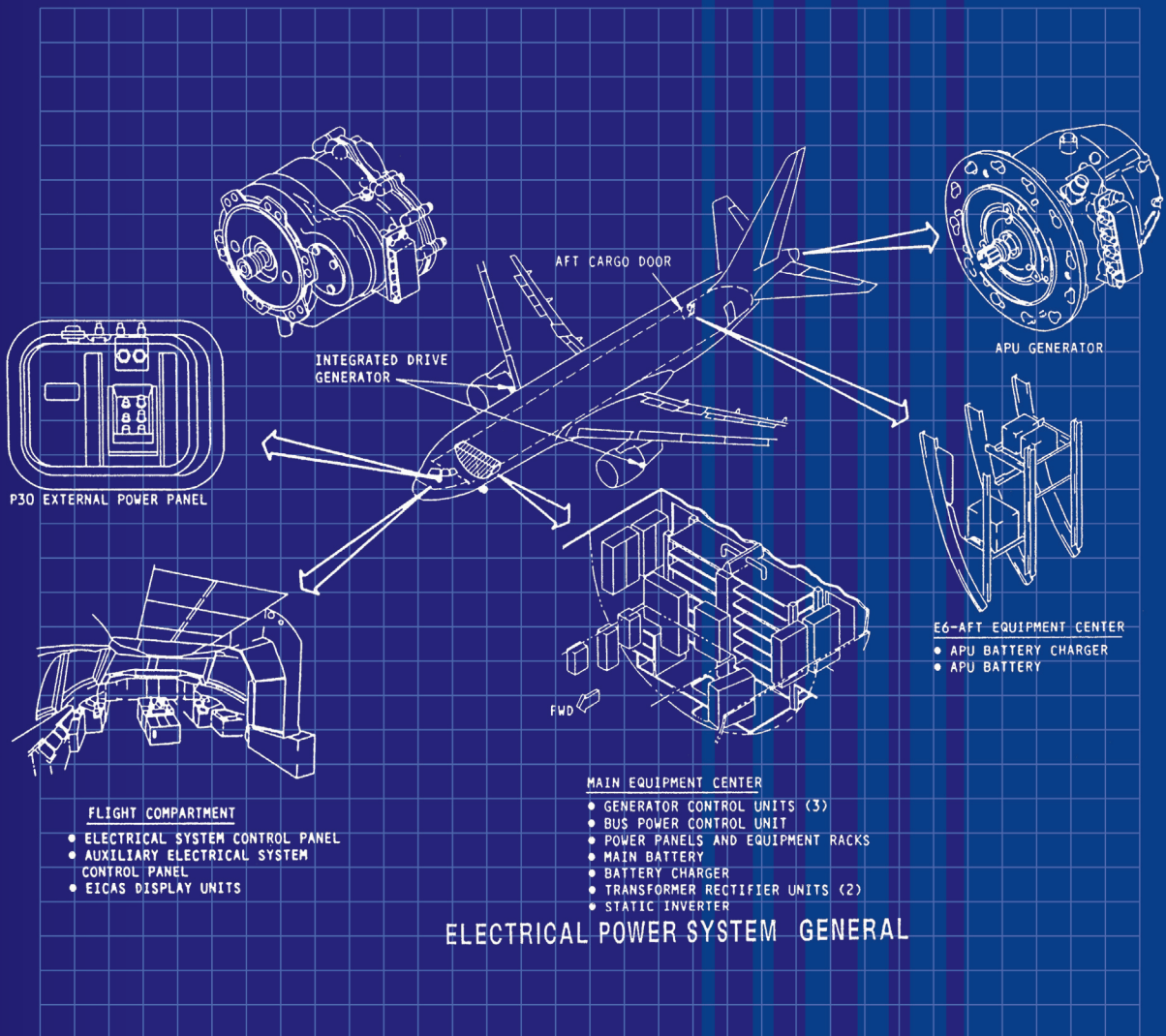


航空電子・電気装備

Avionics General



目 次

第1章 電源システムと照明

1-1	電源の種類	1
1-2	直流電源方式	2
1-3	交流電源方式	10
1-4	航空機照明	26

第2章 アンテナと電波伝搬

2-1	送信機	31
2-2	受信機	32
2-3	電波の性質	32
2-4	半波長ダイポール・アンテナ	34
2-5	1/4波長接地アンテナ	36
2-6	ループ・アンテナ	38
2-7	アンテナの指向性	38
2-8	アンテナの利得	39
2-9	受信アンテナ	40
2-10	伝搬損失と受信電力	41
2-11	アンテナの実例	44
2-12	給電線と整合装置	49
2-13	地上波の伝搬	52
2-14	対流圏波の伝搬	53
2-15	電離層波の伝搬	55
2-16	電波伝搬の実際	57

