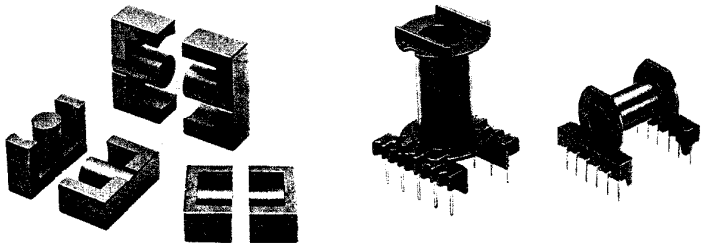
Vol:2(Rev.0)

관리번호	

磁性部品 設計의 基礎



KCE
Korea Coil Engineering Co.,Ltd
Tel:+82-2-974-7034
Fax:+82-2-974-7345

목 차

제목 : 자성부품설계 기초실습 및 이론

1. INDUCTION 계수(AL-VALUE)

교육 주제

1. Induction 계수(AL-VALUE)의 개념
2. 트랜스의 권선 수 검사의 개념

교육 내용

Induction 계수에 대해 간략하게 설명하고 승인원이 작성된 임의의 트랜스의 권선수 검사를 LCR METER를 이용하여 하도록 하고 Pin NO, SPEC의 턴 수, 측정L값, 계산L값, -1Ts 와 +1Ts일 경우 계산L값 AL-Value를 이용한 계산 턴 수의 REPORT를 받는다.

이 론

- Induction 계수는 단위 권선수당의 L값이고, 기호는 AL혹은 K이고 단위는 [nH/N^2]이다.
- $L=k*N^2$(Henry)
- $k=L/N^2$[nH/N^2]
  if, Induction 계수가 250(nH/N^2)이고 권선수가 100Ts이면
  $L=250*10^{-9}*100^2=2500000*10^{-9}$=2.5mH임.

실험 및 결과

승인원이 있는 임의의 트랜스를 선정하여 다음 표를 작성한다.

PIN NO	SPEC Ts	측정L치	AL-치	-1Ts 계산 값	+1Ts 계산 값	비고
						AL-Value =L/N^2

2. 결합도의 개념

교육 주제

1. 결합도의 개념을 이해시킨다.
2. Center Air Gap과 Side Air Gap의 관계를 이해시킨다.

교육 내용

1. Center Air Gap이 있는 임의의 Core를 선정하여 1차와 몇 개의 2차권선을 적합하게 작업하도록 한다. (동일 선경, 동일 권선수로 한다.) 위 실습으로 상측의 권선(뒤에 한 권선)의 Induction계수가 높아지는 것을 이해시킨다.
2. 실습 1에서 Center Air Gap Core를 빼고 Gap이 없는 Core를 사용할 때 Side Gap은 Center Gap의 1/2에 상당하는 것을 이해시킨다.

이 론

- 자성부품(유도결합부품) 1차와 2차가 유도적으로 결합(결합도 존재) 1차와 2차의 결합이 완전할 경우 결합도 k=1(실제로 존재하지 않음)임. 결합도는 트랜스의 기하학적인 구조에서 결정됨. (동일 권선수로 하여도 L값이 다른 것은 결합도가 다르기 때문.)
- Side Gap이 Center Gap의 1/2에 상당하는 것은 공기부분의 체적으로 설명.

실험 및 결과

1. EER4042(15) BASE에 권선간 절연을 하면1서 N1, N2, N3, N4를 동일선경, 동일권선수로 1 layer되게 권선한 후 AIR GAP이 0.5mm되는 CORE 1조를 조립하여 다음 표를 작성한다.
2. AIR GAP이 없는 CORE 1조를 조립하여 CORE 양 SIDE에 0.25mm GAP지를 삽입하였을 때 L값이 실험1과 같이 L값이 나오는 것을 확인한다.

	L1	L2	L3	L4	비고
L					
AL-Value					
0.25mm GAP삽입시 L값					

3. 상호인덕턴스

교육 주제

1. 상호 Inductance의 개념
2. 결합도 및 트랜스 극성 검사방법
3. L값으로 트랜스의 권선수비를 계산

교육 내용

1. 1, 2차가 있는 임의의 트랜스를 만드는 데 1, 2차간의 권선수비를 3:1 정도 되게 한다. L1, L2, L+, L-를 측정하도록 한다. L+는 두 권선을 Start-Finish- Start-Finish 혹은 Finish-Start-Finish-Start로 연결하여 측정한 L값이다. L-는 두 권선을 Start-Finish-Finish-Start 혹은 Finish-Start-Start-Finish로 연결하여 측정한 L값이다.
2. 승인원이 있는 임의의 트랜스의 극성을 찾도록 한다.
3. 권선수비 n=N1/N2를 1, 2차 Inductance값으로도 개략적으로 알 수 있는 것을 교육한다.

이 론

- 상호 Inductance의 기호는 M이고 단위는 Inductance와 같이 Henry이다. 유도적으로 결합되어 있기 때문에 상호 Inductance M이 존재하고 자기 권선의 L값은 자기 인덕턴스 혹은 인덕턴스라고 한다.
- L+는 기준으로 잡은 권선의 L1값보다 높고, L-는 기준으로 잡은 권선의 L1값보다 낮다. 이 성질을 이용하여 권선의 Start, Finish를 찾을 수 있다.

  $L^{+}= L1+L2+2M$

  $L^{-}= L1+L2-2M$

  $M= (L^{+}-L^{-})/4$

  $k= M/(L1*L2)^{0.5}$ 여기에서 if k=1이면

  $L^{+}= L1+L2+2(L1*L2)^{0.5}$

  $L^{-}= L1+L2-2(L1/L2)^{0.5}$

  인데 결합계수가 1이 아니기 때문에 L+의 측정치는 계산치보다 적고, L-의 측정치는 계산치보다 높다.
- 권선수비 n은 n=N1/N2, n=(L1/L2)0.5인데 실제 권선수비와 약간의 오차는 결합계수가 1이 아니기 때문이다.

실험 및 결과

* EER4042(15) BASE에 1, 2차가 있는 임의의 트랜스를 제작하는 데 1, 2차간의 권선수비를 3:1정도 되게 한다. 즉, 1차 0.5mm, 45Ts이면 2차는 0.5mm, 15Ts한다. GAP이 없는 CORE와 CENTER GAP이 0.5mm인 CORE를 조립하여 L1, L2, L+, L-를 측정하고 결합계수 k=1일 때의 계산식에 의한 L+, L-를 계산하여 다음 표를 작성한다.

	측정치	계산식	계산값	비고
L1				
L2				
L^{+}		$L^{+}=L1+L2+2(L1*L2)^{0.5}$		
L^{-}		$L^{-}=L1+L2-2(L1/L2)^{0.5}$		

4. 투자율의 개념

교육 주제

투자율, 진공투자율, 비투자율, 실효투자율, 실효비투자율의 개념을 이해시킨다.

교육 내용

1. 삼화전자에서 생산하고 있는 CORE의 투자율을 조사하여 REPORT를 받는다. (T-314, L-81, PL-3, PL-5, GP-5, GP-9 등의 재질)
2. BASE에 권선을 하여 공심 상태의 L값을 측정하고 CORE를 삽입한 후 L값을 측정하여 본다. 비투자율의 비만큼 L값이 증가하는 것을 확인시킨다. 또, CENTER GAP 0.5mm, 1mm의 CORE를 삽입하여 L값을 측정한다. AIR GAP이 커질수록 L값이 떨어지는 것은 실효투자율이 감소하기 때문임을 주지시킨다.

