

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

J. Neruda

Historie vzniku elektretu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 5 (1960), No. 6, 718--728

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138259>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1960

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

nijak vázány jen na spinovou teplotu. Spinová teplota ovšem doznává velkého užití také na příklad v otázce zesilování rádiových signálů použitím energetických hladin lichých elektronů v pevné látce, na příklad v umělém rubínu — krystalu kysličníku hliníku — s příměsí atomů chromu, jež mají liché elektrony. Není však nijak vyloučena možnost využít výše popsané myšlenky i jinde než v rádiové oblasti. Kdyby se na příklad podařilo dosáhnout záporné absolutní teploty u elektronů, bude možné zesilovat viditelné světlo. Je možné, že v tomto směru pomohou některé vlastnosti plasmy výboje v plynech, a že se bude moci realizovat soustava, znázorněná v obraze 5. Světlo, které by vyvolávalo přechody z nejvyšší energetické hladiny na hladiny vnitřní, by se v plasmě dalo zesilovat. Pokusy v tomto směru nebyly ještě provedeny.

Myšlenka záporné absolutní teploty vyvstala teprve v posledních letech. Práce s ní spojené jsou v počátcích a slibují mnoho nového a zajímavého.

Zkráceně a volně přeložil dr. Josef Veselka

HISTORIE VZNIKU ELEKTRETU

Ing. J. NERUDA

Nápadná formální analogie mezi magnetickými a elektrickými jevy, existence vzájemných spojitostí mezi mechanickým působením zelektrovaných a zmagnetovaných těles a vzájemná podobnost mezi charakteristickými vlastnostmi magnetických materiálů a dielektrik vedla fysiky na myšlenku existence permanentně polarisovaných dielektrik, které by obdobně, jako magnety kolem sebe vytvářejí pole magnetické, vytvářely ve svém okolí pole elektrické. Myšlenku o možnosti existence permanentně polarisovaných dielektrik prvně veřejně vyslovil již Oliver Heaviside a permanentně polarisované dielektrikum nazval elektret, obdobně názvu magnet pro permanentně zmagnetované feromagnetikum. Po dlouhou dobu zůstalo však pouze při myšlence.

Zprávu o prvním uskutečnění této myšlenky, o prvním skutečně vyrobeném elektretu podal Eguchi, který vyrobil elektret víceméně náhodou. Při zkoumání vodivosti voskových a pryskyřnatých dielektrik za tepla si povšiml, že jisté směsi dielektrik (vosk kar-naubský, včelí a pryskyřice) po ztuhnutí v elektrostatickém poli ponechávají si trvale v poli získanou polarisaci. Důsledkem této polarisace byla produkce elektrostatického pole, které bylo možno v blízkosti takového dielektrika běžným způsobem indikovat. Eguchi se tímto jevem začal podrobněji zabývat i u jiných látek a výsledky svých pozorování zveřejnil v roce 1925. Tak vznikla první souborná práce o elektretech.

Od objevu až do druhé světové války nepřekročily pokusy s elektrety, provedené řadou dalších experimentátorů rámec laboratorních prací, ačkoli bylo uveřejněno i patentováno několik návrhů na praktické využití elektretů. Rozšíření elektretů v technické praxi bylo tehdy brzděno nevhodnými mechanickými vlastnostmi materiálů, z nichž byly elektrety vyráběny.

Teprve ve válečných a potom hlavně poválečných letech probudil se teoretický i praktický zájem o elektrety s novou silou. Moderní chemie a technologie přinesly nové hmoty výborných dielektrických vlastností, vhodné pro pokusy s elektrety. Byla uveřejněna celá řada dalších prací zabývajících se elektretovým jevem u novodobých hmot a popisujících nové možnosti praktického využití elektretů. I dnes však mnoho pracovníků, zabývajících se pokusy s elektrety, používá materiálů typu vosk a pryskyřice, a to z důvodu jejich snadnějšího zpracování.

Přesto, že za 37 let existence elektretu (byl prakticky objeven v roce 1921) bylo uveřejněno kolem osmdesáti rozsáhlejších prací, týkajících se elektretového jevu, nebyly dosud přesně prostudovány mechanismy vzniku a zániku permanentní polarisace v dielektrikách. To lze vysvětlit tím, že materiály, ze kterých byly elektrety dříve vyráběny, jsou velice neurčitě složení a o elektretech z novodobých syntetických hmot není dosud dostatek experimentálních poznatků.

Ačkoli podstata elektretového jevu není natolik známou, jak by zasluhovala, je potěšitelné konstatovat, že v poslední době nabývá problematika využití elektretů konkrétních

forem a že dnes již pokusy s elektrety nejsou jen výsadou několika laboratoří základního výzkumu, ale že se na nich pracuje i v řadě výrobních ústavů.

Fyzikální vlastnosti elektretů

Základní vlastností elektretu je produkce elektrostatického pole a jeho časová stálost. To znamená, že v okolí permanentně polarisovaného dielektrika — elektretu — lze zjistit běžnými indikačními metodami přítomnost elektrostatického pole a že lze tuto vlastnost elektretu prakticky využívat.

Velikost produkovaného elektrostatického pole, jeho časová stabilita i průběh závislosti pole na vzdálenosti od povrchu elektretu závisí na mnoha faktorech výrobních a materiálových.

Elektret je tedy zdrojem pole, nikoli však energie jakéhokoli druhu; nelze teda elektret užít ve formě jakékoli baterie neb jiného zařízení, od něhož je požadováno dodávání energie. Je však možno použít elektrostatického pole jako energetického převodníku, tedy lze na příklad pomocí pole elektretu měnit mechanickou energii na energii elektrickou a podobně.

Jako každé elektrostatické pole je i pole v okolí elektretu důsledkem přítomnosti elektrického náboje. Vhodným zpracováním dielektrika, tak zvaným formovacím procesem dochází v objemu dielektrika k permanentní polarisaci, která je příčinou vzniku elektrických nábojů. Zdrojem pole kolem elektretu je tedy objemově rozložený náboj uvnitř materiálu, z něhož je elektret vyroben. Objemově rozložení náboje je závislé na materiálu elektretu a na formovacích podmínkách.

