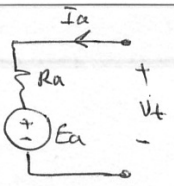
(۱)



$R_a = 0.02\,\Omega$

* در حالت عادی که جریان $I_t = I_a$ خروجی ترمینال است پس $E_a = V_t \leftarrow 127^V$

* چون جریان تحریک ثابت است و عکس العمل آرمیچر هم در سناریو مطرح نشده پس شار و E_a نیز ثابت هستند.

الف) $V_t = E_a + R_a I_a \rightarrow 128 = 127 + 0.02\, I_a \rightarrow I_a = 150\,A$

$P_{in} = V_t \cdot I_a = 128 \times 150 = 19.2\,kW$

توان آرمیچر $P_{ar} = E_a \cdot I_a = 127 \times 150 = 18.75\,kW \rightarrow \overline{T} = \dfrac{E_a I_a}{\omega} = \dfrac{18.75^{kW}}{3000 \times \frac{2\pi}{60}} = 59.7\,(N.m)$

ب) در این حالت چون ولتاژ ترمینال $V_t = 124^V$ از ولتاژ آرمیچر $E_a = 127^V$ کمتر است پس ژنراتور باید به صورت موتور عمل کند.

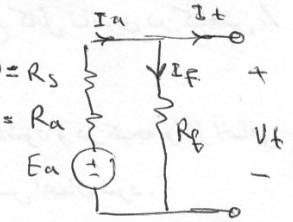
$V_t = E_a - R_a I_a \rightarrow I_a = \dfrac{127 - 124}{0.2} = 50\,A$

$P_{out} = V_t \cdot I_a = 124 \times 50 = 6.2\,kW, \quad P_{ar} = E_a I_a = 6.35\,kW$

$\overline{T} = \dfrac{6.35\,kW}{3000 \times 2\pi/60} = 19.9\,N.m$

---

(۲)



جریان نامی ترمینال $= 400\,A$ ، $i_f = 5.1\,V(A)$ ، $\omega = 1150\,rpm$

$\rightarrow V_t = ?$

جریان آرمیچر $I_a = I_t + I_f = 400^A + 5.1^A = 405.1^A$

جریان تحریک سری $= I_a = 405.1\,(A)$

جریان تحریک موازی I_f موثر $= I_f$ واقعی $+ \dfrac{N_S}{N_F} I_S$

(تعداد دور سیم پیچ سری / تعداد دور سیم پیچ تحریک موازی)

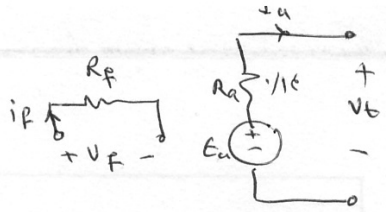
$\rightarrow I_{f\,\text{موثر}} = 4.1 + \dfrac{3}{100} 405.1 = 5.9\,A \xrightarrow{\text{از مشخصه}} E_a = 274\,(V)$

پس جریان موثر 5.9 آمپر می‌تواند ولتاژ القایی 274 ولت را در سرعت $1200\,rpm$ تولید کند. ولی چون سرعت مورد نظر ما $1150\,rpm$ است پس باید ولتاژ القایی را اصلاح کنیم. همین جریان تحریک در سرعت $1150\,rpm$ ولتاژ روبرو را ایجاد می‌کند.

$\dfrac{E_a}{274} = \dfrac{1150\,rpm}{1200\,rpm} \rightarrow E_a = 263\,(V)$

$V_t = E_a - (R_a + R_S) I_a = 251\,(V)$

(۳)



الف) جریان نامی آرمیچر $= \frac{\text{توان نامی}}{\text{ولتاژ نامی}} = \frac{۲۵kw}{۲۵۰V} = ۱۰۰A$

ب) $\omega = ۱۲۰۰ rpm$, $I_a = ۱۰۰A \rightarrow P_{out,max} = ?$

$i_f = ۱A \rightarrow$ از منحنی $E_a = ۱۵۰V \rightarrow V_t = ۱۵۰ + ۰/۱۴ \times ۱۰۰ = ۱۶۴ V$

$\rightarrow P_{out} = ۱۶۴(V) \times ۱۰۰(A) = ۱۶,۴ (kw)$

$i_f = ۲/۵A \rightarrow E_a = ۲۷۰V \rightarrow V_t = ۲۸۴V \rightarrow P_{out} = ۲۸,۴ kw$

ج) چون سرعت داده شده در منحنی $۱۲۰۰ rpm$ و سرعت مورد نظر $۹۰۰ rpm$ است پس باید ولتاژهای القایی متناظر هر جریان تحریک به سرعت $۹۰۰ rpm$ انتقال یابند.

