

Imaginarni elipsoid ima jednadžbu

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = -1.$$

Ta ploha nema realnih tačaka.

b) *Paraboloidi*. Opća jednadžba (28.1) ovih ploha može se transformirati na oblik $Ax^2 + By^2 + Cz^2 = 0$, gdje su sve tri konstante A, B, C različite od nule. Te plohe nemaju centra simetrije, a postoje dvije vrste takvih ploha:

Eliptični paraboloid (sl. 27 a) ima jednadžbu

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - z = 0.$$

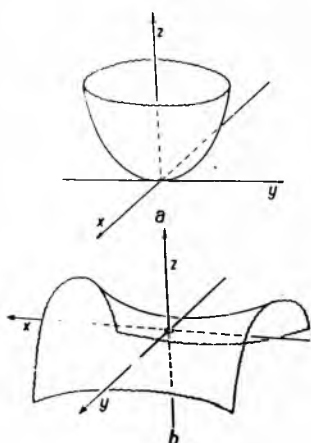
Ako je $a = b$, os aplikatâ je os rotacije.

Hiperbolični paraboloid (sl. 27 b) ima jednadžbu

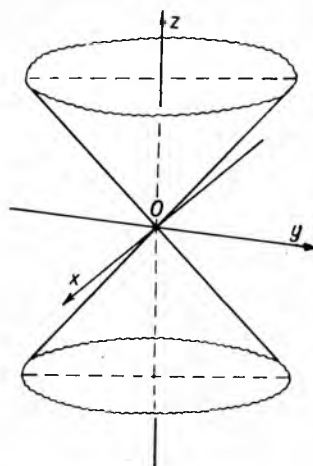
$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - z = 0.$$

To je pravčasta ploha i na njoj postoje dva sistema izvodnica:

$$\begin{aligned} \text{I. } & \frac{x}{a} + \frac{y}{b} = u, & \frac{x}{a} - \frac{y}{b} = \frac{z}{u}; \\ \text{II. } & \frac{x}{a} - \frac{y}{b} = v, & \frac{x}{a} + \frac{y}{b} = \frac{z}{v}. \end{aligned}$$



Sl. 27



Sl. 28

c) *Stožci drugog reda*. U tom se slučaju opća jednadžba (28.1) može transformirati na oblik $Ax^2 + By^2 + Cz^2 = 0$, gdje ni jedna od konstanti A, B, C ne iščezava. Tu postoje dva slučaja:

Realni stožac (sl. 28) ima jednadžbu

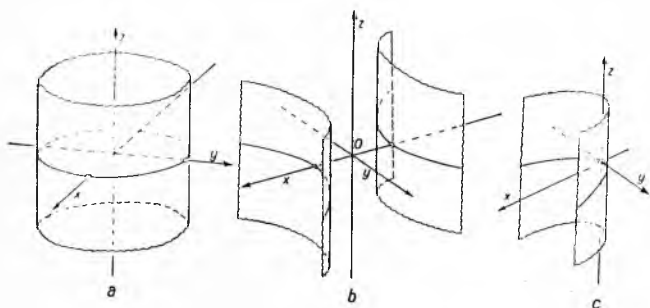
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0.$$

Ako je $a = b$, to je *kružni stožac*.

Imaginarni stožac ima jednadžbu

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 0.$$

Ta ploha ima jednu jedinu realnu tačku koja pada u ishodište koordinata.



Sl. 29

d) *Cilindri drugog reda*. Tu se razlikuju tri slučaja:

Eliptični cilindar (sl. 29 a) ima jednadžbu

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Hiperbolični cilindar (sl. 29 b) ima jednadžbu

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Parabolični cilindar (sl. 29 c) ima jednadžbu

$$y^2 - 2px = 0.$$

LIT.: G. Darboux, Principes de géométrie analytique, Paris 1917. — L. Berzolari, Geometria analitica, Milano 1920. — L. Bianchi, Lezioni di geometria analitica, Pisa 1920. — G. Papelier, Précis de géométrie analytique, Paris 1925. — G. Fano-A. Terracini, Lezioni di geometria analitica e proiettiva, Torino-Milano 1930. — A. Schoenflies-M. Dehn, Einführung in die analytische Geometrie, Berlin 1931. — M. И. Мусхелишвили, Курс аналитической геометрии, Москва-Ленинград 1947. — А. М. Лотвиц, Аналитическая геометрия, Москва 1948; — N. Saltikov, Аналитичка геометрија I, II, Beograd 1949. — H. S. M. Coxeter, The real projective plane, Toronto 1949. — L. Bieberbach, Analytische Geometrie, Bielefeld 1950. — G. Engel: Analytische Geometrie, Berlin 1950. — E. Sperner, Einführung in die analytische Geometrie und Algebra I, II, Göttingen 1951/55. — D. J. Struik, Analytic and projective geometry, Cambridge 1953. — R. Cesarec, Аналитичка геометрија I, Zagreb 1957. — G. Grosche, Projektive Geometrie I, II, Leipzig 1957. — O. H. Keller, Analytische Geometrie und lineare Algebra, Berlin 1957. — И. И. Привалов, Аналитическая геометрия, Москва 1957. — D. Mihalović, Elementi vektorske algebre i analitičke geometrije u prostoru, Beograd 1958. — J. Ulčar, Аналитичка геометрија со векторска алгебра, Скопје, 1958. S. Bi.

