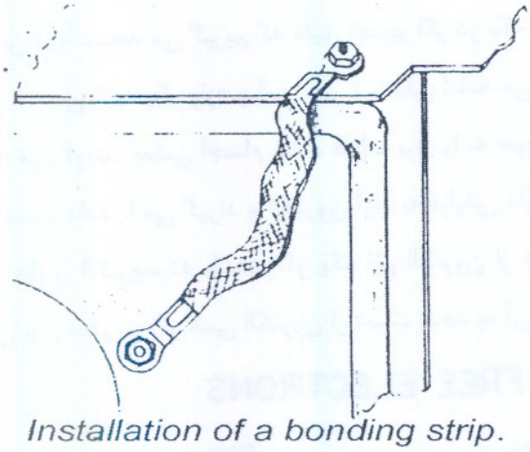
الکتریک هواپیما

می دانیم که جریان الکتریسیته حرکت الکترونها در سیم هادی **(conductor)** است و چون الکترون در مدار اتم وجود دارد به جاست چند کلمه ای در مورد اتم و ساختمان آن صحبت شود.

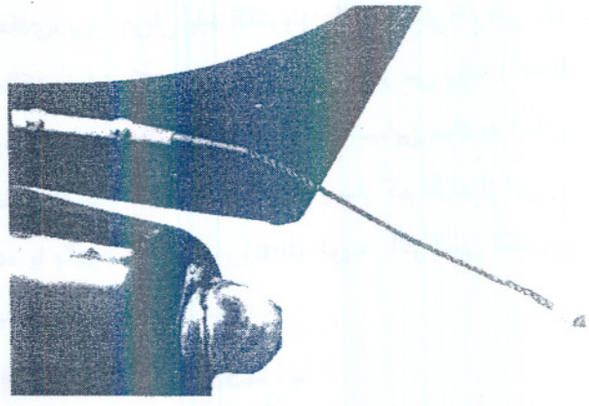
می دانیم که اتم کوچکترین جزء یک عنصر است که خواص همان عنصر را دارا می باشد تا مدتی قبل بشر فکر می کردند که از اتم کوچکتر نمی تواند وجود داشته باشد ولی همانطور که می دانیم و دیدیم دانشمندان در قرن بیستم توانستند اتم را نیز بشکافند (سرآغاز انرژی اتمی) و اگر اتم شکسته شود دیگر خواص عنصر اولیه را نخواهد داشت. بطور کلی اتم از یک هسته تشکیل شده که حاوی پروتون و نوترون است و مجموع تعداد این دو وزن اتمی یک عنصر را تشکیل می دهد. در اطراف هسته و روی مداراتی الکترونها در حرکت اند و از نظر الکتریکی الکترونها دارای بار منفی و پروتونها دارای بار مثبت بوده و نوترون خنثی

به تدریج به هوا تخلیه می شوند و برای کمک به این مسئله درلبه فرار فرامین هواپیما **static chage wick** (فتیله رد کننده برق ساکن) نصب می گردد و برای اطمینان از اینکه بین سکان ها و نقاط ثابت هواپیما **gap** ایجاد نشود آنها را با **bonding strip** به هم متصل می نمایند والا وقوع جرقه بین آنها ضمن آسیب رسانی به پوسته هواپیما در دستگاههای رادیویی و ناوبری هواپیما ایجاد پارازیت و اختلال خواهد نمود. مقاومت این نوارها باید **0.001** تا **0.003** اهم باشد.

با ورود هواپیماهای جت بزرگ همچون **آل بوئینگ** به صحنه به علت سطح و سرعت زیادشان و نیز وجود موتورهای جت مسئله برق ساکن هواپیما شدت بیشتری یافت از این رو برای آنها **static discharger** مخصوص **develop** شده است. از اهمیت برق ساکن بخصوص در سوختگیری هواپیما نباید غافل بود. بخصوص عبور **fuel** با سرعت زیاد از **nozzle** سوخت گیری برق ساکن زیادی ایجاد می کند و از این رو هواپیما و تانکر و **nozzle** همگی باید نسبت به هم و زمین **ground** شوند تا از وقوع جرقه که می تواند منجر به آتش سوزی گردد جلوگیری شود. در روی سطح بتونی منطقه توقف هواپیما در فرودگاهها **(ramp)** حلقه های فولادی برای اتصال سیم های **ground** تعبیه می شود.



Installation of a bonding strip.

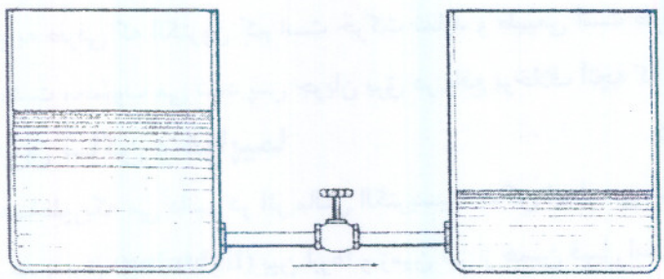


Installation of Static Discharger

The Electric Current

همانطوریکه گفتیم برق در واقع جریان الکترونهاست و برای آن بایستی یک مدار کامل که جنس آن از مواد هادی الکتریسیته باشد وجود داشته باشد که معمولاً و همواره بین دو سر مدار اختلاف پتانسیل وجود داشته که به وسیله دستگاهی همچون باطری یا ژنراتور این اختلاف پتانسیل بوجود می آید.

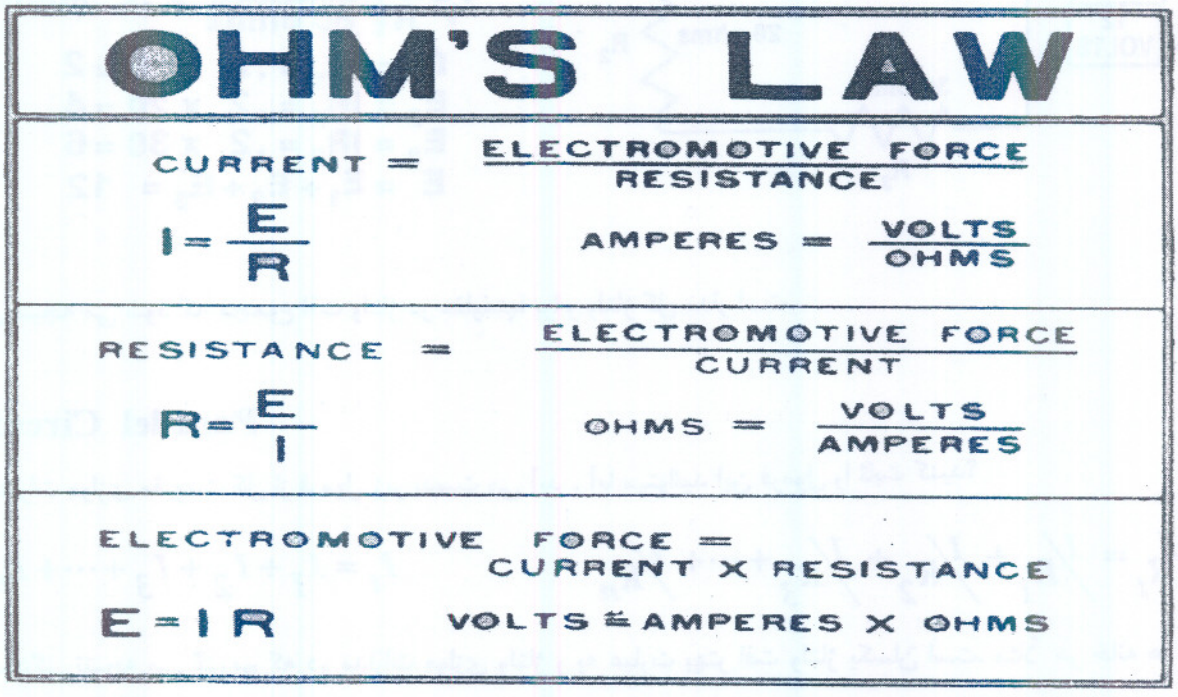
اختلاف پتانسیل را می توان به اختلاف فشار آب بین دو منبع متصل به هم تشبیه نمود که اگر سطح آب در یک منبع بیشتر از دیگری باشد چون انرژی پتانسیل بیشتر در خود ذخیره دارد آب تمایل به **flow** به سمت منبع دیگر دارد و اگر شیر بین آن دو را باز کنیم درست نظیر آنکه یک مدار الکتریکـــــی را وصل نمائیم آب در لوله متناسب با اختلاف فشار بین دو منبع (اختلاف پتانسیل)به جریان خواهد افتاد و برای فهم بهتر این مسئله منابع ذخیره آب در روی برجها یا پشت بام بعضی از منازل را به خاطر آورید.نیرویی که باعث حرکت الکترونها در یک هادی می گردد نیروی محرکه الکتریکی **electromotive force** یا **EMF** نامیده می شود که با **pressure** در سیستم هیدرولیک قابل قیاس است و واحد آن **ولت** به احترام السالندر و ولتا نامیده شده است.



Difference of pressure.

Resistance

مقاومتی که یک هادی در مقابل عبور جریان بروز می دهد را می توان اصطکاک الکتریکی نامید و واحد آن **اهم (ohm)** است که به احترام دانشمند آلمانی **George Ohm** نامگذاری شده است و طبیعی است که این مقاومت بستگی به ساختار اتمی هادی دارد بهترین هادیهای جریان برق عبارتند از: نقره، مس، طلا، آلومینیم، ولی استفاده از نقره و طلا به علت هزینه امکان پذیر نیست ضمن اینکه وزنشان نیز بسیار زیاد است. مس با وزن اتمی **64** از آلومینیوم با وزن اتمی **27** سنگین تر است. ولی مقاومت الکتریکی آن به مراتب کمتر است. اگر در موردی یا مواردی مسئله وزن در الویت باشد ممکن است از سیم های آلومینیومی استفاده نمایند ولی از نظر صنعتی استفاده از مس در سیم ها کاربرد همگانی و جهانی دارد. در اینجا به واژه **resistivity** رسیده و آن عبارت از: مقاومت سیمی از هر جنس به طول یک **foot** و سطح مقطع **0.001** اینچ است برای مس این مقدار **10.4** و برای آلومینیم **19.3** اهم است. در یک مدار بین مقاومت **(اهم)** و فشار جریان **(ولت)** شدت جریان **(آمپر)** رابطه زیر موسوم به قانون اهم برقرار است.



Hint: واحد شدت جریان آمپر است و خود شدت جریان **(Intensity)** با **fuel flow** قابل مقایسه است برای درک مسئله دو لوله آب **4** و **8** اینچ را در نظر می گیریم که آب با فشار **100psi** از هر دو عبور می کند طبیعی است که **flow** در لوله **8** اینچ دو برابر لوله **4** اینچی است. در منزل اگر پنکه و ماشین لباسشوئی را مقایسه کنیم هر دو با برق **220** ولت کار می کنند ولی طبیعی است که ماشین لباسشوئی به علت قدرت عملکرد زیاد، برق بیشتر یعنی آمپر بیشتر می طلبد و به همین خاطر سیم های آن کلفت تر است تا مقاومت کمتری در مقابل عبور جریان ارائه کند و بجاست که در اینجا به مقاومت یک هادی اشاره کنیم که با طول سیم نسبت مستقیم و با قطر سیم نسبت معکوس دارد. یعنی هر چه سیم طولانی تر باشد مقاومت بیشتر و هر چه کلفت تر باشد مقاومتش کمتر است. ضمن اینکه از جنس سیم نیز نباید غافل شد و آن بستگی به جنس سیم دارد و برای نقره از همه کمتر است.

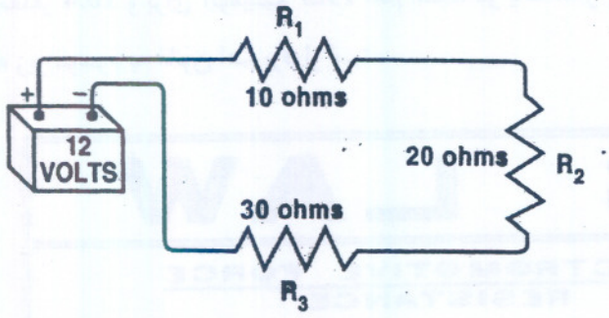
Electric Circuits

مدارات الکتریکی به طور کلی به سه نوع سری (متوالی) و موازی (انشعابی) و مختلط یافت می شوند.

a. **Series Circuits** : به مداری می گویند که در آن مقاومتها یا **loads** متوالی می باشند. طبیعی است که در یک چنین مداری مقاومت کل برابر است با مجموع مقاومتها:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n \qquad I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots = I_n$$

مسئله: مدار سری زیر در دست است مطلوب است تعیین مقاومت کل مدار، شدت جریان کل مدار، شدت جریان هر یک از مقاومتها، افت ولتاژ در هر یک از مقاومتها؟



$E = 12 \text{ volts}$

$R_t = R_1 + R_2 + R_3 = 60 \text{ ohms}$

$I_t = \frac{E}{R_t} = \frac{12 \text{ volts}}{60 \text{ ohms}} = .2 \text{ amps}$

$E_1 = IR_1 = .2 \times 10 = 2$

$E_2 = IR_2 = .2 \times 20 = 4$

$E_3 = IR_3 = .2 \times 30 = 6$

$E = E_1 + E_2 + E_3 = 12$

پس نتیجه می شود که مجموع افت ولتاژ در مقاومتها برابر ولتاژ کل مدار است.

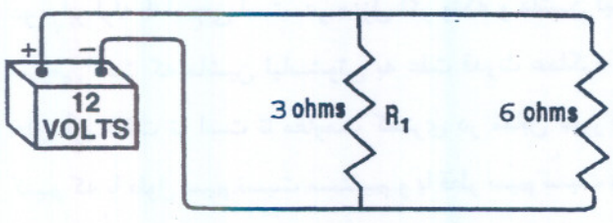
b. **Parallel Circuits**

درمدارات موازی مقاومت کل از فرمول زیر بدست می آید . آیا میتوانید این فرمول را ثابت کنید؟

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n} \qquad I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

به سادگی نتیجه می گیریم که در مدارات موازی ولتاژ و به عبارت بهتر افت ولتاژ یکسان است. مثلاً در خانه ها که سیم کشی ها موازی انجام می شود در هر مدار ولتاژ **220** است و اگر در هر مدار دستگاهی را روشن کنیم باعث **220** ولت افت ولتاژ می گردد.

مسئله: مدار موازی زیر در دست است مقاومت کل آن را حساب کنید؟ آمپر کل؟



$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6} \Rightarrow R_t = 2\text{ohm}$$

$$I_t = \frac{E}{R_t} = \frac{12}{2} = 6\text{amp}$$

ملاحظه می شود که مقاومت کل مدار حتی از مقدار تک تک مقاومتها کمتر است. حال مطلوب است محاسبه آمپر تک تک مقاومتها. ؟

چون مدار موازی است پس ولتاژ تک تک آنها **12** ولت است.

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{3} = 4\text{amp}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{12}{6} = 2\text{amp}$$

توجه:

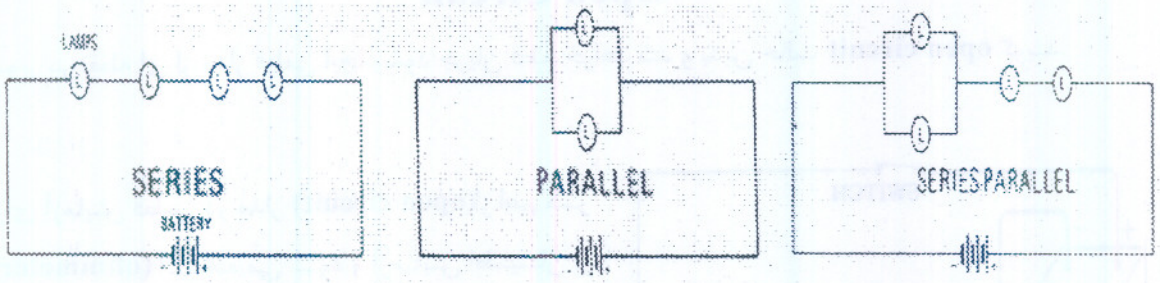
a. در مدار موازی جریان بیشتر از شاخه ای که مقاومت کمتری دارد عبور می کند.

b. در مدار موازی اگر یک مقاومت **open** شود چون مقاومت کل زیاد می شود پس آمپر کل کم می شود.

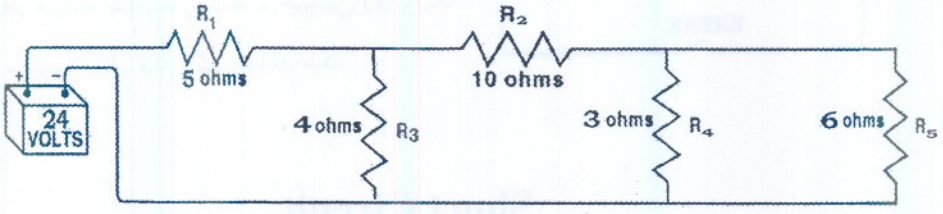
c. در یک مدار موازی اگر یک شاخه به مدار اضافه شود مقاومت کل کم شده پس آمپر کل زیاد می شود.

c. Series – Parallel Circuits

یک مدار مختلط ترکیبی از مدارهای سری (متوالی و انشعابی) است و حل مثال زیر بهترین نتیجه را بدست خواهد داد. برای درک چگونگی محاسبه این مدار به توضیحات سر کلاس توجه نمائید.



مسئله: مدار مختلط ذیل موجود است. مقاومت کل مدار، آمپر کل مدار، آمپر عبوری از هریک از مقاومت ها و افت ولتاژ در هر مقاومت را حساب کنید. توجه نمایید که درک واقعی چنین مدار هایی به فهم درست یک سیستم الکتریک کمک شایانی مینماید.



Resistance	Current flow(amp)	Voltage drop(volt)
R_1	$I_1 = 3$	$E_1 = 15$
R_2	$I_2 = 0.75$	$E_2 = 7.5$
R_3	$I_3 = 2.25$	$E_3 = 9$
R_4	$I_4 = 0.5$	$E_4 = 1.5$
R_5	$I_5 = 0.25$	$E_5 = 1.5$

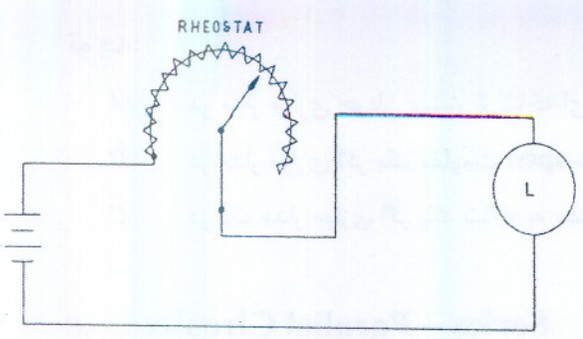
Hint ـ محاسبه فوق در رابطه با مدارهای **DC** است. در مدارهای **AC** مسائل دیگری نیز مطرح است که در آتیه در مورد آنها بحث خواهیم نمود.

Variable Resistor

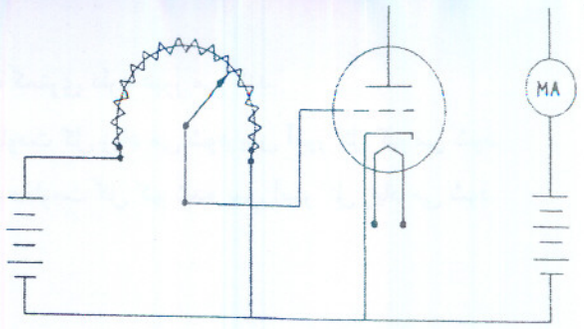
مقاومت متغیر ممکن است در مدار به صورت **rheostat** یا **potentiometer (voltage divider)** مورد استفاده قرار گیرد.

a. اگر به عنوان روئوستا استفاده شود جریانهای مختلفی را به ما می دهد و یا جریان مداز تغییر می کند.

b. اگر به عنوان **potentiometer** استفاده شود ولتاژهای مختلفی را به ما می دهد.



Rheostat Circuit.

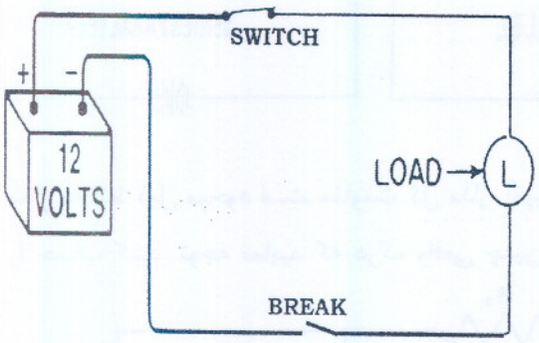


Potentiometer Circuit.

Open Circuit

اگر طبق تصویر در نقطه ای از مدار قطعی ایجاد شود جریان قطع خواهد شد و بدین حالت **open circuit** گویند.

Hint :



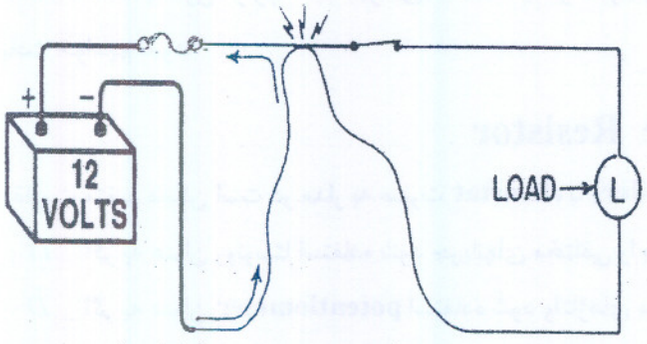
۱. برای آزمایش قطعی در مدار (**open circuit**)از اهم متر (**ohmmeter**) استفاده می شود و آزمایش اطمینان از اتصال در کل یک مدار را **continuity check** گویند.

۲. در یک مدار سری اگر یک یا چند مقاومت **short** شود جریان مدار زیاد خواهد شد یعنی شدت جریان (**I**) زیاد می شود چون مقاومت کل مدار کم خواهد شد.

Short Circuit

منظور از **short** (اتصالی) در مدار این است که سیم ها طوری به هم وصل شوند که **load** در مدار وجود نداشته باشد در این صورت آمپر زیادی از مدار عبور کرده و باعث **overheating** و سوختن سیم و حتی آتش سوزی خواهد شد. از این رو برای محافظت مدار یک **circuit breaker** یا **fuse** در آن تعبیه می کنند که فیوز ذوب شده و احتیاج به تعویض دارد در حالی که **CB** اتوماتیک است و می توان آن را **reset** کرد.

Hint: بطوریکه بعداً خواهیم دید در هواپیما و هر سیستم دیگری مدارات همچون منازل موازی هستند تا قطع شدن یک مدار باعث از کار افتادن کلیه مدارات نگردد. از این رو همانطوریکه آشنا هستیم کلیه دستگاهها برای خود دارای **CB** جداگانه بوده و ظرفیت آن متناسب با نوع مدار و بار آن انتخاب شده است. نکته بسیار مهم اینکه فیوز (**CB**) باید هر چه ممکن نزدیک به منبع تغذیه (**power source**) قرار داده شود تا هیچ مورد اتصال کوتاهی به اصطلاح نتواند از چنگ آن خارج گردد.



A short circuit.

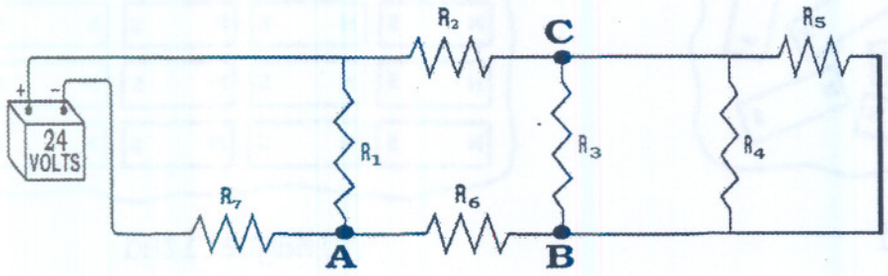
Kirchhoff's Laws

قانون اول: (Kirchhoff's Voltage Law)

در یک مدار سری مجموع افت ولتاژ روی مقاومتها برابر است با ولتاژ منبع.

قانون دوم: (Kirchhoff's Current Law)

در هر نقطه از مدار مجموع جریانهایی که به آن نقطه نزدیک می شود برابر است با مجموع جریانهایی که از آن نقطه دور می گردد.



در نقطه A $I_7 = I_1 + I_6$

در نقطه B $I_6 = I_3 + I_4 + I_2$

در نقطه C $I_2 = I_3 + I_4 + I_5$

Electric Power

واحد انرژی الکتریکی **وات** است و مقدار آن از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$W = E.I = R.I^2$$

از نظر اطلاع ذکر می گردد که هر **746** وات برابر است با یک اسب بخار و هر **1000** وات را یک کیلووات می گویند.

مثال1: مقاومت داخلی یک لامپ **220** ولت و **500** وات را حساب کنید؟

$$W = EI \Rightarrow 500 = 220\,I \Rightarrow I = 2.27\,amp$$

$$E = RI \Rightarrow 220 = 2.27\,R \Rightarrow R = 97\,\Omega$$

مثال 2: می خواهیم در یک سیستم **24** ولتی یک موتور دو اسب بخار کار گذاریم مطلوب است محاسبه آمپری که از این موتور خواهد گذشت؟

$$2 \times 746 = 1492\ Watt \Rightarrow W = EI \Rightarrow I = 1492 \div 24 = 62.2amp$$

ملاحظه می شود که با توجه به برق **24** ولتی آمپر بدست آمده بسیار بالا است حال اگر سیم ما به جای **24** ولت، **220** ولت باشد در این صورت خواهیم داشت:

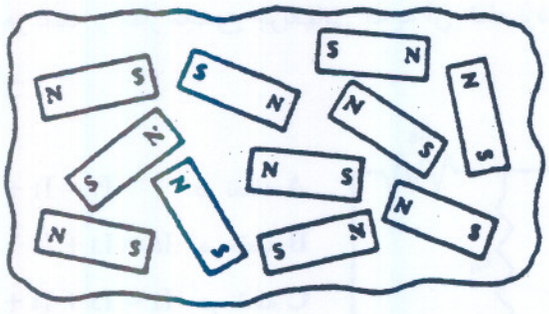
$$I = 1492 \div 220 = 6.8amp$$

ملاحظه می شود که آمپر دستگاه بسیار کم شده و سیم بسیار نازکتری مورد نیاز است که موجب کاهش وزن میشود و این مزیت برق **220** ولت را نشان می دهد.

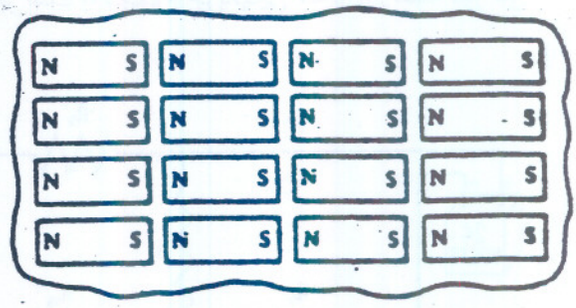
توجه ـ هر دستگاهی که توان (**W** یا **P**) بیشتری داشته باشد جریان بیشتری از آن عبور می کند یعنی مقاومت داخلی کمتری دارد.

مغناطیـــــــــــــــــس

همه ما کم و بیش با مغناطیس و اثرات آن آشنا هستیم و این پدیده را با نام آهنربائی می شناسیم زیرا که آهنربا اجسام آهنی را به خود جذب می کند. جالب توجه است که کره عظیم زمین نیز دارای خاصیت مغناطیسی است و همانطوریکه دیدیم قطب نمای صغناطیسی نیز بر همین اساس طراحی و ساخته شده و کار می کند و قابل ذکر است که کره زمین نیز دارای قطبین شمال و جنوب مغناطیسی است که البته با قطبین جغرافیائی فاصله دارد یعنی بر هم منطبق نیستند. در مقابل این سؤال که رمز و راز مغناطیس چیست؟ تجزیه و تحلیل زیر بهترین جواب را به دست می دهد.



(A) Unmagnetized

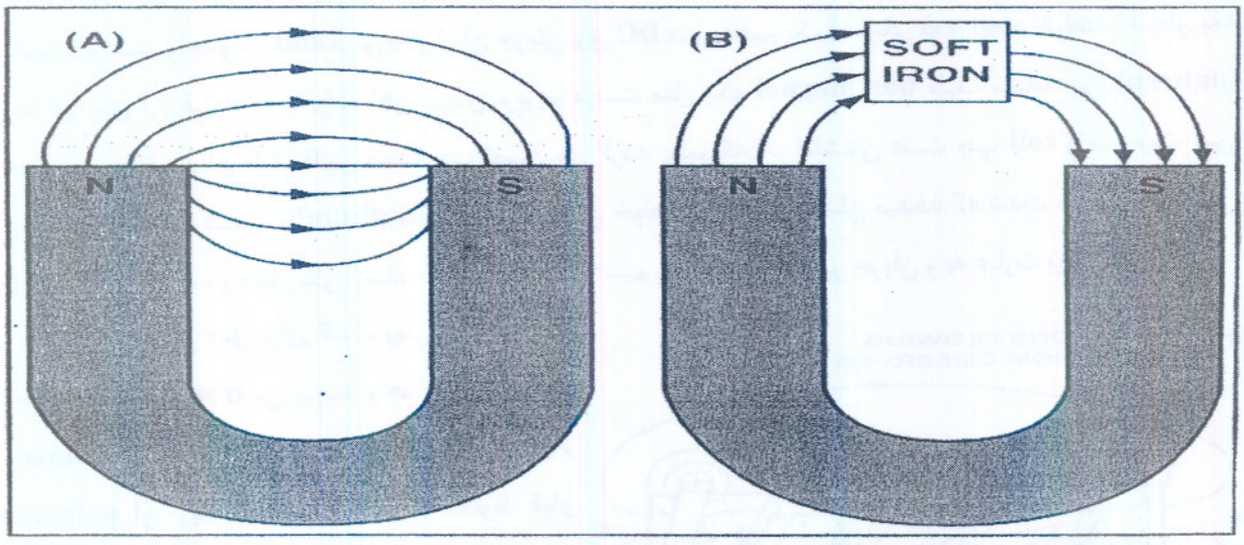


(B) Magnetized

همانطوریکه آزمایش نشان می دهد اگر از یک سیم برق عبور نماید حول آن حوزه مغناطیسی بوجود می آورد و چون برق حرکت الکترونهاست پس می توان حرکت الکترونها را عامل ایجاد پدیده مغناطیس دانست و چون الکترونها در مدارات حول یک اتم حرکت می کنند پس بایستی اطراف هر اتم یک حوضـــه ضعیف مغناطیسی وجود داشته باشد. ولی این مسئـله در مورد اتم بعضی عناصر صحت داشته و در مورد بعضی عناصـــر دیگر چنین حوضه ای وجود ندارد به عناصر اول **magnetic materials** و به عنـاصر دیگر **non-magnetic materials** می گویند. دلیل این مسئله آن است که آرایش الکترونی اتم های این مواد به گونه ای است که مغناطیس یکدیگر را خنثی کرده و بنابراین اتمشان فاقد حوضه مغناطیسی می گردند. در حالی که در اجسام مغناطیـسی عکس این است یعنی حرکت الکترونها به گونه ای است که حوضه های ایجاد شده همدیگر را خنثی نمی کنند. در اینجا اشاره می کنیم که مواد مغناطیسی اصولاً از خانواده آهن هستند و به سه عنصر آهن و نیکل و کوبالت **ferromagnetic materials** می گویند. آهن ربا یا به صورت طبیعی از معدن استخراج می شود و یا به صورت مصنوعی در اثر مالش آهن ربا با یکی از سه فلز فوق یا آلیاژشان بوجود می آید. حال این سؤال پیش می آید که چرا همه آهن ها آهنربا نیستند؟

در اینجـا **Weber theory** (تصویر بالا) جواب مسئله را خواهد داد. طبق این قانون در قطعات آهنی که آهنربا هستند اتم ها با یکدیگر **align** بوده و به یکدیگر کمک کرده و حوضه مغناطیسی محسوسی را بوجود می آورند در حالی که در قطعات آهنی که خاصیت آهنربائی ندارند اتمها دچار تشتت بوده و حوضه های ریز یکدیگر را خنثی نموده و چیزی برای بروز باقی نمی گذارند و به همین دلیل است که اگر یک آهنربا را چند بار به زمین بکوبیم از شدت حوزه مغناطیسی آن کاسته خواهد شد و امروزه آهنربا را دیگر از معدن استخراج نمی کنند بلکه از آهن خالص استفاده کرده و آن را به شکل مورد نظر درآورده و به روش مکانیکی یا بخصوص الکتریکی آنها را آهنربا می کنند (**magnetized**) حال اگر قطعه مورد نظر از **soft iron** باشد خیلی به راحتی آهنربا شده و اگر حوضه مولد آهنربائی را از آن دور کنیم به سادگی آهنربائی خویش را از دست می دهد و به مقدار کمی که باقی می ماند پس ماند مغناطیسی **residual magnetism** گویند.

