

ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK

PASSZÍV ESZKÖZÖK II

4. ELŐADÁS

- Kondenzátorok
- Tekercsek
- Transzformátorok

KONDENZÁTOROK

Az elektronikában az ellenállások mellett leggyakrabban használt passzív kapcsolási elem a kondenzátor.

A kondenzátor vezetőfelületekből (fegyverzetek) és ezek között elhelyezett szigetelőrétegből (dielektrikumból) áll.

A kondenzátoron a fegyverzetekre kapcsolt feszültség hatására a feszültséggel arányos Q elektromos töltés tárolódik ($Q=CU$, ahol C a kondenzátor kapacitása).

A kondenzátor ellenáll a feszültségváltozásnak ($I=dQ/dt=C(dU/dt)$).

KONDENZÁTOROK

Egy sík fegyverzetekből (lemezekből) álló kondenzátor kapacitása (Faradban – [F]):

$$C=(\varepsilon_0 \varepsilon_r A)/d,$$

ahol ε_0 a vákuum dielektromos állandója (permittivitása), a ε_r lemezek közötti szigetelő anyag relatív dielektromos állandója, dimenzió nélküli arányszám, A a szembenálló lemezfelület m^2 -ben és a d a lemezek közötti távolság.

KONDENZÁTOROK

A híradás- és műszertechnikában állandó és változtatható kapacitású kondenzátorokat használnak.

A kondenzátorok minőségét elsősorban a fegyverzetek között elhelyezett dielektrikum tulajdonságai szabják meg.

A kondenzátorokat a dielektrikum anyaga alapján is csoportosíthatjuk: levegő, gáz vagy vákuum, csillám, kerámia, papír, műanyagfólia, valamint fénoxidok (elektrolitkondenzátoroknál).

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

A kondenzátorokon még a teljes feltöltés után is folyik át áram, azonkívül kisütéskor sem kapható vissza a feltöltésre fordított teljes energia.

A kondenzátorok veszteségei három összetevőből erednek:

- a dielektrikum átvezetése;
- a dielektrikum vesztesége;
- a hozzávezetés és a fólia ellenállása;

Járulékos tényező még a kondenzátor szórt inuktivitása.

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

A veszteségeket a kondenzátor kapacitásával párhuzamosan vagy sorosan kapcsolt helyettesítő ellenállással lehet figyelembe venni.

A hozzávezetések inductivitását a helyettesítő kapcsolásban a veszteséges kondenzátorral sorbakapcsolt inductivitással adhatjuk meg.

A soros kapcsolás inkább a hozzávezetők és a fegyverzetek veszteségét, a párhuzamos kapcsolás inkább a dielektrikum átvezetési veszteségeit adja meg helyesen.

A veszteségeket a veszteségi tényezővel (D) vagy a jósági tényezővel (Q) szokás jellemezni.

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

A veszteségi tényező a váltakozó feszültségű üzemiére jellemző szám.

A kondenzátor kisütésekor a felvett energia egy kis része visszamarad, hővé alakul, míg a nagyobbik része a veszteségi (P_v), illetve a meddő teljesítmény (P_m). A két teljesítmény hányadosa a veszteségi tényező

$$D = P_v / P_m.$$

Párhuzamos kapcsolás esetén:

$$D = 1 / (\omega CR_p).$$

Soros kapcsolás esetén:

$$D = \omega CR_s.$$

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

A veszteségi tényező egyben tangense annak a δ szögnek, amely az áram és a feszültségvektor közötti φ fázisszög pótszöge (forgóvektoros ábra).

Párhuzamos kapcsolásnál:

$$\operatorname{tg} \delta = 1 / (\omega CR_p) = D.$$

Soros kapcsolásnál:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega CR_s = D.$$

D értéke általában 10⁻²-10⁻⁴ nagyságrendű.

A kondenzátor veszteségi tényezőjének reciprokértékét mint a kondenzátor Q jósági tényezőjét szokás definiálni.

A két helyettesítő kapcsolás egyenértékű.

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

A kondenzátor veszteségi teljesítménye elsősorban a dielektromos veszteségből adódik.

Párhuzamos kapcsolásnál:

$$P_v = U^2 / R_p = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = U^2 \omega [(\epsilon_0 \epsilon_r A) / d] \operatorname{tg} \delta = \\ = \epsilon_0 \epsilon_r \omega \operatorname{tg} \delta (U/d)^2 Ad = \epsilon_0 \epsilon_r \omega \operatorname{tg} \delta (U/d)^2 V,$$

ahol V a kondenzátor szigetelőanyagának köbtartalmát jelenti.

Látható, hogy a keletkező veszteség annál nagyobb, minél nagyobb a dielektrikum köbtartalma, a dielektromos állandó, a veszteségi tényező.

Ezenkívül a veszteségek a frekvenciával egyenesen és az elektromos tér E térerősségével ($E = U/d$) négyzetes arányban növekednek.

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

Mivel egy adott kondenzátor hőátadóképességét a konstrukciós megoldás és a külső burkolat határozza meg, a túlmelegedés elkerülése végett növekvő frekvencián a kondenzátorra adható feszültséget csökkenteni kell, attól függetlenül, hogy mekkora az átütési szilárdság által meghatározott maximális üzemi feszültség.

