

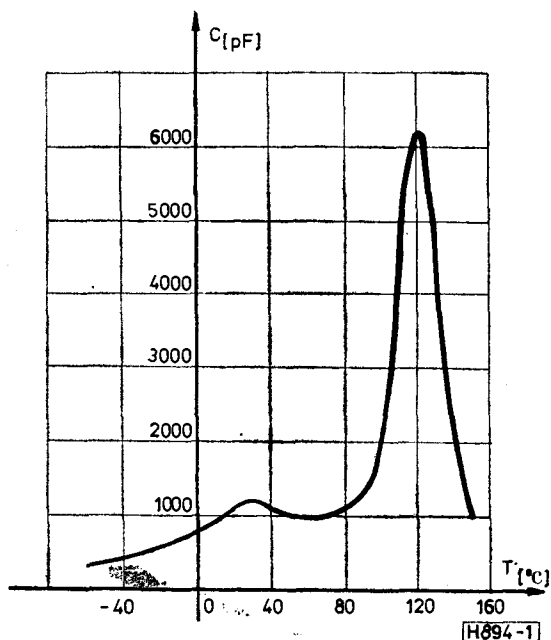
Kerámia kondenzátorok alkalmazása

SZMESKÓ
JÁNOS

Gamma Művek

A kerámia kondenzátorok alkalmazása — fizikai tulajdonságaikból eredő — problémákat vet fel. A híradástechnika és mérés technika eszközeiben alkalmazott kondenzátorokkal szemben oly sokféle igény merülhet fel, hogy ezek megválaszolására nem lehet vállalkozni. Ellenben foglalkozhatunk azzal, hogy melyek a jellemző tulajdonságai a szóba jöhető kondenzátoroknak. Ezzel lényegében választ kap minden áramkörtervező az éppen aktuális követelmények megoldására. Ilyen értelemben a teljesség igényét is megközelítjük ezzel a cikkel.

Kerámia kondenzátor elnevezésén a kerámia dielektrikumú kondenzátorokat értjük. Alkalmazási problémáinkra a kerámia anyagok fizikai tulajdonságainak vizsgálatával keressük választ. Csak ezek ismeretében remélhető a szigorúbb specifikációs igények (pl. rezgőkörök rezonancia frekvencia pontosságának ill. hőmérsékletfüggésének) kielégítése. A nagy dielektromos állandójú kerámia anyagok alkalmazását a miniatürizálási törekvések hozták létre.



1. ábra. Bárium-titanát dielektrikumú kondenzátor kapacitásváltozása a hőmérséklet függvényében

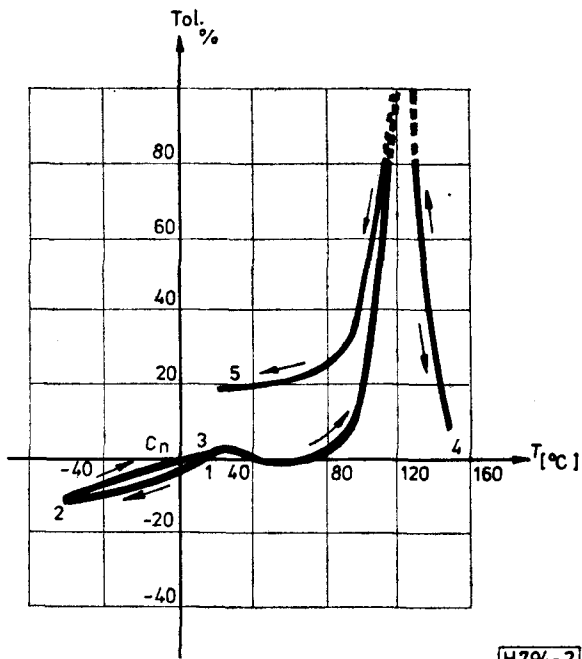
Beérkezett: 1981. V. 28.

