

Određivanje parametara kondenzatora

U ovom odeljku će biti razmatrano određivanje kapacitivnosti i ekvivalentne serijske otpornosti (*equivalent series resistance, esr*) kondenzatora analizom vremenskih dijagrama struje i napona kondenzatora snimljenih pomoću osciloskopa. Određivanje pomenutih parametara će biti ilustrovano na primerima buck i boost konvertora, a struja kondenzatora neće biti određivana direktno, već preko struje kalema koja se meri snimanjem dijagrama napona na dodatom šantu. Određivanje parametara kondenzatora na ovaj način nije opšti postupak, već zavisi od konkretnog kondenzatora, njegove kapacitivnosti, ekvivalentne serijske otpornosti i dostupnih uslova merenja.

Potrebna merenja na vremenskim dijagramima su vršena primenom kursora, a rezultat je prikazan na desnom delu ekrana. Osim merenja na dijagramima, za određivanje kapacitivnosti je korišćen i podatak o izlaznoj struji konvertora.

Buck konvertor

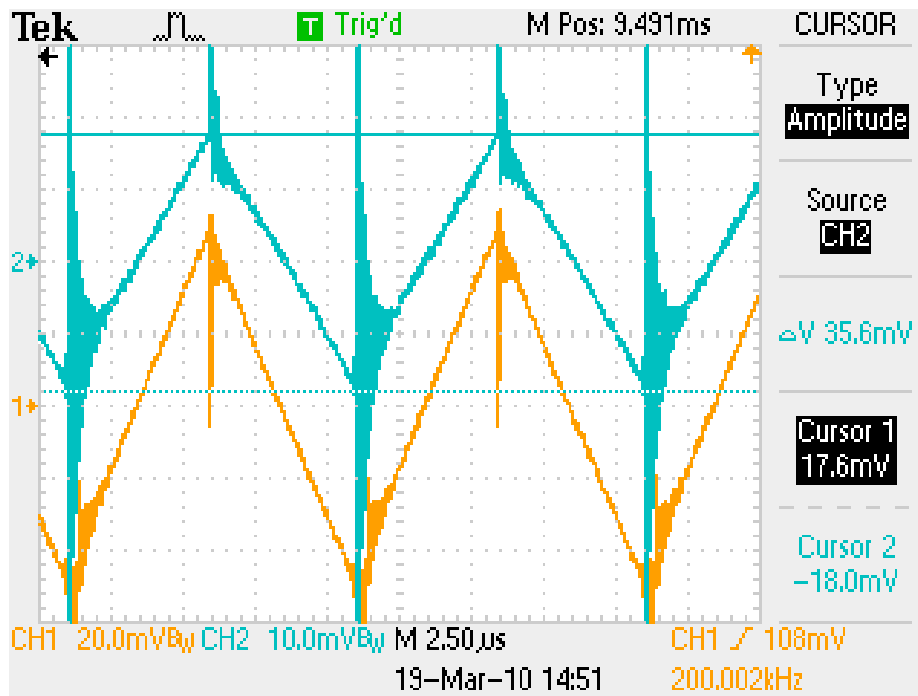
U prvom primeru posmatračemo buck konvertor kod koga su snimljeni vremenski dijagrami naizmenične komponente napona na kondenzatoru (slika 1) i struje kondenzatora (slika 2). Prikazani dijagram struje kondenzatora je dobijen tako što je snimljena struja kalema kao napon na šantu $R_S = 0.33 \Omega$ kome je uklonjena jednosmerna komponenta prikazivanjem samo naizmenične komponente na ekranu osciloskopa.

