

1. 회전기기 6장 예제 1, 4, 5, 6번 문제 숫자를 변경해서 문제를 만들고, 풀이를 작성해서 제출하시오.

예제 6.1) 어떤 공장에서 5kV, 500kVA 의 3상 동기기가 유도 전동기와 같이 설치되어있다. 다음은 각 기기들의 부하이다.

- 유도 전동기: 400 kVA, 역률 0.9 지상
- 동기 전동기: 300 kVA, 역률 1.0

(a) 공장의 전체 역률을 구하여라.

(b) 공장의 역률을 개선하기 위해 부하가 변동하지 않는 상태에서 동기기가 진상 전류를 발생하도록 과여자 상태로 만들었다. 전동기에 과부하가 걸리지 않는 범위에서 어느 정도까지 공장의 역률을 개선시킬 수 있는가? 이 조건에서 동기기의 전류와 역률을 구하여라.

어떤 공장에서 4kV, 400kVA의 3상 동기기가 유도 전동기와 같이 설치

$$(a) \text{ 유도 전동기 } \begin{cases} \text{유효 전력} = 500 \times 0.8 = 400 \text{ kW} \\ \text{무효 전력} = 500 \times 0.6 = 300 \text{ kVAR} \end{cases}$$

$$\text{동기 전동기 } \begin{cases} \text{유효 전력} = 300 \text{ kW} \\ \text{무효 전력} = 0.0 \end{cases}$$

$$\text{공장 } \begin{cases} \text{유효 전력} = 700 \text{ kW} \\ \text{무효 전력} = 300 \text{ kVAR} \\ \text{합성 전력} = \sqrt{700^2 + 300^2} = 762 \text{ kVA} \\ \text{역률} = \frac{700}{762} = 0.92 \text{ 지상} \end{cases}$$

(b) 정력을 넘지 않는 범위에서 동기 전동기가 만들 수 있는 최대

$$\text{진상 무효 전력은 } \sqrt{400^2 - 300^2} = 264.58 \text{ kVAR}$$

$$\text{공장 kVAR} = j300 - j264.48 = j35.42 \text{ (지상)}$$

$$\text{새로운 공장 kVA} = \sqrt{700^2 + 35.42^2} = 700.9 \text{ kVA}$$

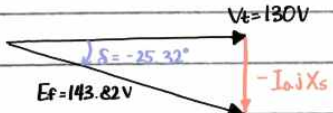
$$\text{개선된 공장 역률} = \frac{700}{700.9} = 0.996$$

$$\text{동기전동기 전류 } I_m = \frac{400 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 4 \text{ kV}} = 57.74 \text{ A}$$

$$\text{동기 전동기 역률 } PF_{sm} = \frac{300 \text{ kW}}{400 \text{ kVA}} = 0.75 \text{ (지상)}$$

예제 6.4) 예제 6.3은 “5kVA, 208V, 4극, 60Hz, 성형결선의 3상 동기기에서 고정자 권선 저항은 무시하고 정격 단자 전압에서 동기 리액턴스는 8옴이다”이다. 예제 6.3에서 3상 동기기가 3상 225V, 60Hz 전원으로 동작한다. 동기기가 전원에서부터 3kW를 공급받고 역률이 1이 되도록 계자 여자를 조정하였다.

- (a) 여자 전압과 전력각을 구하여라. 이 조건에서 페이서도를 그려라.  
 (b) 계자 여자가 일정하게 유지되고 축 부하가 점차 증가할 때 전동기가 구동할 수 있는 최대 토크(탈출 토크)를 구하여라.

(a)	(b)
$\cos \phi = 1$ 일 때 $3V_t I_a \cos \phi = 3V_t I_a = 3kW$	최대 토크 = $\delta = 90^\circ$ 일 때 발생
$225V = \sqrt{3} \times 130$	
$I_a = \frac{3000}{3 \times V_t} = \frac{3000}{3 \times 130} = 7.69 \text{ A}$	$P_{max} = \frac{3V_t  E_f }{ X_s }$
	$= \frac{3 \times 130 \times 143.82}{8}$
	$= 7011.225 \text{ W}$
$E_f = V_t - I_a \cdot j \cdot X_s$	
$= 130 \angle 0^\circ - 7.69 \angle 0^\circ \cdot 8j$	$T_{max} = \frac{P_{max}}{\omega_{syn}}$
$= 143.82 \angle -25.32^\circ$	$= \frac{7011.225}{(1800/60) \times 2\pi}$
	$= 37.2 \text{ N}\cdot\text{m}$
여자전압 $E_f = 143.82 \text{ V/상}$	
전력각 $\delta = -25.32^\circ$	
$E_f = \sqrt{V_t^2 + (I_a X_s)^2}$	
$= \sqrt{130^2 + (7.69 \times 8)^2}$	
$= 143.82 \text{ V/phase}$	
$\tan^{-1} \left( \frac{ I_a X_s }{ V_t } \right) =  \delta  = 25.32^\circ$	
	