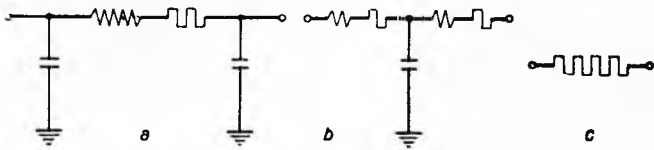
ANALIZATORI, mrežni, analogni računski uređaji koji služe za ispitivanje rada složenih visokonaponskih električnih mreža. Na njima se mogu meriti kretanja aktivnih i reaktivnih snaga, naponske prilike, jačina struja kratkih spojeva itd. Mogu se upotrebiti i za studije drugih tehničkih problema koje se svode na rešavanje sistema jednačina sličnih jednačinama složenih električnih kola.

Potreba za analizatorima ukazala se u doba kada su se električne mreže naglo razvijale i postajale sve veće i složenije, pa su se i metode računanja primenom osnovnih zakona elektrotehnike pokazale kao veoma zametne. Stoga se pošlo putem da se računanje zameni merenjem na pogodnim modelima.

Modeli su u ovom slučaju uređaji koji imaju električne osobine slične osobinama dalekovoda, transformatora i generatora. Delovi uređaja su otpori, kondenzatori i drugi električni elementi koji su među sobom tako povezani da bi se ceo sklop ponašao što je moguće sličnije opremi u prirodi. Za razliku od modela koji se upotrebljavaju u nekim drugim granama tehnike, modeli mreže ne mogu biti mrežama u prirodi i geometrijski slični. Ne može se npr. na modelu mreže dalekovod u smanjenoj razmeri prikazati trofaznim sprovodnicima odgovarajućeg međusobnog rastojanja i razmaka od zemlje, a veliki generatori i transformatori zameniti po svom geometrijskom obliku sličnim malim generatorima i transformatorima, jer takav geometrijski sličan model ne bi mogao biti sličan i u pogledu električnih osobina. Npr. namotaj velikog transformatora ima znatno veći odnos induktiviteta prema otporu nego namotaj njemu geometrijski sličnog malog transformatora.

Ali nije redovito ni moguće ili uputno da model mreže bude mreži u prirodi i u električnom pogledu potpuno sličan. Npr. u prirodi duž sprovodnika dalekovoda otpor i induktivitet su kontinualno raspoređeni. Kapacitet je stvoren celom dužinom sprovodnika i okoline. Stoga bi verna električna slika dalekovoda bio jedan lanac sastavljen od malih otpora, induktiviteta, kapaciteta i odvodnosti, sa beskonačno velikim brojem članova. Samo na ovakvom modelu dalekovoda mogla bi se ostvariti karakteristična ponašanja pravog dalekovoda. Na njemu bi se reflektovali udarni talasi i on bi se verno ponašao pri različitim učestanostima naizmjenične struje. Ovakvo modeliranje dalekovoda bilo bi međutim veoma skupo za pojedinačno prikazivanje dalekovoda velikih složenih mreža. Stoga se na analizatorima dalekovodi, transformatori i generatori prikazuju u znatnoj meri uprošćeno. Na sl. 1 prikazana su primera radi tri načina prikazivanja dalekovoda. Pod (a) je prikazivanje tzv. *P-shemom*. Kapacitet dalekovoda se podeli na dva jednaka dela i koncentriše na početak i kraj. Između kondenzatora se postavljaju na red vezani otpor i induktivitet ukupne vrednosti otpora dalekovoda. Pod (b) je prikazana tzv. *T-shema*. Ceo kapacitet daleko-

voda se prikazuje jednim kondenzatorom, a induktivitet i otpor se podele u dva dela i spfegnu na početak i kraj. Dalekovodi se mogu prikazati i još znatno prostije, i to jednostavno otporom kao pod



Sl. 1

(c). Napajanje je u tom slučaju jednosmernom strujom. Veličina otpora u izvesnoj razmjeri odgovara omskom i induktivnom otporu dalekovoda pri određenoj učestanosti a dejstvo se kapaciteta u ovoj shemi zanemaruje.

Slično kao dalekovodi prikazuju se uprošćeno i opterećenja (potrošači). Oni se ne mogu prikazivati individualno, već kao opterećenja koncentrisana u glavnim napojnim tačkama. Pri tome se zanemaruju u najvećem broju slučajeva zamajne mase potrošača.

Generatori se smatraju izvorima dovoljno čvrstih napona, kojima se dodaju induktiviteti za zamenu njihovih reaktansi, odnosno otpori ako se radi sa jednosmernim izvorima. Za transformatore se primenjuju induktiviteti i otpori koji u odgovarajućoj razmeri i za određenu učestanost zamenjuju njihova rasipanja i gubitke.

Za daleko najveći broj studija mreža dovoljno je prikazivanje koncentrisanim električnim veličinama. Dovoljno je sem toga prikazivanje samo jednog sprovednika i povratnog kola kroz zemlju bez otpora, jer se polazi od toga da su trofazni sistemi simetrično opterećeni. Za studije nesimetričnih kratkih spojeva, i to jednofaznih i dvofaznih, uz pomoć metode simetričnih komponenta ispitivanje se svodi na jednofazna prikazivanja pojedinih komponenta.

Ima slučajeva, u zavisnosti od problema koji se rešava, kada ovakva uprošćenja nisu dozvoljena. Tada se primenjuje veći broj elemenata za prikazivanje dalekovoda, rotirajuće mašine za prikazivanje generatora, a simulatori za prikazivanje klačnja napona generatorskih jedinica itd.

