

ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK

PASSZÍV ESZKÖZÖK I

3. ELŐADÁS

- Passzív eszközök: vezetők, ellenállások (állandóértékű, változtatható, változó)
- Ellenállások tulajdonságai és fizikai tulajdonságai
- Hőmérsékletfüggő effektusok
- Termisztor, varisztor

ELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK

Elektronikus alkatrészek gyártásánál (szerkezeti felépítésénél, burkolásánál) figyelembe kell venni azokat a körülményeket, amelyek között felhasználásra kerülnek.

Az ezekkel kapcsolatos követelményeket nemzetközi szabványok írják elő és környezetállósági jellemzőknek (klímaállósági és mechanikai jellemzők) nevezik.

ELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK

Ilyen különleges követelménynek számít, ha az alkatrészeket alacsony hőmérsékleten ($-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig), száraz melegben (max. $155\text{ }^{\circ}\text{C}$) vagy tartósan nedves melegben (trópusi körülmények között) akarjuk üzemeltetni.

Lényegesen a várható mechanikai hatások is (rázás, ejtegetés, a kivezetések húzása, hajlítása, csavarása) a kivitelezés szempontjából.

Különösen szigorú előírások vannak a katonai berendezésekben használatos alkatrészekkel szemben.

A katalógusokból ezen körülmények kielégítéséről részletes felvilágosítást kapunk.

ELLENÁLLÁSOK

Ellenálláscsoportok (ellenállás volta szerint):

- Állandó értékű ellenállások
- Változtatható ellenállások
- Változó ellenállások

Állandó értékű ellenállások, amelyek értéke sem kézzel, sem mechanikai eszközökkel nem változtatható és lehetőség szerint független a hőmérséklettől vagy a rajta levő feszültségtől és áramtól.

ELLENÁLLÁSOK

Változtatható ellenállások, amelyek értéke valamilyen mechanikai eljárással vagy kézzel állítható be és az így beállított érték független a kapcsolás tulajdonságaitól vagy a hőmérséklettől.

Változó ellenállások, amelyek értéke az ellenállásra kapcsolt feszültség, áram vagy ellenállás hőmérséklete szerint változik.

ELLENÁLLÁSTÍPUSOK

Ellenálláscsoportok (ellenállást képező anyag szerint):

- Rétegellenállások
- Huzalellenállások
- Tömör ellenállások

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

A rétegellenállás kerámia hengerre vagy rúdra felvitt vékony vezető rétegből áll. A kerámia test nagyságát a terhelésnél keletkező hő szabja meg; olyan nagyra kell méretezni, hogy névleges terhelés esetén az ellenállás test legfeljebb 70-80 °C-kal legyen magasabb, mint a 25 °C környezeti hőmérséklet.

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

A vezető réteg felvitele után a pontos értéket legtöbbször a vezető rétegbe köszörült spirális horony segítségével állítják be, ezáltal meghosszabbodik az ellenállás pálya.

A vezető réteg fajlagos ellenállásának, vastagságának, valamint a köszörülési menetemelkedésnek megválasztásával néhány ohmtól több száz Mohmig terjedő ellenállásértéket lehet beállítani.

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

Az ellenállásokat elektromos kivezetésekkel látják el, amelyek lehetnek mélyhúzott fémsapkák, bilincsek vagy egyszerűen huzalkivezetések.

A kivezetővel ellátott rétegellenállást lakkréteg védőbevonattal látják el: ez egyrészt a mechanikai sérülések, másrészt a nedvesség behatolása ellen nyújt védelmet.

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

A szénréteg-ellenállások gyártásához kis fajlagos ellenállású ($3 \cdot 10^3 - 10^6$ ohm·mm²/m) grafitból és bakelit-lakk masszát készítenek.

A masszát szórópisztollyal viszik fel a kerámia testekre, a bevonó réteget megszáritják és 200 °C-on a bakelit-lakkot bakelitté alakítják át.

Időbeni stabilitásuk elég rossz, ma már nem gyártják.

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

A kristályos szénréteg-ellenállás gyártása során vákuum kemencében magas hőmérsékletű szénhidrogén gőzökből jól tapadó kristályos szénréteg rakódik le a kémiaailag tiszta kerámia testekre.

