

su u pogonu. Izrađuju se u dvije konstrukcijske varijante: jedne kose travu s pomoću noža valjkasta oblika s horizontalnom osovinom, koji se okreće u čvrstom okviru (princip škara), a druge sijeku travu pločastim nožem koji brzo rotira oko vertikalne osi (princip kose). Visina košenja može se u oba slučaja podešavati.

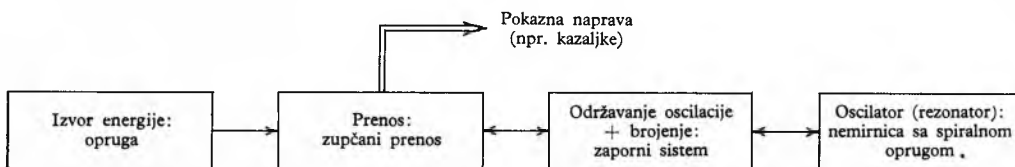
Kosilice s valjkastim nožem ne mogu kositi visoku travu, širina košenja je manja od širine stroja (nije moguće prići do obzidanih rubova). Motor istovremeno pokreće i kosilicu po travnjaku. Električne kosilice s horizontalnim rotirajućim nožem (koje se više upotrebljavaju) mogu kositi i visoku travu; širina košnje je jednaka širini stroja (može se kositi sve do zida), ali se stroj mora gurati rukom. Rotirajući ravni nož je dvo- ili četverostraki ili u obliku ploče s izmjenljivim trokutnim noževima. Širina košnje iznosi 25...50 cm. Između motora i noža ugrađena je klizna spojka radi zaštite ako bi nož naišao na prevelik otpor. Pogonski elektromotor je jednofazni asinhroni (s kondenzatorom ili pomoćnom fazom), a ima brzinu vrtnje  $\sim 2800 \text{ min}^{-1}$ .

*Električne škare* služe za obrezivanje živice i grmlja. Kako je rezanje ručnim škarama vrlo zamoran fizički posao, električne su škare vrlo korisno pomagalo. Električne škare rade ili tako da se pomiču dva niza noževa poredanih na štapu ili da rotira nož ispod mirujućeg srpa.

LIT.: J. F. Wostrel, J. G. Pradtz, Household electric refrigeration, New York \*1948. — P. Scholl, Kühlschränke und Kleinkälteanlagen, Berlin-Heidelberg-New York 1960. — L. J. Peet, L. S. Thye, Household equipment, New York \*1961.

V. Majer

**ELEKTRIČNI SATOVI**, instrumenti za mjerenje proteklog vremena. Električna energija primjenjuje se u njima za obavljanje jedne funkcije ili više njih, kao što su navijanje, održavanje oscilacija u oscilatoru (rezonatoru), pogon pokaznog mehanizma i daljinski prenos izmjerene vremena. Mjerenje proteklog vremena provodi se u satovima brojenjem vremenskih intervala tačno određenog trajanja koji su protekli (već prema namjeni sata) bilo od početka događaja čije se trajanje mjeri bilo od unaprijed utvrđenog trenutka. Za štoperice počinje brojenje intervala, tj. mjerenje proteklog vremena, npr. od starta nekog natjecatelja, a za satove opće upotrebe od podneva ili ponoći zonskog vremena koje važi za dotično mjesto.



Sl. 1. Blokskema mehaničkog sata s nemirnicom

Kao osnovni vremenski interval za mjerenje proteklog vremena služi u svakom satu trajanje jedne njegove oscilacije (jedne periode njihanja). Za brojenje vremenskih intervala i pokazivanje proteklog vremena najčešće se primjenjuju sistemi s kazaljka, a ponekad i mehanički, električni i elektronički brojači s pripadnim (obično digitalnim) pokaznim napravama ili zapisnim (registracionim) aparatima. Proteklo vrijeme ne izražava se, međutim, u tim osnovnim vremenskim intervalima koji su za različite vrste satova često vrlo različiti, već se ti individualni intervali pretvaraju s pomoću mehaničkog (zupčaničkog), električnog ili elektroničkog prenosa u intervale koji odgovaraju međunarodno propisanim jedinicama za mjerenje vremena, tj. sekundama, minutama itd.

Mehanički sat s pogonom na uteg izumio je, prema preda ji, Gerbert d'Aurillac 996. sat upravljao nemirnicom i njihovom (ali samo sa satnom kazaljkom) konstruirao je fizičar Christian Huyghens 1675, a sat s minutnom i satnom kazaljkom, koji je već bio sličan današnjim mehaničkim satovima, Englez Quare oko 1700. Fizičar K. A. Steheil konstruirao je već 1838 prvi električni uređaj za daljinsko pokazivanje vremena. Taj se uređaj sastojao od centralnog mehaničkog sata kojeg se izmjereno vrijeme prenosilo električnim putem na udaljene sporedne satove. Početkom ovog stoljeća Amerikanac Warren predlaže da se gradska električna mreža izmjenične struje, u kojoj se održava u prosjeku ista frekvencija, iskoristi za pogon tzv. sinhronih satova koji se mogu bez nekog posebnog voda priključiti izravno na električnu mrežu. On je konstruirao i prikladni mali sinhroni motor za pogon sistema kazaljki tih satova. Upotreba se sinhronih satova u tridesetim godinama ovog stoljeća jako raširila a u manjoj se mjeri ti satovi upotrebljavaju još i danas.

Kao posljedica daljeg razvika elektronike pojavljuju se sredinom ovog stoljeća prvi precizni električni satovi. To su satovi u kojima kao rezonator služi kristal kvarca ili akustička viljuška. Zbog svoje velike preciznosti oni postepeno

zamjenjuju klasične kronometre. Ma da su ti satovi bili u početku glomazni, oni miniaturizacijom električnih sastavnih dijelova postaju sve manji, tako da danas već postoje i ručni satovi upravljani kvarcom ili akustičkom viljuškom.

Skoro paralelno s razvojem satova upravljanih kvarcom kretao se i razvoj tzv. atomskih satova, u kojima kao rezonator služe uzbuđeni atomi. To su satovi najveće do sada poznate preciznosti, a upotrebljavaju se uglavnom samo kao vremenski standardi u specijalnim naučnim ustanovama. Posljednjih su se godina počeli sve više primjenjivati i elektromehanički satovi s električno pogonjenim nemirnicama različitih izvedbi kao kućni i ručni satovi. U njima se oscilacije mehaničkog rezonatora održavaju s pomoću nekog električnog sklopa, a za pogon potrebna energija dobiva se obično iz suhe baterije.

Uređaji za mjerenje vrlo kratkih vremenskih intervala usavršavani su postepeno od početka ovog stoljeća do danas. Oni su opisani u članku *Električna mjerenja*, TE 3, str. 659.

Razvojem žične i bežične telegrafije kao i visokofrekventnog prijenosa usavršavaju se postepeno metode i uređaji za prijenos tačnog vremena i/ili frekvencije s preciznih satova u naučnim ustanovama na kronometre, satove i oscilatore za širu primjenu.

Kronometrom se naziva precizan sat kojemu je deklarirana tačnost na osnovi ispitivanja u nadležnom zavodu službeno potvrđena atestom.

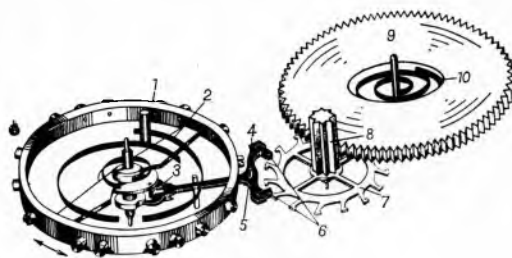
**Sastav satova.** Svaki mehanički sat sastavljen je od četiri osnovna dijela: rezonatora (oscilatora), uređaja za održavanje i brojenje oscilacija rezonatora, prenosnog sistema s pokaznom napravom i izvora energije (sl. 1). Takav je u principu i sastav električnih satova.

*Rezonator* je najvažniji i naprecizniji dio svakog sata, a sastoji se od oscilatornog (njihajnog) sistema. U električnim satovima primjenjuju se kao rezonatori: njihala, nemirnice (kružna njihala, tj. mehanički oscilatorni sistemi sa spiralnom oprugom), akustičke viljuške i neki drugi oscilatorni sistemi. U sinhronim električnim satovima preuzima električna (gradska) mreža ulogu rezonatora, a u specijalnim i vrlo tačnim satovima služe kao rezonatori elektronički kvarcni i atomski oscilatori.

*Uređaj za održavanje i brojenje oscilacija.* U svakom oscilatornom sistemu, kolikogod on bio savršen, pojavljuju se gubici. Zbog njih se oscilacije rezonatora prije ili kasnije prigušuju ako se izvane ne podržavaju time što se oscilatornom sistemu u određenim razmacima vremena dovodi mala količina energije. Za prenošenje tih energetske impulsa služe već prema vrsti sata: zaporni mehanizmi (zapinjače, sl. 2), elektromagnetski sistemi u vezi s kontaktima ili elektroničkim upravljačkim krugovima, ili samo elektronički krugovi.

Sam rezonator obično se ne opterećuje pogonom brojila i pogonom pokazne naprave jer bi se time suviše povećali njegovi gubici. Umjesto toga zaporni sistem upravlja pogonom i brojačkog i pokaznog sistema koristeći se pri tome izvorom energije sata.

*Prenos na pokaznu napravu.* Kako frekvencija rezonatora (broj titraja rezonatora u sekundi) ne odgovara uvijek vremenskim jedinicama, a ponekad je i vrlo visoka (npr. u satu sa akustičkom viljuškom ili s kvarcnim oscilatorom), tu frekvenciju treba pogodnim mehaničkim (zupčaničkim) prenosom i/ili električnim



Sl. 2. Prenos energije s navijene opruge na nemirnicu posredstvom zapornog mehanizma. 1 Nemirnica, 2 spiralna opruga, 3 zatik, 4 kotva, 5 ležaj kotve, 6 kuke, 7 zaporni kotač, 8 vratilo zapornog kotača, 9 pogonski zupčanik, 10 pogonska spiralna opruga

prenosnim napravama (djeliteljima frekvencije) postupno smanjiti i pretvoriti u vremenske jedinice te ih dovesti pokaznoj napravi koja pokazuje proteklo vrijeme s pomoću kazaljki ili digitalnih pokazivača.

**Izvori energije.** Za pogon satova mogu služiti ručno ili elektromagnetskim uređajem podignuti utezi ili navijene spiralne opruge, suhe baterije, akumulatori ili gradska električna mreža.

**Mjerenje trajanja i pokazivanje vremena.** U nastojanju da za mjerenje proteklog vremena (trajanja) i za pokazivanje vremena (koliko je sati) upotrijebe neku prirodnu pojavu koja se često opetuje i uvijek jednako dugo traje, ljudi su kao osnovu za mjerenje vremena najprije upotrijebili sunčani dan, vremenski razmak između dvije uzastopne kulminacije Sunca, tj. između dva uzastopna prolaska Sunčeva središta kroz meridijan mjesta promatranja. Taj je vremenski razmak (već od starih Kaldejaca) razdijeljen na 24 sata, ili  $24 \times 60 = 1440$  minuta ili  $1440 \times 60 = 86400$  sekundi. Vrijeme proteklo od posljednje kulminacije Sunca, izraženo u navedenim jedinicama vremena, predstavlja *pravo* (sunčano) vrijeme određenog dana na određenom mjestu. Kako sunčani dan nije u toku godine uvijek jednako dug (zbog nejednolike brzine gibanja Sunca po svojoj keplerskoj elipsi), kao mjera za trajanje uzeta je srednja vrijednost svih pravih sunčanih dana u toku jedne godine (srednji sunčani dan); (srednja) sekunda, za 86400-ti dio srednjeg sunčanog dana bila je do nedavna osnovna jedinica za vrijeme Međunarodnog sistema mjera. Višekratnici te jedinice su opet (srednja) minuta, sat, godina. Vrijeme proteklo od posljednje kulminacije Sunca, izraženo u tim jedinicama, zove se *srednje* (sunčano) vrijeme. Ono je osnova tzv. svjetskog, univerzalnog (Universal Time, UT) ili srednjeg griničkog vremena (izraženo satima, minutama, sekundama i dijelovima sekunde proteklih od prolaska fiktivnog "srednjeg Sunca" kroz meridijan zvjezdarnice u Greenwichu), koje se već prema broju primijenjenih korektura upotrebljava u tri varijante (UT 0, UT 1 i UT 2). Srednja vremena meridianā s razlikom geografske dužine od Greenwicha  $n \times 15^\circ$  ( $n = 1, 2, \dots, 23$ ) jesu *zonska vremena*, koja zakonski vrijede i za sva mjesta s geografskom dužinom  $15n \pm 7\frac{1}{2}^\circ$ . Zonsko vrijeme u dvije susjedne zone, idući od zapada prema istoku, razlikuje se za  $-1^h$ . (Kraticice za jedinice vremena, s, min, h, pišu se kao eksponenti kad znače pokazivanje sata.) Srednji sunčani dan počinje u podne, pa se i njegov datum mijenja u podne. Kako bi u običnom životu bilo vrlo nezgodno mijenjati datum usred dana, usvojeno je da se vrijeme počne brojati od prethodne ponoći. Tako dobiveno vrijeme, za 12 sati veće od srednjeg, zove se *gradansko vrijeme*.

