

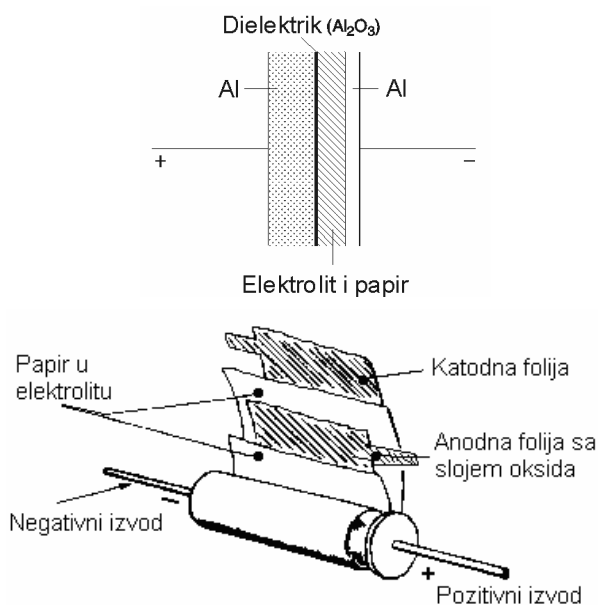
IZRAZI ZA SUPERPONIRANE NAIZMENIČNE NAPONE I STRUJE KOD POLARIZOVANIH ALUMINIJUMSKIH ELEKTROLITSKIH KONDENZATORA

Stojan Ristić, Dragan Pantić, Tatjana Pešić
Elektronski fakultet Niš

Sadržaj – Pokazano je da se za polarizovane aluminijumske elektrolitske kondenzatore može koristiti izraz kojim je moguće izračunati dozvoljene maksimalne efektivne vrednosti superponiranih sinusoidalnih struja (a posredno i napona) za temperature koje nisu više od 85°C i frekvenciji 100 Hz. Takav izraz je pogodniji za primenu od odgovarajućih raspoloživih tabličnih zavisnosti, s obzirom da se može koristiti pri projektovanju i modeliranju elektronskih kola.

1. UVOD

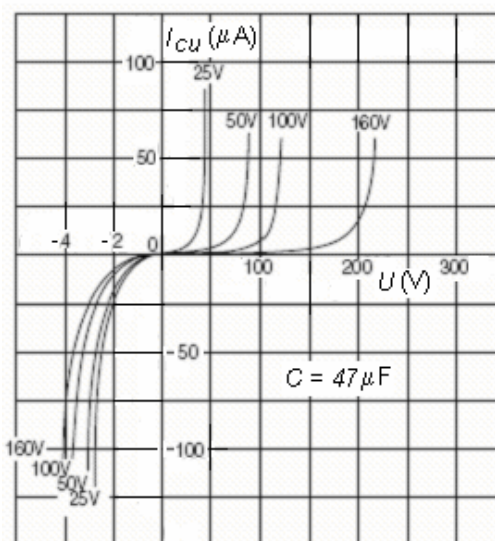
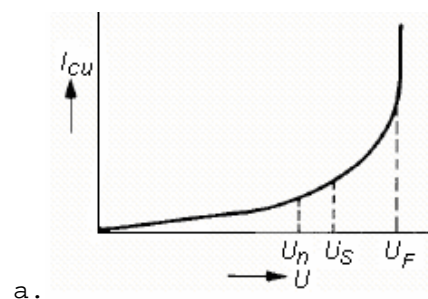
Osnovna osobina elektrolitskih kondenzatora je velika zapreminska kapacitivnost, posebno izražena pri malim radnim naponima. Velika kapacitivnost aluminijumskih elektrolitskih kondenzatora se postiže upotrebom veoma tankih oksidnih slojeva aluminijuma kao dielektrika. Naime, kod polarizovanih kondenzatora kao jedna elektroda (anoda) koristi se aluminijumska folija, koja je posebnim tehnološkim postupkom oksidisana. Taj oksidni sloj (Al_2O_3) predstavlja dielektrik. Druga elektroda (katoda) je izvedena preko provodnog elektrolita, a za dovod električne struje i kontakt sa elektrolitom koristi se druga (neoksidisana) aluminijumska folija, sl. 1. Između oksidisane folije (anode) i folije za dovod struje (katode) nalazi se u elektrolitu uvijen papir (sl. 1), koji ima ulogu razdvajajuća između anode i katode.



