INNEHÅLLSFÖRTECKNING


| | |
|---|---|
| 26.2 | ELSYSTEM |
| 26.2.1 | Eltermer och beräkningsprinciper |
| 26.2.2 | Uppbyggnad av elsystem |
| 26.2.3 | Generator |
| 26.2.4 | Ackumulatorbatteri |
| 26.2.5 | Elledare |
| 26.2.6 | Kontaktdon |
| 26.2.7 | Strömställare |
| 26.2.8 | Reläer, solenoider |
| 26.2.9 | Säkringar |
| 26.2.10 | Övervakningsutrustning |
| 26.2.11 | Belysning |
| 26.2.12 | Tändsystem |

AVSIKTLIGT BLANK

Allmänt om eltermer och begrepp.

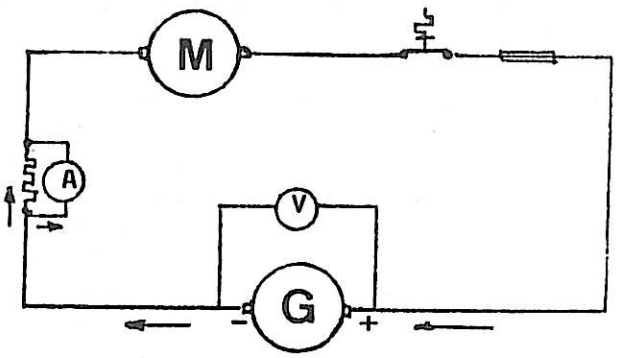
I ett luftfartyg klassas det elektriska systemet som klenspänningsanläggning då dess nätspänning understiger 55 volt. Tändsystemet utgör däremot en partiell högspänningsanläggning eftersom den har en högspännning upp till ca 10 kV i sekundärsystemet för tändstiften.

Elektricitet är en form av energi på samma sätt som värme- och ljusenergi. Den induceras vanligen i en generator och kan magasineras i ackumulatorbatterier. Dess grundläggande form är växelström som pendlar mellan plus och minus enligt en sinusformad kurva, men kan omvandlas till likström med bestämd polaritet - antingen i en likströmsgenerators kollektor eller i en separat likriktare.
För radioanläggningar kan omvandling ske till olika kurvformer och frekvenser, anpassade till de våglängdsområde för vilka anläggningen är avsedd.

Elektricitetens verkan kan enklast jämföras med en vattenpump som ger tryck till ett ledningssystem där vatten pressas fram. Pumpen motsvaras då av en elgenerator som, under inverkan av magnetfält inducerar spänning, pressar elström genom en ansluten strömkrets.
Rörledningarna i vattensystemet motsvaras i elsystemet av elledarna. En lång och klen rörledning kräver högre vattentryck och gör större motstånd mot vattenströmmen än en grövre och kortare rörledning. Samma gäller för det elektriska systemet, där en klen och lång ledning ger större motstånd mot elektronernas rörelse, som ger större energiförluster än en kort och grov ledning.
Detta tänkesätt kan förenkla beräkning av ett elsystemets dimensionering samt elströmmens förgreningar till olika belastningar.

I verkligheten är elektricitet en elektronvandring i ett elektriskt ledande system.
Varje ämne består av atomer som är i ständig rörelse vars intensitet är beroende av de i ett specifikt material ingående grunsämnena, men också beroende av om materialet är fast, flytande eller gasformigt, samt av temperaturen.

En atom består av en inre kärna, uppbyggd av ett stort antal positivt laddade protoner och oladdade neutroner. Runt denna kärna kretsar elektroner vars antal bestäms av grundämnet i materialet. I en neutral atom är kärnans laddning exakt lika stor som elektronernas och ger därför inga yttre elektriska egenskaper. Det kan emellertid inträffa då atomerna rör sig i materialet, att en eller flera elektroner "rycks loss" och börjar vandra i mellanrummet mellan atomerna. Därvid uppstår obalans i de enskilda atomernas laddning.
De atomer som får överskott av elektroner kommer att erhålla negativ laddning och de som har underskott elektroner får positiv laddning.
Under inverkan av ett rörligt magnetfält (i en generator) kan de "fria" elektronerna fås att röra sig med stor hastighet i ett slutet ledningssystem varvid det uppstår en elektrisk potential (spänning). Mängden förflyttade elektroner bestäms av den rådande spänningen och anges som strömstyrka, vilken för den pulserande växelströmmen saknar bestämd polaritet (rörelsriktning), medan likström alltid rör sig i en bestämd riktning och har därför bestämd polaritet.
Elektronvandringen vid likström sker alltid i riktning från minuspol, genom en yttre strömkrets, och åter till generatorns pluspol. Detta visas i figuren nedan där en likströmsgenerator G inducerar en spänning som trycker elektronerna från minuspolen till yttre ledningssystemet. I detta yttre system finns en motor M, med motorbrytare och säkring, en shuntad ampermeter A som visar strömstyrkan, samt en parallellkopplad voltmeter V som visar rådande polspänningen vid generatorn




Den yttre ledningen måste vara av elektriskt ledande material för att tillåta elektronvandringen. Mest använd ledare är av koppar.
Vissa material är mycket dåliga ledare, t.ex. glas, porslin, steatit, bakelit, PVC, gummi etc. Dessa material användas för att isolera ledare i ett elsystem och därmed hindra "läckage" eller kortslutning som ger belastning utan motstånd som medför "oändligt stor" strömstyrka. Då elström flyter genom ledare och belastningar i ett slutet elsystem kan vi konstatera dess värmeverkan, kemiska verkan, och fysiologiska verkan.

Värmeverkan uppstår alltid i ett slutet elsystem. Orsaken är att elektronerna kolliderar med varandra under mycket hög hastighet varvid värmeenergi avgives till ledare, förbrukningsapparater etc. Denna värme ökar med motståndet mot elektro-

nernas rörelse. Det krävs därför att en ledare inte får belastas med så hög strömstyrka att värmen kan skada isolering eller ledare. Speciellt för spolar och roterande maskiner kan värmeutvecklingen bli så hög att det krävs kylanordningar i form av kylflänsar, fläktar eller vätskekylning.

Magnetisk verkan inträffar alltid på så sätt att det bildas ett magnetfält runt en strömförande ledare. Detta utnyttjas praktiskt i transformatorer, spolar och generatorer samt motorer. I spolar och elmaskiner lindas ledningstråd i många varv (primärlindning) runt en laminerad järnkärna som leder det magnetiska flödet till en sekundärlindning. Om ledarna i sekundärlindningen skärs av ett magnetfält så induceras en spänning i denna. Förhållandet mellan antal lindningsvarv bestämmer sekundärspänningen som t.ex. i en tändspole kan innebära upptransformering av spänningen från 12 volt till uppåt 40000 volt. Magnetisk verkan användes i en generator på så sätt att en rotor med sekundärlindning får röra sig (rotera) i en stator (med primärlindning). Därvid skärs sekundärlindningen av ett magnetiskt flöde som inducerar en spänning vilken "transporterar" elektroner i ett slutet elsystem. Denna magnetiska verkan kan också nyttjas för reläer, dragmagneter för olika typer elbrytare, överströmbrytare etc.

Kemisk verkan kan användas för att transportera joner i en syralösning så att dessa på så sätt kan lagra elenergi i en ackumulator. Liknande jontransport kan användas för kemisk ytbehandling, t.ex förnickling, eloxering etc av metaller. Jonerna får då transportera metallpartiklar som avskiljes från katoden (minuspolen) och avsättes på anoden (pluspolen) som alltså utgöres av det material som skall ytbehandlas. Men elströmmens kemiska verkan kan också användas för elektrolys, t.ex. sönderdelning av vatten i sina beståndsdelar syre och väte.

Fysiologisk verkan innebär att elström verkar förlamande på nerver och muskler vid beröring. Detta innebär att livsviktiga organ kan skadas samtidigt som brännskador kan uppstå. Speciellt om strömkretsen passerar hjärtmusklerna kan detta störa de elimpulser som normalt styr hjärtverksamheten så att denna råkar in i s.k. hjärtflimmer som hindrar dess pumpverkan. Växelström med normalfrekvens 50 Hz anses farligare än högfrekvent växelström vid avsevärt högre spänning. Klenspänning anses helt ofarlig för människan. Dock kan likström vid långvarig verkan fungera som elektrolys (sönderdela vätskorna i människans kropp). Vi kan nämna att djur är betydligt mera känsliga för elström än människor. Detta är främst beroende på skillnader i hudens övergångsmotstånd mot elström.

Grundenheter för elström anges med enheter och beteckningar enligt fastställd standard. Avsedda instrument är graderade med dessa grundenheter varav de för luftfartyg vanligast använda grundenheterna anges nedan.

Strömstyrka mätes i ampere (A). Grundenheten är 1 A som för höga strömstyrkor kan anges i kA (1 kA = 1000 A) eller för små strömmar i milliampere (1 mA = 0,001 A).

Spänning mätes i volt (V). Grundenheten är 1 V, men kan anges i kV (1 kV = 1000 volt) eller i mV (1 mV = 0,001 V).

Motståndet mätes i ohm (Ω). Stora motstånd, vid t.ex. isolationsmätning, anges i megohm (1 M Ω = 1000 000 Ω). Med ohmskt motstånd avses det motstånd mot elströmmen som inträffar i ledare med likström och benämnes resistans (R).
Vid elsystem med växelström och lindningar med järnkärna inträffar "självinduktion" av elström vilket förändrar motståndet som då benämnes induktans (L) och anges som Z Ω.
Vid belastning med kondensator sker en fasförskjutning som också påverkar motståndet kapacitivt och benämnes därför "kapacitivt motstånd" och betecknas med C.
Eftersom amatörbyggda flygplan endast använder likström i ledningssystemet kommer vi enbart att redogöra för rent ohmskt motstånd vid beräkning av ledningsareor.

Elektrisk effekt anges i watt (W). Större effekter anges i kW (1 kW = 1000 W).

Kapacitet är ett mått på exempelvis ett ackumulatorbatteris laddning. Detta anges i amperetimmar (Ah) som utgör produkten av ampere ggr tid i timmar, t.ex. för att ange hur många ampere det går att ta ut under bestämd tid. Om ett ackumulatorbatteri anges ha en kapacitet av 25 Ah, kan det belastas med 25 A under 1 timme, 1 A under 25 timmar eller olika kombinationer ampere x tid som ger produkten 25 Ah. Observera dock att högt strömuttag sänker batteriets kapacitet på grund av inre värmestegring, samt gasblåsor som sätter sig på aktiva plattorna i batteriet och ökar dess inre motstånd.

Mekanisk effekt anges i Nm/s eller hk. (1 hk = 75 kpm/s = 736 watt).

Elenergi anges i Wh eller kWh som emellertid kan omvandlas till mekaniskt arbete som anges i kpm eller hkh (hästkrafttimme) där 1 hkh = 75 x 3600 kpm = 0,736 kWh. Kan också anges som 1 kWh = 427 kpm.
Värmeenergi kan omräknas till mekaniskt arbete eller till elektrisk energi varvid gäller att 1 kcal = 427 kpm eller 1 kWh = 860 kcal.

Ytterligare grundenheter och konstanter finns i standardisering men dessa kan verka enbart förvillande för de beräkningar som kan vara aktuella för ett amatörbyggt luftfartyg.

Beräkning av ohmskt motstånd (resistans).
Motståndet i en elledare är beroende av materialet i ledaren, längden i meter och arean i $mm^2$.
Motståndets beroende av materialet i ledaren anges med dess specifika ledningsmotstånd som betecknas med den grekiska bokstaven ro ( $\varrho$ ) som vanligen anges vid en temperatur av + 15 °C (i USA vid + 20 °C) För vanligast använda elledare ges siffervärden för $\varrho$ i nedanstående tabell ( $\Omega \times mm^2/1$).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Koppar ..... | 0,0175 | Aluminium ..... | 0,032 |
| Järn ..... | 0,1-0,14 | Zink ..... | 0,06 |
| Konstantan .... | 0,5 | Mangan ..... | 0,42 |

För varje grad temperaturförändring ändras det specifika ledningsmotståndet med 0,004 ohm från temperaturen +15 °C (plus resp minus) för koppar, aluminium och zink. För järn är motsvarande ändring 0,005, för konstantan 0,000008 och för mangan 0,00002 ohm.
Detta innebär att konstantan är lämpligast att använda som element i värmeplattor etc på grund av dess ringa motståndsändring vid ändrad temperatur. På samma sätt används i första hand kopparledare i elsystemens matarledningar på grund av relativt god hållfasthet, lågt specifikt motstånd och fördelaktigt pris.

För beräkning av en elledares motstånd behövs kännedom om ledarens material, specifika motstånd, ledarens längd och dess tvärsnittsarea enligt följande samband:

$R = \varrho \times \frac{l}{A}$ (ohm) där l anges i meter och A i $mm^2$.

Vi kan också finna ett samband mellan ohmska motståndet R i ohm, spänningen E i volt samt strömstyrkan I i ampere enligt;

$R = \frac{E}{I}$ eller $I = \frac{E}{R}$

På samma sätt kan vi beräkna effekten P i watt ur produkten av spänningen E i volt och strömstyrkan I i ampere, där

$P = E * I$ eller $P = I^2 * R$ eller $P = \frac{E^2}{R}$

Dessa enkla räkneuttryck kan åskådliggöras med följande räkneexempel: Vilken resistans (ohmskt motstånd) har en kopparledare som består av en kärna av 19 x 34 trådar med vardera diametern 0,05 mm och längden 10 meter?
Vi beräknar först kärnans area A enligt följande;
$A = 19 * 34 * 3,14 * 0,05^2/4$; Svar A = 1,268 $mm^2$.

Därefter beräknar vi R ohm ur:
$R = 0,0175 * 10/1,268$; Svar R = 0,138 $\Omega$.

Denna typ av beräkningar behöver dock sällan utföras eftersom det finns tabeller där vi kan söka arean i $mm^2$ då vi vet belastningen I i ampere. I vissa fall kan vi dock behöva göra en räknekontroll för uppgifter som hämtats ur kurvblad etc.

Om vi skall beräkna belastningen I för en radio som skall inkopplas till nätet kan vi beräkna I med kännedom om att radions effektförbrukning är 5 watt märkeffekt samt nätets spänning min 12 volt. Vi söker I ur uttrycket;
$P = E * I$ eller sökt $I = P/E = 5/12 = 0,42$ ampere (420 mA).
Därefter kan erforderlig ledningsarea sökas ur tabell där hänsyn tagits till använd smältsäkring som skall dimensioneras så att den skyddar använd elledare mot överbelastning med rådande strömstyrka.

För flygmaskiner användes vanligen elledningar som tillverkats i USA enligt militära normer. Dessa ledares areor anges med s.k. klinkmått för elledningar vilka benämnas AWG eller B & S i USA. I England användes klinkmått SWG som inte överensstämmer med amerikanska AWG. I fortsättningen kommer vi därför endast att ange AWG = AN för kopparledare som används för flygmaskiner.
För AWG eller AN elledningar enligt amerikanska normer kan vi finna tvärsnittsarean A $mm^2$ i den följande tabellen:

| AWG/AN | Area $mm^2$ | AWG | Area $mm^2$ |
|---|---|---|---|
| 22 | 0,33 | 10 | 5,3 |
| 20 | 0,50 | 6 | 13,3 |
| 18 | 0,78 | 4 | 18,7 |
| 16 | 1,30 | 2 | 33,6 |
| 14 | 2,0 | 00 | 67,5 |
| 12 | 3,1 | - | - |

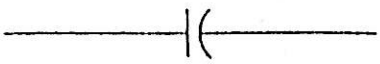
För dimensionering och beskrivning av elledare hänvisas i övrigt till Kap. 26.2.5.

Symboler för elschema.

Svenska elsymboler är väl kända av de flesta från bilhandböcker etc, men eftersom dessa avviker från de amerikanska, ger vi några typexempel för de vanligast förekommande elsymboler som användes i amerikanska flygplanritningar. Svensk benämning är angiven inom parentes.

Battery (Batteri)

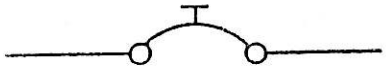
Capacitor (Kondensator)
Fixed (Ej ställbar)



Capacitor (Kondensator)
Variable (Ställbar)

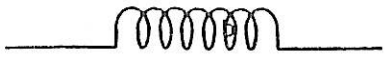
Circuit Breaker (Automatsäkring)
Push to reset (Tryck för återställning)

Circuit Breaker (Automatsäkring)
Push-Pull (Drag-tryck typ)

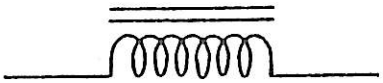


Toggle Switch Type (Vippströmställare)
(Med vipphandtag)

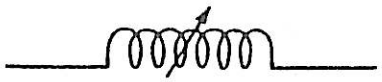
Coil or Induktor (Spole)
Air Core (Luftlindad)



Coil or Inductor (Spole)
Iron Core (Järnkärna)

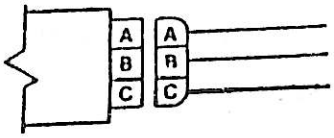


Coil or Inductor (Spole)
Variable (Reglerbar. Luftlindad)

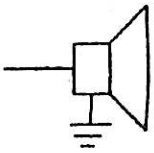


Wire Disconnects (Stickkontakt)
(Enpolig)

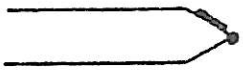
Quick Disconnect Plug (Snabbkoppling)




Warning Horn (Varningshorn)



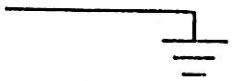
Thermocouple (Termogivare)



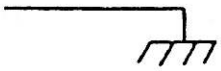
Fuse (Säkring)

Thermal Actuating Device (Termisk automatsäkring)

Ground (Jordning)



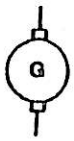
Floating Ground (Jordning med släpkontakt)



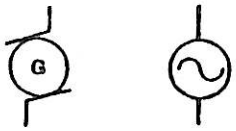
Lamp (Glödlampa. Signallampa)
The letter is the color (Bokstaven anger färgen)

| | |
|---|---|
| R = Red | (R = Röd) |
| G = Green | (G = Grön) |
| A = Amber | (A = Gulbrun) |
| B = Blue | (B = Blå) |
| C = Clear | (C = Klar) |

Generator (Generator)
DC Generator (Likströmsgenerator)




Alternator (Alternator)
AC Generator (Växelströmsgenerator)




Transistor (Transistor)
PNP Transistor (PNP Transistor)

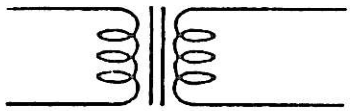
NPN Transistor (NPN Transistor)

Solid State Components (Backströmsspärr)
Diode (Diod)

Zenerdiode (Zenerdiod)

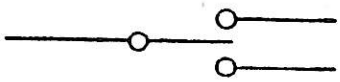
Silicon Controlled Rectifier (Tyristor)

Transformer (Transformator)



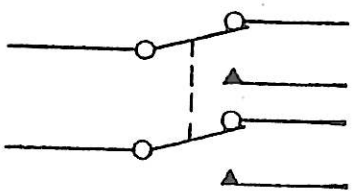
Switches (Strömställare)
SPST =Single Pole Single Throwe (Enpolig Envägs)

SPDT =Single Pole Double Throwe (Enpolig Tvåvägs)

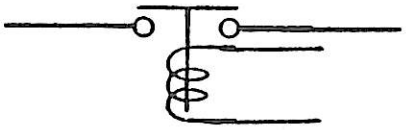


SPST =Single Pole Single Throwe (Enpolig Envägs)

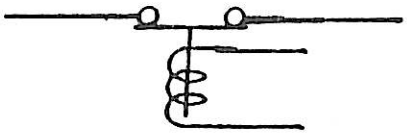
DPDT =Double Pole Double Throwe (Tvåpolig Tvåvägs)



Relays (Relä)
(Sluter då spolen strömkopplas)



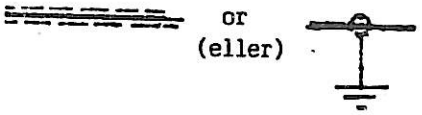
Relays (Relä)
(Bryter då spolen strömkopplas)



Wire (Elledare)
Unshielded (Oskärmad)



Shielded Wire (Skärmad ledare)




Terminologi för elsystem i flygmaskiner.

Den som har ett 12-volts batteri i sitt elsystem anger oftast detta som ett 12-voltsystem. Ett 12-volts batteri kostar ca hälften av vad ett 24-voltsbatteri kostar och är dessutom endast hälften så tungt. Fördelen med 24-voltsbatteriet är emellertid att, enligt effektformeln P = E x I, strömstyrkan blir dubbelt så hög för 12-voltssystemet som för 24-voltsystemet vid samma effekt vilket medför att det för 24-voltsystemet kan användas klenare ledningar än för 12-voltsystemet.
Om vi använder benämningen 12-voltsystem resp 24-voltsystem är detta endast delvis rätt, d.v.s. endast för det fall det råder vilospänning. Ett 12-volts batteri kan ha en spänning upp till drygt 14 volt under laddning vid nära full, eller vid full kapacitet, på samma sätt som ett 24-volts kan ha upp till 28 volt polspänning under fulladdning. Detta förhållande påverkar givetvis strömmens storlek till inkopplade elbelastningar enligt effektformeln (strömstyrkan ökar vid minskad spänning för motsvarande samma effekt för lampor, motorer etc). För stora elsystem är det därför fördelaktigt med 24-voltsystem, men för små elsystem innebär detta onödigt hög vikt och kostnad. Variation i spänningens storlek har medfört att US-militär standard för elsystem anger en elanläggning som 14 eller 28 volt-system, om använt batteri har 12- resp 24-volt, för kurvor och tabeller. Detta är orsak till att vi ibland använder benämning 12- resp 24- och ibland 14- resp 28-voltsystem för en elanläggning.

För ett elsystems ledningar kan vi beräkna dess motstånd om vi vet vilket material som användes, ledarnas längd samt area. Men isynnerhet arean är aldrig exakt, beroende av tillverkningstekniska problem. I US-standard har hänsyn tagits till detta genom att korrigera för en uppgiven resistans per längdenhet för viss area (AWG-ledare). I första hand skall dessa tabellvärde för resistans användas som ett max medelvärde.

I en vanlig elanläggning brukar man beräkna en elledares tillåtna belastning till 4 ampere per kvadratmillimeters area. I USA-standard varierar denna s.k. strömtäthet med arean. Tillåten belastning anges alltså i tabeller, likaså vilken storlek för säkringar som är tillåtna för en bestämd AWG-area eftersom säkringens storlek skall vara så anpassad att inte elledarna skadas på grund av överbelastning (för hög strömbelastning ger för hög temperatur).
För små flygmaskiner bör endast kopparledare användas i dess elanläggning där även kopplingsplintar (Bus Bar) skall vara av förtennt koppar.

Allmänt om elsystemens uppbyggnad.

Det för ett flygplan erforderliga elsystemet matas normalt från en blyackumulator som laddas från en av motorn direktdriven generator.

Batteriet lämnar ström via en kopplingsplint (Bus eller Power Bus Bar) varifrån elförbrukande utrustning sedan matas via säkringar, strömställare etc. Även generatorn anslutes för matning till kopplingsplinten via en spänningsregulator.

Startmotorn matas vanligen direkt från batteriet via en solenoid som får manöverström från kopplingsplinten via en startkontakt.

Tändningssystemet med magneter utgör normalt ett separat elsystem.

Analys för dimensionering av elsystemet.

Vid dimensionering av de i elsystemet ingående komponenterna gör man först en förteckning över all elutrustning som är planerat användas. Planera också för eventuellt senare tillkommande elutrustning vad avser kopplingsplintens storlek, batteri, elledare och säkringar samt strömställare, reläer, och erforderliga utrymmen för dessa komponenter i instrumentpanel, kabelknippen etc.

Startmotorn är i allmänhet bestämd efter använd motortyp. Samma gäller oftast generatorn vad avser konventionell flygmotor.

Batteriets storlek (kapacitet) måste bestämmas efter elutrustningens strömförbrukning vid olika belastningsfall. Vanligen kan man räkna med att batteriets kapacitet måste räcka för 20 minuters taxning med navigeringsljus, strålkastare, instrument och instrumentbelysning samt radioutrustning (mottagare och sändare) etc i drift. Detta gäller i synnerhet om elsystemet matas med en likströmsgenerator eftersom denna inte ger laddning vid lågt motorvarv.

Först upprättas en tabell över avsedda komponenter och deras elförbrukning. Därefter ritas ett preliminärt elschema där elledarna kan dimensioneras efter inkopplad komponents strömförbrukning som kan avläsas på märkskyltar eller glödlampor, kan hämtas ur kataloger eller erhållas från säljaren.

I den följande tabellen visas typexempel för använda komponenter och deras elförbrukning som en analys av elförbrukningen i ett 12-volts system med vanligen använda elförbrukande komponenter.

Med kännedom om elförbrukningen kan sedan varje elledares area samt säkringarnas och strömställarnas märkström bestämmas enligt anvisningar i Kap 26.2.5.

Analys måste också göras för att få vetskap om varje ledares längd i elsystemet för att kunna beräkna spänningsfallet i strömkretsen.

Tabell för analys av elförbrukning i ett större 12-voltssystem (typexempel).

| | |
|---|---|
| Bränslepump | 3,0 - 7,0 A |
| Batterisolenoid | 0,6 - 0,7 A |
| ADF | 1,2 - 2,0 A |
| Autopilot | 2,0 - 3,0 A |
| Kabinbelysning | 2,5 - 3,3 A |
| Klocka | - 1,0 A |
| Cylindertemp | - 0,2 A |
| Kompassbelysning | - 0,1 A |
| DME | 3,0 - 5,0 A |
| Bränslemätare | - 0,4 A |
| Glidbaneinstrument | 0,2 - 0,3 A |
| Instrumentbelysning | 1,3 - 2,0 A |
| Landningsljus | 8,4 - 15,6 A |
| Landställsmotor | - 10,0 A |
| Navigationsljus | 1,7 - 5,6 A |
| Nav/Com radio (rörbestyckad) | 4,5 - 7,0 A |
| Nav/Com radio (transistorbestyckad) | 1,3 - 1,4 A |
| Extrabelysning | - 2,0 A |
| Pitotrörsvärme | 1,7 - 5,6 A |
| Roterande ljus (Beacon) | - 7,0 A |
| Stallvarnare | - 0,2 A |
| Blinkljus (Strobes) | 2,0 - 4,0 A |
| Horisont | 0,2 - 0,8 A |
| Transponder | 1,0 - 3,0 A |

Kompletta elschemor för små flygplan.

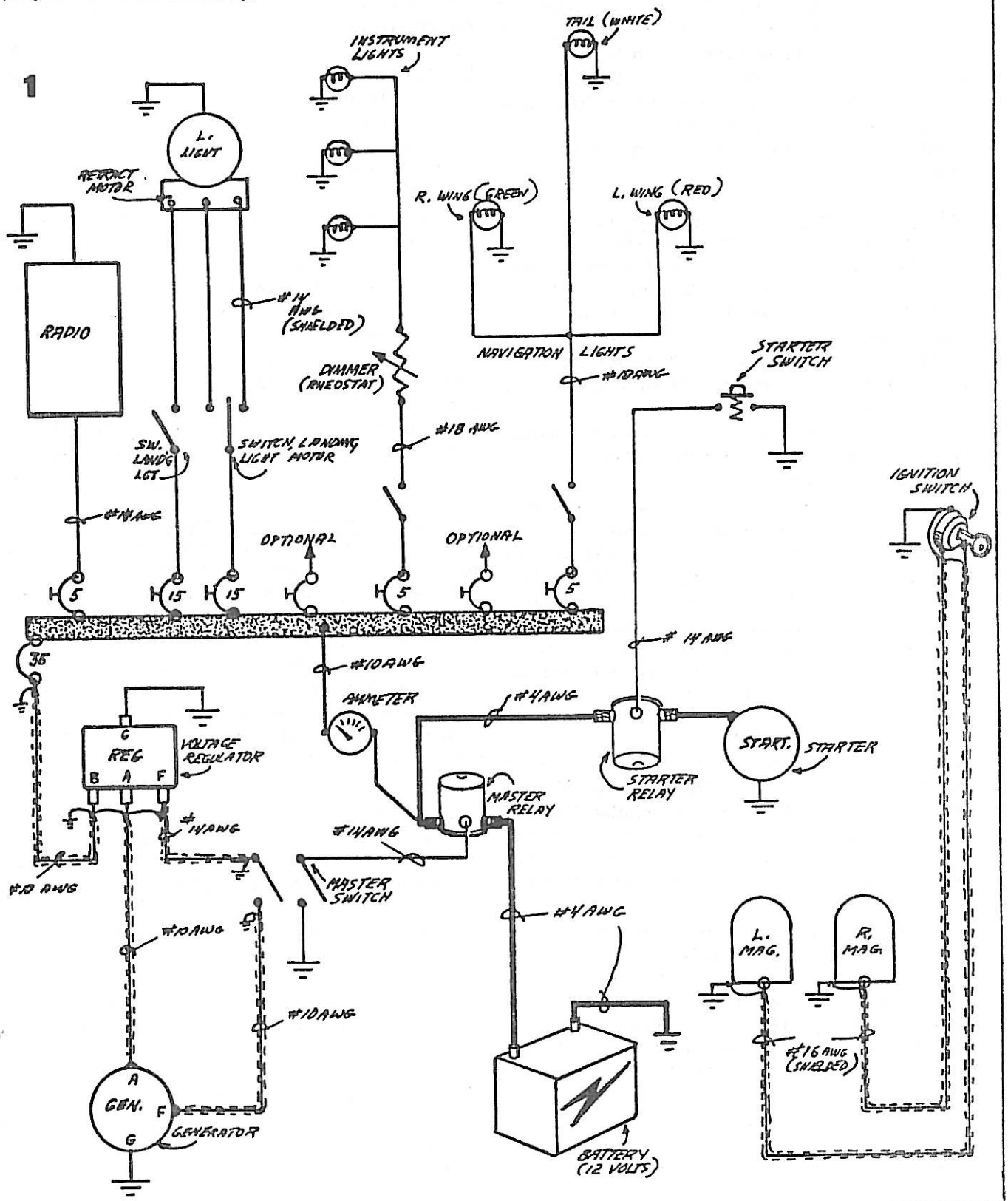
Då ett elschema konstrueras måste hänsyn tas till bl.a. att säkringarna kommer så nära kopplingsplinten som möjligt, att ledningarna blir så korta som möjligt, samt att inte elförbrukare med stora olikheter i strömförbrukning kopplas till samma säkring. Det tillåtes inte av säkerhetsskäl att t.ex. en landningsstrålkastare är inkopplad på samma säkring som en radiosändare. Ur säkerhetssynpunkt viktiga elförbrukare får alltså inte matas från samma säkring som mindre viktiga elförbrukare.