Náboj elektretu je tedy objemově povahy, je vázán na strukturní stavbu dielektrika, a proto jej nelze z elektretu žádným způsobem odvést, nemá-li být porušena jeho strukturní stavba.

Pro zjednodušení úvah se nahrazuje objemově rozložený náboj náhradním nábojem povrchovým o stejných vnějších účincích (o stejném rozložení produkovaného pole nad povrchem elektretu). Tento povrchový náhradní náboj nazýváme účinný náboj elektretu. Lze jej měřit pomocí metody elektrostatické indukce.

Formování elektretů se dnes většinou provádí pomocí silných elektrostatických polí, které se obvykle vyvolávají speciálním vysokonapětovým zdrojem mezi elektrodami kotoučového tvaru, přiloženými k povrchům zkoumaného dielektrika.

Je-li účinný náboj, který dostaneme po formování na povrchu dielektrika stejného znamení jako měla elektroda k tomuto povrchu přiložená za účelem vytvoření polarisačního pole během formovacího procesu, pak jej nazýváme homocharge a mechanismy, které vedou v dielektriku k produkci nábojů tohoto typu se nazývají mechanismy homocharge.

Je-li účinný náboj, který dostaneme po formovacím procesu na povrchu dielektrika opačného znamení, než jaké měla elektroda k tomuto povrchu přiložená za účelem vytvoření polarisačního pole během formovacího procesu, pak jej nazýváme heterocharge a mechanismy, které vedou v dielektriku k produkci nábojů tohoto typu nazývají se mechanismy heterocharge.

Z některých materiálů lze volbou různých formovacích podmínek získat v podstatě tři druhy elektretů. Jednotlivé druhy elektretů se od sebe liší těmito vlastnostmi:

- rozložením náboje v objemu zpolarisovaného materiálu;
- průběhem křivky vyjadřující závislost velikosti produkovaného pole na vzdálenosti od povrchu elektretu;
- průběhem křivky vyjadřující závislost velikosti produkovatelného účinného náboje na čase.

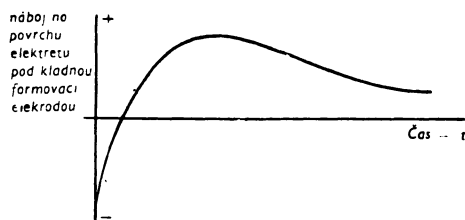
Z jiných materiálů nelze změnou formovacích podmínek získat všechny tři druhy elektretů, ale jen některé z nich.

Jednotlivé druhy elektretů jsou:

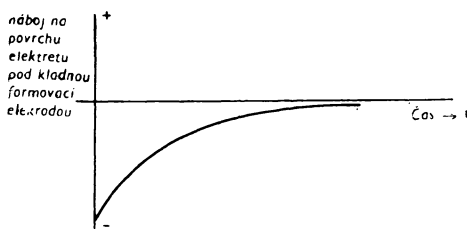
Bielektret — je elektret, který hned po vyrobení jeví na svých površích účinný náboj typu heterocharge. Tento náboj se však s časem mění na druhý typ účinného náboje — homocharge, který je obvykle podstatně časově stabilnější než předchozí heterocharge. Časová závislost velikosti účinného náboje tohoto druhu elektretu je uvedena na obrázku č. 1.

Monoelektret A — je elektret, který hned po vyrobení jeví náboj typu heterocharge. Tento náboj se pozvolna zmenšuje k nulové hodnotě. Časová závislost velikosti účinného náboje tohoto druhu je uvedena na obrázku č. 2.

Monoelektret B — je elektret, který hned po vyrobení jeví náboj typu homocharge. Tento náboj se pozvolna zmenšuje k nulové hodnotě. Časová závislost velikosti účinného náboje tohoto druhu elektretu je uvedena na obrázku č. 3.



Obr. 1.



Obr. 2.

Uvedené křivky se liší u jednotlivých materiálů dobou potřebnou k poklesu náboje na nulovou hodnotu, případně dobou potřebnou k protnutí nulové hodnoty náboje, pokud jde o bielektret. Doba potřebná k poklesu náboje na nulovou hodnotu se může pohybovat podle druhu použitého materiálu od několika hodin do několika let. Pro technickou praxi

jsou výhodné jen elektrety s velice dlouhou dobou poklesu náboje na nulovou hodnotu. Proto je úkolem technologie výroby elektretů nalézt pro výrobu elektretů takové materiály, které mají tuto poklesovou dobu co největší.

Křivku časové závislosti účinného náboje bielektriky lze rozložit na dvě křivky odpovídající časovým závislostem velikostí účinných nábojů obou monoelektretů. Z toho lze usuzovat na to, že při tvorbě nábojů elektretů se uplatňují pouze dva druhy mechanismů a těmi jsou heterochargní a homochargní mechanismy.

Bylo zjištěno, že časová stabilita produkovaných elektrostatických polí je u elektretů

podstatně vyšší, jestliže jsou přechovávány ve zkratovaném stavu. To znamená, že póly elektretu jsou překryty vodivou vrstvou navzájem propojenou. Prakticky se to provádí tak, že se elektrety zabalují do kovových fólií. Tímto způsobem se zabraňuje vnitřní depolarizaci elektretu. Současně je tak provedena ochrana náboje elektretu před účinky elektrických, případně magnetických a ultrazvukových polí. Ukazuje se, že elektrety z různých hmot jsou různě citlivé na podmínky zkratování. Maximální citlivost jeví plastické hmoty, menší citlivost vykazují hmoty pryskyřnatého a voskového charakteru. Elektrety vyrobené z dielektrik keramických jsou na podmínky zkratování ve většině případů necitlivé.

