

Lastnosti in oznake keramičnih kondenzatorjev

Matjaž Vidmar, S53MV

O vrstah kondenzatorjev in njihovi izbiri sem pisal že pred časom v CQ ZRS 3/1996. Kot sem pozneje tudi sam opazil, so za večino nas radioamaterjev še vedno največja neznanka keramični kondenzatorji. Keramični kondenzatorji so tudi najpogosteje uporabljeni sestavni deli v visokofrekvenčnih vezjih. V tem sestavku naj bi vsaj v grobem opisal, kako se znajti v množici različnih vrst keramičnih kondenzatorjev v amaterskih razmerah, se pravi brez točnih podatkov proizvajalca.

Keramične kondenzatorje delimo po mehanski izvedbi in po vrsti uporabljene keramike. Mehanska izvedba je lahko enoslojna (single-layer) ali večslojna (multi-layer). Pri enoslojnih kondenzatorjih so elektrode nanošene samo na zunanjo stran keramičnega telesa različnih oblik (diski, ploščice in cevi različnih prerezov). Pri večslojnih kondenzatorjih so elektrode vgrajene v notranjost keramičnega telesa (običajno v obliki kvadra), na zunanjo stran pa so nanošeni le priključki.

Za gradnjo kondenzatorjev obstaja nepregledna množica različnih vrst keramike. Čeprav si proizvajalci niso povsem enotni v oznakah, vsi proizvajalci delijo keramiko na dve različni vrsti ali razreda: prvi razred (class 1 ali type 1) in drugi razred (class 2 ali type 2). Med obema razredoma keramike obstajajo ogromne razlike v električnih in mehanskih lastnostih.

Keramika prvega razreda ima razmeroma nizko relativno dielektrično konstanto (običajno med 10 in 100) in je zato primerna za gradnjo kondenzatorjev nižjih vrednosti. Keramika prvega razreda se odlikuje z zelo majhnimi visokofrekvenčnimi izgubami: tangens izgubnega kota je običajno manjši od 0.001 oziroma faktor kvalitete Q je višji od 1000.

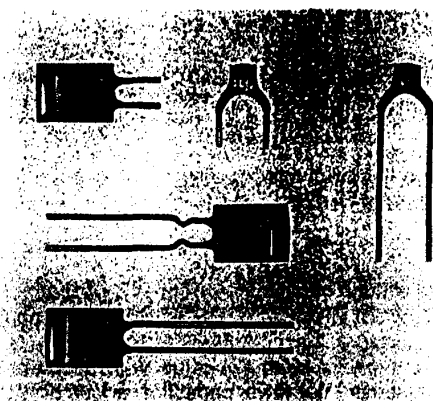
Kapacitivnost kondenzatorjev iz keramike prvega razreda je skoraj neodvisna od pritisnjene enosmerne napetosti in frekvence izmeničnih signalov ter se le malo spreminja s temperaturo. Temperaturno odvisnost keramike prvega razreda opišemo z (linearnim) temperaturnim koeficientom, izraženim v milijoninkah relativne spremembe na stopinjo temperature, se pravi ppm/C ali ppm/K.

Temperaturni koeficient keramik prvega razreda se giblje v mejah od +100ppm/K do -1500ppm/K, kot je to prikazano na sliki 1. Temperaturni koeficient je običajno označen z barvno liso na kondenzatorju: rdeča/vijolična ali oznaka P100 pomeni +100ppm/K, črna ali oznaka NP0 pomeni 0ppm/K, oranžna ali oznaka N150 pomeni -150ppm/K, vijolična ali N750 pomeni -750ppm/K ter dve oranžni lisi ali N1500 pomeni -1500ppm/K.

miniature plate

tuning – type 1B

2222 631 632 638
2222 641 642 643



Low voltage capacitors for use in h.f. circuits where their excellent electrical properties and small size, compared with mechanical trimmers, offer definite advantages.