دلیل این مسئله این است که چون اصطکاک داخلی **soft iron** کم است خیلی به راحتی تحت تأثیر **magnetizing field** اتم هایش **align** شده و پس از دور کردن میدان آهنربا کننده به همان سادگی که مرتب شده اند اتم ها متفرق می شوند. به همین خاطر است که برای ساخت آهنرباهای دائمی (**permanent magnet**) از **hard iron** استفاده می شود که اصطکاک داخلی بین اتمهایش زیاد است و به این سادگی ها **align** نمی شوند. ولی اگر تحت تأثیر **magnetizing force** قوی قرار گیرند **align** شده این وضعیت را به شدت حفظ خواهند کرد.



(A) — Lines of magnetic flux leave the north pole of a magnet at right angles to its surface and travel to the south pole, where they enter right angles to its surface.

(B) — The flux lines always seek the path of least resistance, even if it mean travelinglonger distances.

خاصیت آهنربائی در واقع در خطوط قوای مغناطیسی هر آهنربا نهفته است، (**magnetic lines of force**) که حول هر **magnet** وجود دارند و از قطب شمال درآمده و به صورت خطوط منحنی اطراف آهن ربا ظاهر شده و در قطب جنوب فرو می روند. پس نتیجه می گیریم که هر **magnet** دارای دو قطب **N** و **S** است و آزمایش نشان می دهد که اگر قطبین همنام دو آهن ربا را به هم نزدیک کنیم همدیگر را دفع (**repel**) و اگر قطبین غیرهمنام را به هم نزدیک کنیم همدیگر را جذب (**attract**) می نمایند و این مسئله را در قطب نمای مغناطیسی نیز دیدیم که قطب جنوب عقربه مغناطیسی به سمت شمال می ایستد و اگر آن را **N** نامیدیم نه به معنای **north** بلکه به معنای **north seeking pole** (قطب جستجوگر شمال) است.

Reluctance & Permeability

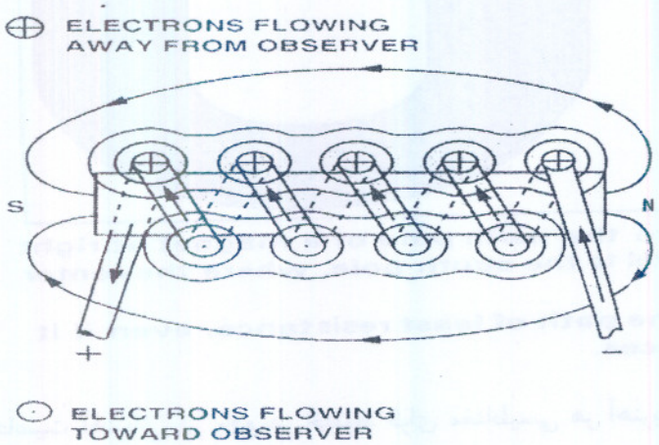
همانطوریکه دیدیم مقاومت فلزات مختلف در مقابل عبور جریان الکتریسیته متفاوت است و به طور کلی به آن **resistance** می گویند. در مورد مغناطیس نیز چنین وجه تشابهی وجود دارد و به مقاومتی که اجسام مختلف در مقابل ورود خطوط قوای مغناطیسی بروز می دهند (**reluctance**) می گویند و شدت آن در اجسام مختلف متفاوت است و گفتنی است که اجسام آهنی و به عبارت بهتر **magnetic materials** کمترین **reluctance** را دارند **soft iron** از این نظر بهترین است و بطوریکه بعداً خواهیم دید در موارد مختلف همچون هسته یا قاب (**core**) ترانسها به کار می رود.

permeability به معنی قابلیت نفوذ خطوط قوای مغناطیسی در یک ماده است و عکس **reluctance** است و طبیعی است که از این لحاظ نیز **magnetic materials** بهترین بوده و در بین آنها **soft iron** بیشترین **permeability** را داراست.

Magnetic Devices

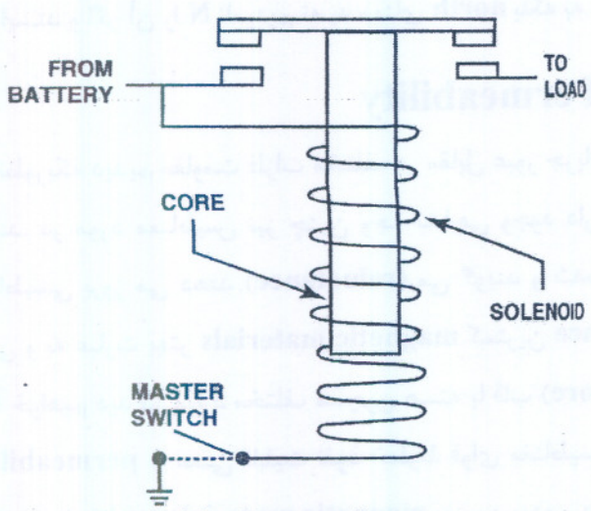
یکی از وسایل مغناطیسی که کاربرد زیادی دارد آهنربای الکتریکی **electromagnet** است. همانطوریکه قبلاً متذکر شدیم اگر از یک سیم جریان برق عبور نماید حول آن میدان مغناطیسی ایجاد می گردد و آزمایش نیز صحت آن را نشان می دهد یعنی اگر یک سیم را از داخل یک صفحه عبور داده و جریان برق از آن عبور دهیم و براده آهن روی آن صفحه بریزیم این براده ها به صورت دایره هایی حول سیم طیف تشکیل می دهند.

طبیعی است اگر سیم را بصورت **coil** درآورده و از آن جریان برق **DC** عبور دهیم یک آهنربای قوی ایجاد خواهد شد بطوریکه اگر صفحه ای روی آن قرار داده و براده آهن رویش بریزیم درست مثل یک **bar magnet** طیف مغناطیسی **(pattern)** تشکیل می دهد و قطبین آن طبق قانون دست چپ تعیین می گردد. بطوریکه اگر انگشتان دست چپ **coil** را در جهت عبور جریان چنگ زنند انگشت شست **(thumb)** قطب شمال را نشان خواهد داد.آزمایش نشان میدهد که شدت میدان مغناطیسی یک **electromagnet** به دو عامل یکی تعداد حلقه های **coil** یا سیم پیچ و دیگری آمپر جریان و به عبارت بهتر حاصل ضرب این دو بستگی دارد و در عمل برای کسب بهترین نتیجه سیم پیچ را حول یک **iron core** می پیچند و همانطوریکه دیدیم چون **reluctance** آن کم است و به عبارت دیگر **permeability** آن زیاد است باعث تجمع خطوط قوای مغناطیسی شده و الکترومگنت بیشترین قدرت را دارا خواهد بود. پس می توان عامل سوم را جنس **core** و عامل چهارم را **method of winding** تصور نمود که هر چه نسبت **A/L** بیشتر باشد **coil** دارای حوزه مغناطیسی قویتری خواهد بود.

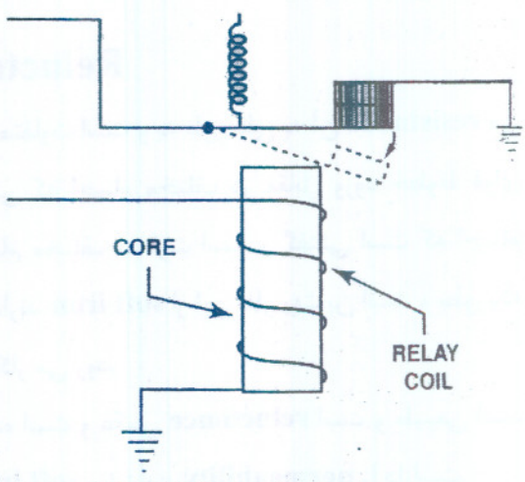


یکی از موارد استفاده **electromagnet** در **relay** است. **relay** در واقع یک کلید برقی است که از راه دور عمل می کند و به عبارت بهتر از آن برای قطع و وصل یک مدار یا یک دستگاه از راه دور استفاده می کنند و کاربرد زیادی دارد و نمونه آن **starter relay** در موتور اتومبیل است که حسن آن قابلیت عملکرد **start** از راه دور یعنی **cockpit** توسط یک سوئیچ کوچک است.

Electrically operated switches are often called relay



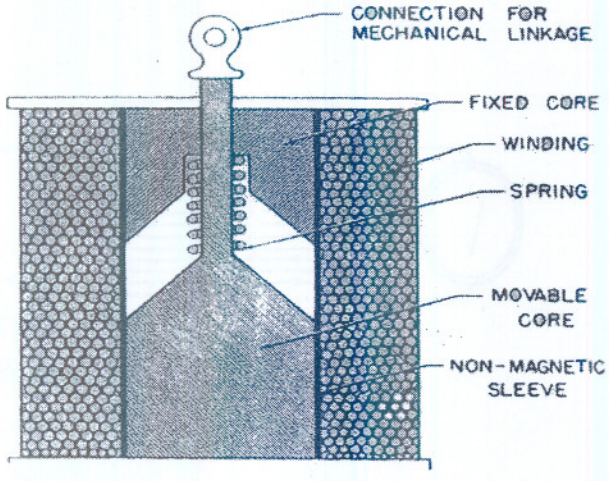
Movable-Core Relay



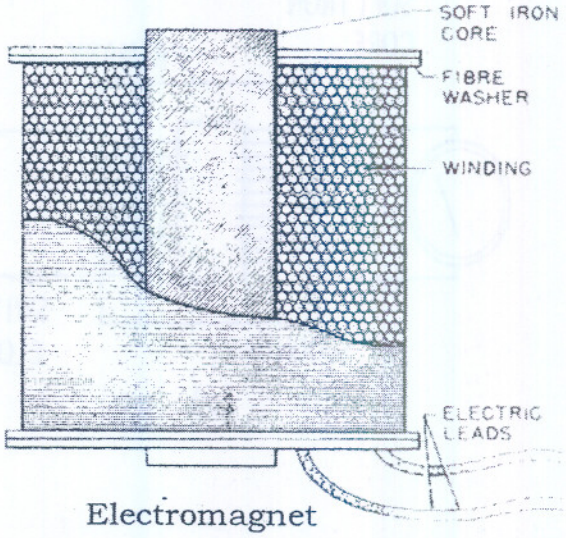
Fixed-Core Raley

Solenoid

Solenoid را به راستی می توان **electric actuator** نامید که بیشتر مورد استفاده آن برعکس **relay** که مدارات الکتریکی را قطع و وصل می کند در اعمال مکانیکی همچون باز و بسته کردن **valve** از راه دور است. مثلاً همانطوریکه می دانیم **starter** موتورهای جت با هوای فشرده کار می کند و در سر راه هوای فشرده به **Starter** موتور جت یک **valve** قرار دارد که بطور الکتریکی باز و بسته می شود اگر از داخل کابین بوسیله یک سوئیچ آن را **energize** کنیم در واقع **solenoid** را به کار انداخته و آن **valve** را باز می کند و هوای فشرده به **starter** راه یافته و با چرخاندن آن موتور را نیز روشن می کند و وقتی موتور روشن شد سوئیچ را **off** می نماییم و **valve** بسته شده و **starter** نیز از کار می افتد. در سیستم روغن کاری بعضی موتورهای پیستونی هواپیما نیز **oil dilution solenoid valve** وجود دارد که برای رقیق کردن روغن در هوای سرد به کار می رود که البته جزئیات استفاده از این سیستم را در درس موتور پیستونی خواهید خواند.



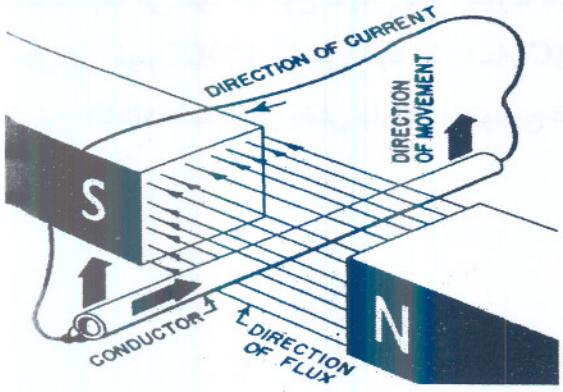
Solenoid

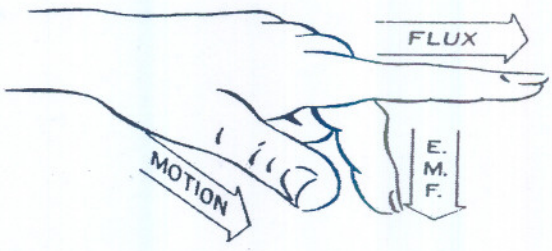


Electromagnet

القاء الکترومغناطیسی

انتقال انرژی الکتریکی از یک مدار به مدار دیگر بدون ارتباط و اتصال را القاء یا **induction** گویند و وقتی چنین انتقالی توسط یک حوزه مغناطیسی صورت پذیرد، القاء **electromagnetic** گویند از این روش یا تکنیک در تولید انرژی الکتریکی استفاده می شود و در ساختمان و کار ترانسها نیز مورد استفاده است اگر یک هادی را در داخل یک حوزه مغناطیسی بطوری حرکت دهیم که خطوط قوای مغناطیسی را قطع کند در آن جریان برق القاء می شود و بدین ترتیب القاء **electromagnetic** صورت پذیرفته است و جهت جریان در هادی بوسیله قانون سه انگشت دست چپ تعیین می گردد (قانون فلمینگ).

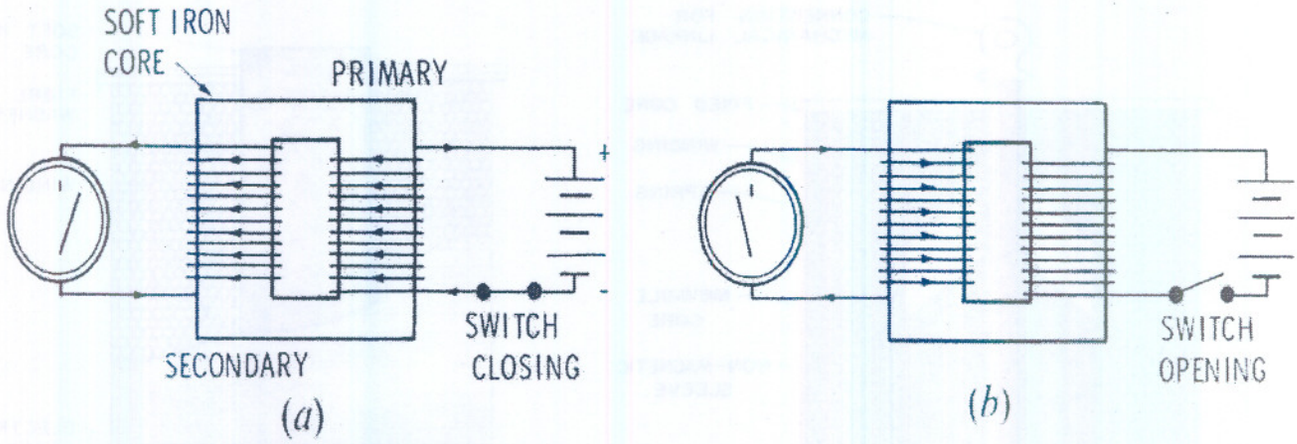




Transformers

ترانسها قطعات بسیار مهم و کثیرالاستفاده هستند که برای تبدیل جریان یعنی افزایش یا کاهش ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرند و از دو سیم پیچ جداگانه تشکیل گردیده که یا روی هم یا در مجاورت هم بر روی یک هسته **soft Iron** پیچیده شده اند و به یکی از آنها **primary** و به دیگری ثانویه **secondary** می گویند. لازم به تذکر است که ترانسها معمولاً مخصوص برق متناوب هستند و اگر تعداد دور سیم پیچ ثانویه بیشتر باشد به آن افزاینده **(step-up)** گویند زیرا ولتاژ را افزایش می دهد و اگر تعداد دور سیم پیچ ثانویه کمتر باشد به آن **(step-down)** کاهنده گویند زیرا ولتاژ را کاهش می دهد. همانطوریکه گفتیم هسته **(core)** را از **soft iron** می سازند و لایه لایه است و این به منظور جلوگیری از ایجاد **eddy current** در آن است و فرمول زیر در مورد ترانس ها صادق است. ترانسها بر اساس **mutual induction** کار می کنند.

$$EP/ES = NP/NS = IS/IP$$



Lenz Law

قانون دوم : همانطوریکه گفتیم اگر یک هادی خطوط قوای مغناطیسی را قطع کند در آن جریان القاء می شود طبق قانون دوم **lenz** اگر صد میلیون خطوط قوای مغناطیسی بوسیله یک هادی در یک ثانیه قطع شود یک ولت برق در آن القاء می شود.

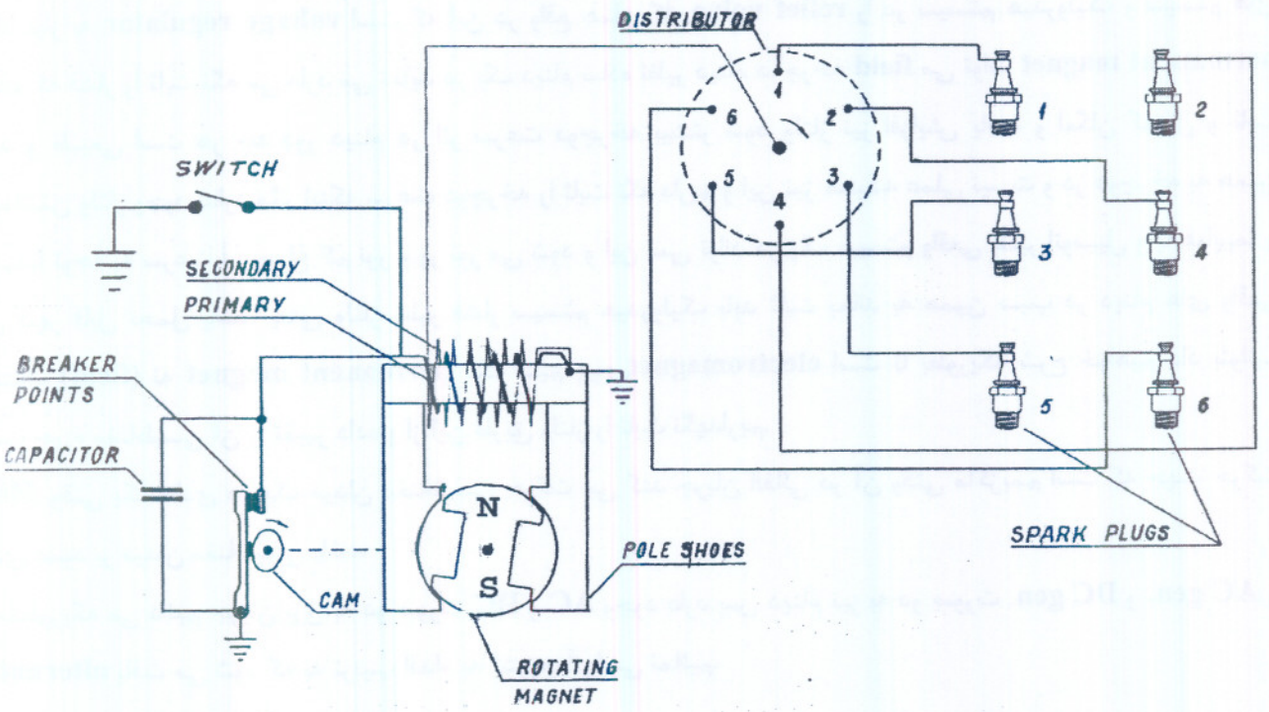
Inveter

همانطوریکه می دانیم برای یکسو کردن جریان **AC** یعنی تبدیل آن به جریان **DC** از یکسو کننده **(rectifier)** استفاده می شود که می تواند از نوع لامپی یا **transistor** که به آن **diode** می گویند باشد ولی برای تبدیل جریان **DC** به **AC** از **inverter** استفاده می شود. در انواع قدیمی بدین صورت است که برق **DC** باطری یا هواپیما را به یک موتور **DC** می دهند تا بچرخد حال این موتور **DC** با چرخش خود یک دینام **AC** کوچک را چرخانده و برق **AC** تولید می شود. انواع جدید این دستگاه از نوع **static** است که در بخش های آینده توضیح داده شده است.

Ignition System (Magneto)

یکی از دستگاههائی که کلیه اصول الکتریسیته و مغناطیس مورد بحث تا به اینجا در آن متجلی است ماگینتو است از این رو تشریح نحوه کار آن بسیار مفید خواهد بود. همانطوری که می دانید در موتورهای پیستونی بنزینی مخلوط هوا و بنزین **(mixture)** پس از کمپرس شدن توسط جرقه حاصل از شمع **(spark plug)** محترق می شود شمع وسیله ای است که دارای شکافی **(gap)** اندک است **(0.015-0.019)** و ولتاژ جریان اگر حدود **20000** ولت باشد این شکاف را پریده و این پرش الکترونها به صورت جرقه ظاهر گردیده و موجب احتراق مخلوط می شود. ظاهراً چنین ولتاژ بالائی برای چنین **gap** کوچکی بسیار زیاد به نظر می رسد ولی نباید از نظر دور داشت که مخلوط هوا و بنزین در داخل سیلندر در انتهای **compression stroke** به دفعات توسط پیستون کمپرس .گردیده پس فشار و چگالی آن بالا رفته و مقاومت زیادی در مقابل جهش الکترونها ارائه می نماید. از این رو به ولتاژ بسیار بالائی برای این کار نیاز است که توسط سیستم **ignition** تأمین می گردد.

در اتومبیل سیستم **ignition** به سیستم الکتریک یعنی دینام و باطری وابسته بوده پس اگر به هر دلیلی دینام از کار بیفتد تداوم کار سیستم جرقه به مخاطره خواهد افتاد. از این رو چنین سیستمی نمی تواند در هواپیمائی که پایه و اساس آن **safety** و دوراندیشی است مقبول باشد به همین دلیل به جای این متد از دستگاه ماگنیتو آن هم به تعداد دو عدد به منظور ایمنی استفاده گردیده. پس هر سیلندر موتور دارای دو شمع بوده و حین کار موتور هر دو ماگنیتو روشن بوده و هر شمع سیلندر توسط ماگنیتو جداگانه ای تغذیه می شود تا هر آینه یک ماگنیتو از کار افتاد شمع دیگر هر سیلندر تداوم کار موتور را تضمین نماید. قطعات و اجزاء متشکله ماگنیتو طبق تصویر همان قطعات سیستم اتومبیل به صورت جمع و جور **(compact)** بوده با این تفاوت که یک دینام کوچک **AC** نیز بدان اضافه گردیده تا برق مورد نیاز سیستم **ignition** را تأمین نموده و اتکاء به باطری و دینام را منتفی سازد. قطعه کلیدی این سیستم نیز همچون اتومبیل پلاتین **(contact breaker)** است که با قطع و وصل به موقع موجب القاء جریان با ولتاژ بسیار زیاد در ثانویه در لحظه مساعد که همانا نیاز یک سیلندر بخصوص به جرقه است می گردد. وجود خازن در سیستم به صورت **shunt** با پلاتین به منظور جلوگیری از اثرات خود القـــاء **(self induction)** و



خال زدن و سوختن پلاتین است. در این سیستم چون در خود ماگنتیو ولتاژ زیاد تولید شده و مستقیماً به شمع هـــا توزیع میگردد. بدان **high tension ignition system** می گویند ولی در هواپیماهـــــای پیستونی که به کابین هوای فشرده مجهز بوده و در ارتفاع زیادی پرواز می نمایند. برای جلوگیری از برق دزدی **(flash-over)** که به علت رقت هوا در ارتفاعات بالا متصور است از سیستم **low tension** استفاده می شود. برای درک کامل کلیه جزئیات ساختمانی و نحوه کار این سیستم زیبا و چک های عملیاتی و **trouble shooting** آن توجه دانشجویان را به توضیحات سر کلاس جلب می نمایم.

Generator

دینام دستگاهی است که بوسیله موتور چرخیده و انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند و تولید جریان الکتریسیته در آن بر اساس **induction** صورت می پذیرد و همانطوریکه می دانیم برای القاء جریان سه عامل لازم است:

۱) **Conductor**

۲) **Magnetic field**

۳) **Relative motion**

همانطوریکه قبلاً مطالعه کردیم اگر یک هادی در داخل یک میدان مغناطیسی طوری حرکت نماید که خطوط قوای مغناطیسی را قطع نماید در هادی جریان برق القاء خواهد شد و جهت جریان توسط قانون سه انگشت دست چپ **(Fleming)** تعیین می گردد و این مسئله نسبی است یعنی هادی می تواند ثابت مانده و حوزه مغناطیسی حرکت نماید. در یک دینام واقعی هادی که به آن آرمیچر می گویند در داخل حوزه مغناطیسی می چرخد و با قطع خطوط قوای مغناطیسی در آن برق القاء می شود. و طبق قانون دوم **Lenz** هر چه دور آرمیچر بیشتر شود چون در واحد زمان یعنی ثانیه خطوط قوای مغناطیسی بیشتری توسط آرمیچر قطع خواهد شد ولتاژ القائی در آن افزایش خواهد یافت.

همانطوریکه می دانیم سیستم برق **DC** هواپیما **28** ولت است و برای آنکه با تغییرات دور موتورو در نتیجه دینام ولتاژ ثابت بماند نیاز به **voltage regulator** است که این در واقع همان کاز **relief valve** را در سیستم هیدرولیک و سیستم های مشابه که فشار را ثابت نگه می دارد می نماید در یک دینام ساده نظیر دینام دوچرخه **field** می تواند **permanent magnet** باشد و طبیعی است هر چه دور دینام در اثر سرعت دوچرخه بیشتر شود ولتاژ نیز افزایش یافته و امکان کنترل و ثابت نگهداشتن ولتاژ وجود ندارد مگر اینکه سرعت دوچرخه را ثابت نگه داریم و این نیز همیشه عملی نیست و در دوچرخه به همین سبب با توجه به سرعت آن چراغ کم نور و پر نور می شود و این نمی تواند در یک سیستم واقعی نظیر اتومبیل و یا هواپیما یا برق شهر قابل تحمل باشد. یعنی ولتاژ نظیر فشار سیستم هیدرولیک باید ثابت بماند به همین سبب در دینام های واقعی بالشتک **(field)** نه **permanent magnet** بلکه سیم پیچ **electromagnet** است تا بطوریکه شرح خواهیم داد بتوانیم شدت حوزه مغناطیسی آن را تغییر داده و از این طریق ولتاژ را ثابت نگهداریم.

Hint: وقتی یک هادی در یک میدان مغناطیسی حرکت می کند جریان القائی در آن وقتی ماکزیمم است که جهت حرکت هادی عمود بر میدان مغناطیسی باشد.

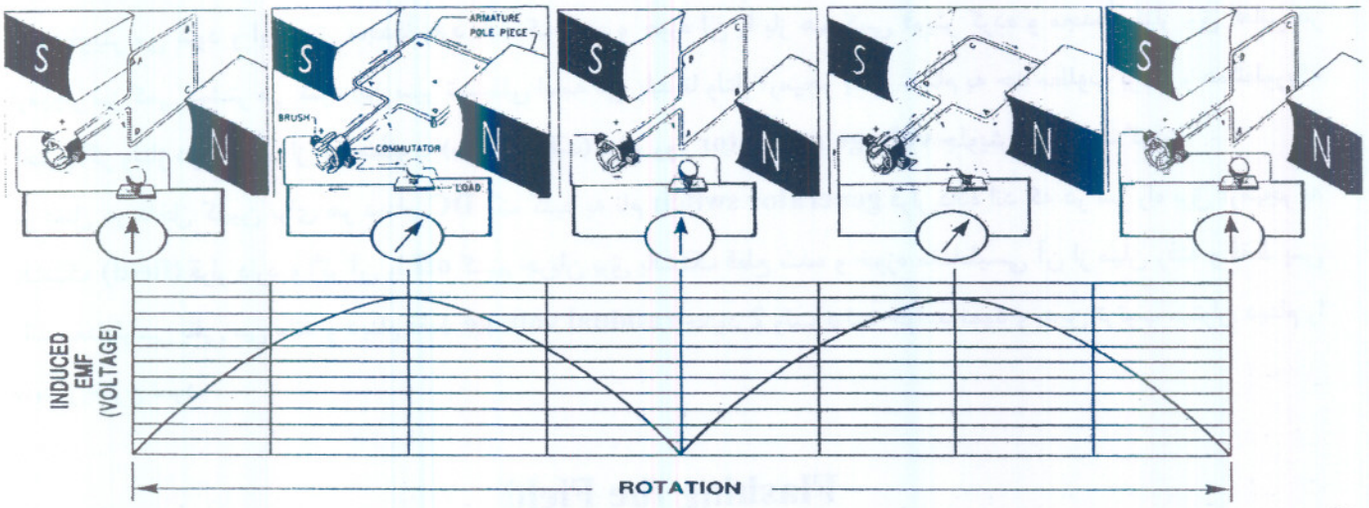
همانطوریکه می دانیم جریان برق به دو صورت **DC** و **AC** وجود دارد پس دینام نیز به دو صورت **DC gen.** و **AC gen.** یا **alternator** یافت می شود که به ترتیب اقدام به تشریح آنها می نمائیم.