Ha a kondenzátor szórt inductivitása nem hanyagolható el, akkor hatását a soros helyettesítő kapcsolás segítségével tanulmányozhatjuk.

KONDENZÁTOROK VESZTESÉGEI

Az inductivitásból és a kapacitásból meghatározható Thomson frekvencián

$$\omega = (LC)^{-1/2}.$$

a reaktancia zérus, a kondenzátor ohmos ellenállásként viselkedik.

Ez a frekvencia a kondenzátor felső határfrekvenciája.

A kondenzátor látszólagos kapacitása annál jobban megközelíti a tényleges kapacitásértéket, minél alacsonyabb frekvencián dolgozik a határfrekvenciához képest.

KONDEZÁTOROK PARAMÉTEREI

Névleges feszültség:

az a kondenzátoron feltüntetett általában egyenfeszültség, amelyen a kondenzátor $+40\text{ }^\circ\text{C}$ környezeti hőmérsékleten tartósan használható. Ha a környezet hőmérséklete ennél nagyobb, az üzemi feszültséget csökkenteni kell.

Vizsgálati feszültség:

az az előírt egyenfeszültség, amelyet a kondenzátornak adott ideig átütés és átívelés nélkül bírnia kell.

KONDEZÁTOROK PARAMÉTEREI

Szigetelési ellenállás:

az egyenfeszültséggel feltöltött kondenzátor fegyverzetei között véges nagyságú, mérhető ohmikus ellenállás jelentkezik.

Ennek nagysága nem egyezik meg a helyettesítő kapcsolás segítségével számított veszteségi ellenállással.

A szigetelési ellenállást a fegyverzetek között az előírt vizsgáló feszültség és ennek hatására a töltődés befejezése után átfolyó áramerősség hányadosával mérjük. A szigetelési ellenállás értéke jó minőségű kondenzátorok esetén *Gohm* nagyságrendű.

KONDEZÁTOROK PARAMÉTEREI

Felületi ellenállás:

A környezet behatásaitól szennyeződő szigetelő vezetési árama jóval nagyobb lehet, mint a szigetelőn belül folyó vezetési áram, és amennyiben az eltolási áram 10^{-4} - 10^{-3} -szorosát megközelíti, úgy a szigetelő nagyfrekvenciás tulajdonságait jelentősen leronthatja. Hasonló jelenség lép fel a kondenzátor kivezetései között is, amely megfelelő konstrukcióval és gondos szereléssel elhanyagolható értéken tartható.

A felületi ellenállást a szigetelő felületére fektetett két meghatározott méretű, egymással párhuzamos elektróda között mérjük.

Értéke jó minőségű szigetelőknél *10 Gohm* nagyságrendű.

KONDEZÁTOROK PARAMÉTEREI

A kapacitás hőmérséklet függése:

A kondenzátorok hőmérsékletének megváltozása kapacitásváltozást eredményez. Ennek elsődleges oka a szigetelő dielektromos együtthatójának hőfüggése.

Jellemzője a kapacitás hőmérsékleti tényezője (TK_c), amely az $1\text{ }^\circ\text{C}$ -ra vonatkoztatott relatív kapacitásváltozás az induló kapacitáshoz képest, annak feltételezésével, hogy az adott hőmérsékleti tartományban a változás lineárisnak tekinthető.

$$TK_c = (1/\Delta T)(\Delta C/C).$$

KONDEZÁTOROK PARAMÉTEREI

A dielektrikum átütési térerőssége (villamos szilárdsága):

Az a térerősség, amelynél a dielektrikum anyagában lejátszódó folyamatok hatására a szigetelő vezetővé válik és átüt.

Az átütés rendszerint hő- és fényjelenség kíséretében megy végbe és a szigetelő anyag tönkremeneteléhez vezet.

Értékét általában *kV/mm*-ben adják meg.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDEZÁTOROK

Csillámkondenzátorok:

A réteges, tömb alakban bányászott muszkovit-csillámot éles pengével $0,02$ - $0,2\text{ mm}$ vastag lemezekre hasítják, majd osztályozás után négyszögletes vagy kerek lapocskákat vágnak ki belőlük. A lapocskák mindkét oldalát vákuumgőzöléssel vékony ezüst réteggel vonják be.

A lapocskák szélein azonban néhány tízedmilliméter széles ezüstözetlen csíkot hagynak az átívelési feszültség növelése érdekében.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Csillámkondenzátorok:

Amennyiben egy lapocskát nem biztosítja a szükséges kapacitást, úgy megfelelő számú ezüstözött csillámlemez helyeznek egymásra, és vékony vezető fóliákkal párhuzamosan, illetve sorba kapcsolják azokat.

A csillám dielektromos állandója viszonylag nagy (6-8), kicsi a veszteségi tényezője ($1,2 \dots 2 \cdot 10^{-4}$) és hőmérsékleti együtthatója ($+6 \dots +40 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$), átütési télerőssége pedig 42 kV/mm .

Általában csak 30 nF névleges kapacitásnál kisebb értékű kondenzátorokat gyártanak csillámból.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Keramikus kondenzátorok:

Anyaguk mesterséges szigetelő anyag, melyek különböző elektromos tulajdonságokkal bírnak.

