

آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی ۱

آزمایش شماره‌ی ۱-۳

گزارش کار

تنظیم سرعت موتور القایی به روش‌های گوناگون

استاد دریاباد

نگارش:

اشکان نیوشا

۲۰ مهر ۱۳۸۷

به نام خدا

تئوری آزمایش

هدف ما در این آزمایش، تنظیم سرعت موتور القایی است. می‌دانیم که توان مکانیکی چرخشی برابر است با حاصلضرب گشتاور در سرعت؛ یعنی، $P = Tw$. از این رابطه درمی‌یابیم هنگامی که توان خروجی ثابت باشد، (از جمله بی‌باری) سرعت و گشتاور نسبت عکس دارند؛ یعنی، $w = \frac{1}{T}$ و ما کار خود را از اینجا می‌آغازیم. یعنی، توان خروجی موتور را ثابت می‌گیریم. بنابراین، برای بدست آوردن رابطه‌ی ولتاژ-سرعت، به بررسی رابطه‌ی ولتاژ-گشتاور می‌پردازیم.

از سوی دیگر، می‌دانیم که گشتاور خروجی روتور موتور القایی با شار، جریان و ضریب توان روتور متناسب است؛ یعنی، $T \propto \Phi I \cos f$. همچنین بر اساس قانون فارادی، می‌دانیم که خود شار متناسب با ولتاژ است؛ یعنی، $\Phi \propto E$ و بر پایه‌ی قانون اهم داریم $I = \frac{V}{Z}$ ؛ که

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{و} \quad \cos f = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad \text{و} \quad X_L = j\omega L = \nu pfL$$

برای یک ماشین القایی، اگر سرعت و فرکانس روتور را با N_r و f_r ، سرعت و فرکانس استاتور را با N_s و f_s ، سرعت لغزش را با N و شمار قطب‌های ماشین را با P نمایش دهیم، از معادلات تبدیل انرژی داریم $N_s = \frac{12f_s}{P}$ و $N = N_s - N_r = \frac{12f_r}{P}$ و از تقسیم آن دو داریم $\frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{f_r}{f_s}$ ؛ که مقدار $s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$ را ضریب لغزش می‌نامیم. بنابراین، خواهیم داشت $f_r = sf_s$ و در نتیجه $X_r = sX_{rs}$. (همچنین داریم $V_r = sE_r$) پس

$$T = k \Phi I \cos f_r = k V_r I_r \cos f_r = k V_r \frac{V_r}{Z_r} \cos f_r = k V_r^2 \frac{R_r}{R_r^2 + X_r^2}$$

$$T = k V_r^2 \frac{R_r}{R_r^2 + (sX_{rs})^2}$$

بر پایه رابطه‌ی بالا، با کاهش ولتاژ، گشتاور کم می‌شود. بنابراین، در توان ثابت، (سرعت)

لغزش افزایش می‌یابد $(\uparrow N = \frac{12P}{60} \Rightarrow w \uparrow = \frac{1}{T} \downarrow)$ و چون سرعت استاتور ثابت است، سرعت روتور کاهش می‌یابد؛ $\downarrow N = N_s - N_r \downarrow$