Některé elektrety, které pozbyly svůj náboj vlivem toho, že byly ponechány dlouhou dobu bez zkratování, lze zpětně obnovit tím, že se ponechají po jistý čas ve zkratovaném stavu. Obnova takových elektretů může však trvat řádově i měsíce. Elektrety, které pozbyly svůj náboj vlivem různých vnějších činitelů, jako je vlhko, zvýšená teplota a podobně obnovit nelze. Pokud je elektret vystaven působení vlhkosti jen po krátkou dobu, lze jeho náboj obnovit vysušením a ponecháním ve zkratovaném stavu.

Za míru výsledné polarisace elektretu slouží hustota účinného náboje na povrchu elektretu. Ta se stanovuje metodou elektrostatické indukce. Maximální hustota, která je na povrchu elektretu teoreticky možná, je dána elektrickou pevností prostředí, které elektret obklopuje. Prakticky je to vzduch. Pevnost vzduchu za normálních podmínek činí asi 30 kV/cm. To odpovídá maximálně možné hustotě náboje $3 \cdot 10^{-3}$ C/cm². Tato hustota byla prakticky za vhodných podmínek u některých elektretů dosažena.

Je známo, že průbojná pevnost vzduchu závisí na tlaku, tedy i maximální velikost hustoty účinného náboje na povrchu elektretu měla by záviset na tlaku okolního vzduchu. Tato skutečnost byla experimentálně pozorována.

Byla pozorována větší tepelná vodivost vzorků permanentně polarisovaných proti vzorkům nepolarisovaných. Z toho lze usuzovat na vyšší strukturní organisovanost zpolarisovaných vzorků.

Vytváření permanentní polarisace, během formovacího procesu, ani ztráta náboje elektretu s časem neprobíhá v plynulém procesu, ale ve skocích — tak jako známý efekt Barkhausenův u materiálů magnetických.

Silné pole vysokofrekvenční a rovněž tak silné pole ultrazvukové urychlují podstatně ztrátu náboje elektretu.

Elektret vystavený účinkům stoupající teploty odevzdává elektrický proud vnější impedanci připojené k jeho elektrodám. Je však tímto procesem nenávratně opotřebován — ničen. To je tedy j diný způsob získání energie z elektretu, ovšem za cenu jeho zničení. Dodávaný proud je řádově 10^{-3} A, neboť vnější impedancí protéká jen jeho nepatrná část. Převážná většina proudu se uzavírá přes vnitřní vodivost materiálu, která se ještě vlivem zvýšené teploty podstatně zvyšuje.

Kladné i záporné póly elektretů přitahují lehké, drobné předměty. Protože však elektrický náboj nemůže být z povrchu elektretu odveden na přitažený předmět (dochází pouze k elektromagnetické indukci) a tak jej nabít, není tento předmět nikdy odpuzován a zůstane trvale lpět na povrchu elektretu. To vede za čas k tomu, že se volně přechováváný elektret v prašném prostředí pokryje prachem, který kolem něho prakticky vytváří vodivý obal.

Obdobnou situaci lze předpokládat i v prostředí obsahujícím ionty. Ionty napadají na povrch elektretu a svým nábojem kompensují účinky účinného náboje elektretu.

Praktické provedení elektretů bývá ve tvaru kruhu o poloměru 2 až 6 cm. Jejich tloušťka bývá 0,1 mm až 5 mm. Tento tvar elektretových vzorků plně vyhovuje výrobně a pro většinu pokusných aplikací.

Mechanismy permanentní polarisace

Ukazuje se, že účinný náboj elektretu může být a zpravidla bývá dán superposičním působením různých objemových nábojů. Různé druhy objemových nábojů v materiálu dielektrika jsou důsledkem rozdílných polarisačních mechanismů, které v materiálu probíhají při jeho formování.

Důkladná znalost podmínek vzniku těchto mechanismů a znalost jejich podílu na celkovém objemovém náboji je důležitá při stanovování chemicko-technologických metod výroby elektretů jistých, předem stanovených vlastností. Níže je uveden přehled mechanismů, které se mohou podílet na tvorbě permanentních nábojů v objemu dielektrika.

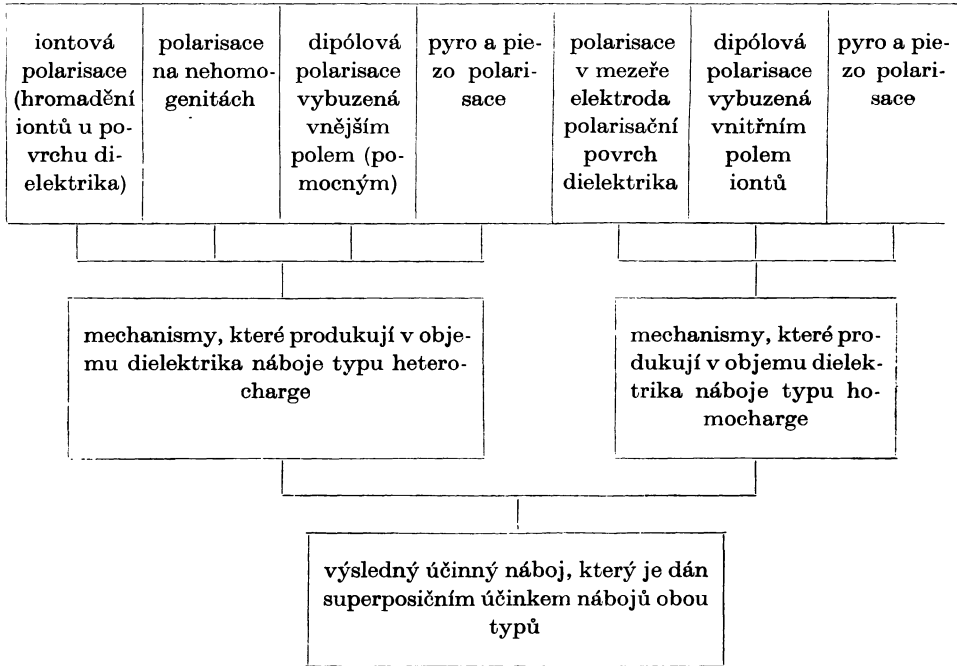
Zásadně lze tedy polarisační mechanismy rozdělit do dvou základních skupin, a to podle toho, jaký typ náboje produkují. Jedna skupina je tvořena mechanismy, které produkují náboje typu heterocharge — heterochargní mechanismy, druhou skupinu tvoří mechanismy, které produkují náboje typu homocharge — homochargní mechanismy.