$i_f = ۱A \rightarrow E_{a,۱۲۰۰} = ۱۵۰V \rightarrow E_{a,۹۰۰} = \frac{۹۰۰ rpm}{۱۲۰۰ rpm} \cdot ۱۱۲V = ۱۱۲V$

$\rightarrow V_t = ۱۱۴V \rightarrow P = ۱۲,۴ kw$

$i_f = ۲/۵A \rightarrow E_{a,۱۲۰۰} = ۲۷۰V \rightarrow E_{a,۹۰۰} = ۲۰۲V \rightarrow V_t = ۲۱۴V \rightarrow$

$P_{out} = ۲۱,۴ kw$

---

(۴)

$P_{out} = E_a I_a = E_a \left(\frac{V_t - E_a}{R_a}\right) \rightarrow P_{out} = \frac{E_a V_t}{R_a} - \frac{E_a^۲}{R_a} \rightarrow$

یک معادله درجه دو برحسب E_a داریم $\rightarrow E_a = \frac{V_t + \sqrt{V_t^۲ - ۴ P_{out} R_a}}{۲}$

اکنون رابطه بین تغییرات توان خروجی و ولتاژ القایی E_a مشخص شد.

از آنجایی که چون تحریک ثابت است پس Φ نیز همواره ثابت است پس:

$\frac{E_{a\,\text{جدید}}}{E_{a\,\text{قدیم}}} = \frac{\Phi_{\text{جدید}}}{\Phi_{\text{قدیم}}} \cdot \frac{\omega_{\text{جدید}}}{\omega_{\text{قدیم}}}$

$\omega_{\text{جدید}} = \omega_{\text{قدیم}} \cdot \frac{E_{a\,\text{جدید}}}{E_{a\,\text{قدیم}}}$

$\omega_{\text{قدیم}} = ۱۲۰۰ rpm$, $E_{a\,\text{قدیم}} = ۲۵۰V$, $V_t = ۲۵۰$

$\rightarrow \omega = ۱۲۰۰ / ۲۵۰ \left(\frac{۲۵۰ + \sqrt{۲۵۰^۲ - ۴ P_{out} \times ۰/۱۴}}{۲}\right)$

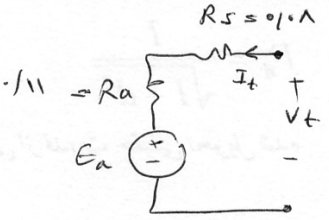
اکنون رابطه بین سرعت و ولتاژ تعیین شده و از روی آن نمودار قابل رسم است.

ب) از آنجایی که رابطه بین جریان تحریک و ولتاژ آرمیچر یک رابطه خطی است، پس می‌توان نوشت:

$$I_f = \frac{E_a}{k} \quad , \quad k = 150\ V/A \rightarrow$$

با جایگذاری این رابطه در رابطه قبل به جای E_a می‌توان رابطه را برای I_f تعیین کرد.

ج) $R_s = 0.1\ \Omega$



در سرعت $900\ rpm$ $\rightarrow$ $V_t = E_a + (R_a + R_s) I_a$

$\rightarrow$ $E_a = 220 - (0.19) \times 90 = 212.9\ (V)$

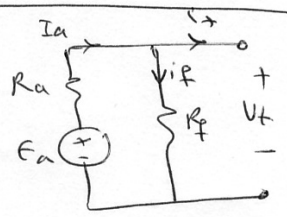
در سرعت تغییر کرده و $I_a = 20\ A$ $\rightarrow$ $E_a = 220 - (0.19) \times 20 = 226.2$

$$\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} \rightarrow \frac{226.2}{212.9} = \frac{0.84\Phi_0}{\Phi_0} \cdot \frac{\omega_2}{978\ rpm} \rightarrow$$

Φ_2: ورن 20 آمپر ← Φ_1: ورن 19 آمپر

$$\omega_2 = 2145\ (rpm)$$

د)



بی‌باری (NL): $V_t = 220\ V$, $\omega = 2180\ rpm$, $I_a = 4.25\ A$

بارگیری (FL): $V_t = 220\ V$, $I_a = 118\ A$, $\omega = ?$, $\Phi = 0.94\Phi_{NL}$