A legfontosabb anyagok:

- magnézium szilikát alapú keverék + alumíniumoxid (szilárdság növeléshez), $\epsilon=4 \dots 8$.
- titánoxid (rutil, TiO_2) + magnézium szilikát, $\epsilon=8 \dots 80$, hőfoktényezője $TK_c = -10 \dots +2 \cdot 10^{-4} / ^\circ C$.
- alkáli és földfémekkel képzett titanátok (pl. magnézium titanát $\epsilon=18$, $TK_c = 4 \cdot 10^{-5} / ^\circ C$, kicsi a D -űk; bárium- és stronciumtitanát többzese ϵ , nem-lineáris hőmérsékletfüggés, nagy veszteségi szög, kisméretű nagykapacitású kondenzátorok).

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Keramikus kondenzátorok:

A gyártás során az alapanyagot tisztítás után vízzel és kötőanyaggal keverik, majd a kondenzátortest alakjának megfelelő henger, tárcsa stb. préselik. A nyers masszát gondosan szárítják és $1200-1400 \text{ } ^\circ C$ között üvegszerűvé égetik.

A vezetőréteget (ezüstoxid por tartalmú massa) szórással vagy kenéssel viszik fel a tisztított kerámia felületre. Szárítás után $600-700 \text{ } ^\circ C$ -on az ezüstoxid fémüztté redukálódik.

Erre a rétegre forrasztják a kivezetőket, majd lakkoldatba mártják és a lakkot ráégetik.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Keramikus kondenzátorok:

A nemzetközi szabványok a keramikus kondenzátorokat két csoportba sorolják:

- I. típus: frekvenciameghatározó áramkörök kondenzátorai, amelyek rezgőkörökben és szűrőkben kerülnek felhasználásra (kisméretű és lineáris hőfokfüggés, alacsony veszteségi tényező, nagyfokú kapacitás-stabilitás, $C=0,5 \dots 10^5 \text{ pF}$).
- II. típus: kisméretű, nagykapacitású kondenzátorok (nemlineáris hőfokfüggés, nagy veszteségi tényező, $C=\text{több } 10^5 \text{ pF}$).

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Keramikus kondenzátorok:

Fólia kondenzátorok: I. és II.-típusú kerámia anyagból $0,3-0,4 \text{ mm}$ vastag fóliákat öntenek, amelyre palládium pasztát visznek fel és együtt égetéssel nagy fajlagos kapacitású kondenzátorlapocskákat nyernek, amelyekből tömböket készítenek ($TK_c = 4 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$, $t_g \delta = 10^{-4}$, szigetelési ellenállásuk $Gohm$ nagyságrendű).

Kerámia szigeteléssel gyártanak beállító (trimmer) kondenzátorokat is, melyek kapacitása néhány μF értékig terjedhet.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Papírkondenzátorok:

Szigetelő anyaguk a papír. Olcsó, de aránylag nagy veszteségi tényezőjű szigetelőanyag.

- $6-25 \text{ } \mu m$ vastagságú rétegek;
- a fegyverzet $6-8 \text{ } \mu m$ vastag alumínium fólia, melyet úgy helyeznek el, hogy a papírszigetelő egyik oldalán az egyik, a másik oldalán a másik fólia álljon ki;
- a kivezetéseket a tekercs mentén úgy helyezik el, hogy a befolyó áram elágazva, olyan mentirányba folyjék, hogy a keletkező mágneses mezők egymást lerontsák.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Papírkondenzátorok:

$< 1 \mu F$ kapacitásnál induktívitasmentes, ezen felül induktívitaszegény kivitelben (alacsony maradék, illetve szórt induktívitas) készülnek.

A papírkondenzátorok másik csoportja a fémezett papírkondenzátor:

- a fémréteg μm -vastagságú;
- a papír egyik oldalát fémezik csak;
- tekercselés két ilyen fémezett papírból;

Méretei sokkal kisebbek, mint a közönséges papírkondenzátornál. Regenerálja magát átütés után.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Papírkondenzátorok:

Tekercselés után végzik:

- kivezetők forrasztását a fegyverzetekhez;
- impregnálást (papír szárítása ($100^\circ C$), feltöltése impregnáló anyaggal: paraffin, vazelin, olaj, klórnaftalin, klórdifenil);
- nedvességálló burkolat elkészítése.

Alkalmazásuk:

- fokozatok közötti csatoló kondenzátor;
- hidegítő kondenzátornak;
- olyan általános hangfrekvenciás célokra, ahol a kondenzátor veszteségi tényezőjével szemben követelmény nincs.

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Műanyag kondenzátorok:

Kisméretűek, jó villamos tulajdonságúak.

Szigetelő anyaguk a polisztirol és a poliészter.

Tekercseléssel készülnek (fémfólia, fémezett műanyag fólia).

Mivel a műanyag fólia szélesebb, mint a fegyverzet, ezért a tekercselés során több kivezető lemezt hegesztenek.

Nincs impregnálás, mert a műanyag nem nedvszívó (lágyulási hőmérsékletig felmelegítik, a műanyag megfolyik, egyes menetek összeolvadnak és lezárják a kondenzátort).

SZILÁRD SZIGETELŐANYAGÚ KONDENZÁTOROK

Műanyag kondenzátorok:

Alkalmazásuk:

hang-, rádió- és nagyfrekvenciás áramkörökben, ahol a kondenzátor stabilitásával és veszteségi tényezőjével szemben magasak a követelmények.

