مبانی مهندسی برق

دکتر پدرام پیوندی

ژنراتور سنکرون

مقدمه :

در فصل ۲ (جلد اول) هنگام بررسی قانون فاراده‌دریافتیم که اگر یک هادی درون یک میدان مغناطیسی حرکت کند و خطوط شار را قطع کند در این صورت در هادی مذکور ولتاژ القاء میگردد . حال اگر هادی‌را ساکن نگهداریم و میدان را بحرکت درآوریم بطوریکه دوبار خطوط شار هادی را قطع نماید در این صورت نیز در هادی‌ولتاژ القاء میگردد . در این فصل خواهیم دید که ژنراتور سنکرون بر اساس همین اصل کار میکند (میدان مغناطیسی متحرک) و در خواهیم یافت‌که‌ولتاژی بمراتب بیشترنسبت به‌ژنراتور DC ایجاد میگردد . با توجه به نکات فوق نتیجه میشود که در ژنراتورهای سنکرون (۱) به حلقه‌های لغزان (۲) و جاروبک (۳) نیاز نداریم .

۱ ــ ۸ ــ ساختمان ژنراتور سنکرون : 8-1 BASIC CONSTRUCTION

ژنراتور سنکرون از دو قسمت اساسی تشکیل شده است :

الف : قسمت دوار که به آن رتور (۴) میگویند .

ب : قسمت ساکن که به آن استاتور (۵) اتلاق میگردد .

باید گفت‌که برخلاف ژنراتور DC در ژنراتور سنکرون رتور میدان مغناطیسی را بوجود می‌آورد و با چرخش محور ژنراتور این میدان بحرکت درمی‌آید . استاتور دراینگونه ژنراتورها حاوی سیم پیچ‌های ساکنی است که میتواند مصرف کننده را تغذیه نماید (شبیه آرمیچر در ژنراتورهای DC) . شکل (۱ــ۸) شمای ساده یک ژنراتور دو قطبی تک فاز را نشان میدهد .

