

제정 기술표준원고시 제2000 - 54호(2000. 4. 6)
개정 기술표준원고시 제2002-1280호(2002. 10. 12)

전기용품안전기준

K 60034-10

[KS C IEC 2002]

회 전 기 기

제 10 부 : 동기기에 대한 일반사항

목 차

1. 목적	2
2. 위상 다이어그램	2
3. 동기기의 산술적 기술	6
부속서 A	9
부속서 B	11
그림1	4
그림2	5
그림3	9
그림4	9
그림5	10
그림6	10
그림7	13
그림8	13

- 주) — : IEC 기준과 상이한 부분
* : 적용하지 않아도 되는 부분
※ : 추가된 부분

한국 산업 규격 KS C
회 전 기 기 IEC 60034-10 : 2002
제10부: 동기기에 대한 일반사항 (IEC 60034-10 : 1975, IDT)
Rotating electrical machines
Part 10: Conventions for description of synchronous machines

서 문 이 규격은 1975년에 발행된 IEC 60034-10(Rotating electrical machines Part10 : conventions for description of synchronous machines)을 번역해서 기술적 내용 및 규격의 서식을 변경하지 않고 한국산업규격으로 제정한 것이다.

1. 목적

본 규격은 전기회로와 자기 회로에 관련된 동기기의 설명에 관한 **명확한** 규정을 정하기 위함이다.

2. 위상 다이어그램

2.1 동기기의 **위상 다이어그램**을 그릴 때 필요한 **주요 기준 방향과 부호 규정이 다음과 같**이 추천된다.

a) 축을 포함하는 전체 **위상 다이어그램**의 양의 회전 방향은 **반시계 방향**이다. 이와 같은 방향은 각도를 측정할 때에도 **동일하게** 양의 방향으로 적용된다.

b) **직축**은 **횡축**보다 **90도 앞선다**.

c) **자속선(쇄교자속)**과 임의의 권선(회로)의 기자력은 그 방향이 관련 축의 양의 방향과 일치할 때, 양으로 간주한다.

d) **위상**의 구성 성분이 관련 축의 양의 방향과 일치할 때 양으로 **간주한다**.

e) 여자 권선의 직축 기자력 **위상 방향은 직축 정 방향과 일치한다**.

f) 전류는 **일치하는** 권선(회로)에서 양의 **자속선(쇄교자속)**을 발생할 때 양으로 간주한다.

g) 유기기전력은 **쇄교자속의** 변화와 반대되는 극성을 가지며, $e = - \frac{d\Psi}{dt}$ 의 방정식을 만족한다.(각속도가 일정한 정상 상태에서, 유기기전력은 $E = - j\omega\Psi$ 로도 표현될 수 있다.)

'f'와 관련된 규정은 회로의 임의의 **지선**에서의 기전력은 저항으로 단혀 있을 때 **양의 값으로 간주하므로 그 지선에서의 전류가 양이 되도록 한다**.

h) 모든 물리량(전류, 전압, 기전력 등)의 직축과 횡축 성분은 그들이 언급된 축을 따라 지정되어진다.

2.2 발전기(전원)에 관한 규정의 사용을 기본으로 하는 것이 권장된다.

기전력과 전압, 전류, 전력의 기준 극에 대응하는 전기자 회로의 다이어그램과 과여자 돌극 동기식 발전기의 위상 다이어그램이 4쪽의 그림 1에 나와 있다. 횡축이 위상 다이어그램에서 기준 축으로 권장된다. 그러나, 기기가 시스템의 일부를 형성할 때, 임의의 다른 규정된 기준 축(예를 들어 단자 전압, 전류 등)이 쓰여질 수도 있다. 정상상태 대칭 운전 조건이 고려되나, 과도기와 초기 과도기의 기전력에 대응하는 위상도 도시되어진다.

고정된 세 축 A, B, C는 점선으로 나타내므로 고정축과 회전 위상과의 관계를 보이고, 기전력과 전류 등의 순간적인 위상의 크기를 결정하는데 용이하다.