$10 pF \dots 10 \mu F$ közötti értéktartományban gyártják.

Polisztirol kondenzátorok üzemi hőmérséklete max. $60-70^\circ C$, a poliészter kondenzátoroké viszont $100^\circ C$ vagy ennél is magasabb hőmérsékletek.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

Az eddig említett dielektrikumok felhasználásával elfogadható méretben csak néhány μF kapacitásértékig gyártható kondenzátor.

Kisméretű, nagy kapacitású kondenzátorokhoz igen nagy átütőfeszültségű dielektrikumra van szükség.

Egyes fémek molekuláris rétegben előállított oxidjának átütési térerőssége nagyságrendekkel nagyobb az előbbieknél.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

Az elektrolit kondenzátorokban molekuláris fénoxidot használnak dielektrikumként.

Jelenleg kétféle elektrolit kondenzátort készítenek: az alumínium és tantál elektrolit kondenzátort.

Az alumínium elektrolit kondenzátor egyik elektródja (az anód) $99,99\%$ tisztaságú Al -lemez. Ezt az elektródot a felület növelése érdekében fluor- vagy sósavval maratják, ezáltal a hatásos felület a sima Al felületének 5-6-szorosára növekszik. Ugyanilyen arányban növekszik a kondenzátor kapacitása is.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

A durvított felületű *Al*-ot bór- vagy foszforsav gyenge oldatába helyezik, az elektrolithoz képest pozitív feszültséget kapcsolnak rá, aminek következtében az *Al* felületén 10^{-5} ... 10^{-7} cm vastagságú *Al* oxid réteg képződik.

A kondenzátor másik fegyverzete folyadék, mivel csak a folyadék tudja követni a maratott *Al*-lemez szabálytalan felületén elhelyezkedő oxidréteget.

A folyadék tárolására a maratott *Al*-lemez mindkét oldalán itatós papírt és a másik hozzávezetés részére egy *Al*-lemezt helyeznek el.

Ezeket a fóliakondenzátorokhoz hasonlóan feltekerceslik és fémházbá helyezik.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

Ezután az itatós papírt elektrolittal telítik.

Az elektrolit ammóniumborát és bórsav gyenge oldata, amelyhez a kiszáradás csökkentésére glykolt adnak.

Az elektródákat kivezetésekkel látják el, majd légmentesen lezárják. A kezeletlen *Al*-lemez a katód, ezt gyakran a házzal kötik össze.

A tantál kondenzátoroknál a fémtantál felületén tantálpentoxidot állítanak elő (Ta_2O_5), a katódot rézből vagy ezüsből készítik. Az elektródák között itt is elektrolittal átitatott itatós papír van.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

Az elektrolit kondenzátoroknál vigyázni kell a bekötés helyes polaritására, ellenkező esetben ugyanis az oxidréteg néhány másodperc alatt feloldódik és a kondenzátor zárlatos lesz.

Főbb alkalmazási területe: hálózati egyenirányítók szűrőkondenzátora, katódkondenzátor, tranzisztoros áramkörökben csatoló-kondenzátor.

Az elektrolit kondenzátorokon egyenfeszültség hatására viszonylag nagy egyenáram folyik keresztül, amelyet szivárgási áramnak (akár mA-nagyságú) nevezünk.

A *Ta*-kondenzátorok szivárgási árama egy nagyságrenddel kisebb, mint az *Al*-fóliás kondenzátoroké.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

Hosszabb ideig üzemben kívül hagyott elektrolit kondenzátorok szivárgási árama az első bekapcsolás után olyan nagy lehet, hogy a tápegységet túlterheli vagy a kondenzátor tönkremehet.

Ezért üzembe helyezés előtt a kondenzátort formálni kell. Ez úgy történik, hogy a névleges feszültség 10%-át kapcsoljuk a kondenzátorra, majd ezt a feszültséget 30-60 perc alatt emeljük a névleges feszültségig. A *Ta* sokkal ellenállóbb a savakkal szemben, mint az *Al*, így hosszabb tárolás után is formálás nélkül alkalmazható.

ELEKTROLIT KONDENZÁTOROK

Az elektrolit kondenzátorok veszteségi tényezője elég nagy, 2 ... $5 \cdot 10^{-2}$ értékek között mozog és erősen hőfokfüggő.

Jelentős értékű a hőfoktényezőjük is.

A forgalomban levő elektrolit kondenzátorok névleges kapacitása néhány tízed μF -tól néhány tízezer μF -ig tart.

Névleges feszültségük is széles határok között változik: $3/4$... $450/500$ V között gyártják (az első szám a névleges feszültséget, a második a csúcspeszültséget jellemzi).

LÉGSZIGETELÉSŰ KONDENZÁTOROK

A híradástechnikában, elektronikus mérőműszerekben gyakran kerülnek felhasználásra a légszigetelésű változtatható kapacitású kondenzátorok (forgókondenzátorok).

Kapacitásuk igen széles frekvenciatartományban frekvenciafüggetlen, veszteségük és szórt induktivitásuk pedig igen kicsi. Gondos kivitel esetén 1%-nál pontosabban hitelesíthetők.

A forgókondenzátort álló- és forgórész alkotja. Mind az állórész, mind a forgórész egymástól bizonyos távolságra elhelyezett lemezek sorozatából áll, a tengely elforgatásával a forgórész lemezei az állórész lemezei közé kerülnek be.