Analizom dijagram uočava se da je naizmenična komponenta napona na kondenzatoru proporcionalna struji kondenzatora, što ukazuje na dominaciju pada napona na ekvivalentnoj serijskoj otpornosti u naponu kondenzatora. Stoga se ekvivalentna serijska otpornost kondenzatora može izračunati kao odnos talasnosti (*peak-to-peak ripple*) naizmenične komponente napona i struje kondenzatora. Prilikom određivanja talasnosti potrebno je proceniti koji deo dijagrama odgovara stvarnoj vrednosti merene veličine, a koji predstavlja indukovanu smetnju. Na taj način su procenjene vrednosti za *peak-to-peak ripple*, kako je prikazano na slikama 1 i 2, od $\Delta v_{C_{p-p}} = 35.6 \text{ mV}$ i $R_S \Delta i_{C_{p-p}} = 96.9 \text{ mV}$. Ekvivalentna serijska otpornost kondenzatora se dobija kao

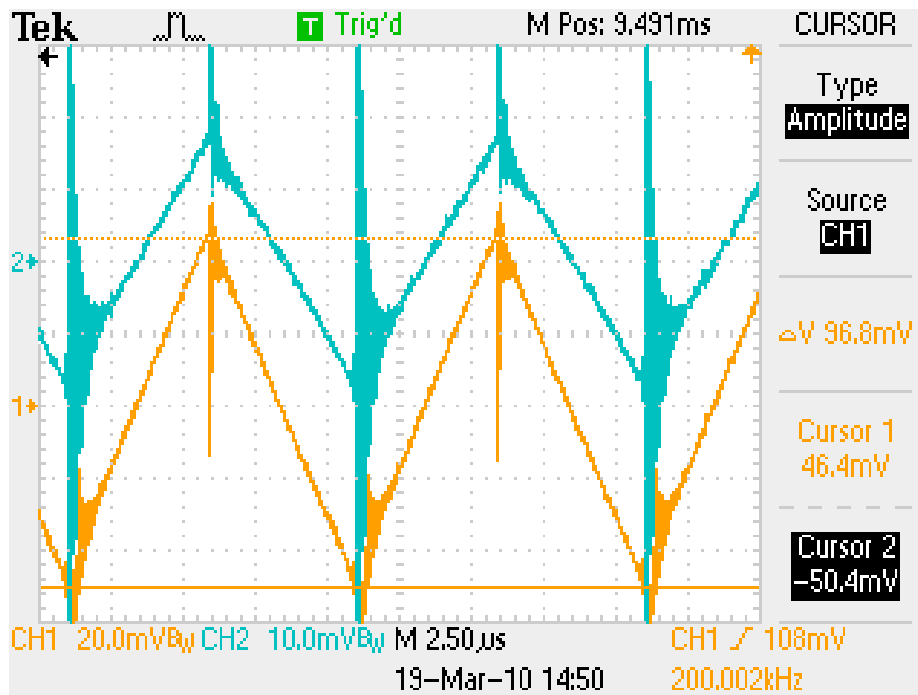
$$esr = \frac{\Delta v_{C_{p-p}}}{\Delta i_{C_{p-p}}} = 330 \text{ m}\Omega \frac{35.6 \text{ mV}}{96.8 \text{ mV}} = 121.36 \text{ m}\Omega.$$

Analizom dijagrama sa slika 1 i 2 nije moguće precizno odrediti kapacitivnost kondenzatora pošto je talasnost napona na kondenzatoru dominantno uzrokovana ekvivalentnom serijskom otpornošću. U cilju određivanja kapacitivnosti konvertor je uveden u diskontinualni režim rada smanjenjem frekvencije prekidanja i zabeležena je struja potrošača od $I_{OUT} = 507 \text{ mA}$. Za određivanje kapacitivnosti je značajan interval vremena tokom koga struja kalema ne teče, pa je tada struja kondenzatora $i_C = -I_{OUT}$. Na slici 3 je prikazan vremenski dijagram naizmenične komponente napona na kondenzatoru. Označen je segment u kome napon na kondenzatoru pada linearno, a promena napona je izmerena kao $\Delta v_C = 76 \text{ mV}$. Na slici 4 je prikazan napon na šantu proporcionalan struji kalema, $R_S i_L$. Na dijagramu je označen interval vremena tokom koga je struja kalema jednaka nuli, kada napon na kondenzatoru opada linearno, što je u skladu sa pražnjenjem kondenzatora konstantnom izlaznom strujom. Trajanje tog intervala je $\Delta t = 35 \mu\text{s}$. Kapacitivnost kondenzatora se određuje kao

