

Wysokościomierz barometryczny.



Wysokościomierz barometryczny jest trzecim najstarszym po busoli i zegarze przyrządem nawigacyjnym.

Wysokościomierz działa na zasadzie pomiaru ciśnienia atmosferycznego, zmniejszającego się ze wzrostem wysokości. Pokrętło w lewym dolnym rogu służy do ustawiania ciśnienia (okienko między 7 i 8), względem którego będzie mierzona wysokość. Wskazówka mała wskazuje tysiące metrów, duża - setki (najmniejsza działka = 20 metrów).

Nastawiać wysokościomierz można na trzy różne wartości ciśnienia atmosferycznego:

- Ciśnienie lotniska startu, oznaczane **QFE**. Wysokościomierz wskazuje wtedy wysokość względną.
- Ciśnienie na poziomie morza (**QNH**), dające dokładną wysokość względną.
- Średnie ciśnienie na poziomie morza (**QNE**), czyli **1013,2 hPa**.

Ciśnieniem QFE posługuje się wszystko co sobie fruwa swobodnie wokół swoich lotnisk z widocznością Ziemi. Taka "prawdziwa" wysokość lotu nazywa się w lotniczej frazeologii angielskiej *height*.

W przypadku korzystania z lotnisk komunikacyjnych i dróg lotniczych sprawa się nieco komplikuje. Na lotnisku startu ustawia się Wysokościomierz na ciśnienie QNH (uwaga: są wyjątki). Tę wysokość podaje się jako *altitude*. Po osiągnięciu podanej wysokości przejściowej zmienia się ustawienie na QNE i wysokość podaje się jako poziom lotu (*flight level* oznaczany FL). Poziom lotu definiuje się jako powierzchnię o stałym ciśnieniu, zatem np. FL 280 (2800 stóp - tradycyjnie podaje się poziom w hektostopach) jest tym samym poziomem dla wszystkich samolotów, niezależnie od miejsca startu.

Takie informacje jak ciśnienie QNH i poziom przejściowy są podawane przez służbę kontroli lotniska razem z informacją o warunkach meteorologicznych na lotnisku. Przez radio są stale podawane informacje ATIS (dotyczące danego lotniska) i VOLMET (dla pobliskich lotnisk w kraju i krajach ościennych). Można ich posłuchać przez telefon: ATIS Warszawa - Okęcie (0-22) 650 21 11, VOLMET (0-22) 650 21 12. Cierpliwy automat głądzi przez całą dobę. Natomiast informacje o najniższym dozwolonym poziomie lotu w obrębie dróg lotniczych i rozmaitych stref są umieszczone na mapach lotniczych.

Poziomy lotu są ustalane co 200 stóp do poziomu 290 (2900 stóp), a powyżej co 400 stóp. W obrębie dróg lotniczych obowiązuje tzw. połówkowy podział poziomów lotu. Samolotom lecącym z kursami od 360 do 179 stopni kontrola ruchu lotniczego przydziela poziomy nieparzyste, a od 180 do 359 stopni - parzyste. Nie jest to reguła ważna na całym świecie - aż roi się od wyjątków.

Do wysokościomierza jest doprowadzone ciśnienie statyczne z rurki spiętrzeniowej Pitota albo z rezerwowego punktu poboru ciśnienia. Punktem takim jest niewielki otworek w pokryciu kadłuba, umieszczony w starannie wybranym miejscu. Często znajduje się on pod bocznym oknem kokpitu, na starannie wypolerowanym kawałku poszycia, z czerwonym napisem "DO NOT PAINT".



Tak przy okazji przypomniała mi się ciekawostka. Wysokościomierz (a szczególnie puszka aneroidowa) musi być czuły, a jednocześnie odporny na wibracje i wstrząsy, które w samolotach z napędem tłokowym są rzeczą normalną. Zatem czułe elementy wysokościomierza wykonuje się grubsze, niż by wypadało - wibracja od silników spowoduje, że wskazania będą dokładne. Stąd u szybowników

nawyk stukania palcem w szybki wysokościomierza. Na dużych samolotach turbinowych,

gdzie wibracji w kokpicie praktycznie nie ma, wysokościomierze mają zamontowany wibrator, zasilany z pokładowej sieci napięcia zmiennego.

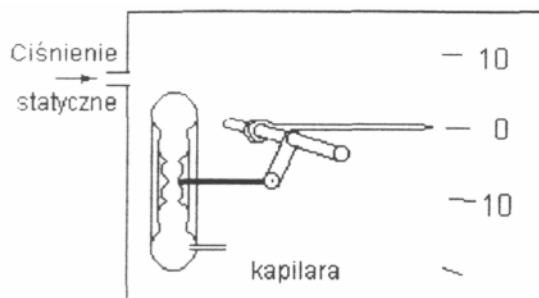
Od początku lat siedemdziesiątych w większych samolotach pasażerskich instalowano wysokościomierze serwopneumatyczne, w których ciśnienie statyczne jest doprowadzone do przelicznika danych aerodynamicznych (Central Air Data Computer- CADC). Zadaniem CADC jest kompensacja błędów pomiaru, wynikających ze zmiennej ściśliwości powietrza, opływu kadłuba itp. W przypadku awarii CADC wysokościomierz pracował bez korekcji, wtzw. trybie bezpośrednim. W późniejszych konstrukcjach stosowano przeliczniki danych aerodynamicznych,ysterowujące elektryczne wskaźniki wysokości, umieszczone w kokpicie. Podobnie jest rozwiązane wysyłanie informacji o wysokości do FMS. Dodatkowo stosuje się rezerwowy przyrząd o tradycyjnej konstrukcji.

Oddzielnym typem wysokościomierzy wysokościomierze kodujące (tzw. enkodery), przekazujące informację o poziomie lotu do transpondera radaru wtórnego. Ich konstrukcja i zasada działania jest taka sama, jak zwykłych wysokościomierzy, z tym, że mają wewnątrz tarczę kodową, obracającą się wraz z małą wskazówką. Czytnik optyczny odczytuje z tarczy wysokość w postaci kombinacji przezroczystych i nieprzezroczystych pól. Kod wysokości jest wysyłany do transpondera w postaci sygnałów elektrycznych. Jako że enkoder jest ustawiony stale na ciśnienie standardowe ONE, często spotyka się enkodery bez skali i wskazówek, umieszczane gdzieś głęboko w trzewiach samolotu.

Wariometr



Wariometr służy do pomiaru prędkości pionowej statku powietrznego. Na szybowcach jest podstawowym przyrządem pilotażowym - według wariometru określa się położenie, rozmiar i siłę termicznych prądów wznoszących. Skala wariometru jest wyskalowana w dziesiątkach metrów na sekundę; w górę od położenia neutralnego jest wskazywana prędkość wznoszenia, w dół - opadania.



Pod względem konstrukcji wariometr jest bliskim krewnym wysokościomierza. Puszka aneroidowa wariometru nie jest szczelna - zmiana ciśnienia statycznego wyrównuje się powoli przez rurkę włosowatą (kapilarę). Gdy doprowadzone ciśnienie statyczne przestanie się zmieniać, ciśnienie w puszcze i na zewnątrz wyrówna się i wskazówka wróci do położenia neutralnego.

Przy szybkich zmianach prędkości pionowej czas ustabilizowania wskazań może dochodzić do 10

sekund, więc w samolotach akrobacyjnych montuje się wariometry natychmiastowe w których specjalny mechanizm niweluje opóźnienie wskazań wariometru. Oprócz wariometrów membranowych (z puszką aneroidową) spotyka się dokładne wariometry skrzydełkowe i przepływowe.

Czasem w szybowcach spotyka się wariometry energii całkowitej, które wskazują tylko prędkość pionową otaczającego powietrza, co jest pomocne do oceny wznoszeń w kominach termicznych. Wariometry energii całkowitej pobierają ciśnienie statyczne z tzw. zwężki Venturiego.