Dalje pojednostavnjenje u radu na analizatorima je primena jediničnog sistema. Sve veličine se izražavaju relativno, u odnosu na usvojene nominalne vrednosti. Tako, na primer, nezavisno od napona rada, sve se svodi na odnos prema nominalnom naponu. Ako je nominalni napon 220 kV i on je usvojen kao jedinica, onda je napon od 200 kV ravan 0,91 jediničnih vrednosti, a napon od 240 kV 1,09 jediničnih vrednosti. Ako se za snagu izabere nominalna snaga od 50 MVA i to uzme kao jedinica, onda se snaga od 25 MVA prikazuje sa 0,5 jediničnih vrednosti a snaga od 10 MVA sa 0,2 jediničnih vrednosti. Prema osnovnim zakonima elektrotehnike za veze između otpora, snage, struje, napona, izvode se obrasci i za ostale jedinične vrednosti. Prelazak sa jediničnih na stvarne vrednosti je sasvim jednostavan, jer se dobivena jedinična vrednost množi sa izabranom nominalnom vrednošću ili bazom, kako se obično govori u analizatorskoj terminologiji.

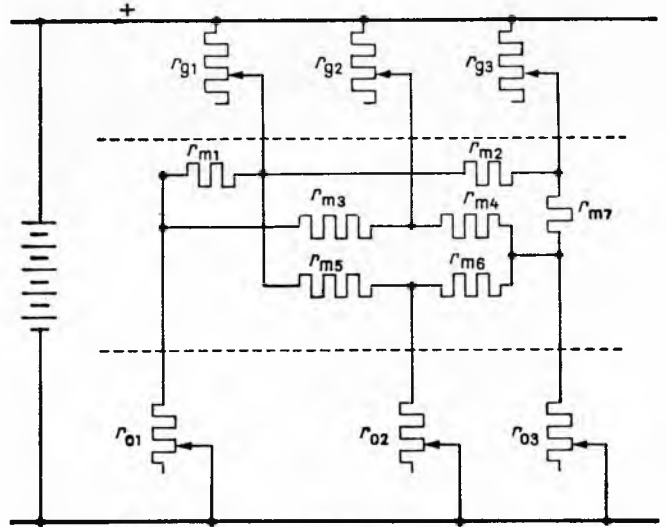
Vrlo retko se na analizatorima ispituju mreže samo jednoga napona. Najčešće se nailazi na splet dalekovoda raznih napona. Prikazivanje na analizatoru je moguće u istom odnosu napona kao i u stvarnosti. To bi međutim stvaralo teškoće u radu, a naročito pri merenju; stoga se primenjuje način svodenja na jedan jedini napon. Na primer paralelan rad mreže 110 kV i 35 kV može se prikazati kao mreža 110 kV s tim da se za dalekovode 35 kV upotrebe u odnosu kvadrata povećani otpori dalekovoda i transformatora. Na taj način kroz elemente koji prikazuju mrežu 35 kV prolazi znatno manje struje nego kroz dalekovode 110 kV, ali se na strani 110 kV dobijaju ekvivalentni rezultati kao da je bilo upotrebljena mreža sa dva napona.

VRSTE ANALIZATORA

U toku vremena sa razvojem mreže rasle su i potrebe za analizatorima. Potrebe su stvorile sve složenije i tačnije analizatore,

pa i specijalne analizatore za rešavanje samo određenih problema visokonaponskih mreža. Ovde će se navesti i ukratko opisati samo najbitniji.

Analizatori jednosmerne struje su najstarijeg datuma a ujedno i najjednostavniji. Na njima se dalekovodi prikazuju samo omskim otporom u veličini induktivnog otpora dalekovoda. Prvi analizator ove vrste sagrađen je još 1915 u USA. Služio je za merenje struja kratkih spojeva. Napajanje ovih analizatora je iz izvora jednosmerne struje dovoljno konstantnog napona. Ranije su upotrebljavane akumulatorske baterije, a danas specijalni stabilizovani jednosmerni izvori. Na sl. 2 prikazan je uprošćeni spoj analizatora. Otpori r_m po svojoj vrednosti su tako izabrani da su u srzmeri sa otporima odgovarajućih dalekovoda. Po sklopu vezivanja odgovaraju konfiguraciji dalekovoda u mreži. Spojne tačke su čvorišta mreže, odnosno u prirodi sabirne šine razvodnih postrojenja. Kroz otpore r_g dovodi se struja čvorištima na mestima gde su elektrane. Kroz otpore r_o struja otiče iz sklopa mreže gde se nalaze potrošači.



Sl. 2

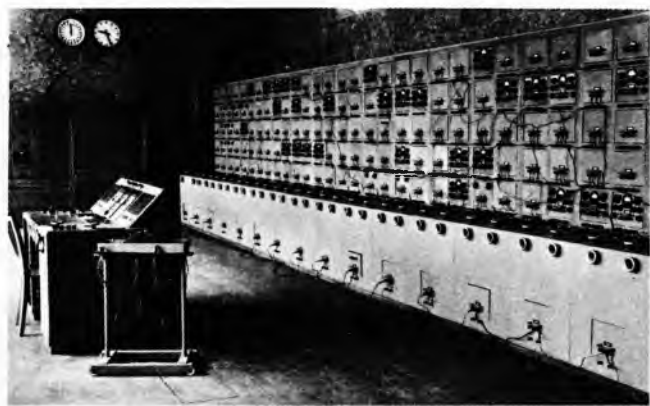
Napon baterije napajanja mora biti veći od napona kojim se prikazuje napon mreže. Otpori opterećenja r_o se podeše tako da pri struji proporcionalnoj snazi napon u čvorištu odgovara naponu mreže. Podešavanjem otpora r_g se podeši željena raspodela opterećenja među elektranama, tj. struje koje dotiču sklopu mreže.

Instrumenti za merenje su tako podešeni da se mogu priključiti u svako čvorište i svaki ogranak. Merenjem pojedinih struja doticanja ili oticanja i množenjem sa naponom čvorišta u odnosu na negativnu šinu napajanja dobiće se u izabranoj razmeri snaga koja odgovarajućim dalekovodima teče, otiče u opterećenje ili dotiče iz elektrane, već prema tome u kojoj se grani čvorišta meri struja.