Available values

capacitance range (E12) and relevant size

size I	II	III	IV	V	temperature and coefficient 10 ⁻⁶ /K	corresponding colour code	code XX in cat. no.
0,56 to 6,8	8,2	–	–	–	+ 100	red/violet	03
–	10 to 15	18 to 22	27 to 33	39 to 47	–	–	04
1,8 to 8,2	–	–	–	–	0	black	09
10 to 33	39 to 68	82 to 120	–	–	–	–	10
3,9 to 8,2	–	–	–	–	– 75	red	27
10 to 18	22 to 39	47 to 56	68 to 82	100 to 120	–	–	28
3,9 to 8,2	–	–	–	–	– 150	orange	33
10 to 22	27 to 68	82 to 100	120 to 150	–	–	–	34
3,9 to 8,2	–	–	–	–	– 220	yellow	39
10 to 22	27 to 47	56 to 68	82 to 100	120 to 150	–	–	40
4,7 to 8,2	–	–	–	–	– 330	green	45
10 to 27	33 to 56	68 to 82	100 to 120	150 to 180	–	–	46
6,8 to 8,2	–	–	–	–	– 470	blue	51
10 to 33	39 to 68	82 to 100	120 to 150	180 to 220	–	–	52
3,9 to 8,2	–	–	–	–	– 750	violet	57
10 to 47	56 to 100	120 to 150	180 to 220	270 to 330	–	–	58
18 to 82	100 to 180	220 to 270	330 to 390	470 to 560	– 1500	orange/orange	70

Tolerance C < 10 pF 0,25 pF
C ≥ 10 pF ± 2%
Rated voltage (d.c.) 100 V
with test voltage (d.c.) 300 V
Category temperature range – 55 to + 85 °C
Insulation resistance > 10 000 MΩ
Tan δ C < 50 pF ≤ 15(15/C + 0,7)10⁻⁴; max 55x10⁻⁴
C > 50 pF ≤ 15 x 10⁻⁴
Basic specification IEC 384-8, type 1B
Climatic category IEC 68 55/085/21

size	W _{max}	H _{max}
I	3,6	3,7
II	4,5	4,7
III	5,1	5,3
IV	6,2	6,4
V	6,2	8,6

Dimensions (mm)

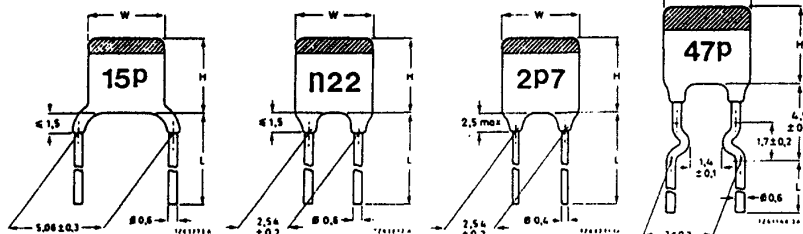


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

style	L	pitch
638	≥ 15	0,2 inch
642	6 ⁺⁰ ₋₂	0,2 inch
631	≥ 15	0,1 inch
641	6 ⁺⁰ ₋₂	0,1 inch
632	≥ 15	flexible leads
643	≥ 10	

Slika 1 - Keramični kondenzatorji prvega razreda.

Ostale barve in oznake se uporabljajo bolj poredkoma, nekateri proizvajalci pa jih uporabljajo tudi za označevanje drugačnih vrst keramike od tistih, ki jih prikazuje slika 1. Ker ima keramika P100 najnižjo dielektrično konstanto, keramika N1500 pa najvišjo znotraj skupine keramik prvega razreda, lahko vrsto keramike in temperaturni koeficient uganemo tudi iz zunanjih izmer enoslojnega kondenzatorja. V ta namen tudi objavljam primerjalno tabelo izmer na sliki 1.

Pri gradnji zelo zahtevnih vezij se moramo zavedati, da ima tudi temperaturni koeficient keramik prvega razreda svoja odstopanja. Na primer za keramiko NP0 (N-P-ničla) večina proizvajalcev dopušča odstopanje ± 30 ppm/K. Tudi kondenzator NP0 zato ni absolutno stabilen. Če 100pF NP0 kondenzator segrejemo za 10 stopinj, se njegova kapacitivnost lahko spremeni na 100.03pF ali 99.97pF. Višje vrednosti temperaturnega koeficienta imajo seveda sorazmerno večja odstopanja.

Keramika drugega razreda ima zelo visoko dielektrično konstanto, tudi preko 10000, ki jo omogoča fero-električni pojav v barijevem titanatu in nekaterih drugih snoveh. Visoka dielektričnost omogoča gradnjo majhnih kondenzatorjev z zelo visoko kapacitivnostjo, kot je to prikazano na sliki 2. Kapacitivnost enoslojnih kondenzatorjev iz keramike drugega razreda se giblje v področju od 100pF do 100nF. Žal so vse ostale lastnosti takšnih kondenzatorjev precej slabše.

ceramic capacitors miniature plate

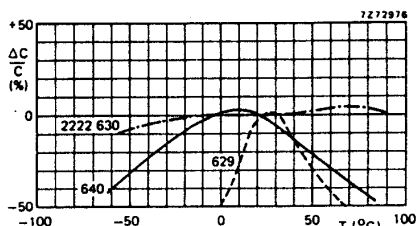
coupling and decoupling – type 2
2222 629 630 640

Low voltage capacitors for use in a wide variety of electronic equipment where a non-linear change in capacitance with temperature is acceptable. Their small size is also advantageous. With values up to 22 nF these three styles complement our lower capacitor ranges of type 1 capacitors.