A fényes, szürke szénréteg vastagságát $10^{-2} - 10^{-6}$ mm között be lehet állítani.

Mivel kötőanyagot nem tartalmaz, így stabilitásuk nagy.

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

A kristályos bőrkarbon-rétegelLENÁLLÁS előÁLLÍTÁSA hasonló a kristályos szénréteg-ellenÁLLÁSOKÉHOZ. Azonban a szénhidrogénekhez bőrt tartalmazó vegyületet is adagolnak.

A bőr beépül a kristályos szerkezetű szénrétegbe. Az így keletkezett bőrkarbon réteg hőmérsékleti tényezője kb. egy nagyságrenddel kisebb mint a kristályos szénrétegé és fajlagos terhelhetősége is nagyobb.

Ez lehetővé teszi a geometriai méretek csökkenését, a stabilitásuk is jobb.

RÉTEGELLENÁLLÁSOK

A legjobb mechanikai és villamos tulajdonságokkal a fémréteg-ellenÁLLÁSOK rendelkeznek.

A nemes vagy félnemes fémréteget vákuumgőzölögtetéssel, katódporlasztással vagy kémiai úton viszik fel a kerámia vagy üveg testre.

Vastagságuk 10^{-6} mm nagyságrendű.

Stabilitásuk különösen jó, több ezer Mohm értékű ellenÁLLÁSOK is készíthetők ilyen módon.

TÖMÖR ELLENÁLLÁSOK

Az első tömör ellenÁLLÁSOK szilítellenÁLLÁSOK VOLTAK. Anyaguk szilíciumkarbid volt.

A mai tömör ellenÁLLÁSOK anyaga a grafit-koromkötőanyag massa vagy különböző fénoxidok, grafit és préspor keveréke.

Ebből rudacskákat sajtolnak, amelyek végébe egyidejűleg bepréselik a kivezető huzalvégeket is, majd szigetelő csőbe (bakelit, porcelán) helyezik.

Mivel teljes vastagságukban részt vesznek az áramvezetésben, sokkal jobban terhelhetők.

Egyszerű felépítésük miatt tömeggyártásra kiválóan alkalmasak, viszont hátrányuk az, hogy az ellenÁLLÁS értékét utólag nem lehet beállítani.

HUZALELLENÁLLÁSOK

A huzalellenÁLLÁS két előnyös tulajdonságot mutat a rétegelLENÁLLÁSAL szemben: nagyobb a stabilitása és a terhelhetősége.

A huzal anyaga kisebb értékű és stabilabb ellenÁLLÁSOK esetében konstantán vagy mangánin, nagyobb terhelhetőségű és nagy értékű ellenÁLLÁSOKAT krómnikkelből készítenek.

A nagy pontosságú és stabilitású normáellenÁLLÁSOKAT mangánin huzalból készítik egyrészt az igen kicsi hőfoktényezője, másrészt a rézhez viszonyított kis termofoeszültsége miatt.

HUZALELLENÁLLÁSOK

A gyártás során porcelán vagy kerámia csőre különlegesen pontos szálvezetővel ellátott tekercselő géppel tekercselik fel az ellenÁLLÁSHUZALT, majd kivezetőkkel látják el, amelyek az elektromos csatlakozáson kívül felerősítésül szolgálnak.

A kivezetés céljára rendszerint csavaros vagy szegecselt bilincset alkalmaznak.

A kész ellenÁLLÁST lakk-, zománc- vagy cementburkolattal látják el. Ez egyrészt rögzíti a meneteket az elmozdulás ellen (meggátolja a menetzárlatot), másrészt védelmet nyújt a nedvesség ellen. Az összefüggő, nagy felület jobb hűtést is biztosít.

ELLENÁLLÁSJELÖLÉSEK

A kész ellenÁLLÁSOKON A NÉVLEGES ÉRTÉKET színjelöléssel vagy bélyegzéssel tüntetik fel. Az ellenÁLLÁS-színskála színeit és az azoknak megfelelő számértékeket speciális táblázatban adják meg.

Az első színgyűrű az, amely az egyik sapkához közelebb eső részen van. Indukciószegény kivételnél az első az a színgyűrű, amely a sapkán levő jelzéssel ellentétes oldalon van, az utolsó pedig az, amely a sapkára kerül.