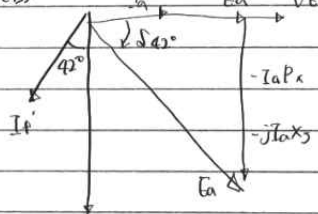
예제 6.5) 450V, 60Hz, 1800rpm, 120hp의 3상 동기 전동기의 등가 회로 상수가 다음과 같다.

$$R_a = 0.0078\Omega, X_{al} = 0.05\Omega, X_{ar} = 1.85\Omega, N_{re}/N_{se} = 28.2$$

정격에서 계자 전류는 전동기 역률이 1이 되도록 조정한다. 단, 계자 권선에서의 모든 회전 손실과 전력 손실은 무시한다.

(a) 정격 운전 조건하에서 전동기 전류  $I_a$ , 여자전류  $I_f$  및 전력각  $\delta$ 를 구하여라.

(b) 페이서도를 그려라.

(a)	(b)
$P_{in} = \sqrt{3} \times 450 \times I_a$ $= 3 \times 0.078 I_a^2 + 125 \times 746$	
$\therefore I_a = 121.4A$	
$V_t = \frac{450}{\sqrt{3}} = 259.81$	
$E_a = V_t - I_a R_a$ $= 260 - 121.4 \times 0.0078$ $= 250.5$	
$X_s = X_{al} + X_{ar}$ $= 0.05 + 1.85$ $= 1.9 \Omega$	
$I_m = \frac{E_a}{X_s} = \frac{250.5 \angle 0}{1.9 \angle 90} = 131.84 \angle -90^\circ$	
$I_f' = I_m - I_a$ $= 131.84 \angle -90^\circ - 121.4 \angle 0$ $= 179.22 \angle -132$	
$n = 13.29 \text{ 이고}$	
$I_f = 179.22 \times 1.9 \times \frac{1}{1.85} \times \frac{1}{0.27}$ $= 13.85A$	
$\delta = 31.90^\circ$ $= -42^\circ$	

예제 6.6) 5MVA, 10kV, 60Hz의 3상 동기기의 동기 리액턴스가 한 상당 10옴이고 고정자 저항은 무시한다. 이 동기기는 11kV, 60Hz의 모선에 연결되어 있고 동기 조상기로 운전되고 있다.


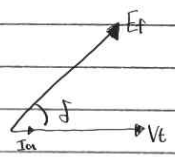
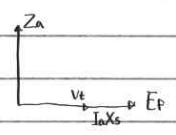
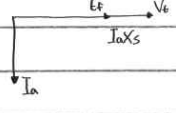
1. 회전 손실을 무시하면

(a) 정격여자일 때 고정자 전류를 구하여라. 페이서도를 그려라.

(b) 여자가 정격여자의 150%로 증가되면 이때의 고정자 전류와 역률을 구하고, 페이서도를 그려라.

(c) 여자가 정격여자의 50%로 감소할 때 고정자 전류와 역률을 구하고, 페이서도를 그려라.

2. 회전손실이 80 kW일 때에, 정격여자 시의 고정자 전류와 여자 전압을 구하고, 페이서도를 그려라.

1.	2.
(a)	$P = 3V_t I_a \cos \theta$
전력 $P = 3V_t I_a \cos \theta$ 이고, 정격여자 상태에서 역률 1이다.	$= 80000$
따라서 $V_t$ 와 $I_a$ 는 동상이다. 전력이 0이므로 $I_a$ 는 0이다.	
$P_{\text{avg}} = \frac{3V_t I_a}{1 \times 1} \sin \theta$ 로부터 전력 전달이 없을 때 $\theta$ 는 0이다.	$I_a = \frac{80000}{3 \times 5773 \times 1}$
$I_a$ 가 0이면 $V_t$ 와 $E_f$ 는 모두 같은 크기를 갖는다.	$= 4.62 \text{ A}$
$E_f = V_t = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ kV/상} = 5.77 \text{ kV/상}$	$E_f = V_t - I_a j X_s$
이때 대한 페이서도는 아래와 같다	$= 5773 - 4.62 \times 10 \angle 90^\circ$
	$= 5773.18 \angle -0.4$
(b)	
전력 전달이 0이므로 $\theta = 0$	
따라서 $I_a = \frac{V_t - E_f}{j X_s}$	
$= \frac{5773 - 1.5 \times 5773}{10 \angle 90^\circ}$	
$= 288.65 \angle 90^\circ$	
(c)	
$I_a = \frac{5773 - 0.5 \times 5773}{10 \angle 90^\circ}$	
$= 288.68 \angle -90^\circ$	
역률 $PF = \cos(-90^\circ)$	
$= 0$	