이론

1. 자성부품에 사용하는 CORE는 투자율이 공기에 비해 높다. 일반적으로 CORE는 투자율이 높은 자성 재료를 사용한다. 투자율이 높은 CORE를 사용하면 동일 권선수에서 L값이 높아진다. 인덕션 계수 AL-Value는 투자율에 비례한다.
2. 투자율의 기호는 μ이고 단위는 [Henry/meter]이다.

   $\mu = \mu_o \times \mu_s$

   $\mu_e = \mu_o \times \mu$

   여기서,

   μ_o : 공기의 투자율 (4π x 10^{-7})

   μ_s : CORE 재질의 비투자율(공기일 경우는 1임)

   μ_e : CORE의 실효투자율

   μ_{es} : CORE의 실효비투자율

   실효투자율은 자성체의 재질, 형상, Air Gap에 의해 달라진다.
3. 투자율 $\mu = \mu_o \times \mu_s$[H/M], $\mu_e = \mu_o$ x μ_{es} 인데 여기서 μ_o 는 공기중의 투자율이고 μ_s는 CORE재질의 비투자율이다. CORE제조업체에서 발표하는 투자율은 비투자율이다. 이 비투자율은 CORE의 재질 및 형상에 의해 달라지기 때문에 CORE재질의 비투자율은 손실이 없는 TOROIDAL CORE를 이용하여 측정하고 비투자율을 발표한다. 따라서 CORE업체에서 발표하는 비투자율은 TOROIDAL CORE를 이용한 제품에는 그대로 적용할 수 있지만 다른 형상의 CORE를 사용하는 경우는 비투자율을 적용하여 인덕션 계수 등을 구할 수 없다. 따라서 형상 및 AIR GAP등에 의해 변화하는 실효투자율을 이용하여야 한다. μ_e가 실효투자율이고 μ_{es} 가 실효비투자율이다. 물론 CORE 제조업체에서 발표하는 실효투자율은 실효비투자율이다. 공기중의 투자율은 $4\pi \times 10^{-7}$로 정해져 있기 때문에 비투자율만 사용하고 있다. 비투자율은 공기에 비해

얼마 만큼 자속이 생기기 쉬운지를 나타내는 비례수이기 때문에 단위는 무명수이다. 투자율의 단위는 [Henry/Meter]이다.

4. 실효투자율을 이용한 인덕션 계수 계산식

$$AL = k = \frac{\mu e \times Ae}{le} = \frac{\mu o \times \mu es \times Ae}{le} = [nH / N2]$$

$$\mu es = \frac{AL \times le}{\mu o \times Ae} = \frac{AL \times le}{4 \times \pi \times 10 - 7 \times Ae} = AL \times \frac{le}{4 \times \pi \times 10 - 7 \times Ae}$$

$$= AL \times (CORE\_FORM)$$

인데, 트로이덜의 경우는

$$AL = k = \frac{\mu \times Ae}{le} = \frac{\mu o \times \mu s \times Ae}{le} = [nH / N2]$$

의 식을 사용하면 된다. 즉 트로이덜의 경우는 자속의 손실이 거의 없기 때문에 CORE 재질의 투자율을 그대로 사용하여도 된다. 여기서 Ae는 CORE의 실효단면적이고 le는 실효자장로인데 CORE 카다로그에 나와 있다. 만약 카다로그가 없을 경우에는 직접 자를 이용하여 측정하여도 개략적인 값을 알 수 있다.

5. AIR GAP 길이와 실효투자율의 관계

$$\mu es \cong \frac{le}{\lg}$$

인데, 여기서 lg는 AIR GAP의 길이이다. 이 계산식은 상당히 오차가 발생하는데 자장로에 대한 GAP 길이의 비율이 너무 적거나 클 때 오차가 많이 발생하는데 AIR GAP 설계가 미치는 영향을 검토한다.

실 험

1. 승인원이 있는 임의의 트랜스를 선정하여 AL-value값, 극성, 결합도 측정의 개념을 이용하여 트랜스의 Schemetic 및 Winding Specification을 작성한다.

1) 트랜스 Schemetic

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)

(18) (17) (16) (15) (14) (13) (12) (11) (10)

2) Winding Specification

No.	TEMINAL		측정 L값	추정 Ts	승인원 Ts	오차 Ts	비고
	S	F					
W1							
W2							
W3							
W4							
W5							
W6							
W7							
W8							
W9							

2. EER4042(15)BASE의 상측에 4mm, PIN측에 7mm의 BARRIER TAPE를 하고 0.5mm WIRE로 1 LAYER 권선한다. GAP이 없는 CORE, CENTER GAP 0.5mm인 CORE, CENTER GAP 1.0mm인 CORE를 준비한 후 공 BASE 상태의 L값(L0), AIR GAP 0.5mm 때의 L값(L0.5), 1mm 때의 L값(L1.0), 무 GAP 때의 값(Lno)를 측정하여 다음 표를 작성한다.

	계산식	L0	L0.5	L1.0	Lno
L					
AL-VALUE	$AL=L/N^2$				
실효비투자율	$\mu es = (AL \times le)/(\mu o \times Ae)$				
GAP길이를 이용한	$\mu es = le/\lg$				

5. 전기, 자기량의 단위

교육 주제

1. M.K.S 단위계의 개념
2. 배수로 사용하는 접두어의 종류에 대한 설명
3. 기호로 사용하는 그리스 문자에 대한 설명
4. 전기, 자기량의 단위 및 기호에 대한 설명

교육 내용

1. M.K.S 단위계에 대한 개념을 개략적으로 설명한다.
2. 배수로 사용하는 접두어의 종류에 대해 설명한다.
3. 그리스 문자의 종류와 읽는 방법에 대해 설명한다.
4. 전기, 자기량 단위 및 기호에 대해 설명한다.

이 론

1. M.K.S 단위계

자연현상의 과학적 연구는 양적인 취급, 즉 측정에 토대를 두고 있다. 정량적 측정에는 반드시 측정량과 동종의 기준량을 정하고 이것과 비교하여야 한다. 이 기준량을 단위(UNIT)라고 부른다. 물리적 양은 그 종류가 매우 많고 단위량도 많지만 상호간의 관계를 고찰하여 보면 세가지의 기본량 즉 길이(Length), 질량(Mass), 시간(Time)으로 구성되어있다. 이 세가지의 단위로 1[Cm], 1[g], 1[sec]를 취하는 것을 C.G.S 단위계라 하고 1[m], 1[Kg], 1[sec]를 취하는 것을 M.K.S 단위계라 한다.