Analizatori naizmjenične struje rade u osnovi na isti način kao i jednosmerni analizatori. Mreža se obrazuje elementima kojima se pored otpora dodaju induktiviteti i kondenzatori prema II-spojevima ili T-spojevima kao na sl. 1 a ili 1 b. Opterećenja su otpori i induktiviteti koji se po volji menjaju da bi se mogla podešiti nezavisno aktivna i reaktivna snaga potrošača. Obično je učestanost napajanja 500 Hz. Konstruisani su i za učestanosti od 150 i 50 Hz. Izborom više učestanosti smanjuju se potrebni induktiviteti i kapaciteti na analizatoru (jer induktivni padovi napona i kapacitivne struje rastu proporcionalno učestanosti). Aktivne i reaktivne snage generatora podešavaju se promenom napona napajanja po veličini i faznom stavu.

Trofazni analizatori sa obrtnim mašinama. Ova vrsta analizatora po svome načinu rada je najbliža radu mreže u stvarnosti. Prikazivanje dalekovoda je isto kao i u naizmjeničnim analizatorima, samo se postavljaju dalekovodi trofazno sa trostrukim brojem elemenata. Opterećenja su u osnovi ista kao i u običnih naizme-

ničnih analizatora ali takođe trofazna sa trostrukim brojem elemenata. Glavna razlika je u generatorskim jedinicama. Dok se u običnim naizmjeničnim analizatorima napajaju elementi mreža naponom promenljivim po veličini i faznom stavu, ovde se primenjuju stvarni rotirajući trofazni sinhroni generatori male snage. Njih pokreću jednosmerni motori čija se brzina reguliše tako da što vernije zamenjuju rad vodenih ili parnih turbina. Ovi analizatori se stoga ne primenjuju za ispitivanje stacionarnog



Sl. 3. Mrežni analizator naizmjenične struje od 50 Hz u Institutu za elektroprivredu u Ljubljani

stanja u mreži, nego isključivo za studiranje dinamičkih pojava pri raznim vrstama kratkih spojeva, tj. za studije stabiliteta sistema.

Elektronski mrežni analizatori imaju elektronske izvore napajanja. To su oscilatori sa elektronskim cevima, stalne učestanosti, kod kojih se fazni stav napona može podešavati. Primenjuju se za analizatore koji rade sa utroškom znatno manjih snaga ali pri visokim učestanostima. Jedna konstrukcija mrežnog analizatora napajana elektronskim oscilatorima radi sa učestanošću od 10 kHz.

Napajanje iz elektronskih oscilatora primenjeno je i u jednom novom sistemu analizatora (Miljanić, Obradović, Vučković 1956) gde se generatorske jedinice zamenjuju strujnim transformatorima sa promenljivim odnosom preobražaja. Ovi transformatori imaju dva primarna namotaja napajana iz strujnih izvora fazno pomerenih za 90° . Time se postiže odvojeno podešavanje aktivne i reaktivne snage i znatno jednostavnije usklađuje radno stanje nego na klasičnim analizatorima. Pored toga strujni transformatori su znatno jeftiniji od klasičnih generatorskih jedinica, tako da se oni mogu ekonomično upotrebiti i kao opterećenja. Pod pretpostavkom da strujni transformatori rade sa malim gubicima, snaga napajanja analizatora ravna je samo snazi gubitaka u mreži jer se energija opterećenja vraća izvoru napajanja. Stoga se ovako napajani analizatori mogu upotrebiti i za direktne studije gubitaka u mrežama.

Analizator sa simulatorima ima zadatak da pojednostavi rad analizatora za direktno posmatranje pojava stabiliteta i klaćenja sinhronih mašina. Nedostatak rada na trofaznim analizatorima sa rotirajućim mašinama je u tome što se celokupna mreža i sva opterećenja moraju postaviti trofazno, i to sa elementima dimenzionisanim za prilično velike struje. Simulatori u ovoj vrsti analizatora imaju zadatak da generatorske jedinice klasičnih analizatora pomoću elektronskih servosistema pokreću tako da menjaju napon i njegov fazni stav u zavisnosti od trenutnog opterećenja i na taj način jednofaznim prikazivanjem simuliraju na statičkom elementu (generatorskoj jedinici) promene napona koje se odigravaju na trofaznoj mašini u rotaciji. Ovi analizatori su veoma podesni za ispitivanje stabiliteta mreža, jer se dobijaju direktno krive klaćenja u pogodnoj vremenskoj razmeri, sve dinamičke veličine se mogu kontinualno menjati za vreme rada i lako je tražiti optimalne vrednosti. Postavljanje mreže je pri tome jednofazno.

Analizatori prelaznih pojava. Prikazivanje dalekovoda II-shemama i T-shemama daje verno ponašanje dalekovoda samo za jednu određenu učestanost. Prema tome ni u kom slučaju se

ove veze ne bi mogle primeniti za studije viših harmoničnih oscilacija u mrežama, reflektovanje talasa, merenje povratnih napona i drugih raznih tranzitnih pojava. Stoga se dalekovodi zamenjuju što je moguće većim brojem elemenata sa ciljem što boljeg približenja kontinualnoj raspodeli konstanti dalekovoda. Sem toga i elementi moraju biti što je moguće više frekventno nezavisni. Ovo je naročito važno za induktivite koji ne smeju imati gvozdenu jezgra sa gubicima zavisnim od učestanosti.

Da bi se i problemi visokonaponskih mreža ove vrste mogli rešavati na analizatorima, stvoreni su specijalni tranzitni analizatori koji imaju velik broj induktiviteta, kapaciteta i otpora kao i pogodne sisteme vezivanja. Na njima se mogu bez teškoća ostvariti lančani spojevi za verno imitiranje rada dalekovoda. Ovi analizatori napajaju se, osim naizmjeničkim izvorima raznih učestanosti, i impulsnim naponima, jer služe uglavnom za rešavanje raznih tranzitnih pojava u mrežama.