Kerámia anyagok és jellemző tulajdonságaik

Kerámia dielektrikumok készítéséhez — előnyös tulajdonságai miatt — legjobban elterjedt a bárium-titanát alkalmazása. A tiszta bárium-titanát kerámia egyes tulajdonságait és a kedvezőtlen hatásokat adalék anyagokkal módosítják. A módosítók nagyon sokfélék lehetnek, ezekre majd az alkalmazásukkal kapcsolatban visszatérünk. — A tiszta bárium-titanát dielektromos állandójának hőmérsékletfüggését vizsgáljuk meg először, mert egyrészt ez volt a kezdete a — kimagasló eredményeket hozó — kerámia kutatásnak, másrészt kedvező alapot nyújt gyakorlati következtetéseink közvetlen belátásához.

Az 1. ábra 1000 pF névleges kapacitású kondenzátor kapacitás-hőmérséklet görbéjét mutatja. Referenciapontként a 20 °C-hoz tartozó pontot használjuk. Hűtés esetén a kapacitás — és ezzel arányosan a relatív dielektromos állandó — kismértékben csökken, melegítéskor némi hiszterézissel közelítőleg visszatér a kiindulási pontba. Ezt követően 40 °C körül van egy inflexiós pont és utána enyhén pozitív hőtényezőjű szakasz +90 °C-ig. Ezután egy rendkívül meredek — pozitív hőtényezőjű — szakasz következik +120 °C-ig, az ún. Curie-hőmérsékletig. Végül egy meredek — negatív hőtényezőjű — szakasz zárja a vizsgált tartományt. Mint látható a Curie-hőmérsékletnél a dielektromos állandó ugrásszerűen megnő, a névleges érték (kb) hatszorosára, melyet Curie-csúcsnak neveznek. Ez a nagymértékű hőmérsékletfüggés lényeges korlátozást jelent a tiszta bárium-titanátnak dielektrikumként való alkalmazására. A jelenség oka a kerámia kristályrács szerkezetének átalakulása. Az eredetileg tetragonális alakú kristály 120 °C körül hirtelen változik át kocka alakúra. Közben 40 °C körül átmeneti állapotot vesz fel romboedrikus alakú kristályrács szerkezettel; ez az inflexiós pont előidézője. A 0 °C alatti hőmérsékleti tartományban — az enyhén pozitív hőtényezőn kívül — nincsen figyelemre méltó változás. Ellenben meglepő tulajdonság figyelhető meg, ha folytatjuk a megfigyelést a Curie-hőmérséklet fölé melegített kerámia lehűlését illetően +20 °C-ig.

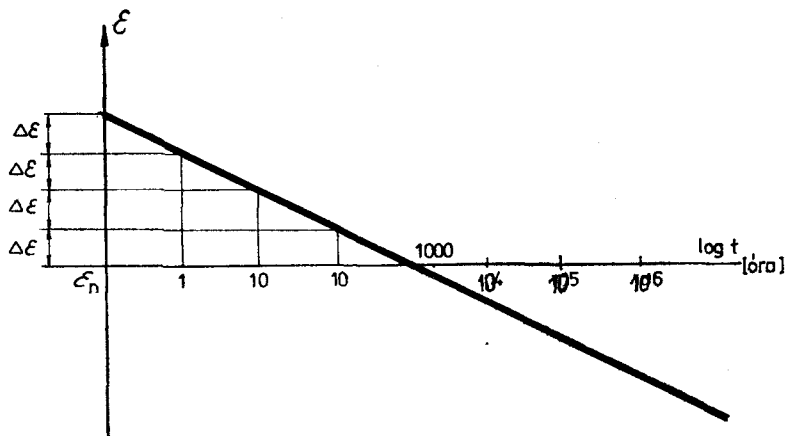
A 2. ábrán egy teljes — hideg, meleg — ciklus hatását figyelhetjük meg. Kövessük a számozás sorrendjét, miközben a hőmérséklet — 55 °C-tól +120 °C fölé változik. Az 1–2, ill. 2–3 jelű szakasz kis eltéréssel egyezik egymással és +20 °C-on jó visszaállást mutat. A 3–4 jelű szakaszra az 1. ábrával kapcsolat-