LÉGSZIGETELÉSŰ KONDENZÁTOROK

A lemezalak megfelelő kialakításával elérhető, hogy a beforgatás szögétől függő kapacitásérték meghatározott függvény szerint változzék.

A mérés technikában az elfordulás szögével lineárisan változó kapacitásmenetű kondenzátorokat alkalmaznak.

Hullámmérőkben alkalmazzák azokat a kondenzátorokat, melyekben a hullámhossz változása arányos az elforgatás szögével (rezgőköröknél a hullámhossz a $(LC)^{1/2}$ arányos).

A rádiókészülékek skáláján az állomások lehetőség szerint egyenletesen vannak elosztva, ezt a frekvencia-lineáris kondenzátorok biztosítják (a frekvencia a $(LC)^{-1/2}$, azaz $C \sim 1/a^2$, ahol a az elfordulás szöge).

LÉGSZIGETELÉSŰ KONDENZÁTOROK

Gyakran alkalmazzák (főleg kettős forgókondenzátoroknál) az exponenciális karakterisztikájú kondenzátorokat, mivel a rezgőkörök együttfutása, akkor is biztosítható, ha egyes kötegek egymáshoz képest bizonyos kezdeti szöggel el vannak forgatva.

A légszigetelésű kondenzátorok kezdeti kapacitása (kiforgatott helyzetben) néhány pF , míg maximális értéke 400-500 pF .

Miniatűr kivitelben is gyártják.

VÁKUUM- ÉS GÁZSZIGETELÉSŰ KONDENZÁTOROK

Speciális célokra (pl. adó berendezések nagyfrekvenciás rezgőköröihez) olyan kondenzátorokat készítenek, amelyekben a dielektrikum, illetve a szigetelő anyag szerepét vákuum vagy nagynyomású semleges gáz tölti be.

Veszteségi tényezőjük kicsi, átütési feszültségük és stabilitásuk igen nagy.

500 pF alatt elsősorban a vákuumkondenzátorokat, 1-10 nF között pedig a gáztöltésű kondenzátorokat gyártják.

INDUKCIÓS TEKERCSEK ÉS TRANSZFORMÁTOROK

A tekercseket transzformátorokat nagy terjedelmük és elég költséges előállításuk miatt egyre inkább RC körök váltották fel, amelyeknek súlya is lényegesen kisebb, mint az előbbieké. Kivételt képeznek a digitális és erősáramú berendezések, ahol a nagy teljesítmény miatt még igen gyakori elemek a különböző típusú transzformátorok és fojtótekercsek.

Itt csak olyan induktivitásokkal és transzformátorokkal foglalkozunk, amelyeket elsősorban a rádió és erősítő berendezésekben használnak.

INDUKCIÓS TEKERCSEK

Az indukciós tekercs mágneses mező által tárolja az elektromos energiát.

A tekercsen átfolyó áram növelése-csökkenése megváltoztatja a mágneses mezőt.

Az indukciós tekercs ellenáll az áramváltozásnak:

$$U = L(dI/dt),$$

ahol L az öninduktivitás (induktivitás, önindukciós együttható).

VESZTESÉGES INDUKTIVITÁS

Az induktivitások általában huzalokból készített tekercsek, amelyek viselkedése eltér az ideálistól.

Ennek okai a következők:

- a huzal véges ellenállása (rézveszteség);
- nagyfrekvencián a felületi (skin) hatás;
- a környező fémtárgyakban indukció következtében fellépő veszteségek;
- a tekercstartó és a szigetelő dielektrikumában fellépő veszteségek;
- magas frekvenciáknál a sugárzási veszteségek;
- sokszor a tekercs szórt- és menetkapacitása sem hanyagolható el, amelyet egyetlen párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral helyettesíthetjük.

VESZTESÉGES INDUKTIVITÁS

A veszteségi tényező a tekercs által felvett veszteségi teljesítménynek és a meddő teljesítménynek a hányadosa

$$D = P_v / P_m$$

Párhuzamos kapcsolás esetén:

$$D = \omega L / R_p$$

Soros kapcsolás esetén:

$$D = R_s / \omega L$$

A fenti képletekben eltekintünk a szórt- és menetkapacitástól.

VESZTESÉGES INDUKTIVITÁS

A veszteségi tényező egyben tangense annak a j veszteségi szögnek, amellyel az áram és a feszültségvektor közötti fázisszög 90° -nál kisebb. A jósági tényező (Q) a veszteségi tényező reciproka.

A két helyettesítő kapcsolás egyenértékű, mert egy adott frekvenciatartományban mindkettő alkalmazható a veszteséges önindukciós tekercs helyet.

$Q > 10$ esetében bármelyik helyettesítő kapcsolással dolgozunk, az önindukciós együttható értéke 1%-on belül a tényleges önindukciós együtthatónak felel meg, a soros és párhuzamos veszteségi ellenállás pedig egymásba könnyen átszámítható.

VESZTESÉGES INDUKTIVITÁS

Ha a tekercs menetei és rétegei közötti kapacitás nem hanyagolható el, akkor a tekercs reaktanciája X párhuzamos helyettesítő kapcsolás esetén:

$$X = j\omega L(1 - \omega^2 LC)^{-1}$$

Amíg a nevező pozitív a reaktancia induktív jellegű, $\omega_0^2 = 1/(LC)$ frekvencián (rezonanciafrekvencia) a reaktanciafüggvénynek szakadása van.

