

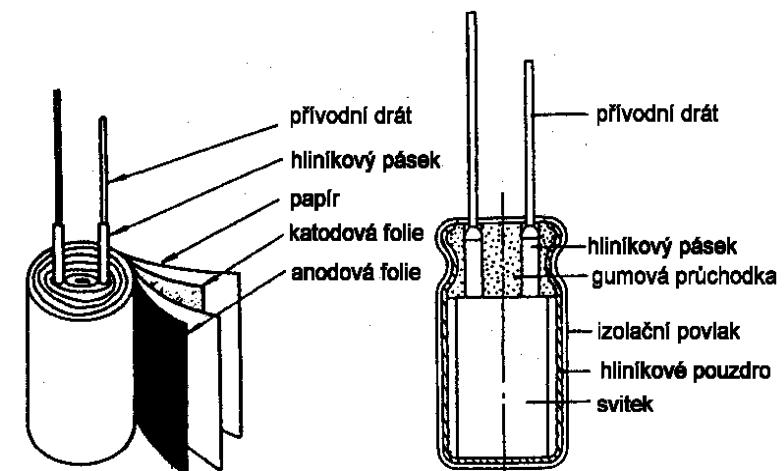
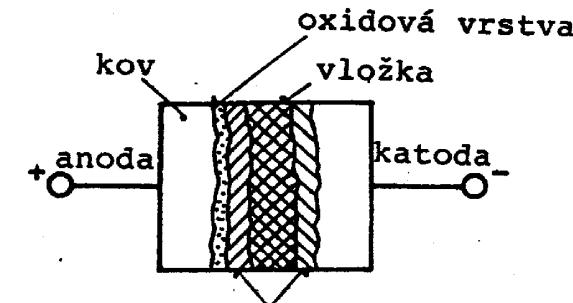
# ELEKTROLYTICKÉ KONDENZÁTORY

**Dielektrikum** je tvořeno tenkou oxidovou vrstvou na povrchu jejich kladné elektrody. Malá tloušťka dielektrické vrstvy umožňuje dosáhnout vysoké hodnoty kapacity při malém objemu kondenzátoru, jejich velkou nevýhodou je **polarizace**.

**Konstrukce** hliníkových elektrolytických kondenzátorů je obdobná konstrukci kondenzátorů svitkových.

Svitky se vinou z předem připravené anodové hliníkové folie, která je pro zvětšení povrchu kartáčována, leptána a na které je anodickou oxidací - formováním - vytvořena dielektrická vrstva, dále katodové hliníkové folie a papírového separátoru.

Navinuté svitky se impregnují elektrolytem a doformovávají, aby se regenerovala oxidová vrstva v místech, kde byla při navíjení svitku poškozena a na řezných hranách folií. Dále se svitky vkládají do pouzder, připojují k vývodům a hermeticky uzavírají.



# Al ELEKTROLYTICKÉ KONDENZÁTORY

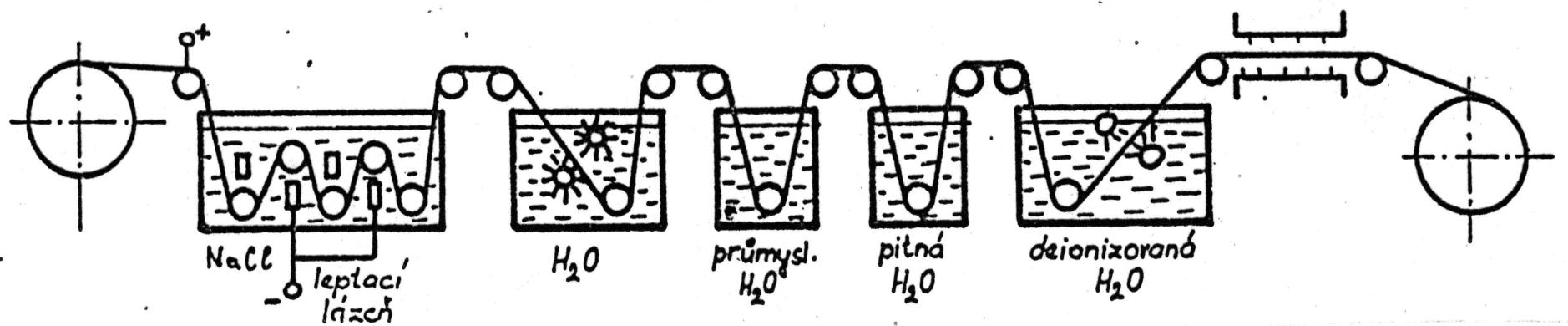
**Výchozí materiál** = Al folie,(Al 99,99) na které se vytváří oxidová vrstva  
Folie by měla mít maximální povrch, vrstva by měla být maximálně kompaktní a tenká (s ohledem na napětí)

**Leptání folií** – zvětšení povrchu až 100x

Někdy se začíná mechanickým zdrsňováním, kartáčováním ocelovými nebo fosforbronzovými kartáči

**Elektrochemické leptání** – v lázni NaCl, proudová hustota  $1\text{A}/\text{cm}^2$ , teplota 70 až  $98\text{ }^\circ\text{C}$ , doba 90 až 120 s

Leptat se musí opatrně, silně leptaná folie nemá pevnost, má veliký seriový odpor



## Oxidace folií-anodická elektrochemická

Protahování vanou (vanami) s horkým elektrolytem



Rozhodující je provozní napětí: tloušťka vrstvy se volí cca. 1,2 nm/V, maximální tloušťka vychází 0,7 μm, formovací napětí o 20% vyšší než provozní

Pro malé U je možná oxidace v jedné vaně nebo vsázkový způsob

Pro velké U – kontinuální provoz, několik van, napětí se postupně zvyšuje

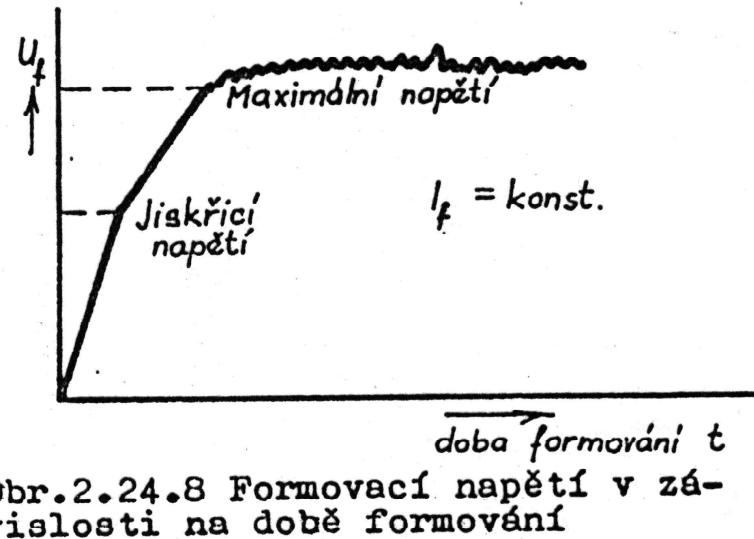
Elektrolyt: malé U - kyselina boritá  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (5-7 %)+čpavková voda  $\text{NH}_3$  (0,1%),  $90^\circ\text{C}$

malé U - fosforečnan amonný  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (0,1%) +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (1%),  $90^\circ\text{C}$

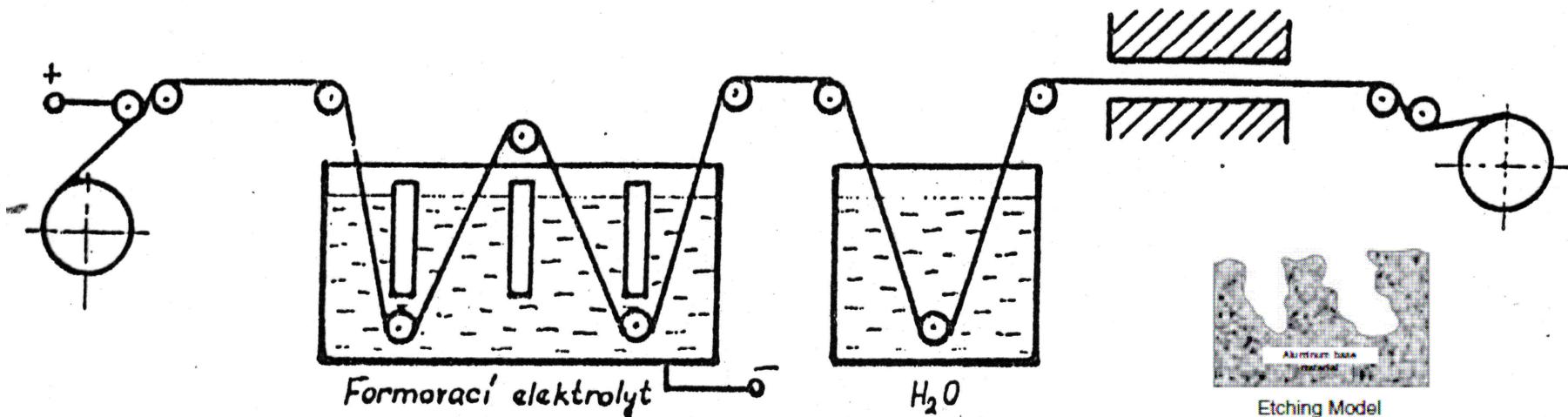
velké U – vícestupňové, kyselina boritá  $\text{H}_3\text{BO}_3$  + borax  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (jednotky procent, s předepsanou malou vodivostí), 70 až  $75^\circ\text{C}$

Spotřeba energie: na vrstvu 0,7 μm na  $1 \text{ m}^2$  je třeba 3,5 Ah při 100% účinnosti, proudová hustota od 10 do  $0,1 \text{ A/m}^2$