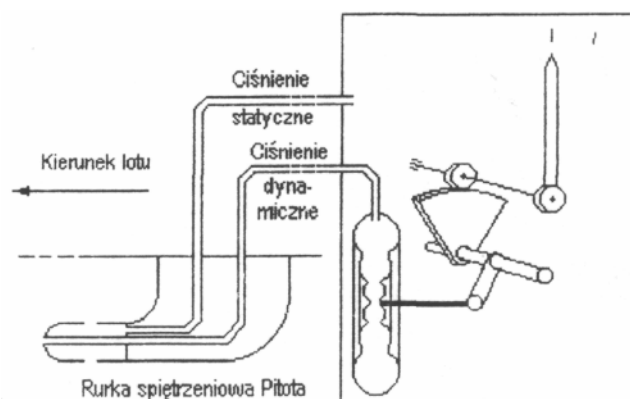


Prędkościomierz ma zasadnicze znaczenie w pilotażu, zważywszy, że samolot leci dzięki prędkości. Powodzenie wielu manewrów, szczególnie w krytycznych fazach lotu (start i lądowanie) zależy od utrzymania prędkości w dość wąskim zakresie. Prędkościomierz lotniczy mierzy ciśnienie dynamiczne strug powietrza napierających na samolot w ruchu. Skaluje się go w km/h albo w węzłach, czyli milach morskich

na godzinę. Twierdzenie jakoby prędkościomierz samolotu An-2 był skalowany w kilometrach na kwartał jest wrogą propagandą.

Konstrukcyjnie jest właściwie manometrem różnicowym, mierzącym różnicę między ciśnieniem dynamicznym z rurki Pitota a ciśnieniem statycznym. Elementem pomiarowym jest pospolita puszka membranowa.

Typowe prędkościomierze lotnicze mają jeszcze układ kompensujący wpływ temperatury i tarcia mechanizmów (na rysunku nieobecny).



Taki zwykły prędkościomierz wskazuje tzw. prędkość przyrządową albo wskazywaną (IAS - Indicated Airspeed), która nie uwzględnia zmiany gęstości powietrza z wysokością lotu (im mniejsze ciśnienie atmosferyczne, tym powietrze bardziej "oszukane"). Prędkość lotu poprawiona o wartość wynikającą ze zmiany gęstości powietrza nazywa się rzeczywistą (TAS - True Airspeed). Prędkościomierze z kompensacją ciśnieniową mają dwie

wskazówki: IAS i TAS. jeżeli samolot nie ma prędkościomierza TAS, trzeba liczyć na piechotę: poprawka wynosi około 2% wartości wskazywanej na każde 300 m (1000 stóp).

Czasem ludziska pytają, po co te kombinacje, czemu nie mierzyć prędkości po ludzku, względem Ziemi. A owszem, istnieje taka prędkość GS, czyli ground speed, którą czasem wylicza się dla określenia np. czasu przylotu nad jakiś punkt. Tylko jedna drobnostka. Otóż lecieliśmy sobie ze znajomym pilotem na Wildze. Prędkość słuszna, samolot siedzi w powietrzu jak w imadle, tyle że pod wiatr. A w dole pociąg "elektryczny" do Siedlec zabiera się do wyprzedzania, i pewnie jak zwykle opóźniony, cholera.

Prędkościomierze przeznaczone dla konkretnego typu samolotu mają wokół skali zaznaczone cztery kolorowe sektory:

- Biały - zakres używania klap.
- Zielony - zakres normalnych prędkości użytkowych.
- Żółty - zakres prędkości dopuszczalnych.
- Czerwony - nieprzekraczalna granica prędkości.

Tak w ogóle, to lista "świętych" dla danego typu samolotu prędkości, które pilot powinien znać na pamięć, jest dosyć długa.

CAS (calibrated airspeed) - prędkość równoważna lotu, czyli prędkość poprawiona o współczynnik wynikający z konfiguracji samolotu i położenie rurki spiętrzeniowej na kadłubie.

EAS (equivalent airspeed) - CAS z poprawką na ściśliwość powietrza (do 470 km/h nie uwzględnia się).

V_i - prędkość decyzji, czyli prędkość krytyczna startu. Powyżej tej prędkości startu nie można przerwać. Zależna od masy startowej samolotu i stanu drogi startowej (sucha czy mokra).

V_A - maksymalna prędkość, przy której maksymalne wychylenie powierzchni sterowych nie powoduje jeszcze nadmiernych obciążeń struktury samolotu.

V_R (rotation speed) - prędkość podniesienia przedniego podwozia przy starcie.

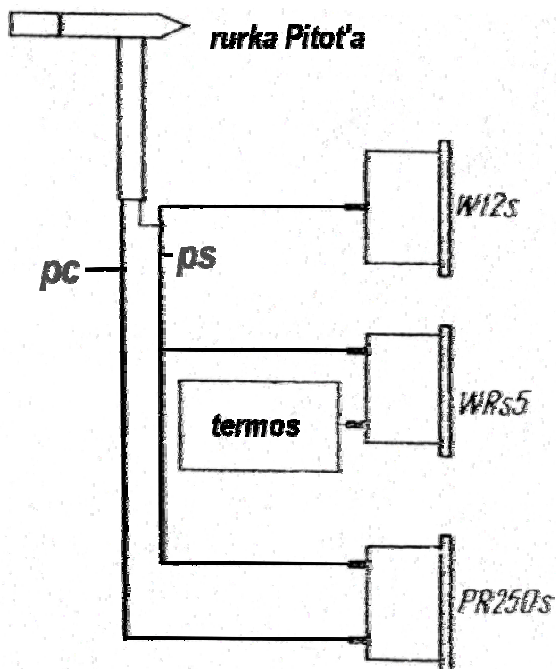
- V_S (stalling speed) - prędkość przeciągnięcia, czyli minimalna IAS, przy której samolot jest jeszcze sterowny.
- V_{SO} - prędkość przeciągnięcia w konfiguracji do lądowania (podwozie plus kłapy), bez ciągu silnika.
- V_{Si} - prędkość przeciągnięcia bez podwozia i kłap (też bez ciągu silnika). V_x - prędkość najbardziej stromego wznoszenia. V_Y - prędkość maksymalna we wznoszeniu.
- V_{Lo} (maximum landing gear operating speed) - maksymalna IAS, przy której można wypuścić podwozie.
- V_{LE} (maximum landing gear extended speed) - maksymalna IAS z wypuszczonym podwoziem.
- V_{NO} (maximum normal operation speed) - najwyższa prędkość IAS w normalnej eksploatacji samolotu.
- V_{NE} (never-exceed speed) - prędkość IAS, której nie wolno przekraczać w jakichkolwiek warunkach.
- V_{ZF} - minimalna bezpieczna prędkość manewrowania.
- V_{DF} - maksymalna sprawdzona prędkość nurkowania.