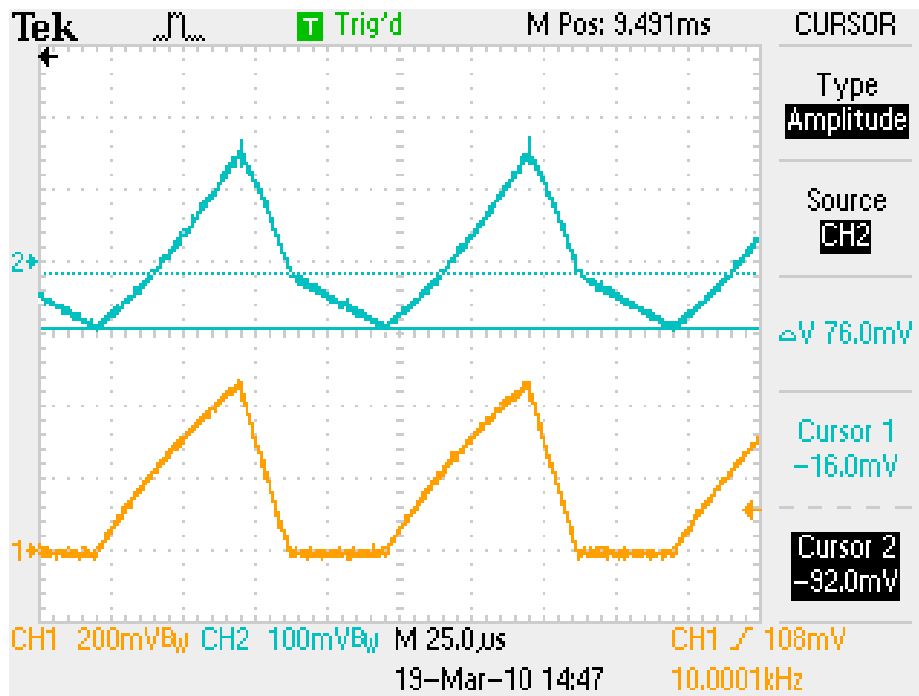
$$C = \frac{I_{OUT} \Delta t}{\Delta v_C} = \frac{507 \text{ mA} \times 35 \mu\text{s}}{76 \text{ mV}} = 233.49 \mu\text{F}.$$



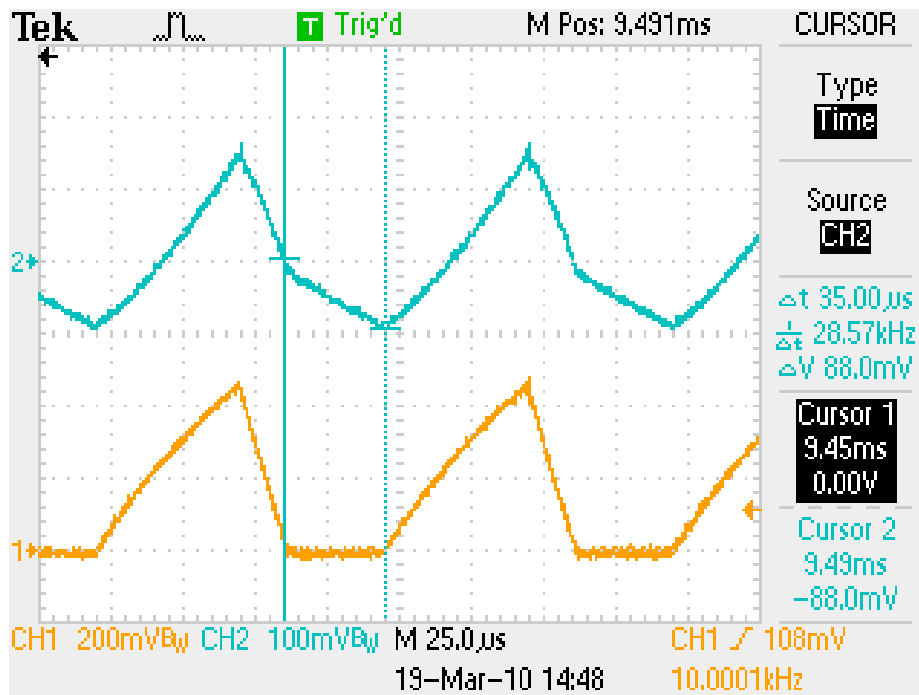
Slika 1: Buck konvertor, određivanje esr , napon.