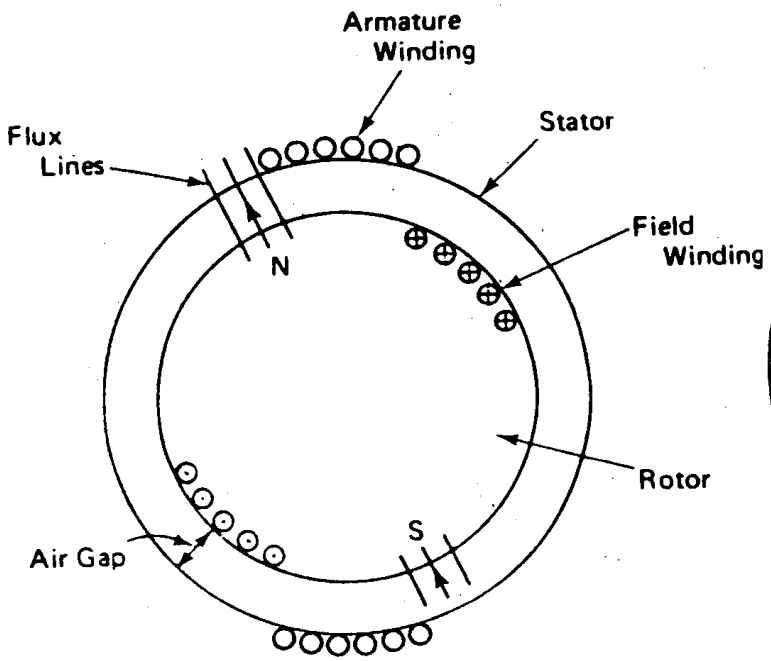
www.pedram-payvandy.com

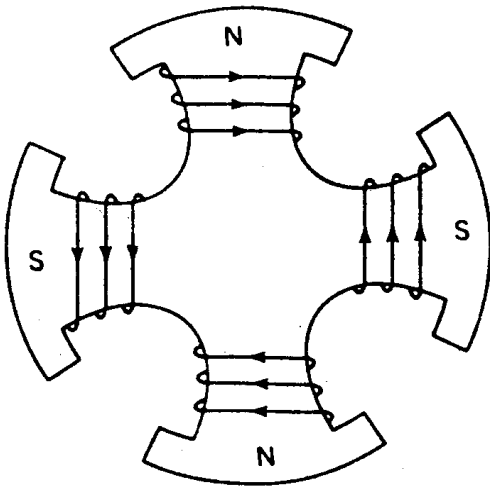
در ژنراتورهای سنکرون سیم پیچ تحریک که موجب میدان مغناطیسی است بر روی شیارهائی در رتور جاسازی میگردد . باید گفت‌که سیم پیچی تحریک در ژنراتور سنکرون توسط یک منبع ولتاژDC قابل تنظیم بنام تحریک کننده (۱) یا اکسایتر تغذیه میشود و با کنترل و تنظیم ولتاژ اکسایتر میتوان ولتاژ تولید شده در ترمینالهای ژنراتور سنکرون را کنترل و تنظیم نمود . اکسایترها بر دو نوع‌اند :

الف : اکسایتر از نوع الکترونیکی

ب : اکسایتر از نوع ژنراتور DC که‌بر روی محور ژنراتور سنکرون نصب میگردد .

www.pedram-payvandy.com





5

۲ ــ ۸ رابطه مربوط به فرکانس در ژنراتور سنکرون :

8-2 *FREQUENCY RELATIONSHIP*

از مطالب بخش قبل در می‌یابیم که فرکانس ولتاژ تولید شده تابع عوامل زیر است :

الف : تعداد قطبها

ب : سرعت رتور

$$f = \frac{\omega \mathbf{P}}{4\pi}$$

مثال ۲ ــ ۸ (سیستم SI):

میخواهیم فرکانس ولتاژ سنکرونی ۵۰ هرتز باشد؛

الف: محور ژنراتور (رتور) را با چه سرعتی باید بچرخانیم.

ب: اگر سرعت رتور (محور ژنراتور) ۸۰ رادیان‌بر ثانیه‌باشد، رتور چند قطبی باید اختیار شود.

۸ ــ ۳ ولتاژ تولید شده در سیم پیچهای استاتور 8-3 THE GENERATED VOLTAGE

ولتاژ تولید شده در سیم پیچ‌های استاتور مربوط به ژنراتور سنکرون (شکل ۱ ــ ۸)، به عوامل زیر بستگی دارد.

الف: P (تعداد قطبها)

ب: ϕ (شار هر قطب)

ج: Z (تعداد هادیها در سیم پیچ استاتور) (۱)