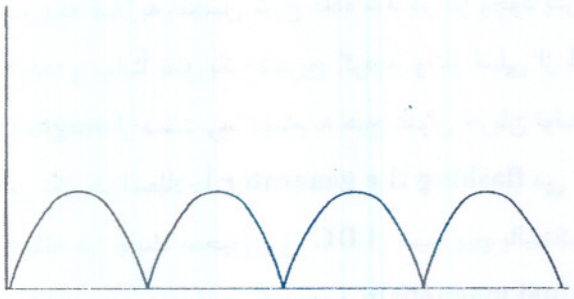
DC Generators

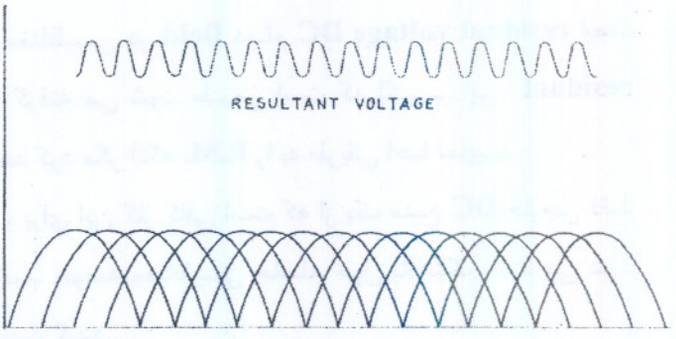
همانطوریکه ازنامش پیداست این دینام برق یکسوDC تولید می کندوبطور کلی از یک آرمیچر **armature** و بالشتک **(field)** و **commentator** و **brush** تشکیل شده است. تعداد حلقه های سیم آرمیچر زیاد است تا برق القائی قابل توجه باشدوترکیب **brush** و **commutator** طبق تصویر باعث یکسو شدن **(rectification)** برق القائی میشود بطوریکه میتوان گفت:

commentator & brush = mechanical rectifier

و همانطوری که قبلاً ذکر گردید بالشتک به منظور امکان کنترل ولتاژ از نوع **electromagnet** است.

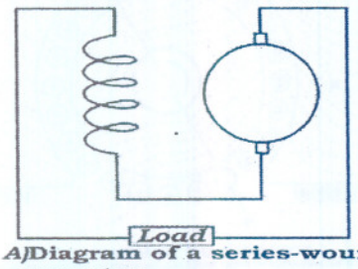




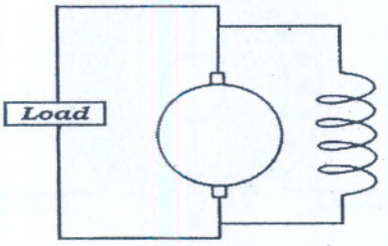


Types of DC Generators

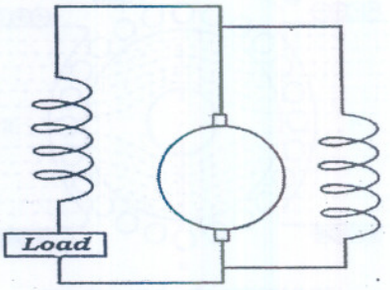
دینامهای **DC** با توجه به نوع ارتباط الکتریکی آرمیچر و **field** شناسائی می گردند. اگر این دو با هم موازی بسته شده باشند **Shunt** و اگر سری بسته شده باشند **Series** و اگر مختلط بسته شده باشند به دینام **Compound** می گویند و در عمل دینامهای **DC** مورد استفاده ما اغلب از نوع **Shunt** هستند.



*A)***Diagram of a series-wound generator.**



B)Diagram of a shunt-wound generator.



C)Diagram of a compound-wound generator.

Residual Voltage

اگر دقت کنیم در صورتی که دینام به طور عادی بچرخد برقی تولید نخواهد کرد زیرا فاقد حوزه مغناطیسی است. از این رو برای شروع کار از **residual magnetism** استفاده کرده اند.

روش کـــــار بدین طریق است که مثلاً پیچی که بالشتک را به پوسته دینام بسته است آهنربا است و با چرخش آرمیچر داخل این حوزه ضعیف ابتدا ولتاژ ضیعفی در آرمیچر القـــاء می شود که به آن **residual voltage** می گویند و حدود **2** ولت است.

این جریان ضعیف به سیم پیچ بالشتک وارد شده و حوضه ضعیفی در آن ایجاد می کند در نتیجه برق القاء شده در آرمیچر کمی قویتر می شود و این برق مجدداً وارد بالشتک شده و حوزه آن را باز هم کمی قویتر کرده و مجدداً ولتاژ برق القائی در آرمیچر نیز کمی بیشتر می شود این سیر تسلسلی ادامه می یابد تا ولتاژ آرمیچر یعنی دینام به حد مطلوب برسد و همانطوریکه گفتیم اگر ولتاژ در آرمیچر از حد مطلوب (مثلاً **28** ولت) فراتر رود **voltage regulator** جلویش را خواهد گرفت.

در عمل در داخل کابین برای هر دینام **DC** یک کلید به نام **generator switch** قرار داده اند که در سر راه برق آرمیچر به بالشتک **(field)** قرار دارد و اگر آن را **off** کنیم جریان برق بالشتک قطع شده و حوزه مغناطیسی آن از میان رفته و فقط پس ماند مغناطیسی باقی می ماند و دینام فقط **residual voltage** حدود **2** ولت تولید خواهد نمود و بدین ترتیب میتوان دینام را از مدار خارج نمود.

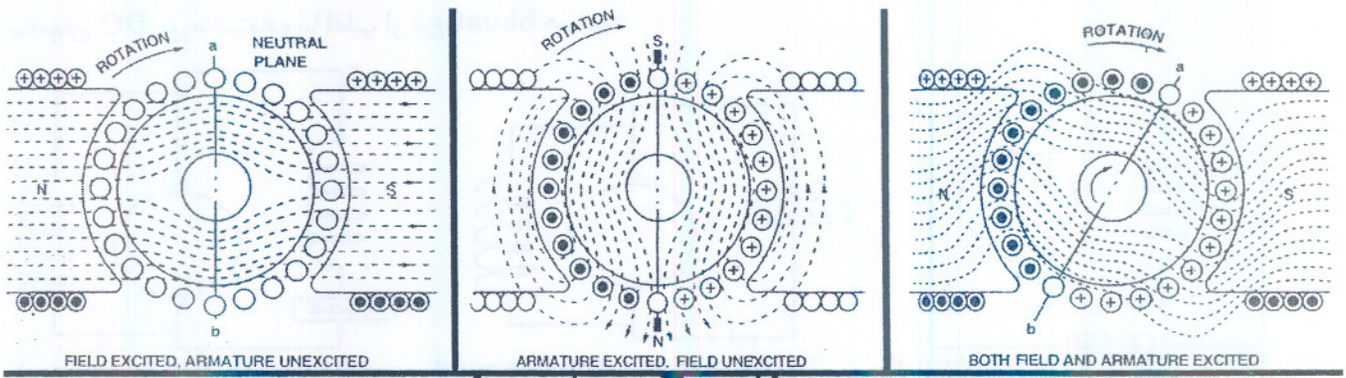
Flashing the Field

همانطوریکه قبلاً به تفصیل شرح داده شد در اثر وجود پس ماند مغناطیسی در **field** دینام **residual voltage DC** ایجاد می گردد و نهایتاً بطوریکه تشریح گردید ولتاژ اصلی از آرمیچر گرفته می شود. طبیعی است که اگـــر این **residual magnetism** از دست رود دینام به هیچ عنوان جریان تولید نخواهد کرد مگر آنکه **R.M.** را به طریقی احیا نماییم.

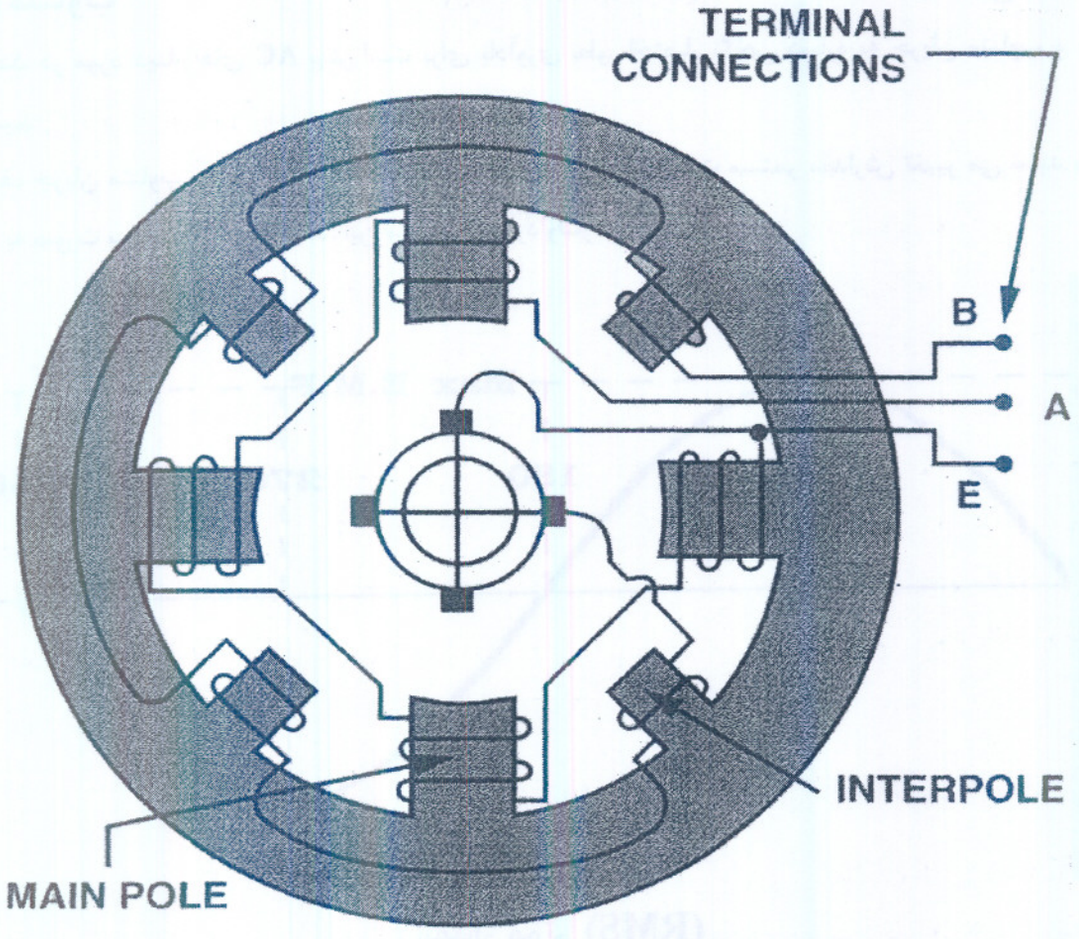
به این تکنیک اصطلاحاً **flashing the generator** می گویند و برای این کار کافی است که از یک منبع **DC** خارجی فقط یک لحظه در جهت ضحیح برق **DC** از سیم پیچ بالشتک بگذرانیم. حوضه مغناطیسی حاصله حول بالشتک باعث می شود **screw** آهنی آن مغناطیس گردیده و **residual magnetism** احیاء گردد.

Armature Reaction

وقتی جریان برق در سیم پیچهای آرمیچر القاء می شود در اطراف این سیم پیچها حوزه مغناطیسی ایجاد شده که باعث انحراف حوزه مغناطیسی اصلی ژنراتور می شود این پدیده را عکس العمل آرمیچـــر می نامند. صفحه ای که عمود بر حوزه مغناطیسی



Armature Reaction



This generator has four poles and four interpoles. The int. erpoles are used to counter the effect of armature reaction.

اصلی ژنراتـــور باشد **neutral plane** نام دارد و زغال ها را در این صفحه قرار می دهند. هر هـــادی حین چرخش هنگامی که در **neutral plane** باشد ولتاژی در آن القاء نمی شود زیرا جهت حرکت آن موازی خطـوط مغناطیســی مـی باشـد بنـابراین انحراف حوزه مغناطیسی اصلی ژنراتور باعث می شود که **neutral plane** نیز تغییر کند.

اگـــر زغال ها روی **N.P.** نباشند همواره جرقـــه بین زغال ها **segments** ایجاد شده و باعث خرابی **commutator** میشود.

برای خنثی کردن **armature reaction** از **interpoles** استفاده می شود

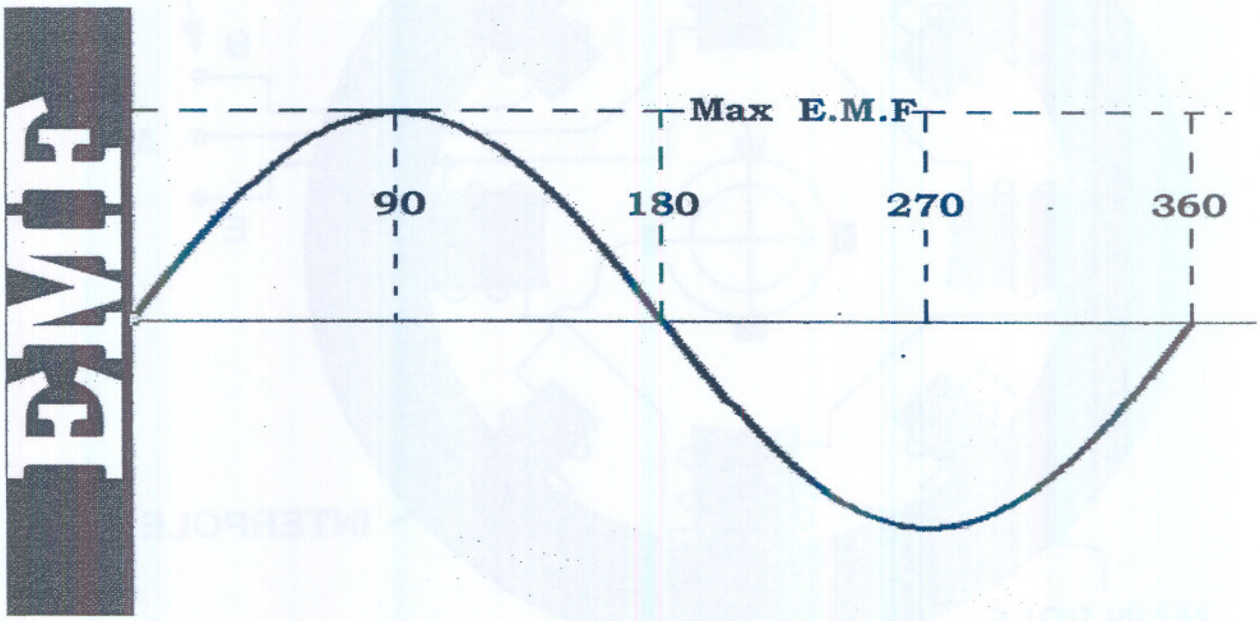
DC Alternator

در هواپیماهای سبک امروزی که معمولاً دارای سیستم الکتریک **DC** هستند برای رهائی از مشکلات مبتلا به دینام **DC** از دینام **AC**(آلترناتور) استفاده می کنند که خروجی آن جریان **DC** است بدین طریق که خود دینام جریان **AC** تولید می کند ولی این جریان وارد مدار یکسو کننده **full wave** متشکل از **6** عدد **silicon diode** گشته و به صورت **DC** کامل درآمده و در سیستم برق هواپیما توزیع می شود. این مسئله در اتومبیل های امروزی نیز رایج است.

Alternating Current جریان متناوب

قبل از بحث در مورد دینام های AC بهتر است برای یادآوری بطور اختصار نگاهی دوباره به جریان متناوب و ویژگیهای آن داشته باشیم.

طبق تعریف جریان متناوب جریانی است که بطور دوره ای جهتش و به صورت مستمر مقدارش تغییر می نماید و طبق تصویر این تغییر به صورت سینوسی رخ می دهد. این مسئله در مورد ولتاژ نیز صادق است.



مقدار مؤثر (RMS)

همانطور که در تصویر مشاهده می شود چه جریان و چه ولتاژ دارای مقدار ثابتی نبوده و از صفر شروع گشته و به ماکزیمم رسیده و مجدداً به صفر نزول کرده و سپس در جهت دیگر به ماکزیمم رسیده و مجدداً به صفر نزول می نماید.

از این رو در محاسبات به جای مقدار حداکثر از مقدار مؤثر جریان یا ولتاژ استفاده می شود. مقدار مؤثر یک جریان متناوب از طریق مقایسه آن با جریان مستقیم محاسبه می شود و این مقایسه متکی بر مقدار گرمای تولیدی از هر یک از دو جریان تحت شرایط یکسان است و بر این اساس فرمول زیر بدست می آید:

$$I_e = I_m / \sqrt{2} = 0.707 \ I_m$$

این مسئله درموردولتاژ نیز صادق است،یعنی برای بدست آوردن ولتاژ مؤثر بایستی ولتاژماکزیمم رادر ضریب 0.707 ضرب نمود

فرکانس

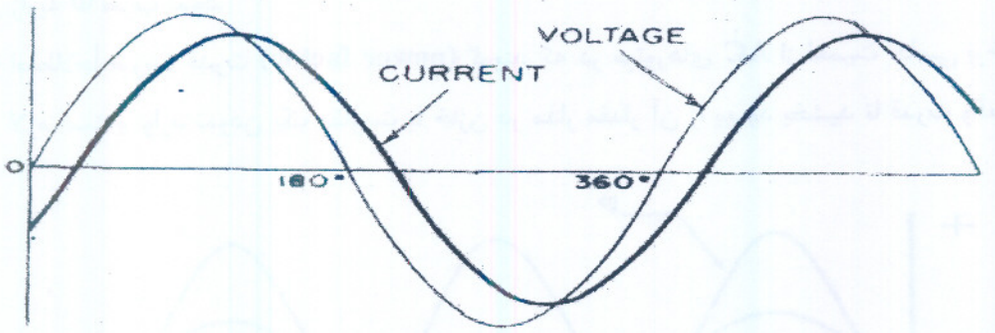
همانطور که مشهود است جریان متناوب دارای سیکل است. تعداد سیکل در ثانیه را فرکانس می گویند. فرکانس عامل مهمی در کارآئی مدارات و دستگاههای الکتریکی است. به عنوان مثال فرکانس برق شهر 50 است ولی فرکانس برق هواپیماها 400Hz است که مزایای بیشتری دارد.

فرکانس برق متناوب باید ثابت مانده و این امر مستلزم آن است که دور آلترناتور ثابت بماند. و بدین منظور در هواپیماها از دستگاه CSD استفاده می شود که بین موتور جت و آلترناتور قرار گرفته و در محدوده عملیاتی، دور موتور هر چه باشد دور خروجی CSD ثابت است.

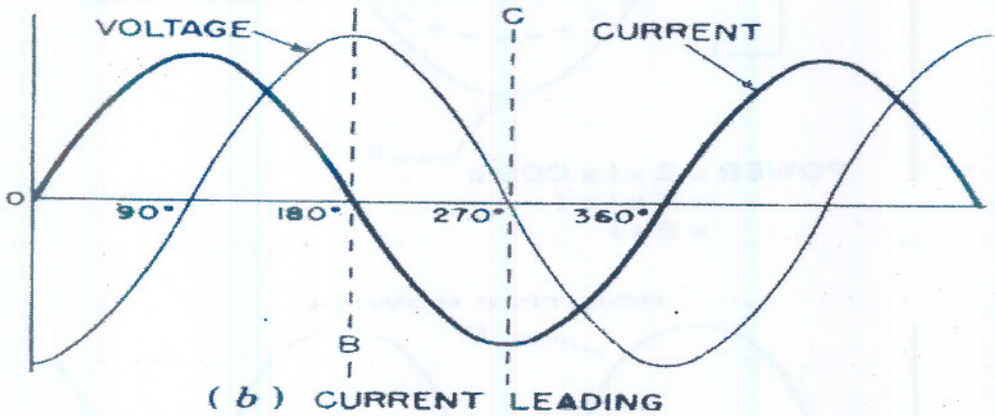
اختلاف فاز

منظور از این واژه اختلاف زاویه ای بین دو جریان یا دو ولتاژ متناوب یا بین یک ولتاژ و یک جریان است و این زاویه با علامت Φ نشان داده می شود. دو تصویر زیر این اختلاف فاز را نشان می دهند که در اولی ولتاژ از جریان پیش بوده و در دومی جریان پیش است.

به گونه ای که در آتیه خواهیم دید اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان تأثیر چشم گیری در کارائی دستگاههای الکتریکی بخصوص موتورها دارد. یادآور می شود که وجود یک خازن در مدار **AC** باعث می شود که منحنی جریان از منحنی ولتاژ پیش افتد در حالی که اثر یک سیم پیچ **(coil)** عکس این مسئله است.



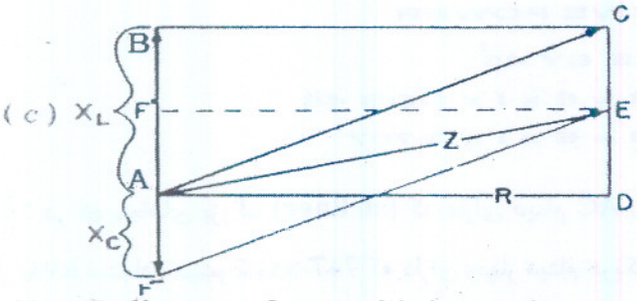
(a) CURRENT LAGGING



(b) CURRENT LEADING

مقاومت ظاهری

به هنگام بحث در مورد مدارات **DC** فقط با یک نوع مقاومت **(resistor)** روبرو بودیم. ولی در مدارات **AC** با عنصر مقاومت به شکل های دیگری نیز مواجه هستیم مثلاً وجود یک خازن باعث ایجاد مقاومتی در مقابل جریان می شود که به مقاومت خازنی **(X_C)** موسوم است. از طرف دیگر وجود یک سیم پیچ در چنین مداری باعث ایجاد مقاومتی می شود که به مقاومت سلفی **(X_L)** موسوم است برآیند برداری این سه مقاومت را مقاومت ظاهری **(impedance)** گویند که در تصویر زیر **(Z)** نشان داده شده است.



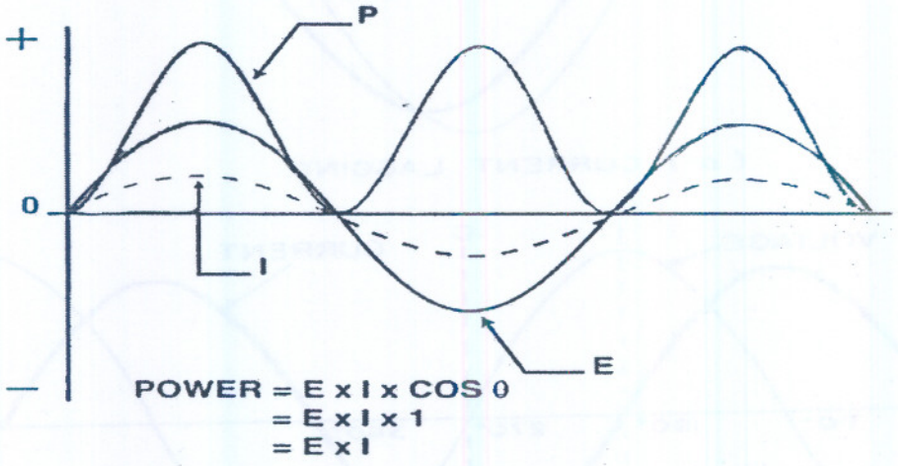
Vector diagrams for combining resistance and reactance.

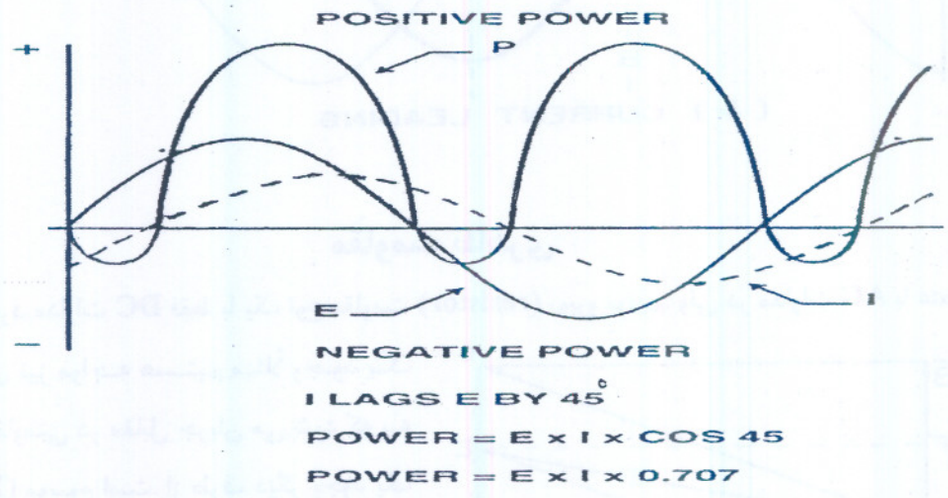
قدرت در مدارات متناوب

در یک مدار **DC** قدرت عبارت از حاصلضرب جریان در ولتاژ است. این نکته در یک مدار **AC** هنگامی صادق است که ولتاژ و جریان هم فاز باشند و در صورت وجود اختلاف فاز دیگر چنین نبوده و قدرت کاهش یافته و هر چه این زاویه بیشتر باشد، کاهش قدرت بیشتر گشته و در اختلاف فاز ۹۰ درجه بدون توجه به مقدار ولتاژ یا شدت جریان قدرت به صفر کاهش خواهد یافت. دو تصویر زیر این حقیقت را به خوبی نشان می دهند.

واحد قدرت الکتریکی وات است و در مداراتی که ولتاژ و جریان هم فاز باشند، برابر حاصلضرب جریان در ولتاژ خواهد بود، ولی اگر هم فاز نباشند، حاصلضرب ولتاژ در جریان را ولت ـ آمپر گویند و برای محاسبه قدرت بر حسب وات بایستی این حاصلضرب را در کسینوس زاویه Φ ضرب نمود.

به $Cos(\Phi)$ اصطلاحاً ضریب قدرت **(power factor)** گویند که در موتورهای **AC** از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در موارد متعددی لازم است با وارد نمودن یک مقاومت یا خازن در مدار مقدار آن را بهبود بخشید تا قدرت واقعی موتور افزایش یابد.

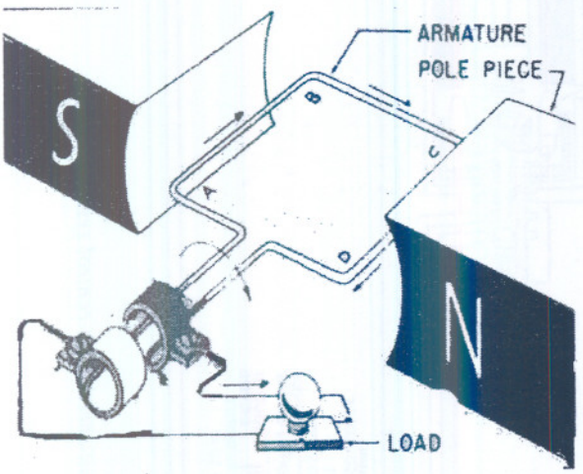


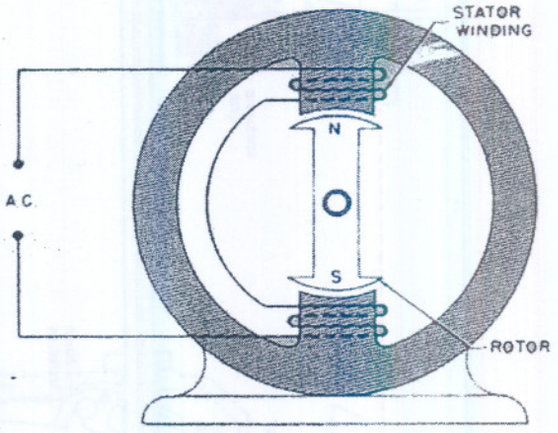


Hint : در هواپیماهای بزرگ **(airliner)** که دارای دینام **AC** (آلترناتور) هستند، برای نمایش توان آنها بعوض کیلو وات از سمبل **kVA** استفاده میشود، مثلا **747** که دارای چهار دینام هریک به قدرت **90 kVA** است. دلیل این نکته را در بالا شرح داده ایم که در یک مدار**AC** حاصلضرب ولت در آمپر الزاما یک وات نیست و تنها هنگامی چنین است که زاویهΦبرابر صفر باشد که همیشه چنین نیست.