Slika 2: Buck konvertor, određivanje esr , struja.



Slika 3: Buck konvertor, određivanje C , napon.



Slika 4: Buck konvertor, određivanje C , vreme.

Boost konvertor

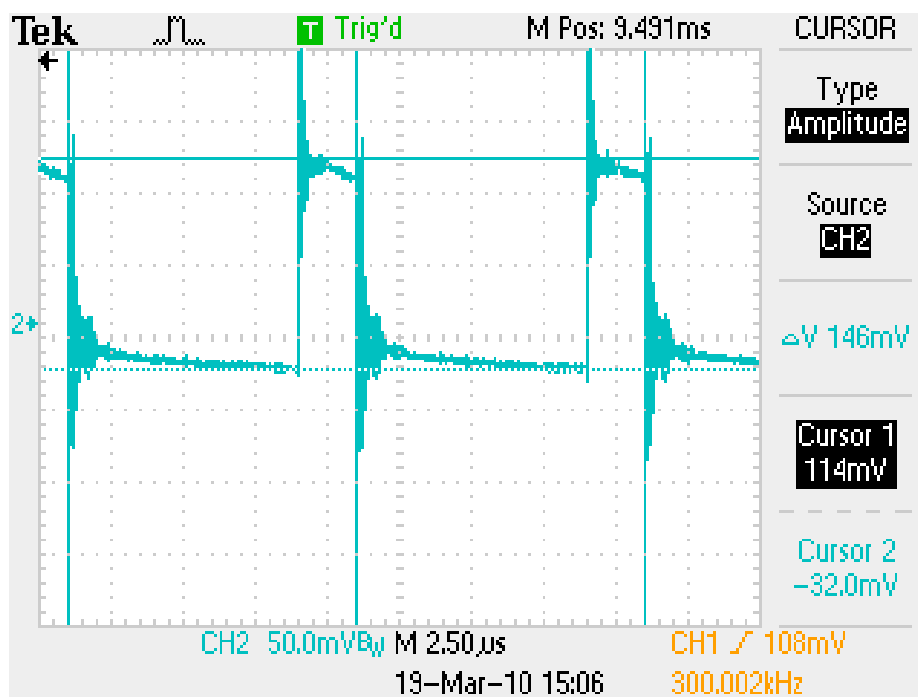
U slučaju boost konvertora struja kondenzatora je diskontinualna, što uzrokuje znatno veću talasnost napona na kondenzatoru. Za procenu ekvivalentne serijske otpornosti povoljni su trenuci kada struja kondenzatora ispoljava diskontinuitet. Na slici 5 je prikazan vremenski dijagram napona na kondenzatoru (v_C) na kome je označen jedan diskontinuitet tokom koga je promena napona izmerena kao $\Delta v_C = 146 \text{ mV}$. Diskontinuitet izmerenog napona na kondenzatoru je uzrokovan diskontinualnom strujom kondenzatora i padom napona na ekvivalentnoj serijskoj otpornosti, a ne Dirakovim impulsom struje kondenzatora. Odgovarajući dijagram struje kalema je prikazan na slici 6, gde je u trenutku koji odgovara diskontinuitetu napona na kondenzatoru izmeren napon na šantu od $R_S i_L = 452 \text{ mV}$, što pri $R_S = 330 \text{ m}\Omega$ odgovara struji od $i_L = 1.37 \text{ A}$. Ove vrednosti za ekvivalentnu serijsku otpornost kondenzatora daju

$$esr = \frac{\Delta v_C}{i_L} = \frac{146 \text{ mV}}{1.37 \text{ A}} = 106.6 \text{ m}\Omega.$$