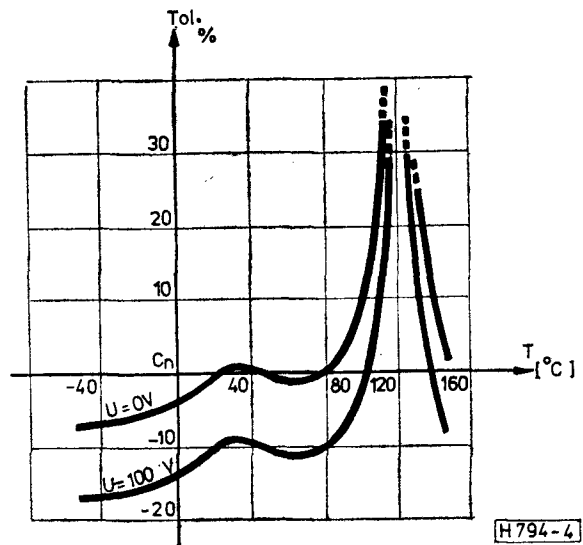
2. ábra. Bárium-titanát dielektrikumú kondenzátor kapacitásváltozása a hőmérséklet függvényében egy teljes hideg-meleg ciklus hatására

ban mondottak érvényesek. A 4–5 jelű szakasz jellege azonos a 3–4 jelű szakasszal, de a dielektromos állandó értéke minden hőmérsékleten magasabb. A +20 °C-hoz tartozó érték is nagyobb, mint a fölmelegítés előtti érték volt. Ez az eltérés igen jelentős kb. +20%-ot ér el. Oka pedig az, hogy a fölmelegítés során megváltozott kristályrácsszerkezet nem alakul vissza teljes mértékben azonnal tetragonális alakúra. Pontosabban: a tetragonális alakzatot csak hosszú idő alatt éri el.

A visszaállás időtartama semmilyen módszerrel nem csökkenthető. A kristályrács szerkezetének visszaállása +20 °C-on a 3. ábrának megfelelően megy végbe. A tárolási idő egy-egy dekádja alatt – a dielektromos állandó – a névleges érték azonos százalékkal csökken. Az 1000 órás tárolási időhöz tartozó értéket tekintik névleges értéknek. Ily módon



3. ábra. Bárium-titanát kondenzátor dielektromos tulajdonságának változása az idő függvényében



4. ábra. A villamos feszültség hatása a bárium-titanát dielektrikumú kondenzátor kapacitás értékére

a dielektromos tényező értéke – bár egyre lassabban, de – állandóan csökken. Tehát a tiszta bárium-titanát kerámiák dielektromos tulajdonsága átmeneti jellegű. Viszont, ha bármely állapotban levő kerámiát ismét – és akárhányszor – fölmelegítjük a Curie-hőmérséklet fölé, úgy a visszaállási jelenség mindig teljesen azonos módon előlről kezdődik. Ezért ezt a jelenséget, mint hibát specifikálják és „ciklikus-drift”-nek nevezik. A kristályrács szerkezete nem csupán a hőmérséklettől függően változik meg. Befolyásolja a villamos feszültség nagysága is. Ezt mutatja a 4. ábra. A 100 V feszültséghez tartozó görbe alakja nagyon hasonló a 0 V feszültségnél kapott görbéhez, de minden hőmérsékleten –10% eltérést mutat. Kedvező körülmény az, hogy a feszültségigénybevételt nem követi visszaállási hiba.