Rychlosť 30-40 m/hod, šíře pásu 0,5m, 1m



## Formovací průtah



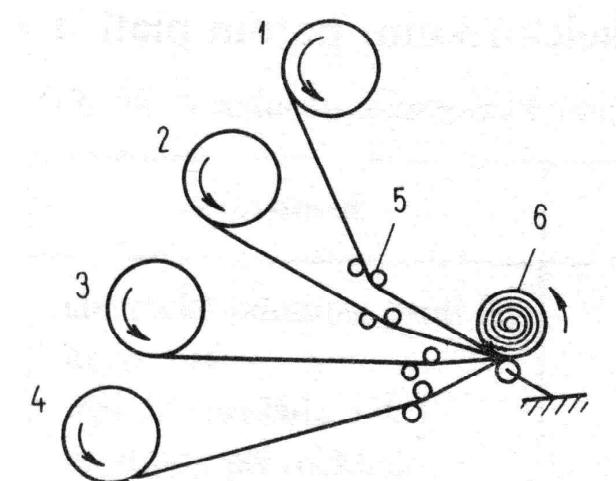
Folie se průběžně kontroluje podle měrné kapacity  
 $2-500 \mu\text{F}/10 \text{ cm}^2$

( $E_{\max} = 1 \text{ kV}/\mu\text{m}$ , tl. $_{\max} = 0,7 \mu\text{m}$ ,  $\epsilon_r = 7$  až 10)

**Řezání folie** - na řezačkách kotoučovými noži na šířku podle druhu kondenzátorů

**Připojení vývodů** – středové trny, vývodní pásky za stejného materiálu jako elektrody, k folii se přivaří za studena, přivaří ultrazvukem nebo přinýtují

**Navíjení svitků** : anodová folie, katodová folie (neoxidovaná, Al 99,5 až 99,7), 2 separátory



**Montáž** – umístění svitku do pozdra s elektrolytem, propojení na vývody, utěsnění

**Pouzdro** – obvykle Al uzavřené pryžovou průchodkou (utěsnění, izolace), musí mít pojistný ventil

**Doformování** – oprava poškozených míst na oxidu, oxidace řezných hran. U malých C na malá napětí lze provádět v uzavřeném stavu, u větších v otevřeném stavu , je třeba hlídat teplotu

**Kontrola:** kapacita, zbytkový proud, ztrátový činitel

**Závěrem** – potisk např. gumovým razítkem, povrchová izolace – polepením folií, smršťovací bužírkou

### **Zvláštní konstrukce**

**Vícekapacitní kondenzátory** – 2 až 3 svitky v jednom pouzdře, společná katoda, kondenzátory pro filtry u usměrňovačů (do 450 V)

**Rozběhové kondenzátory** – pro rozběh asynchronních motorů, bipolární konstrukce, svitek má oxidované obě folie. Mají velkou kapacitu a taky ZTRÁTY. Na napětí smí být připojen jen několik sekund, několikrát za hodinu

**Výbojkové kondenzátory**- pro záblesková zařízení, mohou se vybíjet velkým proudem

**Kondenzátory s minimálním ekvivalentním seriovým odporem (ESR)**

**Separátor** - má mít: vysokou el. pevnost, vysokou nasákavost, mechanickou odolnost, chemickou čistotu Používá se celulózový papír tl. 30 až 60  $\mu\text{m}$ , pro vyšší napětí i v několika vrstvách (dříve i bavlněná gáza)

**Impregnace elektrolytem** - vařením v elektrolytu, ve vakuu (5 torr), okapání , odstředění

**Elektrolyt:** vodivý ( do 60 V 200  $\Omega\text{cm}$ , do 200 V do 800  $\Omega\text{cm}$ , do 500V do 4000  $\Omega\text{cm}$ ), stabilní ( v čase i teplotě), musí být schopen tvořit a regenerovat oxidovou vrstvu, nesmí napadat užité materiály

**Klasické elektrolyty –esterové:** aktivní složka – slabá kyselina – aidipová, boritá, citronová, fosforečná, octová, chromová, mléčná + rozpouštědlo – trochu vody a zejména alkoholy (aby to nezamrzlo)

Používají se: elektrolyty na bázi kyseliny borité  $\text{H}_3\text{BO}_3$ +etylenglykol  $\text{C}_2\text{H}_2(\text{OH})_2$  +amoniak  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Vaří se při 120 °C, vzniká ester polyetylenglykoborát amonný , pro teploty –25 až +70 °C elektrolyty na bázi kyseliny aidipové  $\text{COOH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$  + etylenglykol  $\text{C}_2\text{H}_2(\text{OH})_2$  , pro teploty –40 až +85 °C

**Moderní elektrolyty** – soli kyselin v rozpouštědle, bez vytvoření esteru, pro teploty –55 až +125 °C

– vodivé polymery- pro teploty do 125 °C, malý ESR

# TANTALOVÉ ELEKTROLYTICKÉ KONDENZÁTORY

$\text{Ta}_2\text{O}_5$  má  $\epsilon_r = 24$  až  $26$ ,  $E_{\max} = 600\text{V}/\mu\text{m}$  a to jsou výhodnější vlastnosti než u  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $E_{\max} = 1\text{kV}/\mu\text{m}$ ,  $\epsilon_r = 7$  až  $10$ )

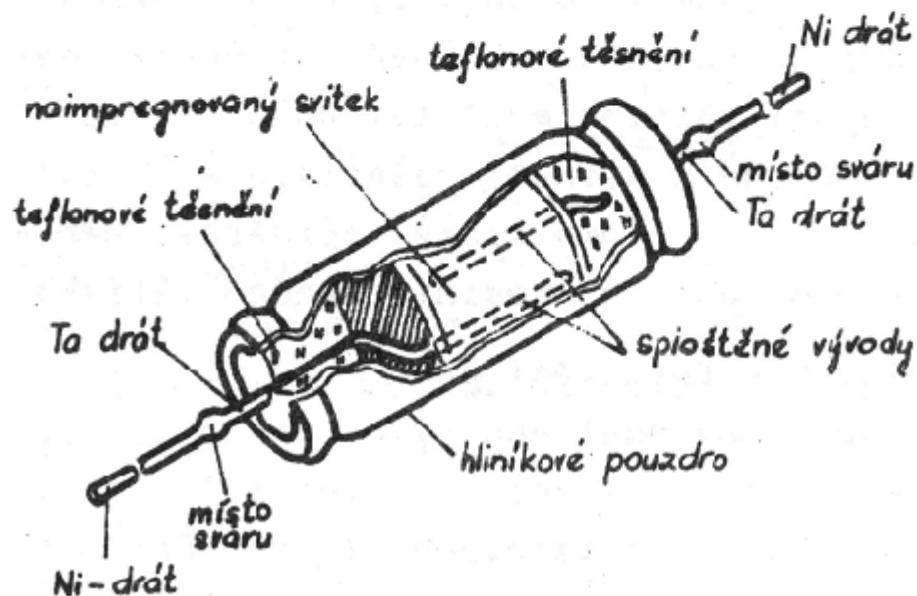
**Kondenzátory existují - foliové**

- sintrované s kapalným elektrolytem
- sintrované s pevným elektrolytem

Foliové mají konstrukci podobnou jeko hliníkový cllyt, moc se nedčlají  
**Elektrody** – Ta folie 10 až 15  $\mu\text{m}$ , anodová se leptá (  $\text{NaF}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Br}$ ), leptací faktor jen tak 6,5, oxidace v  $\text{H}_3\text{BO}_3$  nebo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Svitky se vinou s papírovým separátorem, pracovní elektrolyt je  $\text{H}_3\text{BO}_3$  nebo  $\text{LiCl}$ .

**Pouzdro kondenzátoru** je hliníkové, měděné, postříbrené.

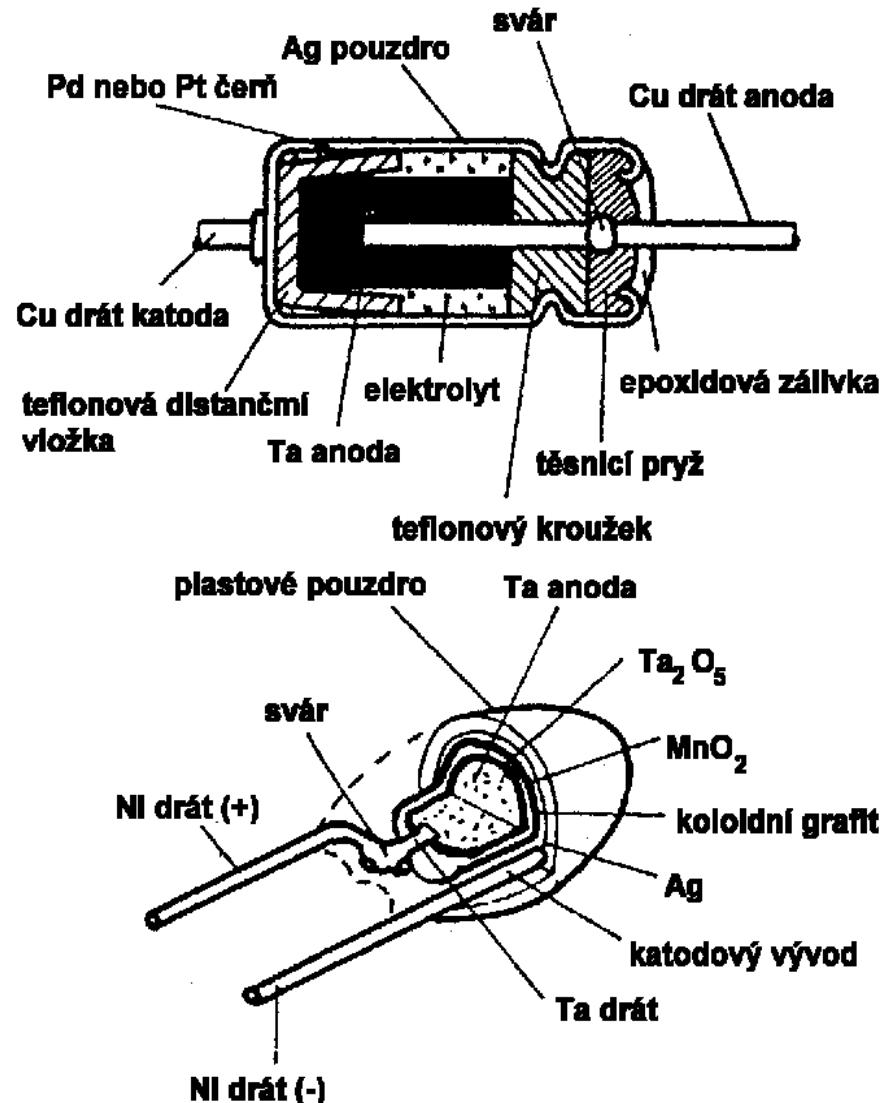
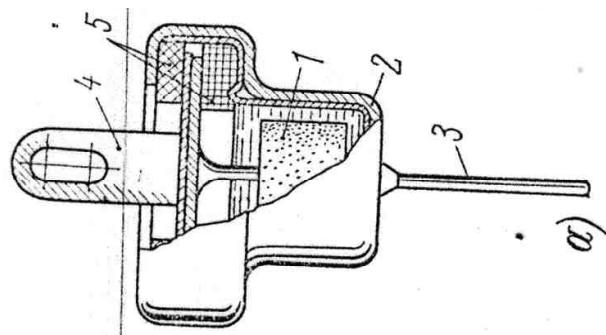


