

Úloha č. 4

Teplotní závislost kapacity keramických kondenzátorů

Úkol měření:

1. Změřte teplotní závislost kapacity a ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ vybraných keramických kondenzátorů v teplotním rozsahu od -5°C do 35°C .
2. Stanovte teplotní koeficient α_C keramických kondenzátorů I. typu.
3. Stanovte Curieovu teplotu keramických kondenzátorů II. a III. typu jako maximální hodnotu závislosti $C = f(\vartheta)$.
4. Nakreslete graf závislosti $(\Delta C / C_{20}) \cdot 100\% = f(\vartheta)$ a $\text{tg } \delta = f(\vartheta)$ všech vzorků.

Tabulky naměřených hodnot:

Vzorek č.:	Typ:	Kapacita:	T_C :
1	III.	85,5 nF	28 °C

Teplota (°C)	Kapacita (nF)	$\text{tg } \delta$ (-)	$\Delta C / C_{20}$ (%)
-7,22	63,7100	0,1019	-25,5202
-5,09	67,1000	0,0992	-21,5572
-2,66	67,9200	0,0980	-20,5986
-0,29	67,3100	0,0979	-21,3117
2,02	69,3100	0,0968	-18,9736
4,03	70,4400	0,0963	-17,6526
5,98	71,6500	0,0951	-16,2380
8,01	73,1000	0,0941	-14,5429
9,98	74,6100	0,0927	-12,7776
11,94	76,0100	0,0914	-11,1410
13,98	78,5400	0,0886	-8,1833
16,00	80,6200	0,0857	-5,7517
17,97	82,4200	0,0828	-3,6474
19,94	85,5400	0,0764	0,0000
21,98	88,2200	0,0689	3,1330
23,95	89,2400	0,0654	4,3255
26,04	90,2700	0,0596	5,5296
27,98	90,6500	0,0560	5,9738
29,96	90,5500	0,0517	5,8569
31,99	86,9400	0,0426	1,6367
34,04	84,9000	0,0405	-0,7482
35,00	86,9800	0,0418	1,6834

Vzorek č.:	Typ:	Kapacita:	α_c:
2	I.	1,3 nF	$-1,79 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Teplota ($^\circ\text{C}$)	Kapacita (nF)	tg δ (-)	$\Delta C/C_{20}$ (%)
-7,23	1,3910	0,0005	5,6188
-4,92	1,3670	0,0006	3,7965
-2,50	1,3634	0,0007	3,5232
-0,22	1,3668	0,0006	3,7813
2,10	1,3576	0,0007	3,0828
4,08	1,3532	0,0007	2,7487
6,02	1,3490	0,0008	2,4298
8,05	1,3447	0,0007	2,1033
10,02	1,3403	0,0008	1,7692
11,99	1,3369	0,0008	1,5110
14,00	1,3311	0,0008	1,0706
16,05	1,3268	0,0009	0,7441
18,02	1,3232	0,0009	0,4708
19,99	1,3170	0,0010	0,0000
22,06	1,3114	0,0011	-0,4252
24,01	1,3090	0,0011	-0,6074
26,07	1,3046	0,0011	-0,9415
28,03	1,3018	0,0011	-1,1541
29,98	1,2982	0,0011	-1,4275
32,08	1,2869	0,0013	-2,2855
34,14	1,2830	0,0014	-2,5816
35,05	1,2858	0,0013	-2,3690

Příklad výpočtu (teplotního koeficientu kapacity):

$$\alpha_c = \frac{(C_2 - C_1)}{C_1(\vartheta_2 - \vartheta_1)} = \frac{1,2858 - 1,3910}{1,3910(35,05 - (-7,23))} = -1,79 \cdot 10^{-3} (^\circ\text{C}^{-1})$$

ϑ_1 – dolní měřící teplota

ϑ_2 – horní měřící teplota

C_1 – kapacita vzorku při teplotě ϑ_1

C_2 – kapacita vzorku při teplotě ϑ_2

Vzorek č.:	Typ:	Kapacita:	α_c :
3	I.	0,13 nF	$-3,731 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Teplota ($^\circ\text{C}$)	Kapacita (nF)	tg δ (-)	$\Delta C/C_{20}$ (%)
-7,22	0,1265	0,0012	0,0791
-4,71	0,1265	0,0012	0,0791
-2,39	0,1264	0,0012	0,0000
-0,21	0,1264	0,0013	0,0000
2,21	0,1264	0,0012	0,0000
4,14	0,1265	0,0015	0,0791
6,07	0,1264	0,0014	0,0000
8,09	0,1264	0,0015	0,0000
10,07	0,1264	0,0016	0,0000
12,02	0,1264	0,0016	0,0000
14,05	0,1264	0,0017	0,0000
16,12	0,1264	0,0015	0,0000
18,06	0,1263	0,0017	-0,0791
20,04	0,1264	0,0016	0,0000
22,11	0,1264	0,0019	0,0000
24,06	0,1263	0,0020	-0,0791
26,10	0,1263	0,0023	-0,0791
28,08	0,1263	0,0023	-0,0791
30,03	0,1263	0,0021	-0,0791
32,13	0,1263	0,0030	-0,0791
34,25	0,1263	0,0028	-0,0791
35,16	0,1263	0,0024	-0,0791