Ovi analizatori sadrže i znatan broj elektronskih pojačivača za bolje prilagodavanje potrebnim razmerama i za stvaranje negativnih otpora u induktivitetima.

ELEMENTI ANALIZATORA

Prema vrsti analizatora različite su i konstrukcije pojedinih elemenata. Ovde će se ukratko opisati samo najvažniji elementi.

Generatorske jedinice zamenjuju izvore napajanja mreža, tj. sinhronu generatore. Najlogičniji ali i najskuplji način je da se u ovu svrhu primene male rotacione mašine. Zamenjena velikih mašina malim međutim nije laka. Male mašine moraju imati srazmerna dinamička i električna svojstva velikih. Ovo se postiže naročito konstruisanim sinhronim mašinama upravljanim elektronskim regulatorima napona. Pored toga elektronski negativni otpori obezbeđuju srazmerne vremenske konstante stvarnih velikih mašina. Pogonski izvori su jednosmerni motori regulisani elektronskim putem tako da imaju sva svojstva parnih i vodenih turbina i njihovih brzinskih regulatora. Zamajne mase podešavaju se dodavanjem ili oduzimanjem pogodnih diskova.

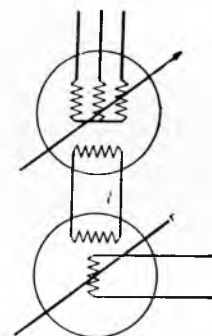
Generatori se u klasičnim jednofaznim mrežnim analizatorima zamenjuju naponima koji se menjaju po faznom stavu i veličini. Najviše je rasprostranjen način obrtnim transformatorima, shematski prikazan na sl. 4. Trofazno simetrično napajani stator daje simetrično obrtno polje. U namotaju rotora induciraće se stoga po veličini uvek isti napon, nezavisno od položaja rotora u odnosu na stator. Položajem statora menjaće se samo fazni stav u odnosu na izvor napajanja. Za promenu napona po veličini može se primeniti takođe obrtni transformator, ali jednofazno napajan. Stoga je inducirani napon namotaja rotora po svojoj veličini zavisna od međusobnog položaja namotaja statora i rotora.

Pored ovoga klasičnog načina izvođenja postoji i više varijanti. Tako, na primer, za promenu napona po veličini umesto drugog obrtnog transformatora upotrebljava se autotransformator sa kliznim kontaktom. Može se primeniti i autotransformator sa stupnjevima za grubo podešavanje i kliznim kontaktom za fino podešavanje napona.

Generatorske jedinice izvode se i sa individualnim elektronskim izvorima. U tom slučaju imamo dva sinhronizovana oscilatora sa naponima fazno pomerenim za 90° , koji se mogu nezavisno kontinualno menjati po veličini. Kombinacijom ova dva izvora vezana na red dobija se svaka vrednost napona po veličini i faznom stavu.

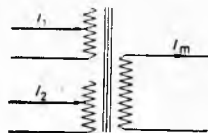
Ove vrste generatorskih jedinica održavaju podešeni napon po fazi i veličini prilično kruto. Stoga je za podešavanje aktivnih i reaktivnih struja koje dotiču elementima mreže analizatora potrebna velika pažnja da struje ne bi prešle dozvoljene granice opterećenja osetljivih elemenata.

Generatorske jedinice sa strujnim izvorima fazno pomerenim za 90° prikazane su na sl. 5. Namotaji kroz koje prolaze struje napajanja imaju izvode za dekadno podešavanje broja



Sl. 4

zavoja. Uključivanjem broja zavoja jednog i drugog namotaja biraju se amperzavoji primara strujnog transformatora tako da su proporcionalni aktivnoj odnosno reaktivnoj struji koja dotiče mreži. Na sekundaru će se postaviti napon po fazi i veličini takav da mreži injicira željenu struju. Ovaj način generatorskih jedinica je po svom fizikalnom dejstvu znatno bliži radu pravih generatora kojima se aktivna snaga podešava regulatorom vodene ili parne turbine a reaktivna jačinom pobude generatora.



Sl. 5

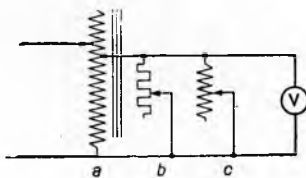
Dalekovodi. Već prema potrebnoj tačnosti i problemu koji se rešava, potpuno je dovoljno upotrebiti za dalekovode ranije navedene II-sheme i T-sheme prema sl. 1. Za mreže nižega napona dejstvo kapaciteta može se zanemariti tako da se kondenzatori mogu izostaviti.

Prikazivanje dalekovoda pomoću II-shema i T-shema nije sasvim tačno i greške su utoliko veće ukoliko su dalekovodi duži. Pošto se na mrežnim analizatorima posmatraju dalekovodi samo pri jednoj učestanosti, može se malim korekcijama vrednosti kapaciteta i induktiviteta postići jedna ekvivalentna II-shema ili T-shema sa istim osobinama kao i dugačak dalekovod sa ravnomerno raspoređenim konstantama. Pri ispitivanju ponašanja mreža na višim učestanostima (studijama pojava viših harmonika) potrebno je mrežu za svaku učestanost ispitati odvojeno.

Da bi se vrednosti II-elemenata ili T-elemenata mogle prilagoditi vrednostima dalekovoda, kondenzatori, induktiviteti i otpori su promenljivi. Ima više konstrukcija, ali su sve one bazirane na klasičnim vezama merne tehnike. Najviše se primenjuju veze u dekadama sa odgovarajućim prebacivačima. Vrlo često se susreću i veze sa elementima po ključu 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20 itd., koje rednim vezivanjem za otpore i induktivitete a paralelnim za kondenzatore daju svaku željenu vrednost.