# Ta kondenzátory se sintrovanou anodou

**Anoda** se spéká ve vakuu z Ta prášku, oxiduje se v  $H_3 PO_4$ .

**C s kapalným elektrolytem** mají hermetická Ag pouzdra, která tvoří i katodu, elektrolyt je  $H_2 SO_4$ .

**C s tuhým elektrolytem** nemají hermetické pouzdro, elektrolyt je burel  $MnO_2$ , katoda je vrstva koloidního grafitu a stříbra



## Výroba anod

**Anoda** je tělíska spečené z Ta prášku s Ta přívodním trnem

**Tvaruje se lisováním** z prášku s pojivem – užívá se lihový roztok kafru

**Spékání ve vakuu** – anody se narovnají do Ta nebo grafitových formiček, následuje odstranění kafru sublimací při  $150^{\circ}\text{C}$  a sníženém tlaku. Vlastní spékání ve vakuu  $10^{-3}$  Pa ,  $1600$  až  $1750^{\circ}\text{C}$ , ohřívání 20-25 min, konstantní teplota 30 min.

**Formování** – obvykle  $\text{H}_3\text{PO}_4$  při teplotě kolem  $85^{\circ}\text{C}$ . Anody se navaří na Ta formovací lištu, která je nese a přivádí proud. Formovací napětí je vysoké, minimálně trojnásobek napětí provozního.

Koncentrace elektrolytu závisí na formovacím napětí

5%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  pro napětí do 60 V

0,1%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  pro napětí 60 až 130 V

0,01%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  pro napětí vyšší než 130 V

**Elektrolytická oxidace** má 3 fáze: 1. postupné zvyšování napětí až do proudu  $18\text{ mA/g}$  2. Formování konstantním proudem až do dosažení formovacího napětí (asi 2 hod) 3. Konstantní formovací napětí a snižování teploty (asi 3 hod)

**Očištění anod** – několikanásobný oplach v destilované vodě

## C s kapalným elektrolytem – montáž

**Pouzdro** – stříbrný kalíšek, uvnitř se pokrývá Pt nebo Pd černí pro zvětšení povrchu

Anoda je vložena mezi teflonové distanční vložky, na Ta trn na anodě je navařen vývodní CuSn drát

**Elektrolyt** je  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o koncentraci 38% (koncentrace s nejvyšší vodivostí)

Kondenzátor se utěsní teflonovým kroužkem nebo pryží odolnou elektrolytu, uzávěr se obvykle dokončí zálivkou epoxidovou pryskyřicí

Montáž se ukončí navařením CuSn drátu na Ag pouzdro, kondenzátor se doformuje při napětí 120% jmenovitého napětí po dobu 20 hodin

## C s tuhým elektrolytem

Výhodné vlastnosti: kondenzátor nemusí být hermeticky uzavřen, tuhý elektrolyt má větší vodivost než kapalný

**Tuhý elektrolyt** – téměř výhradne  $\text{MnO}_2$  – burel , který se připravuje přímo na anodách tepelným rozkladem dusičnanu manganatého  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$  , aby anody byly **impregnovány**



**Impregnace** : Naformované anody se ještě na lištách ve vakuovém impregnačním zařízení namočí do roztoku  $Mn(NO_3)_2$  , snížení tlaku na 2,7 kPa (20 torr, tlak nasycených par  $H_2O$  při  $23^\circ C$ ) . Impregnace trvá 10 až 30 min při sníženém tlaku, dalších 10 min po zrušení podtlaku.

Následuje sušení anod při teplotě 105 až  $120^\circ C$ , pyrolýza  $Mn(NO_3)_2$  při teplotě 350 až  $460^\circ C$  po dobu 5 až 15 min, podle velikosti anody.

Po pyrolýze se anody opláchnou , doformují malým proudem (0,3 mA/1g Ta) ve slabém roztoku  $H_3PO_4$  po dobu 3 až 5 hodin.

Doformování je nutné, samotný  $MnO_2$  nezaručuje regeneraci  $Ta_2O_5$ .

**Proces impregnace** se opakuje 3 až 6 krát.

**Katodová kontaktní vrstva** se dělá z koloidního grafitu (ququadag) a stříbrné pasty, suší se do  $160^\circ C$  , máčí v pájce Sn57Pb39Ag4 a na vrstvu se pájí drátek (Ni)

Anodový přívodní drát (Ni) se přivařuje na Ta trn anody

**Pouzdro** – nejčastější je KAPKA, která vznikne namočením do reaktoplastu

**Zahoření** : při napětí 120% jmenovitého a maximální teplotě – vyřadí se kondenzátory s poruchami

# SLÍDOVÉ KONDENZÁTORY

**Slída** – jediné anorganické dielektrikum, které lze používat při tloušťkách již od  $10\mu\text{m}$

Slída má vynikající elektrické i mechanické vlastnosti – aplikace ve VF technice a při VN

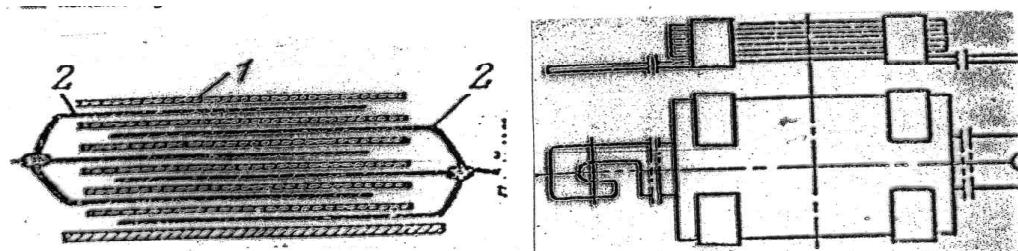
**MUSKOVIT** – křemičitan hlinito-draselný (Indie),  $\epsilon_r = 6,5$  až  $7$ ,  $\text{tg}\delta = 10^{-4}$ ,  $E_{\max} = 125$  až  $130 \text{ kV/mm}$ ,  $\rho_{\text{obj}} = 10^{15}$  až  $10^{16} \Omega\text{cm}$

**FLOGOPIT** - křemičitan a fluorid hlinito-hořečnato-draselný (BIOTIT bez Fe), je horší,  $\text{tg}\delta = 10^{-3}$  až  $10^{-2}$

**Konstrukce** – slídová destička, svazek destiček s elektrodami

**Elektrody** jsou z dobře vodivého kovu – dnes Ag, Cu.

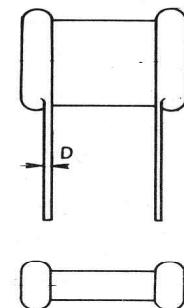
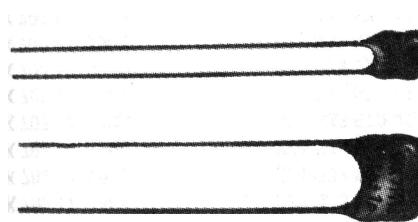
Musí mít maximální přilnavost ke slídě. Jinak vznikají parazitní kapacity, které by zmenšovaly stabilitu, zvětšovaly  $\text{tg}\delta$  a snižovaly bezpečné provozní napětí (vznik částečných výbojů). Pro malé proudy – nejlepší je vakuové napařování stříbra horší je redukční stříbření. Pro velké proudy vyhovují vkládané žíhané Cu folie (dříve i Sn). Svazky se musí mechanicky stlačit a impregnovat



**Impregnace** – po dokonalém vysušení a ve vakuu (1mmHg), jakostním impregnantem s čistě elektronovou polarizací –CEREZIN, PARAFIN, medicinální vazelina, transformátorový olej. Zabraňuje navlhnutí slídy ve svazku a vypňuje bubliny. Pokud impregnant může vlhnout, musí být kondenzátor hermeticky uzavřen.

**Postup výroby:** Štípání slídy na potřebnou tloušťku a stříhání na potřebné rozměry. Dále se slída suší, aby se zbavila i mikroskopické vlhkosti, suší se až 3000 hod. Může následovat nanášení elektrod a svazky se skládají z rozměřených destiček na požadovanou kapacitu, nebo se svazky skládají z destiček a folií. Složené a stažené svazky se znova suší a impregnují. Potom se opatřují vývody, kontaktování se dělá nýtováním, navařováním nebo pájením vývodů na vrstvy nebo folie. Nakonec se kondenzátory pouzdří a znova kontrolují z hlediska zachování elektrických parametrů.

Prehistorické kondenzátory se neimpregnovaly a nepouzdřily, byly to jen HOLÉ svazky s vývody. Nejsou spolehlivé, zničí je vlhkost a hlavně  $\text{SO}_2$ , který sežere nechráněné stříbro.



Dnes nejběžnější slídové kondenzátory jsou TMELENÉ (fenolitickým tmelem). Dříve byla nejběžnější pouzdra z reaktoplastu (jiného plastu).

