali kivezetésű ellenállás használata melletti zajos hullám alakot mutat, míg a speciális alacsony ESL-változat esetén a zaj – a jobb oldali képernyőábrán szerint – jelentéktelen. Ezzel az egyszerű módszerrel a tervező számára elkerülhetővé válik költséges zajelnyomó áramkörök használata.

Hosszúoldali kivezetés – jobb hőelvezetés és jobb jel-zaj viszony

A Susumu hosszúoldali terminállal és kis ellenállással bíró csipellenállásait a teljesítmény növelése érdekében fejlesztették, és nagyon népszerűek. Ugyanakkor az elektronikai eszközök egyre nagyobb sebességigénye és működési frekvenciája miatti olyan speciális elvárásoknak, mint például az alacsony ESL-érték, ezek a hosszúoldali hozzávezetéssel rendelkező alkatrészek kiválóan megfelelnek. A fejlesztés iránya az áramérzékelő

ellenállások területén ma a pontosság és megbízhatóság további növelése az autóiiparhoz kapcsolódó elektronika elvárásainak megfelelően, valamint nagyobb teljesítmény (20 W) elérése, melyre elsősorban ipari invertereknél van szükség.

Az alacsony parazitainduktivitás zajelnyomó hatása miatt a mérési pontosság szignifikánsan nő. Az elektronikus eszközök töltésvezérlőiben az akkumulátor közelében a feltöltés és a kisütés közben jelentős hő keletkezik, itt az eszközök hőmérsékleti jellemzői játszanak kulcsszerepet. A fordított struktúra (az ellenállás fólia a kerámia alá van ragasztva) miatt nem alakulnak ki hot spotok, a PCB felé való gyors hőátadás, valamint a széles forrasztási terminálok miatti további hőleadás pedig a TCR/PCR mérési pontosságra való negatív befolyását csökkentik.

Susumu KRL áramérzékelő sorozat

A Susumu KRL áramérzékelő ellenállás sorozatai (disztribúció: Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH) minimális ellenállásértékekkel magas névleges teljesítményre, így elsősorban áramerősség-mérésre lettek tervezve. A fémfólia ellenállás elem a hordozó kerámia szubsztrátum alá ragasztva egyedi hűtést biztosít a komponens számára, mert a hő a nyomtatott áramkör felé sokkal gyorsabban képes távozni, mint a konkurens termékekénél felül elhelyezkedő hőforrásból a rossz hővezető levegőn keresztül a környezet felé leadott hő (1. ábra). A KRL sorozatokat továbbá alacsony zaj, alacsony parazitainduktivitás és termikus elektromotoros erő (EMF) jellemzi, így a mérés pontossága növelhető, miközben a komponensek robusztusak, és mechanikai méreteik is kisebbek adott névleges teljesítményen, mint sok versenytárs hasonló alkatrészeinél.

Az inverz felépítés nem csak a hőleadási képességeken javít, a szerves ragasztóréteg csillapítja a nyomtatott áramkör és a kerámia hordozó eltérő hőtágulásából eredő mechanikai stresszt is. A komponensek így biztosítják az autóiipari AEC-Q200 szabvány előírásainak betartását a legnagyobb tokozások alkalmazása mellett is. A KRL sorozat elemei különböző kivitelben kaphatók: 1 mΩ–1 Ω ellenállásértékekkel, 0603–4320 tokozásokban, 0,25–10 W névleges teljesítményosztályokban, standard 50 ppm TCR és ±1% szobahőmérsékleti ellenállás-toleranciával rövid-, hosszúoldali 4K és arany kivezetésekkel.

Felhasznált irodalom: [Tobias Jung – TCR- und PCR-Effekt in Strommesswiderständen – Kühl kalkuliert]