بی‌باری : $E_a = 220 - 4.25(0.11) = 229.3\ (V)$

بارگیری : $E_a = 220 - 118 \times 0.11 = 217.22\ (V)$

$$\frac{E_{aFL}}{E_{aNL}} = \frac{\Phi_{FL}}{\Phi_{NL}} \cdot \frac{\omega_{FL}}{\omega_{NL}} \rightarrow \frac{217.22}{229.3} = \frac{0.94\Phi_{NL}}{\Phi_{NL}} \cdot \frac{\omega_{FL}}{2180\ rpm} \rightarrow$$

$$\omega_{FL} = 2148\ (rpm)$$

(الف)

$$E_a = \frac{N}{a} e_t \Rightarrow \frac{E_{a_1}}{E_{a_2}} = \frac{N_1 a_2}{N_2 a_1} = \frac{a_2}{a_1} = \frac{۱۲۰}{۲۴۰} \Rightarrow a_1 = ۲ a_2$$

و این در صورتی امکان‌پذیر است که ماشین اول به صورت حلقوی (Lap) و ماشین دوم به صورت حلقوی سیم‌پیچی شود.

(ب)

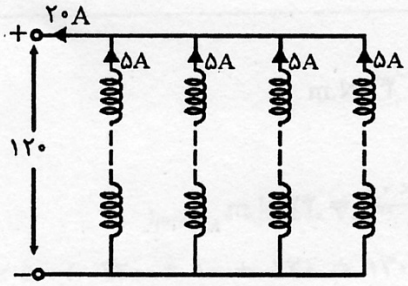
ماشین اول: $\frac{N_1}{۴} e_t = ۱۲۰ \Rightarrow \frac{N_1}{۴} \times ۴ = ۱۲۰ \Rightarrow N_1 = ۱۲$ (تعداد کلاف‌های ماشین اول)

ماشین دوم: $\frac{N_2}{۲} e_t = ۲۴۰ \Rightarrow \frac{N_2}{۲} \times ۴ = ۲۴۰ \Rightarrow N_2 = ۱۲$ (تعداد کلاف‌های ماشین دوم)

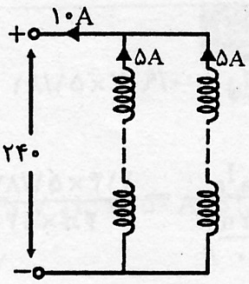
(ج) با توجه به شکل‌های زیر:

$P_1 = ۱۲۰ \times ۲۰ = ۲/۴ \text{ KW}$

$P_2 = ۲۴۰ \times ۱۰۲۲/۴ \text{ KW}$



اتصال الکتریکی آرمیچر
ماشین اول



اتصال الکتریکی آرمیچر
ماشین دوم

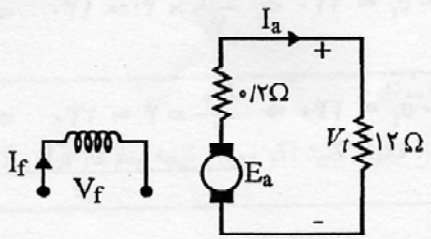
(الف)

$$I_f = ۰/۸A \Rightarrow E_a = ۱۱۴V \Rightarrow K_a\phi = \frac{E_a}{\omega_m} = \frac{۱۱۴}{\frac{(۲\pi \times ۱۲۰۰)}{۶۰}} = ۰/۹۰۷V/rad.s$$

(ب) از جدول:

$I_f = ۰/۸ \Rightarrow E_a = ۱۱۴$ (از جدول)

$$E_a = R_a I_a + V_t \Rightarrow I_a = \frac{۱۱۴}{۰/۲ + ۲} = \frac{۱۱۴}{۰/۲ + ۲} = ۵۱/۸۲A$$



(ج)

$$T = K\phi I_a = ۰/۹۰۷ \times ۵۱/۸۱ = ۴۷N.m$$

و یا

$$T = \frac{E_a I_a}{\left(\frac{۲\pi n}{۶۰}\right)} = \frac{۱۱۴ \times ۵۱/۸۲ \times ۶۰}{۲\pi \times ۱۲۰۰} = ۴۷N.m$$

$P_L = R_L I_a^۲ = ۵ \times ۵۱/۸۲^۲ = ۵۳۷۰/۶W$ (توان تحویلی به بار)