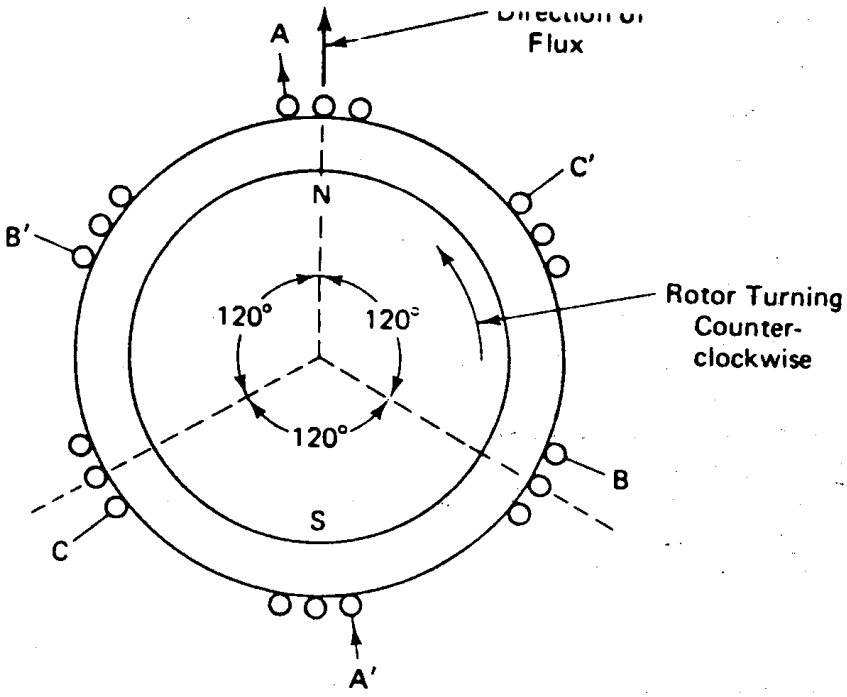
$$E_p = 2.22z\phi f$$

مثال ۴ ــ ۸ (سیستم SI) :

در یک هواپیما ژنراتور تکفازی وجود دارد که فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد میکند سیم پیچ استاتور این ژنراتور شامل ۱۲۰ دور میباشد (۲۴۰ عدد هادی) . اگر بخواهیم ولتاژ موثری معادل ۵۴ ولت ایجادشود ، شار هر قطب در این ژنراتور را بیابید .

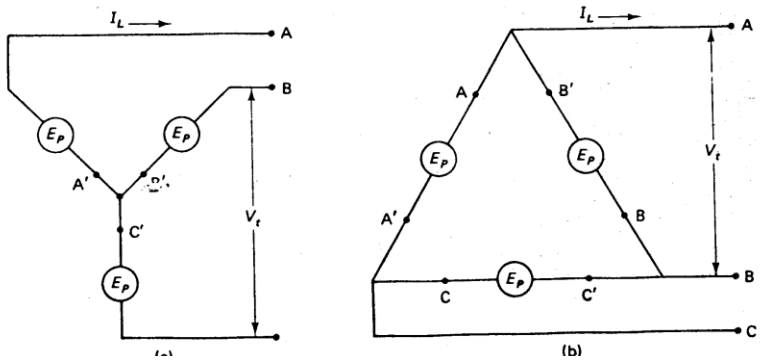
۴ ــ ۸ ژنراتور سنکرون سه فاز : *8-4 THE THREE-PHASE ALTERNATOR*

امروزه ژنراتورهای سنکرون سه فاز از مقبولیت خاصی برخوردارند . شکل (۳ ــ ۸) شمای ساده اینگونه ژنراتورها را نشان میدهد . همانطور که می‌بینیم استاتور شامل سه سیم پیچ جداگانه است و در هر یک از این سیم پیچ‌ها ولتاژ AC القاء میگردد . از آنجائیکه سیم پیچ‌های A ، B ، C حاوی تعداد مشابهی هادی (z) میباشند ، لذا مقدار ولتاژ تولید شده در این سه سیم پیچ یکسان خواهد بود . اما چون سه سیم پیچ نسبت به یکدیگر بر روی محیط استاتور ۱۲۰ درجه فاصله دارند ، لذا ولتاژهای تولید شده در این سه سیم پیچ نیز بایکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت .(مشابه شکل ۲۹ ــ ۷).



11

در شکل (a ۴ – ۸) ولتاژ ترمینال ژنراتور (V_t) معادل $\sqrt{3} \times E_p$ خواهد بود و جریان خط با جریان سیم پیچهای استاتور برابر میگردد . در شکل (b ۴ – ۸) ولتاژ ترمینال (V_t) معادل E_p بوده و جریان خط $\sqrt{3}$ برابر جریان سیم پیچ‌های استاتور میگردد . اما باید گفت که در هر دو حالت توان ظاهری (kVA) تولید شده توسط ژنراتور مفروض یکسان خواهد بود .