전동기(혹은 부하) 규정의 사용은 전동기만에 대한 연구에 유용한 기준이다. 부족여자 된 동기식 전동기에 대응하는 위상의 다이어그램이 5쪽의 그림 2에 나와 있다. 여기서, 발전기의 경우와 같이 횡축이 기준축으로 권장된다.

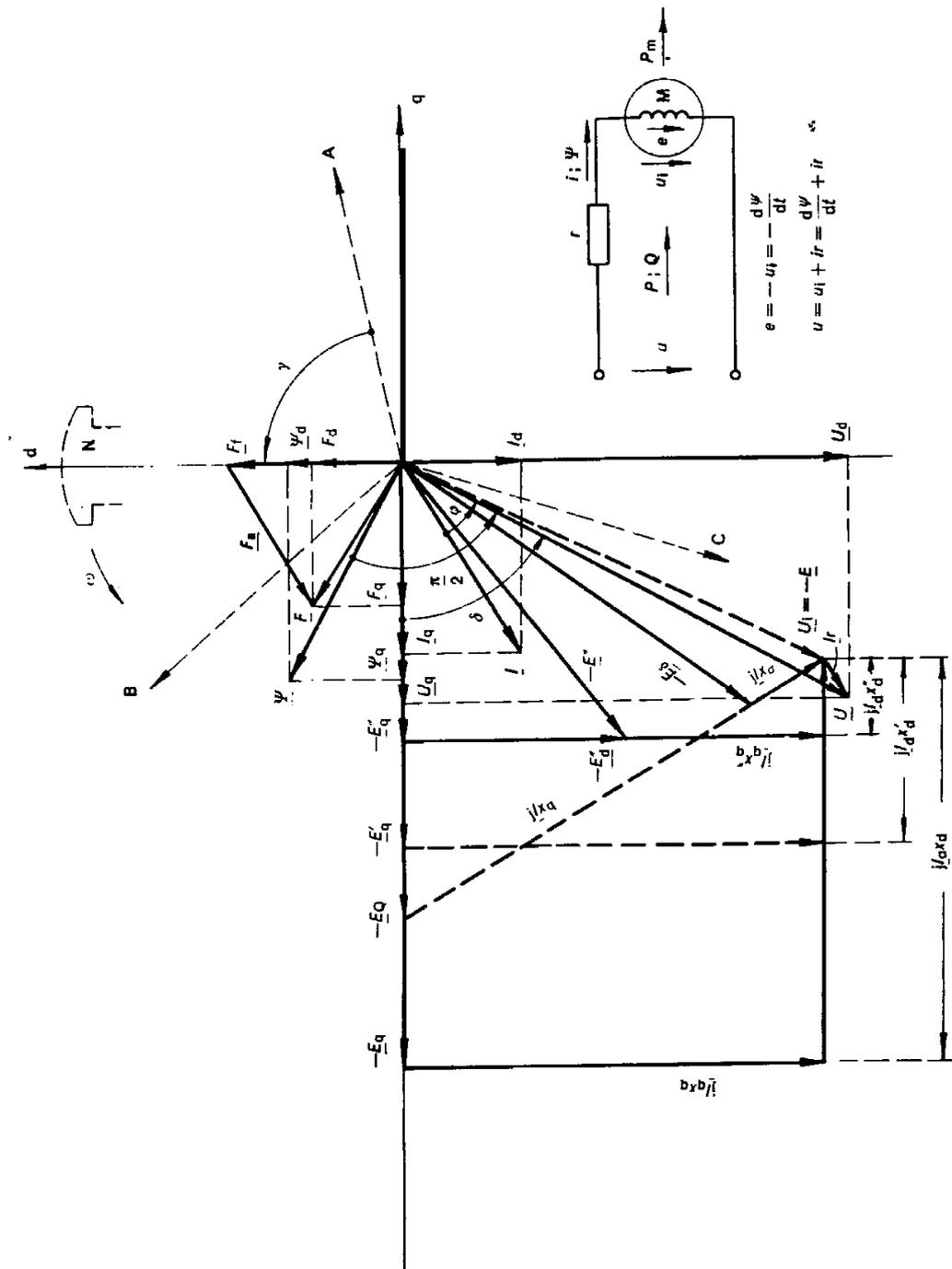


그림 2 - 전동기에 관한 규정을 기준으로 삼을 경우, 부족여자 동기전동기의 위상과 회로 다이어그램

발전기 기준으로 할 경우의 위상 다이어그램과 비슷하게 전동기를 기준으로 할 때, 어떤 다른 기준축도 편리한대로 사용될 수 있다. 그림 2에서 정지 위상 축 A, B, C는 점선으로 보인다. 전동기 기준일 경우, 기준 극의 전기자 회로 다이어그램도 주어진다.

발전기 기준으로 동기전동기(10쪽의 그림 5의 과여자된 전동기와 그림 6의 부족여자 된 전동기)와 동기발전기(9쪽의 그림 3의 과여자된 발전기와 그림 4의 부족여자 된 발전기)의 비돌극의 정상 상태에서의 동작이 간략화된 위상 다이어그램으로 부속서 A에 참조되어 있다. 모든 경우에서 전기자 저항은 무시하고 $x_d = x_q$ 라고 가정한다.

주 - 만약 편리하다면 (예를 들어 전동기 기준으로 규정할 경우) 그림1에서 6까지의 위상 및 회로 다이어그램에서 사용되어진 유기 기전력은, 발전기 규정 시 기전력과 같거나 (즉, 일반적인 공식으로 $u = + e, U = + E$), 전동기 규정 시 기전력과 반대가 되는 ($u = - e, U = - E$) 전압으로 대체되어질 수 있다.

