جامعة بنها - كلية الهندسة ببنها - قسم الهندسة الكهربية

الإجابة النموذجية لمادة تك الالات الكهربية ك 060 يوم السبت الموافق 21/5/2016
لائحة قديمة ميكانيكا د شوقي حامد عرفه ابراهيم

Benha University **Benha Faculty of Engineering** **Subject: Tec.Elect. Mach. (E 60)**	**Time: 3hour** **Forth Year 21**-5-2016 **Mech. Eng. Dept.**

Solve & draw as much as you can (questions in two pages)

Question (1) **[15] Points**

1.a) Explain the common conditions for build-up voltage process of the DC generator?

1.b) A separately excited DC generator has an open circuit terminal voltage of 144V at 1000 rpm and the armature resistance is 0.5 Ω. When it loaded the voltage across the load is 120V. Determine the load current?

Question (2) **[15] Points**

2.a) Compare between the no load test and the short circuit test of the transformer?

2.b) A 50KVA, 2200V:220V, 60Hz, single phase distribution transformer has a leakage impedance of (0.9+j5) Ω for the high voltage winding and (0.05+j0.14)Ω for the low voltage winding. Neglect the exciting branch impedance.

i-Draw the equivalent circuit referred to the high side?

ii-Find the input voltage applied on the high side to obtain a full load current in the low voltage winding as it is short circuited?

iii-Find the input voltage applied on the high side to obtain a half full load current with 0.8 pf lagging and 220V on the low voltage winding?

P.T.O.

Question (3) **[15] Points**

3.a) Sketch and explain the torque-speed characteristics of a 3-phase induction motor as the supply voltage is changed, the supply frequency is changed, and both the supply voltage and frequency are changed?

3.b) An induction motor [3-phase, 220 V, 10-hp, 60-Hz, six pole, Y connected] has a stator impedance of (0.344+j0.52) Ω and a rotor impedance referred to the stator of (0.15+j0.22)Ω . The exciting branch has X_m=13 Ω. Draw the equivalent circuit and

Determine: **(i)** the starting torque?

(ii) the maximum torque and the slip at which the maximum torque occurs?

(iii) the new rotor resistance that causes the maximum torque at starting?

Question (4) **[15] Points**

4.a) Explain the starting process of the DC motor?

4.b)A [15Hp, 230V] DC shunt motor delivers a full load torque at 1200rpm while the motor line full load current is 75A. The armature resistance is 0.2 Ω and the field resistance is 230 Ω. **Determine**

(i) the generated emf, **(ii)** the developed torque at full load **(iii)** the motor speed if the field resistance is reduced to 200 Ω at the same load torque?

With my Best Wishes

Answer

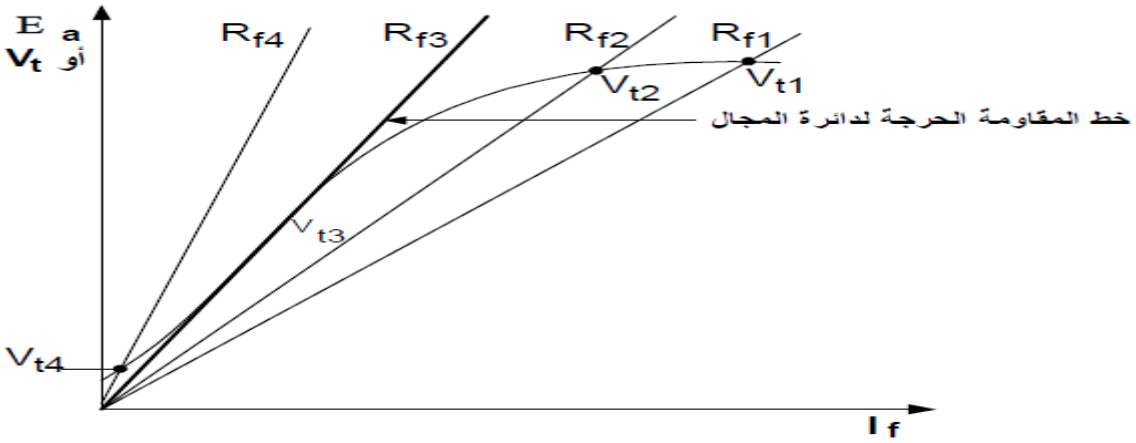
Question (1) **[15] Points**

1.a) Explain the common conditions for the build-up voltage process of the DC generator? The conditions are:

1-the field winding must have a residual magnetic flux

2-A rotational direction must be help and increase the residual magnetic flux

3-the field circuit resistance is less than the critical value



الشكل ٥٣.١ : المقومة الحرجة لمولدات الاستثارة الذاتية

للخلاصة ، يجب تحقيق ثلاثة شروط لتركيب الجهد في مولدات التيار المستمر ذات الاستثارة الذاتية :

(أ) يجب أن تحتوي الدائرة المغناطيسية للآلة على التدفق المغناطيسي المتبقي Φ_{res} .