A tiszta bárium-titanát dielektrikum tulajdonságait és a kedvezőtlen hatásokat a következők szerint szükséges befolyásolni:

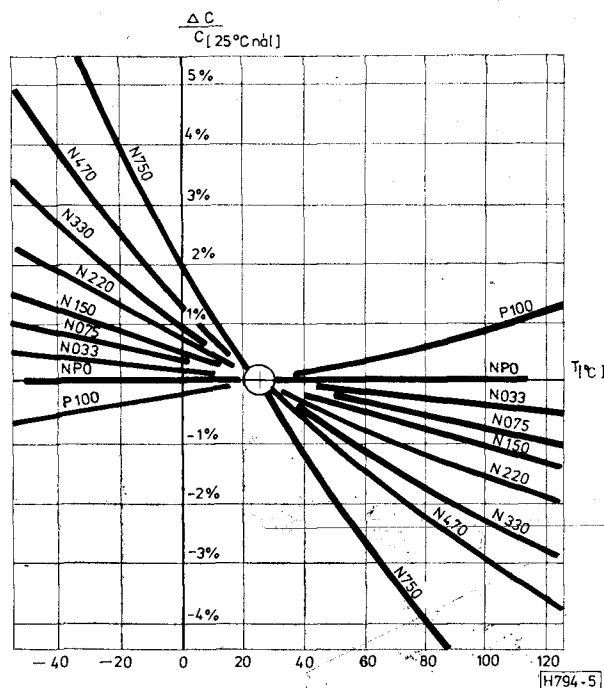
1. A dielektromos állandó legyen széles határok között beállítható.

2. A dielektromos állandó hőmérsékletfüggése legyen beállítható meghatározott értékre.
3. A Curie-hőmérséklet legyen eltolható magasabb, vagy alacsonyabb hőmérsékletértékre.
4. A Curie-csúcs legyen csökkenthető.
5. A visszaállási hiba, ciklikus-drift csökkenjen.
6. A feszültség-érzékenység csökkenjen.

Nincs olyan módosító, melynek adagolása kizárólagos hatású lenne valamelyik tulajdonság befolyásolására. Ezért az adalékanyagok meghatározása mindig nagyon bonyolult kompromisszum eredménye és a kondenzátor gyártók bizalmas technológiai adataihoz tartozik. Így a részletekkel kevésbé törődve — lehetőségeinknek megfelelően — a módosító tulajdonságait lényegesen leegyszerűsítve tárgyaljuk.

A relatív dielektromos állandó (ϵ_r) az a mérőszám, mely az adott kerámiával és vákuum-dielektrikummal megvalósított kondenzátorok kapacitásainak hányadosa. Ezért a dielektromos állandó növelése közvetlenül geometriai méretcsökkenést eredményez. Viszont nagyon kis kapacitásértékű (pl. 1–10 pF) kondenzátorok gyártásánál már előnytelen az amúgy is kis méreteket csökkenteni. Ezért erre a célra a dielektromos állandó csökkentése szükséges. A tiszta bárium-titanát dielektromos állandóját bárium-oxid adagolással növelni, ill. titánoxid adagolással csökkenteni lehet. Így megvalósíthatók az $\epsilon_r = 100$ -tól $\epsilon_r = 10\,000$ értékek. Általános szabály, hogy minél nagyobb a dielektromos állandó értéke, annál nagyobb a hőmérséklet — és a villamosfeszültség érzékenysége.

A hőmérsékleti együttható az egységnyi kapacitásérték változása egységnyi hőmérséklet-változás hatására viszonyított mérőszáma. Mivel ez nagyon kis érték, ezért a 10^6 -szorosát szokás megadni. Előjelét pedig „P” ill. „N” betűvel jelölik. Az 5. ábrán látható



5. ábra. Különböző hőtényezőjű, módosított bárium-titanát dielektrikumú kondenzátor kapacitásváltozása a hőmérséklet függvényében

a különböző dielektrikumú anyagok, ill. a belőlük készített kondenzátorok kapacitásváltozása a hőmérséklet függvényében. Igen nagy jelentőségűek a „NPO” jelzésű, hőmérséklettől független dielektromos tényezőjű kerámiák anyagok. A hőmérsékleti együttható megváltoztatását különböző titanátok, cirkonátok, ón és cink-oxidok adagolása teszi lehetővé. Az NPO csoportban titán-dioxid, vagy magnézium-titanát és kalcium-titanát adagolásával érhető el a zérus hőmérsékleti tényező. Ezek jellegzetes tulajdonsága, hogy nem érzékenyek a villamos feszültségre, szigetelési ellenállásuk és jóságai tényezőjük nagy, frekvenciafüggésük kisebb.