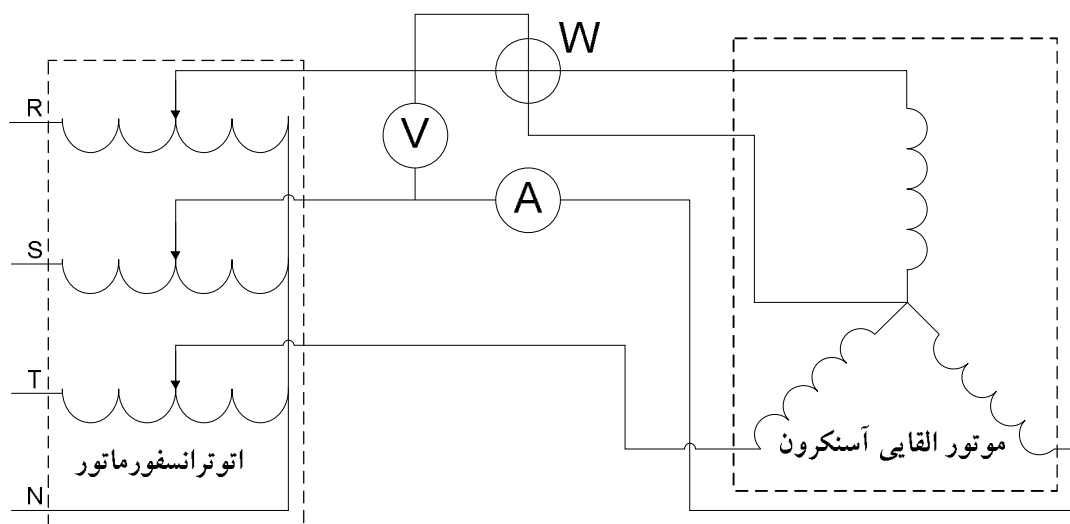
N^{-1} و ω هر دو سرعت زاویه‌ای هستند؛ ولی، N کای دور بر دقیقه (rpm) و ω رادیان بر ثانیه (rad/s) است.

روش آزمایش

بر پایه‌ی گفته‌های بالا، در این آزمایش، می‌خواهیم رابطه‌ی ولتاژ-سرعت موتور آسنکرون القایی را در توان مکانیکی خروجی ثابت، بررسی کنیم. در اینجا برای آسانی کار، موتور را در بی‌باری، یعنی، توان خروجی ثابت صفر به کار می‌اندازیم. وسایل مورد نیاز آزمایش، موتور القایی، اتوترانسفورمر، سرچشمه‌ی سه‌فاز، سیم‌های اتصال، سرعت‌سنج (Tachometer)، آمپرسنج و ولت‌سنج است.

همچنان که می‌دانیم، جریان راه‌اندازی یک موتور القایی تا چند برابر بیشتر از جریان نامی آن است؛ بنابراین، در اینجا از اتوترانسفورمر برای راه‌اندازی موتور استفاده می‌کنیم؛ به گونه‌ای که ولتاژ را از صفر و به تدریج می‌افزاییم؛ تا جریان راه‌اندازی کمتری نسبت به حالت مستقیم کشیده شود. در این آزمایش، سرسیم‌های موتور را به صورت Y (λ) می‌بندیم.

در آغاز، سه سر از سیم‌پیچ‌های موتور را، با سیم‌ها به بخش تقسیم برده و آنها را به هم وصل می‌کنیم؛ این نقطه، نقطه‌ی نول λ خواهد بود. در اینجا، چون بار متعادل است، لازم نیست که این نقطه، به زمین (سرچشمه) وصل شود. در گام دوم، سه سرسیم‌های دیگر موتور را با رعایت توالی R ، S و T ، به سرهای خروجی اتوترانسفورمر وصل می‌کنیم. سرهای ورودی اتوترانسفورمر را نیز با رعایت توالی به سرچشمه وصل می‌کنیم. در اتصال ورودی اتوترانسفورمر بهتر است، سر نول آن را نیز به منبع وصل کنیم؛ تا از برق‌گرفتگی‌های احتمالی، در صورت خرابی اتوترانسفورمر جلوگیری شود. همچنین، می‌توانیم برای ایمنی بیشتر، نخست سیم‌های ورودی اتوترانسفورمر را به جعبه تقسیم برده و از طریق ورودی ویژه، که دارای فیوز سریع است، به سرچشمه وصل کنیم. اگر، واحد (unit) آزمایش، دارای ولت‌سنج درونی بود، دیگر نیازی به استفاده از ولت‌سنج بیرونی نیست؛ در غیر این صورت، ولت‌سنج را می‌توان بین هر کدام از فازها قرار داد. برای وصل آمپرسنج، (برای افزایش دقت)، آن را در مسیر هر کدام از فازهای موتور (، نه ورودی اتوترانسفورمر)، به دلخواه قرار می‌دهیم. برای این کار، یکی از سه سرسیم موتور را به آمپرسنج وصل کرده و سر دیگر آمپرسنج را به خروجی اتوترانسفورمر وصل می‌کنیم. (همچنین اگر وات‌سنج و ضریب‌توان‌سنج در اختیار داشتیم، برای بدست آوردن دیگر اطلاعات، آنها را وصل می‌کنیم.)