Sva se navedena vremena, u stvari, dobivaju izračunavanjem iz (srednjeg) *zvezdanog vremena* koje se određuje astronomskim promatranjima, a osniva se na trajanju orbitalnog gibanja Zemlje oko Sunca, tj. na tropskoj godini (v. *Astronomija*, TE 1, str. 439). Kako se trajanje tropske godine može odrediti sa mnogo većom tačnošću nego srednja vrijednost trajanja sunčanog dana u toku godine (a ta vrijednost i nije nepromjenljiva u toku stoljeća), Međunarodni je ured za utege i mjere 1956 prihvatio novu definiciju sekunde: osnovna jedinica za mjerenje vremena, sekunda, jest 31 556 925,9747-ti dio trajanja tropske godine. Budući da se i trajanje tropske godine mijenja (ali je promjena mala i poznata; iznosi nekoliko sekundi u 1000 godina), za navedenu definiciju sekunde izabrana je određena tropska godina, 1900, i s pomoću nje izraženo vrijeme, zvano *efemeridno vrijeme* (Ephemeris Time, ET), vrijedi za određenu vremensku tačku, 0. januara 1900 u 12 sati ET (prema kalendaru to je 31. decembra 1899 u ponoć).

Zbog velike tačnosti atomskih satova počelo se od 1957 i njihovom vrijeme upotrebljavati kao etalon za mjerenje vremena. U tim se satovima vrijeme mjeri brojenjem perioda titranja koim osciliraju uzbuđeni atomi ili molekule određenih elemenata, odn. spojeva, prilikom njihova prelaska s jednog energetskog nivoa na drugi. Međunarodni odbor za utege i mjere dao je 1964 definiciju jedinice atomskog vremena, tzv. međunarodne sekunde. Njoj odgovara 9 192 631 770 titraja atoma cezijuma-133, zaštićenog od vanjskih polja, prilikom prelaska između hiperfinskih energetskih nivoa  $F = 4$ ,  $m_F = 0$  i  $F = 3$ ,  $m_F = 0$  fundamentalnog stanja  $^2S_{\frac{1}{2}}$ . Na toj osnovi računato vrijeme zove se *atomsko vrijeme* (Atomic Time, AT). Vrijeme UT 2 nešto zaostaje za atomskim vremenom jer je sekunda UT 2 nešto dulja od međunarodne. Stoga treba pri tačnim mjerenjima uvoditi korekturu. Ona je npr. za 1967 iznosila  $-300 \cdot 10^{-10}$  s/s.

**Greške u pokazivanju satova.** Tačnost pokazivanja (preciznost) sata ovisi o tačnosti trajanja osnovnog vremenskog intervala koji u satu služi za mjerenje proteklog vremena (npr. jednog njihaja njihala) ili (što je u biti isto) o stabilnosti njegove frekvencije. Greške u pokazivanju mogu se izraziti u apsolutnom ili u relativnom obliku.

**Apsolutna greška sata** dobije se uspoređivanjem njegova pokazivanja (ili njegovih impulsa, oscilacija) s pokazivanjem (impulsima ili oscilacijama) nekog vrlo tačnog sata ili uspoređivanjem sa žičnim ili bežičnim signalima. Apsolutna greška u trenutku promatranja iznosi  $\Delta t = t_A - t_B$ , gdje  $t_A$  znači vrijeme što ga pokazuje neki vrlo tačan sat ili koje je dobiveno vremenskim radio-signalom, a  $t_B$  vrijeme promatranog sata.

**Relativna greška** dobije se na osnovi dvaju takvih uspoređenja koja se provode u kraćim ili dužim vremenskim razmacima, npr. u razmaku danā, mjeseci ili čak godinā. Ona iznosi:

$$g_r = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{t_0},$$

gdje  $t_0$  znači vremenski interval između dva osmatranja, a  $\Delta t_1$  i  $\Delta t_2$  apsolutne greške pri prvom i drugom uspoređivanju. Uvrstili se u navedeni izraz  $t_1 - t_2$  i  $t_0$  u istim jedinicama, npr. sekundama, dobiva se relativna greška u bezdimenzijskom obliku. Npr., ako je u toku jednog mjeseca (30 dana =  $24 \cdot 10^6 \times 36 \cdot 10^3 \times 3 \cdot 10^1 = 2592 \cdot 10^9$  s) sat pogriješio za 30 s, relativna mu je greška  $g_r = 30/(2592 \cdot 10^9) = 1,19 \cdot 10^{-7} \approx 12 \cdot 10^{-8}$ . Ta greška predstavlja prosječnu relativnu grešku u toku intervala  $t_0$ ; srednja relativna greška u toku manjih intervala unutar intervala  $t_0$  može biti manja i veća, npr. u navedenom primjeru relativna je greška u jednom intervalu od jednog dana mogla iznositi  $8 \cdot 10^{-12}$ , a u nekom drugom intervalu istog trajanja,

$16 \cdot 10^{-12}$ . Zbog toga je potrebno pri navođenju relativne tačnosti označiti i trajanje intervala  $t_0$ , npr. »u toku jednog dana«, »u toku jednog mjeseca«, »u toku jedne godine«, »kroz dulji period« (što može značiti i u toku cijelog vijeka trajanja sata).

U praksi je uobičajeno relativnu grešku izražavati i u nekoherentnim jedinicama. U tom se slučaju govori o grešci hoda npr. u sekundama na dan, mjesec, godinu, već prema tome koliki je bio  $t_0$ . U navedenom primjeru relativna bi greška izražena na ovaj način iznosila 30 s na mjesec.

**Faktor dobrote  $Q$**  služi u urarstvu za ocjenu kvaliteta rezonatorā (oscilatorā) u satovima. Ovi su, naime, mjerodavni za stabilnost oscilacija (njihaja). Što je rezonator nekog sata kvalitetniji i njegov faktor dobrote veći, to će njegova frekvencija biti stabilnija, a vrijeme koje sat pokazuje, tačnije, tj. ono će manje odstupati, u toku nekog određenog vremenskog intervala, od prave vrijednosti. Za takav se sat kaže da je njegova preciznost veća.

Oscilirajući je sistem to bolji što je veći omjer između ukupne energije koja oscilira i energije koja se troši na pokrivanje gubitaka. U mehaničkim se oscilatornim sistemima troši dio energije na savladavanje otpora trenja (u ležajima, u zraku) i sl., a u električnim oscilatornim krugovima dio se energije gubi zbog Jouleovih, dielektričnih, histereznih i drugih gubitaka. Energija koja je svake sekunde za potrebno podmirenje tih gubitaka izgubljena predstavlja djelatnu snagu  $P$  i ona se mora izvanz nadoknaditi ako se oscilacije žele održavati. Energija koja oscilira, tj. koja se svake sekunde po više puta (što ovisi o frekvenciji) pretvara iz jednog oblika energije u drugi, zove se jalova snaga  $P_q$ . U mehaničkim oscilatornim sistemima satova kao što su njihalo, nemirnica, akustička viljuška, itd. pretvara se u toku svake oscilacije kinetička energija u potencijalnu i obratno. U električnim titrajnim krugovima pretvara se energija električnog polja (potencijalna energija) u energiju magnetskog polja (kinetičku energiju). Faktor dobrote  $Q$  je omjer između jalove i izgubljene djelatne snage u oscilatornom sistemu. U električnim elementima i sklopovima on iznosi

$$Q = \frac{P_q}{P} = \frac{\omega_0 L}{R}.$$

Za mehaničke oscilatorne sisteme on se može prikazati izrazom

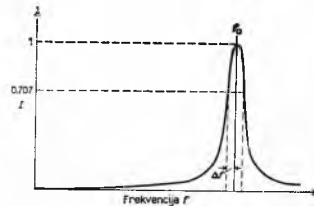
$$Q = \frac{P_q}{P} = \omega_0 \frac{A_q}{A}.$$

U tim izrazima  $\omega_0$  znači kružnu frekvenciju rezonancije,  $L$  induktivitet,  $R$  otpor,  $A_q$  energiju oscilatornog sistema i  $A$  energiju izgubljenu u jednoj periodi. Faktor dobrote može se odrediti na više načina, npr. grafički iz širine krivulje rezonancije posmatranog oscilatornog sistema s pomoću izraza

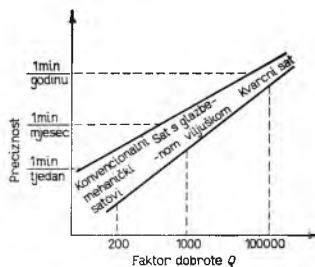
$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q},$$

gdje  $f_0$  znači frekvenciju rezonancije, a  $\Delta f$  širinu krivulje rezonancije na visini 0,707 amplitude (sl. 3). ( $0,707 = \sqrt{0,5}$ ).

Radi postizanja što veće preciznosti (tačnijeg pokazivanja) satova treba da faktor dobrote  $Q$  satnog oscilatornog sistema bude što veći; to se postiže smanjenjem električnih, odnosno mehaničkih gubitaka, a i izborom oscilatornog sistema koji već sam po sebi ima bolja svojstva (npr. oscilator s akustičkom viljuškom ili s kvarcom). Ovisnost preciznosti sata o faktoru dobrote prikazuje za razne vrste satova slika 4.



Sl. 3. Krivulja rezonancije i određivanje njene širine



Sl. 4. Preciznost različnih vrsta satova u ovisnosti o njihovom faktoru dobrote  $Q$

Faktor dobrote omogućuje, dakle, da se među sobom uspoređuju satovi iste vrste i satovi različite vrste.

**Izvori tačnog vremena.** Tačno vrijeme i tačna frekvencija dvije su srodne veličine i od velikog su značenja za nauku i tehniku. S obzirom na to da bi bilo preskupo da svaki laboratorij, institut, tvornica ili brod kome je potrebno tačno vrijeme ili tačna frekvencija posjeduje sve aparature koje su potrebne za tu svrhu, postoje obično u svakoj većoj zemlji specijalne ustanove, npr. zvjezdarnice, nacionalni biroi za mjere i utege ili standarde i sl., koje posjeduju najpreciznija postrojenja za održavanje tačnog vremena i standardnih frekvencija. Takvi najprecizniji satovi zovu se *vremenski standardi*. Prije su se kao vremenski standardi upotrebljavali vrlo precizni mehanički satovi s njihalom, smješteni na poseban način radi eliminiranja svih vanjskih utjecaja. Vrijeme se kontroliralo astronomskim mjerenjima. Pored takvih satova danas se za tu svrhu upotrebljavaju i moderni uređaji, kao vodikov atomski maser, cezijumski atomski oscilator, rubidijumski oscilator i kvarcni oscilator. Prva dva ubrajaju se u tzv. primarne standarde jer se njihova frekvencija uopće ne podešava i stalno je ista, a druga dva predstavljaju sekundarne standarde koji se povremeno moraju podešiti jer im se frekvencija u toku rada neznatno mijenja. Svi ovi uređaji mogu se upotrijebiti i kao standardni satovi ako se na njih priključi odgovarajuće brojilo s prenosom i napravom za pokazivanje vremena.

### Opis pojedinih vrsta električnih satova

Električni se satovi prema vrsti rezonatora kojim se u njima mjeri proteklo vrijeme mogu podijeliti na satove s nemirnicom, satove s njihalom, satove s akustičkom viljuškom, sinhronu satove, kvarcne satove i atomske satove. Satovi s nemirnicom i satovi s njihalom, koji su u načelu mehanički satovi, dijele se prema tome koja je pomoćna uloga električne struje u njima; sinhroni satovi, kvarcni satovi i atomski satovi mogu se skupiti zajedno u klasu *satova sa sinhronim motorom*, jer im je zajednička karakteristika da njihov pokazni mehanizam pogoni sinhroni motor, a razlikuju se po tome kakav imaju izvor izmjeničnog napona stabilne frekvencije: gradsku mrežu, piezokvarc ili oscilacije energije atoma.

**Satovi s nemirnicom** (kružnim njihalom) imaju u običnoj mehaničkoj izvedbi pogonski motor sa spiralnom oprugom koja se navija (v. sl. 1 i 2). Energija potrebna za održavanje oscilacija prenosi se s motora na nemirnicu posredstvom zapornog mehanizma (zapinjače) koji prilikom svakog zanjihaja daje nemirnici kratak impuls u smjeru njezina kretanja. Djelovanjem zapornog mehanizma pokreće se preko prenosa pokazni mehanizam s kazaljka.

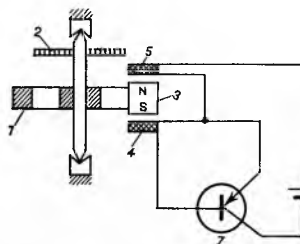
*Električno navijani satovi s nemirnicom* imaju kontakt ili beskontaktni elektronički sklop koji u jednakim vremenskim razmacima uklapa elektromagnet za navijanje spiralne opruge. Time se postiže stalno jednak zakretni moment pogonskog motora, što doprinosi većoj tačnosti sata. Takve satove ne treba navijati, a suha baterija koja služi za njihov pogon može služiti više mjeseci. Satovi ove vrste upotrebljavaju se kao kućni i ručni satovi.