Výsledný účinný náboj elektretu bývá zpravidla dán superposičním působením více mechanismů obou skupin. Vhodnou kombinací těchto mechanismů lze vysvětlit existenci všech dosud známých typů elektretů.

Možnost vyvolání jednotlivých mechanismů v objemu dielektrika je podmíněna splněním řady předpokladů. Závisí především na struktuře a dielektrických vlastnostech zpracovaného materiálu, na volbě chemicko-technologické metody zpracování a na formovacích podmínkách. Některé mechanismy jsou rovněž podmíněny existencí mechanismů jiných.

Velikost náboje vybuzeného jednotlivými mechanismy není časově stálá, ale mění se. Počáteční velikost náboje je rovněž závislá na struktuře a dielektrických vlastnostech materiálu elektretu, na chemicko-technologické metodě zpracování a na formovacích podmínkách. Charakter změn velikosti mechanismem vybuzeného náboje závisí navíc ještě na existenčních podmínkách elektretu.

Výsledný účinný náboj pozorovaný na povrchu elektretu, se mění podle časové konstanty dané součtem časových konstant, s kterými se mění náboje vybuzené jednotlivými mechanismy. Velikost účinného náboje elektretu je dána sumárním působením nábojů vybuzených jednotlivými mechanismy. Protože heterochargní mechanismy vytvářejí náboje opačné polarity než mechanismy homochargní, je možný takový případ polarisace dielektrika, při kterém se náboje vybuzené oběma typy mechanismů navzájem ruší, takže se takové dielektrikum jeví navenek neutrální.



Stručný popis některých polarisačních mechanismů

Heterochargní mechanismy lze vyvolat pouze u materiálů, které obsahují dipólové molekuly, ionty, neboť se u nich projevují nehomogenity dielektrické konstanty. Ukazuje se, že látky vhodné k vyvolání heterochargních mechanismů mají oproti dielektrikům, u kterých tyto mechanismy vyvolat nelze, větší vnitřní vodivost. Mezi tyto mechanismy patří:

Iontová polarisace. Princip mechanismu spočívá v tom, že vlivem působení vnějšího elektrostatického pole na roztavenou hmotu dielektrika se hromadí ionty u příslušných povrchů vzorku. Po vychladnutí, když pravděpodobnost pohybu iontů je podstatně menší, zůstanou ionty koncentrovány u povrchů a jsou tak zdrojem náboje elektretu.

Polarisace na nehomogenitách. Dielektrické materiály jeví mikroskopické nehomogenity, na jejichž mezích může vznikat vlivem působení elektrostatického pole náboj. Rovněž náboje tohoto druhu mohou být zdrojem objemového náboje elektretu.

Dipólová polarisace. Vlivem vnějšího elektrostatického pole mohou v látce uvolněné molekuly, skupiny molekul, případně krystaly zaujmout orientovanou polohu, je-li jim to pohybově umožněno. To je splněno v tekutém stavu. Ztuhne-li takto orientované dielektrikum, je zamezena možnost dalšího pohybu a orientace se stane trvalou. Orientované dipóly se takto stanou zdrojem náboje elektretu.

Pyropolarisace. Působí-li na polykrystalickou pyroelektrickou hmotu elektrické pole za teploty, dochází uvnitř krystalů ke zvýšené polarisaci (teplotou roste dipólový moment). Elektrické pole orientuje jednotlivé krystaly. Po vychladnutí materiálu zůstanou krystaly orientovány, jsouce obklopeny amorfní hmotou. Je-li úbytek nábojů vybuzených zvýšenou teplotou extrémně malý, mohou tyto náboje být zdrojem účinného náboje na povrchu elektretu.

Piezopolarisace. Elektrostatickým polem jsou v tekutém dielektriku orientovány piezoelektrické krystaly. Po ztuhnutí dielektrika jsou v orientované poloze tyto krystaly drženy amorfní hmotou, která je obklopuje. Tuhnutím a smršťováním materiálu je vyvozen radiační tlak na piezokrystaly, což má za následek vybuzení náboje. Takto vzniklý náboj může být rovněž zdrojem povrchového, účinného náboje elektretu.

Homochargní mechanismy lze prakticky vyvolat u libovolného dielektrického materiálu. Tyto mechanismy obvykle probíhají v dielektrikách současně s mechanismy heterochargními. Homochargní mechanismy mohou osamocené probíhat pouze u homogenních nepolárních dielektrik. Nepatrné znečištění takového dielektrika iontotvornou příměsí nebo polární látkou je příčinou toho, že v dielektriku počnou probíhat spolu s mechanismy homochargními i mechanismy heterochargní. Mezi homochargní mechanismy patří:

Polarisace v mezeře elektroda polarisační — povrch dielektrika. Vložení dielektrika do elektrostatického pole nastane v něm dielektrická polarisace. Ta má za následek, že plocha vzorku ležící blíže kladné elektrody se bude jevit záporná a plocha ležící blíže elektrody kladná. Po tomto elektricky vybuzeném stavu nastane v prostoru mezi plochou elektrody a plochou dielektrika ionisace částic vzduchu. Vzniklé ionty v mezivrstvě jsou absorbovány a to tak, že kladné ionty absorbuje dielektrikum (záporný jeho povrch) a záporné ionty kladná elektroda. U záporné elektrody je tomu naopak. Kladné ionty jsou absorbovány zápornou elektrodou a záporné ionty kladným povrchem dielektrika. Tímto procesem získává dielektrikum na povrchu ležícím blíže kladné elektrody přebytek kladného náboje a na opačném povrchu přebytek záporného náboje.