Sl. 1. Principijelna predstava konstrukcije polarizovanog aluminijumskog elektrolitskog kondenzatora [1].

Kontakt $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ se ponaša kao kontakt metal/poluprovodnik p-tipa [2]; drugim rečima, taj spoj ima usmeračke osobine. Stoga, da bi se sprečila injekcija nosilaca naelektrisanja u Al_2O_3 , neophodno je da taj usmerački kontakt bude inverzno

polarisan, a to praktično znači da anoda mora biti na pozitivnom, a katoda na negativnom potencijalu; u tom slučaju kroz kondenzator protiče jednosmerna struja curenja I_{cu} , sl. 2. Na sl. 2a oznake predstavljaju: U_n – nazivni napon, U_S – maksimalni napon koji sme da se dovede na kondenzator u kratkom vremenskom periodu (po standardu IEC 60384-4 najviše 5 puta po 1 minut u toku jednog časa [3]; za $U_n \leq 315$ V je $U_S = 1,15 \cdot U_n$, a za $U_n > 315$ V je $U_S = 1,1 \cdot U_n$ [3]) i U_F – napon formiranja (pri tom naponu počinje dodatno formiranje oksida na anodnoj foliji, a takođe i na katodnoj aluminijumskoj foliji, pri čemu je sada kontakt $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ na katodi direktno polarisan, a struja curenja naglo raste).



Sl. 2. Struja curenja kroz polarizovani aluminijumski elektrolitski kondenzator pri direktnoj polarizaciji sa naznakama karakterističnih napona (a) i merene vrednosti struje curenja za različite nazivne napone kondenzatora kapacitivnosti $C = 47 \mu\text{F}$ (b) [4].

I pri vrlo malim inverznim naponima na kondenzatoru (reda volta), kada je kontakt $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ na anodi direktno polarisan, nastaje znatno povećanje struje curenja kroz kondenzator, sl. 2b. Zbog toga su polarizovani aluminijumski elektrolitski kondenzatori namenjeni za rad pri jednosmernoj polarizaciji. Kada je neophodno da se jednosmernoj polarizaciji U_o superponira naizmenični napon čija je efektivna

vrednost $U_{eff} \equiv U$, neophodno je da za sinusoidalni napon bude ispunjen uslov [5]:

$$0 \leq U_o \pm \sqrt{2}U \leq U_n, \quad (1)$$

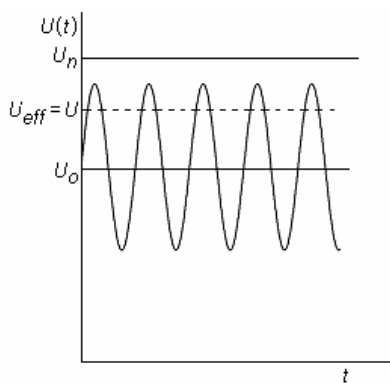
što je prikazano na sl. 3. Samo u izuzetnim situacijama (i to samo za kondenzatore male kapacitivnosti) može se dozvoliti:

$$-(0,8 \div 1,5) V \leq U_o \pm \sqrt{2}U \leq U_s. \quad (2)$$

Istovremeno, superponirani napon limitira i disipacija P_D na kondenzatoru, odnosno treba da je pri nekoj frekvenciji f [1]:

$$U \leq \sqrt{\frac{P_D}{2\pi f C \tan \delta}}, \quad (3)$$

gde je $\tan \delta$ – tangens ugla dielektričnih gubitaka [1], [3].



Sl. 3. Uz prikaz superponiranja sinusoidalnog naizmeničnog napona jednosmernom naponu U_o .