第3章 通信システム

3-1	VHF 通信システム	63
3-2	HF 通信システム	66
3-3	セルコール・システム	69
3-4	オーディオ・システム	71
3-5	衛星通信システム	73

第4章 航法システム

4-1	自動方向探知機	78
-----	---------	----

4-2	超短波全方位式無線標識	88
4-3	計器着陸装置	92
4-4	距離測定装置	99
4-5	ATCトランスポンダ	103
4-6	個別識別トランスポンダ	108
4-7	気象レーダー	110
4-8	電波高度計	117
4-9	衝突防止装置	121
4-10	慣性航法システム	129

第5章 自動操縦装置

5-1	航空機の運動と操縦法	140
5-2	航空機の安定性と操縦性	148
5-3	オートパイロットの基礎	151
5-4	小型機のオートパイロットの実例	161
5-5	オートパイロットの機能	163
5-6	油圧サーボ機構	166
5-7	フライト・ディレクタ	169
5-8	オートスロットル・システム	170
5-9	フライ・バイ・ワイヤ	172

第6章 警報装置、記録装置および救助捜索装置

6-1	高度警報装置	173
6-2	失速警報装置	175
6-3	対地接近警報装置	176
6-4	操縦室音声記録装置	181
6-5	デジタル飛行記録装置	182
6-6	航空機用救命無線機	186

第7章 デジタル・アビオニクス

7-1	慣性基準装置	189
7-2	エア・データ・コンピュータ	194
7-3	全地球測位システム	198
7-4	電子式飛行計器システム	204

7-5 エンジン計器と警報システム	210
7-6 データ・リンク・システム	213
7-7 モニター・システム	216
7-8 飛行管理システム	219
7-9 ヘッドアップ・ディスプレイ	229
第8章 エリア・ナビゲーション	
8-1 RNAVによる飛行原理	231
8-2 航法精度が指定されたRNAV	234
ABBREVIATION LIST	236
練習問題	246
練習問題解説	258
索引	273

※改定箇所については欄外に傍線を入れてあります。

第 1 章 電源システムと照明

小型機の電気装備は乗用車の電気装備と大差なく直流電源方式で、主な装置は発電機と蓄電池、スタータと点火系統、照明系統である。機体が大型化するにつれて、いろいろな電子・電気機器が用いられ、厨房で使う電力が急増し、直流電源方式ではこれに対応できず、しだいに交流電源方式に移行していった。

発電機や蓄電池などの機器単体については、すでに「航空電子・電気の基礎」で学んだので、ここではこれらの機器が航空機で、どのように使われているのか、大型機との差異などについて述べる。

1-1 電源の種類 (Variation of Power System)

1-1-1 主電源 (Main Electrical Power)

航空機内で必要とする電力は、エンジンで駆動される発電機より供給される。

各エンジンに発電機が1台ずつ装備されており、主母線に電力を供給している。各負荷は主母線より電力の供給を受けるが、電源の故障に備えて重要性の低い負荷（ギャレーなど）はいつでも切り離しができるようになっている。主電源には直流電源方式と交流電源方式があり、一般に、小型機では直流方式だが、中・大型機では交流方式が主流であるが、どちらを使用するかについては、メーカーにおける使用目的や、ポリシーなどにより決められる。発電機制御器はラジオ・ラックやその周辺に収納されている。

1-1-2 補助電源 (Auxiliary Electrical Power)

機体には外部電源受口が設けられており、地上停止中に地上固定電源、または電源車より電力の供給を受けることができる（小型機では外部電源受口がない機種もある）。

中・大型機には小型エンジンで駆動する補助動力装置があり、電力と空気圧を供給している。この空気圧を利用して油圧モータを駆動し、油圧を得ることもできるし、空調装置を動かして機内の

エア・コンディショニングも行える。

電源の容量が不足する場合には、エンジン駆動の不定周波発電機（エンジンに直結し周波数制御が行われていない発電機）を備えていて、防除氷装置や厨房などに利用しているYS-11型機などの例もある。

1-1-3 緊急電源（Emergency Electrical Power）

主電源の故障に備えて緊急蓄電池がある。

この電池は航空機の運航に不可欠な航法装置や通信装置に電力を供給するもので、交流電源の航空機では、緊急時に直流を供給するだけでなく、蓄電池の直流をインバータで交流に変換して電力を供給する。この緊急蓄電池はエンジン始動用蓄電池を兼ねている機種もある。