Följande typexempel av elschemor är amerikanska och anpassade för olika typer flygplan av metall, trä eller plast, där använda symboler torde framgå av Kap 26.2.1. Observera vilka elapparater som har skärmade ledningar och vilka som är försedda med störningsskydd för radioanläggningar.

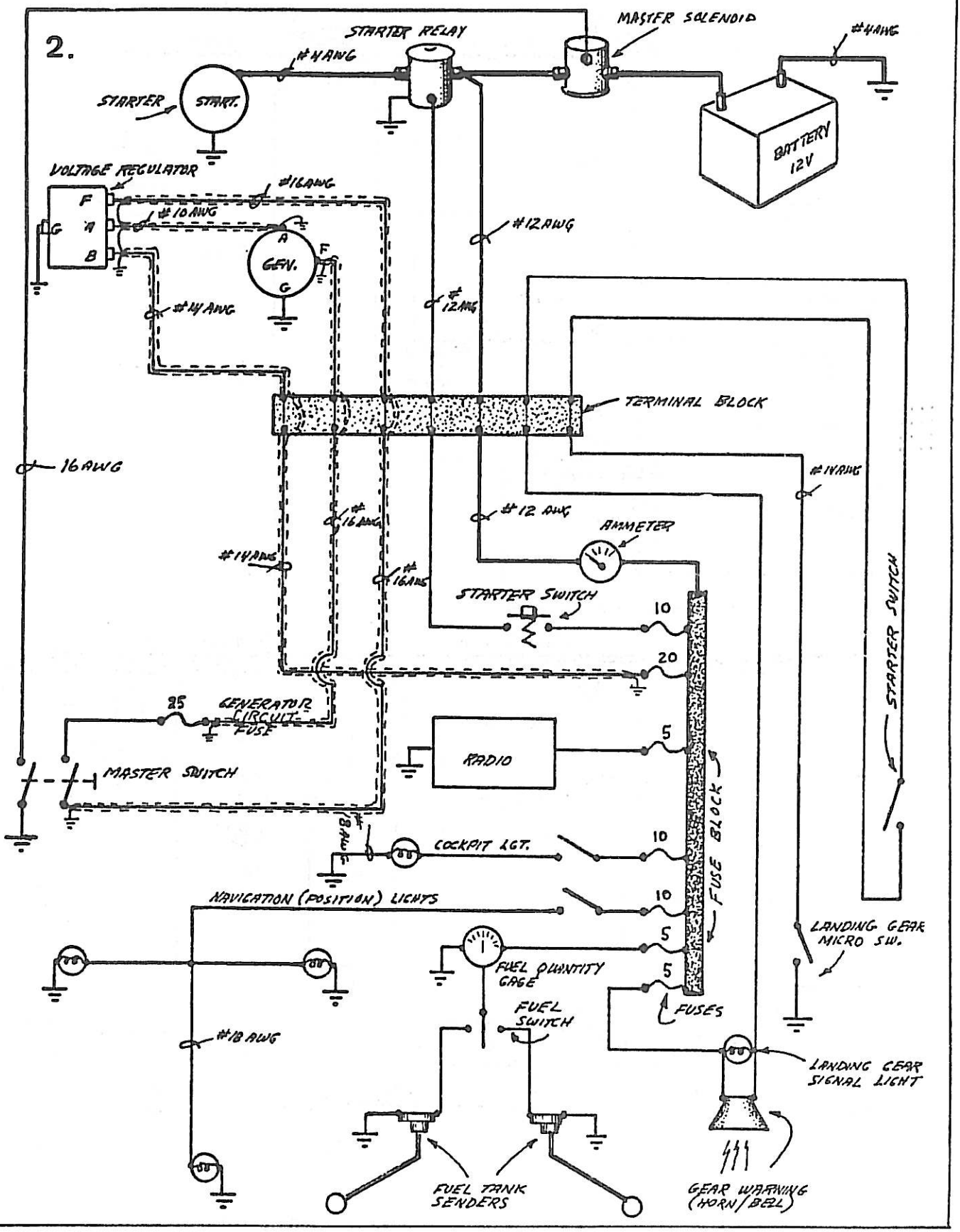
Observera också typ av säkringar, bimetal (automatsäkringar) eller smältsäkringar. I övrigt torde de visade systemen inte vara svåra att tolka och nyttja som underlag för egna schemakonstruktioner till ett flygplanbygge där ritningsunderlaget inte inkluderar något elschema.

I de visade elschemorna, nr 1 till 5, är elledarnas areor angivna med AWG-nummer (# AWG), men kan översättas till $mm^2$ area om så behövs, enligt tabell i Kap 26.2.1.

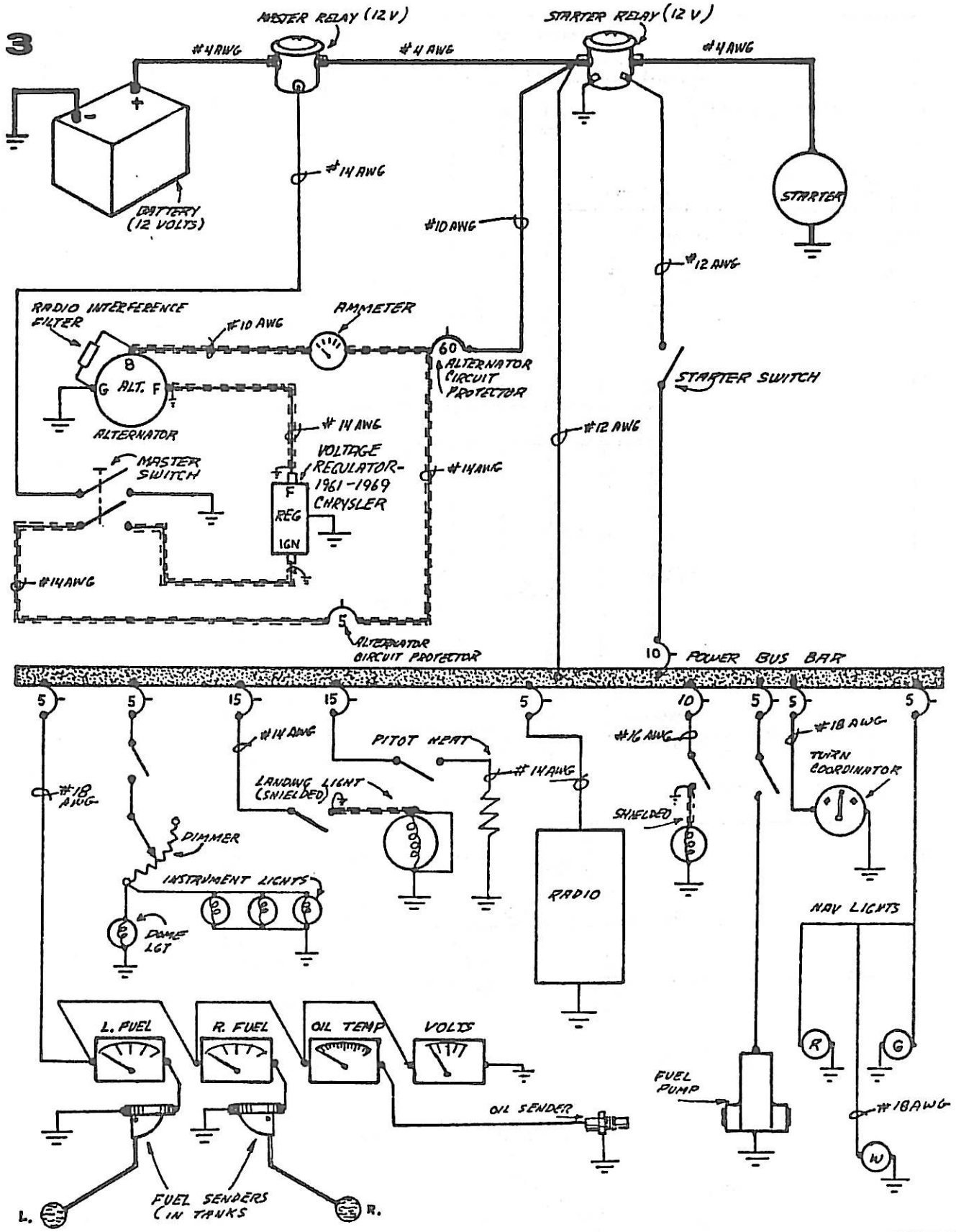
Schema nr 1 visar en äldre elanläggning som använts för många olika typer flygplan. Tändsystemet har dubbla magneter och generatorn är av likströmstyp för 12 volt.
Startmotor, radio och navljus finns, men anläggningen saknar störningsskydd för radioanläggningen. Ledningarna för tändsystemet är skärmade.
Säkringarna är av bimetalltyp som återställas genom att tryckas inåt sedan de svalnat efter utlösning på grund av överbelastning.



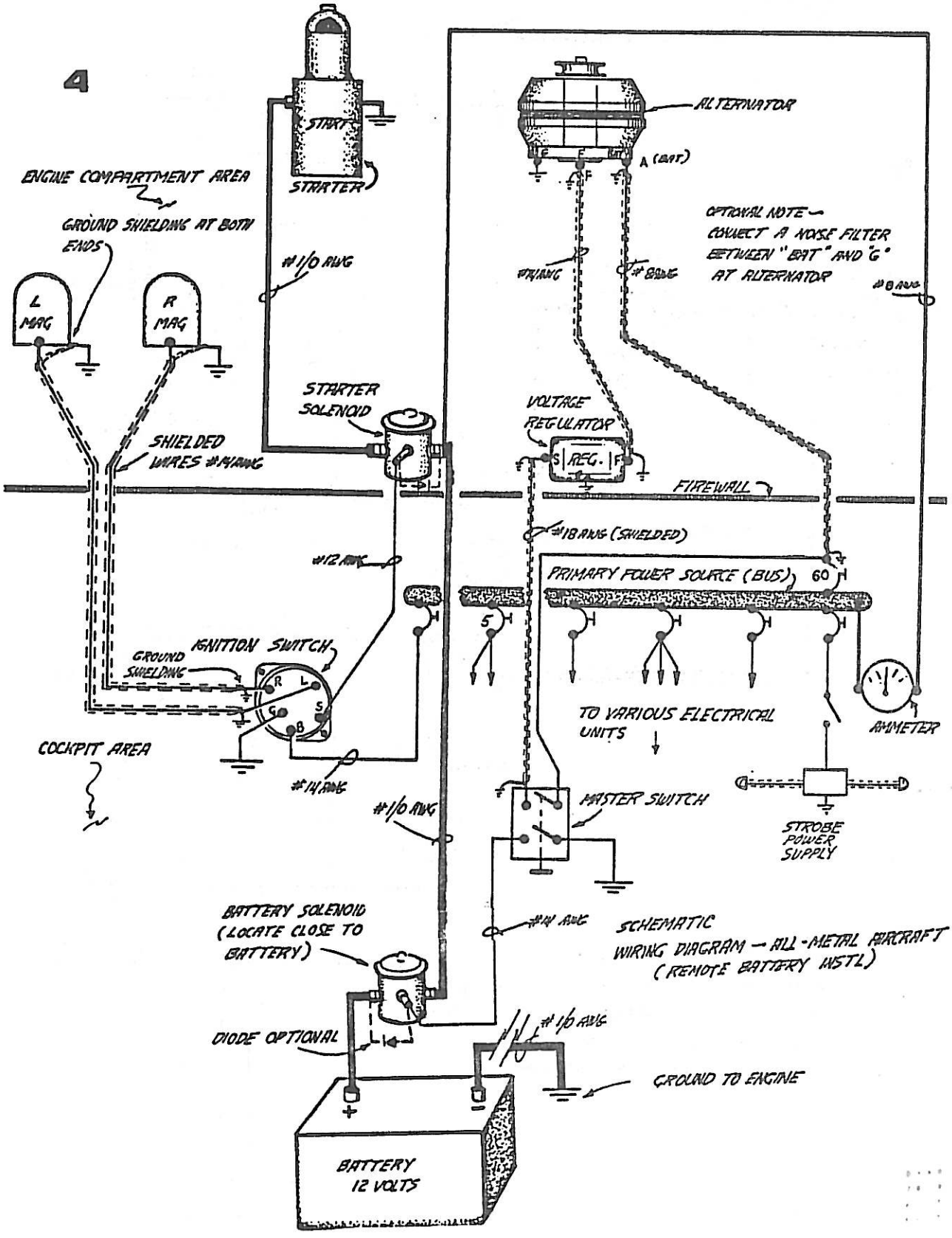
Elschema nr 2 visar ännu ett exempel på en enkel elanläggning med likströmsgenerator. Förutom startmotor finns radio och navljus samt några elmatade instrument, bränslemätare samt ljudsignal för infällt landställ. Tändsystemet för motorn är inte inritat utan har separat elschema.



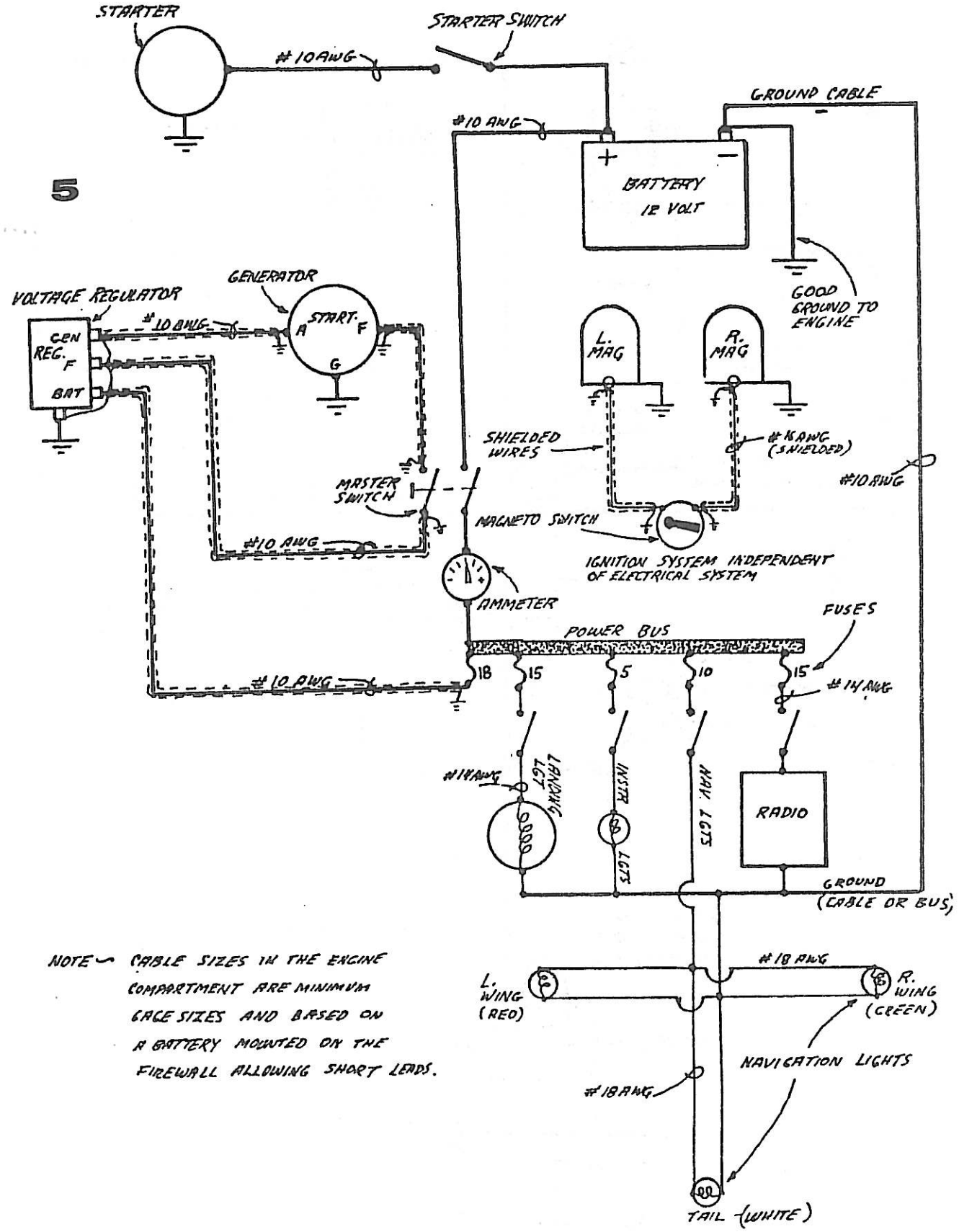
Elschema nr 3 visar en modernare elanläggning med växelströmsgenerator och likriktare av diodtyp. Dessa dioder är ytterst känsliga för bakström där batterianslutningarna måste lossas vid arbete med anläggningen (se 26.2.4). Observera att övervakningsinstrument av eltyp användas i detta elsystem.



Elschema nr 4 visar ytterligare ett exempel på en relativt modern elanläggning för metallflygplan (i schema nr 1 till 4 används inte separat jordledning utan jordning sker till ledande metallstruktur). Elanläggningen har växelströmsgenerator (alternator).



Elschema nr 5 visar en europeisk elanläggning för trä- eller kompositplan. Den har därför försetts med separat jordledning (miunusledning). Generatorn ger 12 volt likström.



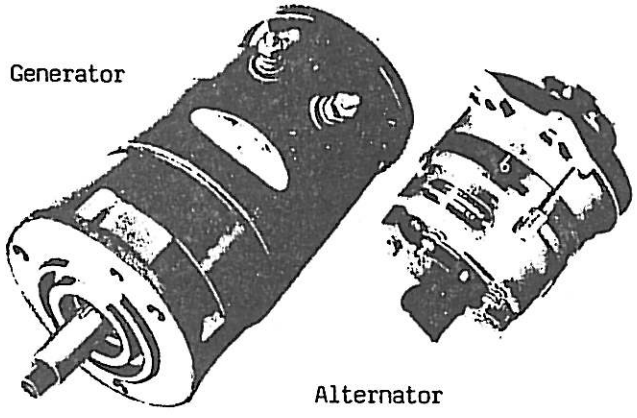
Allmänt om generator/alternator.
I "dagligt tal" använder vi oftast benämningen generator - men denna kan vara av två olika utföranden med väsentligt olika egenskaper, antingen för DC = likström eller AC = växelström.

DC-generatorn = likströmsgeneratorn (eng. Generator) omvandlar den i rotorn inducerade elströmmen till likström i en kommutator (strömvändare), placerad på rotoraxeln, med strömuttag via kolborstar.

AC-generatorn = växelströmsgeneratorn (eng. Alternator) omvandlar den inducerade växelströmmen till likström i en elektronisk yttre likriktarkrets med dioder och filter. Detta medför ett förenklat system med mindre krav på underhåll samt lägre vikt.

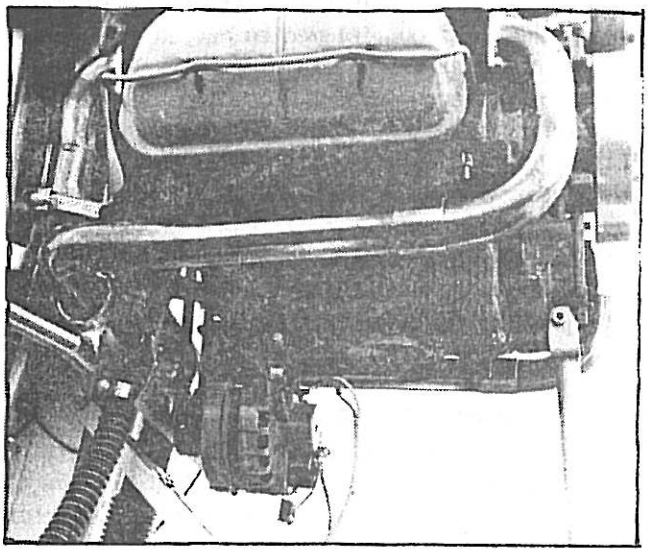
Äldre elsystem för flygplan är utrustade med en likströmsgenerator. I nyare system användes nästan uteslutande en alternator på grund av dess fördel i lägre vikt samt att den ger laddning redan vid ca 500 r/min och full laddström vid relativt lågt varvtal. Likströmsgeneratorn börjar inte ladda förrän vid ca 1200 r/min och ger inte full strömstyrka för laddning förrän vid höga varvtal.

En i flygplan ofta använd generator är av typ DELCO. Denna finns i storlekar från 12 volt/12 A eller 50 A samt från 24 volt/25 A eller 50 A.
Alternatorn från samma tillverkare finns för 12 volt/52 eller 70 A och 24 volt/50 eller 65 A.


Generator

Alternator

CHRYSLER tillverkar en alternator för 12 volt/37 eller 60 A och FORD en alternator för 15 volt/52 eller 60 A samt 28 volt/38 eller 60 A. PRESTOLITE har en (mycket använd) alternator för 12 volt/40 eller 55 A och 24 volt/30 eller 50 A.
I amatörbyggda flygplan, utan konventionell flygmotor, användes ofta en liten alternator av biltyp från en CITROEN- eller Toyota-bil som är fullt tillräcklig för ett mindre flygplan utan startmotor och omfattande elutrustning. Eftersom en generator/alternator skall vara anpassad för använt batteri, innebär detta också att ett mindre batteri kan användas vilket ger lägre vikt.
Bilden nedan visar en VW-motor försedd med en alternator av biltyp.

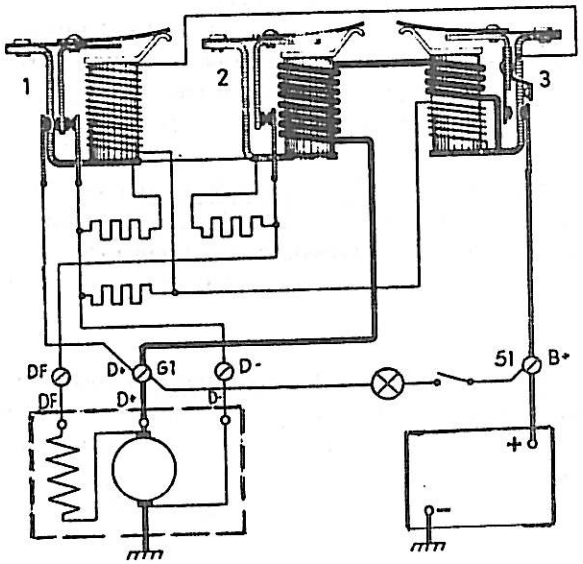


Inkoppling av generatorn till batteriet.
Vid inkoppling av en generator/alternator är det viktigt att elledningarna göres så grova och korta att inte spännngsfallet blir för stort.
Ledningarna bör också vara skärmade och skärmen jordad. Likaså bör radiostörningsfilter anslutas mellan generatorns pluspol och jord, även om radio inte användes, eftersom anläggningen kan påverka magnetkompass, elvarvräknare och även störa radiotrafiken för andra flygplan i närheten.
När motorn har uppnått varvtal så att generatorns spänning är något högre än batteriets skall ett inkopplat spänningsrelä sluta strömkretsen mellan generator och batteri. Under laddning stiger batteriets polspänning till drygt 14 volt vilket innebär att då gaspådraget minskas, batteriet kan urladdas över generatorn och likriktaren för en generator/alternator som då skadas. Använt relä måste därför vara inställt för rätt manöverspänning med avseende på generator och batteri. Stor försiktighet måste också iakttagas då alternator användes så att inte dioderna förstörs vid t.ex. kortslutning.
En god regel är att aldrig lossa elanslutningarna mellan generator och batteri då motorn är igång, samt att alltid först lossa minuspolen och sedan pluspolen för batterianslutningen då arbete skall ske med elsystemet. Vid återmontering skall inkopplingen utföras i omvänd ordning - först pluspolen samt därefter minuspolen för batteriet. Orsaken är att vid en eventuell kortslutning så

förstörs dioderna långt innan ett eventuellt överströmskydd hinner öppna strömkretsen.

En generator/alternator monteras vanligtvis direkt mot motorns metalldel som alltså fungerar som elledaren för minuspolen. Men motorn är monterad med elastiska gummielement mot flygkroppen, som inte leder strömmen, vilket innebär att förbikoppling måste ske förbi gummielementen med en grov kopparfläta som ger ordentlig elkontakt. I vissa fall kan anläggningen fungera utan denna jordning (via manöverkablar etc). men detta räcker inte för de strömmar som här kan förekomma i strömkretsen generator/alternator och batteriet resp i tändsystemen. I värsta fall kan "jordströmmarna" bränna av kablarna eller "svetsa" ihop befintliga manöverreglage.
För jordledningsfläta förbi elastiska gummielement se Kap 26.2.5.

Var observant på, då en konventionell flygmotor användes, att all utrustning som t.ex. generatorn skall vara av typ som godkänts enligt motormanual eller komplement till denna. Även själva monteringen skall ske enligt manualen.
Användes annan typ av generator än vad manualen föreskriver, skall detta ha godkänts separat. Därvid skall kunna visas bl.a. att inte motorns drivaxlar eller kugghjul får för stort vridmoment, eller att tätning för olja inte sker tillfredställande. Godkännande ges först efter ingående prov med första prototyp av annan generator än avsett.




Principschema för laddningsregulator till en likströmsgenerator.

1 = spänningsregulator

2 = strömregulator

3 = backströmsrelä

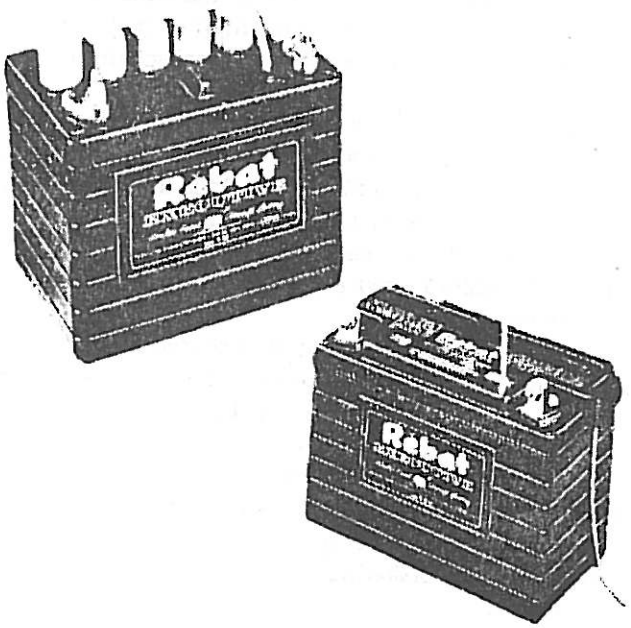
Allmänt om batterier.

Batteri (eng. Battery) för flygplan är oftast av typ blybatteri som skiljer sig från bil- och motorcykelbatteri främst genom att de förra har speciella proppar som ger ventilation och hindrar att syra läcker ut vid extrema flyglägen.

I ett flygplan är batteriets främsta uppgift att lagra elenergi som sedan kan användas för startmotor och annan elutrustning som behövs innan motorn/generatorn har startats och uppnått varvtal för laddning. En annan uppgift är att batteriet skall fungera som spänningsdämpande buffert mellan generator och inkopplade strömförbrukare.

Batterier tillverkas av många olika fabrikat och storlekar där REBAT synes vara mest använd. Dessa finnas för 12 och 24 volt samt strömstyrka 25 och 35 Ah. Men även mindre batterier finns för t.ex. flygplan utan startmotor, med lägre kapacitet och därmed lägre vikt och kostnad.

Under drift laddar generatorn till batteriet där överskott elenergi ackumuleras kemiskt till en mängd som max motsvarar batteriets kapacitet.
Om flygplanet saknar startmotor kan batteriets storlek (kapacitet) minskas. Dess storlek bör givetvis bestämmas efter utförd analys av den erforderliga strömförbrukningen på samma sätt som för dimensionering av elsystemet i övrigt.
Ett batteri med 25 eller 35 Ah är mest vanligt för små flygplan. Det har visat sig att ett batteri med kapaciteten 25 Ah räcker för ett flygplan som har startmotor. Här bör dock beaktas att det är säkrast att välja ett 35 Ah-batteri om många kallstarter måste göras med startmotor.

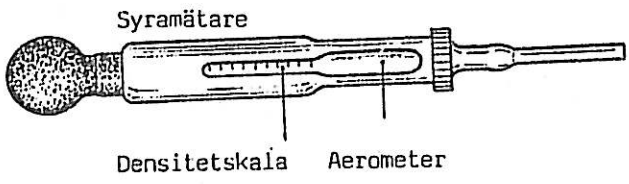



Under laddning stiger polspänningen först relativt sakta till en kapacitet av ca 80 % i batteriet. Under fortsatt laddning stiger sedan polspänningen snabbt till ett värde för batteriets "gasspänning" som innebär ökad gasutveckling då elektrolyten sönderdelas, varvid syre och väte avgår i form av gas, samtidigt som små syrapartiklar kan "ryckas med". Vätet kommer att blandas med yttre luften varvid knallgas bildas som, vid strax under 5 % blandning, kan ge självantändning med explosionsartat förlopp. Det är därför viktigt att ett flygplanbatteri förses med slang som leder vätgasen till fria luften eller till väl ventilerat utrymme. Ett batteri måste också vara så placerat att inte dess temperatur stiger över 70 °C, på grund av strålningsvärme från motorn etc, så att plattorna deformeras och förstör batteriet. Hög temperatur ger dessutom minskad kapacitet på samma sätt som låg temperatur varvid normal kapacitet vanligen anges vid +15 °C.

Blybatteriet har en normal nyttjandetid av 2 till 5 år, beroende på skötsel och effektiv drifttid. Den normala förslitningen sker vanligen på så sätt att aktiv massa lossnar från plattorna på grund av gasutveckling under laddning. Om fulladdning sker med för hög strömstyrka, kommer gasutvecklingen att formligen "rycka loss" aktiv blymassa från plattorna. Denna blymassa faller till batteriets botten där den bygger upp högar av blypulver som slutligen når upp till plattsatserna och ger kortslutning av dessa så att batteriet inte kan "ta laddning".

Kapacitetens beroende av strömuttag, sulfatering och temperatur.

Ett blybatteri har en verkningsgrad av ca 90 % vilket innebär att tillförd energi måste vara ca 10 % större än uttagen energi.
Även rådande temperatur och urladdningsströmmens storlek påverkar kapaciteten på så sätt att den sjunker med såväl lägre som högre temperatur och ökat strömuttag. En annan egenskap är att ett blybatteri självurladdas. Detta innebär att syrans densitet kan sjunka till så lågt värde att hela batteriet kan frysa sönder om temperaturen är för låg.
Batteriets kapacitet kan kontrolleras genom att mäta syravikten med en enkel syramätare.



