국가기술자격 취득과 공기업 취업을 위한

전기공학 시리즈 1

회로이론

김대호 저

도서출판 스카이미디어북스

머리말

1. 새로운 가치의 창조

많은 사람들은 꿈을 꾸고 그 꿈을 위해 노력합니다. 꿈을 이루기 위해서는 여러 가지 노력을 합니다. 결국 꿈의 목적은 경제적으로 윤택한 삶을 살기 위한 것이 됩니다. 그것을 위해 주식, 재테크, 펀드, 복권 등 여러 가지 가치창조를 위한 노력을 합니다. 이와 같은 노력의 성공 확률은 극히 낮습니다.

현실적으로 자신의 가치를 높일 수 있는 가장 확률이 높은 방법은 자격증입니다. 특히 전기분야의 자격증은 여러분을 기술자로서 새로운 가치를 부여하게 될 것입니다. 전기는 국가산업 전반에 걸쳐 없어서는 안 되는 중요한 분야입니다.

전기기사, 전기공사기사, 전기산업기사, 전기공사산업기사 자격증을 취득한다는 것은 여러분을 한 단계 업그레이드 하는 새로운 가치를 창조하는 행위입니다. 더불어 전기분야 기술사를 취득할 경우 여러분은 전문직으로서 최고의 기술자가 될수 있습니다.

스스로의 가치(Value)를 만들어가는 것은 작은 실천부터 시작됩니다. 지금 준비하는 자격증이 바로 여러분의 Name Value를 만들어가는 과정이며 결과입니다.

2. 인생의 패러다임

고등학교, 대학교 등을 통해 여러분은 많은 학습을 하였습니다. 그리고 새로운 학습에 도전하고 있습니다. 현대 사회는 학습하지 않으면 도태되는 평생교육의 사회입니다. 새로운 지식과 급변하는 지식에 맞춰 평생학습을 해야 합니다. 이것은 평생 직업을 갖질 수 있는 기회가 됩니다.

노력한 만큼 그 결실은 큽니다. 링컨은 자기가 노력한 만큼 행복해진다고 했습니다. 저자는 여러분에게 권합니다. 꿈과 목표를 설정하세요.

“ 꿈꾸는 자만이 꿈을 이룰 수 있습니다. 꿈이 없으면 절대 꿈을 이룰 수 없습니다.”

3. 학습을 위한 조언

이번에 발행하게 된 “전기공학 이론노트”는 전기분야 자격증의 필기의 기본서로서 필기시험에 필요한 핵심 요약과 해설을 제공합니다.

각 단원의 내용을 이해하고 문제를 풀어갈 경우 고득점은 물론 실기시험에서도 적용할 수 있는 지식을 쌓을 수 있습니다.

여러분은 합격을 위해 매일 매일 실천하는 학습을 하시길 권합니다. 일주일에 주말을 통해 학습하는 것보다 매일 학습하는 것이 효과가 좋고 합격률이 높다는 것을 저자는 수많은 교육과 사례를 통해 알고 있습니다. 따라서 독자 여러분에게 매일 일정한 시간을 정하고 학습하는 것을 권합니다.

시간이 부족하다는 것은 핑계입니다. 하루 8시간 잠을 잔다면, 평생의 1/3을 잠을 잔다는 것입니다. 잠자는 시간 1시간만 줄여보세요. 여러분은 충분히 공부할 수 있는 시간이 있습니다. 텔레비전 보는 시간 1시간만 줄여보세요. 여러분은 공부할 시간이 더 많아집니다. 시간은 여러분이 만들 수 있습니다. 여러분 마음 먹기에 따라 충분한 시간이 생깁니다. 노력하고 실천하는 독자여러분이 되시길 바랍니다.

끝으로 이 도서를 작성하는데 있어 수많은 국내외 전문서적 및 전문기술회지 등을 참고하고 인용하면서 일일이 그 내용을 밝히지 못하였으나, 이 자리를 빌어 이들 저자 각위에게 깊은 감사를 드립니다.

전기분야 자격증을 준비하는 모든 분들에게 합격의 영광이 있기를 기원합니다.

이 도서를 출간하는데 있어 먼저는 하나님께 영광을 돌리며, 수고하여 주신 도서출판 스카이미디어북스 임직원 여러분께 심심한 사의를 표합니다.

저자 씀

저자소개

김 대 호

건축전기설비기술사
국가전문자격 평생교육사
국가기술자격 전기분야 기사, 산업기사, 기능사

답이보인다시리즈. 기사필기시리즈. 완벽대비시리즈. 소방시리즈 (D출판사)
알짜배기 전기기술 질의해설집 (D출판사)
D-30 시리즈 (E출판사)
2020~21 전기기사실기 (한솔)
2020~21 전기필기시리즈 (한솔)
전기설비설계 (도서출판 스카이북)
신편 전기기기 (도서출판 포인트)
전기스쿨 필기시리즈. 전기스쿨 실기시리즈(도서출판 스카이미디어북스)
다음카페 Sysop (http://cafe.daum.net/pekor)
네이버카페 Sysop (http://cafe.naver.com/pekor)
네이버 전기밴드 운영
스카이미디어 평생교육원 전기스쿨 온라인강의
한국폴리텍대학 외래교수

목차

1. 직류회로

1. 전류

모든 물질은 분자 또는 원자의 결합으로 되어 있으며, 원자핵과 전자를 가지고 있다. 전자(電子, electron)는 음의 전하를 띠고 있으며, 원자 내부에서 핵 주위에 분포하며 공전한다. 이러한 전자는 어떤 형태로던 이동할 수 있다. 고체 내에서도 이동할 수 있으며, 기체 방전의 형태로도 이동할 수 있고, 반도체에서도 이동할 수 있다. 특히 도체 내에서 일정한 방향으로 이동하는 것을 특히 전류라고 정의한다. 이러한 전류의 크기는 다음과 같이 정의한다.

$$I = \frac{Q}{t}\ [\mathrm{A}] \text{ 또는 } Q = I \cdot t\ [\mathrm{C}]$$

$$i = \frac{dq}{dt}\ [\mathrm{A}] \text{ 또는 } q = \int_0^t i\ dt\ [\mathrm{C}]$$

여기서 I : 일정한 전류, Q : 전기량(전하량), t : 시간, i : 변화하는 전류

이 식은 단위 시간당 이동한 전기량(전자는 전기량을 가지고 있기 때문이다)을 의미한다. 전류의 단위는 SI 단위계로 암페어(Ampere : [A])이다.

예제

$i = 3000(2t + 3t^2)$ [A]의 전류가 어떤 도선을 2 [초] 동안 흘렀다. 통과한 전 전기량은 몇 [Ah]인가?

㉮ 1.33 ㉯ 10 ㉰ 13.3 ㉱ 36

$$Q = \int_0^t i\,dt = \int_0^2 3000(2t+3t^2)dt = [3000(t^2+t^3)]_0^2 = 36000\ [\mathrm{A \cdot sec}]$$

[A · sec]를 1시간 3600초로 나누면 $Q = 10$ [Ah]가 된다. 【답】 ㉯

2. 전압의 정의

도체 내에서 전자가 이동하기 위해서는 에너지가 필요하게 된다. 이러한 에너지를 얻기 위해서는 전기적인 위치에너지의 차이가 필요하게 된다. 이것을 전위차라 한다.

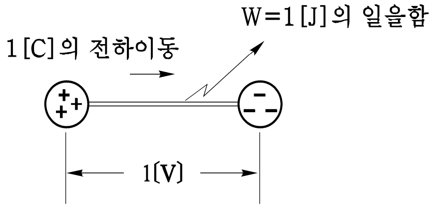


그림 1 전압의 정의

$$V = \frac{W}{Q}\,[\mathrm{V}] \ \text{ 또는 } \ W = Q\,V\,[\mathrm{J}]$$

$$v = \frac{dw}{dq}\,[\mathrm{V}] \ \text{ 또는 } \ w = \int v \; dq[\mathrm{J}]$$

여기서 V : 일정한 전압, W : 에너지(일), Q : 전기량(전하량), v : 변화하는 전압

그림 1에서와 같이 한쪽에는 양의전하 한쪽에는 음의 전하가 존재하는 경우 두 곳은 전기적이 위치에너지의 차이가 존재하게 된다. 이 전위차 때문에 전하가 이동하게 된다.

이 두 점간의 에너지 차를 전압 V라 하며 단위 전하(Q)가 이동해서 일(W)을 하게 될 때 1[C]의 전하가 한 일로 정의된다.

3. 옴의 법칙

옴의 법칙(Ohm's law)[1]은 전압과 전류, 그리고 전류의 흐름을 방해하는 저항성분의 관계를 나타내는 법칙이다. 여기서 저항(Resistance) 저항은 전원으로부터 공급받은 에너지를 열로 소비하는 수동소자를 말한다. 단위로는 [Ω]을 사용하며, ohm(옴)으로 읽는다.

1) 옴의 법칙은 전압과 전류의 관계를 나타내는 법칙으로 회로이론에서 전압과 전류와 저항의 값을 산출하는 법칙이다. 즉, 옴의 법칙(Ohm's law)은 도체의 두 지점사이에 나타나는 전위차에 의해 흐르는 전류가 일정한 법칙에 따르는 것을 말한다

그림 2 저항의 실물

저항은 전류가 흐른 곳에는 반드시 존재한다. 저항이 0 이라는 것은 전류가 무한대로 흐른다는 것을 의미하므로 실질적으로 존재할 수 없다. 따라서 전류가 흐르고 그 크기가 결정되면, 가한 전압에 의해 저항값이 존재한다. 이것을 정의한 법칙이 옴의 법칙이다.

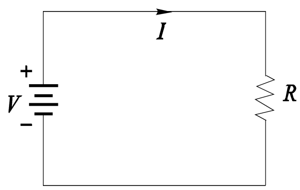


그림 3 옴의 법칙

즉, 전원을 V, 도체가 가진 저항을 R이라 하면 그림 3과 같이 회로를 구성하면 전류 I가 흐른다. 이때 저항양단에는 RI만큼의 전압강하가 발생한다.

따라서 이들 사이의 관계식은

전압 $V = RI\,[\mathrm{V}]$, 전류 $I = \dfrac{V}{R}\,[\mathrm{A}]$, 저항 $R = \dfrac{V}{I}\,[\Omega]$

여기서 V : 전압, I : 전류, R : 저항

가 된다. 전원에서 에너지를 공급하는 경우를 전압상승(電壓上昇)이라 하며, 또 전하가 회로내를 이동할 때는 에너지를 공급받아 일을 하게 되므로 처음의 전위에너지를 잃게 되어 전위가 낮아지는 현상을 전압강하(電壓降下)라 한다. 특히 전원을 공급받아 일을 하는 소자 또는 기기를 부하라 하며, 부하는 전압강하를 일으키는 작용을 한다.