ω_0 -nál nagyobb frekvencián a tekercs elveszíti induktív jellegét.

INDUKCIÓS TEKERCSTÍPUSOK

Az elektronikában felhasznált tekercsek két csoportra oszthatók:

- légmagos tekercsek;
- vasmagos tekercsek (amelyek mágneses térben ferromágneses anyag van).

Mivel mágneses szempontból a nem ferromágneses anyagok a levegőhöz hasonlóan viselkednek, ezért az ilyen tekercsek is légmagos tekercseknek szokták nevezni.

A veszteségek csökkentése érdekében azonban ügyelni kell arra, hogy ne legyen fémes vezető anyag a mágneses térben és a szigetelő tartók is megfelelő tulajdonságúak legyenek.

LÉGMAGOS TEKERCSEK

A legegyszerűbb az egysoros tekercs felépítése. Készülhet tekercstest nélkül és tekercstesttel.

A tekercstest nélküli tömör huzalból vagy csőből készül. A megfelelő merevség biztosítása az anyagvastagság helyes megválasztásával lehetséges.

Többnyire méter és deciméter hosszú tartományban dolgozó adó- és vevő készülékekben használják. A tekercsnek kicsi a szórt kapacitása és dielektromos vesztesége.

LÉGMAGOS TEKERCSEK

Tekercstest használata esetén annak anyagát különös gonddal kell megválasztani.

Legyen kicsi a hőtágulási együtthatója, hogy melegezés hatására ne változzon meg a tekercs mérete és ezzel induktivitása. A megfelelő tekercsjóság érdekében kicsinek kell lenni a dielektromos veszteségeknek is, így legkedvezőbbek a kerámiából, polisztirolból, akrilgyantából készült tekercstestek.

LÉGMAGOS TEKERCSEK

Egysoros tekercset 5-10 μH önindukciós együtttható alatt használunk.

Nagyobb induktivitást kis méretek mellett többretegű tekercsel érhetünk el.

A szórt kapacitások csökkentése és a kis méretek elérése érdekében legtöbbször kereszttekercselést alkalmazunk, mert az egymás melletti menetek között kicsi a feszültségkülönbség és keresztvezéskor a nagyobb potenciálkülönbségű huzalok csak egyetlen pontban érintik egymást.

LÉGMAGOS TEKERCSEK

A kész tekercseket legtöbbször impregnálják, amellyel egyrészt rögzítik a meneteket, másrészt védik a nedvességtől és növelik az átütési feszültséget.

Nagyfrekvenciás tekercseknél a skin-hatás okozta veszteség csökkentése érdekében gyakran használunk litze huzalt. A litze huzal 0,05-0,07 mm átmérőjű szigetelt elemi szálaból font huzalköteg, amely a felhasználási területtől függően 10-100 százból készül.

LÉGMAGOS TEKERCSEK

A légmagos tekercsek induktivitásának kiszámítására sok képlet áll rendelkezésre.

Ezek elméleti megfontolások révén keletkeznek és 0,5-1% pontosságúak.

Tekercsek tervezésénél, pontos beállításukhoz szükségünk lehet ilyen képletekre.

Példák:

Egysoros hengeres tekercs:

$$L = [n^2(D+d)] / [b(D+d)] \cdot 10^{-2} \mu H.$$

Kereszttekercselésű tekercs:

$$L = [n^2(D+a)^2] / [0,38(D+d) + 1,15b + 1,25a] \cdot 10^{-2} \mu H.$$

LÉGMAGOS TEKERCSEK

A képletekben:

L az induktivitás értéke, μH ;

D a tekercs átmérője, cm ;

b a tekercs hossza, cm ;

d a felhasznált huzal átmérője, cm ;

n a menetszám;

a a többretegű tekercsnél a tekercselt rész magassága a tartótest felett, cm .

VASMAGOS TEKERCSEK

Nagy önindukciós együttthatójú tekercsek és transzformátorok gyártásánál ferromágneses anyagokból készített tekercsmagokat alkalmaznak.

Hiszterézis görbe magyarázata:

H_c a koercitív erő, tehát az a fordított irányú télerősség, amelynél a B indukció zérussá válik;

B_r a remanencia, a $H=0$ helyen vett B érték;

B_m a telítési indukció, az indukció értéke telítésig mágnesezett anyagban;

μ_k a kezdeti permeabilitás, az anyag permeabilitása olyan kicsi télerősségnél, amelynél a permeabilitás még függetlennek tekinthető a télerősségtől;

μ_m a maximális permeabilitás.

VASMAGOS TEKERCSEK

T_c Curie hőmérsékletnek (pontnak) nevezzük azt a hőmérsékletet, melynél a ferromágneses anyagok elveszítik erős mágneses tulajdonságukat ($T > T_c$).

A mágneses anyagokat a koercitív télerősség nagysága szerint két nagy csoportra osztjuk.

Kemény mágneses anyagoknak (mágneseknek) nevezzük azokat, amelyeknél

$$H_c > 10 \text{ kA/m.}$$

Ezeket állandó mágneses terek előállítására használják és a nagy koercitív erő mellett nagy remanenciával kell hogy rendelkezzenek.