출판물에서 다루는 규정의 일부분에 관련하여 추가적인 설명이 부속서 B에 나와 있다.

3. 동기기의 산술적 기술

3.1 동기기의 더 나은 설명과 산술적 표현을 위해 다음의 추가적인 규정이 추천된다.

a) 발전기 기준일 경우, 발전기로부터 회로(부하)로 전력이 흐를 때, 유효 전력을 양으로 본다. 전동기 기준일 경우, 전원에서부터 끌어낸 유효 전력을 양으로 본다.

b) 회전자의 회전 속도가 동기 속도보다 낮을 때, 슬립을 양으로 본다.

c) 양의 여자 전류를 흘릴 때, 여자 전압을 양으로 본다.

d) 회전하는 부분을 양의 회전 방향으로 가속시키는 모든 토크를 양으로 본다. (예를 들어, 통상 정상 상태의 발전기 동작에서 축의 기계적 토크를 양으로 보고, 이에 대응하는 발전기의 전자기 토크를 음으로 본다. 통상의 전동기의 동작에서 축의 기계적 토크는 음으로 보고, 전자기 토크는 양으로 본다.) 회전자에 다수의 토크가 작용할 경우, 산술적 합으로 다루어야 한다.

e) 전기와 자기 회로에 관련된 규정인 IEC375의 부속항 14.2에 따르면, 인덕터에 흡수되는 무효전력에 양의 부호를 붙인다. 즉, 과여자된 발전기이거나 부족여자된 전동기 경우의 동기 기 운전은 양의 무효전력으로 동작하는 것으로 한다.

주 - 무효 전력 Q의 양의 값은 유효 전력 P의 기준 방향과 일치한다.

3.2 다음의 동기기 방정식들은 잘 알려진 이축 이론에 따라 기술되어지며, 이와 별도로 영상 성분은 상기 기술된 규정과 2절의 위상 다이어그램에 따른다.

모든 값은 다음과 같이 퍼유니트 값이다.