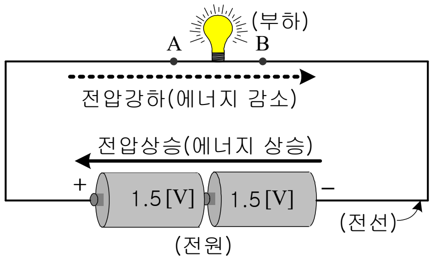


그림 4 전압강하와 전압상승

4. 키르히호프의 법칙 (Kirchhoff's Law)

4.1 제1법칙(전류법칙)

키르히호프의 법칙[2)]은 회로를 해석하는데 옴의 법칙과 더불어 가장 많이 적용되고 있는 법칙중 하나이다. 키르히호프의 법칙은 제1법칙 전류법칙과 제2법칙 전압법칙으로 정의된다.

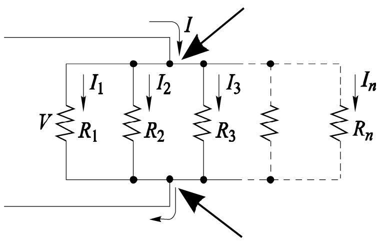


그림 4 저항의 병렬연결

키르히호프의 전류법칙은

“임의의 한 점에서 유입되는 전류의 총합은 그 점에서 유출되는 전류의 총합과 같다.”

로 정의된다.

그림 4의 화살표 부분의 분기점에서 제1법칙을 적용하면 다음과 같이 된다.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

2) 옴의 법칙과 더불어 반드시 알고 있어야 할 기본법칙이다.

구스타프 로베르트 키르히호프 (독일어: Gustav Robert Kirchhoff, 1824년 3월 12일 - 1887년 10월 17일)는 전기회로, 분광학, 흑체 복사 등의 분야에 공헌한 독일의 물리학자이다. 그는 1862년에 흑체라는 말을 처음 만들어낸 장본인이며, 전기회로와 열역학 분야에 서로 다른 두 개의 키르히호프 법칙은 그의 이름을 딴 것이다.

이식은 “전선의 임의의 한 분기점에 유입 또는 유출되는 전류의 합은 0 이다. 즉, 분기점에 있어서 유입되는 총전류는 유출되는 총전류와 같다. (전하보존의 법칙)”를 의미하며 이를 키르히호프의 전류법칙이라 한다.

4.2 제2법칙(전압법칙)

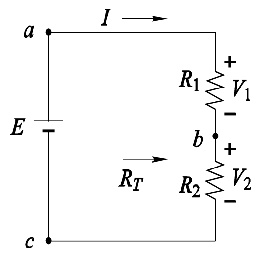


그림 5 저항의 직렬연결

그림 5와 같이 저항을 직렬로 연결한 경우에는 각각의 저항양단에 전압강하가 옴의 법칙에 의해 발생한다. 이 전압강하와 전원전압의 관계를 나타낸 법칙이 전압법칙이다.

키르히호프의 전압법칙은 “회로망 내의 임의의 폐회로(경로)에 있어서 전원전압(E_i)의합은 전압강하의 합(V_i)과 같다”로 정의된다.

$$E_1 + E_2 + E_3 + \cdots = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots \quad \text{즉, } \sum E_i = \sum V_i$$

가 된다. 그림 5에 전압법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$E = V_1 + V_2$$

이 식을 다시 정리하면

$$E - V_1 + V_2 = 0$$

이 되며, 이것은 회로망내의 임의의 한 폐회로에서 한 방향으로 일주하면서 취한 전압상승 또는 전압강하의 대수합은 각 순간에 있어서 0 된다는 것을 의미한다.

예제

일정 전압의 직류 전원에 저항을 접속하고 전류를 흘릴 때 이 전류값을 20〔%〕 증가시키기 위해서는 저항값을 몇 배로 하여야 하는가?

㉮ 1.25배 ㉯ 1.20배 ㉰ 0.83배 ㉱ 0.80배

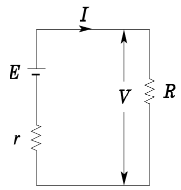
전류는 저항에 반비례 하므로 전압이 일정한 상태에서 전류값을 1.2배로 증가 하려면 저항의 값은

$$R' = \frac{1}{\frac{I'}{I}} R = \frac{1}{\frac{1.2}{1}} R = 0.83R$$

이 된다. **【답】** ㉰

예제

그림과 같은 회로에서 R의 값은?



㉮ $\dfrac{E}{E-V} \cdot r$ ㉯ $\dfrac{V}{E-V} \cdot r$

㉰ $\dfrac{E-V}{E} \cdot r$ ㉱ $\dfrac{E-V}{V} \cdot r$

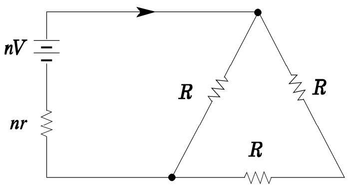
키르히호프의 전압 방정식을 세우면

$E = V + I \cdot r$

따라서, $E-V = I \cdot r$, $I = \dfrac{V}{R}$이므로 $E-V = \dfrac{V \cdot r}{R}$, $R = \dfrac{V}{E-V} \cdot r$ 가 된다. **【답】** ㉯

예제

3개의 같은 저항 R〔Ω〕을 그림과 같이△ 결선하고, 기전력 V〔V〕, 내부 저항 r〔Ω〕인 전지를 n개 직렬 접속했다. 이때 전지 내를 흐르는 전류가 I〔A〕라면 R는 몇〔Ω〕인가?



㉮ $\dfrac{3}{2}n\left(\dfrac{V}{I} - r\right)$ ㉯ $\dfrac{3}{2}n\left(\dfrac{V}{I} + r\right)$

㉰ $\dfrac{2}{3}n\left(\dfrac{V}{I} - r\right)$ ㉱ $\dfrac{2}{3}n\left(\dfrac{V}{I} + r\right)$

키르히호프의 전압 방정식을 세우면 $nV = I\left(nr + \dfrac{R \cdot 2R}{R + 2R}\right)$ 가 된다.

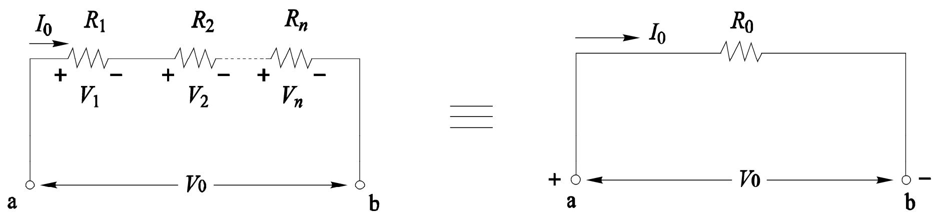
△연결된 부분의 합성저항을 정리하면 $nV = I\left(nr + \dfrac{2R}{3}\right)$ 가 된다. 여기서 I 를 좌변으로 이항하고 정리하면 다음과 같다.

$n\dfrac{V}{I} = nr + \dfrac{2R}{3}$, $n\left(\dfrac{V}{I} - r\right) = \dfrac{2}{3}R$, $\therefore\ R = \dfrac{3}{2}n\left(\dfrac{V}{I} - r\right)$ **【답】** ㉮

5. 저항의 합성

5.1 저항의 직렬합성

저항을 직렬 또는 병렬로 연결한 경우는 이것과 등가인 하나의 저항으로 표현할 수 있으며, 이렇게 하나의 저항으로 표현된 것을 합성저항이라 하며, 이것을 저항의 합성이라 한다.



(a) 직렬 회로

(b) 등가회로

그림 6 저항의 직렬합성

그림 6은 저항을 직렬로 연결한 것으로서 그림 6 의 (b)와 같이 하나의 등가저항으로 표현할 수 있다.

등가라는 것은 같은 값을 갖는다는 의미로 조건이 성립하기 위해서는 공급되는 전압 V_0와 흐르는 전류 I_0가 같아야만 한다.

따라서 위 조건을 적용하여 식을 세우면 그림 (a) 는

$$V_0 = (R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n)I_0$$

그림 6(b)는 $V_0 = R_0 I_0$ 이며, 이 두식은 서로 등가라는 조건이므로 이를 적용하면

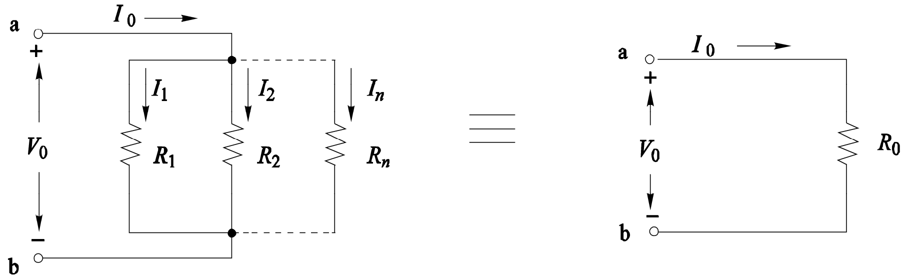
$$(R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n)I_0 = R_0 I_0$$

그러므로 등가 합성저항은 양변에서 전류를 소거하면

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \ [\Omega]$$

가 된다. 즉, 직렬로 연결한 저항의 합성저항을 구할 경우는 저항의 값을 합하는 것으로 구할 수 있다. 직렬로 연결한 저항은 그 값의 크기가 커지는 것을 의미 한다.

5.2 저항의 병렬합성



(a)병렬 회로 (b) 등가회로

그림 7 저항의 병렬합성

그림 7의 (a)와 같이 병렬로 연결된 저항에는 키르히호프의 전류법칙을 적용할 수 있으며, 다음과 같이 된다.

$$I_0 = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$

병렬의 경우 전원전압이 일정하므로(저항양단에 걸리는 전압이 일정하므로) 전류를 구하여 대입하면

$$I_0 = \frac{V_0}{R_1} + \frac{V_0}{R_2} + \cdots + \frac{V_0}{R_n}$$

가 된다. 또 그림 7(b)에서 옴의 법칙을 적용하여 전류를 구하면 다음과 같이 된다.

$$I_0 = \frac{V_0}{R_0}$$

그림 7(a)와 (b)는 등가회로 이므로 두식으로부터 R_0를 구하면 다음과 같이 합성저항을 구할 수 있다.

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}} \ [\Omega]$$

예를 들면

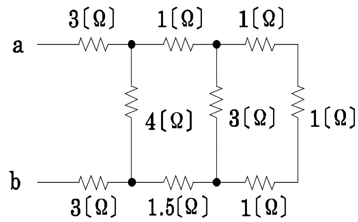


그림 8 저항의 직병렬 연결

합성 저항을 구하는 예는 그림 8의 경우에 우측의 1[Ω]의 저항 3개를 합성하여 그림 9와 같이 등가 한다.

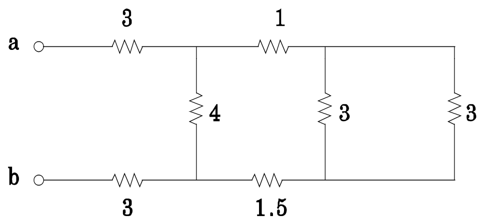


그림 9 저항의 직병렬 연결

그림 9에서는 우측의 3[Ω]의 저항 2개를 합성하여 그림 10과 같이 등가 한다.