輸送機では機内外の誘導灯や非常灯用に小型の専用電池があり、非常時の照明を保っている。

また緊急電源として蓄電池のほかに、通常は機体に収納されている風車を緊急時に機外に出して、風車による発電を行う装置を備えた機種もある。

1-2 直流電源方式（DC Power System）

主としてプロペラ機に採用されている方式で、概ね小型機では14V系が、中型機では28V系が採用されている。配線方法は自動車と同様、蓄電池と発電機のマイナス端子を直接機体に接続する接地帰還方式（Ground Return System）が採用されている。

主母線（Main Bus）には発電機と蓄電池が並列に接続され、蓄電池は主母線の電圧変動を防止すると共に、発電機の故障の際の緊急電源ともなり、エンジン・スタータの電源としても働く。

1-2-1 小型機の直流電源系統（DC Power System for Small Airplane）

小型機の12V系の直流電源系統を図1-1に示す。この直流電源は小型自動車の電源系統と全く同じである。2連のマスター・スイッチをONにするとB側のスイッチで蓄電池リレーのコイルが接地され、リレーが閉じて公称12（V）の蓄電池が、蓄電池母線に接続される。

蓄電池母線（Battery Bus）には、スタータ・リレーを介してスタータが接続されている。スタータ・スイッチをONにすると、スタータが回転しエンジンが起動する。

エンジンには発電機が直結しており、マスター・スイッチのA側のスイッチにより発電機の界磁コイルに電流が流れ、発電が始まり発電機と蓄電池とは並列接続される。

発電機には電圧調整器が付属しており、エンジンの回転数が変わったり、負荷が変動しても電源電圧を14（V）に保つ。これは自動車と同じように常に蓄電池を充電するため、蓄電池の公称電圧より約2（V）高い電圧を保つようにしているのである。

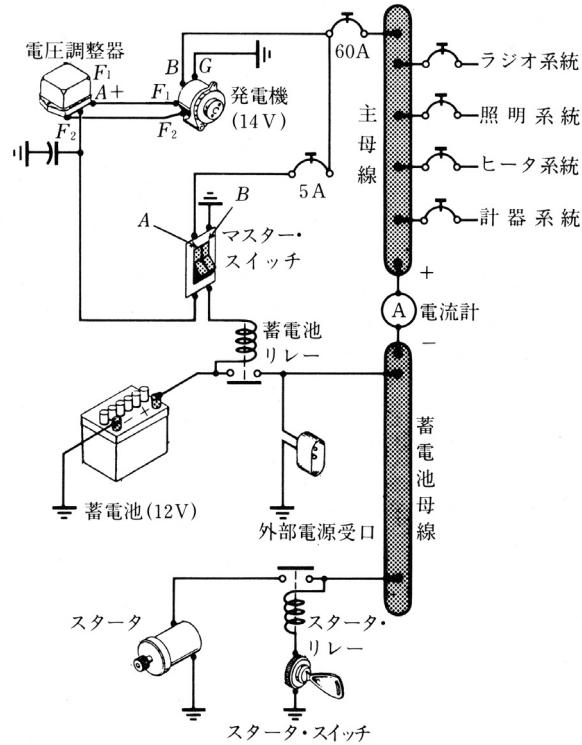


図1-1 小型機の直流電源系統

最近の小型機には自動車と同じ整流型直流発電機（Alternator Rectifier）が使用され、発電電圧が蓄電池電圧より低下しても、蓄電池より発電機に電流が逆流することがなくなったので、逆流しや断器は使われていない。

主母線と蓄電池母線は電流計で結ばれており、発電機の発電電圧が高く蓄電池を充電しているとき、電流計はプラスを指し、蓄電池が負荷に電流を供給しているときマイナスを指す。

主母線からラジオ系統、照明系統など各種負荷にはサーキット・ブレーカを経由して電力が供給されている。サーキット・ブレーカは負荷側で短絡や接地などの故障が生じたとき、すぐにトリップして主母線より負荷を切りはなし、電源系統と機内配線を保護するために用いられる。

航空機と自動車の電源での大きな相違は、航空機には外部電源受口が準備されていることである。それは寒冷時のエンジン・スタートや、長時間の機体整備（このときはエンジンを回していない）のとき、蓄電池だけでは電力が不足するので外部から電力を供給するための設備である。

1-2-2 多発機の直流電源系統 (DC Power System for Multi Engine Airplanes)

多発機の例としてYS-11型機の直流電源系統を図1-2に示す。双発機の特徴は第1発電機と第2発電機が並列運転されることである。各発電機の電圧調整器には自機と相手機の出力電流を比較する回路があって、常に出力電流が等しくなるように制御している。

