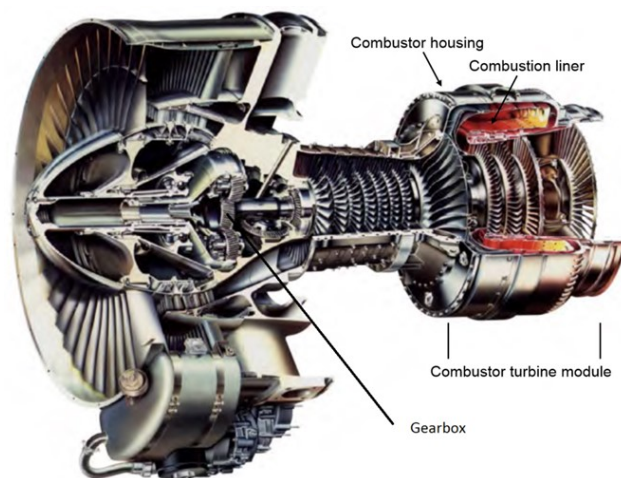


Jetmotorer med växlade fläktar

Av Claes Eriksson

Det har under lång tid funnits jetmotorer där man växlat ned varvtalet på fläktaxeln för att få lägre fläktvarvtal och större fläkt samt behållit en mindre lågtrycksturbin, som gått med högre varvtal med färre steg med mindre radie och då blivit lättare och billigare. Detta har numera blivit en vanlig lösning på nya jetmotorer då man vill gå upp i bypassförhållande med stora fläktar, som ger en bättre framdrivningsverkningsgrad och mindre buller.



Alla stora kolvmotorer hade reduktionsväxlar till sin propeller, likaså har alla turbopropmotorer en "power gearbox" där propelleraxelns varvtal växlas ned för att driva en "constant speed prop" vars anfallsvinkel kan kontinuerligt styras från flöjning till maximal dragkraft. Detta genom en egen reglerenhet "propeller electronic controller" som är kopplad till bl.a. hydraulpump "feather pump" med styrning av propellerbladen genom en "pitch control unit" ihop med en "overspeed governor", propeller avisning via "brush blocks", "beta tube" för att mäta luftens anfallsvinkel till bladen. På de senaste motorerna tex TP400M är propellerstyrboxarna integrerade i motorns styrenhet "FADEC" eller "ECU"

En av de tidigaste växlade jetmotorerna var Lycoming ALF502 för BAe146, som byggde på Lycoming T55 grundmotorn. Det är en helikoptermotor utvecklad från T53-motorn känd som motorn i UH-1 Vietnam helikoptern "Huey".

T-53 var konstruerad av Lycoming Turbine Engine Division i Stratford, Connecticut av ett team lett av Anselm Franz, som var chief designer av Junkers Jumo 004 motorn i Tyskland. Han valde att ha tyskar från Junkers på Lycoming bl a som planeringschef och produktionschef. Från en ingenjör på GE hörde jag att de tre satte sig vid pianot på Lycoming's julfester och sjöng tyska sånger från kriget.

Om T-53 var en lyckad konstruktion för sin tid kan inte samma sägas om ALF502. Prototypen YF102 utvecklades av Stratford Army Engine Plant i Connecticut genom att addera ett fläktsteg till Lycoming T55 motorn. Sex motorer byggdes för Northrop YA-9 Prototype Ground-Attack Aircraft. Dessa motorer återanvändes sedan för C-8A Quiet Short-Haul Research Aircraft (QSRA).

ALF 502 certifierades 1980 och valdes till British Aerospace 146 och Bombardier Challenger 600. Den strypta FADEC-försedda LF 507 användes på Avro RJ uppdateringen av BAe 146.