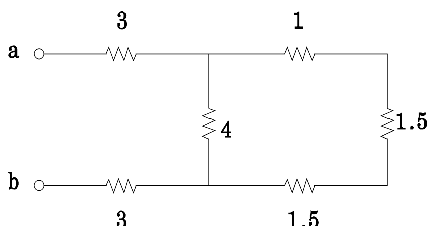


그림 10 저항의 직병렬 연결

그림 10은 쉽게 합성저항을 구할 수 있는 형태가 되며, 이것의 합성저항은 8[Ω]이 된다.

6. 전압분배법칙과 전류분배법칙

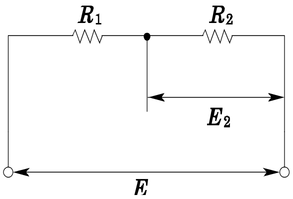


그림 11 전압분배법칙의 적용

그림 11과 같이 저항을 직렬로 연결하고 전원 전압을 인가하면 저항양단에는 각각 전압강하가 발생한다. 저항 R_2양단의 전압강하를 구하면 다음과 같다.

$$E_2 = IR_2 \text{이고} \quad I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$E_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

즉, 위 식에서 각각의 전압강하는 저항값에 비례한다는 것을 알 수 있다.

이것을 전압분배법칙이라 한다.

만약 저항 R_1양단의 전압강하를 구하는 경우는 위와 같이 구하지 않고 비례한다는 것을 적용하면

$$E_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

으로 쉽게 구할 수 있다. 이것은 전압의 값이 저항의 값에 비례하기 때문이다.

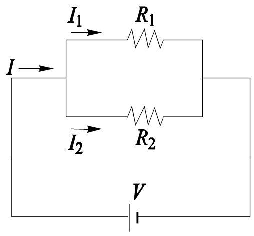


그림 12 분류법칙의 적용

그림 12 에서는 $I = I_1 + I_2$ 가 됨을 알수 있다. 이것은 키르히호프의 전류법칙을 적용한 것이다. R_1, R_2가 병렬로 연결된 회로에서 R_1, R_2에 흐르는 전류를 각각 I_1, I_2라 할 때 각 저항에 흐르는 전류 I_1, I_2는 각 저항에 반비례한다.

그림 12은 저항 R_1, R_2가 병렬로 연결되었고 이에 공급하는 전압이 일정하므로 전류는 저항에 반비례한다는 것을 쉽게 알수가 있다.

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

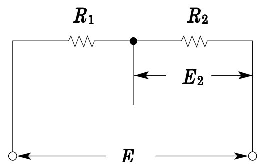
$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

예제

그림과 같은 회로에서 R_2 양단의 전압 E_2 [V]는?

㉮ $\frac{R_1}{R_1 + R_2} E$ ㉯ $\frac{R_2}{R_1 + R_2} E$

㉰ $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} E$ ㉱ $\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} E$



전압은 저항에 비례한다.

$$E_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

【답】 ㉯

7. 전력과 줄의 법칙

7.1 전력의 정의

어떤 것의 정의할 때는 시간당의 값으로 표현하는 것이 보통이다. 전류의 경우는 단위시간당 이동한 전하량으로 표현하며, 속도의 경우는 단위시간당 이동한 거리로 표현한다. 전력은 전기가 단위시간당 한 일로 나타내며 단위는 [W](와트) 로 나타낸다.

$$P = \frac{W}{t} [\mathrm{J/s}]$$

여기서 P : 전력, W : 일(에너지), t : 시간(초)

전력의 단위는 [J/sec] 이지만 이것과 같은 단위로 [W]를 사용한다. 전압의 정의인 $V=\frac{W}{Q}$ 에서 $W=QV$를 위 식에 대입하면 다음과 같이 된다.

$$P=\frac{W}{t}=\frac{QV}{t}\,[\mathrm{W}]$$

여기서 전류의 정의인 $I=\frac{Q}{t}$를 대입하면 전력은

$$P=\ VI\ [\mathrm{W}]$$

가 된다. 즉, 전기가 단위시간당 하는 일은 전압과 전류의 곱과 같게 되는 것을 의미하며, 직류회로에서는 [W], 교류에서는 [VA]라는 단위를 사용한다.

7.2 전력량

전력은 단위시간당 전기가 한 일이며, 전력량은 전력에 시간을 곱한 [J]의 단위를 갖는 것을 말한다. 즉, 전력량은 전기가 한 일에 해당된다.

$$W=Pt\,[W\cdot \mathrm{sec}]$$

여기서 W : 일(에너지, 전기량), P : 전력, t : 시간(초)

이 식의 단위는 $[W\cdot \mathrm{sec}]$이며 이 단위는 전력에 시간을 곱한 것으로 전력량에 해당한다. 전력량의 실용적 단위는 [kWh]로 사용한다.

전력량은 열량으로 환산할 수 있다.

$$Q=0.24\,Pt\,[\mathrm{cal}]$$

$$Q=0.24Pt\ =0.24I^2Rt\ =0.24\frac{V^2}{R}t=Cm(\theta_2-\theta_1)\,[\mathrm{cal}]$$

여기서 Q : 열량(칼로리), P : 전력, I : 전류, R : 저항, t : 시간, C : 비열, m : 질량, θ : 온도

이 식의 의미는 "도체에 흐르는 전류에 의하여 단위 시간에 발생하는 열량은 I^2R에 비례한다."는 것을 말한다.

줄의 법칙은 전기에너지를 열에너지로 변화하여 나타낸 것으로 이 열에너지는 전등, 전기용접, 전열기 등에 자주 이용된다. 줄의 법칙의 기본식은 다음과 같다.

$$0.24P\ t\ \eta\ =\ C\ m\ (\theta_2 - \theta_1)$$

여기서 η : 전열기의 효율

이 식은 전열기의 설계 등에 사용된다.

예제

100〔V〕, 60〔W〕의 전구에 50〔V〕를 가했을 때의 전류는?

㉮ 0.3〔A〕 ㉯ 0.4〔A〕 ㉰ 0.5〔A〕 ㉱ 0.6〔A〕

전구는 변하지 않은 상태에서 전압만을 변경 하였으므로

$R = \frac{V^2}{P} = \frac{100^2}{60} \fallingdotseq 167$〔Ω〕, $\therefore\ I = \frac{V}{R} = \frac{50}{167} \fallingdotseq 0.3$〔A〕 **【답】** ㉮

8. 브리지회로

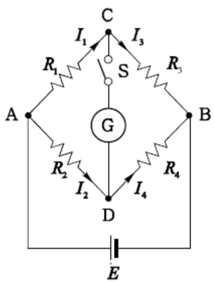


그림 13 브리지 회로

그림 13과 같이 마름모 형태로 저항을 연결하고 C점과 D점에 검류계를 연결한 회로를 휘트스톤브리지 회로라 한다. 그림 13에서 평형조건이라 함은 검류계 G에 전류가 흐르지 않는 조건을 말한다. 즉, 점 C와 D 의 전위가 같아 검류계 G에 전류가 흐르지 않는 상태를 평형상태라 한다. 이러한 조건을 만족할 경우 점 C와 D 사이에 저항을 연결해도, 연결하지 않아도 전체 합성저항의 값은 변함이 없으며, 전체 전류 또한 변함이 없게 된다. 따라서 점C와 D 의 전위가 같은 조건일 경우는 전압강하가 같다는 조건이 되므로 전압강하는

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \text{ 및 } R_3 I_1 = R_4 I_2$$

가 된다. 따라서

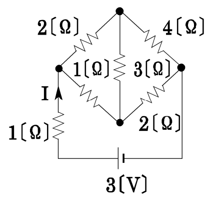
$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

가 되는데 이를 브리지의 평형조건이라 한다.

이것은 서로 대각선으로 마주보고 있는 저항의 곱이 서로 같으면 평형이 됨을 의미한다. 이 브리지의 평형조건은 교류회로의 임피던스의 경우에도 동일하게 적용된다.

예제

그림과 같은 회로에 흐르는 전류 I는 몇〔A〕인가?



㉮ 1.0
㉯ 1.2
㉰ 1.5
㉱ 1.8

브리지가 평형이므로 브리지 3[Ω]의 저항에 전류가 흐르지 않는다.
따라서 합성 저항 R_0는

$$R_0 = 1 + \frac{3\times 6}{3+6} = 3\,[\Omega] \qquad \therefore\ I = \frac{V}{R_0} = \frac{3}{3} = 1\,[\mathrm{A}]$$

【답】 ㉮

01 핵심과년도문제

1-1

$i=2t^2+8t$ [A]로 표시되는 전류가 도선에 3[초] 동안 흘렀을 때 통과한 전 전기량은 몇 [C]인가?

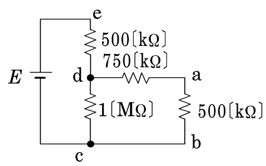
㉮ 18　　㉯ 48　　㉰ 54　　㉱ 61

$$Q=\int_0^t i\,dt=\int_0^3 (2t^2+8t)dt=\left[\frac{2}{3}t^3+4t^2\right]_0^3=54\ [\text{C}]$$

[C] 은 [A · sec]와 같은 차원의 단위이다. **【답】** ㉰

1-2

그림과 같은 회로에서 내부 저항 500[kΩ]의 전압계를 이용하여 단자 a, b 사이의 전압을 측정하니 100[V]였다. 이 전압계를 a, b 사이에 접속하였을 때 전 회로의 합성 저항은 몇 [kΩ]인가?

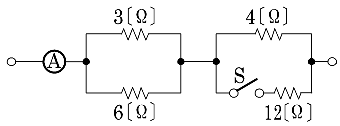


㉮ 250　　㉯ 500　　㉰ 750　　㉱ 1000

a, b 사이에 500[kΩ]에 500[kΩ]을 병렬로 연결하면 a,b 사이의 합성 저항은 $R_{ab}=250$ [kΩ]이 되며 b, d사이의 합성저항은 $R_{bd}=1000$ [kΩ]이 된다. 이것이 c, d의 1[MΩ]과 병렬로 되므로 전체 합성저항은 합성 저항 $R_{ce}=1000$ [kΩ]이 된다. **【답】** ㉱

1-3

그림과 같은 회로에서 S를 열었을 때 전류계의 지시는 10[A]였다. S를 닫을 때 전류계의 지시는 몇 [A]인가?



㉮ 8　　㉯ 10
㉰ 12　　㉱ 15

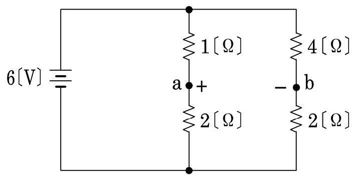
S를 열었을 때 합성저항을 구하면 $R=\left(\frac{3\times6}{3+6}+4\right)=6\ [\Omega]$

S를 닫았을 때 합성저항을 구하면 $R=\left(\frac{3\times6}{3+6}+\frac{4+12}{4\times12}\right)=5\ [\Omega]$

따라서, 전류는 저항에 반비례하므로 $I'=\frac{1}{\left(\frac{5}{6}\right)}\times10=12$[A]가 된다. **【답】** ㉰

1-4

그림과 같은 회로에서 a, b 양단의 전압은 몇〔V〕인가?