Vid helt urladdat batteri är syravikten ca 1,1 och vid fulladdat batteri mellan 1,25 och 1,28 (beroende på fabrikat, temperatur och kondition).

Kapaciteten minskas också av den sulfatering som inträffar på polplattorna. Sulfatering uppstår om ett batteri används under lång tid utan att tillåta gasspänning och fulladdning som tar bort sulfateringen. Vid långvarig lagring ökar också sulfateringen, men den vanligaste orsaken är främst att laddning inte fullföljes till full kapacitet under lång tid (eftersom detta medför en icke önskad gasutveckling). Genom att justera spänningsregulatorn för 13,8 volt erhålls laddning till ca 80 % kapacitet. Denna "snålladdning" medför dock att plattornas aktiva massa efter en tid får så hård yta, och därmed så högt motstånd, att kapaciteten minskar och polspänningen ökar.

Den som vill ha full kapacitet i batteriet måste därför var tredje månad, eller minst en gång varje halvår, ta loss batteriet samt ladda detta separat med relativt låg ström så att inte spänningen blir högre än 2,4 volt/cell (ca 3 ampere) under en tid som motsvarar full kapacitet plus 10 %. Efter inträffad gasspänning stiger polspänningen över 2,4 volt till ett högsta värde vid full kapacitet där spänningen åter sjunker något på grund av ökad samling av gasblåsor på polplattorna.

Vid svår sulfatering kan det också behövas en urladdning över motstånd, glödlampa, eller annan kontrollerad belastning. Observera dock att en urladdning aldrig får drivas så långt att plattorna skiftar polaritet. Kontroll skall ske genom att mäta syrans densitet och polspänningen.

Separatladdning sker därefter omedelbart efter avslutad urladdning. Detta skall ske till full kapacitet för att gasutvecklingen skall avlägsna all sulfateringen så skonsamt som möjligt för att på så sätt återfå full batterikapacitet i relation till batteriets förslitning.

Under laddningen stiger syranivån på grund av ökad temperatur och gasbildning, men nivån sjunker åter sedan gasutvecklingen upphört så att den kan mätas ca 4 timmar efter avslutad laddning. Syranivån skall då stå ca 10 mm över polplattorna för att inte dessa skall skadas och/eller dess kapacitet minskas. Vid behov av ökad nivå skall påfyllning ske med destillerat vatten, aldrig med syra och aldrig vattenledningsvatten som innehåller järn- och klorföroreningar som skadar batteriet.

När batteriet lossas för separatladdning är det också ett bra tillfälle att rengöra batterilådan, samt batteriet utvändigt, för att undvika att ev syra ger s.k, läckströmmar.
Även polbultar bör rengöras och insmörjas med syrafri vaselin för att hindra oxidation och ge dålig kontakt. Slangarna kontrolleras också så att de inte är igensatta och hindrar ventilation och avledning av batterigaserna.
Har syra läckt ut, kan detta tvättas bort och neuneutraliseras med ammoniaklösning.

Frysrisken.
Då ett flygplan vinterförvaras i kallutrymme bör batteriet tas ur och förvaras i lokal där inte frysrisk föreligger. Batteriet kopplas för underhållsladdning alternativt att det fulladdas minst en gång varje månad. Orsaken är att batteriets självurladdning sänker elektrolytens densitet så att denna kan frysa till is och spränga sönder batteriet.

Nedan återges en tabell som visar vid vilken densitet och temperatur som isbildning inträffar.

| Densitet | Temperatur °C | Densitet | Temperatur °C |
|---|---|---|---|
| 1,300 | -70 | 1,275 | -62 |
| 1,250 | -52 | 1,225 | -37 |
| 1,200 | -26 | 1,175 | -20 |
| 1,150 | -15 | 1,125 | -10 |
| 1,100 | -8 | 1,000 | 0 |

Något om Nickel-Kadmiumbatterier.
Dessa batterier är relativt dyra och kräver dessutom speciell utrustning för laddning. Flera olika typer förkommer och kan mest anses vara lämpade för små flygplan som inte har laddningsgenerator och endast låg strömförbrukning (för instrument och eventuellt en transistorradioanläggning).

Laddning av Nickel-Kadmiumbatterier kräver särskild utrustning som mäter temperatur, spänning, ström och i vissa fall även laddningstiden, för kontroll av laddningstillståndet.
Sker överladdning kan temperaturer upp till 600 grader C uppstå med explosionsrisk och brand som följdorsak.
Enkla laddare, av konstantströmtyp där strömmen begränsas till batteriets kapacitet dividerat med 10, är relativt tillförlitliga, men det tar 16 timmar att fulladda batteriet. Som exempel kan nämnas att ett Nickel-Kadmium batteri för 6 Ah laddas med 600 mA strömstyrka under 10 timmar för full kapacitet. Givetvis måste någon form av skydd finnas mot överspänning om konstantströmgeneratorn går sönder.

Det finns flera olika typer Nickel-Kadmium batterier av standardutförande, snabbladdare, snabbladdare med inbyggd temperatursensor, samt högtemperatur batterier.

Vid laddning av Nickel-Kadmium batterier varnas för att aldrig ladda dessa batterier med vanliga laddare avsedda för blybatterier, eller från en generator med vanlig spänningsregulator, på grund av explosionsrisk. Tillverkarens rekommendationer måste alltid följas.

General Electric har sammanställt en speciell bok om NiCad batterier som rekommenderas för den som avser använda denna batterityp. Titeln för denna bok är: "Nickel Cadmium Battery Application Handbook".

Montering av blybatteri i flygplan.
Placeringen av batteriet skall ske i en metall- eller aluminiumlåda som målats invändigt med syrafast färg, samt ha gummilister under batteriet.
Om batteriinstallationen utföres efter egen konstruktion, måste beaktas att fastsättningen måste motstå följande påkänningar:

| | |
|---|---|
| Uppåt/nedåt | 4,5 G |
| Framåt | 9 G |
| Sidled | 3 G |

(Detta anger att fastsättningen skall klara t.ex. en framåtriktad kraft = 9 ggr batteriets tyngd).
Batteriet måste också vara säkert fastsatt i lådan med samma krav för G-laster som för lådan.

Elledarna skall vara så korta som möjligt samt ha erforderlig area för att ge lägsta möjliga spänningsfall (se Kap 26.2.5). Batteriet får dock inte placeras så nära motorn att strålningsvärme kan överföras från motor eller varma motordelar till batteriet. Batteriet måste därför vanligen placeras bakom brandskottet för motorrummet.

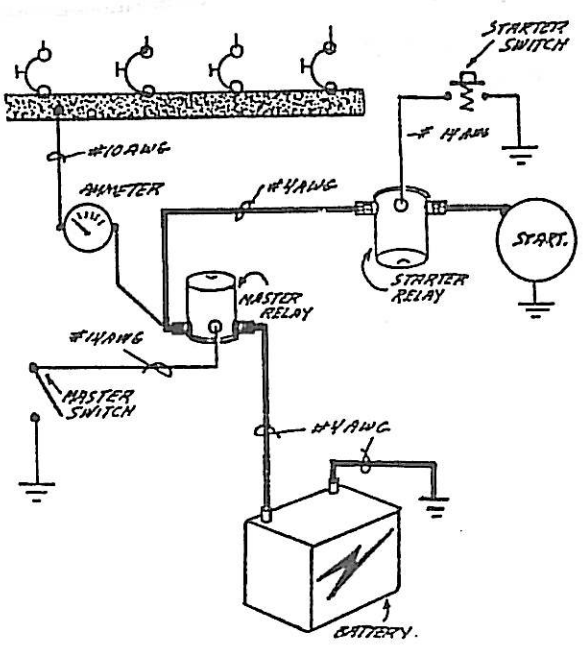
Även ventilationen måste beaktas så att utvecklad batterigas avledes direkt till flygplanets utsida genom en slang från batterilådan. Ytterligare en slang skall ledas från botten av lådan till flygplanets utsida för dränering, som också medger bättre ventilation för bortförande av de gaser som bildas under laddning och i någon mån vid urladdning.

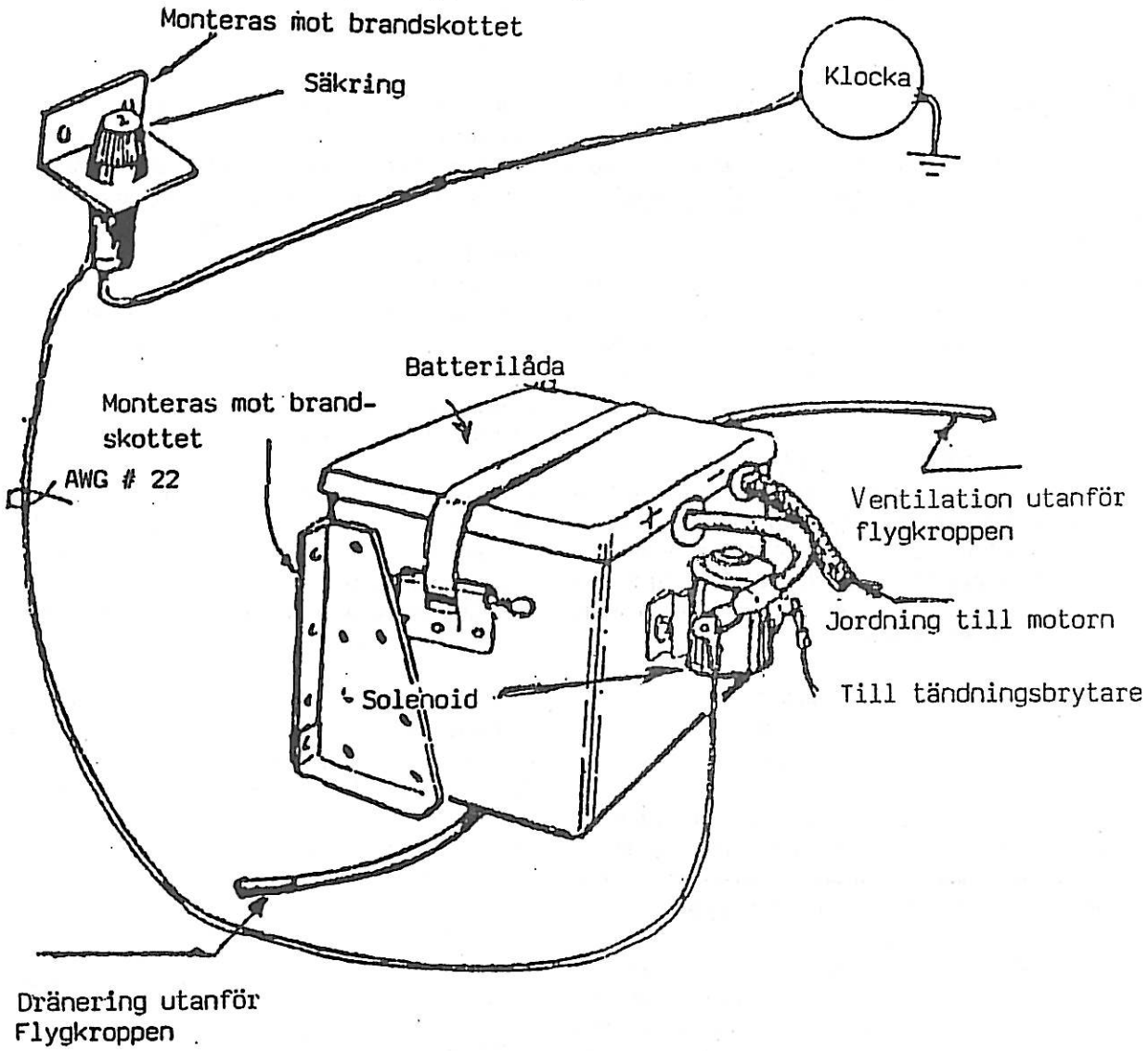
För att inte gnistbildning skall uppstå och antända knallgasen vid laddning får inga brytare, reläer etc, placeras i batterilådan och helst inte heller på dess utsida. Elkablar skall anslutas med avsedda förblyade polskor direkt till batteriets poler.
Eventuella övriga elledare skall vara försedda med polskor. "Hopvridna" skarvar på elledare får inte förekomma.

Figuren på nästa sida avser visa ett amerikanskt typexempel för batterilåda med batterisolenoid, elledare och slangar. En klocka har anslutits direkt till batteriet, via säkring, för att den inte skall stanna då huvudbrytaren öppnas. Detta innebär alltid en låg urladdning då inte motorn är i drift.
Figuren visar också lämplig utformning av konsoler för fastsättning mot flygplanets struktur bakom brandskottet.
Slangar skall förena batteriet, samt batterilådans botten, med fria luften utanför flygplankroppen.

I vissa fall kan batteriet placeras för att nyttja dess tyngd för justering av flygplanets tyngdpunkt i längd- eller sidled, men kraven på fastsättning måste vara uppfyllt. Sådan montering kan medföra att elkablarna blir grövre eftersom angivna värden för spänningsfallet maximeras enligt Kap 26.2.5.

Figuren nedan visar typexempel för batteriets elanslutningar. Även elkablarnas area (AWG #) har angivits för typexemplet. Dessa ledningsareor måste emellertid anpassas i varje särskilt fall till avsedd belastning i ampere, där en 6-volts system kräver grövre ledningsareor än ett 12-volts system vid samma effektbelastning.

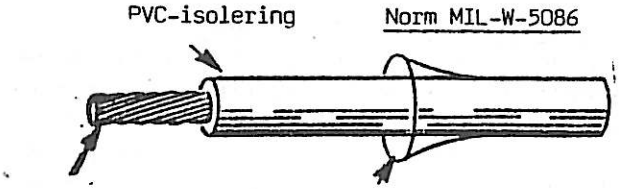



Monteras mot brandskottet
Säkring
Klocka
Batterilåda
Monteras mot brand-
skottet
AWG # 22
Ventilation utanför
flygkroppen
Jordning till motorn
Solenoid
Till tändningsbrytare
Dränering utanför
Flygkroppen

Speciella elledare krävs för luftfartyg.

Elledningar i luftfartyg utsättas ofta för stora påkänningar i form av vibrationer, kommer ofta i kontakt med olja och blir utsatta för strålningsvärme. Vid brand får de inte utveckla och avge giftig rök från isoleringen etc. Av dessa orsaker får inte ledningar av vanlig handelskvalitet, avsedda för installationer i hus eller bilar, användas för luftfartyg.

De ledningar som får användas för luftfartyg är av godkänd flygkvalité - t.ex enligt MIL-W-5086A normer för kopparledare eller MIL-W-7072 för aluminiumledare. De senare användas sällan av orsak att de måste ha en större area än en kopparledare. Vanligt är att använda flertrådiga ledare (eng. wire). En sådan ledare, utförd enligt MIL-W-5086A, visas i figuren nedan där också använd isolering anges.




Elledaren enligt ovan angivna norm klarar 105 grader C (det finnes dock ledare som klarar högre temperatur).

Följande tabell visar vilka dimensioner som finnas av elledare enligt MIL-W-5086A typ II för max 600 volt.

| AWG # | Area mm$^2$ | Kärna | Ytterdia mm |
|---|---|---|---|
| 22 | 0,3 | 19x34 | 1,9 |
| 20 | 0,5 | 19x32 | 2,2 |
| 18 | 0,8 | 19x30 | 2,4 |
| 16 | 1,3 | 19x29 | 2,7 |
| 14 | 2,1 | 19x27 | 3,1 |
| 12 | 3,3 | 19x25 | 3,6 |

Grövre ledningar, 10 AWG, 6 AWG, 4 AWG, 2 AWG och 00 AWG finnas i något annorlunda utförande enligt samma norm.

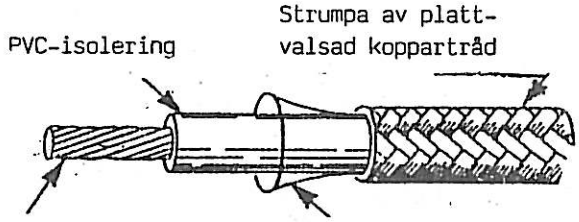
Nyare luftfartyg kan ha elledningar av annan standard. Tabellen nederst visar elledare från Raychen enligt standard MIL-W-81044/12. Dessa har temperaturområdet -65 till +150 °C och är beständiga mot kemikalier.

Det finns också elledningar av svensk tillverkning (Ericson) som användas av SAAB.

Skärmade elledningar användas för att avstöra elmaskiner, reläer etc. Dessa störningar inträffar vid förändringar i elektronflödet (t.ex. vid en öppning eller slutning av en strömkrets, vid en generators kollektor etc) och ger strömtoppar som överlagras på spänningskurvan. Genom att montera en metallskärm på ledarna fås avstörningsverkan genom elektrostatisk avskärmning.

Högre kostnad och större vikt medför att skärmade ledningar måste användas restriktivt och endast där de verkligen behövs. I kap 26.2.2, schema 1 till 5, ges exempel på användning av dessa.

Figuren nedan visar uppbyggnaden av en skärmad ledare. Denna består av en ledare enligt norm MIL-W-5086A som överdragits med en flätad "strumpa" av plattvalsad koppartråd som skärmning för elektrostatisk avstörning. Utförande är enligt norm MIL-C-7078A.




Ytterligare en huvudtyp ledare finnes under benämning koaxialkabel (eng. Coaxial Cable) och användes för högfrekventa spänningar i radioanläggningar.

Tändkablar för flygmotorer tillverkas enligt norm MIL-C-3702 och finnas normalt endast i skärmat utförande som reducerar störningar för radioanlägg-

**19-trådig**

| Ledningsarea AWG | Ledningsarea mm$^2$ | Nominell ytterdiameter mm | Trådstorlek Antal x AWG | Trådstorlek Antal x Ø mm | Resistans Ohm/km (vid 20°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 0,15 | 0,51 | 19 x 38 | 19 x 0,102 | 135,5 |
| 24 | 0,24 | 0,63 | 19 x 36 | 19 x 0,127 | 96,9 |
| 22 | 0,38 | 0,80 | 19 x 34 | 19 x 0,160 | 53,1 |
| 20 | 0,62 | 1,01 | 19 x 32 | 19 x 0,203 | 32,4 |
| 18 | 0,96 | 1,27 | 19 x 30 | 19 x 0,254 | 20,4 |
| 16 | 1,23 | 1,43 | 19 x 29 | 19 x 0,287 | 15,8 |
| 14 | 1,94 | 1,80 | 19 x 27 | 19 x 0,361 | 10,0 |

ningar. En tändkabel måste klara mycket hög tändspänning, och temperatur på grund av närheten till motorn. Den måste också vara resistent mot olja och bensin.
Kärnan består av flertrådig ledare av koppar, som är isolerad med ett inre lager av glasfiber/PVC, ett tjockt lager PVC, skärmstrumpa av koppar samt ett yttre isoleringsskikt av nylon. Ytterdia är standard 9,5 mm och isoleringen motstår temperatur från - 54 till + 120 °C, samt spänningar upp till 40 tusen volt. Tändkablar finnas också i utförande med grafitmättad fibertråd, men dessa bör av driftsäkerhetsskäl inte användas i luftfartyg.

Därutöver finnas ledare av specialtyp med t.ex. kalibrerad impedans (avsedd till termoelement för cylindertempmätare) m.m.

Dimensionering av elledare.
I ett luftfartygs elanläggning skall elledarna vara så dimensionerade att spänningsfallet mellan strömkällan (samlingsskenan) och belastningen inte är större än:

max 0,5 volt för 14 V-system
max 1,0 volt för 28 V-system

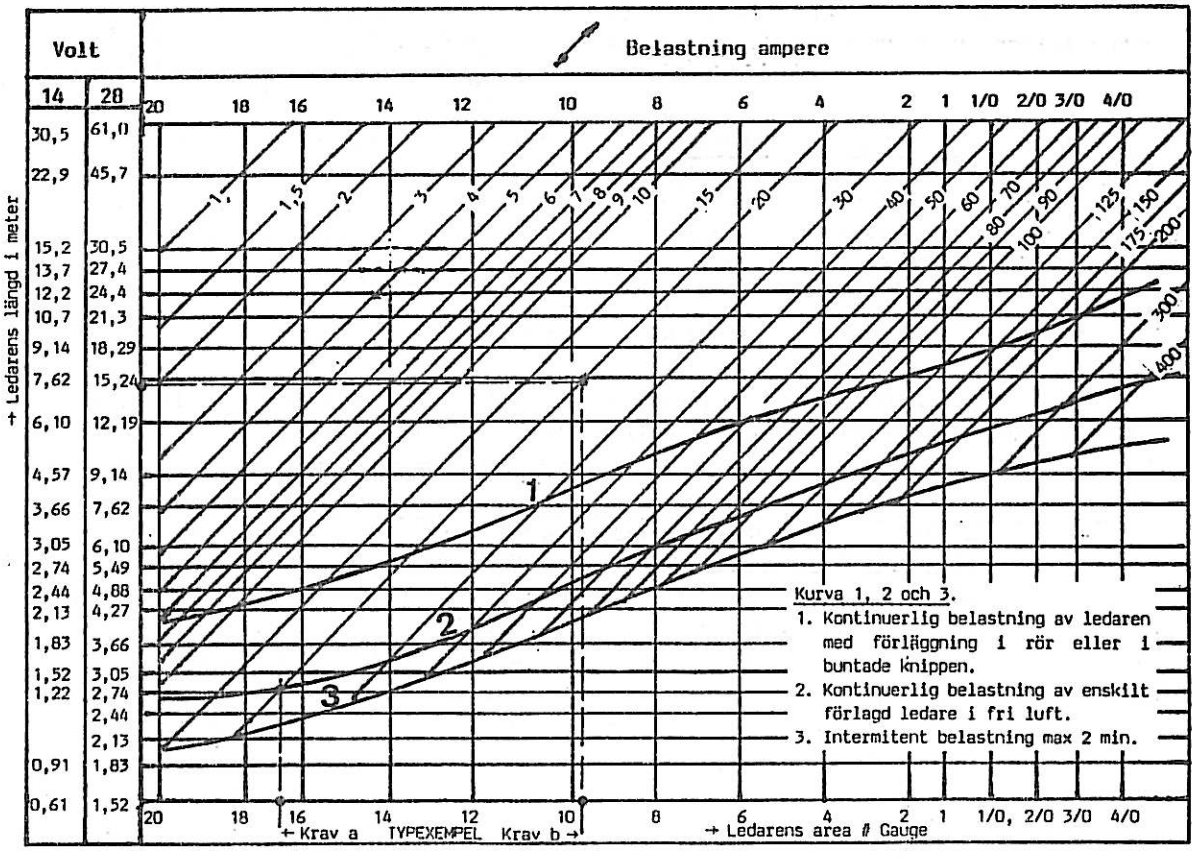
Observera då att spänningsfallet avser hela strömkretsen från kopplingsplinten (Bus Bar) till förbrukningsstället (för system som jordas via luftfartygets metallstruktur).
Elledarnas erforderliga area kan enklast bestämmas ur nedan visade diagram. Förutsättningen är kännedom om strömstyrkan, ledarens längd, och om ledaren är förlagd i fri luft, i knippen eller rör, samt om belastningen är kontinuerlig, eller intermitent under max 2 minuter. Diagrammet gäller för ledare av koppar enligt Mil-W-5086.

För att finna rätt area (# AWG) för en känd strömstyrka i ampere, krävs två olika avläsningar för att kunna konstatera att följande krav uppfyllas:

a) Arean måste vara sådan att spänningsfallet inte överstiger tillåtna värden (0,5 resp 1,0 volt).

b) Arean måste vara sådan att inte för hög temperatur uppstår i ledaren eller dess isolering, orsakad av för hög belastning.

Typexempel för användning av diagrammet:
Antag att vi skall installera en elledare som har längden 15 meter (från Bus Bar till elförbrukaren) i ett 28-volts system (tillåtet spänningsfall max 1,0 volt). Strömstyrkan är 20 ampere. Ledaren är förlagd ensam i fri luft och har kontinuerlig belastning.
För bestämning av ledarens area (krav b), söker vi först en punkt, under kolumnen för 28 volt, som anger ledarens längd 15 meter.
Från denna punkt går vi horisontellt åt höger till den diagonala linjen för 20 ampere.



Därefter fortsätter vi lodrätt till diagrammets undre linje som visar sökt area (# AWG) där vi finner en punkt mellan # AWG 10 och 8. Men # 10 har för liten area för att fylla villkoren enligt krav b) och innebär att vi måste fortsätta åt höger där vi finner nästa storlek för standard areor som är # 8 AWG, som alltså fyller krav b.

För att undersöka om krav a uppfylles vad avser spänningsfallet, följer vi den diagonala kurvan för 20 ampere tills den skär kurva 2 (som gäller för kontinuerlig belastning av enkel ledare som är förlagd i fri luft enligt exemplet).
Från skärningspunkten för 20-A kurvan och kurva 2, följes en tänkt linje lodrätt till linjen för # AWG där vi kan läsa närmast högre standardarea vid # 16 AWG - där spänningsfallet alltså inte är högre än 1 volt enligt krav a.

Ur diagrammet har vi nu två siffervärden för ledaren, dels dess erforderlig area # 8 AWG, dels arean för tillåtet spänningsfall # AWG 18.
Men båda kraven enligt a och b måste uppfyllas, och innebär att sökt ledare skall vara # 8 AWG enligt typexemplets givna förutsättningar.

Diagrammet på föregående sida är ursprungligt upprättat av FAA samt återgivet i AC 4313-1A. För att lättare kunna användas i Sverige har vi omräknat angivna elledares längder från fot till meter. Vi har också tagit bort kolumnerna för 114 och 200 volt eftersom dessa knappast är aktuella för ett amatörbyggt luftfartyg. Det typexempel som använts för att åskådliggöra diagrammets användning är samma som i AC 4313-1A.
Ett litet luftfartyg har oftast korta elledare där det kan vara svårt att nyttja diagrammet som mest är avsett för långa ledningar som förekommer i stora trafikflygplan och liknande.
För ledningar som inte faller inom diagrammets användningsområde, går det att istället nyttja den följande tabellen. I sådana fall måste emellertid spänningsfallet beräknas matematiskt.

Typexempel för dimensionering av elledare.
Antag att vi skall välja elledare för en generator med märkström 25 Ampere. Ledarens längd har, efter uppmätning, beräknats till 1,2 meter mellan generatorn och kopplingsplinten (Bus Bar). Det förutsättes att elledaren förläggs ensam i fri luft.
Generatorspänningen är 12 volt (14-voltsystem).

Vi löser problemet genom att söka tillåten # AWG i tabellen där vi finner att # 16 endast är tillåten för 22 ampere. Vi väljer därför nästa standardarea som är # 14 AWG för max belastningen 32 ampere.

TABELL visande max tillåten belastning i ampere, samt resistans per meter vid 20 °C för kopparledare enligt MIL-W-5086.

| AWG =AN | Max ampere för enkel ledare i fri luft | Max ampere för ledare i knippen eller i rör | Max resistans per meter |
|---|---|---|---|
| 20 | 11 | 7,5 | 0,0336286 |
| 18 | 16 | 10 | 0,0211286 |
| 16 | 22 | 13 | 0,0156168 |
| 14 | 32 | 17 | 0,0098097 |
| 12 | 41 | 23 | 0,0061680 |
| 10 | 55 | 33 | 0,0036089 |
| 8 | 73 | 46 | 0,0022966 |
| 6 | 101 | 60 | 0,0014304 |
| 4 | 135 | 80 | 0,0008990 |
| 2 | 181 | 100 | 0,0005873 |
| 1 | 211 | 125 | 0,0004790 |
| 0 | 245 | 150 | 0.0003740 |

I det givna exemplet hade vi funnit att elledarens area skulle vara AWG # 14 för avsedd belastning.

Vi måste nu göra en matematisk beräkning för att kontrollera spänningsfallet.
Detta sker enligt;

$E = I * l * R = 25 * 1,2 * 0,0098097 =$ 0,2943 volt

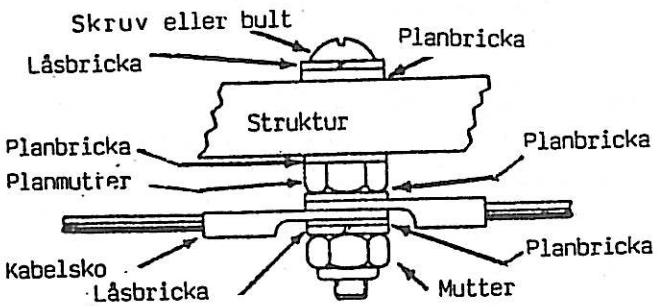
där alltså spänningsfallet är mindre än 0,5 volt (för 14-voltsystem) och att # AWG 14 elledare kan användas enligt exemplets förutsättningar.

Jordning av elsystemet.
För metallflygplan utgör jordningen (tillika elsystemets minusledare) inget problem under förutsättning att anslutningen sker så att god kontakt erhålles mot den struktur av metall som utgör flygkropp, vingar etc.

För trä- eller kompositplan används särskild elledare även för minuspolen, samt särskild Bus Bar för denna. Överströmsskydd får inte användas i jordningsledarna som skall överdimensioneras för avsedd strömbelastning. Normalt tillåtes endast 2 ampere belastning per $mm^2$ för dessa elledare.

Ett exempel för kopplingsplint i jordningssystemet visas i nästa figur där antal anslutningar inte får vara mer än 4 st till varje. För bultskallar och muttrar av icke självlåsande typ skall tandad låsbricka användas. För AN-typ självlåsande mutter används normalt inte tandad bricka.

Resistansen (övergångsmotståndet) i alla jordanslutningar får inte vara högre än 0,003 Ω.

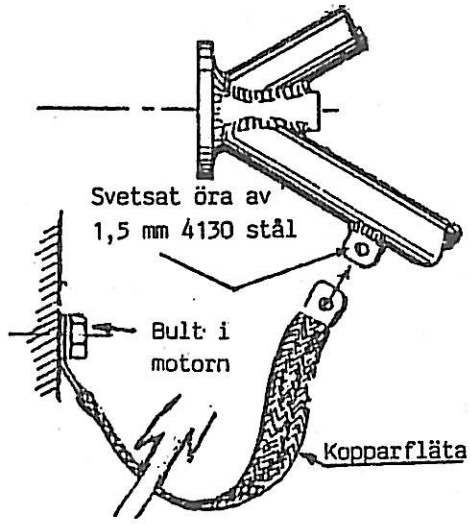



Jordning av motorn.

Luftfartygets motor är monterad via elastiska gummielement som hindrar att motorvibrationer spridas till luftfartygets struktur. Eftersom dessa gummielement är dåliga elledare, krävs en elektrisk överkoppling förbi ett av dessa, som alltså skall leda minuspolen mellan motor och motorfundament till övrig metallstruktur, eller till en separata minusledare (till minuspolens Bus Bar).