蓄電池を母線に接続するには、蓄電池スイッチを蓄電池 (BAT) 側に倒すと、蓄電池リレーが閉じて緊急母線に蓄電池が接続される。機が地上にあるときはグラウンド・リレー (機が地上にあることを知らせるリレーで、着陸脚が圧縮されたとき動く) を介して緊急母線リレーを閉じ主母線にも蓄電池の電力が供給される。蓄電池を母線に接続しているときは、外部電源リレーは開いて外部電源は接続されない。エンジンが回転しているとき発電機スイッチをONにすると、発電機リレーを閉じて発電機を主母線に接続する。整流型直流発電機を使っていない機種には逆流シャ断器があり、逆流を生じると発電機リレーが開いて発電機を母線から切り離す。発電機が母線に接続されたときは、緊急母線リレーを閉じて主母線と緊急母線を接続している。飛行中に2台の発電機が共に主母線から切り離されると、緊急母線リレーが開いて蓄電池は緊急母線にのみ電力を供給する。

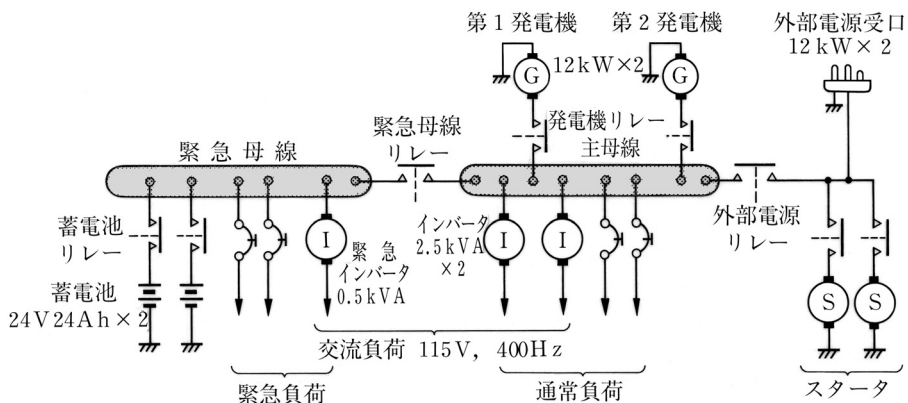


図1-2 YS-11型機の電源系統

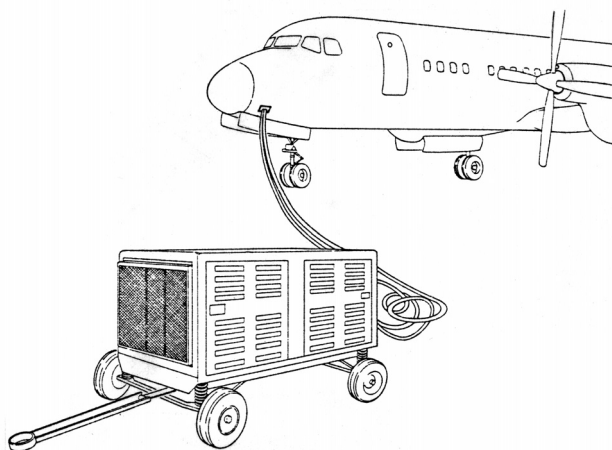


図1-3 電源車より電力の供給を受けるYS-11型機

YS-11機は搭載している蓄電池の容量が少ないのでエンジンの始動ができず、エンジンの起動には外部電源受口に電源車を接続しなければならない（ただし蓄電池でエンジン始動のできる機体もある）。蓄電池スイッチを外部電源（EXT）側に倒すと、発電機が作動していなければ外部電源リレーと緊急母線リレーが閉じて主母線と緊急母線に電源車より電力が供給される。発電機が働いているときは外部電源は接続されない。

1-2-3 直流発電機 (DC Generator)

図1-4に直流発電回路を示す。回転子がエンジンで駆動されると、磁極の残留磁束により回転子に電圧が発生する。この電圧が界磁コイルに流れ、励磁によって生ずる磁束が残留磁束に加わり、自己励磁による発電ができる。発電電圧は回転子の回転速度を変えるか、界磁抵抗を加減して励磁電流を変えることで変化できる。

直流発電機の発電特性は、図1-4(c)に示すような特性を持っている。

- (a) 励磁電流が一定であれば、発電電圧は回転子の回転数に比例する。
- (b) 回転数が一定であれば、発電電圧は励磁電流の増加につれて上昇するが、やがて飽和する。

航空機のようにエンジンの回転数が変化するのに常に定格の28(V)を保つには、励磁電流を調整する電圧調整器を用いなければならない。直流発電機から電力を取り出すには、カーボン・ブラシが用いられている。このカーボン・ブラシは常に回転する整流子と接触しているため、しだいに摩耗する。従って、定期的にカーボン・ブラシを点検し、摩耗していたら新品と交換する必要がある。