- 정격(기본) 각주파수의 역수 $1/\omega_n$ 에 대한 시간
- 고정자 권선으로 변환되고 그 기본 첨두값(Crest value)에 대한 전압, 전류, 자속
- 기본 피상 전력(VA)에 대한 전력
- 기본 피상 전력에 해당하는 기본 '피상' 토크에 대한 토크
- 고정자 권선으로 변환되고 기본 임피던스에 대한 리액턴스와 저항

기기만을 고려할 때 기본 값으로 정격값들이 추천된다.

동기기 방정식

발전기에 관한 특수 방정식

$$u_d = -u \sin \delta = -P\Psi_d - \Psi_q P\gamma - ri_d$$

$$u_q = u \cos \delta = \Psi_d P\gamma - P\Psi_q - ri_q$$

전동기에 관한 특수 방정식

$$u_d = -u \sin \delta = P\Psi_d + \Psi_q P\gamma + ri_d$$

$$u_q = -u \cos \delta = -\Psi_d P\gamma + P\Psi_q + ri_q$$

양쪽에 적용되는 공통 방정식

$$u_f = P\Psi_f + r_f i_f$$

$$0 = P\Psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$0 = P\Psi_{kq} + r_{kq} i_{kq} \quad k = 1, 2, \dots, m$$

$$P = u_d i_d + u_q i_q$$

$$Q = u_d i_q - u_q i_d$$

$$m = -\Psi_d i_q + \Psi_q i_d$$

$$m_m + m = \tau_J P^2 \gamma$$

$$\Psi_d = X_d i_d + X_{afd} i_f + \sum_{k=1}^{k=n} X_{akd} i_{kd}$$

$$\Psi_q = X_q i_q + \sum_{k=1}^{k=m} X_{akq} i_{kq}$$

$$\Psi_f = X_{ffd} i_f + X_{afd} i_d + \sum_{k=1}^{k=n} X_{fkd} i_{kd}$$

$$\Psi_{kd} = X_{akd} i_d + X_{fkd} i_f + \sum_{j=1}^{j=n} X_{kjd} i_{jd} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$\Psi_{kq} = X_{akq} i_q + \sum_{j=1}^{j=m} X_{kjq} i_{jq} \quad k = 1, 2, \dots, m$$

3.3 기준에 쓰인 기호

E, e = 기전력

F = 기자력

I, i = 전류

m = 토크

P = 유효 전력

p = $\frac{d}{dt}$ = 미분 기호

Q = 무효 전력

r = 저항

U, u = 단자 전압

x = 리액턴스

γ = A 축에서부터 직축까지의 회전 방향을 측정했을 때의 각도

δ = 전기자 전압과 횡축 사이의 부하 각도

τ = 시정수

ϕ = 역율각

Ψ, ψ = 쇄교자속

ω = 각주파수

주 - 소문자와 대문자 둘 다 있을 경우, 대문자는 위상에 대한 값이며, 소문자는 순시치를 나타낸다.

첨자는 다음과 같이 나타낸다.

a = 전기자 권선

d, q = 직축과 횡축

f = 계자 권선

i = 내부

j, k = 댐핑 회로 갯수

J = 가속 시간에 필요한 관성

m = 기구부

n = 정격 값

δ = 공극

σ = 누설 회로

권선을 가리키는 두 개의 다른 첨자는 그들 간의 상호 유도가 있음을 나타내며, 두 개의 같은 첨자는 자기 유도가 있음을 나타낸다.

과도기와 초기과도기 값은 기호의 오른쪽 윗 편에 하나 또는 두 개의 표시로 나타낸다.