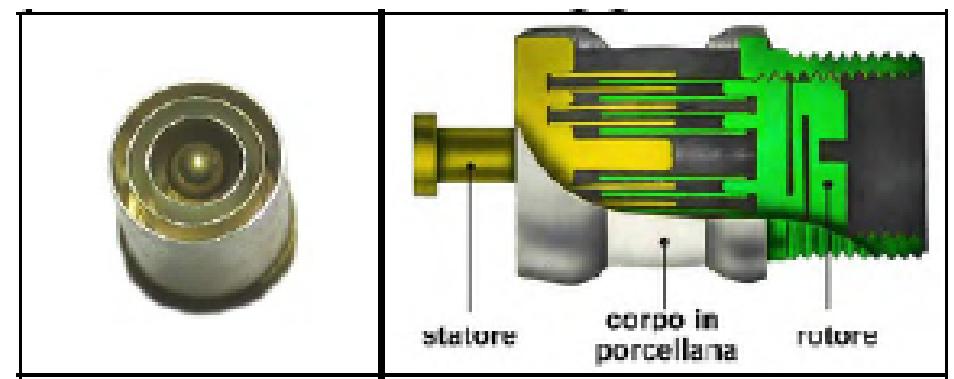
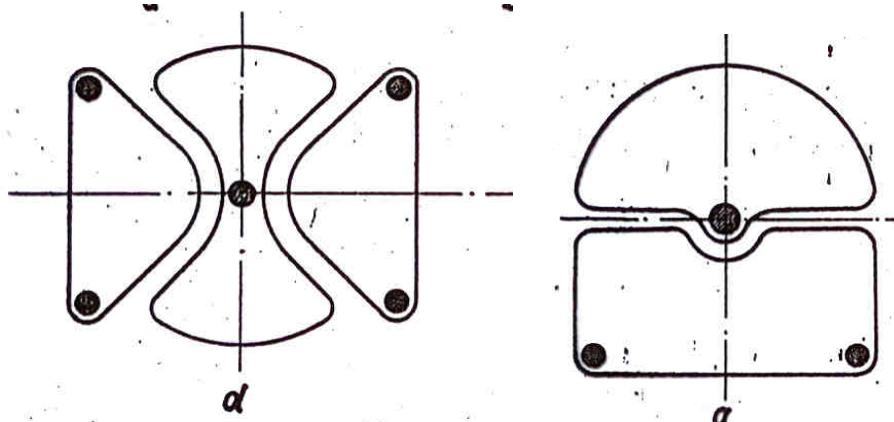
Nejbezpečnější jsou kovo-keramická, která jsou vakuotěsná, lze je použít i pro kondenzátory impregnované olejem.

Kondenzátory se hodí na napětí do několika desítek kV, proudy do několika desítek A, mohou pracovat na frekvencích i mnoho GHz. Vyrábějí se i jako nastavovací- slídové stlačovací trimry.

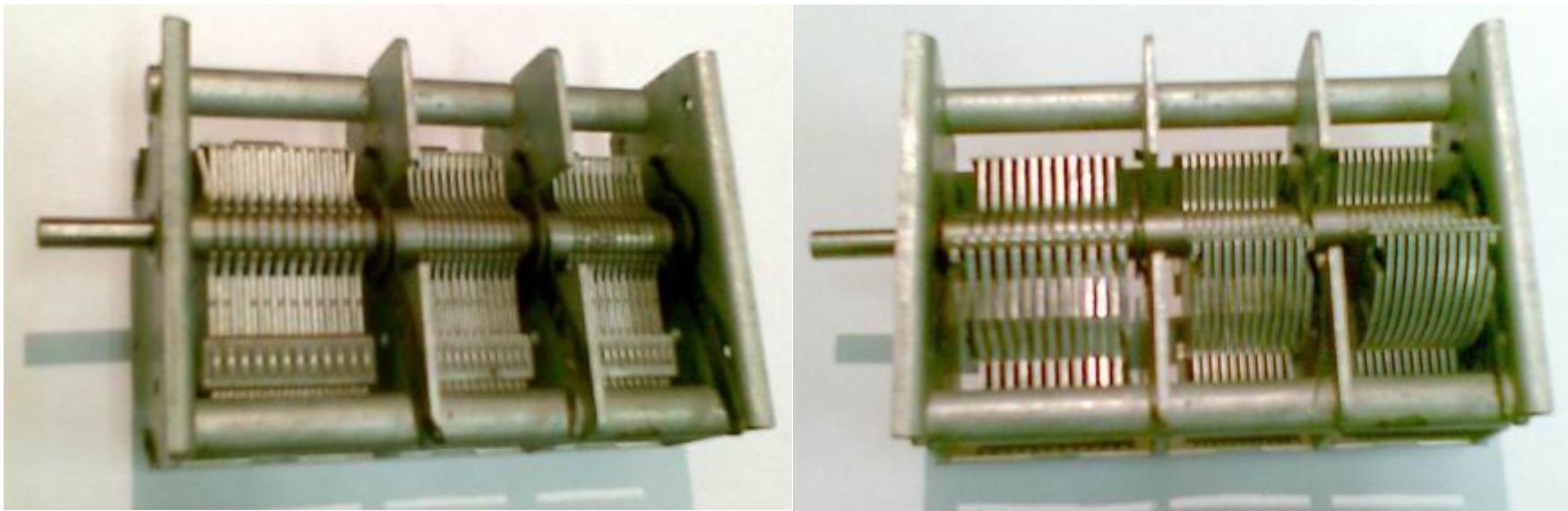


## VZDUCHOVÉ KONDENZÁTORY

jsou tvořeny soustavami desek, které jsou odděleny vzduchovými mezerami. Dielektrikum je vzduch – nemá prakticky žádné ztráty, neopotřebuje se, je ho dost, má ale malou permitivitu a elektrickou pevnost. Téměř výlučně proměnné – ladící, nastavovací kondenzátory, nejčastější je otočné provedení



# VZDUCHOVÉ KONDENZÁTORY KLASICKÉ PROVEDENÍ



Soustavy desek – rotorové, statorové

Nosný rám kondenzátoru

Hřídel, uložení hřídele

Izolované upevnění statoru, někdy i rotoru

Rotorový sběrač

DESKY - Al, Cu, MS, bronz, pokovení Ag, Au

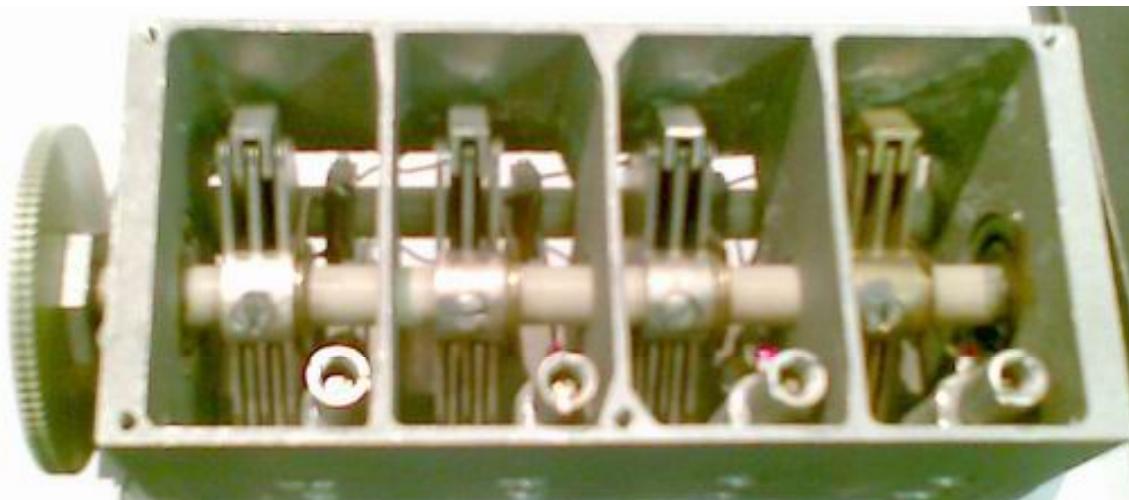
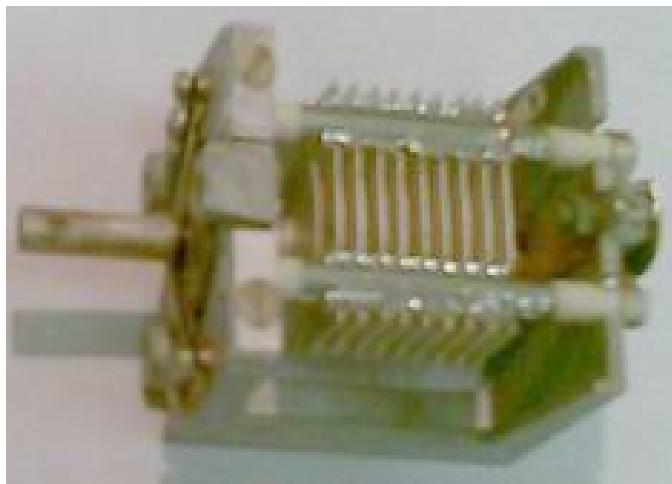
SPOJENÍ - nýtování,lisování, pájení

Frézované systémy desek

**Nejhorší** – Al lisované nýtované – uvolňují se, spoje mají přechodové odpory

Dobré – pájené Cu, MS

**Nejlepší** - frézované MS, bronz



## NOSNÝ RÁM

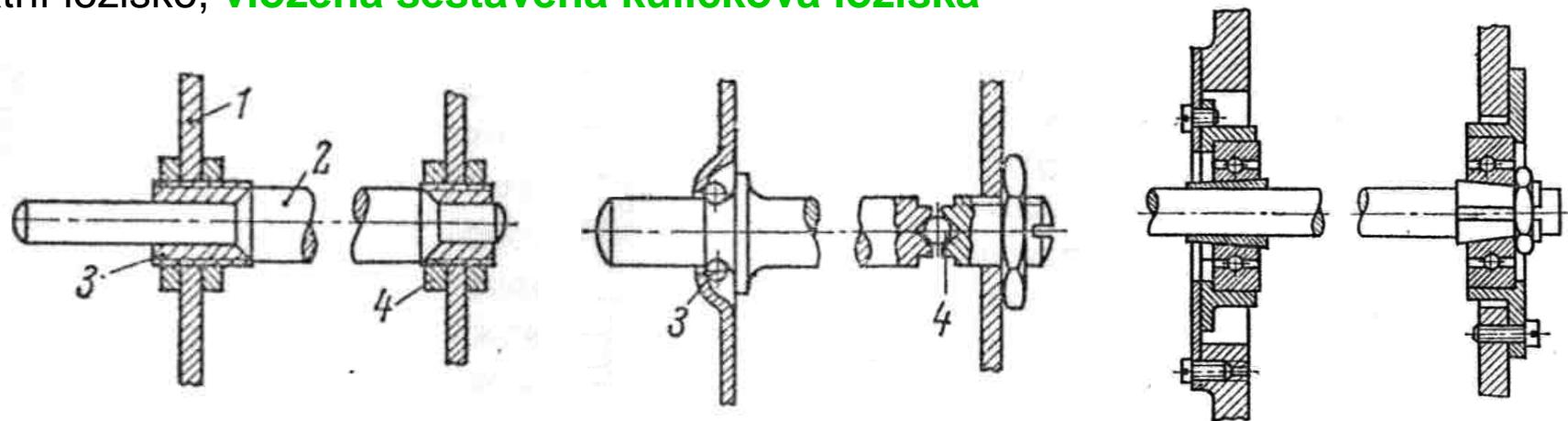
**Lisovaný** , složený , svařený z ocelových plechů a profilů