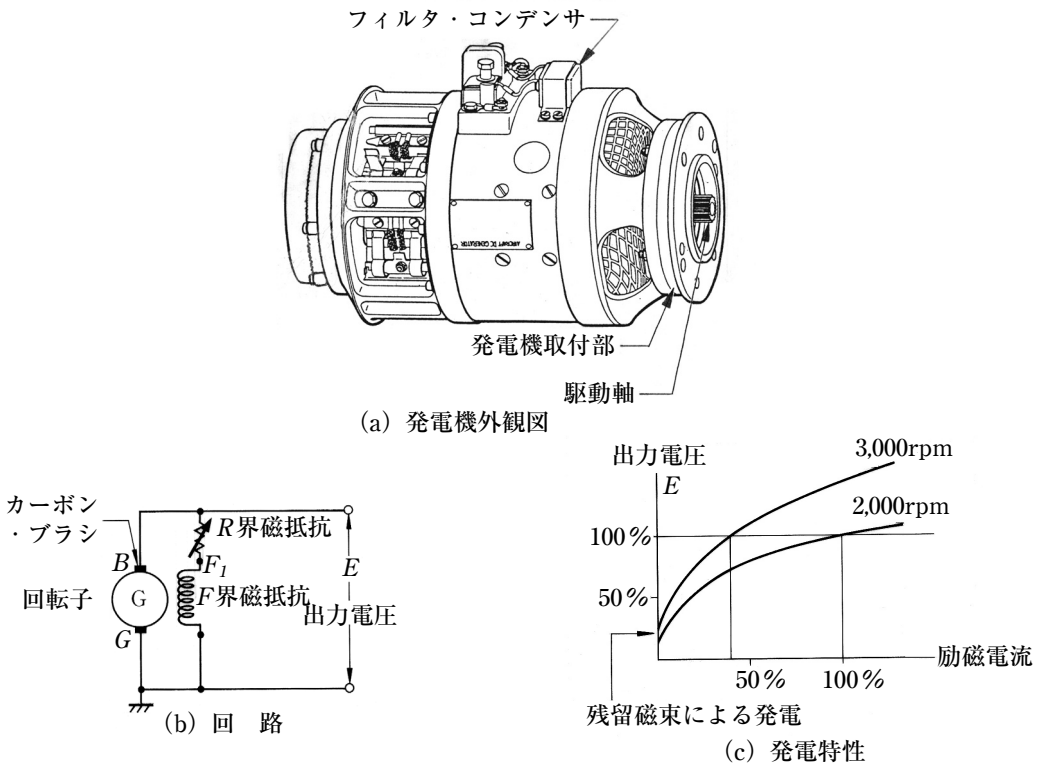


図1-4 直流発電回路

1-2-4 カーボン・パイル式電圧調整器 (Carbon - pile Voltage Regulator)

カーボン・パイルはカーボンの薄板を多数積み重ねたもので、両端の電気抵抗は積み重ねたカーボンの薄板に加えられる圧縮力により変化する。カーボン・パイルに加えられる圧縮力が大きいと抵抗は減少し、小さいと抵抗は増加する。

図1-5に示すカーボン・パイル式電圧調整器は図1-4の界磁抵抗 R をカーボン・パイルで置き換えたもので、界磁巻線にはカーボン・パイルを通して発電電圧が加えられている。カーボン・パイルにはあらかじめ板バネで圧縮力が加えられているが、発電電圧が上昇すると電圧調整コイルの電流が大きくなり、板バネによる圧縮力が減少し、カーボン・パイルの抵抗が増加して励磁電流が減少し、発電電圧は規定値に戻る。逆に、発電電圧が下降すると電圧調整コイルの電流が小さくなり、板バネに加えられる圧縮力が増しカーボン・パイルの抵抗が減少し、励磁電流が増大して発電電圧は規定値に戻る。また、電圧調整抵抗を加減して発電電圧を調整することもできる。

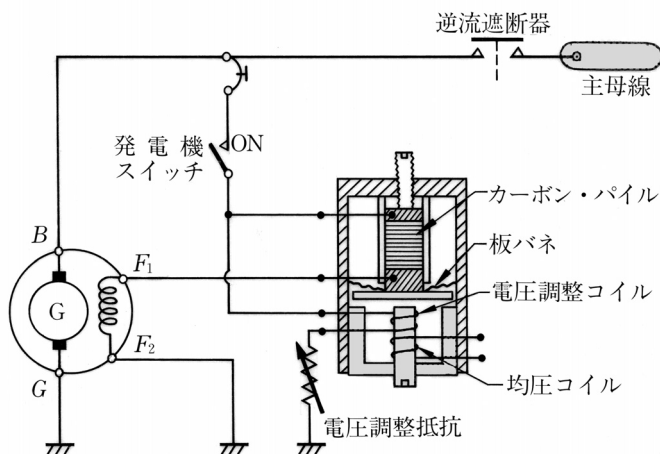


図1-5 カーボン・パイル式電圧調整回路

1-2-5 リレー式電圧調整器 (Relay Type Voltage Regulator)