Available values: refer to relevant drawing

capacitance pF	size			code XXX in catalogue no.
	629	630	640	
180		I		181
220		I		221
270		I		271
330		I		331
390		I		391
470		I		471
560		I		561
680		I		681
820		I		821
1000	I	II	I	102
1200		II		122
1500		II	I	152
1800		II		182
2200	I	III	I	222
2700		III		272
3300		IV	II	332
3900		IV		392
4700	I	IV	II	472
6800			III	682
10000	II		IV	103
22000	IV			223

Series 2222 ...	629	630	640	
E series	E3	E12	E6	
Tolerance	-20/+80	10	-20/+50	%
Rated voltage (d.c.)	63	100	100	V
Test voltage (d.c.)	200	300	300	V
Category temperature range	-10 to +55	-55 to +85	-55 to +85	°C
Insulation resistance	> 1000	> 1000	> 3000	MΩ
Tan δ at 1 kHz	< 3,5	< 3,5	< 3,5	%
Climatic category				
IEC 68	10/055/21	55/085/21	55/085/21	
Basic specification	IEC 384-9	IEC 384-9	IEC 384-9	



Dimensions (mm)

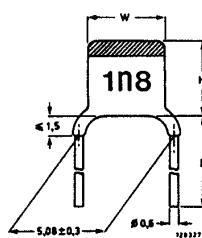


Fig. 1.

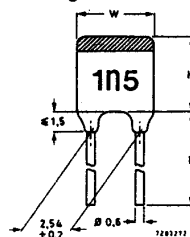


Fig. 2.

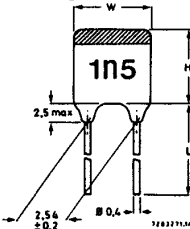


Fig. 3.

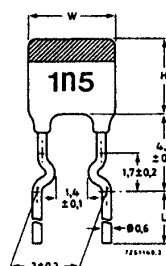


Fig. 4.

catalogue no.	L
2222 629 03 XXX	≥ 15
2222 630 03 XXX	
2222 640 03 XXX	
2222 629 06 XXX	6 ⁺⁰ ₋₂
2222 630 06 XXX	
2222 640 06 XXX	

catalogue no.	L
2222 629 01 XXX	≥ 15
2222 630 01 XXX	
2222 640 01 XXX	
2222 629 05 XXX	6 ⁺⁰ ₋₂
2222 630 05 XXX	
2222 640 05 XXX	

catalogue no.	L
2222 629 02 XXX	≥ 15
2222 630 02 XXX	
2222 640 02 XXX	

catalogue no.	L
2222 629 07 XXX	≥ 10
2222 630 07 XXX	
2222 640 07 XXX	

size	W _{max}	H _{max}
I	3,6	3,7
II	4,5	4,7
III	5,1	5,3
IV	6,2	6,4

Slika 2 - Keramični kondenzatorji drugega razreda.

Kapacitivnost kondenzatorjev iz keramike drugega razreda je močno temperaturno odvisna. Kapacitivnost se spremeni za več odstotkov za vsako stopinjo spremembe, torej tisočkrat več od kondenzatorjev NP0. Sprememba kapacitivnosti je komplicirana nelinearna funkcija temperature. Kondenzatorji drugega razreda imajo tudi velike visokofrekvenčne izgube: tangens izgubnega kota presega 3% oziroma faktor kvalitete Q je manjši od 30.

Kondenzatorji iz keramike drugega razreda zato niso uporabni v visokofrekvenčnih nihajnih krogih in tudi ne v nizkofrekvenčnih sitih in oscilatorjih. Njihovo glavno področje uporabe je blokiranje napajanja. V nizkofrekvenčnih vezjih zato uporabljamo plastične folijske kondenzatorje povsod tam, kjer potrebujemo točne visoke kapacitivnosti z majhnimi izgubami.