(ب) يجب أن تساعد القوة الدافعة المغناطيسية $F = N_f I_f$ لملفات المجال (أو التدفق المغناطيسي Φ الناتج عنها) المغناطيسية المتبقية .

(ج) يجب أن تكون مقاومة دائرة المجال أقل من قيمتها الحرجة .

1.b) A separately excited DC generator has an open circuit terminal voltage of 144V at 1000 rpm and the armature resistance is 0.5 Ω. When it loaded the voltage across the load is 120V. Determine the load current?

Va=E_a-IaRa=144-Ia*0.5=120V then Ia=[144-120]/0.5=48A=load current

Question (2) **[15] Points**

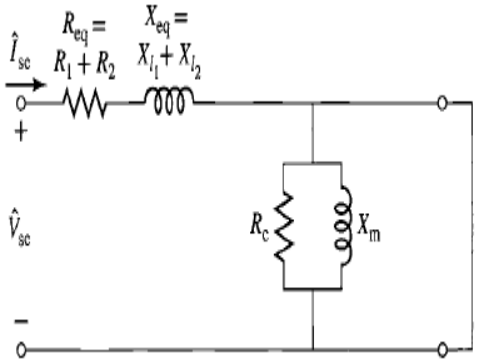
2.a) Compare between the no load test and the short circuit test of the transformer?

Short circuit test	Vsc<Vrate, Isc= Irate	On high voltage side

	Psc =copper losses	To obtain Req, Xeq
Open circuit test	Voc=Vrate, Ioc< Irate Poc =core losses	On low voltage side To obtain Rc, Xm

and

Short-Circuit Test The *short-circuit test* can be used to find the equivalent series impedance $R_{eq} + jX_{eq}$. Although the choice of winding to short-circuit is arbitrary,



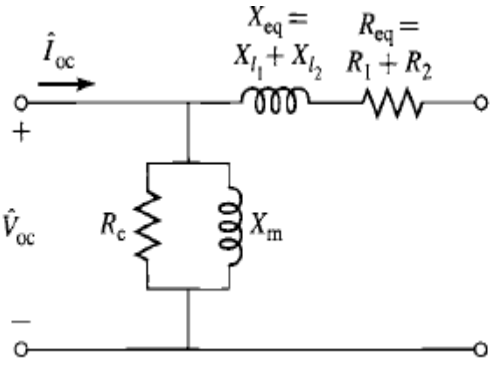
$$|Z_{eq}| = |Z_{sc}| = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

$$R_{eq} = R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$X_{eq} = X_{sc} = \sqrt{|Z_{sc}|^2 - R_{sc}^2}$$

Typically the instrumentation used for this test will measure the rms magnitude of the applied voltage V_{sc}, the short-circuit current I_{sc}, and the power P_{sc}. Based upon these three measurements, the equivalent resistance and reactance (referred to the primary) can be found from

Open-Circuit Test The *open-circuit test* is performed with the secondary open-circuited and rated voltage impressed on the primary. Under this condition an exciting current of a few percent of full-load current (less on large transformers and more on smaller ones) is obtained. Rated voltage is chosen to insure that the magnetizing reactance will be operating at a flux level close to that which will exist under normal



$$R_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}}$$

$$|Z_\varphi| = \frac{V_{oc}}{Z_{oc}}$$

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{(1/|Z_\varphi|)^2 - (1/R_c)^2}}$$