Na velikosti polarisačního pole závisí, zda v mezivrstvě dochází pouze k čisté ionisaci nebo k ionisaci lavinovitě, případně k vytrhávání částic.

Dipólová polarisace vybuzená vnitřním polem iontů. Tato polarisace je možná pouze tehdy, probíhá-li současně v dielektriku polarisace iontová — hromadění iontů u povrchů dielektrika. Vnitřní pole takto nahromaděných iontů je opačného smyslu než vnější pole polarisační. Za jistých podmínek může toto pole orientovat dipóly dielektrika opačným způsobem než pole vnější. To má za následek vytvoření náboje typu homocharge v objemu dielektrika.

Piezopolarisace a pyropolarisace. Proces vybuzení nábojů těmito mechanismy se předpokládá stejný, jak tomu bylo při popisování heterochargních mechanismů. Pro vybuzení náboje se však předpokládá opačná polarita. Při splnění tohoto předpokladu byl by náboj pyropolarisací a piezopolarisací zdrojem náboje typu homocharge.

Veličiny charakterisující vlastnosti elektretů

Aby bylo možno studovat vlastnosti elektretů z různých hmot nezávisle na jejich rozměrech, zavádí se hustota účinného náboje na povrchu elektretu. Je to vlastně účinný náboj elektretu o jednotkové ploše. Obvykle se hustota účinného náboje elektretu vyjadřuje v C/cm.

Pro většinu aplikací je plně postačující, je-li elektret charakterisován těmito závislostmi:

1. Závislost vyjadřující časovou změnu hustoty účinného náboje povrchu elektretu.
2. Závislost vyjadřující změnu velikosti produkovaného pole na vzdálenosti od povrchu elektretu.

Tvar křivky vyjadřující závislost časových změn hustoty účinného náboje na povrchu elektretu závisí na druhu elektretu, což je dáno formovacími podmínkami a materiálem. Rovněž tak absolutní velikost hustoty účinného náboje na povrchu elektretu závisí na formovacích podmínkách a materiálu elektretu.

Tvar křivky časových změn hustoty a rovněž tak absolutní velikost hustoty účinného náboje závisí na tom, jakým vlivům je zkoumaný elektret vystaven, a zda je přechováván volně neb ve zkratovaném stavu. Je tedy křivka časové závislosti hustoty účinného náboje přímým ukazatelem stability náboje elektretu při různých podmínkách jeho existence.

Studium těchto křivek u elektretů vyrobených za různých formovacích podmínek a zkoumaných pod vlivem různých činitelů dává možnost stanovit optimální výrobní a pracovní podmínky pro elektrety.

Tvar křivky vyjadřující závislost velikosti produkovaného pole na vzdálenosti od povrchu elektretu je závislý na rozložení objemových nábojů v dielektriku, z něhož je elektret vyroben. Může se tedy tento tvar křivky pohybovat mezi dvěma extrémy:

1. Tvar křivky dopovídající náboji nahromaděnému těsně u povrchu dielektrika.
2. Tvar křivky odpovídající náboji rovnoměrně rozptýlenému v objemu dielektrika.

Prakticky je v objemu elektretu vždy náboj obojího druhu a tedy i výsledný tvar křivky se pohybuje mezi uvedenými dvěma extrémy.

Absolutní velikost pole v okolí elektretu je dána výsledným účinným nábojem na povrchu elektretu, to značí, že je závislá na nábojových poměrech v objemu dielektrika (dáno opět formovacím procesem a materiálem elektretu).

Bude-li se měnit velikost objemového náboje, ale jeho prostorové rozložení zůstane stálé, budou se měnit rozměrové údaje křivky, ale její tvar zůstane nezměněn. Bude-li se však měnit rozložení náboje v objemu, bude se měnit i tvar příslušné křivky.

Lze tedy na základě studia těchto křivek usuzovat na nábojové poměry uvnitř polarizovaného dielektrika. Tak se může sledování těchto křivek stát jednou z cest zkoumání polarizačních mechanismů.

Zvláštní důležitost mají tyto křivky pro praktické návrhy zařízení využívajících vlastností elektretů, jako jsou na příklad elektroakustické měniče a podobně.

Měření účinného náboje na povrchu elektretu

Účinný náboj na povrchu elektretu je veličina, která je důležitá zejména pro řešení technických aplikací využívajících vlastnosti elektretů. Všechny dosud známé metody měření účinného náboje jsou vypracovány na principu elektrostatické indukce. Rovněž tak rozložení pole v okolí elektretu se zkoumá pomocí elektrostatické indukce.

Dosud používané metody ke zjišťování účinného náboje lze rozdělit do těchto skupin:

Metody indikační.

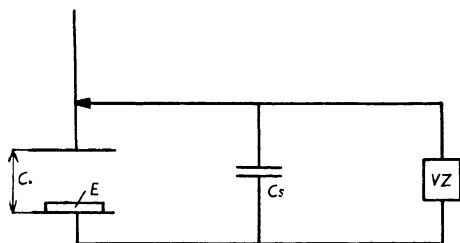
Metody měřicí indukční metody statické,
indukční metody dynamické,
speciální metody.

Metody indikační slouží pouze k zjišťování přítomnosti náboje na povrchu elektretu, nelze však pomocí nich stanovit velikost zjišťovaného náboje. Na přítomnost náboje na povrchu elektretu lze soudit:

- z přitahování kousků papírů neb staniolů k povrchu elektretu,
- z vychýlení staniolového pásku zavěšeného na niti (hedvábné),
- z vychýlení paprsku elektronů v obrazovce při přiblížení elektretu k baňce,
- z výchylky lístků elektroskopu.

