



11. Úloha

Měření kondenzátorových dielektrik

1 Teoretický úvod

Kondenzátor je součástka, pomocí níž v elektrickém obvodu realizujeme kapacitu. Podobně jako ostatní součástky vykazuje řadu vedlejších závislostí (indukčnost, sériový a paralelní odpor, teplotní a napěťovou závislost atd.). Kondenzátory se vyrábějí různými technologiemi výroby, z různých materiálů a mají i různou konstrukci. Dle toho se dělí na různé typy, které mají odpovídající vlastnosti a typické využití. Materiál dielektrika výrazně ovlivňuje nejen velikost kapacity, ale i další parametry.

Hodnota kapacity C je přímo úměrná ploše elektrod S , permitivitě materiálu ε a nepřímo úměrná vzdálenosti elektrod d dle vztahu

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \text{ (F)}. \quad (1)$$

Požadavek na minimální rozměry předpokládá použití materiálů dielektrika s vysokou relativní permitivitou (tzv. feroelektrika). Tyto materiály jsou však při vyšších teplotách značně teplotně závislé a jejich relativní permitivita s rostoucí teplotou rychle klesá.

Teplotní závislost kapacity kondenzátoru závisí především na typu dielektrika (na teplotní závislosti relativní permitivity). Nejmenší závislost tak lze očekávat od vzduchových nebo plynových kondenzátorů. Velmi dobře jsou na tom i foliové kondenzátory.

U keramických kondenzátorů je naproti tomu situace rozdílná. Jejich kapacita může s teplotou růst i klesat, navíc v různých teplotních intervalech. Teplotní závislost pro malé změny teploty se linearizuje a vyjadřuje pomocí teplotního koeficientu kapacity dle vztahu

$$\alpha_c = \frac{(C_2 - C_1)}{C_{25}(\vartheta_2 - \vartheta_1)} \cdot 10^6 \text{ (ppm} \cdot \text{K}^{-1}\text{)}, \quad (2)$$

kde C_1 je kapacita vzorku při teplotě ϑ_1 , C_2 je kapacita vzorku při teplotě ϑ_2 , C_{25} je kapacita při referenční teplotě (dle EIA (Electronic Industries Alliance) je to 25 °C), ϑ_1 je dolní měřicí teplota, ϑ_2 je horní měřicí teplota. Teplotní koeficient kapacity může být kladný nebo záporný a leží obvykle v rozsahu od -100 do +1500 ppm·K⁻¹.

Teplotní závislosti kapacity bývají obvykle do grafů vynášeny jako relativní změny

$$\Delta C / C_{20} = \frac{C - C_{20}}{C_{20}} \cdot (100 \%) \text{ (- / \%)}, \quad (3)$$

kde C je kapacita při dané teplotě a C_{20} je kapacita kondenzátoru při 20 °C.

V současné době jsou používány dvě hlavní třídy keramických kondenzátorů. *Třída 1* je



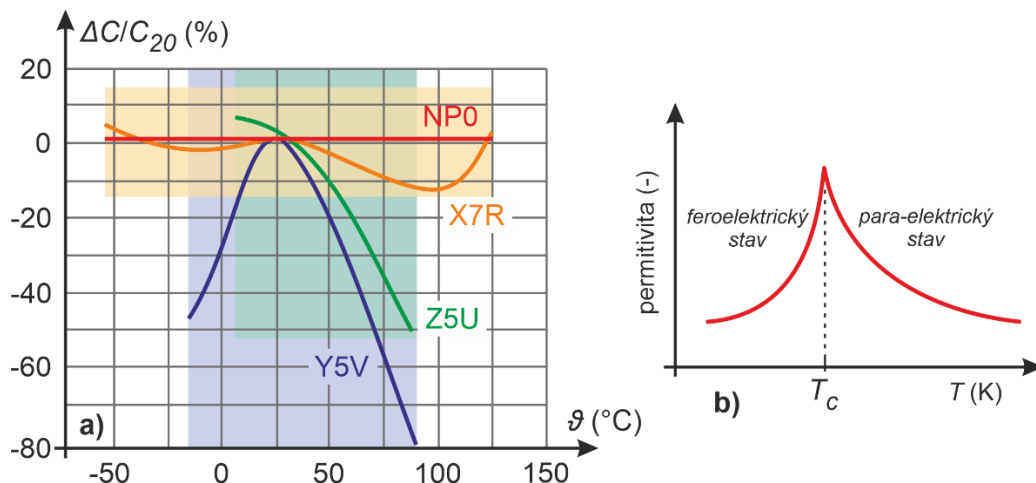
založena na para-elektrické keramice, jako je např. oxid titaničitý (TiO_2 – rutil). Keramické kondenzátory této třídy mají vysokou úroveň stability kapacity, nízký teplotní koeficient a nízké dielektrické ztráty. Nejstabilnější keramické kondenzátory této třídy mají označení NP0, dosahují obvykle ale jen malé kapacity. Kondenzátory třídy 1 se používají v oscilátorech, filtrech a dalších radiofrekvenčních aplikacích.