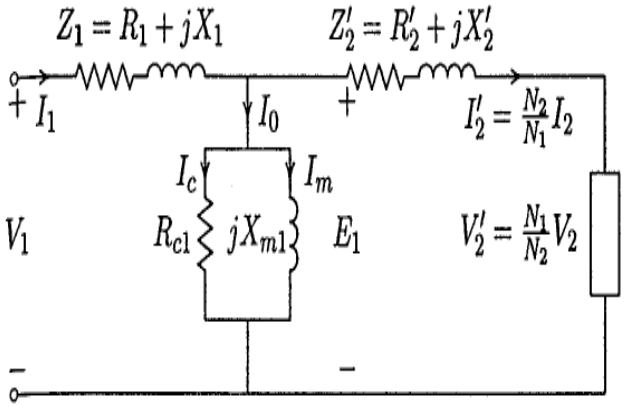
$$Z_{oc} \approx Z_\varphi = \frac{R_c(jX_m)}{R_c + jX_m}$$

2.b) A 50KVA, 2200V:220V, 60Hz, single phase distribution transformer has a leakage impedance of (0.9+j5) Ω for the high voltage winding and (0.05+j0.14)Ω for the low voltage winding. Neglect the exciting branch impedance.

i-Draw the equivalent circuit referred to the high side?

ii-Find the input voltage applied on the high side to obtain a full load current in the low voltage winding as it is short circuited?

iii-Find the input voltage applied on the high side to obtain a half full load current with 0.8 pf lagging and 220V on the low voltage winding?



$$X_{l_2}' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_{l_2}$$

$$R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2$$

FIGURE 3.10
Exact equivalent circuit referred to the primary side.

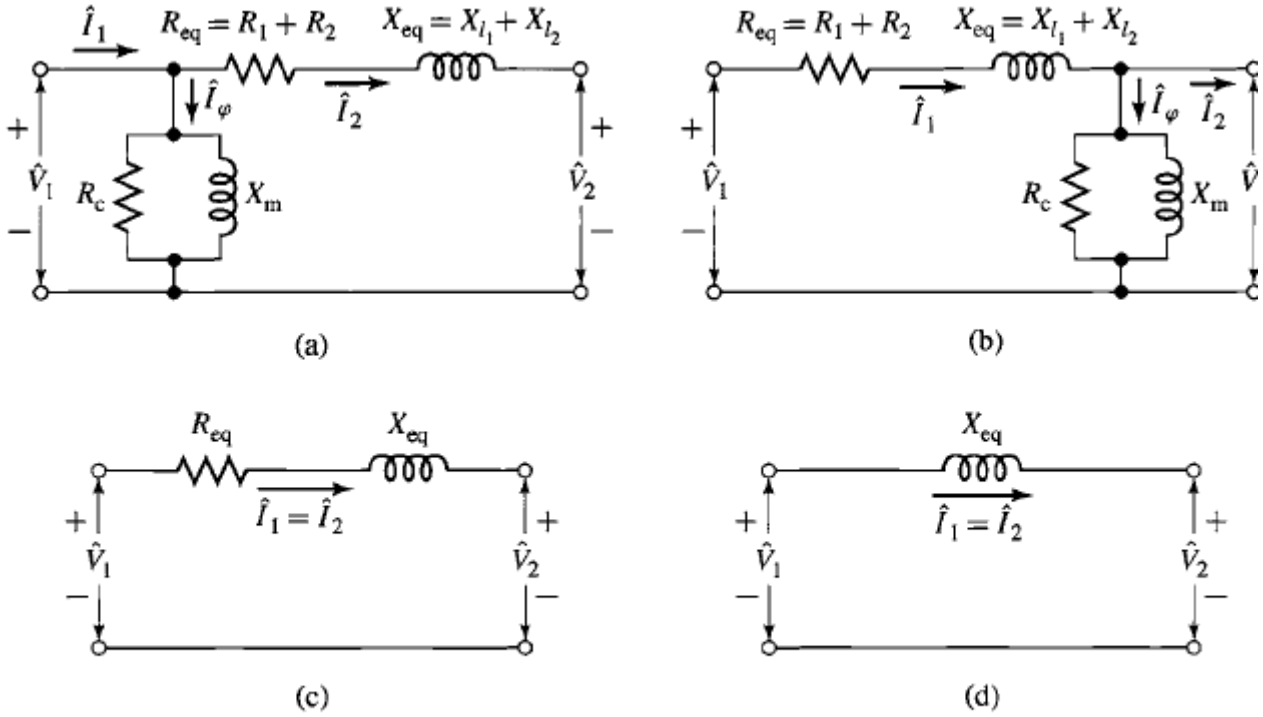


Figure 2.12 Approximate transformer equivalent circuits.