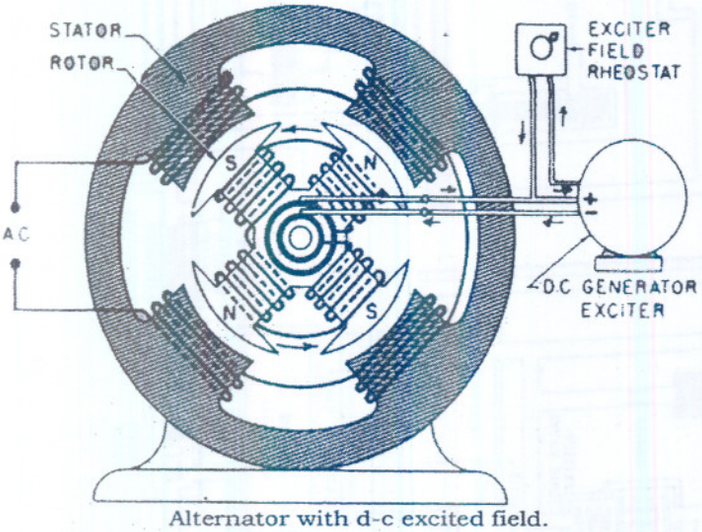
Alternators

همانطوریکه گفتیم این نوع دینام برق **AC** تولید می کند و از این رو بدان **alternator** گویند. به دلیل مزایایی که برق **AC** بر **DC** دارد و مهمترین آنها قابلیت **transformation** است در هواپیمای مدرن همچون **آل بوئینگ** از **alternator** استفاده می شود طبق تصویر در **alternator** به عوض **commutator & brush** از ترکیب **slip ring & brush** استفاده می شود و این ترکیب باعث می شود منحنی جریان سینوسی باشد و چون منحنی سینوسی طبق تصویر تناوب دارد به همین خاطر به این نوع برق جریان تناوبی **(alternating current)** می گویند. برق **AC** برخلاف **DC** دارای فرکانس **(frequency)** است و منظور از فرکانس مقدار تناوب در ثانیه **(Hertz)** است و می دانیم برق شهر **50 Hertz** و برق هواپیما **400Hertz** است. فرکانس یک آلترناتور به **R.P.M** آن بستگی دارد و چون فرکانس برق باید ثابت باشد دور آلترناتور نیز باید ثابت بماند و چون **R.P.M** موتورهای جت به دلیل نیازهای عملیاتی تغییر می نماید بین آلترناتور و موتور مکانیزم **C.S.D** قرار داده اند که هیدرومکانیکی عمل میکند و در محدوده عملیاتی دور موتور هرچه باشد دور خروجی **C.S.D** که آلترناتور را می چرخاند ثابت است و در **آل بوئینگ 6000** دور در دقیقه است.

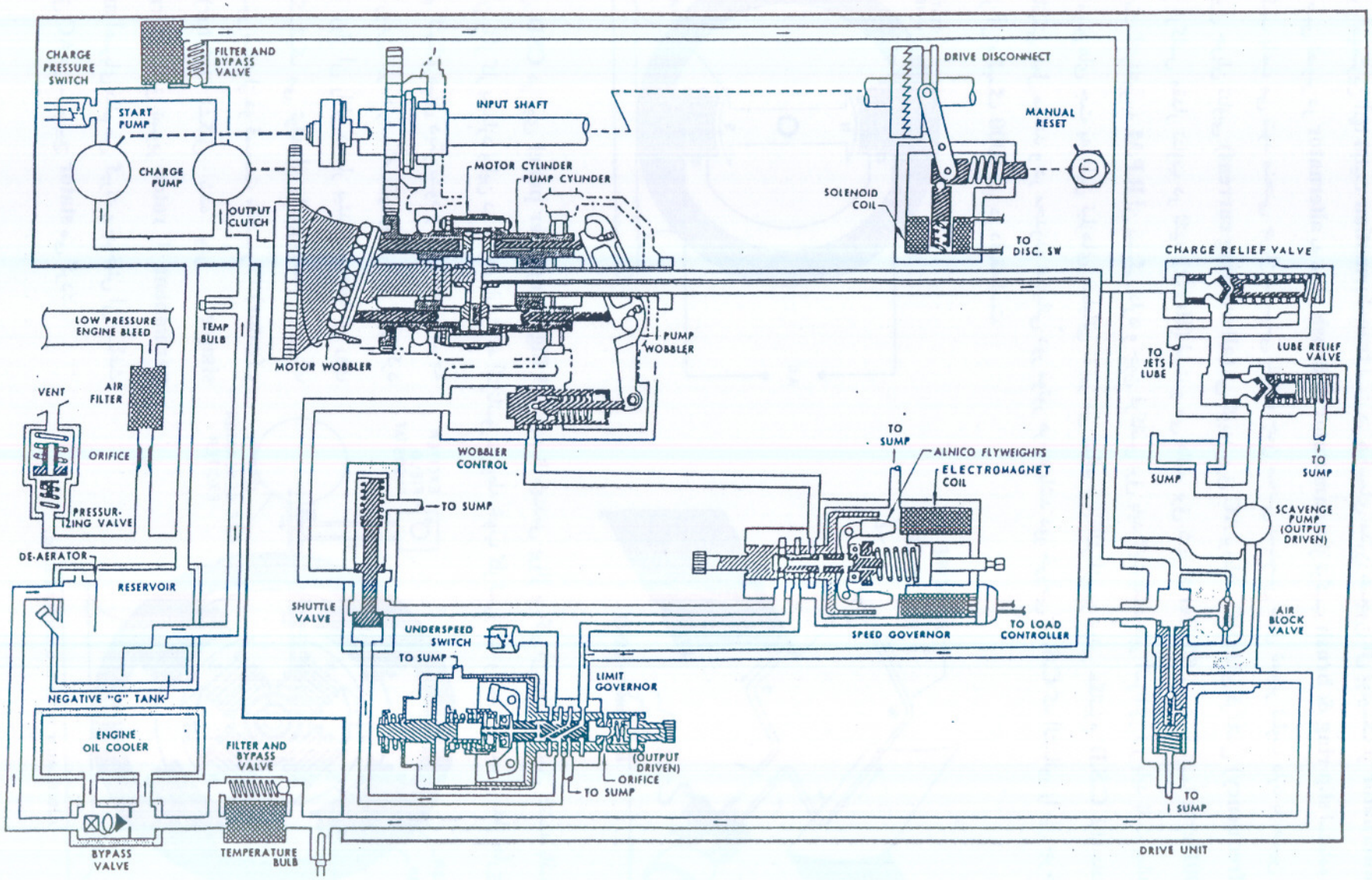




کنترلهای **CSD** در روی **flight engineer panel** قرار دارد تا مهندس پرواز بر کار آن نظارت کامل داشته باشد و حتی میتواند آن را از کار بیندازد و این در مواردی است که آلترناتور مربوطه خوب کار نمی کند و بدین ترتیب از مدار خارج میشود تا مزاحم آلترناتورهای دیگر نشود و نشان دهنده درجه حرارت روغن نیز دارد که اگر روغن آن داغ کرد مهندس پرواز آن را از کار بیندازد و فقط در روی زمین مکانیک می تواند آن را **engage** نماید. یک آلترناتور ساده از دو قسمت متحرک **(rotor)** و ثابت **(stator)** تشکیل شده ودر **simple alternators** طبق تصویر **rotor** را **permanent magnet** آهنربای دائم می گیرند و چرخش آن باعث القاء برق **AC** در سیم پیچ **stator** می گردد.



Alternator with d-c excited field.

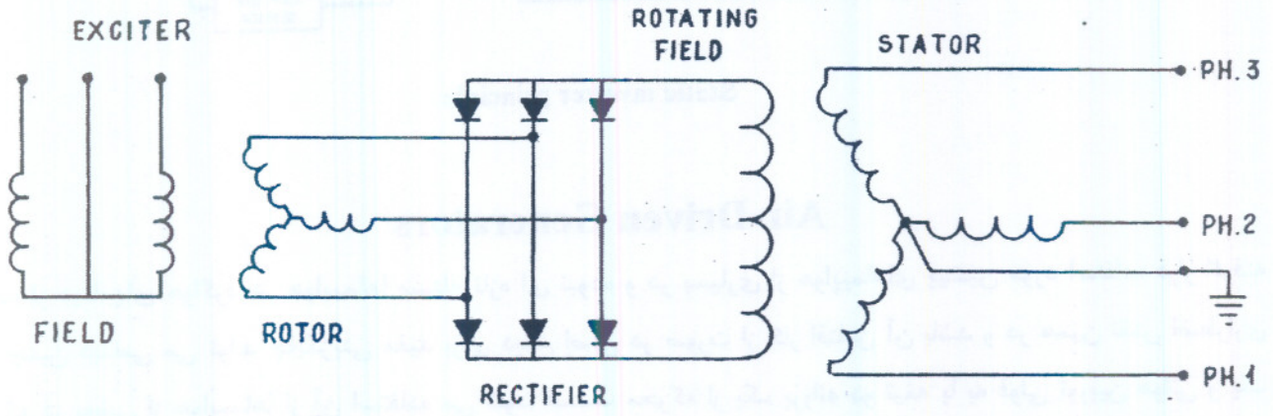


Constant-speed drive-control system.

در آلترناتور واقعی هواپیما این عمل امکان پذیر نیست چون امکان کنترل ولتاژ نخواهد بود و از این رو **rotor** را سیم پیچ می گیرند **(electromagnet)** و آن را از طریق یک منبع خارجی **excite** می کنند و برای کنترل ولتاژ باید شدت حوزه مغناطیسی سیم پیچ **rotor** را از طریق کنترل جریان برق **DC** که از **exciter** می آید کنترل نمود. همانطوریکه می دانیم جزء نشان دهنده های هواپیما تعدادی **voltmeter** و **ammeter** متناسب با تعداد دینام ها موجود می باشد که درهواپیماهای بزرگ معمولاً روی **flight engineer panel** قرار دارند تا مهندس پرواز با نظارت بر آنها از طرز کار دینام ها اطمینان حاصل نماید. اصولاً کلیه سیستم های هواپیما از جمله سیستم الکتریک زیر نظر مهندس پرواز هستند.

Brushless Alternator

آلترناتورهائی که دارای **slip ring & brush** هستند ایجاد جرقه کرده و مشکل **maintenance** ایجاد می نمایند از این رو انواع پیشرفته آلترناتور از نوع فاقد زغال **brushless** هستند و در ساختمان آنها از **rectifier** ترانزیستوری نیز استفاده شده است. به دیاگرام زیر توجه نمایید.

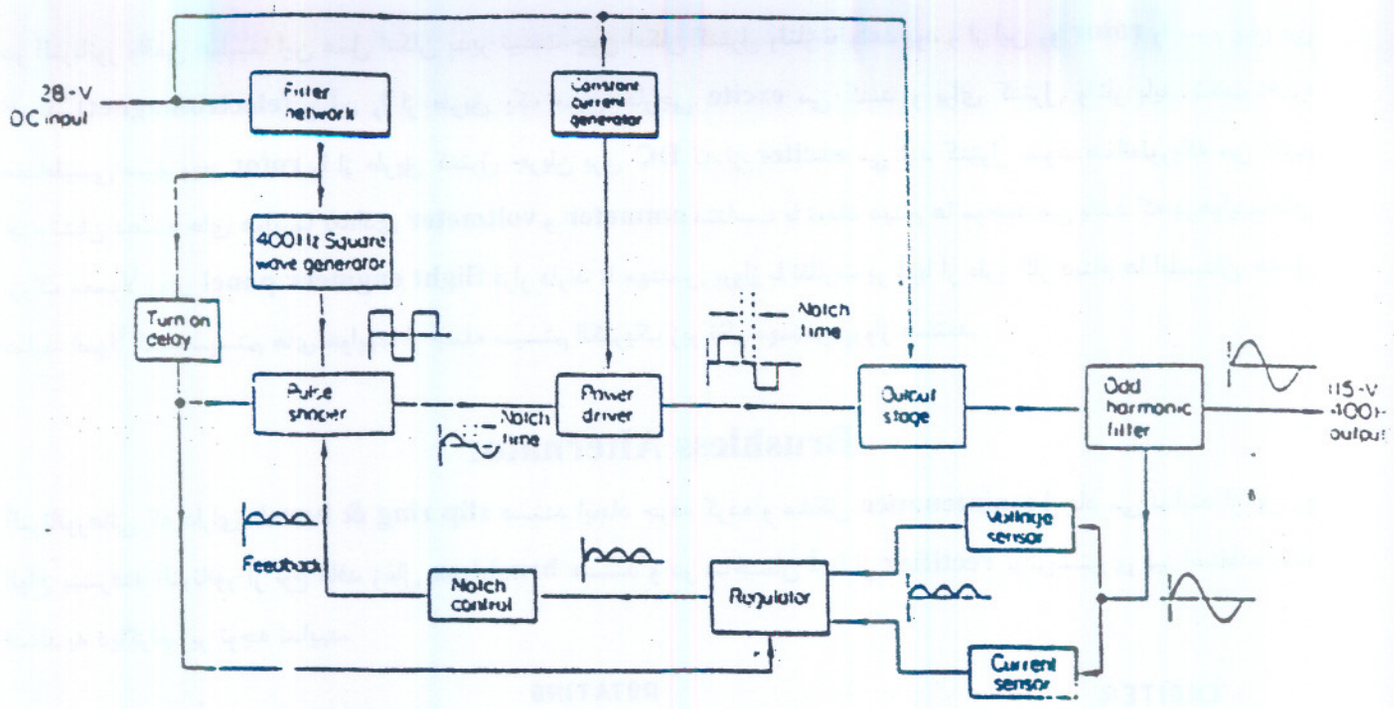


Among the advantage of a brushless generator are the following :

1- **Lower maintenance cost since There is no brush or slip ring wear.**
2- **High stability and consistency of output because variation of resistance and conductivity at the brushless and slip rings are eliminated.**
3- **Better performance at high altitudes because arcing at the brushes is eliminated .**

Frequency Wild AC System

در هواپیماهای کوچک و متوسط با اینکه به آلترناتور مجهز هستند از کاربرد **CSD** به دلیل سنگینی و پیچیدگی صرفنظر کرده اند پس سیستم الکتریک فرکانس ثابتی نداشته و بدان **frequency wild** اطلاق می نمایند. باید توجه داشت که بسیاری از دستگاههای الکتریکی همچون پمپ ها و سیستم گرمایش ملخ و دهانه ورودی موتور نسبت به فرکانس حساسیت نداشته و اتفاقاً درصد بسیار بالائی از کل بار الکتریکی هواپیما را تشکیل می دهند پس مستقیماً توسط جریان **AC** تولیدی این سیستم با ولتاژ **110** تغذیه می شوند. برخی واحدها هم به برق **28 VDC** نیاز دارند که توسط **TRU=Transformer Rectifier Unit** تأمین می گردد ولی تعداد اندکی از دستگاهها همچون جایروها و نشان دهنده های الکترونیکی پروازی و... وجود دارند که نیاز مبرم به برق **110** ولت با فرکانس **400Hz** دارند که توسط **static inverters** با قدرت کافی تأمین می گردد که برخلاف نوع **rotary** قبلی دارای مکانیزم ترانزیستوری **solid state** هستند و تصویر آن را در صفحه بعد ملاحظه می کنید.



Static inverter principle

Air-Driven Generators

استفاده از دینامهای هواگرد در هواپیماها مسئله تازه ای نبوده و در بسیاری از هواپیماهای پیشین مورد استفاده قرار گرفته است. چنین دینامی می تواند جایگزینی مفید برای دینام اصلی در صورت از کار افتادن آن باشد و در همین نقش اضطراری است که در بعضی از هواپیماها از آن استفاده می شود. قسمت محرکه از یک پروانه دو تیغه یا به قولی توربین هوائی و یک جعبه دنده فزاینده سرعت تشکیل گردیده که پروانه را به دینام مرتبط می سازد. هدف از این دینام تأمین انرژی الکتریکی برای تجهیزات ضروری تحت شرایط اضطراری است. کل دستگاه در یک جایگاه مخصوص واقع در بدنه جایگذاری گردیده و به هنگام نیاز از کابین خلبان توسط مکانیزمی مکانیکی رها گردیده و آرایش می یابد. بعد از پایین آمدن دینام فقط در روی زمین می توان آن را دوباره جازد.

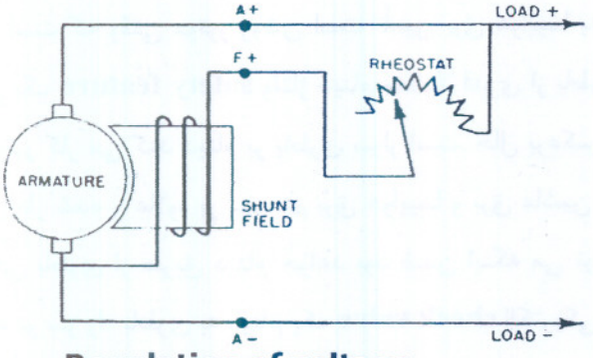
Wind-driven generator in position for installation.

Generator Controls

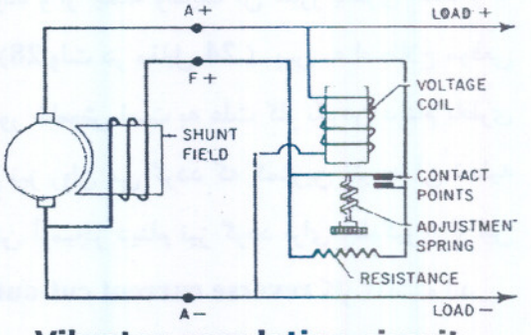
مقدمه: همانطوریکه از ابتدا متذکر شدیم بهترین راه درک **electrics** مقایسه آن با سیستم هیدرولیک است و دیدیم که در این میان ولتاژ با فشار قابل قیاس است و همانطوریکه در سیستم هیدرولیک و سیستم های مشابه از **relief valve** برای تنظیم فشار استفاده می شود در دینام نیز برای ثابت نگه داشتن ولتاژ از **voltage regulator** استفاده می شود و اساس کار آن بدین ترتیب است که چون دور دینام زیاد شود **voltage** افزایش خواهد یافت پس برای جبران این مسئله باید شدت حوضه مغناطیسی **field** را به طریقی مناسب کاهش دهیم.

Voltage Regulator

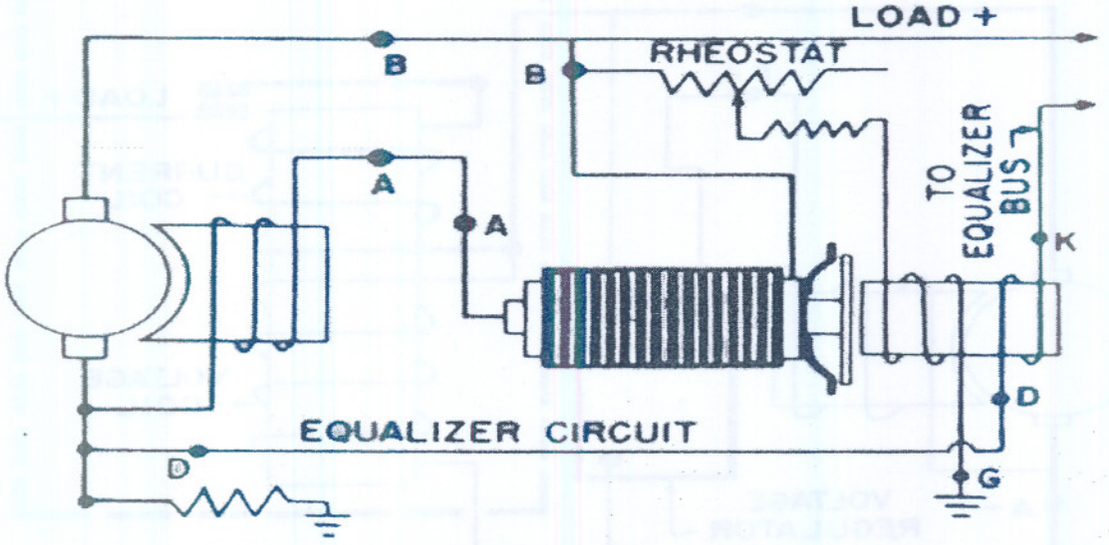
این قطعه مهم معمولاً به دو نوع **vibrator type** و **carbon pile** یافت می گردد. با افزایش دور موتور و در نتیجه دور دینام به منظور ثابت نگهداشتن ولتاژ مقاومت مدار برق **field** افزایش یافته و درنتیجه **ampere** این مدار کاهش یافته در نتیجه شدت حوضه مغناطیسی **field** کم شده و بدین ترتیب **voltage** دینام ثابت نگهداشته می شود (در هواپیما معمولاً **28** ولت **DC** و **110** ولت **AC**) و همچون **relief valve** که با تنظیم قدرت فنر آن می توان فشار را تنظیم نمود **voltage regulator** را نیز با تنظیم قدرت فنر آن می توان تنظیم نمود. قابل توجه است که با اینکه اصل کار هر دو نوع یکی است ولی از نوع **carbon pile** در مواردی استفاده می شود که دینام بزرگ و در نتیجه شدت جریان بالشتک آن نیز بالا بوده پس **vibrator type** به علت امکان جرقه به هنگام باز و بسته شدن نمی تواند برای این حالت مناسب باشد.



Regulation of voltage.



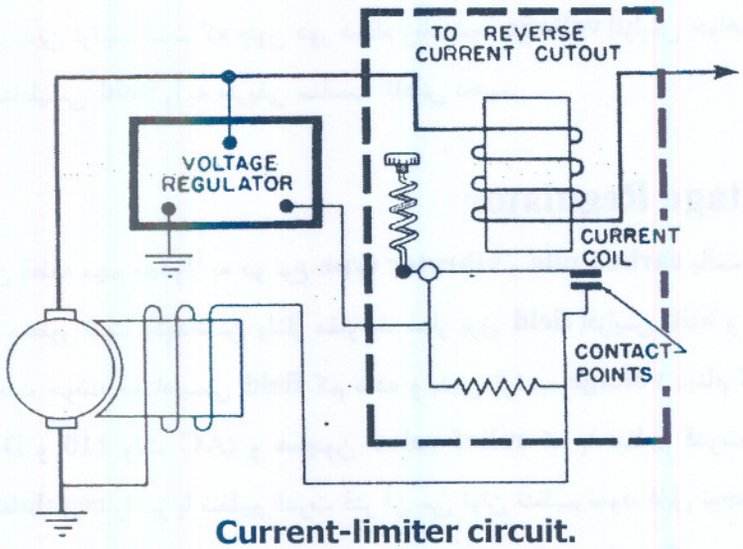
Vibrator-regulation circuit.



Carbon-pile regulation circuit.

Current Limiter

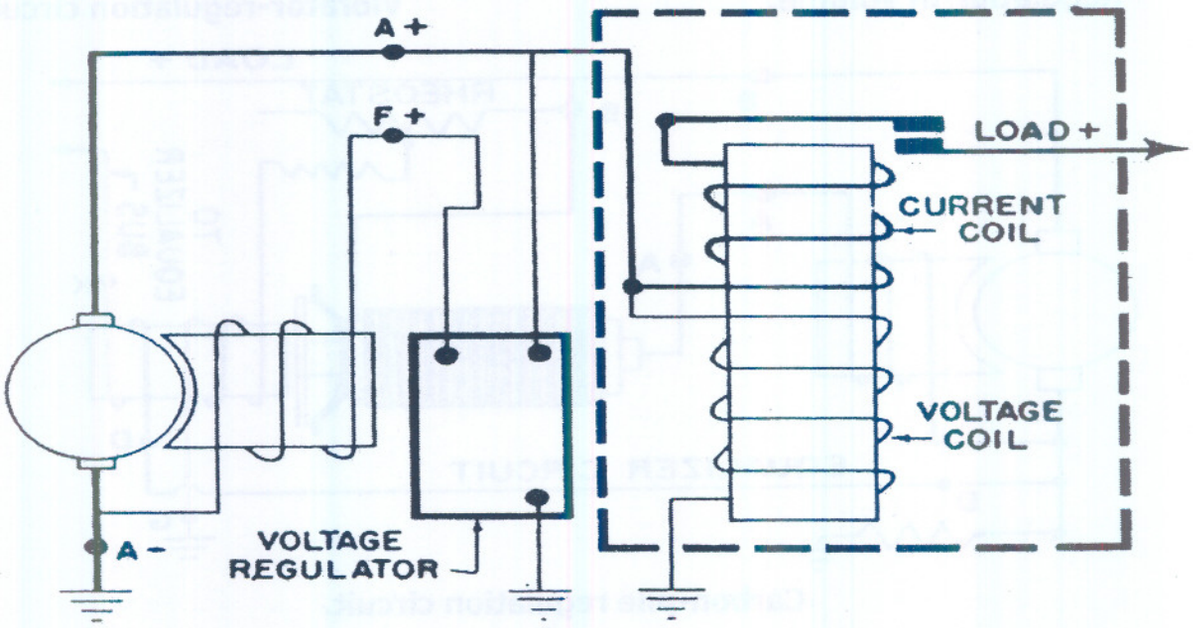
همانطوریکه می دانیم عبور آمپر زیاد از یک مدار گرمـــای زیادی تولید می کند و می تواند نهایتاً منجـــر به صدمه گردد، مثلاً **armature** یک دینام حداکثر آمپر مشخصی را می تواند تحمل کند. در غیر این صورت در اثر تولید گرمای بیش از حد لاک سیم آن ذوب شده و به اصطلاح آرمچر می سوزد و در اینجا از فرصت استفاده کرده و متذکر می شویم که حتی در موارد عادی برای خنک کـردن دینـام از یـک **fan** کـه معمـولاً جزئی از خود دینام است استفاده میشـود حـال بـه عنوان یک **safety feature** دینـام بـه **ampere limiter** مجهز است که به **current limiter** نیز معروف است که در صورتی که بـه هـر علـت **load** وارده بر دینام از حد معینی فراتر رود طبـق تصـویر عمل کرده و از وارد آمدن صدمه به دینام جلوگیری می کند. برای اطلاع بهتر از طرز کار این واحـد بـه توضیحات در کلاس توجه نمائید.



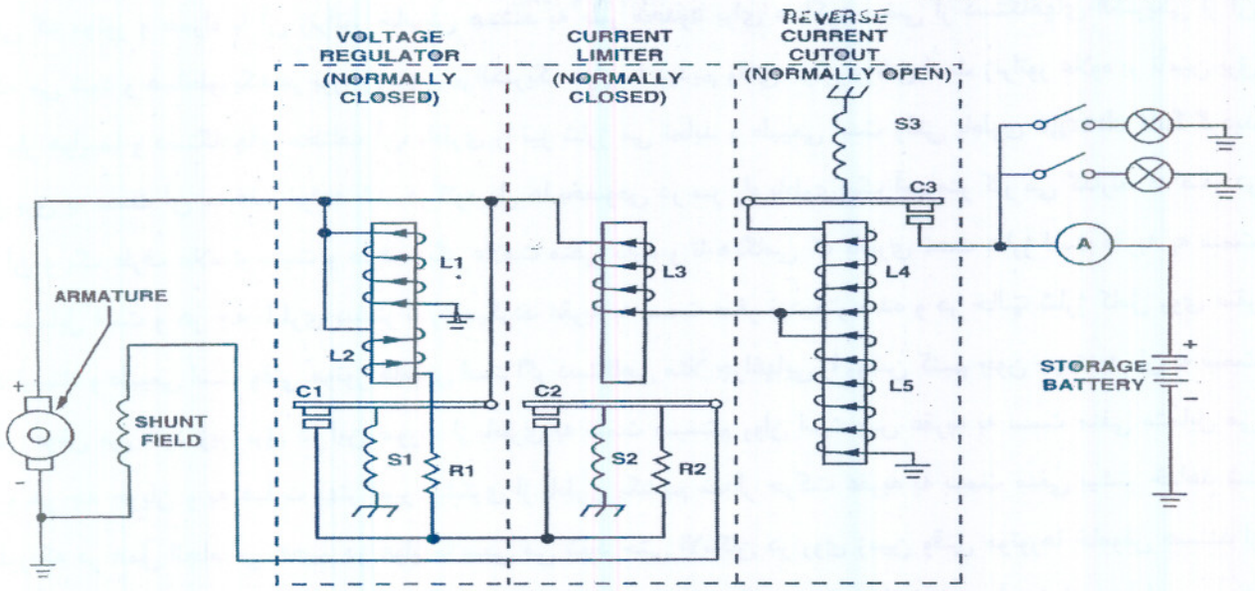
Current-limiter circuit.

Reverse Current Cut-Out Relay

واضح است که وقتی موتور روشن است تأمین برق هواپیما به عهده دینام بوده و از جمله وظایف آن شارژ باطری است و به عنوان یک **safety feature** ولتاژ دینام معمولاً قدری از باطری بالاتر است (**28** ولت در مقابل **24**). پس به اصطلاح موقعی که موتور کار می کند دینام بر باطری سوار است. حال برعکس زمانی که موتور خاموش است به علت کار نکردن دینام باطری میدان دار شده و علاوه بر سیستم برق هواپیما و برق ماشین به سمت دینام نیز روان می گردد که کمترین نتیجه آن تخلیه تدریجی باطری از طریق دینام خواهد بود ضمن اینکه می تواند باعث سوختن آرمیچر دینام نیز گردد برای جلوگیری از این مسئله در سر راه باطری به دینام یک **check valve** الکتریکی به نام **reverse current cut-out relay** کار گذاشته اند



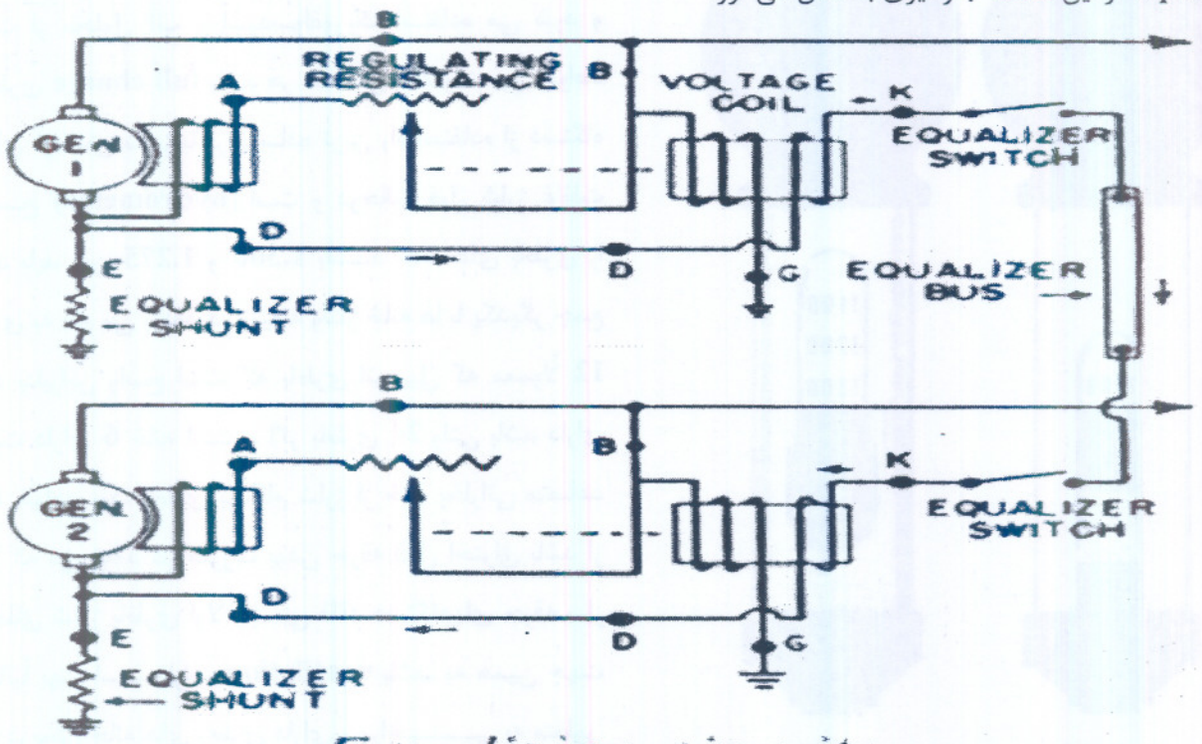
که وقتی دینام کار می کند پلاتین آن وصل شده و برق به سمت سیستم و باطری روان می گردد. ولی وقتی موتور خاموش است پلاتین آن باز شده و از ورود برق باطری به دینام و عواقب آن جلوگیری به عمل می آورد. برای آگاهی بیشتر از طرز کار این واحد به توضیحات در کلاس توجه نمائید.