VASMAGOS TEKERCSEK

Lágy mágneses anyagoknak nevezzük azokat, amelyeknél

$$H_c < 300 \text{ A/m.}$$

A két határ közötti tartományban levő anyagok alkalmazásuk szerint sorolhatók egyik vagy másik csoportba.

A lágy mágneses anyagok koercitív ereje kicsi, könnyen átmágnesezhetők, így váltakozó mágneses térben ezeket használják. Mivel az átmágnesezéshez munka kell, melynek nagysága arányos a hiszterézis görbe területével (hiszterézis-veszteség), ezért a kis koercitív erő mellett még kis remanenciára is törekednek.

VASMAGOS TEKERCSEK

A váltakozó mágneses tér örvényáramot indukál a ferromágneses anyagokban, amely szintén veszteséget jelent. A hiszterézis és örvényáram-veszteséget közösen vasveszteségnek nevezik.

V térfogatú vasmagban a hiszterézis veszteségi teljesítmény lemezelt vasmag esetében

$$P_h \sim (f B_m^3 V) / \mu_0^3,$$

ahol a B_m a maximális indukció, f a frekvencia.

Az örvényáram veszteségi teljesítménye

$$P_o \sim (f^2 B_m^2 d^2 V) / \rho,$$

ahol d a lemezvastagság, r a lemez anyagának fajlagos ellenállása, B_m a lemez keresztmetszetén áthaladó indukció átlagértéke.

VASMAGOS TEKERCSEK

A lágy mágneses anyagok lehetnek ötvözetek (vas, nikkkel-alapúak) és vegyületek.

A legegyszerűbb lágy mágneses anyag a vas, amelynek kicsi a fajlagos ellenállása, ezért nagy az örvényáramú vesztesége.

Hálózati transzformátoroknál, hangfrekvenciás kimenő transzformátoroknál és fojtótekercseknél vas-szilícium ötvözetet használnak, maximálisan 4% Si tartalommal. A vas fajlagos ellenállása kb. 6-ra nő az ötvözéssel, amellyel az anyag mágneses tulajdonságai is javulnak.

VASMAGOS TEKERCSEK

Jelentősen csökkenthető a vasveszteség anizotróp kristályszerkezet létrehozásával is (hengerlés, szalag, Hipersil, tekercselés).

Hangfrekvenciás, nagyjóságú tekercsek és transzformátorok gyártásához vas-nikkel ötvözeteket használnak.

Legfontosabb ilyen ötvözet a Permalloy A, amely 78,5% Ni-t tartalmaz.

A Si ötvözetekből készített lemezek vastagsága 0,35-0,5 mm között van, míg a nikkeltartalmú ötvözeteknél 0,02-0,35 mm vastag lemezekkel dolgoznak, hogy az örvényáram-veszteséget a lehető legkisebb értéken tartsák.

VASMAGOS TEKERCSEK

Az örvényáram-veszteségek további csökkenése érhető el por alakú anyagokból készült vasmagok alkalmazásával, amelyek porvasmag néven ismeretesek (Permalloy, vaskarbonil + szigetelő- és kötőanyag). A szemcsék mérete 1...10 μm között van.

Ha a vasmagos tekercsen keresztül szinuszos váltóáram folyik, akkor a hiszterézisgörbe következtében (a nem-lineáris B-H összefüggés miatt) a tekercs sarkain fellépő feszültség nem lesz szinuszos alakú. Torzított feszültség keletkezik, amelynek alapfrekvenciája megegyezik a gerjesztő áram frekvenciájával. A felharmonikusok nagysága Fourier analízissel határozható meg.

VASMAGOS TEKERCSEK

A stabilitás javítására, a vasveszteség és a torzítás csökkentésére, továbbá az egyenáramú előmágnesezés permeabilitás csökkentő hatásának mérséklésére a vasmagban légrést alkalmaznak.

A légrés következtében nemcsak a vasmag kezdeti permeabilitása, hanem annak külső tényezőktől való függése is lecsökken. Megnövekszik a vasmag határfrekvenciája is.

Légrést alkalmaznak hangfrekvenciás kimenő transzformátoroknál, fojtótekercseknél és nagyfrekvenciás tekercseknél.

VASMAGOS TEKERCSEK

A lágy mágneses anyagokból készült magok kiviteli formája a felhasznált anyagoktól függ. Hengerelt, izotróp anyagoknál leggyakrabban a köpenymag formákat használják (EI, M magok). Anizotróp anyagok csak egyik irányban rendelkeznek jó mágneses tulajdonságokkal, ezért ezekből a mágneses magokat tekercseléssel állítják elő. Az ovális köpenymagot tekercselés után szétvágják, a vágási felületeket kőszőrülik és polirozzák, hogy az összeállításnál a lehető legkisebb legyen a légzés.

VASMAGOS TEKERCSEK

A lemezeket az örvényáram csökkentése céljából egymástól el kell szigetelni. A szigetelésre Si ötvözeteknél elegendő a lemezek felületén keletkező oxidréteg. Más anyagoknál, valamint tekercselt magoknál vékony lakk vagy egyéb szigetelő réteget helyeznek el a lemez egyik felületén.