U upotrebi su i pokretni elementi otpora, induktiviteta i kapaciteta koji se za svaki pojedini slučaj dalekovoda kombinuju a zatim u vidu ladica ubacuju u pogodan kostur mrežnog analizatora.

Opterećenja se izvode kao kombinacije otpora i induktiviteta u kojima se električna energija pretvara u toplotu, odnosno troši reaktivna snaga. Prilikom ispitivanja rada mreže na analizatoru mora se pretpostaviti izvestan napon u čvorištu i prema njemu izabrati potreban otpor da bi se dobilo propisano opterećenje. Ovaj napon se međutim menja u toku ispitivanja rada mreža, a sa kvadratom promene napona menja se i opterećenje. Da bi se ovo izbeglo, obično se opterećenja vezuju prema sl. 6 preko autotransformatora. Za vreme rada vrši se povremena kontrola napona na krajevima opterećenja pomoću voltmetra, prema sl. 6, i to tako da se uvek održava isti napon na krajevima otpora za opterećenje. Na novijim analizatorima ovo se vrši servosistemima koji automatski održavaju stalno opterećenje.



Sl. 6

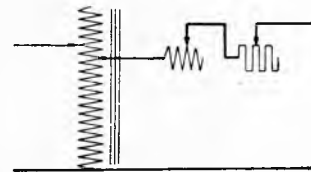
Kao opterećenje može se upotrebiti i generatorska jedinica na način da izborom napona pogodnim po veličini i fazi iz mreže otiče ista struja koja bi tekla u otporima i induktivitetima za opterećenja. Iako bi se na ovaj način štedela energija napajanja, jer se energija vraća glavnom izvoru napajanja, to se ne primenjuje zbog toga što su generatorske jedinice veoma skupe a potreban broj opterećenja u mrežama obično je velik.

Pri upotrebi strujnih izvora za napajanje mreža, tj. tronaмотajnih strujnih transformatora kao generatorskih jedinica, prema sl. 5, mogu se ove ekonomično primeniti i kao opterećenja. Ovakva opterećenja su pored uštede u energiji napajanja i stabilnija od opterećenja sa otporima i induktivitetima jer im se snaga menja samo linearno sa promenom napona.

Transformatori koji služe za spajanje mreža različitih napona mogu se na dva načina prikazati na mrežnim analizatorima: kao transformatori napona sa istim odnosom transformacije kao u stvarnosti i samo ekvivalentnim reaktansama, s tim što se da-

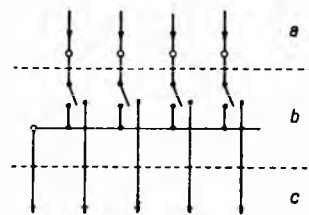
lekovodi svih napona svedu na jedan jedini napon. U drugom slučaju transformator se posmatra kao transformator sa odnosom transformacije približno ravnim jedinici.

Najveći broj transformatora su regulacioni. Za njih treba odrediti optimalne opsege regulacije. Stoga se obično prikazuju spojem prema sl. 7 kao autotransformatori sa jednim fiksnim izvodom, koji odgovara odnosu redukcije napona, i kliznim spojem za podešavanje opsega regulacije, tj. odstupanja od nominalnog odnosa. Obično se to izvodi u dva stepena podešavanja, i to grubim i finim. Sami induktiviteti koji zamenjuju reaktanse transformatora moraju biti sa malim gubicima, da bi se što više približili odnosu induktivnog prema omskom otporustvarnih transformatora. Ovo nije uvek jednostavno, jer se moraju upotrebiti specijalni magnetni materijali i relativno velike dimenzije namotaja.



Sl. 7

Obrazovanje mreže. Sprezanje raznih elemenata, kao dalekovoda, transformatora, generatora i opterećenja, mora se obaviti isto onako kako je to i u stvarnosti. Svako razvodno postrojenje ili transformatorska stanica biće prikazano jednim čvornim mestom kome se dovode krajevi dalekovoda. Na analizatoru su čvorovi za više izvoda (obično 4...5). Na njih se vezuju dalekovodi, opterećenja i generatori već prema konfiguraciji mreže. Elementi koji predstavljaju dalekovode, opterećenja itd. smešteni su po pogodnom rasporedu u okviru analizatora. Krajevi su im dovedeni na razvodna mesta sa kojih se savitljivim spojevima mogu jednostavno spojati sa čvorištima. Svaki izlaz iz čvora prema sl. 8 ima mogućnost ubacivanja instrumenata u kolo radi merenja struja. Spoj se mora automatski premostiti kača je isključen instrument, da se ne bi stvorio poremećaj u mreži.



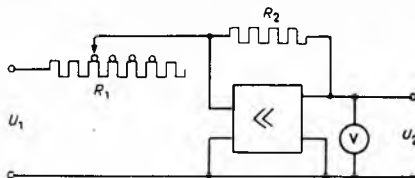
Sl. 8

Kao najpogodniji za uključivanje instrumenata pokazao se način uključivanja pomoćnim relejima sa daljinskim biračima. Pritisivanjem na dugme za odgovarajući čvor i izvod uključi se relej koji izvod prebaci na merne instrumente.