Příklad výpočtu:

$$\alpha_c = \frac{(C_2 - C_1)}{C_1(\vartheta_2 - \vartheta_1)} = \frac{0,1263 - 0,1265}{0,1265(35,05 - (-7,23))} = -3,73 \cdot 10^{-5} \text{ } (^\circ\text{C}^{-1})$$

Vzorek č.:	Typ:	Kapacita:	T _c :
4	II.	43,5 nF	16,1 °C

Teplota (°C)	Kapacita (nF)	tg δ (-)	ΔC/C ₂₀ (%)
-7,22	16,6840	0,0817	-61,6107
-4,58	24,6600	0,0916	-43,2582
-2,27	25,2400	0,0863	-41,9236
-0,16	24,0700	0,0844	-44,6157
2,32	28,7300	0,0846	-33,8932
4,20	31,5600	0,0834	-27,3815
6,18	34,4100	0,0774	-20,8237
8,15	37,9600	0,0721	-12,6553
10,14	41,2800	0,0635	-5,0161
12,06	43,3800	0,0564	-0,1841
14,08	45,4500	0,0505	4,5789
16,13	45,7800	0,0441	5,3382
18,09	45,4500	0,0323	4,5789
20,08	43,4600	0,0252	0,0000
22,18	40,7400	0,0202	-6,2586
24,09	39,3200	0,0241	-9,5260
26,17	36,9600	0,0156	-14,9563
28,13	35,3200	0,0139	-18,7299
30,07	33,0700	0,0127	-23,9070
32,22	26,3600	0,0090	-39,3465
34,35	25,0200	0,0082	-42,4298
35,20	27,3300	0,0095	-37,1146

Grafy:

Viz. přiložené listy s grafy.

Závěr:

Pokud porovnáme naše výsledky na základě grafů, tak zjišťujeme, že vzorky č. 2 a 3 jsou kondenzátorové keramiky I. typu (nízkoztrátové), protože je jasně vidět nízká hodnota ztrátového činitele $\tan \delta$ (který reprezentuje polarizační a vodivostní ztráty). Také odpovídá to, že teplotní závislost kapacity je téměř lineární. Vzorek č. 2 splňuje v celém rozsahu teplot předpoklad, že u těchto kondenzátorů I. typu je $\tan \delta$ maximálně 0,0015. Vzorek 3 už to úplně nesplňuje při vyšších teplotách (jak je vidět v tabulce), ale řádově je to dobré. Z naměřených hodnot jsme spočítali teplotní koeficient kapacity (uvedeno pod tabulkou pro vzorky 2, 3). Rozmezí α_C se předpokládá v intervalu: $(-1,5 \cdot 10^{-3}; 0,12 \cdot 10^{-3})$. Naměřená hodnota $\alpha_{2C} = -1,79 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ tomuto intervalu trochu neodpovídá, což může být způsobeno např. tím, že jsme měřili (a pak počítali) pro trochu jiný rozsah teplot, než pro jaký je vzorec určen (horní měřící teplota cca 85°C, dolní 25°C ±10°C). Hodnota $\alpha_{3C} = -3,73 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ už danému intervalu odpovídá (vzorek má ale zase trochu větší ztrátový činitel).

Vzorek č. 1 je s největší pravděpodobností keramika III. typu a vzorek č. 4 je II. typu. Při určení vzorku č. 4 se opírám o to, že kondenzátory s keramikou II. typu se vyznačují vyšším ztrátovým činitelem (než I. typ) a také významnou nelineární teplotní závislostí

kapacity a ztrátového činitele, což je vidět celkem slušně z grafu (charakteristika vzorku 4 je ze všech vzorků nejproměnlivější (a to co se týče změny kapacity i $\tan \delta$)). Porovnáme-li hodnotou ztrátového činitele s předpokládanou, tak při nízkých teplotách se hodnota lehce dostává z předpokládaného rozmezí $5 \cdot 10^{-3}$ až $75 \cdot 10^{-3}$. Je zajímavé všimnout si jedné věci, a to, že s rostoucí teplotou se u kondenzátorů II. a III. typu ztrátový úhel zmenšuje, ale u I. typu pomalu roste (samozřejmě v jiných řádech). Hodnoty Curieho teploty, při kterých přechází keramika z ferroelektrického do paraelektrického stavu (zánik trvalého dipólového momentu), jsou tyto :