A shifterek olyan adalék anyagok, melyek alkalmazása esetén a Curie-hőmérséklet tolató el magasabb, vagy alacsonyabb hőmérsékletre. A leggyakrabban alkalmazott anyagok a kalcium-cirkonát és a stroncium-titanát.

Azonos hatású anyagok a bárium és stroncium cirkonátjai a bárium, stroncium, kalcium, ólom, cink és kadmium stanátjai és az ólom titanát.

A Curie-csúcs magasságát csökkentik a kalcium, ón, niobium, stroncium és a bizmut. Ezek az anyagok a Curie-csúcs csökkentése mellett javítják a disszipációs tényezőt. Módosítók alkalmazásával a Curie-hőmérséklet ill. a Curie-csúcs eltolható ill. laposabbá tehető, de nem szüntethető meg teljesen. Így továbbra is lesz egy vagy több Curie-hőmérséklet ill. Curie-csúcs az alkalmazás szempontjából fontos hőmérséklet-tartományban.

A feszültségérzékenység nő a dielektromos állandó növelésével és a dielektrikum vastagságának csökkenésével. Mivel mindkét tényező közvetlen hatással van a geometriai méretekre, ezért a feszültségérzékenység megengedhető határa kompromisszum kérdése és gyártmányonként változó.

Gyakorlati kérdések

Az 5. ábrán feltűnő, hogy hét különböző értékű negatív és csak egyetlen pozitív hőtényezőjű módosított bárium-titanát dielektrikumot dolgoztak ki, ill. rendszeresítették. Ezeknél a dielektrikumoknál a módosítók túlsúlyban vannak a bárium-titanát mennyiségéhez képest. A gyakorlati igények határozták így meg a hőtényezőik értékeit. Ugyanis a legtöbb alkalmazás olyan, hogy RC vagy LC elemek együtt határozzák meg — pl. egy oszcillátor — frekvenciáját. Ezért követelmény, hogy az LC szorzat maradjon állandó, széles hőmérsékleti határok között. Viszont közismert, hogy a tekercsek induktivitásának mindig pozitív előjele a hőmérsékleti tényezője. Így az LC szorzat csak akkor marad hőfokfüggetlen, ha C-nek megfelelő értékű negatív hőtényezőt választunk. Ez a munka könnyen elvégezhető, részben kísérleti mérésekkel, részben egyszerű számítással. A negatív TK-jú kondenzátor kiválasztását megkönnyíti a bőséges választék, de mégis sokszor szükséges két vagy több darab különböző kapacitású — és TK-jú — kondenzátor kiválasztása, melynek eredő kapacitása ill. eredő TK-ja biztosítja az LC = konstans feltételt T_2 és T_1 határok között. A feladat lényegileg megoldható, de maradék nélkül nem. Mint már említett-

tük a ciklikus-drift értéke együtt nő a TK--al ill. mindkettő a dielektromos állandóval. A ciklikus drift szempontjából legkedvezőbbek a zérus hőmérsékleti tényezőjű kondenzátorok, az NPO jelölésűek. Ezek viszont nem alkalmasak az induktívitás pozitív TK-jának kompenzálására. Ezen a problémán csak a kerámia kutatás további eredményei segítenek majd.