図1-6に示すリレー式電圧調整器は、エンジンの回転が低く発電電圧が低いときには、発電機の界磁巻線には発電電圧がそのまま加えられている。エンジンの回転が上昇すると発電電圧も上昇し、電圧調整器の接点 A が開き、界磁回路に抵抗 R_A が直列に加わって発電電圧は低下する。電圧調整器のコイルには、電圧コイルと界磁コイルがあり、その巻線方向が反対になっている。発電電圧が低く接点 A が閉じている状態では、界磁コイルには励磁電流が流れず何の働きもしない。発電電圧が上昇し接点が開くと、界磁コイルには励磁電流が流れ、電圧コイルの磁束を打ち消す働きをするため、発電電圧がさほど低下しないうちに、再び接点 A を閉じて発電電圧を上昇させる。すなわち、リレー式電圧調整器では発電電圧の低い期間と高い期間があり、その平均値が規定電圧を保つような働きをしている。

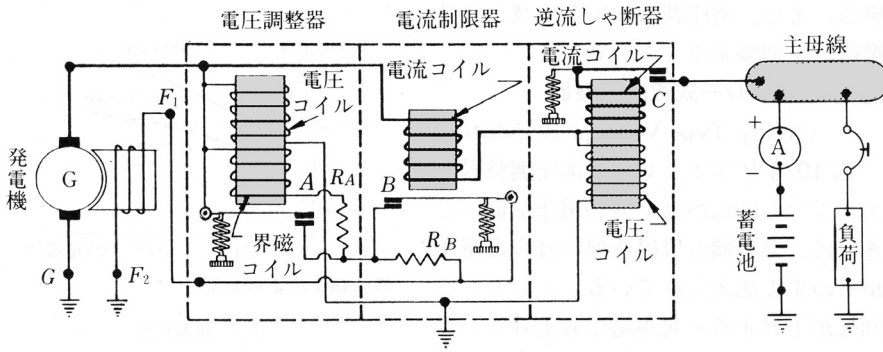


図1-6 リレー式電圧調整、電流制限回路

負荷が増加し発電機の能力を超えるようになっても、電圧調整器は常に規定電圧を保つように働く。そのままでは発電機は過負荷となり、ついには焼損してしまう。これを防ぐ目的で加えられたのが電流制限器 (Current Limiter) で、電流コイルは負荷電流が発電機の定格電流に達すると、接点 B を開いて抵抗 R_B を直列に加え、発電電圧を低下し過負荷となるのを防止している。

発電機の電圧が、蓄電池の電圧より低いうちに発電機と蓄電池を接続すると蓄電池から発電機に電流が流れ込み、発電機はモータとなってエンジンを駆動するようになる。この状態になると蓄電池はすぐに放電してしまうし、発電機を焼損することになるので、絶体避けなければならない。すなわち、蓄電池から発電機への電流が流れないように保護するのが逆流しゃ断器である。発電機から切り離された蓄電池の端子電圧は約 24 (V) である。発電機の端子電圧が約 28 (V) に達すると逆流しゃ断器の電圧コイルの働きにより、接点 C が閉じ発電機は蓄電池と負荷に電力を供給し始める。

エンジンの回転が低下したり、発電回路の故障などによって発電電圧が低下すると、電流コイルに蓄電池より発電機側に向かう電流が流れる。この電流は電圧コイルの磁束を打ち消して接点 C を開き、発電機を主母線より切り離し、発電機を保護する。

1-2-6 保護回路 (Protection Circuit)

a. 並列運転 (Parallel Operation)

並列運転しようとする発電機は、図1-7に示すように分巻界磁のほかに直巻界磁のある複巻発電機が用いられる。

直巻界磁の電圧 (発電機の D 端子電圧) は、定格電流で -2 (V) 程度であり、発電機の負荷電流に比例して増減する。いま、第1発電機の負荷が定格の 50% に減少し第2発電機の負荷が定格の 70% に増加したとする。第1発電機の D 端子の電圧は -1.0 (V)、第2発電機の D 端子の電圧は -1.4 (V) となる。両発電機の D 端子は、カーボン・パイルの均圧コイルとバラスト・ランプを通して均圧母線 (Equalizer Bus) に結ばれているため、均圧母線には第1発電機 (軽負荷機) から