(x' ; x'')

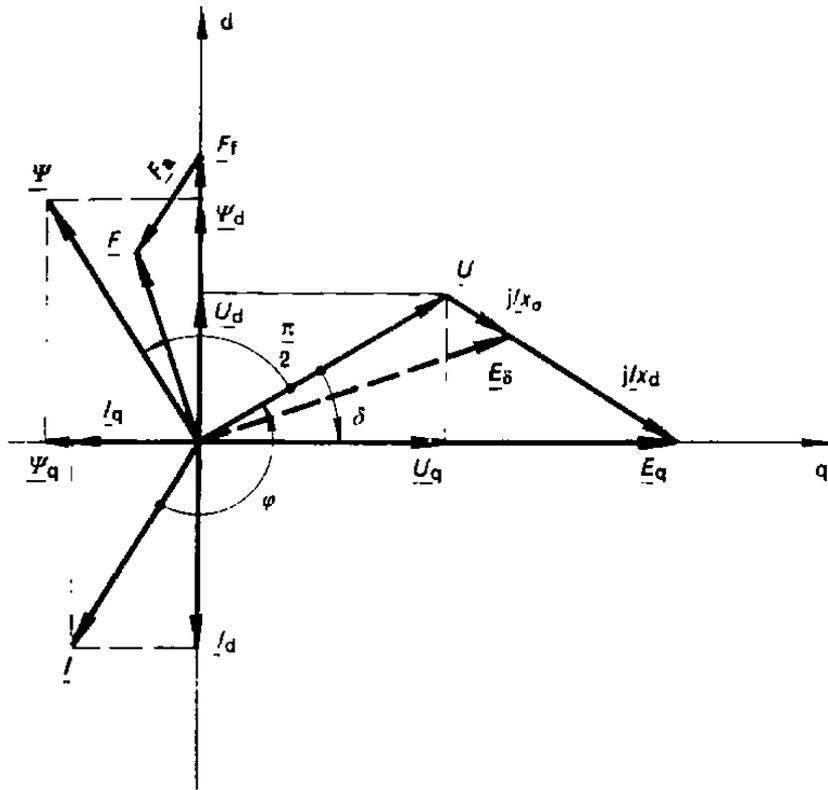


그림 5 - 과여자 전동기

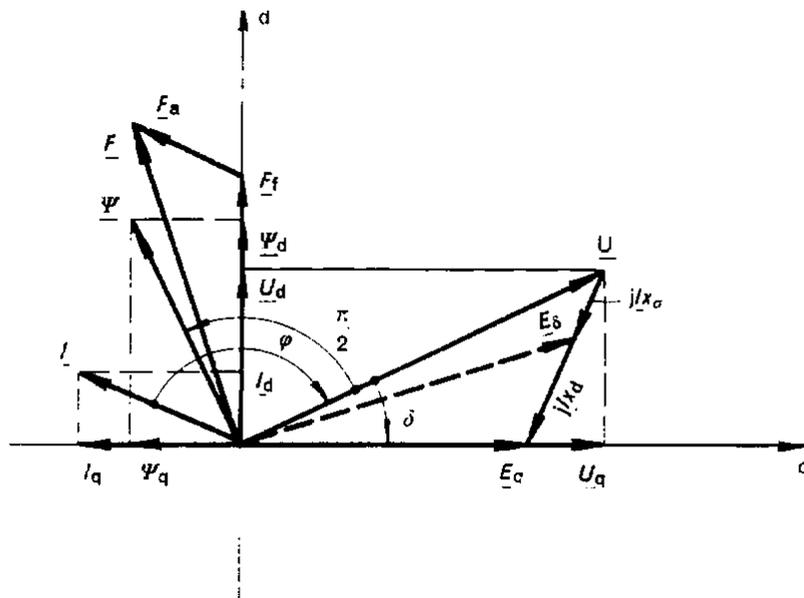


그림 6 - 부족여자 전동기

부속서 B

비록 몇몇 단체에서는 받아들이지 않고 있지만 본 규격에서는 IEC 60375와 기존 관례에 따른 기전력과 전압 개념이 사용되어진다. 나아가, 발전기(전원) 측면에서는 하나만 쓰이도록 협의가 되었기 때문에, 기전력 개념을 기본으로 사용한다.

발전기와 전동기 모두에서, 저항으로 이루어진 폐회로 내의 기전력으로 생긴 전류가 양의 값일 때, 그 기전력의 방향을 양으로 본다.

