

PRIMJENA TEOREMA UKLJUČENJA I ISKLJUČENJA GRANE PRI
RJEŠAVANJU LINEARNIH MREŽA S VENTILIMA

Prof. dr. Branislav Kuzmanović *

Zdenko Nemrava dipl. inž. **

APPLICATION OF THE BRANCH SWITCHING-ON AND SWITCHING-OFF
THEOREMS FOR SOLVING OF LINEAR NETWORK WITH VALVES

Sažetak

Teoremi uključenja i isključenja grane temelje se na principu superpozicije a vrijede samo za linearne mreže. Ti teoremi omogućuju da se na jednostavan način izračunaju prelazne pojave u linearnoj mreži pri uključenju odnosno isključenju neke grane. Kod mreža s ventilima to je čest slučaj, pa je u ovom radu prikazana mogućnost primjene tih teorema u takvim mrežama.

Summary

The branch switching-on and switching-off theorems are based on the principle of superposition and are valid for linear networks only. These theorems, provide an easy way to calculate transitional phenomena occurring in a linear network at the moment of switching-on or switching-off of a branch. That is why possibilities for application of these theorems in such networks have been elaborated in this paper.

* VTŠ "Rade Končar" Zagreb, Konavljanska 2

** CVTŠ KOV "General-armije Ivan Gošnjak" Zagreb, Ilica 256 b

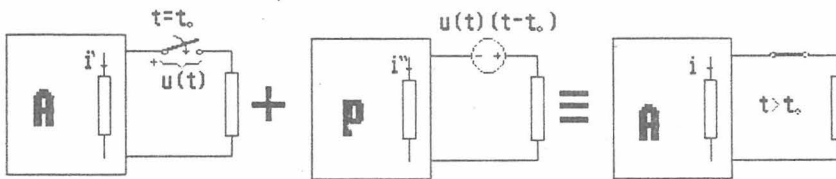
UVOD

Mreže energetske elektronike sastoje se od grana koje sadrže neupravljive ili upravljive ventile u stanju vodenja ili nevodenja odnosno blokiranja te ih je moguće analizirati korištenjem teorema o uključanju i isključenju grane. Prelazno stanje mreže se određuje korištenjem ovih teorema uz pretpostavku da su ventili idealne sklopke.

Teoremi uključanja i isključenja grane

Teorem uključanja grane glasi:

Struju prelaznog procesa, bilo koje grane aktivne linearne mreže, izazvanu uključanjem neke grane određujemo kao (algebarsku) sumu struje koja je tekla prije uključanja i struje koju je izazvala elektromotorna sila (EMS) uključena u priključenu granu pasivizirane mreže. EMS jednaka je po iznosu i obliku zatečenom naponu koji je u trenutku uključanja vladao između priključnih čvorova a suprotnog je polariteta (Sl.1.).



sl. 1.

Ovdje je: A-aktivna linearna mreža

P-pasivna linearna mreža

i' -struja u grani aktivne mreže kod uključanja

i'' -struja uzrokovana naponskim izvorom u pasivnoj mreži nakon uključanja ($t > t_0$)

i -struja grane aktivne mreže nakon uključanja ($t > t_0$), odnosno struja prelaznog procesa u grani aktivne linearne mreže izazvana uključanjem grane

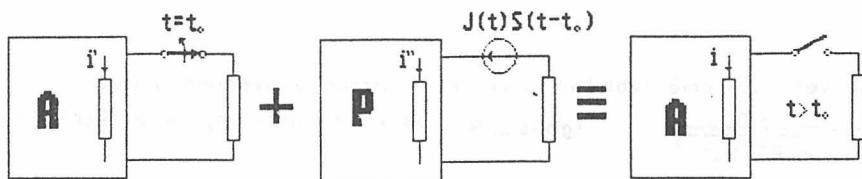
$S(t-t_0)$ -pomaknuta step-funkcija.

Dakle, tvrdnja teorema je izražena jednadžbom:

$$i = i' + i''$$

Teorem o isključenju grane glasi:

Prelazni proces koji nastaje pri isključenju grane neke linearne aktivne mreže možemo odrediti kao sumu zatečenog režima i režima koji stvara strujni izvor u promatranoj grani pasivizirane mreže. Struja strujnog izvora jednaka je struji koja je tekla u toj grani a njen smjer djelovanja je suprotan sl.2. :

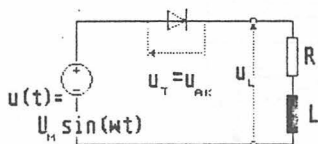


sl. 2.

