

이중 코일을 이용한 자기유도

1. 원리

그림 1과 같이 마주보게 장치한 두 폐회로를 생각해 보자, 회로 1에는 저항, 전지, 스위치가 직렬로 연결되어 있고 회로 2에는 내부 저항이 작은 검류계가 직렬로 연결되어 있다. 회로 1의 스위치 S 를 닫으면 회로 2에 연결된 검류계의 바늘이 순간적으로 움직이게 된다. 이것은 회로 2에 유도전류가 흐르고 있다는 것을 의미한다. 잠시후 회로 1의 전류가 정상상태에 도달하면 검류계의 바늘은 원점으로 돌아가 유도전류가 없음을 나타낸다. 회로 1의 스위치 S 를 열면 검류계의 바늘은 처음과 반대방향으로 움직이게 된다. 이 실험은 회로 1을 흐르는 전류의 변화가 회로 2에 유도전류와 유도기전력을 만들 수 있다는 사실을 보여준다.

이와 같은 사실은 폐회로를 통과하는 자속이 시간에 따라 변할 때 회로에 기전력이 유도된다는 것을 의미한다. 유도기전력과 유도전류에 관한 실험결과를 일반적으로 정리하면 “어떤 폐회로에 유도되는 기전력의 세기는 그회로를 통과하는 자속의 시간적 변화율(the time rate of change of magnetic flux)에 비례한다.” 그런데, 이것이 바로 패러데이의 법칙이며 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (1)$$

여기서 Φ_m 은 자속(magnetic flux)으로 다음과 같다.

$$\Phi_m = \int B \cdot dA \quad (2)$$

자속이 통과하는 원통에 코일이 N 회 감겨있다고 가정하면, 유도 기전력 \mathcal{E} 는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathcal{E} = - N \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (3)$$

그림 1의 회로 1의 스위치가 열려 있을 때 전류는 흐르지 않으며 회로 2를 흐르는 전류도 0이 된다. 스위치를 닫는 순간 회로 1의 전류 I_1 은 0에서부터 최대값인 \mathcal{E}/R 까지 순간적으로 증가하며 오른쪽 방향의 자속도 함께 증가한다. 이 오른쪽 방향의 자속은 회로 2를 통과하며 유도전류 I_2 를 만든다. 이때 유도전류 I_2 는 오른쪽을 향하는 자속을 만들어 자체의 자속변화를 줄이는 작용을 한다. 회로 1의 전류가 최대가 되어 평형상태가 되면 자속의 변화는 0이 되고 유도전류 I_2 도 역시 0이 된다. 회로 1의 스위치를 열면 전류는 0으로 감소하며 본래 자속의 감소를 보충하게 되는 왼쪽 방향의 자기장을 만들 수 있도록 유도전류 I_2 의 방향이 순간적으로 바뀐다. 따라서 식 (3)의 ‘-’부호는 자속의 변화를 감소시키는 방향을 의미한다.

이와 같은 유도기전력과 유도전류의 방향은 렌츠의 법칙(Lenz's law)에 따라 결정되는데 이 법칙을 요약하면 “유도기전력과 유도전류의 방향은 폐회로를 통과하는 자속의 변화를 감소시키는 쪽으로 결정된다. 즉, 유도기전력은 자속의 본래 세기를 그대로 유지하려는 쪽으로 형성된다.”는 것이다. 렌츠의 법칙은 상황에 따라 여러가지로 표현되나 결국 에너지 보존법칙과 같은 의미를 가진다.

솔레노이드 내부에서 자기장은 균일하고 축에 평행하다. 길이 l 이고 감은수 N 인 솔레노이드에 전류 I 가 흐를때 내부 자기장은 다음과 같다.

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I \tag{4}$$

여기서 $n = N/l$ 을 단위 길이당 감은 수로 놓으면 식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$B = \mu_0 n I \tag{5}$$

만일 솔레노이드에 철심을 삽입한다면 다음과 같이 철심의 투자율 μ 만큼 자기장의 세기가 커진다.

$$B = \mu_0 \mu n I \tag{6}$$

2. 결과

전류 $I_1(A)$	$N_2 = 250$		$N_2 = 500$	
	철심 무	철심 유	철심 무	철심 유
	전류 $I_2(\mu A)$	전류 $I_2(\mu A)$	전류 $I_2(\mu A)$	전류 $I_2(\mu A)$
0.5	25	125	8	75
1.0	23	275	12.5	175
1.5	25	400	25	275
2.0	37.5			

※ $N_2 = 250$ 철심 무 일때의 0.5A 일때의 측정이 잘못되었습니다. 일시적으로 나타나는 유도전력이라 바늘 눈금을 정확히 보지 못한 것 같습니다. 25 μA 가 아닙니다.

3. 토의

- ① Sw 가 순간적으로 on, off할 때 검류계의 방향은 무엇을 의미하는가?
유도전류의 크기이다.
- ② Sw 가 on한 상태에서 검류계에 유도전류가 나타나지 않는 이유는 무엇인가?
- ③ 철심이 삽입된 경우에 유도전류가 커지는 이유를 설명하여라
철심에 유도기전력이 생기게 되면 맴돌이 전류가 철심에 생기게 되어 유도전류가 커지게 된다.

그럼 전자기 유도에 대하여 좀더 알아보자.

자기장이 변하는 곳에 있는 도체에 전위차(전압)가 발생하는 현상을 말한다. 이 현상을 처음 수학적으로 설명한 사람은 마이클 패러데이였다. 그는 발생한 전압은 자속밀도(magnetic flux)의 변화율에 비례한다는 사실을 알아냈다. 이 법칙은 자속밀도가 변화하거나, 도체가 일정하지 않은 자속밀도가 퍼져있는 공간을 움직일 때 적용할 수 있다. 전자기유도는 발전기와 전기모터등의 전기구동기의 바탕에 있는 법칙이다.

패러데이의 전자기유도법칙은 다음과 같다.

여기서 e 는 기전력으로 단위는 볼트(V)이고, N 은 전선이 감긴 횟수, ϕ 는 자속밀도로 단위는 웨버(weber)이다.

나아가 렌츠의 법칙으로 유도기전력의 방향도 알 수 있다. 즉,

회로에 유도된 기전력은 유도된 전류가 만드는 자기장이 변화를 상쇄하는 방향으로 이루어진다.

참고: 맥스웰 방정식