پیش از وصل کردن سرچشمه، باید اتصالاتها را به دقت بررسی کرده و از درستی آنها و نبودن هیچ گونه اتصالی، در مدار، مطمئن شویم. همچنین، ولتاژ خروجی اتوترانسفورمر در زمان وصل کردن منبع تغذیه باید صفر باشد؛ که پیش از وصل اتصالاتها، باید از آن مطمئن شد. پس از پیمودن مراحل بالا، نخست محافظ اضافه بار و سپس فیوز مینیاتوری واحد را وصل می کنیم و ولتاژ اتوترانسفورمر را به آرامی تا ولتاژ نامی موتور می افزایشیم؛ تا موتور راه افتاده و به سرعت نامی خود برسد؛ که برای اتصال ستاره، ۳۸۰ ولت است.

با سرعت سنج، سرعت، همچنین، ولتاژ و جریان (، وات و ضریب توان) نامی موتور را اندازه گرفته و می نویسیم. اکنون، ولتاژ موتور را در چندین گام و هر گام ۲۰ ولت، تا ۱۸۰ ولت می گاهیم و در هر ولتاژ، سرعت و جریان (، وات و ضریب توان) آن را می نویسیم. پس از پایان آزمایش، نخست ولتاژ اتوترانسفورمر را (برای راه اندازی های) آزمایش های بعدی) صفر می کنیم. سپس، فیوز مینیاتوری و محافظ اضافه بار را خاموش کرده و در گام آخر، سیم های اتصال را جدا می کنیم.

داده های آزمایش

ردیف	V (V)	عملی				نظری			
		N (rpm)	I (A)	P (W) / cosφ	s (%)	N (rpm)	I (A)	P (W) / cosφ	s (%)
۱	۳۸۰	۲۹۹۹	۱/۷۳	-	۰/۰۳۳	۲۹۹۹			-
۲	۳۶۰	۲۹۹۹	۱/۵۳	-	۰/۰۳۳	۲۹۹۸/۹			۰/۰۳۷
۳	۳۴۰	۲۹۹۸	۱/۳۳	-	۰/۰۶۶	۲۹۹۸/۷			۰/۰۴۳
۴	۳۲۰	۲۹۹۸	۱/۱۵	-	۰/۰۶۶	۲۹۹۸/۶			۰/۰۴۷

۵	۳۰۰	۲۹۹۸	۰/۹۹	-	۰/۰۶۶	۲۹۹۸/۴		۰/۰۵۳
۶	۲۸۰	۲۹۹۸	۰/۹۰	-	۰/۰۶۶	۲۹۹۸/۰		۰/۰۶۷
۷	۲۶۰	۲۹۹۸	۰/۷۹	-	۰/۰۶۶	۲۹۹۷/۹		۰/۰۷۰
۸	۲۴۰	۲۹۹۷	۰/۷۱	-	۰/۱۰۰	۲۹۹۷/۵		۰/۰۸۳
۹	۲۲۰	۲۹۹۷	۰/۶۴	-	۰/۱۰۰	۲۹۹۷/۰		۰/۱۰۰
۱۰	۲۰۰	۲۹۹۶	۰/۵۹	-	۰/۱۳۳	۲۹۹۶/۴		۰/۱۲۰
۱۱	۱۸۰	۲۹۹۵	۰/۵۲	-	۰/۱۶۷	۲۹۹۵/۰		۰/۱۶۷

ویژگی های نامی موتور آزمایش				
V (V)	N (rpm)	P (kW)	I* (A)	P _{OutMech} (hp)
Δ: ۲۲۰ λ: ۳۸۰	۳۰۰۰	۲/۲	۱۰	۳

*: محاسبه شده است.