Uvjeti primjene teorema u energetskej elektronici

Rečeno je da teoremi vrijede samo za linearne mreže. Stoga je nužno mreže s ventilima linearizirati. Zbog toga ćemo same ventile promatrati kao idealne prekidače, što u većini slučajeva daje zadovoljavajuće rezultate analize. Na nekoliko primjera prikazat ćemo mogućnosti primjene navedenih teorema.

Primjer 1. Analizirajmo rad jednofaznog poluvalnog ispravljača opterećenog aktivno induktivnim teretom kao na sl.3. :

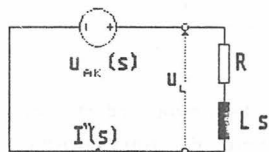


sl. 3.

Prelaznu pojavu izazvanu vodenjem diode odredit teoremom o uključenju grane. Do rješenja -po teoremu-dolazimo u dva koraka:

-prvi: određivanjem struje i napona na diodi u stacionarnom stanju prije početka vodenja diode, tj.: $i' = 0$, $u_{AK} = U_m \sin \omega t$,

-drugi: određivanjem struje u pasiviziranoj mreži izazvane EMS iznosa: $u_{AK} S(t-t_0) = U_m \sin \omega t S(t)$. Ovu struju odredit ćemo pomoću Laplaceove transformacije a prema drugom uvjetu teorema po šemi na sl.4. -pasivizirana mreža sa EMS na mjestu "prekidača" -diode- polariteta suprotnog od onog koji je bio u trenutku ukapčanja.



sl. 4.

Prema šemi imamo:

$I''(s) = \frac{u_{AK}(s)}{R + sL}$, gdje je $u_{AK}(s)$ Laplaceov transformat od EMS, čijim uvrštenjem u gornji izraz dobivamo:

$$I''(s) = \frac{U_m \omega}{L (s^2 + \omega^2) ((R/L) + s)} \quad \dots\dots 4.1.$$

Inverznu transformaciju izvršit ćemo tako da izraz prilagodimo tabličnim transformacijama rastavom na parcijalne razlomke. U tom cilju potražimo konstante A, B i C da izraz ima oblik:

$$I''(s) = \frac{U_m \omega}{L} \left[\frac{As+B}{s^2 + \omega^2} + \frac{C}{(R/L)+s} \right] \quad \dots\dots 4.2.$$

Izjednačavanjem izraza 4.1. i 4.2. dolazimo do jednadžbe iz koje određujemo konstante:

$$A = \frac{-1}{(R/L)^2 + \omega^2} \quad ; \quad B = -\frac{R}{L ((R/L)^2 + \omega^2)} \quad ; \quad C = \frac{1}{(R/L)^2 + \omega^2} .$$

Kako već naziremo tablični oblik transformacija uvedimo oznake:

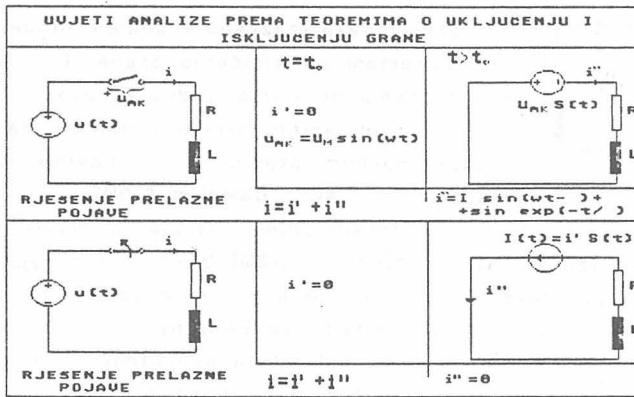
$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \text{tg}\varphi = \omega L/R, \quad \text{pa nakon uvrštenja u početni obra-}$$

zac dobivamo lako inverznom transformacijom oblik tražene struje u vremenskoj domeni:

$$i''(t) = I_m \left[\sin(\omega t - \varphi) + \sin\varphi e^{-\frac{R}{L}t} \right].$$

Prema teoremu o uključenju grane struja u krugu u toku vođenja diode je : $i = i' + i'' = 0 + i'' = i''(t)$. U trenutku kad struja prođe kroz nulu dioda prekida strujni krug i za analizu novog prelaznog stanja možemo upotrebiti teorem o isključenju grane. No u ovom primjeru je očito da će struja biti jednaka nuli.