Pred leti je vsak proizvajalec keramike po svoje označeval vrste keramike drugega razreda. Danes je večina proizvajalcev prešla na označevanje po EIA standardu, ki je prikazan na sliki 3. Oznaka vrste keramike sestoji iz treh znakov. Prvi znak je črka in označuje spodnjo temperaturno mejo delovanja kondenzatorja. Drugi znak je številka in označuje gornjo mejo. Tretji znak je spet črka in določa dopustno odstopanje kapacitivnosti kondenzatorja v temperaturnem področju, ki ga določata prva dva znaka.

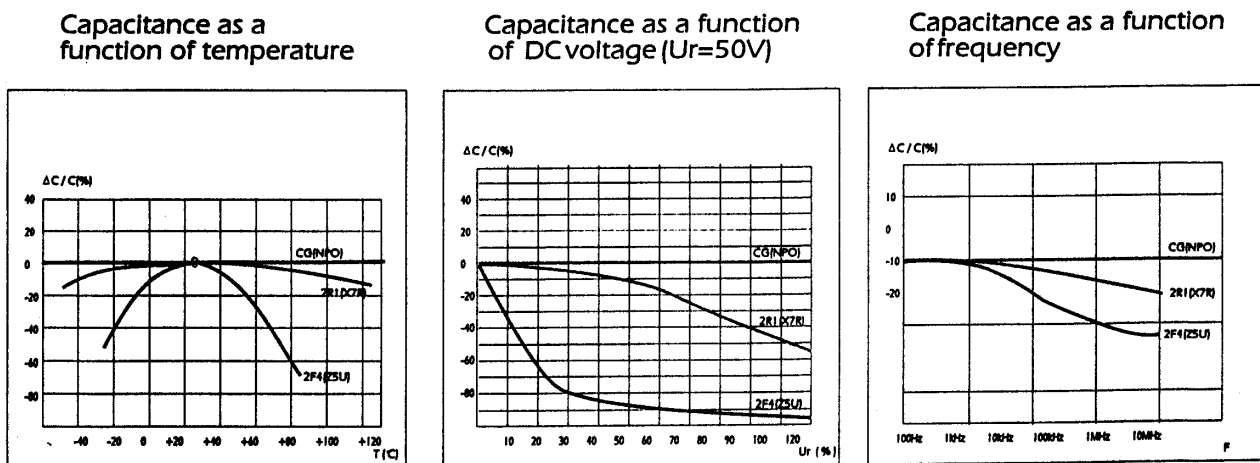
PRVI ZNAK ČRKA		DRUGI ZNAK ŠTEVILKA		TRETJI ZNAK ČRKA	
SPODNJA TEMPERATURN MEJA		GORNJA TEMPERATURN MEJA		ODSTOPANJE (TOLERANCA)	
X	-55°C	5	+85°C	V	+22%...-82%
Y	-30°C	7	+125°C	U	+22%...-56%
Z	+10°C			T	+22%...-33%
				S	± 22%
				R	± 15%
				P	± 10%
				F	± 7.5%
				E	± 4.7%

PRIMER	LASTNOSTI
X7R	-55°C...+125°C ; ± 15%
Z5U	+10°C...+85°C ; +22%...-56%

Slika 3 - Oznake keramik drugega razreda.

Na primer, v računalnikih najpogosteje srečamo kondenzator z oznako 104 Z5U, ki se uporablja za blokiranje +5V napajanja. Pri tem pomeni število 104 nazivno kapacitivnost 100000pF ali 100nF: prvi dve številki prepisemo, tretja pa je eksponent kot pri uporih. Keramika Z5U dopušča odstopanje od nazivne kapacitivnosti v mejah od +22% do -56% v temperaturnem področju od +10C do +85C.

Odstopanja kapacitivnosti kondenzatorja iz keramike Z5U so lahko precejšnja. Delovanje naprave s takšnimi kondenzatorji pozimi na prostem sploh ni zagotovljeno! Razen s temperaturo se kapacitivnost keramike drugega razreda spreminja tudi z zaporno napetostjo in s frekvenco, kot je to prikazano na sliki 4. Pri previsoki zaporni napetosti kondenzator sicer ne prebije, pač pa se njegova kapacitivnost zmanjšuje, ker pride ferokeramika (podobno kot feromagnetna jedra) pri preveliki obremenitvi v zasičenje.



Slika 4 - Primerjava lastnosti prvega in drugega razreda.

