

MERENJE REAKTANSI ELEKTRIČNIH MAŠINA
POMOĆU INTEGRATORA

Milorad Gvozdrenović, viši stručni saradnik
Dr Dragan Petrović, docent
Miloš Nedeljković, asistent pripravnika
Elektrotehnički fakultet - Beograd

SAŽETAK

U radu je opisan jedan metod za merenje reaktansi električnih mašina pomoću elektronskog integratora. Koristi se poznata veza između integrala slobodnih struja pri određenim prelaznim pojavama i reaktansi mašina. Primena opisanog metoda povećava tačnost merenja.

ELECTRICAL MACHINES REACTANCES MEASUREMENT BY
MEANS OF AN INTEGRATOR

This article presents one method for measuring electrical machines reactances using an electronic integrator. Relationship between currents integral in transient process and machines reactances is used. This method is used for increasing measuring accuracy.

UVOD

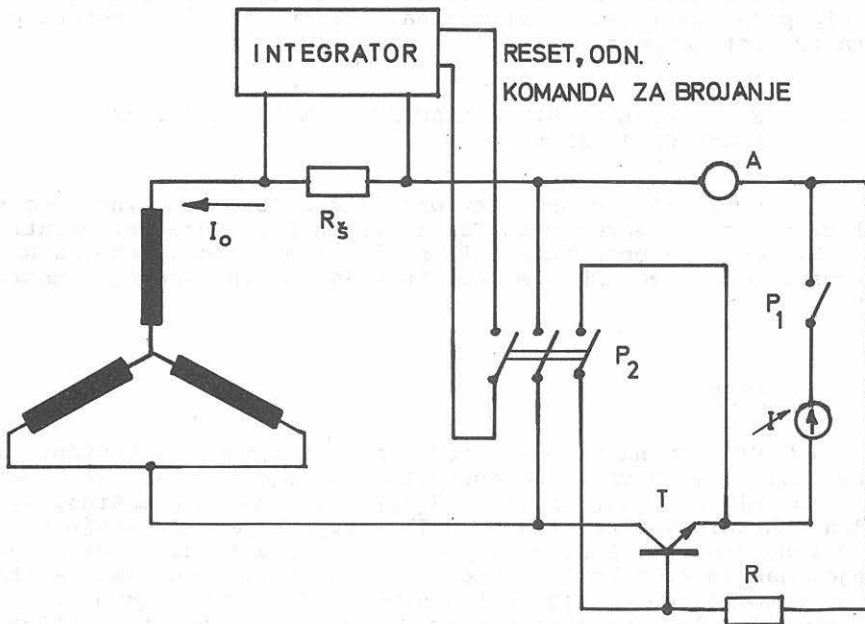
Frekventna metoda određivanja reaktansi električnih mašina (L.1,2) zasniva se na postojanju određenih relacija između operatorskih funkcija $|X_d(p)$ i $X_g(p)$ kod sinhronih mašina, $X(p)$ kod asinhronih mašina i slobodnih struja koje iščezavaju u toku prelaznog procesa. Pritom se prelazna pojava izaziva kratkim spajanjem namota kroz koji je prethodno prolazila jednosmerna struja uz istovremeno odvajanje tog namota od strujnog izvora. Tako se dobijaju slobodne struje u svim magnetno spregnutim kolima. Pomoću šentova se te struje mogu registrovati koristeći oscilografski pisac ili magnetofon. Način promene ovih struja u funkciji odgovarajućih reaktansi i otpornosti može se iskoristiti za identifikaciju tih parametara (L.3). Velika praktična prednost ove metode nad nekom drugom jeste što mašina pri eksperimentu miruje i nije izložena nikakvim opasnostima od oštećenja, a sam postupak je dosta jednostavan. Ako se ovome doda da se pomoću ove metode mogu dobiti praktično svi parametri mašine sa

zadovoljavajućom tačnošću, onda su jasne prednosti ove nad mnogim ostalim metodama.

Tačnost ove metode u mnogome zavisi od načina obrade registrovanih slobodnih struja. Kod ručne obrade oscilografskih snimaka naročito je osetljiva oblast na kraju procesa gde su amplitude slobodnih struja male. Male greške napravljene u ovoj oblasti povlače za sobom relativno veliku grešku u sračunavanju sinhronih reaktansi X_d i X_q . Kako su ove reaktanse srazmerne integralu slobodnih struja, što će kasnije biti pokazano, to primena elektronskog integratora treba da doprinese još većem značaju ove metode.