Sešroubovaný z kovových, keramických, mikalexových dílů

**Odlitek** (Al slitina)

**HŘÍDEL** kovová, keramická, nese rotor, nesmí mít v uložení axiální ani radiální „výlil“

**ULOŽENÍ HŘÍDELE** – **kluzná ložiska**, improvizovaná kuličková ložiska, kuličkové patní ložisko, **vložená sestavená kuličková ložiska**



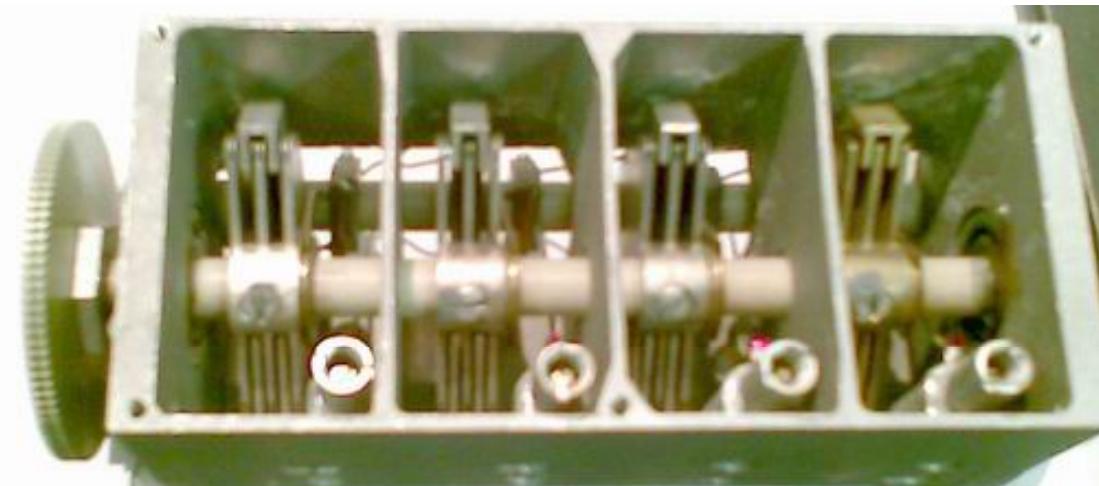
Převody pro ovládání kondenzátorů



IZOLOVANÉ UPEVNĚNÍ – musí být použito pevné a nízkoztrátové dielektrikum

## KERAMIKA, SKLO

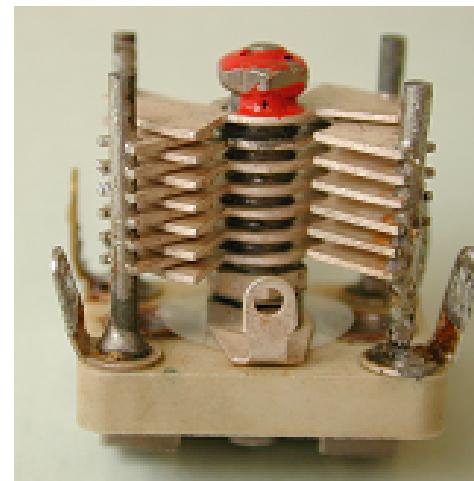
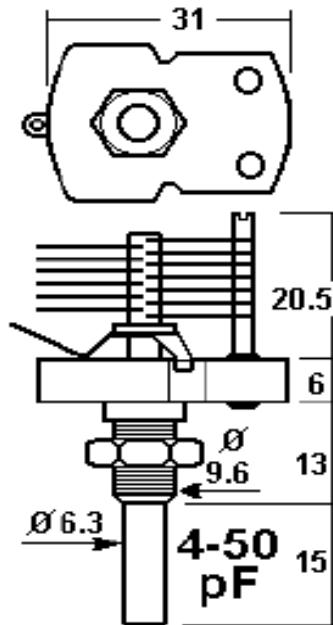
Špatný materiál jsou veškeré plasty, mají dielektrické ztráty, nejsou pevné



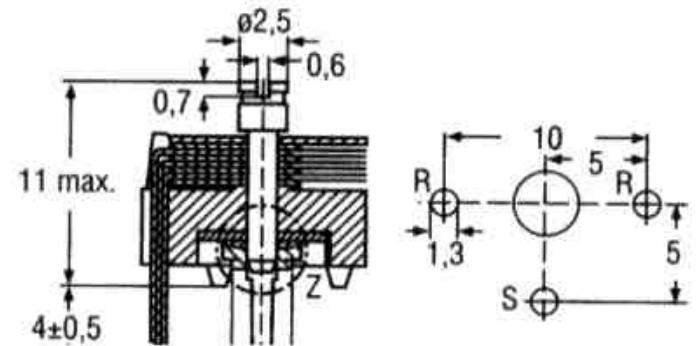
KERAMICKÁ HŘÍDEL  
mat. „KALIT“

# NASTAVOVACÍ KONDENZÁTORY

Zjednodušený proměnný kondenzátor – jednodušší mechanická konstrukce , ovládání pomocí nástroje, někdy možnost spolehlivého zajištění nastavení kondenzátoru

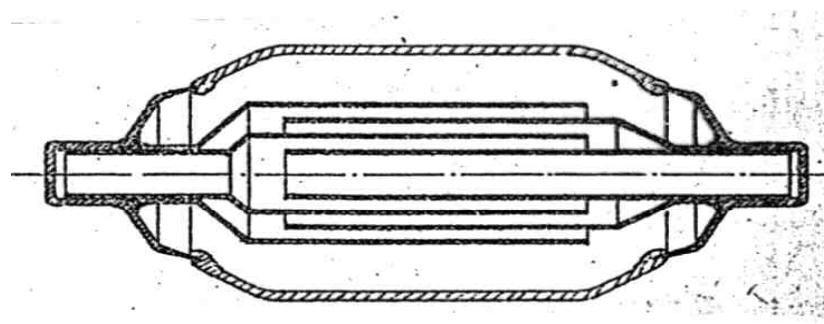


Do mezer mezi deskami lze vložit i pevné dielektrikum, např. polystyren (trolitul, styroflex) , vznikne **proměnný kondenzátor s dielektrickou folíí**.



# VAKUOVÉ KONDENZÁTORY

Elektrodový systém podobný vzduchovému kondenzátoru může pracovat i ve stlačeném plynu, oleji nebo ve vakuu – výsledkem je vyšší elektrická pevnost dielektrika. Nejběžnější úpravou jsou **vakuové kondenzátory**. Vysoké vakuum prakticky nelze prorazit (pokud nedojde k autoemisi vlivem vysoké intenzity elektrického pole). Obtížnější je ale udržet vakuotěsnost systému – musí být řešen jako elektronka.

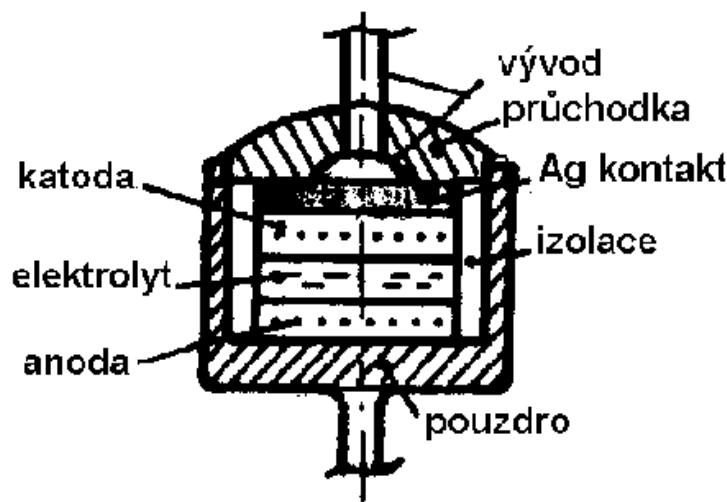
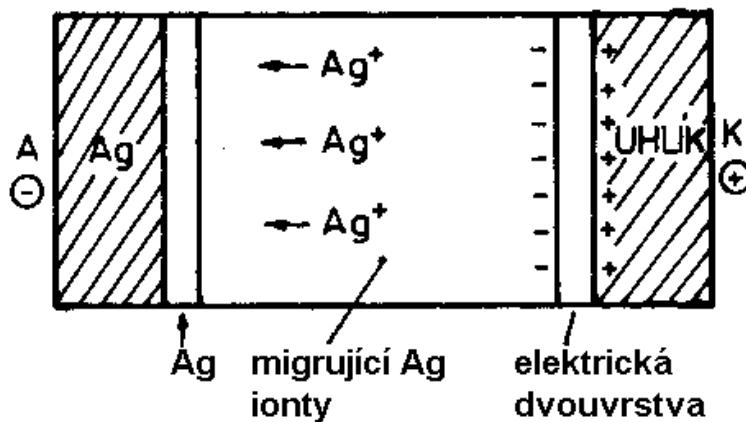


## STŘADAČE ELEKTRICKÉHO NÁBOJE

Zvláštní druh kondenzátorů s velmi vysokou objemovou kapacitou. Principem a konstrukcí jsou podobné elektrolytickému kondenzátoru s pevným elektrolytem. Kapacita vzniká v iontové dvouvrstvě na rozhraní grafitové elektrody a elektrolytu. Dosahuje vysoké hodnoty, asi  $10\text{F}/\text{cm}^2$ , prodává se  $1000\text{ F}/2,5\text{ V}$

Kondenzátor se skládá ze stříbrné anody, která je oddělena pevným elektrolytem  $\text{RbAg}_4\text{J}_5$  od uhlíkové katody. Při nabíjení migrují kladné stříbrné ionty od uhlíkové anody přes vrstvu elektrolytu, čímž vzniká u uhlíkové anody iontová dvouvrstva. Elektrolyt je chemicky stálý do napětí  $0.66\text{ V}$ , v tomto rozmezí napětí lze za nepolarizovatelné považovat i elektrody. Při vybíjení dochází k opačnému ději, stříbrné ionty se vracejí zpět k uhlíkové anodě.