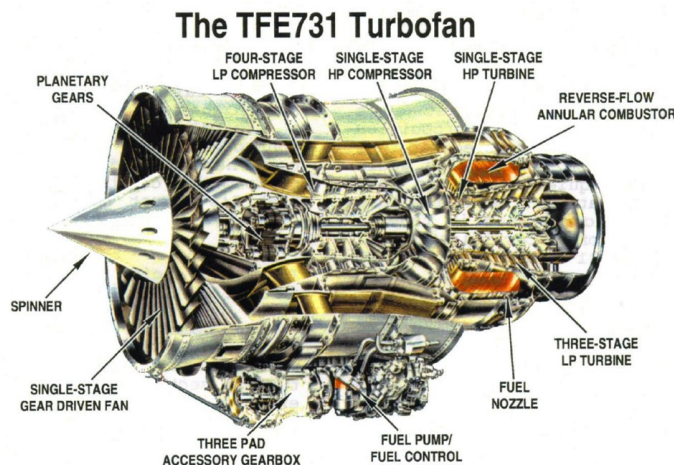
ALF502 hade massiva problem med främst oljesystemet och Malmö Aviation hade en liten motorverkstad för LF507 i Skåne för sina fyrmotoriga Avro RJ-plan.

En annan mera lyckad konstruktion kom från AI-Reaserch Garrett TFE731 utvecklad från DC-10'ans APU. Även denna hade barnsjukdomar. Det är inte lätt att ersätta en APU eller turbo-prop power gearbox med en fläkt.

Främst är det fläktinstallationen med dess axiala dragkraft som måste balanseras med trycksatt kammare bak vid lågtrycksturbinen för att alltid hålla lager No. 1 "Thrust Bearing" axialkrafterna inom lagrets tillåtna gränser. Även de som konverterar bildieselmotorer till flygmotorer har detta problem med propellerlagret förutom problem med reduktionsväxel och hög kontinuerligt uttagen effekt som belastar topplock och turbo.

Garrett Supply och Airsupply drevs av Cliff Garrett och skapade 1939 ett litet forskningslaboratorium för att bedriva "air research" i utvecklingen av trycksatt flyg för passagerarflygplan. AI Researchs första "lab" var en liten butiksbyggnad på Melrose Avenue i Los Angeles.

Att behöva skala ner sin personalstyrka till bara 600 anställda i slutet av WWII stimulerade Garrett att leta efter nya inkomstkällor. Han hittade dem i de små turbinerna som patentingenjören Walter Ramsaur hade fulländat sedan 1943. För att jetpiloter skulle kunna uthärda värmen, som genererades av luftfriktionen av flygning i överljudsart, måste man hitta ett sätt att kyla cockpit. Ramsaurs kylturbin gav svaret. Genom att använda motorns "service bleed air" luftavtappning som är varm och trycksatt genom en kylturbin sänker man både temperatur och tryck för att sedan mata in den kylda luften i cockpiten.



Växlade fläktar

När upprustningen kom igång började Garrett att producera totalt 700 tillbehörsprodukter. Med marinens beställning av en motor self-starter hade Garrett Corp. 1951 en \$120 miljon orderbok, nog för att hålla 5500 arbetare på tre skift upptagna under åtminstone de nästa tre åren.

Detta blev starten för Garretts många olika produkter, som kombinerade radialkompressorer/turbiner, planetväxlar och aluminiumgjutgods till Air Turbine Starters, Air Cycle Machines (tryckluftsdreven luftkonditionering med kompressor, fuktavtappning, kylare och kylturbin som även driver kompressorsteget för att öka på kylningens effektivitet och ha nytta av axeleffekten som uppstår i kylturbinen) och APU's. Så man kan se på motorn ovan att de kombinerat alla dessa teknologier i den växlade jetmotorn.

Denna motor finns på ett antal mindre flygplan. Sedan motorn introducerades 1972 har över 11 000 motorer byggts och flugit över 100 miljoner flygtimmar.

Den första produktionsmodellen, TFE731-2, började rulla av monteringslinjen i augusti 1972 och användes på Learjet 35/36 och Dassault Falcon 10, som båda gick i produktion 1973.

TFE731-5-modellen certifierades 1982, och ett decennium senare byggdes en motor, som använde TFE731-5 kärnmotor och en TFE731-3-fläkt och kallades TFE731-4, avsedd att driva Cessna Citation VII-flygplanet.

Den senaste versionen är TFE731-50, baserad på -60 som används på Falcon 900DX.

Lista över användningar nedan:

BAe 125/Hawker 800

Cessna Citation III/VI/VII

Dassault Falcon 10

Dassault Falcon 20 (retrofit)

Dassault Falcon 50

Dassault Falcon 900

Gulfstream G100 (ex IAI Astra)

IAI Westwind

Learjet 31

Learjet 35

Learjet 40

Learjet 45

Learjet 55

Learjet 70

Lockheed JetStar/Jetstar II

North American Sabreliner 65

Experimental Yak-40MS upgrade

Pratt&Whitney har studerat växlade fläktar under lång tid och satte A320neo motorn PW1100G i produktion och även dess mindre kusin PW1500G för Airbus A220 och PW1900G för Embraer ERJ E2 serien.