De elastiska elementen för en motorupphängning är utsatta för hård mekanisk belastning som komprimerar dessa. Ev. fuktighet, samt kompression, ger en viss överledning av små strömmar via elementen och orsakar åldring av dessa. Av denna orsak skall en överkoppling anordnas mellan metallrena ytor på motor och motorfundament (inte direktanslutning mot elementen).

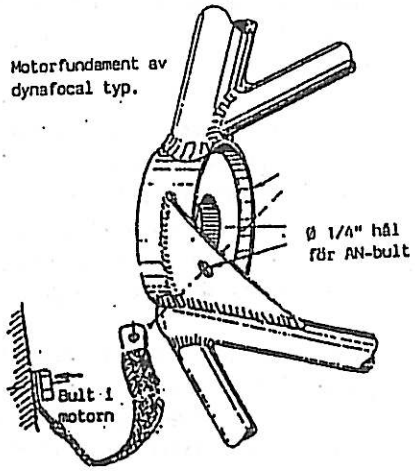
Figuren nedan visar typexempel för överkoppling förbi elastiskt element i motorfundamentet (mellan motor och motorfundament). Den svetsade klipsen skall vara metallren (ej målad eller på annat sätt ytbehandlad). Förtenning är dock en fördel.




Vanligen används en kopparfläta som överkoppling. Eftersom denna inte är isolerad är den lättare att avsyna för eventuella skador.

Dimensionering av kopparfläta för överkoppling av motorns elastiska element sker med iakttagande av den största elbelastning som kan förekomma för startmotor, generator och annan elutrustning på motorn. Observera dock att startmotor och generator inte kan vara i drift samtidigt.

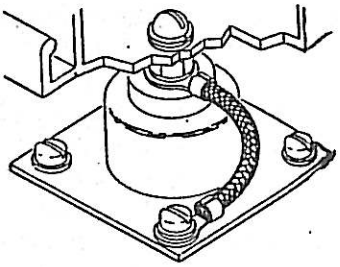
För dynafocal motorfundament finns oftast möjlighet att ansluta överkopplingsledaren till ett bultförband på sätt som visas i nästa figur. Detta monteringssätt får dock inte utföras så att fundamentets hållfasthet minskas under tillåtet värde, med för litet hålkantavstånd, eller så att mekanisk skavning kan uppstå mot kopparflätan. Förbikoppling av motor med dynafocal motorfäste sker på sätt som visas i nästa figur.




Överkoppling av små elastiska element.

För små elastiska element, som kan behövas för enstaka lätta komponenter, t.ex. instrument, radio etc, kan överkoppling ske direkt mot elementets metalldelar. Förutsättningen för detta kopplingssätt är att komponeterna har låg vikt, samt att strömbelastningen är låg.

Nedanstående figur avser ge exempel på sådan överkoppling med kopparfläta, eller isolerad elledare enligt samma standard som för övriga elledare.

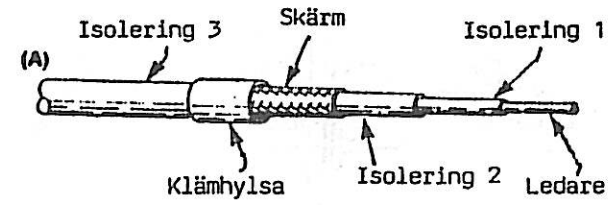


Skarvning av elledare.

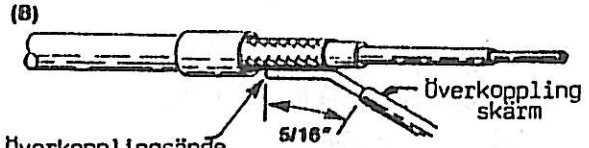
All skarvning av elledningar skall undvikas, detta isynnerhet i små amatörbyggda flygplan med korta elledare.

Om skarvning ändå måste ske av oskärmade ledare skall speciella hylsor användas. Skarvhylsorna är räfflade inuti och ledaren klämmes fast med sär-

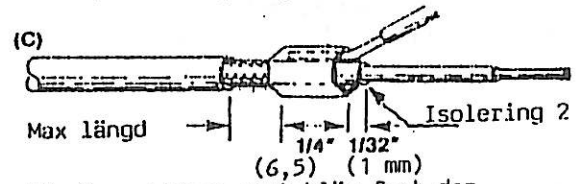
skild krymptång (se Kap 26.2.6). Tennlödning bör absolut inte ske, isynnerhet inte av elledare som ligger i rör eller i kabelknippen.
Om skarvning av skärmad elledare måste ske skall klämmhylsa användas. Sådan skarvning sker med överkoppling för skärmen på sätt som visas i de följande figurerna A till D.



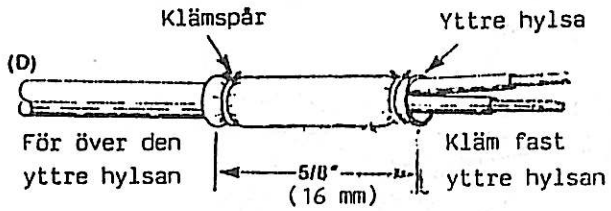
Skala isoleringen. För över klämhylsan.



Sätt på överkopplingen.

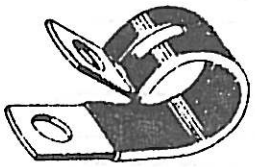


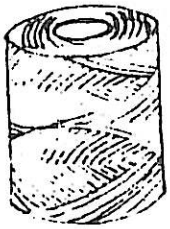
För över hylsan samt kläm fast den.



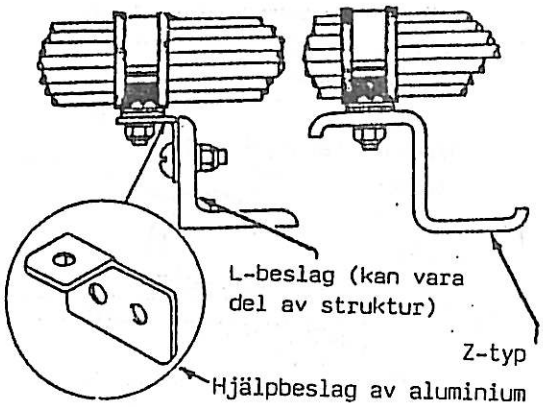
Upprepa momenten för andra ledarens ända. Använd den gemensamma överkopplingen och skarva ledaren med klämmhylsa.

Klamning och bandagering av elledare,
För upphängning, klammning och bandagering av elledare användes:
Klammer av aluminium med kantmonterad gummibeläggning. (eng. Clamps).
Najgarn, som finns att köpa på rulle. Det går också att använda s.k. Simple-Coat (fisknätslina) om denna först vaxas.
Buntband kan användas provisoriskt, men inte för permanent elanläggning.
För klammerna behövs oftast små anpassade fästen av aluminium i L- och Z-form som kan tillverkas.
För montering av klammer och fästen behövs också skruv AN 515 (med mejselspår), AN 340 mutter samt AN 960 planbricka och AN 936 B låsbricka. I vissa fall kan det vara fördelaktigt att använda självlåsande mutter av typ AN 365 (låsbricka användes inte om montering sker med självlåsande mutter).
För överkopplingar användes mest AN-4 bult.
Nedanstående figurer avser visa en del material för klamning och bandagering av elledare.

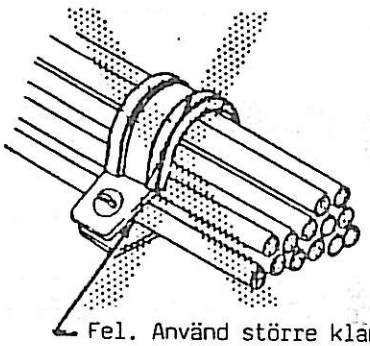

E-Clamps av aluminium med invändig gummibeläggning.
Typ MS 21919.


1). Najgarn av flätat, vaxat, garn enligt engelsk specifikation 6F35.
2). Flätat najband enligt MIL -T43435 typ 1. Dimension 2,3 x 0,3 mm.
3). Svart PVC (lakritsband) Okänslig för bensin. Har dimension 3/32 x 5/32".

Figuren nedan visar hjälpbeslag som kan användas för att klamma buntade elledare till luftfartygets struktur.

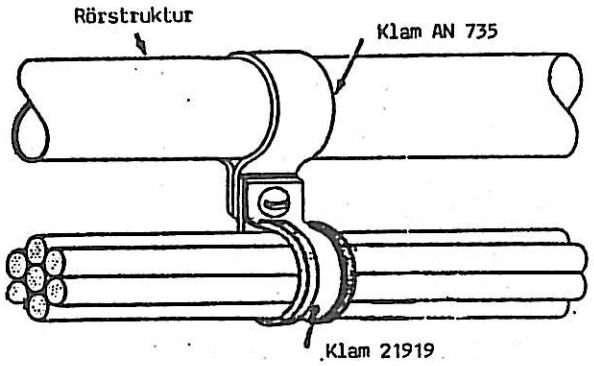


Använda klammer måste ha rätt diameter. I denna figur visas att felaktig klammerdiameter använts så att en eller flera ledare är hopklämda.
Observera att klamning aldrig får ske med den typ isolerband som används för "vanliga" elarbeten.


Fel. Använd större klammer.

Nästa figur visar montering av elkablage mot befintlig rörstruktur. Rörklammern kan ersättas med

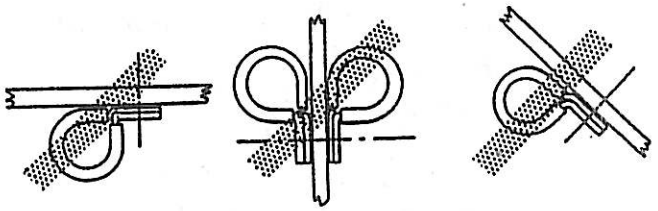
en svetsad clips om strukturen är av stålrör.



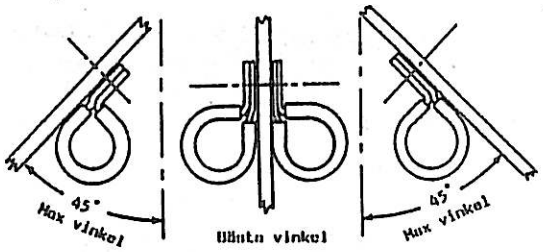

Allmänt gäller att elledarna skall monteras på säkert avstånd från bränsleledningar, reglage, varma motordelar, eller ytor som kan skava sönder ledarnas isolering. De får heller inte monteras mot detaljer som överför vibrationer, eller så att de kan skadas av mekanisk påverkan, av syra eller gas från batteri etc.
För att fylla angivna krav måste elledarna förläggas i flygmaskinens tak eller sidor - inte i golv eller motsvarande. Bäst förläggning av elledare är i speciella tunnlar i flygplanets konstruktionsstruktur, eller i speciellt inbyggda hålrum för trä- eller kompositplan.

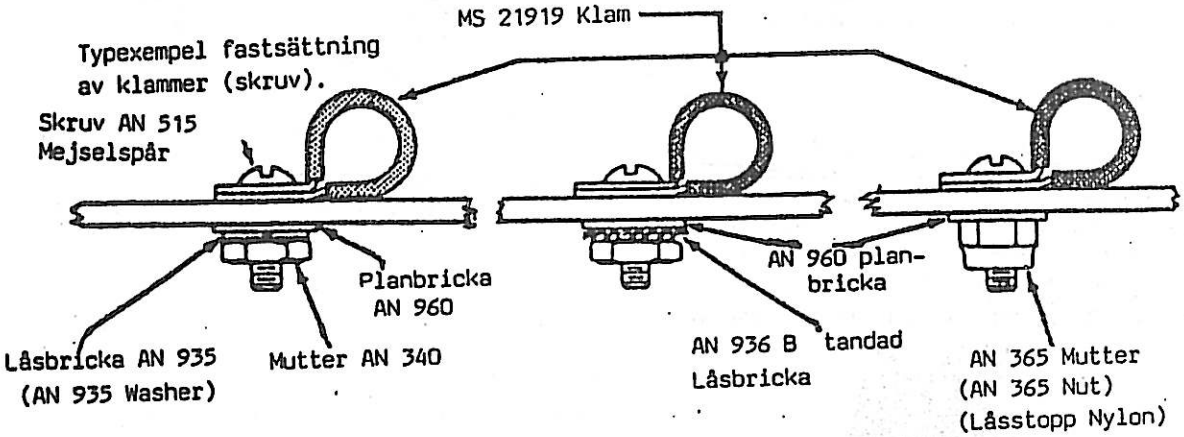
Vid klamning av elledningar gäller vissa regler, där de nedanstående figurerna visar rätt resp fel lutning vid klamning.

De undre figurerna ger exempel för montering av klammer, samt klamning och buntning av elledare.

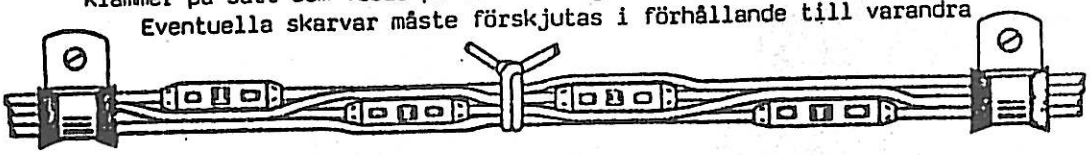


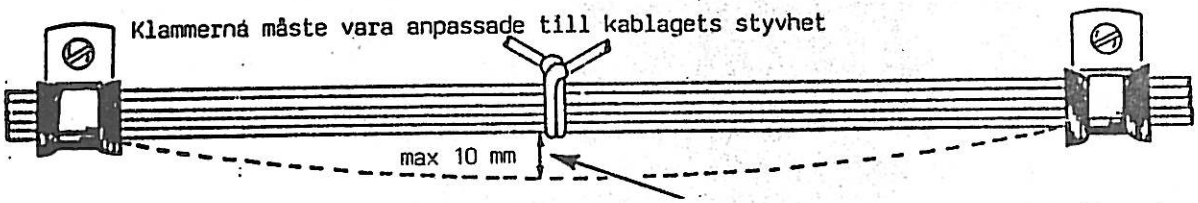
Felaktig monteringsvinkel för klammor



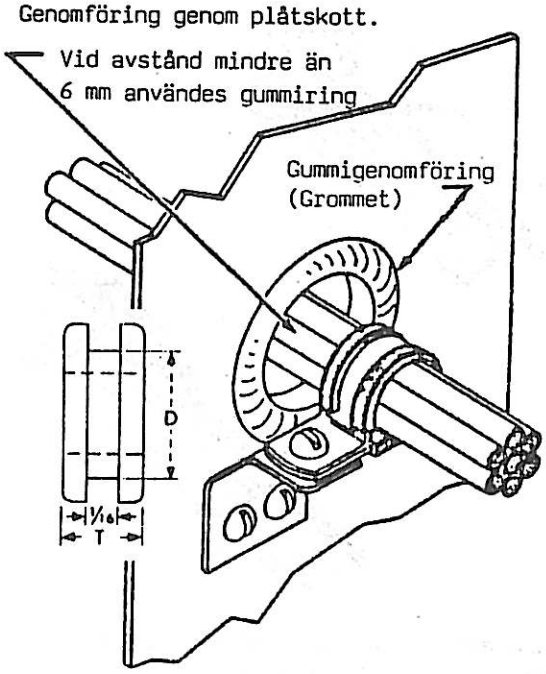



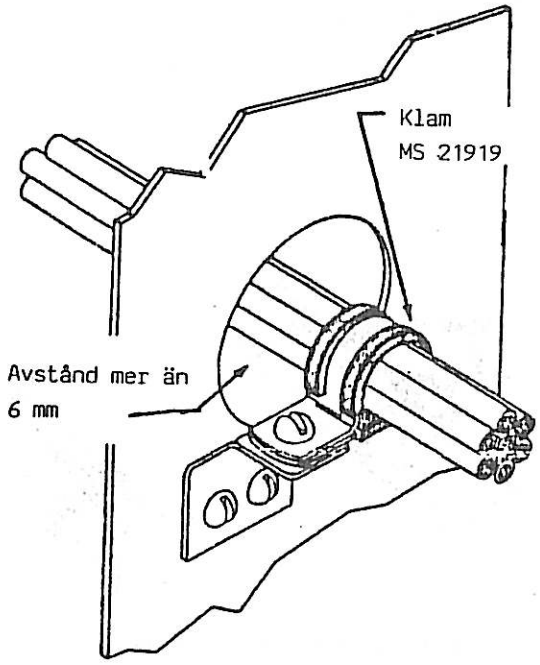

Om avståndet mellan klammerna är mer än 300 mm skall en najning finnas mellan varje klammer på sätt som visas på de två följande figurerna.
Eventuella skarvar måste förskjutas i förhållande till varandra






Rätt klammavstånd innebär att kablagets egenvikt plus normalt lätt handtryck inte flyttar kablaget mer än max 10 mm enligt figuren.



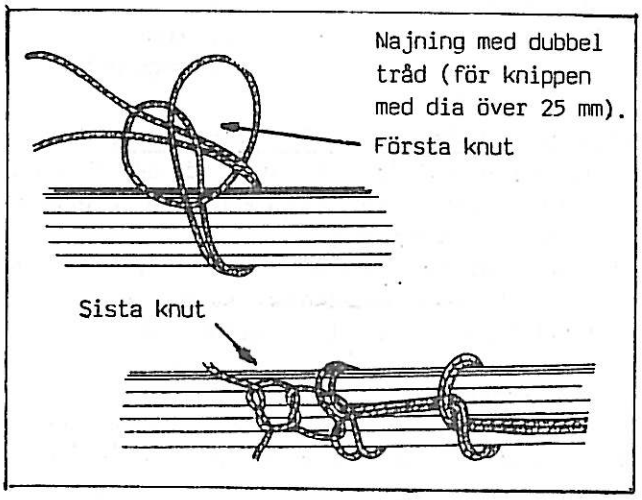




Bandagering av elledare.

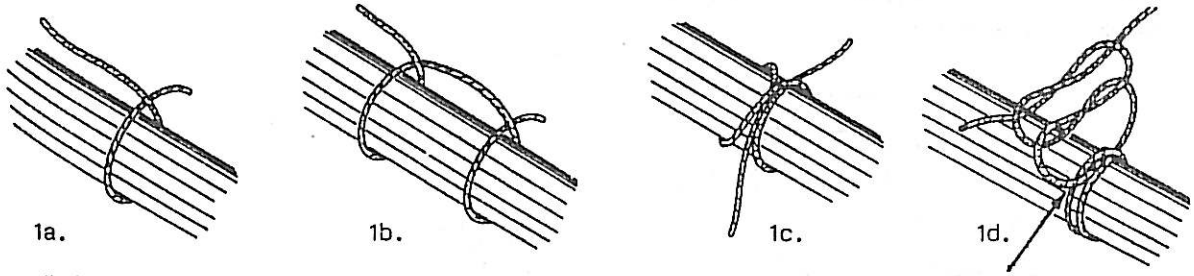
Kabelknippe med upp till dia 25 mm kan najas tillsammans med enkel najtråd på sätt som visas i figurerna nedan. För kabelknippen med större dia än 25 mm användes dubbel najtråd enligt figuren till höger (ej aktuellt för små flygplan).

Figur 1a till 1d visar en enkel najning som användes bl.a. för kabelknippen som klammats med större klamavstånd än 300 mm.

Figur 2a till 2c på nästa sida visar najning av kabelknippen med dia mindre än 25 mm.

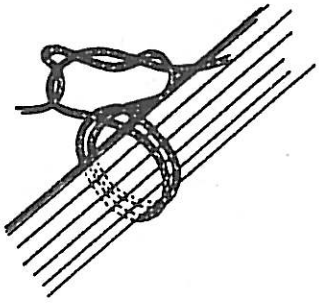



Figur 1: Enkel najning med vaxad tråd - t.ex. mellan klammer som har mer än 300 mm avstånd från varandra.



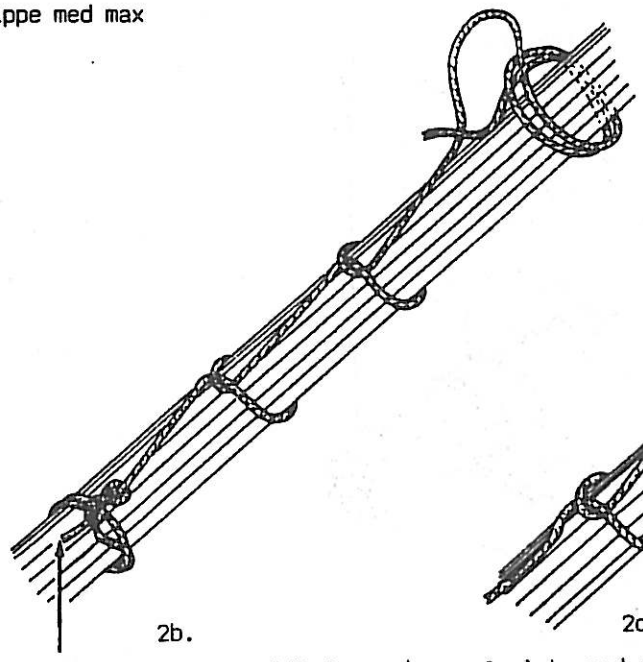

De avklippta trådändarna skall vara minst 10 mm långa.

Figur 2 visar najning av kabelknippe med max diameter 25 mm.



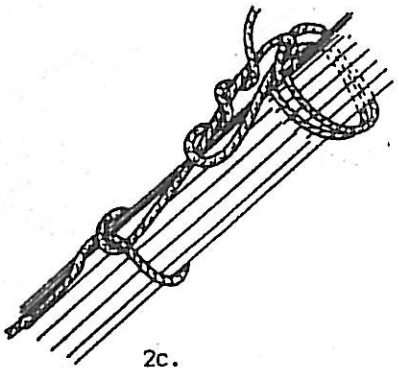
2a.

Börja med ett halvslag och sedan en dubbel överhandsknop.



2b.

Klipp av den vaxade trådändan med minsta överskottslängd 10 mm. Gör ett enkelt halvslag och drag åt. Gör enkla halvslag varje 10 - 15:de mm längs hela kabelknippet.



2c.

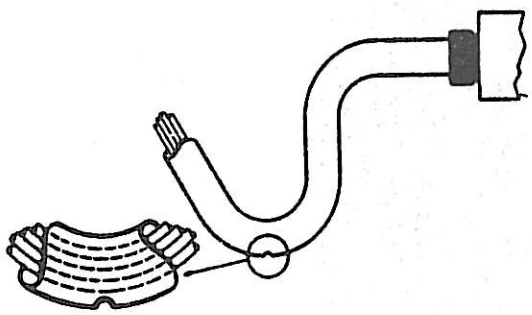
Avsluta med ett dubbelt halvslag samt "lås" med vanlig knut i flera genomföringar på sätt som visas i figuren.

Elledarnas förläggning i rör eller tunnel.

Förläggning av elledare kan ske i rör av PVC eller aluminium, eller i speciell tunnel som är inbyggd i trä- eller kompositplan.
Vid sådan förläggning skall elledarna först najas till ett kompakt kabelknippe så att de inte kan skava mot varandra så att isoleringen skadas.

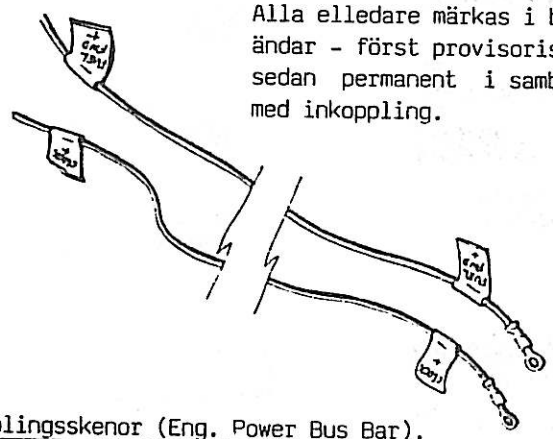
Vid förläggning i rör eller tunnel skall det finnas dräneringshål upptagna vid alla befintliga lägsta punkter där kondensat kan avrinna. Dessa dräneringshål skall ha minst dia 3 mm, samt dess kanter gradade för släppning av vattendroppar. Dessa hål borras vanligen innan kabelknippet dras in för att borrspån skall kunna avlägsnas.

Nedanstående figur visar exempel för dräneringshål i kabelrörets lägsta punkt.



Märkning av elledarna.

Innan elledarna inkopplas till sina resp anslutningar måste de först märkas för att rätt anslutning skall kunna ske vid senare demontering.
Märkningen utföres först provisoriskt med t.ex. skrivna förklaringar som fästs mot resp ledare med tejp. Vid inkopplingen utförs en permanent märkning med speciella märkband eller märkta plasthylsor. Märkning kan också ske med nummer som då måste korrespondera med ledningsschemat.
Även olika färger på elledarna bör användas om många ledare är förlagda i samma kabelknippe eller används vid samma elkomponent.
För isolerade jordledningar användes alltid samma färg för hela systemet - t.ex. rött, svart, eller helst standardiserad gul/grön färg.



Alla elledare märkas i båda ändar - först provisoriskt, sedan permanent i samband med inkoppling.

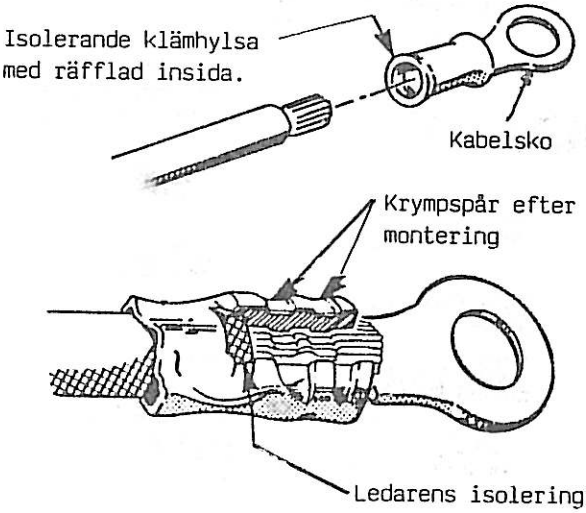
Kopplingsskenor (Eng. Power Bus Bar).

Kopplingsskena tillverkas av koppar och anordnas så att den är säkert avskild från ledande kontakt med flygplanets metallstruktur. Bästa sättet är att placera skenan på en 5 mm platta av vävbakelit som är något fuktabsorberande, men har god hållfasthet mot mekaniska skador. Men det går också bra med Pertinax, Teflon eller Nylon. Någon yttre isolering behöver inte anordnas såvida att inte risk för kontakt med metalldelar föreligger.
Kopplingsskenan tillverkas av ca 4 mm koppar med bredd 10 mm. Bäst är att gänga fast polskruvar (skruv utan skalle som tennlödes i gängorna mellan skruv och skena), samt därefter förtenna hela skenan.
Kopplingsskenan placeras så nära batteriet som möjligt och fungerar som central anslutningsplint för positiva ledningen till alla strömförbrukande elkomponenter, utom för startmotorn som får sin strömmatning direkt från batteriet via en solenoid (manöverspole) med manöverström via startkontakt.
Längden på kopplingsskenan anpassas för erforderligt antal polskruvar (uttag). Polskruvarnas diameter anpassas för använd polsko. För större elsystem kan flera skenor behövas.
För flygplan av trä eller composit, som måste ha separat negativ ledare, anordnas en kopplingsskena även för negativa polen. Denna placeras nära den positiva kopplingsskenan (men elektriskt skild från denna). Den negativa kopplingsskenan tillverkas på samma sätt som den positiva samt användes för inkoppling av alla negativa elledare (jordningar) i elsystemet. Observera dock att batteriet skall ha en separat direktkopplad negativ ledare för matning till startmotorns strömkrets.
Övrig motorjordning sker till negativa kopplingsskenan. I vissa fall kan det också vara nödvändigt att ansluta generatorns negativa pol via separat ledare direkt till batteriet - via relä och särskild spänningsregulator.

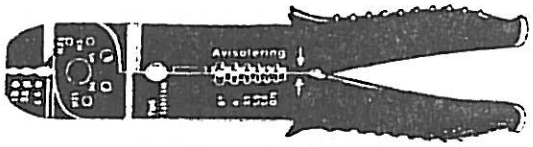
Kopplingsdon för elledarna.

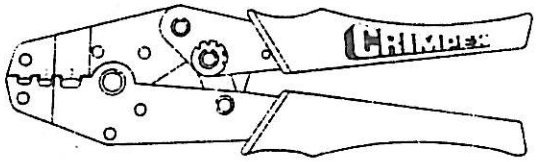
Efter provisorisk märkning av elledarna, anpassas deras längd till avsedd inkoppling. Använd erforderligt långa kopplingsändar så att risk för dragbelastning inte uppstår. Å andra sidan bör inte längden göras för onödiga "ormbon".
Forma aldrig en för lång ledare så att det uppstår spolverkan i närheten av järndetaljer som kan överföra magnetfält från ledaren.
Lödning av elledare bör undvikas eftersom detta kan medföra att en dålig s.k. kallödning ger ökat övergångsmotstånd. Syror vid lödstället kan dessutom ge upphov till svåra oxidskador (frätning av ledarna). Detta kan elimineras om endast hartzfyllt tenn användes (ej extra lödsyra eller lödpasta).

För elledningar finns speciella kopplingsdon med olika färger för olika ledares diameter, och med olika anslutningar för skruv, med snabbkoppling etc. Vid monteringen av dessa kopplingsdon skalas isoleringen på ledaren som sedan krympes fast med specialtång.

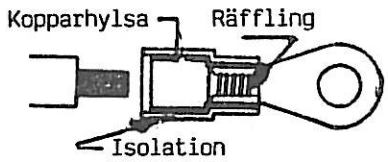


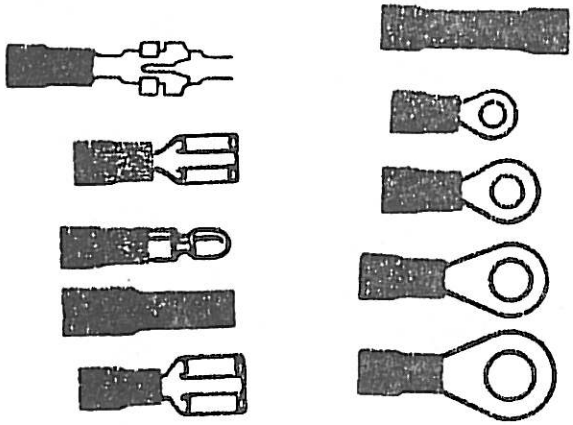
Figurerna nedan visar lämplig presstång för krympning av kopplingsdon.
Den ena är försedd med färgmärkning för avsedd dimension från 0,5 till 6 mm$^2$ area. Den är också försedd med avbitare och avisolerare.
Den andra presstången är dyrare, men är att rekommendera för pressning av kabelskor för elledare i flygplan. Tången är så konstruerad att den inte kan öppnas förrän rätt presstryck erhållits för rätt dimension. Den är avsedd för kopplingsdon till ledare med area från 0,75 till 6 mm$^2$.
Båda presstängerna kan användas för AWG-ledare.