Da bi bili ispunjeni uslovi (1) i (3), propisane su maksimalne dozvoljene vrednosti superponiranih naizmeničnih struja. U ovom radu je dat izraz kojim se mogu izračunati vrednosti tih struja u zavisnosti od nazivnog napona i kapacitivnosti kondenzatora.

2. VREDNOSTI SUPERPONIRANIH STRUJA

Prema standardu IEC 60384-4 vrednosti superponiranih sinusoidalnih struja za polarizovane aluminijumske elektrolitske kondenzatore se snimaju na temperaturi $T = 85^\circ\text{C}$ i frekvenciji $f = 100\text{ Hz}$. Temperatura od 85°C se bira zbog toga što je za većinu komercijalnih kondenzatora to gornja granična temperatura, pri kojoj dozvoljena superponirana struja ima najveću vrednost. Naime, ako su sa poznatom vrednošću superponirane struje $I = U\omega C$ na $T = 85^\circ\text{C}$ ispunjeni uslovi (1) i (3), to će ti uslovi biti ispunjeni i na nižim temperaturama. Stoga su propisane maksimalne efektivne vrednosti superponiranih struja za temperature $T \leq 85^\circ\text{C}$ [6], [7].

Interesantno je napomenuti da je SIEMENS [6] preporučio manje maksimalne efektivne vrednosti superponiranih struja od onih koje se navode u [7]. Kao primer, u T1 je navedeno samo nekoliko tih vrednosti u zavisnosti od nazivnog napona i kapacitivnosti kondenzatora. Napominje se da su izračunavanja pokazala da se pouzdanije vrednosti koje

zadovoljavaju uslove (1) i (3) dobijaju na osnovu podataka navedenih u [6].

T1. Dozvoljene maksimalne efektivne vrednosti superponiranih sinusoidalnih struja za $T \leq 85^\circ\text{C}$ i $f = 100\text{ Hz}$

$C (\mu\text{F})$	$U_n (\text{V})$	$I (\text{mA})$ [6]	$I (\text{mA})$ [7]
4,7	63	22	30
10	63	36	70
22	100	250	120
47	100	130	210
100	6,3	63	190
470	63	100	700
1000	6,3	100	1300

Opređeljujući se za podatke iz tabele 3.17 u [6], čiji je samo mali deo prikazan u T1, za propisane maksimalne efektivne vrednosti superponiranih struja u mA, ako je kapacitivnost u μF , pri temperaturama $T \leq 85^\circ\text{C}$ i frekvenciji $f = 100\text{ Hz}$ može se koristiti izraz koji je pogodan pri modeliranju el. kola:

$$I = A(C) \cdot (U_n - 6,3)^{m(C)} \cdot C^{0,61} + 3,613 \cdot C^{0,682} - 0,35, \quad (4)$$

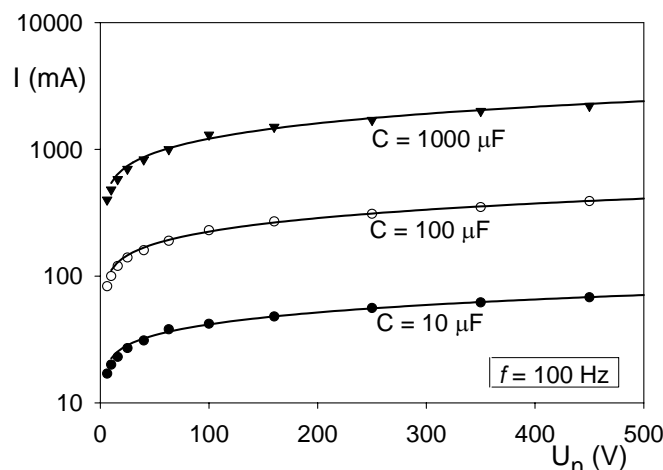
pri čemu je

$$A(C) = 3,6416 - 3,107 \cdot C^{-0,025} \quad (5)$$

i

$$m(C) = 0,0715 \cdot C^{0,12} + 0,3777. \quad (6)$$

Na osnovu (4) su, sa naznačenim vrednostima iz tabele 3.17 u [6], prikazane propisane maksimalne efektivne vrednosti superponiranih struja u funkciji nazivnog napona za različite kapacitivnosti kondenzatora (sl. 4) i u zavisnosti od kapacitivnosti za različite nazivne napone (sl. 5); odgovarajući superponirani naponi prikazani su na sl. 6.