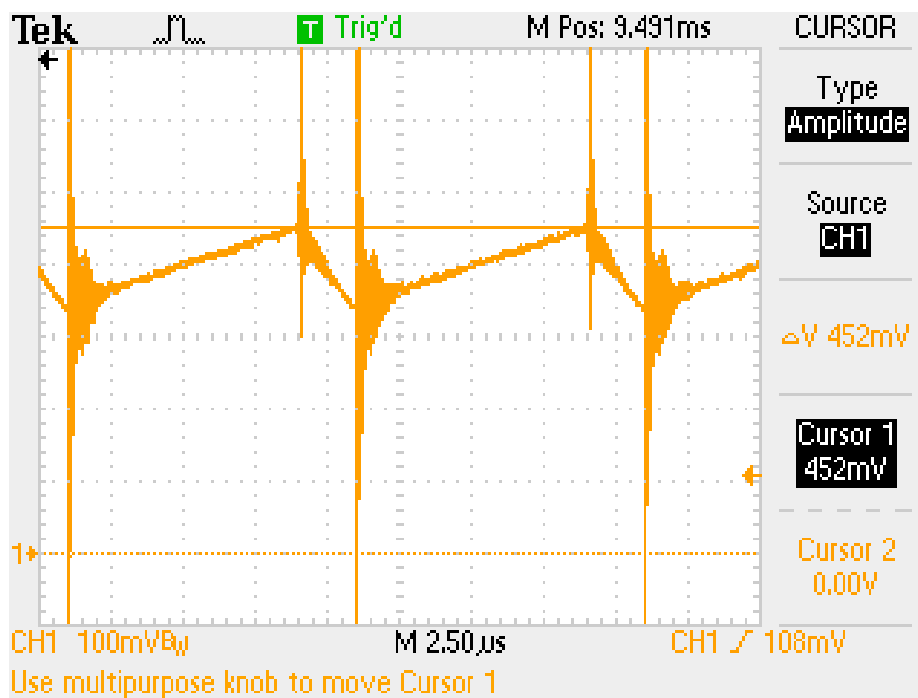
U cilju provere rezultata merenja, na dijagramu sa slike 7 je izmerena promena napona u drugom diskontinuitetu napona na kondenzatoru i ona iznosi $\Delta v_C = 110 \text{ mV}$. Prema dijagramu sa slike 8 odgovarajući napon na šantu je $R_S i_L = 332 \text{ mV}$, što odgovara struji od $i_L = 1.01 \text{ A}$. Na osnovu ovih podataka, izračunata je ekvivalentna serijska otpornost kondenzatora od

$$esr = \frac{\Delta v_C}{i_L} = \frac{110 \text{ mV}}{1.01 \text{ A}} = 108.9 \text{ m}\Omega$$