Metody měřicí indukční statické slouží k zjištění okamžitého stavu účinného náboje na povrchu elektretu. Jejich základní součástí je kapacitní snímač ve tvaru deskového kondensátoru. Spodní deska snímače je pevná a slouží ke vkládání elektretu. Horní deska je pohyblivá a tvoří v podstatě měrnou indukční desku. Pohybem této desky (od povrchu elektretu do nekonečna neb naopak) v poli elektretu vzniká na ní náboj stejné velikosti, jaký je na povrchu elektretu, ale opačného znamení. Tímto nábojem se obvykle nabíjí standardní kapacita připojená paralelně ke snímači. Je-li kapacita snímače zanedbatelná vůči kapacitě standardního kondensátoru, potom vyhodnocením náboje na standardní kapacitě lze přímo stanovit velikost účinného náboje na povrchu měřeného elektretu. Z plochy elektretu a ze zjištěného náboje lze dále stanovit hustotu účinného povrchového náboje na měřeném elektretu.

Standardní kapacita se užívá v takové velikosti, aby se odstranila možnost výbojů mezi



Obr. 4. Obecné schéma indukčních statických metod: VZ — vyhodnocovací zařízení, C_s — standardní kapacita, C_0 — kapacita snímače, E — elektret.

indukční deskou a povrchem elektretu při pohybu desky a aby se omezil svodový proud zařízení na minimální míru. Maximální hodnota této kapacity je omezena indikační schopností použitého měřidla, jímž se vyhodnocuje její náboj. (viz obr. 4).

Jednotlivé indukční statické metody se liší pouze způsobem vyhodnocování náboje indukovaného na standardní kapacitě. Vyhodnocování náboje na standardní kapacitě se provádí obvykle tak, že se změří napětí na kapacitě a náboj se potom stanoví pomocí vztahu.}

$$Q = CU \text{ ,}$$

Napětí na standardní kapacitě lze měřit různými metodami a různými přístroji. Lze-li zvolenou metodou měřit nízká napětí s dostatečnou přesností, je možno volit standardní kondensátor o větších hodnotách kapacity, čímž se snadněji splňuje podmínka, že součet všech ostatních kapacit v obvodu (spoje, vyhodnocovací zařízení, snímač) je podstatně

menší než kapacita standartního kondensátoru, takže jej není třeba zavádět do výpočtů. Indukční statické metody poskytují tedy jednorázový údaj o současném stavu účinného náboje na povrchu elektretu. Sejmutím série těchto údajů je možno vysledovat časovou závislost velikosti povrchového náboje. Nevýhodou těchto metod je to, že nedovolují plynulé sledování stavu účinného náboje na povrchu elektretu.

Metody měřící indukční dynamické slouží především k plynulému sledování stavu účinného náboje na povrchu elektretu. Jejich podstatou je periodicky se pohybující měrná indukční deska v poli elektretu. Měrná indukční deska je součástí snímacího kondensátoru, na kterém vlivem jejího pohybu vzniká střídavé napětí, které je mimo jiné úměrné velikosti účinného náboje na povrchu elektretu. Dalším zpracováním takto získaného napětí a jeho registrací lze stanovit časovou závislost velikosti účinného náboje na povrchu elektretu.

Metody měřící speciální jsou zpravidla určeny k získávání speciálních informací o vlastnostech elektretu. Jsou to vesměs metody, které mají význam především pro fyzikální zkoumání podstaty mechanismů elektretového jevu.

Technologie přípravy elektretů

Technologie přípravy elektretů spočívá v uskutečnění formovacího procesu ve zkoumaném dielektriku. Formováním elektretu rozumí se proces, pomocí něhož se mění neutrální dielektrikum v permanentně polarizované neboli elektret.

Jak bylo již výše ukázáno, závisí konečný efekt permanentní polarisace na chování polárních molekul, iontů, případně polem namáhaných molekul neutrálních v dielektriku. Formovacímu procesu připadají dvě úlohy:

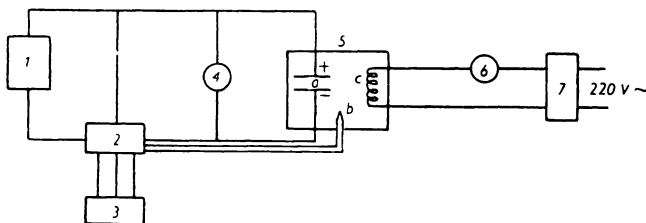
1. umožnit chaoticky rozloženým molekulám polárním, iontům i ostatním molekulám buď pohybovou volnost neb takové podmínky, při kterých snadno zaujmají potřebnou polohu;

2. vyvolat ve zkoumaném dielektriku takové podmínky, při kterých mohou probíhat příslušné polarisační mechanismy (orientace polárních molekul, hromadění iontů apod.). Někdy se též vyžaduje, aby se formovací proces přímo podílel na tvoření iontů.

K uvolnění molekul a iontů, případně k vytváření potřebných iontů lze použít tepelnou energii, záření všeho druhu, rozpouštědla a podobně.

K orientaci uvolněných částic neb k jejich hromadění v jistých částech objemu dielektrika se obvykle používá silné elektrické pole.

Polarisační mechanismy neprobíhají v dielektriku okamžitě, ale je třeba po jistý čas udržovat konstantní formovací podmínky. V této době dochází k orientaci polárních molekul, k pohybu iontů, k vytrhávání částic z povrchu dielektrika apod. Je-li polarisace dielektrika ukončena, nechá se dielektrikum přejít do normálního stavu a polarisační pole se odpojí. Tak dochází v dielektriku k „zamrznutí“ polem vytvořené polarisace.



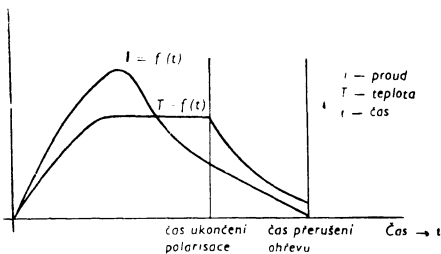
Obr. 5. Blokové schéma pracoviště určeného k uskutečňování formovacího procesu. 1 — vysokonapěťový zdroj, 2 — zařízení k vyhodnocení formovacích podmínek, 3 — registrační zařízení, 4 — vysokonapěťový voltmetr, 5 — polarisační přípravek, 5a — polarisační elektrody, 5b — termočlánek, 5c — topné vinutí, 6 — ampérmetr topného proudu, 7 — regulační transformátor.