2. 배수로 사용하는 접두어표

배수	기호	접두어	값
$1,000,000,000,000=10^{12}$	T	Tera(테라)	One trillion
$1,000,000,000=10^{9}$	G	Giga(기가)	One billion
$1,000,000=10^{6}$	M	Mega(메가)	One milion
$1,000=10^{3}$	k	Kilo(킬로)	One thousand
$100=10^{2}$	H	Hecto(헥토)	One hundred
$10=10^{1}$	da	Daca(데카)	Ten
$0.1=10^{-1}$	d	Deci(데시)	One-tenth
$0.01=10^{-2}$	c	Centi(센티)	One-hundredth
$0.001=10^{-3}$	m	Mili(밀리)	One-thousandth
$0.000\ 001=10^{-6}$	μ	Micro(마이크로)	One-milionth
$0.000\ 000\ 001=10^{-9}$	n	Nano(나노)	One-billionth
$0.000\ 000\ 000\ 001=10^{-12}$	p	Pico(피코)	One-trillionth

3. 전기, 자기량의 단위 및 기호

측정량	기호	단위	단위의 기호
Angular Velocity(각속도)	ω	Radians per second	s-1
Capacitance(용량)	C	Farad	F
Capacitive reactace(용량성 리액턴스)	Xc	ohm	Ω
Current density(전류밀도)	J	Amperes per unit area	A/m^2
Current(전류)	I	Ampere	A
Emf, voltage(기전력,전압)	E, V	Volt	V
Flux(자속)	φ	Maxwell	
Flux density(자속밀도)	B	Gauss. Maxwell per unit area	
Frequency(주파수)	f	Hertz	Hz
Impedance(교류저항, 임피던스)	Z	Ohm	
Inductance(인덕턴스)	L	Henry	H
Inductive Reactance(유도성 리액턴스)	X_L	Ohm	Ω
Magnetizing force(자화력, 자계)	H	Oersted	Oe
Permeality(투자율)	μ	Henry per meter	H/m
Power, real(전력, 유효전력)	P	Watt	W
Ratio(비)	n		
Resistance(저항)	R	Ohm	
Specific resistance(고유저항)	ρ	Ohm per unit length	Ω/m
Magnetomotive force(기자력)	mmf	Ampere-turn	

4. 많이 사용하는 그리스 문자

문자	이름	문자	이름
α	Alpha(알파)	μ	Mu(뮤)
β	Beta(베타)	π	Pi(파-이)
γ	Gammar(감마)	ρ	Rho(로-)
δ	Delta(델타)	σ	Sigma(시그마)
ε	Epsilon(입실론)	ϕ	Phi(파이)
λ	Lamuda(람다)	ω	Omega(오메가)

6. CORE의 PARAMETER

교육 주제

CORE의 PARAMETER(정수)의 개념

교육 내용

1. CORE업체의 카다로그를 참조, 하나의 CORE를 선정하여 (예:TOKIN FEER35L, 삼화 EER3541) Ae, le, Ve, Us, Ues, AL등의 값들을 찾아 보도록 하고 이들의 의미를 개략적으로 설명한다.
2. Ae, le의 개략적인 값을 직접 측정하여 보도록 한다.

이 론

* CORE의 PARAMETER

기본적인 CORE의 PARAMETER는 다음과 같다.

1) Ae : 실효단면적(EffectiveCross-sectional Area) [mm^2]

2) Le : 실효자장로(EffectiveMagnetic Path Length) [mm]

3) Ve : 실효 CORE 체적(EffectiveCore Volume) [mm^3]

$$Ve = Ae \times le$$

4) Acw : CORE의 창면적(Cross-Sectional Winding Area of Core) [mm2]

5) μ_s : 비투자율(Specific Permeability) -> 자성재질의 비투자율

6) μ_{es} : 실효비투자율(EffectiveSpecific Permeability) -> CORE의 비투자율

7) AL : CORE의 AL-Value

실험 및 결과

- TOKIN FEER35L, 삼화 EER3541의 CORE정수들을 다음표에 정리한다. (약간의 계산도 필요함)

정수 / CORE	Ae	le	Ve	Acw	μ_s	μ_{es}	AL	비고
FEER35L								
EER3541								

7. CORE의 PARAMETER를 이용한 AL

교육 주제

1. 비투자율(μ_s), 실효비투자율(μ_{es})등의 CORE PARAMETER를 이용한 AL값 계산의 개념.
2. μ_s (μ_{es})와 AL값의 환산 및 CORE재질의 추정

교육 내용

지금까지 투자율, 비투자율, 실효비투자율, AL값 등의 계산에 대해 설명하였는데 정확한 값은 CORE 제조업체의 CATALOGUE를 참조하여야 하며 지금까지의 내용은 개념을 이해시키는 것이 주목적이다.

이 론

1. TOROIDAL CORE의 AL값은 자성체재질의 비투자율(μ_s)로 구할 수 있다.
   (즉 어떤 CORE의 AL값을 알면 그 CORE 재질의 비투자율을 알 수 있다.)
2. TOROIDAL 외의 다른 형상의 CORE는 실효비투자율(μ_{es})를 알면 AL값을 계산할 수 있다. (즉 어떤 CORE의 AL값을 알면 그 CORE의 실효비투자율을 알 수 있고 CORE재질을 추정할 수 있다.)
3. CORE에 AIR GAP을 설계하면 실효비투자율은 이 AIR GAP의 길이(le/lg의 비)에 큰 영향을 받는다.
4. 2.에서 TOROIDAL외의 형상에 있어서 실효비투자율이 비투자율보다 적은 것은 양 CORE 이음새 부분에 적은 AIR GAP이 있고 폐자로를 이루지만 TOROIDAL CORE와 달리 자로상 자속의 손실이 발생하기 때문이다.
5. CORE에 AIR GAP을 설계하면 그 CORE의 실효비투자율은 자성체 재질의 비투자율보다는 AIR GAP길이에 의존한다.

실험 및 결과

1. 삼화제 SB-5S, OR 34.8*15-21H의 CORE PARAMETER를 CORE CATALOGUE 및 실측을 근거하여 다음표를 작성한다.

	SB-5S (Cat) μ_s	Ae(mm2)		Le(mm)		AL값(계산)(nH/N^2) AL=(μ_o*μ_s*Ae)/le
		Cat	실측	Cat	실측	
SB-5S, OR 34.8*15-21GH						

2. 삼화제 SB-5S, OR 34.8*15-21H에 CORE 전체에 걸쳐 균일하게 10Ts하여 측정한

L값과 실험1에서 계산한 AL값을 이용하여 다음표를 작성한다.

	측정치	계산치($L=AL*N^2$)
L		

3. 실험 1), 2)에서 TOROIDAL CORE의 경우 자성체의 재질을 모르는 경우라도 CORE에 직접 권선을 하여 대강의 재질특성(비투자율)을 알 수 있다.
4. 삼화제 PL-3 OR PL-5 CORE에 1 LAYER 되게 권선을 한 후 무 GAP CORE를 조립하여 삼화 CATALOGUE에 나와 있는 AL값을 이용한 계산 L값 및 실측정 L값을 다음표에 기입한다.

   AL값을 이용하여 실효비투자율을 계산하여 기입한다.

	측정 L값	L값(계산) $L=AL*N^2$	실효비투자율(계산) $\mu_{es}=AL*(le/4\pi*10^{-7}*Ae)$
EER3541 무 GAP 1 LAYER WINDING			

   PL-3, PL-5의 비투자율은 2,400인데 실효비투자율이 이 값보다 적은 것은 EE CORE 이음새 부분의 적은 AIR GAP 및 CORE 형상에 의한 자로상의 자속의 손실 때문에 생기는 것이고, 이 재질로 만든 TOROIDAL의 경우는 $\mu_s = \mu_{es}$ 이다.