OSNOVE PRIMENE INTEGRATORA

Namoti statora mašine čiju reaktansu želimo da odredimo povežu se prema slici 1 tako da kroz njih prolazi jednosmerna struja I_0 koju daje strujni izvor I .



Sl.1. Strujno kolo za merenje reaktansi električnih mašina pomoću integratora

Zatvaranjem troleznog prekidača P_2 kratko se spajaju namoti statora, a istovremeno preko tranzistora T prekida se

kolo za napajanje. U kratkospojenim namotima statora nastaje struja koja se menja po složenom eksponencijalnom zakonu. To se može izraziti pomoću sledeće jednačine ravnoteže pada napona i indukovane elektromotorne sile:

$$ri + \frac{d\psi}{dt} = 0$$

gde su:

i - trenutna vrednost struje,
 ψ - fluksni obuhvat faze statora,
 r - otpornost faze statora

Razdvajanjem promenljivih i integraljenjem dobija se:

$$\int_0^{\infty} d\psi = -r \int_0^{\infty} i dt, \text{ odnosno:}$$

$$\psi(0) - \psi(\infty) = r \int_0^{\infty} i dt.$$

Kako je

$$\psi(0) = \psi_0 = x \cdot i(0) = xI_0$$

a

$$\psi(\infty) = 0,$$

to je:

$$x \cdot I_0 = r \int_0^{\infty} i dt$$

ili:

$$x = \frac{r}{I_0} \int_0^{\infty} i dt \quad (1)$$

Iz izraza (1) se vidi da je reaktansa mašine srazmerna integralu slobodne opadajuće struje i čija je početna vrednost I_0 . Kod sinhronih mašina na ovaj način se mogu dobiti sinhronne reaktanse po uzdužnoj osi X_d i poprečnoj osi X_q , ukoliko se rotor mašine postavi u uzdužnu, odnosno poprečnu osu mašine. Pri tome je pobudni namotaj kratko spojen. U njemu se tada takodje javlja slobodna struja, pa se za to kolo može napisati jednačina:

$$r_f \cdot i_f + \frac{d\psi_f}{dt} = 0$$

Kako je $\psi_f(0) = I_0 X_{ad}$, a $\psi_f(\infty) = 0$, gde je

X_{ad} - reaktansa reakcije indukta, to prethodna jednačina daje:

$$X_{ad} = \frac{r_f}{I_0} \int_0^{\infty} i_f dt \quad (2)$$

Polazeći, dakle, od izvedenih relacija (1) i (2) u cilju određivanja sinhronih reaktansi mašine, potrebno je na krajeve šenta R_{ξ} u kolu statora vezati integrator koji će dati integral celokupne slobodne struje i . Istovremeno treba integrirati i promenu struje u pobudnom kolu mašine i_f da bi se, prema relaciji (2), dobila reaktansa reakcije induktā.

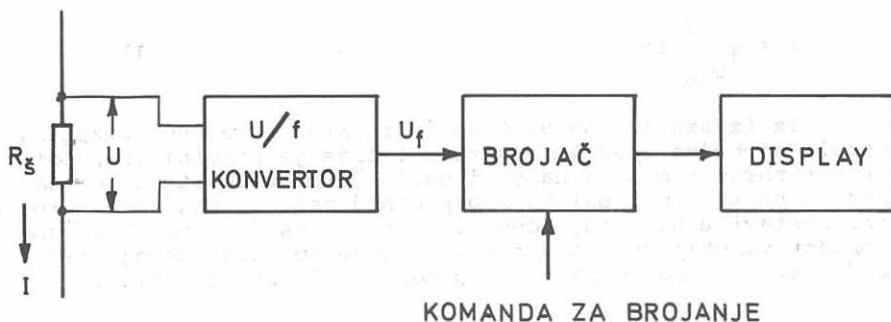
PRINCIP RADA

Osnovna šema data je na slici 1. Prekidači P_1 i P_2 su pre eksperimenta otvoreni. Zatvaranjem prekidača P_1 uspostavlja se jednosmerna struja koju generiše izvor konstante struje I koja se može podešavati tako da dostigne nominalnu vrednost I_0 za ugradjeni šent R_{ξ} .