A=2200/220=10, $I_{sc}=I_{fl}$=S/V=50000/220=227.3A,Ip=227.3/10=22.73A,

Req=0.9+100*0.05=5.9Ω, Xeq=5+100*0.14=19Ω, Vp=Ip(Req+jXeq)

Vp=22.73(5.9+j19)=452.2∟72.8V

b-half full load with pf=0.8 lag current=

I_{hfl}=0.5S/[V*0.8] =0.5*50000/(220*0.8)=142∟-36.9A Ip=142/10=14.2∟-36.9A,

Vp=2200+Ip(Req+jXeq)=2200+14.2∟-36.9 *(5.9+j19)=2434.5∟3V

Question (3) **[15] Points**

3.a) Sketch and explain the torque-speed characteristics of a 3-phase induction motor as the supply voltage is changed, the supply frequency is changed, and both the supply voltage and frequency are changed?

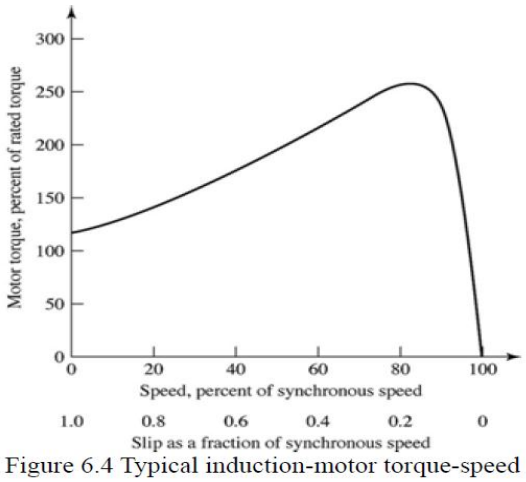


Figure 6.4 Typical induction-motor torque-speed

$$P_{gap} = \eta_{ph} I_2^2 \left(\frac{R_2}{s}\right)$$

$$P_{rotor} = \eta_{ph} I_{2s}^2 R_2$$

$$P_{rotor} = \eta_{ph} I_2^2 R_2$$

$$P_{mech} = P_{gap} - P_{rotor} = \eta_{ph} I_2^2 \left(\frac{R_2}{s}\right) - \eta_{ph} I_2^2 R_2$$

$$P_{mech} = \eta_{ph} I_2^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right)$$

$$P_{mech} = (1-s) P_{gap}$$

$$P_{rotor} = s P_{gap}$$

$$s = \frac{\eta_s - \eta}{\eta_s}$$

The slip is often expressed in percent.

η : rotor speed in rpm

$$\eta = (1-s)\eta_s$$

ω_m : mechanical angular velocity

$$\omega_m = (1-s)\omega_s$$

$$P_{mech} = \omega_m T_{mech} = (1-s)\omega_s T_{mech}$$

$$T_{mech} = \frac{P_{mech}}{\omega_m} = \frac{P_{gap}}{\omega_s} = \frac{n_{ph} I_2^2 (R_2/s)}{\omega_s}$$

$$\omega_s = \frac{4\pi f_e}{\text{poles}} = \left(\frac{2}{\text{poles}}\right)\omega_e$$

$$P_{shaft} = P_{mech} - P_{rot}$$

$$T_{shaft} = \frac{P_{shaft}}{\omega_m} = T_{mech} - T_{rot}$$

$$\frac{R_2}{s_{\text{maxT}}} = \sqrt{R_{1,\text{eq}}^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}$$

The slip s_{maxT} at maximum torque is therefore

$$s_{\text{maxT}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{1,\text{eq}}^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}}$$

l the corresponding torque is, from Eq. 6.33,

$$T_{\text{max}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{0.5 n_{\text{ph}} V_{1,\text{eq}}^2}{R_{1,\text{eq}} + \sqrt{R_{1,\text{eq}}^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}}\right]$$