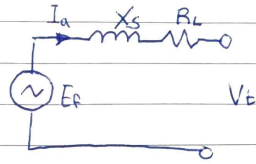
2. 공장 시스템에 동기기가 있을 때, 역률 개선 방법에 대해 설명하시오.

$$S = \vec{V}_t \times \vec{I}_a$$

$$\vec{V}_t = \vec{Z}_s \vec{I}_a + \vec{E}_f$$

$$\therefore \vec{I}_a = \frac{\vec{V}_t - \vec{E}_f}{\vec{Z}_s}$$

$$= \left| \frac{\vec{V}_t}{\vec{Z}_s} \right| - \left| \frac{\vec{E}_f}{\vec{Z}_s} \right|$$



$$\frac{E_f \angle -\delta}{Z_s \angle -\theta_s} - \frac{V_t \angle 0}{Z_s \angle -\theta_s}$$

$$= \frac{E_f}{Z_s} \angle (\theta_s - \delta) - \frac{V_t}{Z_s} \angle \theta_s$$

$$\therefore S = \frac{V_t E_f}{Z_s} \angle (\theta_s - \delta) - \frac{V_t^2}{Z_s} \angle \theta_s \text{ [VA]/phase}$$

$$\text{or } P = \frac{V_t E_f}{Z_s} \cos(\theta_s - \delta) - \frac{V_t^2}{Z_s} \cos \theta_s \text{ [W]/phase}$$

만약  $R_s \ll X_s$  라면,  $\theta_s = 90$

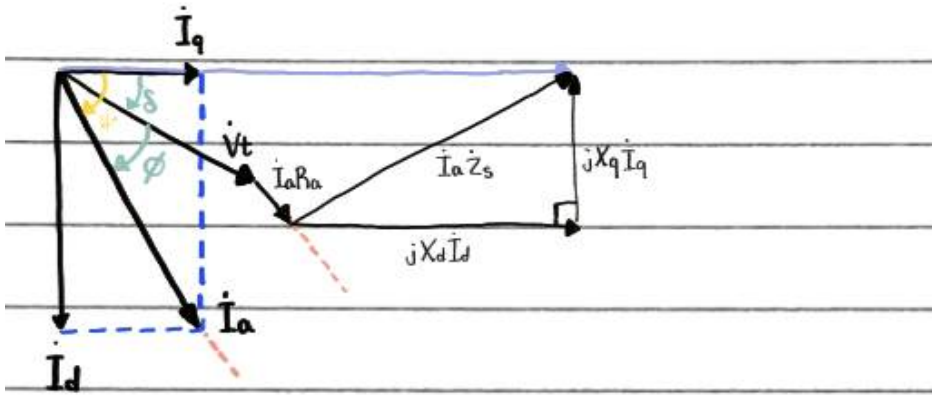
$$\therefore P = 3 \frac{V_t E_f}{X_s} \cos(90 - \delta) - 0 = \frac{3 V_t E_f}{X_s} \sin \delta$$

$$= P_{max} \sin \delta \text{ [W]}$$

$$\therefore Q_{3\phi} = 3 \frac{V_t E_f}{X_s} \cos(\delta) - \frac{3 V_t^2}{X_s} \text{ [VAR]}$$

$$T = \frac{P_{3\phi}}{\omega_{syn}} = \frac{3 V_t E_f}{\omega_{syn} X_s} \sin \delta = T_{max} \sin \delta$$

3. 돌극형 동기발전기 출력식을 유도하시오.



$$S = V_t I_t$$

$$= V_t \angle -\delta (I_q - j I_d)$$

$$= V_t \angle -\delta (I_q + j I_d)$$

$$I_d = \frac{E_f - V_t \cos \delta}{X_d}$$

$$I_q = \frac{V_t \sin \delta}{X_q}$$

$$S = V_t (\cos \delta - j \sin \delta) \left[ j \frac{E_f - V_t \cos \delta}{X_d} + \frac{V_t \sin \delta}{X_q} \right]$$

$$= P + jQ$$

$$P = \frac{V_t^2 \cos \delta \sin \delta}{X_q} + \frac{V_t E_f \sin \delta - V_t^2 \sin \delta \cos \delta}{X_d}$$

$$= \frac{V_t E_f}{X_d} \sin \delta + \frac{V_t^2 (X_d - X_q)}{2 X_d X_q} \sin 2\delta$$

4. 결론 및 소감

페이지도 그리는 것이 처음에는 헛갈렸는데, 값을 바꾸어보면서 공부해보니 이해가 될 수 있었다.