Wcale nie twierdzę, że to już wszystkie. Po prostu coś (*świń morski* ?) zeżarło mi pół strony w "kapowniku". A dla samolotów wielosilnikowych dochodzi jeszcze parę prędkości:

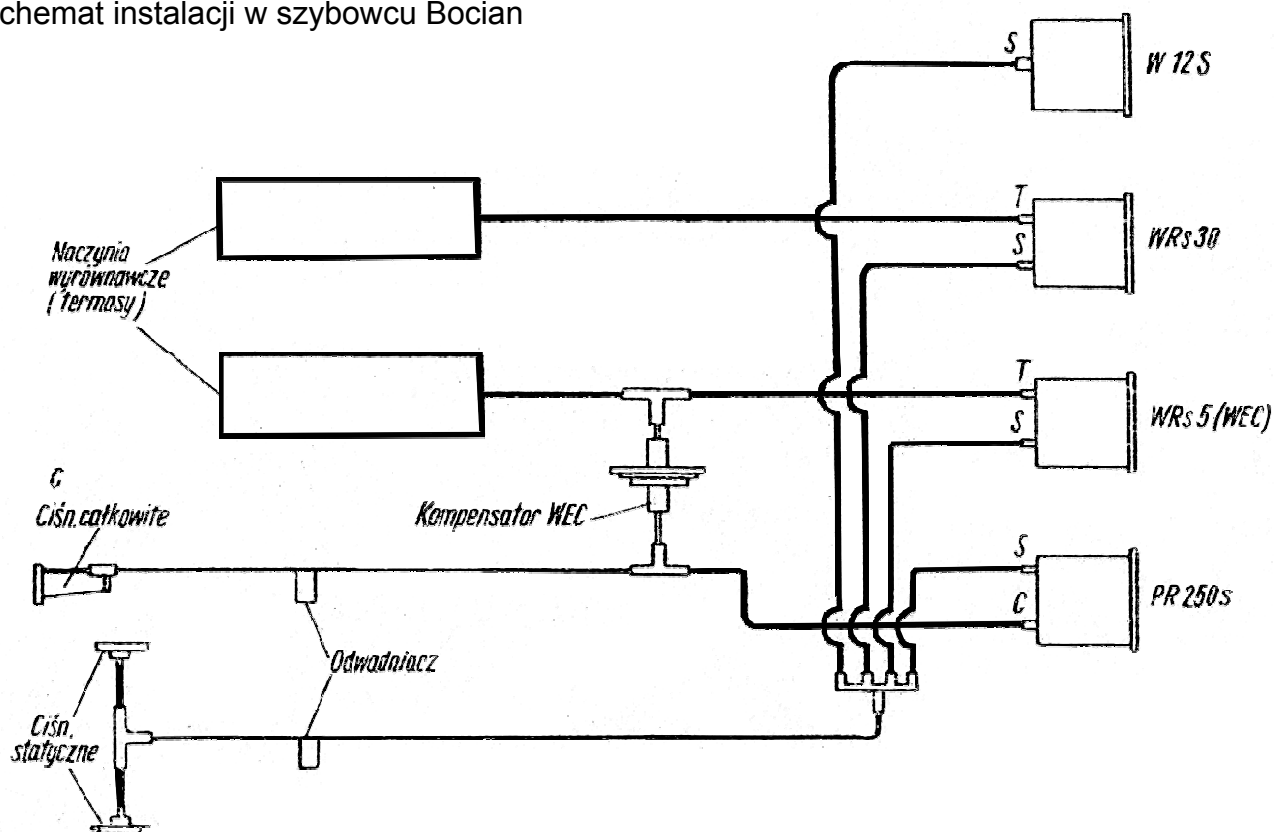
- V_{Wa} - prędkość zapewniająca minimalne wznoszenie na jednym silniku (dla dwusilnikowych).
- V_2 - minminimalna bezpieczna prędkość startu na jednym silniku (dla dwusilnikowych).
- V_{MC} (minimum control speed) - minimalna prędkość lotu sterowanego na jednym silniku (dla dwusilnikowych).
- V_{SSE} - minimalna prędkość dla zamierzonego wyłączenia jednego silnika (w celach treningowych)
- V_{XSE} - prędkość najbardziej stromego wznoszenia na jednym silniku (dla dwusilnikowych).
- V_Y - prędkość maksymalna we wznoszeniu na jednym silniku (dla dwusilnikowych).

Schemat podłączenia przyrządów pneumatycznych do instalacji.

Schemat instalacji w samolocie



Schemat instalacji w szybowcu Bocian



W12s – wysokościomierz

WRs 5 – wariometr (tzw. "piątka")

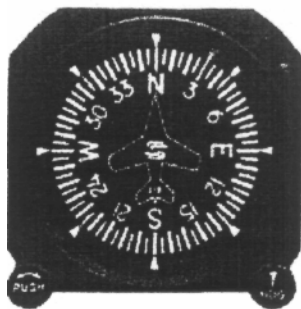
WRs30 – wariometr (tzw. "trzydziestka")

PR250s - prędkościomierz

WEC – kompensator energii całkowitej

Zestaw KWEC + WRs5 tworzy tzw. wariometr energii całkowitej (pokazujący ruch pionowy powietrza wokół szybowca)

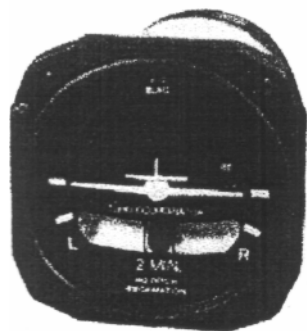
Żyroskopowe przyrządy pilotażowe.



Najstarszym lotniczym instrumentem żyroskopowym jest żyrokompas. Skonstruowany przez Elmera Sperry pierwotnie dla statków oceanicznych, po zmniejszeniu do rozsądnych rozmiarów zawojował lotnictwo. Działa na zasadzie żyroskopu, który, jeśli wiruje, stara się zachować położenie swojej osi. Pionowo ułożony krążek żyroskopowy jest zawieszony na przegubie Cardana, przez co stała orientacja krążka w przestrzeni jest stała. Obrót samolotu wokół żyroskopu jest przekazywany na 360-stopniową skalę.

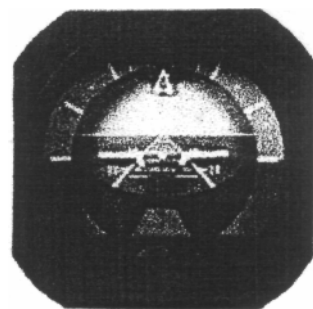
Układ Cardana z żyroskopem może być umieszczony w samym przyrządzie albo poza nim. W tym drugim przypadku mechanizm żyrokompasu jest umieszczony w hermetycznym termostacie, a wskaźnik na tablicy przyrządów (elektromechaniczny lub elektroniczny) jest z nim połączony elektrycznie.

Do okresowej aktualizacji wskazań (uzgadniania) żyrokompasu używano połączonych z nimi busol magnetycznych. Wtedy taki układ nazywa się busolą żyromagnetyczną. Precyzyjna tzw. busola odległościowa umieszczona jest z dala od źródeł pól magnetycznych (elementów stalowych, odbiorników energii elektrycznej, przewodów), najczęściej w końcówce skrzydła i jest elektrycznie połączona z resztą układów.



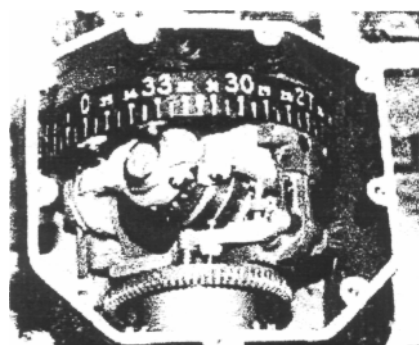
Zakrętomierz pozwala wykonywać idealne zakręty bez wyślizgu czy ześlizgu. Połączona z żyroskopem sylwetka samolotu pokazuje głębokość (prędkość kątową) zakrętu. Kulka daje pojęcie o kierunku siły odśrodkowej - musi pozostawać w zaznaczonym polu. Zakrętomierz może być wykonany jako koordynator zakrętu (na zdjęciu) albo wskaźnika zakrętu, z pionową wskazówką zamiast sylwetki samolotu. Niezależnie od wykonania bywa zmorą początkujących pilotów (wiem coś o tym).

Sztuczny horyzont to podstawa lotów bez widoczności. Nocą albo w chmurach "nie ma na czym oka zawiesić" i ludzki zmysł orientacji przestrzennej paskudnie zawodzi.



Sztuczny horyzont wskazuje rzeczywiste przechylenie i pochylenie samolotu w przestrzeni. Zawieszenie żyroskopu w sztucznym horyzoncie ma trzy stopnie swobody, ale w standardowym wykonaniu może wykonać obrót o 360 stopni tylko w płaszczyźnie poziomej - w pozostałych ma ograniczenia. Istnieją sztuczne horyzonty akrobacyjne, którymi można kręcić bez ograniczeń. Wielu pilotów po cichu wyznaje, że po godzinie lotu w chmurach ta jego pewność siebie wydaje się podejrzana.