$$T_{1C} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

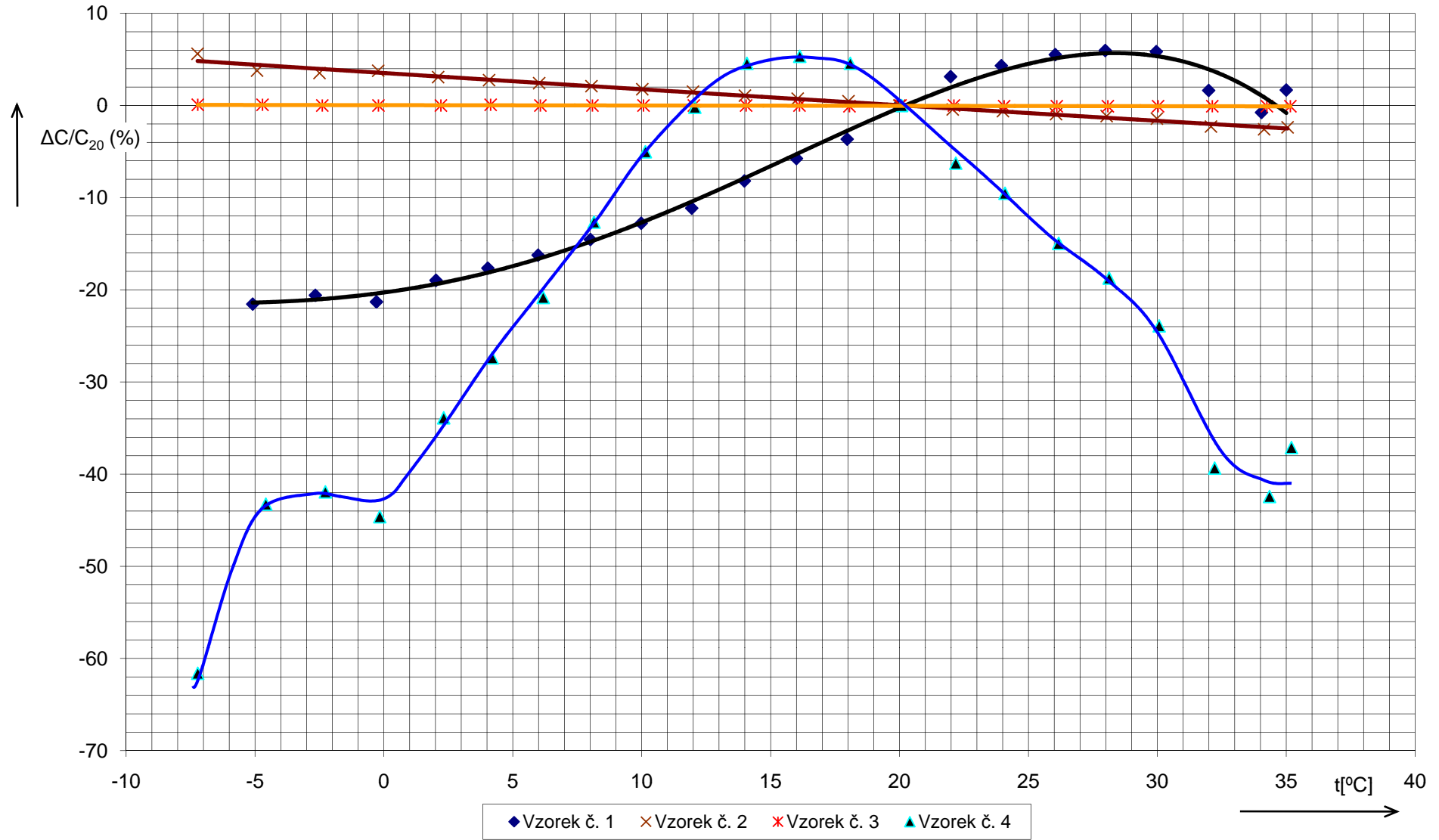
$$T_{4C} = 16,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Byly zjištěny nalezením lokálního maxima závislosti $C = f(\vartheta)$. Materiál pro keramiku II. typu má obchodní název Pemitit.