5. TOKIN CORE CATALOGUE에 게재되어 있는 FEER35L의 AL 대 GAP LENGTH GRAPH에 의하면 CENTER GAP이 0.8mm일 때 AL값은 200nH/N^2이다. 이 그래프를 이용한 실효비투자율 및 AIR GAP길이와 실효비투자율의 관계식(μ_{es} le/lg)과 비교하여 본다.

	$\mu_{es}=AL*(le/4\pi*10^{-7}*Ae)$	μ_{es} le/lg
FEER35L		

   실험 5)에서 AIR GAP길이가 실효비투자율에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. AIR GAP의 자장로에 대한 비율이 너무 크거나 적으면 오차가 많이 발생한다. 이 공식을 TOROIDAL CORE에 적용하면 거의 정확하다. 또한, 자성체 재질이 다른 CORE의 경우 무 GAP 상태에서의 실효 비투자율은 자성체 재질의 투자율에 관계하지만 일단 GAP을 설계(GAP가공)하면 실효비투자율은 GAP길이에 의해 결정된다. 예를 들면 삼화제 SB-5S, EER3541과 PL-3, EER3541의 무GAP상태에서의 실효비투자율은 SB-5S가 높지만 0.5mm GAP을 낸 경우는 두 CORE의 실효 비투자율은 비슷해진다. 이는 CORE의 GAP길이가 실효비투자율을 지배하는 것을 의미한다.

8. 권선방법에 의한 실효비투자율

교육 주제

1. 권선방법에 따라 실효비투자율(AL값)이 달라지는 것에 대한 개념.
2. 비투자율(자성체재질), 실효비투자율(자성체재질, CORE형상, AIR GAP의 크기, 권선방법에 따라 변함)의 개념.

이 론

1. 제 7장에서 TOROIDAL에 권선을 하여 자성체재질의 비투자율을 계산하였는데 권선을 CORE전체에 걸쳐 권선을 한 경우와 어느 한 부분에 집중되게 권선을 할 때의 비투자율이 다른 것을 주지시킨다.
2. 실효비투자율이란 실질적인 비투자율의 의미이다. CORE재질의 비투자율이 정해져 있더라도 CORE의 형상, AIR GAP의 크기, 무GAP CORE이더라도 면의 연마 상태, 권선방법 등에 따라 실효비투자율은 달라진다. 따라서, CORE 제조업체에서는 TOROIDAL CORE이던지, 다른형상의 CORE이던지 권선 가능폭 전체에 걸쳐 권선하였을 경우의 값을 발표한다.
3. 실험1에서 TOROIDAL에 권선을 전자장로에 걸쳐 균등하게 하면 자속은 CORE내부에만 존재하여 자로상의 자속의 손실이 거의 없지만 어느 한 부분에 집중되게 감으면 자속의 손실(누설자속)이 발생하므로 실효비 투자율값은 비투자율값보다 낮아진다.

실험 및 결과

삼화제 SB-5S OR34.8*15-21H CORE전체에 걸쳐 균일하게 10Ts하고 절연 Tape를 1 Layer 한 후 그 위에 한곳에 집중되게 10Ts을 하여 다음표를 작성한다.

	균일 권선		집중 권선	
	L1	μ_s	L2	μ_{es}
SB-5S OR34.8*15-21H				

9. 1장~8장 종합 정리

교육 주제

투자율, 비투자율, 실효비투자율, AL치, CORE의 단면적, 자장로, 트랜스의 극성등에 대해 종합적으로 교육한다.

교육 내용

지금까지 투자율, 비투자율, 실효비투자율, AL치, CORE의 단면적, 자장로, 트랜스의 극성 등에 대해 실습을 하였는데 우리는 자성부품의 성능 검사를 대부분 L값으로 하기 때문에 이들에 대한 개략적인 개념을 알아야 한다.

이 론

1. 투자율(μ)
   공기중의 투자율(μ_o)×비투자율(μ_s)
   CORE 제조업체에서는 비투자율을 투자율이라는 이름으로 발표하고 있다.
   공기중의 투자율은 $4\times\pi\times10^{-7}$으로 정해져 있기 때문임.
2. 비투자율(μ_s)
   자성체 재질이 공기에 비해 몇배 자속이 생기기 쉬운가를 나타내는 비례수이며 비투자율이 높은 재질일수록 동일 조건에서 L값이 높아진다.
3. 실효비투자율(μ_{es})
   FERRITE CORE의 장점 중 하나가 여러가지 형상을 다른 자성체 재질에 비해 만들기 쉽다는 것이다. (EE,EI,EER,DRUM(BOBBIN),TOROIDAL,PQ,BAR 등) 비투자율이 같은 재질을 사용하더라도 형상에 따라 실효비투자율은 달라진다. 또한 AIR GAP을 설계하면 AIR GAP의 길이에 따라 달라진다. CORE업체에서 재질의 비투자율은 TOROIDAL CORE를 사용하여 발표하고(전 자장로 걸쳐 균일하게 권선함), 그 외 형상의 경우는 권선 가능폭에 균일하게 권선한 상태에서의 실효비투자율을 발표한다. 물론 트랜스 업체에서의 권선방법에 따라 이 실효비투자율은 변화한다. 실효비투자율이라는 것은 실질적인 비투자율을 의미한다.
4. AL값
   권선 1Ts당의 L값이며 실효비투자율(혹은 비투자율)값과는 다음과 같다.

$$AL=\frac{\mu_e\times A_e}{l_e}=\frac{\mu_0\times\mu_{es}\times A_e}{l_e}[nH/N^2]$$

$$\mu_e=\mu_0\times\mu_{es}=AL\times\frac{l_e}{A_e}[H/Meter]$$

$$\mu_0=4\times\pi\times10^{-7}[H/Meter]$$

5. CORE의 단면적 및 자장로

   CORE에 권선을 하여 전류를 흘리면 CORE내부에 자속이 발생한다.

   CORE의 단면적은 자속이 흐르는 면적이고 자장로는 자속이 흐르는 길이다.

6. 트랜스의 극성

   트랜스의 극성은 보통 점을 찍어 표시한다. 점을 찍는 방법은 점이 찍힌 단자로 유입하는 전류에 의해 생기는 자속의 방향이 같도록 한다. 스위칭 트랜스 중 현재 가장 많이 사용하고 있는 ON-OFF 방식의 트랜스에서는 트랜스 극성이 매우 중요하다. 극성을 찾아내는 방법(검사방법)은 한 권선의 L값을 기준하여 그 권선과 다른 권선간을 직렬로 연결한 후 L값을 측정하여 기준으로 삼은 권선의 L값과 비교하면서 찾아낸다.