*Sklopni satovi*, koji služe za programirano uklapanje i isklapanje električnih strujnih krugova, npr. za rasvjetu izloga, za svjetlosne reklame, za grijala i pećnice, za prebacivanje dvotarifnih brojila s jedne tarife na drugu, za uključivanje pojedinih strojeva u procesu proizvodnje i sl., sastoje se obično od električno navijenog preciznog brzohodnog mehaničkog sata s nemirnicom i sklopnog mehanizma. Navijanje pogonske spiralne opruge vrši se u određenim vremenskim intervalima, npr. svaka četiri sata. Ako nastane kvar na električnoj mreži, sat radi i bez navijanja određeno vrijeme, npr. 1½ dana. Sklopni sat za dvotarifno brojilo opisan je i prikazan slikom u članku *Brojila, električka*, TE 2, str. 535, sl. 22.

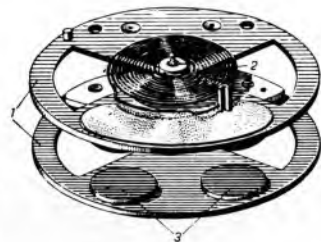
*Satovi s električno pogonjenom nemirnicom* nemaju uopće motora s pogonskom spiralnom oprugom. Energija se prenosi nemirnici iz baterije posredstvom elektroničkog tranzistorskog upravljačkog sklopa (sl. 5). Na nemirnici 1 nalaze se mali permanentni magneti 3 na koje svojim magnetskim poljem djeluje radni svitak 5 sklopa. (Jedna od mogućih izvedbi takve nemirnice, koja se primjenjuje u ručnim satovima, prikazana je na sl. 6.) Kad se magnet 3 približi upravljačkom svitku 4, u ovome se inducira električni napon koji djeluje na bazis tranzistora 7. Zbog toga se tranzistor

otvara i kroz kolektorski krug, u kome se nalazi i radni svitak 5, počinje teći struja. Magnetsko polje radnog svitka djeluje na polje magnetu 3 dajući mu impuls za održavanje njihanja u smjeru njegova kretanja. Čim se magnet udalji, tranzistor se zatvara, a pri ponovnom nailasku magnetu događaji se opetuju. U ovom slučaju elektronički upravljački sistem pokreće i pokazni sistem kazaljki.

Elektromehanički satovi s pogonjenom nemirnicom različitih izvedaba našli su u posljednje vrijeme vrlo široku primjenu kao ručni a još više kao kućni satovi jer su vrlo tačni (~ 60 s na tjedan) i jer ih ne treba navijati. Jedna baterija od 1,5 V obične izvedbe dovoljna je za pogon kućnog sata kroz godinu dana.

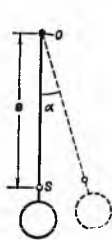


Sl. 5. Transistorski sklop za izravni pogon nemirnice. 1 Nemirnica, 2 spiralna opruga, 3 permanentni magnet, 4 upravljački svitak, 5 radni svitak, 6 baterija, 7 tranzistor



Sl. 6. Nemirnica koja se napaja elektromagnetskim putem

**Satovi s njihalom** bili su donedavna najtačniji satovi. U specijalnoj izvedbi oni su, uz korekture dobivene astronomskim osmatranjima, služili i kao osnovni standardi za vrijeme. U čisto mehaničkoj izvedbi satova s njihalom energija potrebna za održavanje njihanja prenosi se preko zapornog sistema na njihalo. Zaporni sistem upravlja s druge strane preko prenosa pokaznim uređajem s kazaljka. Njihala takvih satova sastoje se od pokretljivo (s pomoću elastične opruge) ovisne šipke i od na njoj učvršćenog utega koji može imati različite oblike. Snagu koja je potrebna za pogon takvog sata daje pogonski mehanizam s podignutim utegom. Najčešće se upotrebljavaju njihala s periodom njihanja 3/4 i 1 sekunde. Šipka njihala izrađuje se od drveta, čelika ili invara (legure 35,7% Ni i 64,3% Fe koja ima mali koeficijent toplinskog rastezanja). Precizni satovi imaju temperaturu kompenzirano njihalo kako bi njegova dužina bila neovisna o promjenama temperature. Perioda njihanja ovih satova iznosi



Sl. 7. Njihalo

$$T = \pi \sqrt{\frac{J}{D}} \left( 1 + \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{\alpha}{2} \dots \right),$$

$$T \approx \pi \sqrt{\frac{J}{D}} \left( 1 + \frac{1}{16} \alpha^2 \right),$$

gdje je  $J = \sum_1^n m \rho^2$  moment inercije ( $m$  je masa,

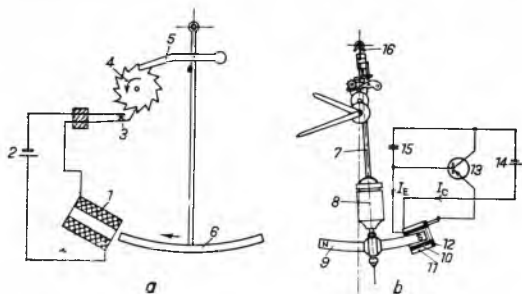
$\rho$  radijus tromosti),  $D = s m g$  moment direktivnosti ( $s$  je udaljenost težišta od središta vrtnje,  $g$  ubrzanje sile teže) i  $\alpha$  amplituda kuta otklona (sl. 7). Grube korekture vrše se na ovim satovima podizanjem (pri zaostajanju) i spuštanjem (pri žurenju) utega na njihalu s pomoću posebne matice. Fina korektura hoda vrši se s pomoću malih utega koji se dodaju utegu njihala. Tačnost takvih satova kreće se između 0,3 i 2 s/d.

Električni satovi s njihalom obično su precizni satovi koji se upotrebljavaju često i kao matični satovi u uređajima s centralnim satom. Oni se dijele na satove s električnim (elektromagnetskim) podizanjem utega i na satove s elektromagnetskim pogonom njihala.

*Satovi s električnim podizanjem utega* imaju na minutnoj osovini kontakt koji na sekundu tačno aktivira elektromagnetski mehanizam za podizanje utega a osim toga pokreće i kontakte koji šalju polarizirane impulse u mrežu za pogon sporednih satova.

*Satovi s elektromagnetski pogonjenim njihalom* mogu imati za uklapanje pogonskog elektromagneta mehanički kontakt ili elek-

troničku sklopku. Njihalo satova s mehaničkim kontaktom (sl. 8 a) ima na svom donjem dijelu kotvu od meka željeza 6. Polužica 5 koja je spojena s njihalom pomakne pri svakom njihaju nazubljeni kotačić 4 za jedan zubac naprijed. Čim njihalo pređe svoj središnji položaj, pero kontakta sa svojim nastavkom upada u zubac i kontakt se zatvori, struja poteče iz baterije 2 kroz svitak 1 i uzbuđi ga. Magnetsko polje svitka uvlači željeznu kotvicu i daje time njihalu potrebnu dodatnu energiju za održavanje njegovog njihanja. Zbog daljeg pomicanja njihala, polužice 5 i kotačića 4, kontakt 3 se opet otvori, tok se struje prekine i magnetsko polje nestane. Kad njihalo završi svoj njihaj, postupak se ponavlja.



Sl. 8. Sat s elektromagnetskim pogonom njihala. a Pogon s mehaničkim kontaktom, b pogon s pomoću elektroničke sklopke; 1 svitak, 2 baterija, 3 mehanički kontakt, 4 nazubljeni kotačić, 5 ručica njihala, 6 kotva njihala, 7 šipka njihala, 8 uteg njihala, 9 permanentni magnet, 10 upravljački svitak, 11 radni svitak, 12 prigušni prsten, 13 tranzistor, 14 baterija, 15 neutralizacioni kondenzator, 16 ovesjeste (opružni zglobovi)

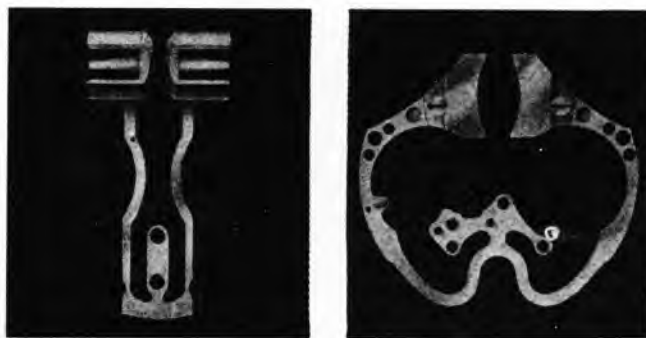
Da se izbjegnu problemi u vezi s kontaktom 3, koji se brzo troši jer se u toku jedne godine zatvori nekoliko desetaka milijuna puta, u novije se vrijeme radije primjenjuju njihala s elektroničkom sklopkom (sl. 8 b). Kad permanentni magnet 9 koji je učvršćen na donjem dijelu njihala 7, 8 uđe u svitak 10, u upravljačkom namotu 11 tog svitka inducira se napon koji otvara tranzistor 13, te struja poteče iz baterije 14 kroz radni namot 11 svitka i uzbuđi ga. Magnetsko polje svitka odbija u povratnom kretanju S-pol permanentnog magneta 9 njihala dajući mu time energetski impuls potreban za održavanje njihanja.

**Električni satovi s akustičkom viljuškom** primjenjivali su se prije samo kao veći precizni satovi. Danas se već serijski proizvode i takvi ručni satovi. Akustička viljuška koja služi kao normala za tonove u muzici i akustici naprava je oblikom slična kuhinjskoj viljušci i obično ima pravilan oblik savinutog štapa (sl. 9). Ona se izrađuje od specijalne legure (npr. invara). Njezini krakovi pobuđeni udarcem titraju. Akustička viljuška titra svojom osnovnom frekvencijom čistim sinusnim oscilacijama uz neznatne više harmonike. Ona se odlikuje odličnom stabilnošću frekvencije i malim temperaturnim koeficijentom toplinskog rastezanja. Vlastita (osnovna) frekvencija akustičke viljuške koja je oblikovana kao savinuti štapa pravokutnog presjeka može se odrediti s pomoću izraza

$$f = \frac{k h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Sl. 9. Akustička viljuška.  $h$  Debljina,  $l$  duljina kraka

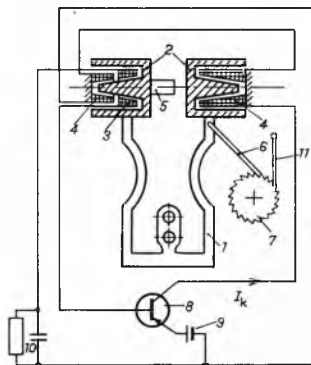
gdje  $k$  znači koeficijent ovisan o obliku i materijalu,  $h$  debljinu,  $l$  duljinu krakova,  $E$  modul elastičnosti i  $\rho$  gustoću (spec. masu) materijala od kojeg je viljuška izrađena. Za komplicirane oblike viljušaka (sl. 10) frekvencija se ne može odrediti računski, već se utvrđuje mjerenjem, a željena se frekvencija postiže podešavanjem mase, oblika i duljine krakova viljuške. Akustička viljuška zajedno sa svojim elektroničkim oscilatornim krugom služi kao oscilator i davač vremenskih intervala. Da bi se viljuška održala u vibrirajućem stanju, ona se uvrštava u elektronički krug tako da se preko nje uspostavlja i povratna veza (sl. 11). Na krakove viljuške 1 učvršćena su dva permanentna magneta 2. U njihovom magnetskom polju nalazi se sa svake strane po jedan pogonski svitak 4 spojen u kolektorski krug tranzistora 8, a samo na jednom kraku nalazi se upravljački svitak 3 priključen na bazu. Ciljeli taj sklop predstavlja elektronički oscilator koji oscilira os-



Sl. 10. Dvije izvedbe akustičke viljuške za ručne satove

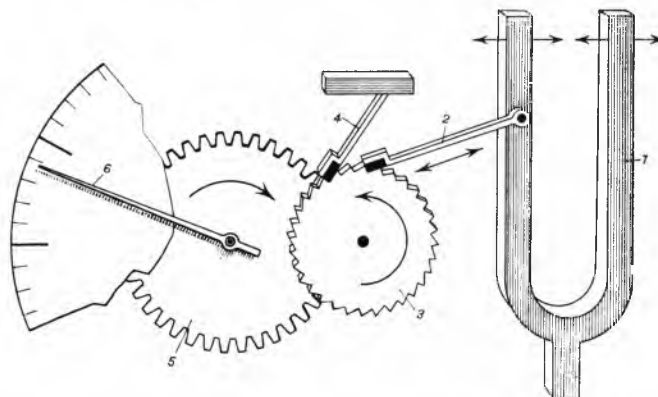
novnom mehaničkom frekvencijom viljuške tako da je  $f_{0 \text{ mek}} = f_{0 \text{ elek}}$ . Naponi što ih u upravljačkom svitku 3 inducira polje

magneta pri njihovom kretanju otvaraju tranzistor 8. Kolektorska struja  $I_k$  poteče svicima 4 i stvara magnetsko polje koje privlači magnete. Time se prenosi energija na viljušku i održavaju njezine oscilacije. U takvim elektroničkim satovima primjenjuju se akustičke viljuške koje osciliraju frekvencijom 200...500 Hz. Tako se npr. primjenjuje frekvencija 360 Hz za muške ručne satove serijske proizvodnje (tip Accutron tvornice Watch Co, Biel), a 480 Hz za manje ženske ručne satove (tipa Miniaccutron). Satovi s akustičkom viljuškom, dakle, ne kucaju, već zuje. Zbog nestašice prostora i pomanjkanja energije u takvim ručnim satovima ne postoji poseban motor za pogon kazaljki,