P&W försökte först bygga en växlade turboflät omkring 1998 med PW8000, som var inriktad på intervallet 25 000–35 000 lbf (110–160 kN). Detta var en uppgradering av den befintliga PW6000 som endast satt i Airbus A318 och man ersatte fläktsektionen med en växellåda och en ny enstegsfläkt och siktede på 8-10% lägre driftskostnader, motsvarande \$ 600,000 per flygplan årligen.

Det första testet av en Pratt & Whitney växlade turboflät utfördes i november 2007 i West Palm Beach, Florida. I juli 2008 döptes GTF om till PW1000G, den första i en ny rad "PurePower"-motorer. Pratt & Whitney hävdar att PW1000G är 16% mer bränslesnål än nuvarande motorer som används på regionala jetplan och trafikflygplan, samt att den är upp till 75% tystare. Som de andra växlade fläktarna hade emellertid PW1100G sina barnsjukdomar, dock inte i själva planetväxeln.

Både CFMI och P&W har genom IAE lovat Airbus att ta fram versioner av sina motorer med 35 000lbf dragkraft medan de nu endast har certifierat 33 000 lbf versioner av LEAP och PW1133G.

Ivrig att skydda sin växande närvaro på trafikflygplan som A320neo studerar Pratt uppgraderingar för PW1100G-versionen, som kommer att ge möjlighet till ytterligare dragkraft för tyngre viktapplikationer som Airbus A321XLR, samtidigt som tiden på vingen bibehålls. Fokus ligger på att leverera ytterligare kraft och tillförlitlighet för samma reducerade bränsleförbrukning som baslinjemotorn.

Växlade fläktar

Den första leveransen var till Lufthansa istället för Qatar Airways på grund av rotorböjning, eller termisk böjning, detta på grund av stigande värme i lågtrycksturbinen efter motoravstängning efter föregående flygning. Temperaturskillnader på överdel och underdel av turbinhusen gjorde att lagerlägena kom ur position och att motorn lätt ovaliserades, detta leder till att rotorn relativt till husen verkar böjd ”rotor bow”. Förskjutning av lagerläge orsakar en liten obalans och potentiellt minskas det snäva avståndet mellan främst högtryckskompressorns bladspetsar och kompressorhusets plasmanötskikt, ofta en Metco variant. Alla produktionsstandardmotorer har nu ett modifierat axelparti mellan tredje och fjärde axellagret för att hjälpa till att styva upp axeln. Detta gjorde att man inte behövde jämna ut temperaturerna och kyla husen genom att rotera motorn mha startmotorn en längre tid innan man slår på bränsle och tändning som var en initial lösning mot ”rotor bow”.

Då de indiska bolagen IndiGo och Go Air arbetar i en fuktig, varm, förorenad och salt miljö byttes 42 PW1100G motorer i förtid på dessa företags flygplan. Obligatoriska kontroller och möjliga reparationer skulle ske efter endast tre flygtimmar i stället för tio, för att upptäcka om metallpartiklar kunde komma in i oljesystemet, vilket utlöste detektorer. Pratt & Whitney upptäckte dessa problem 2015 och reviderade designen 2016 efter den 160:e motorn med förbättrade lagerutrymmen och dämpning för det tredje och fjärde lagret för att kompensera rotorböjningen. Att ha ”soft bearings” låter rotorn centrera sig själv längs sin huvudtröghetsaxel men det påverkar bladtoppspelen då rotorn kan läggas sig där den vill. Genom att öka hållbarheten av det tredje lagerhusets lufttätning certifierades den upgraderade koltätningen.

Tretton motorbyten berodde på brännkammainspektioner som avslöjade blockerade kylhål i brännkammarens flamrörsväggar, tydligen på grund av saltare luft, och Pratt & Whitney utvecklade och testade en mer hållbar brännkammardesign för att ta itu med ett ljudresonansproblem. Spirit Airlines rapporterade att motorns bleedventiler frös ihop ibland på grund av kalla temperaturer på fyra av dess fem A320neos, ett problem som också upplevs av IndiGo, vilket ledde Spirit att införa ett höjdtak på 30 000 fot (9 100 m) för sina flygplan.