부속항 2.1 c)와 f)에서 정의된 규정과 함께 본 규정은 기본적인 유도 기전력으로서 2.1 g)에서 정의된 형태를 취한다. 즉, $e = - \frac{d\Psi}{dt}$.

이 규정은 발전기와 전동기 공히 유도 기전력에 관련된 것이며 해당되는 전압이 아니라는 것을 강조하는데 그 본질을 두고 있다.

위의 두 경우는 임의의 특정 각도인 ϕ 와 δ 를 측정값(아래 참조)을 제외하고, 전압의 기준 방향과 부호, 유효 전력과 무효 전력에서 차이가 난다.

일반적으로 발전기 측면에서 볼 때, 만약 전기자 전압이 외부 저항 회로에 인가 되었을 때 양의 전류를 흘린다면 기전력의 경우와 마찬가지로 전압을 양으로 본다. 즉, 전압과 기전력은 무부하 동작할 때 동일하게 간주된다. 전동기 측면에서 볼 때 전기자 권선 자체에 가하는 전압이 권선에 양의 전류를 흘릴 때, 전압을 양으로 본다. 앞서의 경우에서 후자의 기준 방향과 극이 두 규정에서 똑같기 때문에 양의 기전력과 이 전압이 반대가 됨은 명백하다.

위에서 언급한 전기자 전압에 관한 수식은 단지 전압 u 뿐만 아니라, u_i 을 포함한 모든 내부 전압에서도 유효하다.

따라서, 발전기 측면에서 볼 때 $u_i = + e = - \frac{d\Psi}{dt}$

전동기 측면에서 볼 때 $u_i = - e = + \frac{d\Psi}{dt}$

4쪽과 5쪽의 그림 1과 2의 회로 다이어그램에서 전압과 기전력의 기준 방향을 가리키는 화살표의 방향은 IEC 375의 부속항 3.4와 4.3을 따른다. 즉 전압에서 화살표의 꼬리는 더 높은 기준 전위를 가리키고, 기전력일 경우에는 더 낮은 기준 전위를 가리킨다. 따라서, 발전기를 기초로 한 규정에서 전압과 기전력 둘 다 같은 기준 극을 가지므로, u_i 와 e 의 화살표는 서로 반대이다.(그림 1 참조) 그러나 전동기를 기초로 한 규정에서는 전압과 기전력이 다른 기준 극을 가지므로, 화살표는 같은 방향이 된다.

발전기에서 전동기로, 혹은 그 반대로 치환될 때, 전기자 전류의 기준 방향은 변하지 않고, 전기자 전압과 유효전력 및 무효전력의 기준 방향은 위에서 언급했듯이 변하기 때문에, 전

기자 전압과 전류의 식으로 결정되는 전력식은 두 경우에서 똑같다. (부속항 3.2의 공식을 참조)

13쪽 그림에는 전동기와 발전기 규정에 있어 위상각 ϕ 와 유효전력 P , 무효전력 Q 과 관련하여 몇 가지가 명시되어 있다.

각 ϕ 의 화살표는 항상 I 에서 U 로 가장 짧은 쪽으로 그려져야 한다. 만약 화살표의 방향이 시계 방향이라면, ϕ 는 음의 값이 된다.

발전기와 전동기 규정에 있어, 유효전력과 무효전력은 각각 $P=UI\cos\phi$ 와 $Q=UI\sin\phi$ 을 따른다.

전동기와 발전기 규정에 있어 부하각 δ 의 측정은 13쪽의 그림 8에 나와 있다. 발전기 규정인 경우 δ 의 화살표는 U 상에서 양의 횡축 방향으로 가장 짧은 쪽으로 그려주고, 전동기 규정인 경우에는 음의 횡축의 방향으로 그려준다.