۹-

(الف) ماکزیمم ولتاژ در سرعت ثابت هنگامی است که جریان تحریک ماکزیمم شود و این در وضعیتی رخ می‌دهد که رئوستا در صفر تنظیم شود و برعکس مینیمم ولتاژ هنگامی است که جریان تحریک مینیمم باشد و این در وضعیتی که رئوستا در ماکزیمم مقدارش (۱۵۰ Ω) تنظیم شود، لذا در شرایط بی‌باری:

$$I_{fmax} = \frac{۱۲۰}{۱۰۰ + ۰} = ۱/۲A \xrightarrow{\text{از جدول}} E_{amax} = ۱۲۵V = V_{tmax}$$

$$I_{fmin} = \frac{۱۲۰}{۱۰۰ + ۱۵۰} = ۰/۴۸A \xrightarrow{\text{از جدول}} E_{amin} = ۹۰/۲V = V_{tmin}$$

(ب)

$$E_a = V_{tNL} = ۱۲۰V \Rightarrow I_f = ۱A \Rightarrow R_{fc} + R_{fw} = \frac{۱۲۰}{۱A} = ۱۲۰\Omega \Rightarrow R_{fc} = ۲۰\Omega$$

■ بدون در نظر گرفتن واکنش آرمیچر:

نامی $I_a = ۵۰A \Rightarrow V_t = E_a - R_a I_a \Rightarrow V_t = ۱۲۰ - ۰/۲ \times ۵۰ = ۱۱۰V$

■ با در نظر گرفتن واکنش آرمیچر:

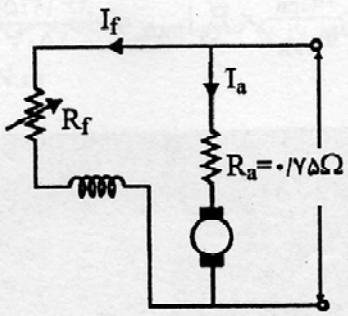
$$I_{feff} = I_f - I_{f(Ar)} = ۱A - ۰/۱A = ۰/۹A \xrightarrow{\text{از جدول}} E_a = ۱۱۷/۵V$$

$$\Rightarrow V_t = E_a - R_a I_a = ۱۱۷/۵ - ۱۰ = ۱۰۷/۵\,V$$

-۱۰

(الف)

$$I_{a_1} = ۷A \Rightarrow E_{a_1} = ۲۴۰ - ۰/۷۵\times ۷ = ۲۳۵/۵\,V$$



$$T = K\phi I_a \propto n$$

مدار خطی فرض می‌شود $\Rightarrow \dfrac{I_{f_2}}{I_{f_1}} \times \dfrac{I_{a_2}}{I_{a_1}} = \dfrac{n_2}{n_1}$

از طرفی : $\dfrac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \dfrac{I_{f_2}}{I_{f_1}} \times \dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{I_{f_2}}{I_{f_1}} \times \left(\dfrac{I_{f_2}}{I_{f_1}} \times \dfrac{I_{a_2}}{I_{a_1}}\right) \Rightarrow$

$$\frac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \left(\frac{I_{f_2}}{I_{f_1}}\right)^2 \cdot \frac{I_{a_2}}{I_{a_1}} \Rightarrow \frac{۲۴۰ - ۰/۷۵ I_{a_2}}{۲۳۵/۵} = ۰/۷^2 \frac{I_{a2}}{۶}$$

$$\Rightarrow I_{a_2} = ۱۲/۰۱ \Rightarrow n_2 = ۰/۷ \times \frac{۱۲/۰۱}{۶} \times ۱۲۰۰ = ۱۶۸۱/۴۷\,rpm$$

(ب) همان طور که در قسمت (الف) معین شده است:

$$I_t = I_{a_2} + I_{f_2} = ۱۲/۰۱ + ۰/۷ = ۱۲/۷۱\,A$$

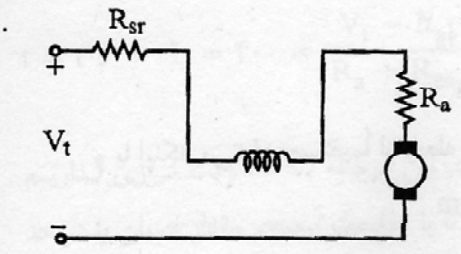
$$E_{a_2} = ۲۴۰ - ۰/۷۵\times ۱۲/۰۷ = ۲۳۰/۹۹\,V \Rightarrow \text{توان حاصله} = ۲۷۷۴/۲۲\,W$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P_{out} = E_{a_2} I_{a_2} - P_{rot} = ۲۶۲۴/۲۲ \\ P_{in} = V_t(I_{a_2} + I_{f_2}) = ۲۴۰\times ۱۲/۷۱ = ۳۰۵۰/۴ \end{cases}$$

$$\Rightarrow Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{۲۶۲۴/۲۲}{۳۰۵۰/۴} = ۰/۸۶۰۲ \Rightarrow \%Eff = \%۸۶/۰۲$$