Three Unit Control-panel Circuit.

Equalizer Circuit

از این قطعه مهم در هواپیماهای چند موتوره که دارای چند دینام هستند استفاده می شود واضح است که وقتی چند دینام با هم کار کرده و سیستم واحدی را که همان سیستم الکتریک هواپیما باشد تغذیه می نمایند به خاطر حساسیت مسئله برقشان باید کاملاً یکسان و به اصطلاح **parallel** باشند و اگر مثلاً از یک دینام بار بیشتری نسبت به دینام دیگر کشیده شود **equalizer** از این مسئله جلوگیری به عمل می آورد

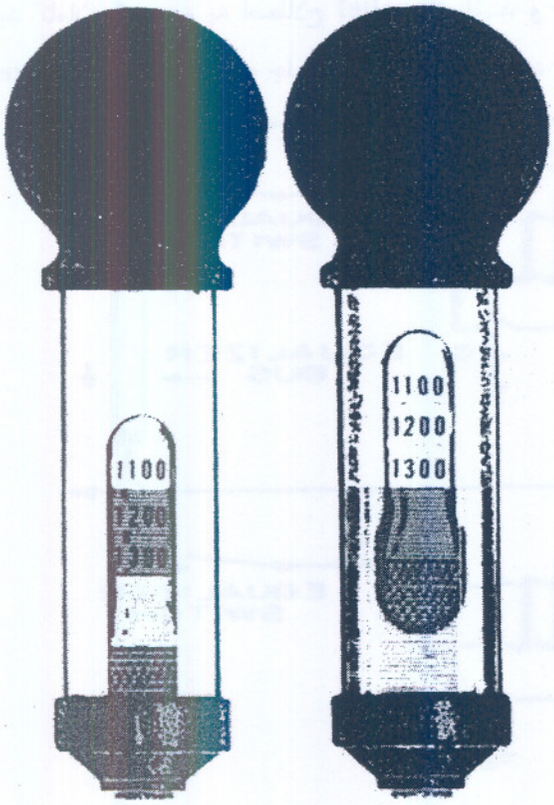


Equalizing circuits.

باطـــــری هواپیمـــــا

همانطوریکه می دانیم باطری دستگاهی است که متناسب با ظرفیت آن مقداری انرژی الکتریکی در خود ذخیره دارد و در هنگامی که موتور و همراه با آن ژنراتور خاموش هستند به طور محدود برای عملکرد بعضی از دستگاههای الکتریکی از آن استفاده می شود و همانطوریکه در بررسی سیستم الکتریک هواپیما دیدیم وقتی موتور روشن است ژنراتور علاوه بر تأمین برق مورد نیاز هواپیما و دستگاههای مختلف آن، باطری را نیز شارژ می نماید و طبیعی است وقتی باطری **full charge** گردید جریان برق به سمت آن متوقف خواهد شد. در اتومبیل ها بخصوص در سر راه باطری یک آمپرمتر کار می گذارند که صفر در وسط آن و یک طرف علامت مثبت و طرف دیگر علامت منفی دارد و تا هنگامی که باطری تحت شارژ است عقربه به سمت مثبت متمایل است و هر چه باطری بیشتر شارژ میگردد عقربه به سمت صفر نزدیکتر شده و در حالت شارژ کامل روی صفر خواهد ایستاد و طبیعی است وقتی موتور خاموش است اگر دستگاهی مثلاً چراغهایی را روشن کنیم چون جهت جریان به سمت آمپرمتر عوض می شود زیرا برق در این صورت از باطری به سمت سیستم روان است پس عقربه به سمت منفی متمایل می گردد و هر چه جریان و به عبارت بهتر آمپر بیشتری از باطری بکشیم مقدار حرکت عقربه به سمت منفی بیشتر خواهد شد همانطوریکه در عمل انجام می دهیم در هواپیما سعی می شود حتی الامکان در روی زمین وقتی موتورها خاموش هستند از باطری خود هواپیما استفاده نشود زیرا باطری خیلی سریع دشارژ **discharge** شده ولی شارژ صحیح آن خیلی به آرامی صورت گرفته و زمان زیادتری می برد از این رو اگر مثلاً در جایی به علت عدم امکانات مجبور به استفاده از باطری بخصوص برای **start** موتورها شویم معمولاً بعد از روشن شدن اولین موتور دینام آن را **on** کرده و برای **start** موتورهای دیگر از نیروی دینام روشن استفاده می کنند.

رایج ترین باطری مورد استفاده آب اسیدی (**lead acid battery**) می باشد زیرا که در خانه های آن **(cells)** به عنوان الکترولیت از محلول آب و اسیدسولفوریک استفاده می شود و وقتی باطری **full charge** باشد هر خانه آن **2.1** ولت برق خواهد داد و برای آزمایش شارژ باطری ساده ترین راه استفاده از دستگاه غلظت سنج **(hydrometer)** است و درحالت فول شارژ غلظت آب اسید باید بین **1.275** و **1.300** باشـــد خانه های باطری را بطور سری به هم می بندند در نتیجه ولتاژ خانه ها با یکدیگر جمع می شود بنابراین واضح است که باطری اتومبیل که معمولاً **12** ولتی است دارای **6** خانه است و اگر باطری **24** ولتی باشد دارای **12** خانه خواهد بود. باطری بهنگام شارژ از خود بخاراتی متصاعد می کند که می تواند در صورت بودن جرقه قابل احتراق باشد از این رو اطاق شارژ باطری اولاً بایستی فاقد دستگاههای جرقه ساز بوده و ثانیاً بهتر است دارای **ventilation** باشد. به همین جهت است که درپوش خانه های باطری دارای سوراخـــــی به منظور



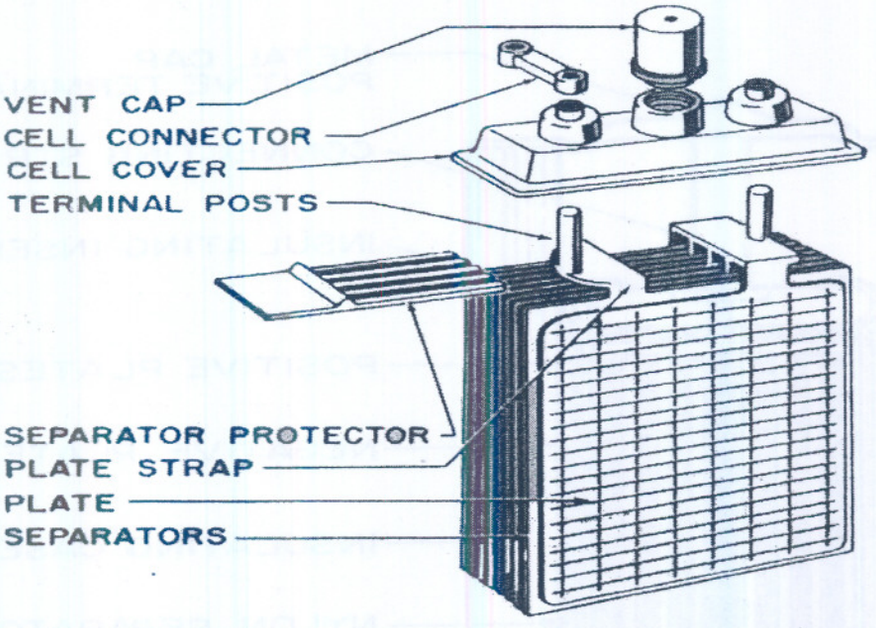
Hydrometer reading

هواکش بوده تا بخارات از آن طریق به خارج هدایت شوند و به منظور احتیاط این درپوشها طوری ساخته شده است که اگر باطری چپه شود خود به خود سوراخ گرفته شده و از ریختن (**spill**) آب اسید باطری که اقلا می تواند باعث **corrosion** منطقه گردد جلوگیری می شود. همانطوریکه گفتیم اگر باطری ها را بطور سری ببندیم ولتاژها جمع شده و آمپر یکسان می ماند و اگر موازی ببندیم آمپرها جمع شده و ولتاژ کل برابر ولتاژ تک تک باطریهـــا ست.

Hint: باطری انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند

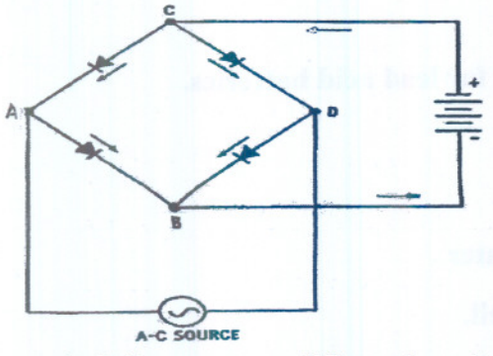
Hint ـ به هنگام پیاده کردن باطری از هواپیما به منظور جلوگیری از جرقه باید ابتدا سیم منفی یا **ground lead** را جدا کرده و سپس سیم مثبت را جدا نموده و در موقع نصب باطری باید بطور عکس عمل کرد. البته در هواپیما به منظور ایمنی طبق تصویر زیر از **connectors** های مخصوص استفاده می شود و عمل قطع و وصل سریعاً انجام پذیر است.

Hint ـ معمولاً ولتاژ دینام کمی بیشتر از باطری است مثلاً هواپیماهائی که باطری **24** ولتی دارند دینامشان **28** ولت تولید می کند تا در حین کار باصطلاح دینام به باطری سوار باشد.

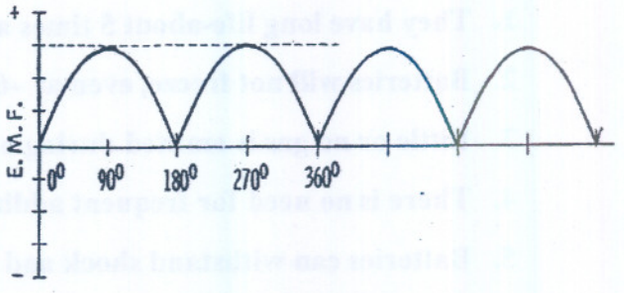


Cell element for a lead-acid cell.

حال اگر سیستم برق هواپیما **AC** باشد چون هواپیما الزاماً دارای باطری است و باطری هم **DC** است برای آنکه به هنگام کار موتورها باطری هم شارژ شود حتماً به طریقی سیستم **Transformer-Rectifier Unit** در هواپیما تعبیه شده است. ضمن اینکه **TRU** نیازهای شبکه **DC** هواپیما را هم تأمین می کند.



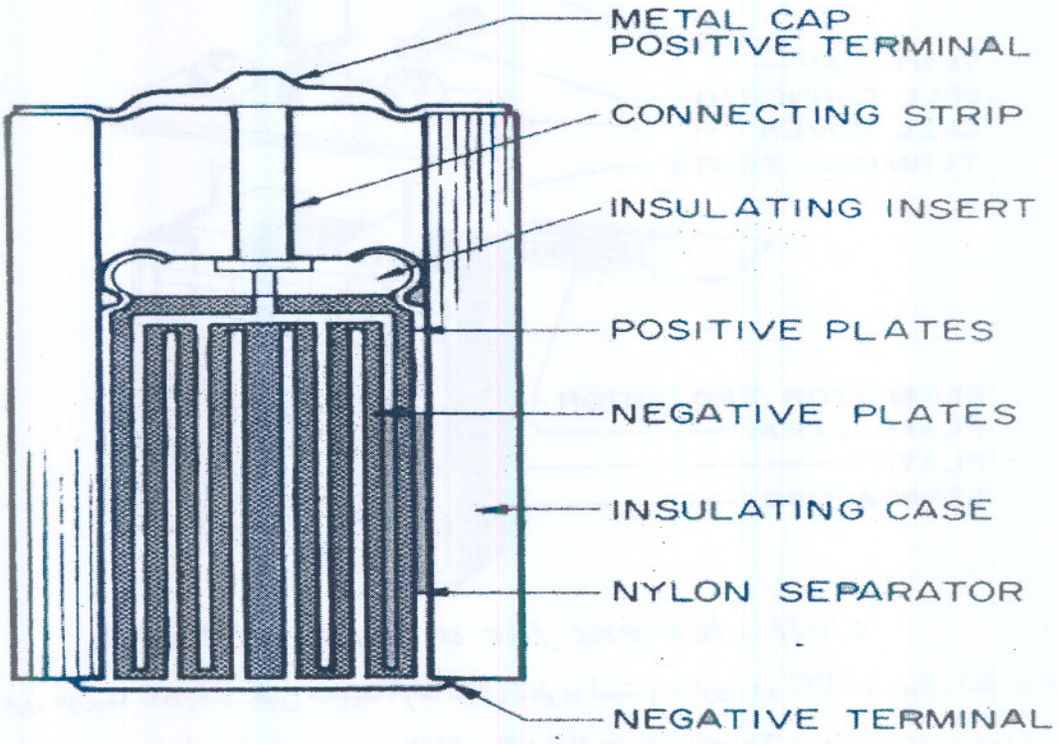
A full-wave rectifier circuit.



Curve for full-wave rectified current.

Nickel-Cadmium Battery

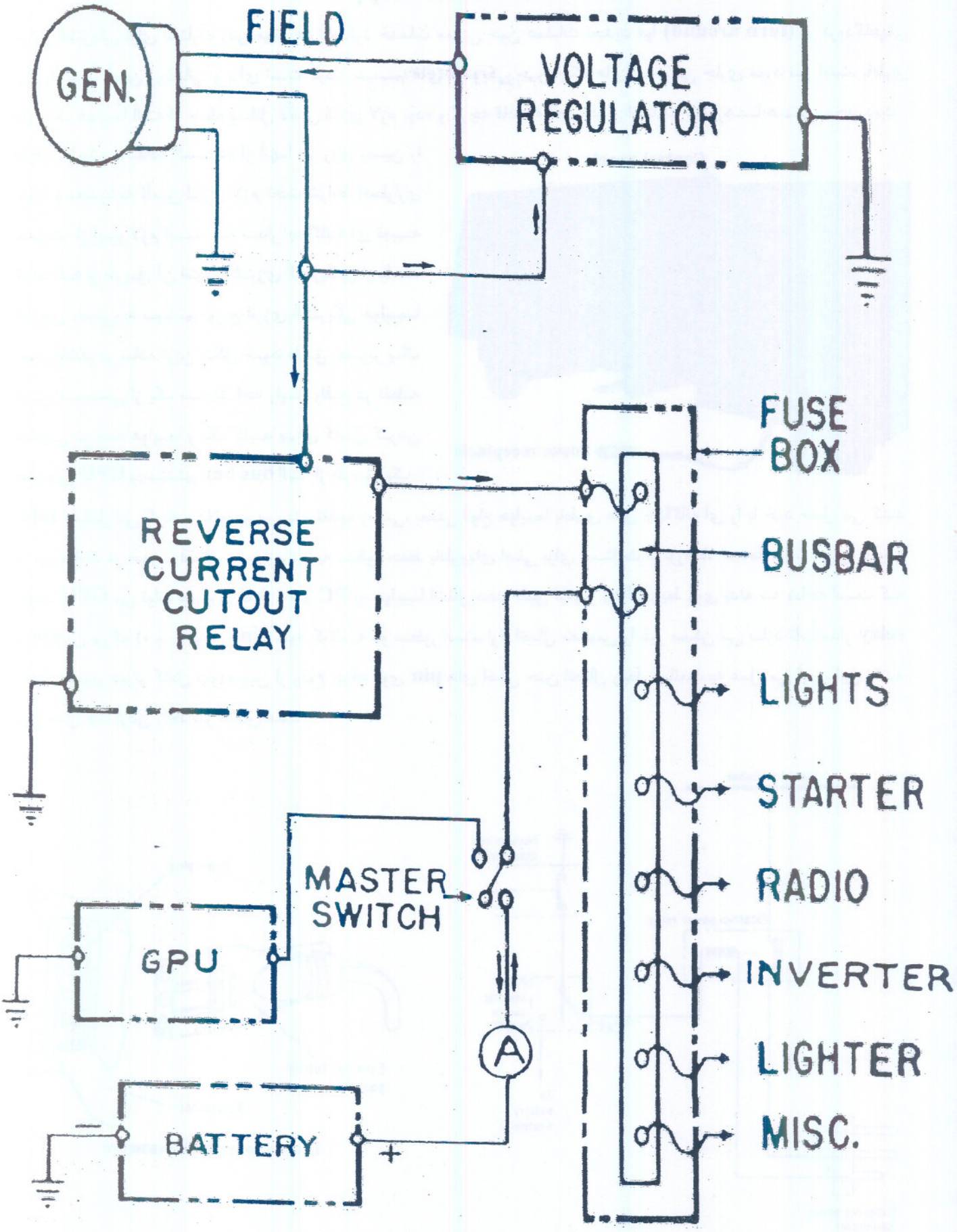
امروزه در هواپیماها به جای باطری آب اسیدی از باطریهای نیکل کادمیوم استفاده می شود که دارای عمر و دوام بیشتری هستند و گاز بسیار کمی از آنها متصاعد می شود و در هوای بسیار سرد نیز بطور رضایت بخشی به کار خویش ادامه می دهند. و ولتاژ هر خانه **1.2** ولت است. الکترولیت مورد استفاده در این باطری مخلوط آب مقطر (**70** درصد) و هیدرات پتاسیم (**30** درصد) است. غلظت این محلول **1.30** بوده و غلظت محلول معیاری برای میزان شارژ باطری نیست. و مقدار جریانی که باطری حین اتصال با دستگاه **charger** می کشد بهترین معیار مقدار شارژ آن است. **plate** های این باطری به هنگام دشارژ آب جذب کرده و حین شارژ آب پس می دهند. از این رو قبل از شارژکردن در صورتی که خانه های باطری ظاهراً خشک باشند نباید آب بدان اضافه کرد. بلکه بعد از شارژ در صورت نیاز باید اقدام به این عمل نمود. ضمناً در آشیانه ها **shop** باطری نیکل کادمیوم از باطری آب اسیدی جداست تا متصاعد شدن گازها از باطری آب اسیدی احتمالاً موجب خنثی شدن محلول هیدرات پتاسیم باطری نیکل کادمیوم که ماهیت بازی دارد، نشود.



Nickel-cadmium cell cut away

Advantage of nickel-cadmium cells :

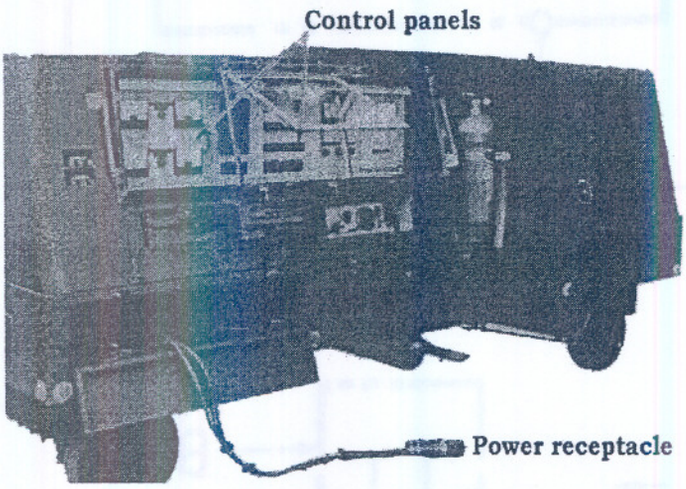
1. **They have long life-about 5 times as long as for lead acid batteries.**
2. **Batteries will not freeze, even at -60° F .**
3. **Little or no gas is emitted during operation.**
4. **There is no need for frequent addition of water .**
5. **Batteries can withstand shock and abuse well.**
6. **no deterioration occur if they are left in discharge state.**

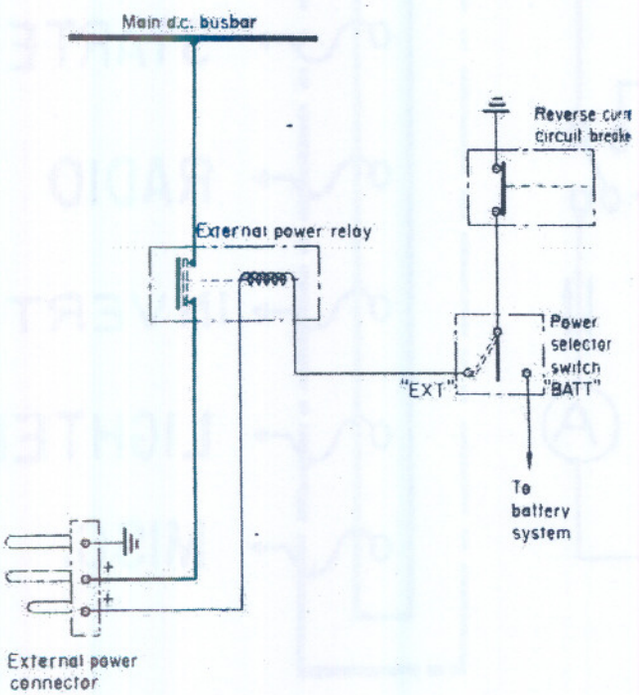


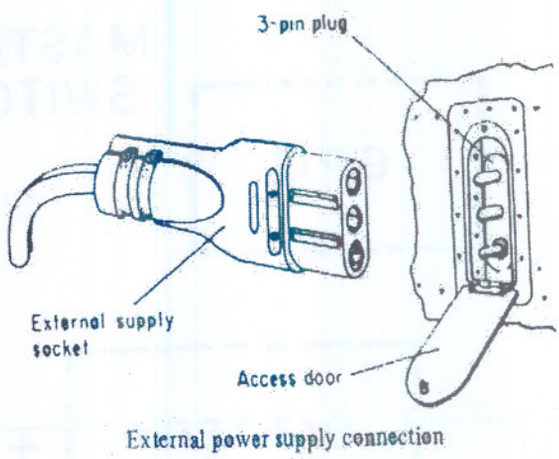
Simplified aircraft charging system.

Ground Power Supplies

انرژی الکتریکی برای استارت زدن موتورها، عملکرد خدمات معینی حین عملیات تجدید قوا (**turn around**) در فرودگاههای بین راه مثلاً تأمین روشنائی و برای تست کردن سیستم های الکتریکی حین چک های تعمیراتی جاری مورد نیاز است. باطری های یک هواپیما البته از جمله وسائل تأمین انرژی لازم بوده و گرچه قادر به انجام عمل استارت موتورهـــا هستند، محدودیت ظرفیت اجازه استفاده گسترده از آنها بر روی زمین را نداده و محدود به تأمین انرژی لازم تحت شرایط اضطراری هستند. از اینرو لازم است که مدار جداگانه ای تعبیه گردد که از طریق آن انتقال انرژی الکتریکی از واحد خارجی زمینی به سیستم توزیع انرژی الکتریکی هواپیما میسر باشد. در ساده ترین شکل خود طبق تصویر یک چنین سیستمی از یک سه شاخه رابط واقع در نقطه مناسبی در بدنه هواپیما و یک کلید برای کامل کردن مدار بین **GPU** و سیستم **bus bar** البته از طریق یک **relay** تشکیل می گردد. علاوه بر سیستم تغذیه زمینی، بعضی انواع هواپیما باطری های جداگانه ای را با خود حمل می کنند که می توانند در صورت فقدان منبع زمینی به منظور حفظ باطریهای اصلی برای استارت موتورها، خدمات زمینی را تغذیه نمایند. **GPU** می تواند هم برق **AC** و هم **DC** به هواپیما انتقال دهد. طبق تصویر **plug** رابط روی بدنه سه شاخه است که دو **pin** آن بزرگ (+ و -) بوده و **pin** سوم کوتاه به دو منظور است، اولاً اتصال معکوس را غیر ممکن می سازد ثانیاً مدار **relay** را طبق تصویر دیرتر کامل نموده پس از وقوع جرقه روی **pin** های اصلی حین اتصال رابط ممانعت به عمل می آورد. این نکته حین عمل جداکردن رابط نیز صادق است.



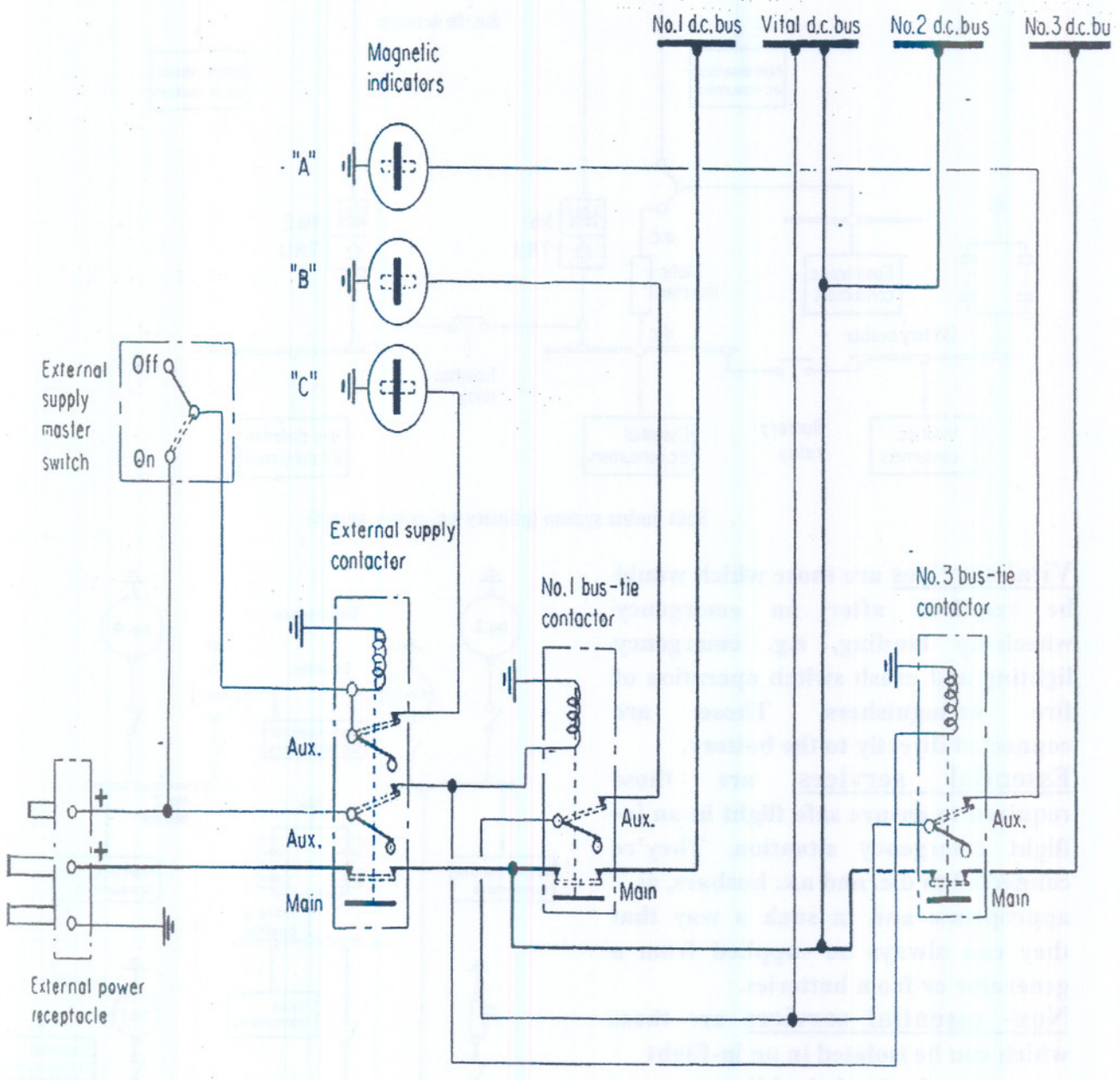




External power supply connection

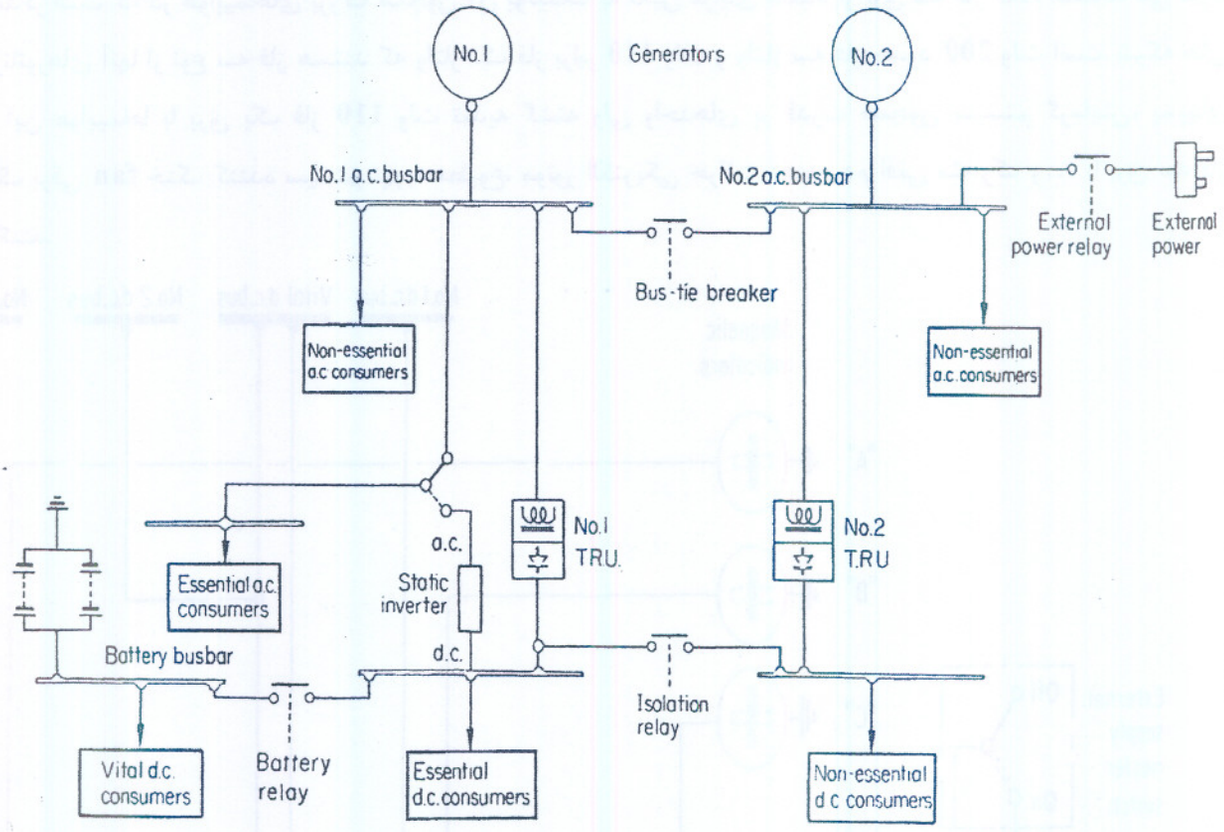
همانطور که قبلاً دیدیم سیستم الکتریک بیشتر هواپیماها **AC** است و طبق تصویر **plug** رابط روی بدنه این هواپیماها پنج شاخه است و ضمن تأمین برق **AC** سه فاز مورد نیاز سیستم، **DC bus bar** از طریق **TRU** تغذیه می گردد.