Merni stolovi za mrežne analizatore moraju imati veliku tačnost. Za sve opsege merenja ona ne sme biti manja od 0,5%. Sa druge strane, skupo bi bilo graditi mrežne analizatore za velike struje, stoga merni instrumenti pored velike tačnosti moraju i malo trošiti. Instrument za merenje napona u čvorištu ne sme uzimati veliku struju, jer će to za samu mrežu značiti kao da je u čvorištu jedan nepredviđeni potrošač. Isto tako i instrument za merenje struje ne sme na mernom mestu stvoriti veliki pad napona, jer će to biti isto što i produžen dalekovod. Ako se tome doda da se uporedo meri i aktivna i reaktivna snaga, potrebna su tri merna kola za napon i tri merna kola za struje. Sklop instrumenata dalje mora biti tako konstruisan da se pored struja, napona, aktivnih i reaktivnih snaga mogu meriti i međusobni fazi stavovi napona, padovi napona duž dalekovoda međučvorištima), kao i provera impedansi.

Ovi uslovi merenja danas se mogu ostvariti jedino pomoću elektronskih pojačivača i kompenzacionih metoda merenja.

Na sl. 9, primera radi, prikazan je princip rada jednog pojačivača za merenje napona. Velikim stepenom pojačanja pojačivača postiže se da je dovoljno samo nekoliko milivolti na ulazu pa da pojačivač na izlazu proizvede snagu dovoljnu za puno skretanje voltmetra. Stoga se može smatrati da se napon spojne



Sl. 9

da pojačivač na izlazu proizvede snagu dovoljnu za puno skretanje voltmetra. Stoga se može smatrati da se napon spojne

tačke otpora R_1 i R_2 održava oko nulte vrednosti, pa će izlaz iz pojačivača u neku ruku kopirati ulazni napon U_1 sa faznim pomeranjem za 180° . Ako su oba otpora jednaka, na izlazu iz pojačivača napon U_2 biće uvek isti kao i napon U_1 ispred otpora R_1 . Promenom otpora R_1 u određenim stupnjevima može se menjati opseg merenja tako da sam instrument uvek radi u istom strujnom opsegu. Preimućstvo ove veze je u tome da se izlazna snaga pojačivača može prilagoditi snazi instrumenta i izbeći svaka mogućnost preopterećenja instrumenta. Za okretanje faznog stava napona za 90° , što je potrebno za merenje reaktivnih snaga, umesto otpora R_2 postavlja se odgovarajući kondenzator.

Tačnost merenja sa ovim spojem zavisi isključivo od tačnosti otpora R_1 i R_2 . Ovi moraju biti visokoomski da bi se postigla što manja opterećenja mrežnog analizatora. Stanje cevi u elektronskom pojačivaču nema uticaja na tačnost merenja dok cevi ne oslabe do te mere da nisu više u stanju da daju na izlazu snagu potrebnu za napajanje instrumenata.

Za merenje struja pokazala se kao vrlo dobra metoda sa elektronski kompenziranom strujnim transformatorima prema sl. 10. Elektronski servosistem ima zadatak da na svome izlazu da takav napon da se primarni i sekundarni magnetni fluksovi što je moguće više potru. To se postiže time što se namotajem 3 meri rezultirajući magnetni fluks koji, ukoliko se obrazuje, preko pojačivača ubacuje u sekundarno kolo takav napon da fluks svede na minimalnu vrednost. Ovakvim kompenziranom strujnim transformatorom mogu se meriti struje reda veličine 10 mA sa padom napona od svega nekoliko mV.

Na mernim stolovima obično su tri pojačivača, i to: jedan za struju koji napaja ampermetar i strujna kola vatmetra i varmetra, jedan za napon za voltmetar i naponsko kolo vatmetra i jedan naponski sa faznim pomeranjem za 90° za napajanje naponskog kola varmetra.

Kontrola tačnosti merenja obavlja se proverom zbira aktivnih i reaktivnih snaga u čvorištima ili priključkom etaloniranih potrošača aktivne i reaktivne snage.

DANAŠNJE STANJE I PERSPEKTIVE DALJEG RAZVOJA ANALIZATORSKE TEHNIKE

Mrežni analizatori se najviše upotrebljavaju za potrebe elektroprivrede. Na velikim mrežnim analizatorima naizmjenične struje ispituju se razne konfiguracije visokonaponskih mreža, kretanja aktivnih i reaktivnih snaga, naponske prilike na sabirnim šinama čvorišta, gubici u prenosu, lokacije novih izvora energije i novih dalekovoda itd. Za ispitivanje struja kratkih spojeva radi dimenzionisanja prekidača i relejne zaštite primenjuje se pored analizatora naizmjenične struje i analizator jednosmerne struje zbog svoje jednostavnosti u radu.

Za brze provere raspodele aktivnih snaga, što je od velike koristi dispečerskim centrima, primenjuju se jednosmerni analizatori sa fiksnim vrednostima.

Za ispitivanje statičkog i dinamičkog stabiliteta mreže primenjuju se mrežni analizatori naizmjenične struje uz pomoć metode približavanja poznate pod imenom »korak po korak«. Za studije ovih problema još su pogodniji trofazni analizatori sa obrtnim mašinama i simulatori kombinovani sa generatorskim jedinicama mrežnih analizatora naizmjenične struje. Ovi specijalni analizatori omogućuju naročito detaljna ispitivanja uticaja pobudnih uređaja na stabilitet mreža, optimalan izbor zamajnih masa, dejstvo prigušnih namotaja, sisteme regulacije brzine itd.

U našoj zemlji počelo se izgradnjom prvog jednosmernog analizatora uoči Drugog svetskog rata. Ovaj analizator je završen tek pre nekoliko godina u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu.

Prvi veliki analizator naizmjenične struje sagrađen je u Institutu za elektroprivredu u Beogradu, i to za učestanost od 500 Hz, a zatim jedan još veći u Institutu za elektroprivredu u Ljubljani za učestanost od 50 Hz. Na svim ovim analizatorima rešen je sa uspehom veliki broj elektroprivrednih problema.