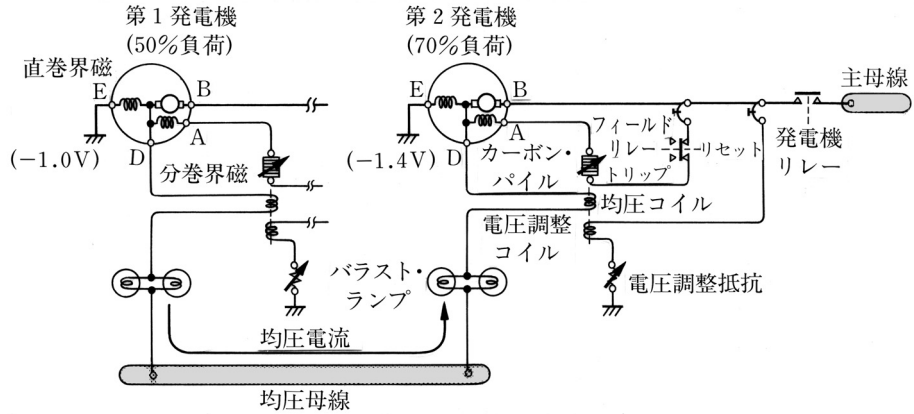


図1-7 並列運転回路

第2発電機（重負荷機）に向かう均圧電流が流れる。

この電流は第1発電機（軽負荷機）では発電電圧を上昇するように働き、第2発電機（重負荷機）では発電電圧を降下するように働き、両機の負荷をほぼ均等に保つ。

b. 自動接続と逆流しゃ断 (Automatic Paralleling and Reverse - Current Cutout)

並列運転を行う直流発電機の主母線への接続は自動的に行われる。図1-8に示すように、発電機電圧と主母線電圧を比較する差電圧コイルがあり、発電機側が約 0.7 (V) 高くなると、このコイルの働きにより、発電機リレー回路を閉じて発電機を主母線に接続する。主母線に接続後は発電機から流れ出る電流が電流コイルに流れてこの回路を保持している。もし、発電機に電流が流れ込む状態（逆流）が生ずれば、電流コイルが発電機リレー回路を開いて発電機を主母線より切り離す。

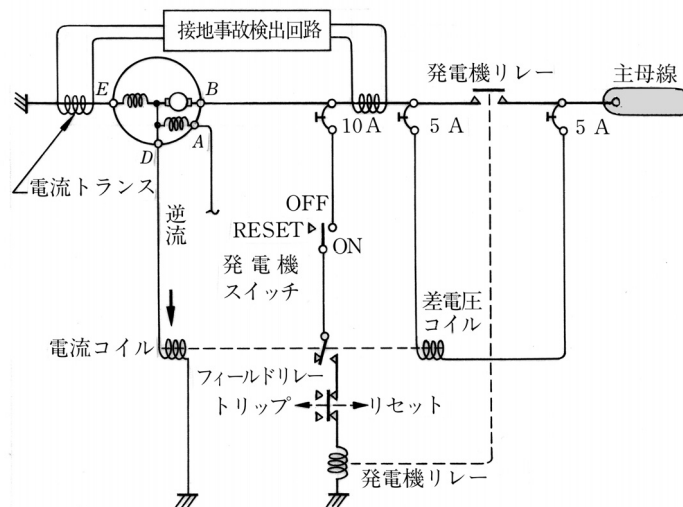


図1-8 発電機の自動接続と保護回路

c. 逆極性保護 (Reverse Voltage Protection)

発電機が逆極性発電すると逆極性検出回路が働いてフィールド・リレーをトリップし、発電を止めて発電機を主母線より切り離す。

フィールド・リレーは一度作動するとリセットするまでトリップ状態を保つ。

d. 過電圧保護 (Over - Voltage Protection)

発電機の出力電圧が 32～34 (V) に達すると、過電圧検出回路が働いてフィールド・リレーをトリップさせる。並列運転中に過電圧を検出すると、重負荷の発電機 (過電圧を発生している発電機) が、まず主母線より切り離される。

e. 接地事故保護 (Feeder Fault Protection)

発電機や母線に接地事故が生じたときの保護回路で、電流トランスが2個あり、1個はエンジン・ナセル内において発電機の負極線 (接地線) の電流を測定している。発電機や動力線に接地事故が発生すると、両電流トランスの出力に差が生じ、フィールド・リレーをトリップさせて励磁電流を切り発電を止めてしまう。直流電流を電流トランスでは測定できないが、直流発電機の出力にはリップル (直流に重畳した交流分) が含まれており、このリップル分を測定している。

1-2-7 整流型直流発電機 (Alternator Rectifier)

最近の直流電源方式の機体には、自動車などに用いられている整流型直流発電機が用いられることが多くなった。

これは図1-9に示すように、エンジンに直結した不定周波3相交流発電機の出力をシリコン整流器で3相全波整流し、直流出力として取り出した発電機で、シリコン整流器は発電機内部に組み込