Iniciranje prelazne pojave vrši se aktiviranjem prekidača P_2 koji obavlja 3 funkcije:

- kratko spaja ispitivano kolo u kojem se nalazi šent,
- prekida kolo izvora konstante struje blokiranjem tranzistora T i
- omogućava rad digitalnim brojačima ugradjenim u integrator.

Integrator se sastoji od U/f konvertora, brojača i display-a, slika 2.



S1.2. Blok šema integratora

Ako se konverzija napona u učestanost vrši sa visokom linearnošću i veoma dobrom dinamikom, tada je stanje brojača

dato na display-ima srazmerno sa brojem A_s (Amper-sekundi) ili mVs kroz šent, odn. na njegovim krajevima, računato od iniciranja prelazne pojave.

Na kraju prelazne pojave kada struja kroz šent, odn. napon u na njegovim krajevima, opadnu na nulu, na display-u će se naći broj N koji će pomoći da se tražena reaktansa izračuna na sledeći način:

$$\int_0^{t_1} u dt = \int_0^{t_1} R_g i dt = R_g \int_0^{t_1} i dt$$

$$\int_0^{t_1} i dt = \frac{1}{R_g} \int_0^{t_1} u dt = \frac{K_k \cdot N}{R_g} |A_s|$$

gde je:

t_1 - trajanje prelazne pojave

K_k - konstanta U/f konverzije $|\frac{V}{Hz}|$

u - trenutna vrednost napona na šentu

i - trenutna vrednost struje kroz šent.

Tako je sada vrednost sinhronne reaktanse

$$X_d(q) = \frac{r}{I_0} \int_0^{\infty} i dt = \frac{2\pi fr}{I_0} \cdot \frac{K_k \cdot N}{R_g}$$

relativnih jedinica, gde su:

r - aktivna otpornost konture prigušenja svedena na fazu u relativnim jedinicama,

I_0 - početna vrednost struje (vrednost na početku prelaznog režima)

f - nominalna učestanost mašine.

Ceo izraz je pomnožen sa $2\pi f$ jer u apsolutnim jedinicama važi:

$$X_d(q) = \omega L_d(q) = 2\pi f L_d(q)$$

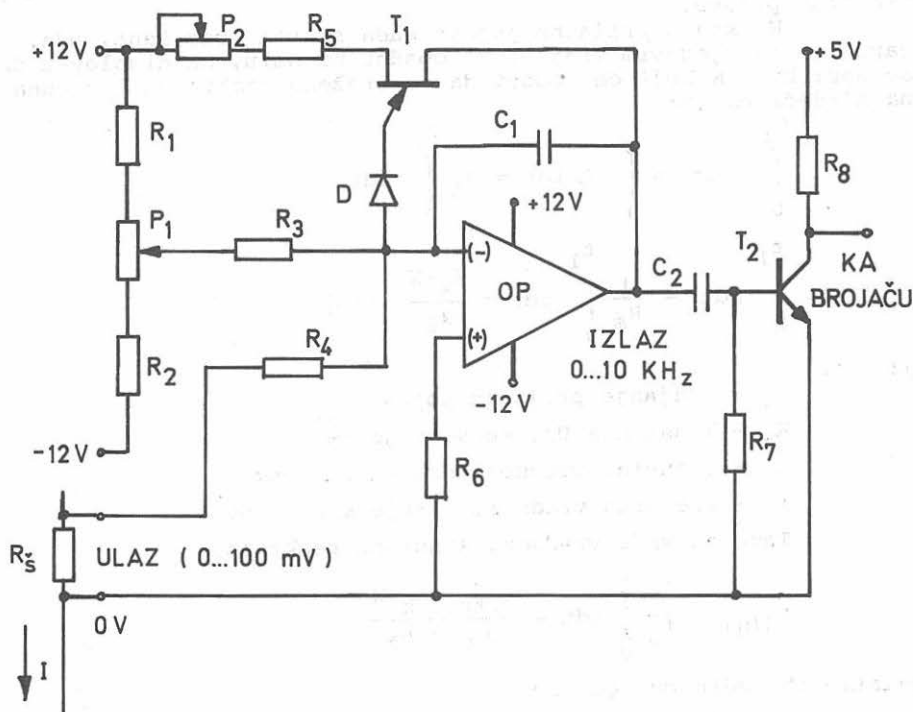
Tako se u apsolutnim jedinicama dobije:

$$X_d(q) = \frac{R}{I_0} \cdot \frac{K_k \cdot N}{R_g} \cdot 2\pi f \quad (\Omega)$$

gde je

R - aktivna otpornost konture prigušenja u Ω .