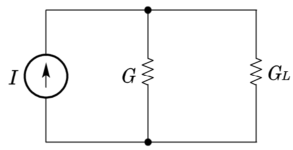
㉮ 1
㉯ 2
㉰ 1.5
㉱ 2.5

브리지가 평형되지 않은 상태이므로 1[Ω]과 4[Ω]의 전압강하를 구하고 전위를 구한 후 전위차를 구한다.

$V_{ab}=\frac{4}{4+2}\times 6-\frac{1}{1+2}\times 6=4-2=2$〔V〕 **【답】** ㉯

1-5

그림과 같은 회로에서 $I=10$〔A〕, $G=4$〔℧〕, $G_L=6$〔℧〕 일 때 G_L에서 소비되는 전력은 몇〔W〕인가?



㉮ 100 ㉯ 10
㉰ 4 ㉱ 6

$G=4$〔℧〕, $G_L=6$〔℧〕이므로 전류분배법칙을 적용하여 전류를 구한 후 전력을 구한다.

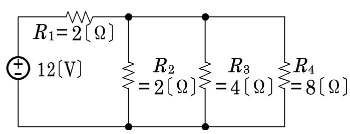
$$I_L=I\times\frac{G_L}{G+G_L}=10\times\frac{6}{4+6}=6\text{〔A〕}$$

$$P_L=I_L{}^2\cdot\frac{1}{G_L}=6^2\times\frac{1}{6}=6\text{〔W〕}$$

【답】 ㉱

1-6

그림과 같은 회로에서 저항 R_4에서 소비되는 전력〔W〕은?



㉮ 2.38 ㉯ 4.76
㉰ 9.52 ㉱ 29.2

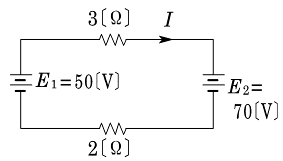
병렬로 된 부분 R_2, R_3, R_4 의 합성 저항은 $\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}\right)^{-1}=\frac{8}{7}$[Ω]

따라서, R_2, R_3, R_4 양단의 전압은 전압분배 법칙을 적용하면 $V=\frac{\frac{8}{7}}{\frac{8}{7}+2}\times 12=4.37$ [V] 가된다.

그러므로 R_4에서 소비되는 전력 $P_4=\frac{V^2}{R_4}$에서 $P_4=\frac{4.37^2}{8}=2.38$ [W]가 된다. **【답】** ㉮

1-7

두 전원 E_1과 E_2를 그림과 같이 접속했을 때 흐르는 전류 I〔A〕는?



㉮ 4　　㉯ −4
㉰ 24　　㉱ −24

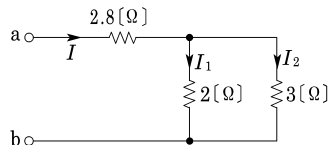
두 전압원의 극성이 반대이므로 전압의 차를 구하여 전류를 구한다.

$I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{E_1-E_2}{R}=\dfrac{50-70}{2+3}=-4$ [A]

【답】 ㉯

1-8

그림에서 a, b단자에 200〔V〕를 가할 때 저항 2〔Ω〕에 흐르는 전류 I_1〔A〕는?



㉮ 40　　㉯ 30
㉰ 20　　㉱ 10

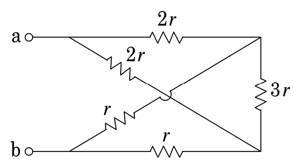
회로의 합성 저항 R은 $R=2.8+\dfrac{2\times 3}{2+3}=4$〔Ω〕,　 $\therefore\ I=\dfrac{200}{4}=50$〔A〕

전류 분배 법칙을 적용하여 전류를 구한다. $I_1=\dfrac{R_2}{R_1+R_2}\times I=\dfrac{3}{2+3}\times 50=30$〔A〕

【답】 ㉯

1-9

그림과 같은 회로에서 단자 a, b 사이의 합성 저항은?



㉮ r　　㉯ $\dfrac{3}{2}r$
㉰ $\dfrac{1}{2}r$　　㉱ $3r$

브리지 회로의 평형상태이므로 직병렬 회로로 볼수 있다. 따라서

$R=\dfrac{3r\times 3r}{3r+3r}=\dfrac{9r^2}{6r}=\dfrac{3}{2}r$〔Ω〕

【답】 ㉯

01 심화학습문제

1-10

내부 저항이 15〔kΩ〕이고 최대 눈금이 150〔V〕인 전압계와 내부 저항이 10〔kΩ〕이고 최대 눈금이 150〔V〕인 전압계가 있다. 두 전압계를 직렬 접속하여 측정하면 최대 몇〔V〕까지 측정할 수 있는가?

㉮ 200 ㉯ 250 ㉰ 300 ㉱ 315

측정 전압을 E라 하면 전압 분배 법칙에 따라 $\frac{15}{15+10}\times E \leq 150$의 조건을 만족해야 한다.

$\therefore\ E \leq 250$〔V〕 **【답】** ㉯

1-11

최대 눈금이 50〔V〕인 직류 전압계가 있다. 이 전압계를 사용하여 150〔V〕의 전압을 측정하려면 배율기의 저항은 몇〔Ω〕을 사용하여야 하는가? 단, 전압계의 내부 저항은 5000〔Ω〕이다.

㉮ 1000 ㉯ 2500 ㉰ 5000 ㉱ 10000

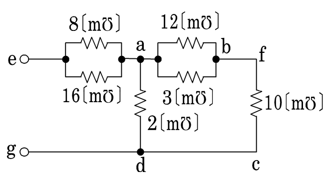
배율기의 배율 $m=1+\frac{R_m}{R_v}$ 에서 $R_m = R_v(m-1) = 5000\left(\frac{150}{50}-1\right) = 10000$〔Ω〕 **【답】** ㉱

1-12

그림과 같은 회로의 합성 컨덕턴스 G_{eg}〔m℧〕는?

㉮ 2 ㉯ 6

㉰ 12 ㉱ 18



점 a, c의 합성 컨덕턴스는 $G_{ac} = \frac{(12+3)\times 10}{(12+3)+10} = 6$〔m℧〕

점 a, d의 합성 컨덕턴스는 $G_{ad} = G_{ac}+2 = 6+2 = 8$〔m℧〕

따라서 $G_{eg} = \frac{(8+16)\times G_{ad}}{(8+16)+G_{ad}} = \frac{(8+16)\times 8}{(8+16)+8} = 6$〔m℧〕 **【답】** ㉯

1-13

기전력 2〔V〕, 내부 저항 0.5〔Ω〕의 전지 9개가 있다. 이것은 3개씩 직렬로 하여 3조 병렬 접속한 것에 부하 저항 1.5〔Ω〕을 접속하면 부하 전류〔A〕는?

㉮ 1.5　㉯ 3　㉰ 4.5　㉱ 5

전지의 내부 저항에 부하 저항을 접속한 합성저항은 $R_0 = \frac{0.5\times3}{3}+1.5=2$ [Ω] 이며, 전지의 기전력은 직렬로 연결된 부분을 고려하면 $2\times3=6$[V] 이므로

$I_0 = \frac{V}{R_0}=\frac{6}{2}=3$ [A]

【답】 ㉯

1-14

기전력 3〔V〕, 내부 저항 0.2〔Ω〕인 전지 6개를 직렬로 접속하여 단락시켰을 때의 전류〔A〕는?

㉮ 30　㉯ 25　㉰ 15　㉱ 10

직렬연결이므로 저항은 갯수로 나누고 전압은 갯수를 곱한다. 흐르는 전류는 $I=\frac{nE}{nr}=\frac{6\times3}{6\times0.2}=15$〔A〕, 여기서 n 은 전지의 갯수

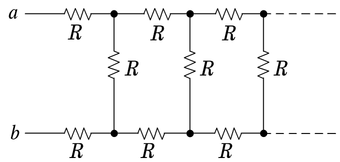
【답】 ㉰

1-15

$R=1$〔Ω〕의 저항을 그림과 같이 무한히 연결할 때, a, b간의 합성 저항은?

㉮ 0　㉯ 1

㉰ ∞　㉱ $1+\sqrt{3}$



그림의 등가 회로에서

$R_{ab}=2r+\frac{r\cdot R_{cd}}{r+R_{cd}}$ 이며 무한한 길이 이므로

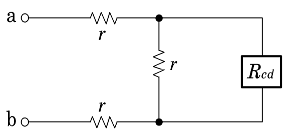
$R_{ab}=R_{cd}$ 로 볼수 있다. 정리하면

$r R_{ab}+{R_{ab}}^2=2r^2+2r\cdot R_{ab}+r\cdot R_{ab}$

이 되며 근의 공식에 의해 구한다.

여기서 $r=1$〔Ω〕를 대입하면

$R_{ab}=1+\sqrt{3}$

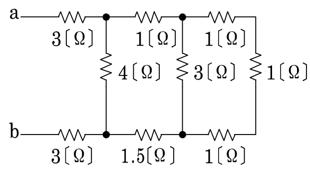


【답】 ㉱

1-16

그림과 같은 회로에서 a, b단자에서 본 합성 저항은 몇〔Ω〕인가?

㉮ 6 ㉯ 6.3
㉰ 8.3 ㉱ 8

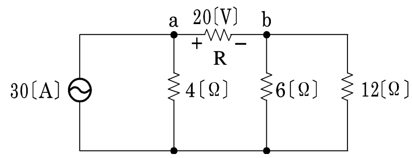


우측의 1[Ω]의 저항 3개를 직렬 연결된 부분부터 순차적으로 구한다. 【답】 ㉱

1-17

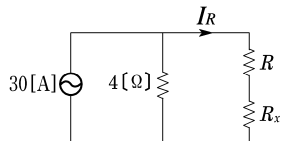
그림과 같은 회로에서 미지의 저항 R의 값을 구하면 몇〔Ω〕인가?

㉮ 2.5〔Ω〕 ㉯ 2〔Ω〕
㉰ 1.6〔Ω〕 ㉱ 1〔Ω〕



R에 흐르는 전류를 구하기 위해 병렬로 연결된 저항을 합성하면

$$R_x = \frac{6\times 12}{6+12} = 4〔Ω〕$$



전류분배 법칙에 의해 R에 흐르는 전류

$$I_R = \frac{4}{(R_x+R)+4}\times I = \frac{4}{8+R}\times 30 = \frac{120}{8+R}$$

따라서 R 양단의 전압이 20[V] 이므로 옴의 법칙에 의해 저항을 구한다.

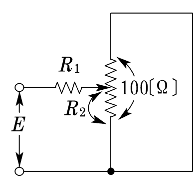
$$V_{ab} = I_R\cdot R = \frac{120}{8+R}\times R = 20 \ , \quad 100R = 160$$

$\therefore\ R = 1.6〔Ω〕$ 【답】 ㉰

1-18

그림과 같은 회로에 일정한 전압이 걸릴 때 전원에 R_1 및 100〔Ω〕을 접속하였다. R_1에 흐르는 전류를 최소로 하기 위한 R_2의 값〔Ω〕은?