Sl. 11. Elektronički krug za pogon sata s akustičkom viljuškom. 1 Akustička viljuška, 2 permanentni magneti, 3 upravljački svitak, 4 radni svitak, 5 ograničivač kretanja, 6 ručica, 7 zaporni zupčanik za pogon kazaljki, 8 tranzistor, 9 baterija, 10 sklop RC, 11 zapinjača

nego kazaljke pokreće sama viljuška (sl. 12). Ručica 2 koja je učvršćena gibljivo na jednom kraku viljuške 1 pomakne prilikom svake oscilacije zaporni zupčanik 3 za jedan zubac naprijed. Zapinjača 4 sprečava povratak zupčanika. Time se linearno gibanje viljuške pretvara u kružno gibanje koje se preko puža i zupčanika 5 prenosi na kazaljke 6, a eventualno i na datumsku oznaku. Faktor kvaliteta  $Q$  ovih je satova vrlo visok (1000...30 000), što im daje i veliku preciznost. Proizvođači garantiraju za serijski sat tačnost hoda od  $\sim 1$  min



Sl. 12. Mehanički pogon kazaljki u ručnom satu s akustičkom viljuškom. 1 Akustička viljuška, 2 pogonska ručica, 3 pogonski zupčanik (promjer mu je 1,5 mm i ima 300 zubaca), 4 ručica za zadržavanje, 5 zupčanik prenosa, 6 kazaljka

na mjesec (1...2 s na dan). Kao izvor energije služi u ručnim satovima s akustičkom viljuškom mala živina baterija (v. *Baterija*, TE 1, str. 692), koja je ugrađena u sam sat i koja može da služi za pogon sata do 18 mjeseci.

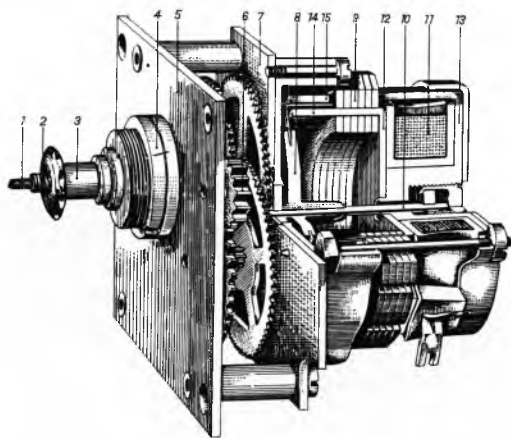
**Sinhroni satovi** primjenjuju kao mjerilo vremena jednu periodu izmjenične struje iz gradske mreže frekvencije 50 Hz. Poprečna tačnost takvih satova dobra je ako je ukupni broj perioda unutar svakih 24 sata konstantan. (Odstupanje prosječne frekvencije za samo 1 Hz u toku dana ima za posledjicu grešku od 28 min!) Za održavanje stalne frekvencije u mreži i njezinu korekturu postoje u elektranama posebni uređaji (v. *Elektroenergetski sistemi*). Za pogon pokaznog sistema upotrebljavaju se u sinhronim satovima sinhroni motori različitih izvedbi. Čim u mreži nestane napona, sinhroni se sat zaustavi.

Prema svojoj izvedbi sinhroni se satovi mogu podijeliti na satove koji se stavljaju u pogon ručno, satove koji sami kreću, satove koji imaju izvjesnu pogonsku rezervu i satove s nemirnicom koja je samo sinhronizirana strujom iz gradske mreže.

*Sinhroni satovi s ručnim pokretanjem* prestaju raditi kad nestane napon. Kad se napon opet pojavi, oni se ne pokrenu sami, već ih treba rukom pokrenuti pomoću male polužice. Takvi su satovi opremljeni obično reluktančnim sinhronim motorom (v. *Električni strojevi*).

*Sinhroni satovi s automatskim pokretanjem* imaju motor koji krene kao asinhroni motor, a poslije radi kao sinhroni, npr. histerezni motor s kratkospojenom pomoćnom fazom na procijepljenom polu (v. članak *Električni strojevi*). Oni se pri nestanku napona također zaustave, ali se sami pokrenu čim se napon vrati. Na njima je obično predviđena posebna signalna pločica koja pokazuje da je u međuvremenu došlo do nestanka napona i da vrijeme koje sat pokazuje zbog toga nije tačno. Takav sinhroni sat pokazuje sl. 13.

*Sinhroni satovi s pogonskom rezervom* jesu mehanički satovi koje normalno, dok ima napona u mreži, pogoni sinhroni motor koji pored toga navija i spiralnu oprugu. Čim nestane napon, automatski uskače mehanički pogon i sat radi kao obični oprugom pogonjeni sat sve dok se u mreži opet ne pojavi napon.



Sl. 13. Sinhroni sat firme AEG s osampolnim histereznim motorom. 1 Osovina sekundne kazaljke, 2 osovina minutne kazaljke, 3 osovina satne kazaljke, 4 matica za učvršćenje sata na kućište, 5 i 7 osnovna ploča, 6 zupčanci prenosa, 8 rotor motora, 9 bakarni kratkospojni prsten, 10 vratilo rotora pogonskog motora, 11 uzbudni svitak, 12 i 13 ploče koje su učvršćene s jedne i druge strane uzbudnog svitka a produžuju se prema polovima, 14 i 15 polovi statora, nastavci ploča 12 i 13

*Sinhroni satovi s mrežnom sinhronizacijom* imaju pogonski motor s oprugom koju navija sinhroni motor. Istovremeno sinhroni motor ili poseban elektromagnet sinhronizira oscilacije nemirnice sata i mreže. Tačnost takvog sata ovisi o stabilnosti mrežne frekvencije, a kad nestane napona, sat radi kao običan mehanički sat s nemirnicom.

*Bežično sinhronizirani satovi* iskorištavaju za upravljanje ugrađenim elektroničkim oscilatorom rasipno magnetsko polje koje postoji svugdje u blizini električnih instalacija i trošila. Naponi koje inducira izmjenično magnetsko polje u svitku s feritnom jezgrom (u anteni sata) služe nakon pojačanja u tranzistorskom pojačalu za sinhronizaciju ugrađenog oscilatora koji pogoni i pokazni sistem. Kad nestane napona, oscilator koji napaja živina baterija radi dalje s dovoljnom tačnošću sve dok se opet ne pojavi napon.

Na istom principu kao sinhroni satovi rade i *mrežom pogonjene štoperice* za mjerenje malih vremenskih intervala, npr. od 1/100 s do 20 s. Drugu vrstu satnih uređaja predstavljaju *brojači vremena*. To su sinhroni satovi koji rade dok je neki uređaj (npr. radio-predajnik) u pogonu; oni s pomoću brojčane pokazne naprave registrišu njegove radne satove.

**Kvarcni satovi.** Kao rezonator služi u ovim satovima isječak iz monokristala kvarca. Oni se prema tome sastoje od tzv. kvarcnog oscilatora, djelioca frekvencije, generatora impulsa, motora za pogon pokaznog sistema, pogodnog pokaznog sistema i uređaja za napajanje.

*Kvarcni oscilator* je elektronički sklop čiji je najvažniji dio pločica ili štapić (sl. 14) izrezan iz naročito čistog monokristala kvarca ( $\text{SiO}_2$ ). Takav isječak ima piezoelektrična svojstva: kad



Sl. 14. Štapić od piezokvarca koji služi kao rezonator (8500 Hz) u ručnom kvarcnom satu (a) i njegova čahura (b) (duljina  $\sim 30$  mm). Priključci koji su ujedno držači nalaze se u čvorovima vibracija. Kristal je smješten u zrakopraznoj čahuri koja ga zaštićuje od nečistoća i vanjskih (npr. temperaturnih) utjecaja

se on stiska ili rasteže, na njegovoj se površini javljaju električni naboji, i obratno, pod utjecajem električne struje on se rasteže i steže i počinje stoga mehanički oscilirati. Vlastita frekvencija njegovih mehaničkih titraja ovisi o njegovim dimenzijama i o kutu pod kojim je isječen iz kristala. Na dvije paralelne plohe kvarcnog isječka naparene su dvije metalne elektrode koje služe za to da se piezokvarc priključi na elektronički oscilatorni sklop i da mu se dovodi struja (v. *Elektronika, sklopovi*). Frekvencija kojom kvarcni isječak oscilira, međutim, nije potpuno stalna. Ona se neznatno mijenja zbog starenja kristala, a manje se promjene frekvencije pojavljuju i pri svakoj promjeni temperature i pri promjenama napajanja. Promjena frekvencije zbog starenja nakon početnog se uhadavanja ustali i ona iznosi u relativnom dnevnom prosjeku  $5 \cdot 10^{-10} \dots 1 \cdot 10^{-8}$ , već prema kvalitetu oscilatora, čemu odgovaraju, izraženo u pokazanom vremenu, promjene od 10  $\mu\text{s/d} \dots 1$  ms/d. Kvarc ne može oscilirati na niskim frekvencijama, stoga se u oscilatorima frekvencijskih normala i satova primjenjuju kristali kojima je vlastita frekvencija između 8 kHz i 5 MHz. U aparatima u kojima oscilator služi i kao frekvencijska normala prevladavaju više frekvencije, a u oscilatorima koji služe samo za upravljanje satovima upotrebljavaju se niže frekvencije. Utjecaj promjene temperature može se najbolje eliminirati smještanjem kvarca u vrlo precizan termostat, a smanjiti se može i nekim drugim mjerama, npr. smještanjem u zrakoprazni spremnik. Greške zbog promjena napojnog napona smanjuju se održavanjem stalnog mrežnog napona i njegovom stabilizacijom. Sve ovakve mjere mogu se u punom opsegu primijeniti samo u većim kvarcnim satovima; u manjim (ručnim) kvarcnim satovima to, dakako, nije moguće.

*Djelilac frekvencije* ima zadatak da visoku frekvenciju na kojoj kvarc oscilira postupnim snižavanjem u određenim omjerima (npr. 5 : 1 ili 10 : 1) smanji na frekvenciju koja je potrebna na izlazima iz normale radi uspoređivanja frekvencije (1 MHz, 100 kHz, 1 kHz) i na frekvenciju koja je pogodna za pogon pokaznog uređaja (npr. 50 Hz, 2 Hz ili 1 Hz).

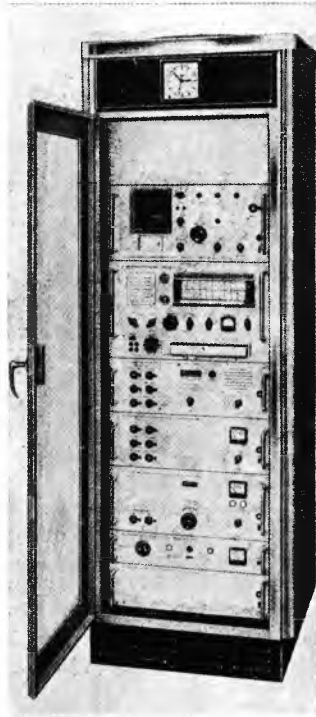
*Pokazni uređaj kvarcnog sata* koji pokazuje vrijeme može raditi na principu digitalnog pokazivača, sa sinhronim motorom, s koračnim motorom ili s pomoću nekog vibracijskog motora koji preko odgovarajućeg prenosa pogoni kazaljke.

*Za napajanje kvarcnih satova* mogu služiti na mrežu priključeni ispravljači, akumulatorske baterije ili rezervni izvori napajanja koji automatski priključe akumulator čim u mreži nestane napona. Za pogon takvih satova služi obično istosmjerni napon  $24 \text{ V} \pm 2 \dots 4 \text{ V}$ .

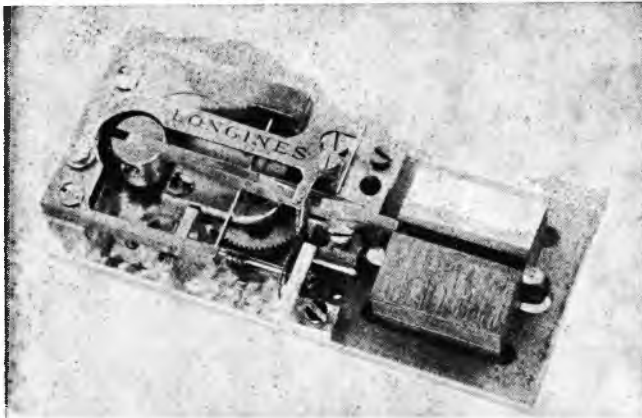


Frekvencija kvarcnih satova može se unutar određenih granica radi korekcije promijeniti, za što postoji odgovarajuća dugmad za fino ( $5 \cdot 10^{-8}$ ) i grubo ( $5 \cdot 10^{-6}$ ) podešavanje. Pokazni uređaj podešava se zaustavljanjem ili ubrzavanjem sata. Vanjski izgled kvarcnog sata prikazuje sl. 15.