Konvertor napona u učestanost visoke linearnosti i veoma velike brzine odziva ostvaren je kolom koje je prikazano na slici 3.



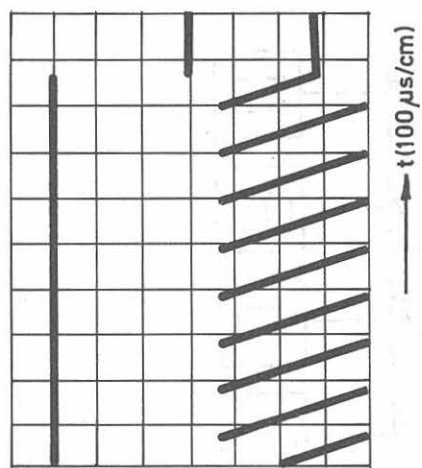
Sl.3. U/f konvertor sa uobličavačem impulsa.

Potenciometrom P_1 podešava se početak oscilovanja oscilatora na 0V ulaznog napona. Učestanost oscilovanja grubo se može menjati postavljanjem različitih kondenzatora C_1 , a fino potenciometrom P_2 . Na slici 4 dati su osciloskopski snimljeni odzivi U/f konvertora na promene ulaznog napona za:

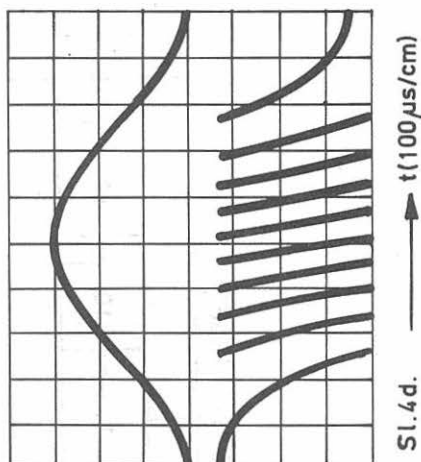
- Hevisajdovu funkciju (slike 4a. i 4b.),
- Trougaonu funkciju (slika 4c) i
- Sinusoidalnu funkciju (4d).

Posle diferenciranja i uobličavanja sa T_2 , impulsi iz oscilatora kojeg čine jednospojni tranzistor T_1 , operacioni pojačavač OP, dioda D , kondenzator C_1 , potenciometar P_2 i otpornici R_4 , R_5 i R_6 , dovode se na digitalni brojač i dalje na display, slika 5.

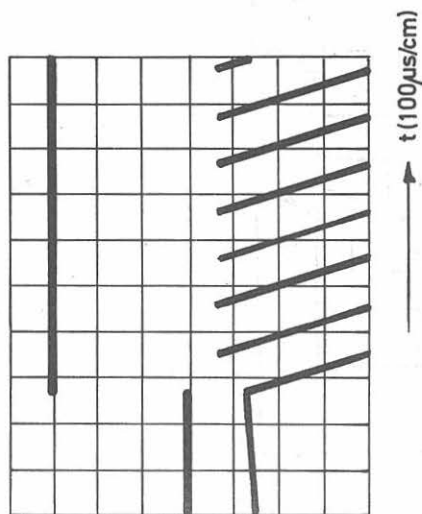
Preklopnikom P' mogu se za različita trajanja prelazne pojave (koje se mogu razlikovati i za nekoliko redova veličine), menjati vrednosti konstante U/f konverzije K_k izborom različitih vrednosti kondenzatora. Preklopnikom P'' može se u brojački lanac uključivati različiti broj dekadnih delitelja. Drugi segment



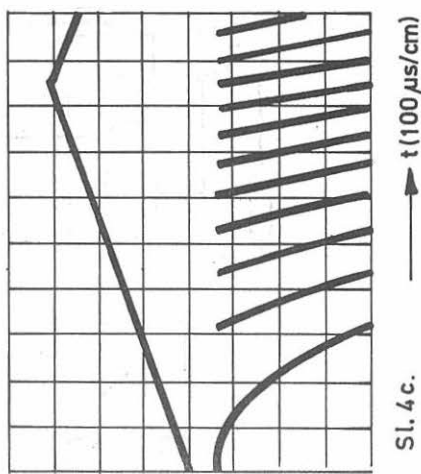
Sl. 4 b.