لازم به تذکر است که در هواپیماهای بزرگ همچون **آل بوئینگ** به دلیل مزایای متعدد از برق سه فاز **AC** استفاده می شود. پس آلترناتورهای آنها از نوع سه فاز هستند که ولتاژ تک فاز برابر **110** ولت و ولتاژ سه فاز حدود **200** ولت است. شبکه های معمولی این هواپیماها با برق یک فاز **110** ولت تغذیه گشته ولی واحدهای پر قدرت همچون سیستم گرمایش، پمپهای هیدرولیک برقی **fan** خنک کننده سیستم تهویه مطبوع، موتور الکتریکی حرکت دهنده دم افقی متحرک و... با برق سه فاز کار می کنند.



Schematic of an external power supply - multiple d.c. busbar system

Power Distribution

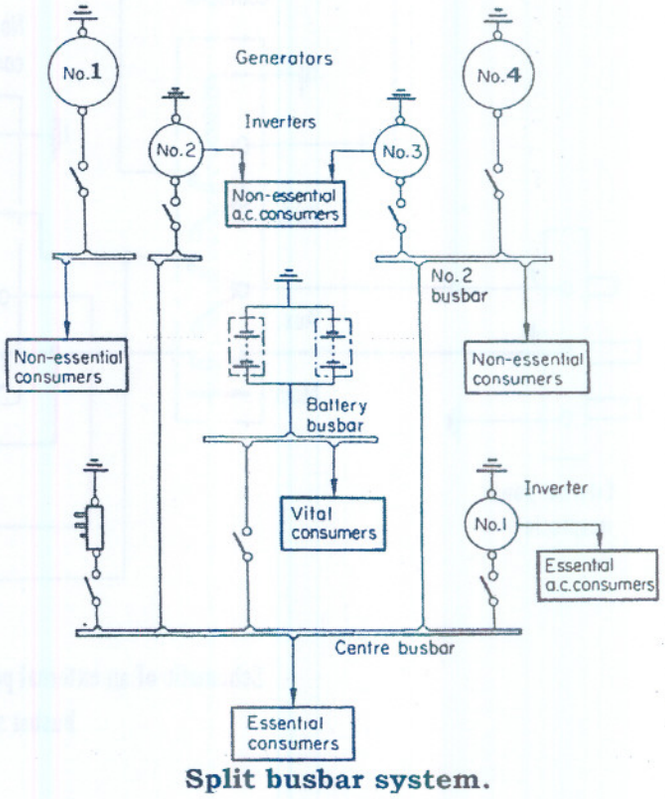


Split busbar system (primary a.c. power source)

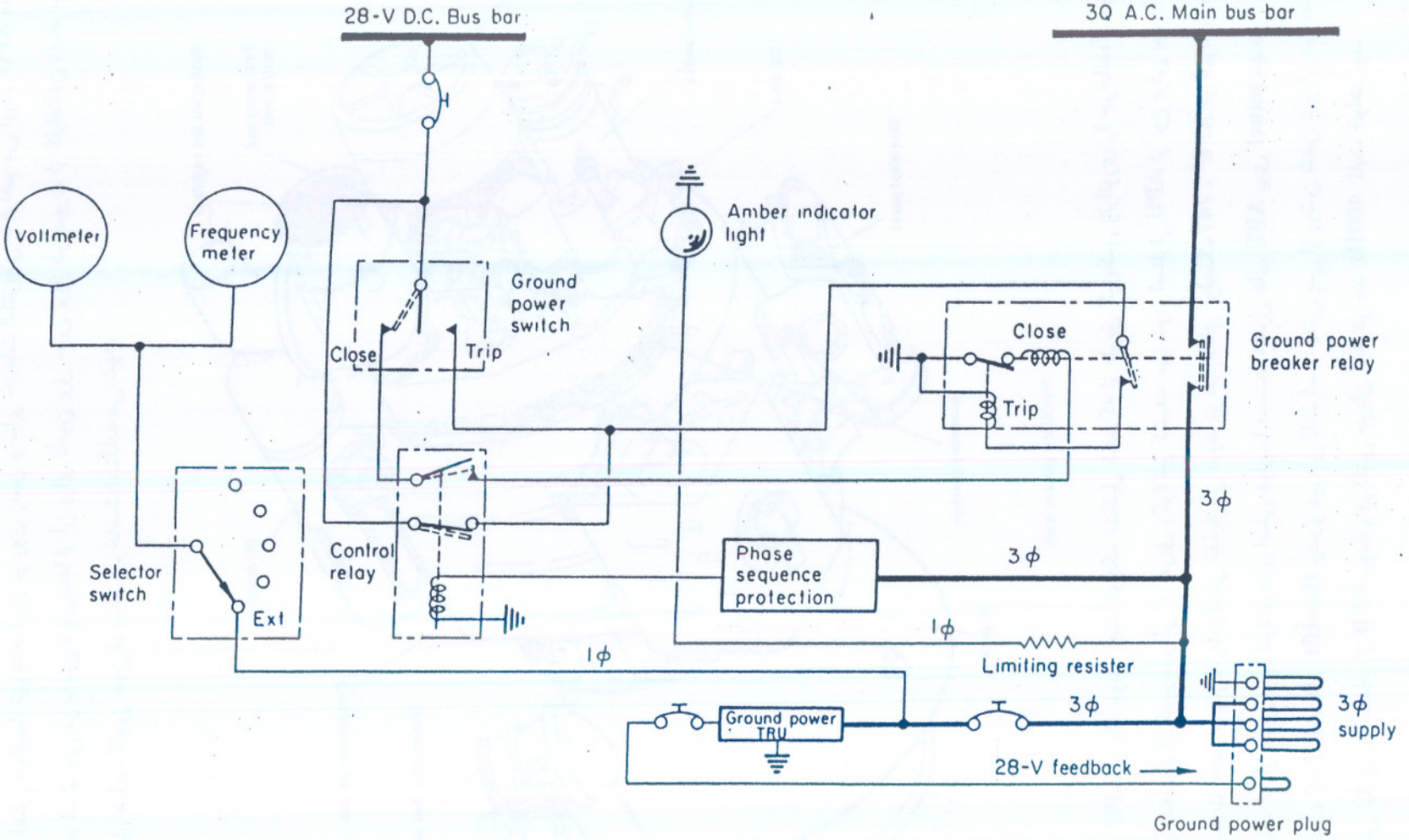
Vital services are those which would be required after an emergency wheels-up landing, e.g. emergency lighting and crash switch operation of fire extinguishers. Those are connected directly to the battery.

Essential services are those required to ensure safe flight in an in-flight emergency situation. They're connected to d.c. and a.c. busbars, as appropriate and in such a way that they can always be supplied from a generator or from batteries.

Non- essential services are those which can be isolated in an in-flight emergency for load shedding purpose, and are connected to d.c and a.c. busbars, as appropriate, supplied from generator.



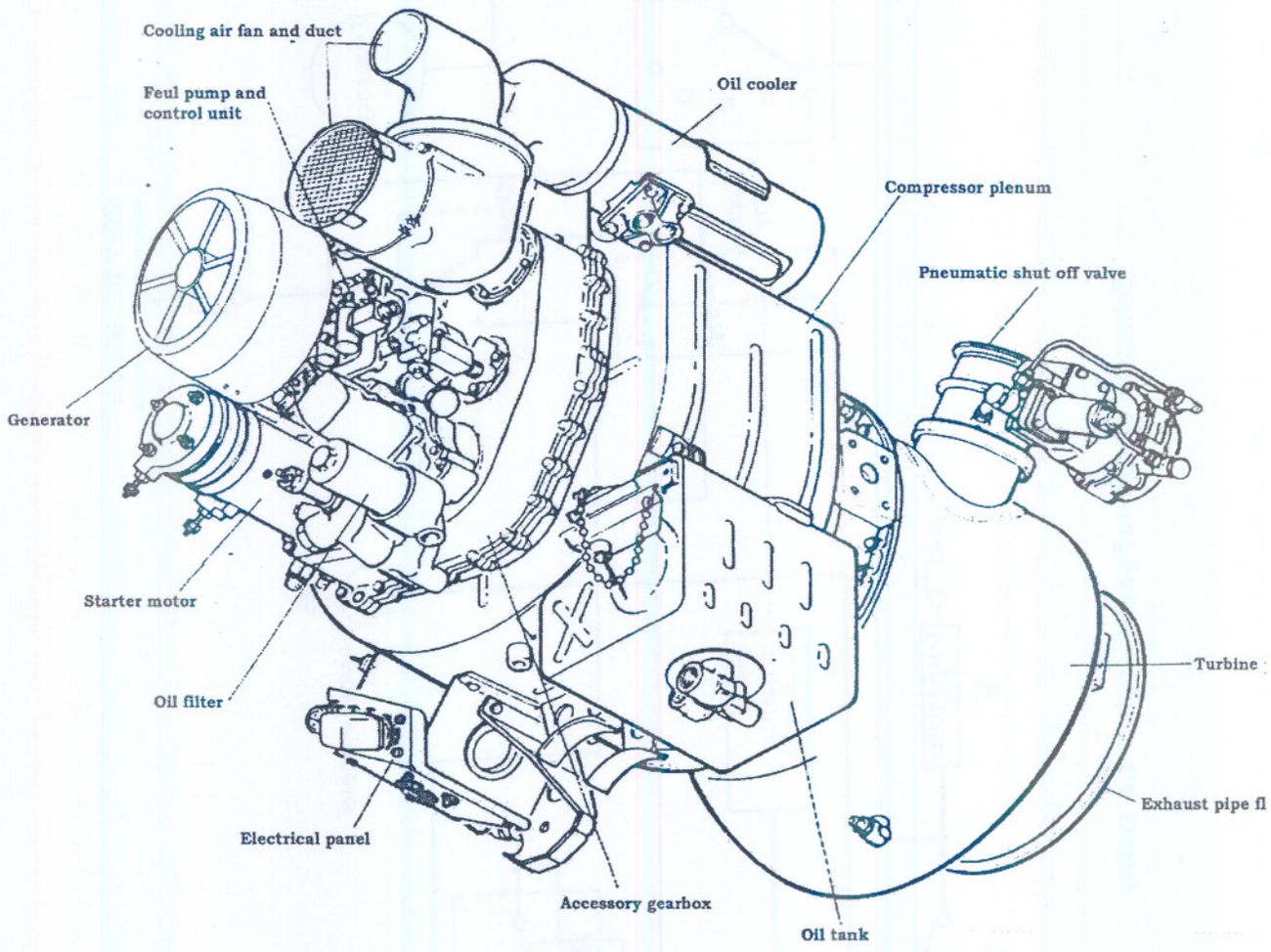
Split busbar system.



Schematic of a ground power supply – a.c. system

Auxiliary Power Units (A.P.U.)

بسیاری از هواپیماهای امروزی به گونه ای طراحی شده اند که در صورت لزوم بی نیاز از تجهیزات پشتیبانی زمینی (GPU) بوده و این امر از طریق تعبیه یک **APU** صورت پذیرفته است که بعد از روشن شدن توسط سیستم باطری، انرژی لازم برای استارت زدن موتورهای اصلی هواپیما، تهویه مطبوع در روی زمین و سایر خدمات الکتریکی را فراهم می آورد. **APU** معمولاً در روی زمین مورد استفاده است ولی در بعضی هواپیماها از آن برای تأمین برق حین پرواز در صورت از کارافتادن دینام موتورگرد و نیز برای تکمیل تحویل هوا به کابین حین نشست و برخاست استفاده می شود.



Auxiliary power unit

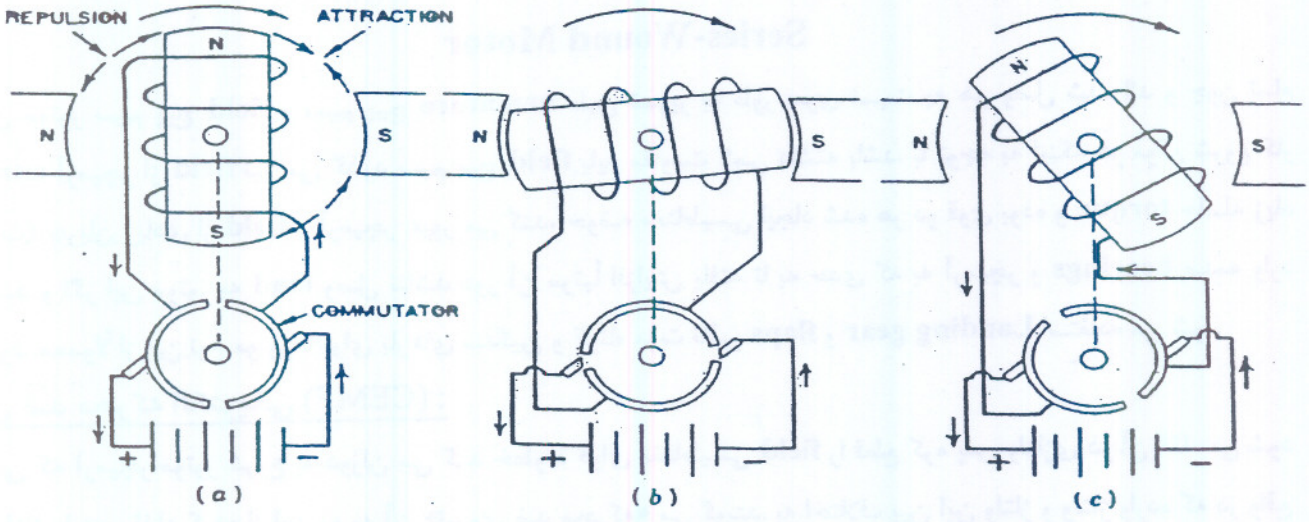
بطور کلی طبق تصویر **APU** از یک موتور جت کوچک تشکیل شده که از طریق گیربکس ژنراتوری را چرخانده و هوای مورد نیاز برای سیستم تهویه مطبوع از کمپرسور آن از طریق رگولاتور کشیده می شود. استارتر **APU** از نوع برقی بوده که توسط باطری هواپیما، و در صورت وجود منبع قدرت زمینی تغذیه می شود. در هواپیمای **بوئینگ747** ، **APU** دو آلترناتور با ظرفیت **90 KVA** را می چرخاند که از همان نوع آلترناتورهای اصلی هواپیما هستند کنترل های **APU** روی **panel** مهندس پرواز قرار دارند. لازم به توضیح است که **APU** فاقد **throttle** بوده و دور آن ثابت است یعنی پس از روشن شدن دور آن در حد **rated rpm** ثابت می ماند پس نیازی به استفاده از **CSD** نبوده و فرکانس جریان **AC** در حد **400Hz** ثابت خواهد بود.

موتور های الکتریکی

همانطوریکه دیدیم ژنراتور و آلترناتور دستگاهی است که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. یعنی انرژی مکانیکی را از موتور گرفته و با چرخش خود تولید جریان برق می نماید حال برعکس موتورهای الکتریکی دستگاههایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند و موارد استفاده فراوان نیز در همه جا از جمله هواپیما دارند. مثلاً starter موتورهای پیستونی در واقع یک موتور الکتریکی پر قدرت است و همانطوریکه می دانیم در موتورهای کوچک جت نیز برای سادگی از starter الکتریکی استفاده می شود. در اینجا گفتنی است که در بعضی از موارد از ترکیب starter-generator استفاده می گردد یعنی این دستگاه ابتدا برق گرفته و با چرخش خود موتور را روشن می کند و وقتی موتور روشن شد چون برق می دهد به generator تبدیل خواهد گردید بنابراین برخلاف starter خالی همیشه با موتور درگیر است.

طرز کار موتورهای الکتریکی

همانطوریکه در بحث مغناطیس دیدیم قطبین همنام همدیگر را دفع (repulsion) و قطبین غیر همنام همدیگر را جذب می نمایند (attraction) و در طراحی موتورهای الکتریکی از همین پدیده استفاده شده است یعنی چون موتور الکتریکی نیز همچون دینام دارای field و یا سیم پیچ field و armature است وقتی برق به موتور می دهیم هم field و هم armature دارای حوضه مغناطیسی گشته و جذب و دفع بین این دو حوضه باعث حرکت قسمت متحرک یعنی چرخش armature خواهد شد.



TYPES OF MOTOR

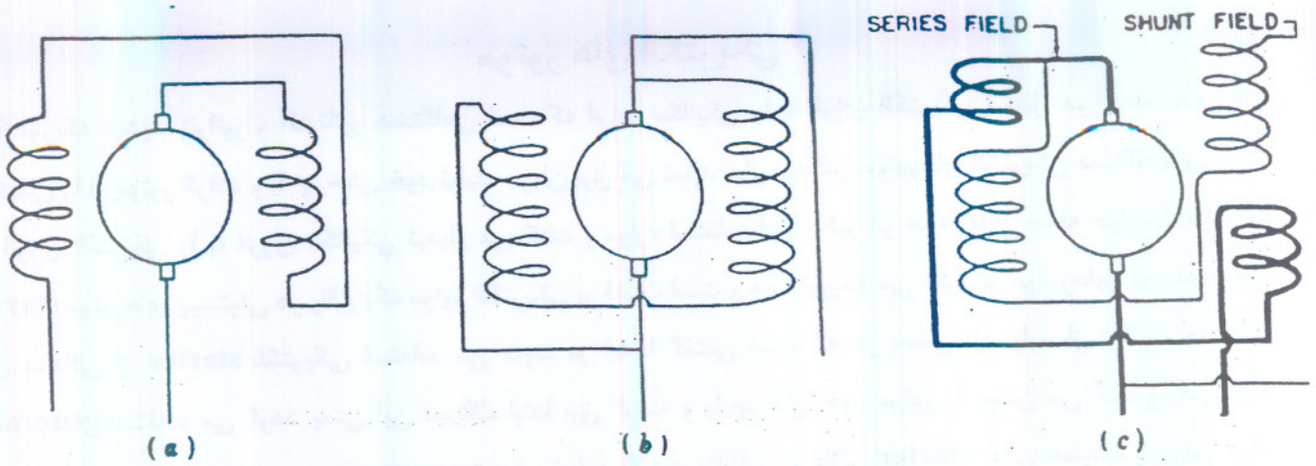
موتورهای الکتریکی نیز همچون generators با توجه به ارتباط الکتریکی بین armature و field به سه نوع تقسیم می شوند.

a. Series-Wound

b. Shunt-Wound

c. Compound-Wound.

Hint: در مواردی که نظیر پنکه زور کم یا نسبتاً کم ولی دور ثابت لازم است از موتور shunt استفاده می شود ولی در مواردی که زور زیاد بخصوص ترک اولیه (torque) زیاد نظیر starter مورد نیاز است از موتورهای نوع سری استفاده می شود. در این



Series-Wound **Shunt-Wound** **Compound-Wound.**

نوع موتورها چون آمپر زیاد در ابتدا کشیده می شود این موتورها خیلی سریع گرم خواهند کرد از این رو نباید از آنها طولانی استفاده شود مثلاً در قانون **starting** گفته می شود اگر **30** ثانیه **starter** کار کرد حداقل **5** دقیقه آن را بدون استفاده گذاشت تا خنک شود و این به علت عبور آمپر زیاد از داخل مدارات **starter** است.

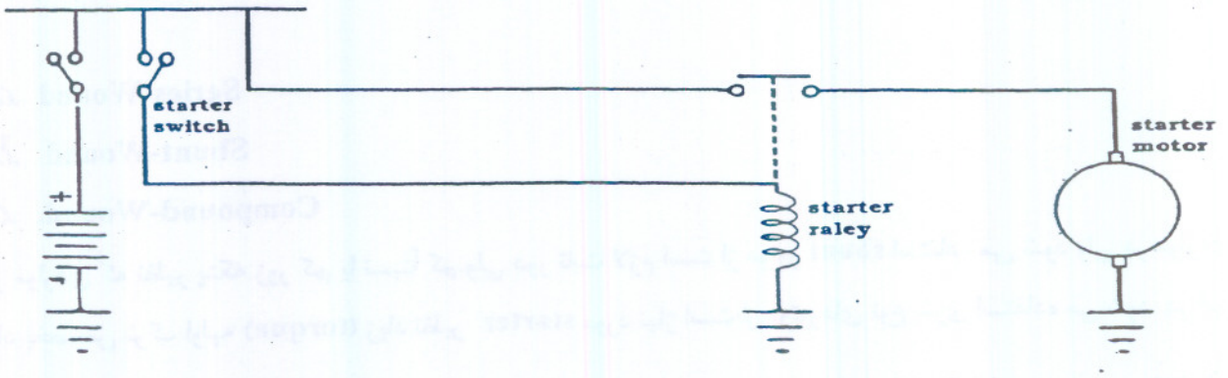
توجه ـ موتور برقی مورد استفاده برای **landing gear, wing flaps** در هواپیماهـــــای کوچک نیز از این نوع **(series-wound motor)** است.

Series-Wound Motor

در این موتور سیم پیچ **field** و سیم پیچ **armature** طبق تصویر به طور سری نسبت به هم وصل شده اند و چون تمام **current** آرمیچر از **field** نیز می گذرد سیم پیچ **field** باید مقاومت کمی داشته باشد. با توجه به اینکه در موقع شروع کار (استارت) جریان زیادی از **field** و آرمیچر عبور می کند، حوضه مغناطیسی ایجاد شده هر دو قوی بوده و **torque** حاصله زیاد می باشد و اگر این موتور به **load** وصل نباشد دور آن مرتباً افزایش یافته تا به حدی که به آرمیچر و **bearings** صدمه وارد می شود. معمولاً از این نوع موتورها برای بارهای سنگین و کوتاه مدت نظیر **flaps** و **Landing gear** استفاده می شود.

نیروی ضد محرکه الکتریکی (CEMF) :

هنگامی که آرمیچر موتور شروع به دوران می کند خطوط قوای مغناطیسی **field** را قطع کره پس ولتاژی در آن القاء می شود که با ولتاژ وارده مقابله کرده از این رو به آن «نیروی ضد محرکه» می گویند. به اختلاف بین این ولتاژ و ولتاژ وارده که در واقع ولتاژ مؤثر است **net emf** گویند. و واضح است هر چه دور موتور بیشتر باشد این ولتاژ کمتر خواهد شد. پس در ابتدای کار موتور که دور کم است، بیشترین آمپر وارد موتور شده و هر چه دور بیشتر شود، آمپر ورودی کمتر خواهد شد.



Shunt-Wound Motor

موتور موازی : در این نوع موتور برقی طبق تصویر **field** و آرمیچر موازی با هم بسته شده اند. بنابراین جریانی که از **field** می گذرد ثابت است و بستگی به مقاومت اهمی سیم پیچ **field** دارد. معمولاً این سیم پیچ مقاومت زیادی دارد بنابراین حوضه مغناطیسی **field** ضعیف است که در نتیجه موتور نیروی **start** کمی دارد (**low starting torque**) ولی دور آن در **load** های مختلف تقریباً ثابت است. (**good speed regulation**).

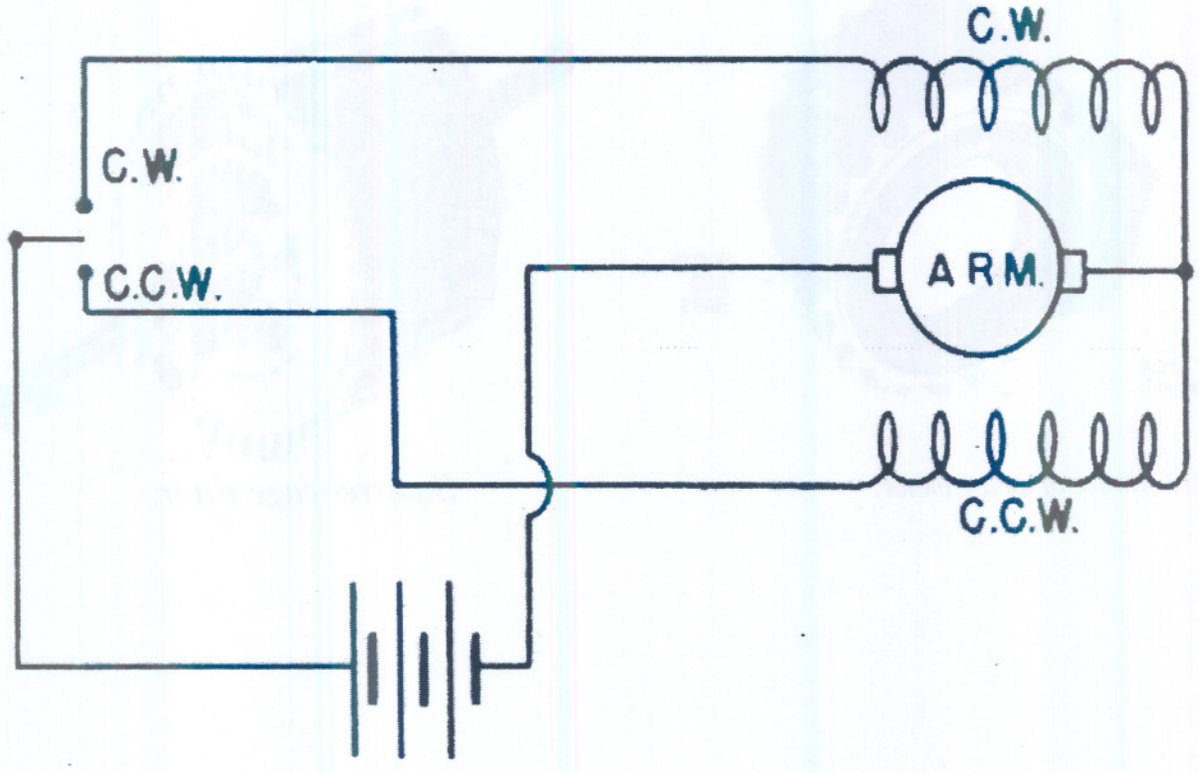
Compound-Wound Motor

این نوع موتورها دارای دو سیم پیچ در **field** می باشند. یکی بطور موازی با آرمیچر و دیگری به صورت سری با آرمیچر بسته شده است. بنابراین این نوع موتور هم خاصیت موتور سری و هم خاصیت موتور موازی را دارد و معمولاً برای بارهای سنگینی که احتیاج به دور ثابت دارند استفاده می شود.

Point ـ در موتورهای **DC** اگر جهت جریان در آرمیچر و یا در **field** عوض شود جهت چرخش موتور نیز عوض می شود ولی اگر جهت جریان در آرمیچر و یا در **field** عوض شود، جهت چرخش تغییر نمی کند.

Reversible Motor

موتوری است که هم در جهت ساعت (**clockwise**) و هم عکس ساعت (**counter clock wise**) می چرخد و می تواند کاربرد آن برای **flap** و **landing Gear** باشد طبق تصویر مدار این موتور از دو **Field** مختلف تشکیل شده است و با قرار دادن سوئیچ در روی **polarity (CW)** حوضه مغناطیسی **field** به گونه ای است که موتور **CW** می چرخد و با قرار دادن سوئیچ روی **C.C.W** قطبین عوض شده و موتور **C.C.W** می چرخد.



AC Motors

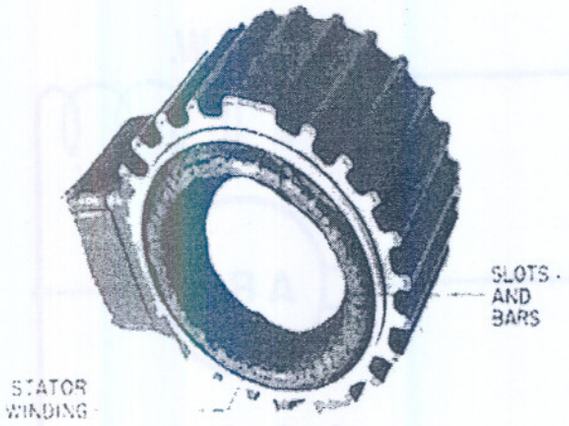
این موتورها با برق متناوب (AC) کار می کنند و یک نوع ساده آن با برق یک فاز کار می کند به آن **universal motor** گویند که هم با برق مستقیم و هم با برق متناوب کار می کند و ساختمان آن مانند موتور DC می باشد. چون جهت جریان در **field** و آرمیچر همزمان عوض می شود جهت چرخش آرمیچر تغییر نمی کند. نوع دیگر موتورهای **AC** که با برق سه فاز کار می کند بدین ترتیب است که **stator** آن از سه سیم پیچ مستقل تشکیل شد که جریان سه فاز با **120** درجه اختلاف به هر یک از این سیم پیچ ها وارد می شود که در نتیجه حوضه مغناطیسی دواری در داخل **(stator) field** به وجود می آید که سرعت چرخش آن مساوی فرکانس برق اعمال شده می باشد. **rotor** آن تشکیل شده است از سیم های مسی که در دو طرف بوسیله **ring** به یکدیگر وصل شده اند به این **rotor** اصطلاحاً **squirrel cage** (قفس سنجابی) می گویند. حال اگر این **rotor** در داخل **stator** قرار گیرد به دلیل اینکه حوضه مغناطیسی **stator** می چرخد بنابراین هر سه عامل برای ایجاد جریان (القاء) وجود دارد.

a. **Conductor**

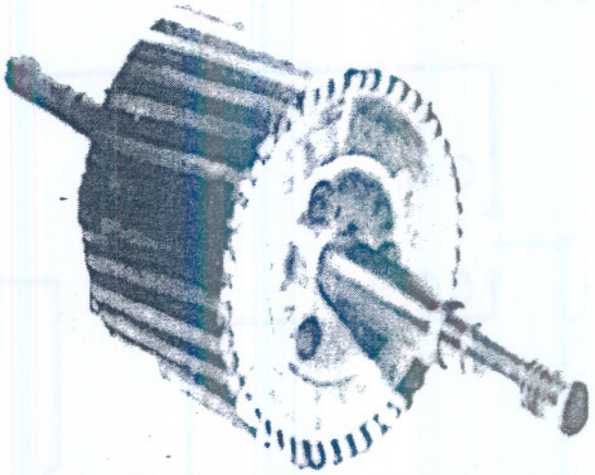
b. **Magnetic field**

c. **Relative motion**

در نتیجه جریانی در سیم های **rotor** القاء می شود که به خاطر ایجاد این جریان **rotor** دارای حوضه مغناطیسی شده و این حوضه و حوضه **stator** روی هم اثر گذاشته و باعث چرخش **rotor** می شود. باید توجه داشت که در این نوع موتور فقط به **stator** برق داده می شود و به **rotor** از خارج جریانی را اعمال نمی کنند. به این نوع موتور که دور آن ثابت است موتور القائی یا **(induction motor)** گویند.