Z połączenia żyrokompasu i sztucznego horyzontu powstały pierwsze autopiloty. Przyrządy żyroskopowe sterowały siłownikami włączonymi w system sterowania samolotem, stabilizując położenie w dwóch płaszczyznach. Dawne autopiloty były urządzeniami hydropneumatycznymi, bez żadnej elektroniki czy innych takich głupot.

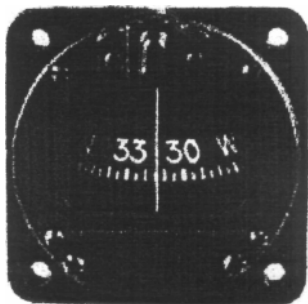


Długo utrzymały się w użyciu przyrządy żyroskopowe napędzane sprężonym powietrzem. Były niezawodne, ponieważ nie miało się co psuć; łopatki turbinki Kapłana były wykonane bezpośrednio na obwodzie krążka. Ponadto były lekkie, tanie i nie obciążały instalacji elektrycznej. Wadą była niska dokładność, spowodowana małą prędkością obrotową krążków i siłami w zawieszeniu żyroskopu, wywołanymi ciśnieniem doprowadzanego

powietrza. Pneumatyczne układy korekcyjne co prawda istniały, ale przez swą misterność opuszczały dziedzinę mechaniki precyzyjnej, sięgając wyżyn sztuki. Obok żyrokompas pneumatyczny Sperry z 1950 roku

Przyrządy żyroskopowe o napędzie elektrycznym są znacznie dokładniejsze i stabilniejsze. W dawniejszych samolotach komunikacyjnych były w sumie trochę hałaśliwe, ponieważ wymagały przetwornic elektromaszynowych, zamieniających napięcie instalacji (najczęściej stałe 27 V) na trójfazowe 36 V 400 Hz. Całe rzędy takich małych, wyjących przetwornic widywało się na dole stojaków aparatury, upchniętych przeważnie gdzieś między kokpitem a kabiną pasażerską. W nowoczesnych samolotach stosuje się przetwornice elektroniczne, bez części ruchomych, a co hałaśliwsza aparatura jest ukryta w oddzielnych przedziałach. Te dziwaczne parametry napięć zasilających nie służyły, jak twierdzą profani, upamiętnieniu bitwy pod Grunwaldem, ale były kompromisem w gąszczu sprzecznych wymagań. Napięcie trójfazowe daje możliwość stosowania silników bezszczotkowych (trwałość i brak zakłóceń), wyższa od "lądowej" częstotliwość zwiększa sprawność układów indukcyjnych (małe wymiary silników i transformatorów, małe straty ciepłe). Z drugiej strony częstotliwość jest na tyle mała, że nie trzeba cudów techniki do generacji dużych prądów, a przewody zasilające nie powodują zbytnich zakłóceń. Natomiast samo napięcie jest kompromisem między bezpieczeństwem obsługi, koniecznością zapewnienia odporności izolacji, itp., a wymaganymi przekrojami przewodów (waga!). A w samolocie jest tego dużo. Nie pamiętam długości drutu, wywleczonego z Boeinga 767, ale tej liczby używa się do zadziwiania publiczności. Z tego właśnie powodu w nowoczesnych samolotach jako zasadnicze napięcie instalacji elektrycznej przyjęto 110V 400Hz.

Busola magnetyczna.

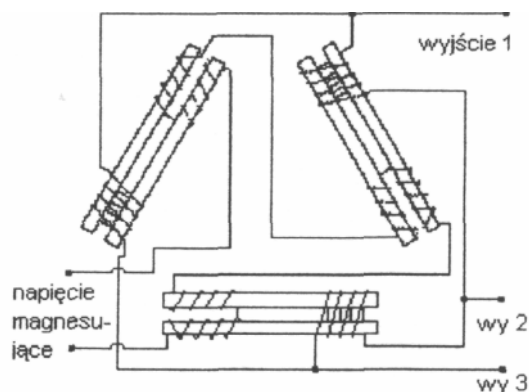


Busola magnetyczna służy do określania kursu magnetycznego samolotu. Jak działają typowe busole wie chyba każdy: namagnesowana oś północ - południe ustawia się wzdłuż linii ziemskiego pola magnetycznego, itd. Lotnicze busole wykonane są w postaci pływaka ze skalą w stopniach, zawieszonego wahliwie w zbiorniczku z cieczą. Taka konstrukcja zapewnia niewrażliwość na przechyły i tłumienie oscylacji wywołanych wstrząsami i manewrami.

Jako że busole lotnicze są montowane na samolotach zawierających spore masy stalowe, trzeba je okresowo regulować. Nazywa się to kompensacją busoli. Służą do tego wbudowane w busolę zestawy ruchomych magnesów, których obracaniem likwiduje się błędy wskazań. Do kompensacji ustawia się samolot z busolą na płycie kompensacyjnej lotniska, czyli w miejscu wokół którego dokładnie zaznaczono kierunki magnetyczne.

Efektowne busole zabudowywane w kokpicie są obowiązkowym elementem wyposażenia, ale bardziej jako tradycja i "ostatnia deska ratunku". Z tym ostatnim - uwaga: to nieprawda, że busola jest wypełniona spirytusem. Zwykle jest to ligroina - trująca i wstrętne w smaku. Kiedy żyroskopowe układy nawigacyjne mają być uaktualniane przez busolę, używa się precyzyjnej busoli odległościowej, umieszczonej z dala od źródeł pól magnetycznych (elementów stalowych, odbiorników energii elektrycznej, przewodów), najczęściej w końcówce skrzydła. Busola taka przekazuje swój odczyt w postaci sygnałów elektrycznych.

Wadami busol są bezwładność elementów ruchomych i fakt, że bliżej biegunów Ziemi wskazania są niedokładne (siły działające na igłę magnetyczną są bardzo małe). Dlatego w nowszych konstrukcjach zamiast busol stosowano indukcyjne czujniki pola magnetycznego.



Czujnik składa się z trzech sond ułożonych pod kątem 120 stopni względem siebie. Ze stosunku sił elektromotorycznych na wyjściach uzwojeń sond odczytuje się kierunek północy magnetycznej.

Zmienny prąd magnesujący rdzenie sond jest niezbędny, ponieważ stałe pole magnetyczne Ziemi nie jest w stanie namagnesować stalowego rdzenia. Dopiero przy przemagnesowywaniu na przemian w jedną i w drugą stronę widać wpływ magnetyzmu ziemskiego. Zgodnie z kierunkiem sił pola ziemskiego namagnesowanie rdzenia będzie silniejsze a odwrotnie – słabsze.

Zegar w lotnictwie.

Zegar na panelu przyrządów jest zawsze. W samolotach komunikacyjnych, zaopatrzonych w komputer nawigacyjny, przyrządy radionawigacyjne i masę innych rzeczy, zegar ginie wśród innych instrumentów. A tak naprawdę, to na potrzeby nawigacji lotniczej pracuje sporo rozmaitych zegarów, zarówno na pokładzie samolotu, na łodzi a także w przestrzeni okołoziemskiej. Od zarania nawigacji przyrząd mierzący upływ czasu zalicza się do narzędzi podstawowych. Pojęciem czasu, a konkretnie jego pomiarem, posługujemy się właściwie stale. Kolejność wydarzeń określamy umieszczając je na skali czasu, liczonej od momentu powszechnie uznanego za początek. Tą skalą mierzymy także czas trwania zjawisk lub procesów. Przebytą drogę zlicza się według prędkości i upływu czasu, częstotliwości określa się mierząc czas jednego okresu, wypuszcza się fale radiowe i mierzy czas, po którym wrócą ich odbite albo odesłane resztki, aby określić odległość. A to tylko kilka z masy rzeczy, zależnych od pomiaru czasu.