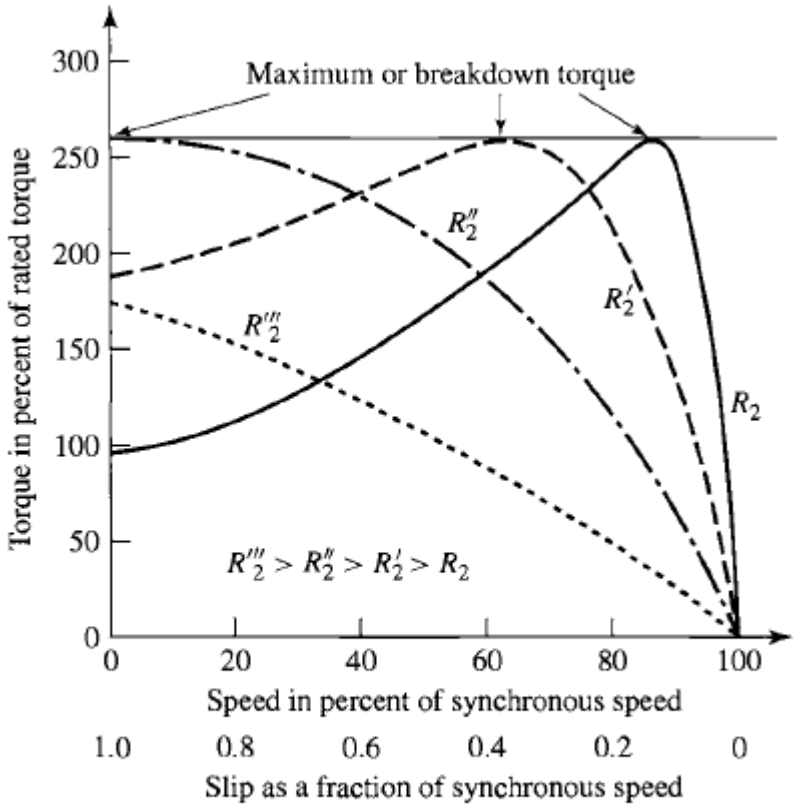


Figure 6.16 Induction-motor torque-slip curves showing effect of changing rotor-circuit resistance.

3.b) An induction motor [3-phase, 220 V, 10-hp, 60-Hz, six pole, Y connected] has a stator impedance of (0.344+j0.52) Ω and a rotor impedance referred to the stator of (0.15+j0.22)Ω . The exciting branch has X_m=13 Ω. Draw the equivalent circuit and

Determine: **(i)** the starting torque?

(ii) the maximum torque and the slip at which the maximum torque occurs?

(iii) the new rotor resistance that causes the maximum torque at starting?

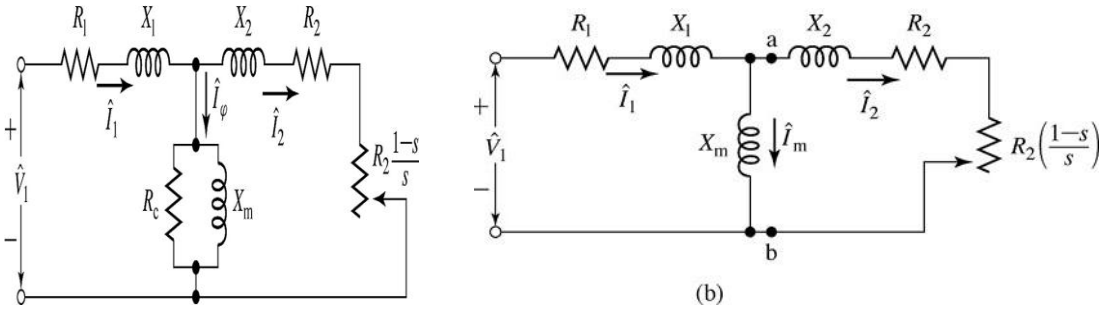


Figure 6.9 Single-phase equivalent circuit for a three-phase induction motor.
Equivalent circuits with the core-loss resistance *R*c neglected

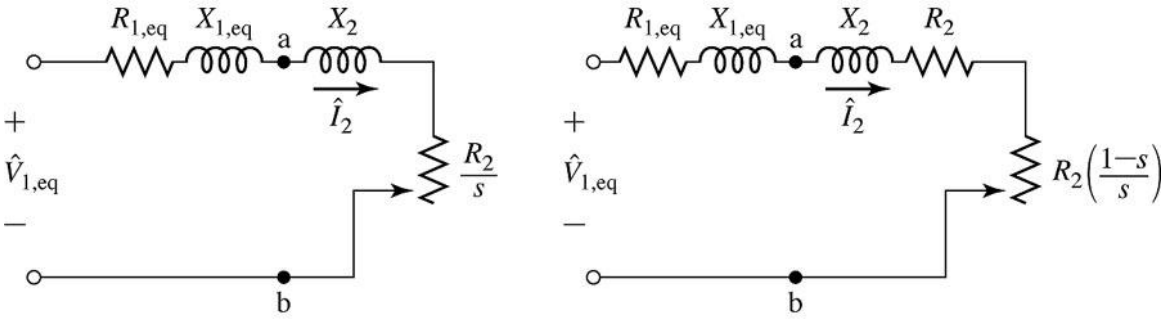


Figure 6.13 Induction-motor equivalent circuits simplified by Thevenin's theorem.