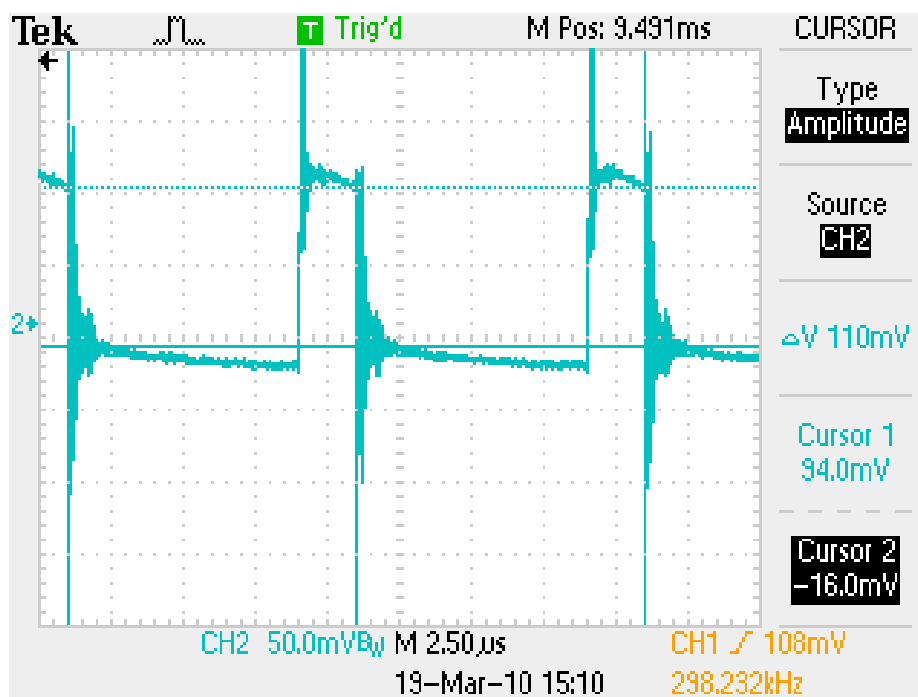
što je u dobroj saglasnosti sa prethodnim rezultatom.



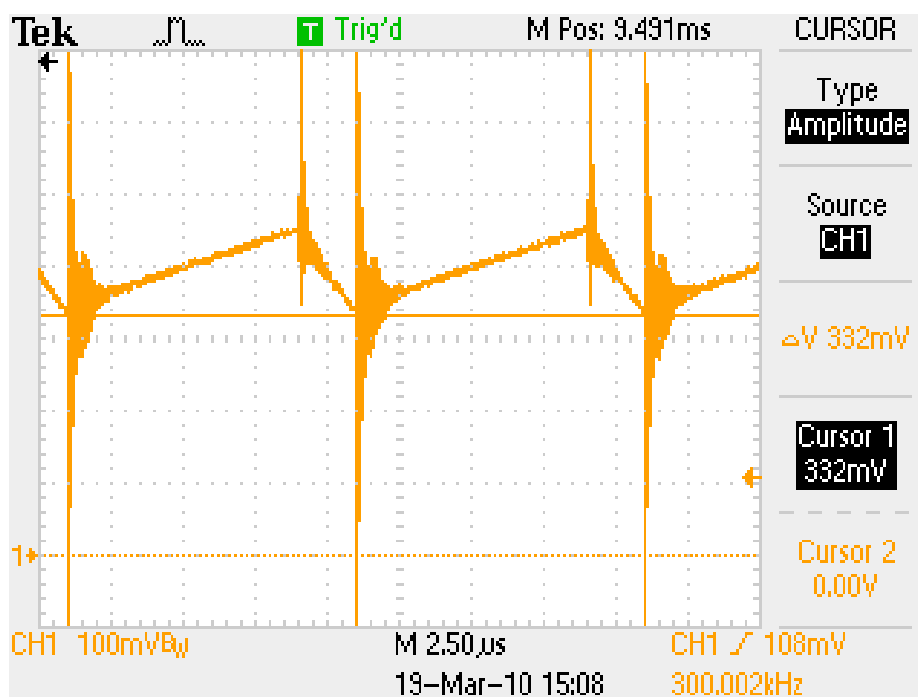
Slika 5: Boost konvertor, određivanje esr , napon, slučaj 1.



Slika 6: Boost konvertor, određivanje esr , struja, slučaj 1.



Slika 7: Boost konvertor, određivanje esr , napon, slučaj 2.