㉮ 25 ㉯ 50
㉰ 75 ㉱ 100



100〔Ω〕의 저항을 R이라 하면 회로의 합성 저항 R_0는

$$R_0 = R_1 + \frac{R_2(R-R_2)}{R_2+(R-R_2)} = R_1 + \frac{R_2(R-R_2)}{R}$$

전류를 최소로 하기 위해서는 R_0가 최대이어야 하고 R, R_1은 일정하므로 $R_2(R-R_2)$가 최대가 되어야 하므로

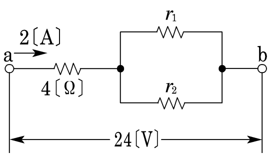
$$\therefore \frac{d}{dR_2}\{R_2(R-R_2)\}=0 \qquad R-2R_2=0$$

따라서

$$\therefore R_2=\frac{R}{2}=\frac{100}{2}=50\,[\Omega]$$가 된다. **【답】** ㉯

1-19

그림과 같은 회로에 있어서 단자 a, b 사이에 24〔V〕의 전압을 가하여 2〔A〕의 전류를 흘리고 또한 r_1, r_2에 흐르는 전류를 1 : 2로 하고자 한다. r_1의 값〔Ω〕은?



㉮ 3　　㉯ 6

㉰ 12　　㉱ 24

전체전류가 2[A]이므로 전체합성 저항은 12[Ω]된다. r_1과 r_2의 전류비가 1 : 2가 되는 조건에 의해 저항비는 2 : 1이 된다.이를 적용하여 방정식을 세우면 다음과 같다.

$$4+\frac{r_1 r_2}{r_1+r_2}=12$$

$$r_1=2r_2$$

위 두식으로부터 저항을 구하면 $r_1=24\,[\Omega]$, $r_2=12\,[\Omega]$가 된다. **【답】** ㉱

1-20

어떤 전지의 외부회로 저항은 5〔Ω〕이고 전류는 8〔A〕가 흐른다. 외부회로에 5〔Ω〕 대신에 15〔Ω〕의 저항을 접속하면 전류는 4〔A〕로 떨어진다. 전지의 기전력은 몇〔V〕인가?

㉮ 80〔V〕　　㉯ 50〔V〕　　㉰ 15〔V〕　　㉱ 20〔V〕

전지와 외부저항의 직렬회로에 대한 전압의 방정식을 세우면

$E=RI+rI$가 된다. 동일한 전지 이므로 기전력이 일정하므로

$$E=5\times8+r\times8=15\times4+r\times4$$

가 된다. 여기서 r을 구하면

$$\therefore 4r=20 \qquad r=5\,[\Omega]$$

가 된다. 따라서 기전력은

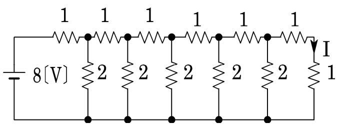
$$\therefore E=5\times8+8r=5\times8+5\times8=80\,[\mathrm{V}]$$ 가 된다. **【답】** ㉮

1-21

그림과 같은 회로에서 I는 몇〔A〕인가? 단, 저항의 단위는〔Ω〕이다.

㉮ 1 ㉯ $\frac{1}{2}$

㉰ $\frac{1}{4}$ ㉱ $\frac{1}{8}$



전체 합성 저항을 우측 끝 부분부터 구하면 $R_0 = 2\,[\Omega]$가 된다. 따라서 전전류는 $I = \frac{8}{2} = 4\,[A]$가 된다.

전전류 4〔A〕는 각 지로에 저항에 반비례하여 분배된다. 따라서 $I = \frac{1}{8}$〔A〕 【답】 ㉱

1-22

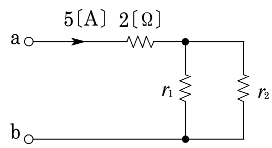
a, b간에 25〔V〕의 전압을 가할 때 5〔A〕의 전류가 흐른다. r_1 및 r_2에 흐르는 전류의 비를 1 : 3으로 하려면 r_1 및 r_2의 저항은 각각 몇〔Ω〕인가?

㉮ $r_1 = 12,\ r_2 = 4$

㉯ $r_1 = 24,\ r_2 = 8$

㉰ $r_1 = 6,\ r_2 = 2$

㉱ $r_1 = 2,\ r_2 = 6$



전체전류가 5[A] 이고, 전압이 25[V] 이므로 $I = 5 = \frac{E}{R_t} = \frac{25}{R_t}$, $\therefore\ R_t = \frac{25}{5} = 5\,[\Omega]$

가 된다. 또 회로에 대한 합성저항값과 같으므로

$$2 + \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = 5[\Omega]$$

가 된다. 전류비가 1 : 3이므로

$$r_1 : r_2 = 3 : 1\ , \qquad \therefore\ r_1 = 3r_2$$

$$\frac{3r_2^2}{3r_2 + r_2} = 5 - 2\ , \qquad \frac{3}{4}r_2 = 3$$

$$\therefore\ r_2 = 4\,[\Omega]\ , \quad r_1 = 12\,[\Omega]$$

【답】 ㉮

1-23

최대 눈금 $I = n$〔mA〕의 전류계 A(내부 저항 무시)에 직렬로 R〔kΩ〕의 저항을 접속하여 전압계로 했을 때 몇〔V〕까지 측정할 수 있는가?

㉮ $\frac{R}{n-1}$ ㉯ $\frac{R}{n}$ ㉰ nR ㉱ $(n-1)R$

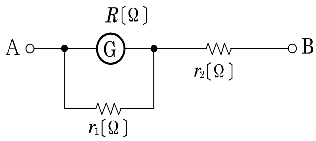
전류 $I = n$〔mA〕, 저항 R〔kΩ〕이므로 $V = R \times 10^3 \times n \times 10^{-3} = nR$〔V〕 【답】 ㉰

1-24

저항 R인 검류계 G에 그림과 같이 r_1인 저항을 병렬로, 또한 r_2인 저항을 직렬로 접속하고 A, B단자 사이의 저항을 R와 같게 하고 또한 G에 흐르는 전류를 전전류의 $\frac{1}{n}$로 하기 위한 r_1의 값은 얼마인가?

㉮ $R\left(1-\frac{1}{n}\right)$ ㉯ $\frac{n-1}{R}$

㉰ $\frac{R}{n-1}$ ㉱ $R\left(1+\frac{1}{n}\right)$



그림에서 전 전류를 I라 하면 검류계에 흐르는 전류는 전류분배법칙에 의해 $I_G=\frac{1}{n}I=\frac{r_1}{R+r_1}\times I$ 이므로

이 식에서 저항을 구하면 $r_1=\frac{R}{n-1}$ 가된다. **【답】** ㉰

1-25

DC 12〔V〕의 전압을 측정하려고 10〔V〕용 전압계 두 개를 직렬로 연결하였을 때 전압계 V_1의 지시는 몇〔V〕인가? 단, 전압계 V_1, V_2의 내부 저항은 각각 8〔kΩ〕, 4〔kΩ〕이다.

㉮ 10 ㉯ 8 ㉰ 6 ㉱ 4

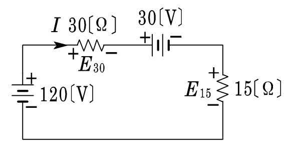
전압 분배 법칙에 의해 구한다. $V_1=\frac{8}{8+4}\times 12=8$〔V〕 **【답】** ㉯

1-26

회로에서 E_{30}과 E_{15}는 몇〔V〕인가?

㉮ 60, 30 ㉯ 70, 40

㉰ 80, 50 ㉱ 50, 40



전압분배법칙에 의해 구한다.

$E_{30}=\frac{30}{30+15}(120-30)=60$, $E_{15}=\frac{15}{30+15}(120-30)=30$ **【답】** ㉮

2. 정현파교류

1. 정현파 교류의 발생

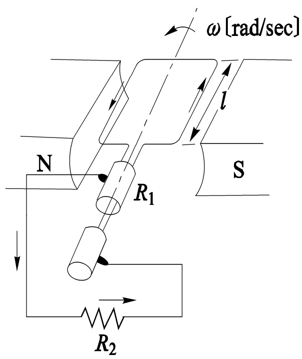


그림 1 교류발전기의 원리

그림 1의 2극 발전기를 화살표 방향으로 ω [rad/sec]로 회전할 경우 자극 N에서 S로 향하는 자속을 끊어 전자유도법칙에 의해 기전력을 발생한다. 이때 발생하는 기전력의 파형은 정현파의 현태로 된다.

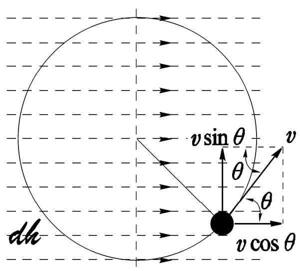


그림 2 자속과 도체의 쇄교

그림 2의 속도 v의 성분은 자속의 방향과 직각인 $v\sin\theta$ 성분에 의해 만들어지는 기전력의 크기가 정현파가 된다. 이 기전력의 크기를 플레밍의 오른손 법칙에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = Blv\sin\theta \text{ [V]}$$

여기서 e : 기전력, B : 자기장 중의 자속밀도, l : 도체의 길이, v : 도체의 속도 θ : 도체와 자속사이의 각도

또 이식을 시간의 관계식으로 나타낼 수 있다. 이것을 순시값이라 한다.

[주] 이 부분은 전기기기의 교류발전기의 원리에 자세한 설명이 되어 있다. 직류발전기의 원리와 교류발전기의 원리의 차이를 이해하면 더욱 쉽게 전기공학 공부에 접근할 수 있다.

2. 정현파 교류의 표현

2.1 각도와 각속도(angular velocity)

각도를 나타내는 방법은 일반적으로 도수법과 호도법이 통용되며 전기공학에서는 호도법을 많이 사용한다.

호도법에 의한 각도의 단위는 [rad]으로 나타내며, 여기에 속도의 개념을 적용한 각속도 ω의 단위는 [rad/sec]로 나타낸다. 각속도는 1초에 이동한 각도를 의미하며, 2극 교류 발전기에서 회전자 도체가 n회전 할 경우 회전수만큼 주파수가 발생하므로 주파수 f의 관계는 $\omega = 2\pi n = 2\pi f$ [rad/sec] 가 된다. 이것을 각주파수(angular frequency)라 한다. 여기서 주파수 (Frequency)는 1초 동안에 반복되는 사이클(cycle)의 수(數)로 정의한다.

$$\omega = 2\pi f \text{ [rad/sec]}$$

여기서 ω : 각속도(각주파수), π : 원주율(3.14)[3], f : 주파수

2.2 정현파 교류

$e = Blv\sin\theta$의 식에서 $\theta = \omega t$의 관계가 있으므로

$$e = Blv\sin\omega t \text{[V]}$$

여기서 e : 기전력, B : 자기장 중의 자속밀도, l : 도체의 길이, v : 도체의 속도, ω : 각속도, t : 시간

---

3) 원주율(圓周率)은 원의 지름에 대한 둘레의 비율을 나타내는 수학 상수이다. 수학과 물리학의 여러 분야에 두루 쓰인다. 그리스 문자 π로 표기하고, 파이라고 읽는다.