$$\hat{V}_{1,\text{eq}} = \hat{V}_1\left(\frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)}\right) \qquad (6.29)$$

$$Z_{1,\text{eq}} = R_{1,\text{eq}} + jX_{1,\text{eq}} = (R_1 + jX_1) \text{ in parallel with } jX_m \qquad (6.30)$$

$$Z_{1,\text{eq}} = \hat{V}_1 \frac{j X_m (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \qquad (6.31)$$

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{V}_{1,\text{eq}}}{Z_{1,\text{eq}} + jX_2 + R_2/s} \qquad (6.32)$$

$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{\text{ph}} V_{1,\text{eq}}^2 (R_2/s)}{(R_{1,\text{eq}} + (R_2/s))^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}\right] \qquad (6.33)$$

$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{\text{ph}} V_{1,\text{eq}}^2 (R_2/s)}{(R_{1,\text{eq}} + (R_2/s))^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}\right]$$

$$s_{\max T} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{1,\text{eq}}^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}} \quad , \; T_{\max} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{0.5 n_{ph} V_{1,\text{eq}}^2}{R_{1,\text{eq}} + \sqrt{R_{1,\text{eq}}^2 + (X_{1,\text{eq}} + X_2)^2}}\right]$$

n_s=120*60/6=1200rpm, ω_s=1200*pi/30=125.7rad/s, Vph=220/√3=127V

at start S=1, then approximately

Tstart=[3*127*0.15]/[125.7*((0.3+0.15)^2+(0.5+0.22)^2)]=74.3Nm

Tmax=[0.5*3*127]/[125.7*(0.3)+(0.3^2+0.72^2)^0.5]=168.4Nm

Smaxt=[0.15]/[(0.3^2+0.72^2)^0.5]=0.184

R2new=[(0.3^2+0.72^2)^0.5]=0.8 Ω

Question (4) **[15] Points**

4.a) Explain the starting process of the DC motor?

٣ -٦ طرق بدء الحركة Starting Methods

الهدف من بدء الحركة لمحركات التيار المستمر هو تقنين التيار المسحوب لحظة البداية. حيث يكون هذا التيار مرتفع جدا ويتضح ذلك من معادلات التيار الموضحة:

بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a} \qquad 3\text{-}39$$

أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a + R_{se}} \qquad 3\text{-}40$$

أثناء تشغيل المحرك يكون الفرق بين جهد المنبع والقوة الدافعة العكسية مقدار صغير وبالتالي تكون قيمة تيار المحرك هي القيمة التي يحددها الحمل. أما لحظة بدء الحركة تكون السرعة مساوية للصفر وبالتالي القوة الدافعة العكسية صفر أيضا (حيث تتناسب مع السرعة). وبالرجوع إلى المعادلات ٣ -٣، ٣ -٣٩، ٣ -٤٠ نجد أن قيمة التيار عند البدء وهو عبارة عن الجهد المسلط مقسوما على مقاومة المنتج في حالة محرك التوازي ومقسوما على مقاومة المنتج ومقاومة ملفات التوالي في حالة محرك التوالي. وهذا التيار قيمته عالية جدا حسب المعادلات التالية:

بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a} \qquad 3\text{-}41$$

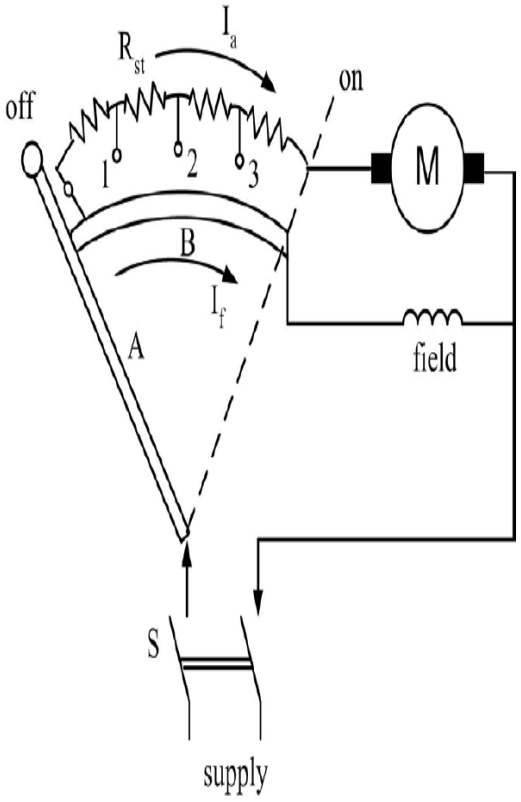
أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a + R_{se}} \qquad 3\text{-}42$$