Pomiar czasu jako taki, polega na przyrównywaniu mierzonego przedziału czasu do jednostki, czyli wzorca. Za wzorzec czasu przyjmuje się zjawisko okresowe o możliwie dużej stałości okresu. Najdawniejszymi wzorcami czasu były zjawiska astronomiczne: okres obiegu Ziemi dookoła Słońca wynosi rok, obrót Ziemi wokół osi - dobę. Krótsze od doby okresy czasu wyznaczał zegar słoneczny. Przy braku słońca albo nocą czas odmierzano rozmaitymi patentami w rodzaju klepsydr czy świec ze skalą. Kryła się w tej praktyce pewna śmieszność: okresy czasu odmierzane taką np. klepsydrą były, owszem, niedokładne, ale z grubsza jednakowe, w przeciwieństwie do godzin słonecznych. Jeżeli tarczę zegara słonecznego podzieli się na równe sektory, godziny poranne i popołudniowe są krótsze niż te koło południa.

Kto i kiedy wpadł na pomysł wytwarzania zjawisk okresowych krótszych od doby bliżej nie wiadomo, i zastanawianie się nad tym nie ma sensu; przecież darcie się na służbę, żeby obrócić klepsydrę, to też zjawisko okresowe. W każdym razie najstarsze zegary mechaniczne są datowane na początek XIV wieku. Były one przeważnie budowane w wieżach, miały napęd obciążnikowy i, dla tradycji, wskazywały nierówne godziny. Jako okresowy regulator chodu stosowano wówczas tak zwane wrzeciono (inaczej szpindel), układ taki sam jak w napędzie młoteczka budzika mechanicznego, ale zaopatrzony w masywne przeciwwagi (kolebnik) dla wydłużenia okresu wahań. Zegary tego typu były niedokładne, ponieważ okres wahań kolebnika zależał bardzo silnie od siły napędu. Tym niemniej szpindel z kolebnikiem bardzo długo był jedynym znanym regulatorem chodu. Budowano nawet zegary noszone, tzw. jaja norymberskie (pierwszy zbudował w 1510 r. Piotr Henlein z Norymbergi). Taki regulator spotyka się jeszcze w minutnikach kuchennych - pewnie dlatego nigdy mi nie wychodzą jajka na miękko.

Budowę dokładnych zegarów zapoczątkowało dopiero zastosowanie wahadła. Już Galileusz zaobserwował, że okres ruchu swobodnego wahadła zależy od jego długości, a nie od amplitudy wychyleń. W 1656 roku holenderski uczonec (i przy okazji świetny technik) Christian Huygens zbudował zegar wahadłowy o niewiarygodnej dokładności 1 minuty na dobę. Tenże Huygens był wynalazcą balansu, czyli kółka na osi ze spiralną sprężyną, mającego tę samą właściwość co wahadło.

Pewnie ci z Was, którzy wytrwali aż do tego miejsca, pytają w duchu co to wszystko ma wspólnego z nawigacją. Otóż dużo (a poza tym bardzo lubię zegary) Od dawna było wiadomo, że dokładny pomiar czasu jest podstawą działania najwspanialszego systemu radionawigacyjnego wszechczasów - astronawigacji (światło widzialne to też fale elektromagnetyczne).

W miarę posuwania się na Zachód obserwowane południe słoneczne, czyli moment górowania Słońca, wypada coraz później. Opóźnienie to, liczone od południka, na którym nasz zegar precyzyjnie wskazywał południe słoneczne, umożliwia łatwe określenie południka, na którym poczyniono obserwację, inaczej mówiąc określenie aktualnej długości geograficznej. Potem wypada już tylko wyliczyć szerokość na podstawie kątowej wysokości Słońca nad horyzontem. Nocą można użyć charakterystycznych gwiazd stałych. Oczywiście jest to brutalne uproszczenie, ale przecież mam pisać o zegarze.

Tymczasem żeglowano sobie wzdłuż brzegów, co najwyżej odważając się na jakiś skrót

ze znanym kursem. Jak ktoś wybierał się na oceany, to miał do dyspozycji kompas, parę przyrządów astronomicznych i wielką odwagę. Wyruszał albowiem dosłownie w nieznane: nie wiedział co go spotka, ani gdzie właściwie jest. Kolumb do końca życia nie wiedział, co odkrył, a Korteż nie zastanawiał się gdzie, tylko ile można ukraść.

Zegary nie sprawdzały się na pokładach okrętów. Kolebnikowe były niedokładne, balansowe niewiele lepsze, a wahadłowe w ogóle nie mogły działać. Problem leżał nie tyle w konstrukcji oscylującego obiektu, ile w tym, że aby mógł on utrzymywać stały okres, musi być możliwie swobodny (Galileusz się kłania !). Innymi słowy, potrzebny był wychwyt, czyli mechanizm, który odbierze od czegoś merdającego się impuls zliczania czasu, a potem jeszcze przekaże temu czemuś energię do dalszego merdania. Wszystko jak najdelikatniej i w jak najkrótszym czasie, aby nie zakłócić ruchu. A wrzeczono, naciskające stale na regulator, nie nadawało się do tego zupełnie.

Najlepsze wyniki miał wychwyt kotwicowy, pomysłu Anglika Williama Clementa (1671), gdzie balans lub wahadło łączył z resztą mechanizmu element zwany kotwicą (nawet w dzisiejszych wykonaniach kształtem przypomina kotwicę statku). Długi trzon kotwicy na ułamek sekundy sprzęgał się z wahadłem, a dwa odpowiednio ukształtowane ramiona pozwalały kołu ze skośnymi zębami (tzw. wychwytem) przeskoczyć tylko o jeden ząbek w czasie każdego półokresu wahadła. Z udoskonalonego przez Thomasa Mudge'a wychwytu Clementa wywodzą się prawie wszystkie spotykane dziś rozwiązania zegarów mechanicznych.

W roku 1714 brytyjski parlament wyznaczył nagrodę 20 000 funtów (dziś około 2 milionów funtów) dla konstruktora zegara okrętowego, który utrzyma dokładność wyznaczenia długości geograficznej do pół stopnia na całej trasie z Anglii do brytyjskich Indii Zachodnich (Ameryka Środkowa), czyli mniej więcej dwie sekundy na dobę.

Pierwszy zegar, który spełniał te wymagania, powstał dopiero w 1761 roku, a zbudował go John Harrison, zegarmistrz - samouk. Zastosował on dwa przeciwbieżnie sprzężone balansy po 3 kg każdy i wychwyt własnego pomysłu. Jako stolarz z zawodu, Harrison zbudował swój pierwszy chronometr z drewna, ale nie była to jakaś fanaberia: konstruktor doskonale wiedział, że drewno ma bardzo małą rozszerzalność cieplną, a cieplne zmiany oporów i elastyczności sprężyn są drugim z kolei źródłem kłopotów z dokładnością zegarów. Cztery jego chronometry miały już metalową konstrukcję, pojedynczy balans i wychwyt Francuza Le Roya (bez kotwicy, znany dziś jako wychwyt chronometrowy), dzięki czemu utrzymywał dokładność około 0.2 sekundy na dobę.

Harrison zresztą do późnej starości prawował się o swoją nagrodę z kolejnymi dyrektorami królewskiego obserwatorium astronomicznego w Greenwich, które to zostało w 1840 roku uznane za źródło uniwersalnej rachuby czasu, a jego lokalny południk za południk "zero".

Dzisiejsze mechaniczne chronometry morskie mają dokładność rzędu 0.05 sekundy na dobę, ale wiele ich rozwiązań konstrukcyjnych, dotyczących kompensacji termicznej i redukcji tarcia, pochodzi z chronometrów Harrisona. W pionierskich czasach lotnictwa zegar najczęściej był "zamontowany" w kieszonce pilota, i służył głównie do kontroli czasu lotu (brak paliwomierza !). Astronawigacja lotnicza zaczęła się dopiero wraz z pocztowymi przelotami dalekodystansowymi. Wtedy dokładny zegar na pokładzie stał się konieczny, podobnie jak kopułka astronawigacyjna do wykonywania obserwacji nawigacyjnych. Kopułkę "astro" spotyka się jeszcze w samolotach z lat pięćdziesiątych.