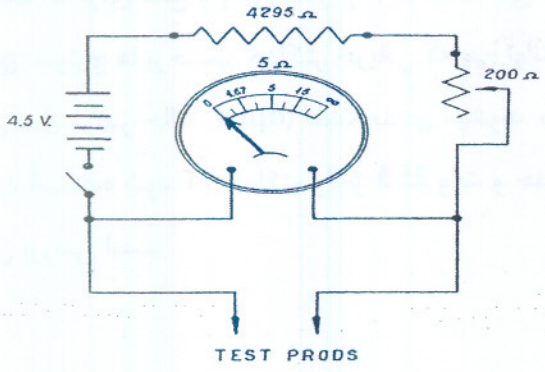
Stator of an a-c motor.



Squirrel-cage rotor.

Electric Measuring Instruments

a. Ohmmeter

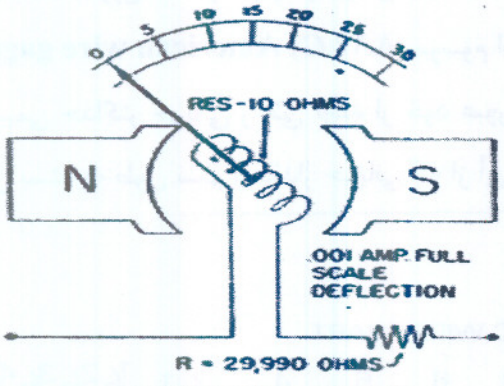


وسیله ای است که مقدار مقاومت یک **Resistor** را اندازه می گیرد و در موقع اندازه گیری مقدار یک مقاومت که در مدار است باید اولاً مدار خاموش باشد. ثانیاً اقلاً یک طرف مقاومت از مدار جدا باشد. از **Ohmmeter** برای **Continuity check** نیز استفاده می شود.

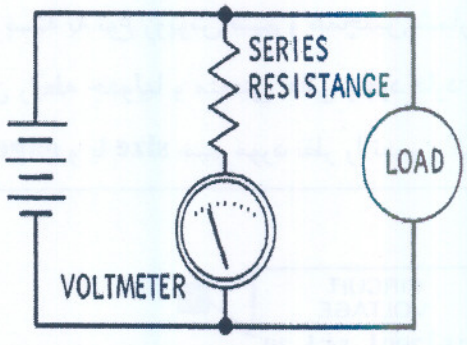
b. Voltmeter

وسیله ای است که برای اندازه گیری ولتاژ یک منبع و یا افت ولتاژ در یک قسمت از مدار استفاده می شود و مقاومت داخلی آن خیلی زیاد بوده و باید بطور موازی با منبعی که می خواهیم ولتاژ آن را اندازه گیری کنیم وصل شود.

توجه: در ولت متر همیشه سیم مشکی منفی و سیم قرمز مثبت محسوب می شود.



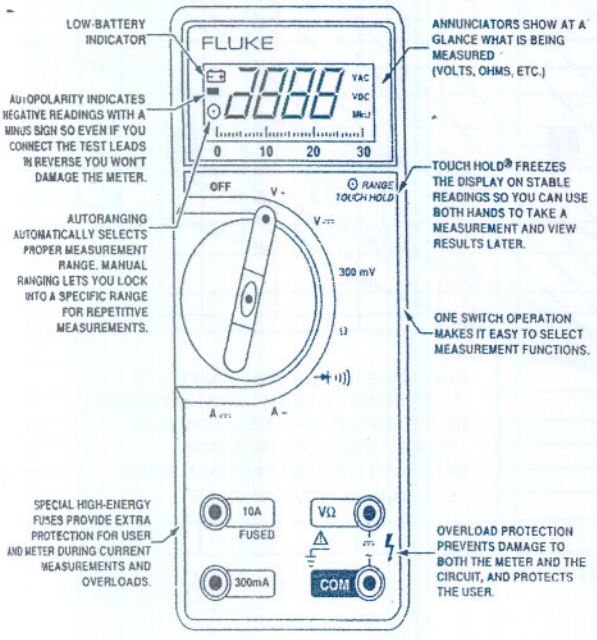
Voltmeter circuit.

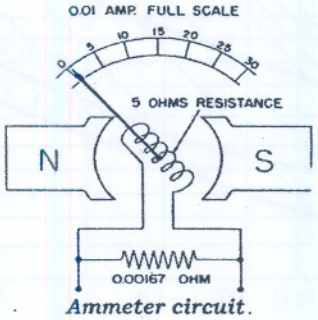


Voltmeter connected in a circuit

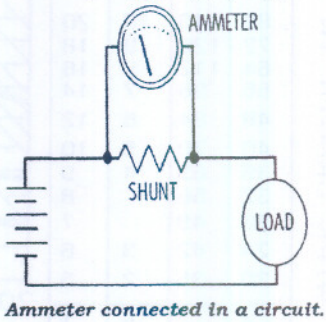
c. Ammeter

وسیله ای است که برای اندازه گیری جریان آمپر بکار می رود. مقاومت داخلی آن بسیار کم و باید به قسمتی که می خواهیم جریان آن را اندازه گیری کنیم بطرو سری وصل شود. بطوریکه تمام جریان که از قسمت مورد نظر عبور می کند از آمپرمتر نیز عبور نماید.





Ammeter circuit.



Ammeter connected in a circuit.

Switches

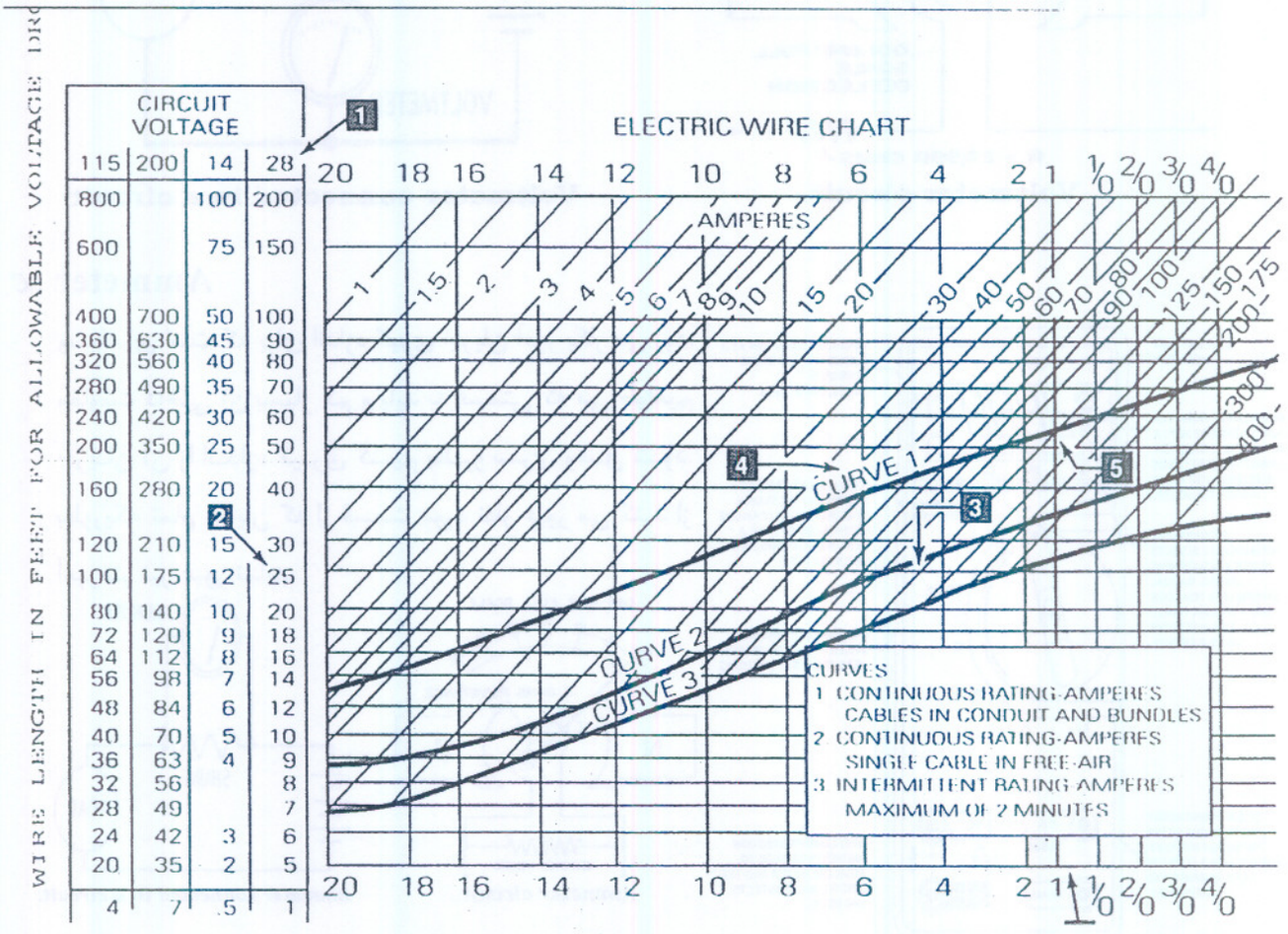
وسیله ای است که برای قطع و وصل مدار از آن استفاده می شود به طوریکه موارد استفاده آن بستگی به انواع آن دارد.

انواع سوئیچ: سوئیچ ها برحسب حداکثر جریانی که می توانند از خود عبور دهند (در حالت **closed**) و حداکثر ولتاژی که می توانند تحمل نمایند (در حالت **open**) طبقه بندی میشوند. مثلاً سوئیچ **15** آمپر **250** ولت مقصود این است که این سوئیچ در سیستمی باید استفاده شود که حداکثر ولتاژ **250** ولت و حداکثر جریان **15** آمپر را از خود عبور دهد. در رابطه با کلیدها واژه های زیر قابل بررسی است.

DPDT = Double pole . Double Throw
SPST = Single Pole . Single Throw
SPDT = Single pole . Double Throw
DPST = Double pole . Single Throw

Electrical Cables

سیمهائی که در هواپیما مورد استفاده هستند از نظر قطر سیم شماره گذاری شده اند و از سیم شماره چهار صفر **(0000)** که قطر آن زیاد است شروع شده و سیم نازکتر آن **0.00.000** و از **1** و **2** و **4** الی **20** تقسیم بندی شده است. این سیستم شماره گذاری به **American wire gage (A.W.G)** موسوم است و همچنین بسته به نوع روپوش سیم و همچنین شماره سیم (قطر سیم) هر سیمی حداکثر جریانی را می تواند از خود عبور دهد که در این رابطه جدولها و منحنی هائی وجود دارد که به کمک آنها می توان بسته به طول سیم و مقدار جریانی که از آن عبور می کند **gage** و یا **size** سیم مورد نظر را تعیین کرد.



مسئله – برای عملکرد فلاپ یک هواپیمای کوچک از یک موتور برقی **1.1** اسب بخار استفاده شده است. مطلوبست :

الف) محاسبه شدت جریان مدار ؛

ب) اگر فاصله منبع تغذیه از این موتور **20ft** باشد، شماره سیم مورد استفاده مجاز چقدر باید باشد ؟

حل : با توجه به ولتاژ **28** در این هواپیما به آسانی در میابیم که شدت جریان مدار حدودا **30A** میشود و اگر از چارت صفحه قبل استفاده کنیم جواب سیم شماره **12** است.

افت ولتاژ مجاز در سیستم

جدول رو به رو حداکثر افت ولتاژی را که می تواند بین جعبه تقسیم **(bus bar)** و هر یک از دستگاههای الکتریکی روی دهد به نمایش می گذارد. افت ولتاژ بین خود ژنراتور و **bus** و یا باطری و **bus** نباید از **2** درصد ولتاژ مقرره سیستم تجاوز نماید. همانطوری که ملاحظه می کنید مقدار مجاز افت ولتاژ برای کاربردهای منقطع دو برابر مقادیر عادی است.

Allowable voltage drop

Nominal system voltage	*Continuous operation*	*Intermittent operation*
14	0.5	1.0
28	1.0	2.0
115	4.0	8.0
200	7.0	14.0

COPPER ELECTRIC WIRE CURRENT-CARRYING CAPACITY

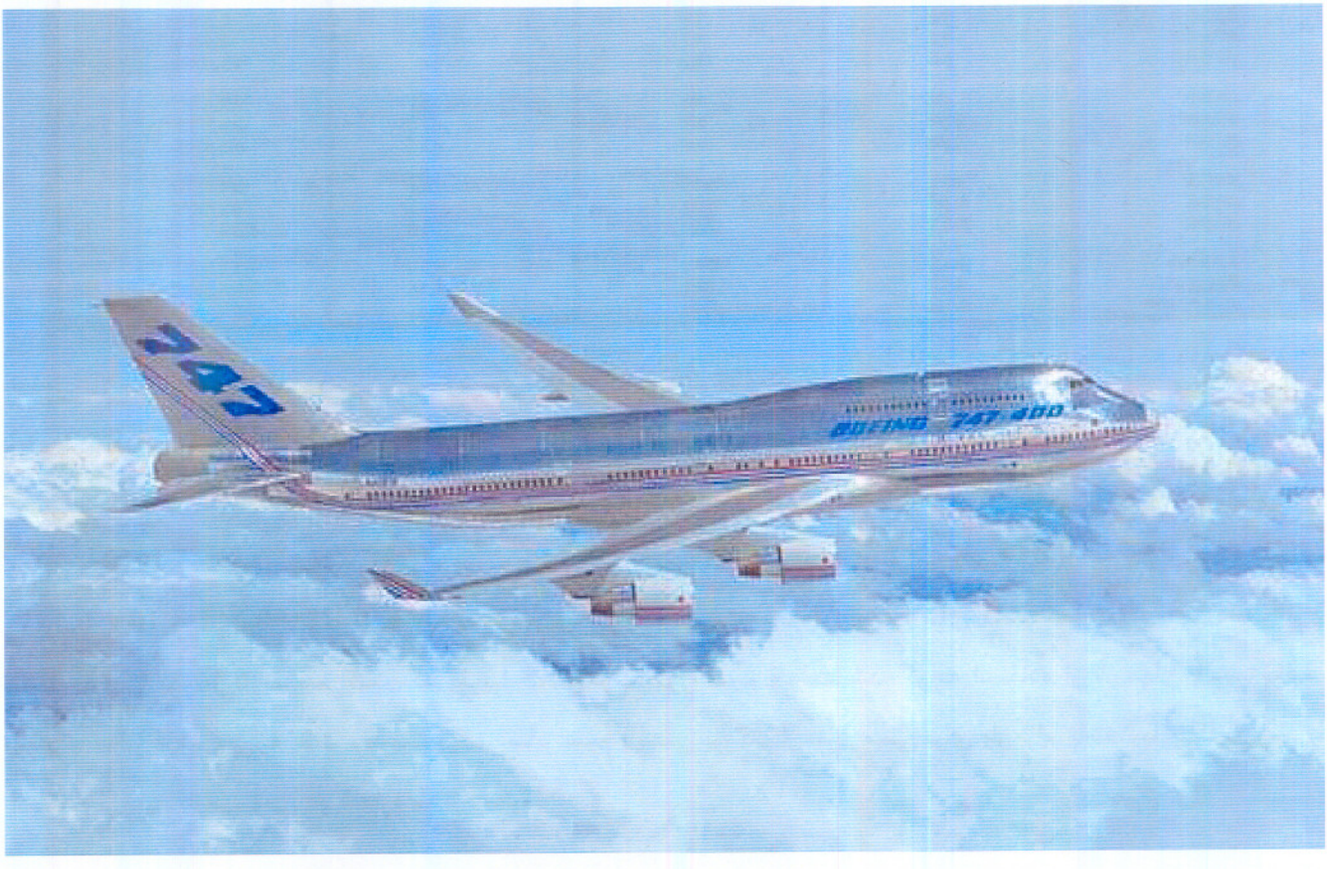
Wire size—Specification MIL-W-5086	Single wire in free air-maximum amperes	Wire in conduit or bundled-maximum amperes	Maximum resistance-ohms/1.000 feet (20 °C)	Nominal conductor area-circular mills
AN-20	11	7.5	10.25	1,119
AN-18	16	10	6.44	1,779
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				
[illegible]				

جدول بالا در مورد سیمهای مسی با شماره های مختلف اطلاعات جامعتری در رابطه با حداکثر جریانی که می توانند درهوای آزاد و داخل **bundle** و **conduit** عبور دهند سطح مقطع و وزن سیم بدست می دهد. به عنوان مثال می خواهیم افت ولتاژ در سیم نمره **18** به طول **100** فوت و حامل **10** آمپر را تعیین کنیم. برای این منظور باید از فرمول اهم استفاده کنیم. طبق جدول مقاومت **1000** فوت سیم شماره **18** برابر است با **6.44** اهم پس مقاومت **100** فوت آن برابر **0.644** اهم خواهـــــد شد. پس $E = RI = 0.644 \times 10 = 6.44V$ که به مراتب بیشتر از یک ولت مجاز است پس برای کسب افت ولتاژ مجاز یک ولت باید **100** فوت را بر **6.44** تقسیم کنیم که تقریباً **15.5** فوت طول سیم خواهد شد. گرچه استفاده از سیمهای آلومینیومی در هواپیما مجاز است ولی به علت مقاومت بیشتر سایز سیم بایستی بزرگتر از سیم مسی برای بار برابر باشد. بطور کلی روش رایج استفاده از سیم آلومینیومی دو شماره بالاتر است.

سیستم الکتریکی یک هواپیمای مسافربر

در خاتمه با توجه به مطالبی که در کلیه زمینه های مبحث الکتریک هواپیما فراگرفته اید به جا است که تصویری اجمالی از سیستم الکتریک هواپیمای مسافربری برای تکمیل شدن درس ارائه گردد.

همانطوری که می دانید **airliners** به چند موتور جت مجهزند و سیستم الکتریکی شان با توجه به محسنات برق متناوب از نوع **AC** است. پس در روی هر موتور یک آلترناتور سه فاز نصب است که ولتاژ تک فاز آن حدود **110** و سه فاز آن **200** ولت است که نحوه اثبات آن را قبلا ارائه کرده ایم و چون این گونه هواپیماها در ارتفاعات بالا که دانسیته هوا بسیار کم است پرواز می کنند به منظور اجتناب از جرقه زایی این دینام ها از نوع **brushless** هستند و نیز می دانید که برق **AC** برخلاف **DC** دارای فرکانس است و برای استفاده بهینه از این عامل بر خلاف برق شهر که فرکانس **50** هرتز است فرکانس برق هواپیما **400** هرتز است و نیز می دانیم که ولتاژ توسط **voltage regulator** قابل کنترل بوده ولی دستگاهی برای کنترل فرکانس وجود ندارد و فرکانس فقط به **RPM** آلترناتور بستگی داشته و برای ثابت ماندن آن دور آلترناتور باید ثابت بماند و با توجه به تغییرات دور موتور جت در فازهای مختلف پروازی برای ثابت ماندن دور آلترناتور بدون توجه به دور موتور بین آلترناتور و موتور دستگاه **CSD** قرارداده می شود که قبلا در مورد آن صحبت کرده ایم و نهایتا اینکه وقتی همه موتورها روشن هستند برق همه آلترناتورها وارد یک شبکه می شود و برای اینکه این عمل امکان پذیر باشد ولتاژ و فرکانس همه آلترناتورها بایستی حتی المقدور یکسان باشد و به این فرآیند اصطلاحا پارالل کردن گویند که در هواپیماهای قدیمی تر توسط مهندس پرواز صورت گرفته ولی در هواپیماهای جدید که **two man crew** هستند این عمل به طور خودکار صورت می پذیرد ضمن اینکه کل **load** الکتریکی هواپیما حتی المقدور به تساوی بین دینام ها تقسیم می گردد تا به اصطلاح عدالت رعایت گردد.



در این هواپیماها برای توصیف توان دینام ها به عوض کیلووات از سمبل **KVA** استفاده می شود مثلا در **Boeing 747** هر موتور دارای یک آلترناتور به قدرت **90KVA** است.دلیل این مسئله این است که در سیستم **DC** یک ولت آمپر برابر یک وات است ولی در سیستم **AC** یک ولت آمپر الزاما برابر یک وات نیست و فقط در صورتی چنین است که بین منحنی ولتاژ و منحنی جریان اختلاف فاز (Φ) برابر صفر باشد. نکته مهم دیگر اینکه همه نیاز الکتریکی یک **airliner** از نوع **AC** نبوده و اتفاقا بخش قابل توجهی از دستگاه ها از برق **DC** استفاده می کنند از این رو این هواپیماها دارای شبکه وسیع **DC** بوده و نیاز آن ها به برق **DC** توسط **TRU** پر قدرت تامین می شود .بدین طریق که برق سه فاز **AC** وارد این دستگاه گشته ابتدا ولتاژ آن توسط ترانس کاهنده به **28 VAC** کاهش یافته و سپس با عبور از مدار rectifier به برق **DC** کامل تبدیل می گردد که ضمن تغذیه شبکه **DC** باتری هواپیما را نیز شارژ می نماید و همانطور که می دانید این باتری های پر قدرت با کیفیت بالا از نوع نیکل-کادمیوم هستند که قبلا در مورد آن ها صحبت کرده ایم .

در طراحی سیستم الکتریکی یک airliner همچون سایر سیستم ها باید شرایط اضطراری را نیز در نظر گرفت از این رو در کلیه آن ها یک **APU** معمولا در دم نصب شده است که برای استفاده در روی زمین به هنگام توقف و یا حین پرواز بعنوان کمکی در نظر گرفته شده است که قبلا در مورد آن مفصل صحبت کرده ایم .ضمن اینکه در سینه بعضی از این هواپیماها یک دینام هواگرد نصب می شود که در صورت نیاز خلبان ضامن آن را آزاد کرده و پس از پائین آمدن برخورد ram air با پروانه آن سبب چرخش دینام گشته و حداقل برق مورد نیاز هواپیما را تامین می نماید.

اگر در موردی استثنائی کلیه دستگاه های مولد انرژی الکتریکی از دست روند باتری هواپیما قادر است برای مدت محدود حداقل نیازهای الکتریکی هواپیما را تامین نموده تا در این فاصله هواپیما بتواند در جایی فرود آید منتها در این میان همه نیاز الکتریکی هواپیما از نوع **DC** نیست که باتری جوابگوی آن باشد بلکه برخی از دستگاه ها همچون تعدادی آلات دقیق حساس الکترونیکی نیاز به برق **AC** با فرکانس **400** هرتز دارند از این رو در این هواپیماها معمولا دو عدد **static inverter** نصب می شود که برق **DC** باتری را گرفته و آن را به برق متناوب **400** هرتز با ولتاژ مناسب تبدیل می نماید .بنابراین مشاهده می شود که طبق قوانین حاکم بر طرح و ساخت این گونه هواپیماها (**FAR-25**) کلیه موارد احتمالی مد نظر قرار گرفته و تدابیر لازم اندیشیده شده است.

نکته آخر اینکه به هنگام توقف در روی زمین که موتور ها خاموش بوده و قصد استفاده از **APU** نیست برای اتصال **GPU** به اینگونه هواپیماها پیش بینی لازم شده است که قبلا بحث کرده ایم منتها چون **GPU** برق سه فاز **AC** به هواپیما می دهد Plug اتصال بر خلاف نوع **DC** دارای پنج pin می باشد.

هواپیمای مسافربری فوق سنگین **A380** دارای چهار آلترناتور، هریک به قدرت **150KVA** با فرکانس متغیر با توجه به حذف **CSD** در آنها است. در این هواپیما **500km** سیم بکار رفته و به منظور صرفه جویی در وزن، از سیم های آلومینیومی به جای مسی استفاده شده است. سیستم الکتریک این هواپیما کاملا کامپیوتری بوده و از کلیه تکنیک های مدرن موجود در آن به نحو احسن استفاده شده است.

در خاتمه یادآور می گردد که آشنائی با هر هواپیمائی مستلزم طی دوره آموزشی آن است که معمولا در شرکت های هواپیمایی به کارکنان ارائه می گردد که سیستم الکتریک آن هواپیما را نیز شامل می شود . از این رو دانشجویان عزیز با دانشی که در این کلاس فراگرفته اند می توانند و می باید از این دوره ها نهایت استفاده را ببرند.

calibrated in percentage of maximum TRU rating, AC and DC bus isolation switches, a generator paralleling switch, a battery power or external power selector switch, and a external power available light. In addition, a voltage and frequency selector switch is provided for measuring various AC and DC voltages and frequencies present throughout the electrical system. These indications are presented on the three gauges directly above the selector switch.

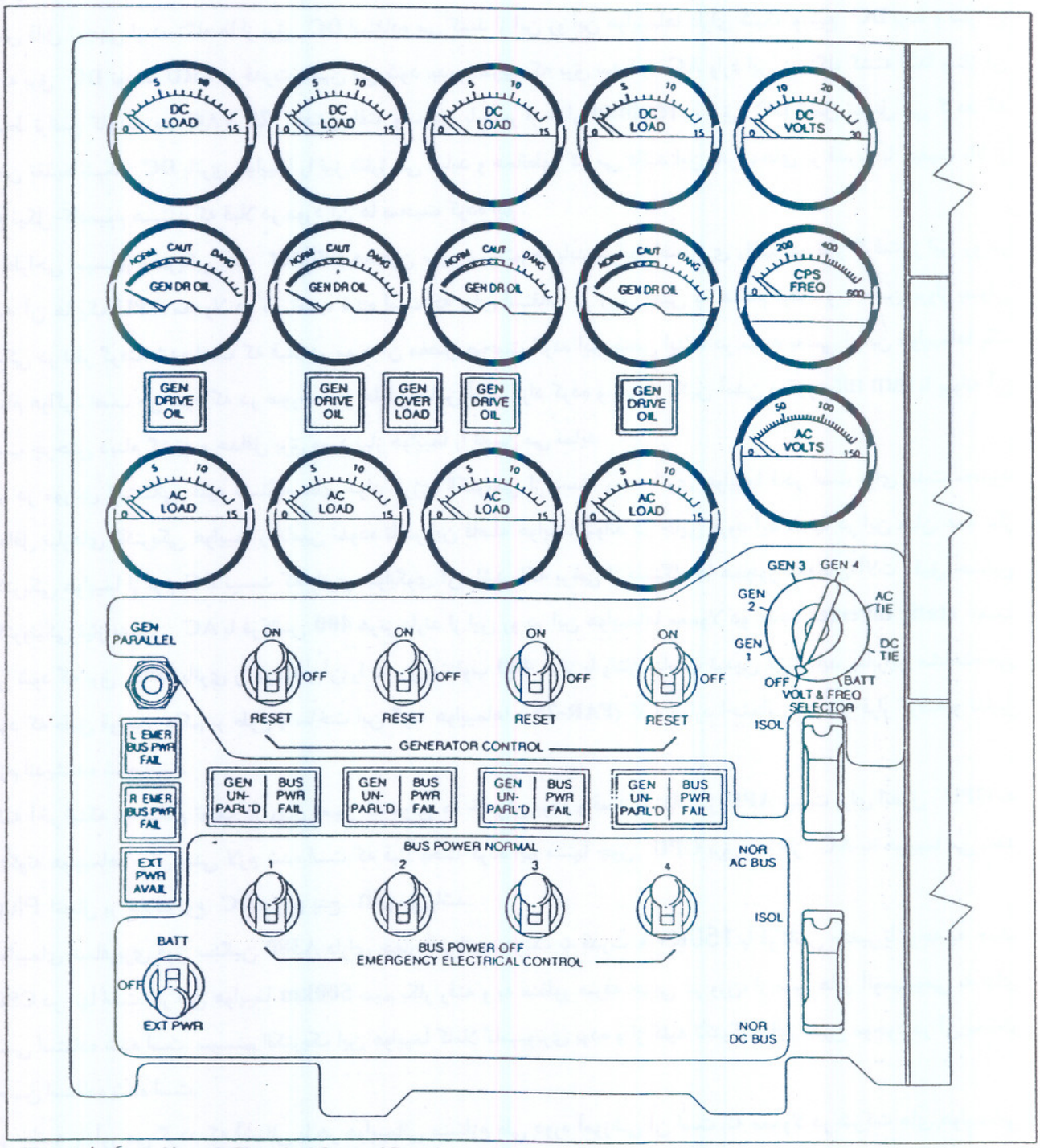


Figure 4-6 Aircraft Electrical Control Panel.

CONCLUSION

Modern day transports have replaced the flight engineer's station and his electrical control panel with a computerized system that automatically monitors and controls the aircraft's electrical system. In addition, constant speed drives are being replaced with solid-state variable-speed, constant-frequency power systems. However, the preceeding discussion on CSDs and electrical control panels is valid since the majority of airliners are still flying with this equipment.