Keramické kondenzátory *třídy 2* používají keramické dielektrikum na bázi feroelektrických materiálů, jako je např. titaničitan barnatý (BaTiO_3). Kvůli vysoké dielektrické konstantě těchto materiálů nabízejí keramické kondenzátory třídy 2 vyšší kapacitu na jednotku objemu, ale mají nižší přesnost a menší stabilitu než kondenzátory třídy 1. Některé materiály z této skupiny bývají někdy označovány i jako kondenzátory *třídy 3*. Toto označení se používá pro kondenzátory vykazující nejvyšší hodnoty kapacity, ale s výrazně nižší stabilitou (viz Tab. 1). Používají se jako vyhlazovací, blokovací, oddělovací nebo vazební kondenzátory, kde absolutní hodnota kapacity není tak důležitá.

Tab. 1: Značení kondenzátorů třídy 2 a 3 dle jejich parametrů.

Dolní pracovní teplota		Horní pracovní teplota		Toleranční rozsah změny kapacity v teplotním rozsahu		
X	-55 °C	4	65 °C	P	±10 %	třída 2
Y	-30 °C	5	85 °C	R	±15 %	
Z	10 °C	6	105 °C	L	±15 % +15 / -40 % nad 125 °C	
		7	125 °C	S	±22 %	
		8	150 °C	T	+22 / -33 %	třída 3
		9	200 °C	U	+22 / -56 %	
				V	+22 / -82 %	

Konkrétní typ teplotní závislosti popisují výrobci písmenným a číselným označením např. X7R, Z5U atd. K těmto značením následně existují tepelné charakteristiky relativní změny kapacity.



Obr. 1: Typické závislosti relativní změny kapacity kondenzátoru na teplotě pro různé keramické dielektrické materiály (a) a znázornění změny permitivity u feroelektrických dielektrik v okolí Curieovy teploty T_c (b).

Přibližně při teplotě 25 °C přechází keramiky z feroelektrického do para-elektrického stavu, kdy se vlivem změny vnitřního uspořádání atomů v krystalické mřížce mění rozložení elektrického náboje a při této fázové přeměně feroelektrický efekt vymizí. Teplota fázové transformace je označována jako *Curieova teplota* a může být stanovena jako teplota lokálního maxima závislosti $C = f(\vartheta)$.