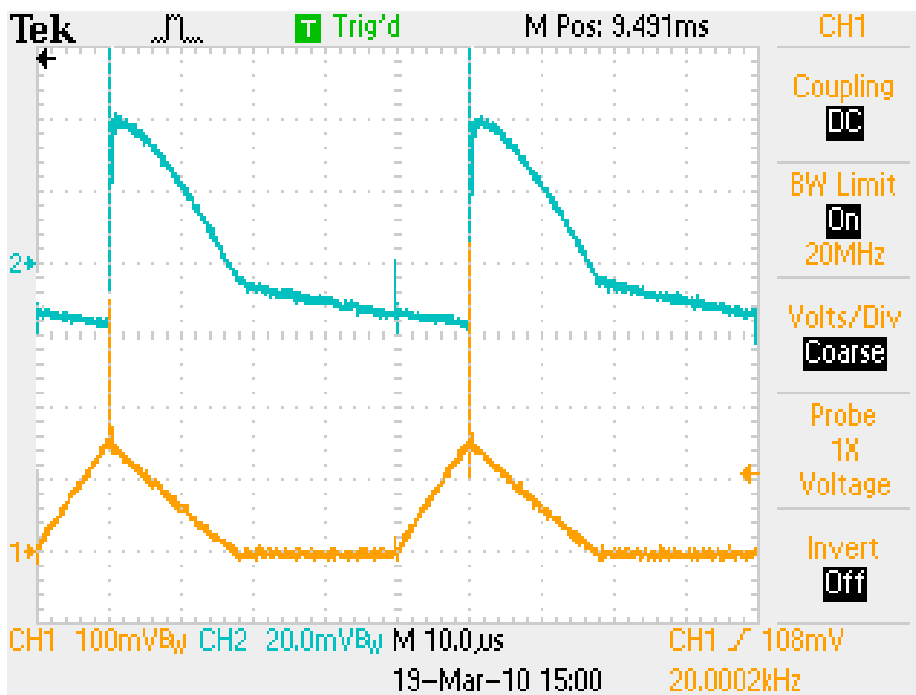


Slika 8: Boost konvertor, određivanje esr , struja, slučaj 2.

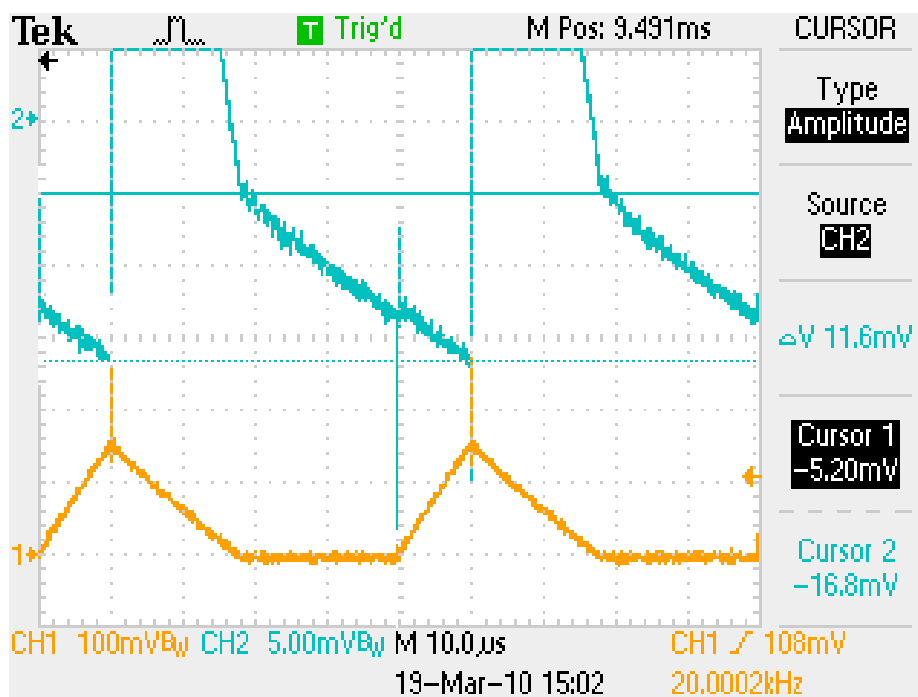
Merenje kapacitivnosti kondenzatora nije moguće na zadovoljavajući način izvesti analizom prethodnih dijagrama. Zato je, isto kao i u slučaju buck konvertora, snižena frekvencija prekidanja i konvertor je uveden u diskontinualni režim rada. Za merenje kapacitivnosti je povoljan interval vremena kada se kondenzator prazni kroz potrošač, tj. kada je $i_C = -I_{OUT}$, kada je struja diode jednaka nuli. Na slici 9 su prikazani vremenski dijagrami naizmenične komponente napona na kondenzatoru (plavi trag) i napona koji je srazmeran struji kalema (žuti trag), merenog na šantu $R_S = 0.33\Omega$. U oblasti koja odgovara neprovodnoj diodi boost konvertora uočava se linearan pad napona na kondenzatoru koji će biti iskorišćen za merenje kapacitivnosti.