10.전자기학 기본법칙

교육 주제

1. 전류의 방향과 자력선의 방향
2. 파라데이 법칙
3. 렌쯔의 법칙

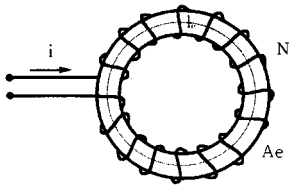
교육 내용

1. 도선에 전류가 흐르면 자장(자속, 자력선)이 발생한다. 전류와 자속의 방향은 오른나사의 법칙을 따른다. CORE를 사용하는 것은 적은 전류(자화력, 기자력:단위는 AT)로 많은 자속을 발생시키기 위해서이다.
2. 자속과 COIL이 쇄교(Link)하면 전압이 유기된다.
   $V = L \times (di/dt)$ (volt)
3. CORE를 사용한 인덕터 혹은 트랜스의 L값은 전류의 함수이다(전류에 따라 L값이 변화한다.) 전류를 많이 흘리면 L값이 떨어진다. 트랜스 승인원을 작성할 때 직류중첩특성을 표시하는 이유는 이것 때문이다.
4. 자속이 COIL과 쇄교하여 유기되는 전압의 극성은 자속의 변화에 반항하는 방향으로 생긴다. 유입하는 전류가 감소하면 극성은 반전된다.
5. 직류중첩특성 검사 지그에 대해 설명한다.
6. 실험완료 후 소감을 REPORT 받는다.

이 론

● Inductance의 정의

도선에 전류가 흐르면 그 주위에 자장이 생기는 것을 실험적으로 알 수 있다. 실험적으로 밝혀진 전류의 방향과 자력선의 방향은 우선회 나사의 법칙에 의해 쉽게 기억할 수 있다. 전류에 의해 생기는 자속φ(Weber)는 반드시 폐회로를 이루며 전류와 쇄교한다. 자속이 전류와 쇄교하는 수를 자속쇄교수라 하고 보통 λ로 표시하며 그 단위는 웨버-턴(Weber-Turn)이다. 그림 1-1과 같이 자속의 전부가 Coil(권선)과 쇄교하면 총자속쇄교수는 Coil의 권선수 N과 자속 φ와의 곱과 같다.



(그림 1-1) Inductor 의 자속

$$\lambda = N\varphi \quad \cdots\cdots (1-1)$$

파라데이 법칙(Faraday's Law)에 의하면 자속쇄교수가 변하면 그 시간적 변화율에 비례하는 기전력이 회로에 유도된다. 즉 (1-2)식이 된다.

$$V = \frac{d\lambda}{dt} \quad \cdots\cdots (1-2)$$

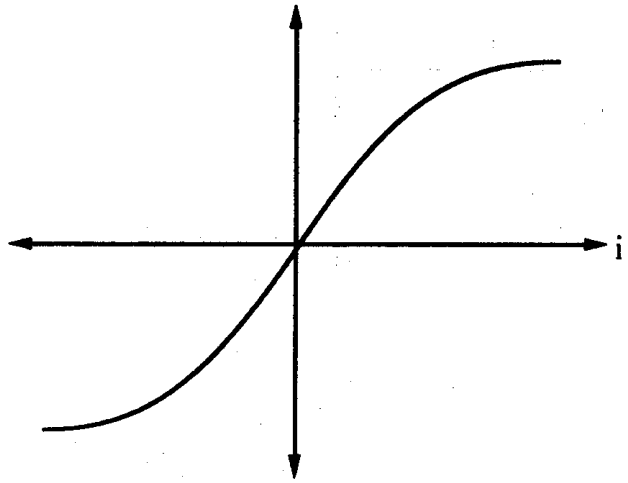
이 기전력을 유도기전력 또는 유도전압이라 한다. 자기회로의 전류와 이로 인하여 발생하는 자속쇄교수가 직선적으로 변화하는 범위에서는 (1-3)식과 같이 된다.

$$\lambda = Li \quad \cdots\cdots (1-3)$$

여기서 L은 그림 1-2의 직선부분의 기울기이다. 이 L을 자기인덕턴스 혹은 인덕턴스라고 한다. (1-3)식과 (1-1)식에서 L은

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N\phi}{i} \quad \cdots\cdots (1-4)$$

이고 단위는 헨리(Henry)이다. L은 단위전류당 자속쇄교수이다.



(그림 1-2) 전류에 의한 자속쇄교수의 변화

(1-4) 식에 의하면 1 Henry는 1 Ampere의 전류에 의해 생기는 자속쇄교수가 1 Weber-Turn일 때의 인덕턴스이다. (1-3)식을 (1-2)식에 대입하면

$$V = L\frac{di}{dt}(Volt) \quad \cdots\cdots (1-5)$$

가 된다. 이것이 자속쇄교수가 전류에 비례하는 회로소자에서의 단자전압과 전류의 관계식이며 전압이 전류의 시간적 변화율에 비례함을 알 수 있다. 이 비례계수가 인덕턴스이다. 1 Henry는 매초 1 Ampere의 율로 전류가 변화할때의 유기전압이 1 Volt가 되는 경우의 인덕턴스이다. 이것이 구체적인 인덕턴스이다. 인덕터내에 자속이 변화하면 인덕터 양단자간에 전압이 생기는데 이것은 인덕터에 흐르고 있는 전류가 인덕터내의 자속수를 변화시키기므로 발생하는 것이다. 즉 자기가 만드는 자속에 의해 자기자신에 전압을 발생시키는 현상을 자기유도(Self Induction)라고 한다. 전기

적 성질이 주로 인덕턴스인 구체적 실물을 유도기(Inductor)라고 하며 속칭 Coil이라 한다.

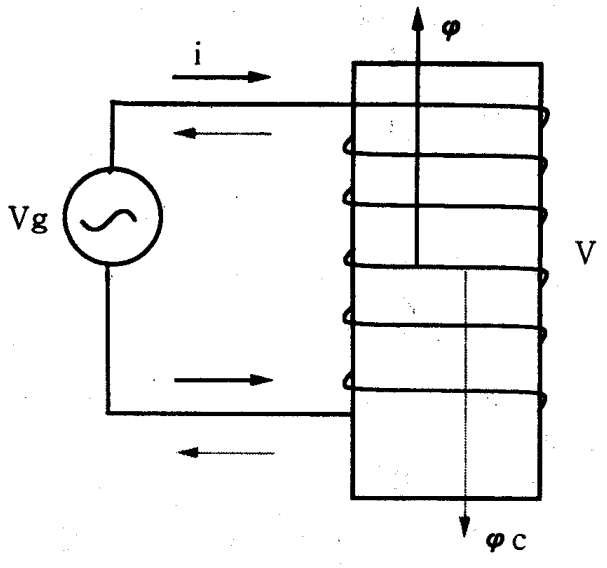
공심인덕터와 같이 자속이 전류에 비례하는 경우 인덕턴스는 전류와 무관한 상수이나 자속의 통로에 자성체가 있는 경우는 자속은 전류에 비례하지 않기 때문에(특히 자기포화가 일어나는 부분) 유기전압 V는

$$V = \frac{d\lambda}{dt} = N\frac{d\phi}{dt} = N\frac{d\phi}{dt} \bullet \frac{dt}{di} = L\frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots (1\text{-}6)$$

이 되고 L은

$$L = N\frac{d\phi}{di} \quad \cdots\cdots (1\text{-}7)$$

가 되어 인덕턴스는 전류의 함수가 된다. Trans 승인원상에 직류중첩 특성을 표시하는 것은 인덕턴스가 전류의 함수이기 때문이다. 인덕터에 유도되는 유도전압의 극성은 렌쯔의 법칙(Lenz's Law)에 따른다. 즉 유기전압은 자속의 변화에 반항하는 방향으로 생긴다. 그림 1-3과 같이 공심인덕터에 전류 i가 흐르면 전류에 의한 자속은 우선회 나사의 법칙에 의해 상방향으로 생긴다. 전류가 증가하면 di/dt>0 이 되어 자속은 상방향으로 증가한다. 따라서 유기전압은 자속의 증가에 반항하는 자속 φ_C 를 생기게 하여 전류를 흘리는 방향으로 생긴다. 이러한 전류를 흘리기 위해서는 인덕터의 상측이 정, 하측이 부가되는 극성의 전압이 필요하다. (이때는 전원에서 인덕터로 에너지가 공급된다.)