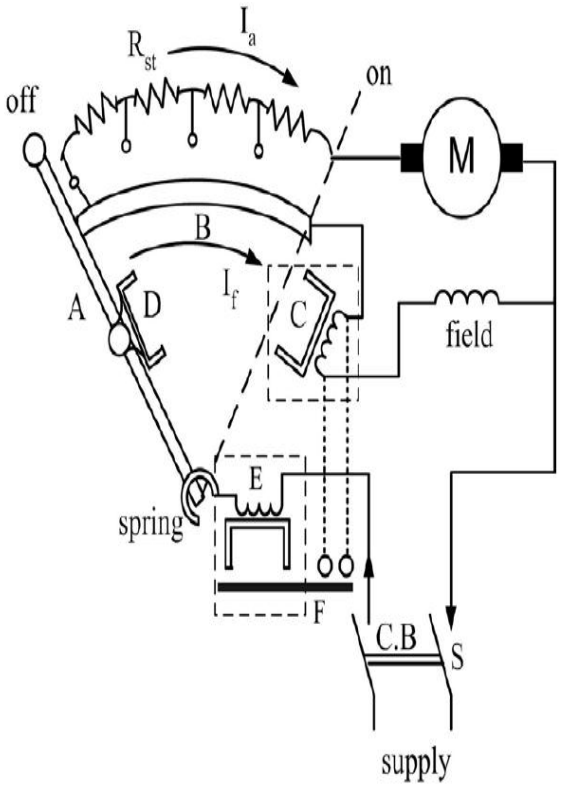
جدا بالنسبة لقدرة المحرك. ولذلك يجب استخدام وسيلة بدء حركة أو ما يسمى ببادئ الحركة (starter) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المنتج وهذه المقاومة بدورها تحد من قيمة التيار إلى القيمة المسموح بها، فعندما يتحرك المنتج تتولد قوة دافعة عكسية (مضادة) تقلل من قيمة التيار المار وبالتالي تغير هذه المقاومة إلى قيمة أصغر حتى يصل المحرك إلى سرعته المقننة فتصل قيمة المقاومة إلى الصفر.

٣ -٦ -١ بادئ الحركة اليدوي

في المحركات الصغيرة يستعمل بادئ حركة يدوي وهو عبارة عن مقاومة من عدة أجزاء تكون على التوالي مع المنتج، وتخرج هذه المقاومة على مراحل حتى يصل المحرك إلى سرعته النهائية تكون هذه المقاومات قد أخرجت كليا من الدائرة، وعندئذ يكون المحرك موصل مباشرة بمنبع الجهد. يبين شكل ٣ -١٧ بادئ الحركة من هذا النوع لمحرك توازي، وفيه الزراع (A) يلامس نقطة التماس المتصلة بمقاومة بدء الحركة Rst وفي نفس الوقت يلامس القوس النحاس (B) الذي يغذي ملفات التوازي وبهذا الترتيب نجد أنه عند البداية تكون قيمة المقاومة الكلية مضافة إلى مقاومة المنتج وبذلك يقل تيار البدء، ثم بعد ذلك نبدأ في تحريك الزراع (A) ليصل إلى النقطة رقم ١ ثم ٢ ثم ٣ إلى أن يصل إلى الوضع on تكون المقاومة قد خرجت من الدائرة ويكون الجهد المسلط على المنتج هو جهد المنبع ويدور المحرك عند السرعة المقننة. ولكن من عيوب استخدام البادئ اليدوي أنه بعد فصل المفتاح الرئيسي (S) أي بعد فصل منبع الجهد عن المحرك لإيقافه يبقى الزراع عند وضع التشغيل (on) ويترتب على ذلك أنه عند بدء الحركة مرة أخرى يكون المنتج موصل مباشرة بالمنبع ولذا يجب بعد إيقاف المحرك إرجاع الزراع إلى