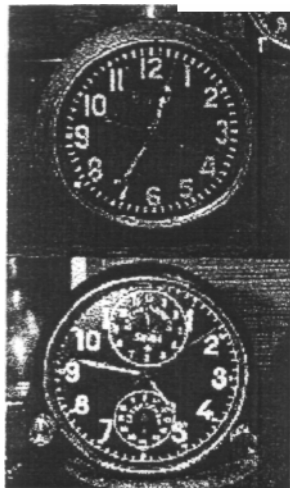
Klasyczne zegary lotnicze są zwykłymi precyzyjnymi zegarami mechanicznymi z wychwytem tzw. szwajcarskim, dość podobnym do genialnej konstrukcji Clementa z roku 1671. Zwyczajowa nazwa "chronometry" jest myląca - w zegarach lotniczych nigdy nie stosowano mechanizmów chronometrowych z powodu ich wrażliwości na wstrząsy. Prawdziwymi chronometrami były tylko chronometry morskie, chociaż od roku 1954 oficjalny certyfikat chronometru wydaje się zegarom niezależnie od konstrukcji.

Dobre mechaniczne zegary lotnicze działają z dokładnością 0.5 sekundy na dobę.

Na zdjęciu górnym - rosyjski zegar lotniczy z ośmiodniową rezerwą chodu, wyprodukowany w 1941 roku. Nadal na chodzie.

Poniżej popularny u nas zegar ACzS z roku 1961.

Oba zegary mają grzałkę z tyłu obudowy. Natomiast żaden z nich nie ma urządzenia



przeciwwstrząsowego, ponieważ sprężyste zawieszenie łożysk balansu co prawda chroni cienkie czopy osi, ale powoduje "zgubienie" czasu trwania wstrząsu.

Jako że samoloty z napędem tłokowym drgały stale, trzeba było wykonać cały regulator bez "wodotrysków" naprawdę dokładnie i z najlepszych materiałów.

Z czasem zegary lotnicze wzbogacono o nowe elementy: stoper, niezależną skalę do wskazywania czasu lotu, tarczę do określania czasu lokalnego, a niekiedy także w skalę rezerwy chodu.

Skoro już mowa o czasie lokalnym i czasie uniwersalnym, to właśnie one zadały zegarom mechanicznym niespodziewany cios, posługując się, żeby było dziwniej, pewnym obiecującym elementem radiotechnicznym.

Głównym bodźcem dla uporządkowania spraw związanych z czasem, który każde większe skupisko ludzkie miało swój (słoneczny), był rozwój kolei. Opracowanie rozkładów jazdy pociągów, jeżeli na trasie obowiązuje np. 300 czasów lokalnych (jak w Stanach Zjednoczonych), to lekki koszmar. Wprowadzono zatem tzw. czasy kolejowe. Był to klasyczny półśrodek, albowiem na styku linii kolejowych występowały zabawne zjawiska. W Warszawie na przykład między dwoma dworcami kolejowymi była różnica 37 minut (złośliwi twierdzą, że teraz jest więcej).

Wreszcie na Konferencji Waszyngtońskiej w roku 1884 podzielono świat na 24 strefy czasu, po 15 stopni długości geograficznej każda. Strefę zerową ustanowiono po 7,5 stopnia na wschód i zachód od południka Greenwich. W każdej strefie obowiązuje czas właściwy dla centralnego południka strefy, czyli o godzinę późniejszy w stosunku do czasu strefy leżącej na wschód. Wszyscy mają swoje południe z grubsza o dwunastej, bez wielkich wyliczeń wiadomo gdzie jest jaka godzina i jak się ma uniwersalny czas Greenwich (GMT - Greenwich Mean Time), według którego się nawiguje, do czasu lokalnego w każdym zakątku świata. Dostojni uczestnicy konferencji, co to rozprawiła się z bałaganem, otrzepali przednie łapki i poszli do swoich zajęć. Życie natomiast poszło swoim torem. W takim Kabulu na przykład, jeszcze w latach czterdziestych naszego stulecia oficjalne południe wyznaczał wystrzał z działa ustawionego przed pałacem emira. Gwardzista, obsługujący dział, co rano regulował swój zegarek według zegara w witrynie zegarmistrza (podobno Szwajcara). A zegarmistrz, człek sumienny, regulował zegar z witryny według wystrzału z działa, punktualnie w południe.

No właśnie: sprawa wzorca czasu i jego dokładnego przestrzegania na całym świecie, czyli dystrybucji czasu wzorcowego. W XIX i w pierwszej połowie XX wieku zegarami wzorcowymi były precyzyjne zegary wahadłowe, utrzymywane najczęściej przez obserwatoria astronomiczne. Od wynalezienia elektrycznego napędu wahadła i elektrycznej transmisji impulsów czasu nie miały one w ogóle tarczy ze wskazówkami - czas pokazywały tzw. zegary wtórne, połączone z regulatorem przewodem. Rozwiązanie to zostało prawie natychmiast zastosowane tam, gdzie wiele zegarów musi wskazywać jednakowy, a co ważniejsze dokładny czas: na stacjach kolejowych, w budynkach instytucji i służb publicznych, na pokładach statków. W takich sieciach czasu precyzyjny zegar pierwotny napędza zegary wtórne, będące właściwie licznikami impulsów.

Wymagania co do dostępności i dokładności wzorców czasu wciąż rosły, a wahadłowe zegary konstrukcji Rieflera lub Shortta były drogie i kłopotliwe w utrzymaniu. Ciężkie i superprecyzyjne mechanizmy w hermetycznych obudowach musiały być ustawiane w pomieszczeniach o stałej temperaturze i na masywnych fundamentach, izolujących je od drgań budynków.

Wraz z rozpowszechnieniem radia rozpoczęto nadawanie informacji o czasie, najpierw w postaci komunikatów, później także w postaci dokładnych sygnałów do zastosowań profesjonalnych.

A radio borykało się swego czasu z tym samym problemem - kłopotami z utrzymaniem stałości drgań generatorów. Fale emitowane przez radiostację powinny zajmować jak największe pasmo, czyli mieć jedną, jak najdokładniej określoną częstotliwość. Pierwsze

nadajniki radiowe wysyłały właściwie szerokopasmowe zakłócenia, tyle że modulowane. Później, co prawda, opanowano technikę generacji "czystej" fali, ale ze stabilizacją częstotliwości nadal było nie najlepiej. Rozwiązaniem okazało się znane od XIX wieku zjawisko piezoelektryczne, a właściwie jego "druga strona". Odpowiednio wycięty kawałek kryształu, pobudzany zmiennym polem elektrycznym, drga z bardzo stabilną częstotliwością, zależną od swych wymiarów i kształtu. Drgając, sam wytwarza zmienny potencjał elektryczny. Można powiedzieć,

ze "poprawia" napięcie pobudzające, i to do milionowej części procenta. Stabilizację częstotliwości nadajnika elementem z płytki kwarcu, czyli rezonatorem kwarcowym, zastosował po raz pierwszy amerykański inżynier W.G. Gady w 1922 roku. A już w roku 1929 W.A. Marrison zbudował pierwszy kwarcowy wzorzec częstotliwości, nazwany "zegarem kwarcowym".

Zastosowanie rezonatora kwarcowego w roli regulatora zegarowego było kwestią nie tyle czyjegoś genialnego pomysłu, co zapotrzebowania na precyzyjne pomiary częstotliwości ze strony radiotechniki, mocno popchniętej do przodu, trochę paradoksalnie, zastosowaniem tegoż rezonatora.