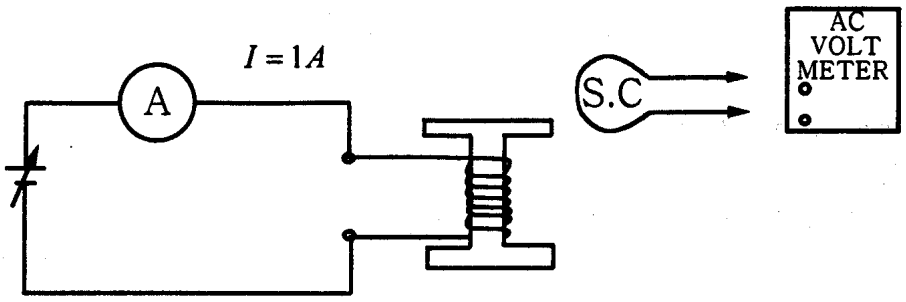
(그림 1-3) 유기전압의 극성

만약 전류 i가 감소하면 di/dt<0 이 되어 자속이 감소한다. 따라서 유기전압은 자속의 감소를 막기 위한 전류를 흘리는 방향으로 생긴다. 이러한 전류를 흘리기 위해서는

인덕터의 상측이 -, 하측이 +이 되는 극성이 필요하다. (이때는 인덕터에서 전원으로 에너지가 전달된다)

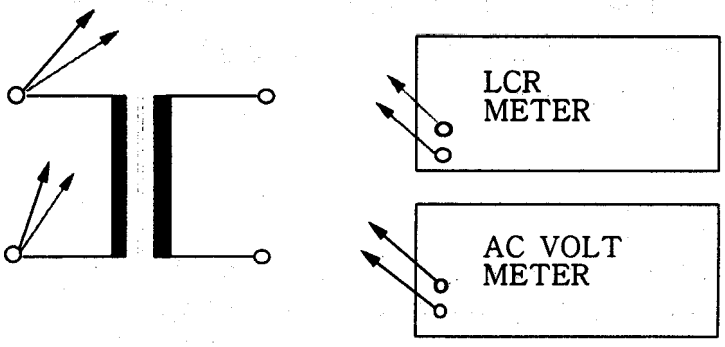
실험 및 결과

1. L-81 OWA 12*15에 0.5mm 80Ts 하여 그림1과 같이 연결하여 AC VOLTMETER로 공기중에 존재하는 자속에 의해 SEARCHER COIL에 유기되는 전압을 측정하여 본다. DRUM CORE는 TOROIDAL과 달리 개회로를 이루고 있기 때문에 주위 공기에 많은 자속이 존재한다. 이러한 자속을 누설자속이라 한다. SEARCHER COIL은 가능한 투자율이 높은 TOROIDAL CORE에 가능한 많은 Ts로 한다.



(그림 1)

2. 임의의 TRANS의 L값을 측정하면서 AC VOLTMETER로 권선에 유기되는 전압을 측정하여 본다. L값 측정의 원리는 권선 양단에 일정 주파수 일정 전류를 흘려 권선 양단에 유기되는 전압을 측정하여 L값으로 환산하여 표시하는 것이다.

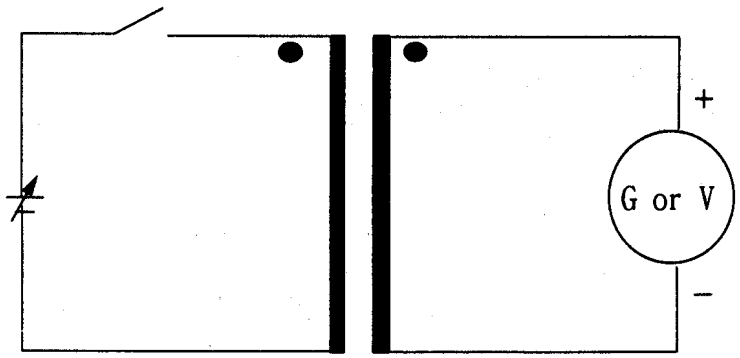


(그림 2)

3. 실험1의 INDUCTOR를 이용하여 직류중첩특성을 측정하여 다음 표를 작성한다.

전류 / L값	0A	0.1A	0.5A	1.0A	1.5A	2.0A	2.5A	3.0A	3.5A	4.0A
L										

자속의 변화에 반항하는 방향으로 전압이 유기되는 것을 그림3과 같이 실험하여 본다. SWITCH를 ON-OFF하여 보면 전압의 극성이 반전하는 것을 알 수 있다.



* V : VOLT-METER * G : GALVANO-METER

(그림 3)

11.전압, 전류, Impedance 변성

교육 주제

1. TRANSFORMER의 세가지 성질
2. 이상변압기
3. 상호 INDUCTANC의 개념을 습득

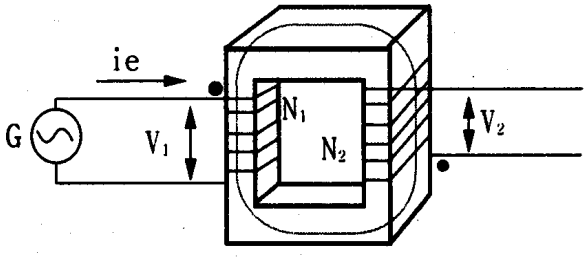
교육 내용

1. TRANSFORMER의 성질 세가지 즉, 전압, 전류, IMPEDANCE변성에 대해 설명한다.
2. 이상변압기에 대해 설명하고, 이상변압기일 경우 1차가 개방(OPEN)이면 2차가 개방이며 1차가 단락(SHORT)이면 2차가 단락인 것을 주지시키고 누설 INDUCTANCE는 트랜스가 이상변압기가 아니기 때문에 즉 결합계수가 1 아니기 때문에 생기는 INDUCTANCE라는 개념을 설명한다.
3. 상호 INDUCTANCE에 대해 설명하고 3장에서 공부한 L+, L-에 대해 다시 한번 상기 시킨다.
4. 누설 INDUCTANCE의 측정 방법에 대해 간략하게 설명한다.
5. 실험완료 후 소감을 REPORT받는다.

이 론

1. Transformer의 성질

   그림 1-4에 간단한 Transformer를 나타내었다. 1차권선과 2차권선은 자심의 다리에 각각 분리하여 감겨져 있고 1차권선에 교류신호원이 접속되어 있으며 1차권선을 통하여 여자전류(ExcitingCurrent) i_e가 흘러 자심내부에 교번하는 자속이 형성된다. 이 자속은 2차 권선과도 쇄교하여 2차권선전압 V_2가 유기된다. 여자전류 i_e는 무부하시 1차권선에 흐르는 전류로서 일반적으로 매우 적기 때문에 여기서는 편의상 무시하였다 일반적인 Transformer의 성질은 다음과 같다.