Sl. 4 d.

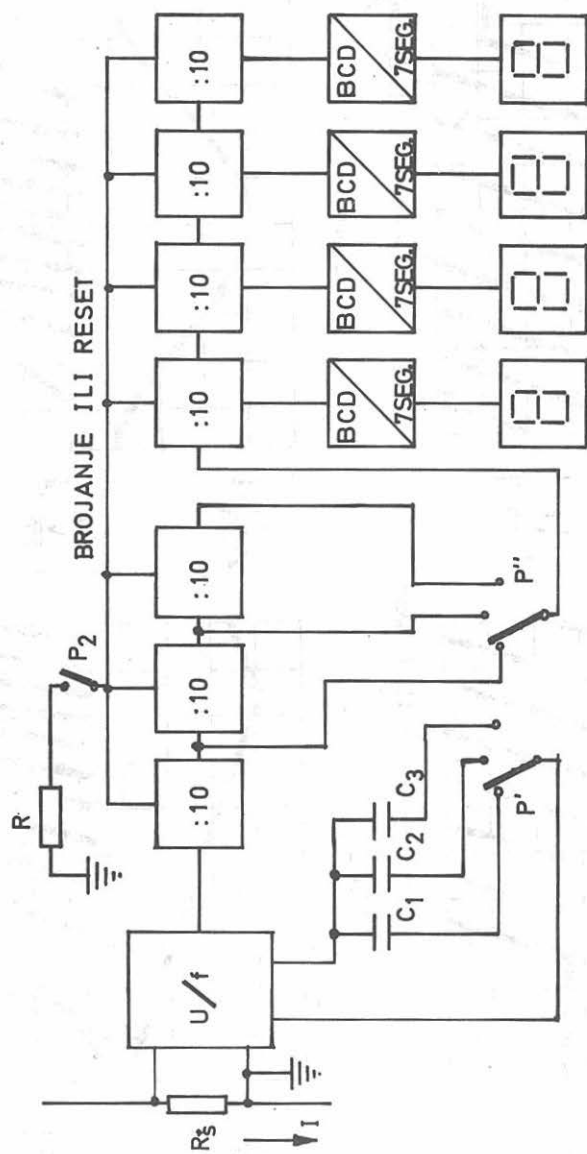


Sl. 4 a.



Sl. 4 c.

Sl. 4. Ođzivi U/f konvertora na različite promene ulaznog napona



Sl.5. Brojač i display elektronskog integratora

istog preklopnika, koji nije ucrtan u šemu na slici 5 služi za pomeranje decimalne tačke na 4-cifarskom display-u, zavisno od broja uključenih delitelja učestanosti sa 10.

Smisao postojanja preklopnika P'_1 i P'' je očigledan:

- omogućava integraljenje širokog opsega prelaznih pojava po trajanju,
- povećava tačnost rezultata obezbeđivanjem 3-4 važeće cifre.

ZAKLJUČAK

Za razliku od metode ručno-grafičke obrade snimaka prelazne pojave u kolima električne mašine kojom se reaktanse nisu mogle odrediti sa velikom tačnošću, korišćenje elektronskog integratora omogućava mnogo jednostavniji i tačniji postupak merenja odgovarajućih reaktansi mašina. Relativno veliki opseg trajanja prelaznih pojava koji se može "obraditi" ovim integratorom omogućava njegovo korišćenje kod različitih električnih mašina. Jedan elektronski integrator koji funkcioniše kod prelaznih pojava čije trajanje može da bude u opsegu $1:10^4$ konstruisan je u Laboratoriji za energetske pretvarače Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i uspešno se primenjuje za određivanje reaktansi električnih mašina.

LITERATURA

1. E.Kazovskij - Pehodnie procesi v električeskijh mašinah peremeno vo toka, M-L, AN. SSSR, 1962.
2. IEC publication 34-4A, 1972, Geneva.
3. D.Petrović - Odredjivanje parametara sinhronih mašina iz stanja mirovanja, doktorska disertacija, Zagreb, 1977.