Pri gradnji naših naprav je zato bistveno predvsem razlikovanje med keramiko prvega in drugega razreda. Pri enoslojnih kondenzatorjih to storimo iz ocene velikosti kondenzatorja za navedeno kapacitivnost. Pri večslojnih kondenzatorjih seveda nimamo vpogleda v notranjost, da bi prešteli sloje in izmerili razdaljo med njimi.

Večslojni kondenzatorji dosegajo kapacitivnosti vse do 10nF v NP0 izvedbi in več mikrofaradov pri uporabi keramike drugega razreda, se pravi tudi stokrat več od enoslojnih kondenzatorjev. Pri večslojnih kondenzatorjih tudi ne smemo zanemariti upornosti elektrod, ki so izdelane iz tankih kovinskih plasti iz ne ravno najboljših prevodnikov. Končno, večslojne keramične kondenzatorje dobimo gole v SMD izvedbi ali pa zalite v plastiko z žičnimi izvodi.

Pri ugotavljanju vrste keramike večslojnih kondenzatorjev si pomagamo z dejstvom, da je celotno telo kondenzatorja izdelano iz iste vrste keramike, vključno z zunanji oblogami. Vrsto keramike zato lahko vsaj v grobem določimo že po barvi. NP0 in ostali kondenzatorji iz keramike prvega razreda so ponavadi beli (pod 10pF) ali vijolični (nad 10pF), gledano pri sončni svetlobi oziroma svetlobi žarnice z nitko. Vijolični kondenzatorji ponavadi postanejo sivkasti ali zelenkasti v svetlobi fluorescentne žarnice.

Kondenzatorji iz keramike drugega razreda (fero-električni pojav) pa so vedno rjavi v najrazličnejših odtenkih: od okrasto-rjave (X7R) do rdečkasto-rjave (Z5U). Kondenzatorji iz keramike drugega razreda so ponavadi tudi zelo krhki in pri nepravilnem rokovanju hitro počijo, še posebno X7R keramika. V nasprotju so kondenzatorji iz keramike prvega razreda zelo trpežni in zlepa ne počijo.

Pri nakupu SMD kondenzatorjev zato obvezno preverimo barvo keramike. Če ima trgovina le fluorescentne svetilke, odnesemo kondenzatorje na sončno svetlobo. Če se le da, od trgovca zahtevamo vpogled na celoten kolut z nosilnim trakom za kondenzatorje. Kolut vedno nosi nalepko proizvajalca s točnimi podatki o sestavnih delih na traku.

Razliko med kondenzatorji iz keramike prvega in drugega razreda hitro opazimo tudi v manj zahtevnih visokofrekvenčnih vezjih. Na primer, v izhodni stopnji UHF oddajnika je vgrajen kondenzator 100pF zaporedno z anteno, da loči enosmerno komponento napajanja izhodne stopnje. 100pF SMD kondenzator dobimo v obeh SMD izvedbah, NP0 in X7R. Medtem ko bo dal oddajnik z NP0 kondenzatorjem nazivno izhodno moč, bo X7R kondenzator vnesel dodatne izgube 1...2dB! Izgube NP0 kondenzatorja so zanemarljive, zato pa postanejo nevarne notranje rezonance kondenzatorjev iz keramike prvega razreda na frekvencah nad nekaj GHz.

Kakšen kondenzator nam bo prodal trgovec, ni težko uganiti. NP0 kondenzator zahteva več slojev in več elektrod v notranjosti. Elektrode SMD kondenzatorjev vsebujejo paladij, ki je razmeroma draga sestavina. X7R kondenzator je zato precej cenejši za izdelavo od NP0 kondenzatorja. Žal oznaki NP0 in X7R večini trgovcev pomenita samo tečnega kupca, ki noče kupiti ličnih kondenzatorjev iz zaloge v skladišču.

Končno, nekaj o lastnostih SMD kondenzatorja lahko sklepamo tudi iz njegovih zunanjih izmer. Izmere so podane kot štiri-številkna oznaka. Prvi dve številki dajeta dolžino SMD sestavnega dela, drugi dve pa širino, oboje v stotinkah kole. Prvi SMD gradniki so bili velikosti 1206, se pravi 3mm X 1.5mm in so bili razmeroma slabo izdelani, saj je bila SMD tehnika takrat šele na svojem začetku. Kondenzatorji so bili zaradi cenejše proizvodnje kar iz X7R keramike, tudi za zelo nizke vrednosti pod 100pF. Marsikateri pisec radioamaterskih člankov je zato hitro zaključil, da so SMD kondenzatorji za naše visokofrekvenčne naprave povsem neuporabni.