U manjim kvarcnim satovima, npr. džepnim i ručnim, nema dovoljno mjesta za smještaj svih (70...90) elektroničkih sastavnih dijelova niti postoje tako mali izvori električne energije dovoljne snage. Stoga se konstrukcija takvih satova zasniva na drugom principu. U tom se slučaju ide na što nižu frekvenciju kvarca, npr. 8...12 kHz, ispuštaju se dijeloci frekvencija, a umjesto jednog oscilatornog sistema upotrijebljena su dva, precizni kvarcni i manje precizni mehanički vibracijski sistem (npr. 170 Hz) koji istovremeno služi i kao motor za pogon kazaljki (sl. 16). Poseban uređaj uspoređuje titraje obaju sistema, pa ako se bokovi njihovih impulsa ne poklapaju, vrši se korektura, tj. kočenje ili ubrzavanje mehaničkog vibracijskog sistema, i to prilikom svake njegove vibracije. Pogon kazaljki vrši se u ovom slučaju također s pomoću zapornog zupčanika, slično kao u satovima s akustičkom viljuškom (v. sl. 12). Kao izvor energije služi u ovakvim malim kvarcnim satovima



Sl. 15. Vremenski standard s kvarcnim satom i svim dodatnim aparatima za sinhronizaciju, uspoređivanje, registraciju i davanje tačnog vremena i tačne frekvencije (Rohde & Schwarz)



Sl. 16. Vibracijski motor koji u ručnom kvarcnom satu služi kao drugi oscilator i koji pogoni kazaljke

mala živina baterija koja je dovoljna za  $\sim 18$  mjeseci pogona. U takvim satovima iznosi greška nekoliko desetaka sekundi u godinu dana (sl. 17).

Kvarcni satovi vrlo su pouzdani i u poluvodičkoj izvedbi neosjetljivi prema udarcima i vibracijama. Oni se primjenjuju kao lokalni standardi za frekvenciju i vrijeme, pri mikrovalnoj spektrofiziji, za uspoređivanje s atomskim standardima i u modernim navigacijskim i telekomunikacijskim sistemima. Kvarcni satovi upotrebljavaju se sve češće i kao glavni satovi u sistemima s centralnim satom, na brodovima umjesto ranijih kronometara i kao osnovni sat u sportskim brojačima vremena. Razvojem malih džepnih i ručnih kvarcnih satova oni su ušli u opću upotrebu.

**Atomski satovi.** U svim dosad opisanim satovima služila je kao mjerilo za proteklo vrijeme jedna perioda, tj. trajanje jed-

nog titraja, nekog mehaničkog oscilatornog sistema (njihala, nemirnice, akustičke viljuške, generatora izmjenične struje gradske mreže ili kristala kvarca). U atomskim satovima, pak, za tu svrhu služi jedna perioda prirodne oscilacije atoma pri jednoj od njegovih rezonantnih frekvencija (tj. pri frekvenciji određenih spektralnih linija).

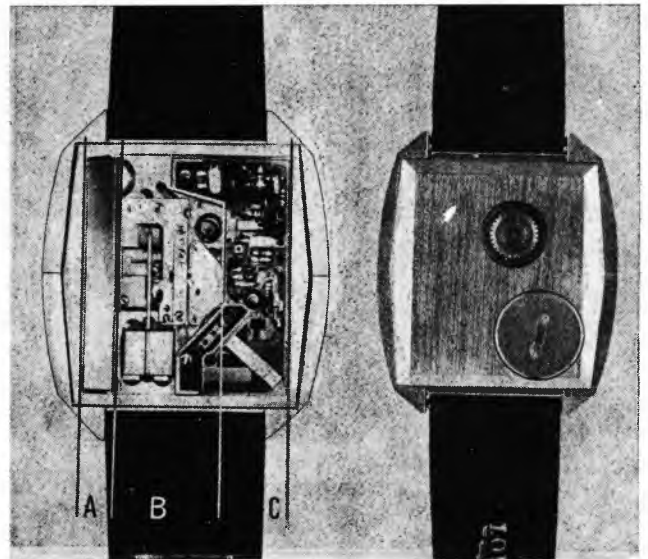
Atomi mogu posjedovati samo određene diskretne količine energije  $E_1, E_2, \dots, E_n$ . Atomi koji spontano ili zbog nekog vanjskog poticaja mijenjaju sadržaj energije i prelaze s jednog energetskog stanja (nivoa) na drugi, moraju razliku energije emitirati, odnosno apsorbirati. Atom može, npr., energiju koja pretiče zračiti u obliku elektromagnetskih valova. Frekvencija rezonancije  $\nu$  atoma koja odgovara prelazu između dva određena energetska stanja ( $i, j$ ) određena je izrazom:

$$E_i - E_j = \Delta E = h \nu_{ij},$$

gdje je  $h$  Planckova konstanta. Rezonantne frekvencije atoma koje se javljaju pri izmjenama energetskog nivoa atoma predstavljaju prema kvantnoj mehanici prirodne konstante neovisne o mjestu i vremenu.

Rezonantne frekvencije atoma zbog svoje konstantnosti predstavljaju idealne standarde za frekvenciju, pa posredno i za vrijeme. Do sada se za tu svrhu iskorištavaju pojedine frekvencije nekih prikladnih materijala: vodika, amonijaka, cezijuma, rubidijuma i još nekih. Međutim, korišćenje ove prirodne frekvencije kao normale spojeno je s mnogim problemima. Prvo treba postići da se atomi različitih energetskih nivoa jedni od drugih odvoje. Odvojene atome izabranog energetskog stanja treba što dulje održati u tom energetskom stanju i za to vrijeme zaštititi od svih vanjskih utjecaja (npr. magnetskih polja, kemijskih utjecaja). Zatim treba atome određenog energetskog nivoa izložiti mikrovalnom zračenju na njihovoj rezonantnoj frekvenciji da bi se stimulirao njihov prelazak s jednog energetskog nivoa na drugi  $i$ , na kraju, registrirati rezultat tog izlaganja zračenju. Za rješavanje tih zadataka postoji više mogućnosti. Neka prihvaćena rješenja bit će iznijeta prilikom opisa pojedinih vrsta atomskih satova.

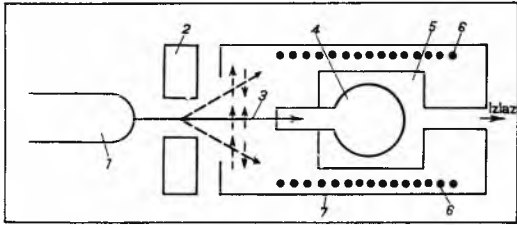
Danas se upotrebljavaju uglavnom tri tipa atomskih satova: satovi s atomskim vodikovim maserom, satovi upravljani mlazom cezijumskih atoma i satovi upravljani rubidijumskom plinskom ćelijom. U svim ovim satovima rezonantna se frekvencija atoma ne iskorištava izravno kao izvor frekvencije, već se ona upotrebljava posredstvom elektroničkih servokrugova samo za kontrolu i ispravljanje frekvencije vrlo preciznog kvarcnog oscilatora koji služi onda kao normala.



Sl. 17. Ručni kvarcni sat (Longines). Lijevo: pogled odosprijed, A kvarcni štapić, B vibracijski motor, C elektronički sklopovi; desno: pogled odostrag. Nazubljeno dugme služi za postavljanje kazaljki, a dugme u njegovoj sredini za postavljanje datuma; dolje desno vidi se baterija

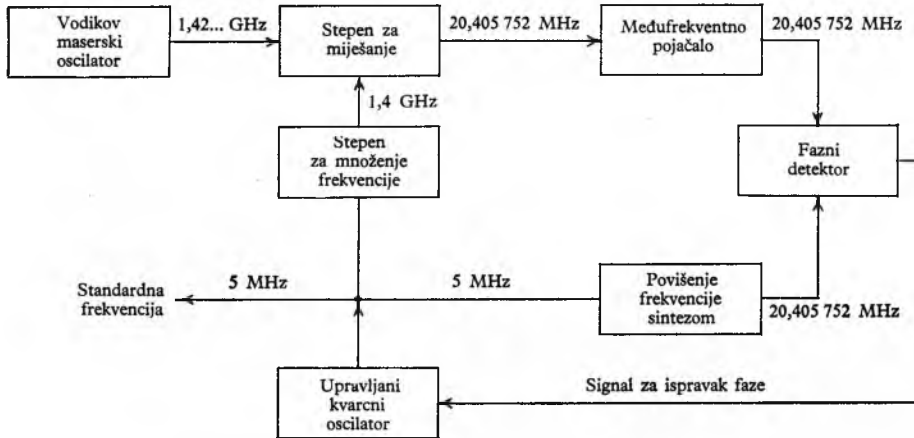
*Satovi s atomskim vodikovim maserom.* U tom se satu za kontrolu preciznog kvarcnog oscilatora upotrebljava frekvencija elektromagnetskog polja vodikovog masera (atomskog mikrovalnog pojačala, v. *Elektronika, sklopovi*). Njegovo ustrojstvo pokazuje u principu sl. 18. Mlaz atoma koje izbacuje izvor prolazi kroz nehomogeno magnetsko polje magneta 2, gdje, zbog različite magnetske polarizacije atoma na različitim energetskim ni-

voima, dolazi do njihovog razdvajanja. Samo atomi odabranog nivoa 3 ulijeću ubrzani u kvarcni balon 4 koji je smješten u šupljem rezonatoru 5 vrlo visokog faktora dobrote ( $Q > 10^9$ ). Rezo-



Sl. 18. Shema atomskog vodikovog masera (Hewlett Packard). 1 Izvor atomâ vodika, 2 magnet, 3 mlaz atomâ u odabranom energetskom stanju, 4 balon od kvarca, 5 rezonator, 6 namot za stvaranje konstantnog slabog magnetskog polja, 7 kućište

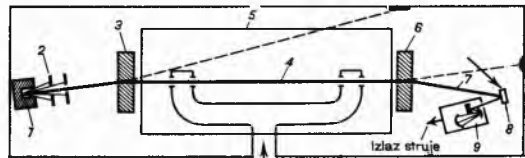
nator je tačno podešen na frekvenciju atoma koja se javlja pri prelazu između energetskih nivoa ( $F = 1, m_F = 0$ ) i ( $F = 0, m_F = 0$ ). U kvarcnoj cijevi dolazi najprije do spontanog prelaza nekih atoma s višeg na niži nivo, te oni zrače elektromagnetske valove upravo na frekvenciji na koju je podešen rezonator ( $\nu = 1,420\,405\,752$  GHz). Stimulirani tim poljem i drugi atomi prelaze u novo stanje. Tako se nakon izvjesnog vremena uspostavlja ravnoteža i vlastita emisija bez vanjskog poticaja održava emisiju elektromagnetskih valova i oscilacije u šupljem rezonatoru. Međutim, snaga koju taj oscilator daje na svom izlazu neznatna je ( $10^{-18}$  W), pa stoga treba signale koji izlaze iz rezonatora prije iskorišćenja snažno pojačati. Sl. 19 prikazuje načelnu shemu takvog standarda. Na stepen za miješanje priključen je s jedne strane izlaz rezonatora vodikovog masera 5, a s druge strane kvarcni oscilator preko sklopa za množenje frekvencije, kojim se frekvencija kvarcnog oscilatora podiže u red veličine frekvencije masera



Sl. 19. Blokshema vodikovog maserskog oscilatora

(GHz). Međufrekventni naponi dobiveni iz stepena za miješanje privode se nakon izdašnog pojačanja faznom detektoru u kome se uspoređuje faza međufrekventnih napona i napona dobivenih izravno iz kvarcnog oscilatora, a nakon što im je u stepenu za sintezu prethodno izjednačena frekvencija s međufrekvencijom. Svako odstupanje kvarcnog oscilatora po fazi izaziva signal greške kojim se s pomoću odgovarajućih elektroničkih servo-sklopova ispravlja frekvencija kvarcnog oscilatora i za najmanja odstupanja. Prema tome kvarcni oscilator koji je fazno vezan za vodikov atomski laser radi njegovom tačnošću. Sat s atomskim vodikovim maserom najtačniji je i najstabilniji od svih poznatih izvora frekvencije (frekvencijskih normala). Njegova neodređenost kroz dugi period manja je od  $1 \cdot 10^{-14}$ , što odgovara neodređenosti vremena od 1 sekunde u 3 milijuna godina (Podatak iz kataloga firme Hewlett Packard za 1970). Sat s atomskim vodikovim maserom nalazi se u stanju razvoja, on je danas glomazan i težak te stoga još nije ušao u širu primjenu. Taj sat ide u aktivne primarne standarde frekvencije i vremena (jer radi bez vanjskog poticaja) i njemu nije potrebno kalibriranje nekim drugim standardom.