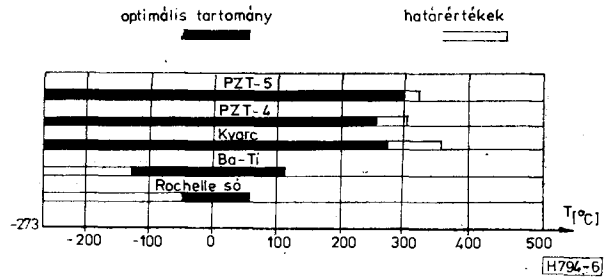
A megbízhatóság és az élettartam tervezési problémái — a technológiai felkészültségen túl — a kondenzátor gyártók gazdasági kérdései közé tartoznak. Itt csupán néhány gondolatot közlünk az élettartammal kapcsolatban. A kondenzátor gyártók nem törekedhetnek arra, hogy — bármilyen mennyiséget tekintve — egyetlen hibás darabot se tartalmazzon egy szállítmány. Ugyanis a hibátlan gyártás technológia követelménye irreális árakat eredményezne. Tehát a hibás darabok előfordulását tudomásul kell venni. A felhasználásra kerülő kondenzátorok minősége javítható azzal, ha villamos feszültség és hőmérséklet hatásával a korai meghibásodásokat kiszűrjük. Ez a módszer csak az egyébként is megbízható kondenzátorok „válogatására” alkalmas.

Alkalmazás

Jelentős kérdés a kondenzátorok beforrasztása az áramkörbe. Ugyanis a szokásos forrasztó anyagok 180 °C körül ömlenek meg és a forrasztó szerszámnak ennél is magasabb hőmérsékletűnek kell lennie. Ez pedig azt jelenti, hogy gondatlan forrasztás esetén a kerámia dielektrikum is biztosan a Curie-hőmérséklet fölé melegszik. Lehűléskor pedig ismétlődik a 2. és 3. ábrával kapcsolatban mondott visszaállási hiba, ill. tárolási öregedés. Itt kell megjegyezni, hogy a visszaállási hiba ciklikus jellegű és számolni kell vele minden újabb fölmelegítésnél. Téves az a technológiai szokás — mely egyébként eléggé elterjedt — miszerint 5-6 hideg-meleg ciklus a kondenzátorok kapacitását stabilizálja.

Beható vizsgálatok igazolják azt, hogy nemcsak a módosított bárium-titanát dielektrikumok, hanem minden más dielektrikum mutat kisebb-nagyobb visszaállási hibát. Ezért célszerű az alkalmazott

kondenzátorok tulajdonságaival jól megismerkedni és ragaszkodni az egyetlen jól kiválasztott gyártmányhoz.



6. ábra. Kondenzátorgyártáshoz alkalmazott dielektromos anyagok hőmérsékleti határai

A fejlődés iránya

Néhány új kerámia dielektrikumú kondenzátor hőmérséklet-tartományát mutatja be a 6. ábra. Ezek közül a legjelentősebbek a PZT jelűek, melyek alapanyaga ólom-cirkonát-titanát. Kereskedelmi áruk ma még igen magas. Irodalmi adatok szerint minden paraméterük felülmúlja a bárium-titanát alapú kerámiákat. Várható elterjedési terület a szélsőséges hőmérsékleten működő áramkörök. Ilyen az úrkutatás és a geofizikai mérések a föld mélységeiben (12 000 méterig +300 °C). Ezek a kerámia anyagok előállításuk során nagy egyenfeszültségű villamos térben polarizálva adják a — széles körben alkalmazott — piezokerámia anyagait. Ebben az alkalmazásban gyorsulás, ütés, testhang, sebesség és mechanikai terhelés mérésére rendkívül elterjedtek a gépek vizsgálatánál és a környezeti ártalmak felderítésénél. Itt is elkerülhetetlen a magas hőmérsékleti terhelés mellett a nagy mérési pontosság iránti igény. A jelenlegi gyártók szokatlanul magas áron értékesítik ezeket a kerámia anyagokat.

I R O D A L O M

- [1] BRITISH STANDARD 9070.
- [2] ERIE ELECTRONICS LIMITED. Great Yarmouth kiadványai.

Lapunk példányonként megvásárolható:

az V., Váci utca 10. és

az V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti

hírlapboltokban