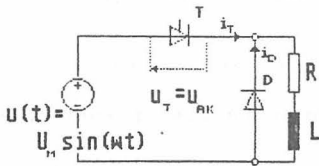
Radi preglednijeg uvida u način proračuna pomoću ovih teorema dat je slikoviti prikaz cijelog postupka na sl.5.



sl. 5.

Iz slikovitog prikaza načina korištenja teorema vidimo da se postupak kod primjene ovih teorema ogleda u tome da određujemo ili veličine prethodnog stanja ili veličine u pasiviziranoj mreži sa jednim aktivnim izvorom.

Primjer 2. Analizirajmo jedofazni upravljivi ispravljački spoj opterećen omsko induktivnim teretom sa rasteretnom diodom sl. 6. :

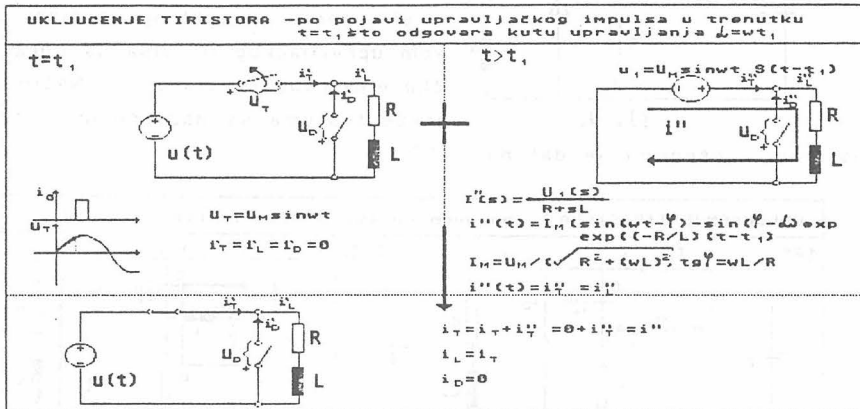


sl. 6.

Osobnost ovog spoja je u tome što imamo upravljivi ventil koji će pšočeti voditi tek po ispunjenju sljedećih uvjeta:

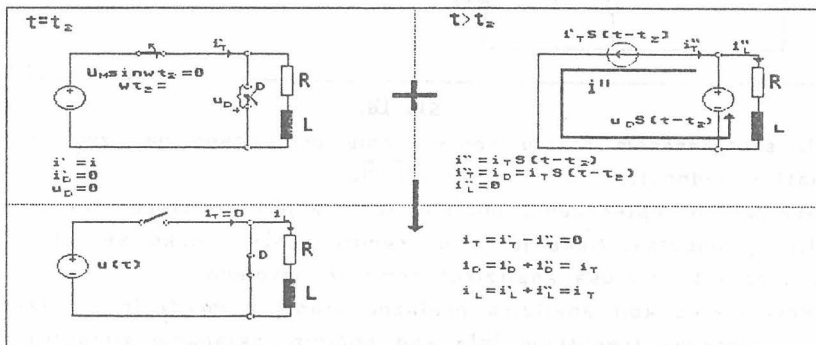
$u_T > 0$, $i_D > 0$, gdje je i_D -struja upravljačke elektrode.

Neka se u trenutku t_1 pojavi upravljački impuls na tiristoru T. On počinje voditi te struju prelaznog procesa određujemo teoreom uključenja grane. Ova analiza sa dobivenim rezultatima je prikazana na sl.7.



sl. 7.

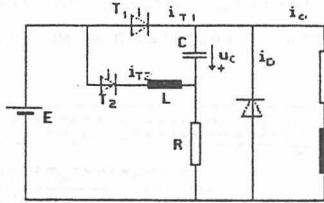
Kao što znamo tiristor će voditi sve dotle dok mu struja ne padne ispod struje držanja. Kako u našem slučaju paralelno s teretom postoji dioda -ona će preuzeti struju trošila i omogućiti prekid vođenja tiristora. U našoj mreži to je uvjetovano trenutkom t_2 u kom je napon izvora jednak nuli (t_2). Da bi odredili ovo prelazno stanje moramo istovremeno primjeniti oba teorema. Analiza je prikazana na sl.8.



sl. 8.