Az első négy gyűrű a névleges ellenÁLLÁSÉRTÉKET jelöli (pontosabban az első gyűrű – az első számjegyet, a 2-ik – a második számjegyet, a 3-ik – a szorzószámot, a 4-ik – a tűrést), az 5-ik – a névleges terhelhetőséget, a 6-ik (ha van) – a kiviteli jelzést (pl. különleges, indukciószegény).

ELLENÁLLÁSJELÖLÉSEK

A ellenállás névleges értékének megadásához szorosan hozzátartozik az értéktűrés is, amely azt adja meg, hogy az ellenállás tényleges értéke hány százalékkal térhet el az ellenálláson feltüntetett névleges értéktől.

A leggyakrabban használt ± 5 (E24), ± 10 (E12) és $\pm 20\%$ (E6) értéktűréshez egy-egy értéksor tartozik.

Pl.: E24 értéksor: 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1.

VÁLTOZTATHATÓ ELLENÁLLÁSOK

A híradástechnikai és műszeriparban igen sokszor szükség van bizonyos határok között változtatható ellenállásokra.

A forgalomban levő változtatható ellenállások többségénél a csúszó érintkező a középpontba szerelt tengelyen van és a szükséges ellenállást a tengely elforgatásával állítják be.

Az utóbbi években kezdenek elterjedni a toló potenciométerek, amelyeknél a csúszó érintkező egyenes mentén mozgatható el.

Felhasználás és konstrukció szempontjából beállító és szabályozó potenciométerekről beszélhetünk.

VÁLTOZTATHATÓ ELLENÁLLÁSOK

A változtatható rétegellenállásokat lakk-grafit-korom masszából készítik, amelyet szórópisztollyal vagy öntéssel viszik fel a vékony textílbakelit lemezre.

Száritás után bakelizáló hőkezelésnek vetik alá.

Az ellenállástest szalag vagy patkó alakú, ezen csúszik a bronzlemezről, grafitból vagy ezüstözött vörösréz huzalból készített csúszó érintkező, amely háromnegyed körmozgást végezhet.

A zajmentes szabályozó érdekében az ellenálláspálya felületének tükörsimának kell lennie.

A leggyakrabban a lineáris, a logaritmus és a fordított logaritmus jellegű potenciométereket gyártják.

VÁLTOZTATHATÓ ELLENÁLLÁSOK

Olyan áramkörökhez, ahol a potenciométert nem állandó szabályozásra, hanem valamilyen villamos jellemző egyszeri beállítására használják, csavarhúzóval mozgatható réteg-potenciométert használnak (trimmer potenciométer).

A réteg-potenciométerek névleges terhelhetősége méreteiktől függően 0,05-2 W lehet.

Gyártanak fémréteg potenciométereket is, mind beállító, mind szabályozó kivitelben, amelyeknél a fémréteget megfelelően kiképzett kerámia testre viszik fel.

VÁLTOZTATHATÓ ELLENÁLLÁSOK

Változtatható huzalellenállások huzal anyaga megegyezik az állandó huzal ellenállások anyagával. Az ellenállástestet fenolfiberről, textílbakelitből vagy nagyobb terhelések esetén kerámiából készítik.

A huzalpotenciométereket általában lineáris jelgömbével készítik. Ezeknél a tekercs menetemelkedése állandó.

Mérőműszerekben gyakran nem-lineáris jelgömbű potenciométerekre van szükség. Ezekben a tekercsmenetek változó hosszúságúak.

VÁLTOZTATHATÓ ELLENÁLLÁSOK

A huzalpotenciométerek maximális értéke nem szokott nagyobb lenni, mint 30-50 kohm. Készülhetnek műanyag-, fémmházas, miniatűr és szigetelt tengelyű kivitelben.

Léteznek precíziós huzalpotenciométerek (helikális potenciométerek), amelyeket a mérés-, a szabályozás- és számítástechnika területén alkalmaznak. Jellemzőjük a nagyfokú linearitás ($\pm 0,1 \dots \pm 1\%$) és ohmikus ellenállás, a megbízható és reprodukálható beállítottság és hosszú élettartam.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Az ellenállás névleges terhelhetősége az a megengedett legnagyobb teljesítmény, amelyet adott környezeti hőmérséklet és folyamatos terhelés mellett az ellenállásra adhatunk.