[1] 원주율은 수학에서 다루어지는 가장 중요한 상수 가운데 하나이다.

[2] 무리수인 동시에 초월수이다. 아르키메데스의 계산이 널리 알려져 있어 '아르키메데스 상수'라고 부르기도 하며, 독일에서는 1600년대 뤼돌프 판 쾰런이 소수점 이하 35자리까지 원주율을 계산한 이후 '뤼돌프 수'라고 부르기도 한다.

[3] 원주율의 값은 3.1415926535897932... 로, 순환하지 않는 무한소수이기 때문에 근사값으로 3.14를 사용한다.

로 나타낼 수 있다. 이 식은 시간t에 의해 그 값이 변화하므로 순시값(instant -aneous value)이라 하며 정현파 교류의 순시값 표현방법이 된다.

여기서, $V_m = Blv$을 최대값이라 한다.

$$v = V_m \sin\theta = V_m \sin\omega t$$

여기서 v : 전압, V_m : 전압의 최대값, ω : 각속도, t : 시간

의 값을 파형으로 표현하면 그림 3과 같다.

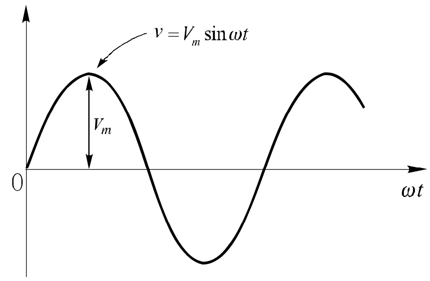


그림 3 정현파 교류의 순시값

그림 4에서 v_1 은 v_2 보다 반시계 방향으로 θ만큼 이동한 것으로 v_1 의 식은 다음과 같이 표현된다.

$$v_1 = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

여기서 θ를 초기위상(initial phase) 또는 간단히 위상이라 한다.

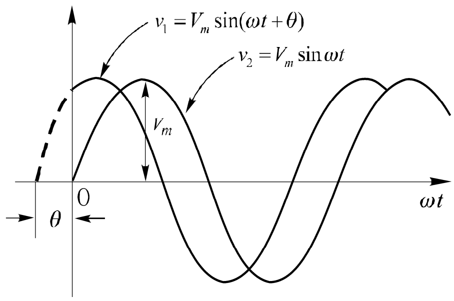


그림 4 위상의 표현

예제

최대값이 10〔A〕, 주파수가 10〔Hz〕이고 $t=0$인 순시값이 5〔A〕인 교류 전류식은?

㉮ $10\sin\left(20\pi t \pm \frac{\pi}{3}\right)$ ㉯ $10\cos\left(20\pi t \pm \frac{\pi}{3}\right)$

㉰ $10\sin(20\pi t)$ ㉱ $10\cos(20\pi t)$

문제의 조건에서 $t=0$이이므로 초기 위상만 고려하여 구한다. 또 문제의 조거에서 순시값이 최대값의 1/2 이므로 sin 30°이면 최대값의 $\frac{1}{2}$ 이된다.

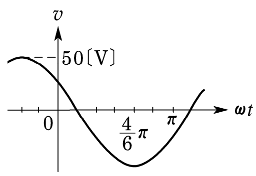
$i(t)=10\sin\left(20\pi t \pm \frac{\pi}{6}\right)$이므로 cos 함수로 변환하면 $i(t)=10\cos\left(20\pi t \pm \frac{\pi}{3}\right)$ 【답】 ㉯

예제

그림과 같은 파형의 순시값은?

㉮ $70.70\cos\left(\omega t+\frac{2\pi}{6}\right)$ ㉯ $50\sin\left(\omega t+\frac{5\pi}{6}\right)$

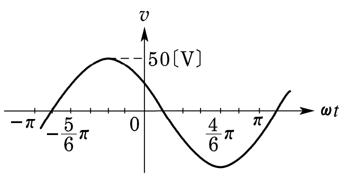
㉰ $70.70\sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{6}\right)$ ㉱ $50\cos\left(\omega t+\frac{5\pi}{6}\right)$



정현파의 순시값 기본식 $v = V_m\sin(\omega t+\theta)$에서

$V_m=50$〔V〕, $\theta=\frac{5\pi}{6}$

$\therefore v=50\sin\left(\omega t+\frac{5\pi}{6}\right)$



【답】 ㉯

2.3 평균값과 실효값

정현파 교류를 표현하는 방법으로는 평균값의 개념과 실효값의 개념이 있다. 평균값(average value) 주기적인 교류파의 평균값은 한 주기 동안을 평균한 값을 말한다.

$$V_{av}=\frac{1}{T}\int_0^T v\,dt$$

여기서 V_{av} : 평균값, T : 주기, v : 전압의 순시값

위 식으로 정현파 교류의 평균값을 구하면 주기적으로 반복되는 파형이므로 0이 된다. 따라서 반주기에 대한 순시값의 평균을 취하여 정현파 교류의 평균값을 구한다.

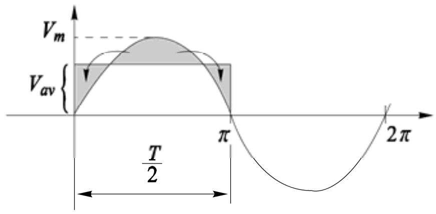


그림 5 평균값

$$V_{av} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} v\, dt$$

$$V_{av} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v\, dt$$

$$= \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\omega t\ d\omega t = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\theta\, d\theta$$

$$= \frac{V_m}{\pi}[-\cos\theta]_0^{\pi} = \frac{2}{\pi}V_m$$

$$\fallingdotseq 0.637\, V_m$$

여기서 V_{av} : 평균값, T : 주기, v : 전압의 순시값, V_m : 전압의 최대값

즉, 정현파 교류에서는 평균값이 최대값의 63.7%가 된다. 예를 들면 다음과 같다.

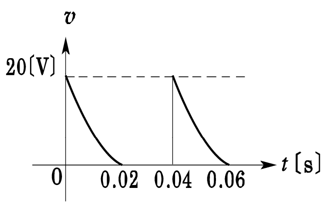


그림 6 주기 전압파

그림 6 과 같은 주기 전압파에서 $t=0$으로부터 0.02 [s] 사이에는

$v = 5\times 10^4 (t-0.02)^2$으로 표시되고 0.02 [s]에서부터 0.04 [s]까지는 $v=0$이다.

전압의 평균값은

$$V_{ab}=\frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} v\,dt=\frac{1}{0.04}\int_0^{0.02} 5\times 10^4(t-0.02)^2 dt$$

$$=\frac{5\times 10^4}{0.04}\left[\frac{1}{3}(t-0.02)^3\right]_0^{0.02} \fallingdotseq 3.33\ [\mathrm{V}]$$ 가 된다.

이 값을 쉽게 구하기 위해서는 공학용 계산기4)를 이용하면 된다.

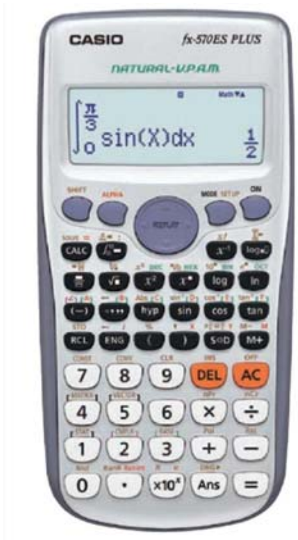


그림 7 공학용계산기

[주] 그림7의 계산기는 저가의 계산기이면서 전기공학이 계산에 충실한 계산기이다.

예제

최대값이 100 〔V〕인 사인파 교류의 평균값은?
㉮ 141　　㉯ 70.7　　㉰ 63.7　　㉱ 53.8

정현파 교류의 평균값의 식에서 $V_{av}=\frac{2}{\pi}V_m=\frac{2}{\pi}\times 100=63.7$ 〔V〕 **【답】** ㉰

예제

어떤 정현파 전압의 평균값이 191 〔V〕이면 최대값〔V〕은?
㉮ 약 150　　㉯ 약 250　　㉰ 약 300　　㉱ 약 400

4) 국가기술자격은 계산기를 사용하는 것이 가능하다. 다만 공무원 및 공기업을 준비하는 경우는 계산기의 사용이 제한되므로 기본적인 것에 충실한 것이 바람직하다.

정현파 교류의 평균값의 식에서 $V_{av} = \dfrac{2V_m}{\pi}$ 이므로 $V_m = \dfrac{\pi}{2} V_{av} = \dfrac{\pi}{2} \times 191 \fallingdotseq 300$ [V] 【답】 ㉰

실효값(effective value)은 직류가 교류와 동일한 전력효과를 낼 경우 직류로써 교류의 효과를 대신 할 수가 있다. 즉, 동일한 저항회로에 직류와 교류를 동일시간 인가하였을 때 소비되는 전력량이 같은 경우 이때의 직류값을 정현파 교류의 실효값으로 정의한다.

$$P_{dc} = P_{ac}$$

$$I^2 R = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 R\,dt$$

$$\therefore\ I = \sqrt{\left(\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt\right)}$$

교류의 실효값 I는 순시값 i의 자승 평균의 평방근으로 정의되므로 실효값을 rms(root mean square value)라고도 한다.

$$I = \sqrt{\left(\frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} i^2\,dt\right)} = \sqrt{\left(\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} i^2\,dt\right)}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2\theta\,d\theta\right)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi}\int_0^{\pi}\sin^2\theta\,d\theta}$$

$$= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \fallingdotseq 0.707 I_m$$

여기서 I : 전류의 실효값, T : 주기, i : 전류의 순시값, I_m : 전류의 최대값

정현파 교류에서는 실효값은 최대값의 70.7%가 됨을 알 수 있다.

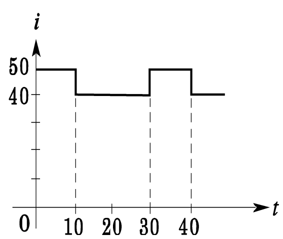


그림 8 주기파

그림 8과 같이 처음 10초간은 50 [A]의 전류를 흘리고, 다음 20초간은 40 [A]의 전류를 주

기 30초 간격으로 흘리면 전류의 실효값[A]은

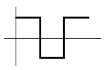
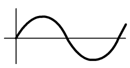
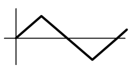
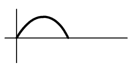
$$\text{실효값 } I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt} = \sqrt{\frac{1}{30}\left\{\int_0^{10}(50)^2 dt + \int_{10}^{30}(40)^2 dt\right\}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{30}\left\{[2500t]_0^{10} + [1600t]_{10}^{30}\right\}} = \sqrt{1900} \fallingdotseq 43.58\ [\text{A}]$$

가 된다.

평균값과 실효값은 항상동일한 것이 아니며, 파형에 따라서 그 값이 달라진다. 표 1은 대표적인 파형에 대한 평균값과 실효값을 나타낸 것이다.