År 2017 var IndiGo tvungen att ”grounda” 7st A320neo pga brist på reservmotorer som förvärrades av en ny indisk skatt på varor och tjänster som hindrade import av reservmotorer. Utan tillräckligt med reservmotorer var flygbolaget tvunget att ställa av så många som nio jetplan vissa dagar. IndiGo var tvungen att byta ut 69 motorer från mitten av 2016 till början av 2018.

Knife edge seal

I februari 2018, efter fel under flygning på PW1100G med modifierad knivseggstättning – gav EASA ut en AD för återmontering av den tidigare modellen av knivseggstättningen. Airbus stoppade nyproduktionen ett tag så att alla PW1100G motorleveranser kunde gå till kunder som reservmotorer.

För att lösa problemet kom en ny konfiguration. Under tiden påtvingade EASA och FAA att PW1100G A320neos ej hade samma bristfälliga knivseggskonfiguration på båda motorerna och förbjöd ETOPS, men den indiska DGCA gick längre och gav flygförbud på alla A320neo med en omodifierad PW1100G motor.

Motorvibrationer

I september 2018 upplevde A320neos PW1100Gs ökande motorvibrationer, ibland före 1 000 flygtimmar och mestadels vid hög effekt i stigningsfasen, vilket krävde motorbyte. Lufthansas A320neos fick flygförbud 254 dagar efter den första leveransen, 13 gånger sämre än för deras A320ceos

I oktober 2018 var cirka 10 P&W-drivna A320neos vanligtvis fast på backen för motorreparationer vid en viss tidpunkt.

Oxidation

Pratt & Whitney har sänkt livslängden på PW1500G (installerad på Airbus A220) och PW1900G (installerad på Embraer E190/E195-E20) fläktskiva efter att skador upptäcktes under rutinmässig motoröversyn. Dessa oxidationsskador minskar lågcykel utmattningskapaciteten och kan leda till sprickbildning innan komponenten når sin livslängd.

En ny Airbus A220-300 som flögs med airBaltic omdirigerades till Bordeaux, Frankrike, efter att besättningen tvingats stänga av vänster motor på grund av ett problem. Flygplanet levererades till flygbolaget i december 2019.

PW1500G motorn sitter på Airbus A220. Den 13 oktober 2018 stängdes en schweizisk A220-motor av efter att en felaktig O-ringtätning på motorns oljekylare lett till en oljetrycksförlust.

Den 25 juli 2019 hade en Airbus A220-300 vid Swiss International Air Lines en motoravstängning (IFSD) och omdirigerades till Paris-Charles de Gaulle. Fläktsteget på dess PW1500G havererade, separerade och lämnade motorn medan planet steg genom 32 000 fot.



På PW1500G motorn så är fläktdisken och fläktbladen integrerade i en blisk ”Integrally bladed rotor”, dessa saknar då dämpningen som en bladad disk har i fläktbladsinfästningen där man ofta har flera lager av nötskydd som plasma ”CuInNi” och bakad torrfilm ”Molybdenendisulfid”. Så en blisk är då mera känslig för vibrationer. I detta fall var det en High Cycle Fatigue ”HCF” driven spricktillväxt som startade i fläktbladets framkantsradie. En resonans mellan fläktvarvtal och steg 3 LPC bladen som går med olika varvtal pga den nedväxlade fläkten, även en akustisk ton genererad av 2.5 bleed ventilerens kanal vid höga varvtal och speciella atmosfäriska förhållanden. En EEC mjukvaru-uppdatering som ändrade LPC kompressorns variabla ledskene-schema ökade chansen för fläktbladsfladder.



Den 16 september 2019 inträffade en liknande olycka strax innan planet nådde 10 000 fot och besättningen återvände till Genève. Inspektionen visade att fläktrötorn hade separerat och att det fanns ett hål i fläkthuset. Den 26 september 2019 utfärdade FAA ett luftvärdighetsdirektiv som föreskrev boroscope-inspektioner av motorerna.