Ennek értékét úgy állapítják meg, hogy tartós üzem esetén az ellenállás vezető rétege, tartóteste, szigetelése ne károsodjon.

Réteg- és huzalellenállásoknál az ellenállás geometriai méreteivel arányos az ellenállás terhelhetősége (fajlagos terhelhetőség), amely az ellenállás 1 cm² felületére adható maximális teljesítményt jelenti (W/cm²).

Rétegellenállások a következő terhelhetőségre készülnek: 0,05-0,1-0,25-0,5-1-2-3-5-10-20 W.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Öregedésnek az ellenállásoknak azt a tulajdonságát nevezzük, amely az ellenállás értékét raktározás vagy normális üzemszerű terhelés hatására megváltoztatja.

Az ellenállások öregedése függ a vezető anyag, illetve az ellenállás minőségétől, a hőmérséklettől, a levegő páratartalmától, a terhelés mértékétől.

Egy ellenállás annál stabilabb, minél kisebb a százalékos ellenállásváltozása egy adott idejű és raktározási vizsgálat után.

Stabilitási vizsgálat (normál atmoszféra, névleges teljesítményű terhelés 5000 órán keresztül + 5000 óras tárolás 50% relatív páratartalmú helyen). Az így bekövetkezett ellenállásváltozás alapján minőségi osztályokba sorolják az ellenállásokat.

A legkisebb változás a fém és a kristályos-szén, valamint a bór-karbon ellenállásoknál. A lakkréteg- és a tömör ellenállásoknál nagyobb.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Az ellenállásoknak azt a tulajdonságát, hogy hőmérséklet hatására ellenállásértéküket átmenetileg megváltoztatják, hőmérséklet-függőségnek nevezzük.

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t-20)],$$

ahol α a hőmérsékleti tényező.

A szén alapú rétegellenállások hőmérsékleti tényezője negatív.

A hőmérsékleti tényező a minőségi osztálytól és az ellenállás névértékétől függően nem haladhatja meg a 0,5-0,15%/°C-ot.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Azt a maximális feszültséget, amellyel az ellenállás még üzemeltethető határfeszültségnek nevezzük.

Az ellenállásokra kapcsolható legnagyobb feszültség az ellenállásértékből és a névleges teljesítményből számítható:

$$U = (PR)^{1/2}.$$

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Az ellenállásoknak azt a tulajdonságát, hogy a kivezetőikre kapcsolt feszültségtől függően ellenállásukat megváltoztatják, feszültségfüggésnek nevezzük.

A feszültség hatására fellépő ellenállásváltozás (ΔR) arányos az ellenállás értékkel (R) és a feszültséggel (U):

$$\Delta R = K_f R U,$$

ahol K_f az ellenállás feszültségfüggési tényezője.

A huzalellenállások többsége feszültségfüggetlen. A fémréteg-, a kristályos szénréteg- és a bór-karbon-rétegellenállásnál a K_f értéke kicsi, míg a lakkréteg- és a tömör ellenállásoknál viszonylag nagyobb értéket mutat.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

A réteg egymással többé-kevésbé lazán érintkező szénszemcsékből áll. Az ilyen réteg ellenállása két komponensből tevődik össze: a szénszemcsék saját ellenállása és a szemcsék közötti átmeneti ellenállás, amely az előzőnél sokkal nagyobb.

Az átmeneti ellenállás fordítva arányos a részecskék közötti feszültséggel, ezért minden olyan változtatás, amely csökkenti az egyes szemcsék közötti távolságot és szigetelő anyagot, csökkenti egyúttal a feszültség-tényező értékét is.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Az ellenállások kivezetései között, attól függetlenül, hogy folyik-e áram rajta vagy nem, kis váltófeszültség mérhető, amit zajfeszültségnek nevezünk.

A zajfeszültség oka lehet:

1. Johnson-zaj (hőzaj), ami az elektronok szabálytalan hőmozgásából ered. Ez a terheletlen ellenálláson is jelentkezik és független a vezető anyagától, formájától.