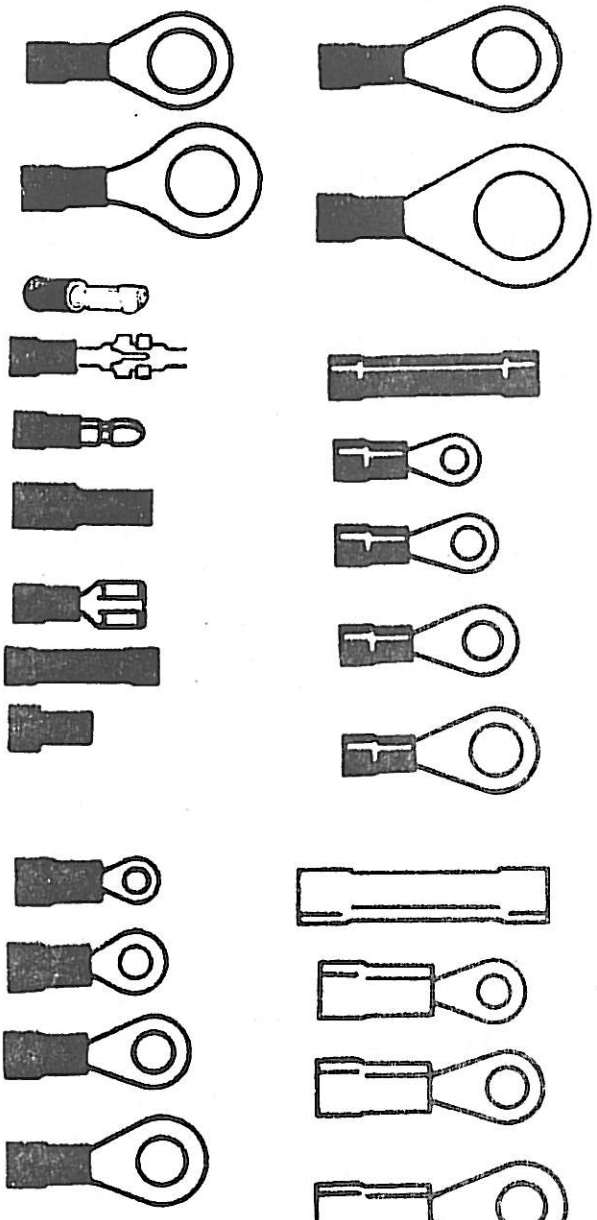


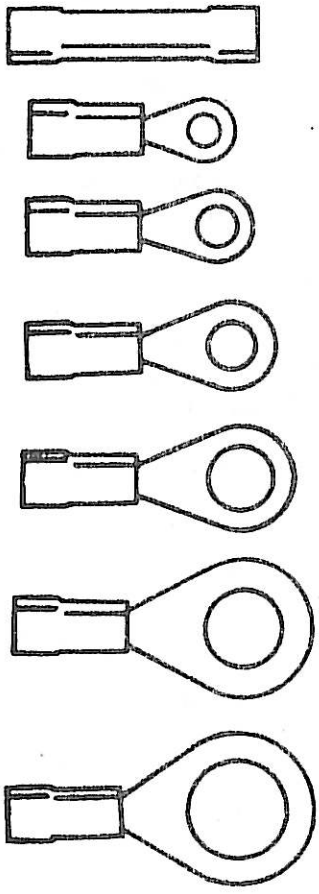



De följande bilderna visar kabelskor i olika storlek med färgerna röd, blå, gul och svart, avsedda för olika dimensioner ledare (färgen är inte alltid bunden till dimension hos avsedd ledares area - beroende på fabrikat). Kopplingsdonen måste passa för avsedd ledares area eftersom pressningen annars får fel krympning eller att elledaren inte kan föras in i hylsan. Förutom kabelskor finns skarvhylsor för oskärmad ledare, snabbkontakter i flera utförande etc enligt de visade figurerna som är i ungefärligt naturlig skala samt svarta resp röda.







Allmänt om strömställare.

En strömställare är vanligen dimensionerad för en viss maximal spänning och strömstyrka. Några är märkta för tillåten belastning, andra är inte.

För en flygmaskin måste man använda strömställare som håller för aktuell belastning med likström, som skiljer sig väsentligt från växelström. Men vad är skillnaden mellan strömställare som är avsedda för likström respektive för växelström?

För att förklara detta måste vi först ha kännedom om att eventuell märkning, storlek och typ, inte alltid är avgörande om den kan användas för ett flygplans likströmsanläggning.

Om vi tar t.ex. en strömställare som är tillverkad för växelström och avsedd för 110 volt/10 ampere, så fungerar denna också för 110-voltsnätet om belastningen är högst 10 ampere (1100 W), men om den används för en 12-volts likströmsanläggning så klarar den endast en strömstyrka av 0,3 ampere (3,6 W). Väljer vi en 220-volts strömställare som är märkt 10 ampere AC (2200 W), klarar denna en ström av endast 0,15 ampere (1,8 W) i en 12-volts likströmsanläggning.

Orsaken till denna skillnad för växel- och likström är att öppning och slutning av en likströmskrets ger avsevärt större gnistbildning än för motsvarande växelströmsanläggning. Detta nyttjas givetvis av fabrikanterna som får en enklare konstruktion av strömställare för växelström, i jämförelse med strömställare för likström. Priset kan därför skilja avsevärt.

För den som väljer strömställare för sitt flygplan gäller det att ha vetskap om skillnaden mellan de båda typerna strömställare vars orsak beror på att växelström är pulserande där spänningen ändrar sin polaritet med frekvensen. För att vanligt elnät med 50-periodig växelström skiftar spänningen sin polaritet 50 ggr per sekund, enligt en sinusformad kurva, vilket innebär att spänningen är noll varje gång polariteten skiftar från plus till minus. För en strömställare med snabb rörelse av kontakterna medför detta att en påbörjad gnistbildning upphör då spänningen är noll, och kan därför inte få hög intensitet eller långvarighet.

För likström råder hela tiden samma spänning som innebär att det uppstår en kraftig gnistbildning då strömställaren manövreras.

För större likströmseffekter kan en magnetspole (blåsspole) användas, vars magnetiska flöde ger en magnetisk blåsverkan som "blåser ut" en påbörjad gnistbildning. För relativt små likströmsnät kan inte en sådan blåsspole användas på grund av dess kostnad och vikt. Istället används strömställare som, om de har rätt dimensionering, klarar gnistbildningen utan förstöring genom överhettning eller hopsvetsning av kontakterna. Givetvis innebär detta att priset för en strömställare till ett flygplan blir högt. Men detta kan ändå vara lönsamt om vi betänker vad som exempelvis kan hända om en felaktigt dimensionerad strömställare används för manövrering av landställ, som inte kan fällas ut om strömställarens elkontakterna har brunnit, eller svetsats ihop.

Användandet av underdimensionerade strömställare i flygplan innebär att dessa då utgör elsystemets "svagaste länk" som kan förstöras innan använd säkring utlöses. De skall istället alltid vara den "starkaste länken".

Dimensionering av strömställare för likström.

Vid val av strömställare skall hänsyn tas till att de också motstår de initialbelastningar som uppstår för lampor, motorer, relä etc. Det är givetvis inget fel att välja en strömställare som är onödigt stor - men farligt att välja en som är för liten.

Det är viktigt att förvissa sig om vilken belastning en strömställare måste dimensioneras för. Att finna maximal belastning för en strömkrets sker enkelt med hjälp av märkdata för inkopplade elkomponenter, men det behövs också kännedom om belastningens art.

Om t.ex. en lampa skall tändas då den har "normal rumstemperatur", är dess motstånd så lågt att strömstyrkan kan bli uppåt 8 ggr högre (eller mer) än då den är varm under drift.

Då en likströmsmotor direktstartas med en strömställare uppstår strömrusning som minskas efterhand som motorns motelektriska kraft ökar med ökat varvtal. Startströmmen kan alltså uppgå till avsevärt högre värde än under drift. Liknande förhållande inträffar då en elmotor stoppas, på grund av induktion som ger höga spänningar vilka orsakar kraftig gnistbildning i strömställaren. I vissa fall kan dock särkild dämpning med dioder nyttjas. Liknande förhållande inträffar vid manövrering av reläer, solenoider etc.

Inverkan av belastningens art kan bestämmas ur tabellen nedan:

| Typ av belastning | Spänning DC volt | Faktor |
|---|---|---|
| Lampor | 24 | 8 |
| | 12 | 5 |
| Reläer, Solenoider | 24 | 4 |
| | 12 | 2 |
| Elvärme | 24 | 2 |
| | 12 | 1 |
| Motorer | 24 | 3 |
| | 12 | 2 |

I tabellen angiven faktor innebär att initialström

för t.ex. en 28 volts glödlampa är 8 ggr större än driftströmmem. Om strålkastarens glödlampa har en märkeffekt av 100 W, blir I = 100/24 = 4,2 A under drift. Men vid tändning blir strömstyrkan 8 * 4,2 = 33,6 A under ett kort moment. Strömställaren måste därför ha märkström 35 A vid 24 volt. Däremot behöver inte elledningar vara dimensionerade för mer än standard 6 A (AWG 22). Samma gäller säkringen, som har fördröjd utlösning, och kan vara 5,0 ampere för att skydda elledningen.

Strömställare för flygplan.

Vanligen används strömställare som är kombinerade med automatisk säkring av bimetalltyp för 32 volt samt från 1 till 50 ampere i standardintervaller (se Kap 26.2.9 om dessa strömställare).

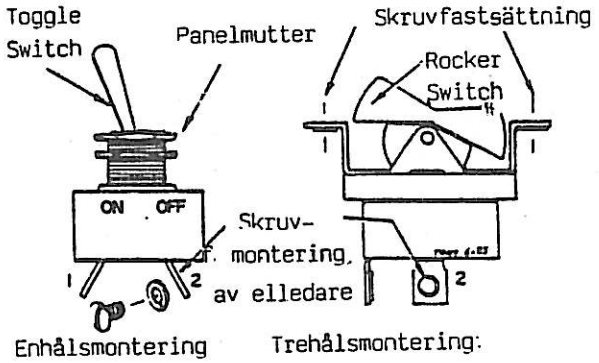
För små strömstyrkor upp till 4 ampere användas ofta små vippströmställare (Eng. Toggle Switches). Dessa monteras vanligen samlat i instrumentpanel eller i särskild panel för strömställare.

Monteringen sker alltid så att TILL-läget är uppåt vid horisontell montering, resp framåt vid vertikal montering. Märkning skall alltid finnas som visar ansluten elkomponent, samt dessutom för läge TILL/FRÅN resp NOLL-läge för omkastare.

Dessa strömställare finnas även i vipp-utförande (Eng. Rocker Switch), samt som tryckströmställare (Eng. Pushbutton Switch). De senare är dock inte bra med hänsyn till att FRÅN/TILL-läget inte kan identifieras annat än med inkopplad signallampa.

Vanligen tillverkas "Toggle switch" för 28 volt och 4 ampere. Utförandet är med massiva silverkontakter och fastsättning kan vara en-håls, eller tre-håls med två fästskruvar samt centrum för vipphandtaget. Montering skall alltid ske med låslack för fästskruvarna vid tre-hålsmontering.

Figuren visar en "Toggle- resp en Rocker Switch" av typ SPST (enpolig envägs).



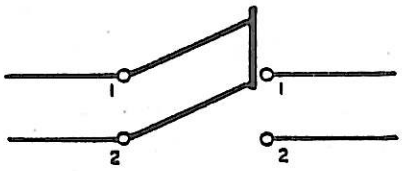
Schemasymbol (SPST).

Toggle- och Rocker Switch finnas i utförande som:

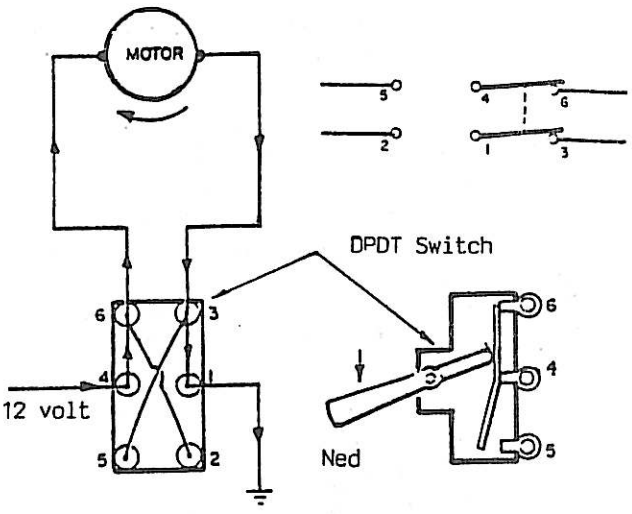
Enpolig/envägs (SPST = Single pole/Single throw) som endast kan användas för en strömkrets.

Enpolig/ 2-vägs (SPDT = Single pole/Double throw), som kan användas som omkastare/väljare för två olika strömkretsar.

Tvåpolig/envägs (DPST) = Double pole/Single throw) som kan användas för enpolig strömkrets.




Tvåpolig/tvåvägs (DPDT = Double Pole/Double throw) som kan användas som omkastare/väljare för två enpoliga strömkretsar. Dessa kan t.ex. användas för att reversera rotationsriktningen för motorer till landställ m.m. Inkopplingen av en sådan anläggning visas nedan som typexempel i läge för "landställ ned".




Det finns också speciella strömställare i form av mikrobrytare (Eng. Micro Switch) i olika utförande som SPST och SPDT för användning som gränslägesbrytare, tryckindikatorer, signalanläggning etc.

Allmänt om reläer och solenoider.

Ett relä är egentligen inget annat än en strömställare med speciell funktion. Vi skiljer i dagligt tal mellan reläer och solenoider, där ett relä är en liten "solenoid" (= strömspole) som kan vara utförd för speciell funktion, medan en solenoid är avsedd som fjärrmanövrerad strömställare för stora strömstyrkor.

Såväl reläer som solenoider är uppbyggda kring en spole som lindats med isolerad koppartråd. I denna spole sitter ett ankare av mjukjärn som påverkas av det magnetiska fält som uppstår då spolen strömkopplats. Magnetfältet påverkar då ankaret så att detta dras i bestämd riktning och sluter alt. öppnar en yttre strömkrets via fjädrande kontaktytor som ofta är silverpläterade.

Fördelen med ett relä, eller en solenoid, är att den manövreras snabbare än en manuellt manövrerad strömställare. Detta innebär att gnistbildning och värmeutveckling blir lägre för solenoiden som därför kan användas för större strömstyrkor än de manuella strömställare som finns för flygplan.

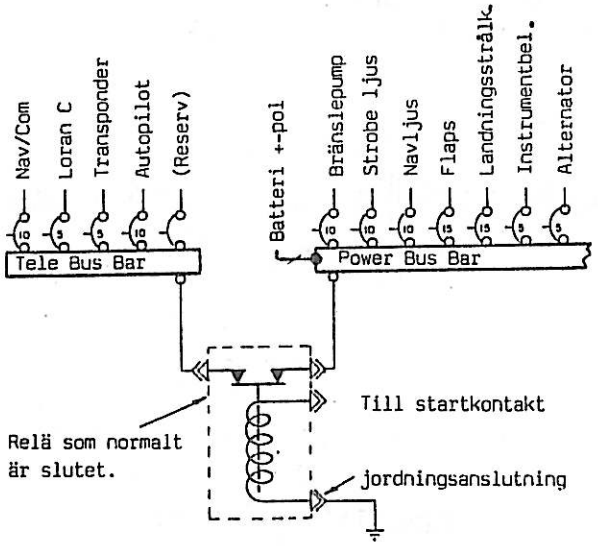
Användning av reläer (Eng. Relay).

Ett relä kan vara utfört på olika sätt för olika funktioner, t.ex. vara så anordnad att den inte sluter eller öppnar yttre strömkretsen förrän vid en viss spänning (eller ström) i spolen. Sådant relä används bl.a. i en spänningsregulator för generatorns strömkrets till batteriet. Då generatorspännigen ökat så att den är högre än i batteriet, slutes kontakterna och laddning sker. Omvänt så öppnar strömkretsen då generatorns polspänning blir för låg, och hindrar därmed att strömmen matas bakvägen från batteri till generator, som i så fall kan förstöra denna. Sådana relä är alltid justerbara för inställning bl.a. av max spänning (egentligen ström), för att hindra överladdning av batteriet till gasspänning.

Relä används för många andra områden inom elektronikområdet, särskilt inom teleområdet, för fordon etc.

För flygplan finns många användningsområden för reläer där det kan vara en fördel att använda sådana ur manövrerings- och säkerhetssynpunkt. Men "snobb"-användning av reläer medför också ett mer komplicerat elsystem och större antal möjligheter för felkällor. Användning av reläer har också en negativ effekt i den bemärkelsen att de i flesta fall förbrukar elström och därför bör undvikas så mycket som möjligt i ett flygplan med begränsad tillgång till elenergi. Vi kommer ändå att visa några exempel på användning av reläer i flygplan.

De flesta piloter har väl någon gång glömt att bryta strömmen till teleanläggningarna innan motorn stoppats eller startats. Detta medför att, isynerhet då startmotorn inkopplas, att vissa komponenter kan skadas, t.ex. transistorer eller dioder, med följdverkan i mycket kostsamma reparationer. Här kan ett relä vara berättigat. Detta relä har strömkretsen sluten vid normal drift och förbrukar då ingen ström. Om startmotorn inkopplas får samtidigt reläet ström till sin manöverspole så att dess strömkrets öppnas för känsliga komponenter på sätt som visas i figuren nedan.




Användningsområde för solenoider i flygplan.

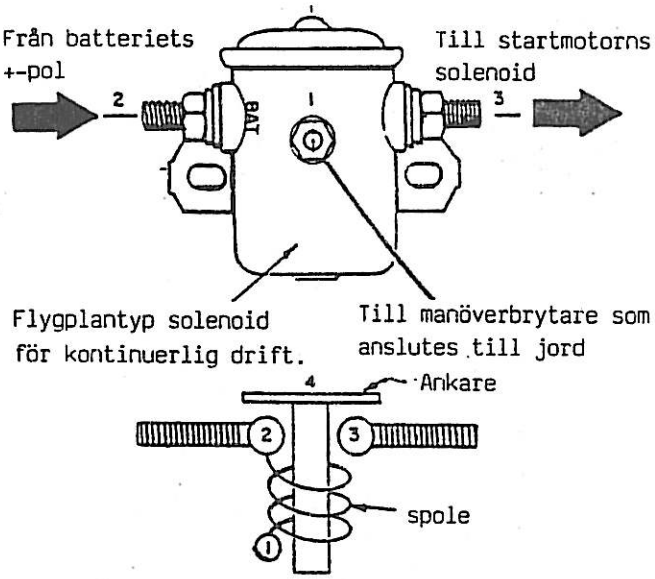
Solenoider är avsedda som strömställare för stora strömstyrkor, t.ex. för startmotor, och som huvudbrytare för batteriets matning till elsystemet. En solenoids spole kan matas med manöverström via en liten vippströmbrytare, eller startkontakt i tändningsbrytaren.

Vanligen används två olika typer solenoider i ett flygplan. Den ena typen är avsedd för kontinuerlig drift och användes som batteribrytare. Den andra typen kan vara avsedd för intermittent drift och användes för startmotorn. Exempel på kopplingsschemor visas i Kap 26.2.2, schema 1 till 4.

Om en solenoid, som är avsedd för intermitent inkoppling under några sekunder - eller högst någon minuts intervall, används som batteribrytare för kontinuerlig inkoppling, kommer den att brinna upp efter kort tid. Orsaken är skillnaden i manöverspolens dimensionering. Det står sällan angivet på en solenoids märkplåt om den är avsedd för enbart kortvarig inkoppling. Men genom att välja rätt partnummer vid köp, eller att med en känslig ohmmeter mäta manöverspolens resistans, kan de särskiljas. Den solenoid för 12 volt som endast är

avsedd för intermittent drift, har en resistans i manöverspolen som är 4 till 6 ohm. För en 12-volts solenoid för kontinuerlig drift är resistansen 8 till 10 ohm.
Vanligen används en solenoid som huvudbrytare med montering nära batteriet. Men i små flygplan kan den ersättas med manuell strömställare.
Från huvudbrytaren matas dels startmotorn via sin solenoid, dels elsystemet i övrigt via en Power Bus Bar (kopplingsplint) för batteri, generator, och elförbrukande elkomponenter.

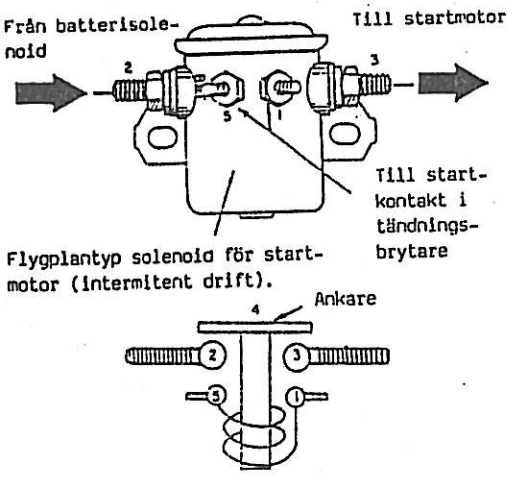
Figuren nedan visar utförande och typschema för en batterisolenoid (för kontinuerlig drift).



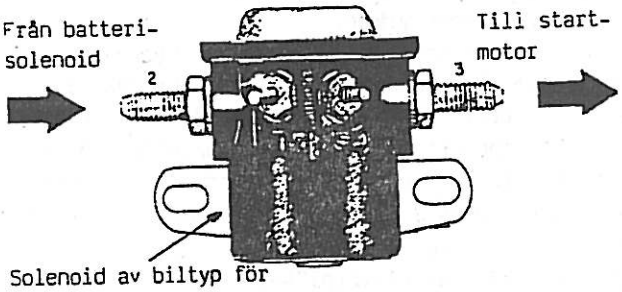


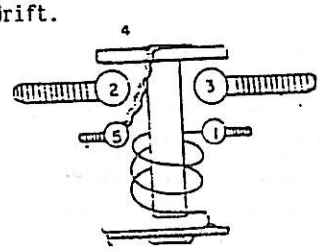


Nästa figur visar en solenoid för startmotor. Observera olikheter i inkoppling av manöverbrytare för batteriets och startmotorns solenoid. Detta framgår också av schemorna i Kap 26.2.2, och kan vara ett sätt att identifiera dem.



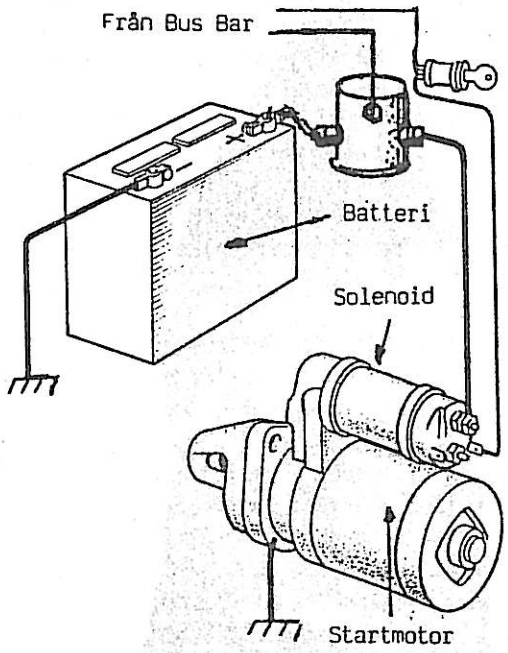

För små amatörbyggda flygplan, som har en konverterad motor av biltyp eller liknande och är försedda med startmotor, kan en startsolenoid av biltyp användas. Denna är avsedd för intermitent drift där utförandet visas i figuren nedan.




Även för startsolenoid av biltyp gäller det att vara observant för inkoppling av strömkretsen för manöverspolen. Stift 5 är jordat i höljets botten och kan således användas för separat jordning. Stift 1 anslutes till startkontakten med matning från Bus Bar.

Nästa figur visar det principiella utförandet för startmotor med solenoid.



Allmänt om säkringar.

Säkringar skall finnas i alla strömkretsar utom för startmotorns solenoidstyrda strömkrets. Någon säkring skall heller inte finnas i tändmagneternas strömkrets för kortslutning (stopp av motorn).

Säkringens uppgift är att skydda elledarna samt deras isolering mot överbelastning så att de inte kan skadas av för hög temperatur.
En förutsättning är att elanläggningen är rätt dimensionerad så att det inte finns någon "svag länk" i systemet, t.ex. underdimensionerade strömställare som går sönder innan säkringen utlöses.

Vilken typ av säkring skall användas?

Två huvudgrupper av säkringar, smältsäkring och automatsäkring, är mest vanliga i ett flygplans elsystem.

Smältsäkringar har fördel i lågt pris. De finns i storlek 6 x 25 mm för 5 till 60 ampere.
Om de går sönder, på grund av överlast eller av åldring, är de svåra att identifiera och byta. Det måste också medföras 3 till 5 reservsäkringar av varje använd storlek.

Automatsäkringar är mest använda i flygplan. De kan vara kombinerade med strömställare, och ger enklare ledningssystem med färre elledare än för smältsäkringar, samt är enkla att återställa efter utlösning.

Dimensionering av säkringar.

Då kopparledningar användas i systemet enligt MIL-W-5086 normerna, samt säkringar enligt MIL-F-15160 resp automatsäkring enligt MIL-C-5809 normer kan följande tabell användas för bestämmande av tillåten säkring i förhållande till ledarens area.

Tabell för max tillåtna amperetal för säkringar

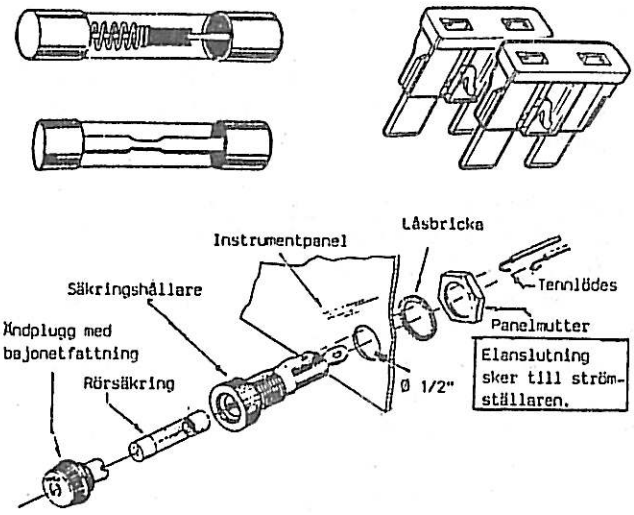
| Ledare av koppar AWG # | Automatsäkring Ampere | Rörsäkring Ampere |
|---|---|---|
| 22 | 5 | 5 |
| 20 | 7,5 | 5 |
| 18 | 10 | 10 |
| 16 | 15 | 10 |
| 14 | 20 | 15 |
| 12 | 25 (30) | 20 |
| 10 | 35 (40) | 30 |
| 8 | 50 | 50 |
| 4 | 100 | - |
| 2 | 125 | - |

Tabellen visar max tillåten säkring i standard amperetal. Det är dock tillåtet att använda mindre säkringar om inkopplad elbelastning är låg i förhållande till använd ledningsarea (AWG #).

Smältsäkringar (Eng. Fuse).

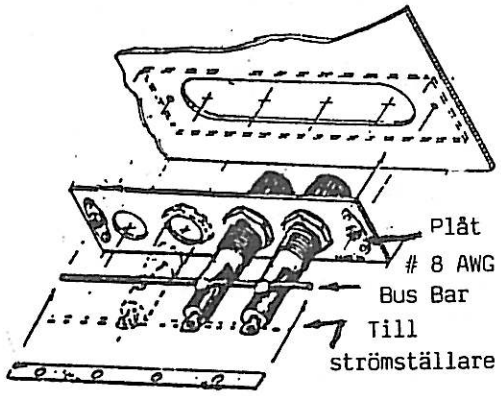
För flygplans elsystem använda rörsäkringar är vanligen inneslutna i ett glasrör med ledare av tunn tråd som smälter vid överlast utöver märkströmmen.
Vid kortslutning i systemet smälter tråden genast, och vid vanlig drift klarar den en tillfällig överlast under relativt lång tid med hänsyn till högre tändström för lampor, små motorer etc.
För speciella ändamål, t.ex. för strömkretsar som kräver högre belastning vid inkoppling, finnes tröga säkringar som håller för ca 1,8 ggr märkströmmen för initialbelastning av lampor etc.
En rörsäkring (vanligen en glasrörsäkring) är avsedd monteras i speciell säkringshållare. Denna bör placeras i en säkringscentral, antingen i instrumentpanelen eller i dess närhet, och åtkomlig för piloten under flygning. Likaså bör alltid reservsäkringar vara lätt tillgängliga inom räckhåll.
En glasrörsäkring bytes ganska snabbt och enkelt om använd säkringshållare är av bajonettyp som endast kräver att ändpluggen vrides 1/4 varv. Det krävs dock att identifiering av reservsäkringarna har kunnat ordnas genom separat förvaring i fack med märkning av storlek - eller på annat sätt.

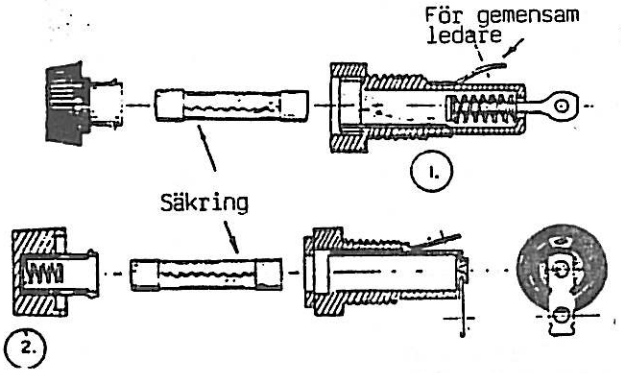
Figuren nedan visar glasrörssäkringar, placering i säkringshållare och inkoppling till avsedd strömställare i strömkretsen. Anslutning av ledarna sker med lödtenn till lödöron i säkringshållaren.




Numera finns också smältsäkringar av flattyp som kan användas för flygplan. De är enklare att identifiera genom färgmärkning, lättare att montera i klämfattning, samt finns i utförande som indikerar utlöst säkring genom att de lyser.