12

در نتیجه اگربخواهیم ژنراتوری توان ظاهری مفروض را تحت ولتاژ زیاد و جریان کم تولید نماید باید از اتصال ستاره (Y) استفاده‌شود . اگر ژنراتور مزبور را بصورت مثلث (Δ) مورد بهره‌برداری‌قراردهیم توان ظاهری مشابه حالت ستاره تولید میکند ، اما این‌بار این توان تحت ولتاژ کم و جریان زیاد حاصل میگردد .

www.pedram-payvandy.com

8-5 ALTERNATOR EQUIVALENT CIRCUIT

۵ ــ ۸ مدار معادل ژنراتور سنکرون سه فاز :

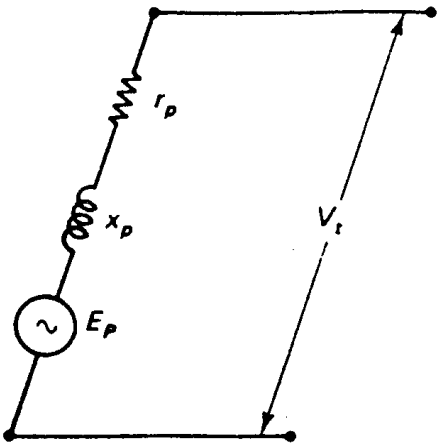
همانطورکه میدانیم سیم پیچ‌های استاتور درون شیارهائی در بدنه ماشین جاسازی شده‌اند ، لذا دارای مقاومت و اندوکتانس میباشند . در نتیجه بنظر میرسد که مدار معادل هر فاز (۱) استاتور شبیه شکل (۵ ــ ۸) باشد و با توجه به شکل میتوان چنین گفت :

الف : r_p مقاومت هر فازسیم پیچ‌های استاتور است .

ب : x_p راکتانس سنکرون (۲) هر فاز سیم پیچ‌های استاتور نامیده میشود ،

چون اکثر ژنراتورها جریان زیادی را تحویل مصرف کننده‌ها میدهد ، لذا سیم پیچ‌های استاتور ضخیم انتخاب میشوند در نتیجه x_p بمراتب از r_p بزرگتر است . معمولا " x_p حدود ۱۰ برابر r_p میباشد . امپدانس‌سنکرون ژنراتور (۱) اینچنین تعریف میشود :

$$Z_s = \sqrt{r_p^2 + x_p^2} \qquad (8\text{-}5)$$

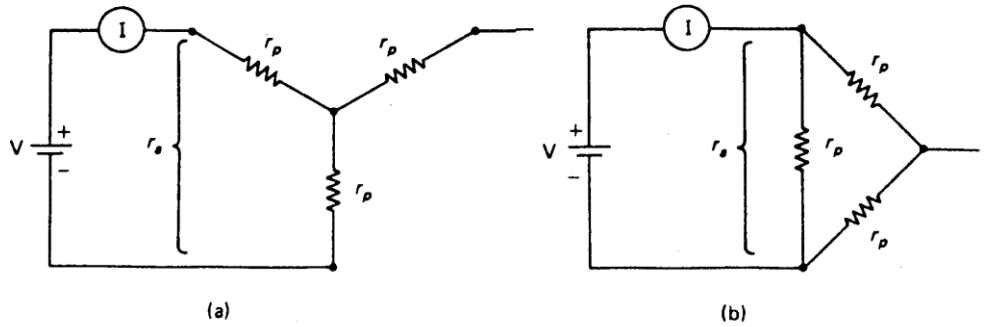


شکل ۵ ــ ۸ . مدار معادل مربوط به هر فاز استاتور در ژنراتور سنکرون سه فاز

8-5.1 Resistance Measurement

۱ ــ ۵ ــ ۸ اندازه‌گیری مقاومت سیم پیچهای استاتور:

مقاومت هر فاز استاتور را معمولا" توسط اعمال ولتاژ DC به ترمینالهای ماشین اندازه‌گیری میکنند . شکلهای (۶ ــ ۸ a) و (۶ ــ ۸ b) مدار این آزمایش را برای اتصالهای ستاره و مثلث (Y و Δ) نشان میدهد .



$$\left.\begin{aligned} \text{Y connection:} \quad r_p' &= \frac{r_a}{2} \\ \Delta \text{ connection:} \quad r_p' &= \frac{3r_a}{2} \end{aligned}\right\} \tag{8-6}$$

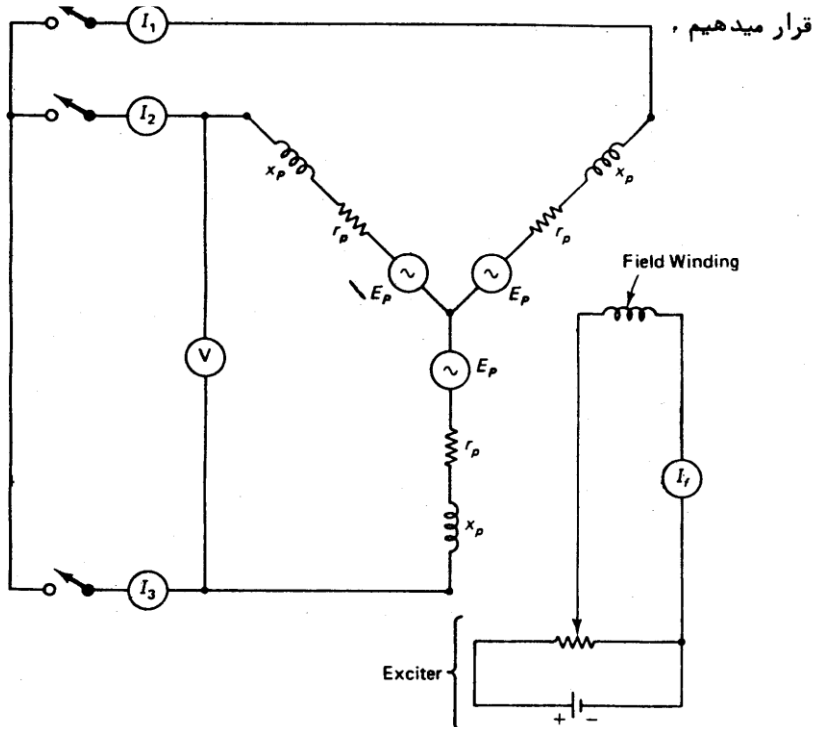
r_p' مقاومت DC هر فاز سیم پیچ‌های استاتور میباشد . مقاومت موثر یا مقاومت AC سیم پیچ‌های استاتور (r_p) اینچنین بدست می‌آید .

$$r_p = 1.4r_p' \tag{8-7}$$

اثبات رابطه اخیر از حوصله کتاب خارج است .

۸ــ۵ــ۲ اندازه‌گیری راکتانس سنکرون : 8-5.2 Reactance Measurement

برای اندازه‌گیری راکتانس سنکرون از دو آزمایش استفاده میشود و مدار معادل این دو آزمایش در شکل (۷ــ۸) رسم شده است . این آزمایش برای دو اتصال ستاره یا مثلث (Y یا Δ) صادق است ولی ما در اینجا فقط حالت ستاره (Y) را مورد بررسی



19

مثال ۵ – ۸ :

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو ولت آمپر ۵۰ = توان اسمی

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی، ترمینال

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

ستاره Y = نحوه اتصال سیم پیچهای استاتور

این ژنراتور را مطابق شکلهای (۶ a – ۸) و(۷ – ۸) مورد آزمایش قرار میدهیم نتایج این آزمایشها به قرار زیر است :

I = ۲۲ A ولت $V = 2$: تست مربوط به مقاومت (شکل ۶ a – ۸)

I_f = ۲۲ A جریان اسمی = I_{sc} = I_3 = I_2 = I_1 : تست اتصال کوتاه

I_{sc} = ۲۲ A ولت ۹۵ = V ؛ تست مدار باز (شکل ۷ – ۸)

مطلوبست محاسبه r_p ، x_p و Z_s برای این ژنراتور .