Vlastní formovací podmínky jsou závislé na chemickotechnologických vlastnostech zpracovaného materiálu a na tom, jaký druh elektretu má být vyroben.

Vybavení pracoviště určeného k formování elektretů: zařízení k přípravě vzorků dielektrik, vysokonapěťový zdroj, polarisační přípravek (jeho konstrukce závisí na druhu zpracovaného dielektrika) a zařízení k jeho vytápění, měřící a registrační zařízení k zachycení celého formovacího procesu, pomocná zařízení a přístroje. (obr. 5).

Použijeme-li k uvolnění molekul iontů, případně k vytváření potřebného počtu iontů tepelnou energii, lze formovací proces charakterisovat tímto postupem:

Vhodně připravený vzorek dielektrika vloží se do polarisačního přípravku, který se vyhřeje na požadovanou teplotu. Na vzorek se přitom nechá působit elektrostatické pole vhodné intenzity. Po jisté době se teplota sníží na teplotu okolí a přeruší se působení pole. Během celého formovacího procesu se sleduje a registruje časový průběh teploty, intenzity pole a proudu. Z těchto veličin je možno



Obr. 6.

částečně usuzovat na polarisační mechanismy probíhající v dielektriku. Zformovaný vzorek se nechává jistou dobu stárnout, a potom se předává k dalšímu zpracování. Na konečném stavu permanentní polarisace v dielektriku se podílí celá řada činitelů. Tyto činitelé jsou: velikost a doby působení elektrostatického pole, velikost a doby působení teploty, stykový materiál elektrod přiložených k dielektriku během formovacího procesu, elektrické a chemické vlastnosti materiálu formovaného dielektrika, geometrie vzorku.

Dosud nejsou stanovena obecná kritéria, podle kterých by bylo možno na základě požadovaných vlastností elektretů určit příslušné parametry formovacího procesu. Lze říci jen tolik, že pro získání bielektretu se užívá polí o intenzitě nad 10000 V/cm a poměrně vysoké formovací teploty (blízké bodu tání). Pro získání monoelektretu A se používá pole o intenzitě řádově stovek V/cm a teplota blízká bodu tání. Při výrobě monoelektretu B se používá intenzita pole nad 10000 V/cm a teplota blízká teplotě okolí.

Formovací proud, jehož časový průběh je během formovacího procesu sledován, je v podstatě složen ze tří složek:

1. z proudu daného vodivostí dielektrika, která je za tepla podstatně vyšší než za studena,
2. z proudu daného svodem vlastního polarisačního zařízení,
3. z proudu polarisačního, který je vázán na polarisační mechanismy v dielektriku probíhající.

Je-li složka první a druhá proti složce třetí zanedbatelná, dostaneme průběh formovacího proudu tohoto tvaru (viz obr. 6).

Z takového průběhu lze snadno usoudit na dobu potřebnou k polarisaci dielektrika. V těch případech, kdy není první a druhá složka zanedbatelná, nelze z proudového průběhu stanovit potřebnou dobu pro polarisaci a přerušeni formovacího procesu se musí provést pokusně.

Možnosti praktického využití elektretového jevu

Vlastnosti elektretu lze využít:

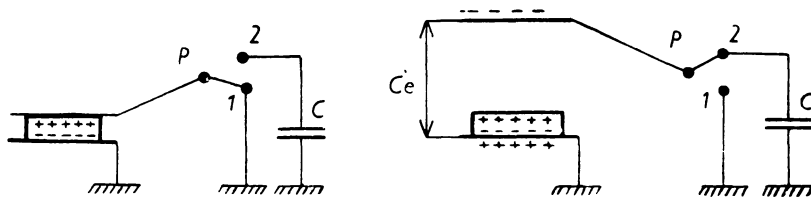
I.	II.	III.
při stavbě zařízení vyžadujících ke své funkci permanentní elektrostatické pole	při stavbě zařízení využívajících změn pole elektretu vlivem různých činitelů	při stavbě speciálních zařízení

Do první skupiny patří různá zařízení pro měřicí techniku, zařízení pro generaci stejnosměrného i střídavého proudu, akustickomechanické měniče (mikrofony a reproduktory) a různé druhy snímačů fyzikálních veličin.

Do druhé skupiny patří indikátory změn různých fyzikálních veličin jako jsou na příklad změny vlhkosti, změny intenzity radioaktivního záření apod.

Do třetí skupiny patří na příklad dielektrické nahrávací pásy a vlákna.

V měřicí technice bylo elektretů použito při konstrukcích elektrometrů, voltmetrů strunového typu a vibračních elektrometrů pro střídavý proud se zrcadlovým odečítáním.

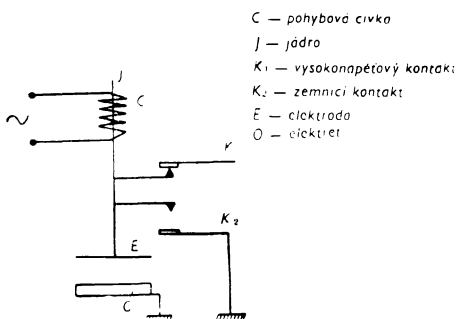


Obr. 7.

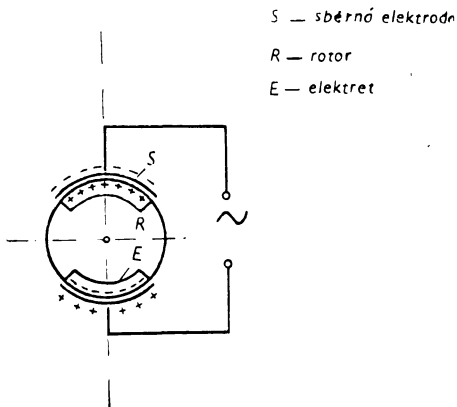
V těchto přístrojích byl elektret obvykle ve tvaru destičky neb jehlového válce zavěšen mezi dvě kovové elektrody, které byly připojovány k měřenému napětí. Konstrukce těchto měřidel je tedy táž, jako u zrcátkových galvanometrů, pouze elektretem. Strunový voltmetr je konstruován tak, že měrný drát je natažen mezi dva destičkové elektrety, které jsou proti sobě otočeny opačně nabitými povrchy. Elektretů bylo též použito jako jehel v kvadrantových elektrometrech.