Aby wzorzec częstotliwości stał się prawdziwym zegarem, wskazującym godziny, minuty i sekundy, trzeba dość wysoką częstotliwość rezonatora zmniejszyć drogą podziału, do poziomu pozwalającego na mechaniczne (lub lepiej elektryczne) policzenie i pogrupowanie w jednostki czasu. W czasach lamp elektronowych, pierwszych tranzystorów i początków układów scalonych takie dzielniki częstotliwości były drogie, duże i prądożerne, toteż zegary kwarcowe stosowano tylko jako wzorcowe. A jest to wzorzec tak dokładny, że posługując się nim zdajemy sobie sprawę z nieregularności ruchu obrotowego Ziemi (średnio około 0.001 sekundy), i z tego, że Ziemia pomalutku zwalnia (około 0.001 sekundy na 100 lat). Dokładność kwarcowych zegarów laboratoryjnych wynosi 10^{-9} % (0. 000 000 001 %). Opanowanie produkcji układów scalonych wielkiej skali integracji umożliwiło konstrukcję użytkowych modeli zegarów kwarcowych. Były one dokładniejsze od mechanicznych, miały mało (albo i nic) podatnych na uszkodzenia części ruchomych, a ponadto praktycznie nie wymagały regulacji. W ciągu kilku lat tanie i proste w produkcji zegary elektroniczne wszelkich typów i klas zepchnęły zegar mechaniczny do roli eksponatu muzealnego lub snobistycznej biżuterii.

Oczywiście nie obyło się bez walki. Długo jeszcze zegary mechaniczne o napędzie elektrycznym konkurowały ceną i trwałością z kwarcowymi.

Najprostszą formą napędu elektrycznego był elektryczny naciąg sprężyny napędowej. Takie zegary lotnicze są spotykane do dziś - zwykle mają one kilkudniową rezerwę chodu i dodatkowy naciąg ręczny.

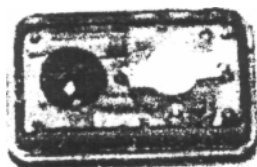
Inną formą napędu elektrycznego jest bezpośredni napęd balansu, gdzie właściwie nie ma wychwyty; pozostaje tylko mechaniczny licznik wachni. Było wiele rozwiązań elektrycznego napędu balansu, przeznaczonych głównie dla zegarów domowych. Ich zaletą był brak konieczności nakręcania. No, jeszcze niska cena -przekładnie nie przenosiły praktycznie żadnych obciążeń, więc wykonywano je z plastyku.

Jedyne w swoim rodzaju były zegary i zegarki systemu Bulova z regulatorem w postaci pobudzanego elektromagnetycznie kamertonu. Dorównywały one dokładnością zegarom kwarcowym, ale były drogie i wrażliwe na wstrząsy.



Większość produkowanych obecnie zegarów lotniczych to zegary elektroniczne. Poza typowymi funkcjami, właściwymi zegarom lotniczym, mają wiele dodatkowych: wskazywanie czasu GMT i czasów lokalnych oraz kilka timerów do przypominania o upływie nastawionego czasu (np. przewidywane czasy na punktach trasowych). Charakterystyczne dla lotniczych zegarów z wyświetlaczami jest automatyczne dostosowanie jasności świecenia do oświetlenia zewnętrznego.

Istna rewolucja, wywołana kryształkiem kwarcu, miała znacznie donioślejsze skutki dla lotnictwa, niż zmiana czasomierza pokładowego na dokładniejszy. Mianowicie powoli (ale skutecznie !) wygoniła ona astronawigację z pokładów samolotów. Na zdjęciu: wnętrze oscylatora kwarcowego (powiększenie 2x, kwarc to ten półprzeźroczysty krążek z jasną elektrodą).



Generatory stabilizowane kwarcem są idealnym środkiem do odmierzania krótkich odstępów czasu, a precyzyjne wyznaczanie zależności czasowych jest podstawą działania większości systemów radionawigacyjnych i radiolokacyjnych, a właściwie całej współczesnej elektroniki. Większość systemów pokładowych i naziemnych wykorzystuje kwarcowe źródła przebiegów taktujących (zwanymi zegarowymi) oraz częstotliwości radiowych. Ciężko wskazać profesjonalne urządzenie elektroniczne, nie zawierające czegoś takiego.

Żeby nie było za dobrze, częstotliwość rezonatorów kwarcowych zmienia się z temperaturą - niewiele, ale znacząco. Ponadto z czasem tracą one dokładność na skutek trudnych do przewidzenia zmian w strukturze krystalicznej. Dzieje się tak dlatego, że rezonator ma pewną wspólną cechę z zegarem mechanicznym: kryształ mechanicznie drga, zgodnie ze swoją częstotliwością. Prawdopodobnie na trwałość kwarcu mają wpływ defekty sieci krystalicznej, które są w każdym kryształ.

Pierwsze satelitarne systemy nawigacyjne także posługiwały się kwarcowymi wzorcami częstotliwości. Niesamowitego nakładu pracy wymagało skonstruowanie odpowiednio dokładnych zegarów kwarcowych, w dodatku zdolnych do stabilnego działania w warunkach orbitalnych. Wystarczy pomyśleć, że bez ochrony atmosfery powierzchnia sztucznego satelity jest podgrzewana przez Słońce do kilkuset stopni Celsjusza (chyba z zemsty za tę astronawigację), żeby w cieniu spaść do minus stu paru stopni. Do tego próżnia, promieniowanie kosmiczne - brr. W pierwszym satelitarnym systemie nawigacyjnym, nazwanym Transit (rok 1960), zamierzano zastosować selekcjonowane typowe kwarcze radiowe, umieszczone w potrójnym naczyniu Dewara z termostatem. Gwoli zapewnienia możliwie dużej bezwładności cieplnej, dewar zaprojektowano dość masywny, z aluminium, ale rozsypał się przy teście na wibracje. Konstruktorzy zastosowali zatem materiał z warstw metalizowanego mylaru przekładanego watą szklaną, pierwotnie pomyślany jako izolacja lodówek. Dwa pierwsze satelity systemu, budowane w warsztatach Applied Physics Laboratory, miały sprawdzić czy to w ogóle ma szansę działać. Oba pracowały po 13 lat na orbicie, a średnia stabilność częstotliwości wynosiła 10^{-10} .

Pęd do zmniejszania rozmaitych rzeczy zaznaczył się w dziedzinie wzorców czasu w sposób dość zaskakujący: zaczęło się od ogromnego Słońca i gwiazd, potem kolebniki ze szpindlem, wahadło, aż do małego kwarcu i w końcu do pojedynczego atomu. Otóż przyjęta w 1967 roku definicja sekundy głosi iż jest to "czas trwania 9192631770 okresów promieniowania, odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego cezu 133". Jest to właśnie słynny atomowy wzorzec czasu, zwany potocznie zegarem atomowym. Zasada działania wzorca atomowego jest znana od czasu powstania fizyki kwantowej. Opiera się na jednej z podstawowych własności materii, głoszącej iż atom lub molekuła może przyjąć z zewnątrz energię w postaci fali elektromagnetycznej, przechodząc tym samym na wyższy poziom energetyczny. Energia ta jest oddawana po ściśle określonym czasie, zależnym od użytego pierwiastka lub związku, i wszystko wraca do poprzedniego stanu (to są właśnie te "poziomy nadsubtelne").

Techniczne środki do realizacji idei pojawiły się pod koniec lat trzydziestych, ale działający model wzorca zbudowano dopiero w roku 1949. Był to przyrząd, romantycznie nazwany maserem amoniakalnym. Maser ów (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) działał na zasadzie pobudzenia molekuł amoniaku przez mikrofały o dość szerokim widmie częstotliwości. W zamkniętym w dziesięciometrowej rurze amoniaku następowała wymuszona emisja promieniowania, i wśród fal na wylocie rury pojawiały się

wyraźne wzmocnione te o długości 1.26 cm, charakterystycznej dla amoniaku.