8-6 VOLTAGE REGULATION ۶ ــ ۸ تنظیم ولتاژ:

در بخش (۵ ــ ۸) مدار معادل ژنراتور سنکرون را معرفی کردیم و دیدیم که این مدار معادل شباهتی چند با مدار معادل ترانسفورماتور (فصل ۷) دارد ، لذا براحتی میتوان تنظیم ولتاژ در ژنراتور را تخمین زد . با توجه به این نکات میتوان با استفاده از رابطه (۳۷ ــ ۷) تنظیم ولتاژ ژنراتور را ارزیابی نمود ، اما نکته‌ای که باید به آن توجه کرد آن است که نباید ولتاژ خط و ولتاژ فاز باعث سردرگمی ما گردد . از آنجائیکه مدار معادل معرفی شده و مربوط به هر فاز ژنراتور است ، ما نیز از کمیتهای مربوط به فاز برای ارزیابی تنظیم ولتاژ استفاده میکنیم . شکل (۸ ــ ۸) به ماکمک میکند که موضوع را بهتر درک کنیم . در تحت شرایط اسمی (بار کامل) داریم :

I_L = جریان اسمی خط

V_t = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

در دو نوع اتصال ستاره ومثلث (شکل ۸ ــ ۸) داریم :

ولتاژ هر فاز در شرایط اسمی در اتصال ستاره = $V_t/\sqrt{3}$

ولتاژ هر فاز در شرایط اسمی در اتصال مثلث = V_t

جریان هر فاز در شرایط اسمی در اتصال ستاره = $I_L = I_p$

جریان هر فاز در شرایط اسمی در اتصال مثلث = $I_p = I_L/\sqrt{3}$

درشرایط بی‌باری جریانها صفر بوده و افت ولتاژ در r_p و x_p بدست‌نمی‌آید ، لذا در این شرایط داریم :

ولتاژ بی‌باری‌مربوط به هر فاز در ترمینال ماشین = E_p

$$E_p = \sqrt{(I_p r_p + V_{FL} \cos\theta)^2 - (I_p x_p \pm V_{FL} \sin\theta)^2} \qquad (8\text{-}10)$$

(+ for lagging PF. − for leading PF)

باید توجه کرد که علامت (+) مربوط به ضریب توان پس فاز وعلامت (−) مربوط به ضریب توان پیش فاز است . باید متذکر شد که در رابطه (۱۰ − ۸) داریم :

I_p = جریان اسمی هر فاز ماشین

V_{FL} = ولتاژ اسمی هر فاز در ترمینال ژنراتور سنکرون

x_p = راکتانس سنکرون هر فاز ژنراتور

r_p = مقاومت‌موثر هر فاز ماشین

23

مثال ۶ − ۸ :

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات‌زیر مفروض است :

توان اسمی =	۱۰۰	کیلوولت آمپر
ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط) =	۱۲۰۰	ولت
طرز اتصال سیم پیچ‌های استاتور =	Y	ستاره
مقاومت هر فاز استاتور =	۰/۱۲	اهم
راکتانس سنکرون هر فاز ماشین =	۱/۵	اهم

مطلوبست محاسبه تنظیم ولتاژ در شرایط بار اسمی (بار کامل) در تحت شرایط‌زیر :

الف : ضریب توان بار واحد در نظر گرفته شود .

ب : ضریب توان بار معادل ۰/۹ پس فاز باشد .

ج : ضریب توان بار برابر ۰/۹ پیش فاز باشد .

د : ولتاژ بی‌باری در ماشین در فرض ج راپیدا کند (ولتاژ خط) .

4