A hőmozgásból származó zajfeszültség effektív értéke:

$$U_{zaj} = (4kTR\Delta f)^{1/2},$$

ahol k a Boltzmann-állandó, T az R ellenállás abszolút hőmérséklete, Δf az a sávszélesség, amellyel a zajfeszültséget mérjük (Nyquist-féle összefüggés).

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

2. Az áramzaj az ellenálláson átfolyó áram hatására keletkezik.

Ezt széntartalmú ellenállásoknál a szemcsék közötti érintkezés-ingadozások és kisülések okozzák, ami pedig erősen függ a szemcsék közötti feszültségtől.

Az áramzaj az ellenálláson átfolyó áram növelésével nő.

Az áramzaj frekvencia-spektruma nem egyenletes és a hallható frekvenciatartományban nagyobb amplitúdóval jelentkezik, mint a hőzaj.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

A széntartalom növelésével csökken a zajfeszültség. A kristályos-szén és a bőrkarbon-rétegellenállások zajfeszültsége kisebb, mint a tömör és lakkréteg ellenállásoké.

Fémréteg- és huzalellenállásoknál gyakorlatilag csak hőzaj figyelhető meg.

Az áramzaj függ a vezető elem hosszától, szerkezeti felépítésétől, a réteg és az ellenállás kivezető közötti kontaktus kialakításától, az ellenállásértéktől.

A zajfeszültséget $\mu V/V$ -ban adják meg, ami a zajfeszültség effektív értékének és az ellenálláson levő egyenfeszültségnek a hányadosa.

Ennek értéke nem lehet nagyobb – az ellenállás minőségi osztályától függően – mint 1-3 $\mu V/V$.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Amíg a huzal- vagy rétegellenálláson csak egyenáram folyik át, addig tiszta ohmos ellenállást képeznek.

Váltóáramnál az ellenállások R értéke függ a frekvenciától.

A huzalellenállás menetei tekercset képeznek, amelynek induktív ellenállása már a szokásos rádiófrekvenciás tartományban az ohmos ellenállással azonos nagyságrendű vagy annál jóval nagyobb is lehet.

A huzal egyes menetei között ezenkívül még kis kapacitások (menetkapacitások) is fellépnek, amelyek szintén nem elhanyagolhatók.

ELLENÁLLÁSOK TULAJDONSÁGAI

Az ellenállás rezgőkörként viselkedhet (helyettesítő kép) és adott rezonanciafrekvenciával rendelkezik.

Ezért a huzalellenállásokat csak óvatosan használják a rádiókészülékekben.

A rétegellenállások frekvenciafüggésének vizsgálatánál figyelembe kell venni, hogy szintén rendelkeznek osztott kapacitással és induktivitással, ezenkívül a kivezetőknek egymáshoz és a szerelőlemezhez is van kapacitásuk.

Tömör és szénréteg-ellenállásoknál jelentős szerepet játszik még a szén szemcsék közötti kapacitás, valamint a szigetelő massa veszteségei is.

Az indukciószegény ellenállásoknál spirális köszörlést nem alkalmaznak, mert az indukción kívül a spirálmensek között fellépő szórt kapacitás is jelentős.

FESZÜLTÉSFÜGGŐ ELLENÁLLÁSOK

A feszültségfüggő ellenállás (VDR (Voltage Dependent Resistor), varisztor) elektromos ellenállása a rákapcsolt feszültség pillanatnyi értékétől függ.

Alapanyaga félvezető szilíciumkarbid por, amelyet valamilyen kötőanyaggal keverve tárcsa, lemez vagy rúd alakú formába préselnek, majd magas hőmérsékleten kiegészítik.

A varisztoron átfolyó áram és feszültség közötti összefüggést az alábbi egyenlettel lehet megadni:

$$U = CI^\beta,$$

Ahol C a varisztor méreteitől függő állandó (20-1000 V/A), β anyagi állandó (0,14-0,5).

Alkalmazás: TV készülékek eltérítő áramának torzítása; rövid idejű nagy feszültséglökések levágása; egyenfeszültség stabilizálása.