Znacznie lepsze wyniki uzyskiwano używając par pierwiastków takich jak sód, cez i rubid. Pierwszy użytkowy zegar atomowy (ten amoniakalny był właściwie molekularny, nie atomowy) z 1957 roku działał z parami cezu (izotop Cs 133), traktowanymi już oszczędniej mikrofalami z zakresu 9 GHz (zastosowano stabilizację kwarcem !). Częstotliwość rezonansu atomowego cezu wynosi równo 9192631770 Hz, i taką właśnie, z dokładnością 10~12 %, otrzymuje się na wyjściu. Trzeba to wszystko policzyć, puszczać na odpowiednie dzielniki częstotliwości, i jest zegar. W Polsce pierwsze zegary atomowe zbudowano w roku 1960: maser amoniakalny w Instytucie Fizyki PAN w Poznaniu, i równocześnie wzorzec cezowy w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie.

Zastosowanie atomowych wzorców czasu umożliwiło powstanie globalnych systemów nawigacyjnych. Właściwie powinienem napisać: sztucznych systemów nawigacyjnych o zasięgu globalnym, bo system naturalny, czyli Słońce i gwiazdy, istnieje od początku świata. No cóż, systemy sztuczne są dokładniejsze od naturalnego i działają niezależnie od pory doby i pogody. Pierwszym "atomowym" był hiperboliczny system nawigacyjny Omega, którego zaledwie osiem radiolatarni naziemnych, sterowanych zegarami atomowymi, pozwalało na określenie pozycji z dokładnością 1 do 4 mil morskich niemal na całym świecie.

Największe dotychczasowe osiągnięcie w dziedzinie systemów nawigacyjnych, satelitarny system GPS Navstar także istnieje dzięki zegarowi atomowemu. Na pokładzie każdego z jego satelitów są cztery zegary atomowe: dwa cezowe i dwa rubinowe. Analogiczny rosyjski system GLONASS bazuje na zdwojonych wzorcach cezowych.

Jednak zegar atomowy nie jest idealny. Jest mianowicie za dokładny. Chodzi o to, że zjawiskami naturalnymi, wyznaczającymi rytm życia na Ziemi ze wszystkimi konsekwencjami, rządzi czas astronomiczny, wyznaczany z obserwacji. Czas wyliczony na podstawie zaobserwowanego momentu przejścia gwiazd stałych przez południk niebieski, poprawiony o współczynniki niwelujące wpływ wszystkich znanych błędów, nazywamy czasem efemerycznym albo UT1 (Universal Time 1). Otóż upływ czasu efemerycznego nie jest równomierny - trochę się spieszy w stosunku do zegara atomowego. Jeżeli takie różnice dochodzą do 0.7 sekundy, zachodzi potrzeba korekty czasu, polegającej na dodaniu pełnej sekundy (leap second) do światowej rachuby czasu. Operację taką można przeprowadzać dwa razy do roku: o północy 30 czerwca i 31 grudnia. Tak poprawiony czas GMT nazywa się czasem UTC (Universal Coordinated Time). Cóż, zakładanie się, że bieżący rok ma dokładnie ileś tam sekund, nie zawsze jest zajęciem bezpiecznym. Mało kto wie, że satelity GPS nie uwzględniają korekt czasu 1 lipca 1997 "spieszyły się" już 12 sekund. Informacja o korektach jest wysyłana przez stacje kontrolne systemu do odbiorników nawigacyjnych za pośrednictwem satelitów. Dzięki temu podają one dokładny czas UTC.

Według czasu UTC synchronizuje się wszystkie zegary na świecie. Sygnały czasu są rozmaite: od profesjonalnych, synchronizujących wzorce czasu, poprzez sygnały do kalibracji sieci przemysłowych, do sygnałów powszechnego użytku. Nadzór nad utrzymaniem i dystrybucją czasu wzorcowego na całym świecie sprawuje BIPM (Bureau International de l'poids et Measures) - Międzynarodowe Biuro Wagi i Miar, dawniej BIH - Bureau International de l'heure) w Paryżu. Utrzymanie wspólnej rachuby czasu na świecie odbywa się poprzez różne sieci dystrybucji sygnałów czasu.

Nasze zegarki i budziki synchronizujemy ręcznie według rozmaitej klasy sygnałów sieci radiowych, telewizyjnych, telefonicznych i innych. Najprostsze były zegary elektryczne, synchronizowane częstotliwością sieci energetycznej (50 lub 60 Hz). W czasach "drobnych braków na tle niewątpliwych osiągnięć" z tą częstotliwością u nas było różnie. Niektórzy pamiętają zapewne takie zegary - po kilku godzinach po wyregulowaniu pokazywały "czas astronomiczny". Najczęściej późniły się zimą a spieszyły latem.

Spytałem kiedyś znajomego, starego energetyka, dlaczego tylko u nas tak jest. Popatrzył na mnie znad okularów, po czym rzekł: "Żeby, pojmujesz, kapitałiści nam prądu nie kradli".

Coraz częściej spotyka się zegary domowe synchronizowane przez radiowe sygnały czasu do odbioru automatycznego. Przeważnie nie mają one możliwości ustawienia czasu -jeśli mogą odbierać sygnał radiowy, pracują od razu dokładnie (około 0.01 s). U nas najczęstsze są zegary pracujące według atomowego czasu z niemieckiego nadajnika DCF 77 (77.5 kHz) we Frankfurcie.

Oprócz nadajników sygnałów czasu o lokalnym zasięgu, takich jak DCF, istnieją źródła o większym zasięgu. Najbardziej znane są sygnały emitowane przez satelity GPS Navstar, zapewniające czas wzorcowy wystarczający do większości zastosowań technicznych. Na półkuli zachodniej odbiera się także sygnały retransmitowane przez geostacjonarne satelity GOES (468 MHz).

Coraz więcej osób reguluje zegarki według czasu z sieci komputerowych. Komputery pracujące w sieciach rozległych mogą korzystać z serwerów czasu atomowego. Serwery czasu atomowego są komputerami połączonymi z atomowym wzorcem czasu. Transmisja sygnałów czasu odbywa się za pośrednictwem usług sieciowych ogólnie nazywanych NTP (Network Time Protocol). Klasę dokładności serwera czasu określa się tzw. liczbą stratum. Stratum 1 oznacza źródło bezpośrednio połączone z zegarem atomowym o dokładności 10~11 s/dobę. Stratum 2 i 3 są jego "filiami", i tak dalej. Dokładność po stronie odbiorcy jest zależna od odległości i ilości węzłów sieci pośredniczących w transmisji. W internecie są dostępne różne serwery NTP, ale korzystniejsze jest użycie serwera nawet o niższym stratum, za to położonego bliżej.

W przypadku zamkniętych sieci lokalnych jeden z komputerów, najczęściej stale pracujący serwer, wyposaża się w odbiornik sygnałów np. DCF 77 albo GPS. Przy okazji: zegar synchronizowany wzorcem atomowym jest dostępny na stronie

Dariusza Flagi. Wymaga tylko przeglądarki internetowej z obsługą appletów Javy i połączenia z WWW. Bardzo praktyczna jest wersja "wolnostojąca".

Ostatnio głośno się zrobiło o pewnych pulsarach, czyli gwiazdach cyklicznie zmieniających swoje promieniowanie, które to mają być o parę zer po przecinku dokładniejsze od łaskotanych atomów cezu. I tak oto ideał czasu wrócił "do gwiazd", co prawda trochę krakowskim targiem.

Historia jak widać się powtarza - najpierw czas inny na każdym zegarze, potem już tylko inny w każdym mieście, a kiedy wydawało się, że już z czasem wszystko załatwione, wszechświat nie dał się wyregulować. Najpierw zostawił nam troszkę złudzeń, potem dopiero pokazał jacy jesteśmy mali wobec czegoś tak powszedniego jak czas.

Opracował: *Michał Olejnik*