Konačno dioda prestaje voditi kad struja i_L bude jednaka nuli. Kako je to evidentno nećemo primjenjivati teorem o isključenju grane koji bi potvrdio naše pretpostavke.

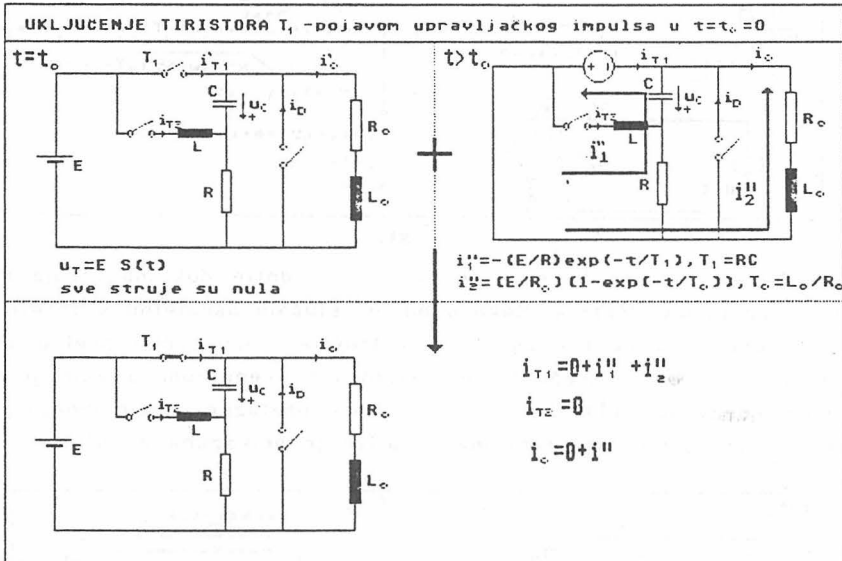
Primjer 3. U ovom primjeru izvršimo analizu kondenzatorskog isklapanja prema sl. 9. :



sl. 9.

Analzom ćemo obuhvatiti proračun struja i karakterističnih napona kroz režim uključanja opterećenja na izvor i njegovog isključenja.

Uključenje opterećenja počinje pojavom upravljačkog impulsa na upravljačku elektrodu tiristora T_1 . Način upotrebe teorema sa naznačenim karakterističnim rješenjima je dat na sl.10..



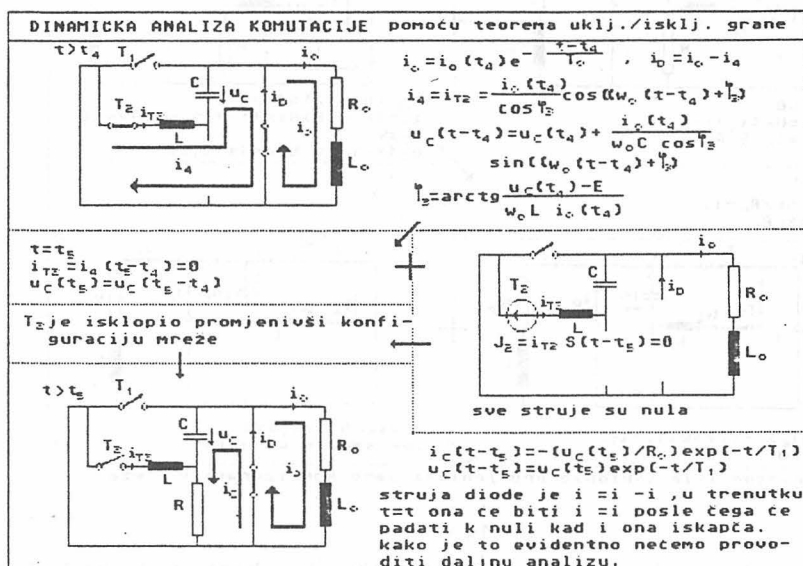
sl. 10.

U stacionarnom stanju -opterećenje priključeno na izvor -struje će imati vrijednosti:
 $i_{T1} = i_{C0} = E/R_0$.

Isključenje opterećenja počinje zatvaranjem tiristora T_2 -pojavom upravljačkog impulsa. Neka je to u trenutku $t = t_1$. Kako se isključenje odvija kroz više ciklusa analizirat ćemo ih odvojeno.