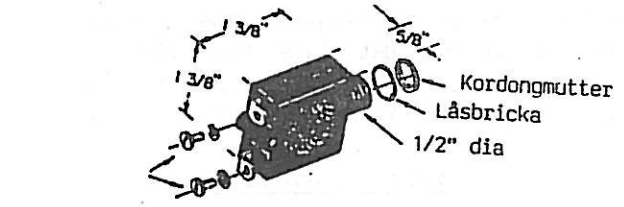
Eftersom smältsäkringar endast användas för små strömstyrkor blir dess antal inte större än att alla säkringar kan samlas i en särskild panel, antingen i instrumentpanelen eller separat. Ett exempel på sådan panel visas i figuren nedan.
Observera att flera säkringar kan ha gemensam hopkoppling för + pol från Bus Bar. Den fjädrande bottenanslutningen används för elledare till avsedd strömställare i de fall där bottenkontakten är fjädrande (figuren 1).

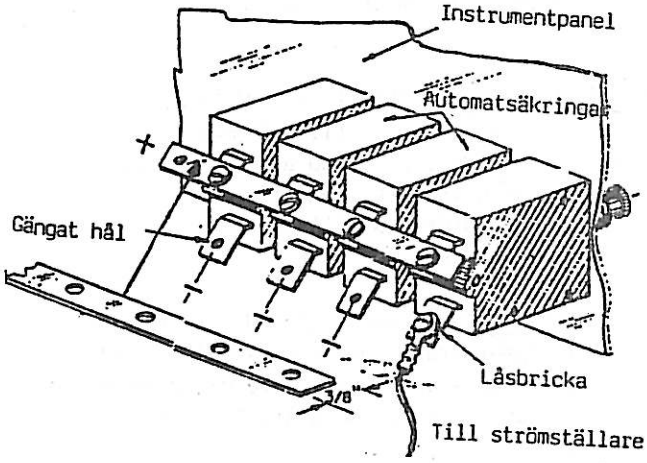


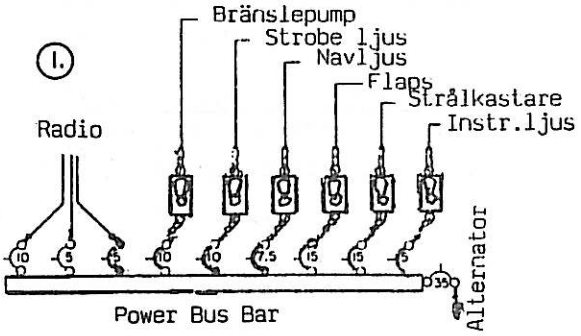

Alla säkringar skall ha märkning för storlek och avsedd strömkrets. Märkningen placeras väl synlig på panelen.

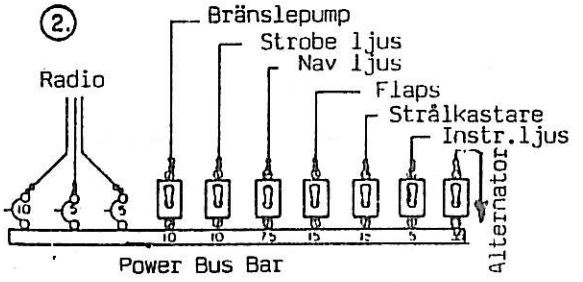
Automatsäkringar (Eng. Circuit Breaker).
Dessa säkringar användas i flygplan för större belastningar. Den inbyggda säkringen är av bimetalltyp som öppnar strömkretsen då belastningen är högre än säkringens märkström.
Automatsäkringar finns i flera olika utföranden, som kombinerad strömställare/säkring, med tryck- eller vipp, samt maunuellt eller för automatisk återställning efter utlösning.
Vidstående figur visar en automatsäkring som också används som strömställare med separat indikeringslampa för tillslaget läge. Det finns också automatsäkringar med inbyggd ljusindikering. Mest använda automatsäkringar är avsedda för manuell återställning efter utlösning. Det dröjer endast ca 10 sekunder för bimetallen att svalna.
Figuren nedan visar hur automatsäkringar kan förses med samlingsskena för grupper av säkringar där matningen sker från Power Bus Bar.

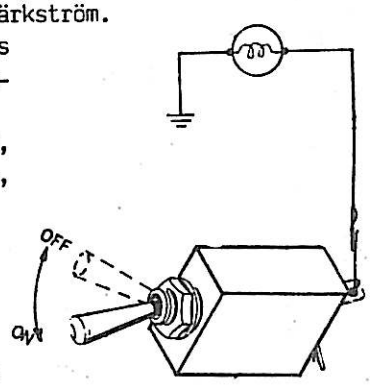



Figur (1) visar användning av automatsäkring med separata strömställare. Figur (2) visar hur kombinerade automatsäkringar användas utan separat strömställare. Observera schemasymbolerna.



Allmänt om övervakningsutrustning.

De flesta flygplan behöver någon form av övervakningsutrustning för anläggningar vars funktion inte kan observeras av piloten. Detta gäller t.ex. laddning av batteriet, lågvoltsindikering, läge för flaps och landställ, ytterbelysning etc.

För ett litet flygplan med fast landställ, mekaniskt manövrerad flaps o.s.v, är behov eller krav för övervakningsutrustning av mindre omfattning än för större flygplan med omfattande utrustning som kräver övervakningsindikering.

Övervakningsutrustning består mest av signallampor för respektive strömkrets, voltmeter, amperemeter etc. Ibland ingår också mikrobrytare och reläer.

Är flygplanet exempelvis utrustat och godkänt för mörkerflygning krävs en varningslampa som visar om spänningen är för låg.

Vi kommer att nämna de viktigaste utrustningarna för övervakning som är nödvändiga, eller "som är bra att ha" i ett flygplan.

Vilka övervakningsutrustningar skall finnas.

Om motorn är utrustad med generator skall det finnas en laddningslampa. Om det finns plats i instrumentpanelen kan också en voltmeter monteras.

Monteras en varningslampa som indikerar "för låg" spänning (är obligatoriskt för mörkerutrustat flygplan) behöver inte laddningslampa finnas.

Eftersom det krävs varningslampa som indikerar för låg spänning för mörkerutrustat flygplan, är denna att förorda för alla flygplan som ersättning för laddningslampa. Funktionen är likvärdig. Bäst är att ha indikeringslampa för såväl "för hög" som "för låg" spänning. Dessa indikerar då att rådande spänning ligger inom avsett område.

I övrigt behövs indikering för infällbart landställ. Detta anordnas med mekaniskt styrda mikrobrytare på sätt som visas i typexemplet på nästa sida.

För vingklaff anordnas vanligen ett instrument som visar gradtalet för klaffens läge. I sådant fall behövs ingen övrig övervakningsutrustning.

För hydrauliskt system anordnas en indikator som visar om normalt tryck råder eller inte (kan vara en signallampa). I detta fall behövs alltså ett tryckrelä för signallampan, anslutet till det hydraulika systemets överströmningsventil.

Det behövs också signallampa för reservbränslepump och liknande utrustning.

För ytterbelysningen behövs en signallampa eller en lysdiod i strömkretsarna till navigations- och kollisionsvarningsljus som indikerar om dessa är tända. Dessa signallampor kan vara inkopplade till anläggningens strömställare.

Voltmeter.

För övervakning av elsystemets spänning kan en liten voltmeter inkopplas mellan plus- och minuspolen vid Power Bus Bar (efter huvudbrytaren för att inte voltmetern skall vara inkopplad då huvudbrytaren är öppen). Inkopplingen kan ske så att den matas via samma säkring som övriga instrument för bränslemängd, oljetemp i motorn etc. Observera att elmatade instrument måste ha säkring (ej Amperemätare) eftersom eventuell kortslutning leder ström till jord som kan orsaka brand, eller att batteriet urladdas.

Amperemeter.

Detta instrument visar urladdning resp laddning till batteriet. Inkoppling sker alltid i serie med plusledningen.

Exempel på inkoppling av amperemätare visas i Kap 26.2.2, schema 1 till 5.

Observera att en amperemätare aldrig får inkopplas som en voltmeter (+ till -) eftersom detta medför att dess inbyggda shunt kortsluter systemet. En amperemätare skall heller aldrig ha säkring utöver den som redan finnes i den strömkrets där den är inkopplad.

Laddningslampa.

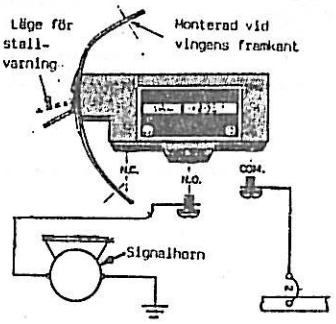
Om inte amperemeter finnes i flygplanet, kan dess funktion övertas av en laddningslampa som ljusindikerar om inte laddningsreläet slutes då motorn är igång. Denna lampa kopplas till avsedda kontakter i reläet (spänningsregulatorn) vars kontakter är öppna då laddningsreläet "dragit" och därmed slutit strömkretsen från generatorn till batteriet via Power Bus Bar.

Stallvarnare.

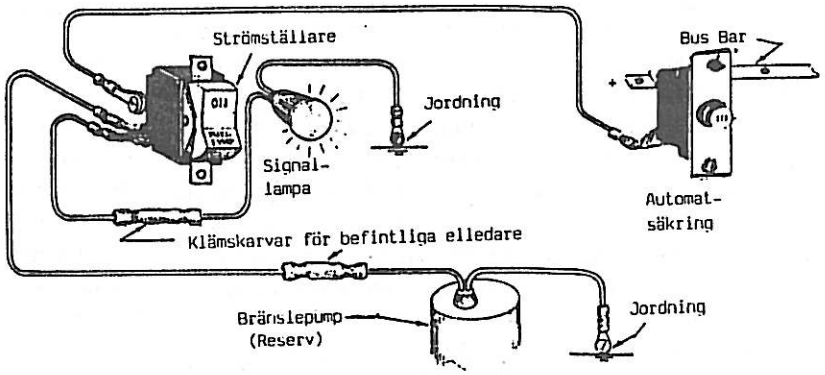
Denna utrustning är närmast att anse som en övervakningsanläggning som varnar för "för låg" fart.

Stallvarnaren är i princip en mikrobrytare med tre lägen. Den är monterad i störningsfri luft på ena vingens framkant med en särskilt formad scoop som känner, och påverkas av dynamiska trycket och påverkar mikrobrytaren så att strömkretsen sluts till ett signalhorn i kabinen.

Stallvarnarens elschema visas i figuren nedan.



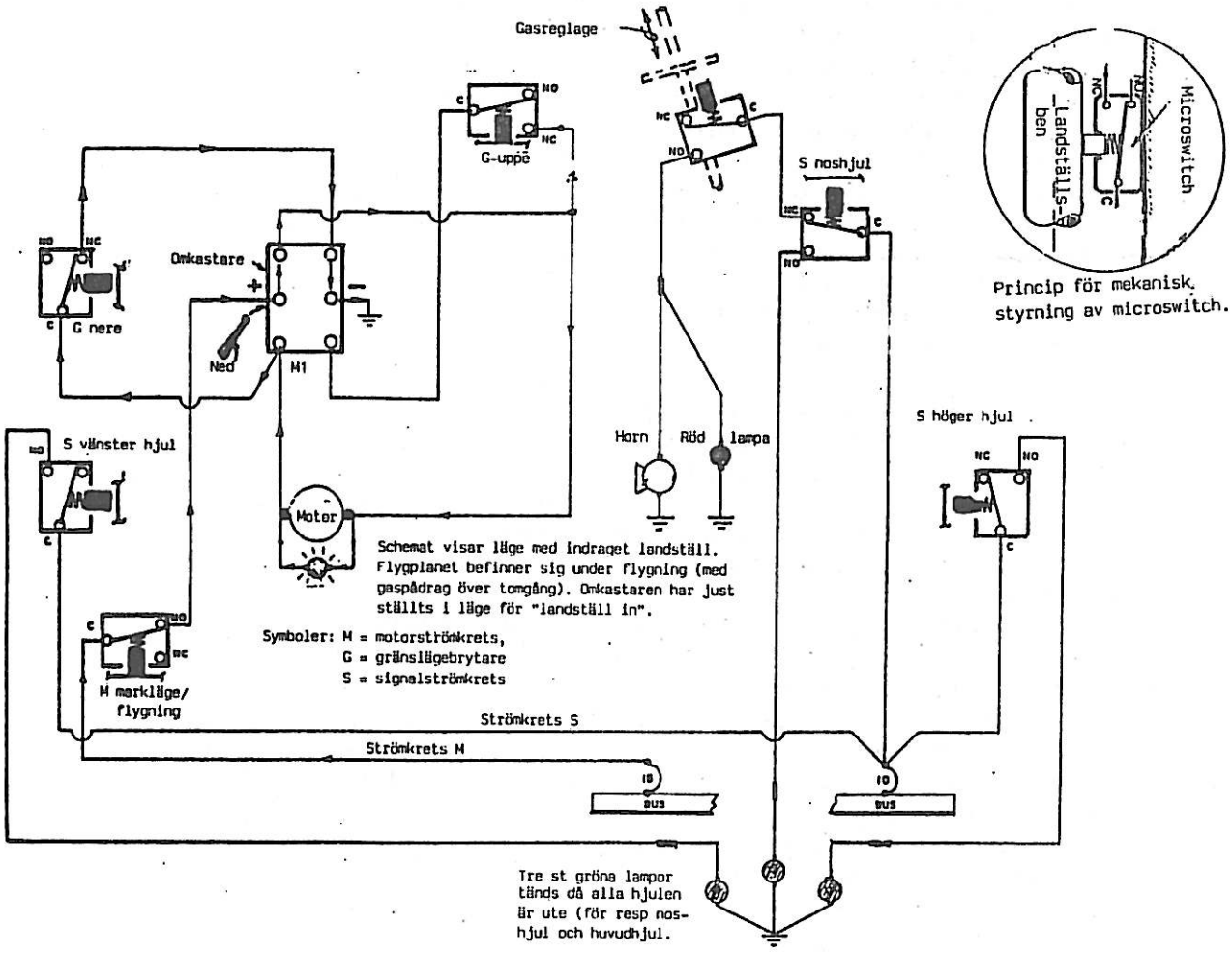
Lampindikering för bränslepump.
Vidstående figur visar lampsignal. då bränslepumpen är i drift. Samma typ av koppling kan ske för övervakning av andra elobjekt.




Övervakningsanläggning för landställ.

Elsystemet i nedanstående schema avser visa ett typexempel för övervakning av landställ som omfattas av noshjul och två huvudhjul. Hela landstället drivs av en elmotor med inritad strömkrets för toggle typ omkastare (DPDT) som skiftar polaritet för motorns rotationsriktning (upp eller ned rörelse för landstället). Funktionen för landställsindikering och motorströmkrets är tämligen lätt att följa i schemat.

Alla kontaktdon (brytare etc) är av typ microswitch som styrs mekaniskt av landstället i dess olika lägen. Strömställare, märkt M markläge, har funktionen att öppna strömkretsen så att landstället inte kan manövreras vid markläge.
Strömställaren för gasreglaget har till uppgift att leda ström till en röd lampa och ett signalhorn som varnar för indraget landställ då gasavdrag sker till tomgång.




Schemat visar läge med indraget landställ. Flygplanet befinner sig under flygning (med gaspådrag över tomgång). Omkastaren har just ställts i läge för "landställ in".

Symboler: M = motorströmkrets,
G = gränslägebrytare
S = signalströmkrets




Princip för mekanisk styrning av microswitch.

Allmänt om belysning.
Ett flygplans belysningsanläggning kan indelas i tre huvudgrupper enligt:

1). Innerbelysning

2). Ytterbelysning (navigations- och kollisionsvarningsljus).

3). Strålkastare (landnings- och taxningsstrålkastare

Ytterbelysningssystem måste fylla vissa minimikrav enligt gällande bestämmelser. Detta gäller ljusvinklar och ljusintensitet. men det krävs också att inte belysningen bländar eller ger reflexer som påverkar pilotens visuella synförmåga.

De olika huvudsystemen redovisas nedan, där också speciella krav anges för utförandet.

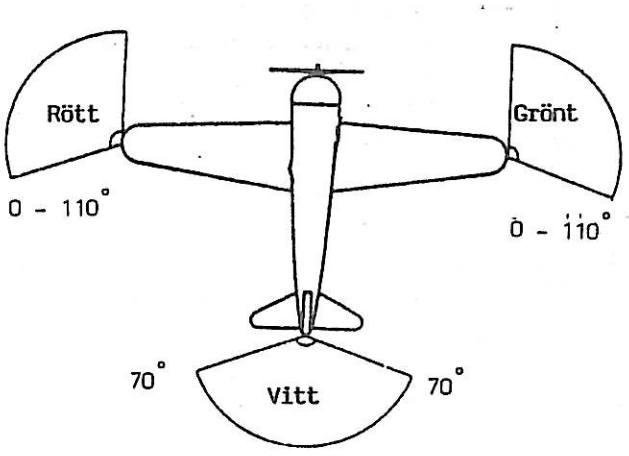
1). Innerbelysning.
Innerbelysningen omfattas av allmänbelysning i kabinen, belysning av instrument, samt belysning för kartläsning.
Innerbelysning är inte obligatorisk för flygplan som inte är mörkerutrustat.
Godkänt mörkerutrustat flygplan skall ha belysning för alla instrument och övrig utrustning som krävs för säkert handhavande av flygplanet (enligt BCL-D 3.2 mom 6.7.3).
Vid IFR-flygning tillkommer kravet att hållare för inflygningskartor skall ha belysning.
Belysning av innerutrymmet i övrigt är inget krav, men kan ibland vara nyttigt att ha.

Sammanfattningsvis kan nämnas att instrument, kart- och allmänbelysning inte är nödvändig utrustning för ett flygplan som inte är mörkerutrustade.
För mörkerutrustat flygplan krävs belysning för alla nödvändiga instrument, vissa reglage och strömställare. Det bör också finnas fast belysning för kartläsning.
Instrumentbelysningen kan vara inbyggd i varje instrument, men måste vanligen kompletteras med en panelbelysning, om inte ridåbelysning är anordnad för alla nödvändiga strömställare och reglage. Det är oftast tillräckligt med enbart panelljus som kan riktas. För inställning av lämplig ljusintensitet bör det finnas steglös reglering.

Många uppfattar rött ljus som behagligt. Det anses också att detta medför bättre mörkerseende. Kartljuset bör dock vara vitt, eftersom vissa informationer inte kan uppfattas i rött ljus.

Elsystemet för all innerbelysning i små flygplan kan anordnas med gemensam glasrörs- eller automatsäkring. Det måste emellertid finnas strömställare som medger användning av enbart instrument- och panelbelysning, enbart allmänbelysning, samt enbart kartläsningslampa. I vissa fall kan det räcka med endast en strömställare under förutsättning att kartlampa och varje allmänbelysningslampa har separat inbyggd strömställare.
För reglering av ljusintesiteten för instrument- och panelbelysning används en trådlindad reostat (Eng. Dimming Rheostat). För små flygplan kan den vara dimensionerad med 2 ohms resistans och för 3,5 ampere vid 12 volt.

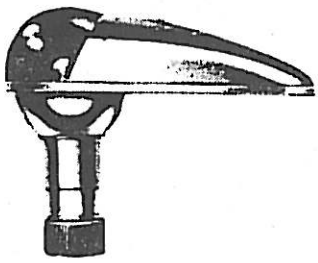
2a). Navigationsljus.
Alla flygplan, utrustade för mörkerflygning, skall ha navigationsljus (även för flygning under angivna tider för skymning och gryning).
Obligatoriska navigationsljus (positionsljus) består av ett rött ljus i vänster vingspets och ett grönt ljus i höger vingspets. Ljusvinklarna skall vara från en linje, parallell med flygplanets längdaxel till 110 grader utåt/bakåt åt resp sida för rött och grönt ljus.
Vit belysning skall finnas längst bak på flygkroppen, så långt bakåt som möjligt, och lysa en sektor av 70 grader bakåt åt vardera sidan om flygplanets längdaxel (totalt 140 grader bakåt).
Ljus och ljusvinklar visas på figuren nedan.



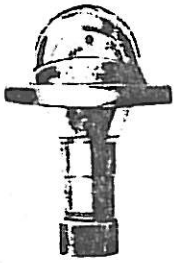

De internationella reglerna för navigationsljus anger ingen maximal ljusintensitet. Däremot är minimigränsen fastställd enligt tabellen nedan.

| Främre eller bakre ljus | gradtal | Intensitet i Candela |
|---|---|---|
| Främre ljus | 0 - 10° | 40 |
| | 10 - 20° | 30 |
| | 20 - 110° | 5 |
| Bakre ljus | 110 - 180° | 20 |

Det finns också tabeller för ljusintensiteten i höjdled, samt för max intesitet i överlappning av ljussektorn. Dessa tabeller samt övriga krav för intensitet, färg m.m. finns i FAR Part 23 moment 1391. Den som använder godkända ljusarmatur och glödlampor, behöver normalt inte utföra mätningar annat än för rätt ljusvinkel.
Nedan visas exempel på FAA-godkända navigationsljus.



Vingspetsljus med röd resp. grön lins.
Glödlampa 12 volt/21 eller 26 Watt.



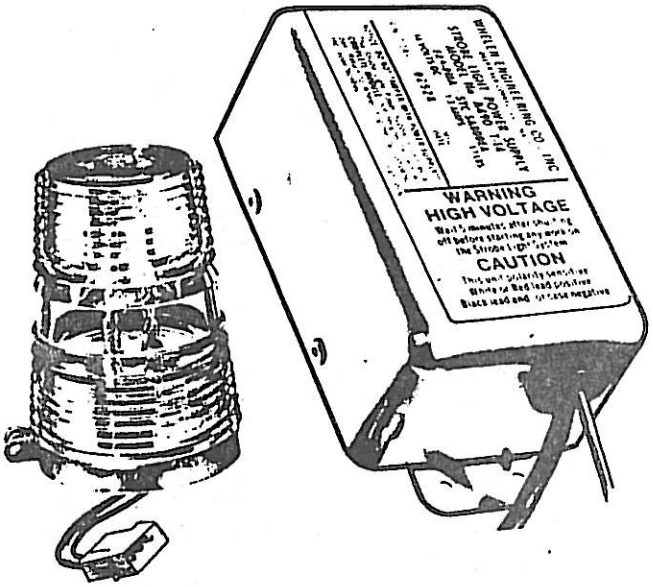
Bakre ljus med vit lins.
Glödlampa 12 volt/ 13 Watt.

Elanslutningen av navigationsljus sker via automatsäkring till Bus Bar. Strömställaren skall vara gemensam för alla tre ljusen (får inte säras i olika strömkretsar). Signallampa bör finnas som indikerar då navigationsljusen är tända.

2b) Kollisionsvarningsljus.
Dessa ljus är obligatoriska för mörkerutrustade flygplan i Sverige.
Kollisionsvarningsljus skall avge blinkande ljus med röd, röd/vit eller vit färg.
Utförandet är vanligen antingen av typ Rotating Beacon eller Strobe Light.

Rotating Beacon har sex stycken prismor, eller en kupad spegel som roterar kring en glödlampa och drivs av en elmotor. Utförandet med prismor kan variera beroende på fabrikat.
Nackdelen är hög vikt, samt att motorn utgör viss funktionssvaghet. Motorn är oftast av borstlös typ för att minska radiostörningen.

Strobe Light är i princip en fotoblixt med ungefär samma uppbyggnad. Den får användas med vitt, rött eller röd/vitt glas, men det vita ljuset ger bättre intensitet. De finns i utförande för enkel eller dubbelblixt, samt med separat eller inbyggt kraftaggregat.
Fördelen med Strobe Light är hög intensitet, samt att kraftenhet och urladdningsdel kan skiljas åt så att den tyngre kraftenheten (0,5 till 1 kg) kan placeras i närheten av flygplanets tyngdpunkt, eller inbyggd i lampan. En fördel är också att urladdningsdelen kan tillverkas mycket mindre än en rotating Beacon, samt inneslutas i en strömlinjeformad kåpa av glas. Bilden nedan visar en Strobe Light med separat kraftenhet.




Montering av Strobe Lights kan ske enligt figur 1 och 2 nedan. Men kan också ske med en i vardera vingspetsen (två stycken), eller en i vardera vingspetsens framkant samt en längst bak på fenan eller i dess bakkants undersida (tre stycken).

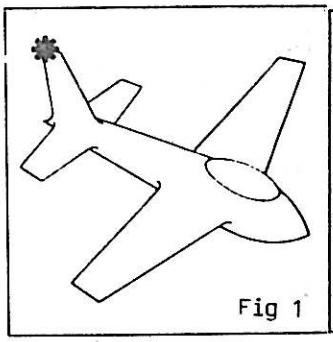


Fig 1

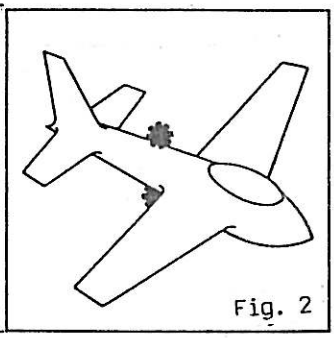


Fig. 2

FAA bestämmelser för kollisionsvarningsljus har ändrats april 1957, augusti 1971 och juli 1977.
Detta har medfört att de flygplan som certifierats efter någon av de tidigare bestämmelserna har annorlunda utförande än vad som gäller nu. Det finns också särbestämmelser för amatörbyggda flygplans bestämmelser för VFR-flygning under mörker, skymning och gryning enligt (FAR 91.33(c) 2 och 3, som medfört att det inte alltid är lätt att veta vad som gäller. Nyinstallation i ett amatörbyggt flygplan skall vara utförd enligt kraven i FAR Part 23, moment 1401.
Enligt dessa bestämmelser skall antikollisionsljus

finnas i mörkerutrustat flygplan med placering enligt ett av de fyra sätt som angivits. Vilket sätt som bör användas är beroende av flygplanet, eftersom ljusen inte får vara skymda med hänsyn till kraven om ljusvinklar.

En kollisionsvarnare skall avge mellan 40 till 100 blixtar per minut - dock max 180 per minut i överlappning då två eller tre Strobe Light användes, samt lysa över hela horisontalplanet, sett uppifrån och underifrån flygplanet, samt under en vinkel av 75 grader sett från sidorna (se figur 3 och 4 nedan). Observera att figur 4 visar ljusvinkeln 30° enligt äldre bestämmelser (skuggad), men också enligt de nya bestämmelserna (streckad sektor).

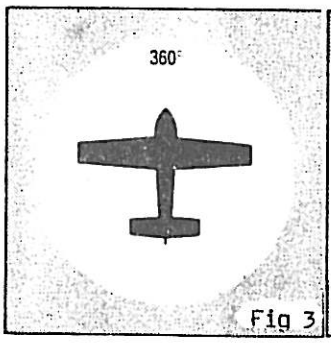


Fig 3

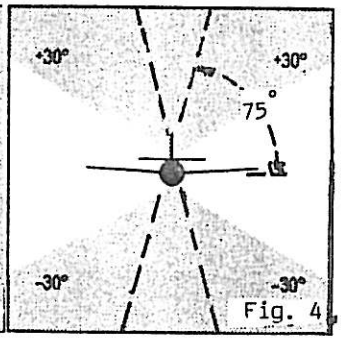


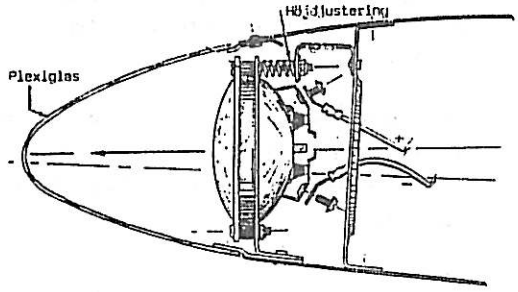
Fig. 4

Ljusintensiteten enligt de nya bestämmelserna skall vara 400 candela som får avta med gradtalet i höjdled enligt nedanstående tabell.

| Vinkel över/under horisontplanet | Effektiv Candles |
|---|---|
| 0 till 5° | 400 |
| 5 till 10° | 240 |
| 10 till 20° | 80 |
| 20 till 30° | 40 |
| 30 till 75° | 20 |

Vid inkoppling av Strobe Light till elsystemet, sker detta från Bus Bar via säkring och strömställare. Observera att skärmad ledning måste användas för såväl Rotating Beacon som för Strobe Light eftersom de annars kommer att ge störningar till radioanläggningen. I katalogdata anges oftast vilken # AWG som skall användas, samt övriga data för spänning och strömstyrka, ljusstyrkan i Joul per blixt, intensitet i candela, vikt etc. För separat kraftenhet brukar elledning medlevereras. Räkna med högt pris. För en kraftenhet som är avsedd för två till 4 lampor får betalas över 300 dollar. Ett enklare utförande kostar från 160 till drygt 200 dollar. Varje lampaggregat kostar sedan mellan 70 och drygt 200 dollar - beroende på utförande och krav.
Före anskaffning av antikollisionsljus är det bäst att rådfråga kontrollant, annan byggare av samma flygplantyp, EAA-tekniska grupp, eller besiktningsingenjör vid tillhörigt distriktskontor.

3). Strålkastare.
Landningsstrålkastare är obligatorisk för flygplan som är utrustat för mörkerflygning.
Montering kan ske i vingens framkant på avstånd 1/3 av vingens längd, räknat från vingspetsen.
Denna montering kräver dock ett skyddsglas (plexiglas) som formats efter vingens framkant och tätats mot denna med silicongummi eller liknande.
Ett bättre monteringssätt är i flygplanets nos, eller mot noshjul/landställ.



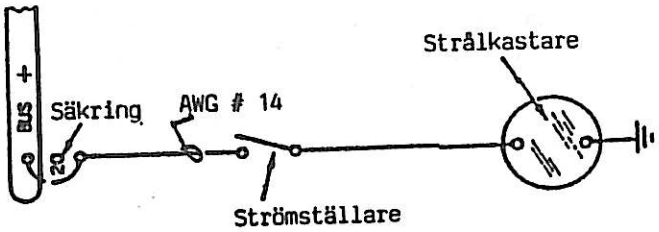
Typexempel för strålkastare i vingframkant.

Problemet med strålkastarnas montering är att den måste kunna riktas så att den lyser mot sättningspunkten då flygplanet befinner sig i normal plané. För att erhålla bäst spridning av strålkastarljus för t.ex olika planévinkel vid landning, eller vid taxning etc, är det bra att ha två strålkastare som kan ställas för olika lysvinklar.

För vissa flygplan, speciellt om de har sporrhjul, är det svårt att nyttja landningsstrålkastarna vid taxning. I sådana fall är det bra att ha ett taxningsljus. Detta inställes så att det lyser mot marken på avstånd 30 till 50 meter framför flygplanet. För en sådan strålkastare är det fördelaktigt att ha stor spridningsvinkel (kurvljustyp) i förhållande till landningsstrålkastarens samlade ljusstråle.