Příklad konstrukce jednoho prvku střadače elektrického náboje (prvek ESD - Energy Storage Device) je uveden na obr. Provozní napětí je omezeno do  $0.5\text{V}$ , pro vyšší napětí se prvky zapojují do série.



# VLASTNOSTI KONDENZÁTORU

velikost kapacity

teplotní závislost kapacity

napěťová závislost kapacity

izolační odpor ( zbytkový proud ) kondenzátoru

ztrátový činitel kondenzátoru

kmitočtová závislost kapacity ( impedance kondenzátoru )

maximální provozní napětí kondenzátoru

maximální provozní proud kondenzátorem

maximální výkon kondenzátoru

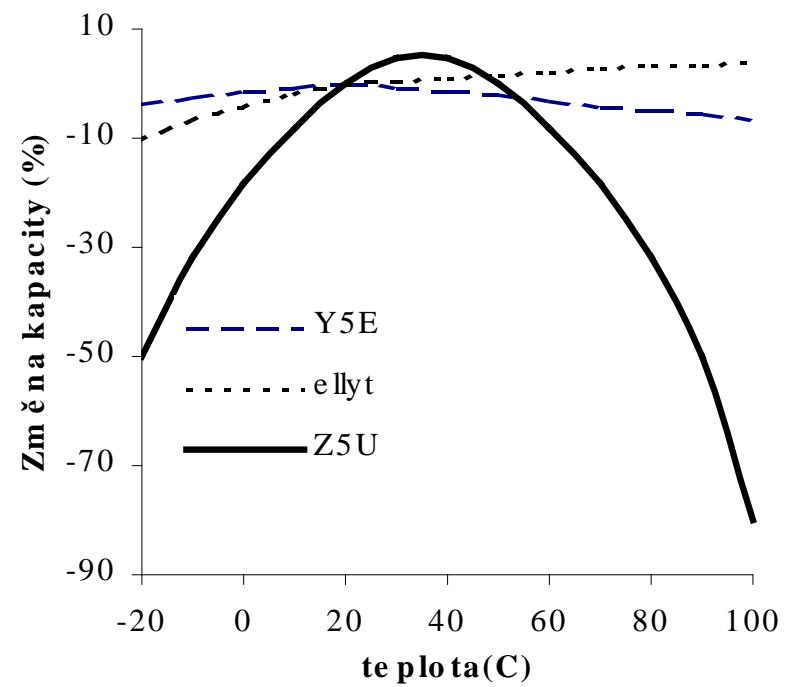
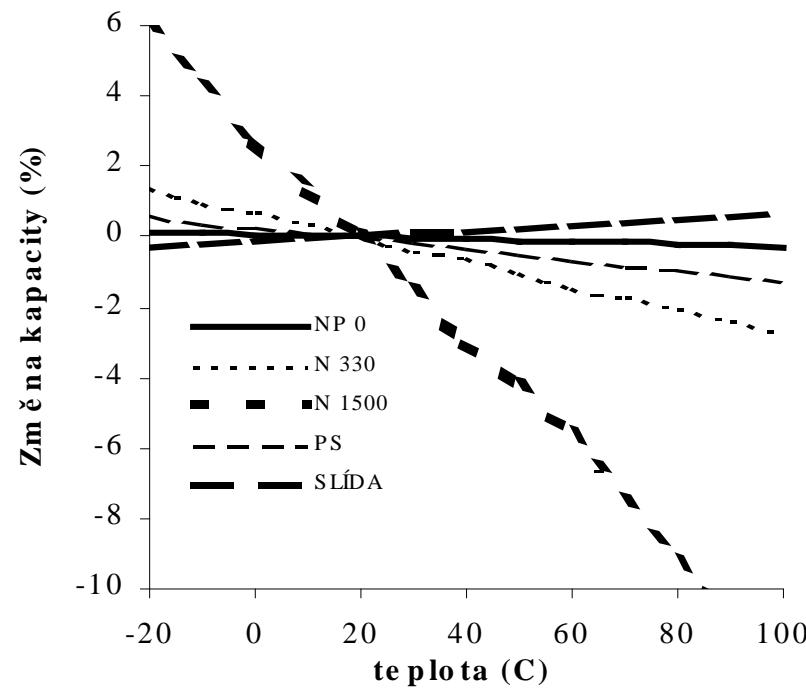
stárnutí kondenzátorů ( časová změna parametrů )

**Velikost kapacity kondenzátoru** a tolerance jsou základní parametry kondenzátoru. Vyrábějí se hodnoty od 1 pF až do hodnot asi 0,1 F, u střadačů elektrického náboje do 10 F. Jmenovitá kapacita se udává při poměrně nízké frekvenci (50 až 1000 Hz, pro kondenzátory malých hodnot 1 MHz) a při malém napětí, obvykle řádu jednotek V. U elektrolytických kondenzátorů je uvažována kapacita měřená malým střídavým napětím frekvence 50 nebo 100 Hz, při polarizaci kondenzátoru stejnosměrným napětím blízkým napětí provoznímu.

**Teplotní závislost kapacity** je důležitou vlastností kondenzátorů, které jsou určeny pro použití v měřicích a selektivních (rezonančních) obvodech. Pokud je závislost malá, bývá popisována teplotním součinitelem kapacity  $\alpha_c$ .

$$C(\vartheta) = C_o [1 + \alpha_c (\vartheta - \vartheta_o)]$$

**Napěťová závislost kapacity** se vyskytuje u nelineárních kondenzátorů se silně polárním a zvláště feroelektrickým dielektrikem. Jeho vznik je způsoben závislostí permitivity dielektrika na intenzitě elektrického pole. Závislost je nelineární a může způsobit nežádoucí nelineární zkreslení signálu.



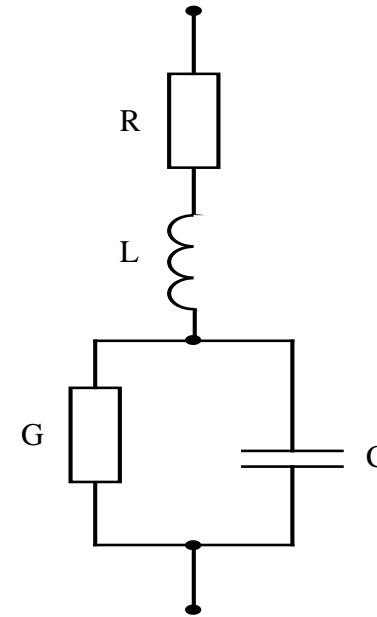
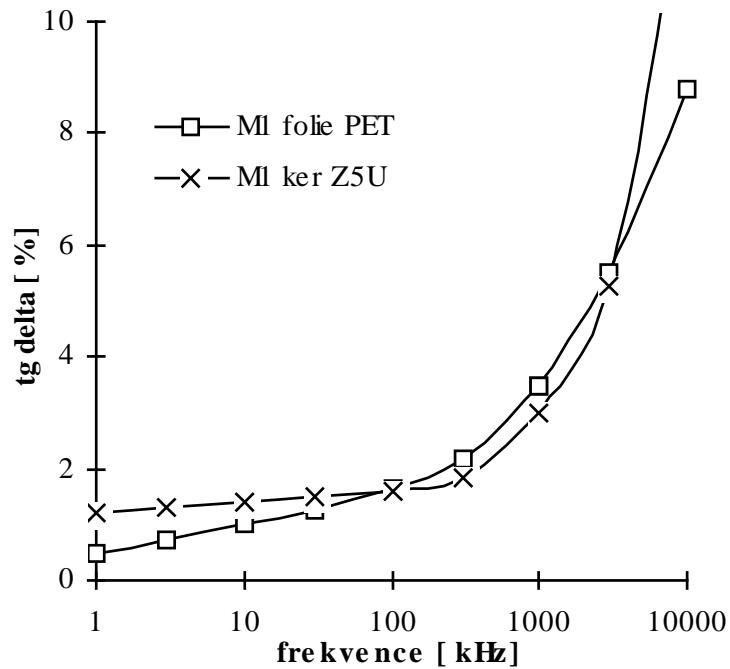
**Izolační odpor kondenzátoru (zbytkový proud, časová konstanta)** popisuje izolační vlastnosti dielektrika při stejnosměrném napětí. Umožňuje zhodnotit proces stárnutí i další jevy (např. navlhnutí). Hodnota izolačního odporu běžných kondenzátorů z plastových folií nebo papíru je v rozmezí  $10^9$  až  $10^{11}\Omega$ .

U elektrolytických kondenzátorů je stav izolační vrstvy hodnocen pomocí zbytkového proudu kondenzátoru. Tak je označován proud, který protéká kondenzátorem 5 až 10 min. po přivedení jmenovitého stejnosměrného napětí na kondenzátor. Zbytkový proud nebo izolační odpor silně závisí na napětí a teplotě, s rostoucí teplotou a napětím izolační odpor klesá a zbytkový proud roste.

**Ztrátový činitel kondenzátoru** charakterizuje velikost ztrát v kondenzátoru, zapojeném v obvodu střídavého proudu. Jeho hodnota udává poměr mezi činným a jalovým výkonem v kondenzátoru nebo poměr mezi reálnou a imaginární částí impedance kondenzátoru

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P}{P_q} = \frac{R}{X}$$

Ztrátový činitel  $\operatorname{tg} \delta$  udává všechny ztráty v kondenzátoru, nejenom ztráty vznikající v dielektriku, ale i ohmické ztráty v elektrodách kondenzátoru a v jeho přívodech.