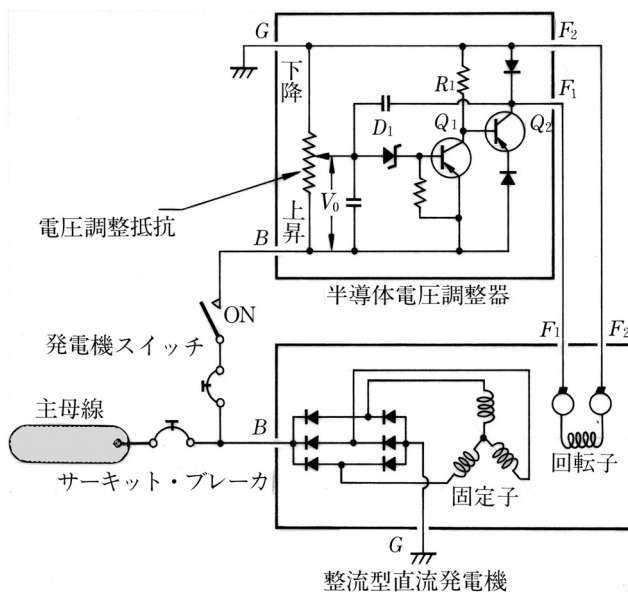


図1-9 半導体式電圧調整回路

まれている。この発電機は回転界磁型交流発電機で、励磁電流を界磁コイルに流す小さなカーボン・ブラシがあればよく、直流出力を取り出すカーボン・ブラシは不要となり、主母線から電流が発電機へ逆流することもないので逆流シャ断器が不要となりサーキット・ブレーカで主母線に結ばれている。電圧調整は半導体電圧調整器が界磁コイルの励磁電流を変えて行っている。

発電機の発電電圧が低く V_0 が定電圧ダイオード D_1 の降伏電圧に達しないうちは、トランジスタ Q_1 はOFF状態であり Q_2 はON状態となり、界磁は発電電圧で励磁される。発電電圧が上昇すると V_0 が定電圧ダイオードの降伏電圧に達し、トランジスタ Q_1 がONとなり Q_2 はOFFとなって励磁電流が切れ、発電電圧は減少する。常時 Q_1 , Q_2 がON, OFFを繰り返して設定電圧を保っている。また、電圧調整抵抗を調節することによって電圧設定ができる。

1-3 交流電源方式 (AC Power System)

従来航空機の電気系統は自動車と同じ直流が主流であった。しかし航空機の大型化に伴い消費電力が多くなり、またモータや各種の電気機器は直流より交流で動作させた方が簡単で整備もしやすいので、最近では一部の小型機を除き、ほとんどが交流電源方式を用いるようになった。

交流電源方式において、固定周波数の発電を行わせるためには、交流電源機を定速度で駆動する必要があり、そのためエンジンと発電機の間定速駆動装置 (Constant Speed Drive) が置かれている。

定速駆動装置はエンジンの回転数が変わっても発電機を規定の回転数で駆動する装置で、油圧ポンプ、油圧モータと機械式ガバナから構成されており、発電機の周波数を 400 ± 4 (Hz) に保っている。発電機の出力電圧は3相中性点接地式 $115/200$ (V) である。なお、電力使用量が従来より大幅に増加した機種で、重量軽減のため、これより高い電圧を採用している機種もある。航空機がわざわざ400 (Hz) を採用しているのは、電気機械や変圧器を作る際、鉄心や銅線量が商用電源の $1/6 \sim 1/8$ ですし、重量も軽くてすむからで、60 (kVA) の発電機重量が35 (kg) 程度で作られている。

図1-11にB747型機の主電源システムの略図を示す。各エンジンには定速駆動装置を介してブラシレス空冷60 (kVA) の発電機を1基ずつ計4基を備え付け、単独運転、並列運転とも可能である。

交流母線は第1から第4母線に分割され、発電機が単独運転しているときは発電機ブレーカ (GCB) が閉じ、それぞれの負荷に電力を供給している。

通常は母線接続ブレーカ (BTB) と系統分割ブレーカ (SSB) を閉じ、4台の発電機は並列運転している。飛行に必須な航法装置、通信装置、計器類などは必須交流母線に接続され、第1から第4まで任意の発電機に接続できる。万一、第3発電機が故障すると、第3発電機ブレーカ (GCB) を開き第3発電機を切り離す。残る3つの発電機が支障なく全部の負荷に電力を供給する。

直流電源を必要とする機器には、交流母線から変圧整流器で直流28 (V) に変換され供給される。