Atomski sat upravljan mlazom atoma cezijuma. U ovom satu vrši se kontrola i ispravljanje frekvencije preciznog kvarcnog oscilatora s pomoću podataka dobivenih iz cijevi s mlazom cezijumskih atoma. U toj cijevi, koja je shematski prikazana na sl. 20, atomi cezijuma dobiveni isparavanjem u pećici 1 izlaze iz nje termalnom efuzijom. Elektrodamâ 2 atomi se skupljaju u mlaz i usmjeravaju prema mikrovalnom rezonatoru 5. Prilikom prolaska kroz polje magneta 3 vrši se selekcija atoma u raznim stanjima. Samo neutralni atomi u željenom energetskom stanju 4 ulaze ubrzani djelovanjem njihovih magnetskih dipola i gradijentnog magnetskog polja u rezonator brzinom od  $\sim 100$  m/s. Magnetska komponenta mikrovalnog elektromagnetskog polja što ga u rezonatoru 5 velikog faktora dobrote ( $Q = 3 \cdot 10^9$ ) podržava nakon množenja njegove osnovne frekvencije kvarcni oscilator, djeluje na atome koji prolaze, pri čemu se nekima od njih mijenja energetski nivo. Frekvencija elektromagnetskog polja iznosi 9,192 631 770 GHz, što odgovara rezonantnoj frekvenciji cezijumskih atoma pri prelasku između dviju hiperfinskih ener-



Sl. 20. Shematski prikaz cijevi s mlazom cezijumskih atoma (Hewlett Packard). 1 Pećica, 2 elektroda za usmjerivanje atoma, 3 magnet, 4 mlaz atoma odabranog energetskog stanja, 5 okučje s rezonatorom, 6 magnet, 7, 8 i 9 detektor, 10 cijev vanjskog okučja, 11 ulaz elektromagnetskih mikrovalova

getskih razina osnovnog stanja  $^2S_{1/2}$  atoma cezijuma (Cs-133), i to između ( $F = 4, m_F = 0$ ) i ( $F = 3, m_F = 0$ ). Izlazeći iz rezonatora, mlaz atoma različitih nivoa (jer polje ne uzbudi sve atome) prolazi kroz polje magneta 6 koji vrši među njima selekciju i samo atome željenog nivoa 7 usmjeruje prema detektoru, sastavljenom od ionizatora s užarenom žicom i cijevi za multiplikaciju 9. Iz detektora teče niskom frekvencijom modulirana signalna struja u elektronički servo-sklop za upravljanje kvarcnim satom. Maksimalni signal znači da je broj prelazaka atoma najveći, a to se događa samo kad frekvencija elektromagnetskog polja u rezonatoru odgovara tačno frekvenciji rezonancije atoma. Detektirani signal mjerilo je dakle za tačnost frekvencije kvarcnog oscilatora i može poslužiti kao signal greške za ispravak njegove frekvencije. Svi spomenuti dijelovi smješteni su u cijevi 10 u

kojoj vlada vakuum, a koja ujedno i zaklanja mlaz cezijumskih atoma od vanjskih utjecaja. Izgled takve cijevi prikazuje sl. 21.

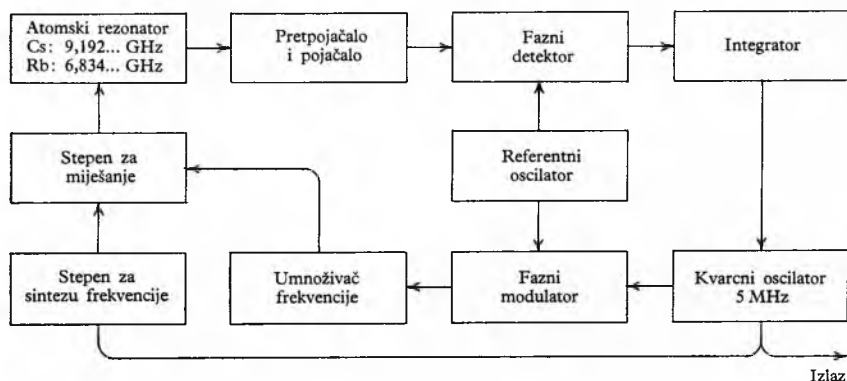


Sl. 21. Cijev s mlazom cezijumskih atoma (duljina 701 mm, promjer 143 mm)

Sklop za korekturu frekvencije kvarcnog oscilatora pokazuje sl. 22. Izlazni signal oscilatora (5 MHz) najprije se modulira nekom niskom frekvencijom (137 Hz), a zatim se višestrukim množenjem, sintezom i miješanjem iz njega dobije signal frekvencije 9 192 631 770 Hz koji odgovara frekvenciji rezonancije cezijumskih atoma. Ovim se signalom napaja rezonantna šupljina kroz

koju proljeću cezijumski atomi. Čim nastupi razlika između frekvencije dovedenog signala i frekvencije atoma, dolazi i do faznog pomaka niskofrekventnog signala kojim je modulirana struja na izlazu iz detektora. Faznim detektorom ta se razlika u fazi utvrđuje, a istosmjernim signalom greške korigira se stalna frekvencija oscilatora. Takav korekturni sklop osigurava cezijumskim standardima za frekvenciju i vrijeme tačnost od  $\pm 5 \cdot 10^{-11}$ , što odgovara u vremenu jednoj sekundi na 300 godina. Tačnost kojom se može u ovom slučaju mjeriti inače konstantna rezonantna frekvencija atoma ovisi o kemijskim i vanjskim utjecajima, a jer se atomi kreću, i od Dopplerovog efekta. Ovakvi satovi upotrebljavaju se danas kao glavni, primarni i nacionalni standardi, a i tačniji vremenski radio-signali formiraju se s pomoću njih. Osim toga oni se upotrebljavaju i svagdje tamo gdje je tačnost frekvencije ili vremena kritična, npr. pri vođenju svemirskih letjelica i raketa. Oni služe i za upravljanje navigacijskim sistemima kojih su stanice rasute po cijelom svijetu (Loran C, Omega). Oni se primjenjuju u opservatorijima, naučnim laboratorijima, u ustanovama koje vrše baždarenje i kalibraciju instrumenata i satova, pri ispitivanju fenomenâ u vezi sa širenjem elektromagnetskih valova, i sl.

Standard upravljan plinskom ćelijom rubidijuma po izvedbi je načelno sličan naprijed opisanom, naročito sklop za faznu sinhronizaciju. S obzirom na to da je frekvencija rubidijumske plinske cijevi (6,834 ... GHz) ovisna o sastavu plinske mješavine i pritisku, ona se s vremenom ponešto mijenja, ali su promjene te frekvencije  $\sim 100$  puta manje nego frekvencije najsavršenijeg kvarcnog oscilatora. Blokschema sata s rubidijumskom plinskom ćelijom ista je kao za sat s mlazom cezijumskih atoma (v. sl. 22).



Sl. 22. Blokschema cezijumskog i rubidijumskog sata (Hewlett Packard)

Rubidijumske cijevi lagane su i imaju još i neke druge prednosti. Stoga su rubidijumski satovi, koji predstavljaju sekundarni standard jer ih treba povremeno uspoređivati s primarnim standardima radi korekture, vrlo prikladni kao lokalni standardi za institute i tvornice. Oni se primjenjuju i u svemirskim komunikacijskim uređajima, pri mjerenju udaljenosti satelita, u doplerskim radarima i drugdje. Njihova prosječna tačnost za razdoblje 1 mjeseca iznosi  $2 \cdot 10^{-11}$ .

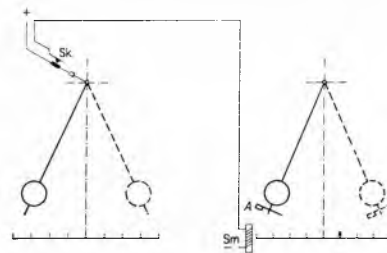
### Uređaji s centralnim satom

Uređaji s centralnim satom služe za pokazivanje vremena na većem broju udaljenih mjesta. Oni se sastoje od glavnog sata, posebne električne mreže i većeg broja sporednih (dodatnih) satova smještenih na različnim udaljenim mjestima. Uređaji s centralnim satom primjenjuju se npr. u velikim poslovnim zgradama, u tvornicama, na željeznici, u gradovima za pogon javnih satova. Ponekad se takvi uređaji za prenos vremena upotrebljavaju i na područjima koja su veća od teritorija gradova.

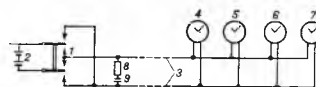
**Glavni ili matični sat** ima zadatak da šalje u mrežu neposredno ili posredno s pomoću linijskih releja ili beskontaktnih tranzistorskih sklopova istosmjerne impulse (izmjeničnog polariteta) kojima se pogone sporedni satovi. Da prenošeno vrijeme bude što tačnije, upotrebljavaju se kao matični satovi samo vrlo tačni i sigurni mehanički, električni i elektronički satovi. Prije su se u takvim uređajima primjenjivali pretežno satovi s njima-

lom, a iznimno i kvalitetni satovi s nemirnicom, danas se za tu svrhu sve češće uzimaju kvarcni elektronički satovi.

Uređaji s mehaničkim satom kao glavnim satom imaju obično, kad se radi o većim uređajima, jedan pogonski i jedan rezervni glavni sat koji su sinhronizirani, što će reći da se posredstvom električnog sinhronizacijskog uređaja (sl. 23) njihova njihala održa-



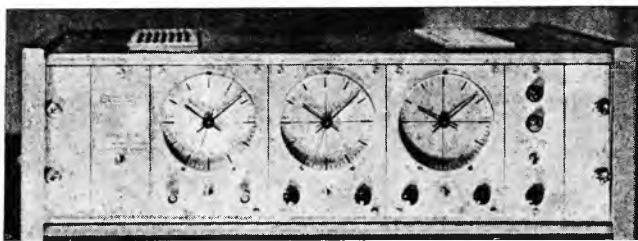
Sl. 23. Električna sinhronizacija dvaju satova s njihalom



Sl. 24. Sprega za pogon sporednih satova. 1 Kontakt, 2 baterija, 3 napojni vod, 4...7 sporedni satovi, 8 i 9 sklop za gašenje iskara

vaju u sinhronom njihanju. U slučaju kvara na pogonskom satu rezervni sat uskače automatski. Za predaju strujnih impulsa kojima se pogone sporedni satovi predviđen je na glavnom satu poseban kontaktni mehanizam koji pogoni jedan od vratila glavnog sata. Tim mehanizmom šalju se u mrežu svakih 30 s ili svakih 60 s istosmjerni impulsi kojima se nazimjenice mijenja polaritet (sl. 24). Ako dođe do greške u pokazivanju sporednih satova, ta se greška ispravlja s pomoću sklopke na glavnom satu kojom se sporedni satovi mogu usporiti ili ubrzati sve dok njihovo pokazivanje ne bude ispravno. Za svaki pojni vod koji je priključen na glavni sat predviđen je na satnom uređaju po jedan kontrolni sat.

Uređaji s kvarcnim glavnim satom sastavljeni su od više jedinica (sl. 25). Kao glavni sat služi jedinica s kvarcnim rezonatorom i pripadnim kontrolnim satom. Za napajanje pojedinih pojnih vodova služe jedinice izlaznih pojačala s kontrolnim pokazivačem za pripadni vod. One šalju bez primjene kontakata svake minute ili svake sekunde istosmjerne impulse u svoj vod. Po potrebi može se takvom uređaju dodati i jedinica za davanje vremenskih signala (sirenama, zvoncima, svjetlom itd.) i jedinica za odašiljanje normalnih frekvencija (1 MHz, 100 kHz itd.) koje su potrebne pri nekim električnim mjerenjima, pa se distribu-



Sl. 25. Centralni satni uređaj s kvarcnim satom. Slijeva nadesno vidi se: blok za korekturu oscilatora glavnog (kvarcnog) sata, glavni sat, pojačalo za napajanje sporednih satova sekundnim impulsima, pojačalo za napajanje sporednih satova minutnim impulsima i stupanj za napajanje

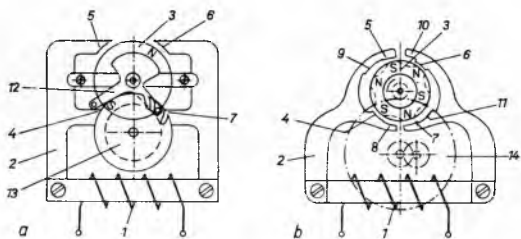
tivni vodovi tih jedinica vode u laboratorije i slične ustanove. Na kvarcnom matičnom satu postoji i uređaj za grubo i fino (za  $10^{-2}$  ili  $10^{-3}$  s) reguliranje pokazivanja matičnog sata. Korektura pokazivanja sporednih satova i ovdje se provodi njihovim zaustav-



ljanjem ili ubrzanjem s pomoću sklopke na izlaznom pojačalu mehanizma.