نتیجه ها و تحلیل آزمایش

در داده های آزمایش، آشکار است که با کاهش ولتاژ موتور آسنکرون القایی، سرعت گردش روتور آن نیز کاهش می یابد. البته، این رابطه خطی نیست.

از رابطه های بالا، یعنی، $w = \frac{1}{T}$ ، $T = ksE_r^2 \frac{R_r}{R_r^2 + (sX_{rs})^2}$ و $N = N_s - N_r$ میتوان نتیجه

گرفت $\frac{N_s - N_{r1}}{N_s - N_{r2}} = \left(\frac{E_{r1}}{E_{r2}} \right)^2$ ؛ که از این رابطه می توان مقدار نظری سرعت را در ولتاژهای

گوناگون بدست آورد. اما، نکته ی مهم تری که این رابطه ی می تواند به ما نشان دهد، گستره ی تغییر سرعت، براساس تغییر ولتاژ است. سرعت نامی موتور مورد آزمایش با توجه به ۲ قطب بودن و فرکانس برق ۵۰ هرتز، برابر ۳۰۰۰ دور بر دقیقه است و در حالت بی باری، با ولتاژ نامی، سرعت ۲۹۹۹ دور بر دقیقه اندازه گیری شده است. پس، سرعت در ولتاژ ۱۸۰ ولت چنین خواهد بود:

$$3000 - N_{r2} = \left(\frac{380}{180} \right)^2 (3000 - 2999) = 4/46 \Rightarrow N_{r2} = 29995/54$$

اگر مقدار P ویا $\cos \phi$ ($P = VI \cos \phi$) اندازه گرفته شود، از رابطه های زیر می توان R_{eq} و

X_s بدست آورد:

$$Z = \frac{V}{I} \Rightarrow R = R_s + \left(\frac{n_s}{n_r}\right)^2 R_r = Z \cos f = \frac{|V|}{|I|} \cos f$$

$$X = X_s + \left(\frac{n_s}{n_r}\right)^2 X_r \xrightarrow{X_r = sX_{rs} \xrightarrow{\text{بسی بار}} \left(\frac{n_s}{n_r}\right)^2 X_r} X_s \quad Z \sin f = \frac{|V|}{|I|} \sin f$$

که n_r و n_s شمار سیم پیچی های استاتور و روتور است. البته، رابطه‌ی بالا، تنها در ولتاژهایی نزدیک به ولتاژ نامی، پاسخ دقیق میدهد؛ چراکه با کاهش ولتاژ و بنابراین افزایش s ، دیگر X_r را نمی‌توان برابر صفر گرفت.

سرانجام، چون $\cos f = \frac{R}{Z} = \frac{R_{eq}}{\sqrt{R_{eq}^2 + \left[X_s + \left(\frac{n_s}{n_r}\right)^2 sX_{rs}\right]^2}}$ و مقاومت درونی موتور و

اندوکتانس استاتور ثابت است، با کاهش ولتاژ نسبت به ولتاژ نامی، و در نتیجه کاهش سرعت روتور و افزایش ضریب لغزش، ضریب توان افزایش می‌یابد.

در هنگام راه‌اندازی موتور، $s = 1$ است. بنابراین برای جریان راه‌اندازی خواهیم داشت

$$I_{st} = \frac{E_s}{Z_{st}} = \frac{E_s}{\sqrt{R_{eq}^2 + \left[X_s + \left(\frac{n_s}{n_r}\right)^2 X_{rs}\right]^2}}$$

که بیشترین مقدار جریان است.

پایان

اشکان نیوشا

<http://AshkanN.tripod.com>

¹ - زیروند r برای rotor، s برای stator، rs برای rotor synchronize و st برای start است. همچنان Eها ولتاژ اعمالی به دو سر سیم پیچها و Vها ولتاژ پس از افت آن بر اثر تلفات است.