HŐMÉRSÉKLETFÜGGŐ ELLENÁLLÁSOK

A mérés- és szabályozástechnikában egyre gyakrabban alkalmaznak ellenállásokat (fémeket, félvezetőket), amelyek ellenállása és hőmérséklete között jól meghatározott összefüggés mutatható ki és éppen ezen tulajdonságaik alapján kerülnek felhasználásra.

Egyik legfontosabb alkalmazási területük a hőmérsékletmérés.

Ide tartozó ellenállásfajták: a fém ellenálláshőmérők, illetve a termisztorok.

ELLENÁLLÁSHŐMÉRŐK

A fémek ρ fajlagos ellenállása Matthiesen-szabállyal írható le, azaz a fém teljes ellenállása a $\rho_T = BT$ (B állandó) hőmérsékletfüggő (rácsonok mozgásának következménye) és a ρ_R maradék-ellenállás összetevők összege:

$$\rho = \rho_T + \rho_R.$$

A leggyakrabban alkalmazott fémek: a platina, a réz, a nikkell, a vas.

Gyakorlati kivitelezésük során a 0,02-0,05 mm átmérőjű ellenállás huzalból készített bifiláris tekercset üveg vagy kerámia tartótestre helyezik és mechanikai valamint korróziós károsodás ellen megfelelő védőburkolattal látják el.

TERMISZTOROK

Az utóbbi időben egyre gyakrabban alkalmaznak különböző félvezető anyagokból készített negatív hőfoktényezőjű, ún. NTC (Negative Temperature Coefficient) ellenállásokat vagy más nevükön termisztorok (Thermally Sensitive Resistors). A termisztorokat fémoxidok keverékéből készítik (pl. vasferrit-cinktitánoxid, nikkelloxid-lítiumoxid keverékek).

A termisztorok ellenállásának hőmérsékletfüggését az

$$R_T = A \exp(B/T)$$

egyenlettel lehet felírni, ahol A a termisztor alakjától és méretétől függő tényező, B a hőmérséklettől független anyagi állandó. B értéke általában 3000-4000 K között mozog, ennek 25 °C-on -3,6%/°C, illetve -4,5%/°C ellenállás változás felel meg.

TERMISZTOROK

A termisztor hőmérsékletváltozása és ennek hatására az ellenállás változása két okból adódhat:

- a környezeti hőmérséklet megváltozásának hatása (elhanyagolható saját disszipáció (a termisztor alacsony áramon működtetik); $R=f(T)$ csaknem lineáris);
- a termisztoron átfolyó áram hatása (magas belső disszipáció (melegedés) a termisztoron átfolyó erős áramok miatt; $U=f(I)$ csúccsal rendelkezik).

TERMISZTOROK

Nemcsak NTC, hanem pozitív hőfoktényezőjű (PTC) termisztorok is vannak.

A következő fizikai tulajdonságokkal bírnak:

- A PTC termisztorok hőfoktényezője csupán egy bizonyos hőmérsékleti tartományban pozitív, azon kívül negatív vagy zérus;
- A PTC termisztorok hőfoktényezőjének abszolút értéke lényegesen nagyobb, mint az NTC termisztoroké.

A PTC termisztorok alapanyaga báriumtitanát vagy báriumtitanát-stronciumtitanát.

TERMISZTOROK

Ellenállás-hőmérséklet függése:

$$R_T = A + C \exp(B/T),$$

ahol A , B és C mérettől és anyagi minőségtől függő állandók; T_1 , illetve T_2 az a legkisebb, illetve legnagyobb hőmérséklet, amelyek között az összefüggés érvényes.

TERMISZTOROK

A termisztorok alkalmazása:

- ellenálláshőmérőként (kicsi hőkapacitás, jó hővezető kapcsolat a mérendő testtel; 10^{-4} °C pontosság, 250 °C alkalmazásuk felső határa);
- kisfogyasztású wattmérőként (GHz-es frekvenciatartományban gyöngytermisztorokat alkalmaznak, pontosságuk μ W);
- erősítők önműködő erősítés-szabályozóként állandó kimenőfeszültség vagy teljesítmény beállítására alkalmas;
- áramlökések levágására soros fűtésű radiócsövek bekapcsolásánál;
- áramkorlátozóként motorok és kemencék túláramvédelmének (PTC termisztorok).