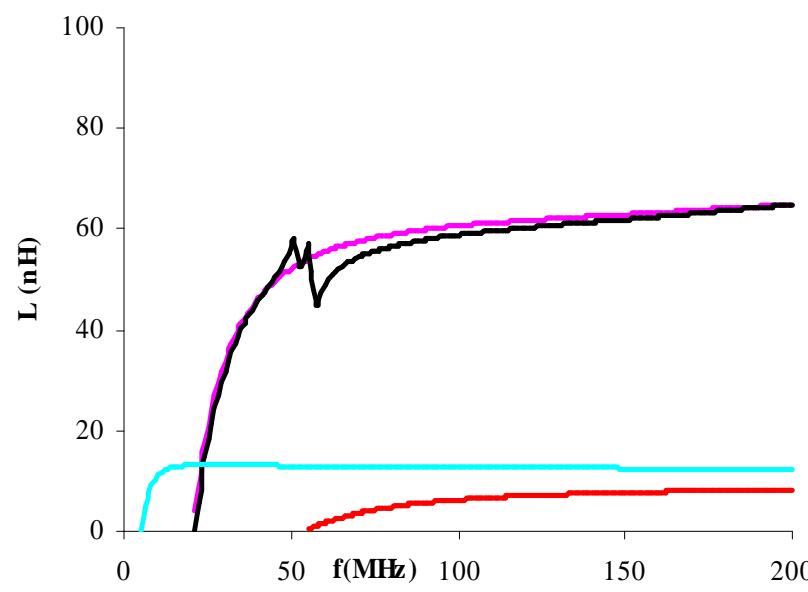
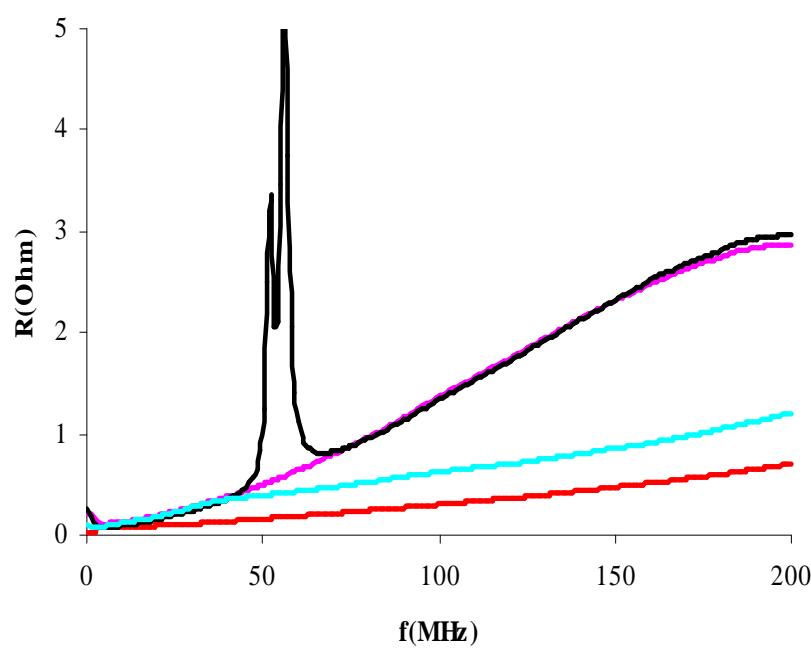
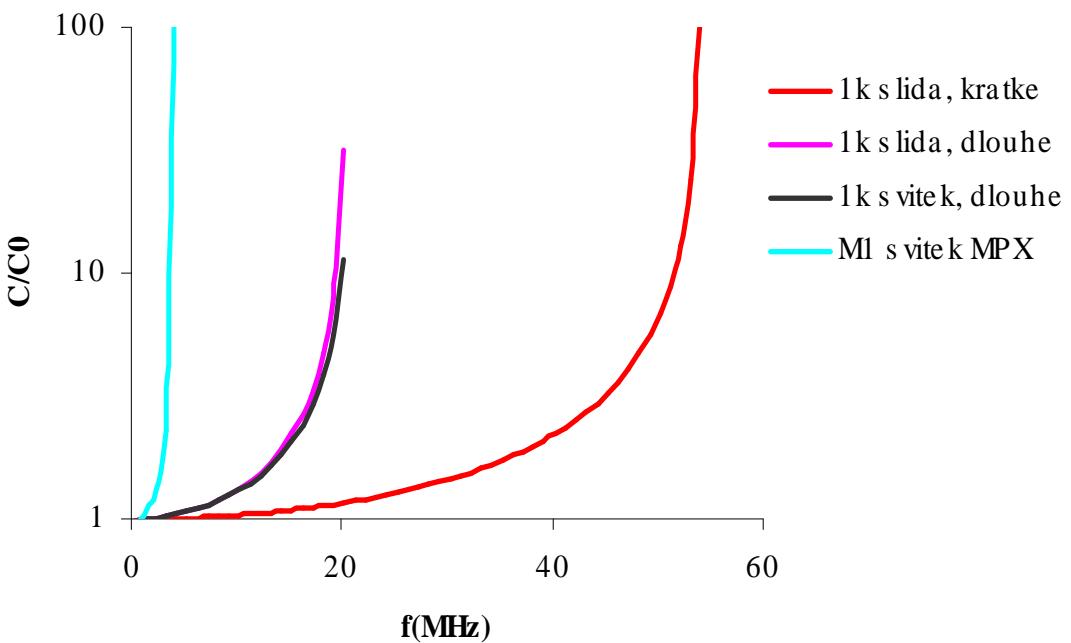
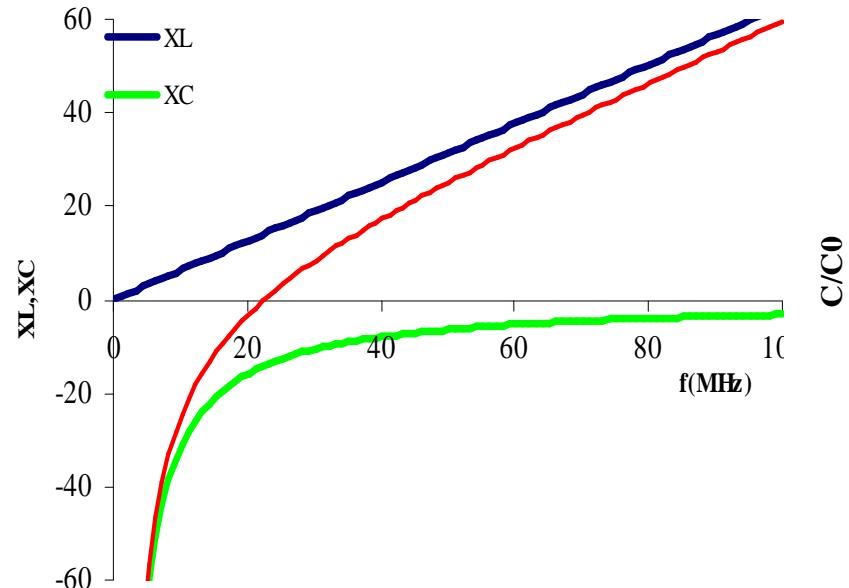


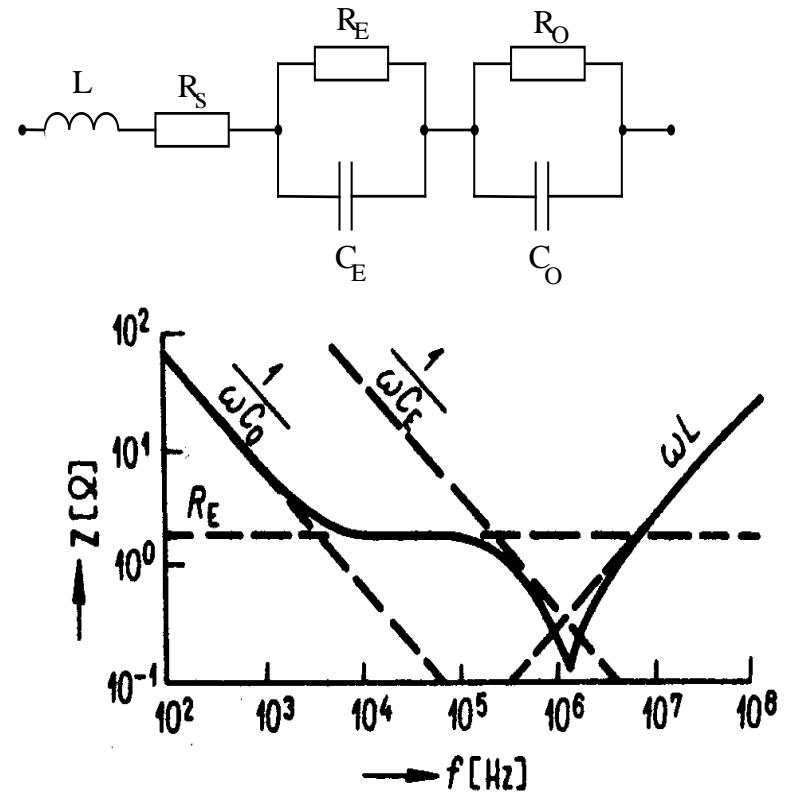
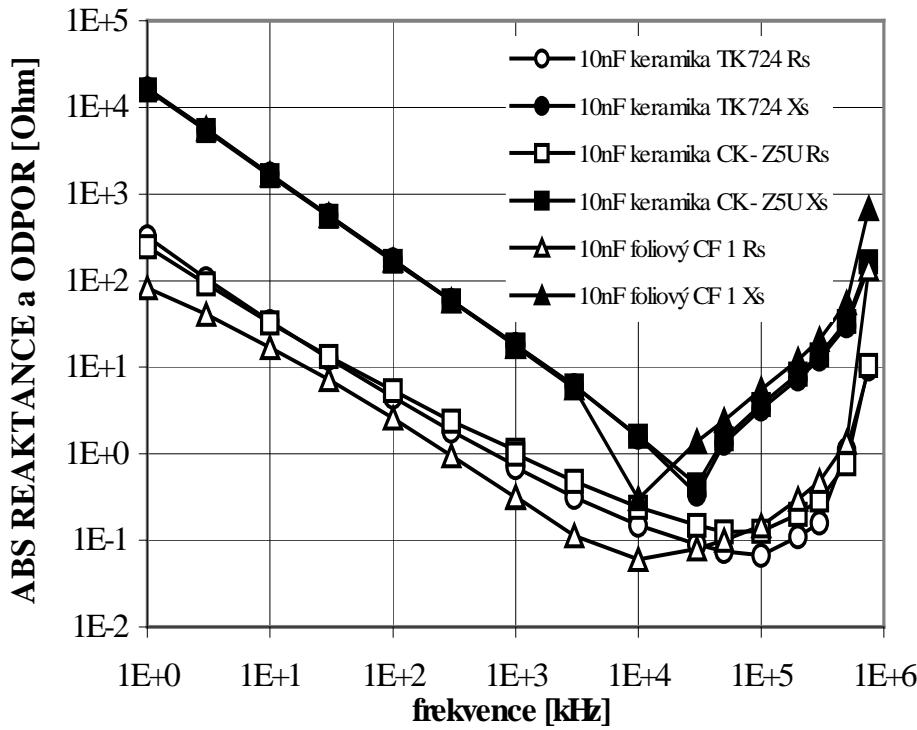
**Kmitočtová závislost kapacity** kondenzátoru může být způsobena kmitočtovou závislostí permitivity použitého dielektrika, většinou vzniká jako zdánlivá kmitočtová závislost kapacity vlivem parazitních parametrů kondenzátoru.