Vid elektrisk inkoppling av strålkastare skall iakttagas att de måste ha separata system med säkring och strömställare. Orsaken är att de skall kunna tändas separat, men också samtidigt. Att de skall ha separata säkringar beror på kravet på säkerhet under mörkerflygning där inte alla strålkastarna kan slockna samtidigt om en gemensam säkring utlöses.
Varje strålkastare, resp taxningsljus, skall ha elektrisk anslutning enligt den följande figuren

med matning från Bus Bar, säkring, strömställare, och signallampa som indikerar för tänd strålkastare resp taxningsljus. Varje strålkastare och taxningsljus skall ha separat elsystem på sätt som visas i figuren nedan.




För strålkastare och taxningsljus används vanligen 13 volt/100 watt glödlampa. Men de finns också för 250 watt glödlampa.

Strålkastare med halogenlampa kan med fördel användas eftersom denna ger ca 3 ggr så stort ljusutbyte i jämförelse med en vanlig glödlampas strömförbrukning.

Allmänt om tändsystemets uppgift.

Tändsystemets uppgift är att antända den komprimerade bränsleluftblandningen i cylindrarna.
Eftersom bränsleblandningen har relativt högt tryck, krävs en tändspänning av 10- till 15 kV, men denna spänning varierar med motorns varvtal och kan stiga uppåt 30 kV. Tändsystemet måste också vara så anordnat att tändning sker vid rätt tidpunkt och till rätt cylinder.

Batteritändsystemets funktion.

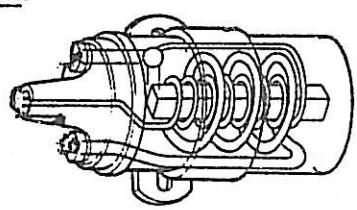
Tändsystemets funktion förklaras enklast genom att beskriva ett batteritändsystem eftersom detta är uppbyggt på samma principiella sätt som ett system med tändmagneter.

Ett batteritändsystem består av tändspole, tändfördelare med brytarkontakter och kondensator, tändkablar och tändstift. Dessutom måste det också finnas ett batteri för strömförsörjningen.

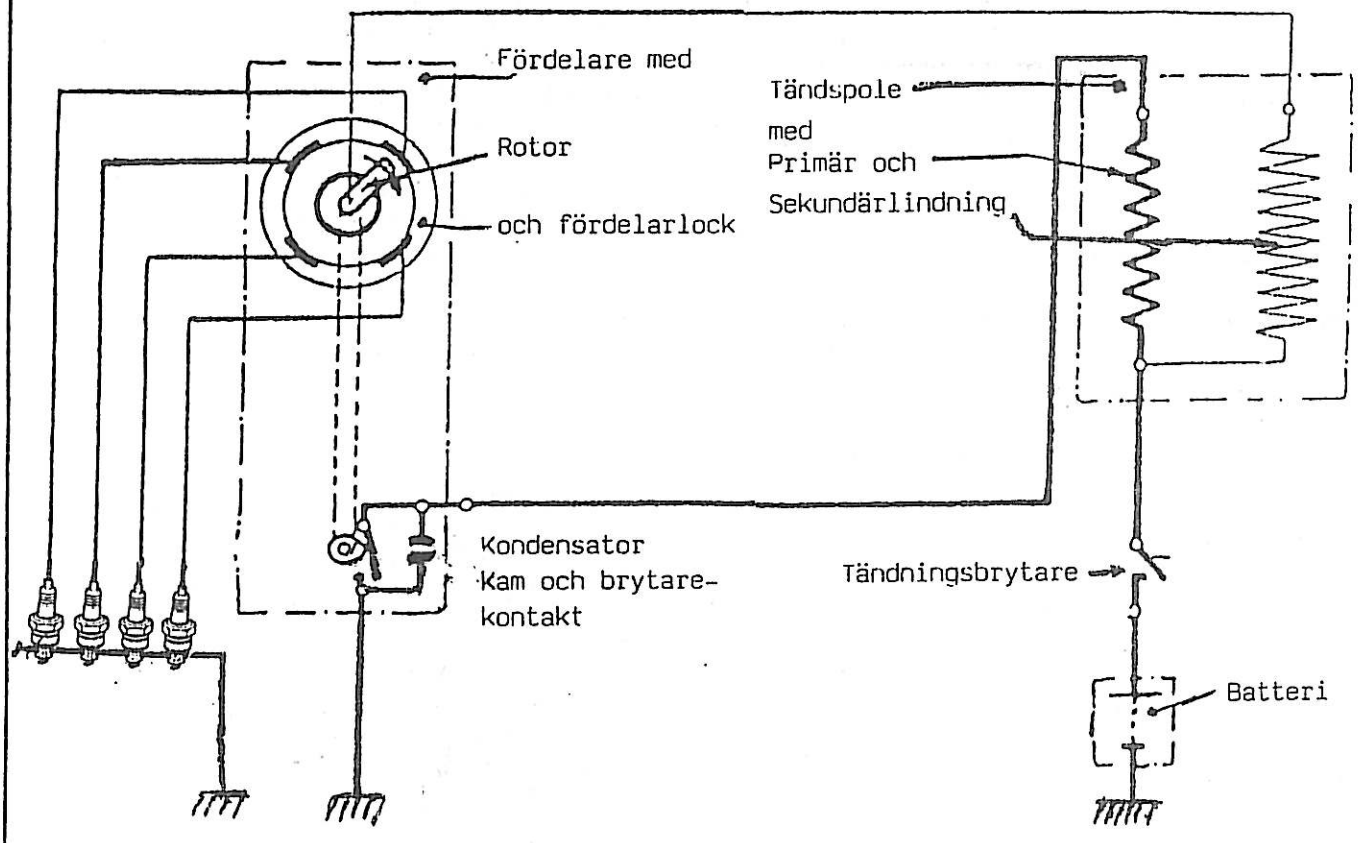
Principskiss för batteritändning visas nederst på sidan och kan förklaras på följande sätt:
När tändningsbrytaren står i slutet läge, flyter en ström genom tändspolens primärlindning i en strömkrets via brytarkontakten. Järnkärnan i tändspolen blir då kraftigt magnetiserad.
När brytarkontakten öppnar (påverkad av en excenterformad kam då motorn vrides runt), sker en självinduktion i tändspolen, vars ström då tas upp som laddning av kondensatorn. Spänningen till kondensatorn avtar efterhand som magnetfältet i tändspolens järnkärna minskar.
Då kondensatorns polspänning är högre än i strömkretsen, urladdas den genom primärlindningen i tändspolen, men i motsatt riktning. Det sker då en ny magnetisering i tändspolens kärna som ger en självinduktion i primär- och sekundärlindningen.
Eftersom tändspolens primärlindning består av ett fåtal lindningsvarv, medan sekundärlindningen består av många lindningsvarv, sker därför en upptransformering av spänningen.
Den högspända strömmen leds via fördelaren till avsett tändstift med luftgap där urladdning sker som en gnista vilken antänder bränslet.
Hela detta förlopp sker på mindre än en tusendels sekund.

Något om komponenterna i tändsystemet.

Tändspolen.



Den består av två lindningar, den primära och den



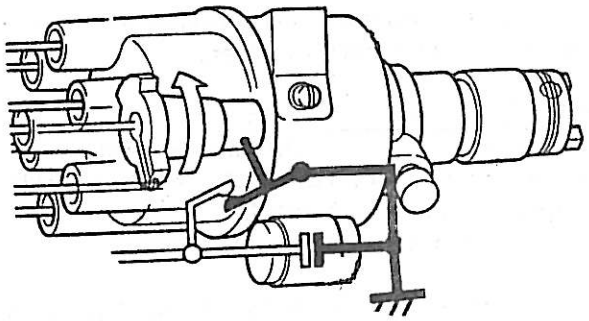
sekundära, som omger en järnkärna för att öka det magnetiska flödet.
Primärlindningen består av 200 lindningsvarv med 0,8 mm emaljerad koppartråd.
Sekundärlindningen består av 10 tusen varv koppartråd med dia 0,1 mm.
Eftersom järnkärnan under drift har ett ständigt föränderligt magnetfält, sker därför en upptransformering av spänningen i förhållandet 200 till 10000, d.v.s. 50 ggr. Om spänningen i den primära lindningen, under inverkan av självinduktion, är 300 volt blir spänningen i sekundärlindningen 15 kV.
Men det förekommer också andra kombinationer av lindningsvarv för tändspänning upp till 40 kV.
Alla lindningslager åtskiljas från varandra med en tunn pappersisolering för att förhindra överslag som kan medföra kortslutning.
Som regel bör inte tändspänningen överstiga 10 till 15 kV eftersom detta ökar kraven för god isolering. Hög tändspänning kan också medföra coronaeffekter som minskar tändsystemets effektivitet, isynnerhet i fuktig luft och under förhållanden då lufttrycket är lågt.

Tändspänningen måste anpassas till tändstiftens elektrodavstånd, dess yta och form, temperatur, samt bränsleblandningens tryck och temperatur d.v.s. till motorns kompressionsförhållande och varvtal.

Tändspolens spolpaket skyddas av ett yttre hölje som fyllts med en fast isolationsmassa. Men vissa högeffektspolar är fyllda med speciell olja som har god isolationsegenskap, och egenskaper att avleda värme.

Elanslutningarna till tändspolen skall alltid ske enligt dess märkning för plus- resp minuspol. Sker anslutningen felaktigt, kommer elektronflödet i tändkablarna att få motsatt riktning mot avsett, vilket medför att gnistan går i riktning från jordanslutning till elektroden. Detta innebär i så fall en starkt ökad strömförbrukning och sämre gnista än om den går från den heta mittelektroden i riktning till jordanslutningen.

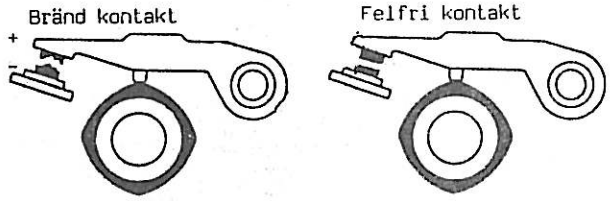
Strömfördelaren.
Denna drivs från motorn och är synkroniserad med kolvarnas läge för att fördela tändströmmen till rätt cylindertändstift.
Strömfördelaren är kombinerad med rotor som fördelar tändströmmen, brytarkontakter och kondensator.
Kondensatorn är innesluten i ett plåthölje, och består av en tunn metallfolie som lindats tillsammans med ett isolatorskikt. Den totala ytan av metallfolien/isolationen bestämmer kondensatorns kapasitans, d.v.s. dess förmåga att ta emot elenergi som laddning. Vanlig kapasitans för ett tänsystems elektrolytkondensator är 0,18 till 0,40 mikrofarad (µF).



Tändfördelare med rotor, brytkontakt och kondensator.

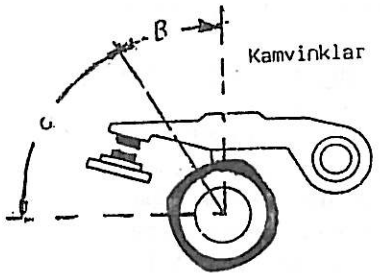
Kondensatorns uppgift i tändsystemet är att uppladdas då brytkontakten öppnar, för att därigenom hindra gnistbildning, men också för att ta upp elenergi som urladdas till primärlindningen för att öka dess spänning. Den fungerar alltså som gnistsläckare, men också som en buffert för ökad tändspänning genom att den tillvaratar den självinducerade spänningen i primärlindningen.

Brytarkontakten, i dagligt tal benämd brytarspets, har till uppgift att öppna resp sluta den primära lindningens strömkrets för att därigenom åstadkomma ett föränderligt magnetflöde som ger självinduktion och höjer spänningen.
Vid rätt inkopplad polaritet sker en vandring av materialet i brytarkontakterna som medför att det bildas en krater vid den fasta kontakten och en motsvarande urgröpning av den rörliga. Det krävs därför att brytkontakterna putsas med jämna mellanrum - eller bytes mot ny. Figuren nedan visar bränd resp felfri kontakt.




För att tändsystemet skall kunna ge effektiv antändning av bränslet, krävs att avståndet mellan brytarkontakterna är injusterat (vanligen till 0,4 mm). Men även kamvinkeln måste vara rätt för att få effektiv tändning. Denna kamvinkel påverkas av

kontaktens brytarspel som måste vara rätt för att kamvinklarna skall vara rätt. För stort brytaravstånd ger för liten kamvinkel, d.v.s. att tiden för kontakternas öppningsläge blir för kort för att "bygga upp" så kraftigt magnetfält att tändningen blir effektiv. Detta gäller speciellt för högvarviga motorer. Stort kontaktavstånd medför alltså att motorn kan misstända på grund av svag gnista i tändstiften.
Är kontaktavståndet för litet blir kamvinkeln stor, och orsakar större gnistbildning i kontakterna som medför att dessa bränns, men också att motorn blir svårstartad.
För en fyrcylindrig motor är kamvinkeln $360^{\circ}/4 = 90$ grader, där slutningsvinkeln $\alpha$ vanligen är 50 till $60^{\circ}$, beroende av kammens excentrisitet som kan variera något för olika motorer, men vars gradtal alltid anges i motormanualen, där även utprovat avstånd för brytarspetsar och tändstift anges.

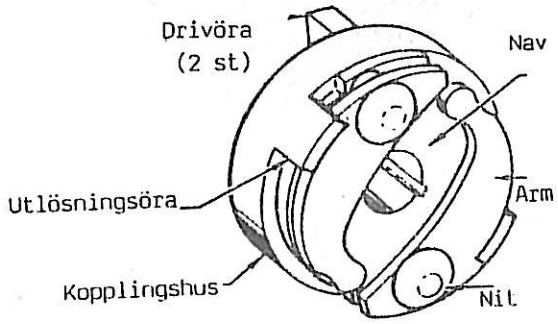


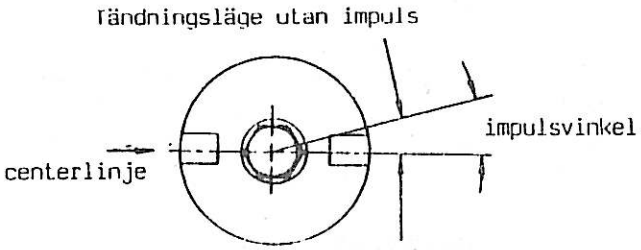

Figuren visar vad som menas med kamvinklarna, där vinkeln $\alpha$ är slutningsvinkeln för kontakterna, och vinkeln $\beta$ är öppningsvinkeln. Dessa vinklar kan mätas med en elektrisk kamvinkelmätare och kontaktavståndet med bladmått.

Tändmagnet (Eng. Magnet).
Denna är i princip uppbyggd som ett batteritändsystem, med den skillnaden att den har en inbyggd generator som gör att ett tändsystem med tändmagnet är självförsörjande med elström. I övrigt har den fördelare med brytare, kondensator, samt tändspole som utgör lindning i generatordelen.
Generatordelen i en tändmagnet utgörs av en rotor med permanentmagneter som ger ett magnetflöde till statorns lindningar vid rotation. Statorn består av en primär- och en sekundärlindning.
Då generatorankaret roterar med sina magneter, skärs primärlindningen i statorn av ett magnetflöde så att det induceras en spänning - som alltså motsvaras av batteriet i ett batteritändsystem.

Vid handstart av en motor med tändmagnet, är den inducerade spänningen mycket låg. Detta medför att tändgnistan blir för svag för att motorn skall kunna starta.
Om en motor har två tändmagneter, är alltid den ena försedd med impulskoppling och är ensam inkopplad (den tändmagnet som saknar impulskoppling har kortsluten primärlindning under start).

Tändmagneter med impulskoppling.
I ett magnettändningssystem är spänningen direkt proportionell mot varvtalet. Detta innebär att det krävs ett varvtal av 100 till 120 r/min för att tändmagneten skall ge effektiv gnista.
För att underlätta start med startmotor, och göra det möjligt att rycka igång motorn för hand, förses en tändmagnet med impulskoppling.
Denna fungerar så att rotorn i tändmagneten bromsas momentant varvid en spirallindad fjäder spännes. Vid ett visst läge, motsvarande impulsvinkeln, frigöres impulskopplingen så att rotorn "rycks" runt, varvid en högre spänning induceras. Impulskopplingen ger en fördröjd tändning vilket minskar risken för baktändning vid handstart, men minskar även risken för att använd startmotor skadas. Vid ca 700 till 800 r/min är impulsen inte i funktion.
Impulskopplingen ger vanligen en eftersläpning av tändningen med ett gradtal som motsvarar motorns tändning före övre vändläge (FÖD) på sätt som visas i nästa figur.



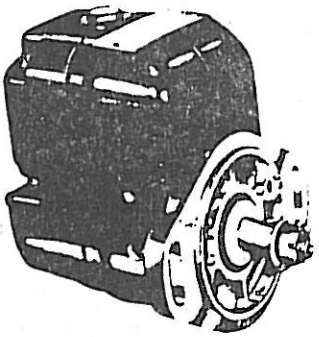




Hjälpmedel vid motorstart.
Högspänningen till tändstiften är mycket svag vid start. Detta avhjälpes med impulskoppling som är absolut nödvändig Det är svårt att rycka igång en motor om tändmagneten inte har impulskoppling.

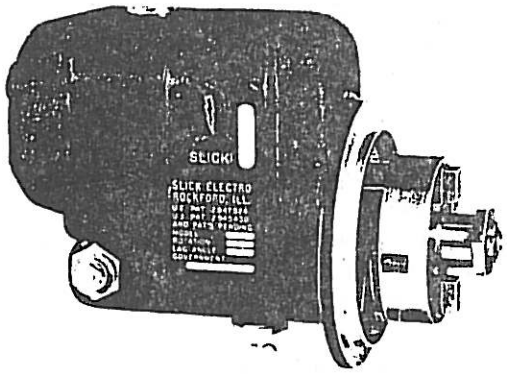
Äldre flygplan har ofta en liten induktionsappa-

rat som vevas för hand och ger en serie gnistor i tändstiften.
Numera finns en vibratortillsats som drivs från batteriet med samma funktion som den tidigare vevinduktorn. Elanslutningen sker till särskilda kontakter i tändningsbrytaren.
Det finns även elektroniska hjälpmedel som förstärker tändspänningen vid motorstart. Observera att de relativt små motorer som användas i amatörbyggda flygplan inte behöver något hjälpmedel för motorstart. En förutsättning är dock att såväl motor som tändsystem är i god kondition.

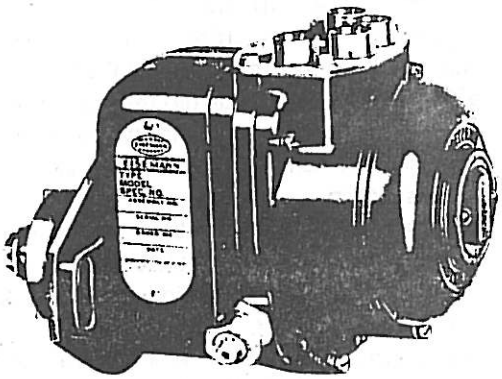
Olika typer tändmagneter.
Den allra vanligaste tändmagneten är Bendix-Scintilla som anses vara mest driftsäker och dessutom har längsta drifttid mellan översynerna. Denna finns i en mängd olika utförande för olika motortyper.



Slick-tändmagnet är något mindre till formatet än Bendix, samt något lättare och billigare. I gengäld har den mindre än halva drifttiden (ca 800 timmar) för grundöversyn i jämförelse med Bendix tändmagnet.
Slick tändmagnet finns i utförande för de flesta flygmotorer. Det är dock inte tillåtet att ersätta en Bendix med en Slick (enligt FAA bestämmelser), såvida inte motorfabrikanten angivit i manualen, eller komplement till denna, att motorn utprovats och godkänts även för Slick tändmagnet.

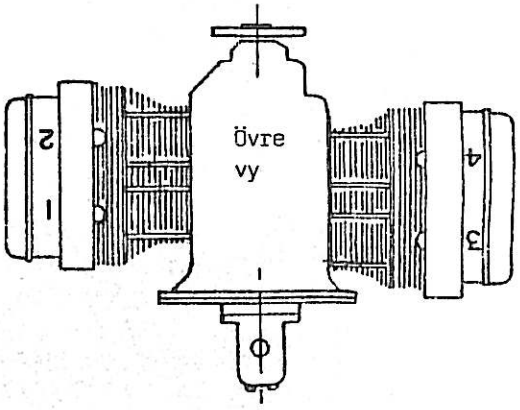



Eisemann-tändmagneter har varit standard för såväl Franklin- som vissa Continental flygmotorer.

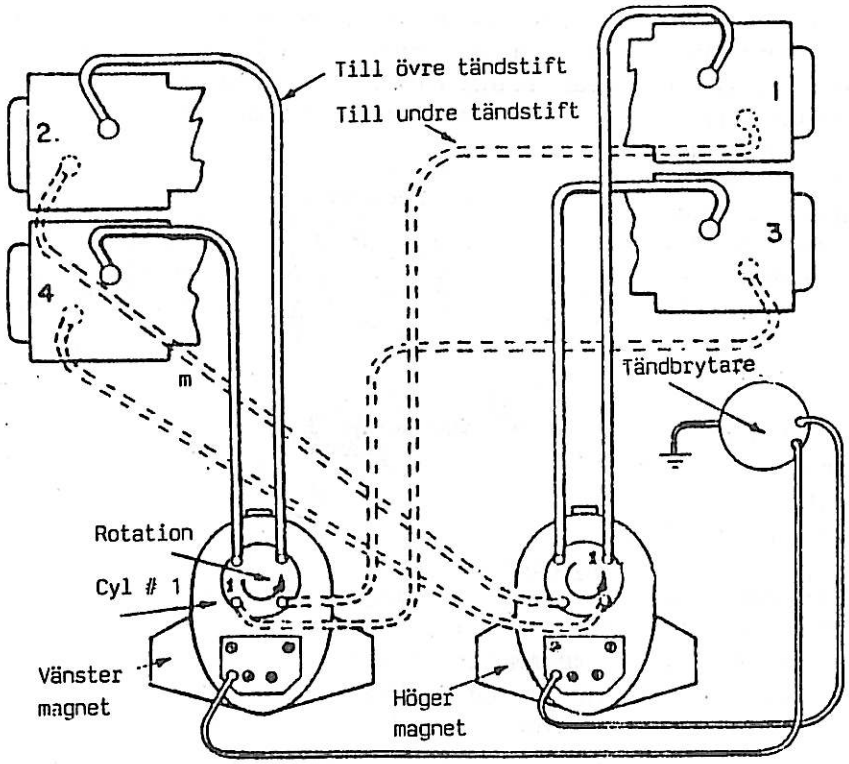


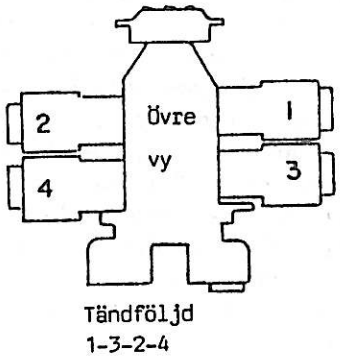
Bendix-Scintilla "insticksmagneter" användes ofta för konverterade VW-motorer på grund av dess enkla montering i tändfördelarens plats. Tändmagneten får inte vara försedd med impulskoppling.

Slick tändmagnet för konverterad VW-motor.
Tändmagneten monteras normalt i en svarvad, ringformig, adapter av aluminium som bultas mot vevhusets kopplingsända. Det finns också gjutna adaptrar av aluminium som kan köpas färdiga från USA. Denna är emellertid tyngre, samt dyrare i inköp.
Då en VW-motor konverteras till flygmotor, kan det vara praktiskt att ändra dess cylindernumrering på samma sätt som för en konventionell flygmotor.
Figuren nedan visar ursprunglig numrering. Denna bör alltså ändras så att udda nummer kommer på höger sida, samt jämna nummer på vänster sida (sett från svänghjulsändan).
Original VW-motor har tändföljd 1-4-3-2. Med den nya cylindernumreringen blir tändföljden 2-3-1-4.
Lämplig tändmagnet för VW-motorn är Slick # 4216 (höger rotation med impulskoppling) som är att föredra på grund av sin lägre vikt och format, samt att översynsperioden stämmer med motorns översynsperioder. Tändkabelsystem (Harness) har nr M 2266 (för enkelt tändsystem) och UNF 5/8-24 gänganslutning till tändstiften.

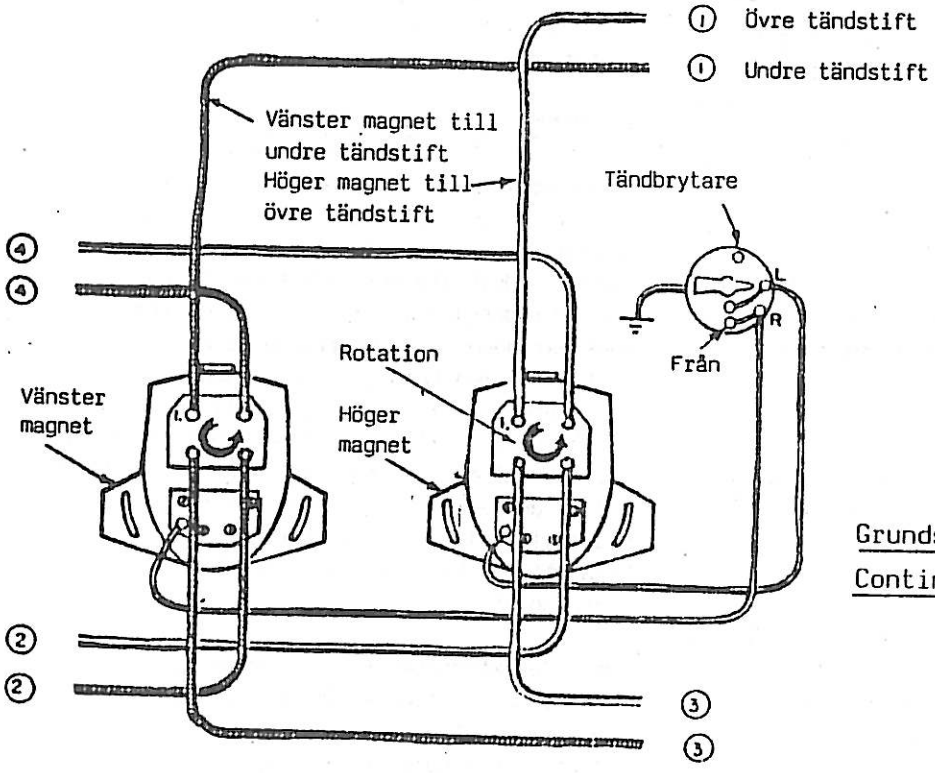


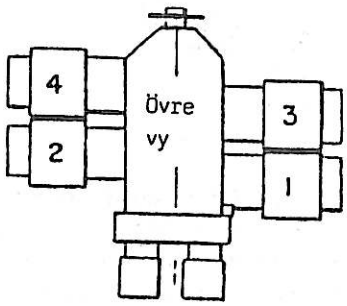
Grundschema för Bendix tändsystem med S-4LN-21 tändmagnet. Model 12 B och 14.
(För Lycoming och Continental 4-cylindrig flygmotor).




Grundschema tändsystem för Lycoming flygmotor.



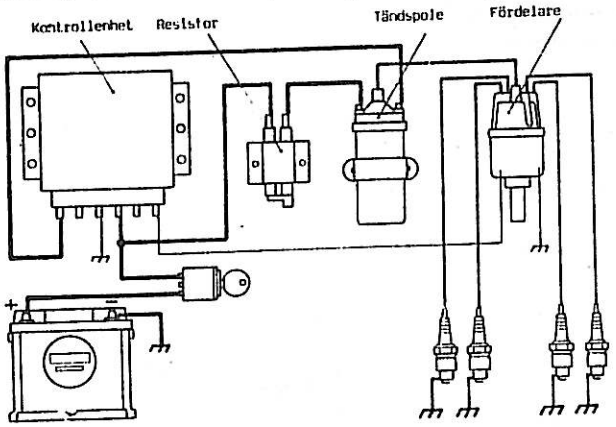




Grundschema tändsystem för Continental flygmotor.

Elektroniska tändsystem.

Dessa tändsystem har börjat användas allt mer som ersättning för tändmagneter och konventionella batteritändsystem. Orsaken är att nya motorer är högvarviga, vilket kräver ett effektivare tändsystem för att kunna lämna tillräckligt hög tändspänning. Ett batteritändsystem har en viloström av ca 4 ampere genom dess brytarkontakter, vilket ger hög värmeutveckling som minskar tändeffekten. Även kondensatorn i det konventionella tändsystemet arbetar för långsamt, och kan vara ett problem eftersom den inte kan hindra brännskador i brytarkontakterna. Men även för lågvarviga motorer är transistortändning en fördel i enklare underhåll, samt bättre gnista vid handstart, ingen förändring i tändinställningen etc.

Fördelen med transistoriserat tändsystem är att brytning sker i en särskild transistorenhet, medan endast ca 0,3 ampere passerar brytarkontakterna, vilket ger längre driftstid för dessa. Det behövs inte heller någon kondensator.
Ytterligare en fördel med transistortändning är dess snabbhet att bygga upp magnetfält, vilket gör att det med fördel kan användas för högvarviga motorer, utan att tändspänningen blir låg.

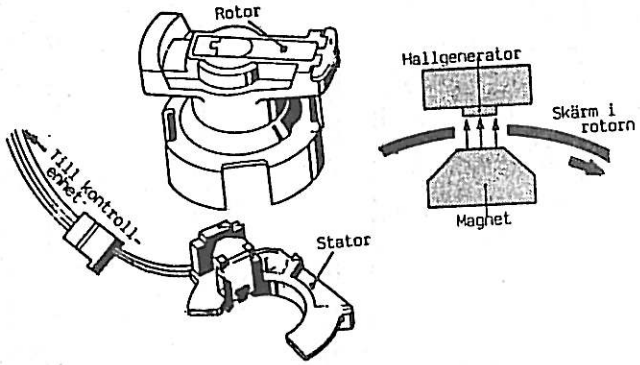



Ett transistoriserat tändsystem består av fördelare med brytkontakt (utan kondensator), speciell tändspole med lindningsförhållande 1:250, resistor och kontrollenhet.

Brytarlösa tändsystem.

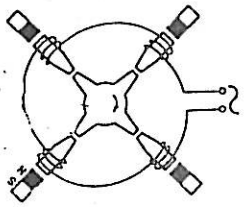
Detta är en utveckling mot helelektroniska tändsystem. Brytarlösa tändsystem finns i två olika utförande, dels med Hallgenerator, dels med pulsgenerator.