Den 15 oktober 2019 gick en annan motor sönder och besättningen omdirigerades till Paris-Charles de Gaulle. Swiss parkerade sin flotta för inspektion, men återtog några flygplan till flygstatus samma dag efter motorkontroller

Efter dessa motorfel utfärdade Transport Canada ett "Emergency AD" som begränsade motoreffekten till 94% av N1 över 29 000 fot (8 800 m), vilket kopplade bort autothrottle för stigning över denna höjd innan den återtog i "cruise". För PW1500G är N1 lågtrycksspolens varvtal nominellt 10 600 varv/min. Med fläkten växlad med ett förhållande på 1:3.0625 är dess nominella varvtal 3461 varv/min. "Top of climb" är den mest krävande punkten aerodynamiskt för en turbofläkt, där kompressorn snurrar snabbast.

Motorerna som var inblandade i incidenterna i juli och september hade 154 respektive 230 cykler, medan oktoberhaveriet inträffade på en motor med 1 654 cykler sedan den var ny, men inom 300 cykler efter en elektronisk motorstyrningsuppdatering. Pratt & Whitney rekommenderar inspektioner av motorer med upp till 300 cykler efter uppdateringen.

En annan PW1500G drabbades av ett okontrollerat motorfel den 12 februari 2020 ombord på A220-300 som tillhör Air Baltic under flight BT-677 från Riga, Lettland till Malaga, Spanien.

Det kan tyckas vara mycket problem på en ny motortyp men historiskt är det ganska normalt och P&W har löst alla historiska problem och PW1100G motorn är idag mycket tillförlitlig på A320neo.

Även den konkurrerande motorn LEAP-1A på A320neo har haft problem bl.a. med de keramiska tätningssegmenten i HPT där keramiken lossnat, PW4000 hade tidigt liknande problem innan P&W löste det. LEAP-1A har inte lika många och inte lika offentliga problem. Den liknar mycket en nerskalad 787 Dreamliner GEnX motor och verkar ha tagit nytta av dess utveckling och drifterfarenheter.

Även nya produkter under utveckling hos GE/CFMI och Rolls Royce får växlade fläktar. RR har utvecklat en ersättare till sin

Trent familj, The Ultrafan. Den döps säkert så småningom om till en flod som alla andra civila RR jetmotorer. (Man döpte den senaste till Pearl efter Pärlfloden i Kina som rinner ut i gamla Kronkolonin Hong Kong, den första RR jetmotorn som är döpt efter en utländsk flod. Jmf. med Nene, Conway, Avon, Spey, Tay, Trent)

Den har fått "GE9X" teknologi och är unik för RR genom att dess IPC är kort och HPC lång och att dess tyskutvecklade planetväxel har ett högre utväxlingsförhållande jämfört med PW1100G som driver solhjulet och tar ut fläktvarvtal på ringhjulet medans RR roterar planethjulen och tar ut fläktvarvtal på ringhjulet.

CFMI, det gemensamma företaget mellan General Electric och Safran, orsakade en mindre sensation tidigare i år genom att avslöja planer på att utveckla en öppen fläkt demonstratormotor. Känd som RISE (Revolutionary Innovation for Sustainable Engines) riktar sig programmet till en 20% minskning av bränsleförbrukning och koldioxidutsläpp jämfört med nuvarande motorer och är helt klart avsedd som en efterföljare till den nuvarande Leap-1 turbofläkten i 20 000–35 000 lb. dragkraftsklassen. Demonstratorprogrammet räknar med att kulminera 2024-2025 med flygprov av en enstegs, växeldriven fläkt i kombination med aktiva statorer – en design som aldrig tidigare testats i full skala.

Denna motor har icke vridbara fläktblad men vridbara ledskenor, som då kan ta bort swirl från fläktströmmen och omvandla till axialhastighet liknande det som Fan Exit Guide Vanes gör på en vanligt jetmotor.

Utöver prov av en växeldriven rotor mer än 12 ft. i diameter kommer RISE också att innehålla en serie tekniker som alla stöder CFM: s långsiktiga hållbarhetsmål för att driva nästa generations trafikflygplan. Dessa inkluderar flera nya brännkammardesigner för att säkerställa framtida kompatibilitet med både hållbara flygbränslen (SAF) och flytande väte. Andra tekniker inkluderar också motorer och startgeneratorer för hybrid-elektrisk anpassning, en kompakt högtryckskärnmotor och ett termiskt återhämtningssystem för att förvärma förbränningsluft med spillvärme från avgaserna via en värmepump.