표 1 대표적인 파형의 평균값과 실효값

파 형		평균값	실효값
사각파 구형파		V_m	V_m
정현파 전파정류파		$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$
삼각파 톱니파		$\frac{V_m}{2}$	$\frac{V_m}{\sqrt{3}}$
정현반파 반파정류파		$\frac{V_m}{\pi}$	$\frac{V_m}{2}$

예제

정현파 교류의 실효값을 계산하는 식은?

㉮ $I = \frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt$ ㉯ $I^2 = \frac{2}{T}\int_0^T i\,dt$ ㉰ $I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt$ ㉱ $I = \sqrt{\frac{2}{T}\int_0^T i^2\,dt}$

동일한 저항 R에 직류 전류 I〔A〕가 흐를 때 소비 전력 P_{DC}는 $P_{DC} = I^2R$〔W〕

교류 전류 i〔A〕가 흐를 때 소비 전력 P_{AC}는 주기를 T라 하면 $P_{AC} = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 R dt$〔W〕

실효값의 정의에 의해 $P_{DC} = P_{AC}$의 조건에서 전류를 구하면 된다.

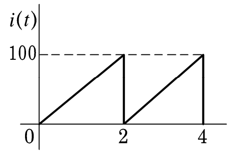
$I^2R = \frac{R}{T}\int_0^T i^2\,dt \qquad \therefore\ I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt$ **【답】** ㉰

예제

그림과 같은 파형의 실효값은?

㉮ 47.7 ㉯ 57.7

㉰ 67.7 ㉱ 77.5



$$I=\sqrt{\frac{1}{2}\int_0^2 (50t)^2 dt}=\sqrt{\frac{2500}{2}\left|\frac{t^3}{3}\right|_0^2}=\frac{100}{\sqrt{3}}=57.7[A]$$, 삼각파의 실효값 식에 의해 구하여도 된다.

【답】 ㉯

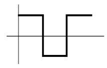
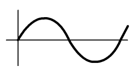
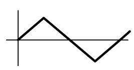
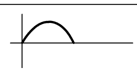
2.4 파형률과 파고율

파형을 비교할 경우 구형파를 기준으로 하여 비정현적인 파형이 어느 정도 일그러졌는가를 나타내는 척도로써 파형률(wave factor)과 파고율(peak factor)이 사용된다. 파형률과 파고율의 정의는 다음과 같다.

① 파형률= $\dfrac{\text{실효값}}{\text{평균값}}=\dfrac{V}{V_{av}}=\dfrac{I}{I_{av}}$

② 파고율= $\dfrac{\text{최대값}}{\text{실효값}}=\dfrac{V_m}{V}=\dfrac{I_m}{I}$

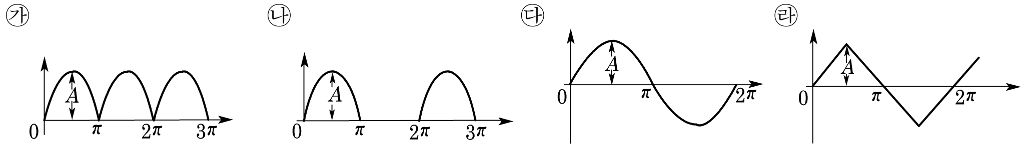
표 2 주기적인 비정현파에 대한 파형율과 파고율

파　　형		파형률	파고율
사각파 구형파		1	1
정현파 전파정류파		1.109	1.414
삼각파 톱니파		1.155	1.732
정현반파 반파정류파		1.57	2

[주] 반파정류파와 반원파는 다른 파형이므로 주의하여야 한다.

예제

그림 중 파형률이 1.15가 되는 파형은?



㉮와 ㉰는 동일한 유형의 파형으로 파형률이 갈게된다. 그러므로 ㉯와 ㉱의 파형률을 구한다.

㉮ 정류파(전파)=1.11 ㉯ 정류파(반파)=1.57

㉰ 정현파(여현파)=1.11 ㉱ 삼각파=1.15 **【답】** ㉱

2.5 Phasor (정현파교류의 복소수 표현)

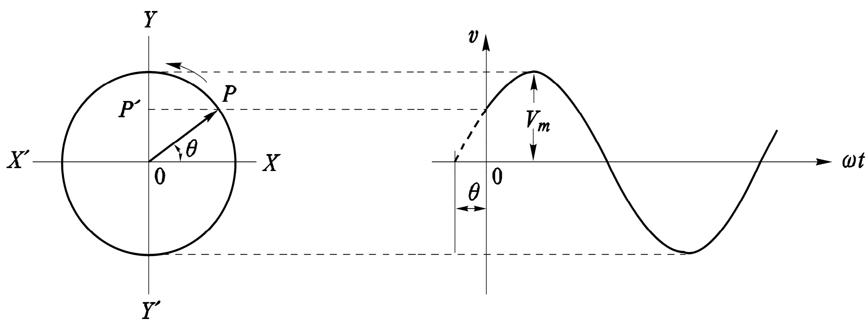


그림 9 정현파교류의 벡터표현

그림 9은 $v = V_m \sin(\omega t + \theta)$로 표시되는 정현파이며, 이 정현파의 최대값 V_m과 크기가 같은 화살표선분 $\overline{OP}$가 초기각 θ의 위치로부터 원점을 중심으로 하여 시계반대방향으로 일정한 각속도 ω[rad/sec]로 원운동하고 있을 때(이를 회전벡터라 한다), θ 지점에 대응하는 벡터를(정지벡터) 페이저 또는 페이저도 라고 한다. 이것은 정현파의 파형의 값을 벡터로 표현할 수 있음을 의미 한다.

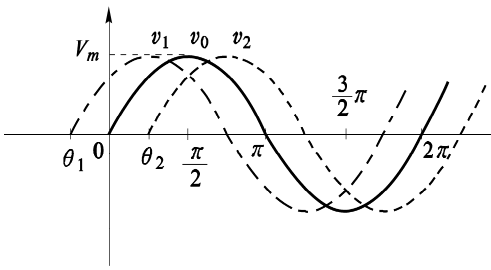
$$v = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

위 식을 벡터로 표현하면

$$V_m \angle \theta \text{ 또는 } V \angle \theta$$

가 된다.

[주] 벡터의 기본적인 표현방법을 참고한다.



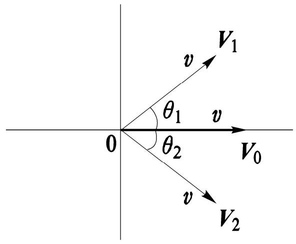


그림 10 페이저의 예

예제

$v = 100\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$를 복소수로 표시하면?

㉮ $50\sqrt{3} + j50\sqrt{3}$ ㉯ $50 + j50\sqrt{3}$ ㉰ $50 + j50$ ㉱ $50\sqrt{3} + j50$

$v = 100\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$를 실효값 정지 벡터로 표시하면

$V = 100\angle\frac{\pi}{3} = 100(\cos 60° + j\sin 60°) = 50 + j50\sqrt{3}$ 【답】 ㉯

2.6 정현파의 합성

일반적으로 두 개의 정현파형을 수학적으로 합성하는 것은 쉬운 것이 아니다. 그러나 페이저를 이용하면 정현파의 합성을 쉽게 할 수 있다.

$v_1 = \sqrt{2}\,V_1\sin(\omega t + \theta_1)$ [V] 와 $v_2 = \sqrt{2}\,V_2\sin(\omega t + \theta_2)$ [V]

의 두 정현파 전압을 합성할 경우 두 정현파 전압의 페이저로 표현하면 다음과 같다.

$v_1 = \sqrt{2}\,V_1\sin(\omega t + \theta_1)$는 $\dot{V_1} = V_1\angle\theta_1 = V_1\cos\theta_1 + jV_1\sin\theta_1$

$v_2 = \sqrt{2}\,V_2\sin(\omega t + \theta_2)$는 $\dot{V_2} = V_2\angle\theta_2 = V_2\cos\theta_2 + jV_2\sin\theta_2$

따라서 벡터의 합에 계산방법에 의해 계산한다.

$$v_1 + v_2 = (V_1\cos\theta_1 + V_2\cos\theta_2) + j(V_1\sin\theta_2 + V_2\sin\theta_2)$$

이 결과를 극좌표로 환산하면

$$v_1 + v_2 = \sqrt{(V_1\cos\theta_1 + V_2\cos\theta_2)^2 + (V_1\sin\theta_1 + V_2\sin\theta_2)^2}$$

$$\angle \tan^{-1}\frac{V_1\sin\theta_1 + V_2\sin\theta_2}{V_1\cos\theta_1 + V_2\cos\theta_2}\ [\mathrm{V}]$$

가 된다.

예를 들어보면 전류의 크기가

$$i_1 = 30\sqrt{2}\sin\omega t\ [\mathrm{A}],\ i_2 = 40\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

일 때 $i_1 + i_2$의 실효값은

$$I_1 = 30\angle 0°\ ,\quad I_2 = 40\angle 90° = 40(\cos 90° + j\sin 90°) = j40$$

$$\therefore\ I_1 + I_2 = 30 + j40$$

$$|I_1 + I_2| = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50\ [\mathrm{A}]$$

가 된다.

예제

전류의 크기가 $i_1 = 30\sqrt{2}\sin\omega t$ [A], $i_2 = 40\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ 일 때 $i_1 + i_2$의 실효값은 몇 [A]인가?

㉮ 50　㉯ $50\sqrt{2}$　㉰ 70　㉱ $70\sqrt{2}$

두 전류의 페이저를 구한다. $I_1 = 30\angle 0°$, $I_2 = 40\angle 90° = 40(\cos 90° + j\sin 90°) = j40$

따라서 두 페이저의 합은

$\therefore\ I_1 + I_2 = 30 + j40$

$|I_1 + I_2| = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50$ [A]

【답】 ㉮

예제

어느 기준 벡터에 대하여 30° 앞선 200 [V]의 전압 V_1과 90° 뒤진 200 [V]의 전압 V_2가 있을 때 이 두 전압의 차는 얼마인가?

㉮ $100(\sqrt{3} + j)$　㉯ $100(\sqrt{3} - j)$

㉰ $100(\sqrt{3} + j3)$　㉱ $100(\sqrt{3} - j3)$

문제의 조건을 페이저로 표현하면

$V = 200\angle 30 - 200\angle -90$

$= 100\sqrt{3} + j100 - (-j200) = 100\sqrt{3} + j300 = 100(\sqrt{3} + j3)$

【답】 ㉰

02 핵심과년도문제

2-1

$i_1 = I_m \sin \omega t$ 와 $i_2 = I_m \cos \omega t$ 와 두 교류 전류의 위상차는 몇 도인가?

㉮ 0° ㉯ 60° ㉰ 30° ㉱ 90°

$\cos\theta = \sin(\theta + 90)$ 이므로 i_2의 값을 변경하면 $i_2 = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$

따라서, i_1과 위상차는 90°가 된다. **【답】** ㉱

2-2

$v = 141 \sin\left(377t - \dfrac{\pi}{6}\right)$ 인 파형의 주파수[Hz]는?