(그림 1-4)

1) 전압변성(Voltage Transformation)

1, 2차권선수(N1, N2)와 1, 2차권선전압(V1과 V2)과는 다음과 같은 중요한 관계식이 성립한다.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \cdots\cdots (1\text{-}8)$$

이 된다. 이것은 1, 2차간의 전압의 비는 1, 2차간의 권선수의 비와 같다는 것을 의미한다. (1-8)식을 변형하면

$$\frac{N_1}{v_1} = \frac{N_2}{v_2} \quad \cdots\cdots (1\text{-}9)$$

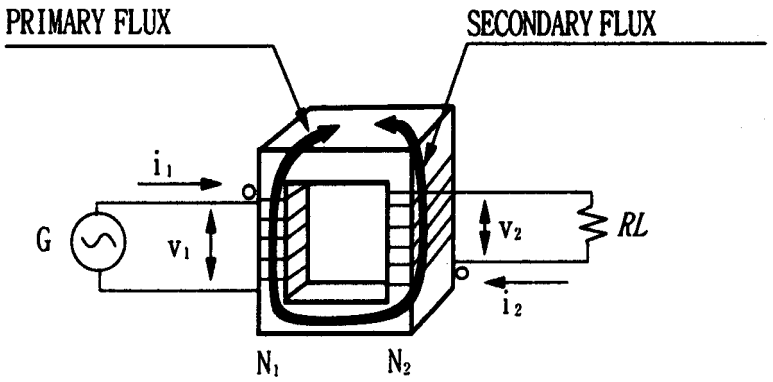
$$v_s = \frac{N_1}{N_2} v_1 \quad \cdots\cdots (1\text{-}10)$$

이 된다. 위의 식에 의하면 1차권선의 단위전압당 권선수비와 2차권선의 단위전압당 권선수비는 동일하다. 만약 이 비를 알고 있다면 주어진 전압에 요구되는 권선수를 쉽게 구할 수 있다.

예를 들어 N/V가 8이고 1차전압이 100V, 2차 전압이 25V라면 1차 권선수는 100V*8(Ts/V)=800Ts가 되고 2차권선수는 25V*8(Ts/V)=200Ts가 된다.

2) 전류변성(Current Transformation)

그림 1-5와 같이 2차권선에 부하를 연결하면 2차권선에 전류 i_2가 흐르고 이 전류에 의해 자심내부에는 반대방향의 자속이 발생한다.



(그림 1-5)

이 자속은 자심내부의 자속밀도를 감소시키므로 초기 여자전류에 의해 발생한 자속을 유지하기 위하여 1차권선전류가 증가한다. 이렇게 하여 상호작용하는 힘은 부하변동에 따라 언제나 평형을 이룬다. 즉, 2차전류를 많이 흘리면 그것에 비례하여 1차전류가 많이 흐르고 적게 흘리면 1차전류가 적게 흘러 자심내부의 자속

은 계속 초기치를 유지한다. 1차권선 부하전류와 2차권선 부하전류와의 사이에는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \cdots\cdots (1\text{-}11)$$

(1-11)식은 2차권선 부하전류 대 1차권선 부하전류의 비가 권선수비와 동일하다는 의미이다. 다시 한번 설명하면 i_1과 i_2는 오직 부하와 권선수비에 의해 결정된다는 것이다. 물론 여기에는 1차측 여자전류는 무시하였다.

자심내부의 자속을 초기치로 유지하기 위하여 2차전류에 의해 발생한 기자력만큼 1차 전류에 의해서도 발생시켜 주어야 한다. 따라서,

$$i_1 N_1 = i_2 N_2 \quad \cdots\cdots (1\text{-}12)$$

이 되어야 한다.

여기서 i_1N_1, i_2N_2를 1, 2차권선의 기자력(Magnetomotive Force)이라 하고 단위는 AT(Ampere-Turns)이 쓰인다. (1-12)식을 등암페어턴 법칙이라 한다.

예를 들어 2차전압이 25V, 부하가 10 Ω 이면 ohm의 법칙에 따라 2차전류는 2.5A가 흐르고 이때 1차 전류 i_1은 $i_1=i_2N_2/N_1$에서 2.5x200/800=0.625A가 된다.

2차권선이 둘 이상 있는 경우에도 등암페어턴 법칙은 성립한다.

즉, 2차권선이 n개 있으면

$$i_1 N_1 = i_2 N_2 + i_3 N_3 + \ldots\ldots\ldots + \mathrm{i}_n N_n \quad \cdots\cdots (1\text{-}13)$$

이 된다. (1-8)식과 (1-11)식에서

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{i_2}{i_1} \quad \cdots\cdots (1\text{-}14)$$

가 되고 (1-14)식에서

$$v_1 i_1 = v_2 i_2 \quad \cdots\cdots (1\text{-}15)$$

가 된다. (1-15)식은 1차권선의 볼트-암페어(Volt-Ampere)는 2차권선의 볼트-암페어와 동일하다는 것을 의미한다. 여기서는 손실 등을 고려하지 않았는데 손실은 1차에 가해지기 때문에 실질적으로 1차전력은 2차전력보다 높다.

3) Impedance변성(Impedance Transformation)

(1-8)식과 (1-11)식을 곱하면

$$\frac{v_1 i_2}{v_2 i_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad \cdots\cdots (1\text{-}16)$$

이 되어 이것을 변형하면

$$\frac{v_1}{i_1} \times \frac{i_2}{v_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad \cdots\cdots (1\text{-}17)$$
$$\frac{v_1}{i_1} \div \frac{v_2}{i_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

이 된다. ohm법칙에 의해 v_2/i_2는 2차권선 부하저항 RL이고 v_1/i_1은 부하와 Transformer를 포함하여 1차측에서 본 등가부하이므로 부하가 Transformer결합으로 1차측에 반사되는 저항으로 볼 수 있다. 이 저항을 RL라 하면 (1-17)식은

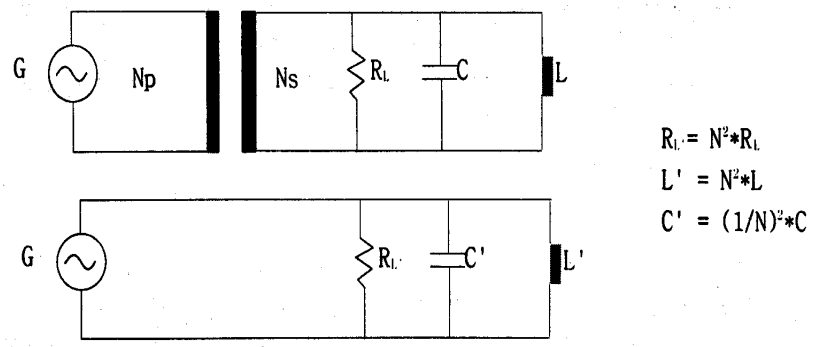
$$\frac{R_{L'}}{R_L} = (\frac{N_1}{N_2})^2 \quad \cdots\cdots (1-18)$$

이고 RL에 대해 풀면

$$R_{L'} = R_L (\frac{N_1}{N_2})^2 \quad \cdots\cdots (1-19)$$

가 된다. 여기서, $R_{L'}$: 1차측에서 본 등가부하저항

R_L : 2차측 실질부하저항



(그림 1-6) 1차측에서 본 등가 Impedance

식(1-19)의 결론은 그림 1-6과 같이 이차권선 단자에 임의의 Impedance Z_L을 접속한 경우도 동일하게 성립한다.