Sl. 4. Propisane maksimalne efektivne vrednosti superponiranih struja pri $T \leq 85^\circ\text{C}$ u funkciji nazivnog napona za različite kapacitivnosti kondenzatora; odgovarajućim oznakama su naznačene vrednosti iz tabele 3.17 u [6].

3. FREKVENTNA ZAVISNOST SUPERPONIRANIH STRUJA

Krive na slikama 4 do 6 se odnose, kao što je napomenuto, za naizmenične struje frekvencije $f = 100\text{ Hz}$. Iznad te frekvencije dopuštene su nešto više, a ispod nje niže vrednosti super-

poniranih struja u odnosu na prikazane [6]. Kolika će frekventna promena superponiranih struja biti zavisi od debljine oksida, odnosno od nazivnog napona kondenzatora. Odnos superponiranih struja pri nekoj frekvenciji (u Hz) i $f = 100$ Hz za $10 \text{ Hz} < f < 10 \text{ kHz}$ može se predstaviti izrazom:

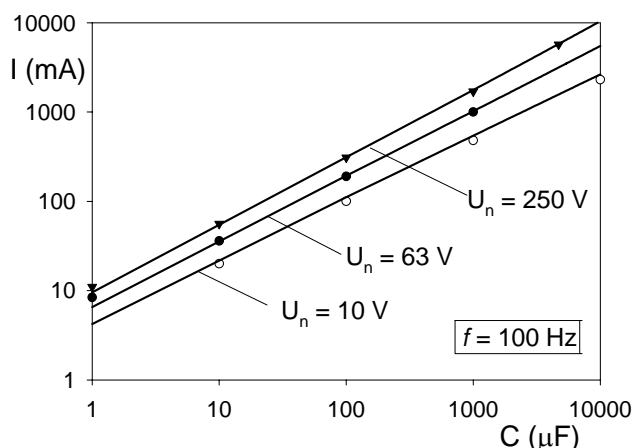
$$\frac{I_f}{I_{100\text{Hz}}} = a \cdot \log f - b \cdot f^n + c, \quad (7)$$

pri čemu odgovarajuće konstante, u funkciji nazivnog napona, imaju vrednosti navedene u T2.

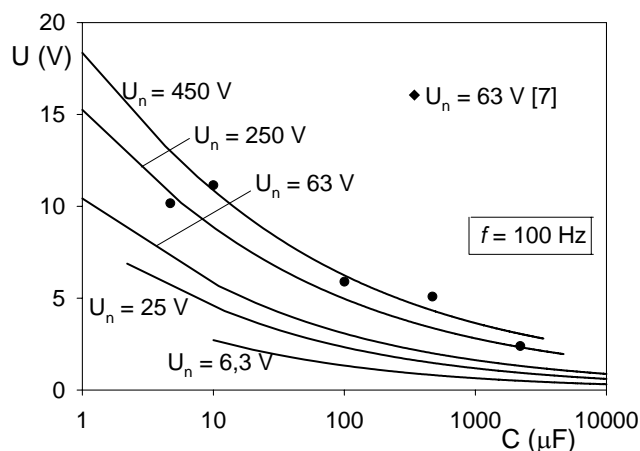
T2. Vrednosti konstanti u (7) u funkciji nazivnog napona

U_n	6,3V i 10V	16V, 25V i 40V	63V i 100V	> 100V
a	0,66	0,35	0,15	0,05
b	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
c	-0,279	0,326	0,708	0,903
n	0,53	0,54	0,55	0,56