㉮ 377 ㉯ 100 ㉰ 60 ㉱ 50

정현파의 순시값의 식에서 $\omega t = 377t$ 이므로

$\omega = 2\pi f = 377$ $\therefore\ f = \dfrac{377}{2\pi} = 60$ [Hz] **【답】** ㉰

2-3

교류 전류는 크기 및 방향이 주기적으로 변한다. 한 주기의 평균값은?

㉮ 0 ㉯ $\dfrac{2}{\pi}$ ㉰ $\dfrac{2I_m}{\pi}$ ㉱ $\dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$

정현파의 한 주기의 평균값은 0이 된다. 이러한 주기파의 경우는 일반적으로 정현파는 반주기의 평균값을 취하여 $\dfrac{2I_m}{\pi}$ 으로 한다. 문제의 조건은 한주기의 평균값이므로 0이다. **【답】** ㉮

2-4

정현파 교류의 실효값을 계산하는 식은?

㉮ $I = \dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T i^2\, dt$ ㉯ $I^2 = \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_0^T i\, dt$ ㉰ $I^2 = \dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T i^2 dt$ ㉱ $I = \sqrt{\dfrac{2}{T}\displaystyle\int_0^T i^2\, dt}$

동일한 저항 R에 직류 전류 I[A]가 흐를 때 소비 전력 P_{DC}는 $P_{DC} = I^2 R$[W]

교류 전류 i[A]가 흐를 때 소비 전력 P_{AC}는 주기를 T라 하면 $P_{AC} = \dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T i^2 R dt$ [W]

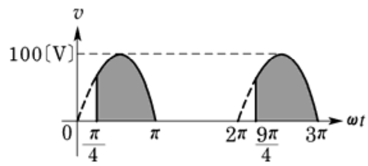
실효값의 정의에 의해 $P_{DC} = P_{AC}$의 조건에서 전류를 구하면 된다.

$$I^2R = \frac{R}{T}\int_0^T i^2\,dt \qquad \therefore\ I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt$$

【답】 ㉰

2-5

그림과 같은 $v = 100\sin\omega t$ 인 정현파 교류 전압의 반파 정류파에 있어서 사선 부분의 평균값〔V〕은?



㉮ 27.17　　㉯ 37

㉰ 45　　㉱ 51.7

정현파 전압의 평균값의 정의에 대입하면

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} v\,d(\omega t) = \frac{1}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} 100\sin\omega t\ d(\omega t)$$

$$= \frac{100}{2\pi}[-\cos\omega t]_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} = \frac{100}{2\pi}\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 27.17\ [\mathrm{V}]$$

【답】 ㉮

2-6

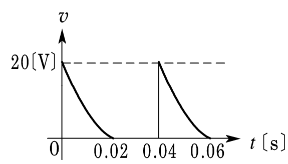
그림과 같은 주기 전압파에서 $t=0$으로부터 0.02〔s〕 사이에는 $v = 5\times10^4(t-0.02)^2$으로 표시되고 0.02〔s〕에서부터 0.04〔s〕까지는 $v=0$이다. 전압의 평균값은 약 얼마인가?

㉮ 2.2

㉯ 3.3

㉰ 4

㉱ 5.5



정현파 전압의 평균값의 정의에 대입하면

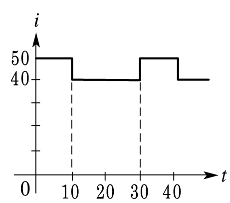
$$V_{ab} = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} v\,dt = \frac{1}{0.04}\int_0^{0.02} 5\times10^4(t-0.02)^2 dt$$

$$= \frac{5\times10^4}{0.04}\left[\frac{1}{3}(t-0.02)^3\right]_0^{0.02} \fallingdotseq 3.33\ [\mathrm{V}]$$

【답】 ㉯

2-7

그림과 같이 처음 10초간은 50〔A〕의 전류를 흘리고, 다음 20초간은 40〔A〕의 전류를 흘리면 전류의 실효값〔A〕은? 단, 주기는 30초라 한다.



㉮ 38.7　　㉯ 43.6

㉰ 46.8　　㉱ 51.5

정현파 전류의 실효값의 정의에 대입하면

실효값 $I=\sqrt{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T i^2\,dt}=\sqrt{\dfrac{1}{30}\left\{\displaystyle\int_0^{10}(50)^2dt+\int_{10}^{30}(40)^2dt\right\}}$

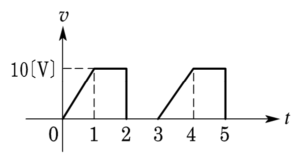
$=\sqrt{\dfrac{1}{30}\left\{[2500t]_0^{10}+[1600t]_{10}^{30}\right\}}=\sqrt{1900}\fallingdotseq 43.58$ [A] **【답】** ㉯

2-8

그림과 같은 전압 파형의 실효값[V]은?

㉮ 5.67 ㉯ 6.67

㉰ 7.57 ㉱ 8.57



정현파 전압의 실효값의 정의에 대입하면

$V=\sqrt{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T v^2dt}=\sqrt{\dfrac{1}{3}\left\{\displaystyle\int_0^1(10t)^2dt+\int_1^2 10^2dt\right\}}=\dfrac{20}{3}\fallingdotseq 6.67$ [A] **【답】** ㉯

2-9

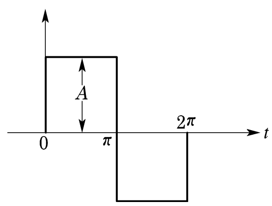
그림과 같은 파형의 파고율은 얼마인가?

㉮ 2.828

㉯ 1.732

㉰ 1.414

㉱ 1



구형파는 파형률과 파고율이 모두 1.0이다. **【답】** ㉱

2-10

교류의 파형률이란?

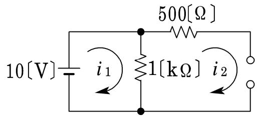
㉮ $\dfrac{\text{실효값}}{\text{평균값}}$ ㉯ $\dfrac{\text{평균값}}{\text{실효값}}$ ㉰ $\dfrac{\text{실효값}}{\text{최대값}}$ ㉱ $\dfrac{\text{최대값}}{\text{실효값}}$

파형률$=\dfrac{\text{실효값}}{\text{평균값}}$이고, 파고율$=\dfrac{\text{최대값}}{\text{실효값}}$이다. **【답】** ㉮

2-11

파고율값이 1.414인 것은 어떤 파인가?

㉮ 반파 정류파 ㉯ 직사각형파 ㉰ 정현파 ㉱ 톱니파



$$\frac{1}{C}\int i_1 dt + R_1(i_1 - i_2) = E \qquad \cdots\cdots ①$$

$$R_2 i_2 + L\frac{di_2}{dt} + R_1(i_2 - i_1) = 0 \qquad \cdots\cdots ②$$

다음, 그림과 같이 S를 닫을 때 C는 단락, L은 개방 상태이므로, $t=0$에서

$$i_2(0_+) = 0,\ i_1(0_+) = \frac{10}{1000} = 10\ \text{〔mA〕}$$

식 ②에서

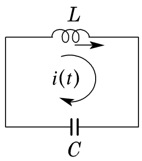
$$\frac{di_2(0_+)}{dt} = \frac{R_1}{L}\{i_1(0_+) - i_2(0_+)\} - \frac{R_2}{L}i_2(0_+) = \frac{R_1}{L}i_1(0_+)$$

$$= \frac{1000}{0.1}\times 0.01 = 100\ \text{〔A/s〕}$$

【답】 ㉰

13-51

인덕턴스 $L=50$〔mH〕의 코일에 $I_0=200$〔A〕의 직류를 흘려 급히 그림과 같이 용량 $C=20$〔μF〕의 콘덴서에 연결할 때 회로에 생기는 최대 전압〔kV〕은?



㉮ 10　　㉯ $10\sqrt{2}$
㉰ 20　　㉱ $20\sqrt{2}$

L, C의 직렬 회로에 전류 i가 흐르면

$$L\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C}\int i(t)dt = 0$$

$$\therefore\ L\frac{d^2i(t)}{dt^2} + \frac{1}{C}i(t) = 0$$

$$\therefore\ i(t) = (A\cos\omega_r t + B\sin\omega_r t), \qquad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$t=0$일 때 $i=200$이므로 $A=200$, $B=0$

$$e_L = L\frac{di}{dt} = -\sqrt{\frac{L}{C}}\cdot 200\cdot\sin\frac{t}{\sqrt{LC}}$$

$$e_c = \frac{1}{C}\int i(t)dt = \sqrt{\frac{L}{C}}\cdot 200\cdot\sin\frac{t}{\sqrt{LC}}$$

$$e_{L_{max}} = e_{C_{max}} = \sqrt{\frac{L}{C}}\cdot 200 = \sqrt{\frac{50\times 10^{-3}}{20\times 10^{-6}}}\cdot 200 = 10\ \text{〔kV〕}$$

【답】 ㉮

13-52

$R=30$〔Ω〕, $L=79.6$〔mH〕의 $R-L$ 직렬 회로에 60〔Hz〕, 교류를 가할 때 과도 현상이 일어나지 않으려면 전압은 어느 위상에서 가해야 하는가?

㉮ 30°　　㉯ 45°　　㉰ 60°　　㉱ 75°

$R-L$ 직렬 회로에 $e=E_m\sin(\omega t+\theta)$의 교류 전압을 인가하는 경우 회로에 흐르는 전류는,

$$i=\frac{E_m}{Z}\left\{\sin(\omega t+\theta-\phi)-e^{-\frac{R}{L}t}\sin(\theta-\phi)\right\}$$ 가 된다.

이때, 과도 전류가 생기지 않으려면, $\sin(\theta-\phi)$가 0이어야 한다. 즉, $\theta=\varphi$이므로,

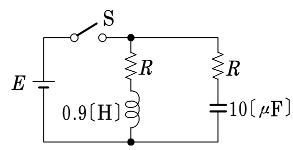
$$\phi=\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}=\tan^{-1}\frac{2\times\pi\times 79.6\times 10^{-3}\times 60}{30}=\tan^{-1}1$$

$$\phi=45°$$

【답】 ㉯

13-53

그림과 같은 회로에서 스위치 S를 닫았을 때 과도분을 포함하지 않기 위한 R의 값[Ω]은?



㉮ 100 ㉯ 200
㉰ 300 ㉱ 400

과도 현상이 발생되지 않기 위해서는 저항만의 회로가 되어야 하며 회로는 정저항 회로 이므로

$R^2=\frac{L}{C}$ 에서 $R=\sqrt{\frac{L}{C}}=\sqrt{\frac{0.9}{10\times 10^{-6}}}=300$〔Ω〕

【답】 ㉰

국가기술자격 취득과 공기업/공무원 취업을 위한

전기공학 시리즈 1.회로이론

저　　자 / 김 대 호
펴 낸 이 / 강 명 아

2021년 5월10일　제2판 개정발행

펴낸곳 / 도서출판 스카이미디어북스
주소 / 서울시 서초구 효령로 41(방배동)
대표전화 / 02-594-3328
팩스 / 02–6442-6402
등록번호 / 제2015-000219호

값 / **22,000원**