Prvi ciklus koji analizira prelazno stanje u mreži je prikazan na sl.11. i završava trenutkom $t = t_2$ kad počinje isklapanje tiristora T_1 .

Konačno analizu završavamo trenutcima $t = t_5$ kad iskapča tiristor T_2 i $t = t_6$ kad prestaje voditi dioda što je prikazano na sl. 13. .

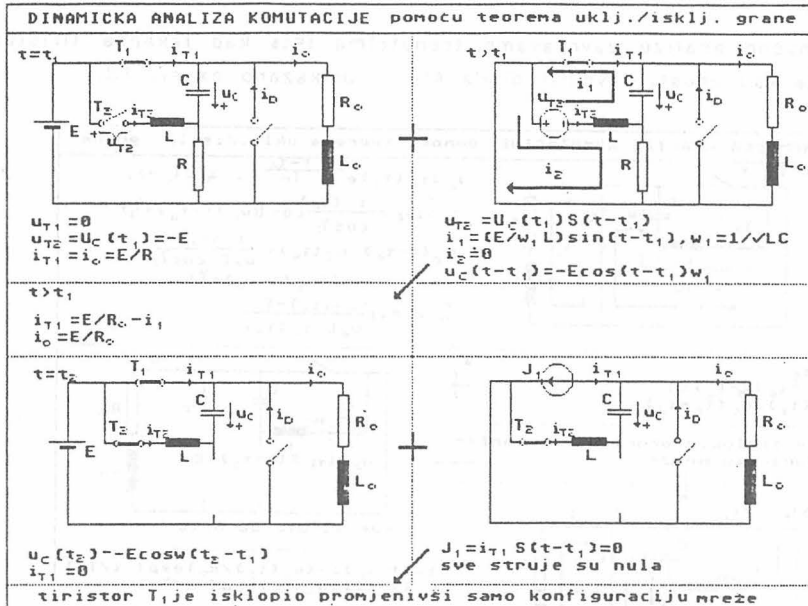


sl.13.

Kao što vidimo iz ove analize isključenje ventila je izazvano nulnim početnim vrijednostima te ono ne doprinosi po strujama ili naponu rješenjima dobivenim rješavanjem aktivne mreže, pa ih nije potrebno posebno ni analizirati.

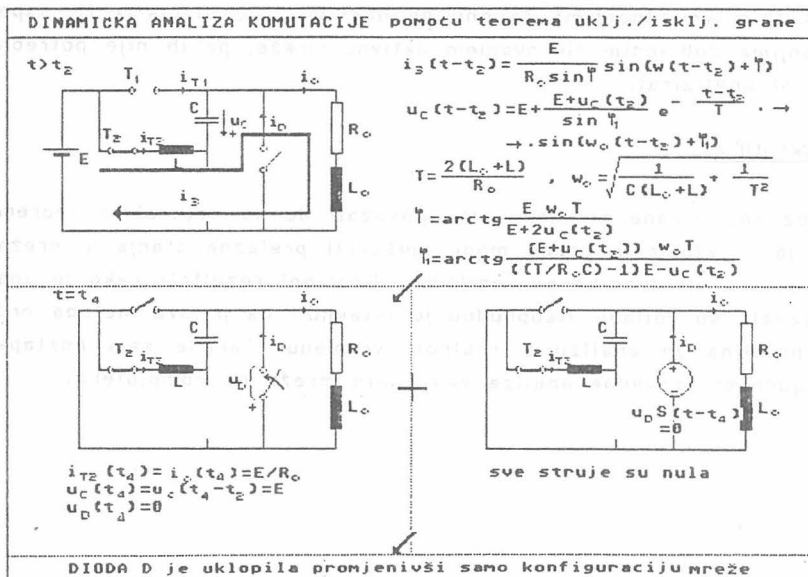
ZAKLJUČAK

Kroz analizirane primjere smo pokazali da se upotrebom teorema isključenja i uključivanja grane mogu rješavati prelazna stanja u mrežama energetske elektronike sa ventilima. Dobiveni rezultati kako je analiza pokazala su valjani. Neophodno je istaknuti da je ova metoda proračuna povoljna za analizu u realnom vremenu. Takođe sam postupak daje mogućnost provedbe analiza ventilskih mreža na kompjuteru.



sl. 11.

Drugi dio analize završava u trenutku $t=t_4$ kada je provela dioda te je prikazan na sl. 12.



sl. 12.