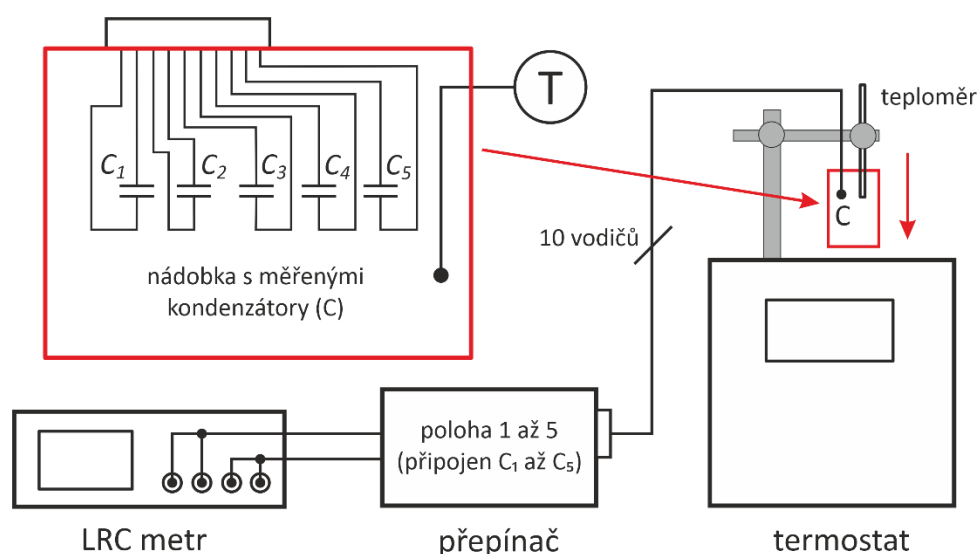
2 Zadání

- 1) Změřte teplotní závislost kapacity a ztrátového činitele $\tan \delta$ vybraných typů kondenzátorů v teplotním rozsahu od 10 °C do 55 °C s krokem 5 °C.
- 2) Vytvořte grafy teplotní závislosti kapacity kondenzátorů (vynesené jako $\Delta C/C_{20}$) a ztrátového činitele pro jednotlivé materiály.
- 3) Pro kondenzátory se slídovým dielektrikem a s dielektrikem NP0 stanovte teplotní koeficient kapacity α_c pro teplotní rozsah 20 °C až 55 °C.
- 4) Pro kondenzátory 2. a 3. třídy stanovte Curieovu teplotu z maxima závislosti $\Delta C/C_{20} = f(\vartheta)$.



3 Použité přístroje a další laboratorní vybavení

- LRC metr
- cirkulační termostat
- sada testovaných kondenzátorů v nádobce
- přípravek s přepínačem pro propojení LRC metru a kondenzátorů v nádobce
- digitální teploměr



Obr. 2: Schéma zapojení pro měření teplotní závislosti kondenzátorových materiálů.

4 Postup měření

1. Plastovou nádobku s měřenými kondenzátory připojte k plochému vodiči na výstupu propojovacího přípravku.
2. Do otvoru v nádobce vsuňte digitální teploměr a zapněte ho tlačítkem ON/OFF. Teploměr uchyťte do čelistí držáku na stojanu a nádobku ponořte do cirkulačního termostatu.
3. Zapněte termostat přepínačem na jeho zadní straně a nastavte pomocí tlačítka T (na dotykovém displeji) teplotu na 5 °C. Stisknutím symbolu kola pod textem PUMP (na displeji) zapněte oběhové čerpadlo termostatu, který začne chladit kapalinu v nádobě.
4. Pomocí vodičů zakončených BNC konektory připojte k propojovacímu přípravku i LRC metr. Jednotlivé kondenzátory jsou připojeny k pozicím označeným číslicemi 1 až 5, kterými se při měření připojují k měřicímu přístroji. Kondenzátory jsou osazeny na pozicích dle následující tabulky.
- 5.



Tab. 2: Přiřazení pozic přepínače a kondenzátorů.

Pozice	Dielektrikum kondenzátoru
1	NP0
2	Y5V
3	Z5V
4	X7R
5	slída

6. Zapněte LRC metr, stiskněte tlačítko MEAS FUNC v dolní řadě a pomocí kontextových tlačítek po pravé straně displeje nastavte měření kapacity (C_p) a ztrátového činitele (D).
7. Při dosažení teploty $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ v nádobce začněte s měřením. Na přepínači nastavte pozici 1 a vyčkejte na ustálení měřených hodnot. Hodnoty si poznamenejte, přepněte na pozici 2 a postup opakujte. Tímto způsobem vždy proměřte všechny pozice na přípravku.
8. Pomocí tlačítek na termostatu nastavte další teploty dle Tab. 3 a opět odečtěte hodnoty kapacity a ztrátového činitele jednotlivých kondenzátorů. Vzhledem k tomu, že nádobka má částečný kontakt s okolím, je třeba na termostatu nastavovat většinou hodnoty teploty vyšší, než je požadovaná.

Tab. 3: Souhrn požadovaných a nastavovaných teplot.

Požadovaná teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Teplota nastavená na termostatu ($^{\circ}\text{C}$)	Požadovaná teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Teplota nastavená na termostatu ($^{\circ}\text{C}$)
10	8,0	35	37,5
15	15,5	40	43,0
20	21,0	45	48,5
25	26,0	50	54,0
30	32,0	55	60,5

9. Tímto způsobem postupujte v měření až do dosažení hodnoty $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ v nádobce.
10. Naměřené hodnoty zpracujte do grafických závislostí $\Delta C/C_{20}$ a $\text{tg}\delta$ na teplotě. Pro kondenzátor NP0 a slídový kondenzátor vypočtěte teplotní koeficient kapacity α_c , pro kondenzátory 2. a 3. třídy stanovte z teplotní závislosti jejich Curieovu teplotu jako teplotu odpovídající maximu křivky $\Delta C/C_{20}$.