شكل ٣ -١٧ مخطط بادئ حركة يدوي



شكل ٣ -١٨ مخطط بادئ حركة أوتوماتيكي

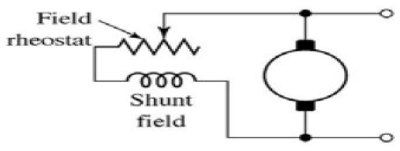
٣ -٦ -٢ بادئ الحركة الأوتوماتيكي

يستخدم في محركات التيار المستمر ذات قدرات أعلى من ٢٠ حصان وهو مزود بملف (متمم) فوق الحمل (overload) الذي يفصل المحرك عن المنبع عند زيادة الحمل كما يوجد أيضا قاطع أتوماتيكي (circuit breaker) للقيام بعمل المفتاح الرئيسي (s) عند حدوث قصر في الدائرة. الشكل ٣ -١٨ يبين مخطط لترتيب بدء حركة محركات التوازي والمركبة. في البداية يكون الزراع A عند الوضع off، عند توصيل المفتاح S يتصل منبع الجهد بالقاطع الأوتوماتيكي ويمر تيار في ملف المتمم E ومنه إلى الزراع A ثم القوس النحاس B فملف الجاذب C وأخيرا ملفات المجال وملفات المنتج، وعند هذه اللحظة تكون مقاومة البادئ الكلية موصلة على التوالي مع المنتج وبالتالي يقل تيار البدء. عند مرور تيار في ملف الجاذب C يتولد مجال مغناطيسي يعمل على جذب الحافظة D إلى الجاذب C وبالتالي يبدأ الزراع A في الحركة متجها إلى الجاذب C . ويبدأ خروج أجزاء من مقاومة البادئ Rst تدريجيا إلى أن يصل الزراع A إلى الوضع on تكون مقاومة البادئ قد خرجت كليا من الدائرة وأصبح جهد المنبع مسلط على المنتج.

عند فتح المفتاح الرئيسي S لإيقاف المحرك فإن المجال الناشئ عن مرور التيار في ملف الجاذب C يزول وينتج عن ذلك أن يترك المغناطيس الكهربي الحافظة D فيعود الزراع A من وضع التشغيل on إلى وضع عدم التشغيل off بواسطة زنبرك (spring) متصل بالزراع A وقاعدة البادئ. أيضا يوجد بالبادئ متمم E يحتوى على ملف ومغناطيس كهربي وحافظة F، يمر بالملف تيار الخط فعند زيادة الحمل تنجذب الحافظة F للمغناطيس الكهربي للمتمم E، ومثبت بالحافظة قطعة من النحاس تعمل على قفل مسار توصيل فيحدث قصر على طرفي ملف الجاذب C ويترتب على ذلك أن يتلاشى المغناطيس الكهربي فيترك الحافظة D وبالتالي يعود الزراع A بفعل الزنبرك إلى وضع عدم التشغيل ويقف المحرك.

4.b)A [15Hp, 230V] DC shunt motor delivers a full load torque at 1200rpm while the motor line full load current is 75A. The armature resistance is 0.2 Ω and the field resistance is 230 Ω. **Determine**

(i) the generated emf, **(ii)** the developed torque at full load **(iii)** the motor speed if the field resistance is reduced to 200 Ω at the same load torque?



$$T_{mech} = K_a \Phi_d i_a \quad e_a = K_a \Phi_d \omega_m$$

In a motor the relation between the emf E_a generated in the armature and and the armature terminal voltage V_a is

$$V_a = E_a + I_a R_a \tag{7.11}$$

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a} \tag{7.12}$$

Torque and power:

The electromagnetic torque T_{mech}

$$T_{mech} = K_a \Phi_d I_a$$

The generated voltage E_a

$$E_a = K_a \Phi_d \omega_m$$

$$K_a = \frac{\text{poles} C_a}{2\pi m}$$

$E_a I_a$: electromagnetic power

$$T_{mech} = \frac{E_a I_a}{\omega_m} = K_a \Phi_d I_a$$

I_f=230/230=1A, I_a=57-1=56A, E_a=230-56*0.2=218.8V, w=(pi/30)*1200=125.7rad/sec

P_{out}=218.8*56=12252.8W, T_{out}=12252.8/125.7=97.5Nm

I_f=230/200=1.15A, I_a=57-1.15=55.85A, E_a=230-55.85*0.2=218.83V, w_2=(218.83*55.85)/(97.5*pi/30)=1197rpm