SMD sestavnih delov velikosti 1206 se je zato pametno izogibati. Novejši sestavni deli velikosti 0805, 0603, 0402 in nazadnje celo 0302 imajo veliko boljše električne lastnosti. Že v velikosti 0805 (2mm X 1.3mm) razmeroma lahko najdemo kondenzator željene vrednosti iz NP0 keramike. Spet so težave s trgovci, ki se skušajo le znebiti ogromnih zalog zastarelih delov velikosti 1206, potem ko so te zaloge pokupili za majhen denar kot ostanek opuščanih proizvodnih programov v industriji.

Da je mera polna, večina SMD kondenzatorjev nima nobenih oznak na ohišju. Če pa SMD kondenzator le ima oznako, je to povsem nerazumljiva šifra. Tako sem razmišljal tudi sam vse dotlej, dokler nisem dobil v roke tabele na sliki 5. Tudi oznake SMD kondenzatorjev so predpisane in so sestavljene iz dveh znakov: črka pove mantiso, številka pa eksponent vrednosti kondenzatorja. Pred obema je lahko še znak proizvajalca.

CAPACITOR MARKINGS

All KEMET chips are marked on two sides (per EIA-198) with full identification. The marking includes a \bar{K} to identify KEMET followed by two characters designating the capacitance value. See table for further details.



Example shown is a 1,000 pF capacitor.

Alpha Character	Capacitance (pF) For Various Numeral Identifiers						
	9	0	1	2	3	4	5
A	0.10	1.0	10	100	1000	10,000	100,000
B	0.11	1.1	11	110	1100	11,000	110,000
C	0.12	1.2	12	120	1200	12,000	120,000
D	0.13	1.3	13	130	1300	13,000	130,000
E	0.15	1.5	15	150	1500	15,000	150,000
F	0.16	1.6	16	160	1600	16,000	160,000
G	0.18	1.8	18	180	1800	18,000	180,000
H	0.20	2.0	20	200	2000	20,000	200,000
J	0.22	2.2	22	220	2200	22,000	220,000
K	0.24	2.4	24	240	2400	24,000	240,000
L	0.27	2.7	27	270	2700	27,000	270,000
M	0.30	3.0	30	300	3000	30,000	300,000
N	0.33	3.3	33	330	3300	33,000	330,000
P	0.36	3.6	36	360	3600	36,000	360,000
Q	0.39	3.9	39	390	3900	39,000	390,000
R	0.43	4.3	43	430	4300	43,000	430,000
S	0.47	4.7	47	470	4700	47,000	470,000
T	0.51	5.1	51	510	5100	51,000	510,000
U	0.56	5.6	56	560	5600	56,000	560,000
V	0.62	6.2	62	620	6200	62,000	620,000
W	0.68	6.8	68	680	6800	68,000	680,000
X	0.75	7.5	75	750	7500	75,000	750,000
Y	0.82	8.2	82	820	8200	82,000	820,000
Z	0.91	9.1	91	910	9100	91,000	910,000
a	0.25	2.5	25	250	2500	25,000	250,000
b	0.35	3.5	35	350	3500	35,000	350,000
d	0.40	4.0	40	400	4000	40,000	400,000
e	0.45	4.5	45	450	4500	45,000	450,000
f	0.50	5.0	50	500	5000	50,000	500,000
m	0.60	6.0	60	600	6000	60,000	600,000
n	0.70	7.0	70	700	7000	70,000	700,000
t	0.80	8.0	80	800	8000	80,000	800,000
y	0.90	9.0	90	900	9000	90,000	900,000
	X0.1	X1.0	X10	X100	X1000	X10,000	X100,000

Slika 5 - Oznake SMD kondenzatorjev.

Kot zaključek naj povem, da zahteva pravilna izbira keramičnega kondenzatorja natančno poznavanje delovanja visokofrekvenčne naprave. Zato v mojih člankih namenoma nikoli ne objavljam seznamov sestavnih delov. Gorje namreč tistim, ki se s površnim seznamom odpravijo v trgovino ali celo naročijo sestavne dele po pošti: nobena visokofrekvenčna naprava jim nikoli ne bo delala!

Viri:

Matjaž Vidmar: 'Vrste kondenzatorjev in njihova pravilna izbira', CQ ZRS 3/1996, strani 29-33.

Katalogi tovarn American Technical Ceramics, Iskra-KEKO, KEMET, Philips in Siemens.

* * * * *