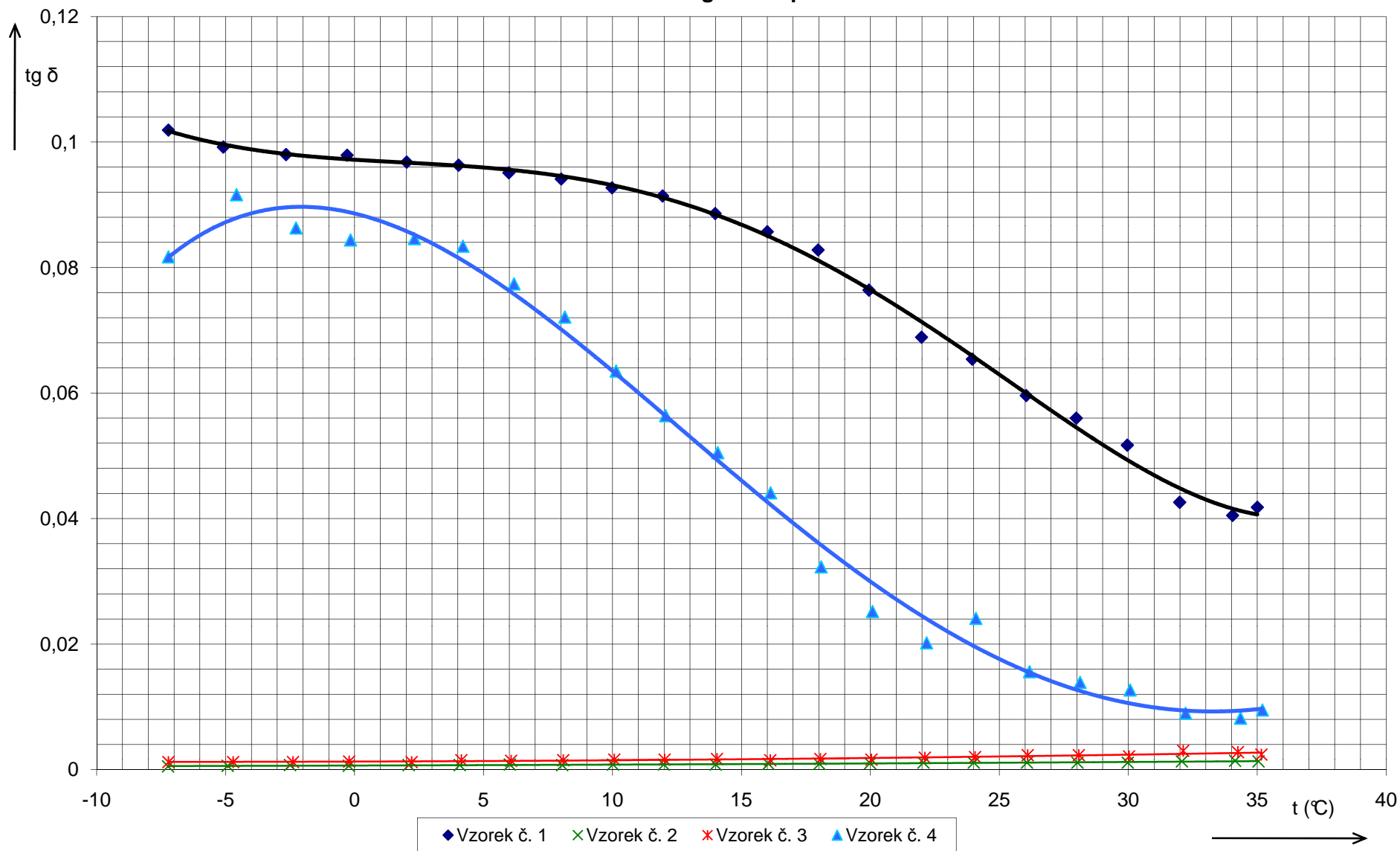
Keramika III. typu dosahuje vyšší objemové kapacity ve srovnání II. typem. Prodává se pod obchodním názvem Supermit

V našem měření jsme si tedy porovnali vlastnosti jednotlivých typů kondenzátorových keramik. Je vidět, že většinou je nějaká výhoda „zaplacená“ nějakou nevýhodou – například větší relativní permitivita \rightarrow , ale větší i ztrátový činitel... atd. Pro konkrétní aplikace je potom vhodné si srovnat, jaké vlastnosti budu vyžadovat a potom si zvolit konkrétní typ keramiky.

Graf závislosti $(\Delta C/C_{20}) \cdot 100\%$ na teplotě



Graf závislosti $\text{tg } \delta$ na teplotě



Závislost C na teplotě (pro stanovení Curieovy teploty)