$$Z = R_s + jX_s = R + j\omega L + \frac{G - j\omega C}{G^2 + \omega^2 C^2} = R + \frac{G}{G^2 + \omega^2 C^2} + j\omega \left( L - \frac{C}{G^2 + \omega^2 C^2} \right)$$

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad Z \approx R + \frac{G}{\omega^2 C^2} - j \frac{1 - (f/f_o)^2}{\omega C} = R_s - j \frac{1}{\omega C_s}$$

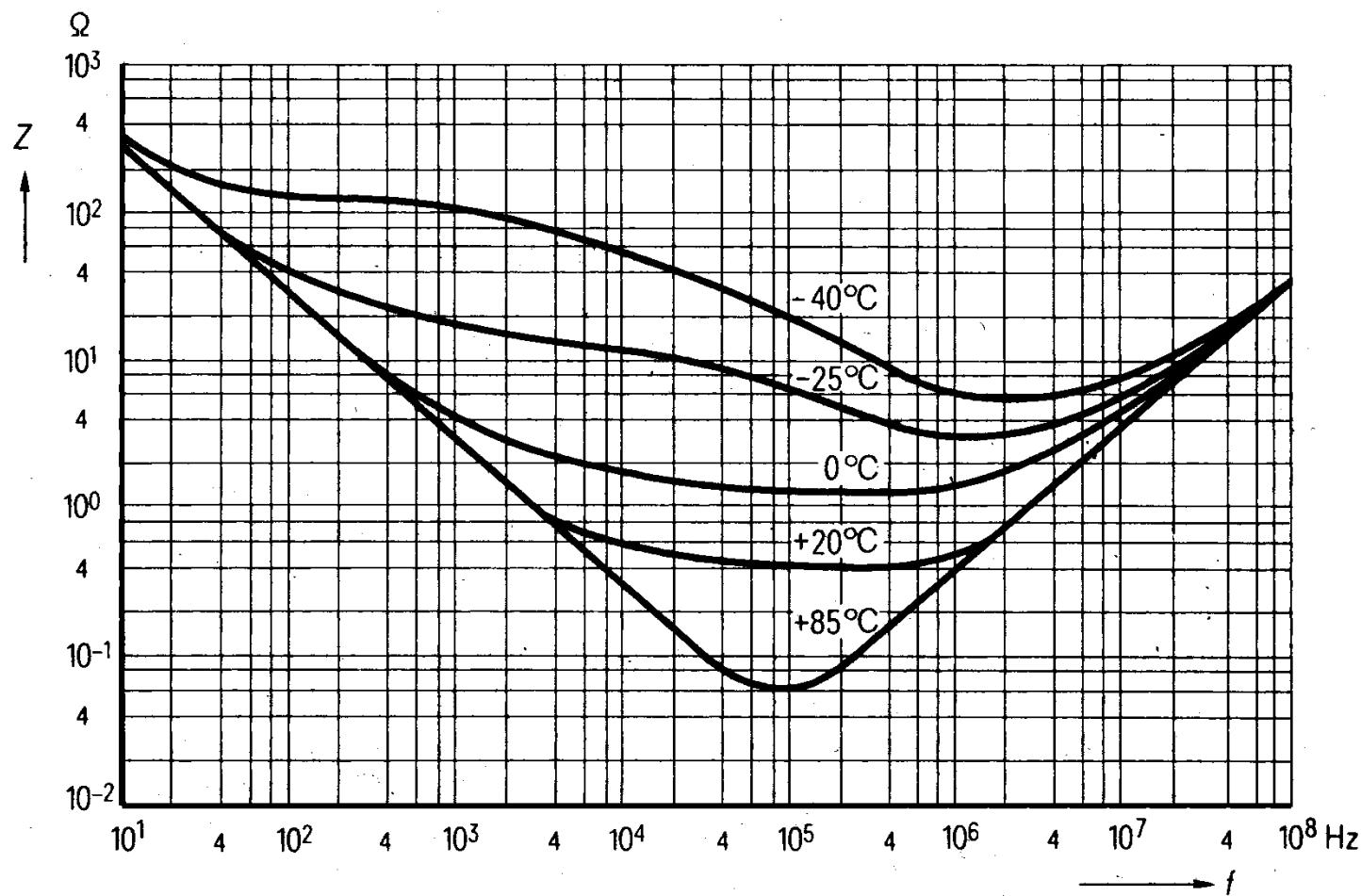
Z uvedených vztahů je zřejmé, že reálný kondenzátor vykazuje kapacitu pouze pod rezonanční frekvencí  $f_o$ , přičemž ekvivalentní kapacita a ztrátový činitel se s rostoucí frekvencí zvyšují. Při rezonanční frekvenci je impedance kondenzátoru minimální a reálná, při frekvencích  $f > f_o$  má impedance indukční charakter, daný indukčností elektrod kondenzátoru a jeho přívodů.





Kmitočtová závislost impedance elektrolytických kondenzátorů je do značné míry odlišná. Jeho impedance je ovlivňována nejen kapacitou kysličníkové vrstvy na anodě, ale navíc i kapacitou a odporem vrstvy elektrolytu mezi elektrodami kondenzátoru. Kapacita  $C_o$  a odpor  $R_o$  reprezentují kysličníkovou vrstvu, kapacita  $C_E$  a odpor  $R_E$  elektrolyt, indukčnost  $L$  a odpor  $R_s$  indukčnost a odpor elektrod a přívodů. Reálný průběh závislosti absolutní hodnoty impedance elektrolytického kondenzátoru na kmitočtu je odlišný i při různých teplotách.

# KMITOČTOVÁ ZÁVISLOST IMPEDANCE ELEKTROLYTICKÉHO KONDENZÁTORU



**Maximální provozní napětí** kondenzátoru je nejčastěji udáváno jako maximální stejnosměrné napětí, které smí být přivedeno trvale na svorky kondenzátoru za definovaných podmínek.

U některých typů kondenzátorů, určených pro provoz při střídavém napětí sítě, se udává provozní napětí střídavé s frekvencí 50Hz. Jinak je přípustná velikost střídavého napětí odvozována od jmenovitého stejnosměrného napětí (20-30 %). Na vysokých frekvencích může být maximální střídavé napětí na kondenzátoru omezeno i velikostí ztrát v dielektriku při určitém napětí a přípustným ohřevem kondenzátoru.

V případě, že je na kondenzátor převedeno stejnosměrné i střídavé napětí zároveň, nesmí součet stejnosměrného napětí a špičkové hodnoty napětí střídavého překračovat jmenovité napětí, zároveň nesmí být překročeno střídavé provozní napětí.

**Maximální provozní proud** kondenzátoru je dán nejvyšší hodnotou střídavého proudu určité frekvence, který kondenzátorem může protékat, aniž dojde k jeho poškození. Na nižších frekvencích jeho velikost závisí na maximálním provozním napětí kondenzátoru. Na vysokých frekvencích jeho velikost závisí na přípustném ohřátí kondenzátoru vlivem ztrát v dielektriku nebo v oblasti nejvyšších frekvencí vlivem ohmických ztrát v elektrodách.

**Maximálním výkonem kondenzátoru** rozumíme maximální jalový výkon, kterým lze kondenzátor zatížit nebo maximální hodnotu ztrátového výkonu, která může být v kondenzátoru disipována. Obě hodnoty jsou vzájemně spjaty, jejich poměr udává ztrátový činitel kondenzátoru . V oblasti vyšších kmitočtů je maximální jalový výkon omezujícím činitelem i pro maximální napětí a proud kondenzátoru. Maximální přípustné napětí na kondenzátoru s frekvencí klesá, někdy i s kvadrátem. Přípustný ztrátový výkon kondenzátoru závisí na teplotě a podmínkách chlazení kondenzátoru.

**Stárnutí kondenzátorů** se projevuje nevratnými změnami jejich vlastností. Parametry sledované při procesu stárnutí jsou změna kapacity, ztrátového činitele a pokles izolačního odporu. Rychlosť stárnutí je u kondenzátorů ovlivňována pracovní teplotou, při vyšší teplotě probíhá stárnutí rychleji. Dále je rychlosť stárnutí ovlivňována i provozním napětím, při vyšším provozním napětí stárne kondenzátor opět rychleji. Nejrychleji obvykle stárnu elektrolytické kondenzátory, jejichž stárnutí je způsobeno vysycháním elektrolytu.

## SROVNÁNÍ

Druh	C [ $\mu$ F]	U [V]	toler. [%]	stab. [%]	tg δ [%]	R <sub>iz</sub> [Ω], I <sub>z</sub> [ $\mu$ A]	L <sub>s</sub> [nH]	teplota [°C]
svitek papír	10 <sup>-3</sup> až10 <sup>2</sup>	100až30k	10	1	1	R 10 <sup>9</sup>	100 až10 <sup>4</sup>	-60 až 90
svitek PS	10 <sup>-3</sup> až10 <sup>2</sup>	60až16k	0,1	0,1	0,1	R 10 <sup>11</sup>	100 až10 <sup>4</sup>	-40 až 50
svitek bezind.	10 <sup>-3</sup> až10	60až3k	1	1	0,1	R 10 <sup>10</sup>	10	-60 až 90
keramika 1	1pFaž1nF	100až20k	0,1	0,01	0,1	R 10 <sup>10</sup>	1	-60až120
keramika 2	10 <sup>-4</sup> až10 <sup>-2</sup>	100až20k	50	50	10	R 10 <sup>6</sup>	10	0 až 60
keramika 3	10 <sup>-3</sup> až1	12až100	90	90	50	R 10 <sup>6</sup>	10	0 až 60
ellyt Al	1až 10 <sup>5</sup>	3až500	50	50	20	I <sub>z</sub> = 0,02 CU	10 <sup>3</sup> až10 <sup>4</sup>	-20až+80
ellyt Ta	1až 10 <sup>3</sup>	3až200	50	50	20	I <sub>z</sub> = 0,02 CU	100	-60až90