Na slici 10 je prikazan uvećan vremenski dijagram naizmenične komponente napona na kondenzatoru i izmerena je promena napona tokom linearnog pada kao $\Delta v_C = 11.6\text{mV}$. Odgovarajući vremenski dijagram napona na šantu je prikazan na slici 11, gde je označen period tokom koga dioda ne vodi, i njegovo trajanje izmereno kao $\Delta t = 32\mu\text{s}$. Struja potrošača je izmerena kao $I_{OUT} = 83\text{mA}$, pa je kapacitivnost kondenzatora

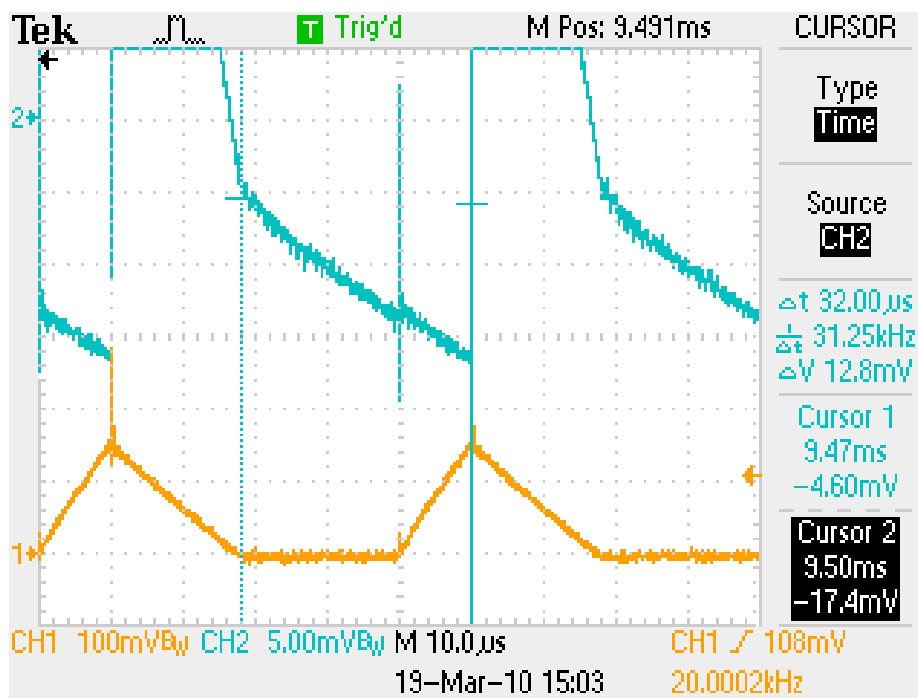
$$C = \frac{I_{OUT}\Delta t}{\Delta v_C} = \frac{83\text{mA} \times 32\mu\text{s}}{11.6\text{mV}} = 229.0\mu\text{F}.$$



Slika 9: Boost konvertor, određivanje C .



Slika 10: Boost konvertor, određivanje C , napon.



Slika 11: Boost konvertor, određivanje C , vreme.