Hallgeneratorn har inbyggd IC-krets som består av Hallgenerator, förstärkare, signalgenerator, slutsteg, samt spännings- och strömregulator. Eftersom detta utgör en IC-krets, är dess area endast 1 $mm^2$ vilket gör den lätt att bygga in i en ordinär strömfördelare där hallgeneratorn utgör bottenplatta (stator) och rotorn är försedd med en skärm för varje tändstift. När skärmen passerar genom ett magnetfält bryts flödet och strömmen (pulsen till kontrollenheten) blir noll, på samma sätt som med vanlig brytarkontakt. Figuren nedan visar principen för Hallgeneratorn som brytarkontakt i ett transistoriserat tändsystem.




Pulsgivaren.

Denna har permanentmagneter med induktionslindning i statorn, samt en tandformad rotor med en tand för varje tändstift. Då rotorn vrids, induceras en varierande växelspänning mellan noll och ett högsta värde. Denna kan därför användas för att styra transistortändsystemets kontrollenhet och fungera som en brytarkontakt.



Integrerat elektroniskt tändsystem.

Detta har inga brytarkontakter. Istället sker styrningen av kontrollenheten med en känselkropp som är fast placerad runt ett hjul på motorns svänghjul. Hjulet är försett med uttag i form av tänder, dubbeltänder och hack som ger impulser i känslekroppen för kamaxelläge och motorvarvtal.
Känslekroppen styr kontrollenheten som är en kompakt enhet med tändspole och vacuumdosa. En vanlig fördelare styr högspänningen till resp tändstift.
I tändningsenheten är alla uppgifter om tidpunkt för tändning, varvtal etc lagrade och beräkning sker i denna med signaler från känselkroppen, samt motorbelastning via vacuumdosan, så att tändning hela tiden sker vid rätt tidpunkt, med rätt tändspänning etc.

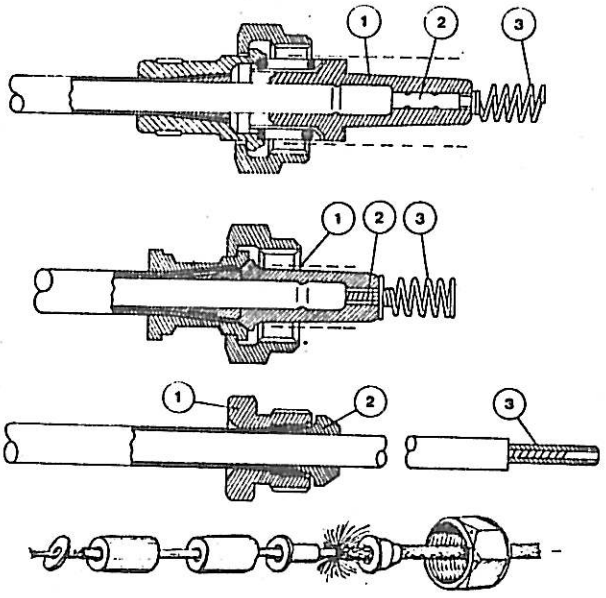
Detta elektroniska tändsystem är det mest avancerade och driftsäkra. Det uppges också att motorn reagerar bättre, har mindre bränsleförbrukning, samt att underhållet blir enklare.

Tändkablar (Eng. Harness).

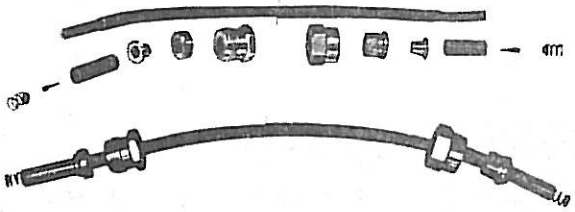
Tändkablarnas funktion är att leda högspänningen till tändstiften.
Tändkablarna måste göras så korta som möjligt för att minska onödigt spänningsfall, coronaeffekt, samt minsta möjliga störningar för radioanläggningar (se elledare Kap 26.2.5). De får dock inte vara sträckta så att mekanisk påkänning uppstår.

Vid förläggning av tändningskablaget bör motortillverkarens anvisningar följas vad avser såväl dragning som klamning. Som allmän regel gäller att tändkablar inte skall förläggas tillsammans med andra elledare, inte i kabelknippen, samt i möjligaste mån fria från varma motordelar, och fria från bränsleledningar för att minska risken för överslag från tändsystemet som kan orsaka brand.
Vid all klamning användes gummiklädda aluminiumklammer som monteras med skruv (ej POP-nitar).

För skärmade tändkablar användes gängad montering till tändmagnet och tändstift. Vanligen köpes kompletta tändkabelsatser för avsedd motor.
Figurerna nedan visar monterade tändkablar samt principiell montering av tändkabel för tändstiftsändan.




En mångfald olika typer infästningar för tändstift resp tändmagnet finnes, som kan medföra svårighet att beställa rätt sort. Ofta kan det dock räcka med att byta ledaren samt återanvända de olika monteringsdetaljerna. Var noga med att rengöra och avsyna för skador före återmontering.
Speciell uppmärksamhet måste ägnas åt att skärmstrumpans alla trådar blir inklämda på avsedd plats. I vissa fall avslutas tändstiftsändan med en bricka som skall tennlödas med en relativt stor "tennklump". I andra fall användes en spiralfjäder som ibland "gängas" på tändkabelns ledare som därefter bockas omsorgsfullt framför fjädern och utgör kontakt mot tändstiftet.
Kabeländan för anslutning till magneten förses med en gland med gummipackning, eller kan i vissa fall tätas med silicongummi i sin genomföring.
Bilden nedan visar "Slick-typ" tändkabel som kan fås även med böjd rörända mot tändstiften.



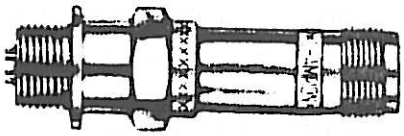
Tändstiften.

En konventionell flygmotor har dubbelt tändsystem, med två tändstift för varje cylinder, som matas från två tändmagneter. Orsaken till att dubbla tändsystem användes är att en flygmotor är avsedd för relativt lågt varvtal. Detta innebär stor kompressionsvolym där det tar förhållandevis lång tid innan hela volymen bränsle-luftblandning har antänts av endast ett tändstift. Med två tändstift sker antändningen på två ställen samtidigt.

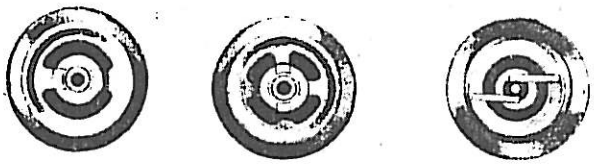
För mindre motorer, t.ex. en konverterad VW-motor är kompressionsvolymen så liten att det räcker med ett tändstift för varje cylinder. Dubbelt tändsystem kan monteras, men detta medför endast att cylindertoppen försvagas av ett extra tändstiftshål, utan någon fördel.

Tändstift för flygbruk har gängad anslutning för tändkablarna (för skärmade kablar) och finnas i en mängd olika hårdhetsgrader som måste anpassas för motorns drifttemperatur. Varje motorfabrikant rekommenderar utprovat bästa tändstift samt dess elektrodavstånd.
Tändstift finnas med gänga 14 och 18 mm samt gänglängd 1/2", 3/8", och 13/16". Gängan för tändkabelanslutning kan vara UNF 5/8-24 eller 3/4-20.
Beteckningarna för tändstift är standardiserade där t.ex. Champion REM 38 E har följande betydelse i beteckningens;

bokstav R = Resistans enl MIL- Spec
E = Skärmad med 5/8-24 gänga
M = 18 mm gängdia
38 = hårdhet (lågt = kall, högt = varmt stift)
E = Elektrodtyp (2 elektroder)



E N P eller W



Tändstiften måste lossas och rengöras var 50:de drifttimme. Vissa tändstift kan demonteras för invändig åtkomlighet då isolatorn måste rengöras. Enklaste rengöringen sker genom att doppa gängdelen i aceton samt blåsa rent med tryckluft. Om sotavlagringar måste tas bort inuti tändstiftet kan glaspulverblästring ske sedan det tagits isär. Isärtagning resp hopsättning av tändstift måste emellertid ske med försiktighet så att inte isolator eller invändig tätning skadas.
Elektrodavståndet kontrolleras med bladmått och justeras om så behövs enligt motormanualen.

Efter tändstiftsrengöring och justering skall de testas i en speciell tändkammare där trycket är 7 atö (0,8 MPa). Detta sker av orsak att kompressionstrycket i motorn ger högre motstånd mot gnistan, som kan vara effektiv i luft av atmosfärstryck, men utebli vid högre tryck.
"Tappat tändstift ligger". Detta innebär att ett tändstift som tappats mot golvet inte skall användas eftersom isolatorn troligen är sprucken och orsakar att gnistan slår över i tändstiftets inre, utan beröring med bränsleluftblandningen i motorn. Demonterbara tändstift kan säras och kontrolleras för skador, annars kasseras de.

Vid återmontering till motorn tillses att alla packningar är av massiv koppar (ej biltyp). Dessa blir hårda efter längre tids användning så att de inte tätar effektivt. Genom uppvärmning med en gasollåga till rödglödgning, samt hastig kylning i vatten, blir de åter mjuka.
Vissa typer av givare för cylindertemperatur är utformade som en tändstiftspackning med två fastlödda elledare av olika material. Dessa givare ersätter den vanliga tändstiftspackningen.

Vid återmontering av tändstiften är det viktigt att de får rätt ansättning. Ett löst tändstift kan läcka inåt och ge överskott på luft, och ge så hög värme att cylindertopp eller tändstiftsgängar i cylindern kan smälta.

Motormanualens momentansättning av tändstiften skall följas. Helt allmänt gäller ansättning med momentnyckel enligt följande tabell:

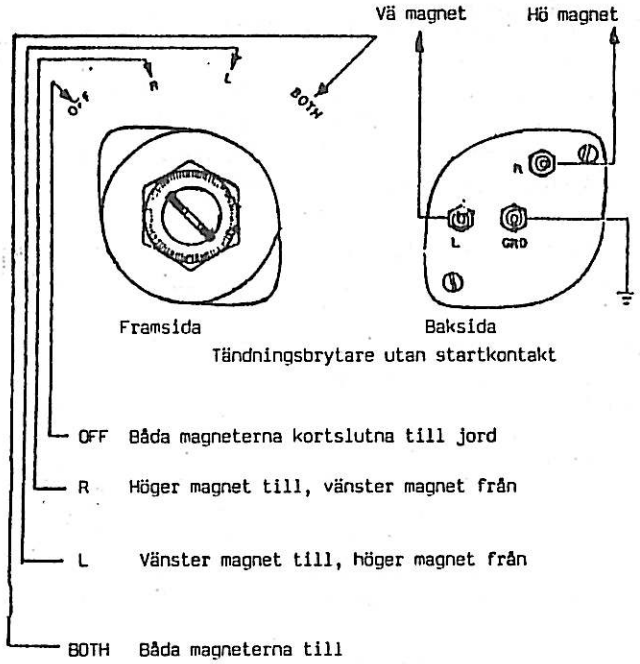
| Tändstift/motortyp | Kpm | Pound-fot |
|---|---|---|
| 14 mm tändstift för VW .... | 2,6 - 3,0 | 19 - 22 |
| Avco Lycoming ..... | 4,1 - 4,8 | 30 - 35 |
| Teledyne Continental ..... | 3,4 - 4,1 | 25 - 30 |
| Franklin Engine Co ..... | 3,4 - 4,1 | 25 - 30 |
| Pratt & Whitney Aircraft .. | 3,4 - 4,1 | 25 - 30 |
| Wright Aeronautical ..... | 4,8 - 5,2 | 35 - 40 |

Tändningsbrytare.

För manövrering av tändsystemets strömkrets, inkoppling av startmotorn, samt speciell utrustning, t.ex. startvibrator, användes en tändningsbrytare med nyckel som kan tas ut i FRÅN-läge för att förhindra obehörig eller oavsiktlig manövrering.

Tändningsbrytare finns i flera olika utföranden med avseende på flygplanets utrustning med startmotor, dubbla tändmagneter, startvibrator, elektrisk snapspump etc.
Även om flygplanet endast har enkelt tändsystem, och startas med att rycka runt propellern för hand, måste tändningsbrytare finnas, alltså även om utförandet endast behöver ha "Till" och "Från"-lägen.
Tändningsbrytaren placeras i instrumentpanelen så att den är bekvämt manövrerbar av piloten (kan behöva manövreras även under flygning).

Den följande figuren visar utförandet för en tändningsbrytare med uttagbar nyckel.



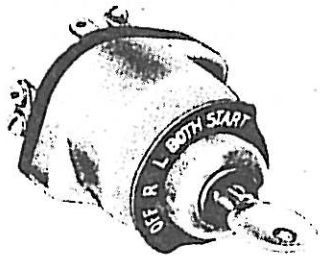

Tändningsbrytare utan startkontakt

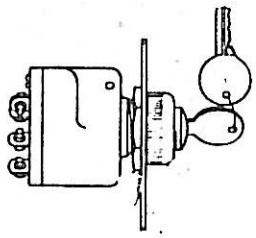
OFF Båda magneterna kortslutna till jord

R Höger magnet till, vänster magnet från

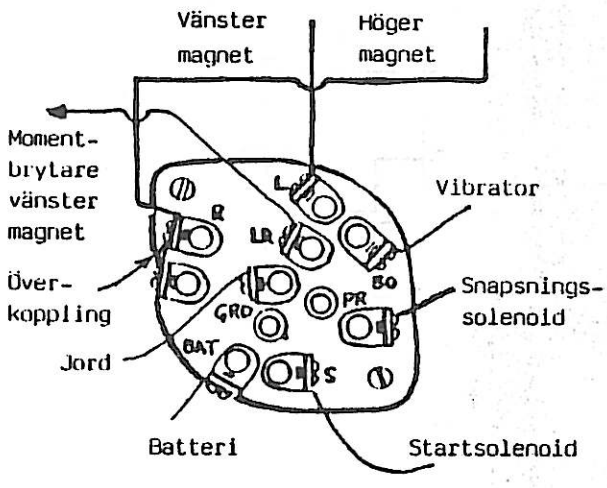
L Vänster magnet till, höger magnet från

BOTH Båda magneterna till

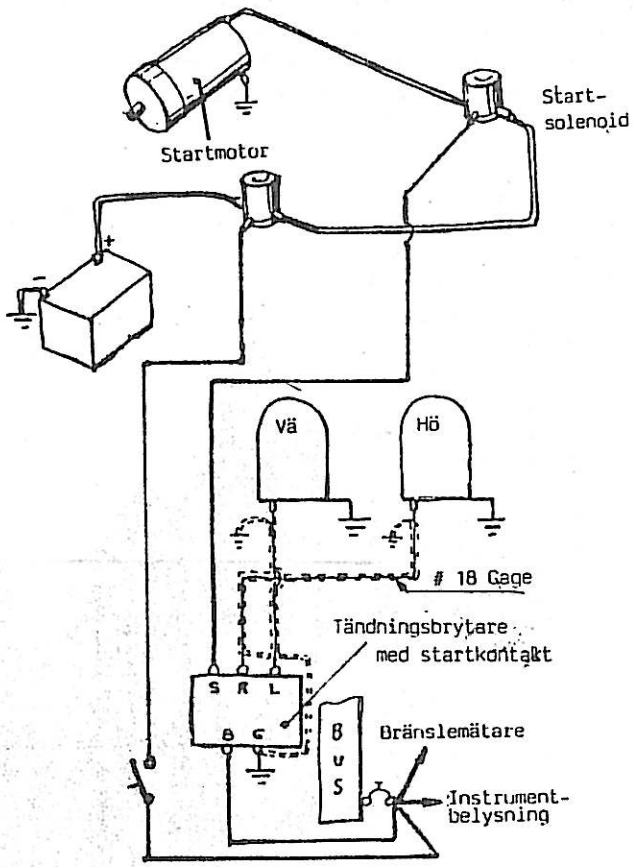


De följande figurerna visar några exempel på inkoppling av tändningsbrytare, och märkning.
efterföljande schemor visar typexempel för elanslutning av tändningsbrytaren där använda elledare vanligen är # AWG 18 med skärm som skall jordas i båda ändar.




Tändningsbrytare av multipeltyp (baksidan)



Tändningsinställning.

För att flygmotorn skall fungera på rätt sätt, vara varvvillig, ge angiven effekt, samt arbeta med rätt temperatur i förhållande till belastning, krävs att tändningen är rätt inställd.
Motorfabrikanten anger rätt tändinställning i antal grader BTDC = före övre vändläge för kolven.

Om tändning sker för sent, blir motorn varmare än normalt, samt ger sämre varvvillighet och lägre effekt.
Sker tändning för tidigt uppstår knackning i cylindrarna som kan skada motorn.
Vid tillverkning av en flygmotor görs två ensmärke på propellernav resp vevhus. Dessa märken visar rätt tändinställning - men endast under den förutsättningen att inte vevaxel, magneter eller propellernav blivit utbytta vid någon översyn.
Förutsättningen är också att rätt bensin, med rätt octantal, användes enligt motorspecifikationen.

Utrustning för tändinställning.

För att kontrollera avstånd för tändstiftens elektroder, samt för brytarkontakter, behövs ett bladmått.
För kontroll av brytarspetsarna öppningsläge i en tändmagnet behövs en magnetsynkronisator. Denna kan köpas färdig, eller tillverkas med komponenter enligt nedan visade kopplingsschema.

För kontroll av brytarkontaktens öppningsläge i ett batteritändsystem, går det att göra en grovinställning av tändningen med en lampa för max 2 watt. Strömmatning sker med ett ficklampsbatteri, där positiv pol ansluts till den rörliga brytarkontakten. Negativ pol ansluts till den fasta brytarkontakten (eller till jord). Lampan är tänd då brytarkontakten är sluten, men slocknar då den öppnar.
En tändmagnet har permanenta magneter som är känsliga för slag, men också för det magnetfält som uppstår om en lampa anslutes på samma sätt som för batteritändsystem. Speciellt växelström kan ta bort all remanent magnetism från permanenta magneter. Det är därför viktigt att en magnetsynkronisator användes för tändmagneter. När en magnetsynkronisator anslutes till brytarkontakten lyser ljusdioden vid öppet läge, men slocknar då kontakten är sluten. Tändinställningen skall alltså ske exakt där ljusdioden tänds.

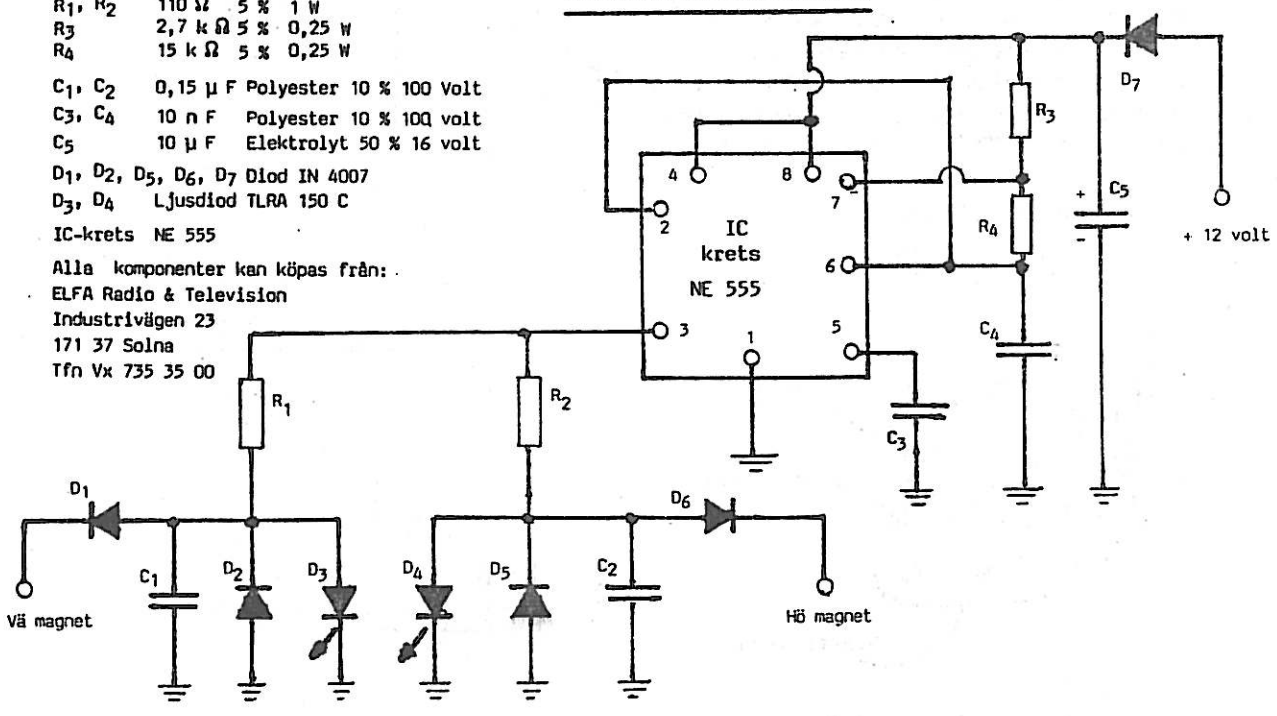
En flygmotor har alltid ensmärken för inställning av tändningen för cylinder # 1.
Om denna märkning av någon orsak inte finns, kan ändå rätt tändinställning ske med hjälp av en kolvlägesindikator.
För att finna rätt kolvläge, måste då motorns vevcirkel uppritas i skala 1:1. Vevcirkeln har samma diameter som motorns slaglängd. Rita även vevstake

**Stycklista**

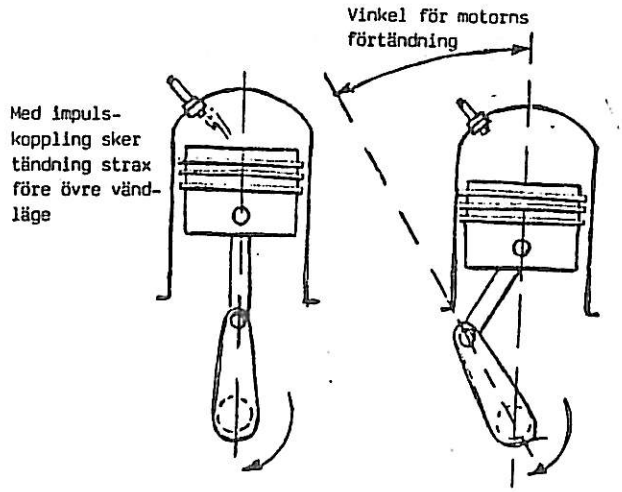
| | | |
|---|---|---|
| $R_1$, $R_2$ | 110 Ω | 5 % 1 W |
| $R_3$ | 2,7 k Ω | 5 % 0,25 W |
| $R_4$ | 15 k Ω | 5 % 0,25 W |
| $C_1$, $C_2$ | 0,15 µ F | Polyester 10 % 100 Volt |
| $C_3$, $C_4$ | 10 n F | Polyester 10 % 100 volt |
| $C_5$ | 10 µ F | Elektrolyt 50 % 16 volt |
| $D_1$, $D_2$, $D_5$, $D_6$, $D_7$ | Diod IN 4007 | |
| $D_3$, $D_4$ | Ljusdiod TLRA 150 C | |
| IC-krets | NE 555 | |

Alla komponenter kan köpas från:
ELFA Radio & Television
Industrivägen 23
171 37 Solna
Tfn Vx 735 35 00

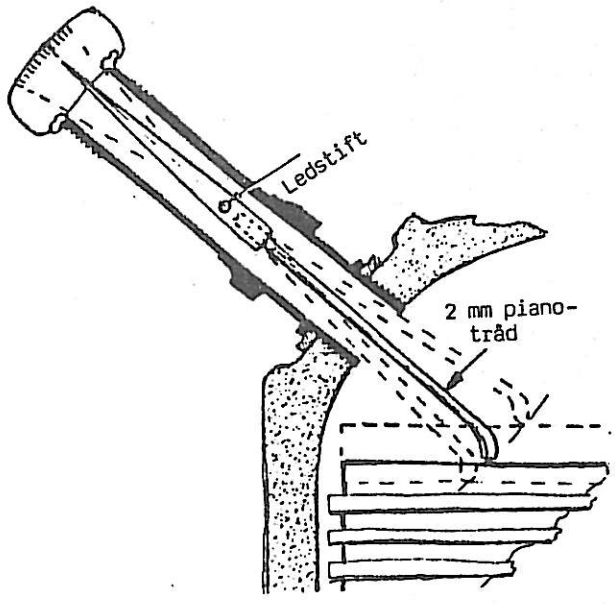
**MAGNETSYNKRONISATOR**



och kolv i skala 1:1. De två figurerna nedan visar principen för en vevcirkel. Den vänstra visar då vev och vevstake står i rak linje som anger TDC = kolvens övre vändläge. Den högra figuren visar kolvens läge i BTDC (= kolvens läge före övre vändläge). Om veven ritas med en vinkel (BTDC) som anges av fabrikanten som rätt tändinställning, kan kolvens läge mätas i mm från övre vändläge till dess läge för tändning.




För att nyttja detta för praktiskt bruk behövs en kolvlägesindikator som kan tillverkas med utgångsläge från ett kasserat tändstift på sätt som visas i nästa figur. Skalans 0-läge skall ange exakt tändläge för grundinställning av tändningen.
Känselstången tillverkas av hård pianotråd som bockas och rundas i nedre änden på så sätt att den inte ger märken i kolven. Visaren fastlödes i rak linje med känselstången samt förses med ledstift.




Tändinställning.

1) Kontrollera tändningbrytaren i läge "OFF" samt tag ur nyckeln. Lossa ett tändstift från varje cylinder (övre tändstift vid dubbelt tändsystem) och jorda detta, med påsatt tändkabel, så att tändstiftet får säker jordningskontakt mot motorn. Detta förfarande skall alltid tillämpas under alla motorarbeten där tändstiften lossas. Orsaken är att om motorn av någon orsak vrides med tändbrytaren i TILL-läge, skall tändgnistan utlösas i tändstiftet, inte i magneten.
Kontrollera att brytaravståndet i magneterna samt elektrodavstånd i tändstiften är rätt. Kontrollera också att inte brytarkontakterna är brända, samt att de har full anliggningsyta.

2) Kontrollera motormanualen för rätt tändinställning (rätt BTDC). Detta ligger vanligen vid 24 till 30 grader före övre vändläget för kolven (beroende på motortyp).
Ensmärke och gradering finns normalt på propellernav, resp mot vevhusets övre delningsskarv.

3) Sök övre vändläget för cylinder # 1 under dess kompressionsslag. Detta kan konstateras genom att hålla ett finger för tändstiftet samt observera att luft pressas ut då propellern vrides i rotationsriktningen. För en fyrtaktsmotor gäller att insug- och avgasventilerna är stängda under kompressionsslaget.

4) Vrid propellern bakåt tills de nämnda tändinställningsmärkena står mitt för varandra.

Om tändmagneterna är/eller varit lossade, måste följande utföras.

5) Vrid tändmagneternas axlar så att fördelarens arm pekar mot stiftet för cylinder # 1 tändkabel. Lossa inställningspluggen på tändmagneten samt observera att färgmärkningen på drevet syns.

6) Installera tändmagneterna men ansätt inte dess muttrar. Vrid magneten lite i båda riktningarna och kontrollera att brytarspetsarna öppnar och sluter.
Om så inte sker - lossa tändmagneten och vrid dess axel så att drevet flyttas en kugge åt endera riktningen. Sätt tillbaka tändmagneten och kontrollera brytarspetsarna för öppning och slutning. Om inte - lossa åter magneten samt vrid två kuggar åt motsatt håll. Fortsätt tills magneten har rätt monteringsläge och färgmärkningen syns.

7) Vrid propellern med rotationsriktningen tills tändmagnetens impulskoppling "knäpper över" sitt

låsläge. Vrid därefter propellern bakåt något, men inte så långt att impulskopplingen aktiveras. Vrid åter med rotationsriktningen, för att "hämta upp" glapp i drivdetaljerna, till rätt tändläge enligt märkningarna.
Anslut tändningssynkronisatorn direkt till magnetbrytarna, resp till batteriets pluspol och jordanslutning. Vrid magneten sakta tills ljusdioden tänds. Ansätt muttrarna för tändmagneten.

8) Gör en förnyad kontroll att lampan tänds exakt vid det läge där tändinställningsmärkena är mitt för varandra, då propellern vrides med rotationsriktningen, utan aktiverad impulskoppling.

9) Fortsätt enligt moment 1) till 8) med andra magneten för dubbelt tändsystem.

Tändinställning om inställningsmärken saknas.
Detta omfattar även åtgärder då osäkerhet om inställningsmärkena råder.

1A) Utför åtgärder som enligt pkt 1). Montera dessutom kolvlägesindikatorn i cylinder # 1 övre tändstiftsgänga, med samma packningstjocklek som för tändstiftet.

2A) Vrid propellern så att inpulskopplingen inte är aktiverad enligt pkt 7). Vrid därefter propellern sakta (efter upphämtning av glapp) tills kolvläget motsvarar motorns avsedda läge för tändning (enligt vevcirkeln).

3B) Utför tändinställning enligt pkt 1) till 9).

4B) Ritsa ensmärken på motorn för rätt tändinställning.

Tändinställning efter grundöversyn.
Efter en grund- eller partiell översyn, där någon för tändinställningen beroende del har utbytts, t.ex. tändmagneter, vevaxel, propellernav, finnes anledning kontrollera tändinställningen genom att mäta kolvlägena (gradtal förtändning). Detta utföres då för samtliga cylindrar eftersom det visat sig att tändinställning med cylinder # 1 inte alltid ger samma tändläge för övriga cylindrar. Vid avvikelser användes medelvärdet för alla cylindrar t.ex. om tändinställningen skall vara 28 grader BTDC, men värden för cyl # 2, 3 och 4 erhålles vid 26, 30 resp 29 grader (med cyl # 1 inställd vid 28 grader), erhålles; 28 + 26 + 30 + 29 = 113 grader = medelvärde 113/4 = 28,25 grader. I exemplet är avvikelsen obetydlig, men större avvikelser kan förekomma och måste kontrolleras och korrigeras för cylinder # 1.

De flesta flymotorerna har samma tändinställning för båda tändmagneterna för en motor med dubbelt tändsystem. Men undantag finnes. Sålunda föreskriver motorfabrikanten för Continental A40, A50 samt A80 m.fl. äldre motorer med original tändsystem att höger magnet (övre tändstiften) skall tända vid 3 grader lägre gradtal än vänster tändmagnet. Det gäller därför att noga studera resp reviderade motormanual för använd motor.