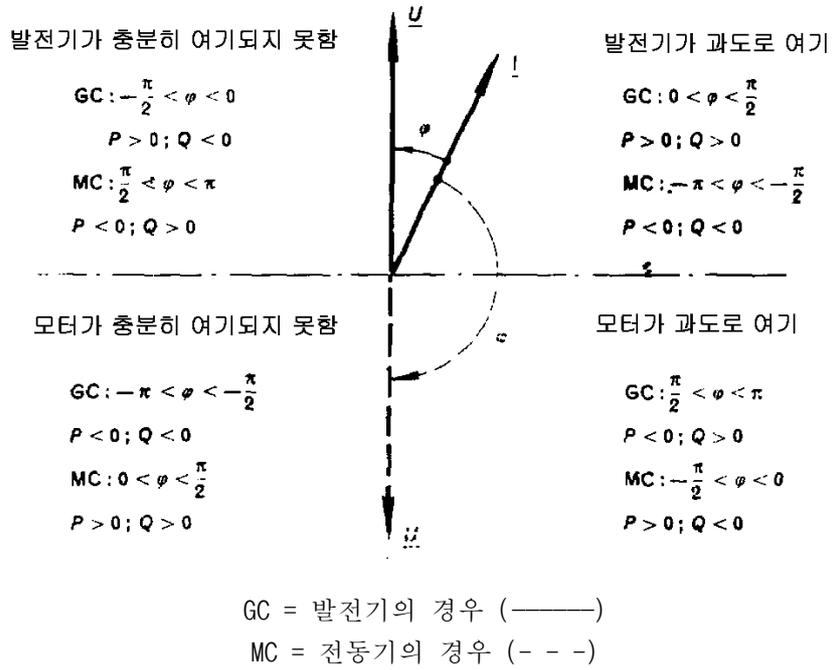


그림 7 - 발전기와 전동기에서 볼 때 전압과 전류의 위상

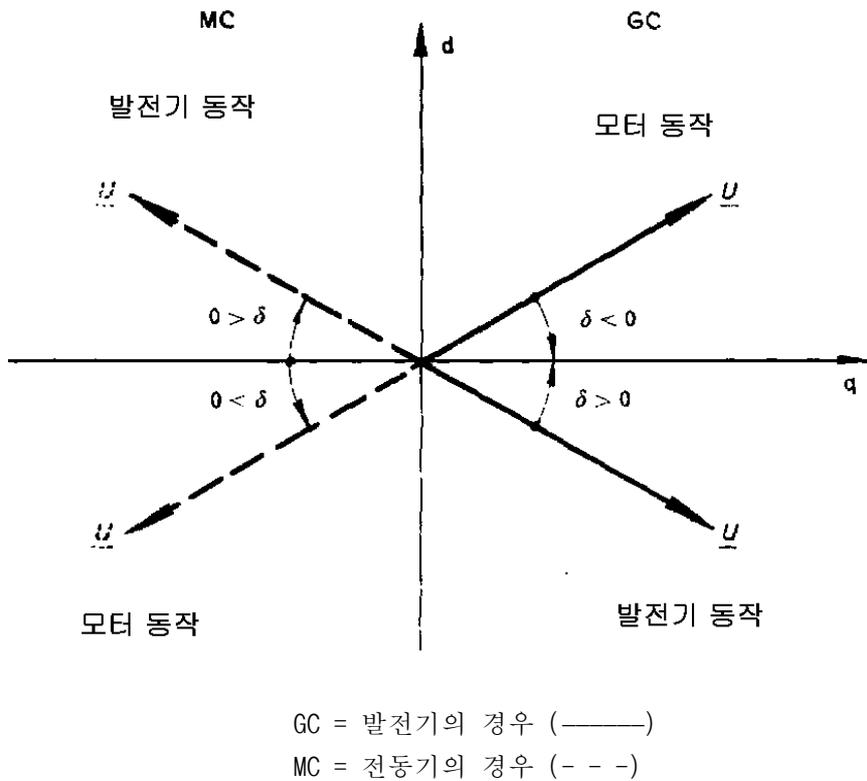


그림 8 - 부하각 δ를 측정할 때의 기준 다이어그램