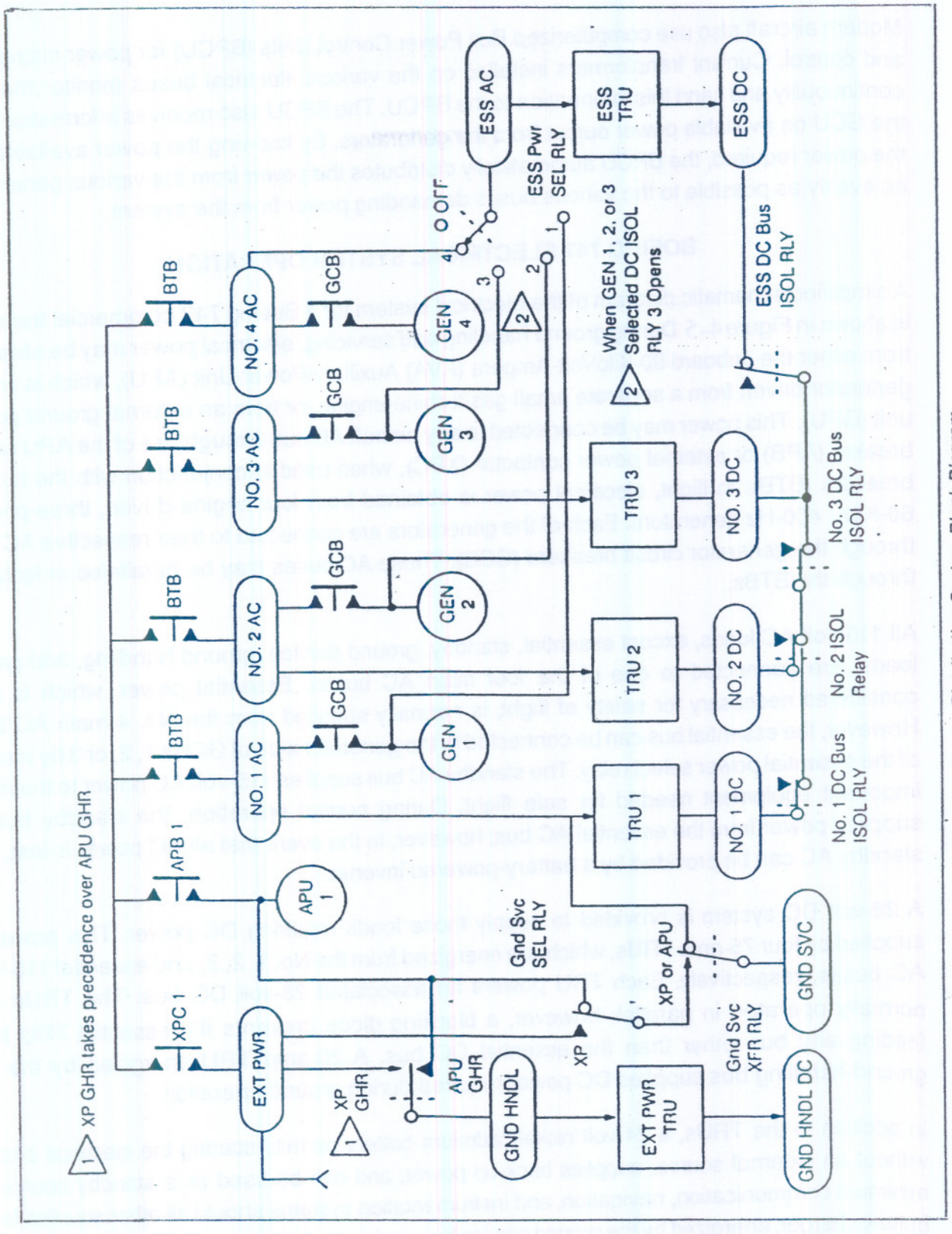


Figure 4-5 Boeing 747 Electrical Power Distribution System Block Diagram.

and power distribution system. A typical control panel for a four-engine turbine jet aircraft, such as the one for the Boeing 747 illustrated in Figure 4-6, has four CSD oil temperature gauges; four generator drive low oil pressure lights; four AC loadmeters calibrated in percentage of maximum generator rating; one generator over-load indicator light, which is annunciated when any one generator exceeds its maximum load; four generator on off switches with a reset position for "flashing" the field; four generator unparalleled lights, which annunciate if a bus-tie relay opens; and four emergency electrical control switches for load-shedding a particular bus.

The control panel also has included four bus power failure indicator lights, four DC load meters

Modern aircraft also use computerized Bus Power Control Units (BPCU) for power distribution and control. Current transformers installed on the various electrical buses monitor the load continuously and send this information to the BPCU. The BPCU also receives information from the GCU on available power output from the generators. By knowing the power available and the power required, the BPCU automatically distributes the power from the various generators as evenly as possible to the various buses demanding power from the system.

BOEING 747 ELECTRICAL SYSTEM OPERATION

A simplified schematic diagram of the electrical system for a Boeing 747 commercial transport is shown in Figure4-5 During ground handling and servicing, electrical power may be obtained from either the onboard 90 KiloVolt-Ampere (KVA) Auxiliary Power Unit (APU), which is an AC generator driven from a separate small gas-turbine engine, or from an external ground power unit (GPU). This power may be connected to any aircraft AC bus through use of the APU circuit breaker (APB) or external power contactor (XPC), when used in conjunction with the bus-tie breakers (BTB). In flight, electrical power is obtained from four engine-driven, three-phase, 60-KVA, 400-Hz generators. Each of the generators are connected to their respective AC bus through the generator circuit breakers (GCB). These AC buses may be paralleled or isolated through the BTBs.

All 115-volt AC loads, except essential, standby, ground service, ground handling, and galley loads, are connected to one of the four main AC buses. Essential power, which is that considered necessary for safety of flight, is normally supplied from the No. 4 main AC bus. However, the essential bus can be connected to the generator side of GCBs 1, 2, or 3 by means of the essential power select relay. The standby AC bus supplies 115-volt AC power to the most important equipment needed for safe flight. During normal operation, the standby bus is supplied power from the essential AC bus; however, in the event that all AC power is lost, the standby AC can be provided by a battery-powered inverter.

A 28-volt DC system is provided to supply those loads requiring DC power. This power is supplied by four 75-amp TRUs, which are energized from the No. 1, 2, 3, and essential 115-volt AC buses, respectively. Each TRU powers an associated 28-volt DC bus. The TRUs are normally operated in parallel; however, a blocking diode prevents the essential TRU from feeding any bus other than the essential DC bus. A 20-amp TRU energized by the AC ground-handling bus supplies DC power required during ground operation.

In addition to the TRUs, a 24-volt nickel-cadmium battery permits starting the electrical system without an external source, supplies back-up power, and can be used as a standby source for minimum communication, navigation, and instrumentation systems should all other sources fail. A battery charger, energized by the ground service bus, maintains full capacity in the battery. The "hot" battery bus, for those loads requiring uninterrupted power, is always connected to the battery. The battery bus is normally energized by the essential DC bus. However, in the event of loss of essential DC bus power, it is automatically transferred to the hot battery bus. Similarly, the standby bus is normally energized by the essential bus, but can be transferred to the battery bus.

Control and Indication

The electrical control panel consists of the necessary gauges, annunciator lights, and switches to provide the flight engineer a visual indication and manual control of the electrical generation

frequency output, its speed of rotation must be kept constant regardless of the engine RPM. This is usually accomplished by means of a generator drive transmission, known as a CSD. A typical CSD will turn the generator rotor at a constant speed of 8,000 plus or minus 80 RPM.

The CSD assembly is basically an engine-driven, variable-ratio transmission which drives the input shaft of a variable-displacement hydraulic pump. The fluid pressure of the hydraulic pump is then applied to a hydraulic motor which drives the output spline connected to the AC generator. A means is usually provided to disengage the transmission from the generator at the flight engineer's control panel. However, once the transmission has been dis-engaged, it can not be re-engaged until the engine has been shut down and comes to a complete stop.

A speed governor, containing a flywheel assembly, is contained within the CSD that senses variation from the "on-speed" condition and ports fluid to or from the hydraulic pump to regulate the generator speed so that its output is 400 plus or minus 4 Hz. A magnetic trim head is installed on the speed governor to electrically change the position of the flyweights to provide fine frequency control, within plus or minus 1 Hz.

VARIABLE-SPEED, CONSTANT-FREQUENCY (VSCF) POWER SYSTEMS

In order to reduce the weight and reliability problems associated with using hydraulic CSDs to regulate generator frequency, solid-state systems have recently been developed using high-power transistors and generator control units. Not only does the Variable-Speed, Constant-Frequency power system eliminate all moving parts, except for the generator rotor

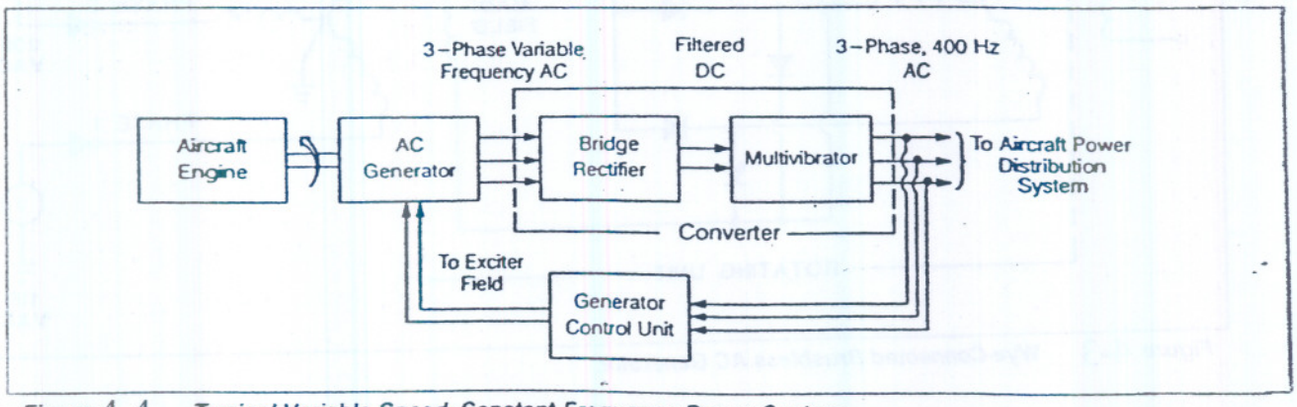
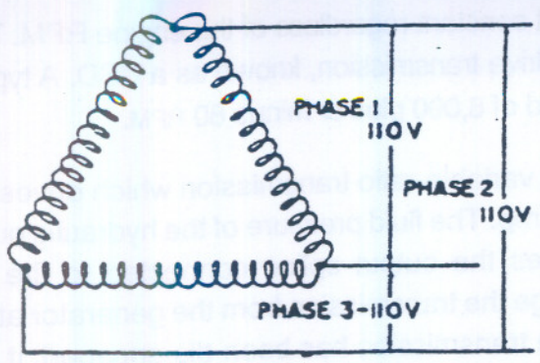


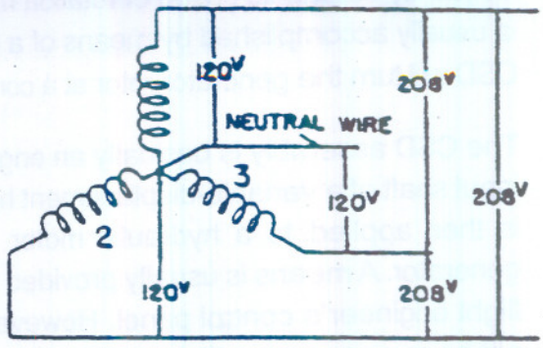
Figure 4-4 Typical Variable-Speed, Constant-Frequency Power System.

and possibly an oil pump for cooling and lubrication, but the electronic subassemblies can be remotely mounted in the fuselage, whereas the CSD must be mounted on the generator in the engine nacelle.

A typical VSCF system, as shown in Figure 4-4, consists of three units: an AC generator, a converter, and a Generator Control Unit (GCU). The three-phase, variable-frequency AC from the generator is first rectified and filtered into pure DC, which is fed to a multi-vibrator oscillator (such as in a static inverter) to produce three-phase 400-Hz AC. The GCU monitors the 400-Hz output of the converter and adjusts the current flow to the exciter field of the generator to maintain the voltage output within specified limits.



Schematic diagram of a delta-wound alternator.



Schematic diagram of a Y-connected alternator.

phase buses, instead of between one bus and ground. As shown in Figure 4-3, each wye-connected generator has a brushless exciter which supplies a DC excitation voltage to the generator during start-up. The exciter field and rotor assembly is actually a DC generator without a commutator to convert the resultant AC to DC. Instead, a rectifier assembly, which rotates with the armature, provides the DC excitation for the main field of the AC generator. When the generator output has reached approximately 50% of its operating voltage, a start relay opens which causes the voltage regulator to take control of the field excitation in order to for the generator to maintain a constant voltage output.

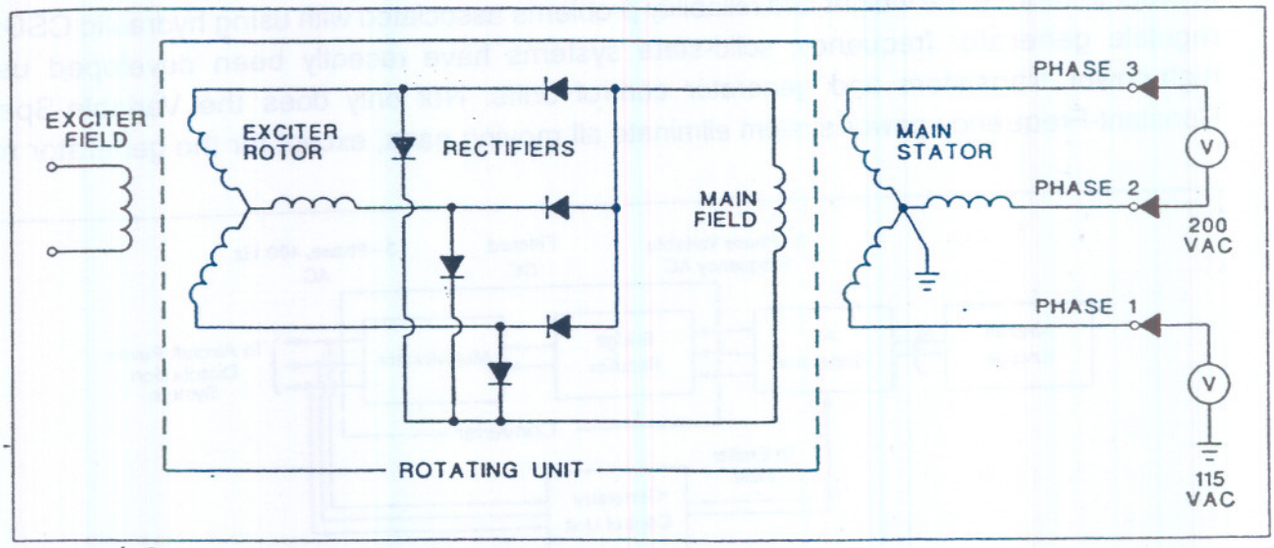


Figure 4-3 ***Wye-Connected Brushless AC Generator.***

Aircraft that have more than one generator use a paralleling circuit, whereby all operating generators are connected to the AC bus through bus-tie relays. When the generators are paralleled, the equalizing circuits in the voltage regulators monitor the outputs of the other generators on the bus and adjust the voltage of the generators so that each shares the same load.

Constant Speed Drives (CSD)

The frequency of the AC generator is dependent on the number of poles it has and its speed of rotation, as given in the following formula:

Frequency (cycles per second) = (Revolutions per minute × Pairs of Poles)/60

It can be seen from the preceding formula that in order for the AC generator to have a steady 400-Hz

HEAVY AIRCRAFT AC ELECTRICAL CIRCUIT THEORY

Light aircraft electrical systems typically only use 14-volt or 28-volt DC as the primary power source since the power requirements are moderate (perhaps no more than 10 amps) for the limited amount of onboard electrical and avionic equipments. However, since large commercial aircraft require many times more power (typically 1,500 to 3,000 amps per generator), 115-volt or 200-volt AC, three-phase, 400-Hz power is used as the primary source.

Phase Relationships

The term phase is used to relate to the number of separate voltage waves in an alternating current supply. The phase angle is the difference in degrees of rotation between two alternating currents or voltages. In a three-phase system, each phase differs from the other by 120°. The phase sequence, as shown in Figure4-2, begins when phase one increases in amplitude from zero volts at time zero. When phase one has completed 120° of its 360° cycle, phase two begins to increase from zero volts. When phase one is at 240° and phase two is at 120°, phase three begins its sine-wave cycle.

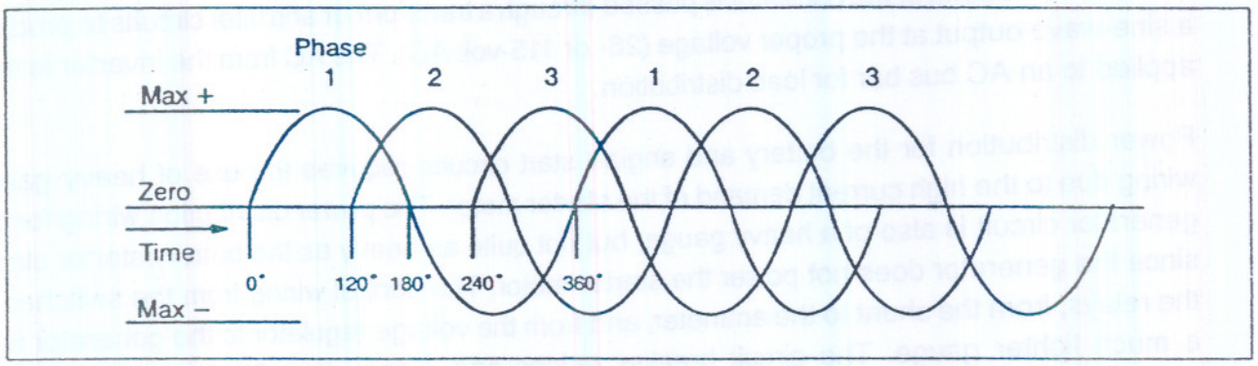


Figure 4-2 Combined Sine Waves of a 3-Phase System.

AC Generators

As previously mentioned, the AC generators used on heavy aircraft provide 115-volt or 200-volt AC, three-phase power at a frequency of 400 Hz. The three-phase generator may be considered as three single-phase generators in one machine. It requires a minimum of three wires to deliver three-phase service. The output terminals of a three-phase generator are marked to indicate the phase sequence. These terminals are connected to individual buses labeled A, B, or C, which indicate either phase 1, 2, or 3. Equipment that requires 115-volt AC three-phase power will have one wire connected to each of the three buses and one to ground, while single-phase equipment will have one wire connected to a single bus and one to ground. For maximum efficiency, the loads should be distributed as evenly as possible across all three buses on three-phase systems.

Three-phase generators may have either delta (D) or wye (Y) connected windings; however, those used for aircraft are typically wye-connected with the neutral lead attached to ground. The phase-to-phase voltage of a wye-connected generator is the vector sum of the voltage of two of the windings, which can be calculated by multiplying the square root of three by the phase-to-neutral voltage. For example, a typical wye-connected generator with a 115-volt AC phase-to-neutral voltage will have an approximate 200-volt AC phase-to-phase voltage. For this reason, 200-volt AC power can be obtained by connecting the load between two different

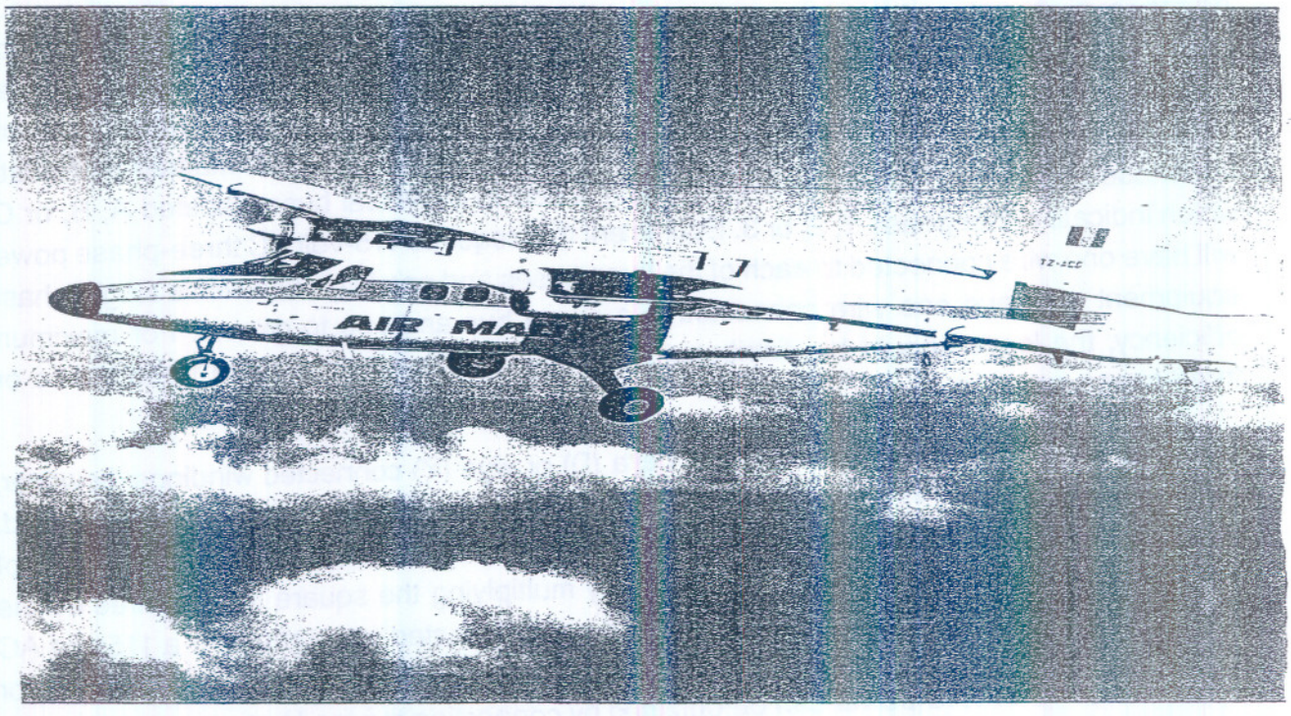
a "generator fail" warning light will illuminate in the cockpit. A switch or overvoltage relay is also provided which either opens the generator field circuit or prevents the RCR from closing should an overvoltage condition occur.

The generator output from the RCR is routed through the ammeter shunt and on to the DC bus bar. The current flowing through the very small resistance of the shunt develops a voltage drop which is applied to the ammeter in the cockpit to indicate the amount of current being drawn from the generator. The ammeter shunt is sometimes inserted in series with the battery to indicate the amount of charging current demanded by the battery.

The DC bus distributes the power to the thermal circuit breakers, which will automatically open if the current from the connected load exceeds the circuit breaker rating. If AC power is required, a circuit breaker from the DC bus will feed the input of either a rotary or static inverter, which will convert the DC input to an AC output. Rotary inverters consists of a constant-speed DC motor, which is mechanically coupled to drive an AC generator.

Rotary inverters have since been replaced with solid-state static inverters which have an internal multi-vibrator oscillator that produces an AC voltage at the desired frequency (60 or 400 Hz). The output of the oscillator is passed through a transformer and filter circuits to produce a sine-wave output at the proper voltage (26- or 115-volt AC). The AC from the inverter is then applied to an AC bus bar for load distribution.

Power distribution for the battery and engine start circuits requires the use of heavy gauge wiring due to the high current demand of the starter motor. The power distribution wiring for the generator circuit is also of a heavy gauge, but not quite as heavy as the battery/starter circuit since the generator does not power the starter motor. The control wiring from the switches to the relays, from the shunt to the ammeter, and from the voltage regulator to the generator is of a much lighter gauge. The circuit breaker ratings and wiring sizes from the bus bar are determined by the individual equipment loads. Refer to the FAA Airframe and Powerplant Handbook AC 65-15 for determining circuit breaker ratings and wire sizes.



LIGHT AIRCRAFT ELECTRICAL SYSTEM OPERATION

A typical electrical system for a light, single-engine aircraft as shown in Figure 4-1, consists of a battery circuit, generator circuit, engine-start circuit, ammeter, control switches, and a bus bar

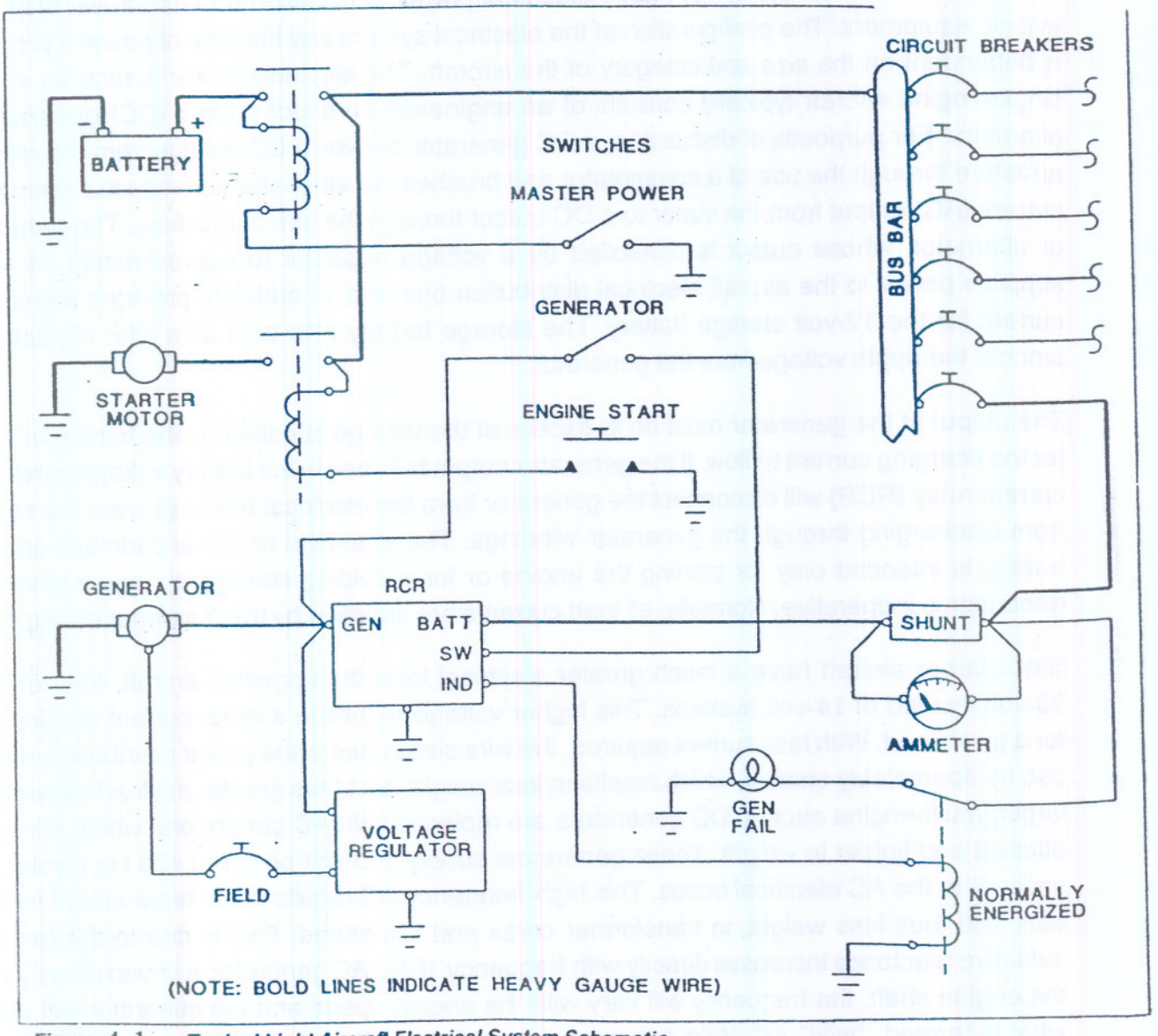


Figure 4-1 Typical Light Aircraft Electrical System Schematic.

with circuit breakers to distribute the electrical power to the various loads. The voltage supplied by the battery is applied through the battery relay, which is activated by the master switch, to the bus bar and starter relay. Depressing the engine-start button, activates the starter relay and applies the battery voltage to the starter motor mounted on the engine. The aircraft structure serves as the ground return for all electrical signals.

Once the engine is started, the generator develops an output voltage which is applied to the voltage regulator and reverse current relay. Since the generator output voltage will vary with the engine speed and the applied load, a voltage regulator is used to control the voltage output of the generator by regulating the amount of current flow through the generator field circuit.

The RCR opens whenever the generator output falls below the battery voltage, thereby preventing the battery from discharging through the generator windings. Should the RCR open,

INTRODUCTION

The aircraft electrical system provides electrical power to the onboard aircraft electrical and avionic equipment. The configuration of the electrical system and the type of power it provides is dependent on the size and category of the aircraft. The electrical power source for a light, single-engine aircraft typically consists of an engine-driven direct current (DC) generator or alternator. For purposes of discussion, a DC generator derives a DC voltage from the rotating armature through the use of a commutator and brushes; an alternator converts the alternating current (AC) output from the stator to a DC output through the use of rectifiers. The generator or alternator, whose output is controlled by a voltage regulator to approximately 14 volts, supplies power to the aircraft electrical distribution bus and, in addition, provides a charging current for the 12-volt storage battery. The storage battery also acts as a filter capacitor to smooth the ripple voltage from the generator.

The output of the generator must be in excess of the voltage supplied by the battery in order for the charging current to flow. If the generator output falls below the battery voltage, a reverse current relay (RCR) will disconnect the generator from the electrical bus to prevent the battery from discharging through the generator windings. The lead-acid or nickel-cadmium storage battery is intended only for starting the engine or for providing emergency power when the generator is inoperative. Normally, all load currents are supplied by the generator during flight.

Since larger aircraft have a much greater electrical load than smaller aircraft, they employ 28-volt instead of 14-volt systems. This higher voltage results in a lower current requirement for a given load. With less current required, the wire sizes used in the power distribution circuits can be appreciably smaller, which results in less weight, and thus greater payload capacity. In larger, multi-engine aircraft, DC generators are replaced with AC generators, which are more efficient and lighter in weight. These generators supply 115-volt power at 400 Hz (cycles per second) to the AC electrical buses. This high-frequency AC results in the requirement for less iron, and thus less weight, in transformer cores and armatures. This is due to the fact that inductive reactance increases directly with frequency. If the AC generator is driven directly from the engine shaft, the frequency will vary with the engine speed and the generator will output what is termed "wild" AC. Wild AC can be used for purely resistive loads, such as heating elements; however this frequency variation induces power factor problems when reactive (capacitive or inductive) loads are introduced. For this reason, a constant speed drive (CSD) is normally used to hydraulically drive the AC generator at a constant speed to supply a stable 400-Hz output. If a CSD is not used, the frequency of the variable-speed generator is controlled by a solid-state frequency converter.

Transformer-rectifier units (TRU) convert the 115-volt AC input to a 28-volt DC output which is fed to the DC electrical buses and to the battery charging circuits for the 24-volt storage batteries. The 115-volt AC power from the generator is also applied to step-down transformers to supply a 26-volt AC output for the reference voltage required by the various synchro circuits used in the flight instruments. In the event there is a loss of AC power, the batteries supply emergency DC power to the essential DC bus, and also to a standby inverter which supplies emergency AC power. Only equipment that is considered essential for safety of flight is provided power during an emergency power condition.