Při použití elektretů pro výrobu vysokého napětí se používá kapacitních změn podle vztahu $U = \frac{Q}{C}$, kde Q je náboj elektretu, U je napětí a C je proměnná kapacita. Princip generátoru vysokého napětí je uveden na obrázku 7.

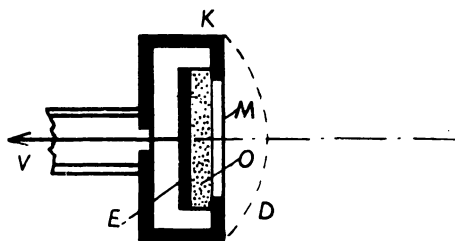
Elektret je uložen mezi dvěma mosaznými elektrodami, z nichž jedna je trvale uzemněna a druhá připojena k přepínači. Přepínač má dvě polohy. V první poloze je horní elektroda uzemněna, ve druhé poloze je připojena ke kapacitě C . Vzdálíme-li horní elektrodu



Obr. 8. Elektretový generátor napěťových pulsů.



Obr. 9. Elektretový generátor střídavého napětí.



Obr. 10. K – kostra mikrofonu, M – membrána, E – zadní elektroda, D – drátěný kryt, V – výstupní vedení k zesilovači, O – elektret.

od povrchu elektretu při poloze přepínače 2, nabije se kondensátor C na napětí dle vztahu $U = \frac{Q}{C + C_e}$, kde Q je náboj elektretu, C_e kapacita elektrodami, C kapacita kondensátoru.

Obdobně uspořádaného zařízení bylo použito pro nabíjení ionizačních komůrek k provádění dosimetrické kontroly. Bylo použito elektretu z plastické hmoty o průměru 6 cm a tloušťce 3 mm, který měl účinný náboj $6 \cdot 10^{-3} \text{C}$. Kapacita komůrek byla asi 6 pF. Popsaným zařízením bylo snadno dosaženo plné nabití komůrek, to jest asi na 300 V.

Na stejném principu jsou konstruovány generátory pulsního napětí a napětí střídavého. Jejich schematické uspořádání je uvedeno na obrázcích 8, 9.

Generátor napětových pulsů je v podstatě výše popsané zařízení se zmechanizovaným pohybem horní elektrody. Při použití stejného elektretu a při kapacitě vzdálených elektrod 3 pF dává generátor pulsy o napětí 2000 V. Generátor střídavého proudu je opět obdobou popisaného zařízení, pouze kmitavý pohyb horní elektrody je nahrazen pohybem rotačním.

Elektretový mikrofon je jedno z prvních zařízení, kde bylo prakticky využito elektretového jevu. Konstrukční provedení obvykle používané je uvedeno na obrázku 10.

Elektretový mikrofon pracuje stejně jako mikrofon kapacitní. Jeho výstupní napětí je závislé na kapacitě, která jej zatěžuje.

Obdobným způsobem je možno konstruovat i elektretové sluchátko.

Vlivu radioaktivního záření na účinný náboj elektretu se využívá při konstrukci různých zařízení určených k měření dávek záření.

Použitá literatura

Gutman, *Elektret*, *Rew. Mod. Phys.* č. 3, sv. 20 str. 457, 1945.

Wiswman-Linden, *Elektrety*, *Electr. Engin.* č. 10, str. 869, 1953.

Gemant, *Použití elektretů v elektrických přístrojích*. *Rev. Sci. Instr.* č. 2, sv. 11, str. 65, 1940.

Gubkin, *K otázce fenomenologické teorie elektretu*. *ŽTF* č. 9, str. 1969, 1957.

Wieder, Kaufman, *Plastické elektrety*. *Journ. Appl. Phys.* č. 3, sv. 24 str. 156, 1953.

Neruda, *Laboratorní příprava permanentně polarisovaných dielektrik pro potřeby dosimetrie*. Diplomová práce VTA-AZ.

Barnet, *Zařízení pro měření pole permanentně polarisovaných dielektrik*. Diplomová práce VTA-AZ.

CO UVIDÍ A S ČÍM SE SETKÁ RELATIVISTICKÝ ASTRONAUT¹⁾

Prof. S. M. RYTOV

Let člověka k jiným hvězdám Galaxie přestal být dnes čistou utopií. Zůstává sice zatím jen předmětem matematických výpočtů a technických hypothes (fotonové rakety), na druhé straně však člověk již začal do vesmíru pronikat natolik, že otázka jeho cesty do vzdálených oblastí vesmíru má reálný podklad.

Vzdálenosti hvězd, i hvězd nám nejbližších, jsou z hlediska mezihvězdných letů tak obrovské, že i když na otázku, může-li je člověk překonat, nelze odpovědět kategorickým „ne“, je jasné, že bude třeba rychlostí blízkých rychlostí světla, a že i pak časovým měřítkem takových cest budou roky a generace.

Věda a technika jdou vpřed rytmem, zarážejícím někdy dech. Perspektivy budoucnosti jsou nedozírné. Přesto můžeme dnes, za dnešního stavu techniky, vidět některé obtíže a překážky, s nimiž se „relativistický astronaut“ může na mezihvězdné výpravě setkat.

To je předmětem následujícího článku.

Neznáme makroskopické těleso, které by se pohybovalo rychlostí souměřitelnou s rychlostí světla. Přesto může být zajímavé a poučné podívat se na svět očima člověka,

¹⁾ Проф. С. М. РЫТОВ, *Что увидит и с чем столкнется astronaut, летящий с около-световой скоростью*, *Priroda*, č. 4, 1960.