A szigetelő réteg következtében a vasmag A_m mágneses keresztmetszete kisebb lesz az A_g geometriai keresztmetszetnél, a kettő hányadosa a vaskitöltési tényező (F_v).

VASMAGOS TEKERCSEK

$$F_v = A_m / A_g$$

Az F_v értékét különböző lemezvastagságokra szabványok rögzítik.

A tekercset csévetesten (tekercstesten) helyezik el. A csévetest a tekercs számára megfelelő mechanikai szilárdságot biztosít és elektromosan elszigeteli a mágneses magtól.

VASMAGOS TEKERCSEK

A ferritek fémoxidból álló, a kerámiához hasonló anyagok, amelyeket nagy hőmérsékleten történő zsugorítással (szintereléssel) állítanak elő (Fe, Ni, Mn, Mg oxidok keverékei).

A ferritek alkalmazásánál elsősorban a nagy kezdő permeabilitás, a kis összveszteség, és az igen nagy fajlagos ellenállás (10^7 - 10^9 -szer nagyobb, mint a fémeké) jelent előnyt.

A nagy fajlagos ellenállás miatt igen kicsi az örvényáram-veszteség, így a ferritek lényegesen magasabb frekvenciákig használhatók, mint a legvékonyabb lemezmagok, vagy akár a porvasmagok.

VASMAGOS TEKERCSEK

A katalógusok minden esetben megadják azt a felső határfrekvenciát (f_{max}), amelyen az adott anyagból készült ferritmag még használható a mágneses paraméterek megváltozása nélkül.

Hátrányai:

- kis telítési indukció,
- alacsony Curie hőmérséklet,
- permeabilitás időbeli lassú csökkenése (dezakkomodáció),
- mágneses paraméterek hőfüggése.

VASMAGOS TEKERCSEK

A tekercsek méretezésénél az egyik legfontosabb adat a ferritmag A_L értéke. Ez az adat az adott magtípussal készült tekercs menetszám-négyzetére eső inductivitását adja meg nanohenryben ($10^{-9} H/n^2$).

Az A_L adatot csak zárt, illetve kis légréssel rendelkező magokra adják meg. Értéke a mag anyagától és geometriai méreteitől (keresztmetszet, mágneses erővonalhossz, légzés) függ.

VASMAGOS TEKERCSEK

Segítségével a tekercs menetszáma (n a kívánt L induktivitás ismeretében egyszerűen kiszámítható)

$$n = (L(nH) / A_L)^{1/2}.$$

Hernyómag és hangoló rúdacska esetén az adott induktivitáshoz szükséges menetszám:

$$n = K(L)^{1/2},$$

Ahol L a kívánt induktivitás, K a magtényező, amelyet a gyárak szintén megadnak.

TRANSZFORMÁTOROK

HÁLÓZATI TRANSZFORMÁTOR

(legalább) két, egymással mágnesesen csatolt (induktív csatolás) tekercsből áll. Ha az egyik tekercsre váltakozó feszültséget kapcsolunk, a létrejövő váltakozó áram mágneses fluxus-változást idéz elő, amely a másik tekercsben indukált váltakozó feszültséget hoz létre.

A bemeneti oldalon lévő tekercset primer (elsődleges), a kimeneti oldalon lévő pedig szekunder (másodlagos) tekercsnek nevezzük.

IDEÁLIS (VESZTESÉGMENTES) TRANSZFORMÁTOR

egy olyan négy pólus, amelyet egyetlen adattal az a áttétellel jellemezhetünk.

Többféle áttételt határozhatunk meg:

- menetszámáttétel (N_1, N_2);
- áramáttétel (I_1, I_2);
- feszültségáttétel (U_1, U_2);
- impedanciaáttétel (Z_1, Z_2).

IDEÁLIS (VESZTESÉGMENTES) TRANSZFORMÁTOR

Áttételekre érvényes összefüggések:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

Ideális transzformátor esetén $Z_1 = R_1, Z_2 = R_2$:

$$a = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \Rightarrow R_1 = a^2 \cdot R_2$$

IDEÁLIS (VESZTESÉGMENTES) TRANSZFORMÁTOR

Tehát a kimenetére (szekunder) kapcsolt terhelést az áttétel négyzetével arányosan transzformálja át a bemenetére.

Megállapítható, hogy a transzformátor feszültséget, áramot és impedanciát transzformál.

VALÓS (VESZTESÉGES) TRANSZFORMÁTOR

egy olyan transzformátor, melynek hatásfoka egységnyinél kisebb.

A transzformátor veszteségei:

Rézveszteségek ($P_{\text{réz}}$): a tekercsek (nullától különböző) ohmos ellenállásának következménye.

Vasveszteségek (P_{vas}): a vasmagban fellépő veszteségeket képviseli. Ezeket a vasmagban indukált örvényáramok és hiszterézis veszteségek hozzák létre.

IDEÁLIS TRANSZFORMÁTOR HATÁSFOKA:

$$\eta = \frac{P_{\text{szekunder}}}{P_{\text{primer}}} \cdot 100 [\%]$$

VESZTESÉGES TRANSZFORMÁTOR HATÁSFOKA:

$$\eta = \frac{P_{\text{szekunder}}}{P_{\text{szekunder}} + P_{\text{veszteségi}}} \cdot 100 [\%]$$

$$P_{\text{veszteségi}} = P_{\text{réz}} + P_{\text{vas}}$$