Uređaj za napajanje snabdijeva matični satni uređaj potrebnim istosmjernim naponom. Za napajanje uređaja s centralnim satom primjenjuju se naponi 6, 12, 24 ili 60 V. Oni se po pravilu dobivaju ispravljanjem izmjenične struje gradske mreže. Ako nestane struja, napajanje se automatski prebacuje na akumulatore.

**Sporedni satovi** sastoje se od istosmjernog malog motora i zupčaničkog prenosa s pomoću kojeg se pokreću kazaljke ili digitalni pokazni sistem. Veći sporedni satovi opremljeni su obično vibracijskim motorom (sl. 26 a). Između četiri pola njegovog statora okretljivo smješten je rotor koji je izrađen kao permanentni magnet i radijalno magnetiziran tako da ima dva pola N i S. Pri nailasku svakog impulsa parovi polova statora mijenjaju svoj polaritet, pa se zbog toga rotor izmjenično okreće ulijevo ili udesno. Pri tome on s pomoću svojih ručica pomakne pogonski zupčanik za jedan zubac naprijed i time pogoni kazaljke.



Sl. 26. Motori za pogon sporednih satova. a) Vibracijski motor, b) koračni rotirajući motor; 1) uzbuđni namot, 2) lamelirani jaram, 3) magnetizirana ploča rotora; 4, 5, 6 i 7 polovi statora vibracijskog motora i glavni polovi rotirajućeg koračnog motora; 8, 9, 10 i 11 sporedni polovi rotirajućeg koračnog motora; 12 pogonske ručice rotora, 13 pogonski zupčanik minutne osovine, 14 zupčani prenos

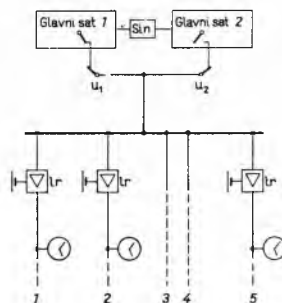
Mali sporedni satovi pogone se rotirajućim koračnim motorima (sl. 26 b). Njihov stator također ima dva para naročito oblikovanih polova kojima se polaritet prilikom svakog impulsa promijeni. Rotor je okrugla okretljivo montirana pločica izrađena kao permanentni magnet i radijalno magnetizirana tako da ima 6 polova. Pri nailasku svakog novog impulsa mijenja se polaritet parova polova statora. Zbog toga se rotor postupno okreće naprijed za jedan korak (60°) u smislu kazaljke na satu, zaustavljajući se svaki put na jednom od šest stabilnih položaja. Rotor preko svojeg vratila i preko sistema zupčanika pokreće kazaljke.

Pokazni sistemi sporednih satova obično su opremljeni kazaljkama. Na uređajima s mehaničkim glavnim satovima sporedni satovi imaju samo minutnu i satnu kazaljku. U sistemima s kvarcnim glavnim satom mogu se upotrebljavati sporedni satovi i sa sekundnom kazaljkom. Često se u poslovnim zgradama, aerodromima i drugdje primjenjuju i sporedni satovi s digitalnim pokazivanjem. Oni pokazuju vrijeme brojkama, a ponekad pored toga također datum i dan u tjednu (sl. 27).

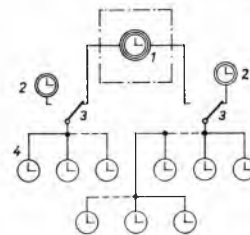
**Električna mreža za napajanje sporednih satova** je zvjezdasta oblika, a sastoji se od potrebnog broja pojnih vodova od kojih je svaki priključen izravno na relej ili pojačalo u centralnom uređaju (sl. 28). Sporedni satovi mogu se priključiti na pojni vod u seriji (ako su niskoomski) ili paralelno (ako su visookoomski). Na jedan pojni vod s relejnim davačem polariziranih impulsa može se priključiti do 50 sporednih satova, a na vodove napajane pojačalom i do 100 satova. U tim se mrežama zemlja ne smije upotrijebiti kao povratni vod jer može doći do smetnji zbog lutajućih struja u zemlji.

Više sistema s centralnim satom može se i na većoj teritoriji spojiti u zajednički veći satni sistem. U tom se slučaju pogon takve mreže može odvijati na dva načina. Po prvom su načinu

glavni satovi pojedinih manjih sistema sinhronizirani s glavnim satom cijelog velikog sistema. Ta se sinhronizacija može izvoditi stalno ili povremeno, automatski ili ručno. Drugi je način da glavni sat izravno preko pogodnih releja ili pojačala pogoni sve satove cijelog velikog sistema (sl. 29). U tom slučaju u manjim



Sl. 28. Načelna shema mreže uređaja s centralnim satom. Sinhronizacioni uređaj obaju glavnih satova;  $u_1$  i  $u_2$  kontakti glavnog sata za slanje polariziranih impulsa u satnu mrežu ili beskontaktni davači impulsa u elektroničkim satovima,  $I_r$  linijski relej za pogon pojedinih napojnih vodova ili pojačalo impulsa u elektroničkim uređajima, 1...5 vodovi za napajanje sporednih satova



Sl. 29. Povezivanje više sistema s centralnim satom u zajednički sistem s izravnim centralnim upravljanjem. 1 Glavni sat cijelog sistema, 2 rezervni glavni satovi pojedinih dijelova sistema, 3 automatska sklopka za uklopavanje rezervnog sata u slučaju kvara, 4 sporedni satovi

sistemima postoji samo rezervni glavni sat koji uskoči u slučaju kvara. Ako se radi o prenosu na veće udaljenosti, pravokutni istosmjerni impulsi zamjenjuju se impulsima drugih oblika ili impulsima izmjenične struje koji su prikladniji za prenos preko telefonskih kabela na daljinu.

**Brodski uređaji s centralnim satom.** Zbog valjanja i posrtanja ne mogu se na brodu upotrijebiti glavni satovi s njihovom nego samo kardanski ovješeni precizni satovi s nemirnom ili kvarcnim satovi. Sporedni satovi spajaju se na brodovima obično u seriji, a pokreću se svake minute. Kako brod za vrijeme plovidbe često prelazi iz jedne vremenske zone u drugu, potrebno je pri svakom takvom prelazu postaviti sporedne satove na novo vrijeme. Stoga su motori brodskih sporednih satova građeni tako da se kazaljke mogu ubrzano kretati u jednom i u drugom smislu.

### Prenos vremena

Normale za frekvenciju i vrijeme koje se nalaze u astronomskim opservatorijima, u nacionalnim centrima za mjere i utege i sličnim ustanovama, služe za održavanje tačne frekvencije i tačnog vremena i za prenos tih veličina širem krugu korisnika. Tačnost tog prenosa mora biti veća kad se radi o prenosu frekvencije i vremena lokalnim (sekundarnim) standardima koji se upotrebljavaju u naučnim ustanovama, razvojnim laboratorijima, centrima za baždarenje, u stanicama za upravljanje satelitima i raketama, u centrima sinhroniziranih navigacijskih sistema, u uređajima s centralnim satom ili u ustanovama koje daju vremenske signale radiodifuziji i televiziji. Manja je tačnost dovoljna kad se radi o uspoređivanju satova opće upotrebe. Prema tim potrebama razvijeni su i različni sistemi i različne metode za prenos frekvencije i vremena.

Prenos vremena s normale na sat koji se želi usporediti može se provesti bilo neposredno bilo putem vremenskih signala što se prenose žičnim ili bežičnim putem. Jednim uspoređenjem može se odrediti apsolutna razlika pokazivanja (za trenutak uspoređivanja) ili pak izvršiti njihova sinhronizacija. S pomoću dva uspoređivanja može se utvrditi prosječno relativno odstupanje. Za utvrđivanje neravnomjernosti u tom odstupanju potrebno je više uspoređivanja.

**Neposredni prenos vremena s normale** na neki sat može se ostvariti samo kad se oba sata donesu na isto mjesto. Danas postoje već primarni vremenski standardi u prenosnoj izvedbi; to su npr. cezijumski satovi. S njima se može npr. putovati od korisnika do korisnika i transportirati tačno vrijeme. Uspoređivanje dvaju satova vrši se tako da se razlika do sekunde utvrdi očitanjem a dijelovi se sekunde utvrđuju komparacijom faze osci-



Sl. 27. Sporedni sat s digitalnim pokazivačem vremena i datuma

lacija ili impulsa jednog i drugog sata s pomoću određenih sklopova instrumenata (oscilografa, komparatora i sl.). Sinhronizacija sekundarne kvarcne normale s nekom primarnom normalom može se provesti tako da se ubrzavanjem ili zaustavljanjem pokaznog sistema sat usaglasi na jednu sekundu tačno s normalom. Zatim se priključkom sinhronizacionog voda izvrši sinhronizacija kvarcnog oscilatora s oscilatorom primarnog standarda. Na taj način može se postići uspoređenje ili usaglašenje do približno  $\pm 1$  mikrosekunde.

**Posredni prenos s pomoću vremenskih signala** manje je tačan. Tačne vremenske signale, koji su vezani za neki primarni ili sekundarni standard, emitira više komercijalnih radio-stanica na vrlo dugim, dugim i kratkim valovima. Takve su stanice npr. WWV u Beltsvilleu u USA, FFH u Parizu, MSF u Rugbyju u Engleskoj i druge. U Evropi je najtačnija stanica HBG u Promginsu koja radi na 75 kHz, a upravljana je cezijumskim atomskim satom. Sve te stanice emitiraju svake sekunde impulse određena oblika i trajanja uz posebne oznake na početku svake minute. Sat i minute prenose se bilo govorom bilo u nekom kodiranom obliku (Morseovim znakovima u određenom trenutku ili binarno kodiranim signalima vremena). Sheme i vrijeme emisija mogu se naći u specijalnim publikacijama, a odstupanja objavljuju se svakomjesečno naknadno. Pri prenosu vremena radio-putem treba uzeti u račun i vrijeme koje je potrebno da elektromagnetski valovi udaljene stanice stignu do prijemnika i aparature za uspoređivanje. To je vrijeme pri prenosu na vrlo dugim i dugim valovima prilično stalno; pri prenosu na kratkim valovima ono varira zbog refleksija od promjenljivih slojeva ionosfere i zbog drugih utjecaja, ali se te varijacije mogu pri računanju uzeti u obzir. Zbog svih tih razloga mogu se u ovom slučaju postići tačnosti prenosa od  $\sim \pm 1$  milisekunde. Veća tačnost postiže se pri žičanom prenosu. Uspoređivanje s pomoću bežičnih ili žičanih signala vrši se tako da se s jedne strane primljeni impulsi ili sinusne oscilacije (100 kHz, 1 kHz, 1 Hz), a s druge strane inimpulsi (sinusne oscilacije) sata koji se uspoređuje dovode na neku napravu za uspoređivanje i mjerenje vremenskog razmaka između jednog i drugog impulsa ili za mjerenje fazne razlike između jednog i drugog sinusnog napona. Različne aparature i metode omogućuju manje ili više tačno određivanje tog vremenskog intervala ili fazne razlike.

Najrašireniji, ali i najmanje tačan (1 s...0,1 s) je prenos vremena putem radiodifuzije na osnovi podataka koje spiker izgovara ili koji se prenose s pomoću niza akustičkih signala ili udarcem o gong. Slična se tačnost postiže i uspoređivanjem sa slikom tačnog sata na ekranu televizijskog prijemnika.

**Regulirani satovi.** U Njemačkoj je razvijena aparatura koja omogućuje automatsku sinhronizaciju i regulaciju sata s vremenskim radio-signalom što ga dva puta dnevno u određeno vrijeme s pomoću Morseovih signala O N O G O emitira radio-stanica Nauen. Prije početka emisije tog signala sat automatski uklopi radio-prijemnik i regulacijsku aparaturu. Primljeni signali s pomoću različitih releja i elektromehaničkih naprava automatski izvrše korekturu sata ako ne pokazuje tačno. Po završenom signalu aparatura se opet automatski isklupi.

### Perspektiva daljeg razvoja električnih satova

Mada su električni satovi za specijalne namjene (kvarcni satovi, prenosni atomski satovi) postigli u pogledu izvedbe, a naročito u pogledu tačnosti, neslućeno savršenstvo, oni su još uvijek predmet daljih nastojanja da se dosadašnja dostignuća premaše i da se zapremina satova smanji.

Ručni električni satovi, koji su se prije nekoliko godina pojavili na tržištu, tek su na početku svog daljeg razvoja. Za sada se smatra još nedostiživim idealom električni ručni sat čija bi greška u toku godine dana iznosila samo nekoliko sekundi. Takav bi sat, naime, trebalo korigirati samo jednom godišnje, pri uraru prilikom izmjene baterije. Otpao bi mehanizam za postavljanje kazaljki i time bi se dobilo nešto prostora, a kućište bi bilo nepropusnije za vodu. Stoga su za sada svi sastavni dijelovi električnog ručnog sata (oscilator, djelilac frekvencije, pokazni sistem i izvor energije) u centru pažnje razvijaa.