-۱۱

۴-۳۴



(الف) در حالت سکون $E_a = ۰$ ، لذا:

$$R_a + R_{sr} = \frac{۵V}{۵A} = ۱\Omega$$

سیستم مغناطیسی، خطی فرض می‌شود:

$$T = K_۱ I_a^۲ \Rightarrow ۵ = K_۱ \times ۲۵ \Rightarrow K_۱ = \frac{۱}{۵}$$

$$I_a = ۱۰A \Rightarrow T = \frac{۱}{۵} I_a^۲ \Rightarrow T = \frac{۱}{۵} \times ۱۰۰ = ۲۰ N.m$$

(ب)

$$\text{توان حاصله} = T\omega = ۲۰ \times ۲\pi \times \frac{۳۰۰}{۶۰} = ۶۲۸/۳۲W = E_a I_a$$

$$\Rightarrow E_a = \frac{۶۲۸/۳۲}{۱۰} = ۶۲/۸۳۲V \Rightarrow R_{tot} = \frac{V_t - E_a}{I_a} = \frac{۱۲۰ - ۶۲/۸۳۲}{۱۰} = ۵/۷۱۷\Omega$$

$$\Rightarrow R_{aqd} + R_{sr} + R_a = ۵/۴۱ \Rightarrow R_{ad} = ۴/۷۱۷\Omega$$

لذا مقاومت R_{ad} بین منبع و موتور قرار دارد و جریان را محدود کرده است.

-۱۲

(الف)

$$N = ۱۵۰۰ rpm \Rightarrow n = \frac{۲\pi N}{۶۰} = ۱۵۷/۰۸ rad/sec$$

$$\begin{cases} \text{معادله ولتاژ} : ۶۰۰ = (K\phi)\,۱۵۷/۰۸ + ۰/۵ I_a \\ \text{معادله گشتاور} : ۳۰۰ = (K\phi) I_a \end{cases}$$

$$\Rightarrow ۰/۵ I_a^۲ - ۶۰۰ I_a + ۴۷۱۲۴ = ۰ \Rightarrow \begin{cases} I_a = ۸۴/۴۸۸A \\ K\phi = ۳/۵۵V/rad/sec \end{cases}$$

(ب)

در این حالت نیز باید ماشین بتواند گشتاور ۳۰۰ N.m را تولید کند.

$$T = (K\phi) I_a \Rightarrow ۳۰۰ = ۰/۹ \times ۳/۵۵ \times I_a \Rightarrow I_a = ۹۳/۸۹۶ A$$

و از معادله ولتاژ داریم:

$$E_a = ۶۰۰ - ۰/۵ \times ۹۳/۸۹۶ = ۵۵۳/۰۵۱۶$$

$$E_a = (K\phi)\omega \Rightarrow ۵۵۳/۰۵۱۶ = ۰/۹ \times ۳/۵۵ \times \omega \Rightarrow \omega = ۱۷۳/۰۹۹ rad/sec$$

$$\Rightarrow n = ۱۶۵۲/۹۷ rpm$$

(الف)

$$E_a = V_t - R_a I_a = ۲۳۰ - ۰/۲ \times ۲۰۰ = ۱۹۰\ V$$

(ب)

توان حاصله $P_{ind} = E_a I_a = ۱۹۰ \times ۲۰۰ = ۳۸۰۰۰\ W$

توان خروجی $P_{out} = E_a I_a - P_{rot} = ۳۸۰۰۰ - ۵۰۰ = ۳۷۵۰۰\ W$

لذا گشتاور بار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Rightarrow T_{out} = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{۳۷۵۰۰۰}{۲\pi\left(\frac{۱۲۰۰}{۶۰}\right)} = ۲۹۸/۴۱\ N.m$$

(ج)

$$\begin{cases} P_{in} = V_t(I_a + I_f) = ۲۳۰ \times (۲۰۰ + ۲) = ۴۶۴۶۰\ W \\ P_{out} = ۳۷۵۰۰\ W \end{cases}$$

$$\Rightarrow Eff = \frac{۳۷۵۰۰}{۴۶۴۶۰} = ۰/۸۰۷ \Rightarrow \%Eff = ۸۰/۷۱\%$$