Razvoj tehnike otvara nove mogućnosti za konstrukciju mrežnih analizatora. Samo merenje se može umnogome ubrzati pretvaračima analognih veličina u brojčane. Ovi merni uređaji koji daju direktno cifarske vrednosti mogu se kombinovati sa električnim pisačim mašinama tako da se odmah i upisuju rezultati. Pored toga što je brzina rada velika, i mogućnost grešaka ovim se skoro sasvim isključuje. Podešavanje radnog stanja mreže je ranije oduzimalo prilično vremena; danas su konstruisani servo-sistemi koji to obavljaju vrlo brzo i automatski.

Primena trofaznih analizatora sa obrtnim mašinama kao i tranzitnih analizatora nije velika, zbog komplikovanosti i visoke cene instalacija. Ipak za rešavanje nekih specijalnih elektroprivrednih problema ostaju ovi analizatori nezamenljivi. Naročito su se tranzitni analizatori pokazali kao jedini za merenje prenapona u mrežama pri kratkim spojevima i isključivanju prekidača, za studije raznih nelinearnosti, kao pojava zasićenja i ferorezonansa, ponašanja odvodnika prenapona, usmerača, zatim tranzitnih pojava na krajevima dalekovoda, kao i još mnogih drugih elektroprivrednih problema koji se postavljaju sa razvojem mreža.

Analizatori su našli široku primenu i u drugim granama tehnike. Tako npr. na jednosmernim analizatorima se rešavaju razni problemi raspodele magnetnih i električnih polja, kretanje fluida, sistema mazanja, prolaza toplote u složenim telima itd. Na naizmjeničnim analizatorima se pored ovih problema rešavaju i problemi mehaničkih vibracija, a specijalno torzionih vibracija na električnim mašinama.

Poslednjih godina sve više i više nalaze primenu za rešavanje elektroprivrednih problema i elektronske računске mašine koje rade sa brojčanim vrednostima (digitalne). Svi problemi rešavani na mrežnim analizatorima mogu se rešavati i na ovim mašinama. Drukčiji je samo način rada. Dok su mrežni analizatori sveli složene račune petljastih mreža na merenja analognih veličina, dole ove računске mašine samostalno obavljaju proračune mreža na klasične načine ali velikom brzinom, i to potpuno samostalno po unapred utvrđenom programu. Sve klasične metode računa petljastih mreža transfiguracijom, pomoću tenzora odnosno matrica, približavanjem i probama, primenjuju se na ovim mašinama. Da li će se njihova primena razviti do te mere da će izbaciti mrežne analizatore, teško je danas reći. Sigurno je međutim da su ove digitalne mašine već našle veliku primenu za rešavanje raznih ekonomskih problema u elektroprivredi.

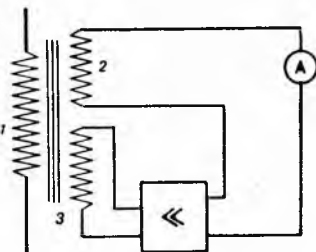
LIT.: F. Cahen, Les auxiliaires du calcul des réseaux électriques: modèles analogues, calculateurs. Bulletin de la Société française des électriciens, mart 1954. I. Oč.

ANALOGNO RAČUNALO, uređaj za proučavanje matematičkih formi koje karakteriziraju vladanje određenog fizikalnog, kemijskog, biološkog, ekonomskog ili regulacionog procesa ili sistema. Matematičke forme proučavanih procesa su kontinuirane funkcije, pa su i varijable analognog računala vremenski kontinuirane. U kontinuiranom obliku se dobije i na prikladan način registrira i rezultat. Razmatrajući rezultate dobivene proučavanjem takvih formi zaključuje se onda o parametrima dotičnog sistema ili procesa. Ime »analogno« potječe od fizikalnih analogija koje su potakle ideju razvoja ovih računala, ali više ne odgovara njihovu principu rada. Tačniji bi bio naziv kontinuirano računalo.

Analogno računalo kao *indirektni analogni-računski uređaj*, na kojemu se proučavanje spomenutih sistema ili procesa izvodi samo posredstvom matematičkih formi, treba razlikovati od *direktnih analogni-računskih uređaja* koji su namijenjeni neposrednom proučavanju fizikalnih modela. U grupu direktnih analogni-računskih uređaja idu analizatori električkih mreža.

Usporede li se zakon gibanja $P = m \frac{dv}{dt}$ u mehanici i zakon $U = L \frac{di}{dt}$ u elektrici, vidi se strukturalna analogija tih zakona koja nameće misao analogije mehaničkih i električkih veličina. Kažemo: sili P u mehaničkom sistemu analogan je napon U u električkom sistemu; masi m , induktivitet L ; brzini v , struja i . Utvrdivši fizikalnu analogiju mehaničkog i električkog sistema, nije teško izvršiti jednostavno modeliranje, tj. sastaviti električki model mehaničkog sistema, kako je to prikazano primjerom na sl. 1.

Može se poći i sa drugog stanovišta. Uzme li se u elektrici zakon $i = C \frac{du}{dt}$ (koji sledi iz $u = \frac{1}{C} \int i dt$), dolazi se do sasvim nove analogije: sili P odgovara sada struja i ; masi m , kapacitet C ; brzini v , napon u . Električki model mehaničkog sistema na sl. 1 poprima također drugi oblik, kako pokazuje sl. 2. Kako se u ovoj analogiji slika paralelnog mehaničkog sistema poklapa sa slikom paralelnog električkog kruga, ova se analogija čini na prvi pogled potpunijom. Međutim, u mehanici se zamišlja brzina kao posljedica postojanja sile, a u elektrici struja kao posljedica postojanja napona; to se iz ove analogije ne razabire. Drugi još



SL. 10