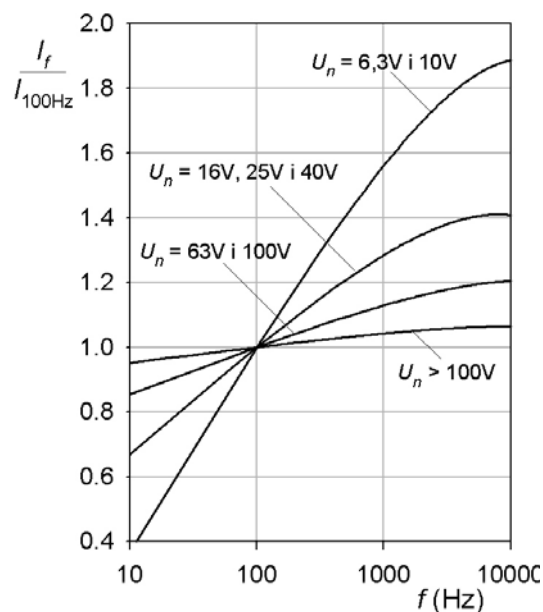
Na sl. 7 su, na osnovu (7), prikazani odnosi superponiranih struja pri nekoj frekvenciji i $f = 100$ Hz za $T \leq 85^\circ\text{C}$ u funkciji frekvencije za različite vrednosti nazivnih napona.



Sl. 5. Propisane maksimalne efektivne vrednosti superponiranih struja pri $T \leq 85^\circ\text{C}$ u funkciji kapacitivnosti kondenzatora za različite vrednosti nazivnih napona; odgovarajućim oznakama su naznačene vrednosti iz tabele 3.17 u [6].



Sl. 6. Propisane maksimalne efektivne vrednosti superponiranih napona pri $T \leq 85^\circ\text{C}$ u funkciji kapacitivnosti kondenzatora za različite vrednosti nazivnih napona; oznakama su naznačene vrednosti za $U_n = 63 \text{ V}$ prema [7].



Sl. 7. Odnosi superponiranih struja pri nekoj frekvenciji i $f = 100$ Hz za $T \leq 85^\circ\text{C}$ u funkciji frekvencije za različite vrednosti nazivnih napona.

4. ZAKLJUČAK

Kada se na polarizovani aluminijumski elektrolitski kondenzator, koji je prvenstveno namenjen za jednosmernu polarizaciju, jednosmernom naponu superponira naizmenični napon, mora se voditi računa da tom prilikom superponirana struja ne pređe dozvoljenu vrednost. U radu je dat izraz kojim je moguće izračunati te dozvoljene efektivne vrednosti superponiranih sinusoidalnih struja (a posredno i napona) za temperature koje nisu više od 85°C i frekvencije od 10 Hz do 10 kHz.

LITERATURA

- [1] S. Ristić, *R•L•C komponente*, Prosveta, Niš, 2005.
- [2] S. O. Kasap, *Principles of Electronic Materials and Devices*, Mc Graw Hill, Boston, 2002.
- [3] http://www.epcos.com/inf/20/30/db/alu_03/00190056.pdf
- [4] <http://www.nichicon-us.com/english/lib/aluminium.pdf>
- [5] http://www.epcos.com/inf/20/50/db/power_99/00230044.pdf
- [6] S. Ristić, *Pasivne elektronske komponente*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [7] R. Besson, *Technologie des composants électroniques*, Tome 1, Editions radio, Paris, 2002.

Abstract – The expressions for calculating maximum effective superimposed AC voltages and current for $f=100\text{Hz}$ and temperature less than 85°C in polarized Al electrolytic capacitors are given. These expressions are more suitable for implementation in circuit simulation tools than values given in large tables.

EXPRESSIONS FOR SUPERIMPOSED AC VOLTAGES AND CURRENTS IN POLARISED AL ELECTROLYTIC CAPACITORS

Stojan Ristić, Dragan Pantić, Tatjana Pešić