Oscilatori koji se sada upotrebljavaju (kvarcni, viljuškasti) izloženi su u toku nošenja na ruci većem broju utjecaja (gravitacioni, mehaničkim ubrzavanjima, promjenama temperature, statičkim i dinamičkim električnim i magnetskim poljima, itd.), koji svi nepovoljno utječu na preciznost sata. Mnogi od nabrojanih štetnih utjecaja mogli bi se izbjeći kad bi se prešlo od elektromehaničkog oscilatora na elektronički. Dok se s takvim oscilatorom mogu na satovima s većom zapreminom postići donekle zadovoljavajući rezultati, kod ručnih satova to za sada nije moguće zbog ograničene zapremine (do 3,5 cm<sup>3</sup>) i još premale snage izvora električne energije (do 20  $\mu$ W). S mikrovalnim rezonatorima ili LC- i RC-oscilatorima ne može se pod tim uvjetima postići dovoljan faktor dobrote, pa prema tome ni tražena tačnost. Kako za ručne satove zasad elektronički oscilatori ne dolaze u obzir, sada se najviše radi na usavršavanju elektromehaničkih oscilatora (kvarcni i fleksionih). Pri tome se pojavljuje dilema treba li oscilator izravno (neposredno) da pogoni pokazni sistem ili ne. Oscilatori koji sami pogone (npr.) kazaljke moraju raditi s nižom frekvencijom (do 1 kHz) jer inače redukcija frekvencije mehaničkim sredstvima nije moguća. Pri niskoj frekvenciji, međutim, ne može se postići veći faktor dobrote ni velika tačnost. Pri posrednom upravljanju oscilator više nije opterećen pokaznim sistemom, pa stoga može raditi i na višoj frekvenciji (do 10 ili čak do 100 kHz), što omogućuje smanjenje dimenzija oscilatora i osigurava bolji faktor dobrote, pa time i bolju tačnost. Mana je takvih oscilatora što trebaju kompliciran djelilac frekvencije koji zauzima dosta mjesta i troši mnogo snage. Radi se na iznalaženju elektromehaničkih oscilatora koji su bolje izbalansirani i neovisniji o vanjskim utjecajima nego danas poznati. U vezi s time ispituju se različni diamagnetski i paramagnetski materijali za izradu fleksionih oscilatora, a radi se i na iznalaženju takvih oblika fleksionih oscilatora koji bi bili pogodniji nego dosad upotrijebljeni oblik viljuške.

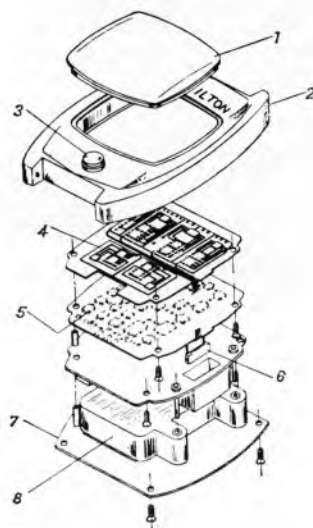
Da bi se visoka frekvencija oscilatora snizila na vrijednost potrebnu pokaznom sistemu (nekoliko herca), radi se na razvoju elektroničkih analognih i digitalnih djelilaca frekvencije. U razvijanju digitalnih djelilaca koji rade na principu kaskade multivibratorskih lanaca postignuti su značajni rezultati. Primjenom integriranih krugova uspjelo je npr. izraditi djelilac frekvencije za omjer 1 : 16 384 koji ima zapreminu 4,8 × 3,5 × 1,8 mm i koji troši manje od 10  $\mu$ W.



Sl. 30. Elektrooptički brojčanik. Brojke se pale pritiskom na dugme

U pogledu pokaznog sistema razvoj ide u dva smjera. Jedna rješenja idu za tim da se zadrže klasične kazaljke koje se pogone nekim elektromehaničkim pogonskim sistemom što ga napaja djelilac frekvencije, a druga predviđaju primjenu elektro-optičkih

pokazivača. Za kretanje sistema kazaljki predlažu se uglavnom tri vrste pogonskih elektromehaničkih uređaja: rezonantni vibrirajući sistemi koji svoje linearno kretanje s pomoću poluzice i zupčanika pretvaraju u kružno, sinhroni motori (sa zakretnim ili pulzirajućim poljem), koji svoje kružno kretanje posredstvom zupčanika prenose na kazaljke, i koračni sistemi (koračni motor, bistabilni polarizirani uređaji) koji na jedan ili drugi način pogone kazaljke. Satovi s elektro-optičkim pokazivanjem daju vrijeme u digitalnom obliku s pomoću svijetlećih brojaka (sl. 30). Brojke na brojčaniku sastoje se od tačaka što ih stvaraju svijetleće diode. Prednost je takvog pokazivanja što se sa sata vrijeme može očitati danju i noću. Da bi jakost svijetljenja brojaka odgovarala osvjetljenosti okoline, ona se automatski regulira na pravu razinu. Brojke koje bi stalno svijetlile trošile bi previše električne energije,



Sl. 31. Shematski prikaz ručnog kvarcnog sata s elektro-optičkim brojčanikom. 1 Filtar, 2 kućište, 3 dugme za aktiviranje brojčanika, 4 svijetleće diode, 5 integrirani sklopovi sata, 6 kvarcni oscilator, 7 donji poklopac, 8 baterija

stoga one svijetle samo na zahtjev: nakon pritiska na dugme pojavljuju se na ekranu brojevi koji označavaju sekunde, minute i sate. Nakon kraćeg perioda (npr. 1,25 s) gase se brojke koje označavaju minute i sate, a ostaju samo one koje označavaju sekunde, i to dok god je dugme pritisnuto. Ovakvi satovi nemaju (osim kvarca) nijedan mehanički pomični dio (sl. 31). Oni moraju umjesto mehaničkog brojača (sistema kazaljki) imati elektroničko brojilo koje impulse dobivene iz djelioca frekvencije broji i pretvara u sekunde, minute i sate. S obzirom na veliki broj elektroničkih sklopova, takvi satovi troše relativno mnogo električne energije, što iziskuje bateriju koja zauzima čak do 80% raspoloživog prostora. Kvarcni ručni sat s frekvencijom 32 768 Hz koji je razvila američka kompanija Hamilton Watch Co. radi na tom principu. Njegova greška iznosi samo ~ 3 s u mjesec dana.

Da bi oscilator sata radio postojano, on se mora napajati iz stalnog izvora u kome je električna energija akumulirana, npr. iz električnog akumulatora ili iz električne baterije. Ako se prihvati zamisao akumulatora, treba predvidjeti i način njegovog punjenja, izvore energije iz kojih će se puniti i pogodne pretvarače energije. Za sada su razvijeni akumulatori koji mogu napajati ručni sat i do 6 mjeseci bez punjenja. Za njihovo punjenje predviđeni su posebni mrežni punjači. Od ostalih izvora energije uzimaju se u obzir: izvori mehaničke energije (micanje rukom), svjetlosne energije (sunčane baterije ugrađene su u tom slučaju u brojčanik) i radioaktivni materijali. Dok se ne dode do zadovoljavajućih rješenja, upotrebljavat će se i dalje kao izvor električne energije živine baterije (1,35 V) ili baterije od srebro-oksida (1,5 V). Kad bi takva baterija zauzimala zapreminu cijelog sata, davala bi snagu od ~ 150  $\mu$ W.

U Švicarskoj se radi na razvoju električnih satova (ručnih i drugih) koji se upravljaju radio-emisijom. Za razliku od ranijih takvih sistema, signal koji se emitira svake sekunde ne označava samo sekundu već sadrži kompletni podatak o trenutnom tačnom vremenu, dakle o satu, minutama i sekundama. Ako sat kroz neko vrijeme nije primao signale (u zgradi, tunelu itd.), on će nakon primitka prvog signala sam ispraviti eventualno odstupanje. Satovi koji se za ovu svrhu primjenjuju slični su satovima s elektro-optičkim pokazivanjem.

LIT.: F. Hope-Jones, Electric clocks, London 1931. — H. W. Goetsch, Taschenbuch für Fernmeldetechniker, München 1950. — J. W. Plaver (ed.), E. J. Britten's watch and clockmaker's handbook, Princeton, N. J. 1955. — F. Schmidt, Elektrische Uhren, Halle 1957. — П. В. Саеалов, В. И. Нуаов, Методы кварцевой стабилизации в диапазоне частот, Киев 1961. — В. В. Григоряиц, М. Е. Жаботинский, В. Ф. Золин, Квантовые стандарты частот, Москва 1968.

I. Marinček

**ELEKTRIČNI SKLOPNI APARATI**, aparati koji služe za uspostavljanje, održavanje i prekidanje kontinuiteta ili diskontinuiteta strujnih krugova. Vršeci ovu funkciju, koja obuhvaća uklopavanje i isklapanje, pokretanje i regulaciju, zaštitu i komandu, sklopni aparati upravljaju radom uređaja za proizvodnju, transformaciju, konverziju, prenos i potrošnju električne energije. Njihovo djelovanje, označeno zajedničkim terminom *sklopavanje*, svodi u krajnjoj liniji na promjenu vlastite impedancije i dielektrične čvrstoće. To se postiže u sklopkama i relejima time što se otvaraju i zatvaraju kontakti, u osiguračima time što pregaraju rastalnice, u odvodnicima prenapona time što se probijaju i gase iskrišta i što reagiraju nelinearni otpori, u regulatorima time što se stepenasto uključuju otpornici i prigušnice, u tekućinskim pokretačima time što se kontinualno uronjavaju elektrode ili mijenja vodostaj, u statičkim aparatima promjenom magnetskog zasićenja transduktora ili ventilnim djelovanjem poluvodičkih elemenata.

Sklopni aparati, koji obuhvaćaju širok izbor uređaja, mogu se dijeliti prema namjeni, prema njihovoj funkciji, prema nazivnom naponu i prema drugim kriterijima.

**Podjela sklopnih aparata prema namjeni** razlikuje ove najvažnije grupe aparata: rastavljače, sklopke, prekidače, pokretače, regulatore, osigurače, odvodnike prenapona, releje, pribor i sklopne blokove.

**Rastavljači** su aparati koji služe za otvaranje i zatvaranje strujnih krugova kad se time prekidaju ili uklapaju zanemarljivo male struje (npr. struje naponskih mjernih transformatora ili kapacitivne struje kratkih neopterećenih kabela) ili kad sklopavanje većih struja ne dolazi do znatnije promjene napona među stezaljkama pojedinog pola (npr. u slučaju premošćenja zatvorenih kontakata prekidača). Rastavljači mogu trajno voditi normalne pogonske struje, a trenutno i struje kratkog spoja. Između njihovih kontakata mora postojati propisni razmak, tzv. *rastavni razmak*, čije postojanje mora u otvorenom položaju biti pouzdano vidljivo jer o njemu ovisi sigurnost postrojenja i osoblja koje na njima radi.

**Sklopke** mogu uklapati, trajno voditi i prekidati struje normalnog pogona i eventualnih preopterećenja, a trenutno podnose i struje kratkog spoja. Neke izvedbe mogu uklapati (ali ne prekidati) struje kratkog spoja. Sklopke koje u otvorenom položaju ostvaruju i propisni rastavni razmak, zovu se *rastavne sklopke*. S obzirom na sposobnost vođenja, uklapanja i prekidanja struje mogu se u ovu grupu ubrojiti još sklopnici (kontaktori) i motorske sklopke. Značajka je *sklopnika* da se ne pokreću ljudskom snagom, te da imaju samo jedan položaj mirovanja u koji se vraćaju njihovi pomični kontakti kad im se pogonski mehanizam (obično elektromagnet) ne napaja energijom. Općenito su predviđeni za veliku učestalost sklapanja. *Motorske sklopke* služe za upravljanje elektromotorima. Mogu sadržavati i elemente za zaštitu od preopterećenja, a karakteristike su im prilagođene strujama zaleta i ostalih pogonskih stanja motora.

**Prekidači**, pored toga što mogu sklapati i voditi normalne pogonske struje, mogu uklapati i prekidati struje kratkog spoja; za automatsko prekidanje u kratkom spoju imaju posebne zaštitne organe. Ako im kontakti u otvorenom položaju stvaraju propisni rastavni razmak, nazivaju se *rastavnim prekidačima*.

**Pokretači** služe za pokretanje motora ili puštanje u pogon drugih trošila, te često omogućuju da pri tome određene pogonske veličine (struja, moment vrtnje) ostanu u propisanim granicama.

**Regulatori** održavaju neku pogonsku veličinu (napon, struju, snagu, brzinu, temperaturu) na praktički konstantnoj vrijednosti, ili je mijenjaju na odabrani način.

**Osigurači** su sklopni aparati koji taljenjem posebno dimenzioniranih elemenata (*rastalnica*) automatski otvaraju strujni krug kad struja kroz određeno vrijeme prekoračuje zadanu vrijednost. Osigurači prekidaju veće struje kratkog spoja prije nego što one narastu na maksimalnu vrijednost. Proizvode se i kombinacije sklopki, odnosno prekidača, s osiguračima, u kojima osigurači služe kao pomični kontakti ili su serijski vezani s njihovim polovima.

**Odvodnici prenapona** služe za zaštitu električnih postrojenja od prenaponskih valova, a priključuju se između električnih vodova i zemlje. Oni ograničavaju visinu udarnih prenapona, ali i amplitudu i trajanje tzv. popratne struje (koju generator šalje kroz od-