2. 이상변성기(Ideal Transformer)

1절에서 설명한 Transformer의 성질은 Transformer를 이상변성기로 간주한 것이다. 변성기의 성질 세가지 즉 전압, 전류, Impedance변성은 매우 중요하므로 조금 더 기술한다. 변성기의 동작특성은 등가회로(Eqivalent Circuit)를 이용하여 해석하면 이해가 쉽다. 등가회로를 이용할 때 변성기의 1, 2차 권선의 파라메터(Parameter) 및 전원측, 부하측의 회로상수를 환산하기 위하여 이상변성기를 이용한다. 이상변성기는 손실이 전혀 없고 변성작용만 하는 변성기로서 다음과 같은 성질이 있다.

(1) 권선저항이 없다(0이다)
(2) 철손이 0이다.
(3) 결합계수가 1이다. 즉 전자속이 두 권선을 완전히 쇄교한다.
(4) 자심의 투자률이 무한대이다. 즉 자속을 만드는데 필요한 자화력이 불필요하므로 여자전류가 0이다.
(5) 권선의 분포용량이 0이다.

(1)과(3)의 성질에서 권선저항이 영이고 전자속이 일, 이차권선과 완전히 쇄교하므로

1, 2차권선의 자속쇄교수 λ_1, λ_2는

$$\lambda_1 = N_1\phi \quad \cdots\cdots (1-20)$$
$$\lambda_2 = N_2\phi$$

이 되고 (1-20)식을 (1-2)식에 대입하면

$$v_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad \cdots\cdots (1-21)$$
$$v_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

이 되어

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \cdots\cdots (1-22)$$

이 된다. (1-22)식은 (1-8)식과 동일하다.

이상변성기의 (2), (4)에서 자속을 생성하는데 필요한 자화력(기자력)은 0이다.

Transformer의 자화력은 1, 2차 암페어-턴을 합성한 것이기 때문에 1차 전류와 2차 전류의 +의 방향을 자심에 대해 동일방향으로 취하면

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = 0 \cdots\cdots (1-23)$$

이 되고 (1-23)식을 변형하면

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad \cdots\cdots (1-24)$$

이 되어 4절의 (1-11)식과 동일하다. (1-24)식의 우변에 있는 부호(-)는 전류가 반대 방향의 기자력을 생성하는 것을 의미한다. (DOT가 찍힌 단자로 류입하는 전류를 +로 가정하였는데 2차측 권선전류는 DOT가 찍힌 단자에서 유출하는 것을 의미한다.)

3. 상호인덕턴스(Mutual Inductance)와 결합계수(Coefficient of Coupling)

지금까지 변성기는 가상적인 이상변성기로 가정하였다. 변성기는 전자 유도작용을 응용하여 전압, 전류 또는 임피던스(Impedance)를 변환하는 장치이다. 일반적으로 한쪽 회로(권선)의 전류에 의해서 생긴 자속이 다른회로(권선)와 쇄교할 때 이 두회로(권선)는 유도적으로 결합되어 있다고 한다. 이와 같은 유도결합회로를 해석하는데는 Inductance의 정의에서 설명한 자기인덕턴스 L만으로는 불가능하여 또 하나의 회로정수가 필요하게 된다. 1차 권선에 전류 i_1을 흘리면 그 주위에 자장이 생기고 이 자력선의 일부는 2차 권선과 쇄교한다. 따라서 Faraday의 법칙에 의해 2차 권선 양단에는 자속쇄교수의 시간적 변화율에 비례하는 전압이 유기되는데 이것을 상호유도작용이라 한다.

이러한 유도결합회로를 해석하기 위하여 또 하나의 회로정수인 상호 인덕턴스(Mutual Inductance) M을 도입하여야 한다. 두개의 권선과 쇄교하는 자속에 관계되는 인덕턴스를 상호인덕턴스 M이라 하고 자속의 발생원으로 있는 권선만 쇄교하는 자속

에 관계하는 것을 누설인덕턴스(Ll)라고 한다. 1차 권선전류의 단위전류당 생기는 2차 권선의 자속쇄교수 M_{12}와 2차 권선전류의 단위전류당 생기는 1차권선의 자속쇄교수 M_{21}은 자성체 투자율이 일정할때는 동일한 값을 갖고 두 권선의 권선수, 권선간의 거리, 권선축의 상대적 위치 및 자성체의 투자율에 의해서 결정된다. 즉,

$$M_{12} = M_{21} = M \quad \cdots\cdots (1\text{-}25)$$

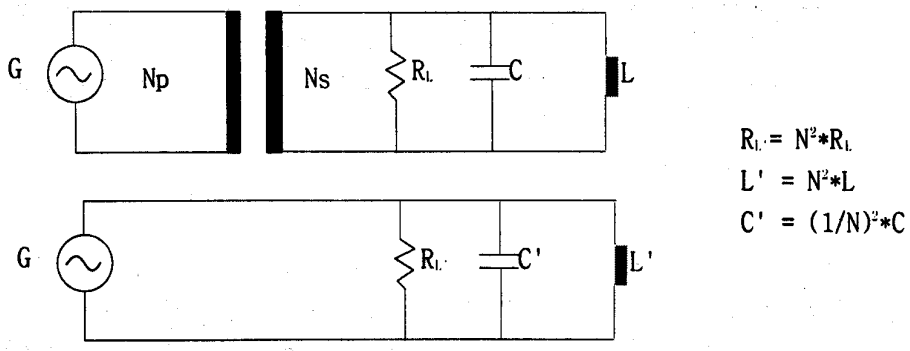
이 된다. 투자율이 일정하지 않을 때 특히 자기포화가 일어나는 부분에서는 상호 인덕턴스는 전류의 함수가 된다. 권선의 자기적 결합도를 결합계수(Coefficient of Coupling)라 하고 결합계수 k는 다음과 같이 정의한다.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad \cdots\cdots (1\text{-}26)$$

자속이 두개의 권선과 완전히 쇄교하여 누설자속이 없을 때 결합계수는 최대치 1이 된다. 상호유도전압의 방향은 상대적 권선방향과 관계가 있으므로 권선방향이 지정되어야 한다. 이것은 보통 점(Dot)을 찍어 표시한다. 이 점을 찍는 방법은 점이 찍힌 단자로 유입하는 각 권선전류에 의해 생기는 자속이 같은 방향이 되도록 한다.

점으로 표시하는 권선의 극성표시로부터 상호유도전압의 방향은 Lentz의 법칙으로 증명할 수 있다.

결론적으로 설명하면 변성기에서 한쪽권선의 점이 찍힌 단자로 유입하는 전류가 증가하면 다른 권선에는 상호유도에 의하여 점이 안찍힌 단자에서 찍힌 단자쪽으로 전압상승이 일어난다. 물론 유입하는 전류가 감소하면 Lentz의 법칙에 의해 유도전압의 극성은 반전된다.



(그림 1-6) 1차측에서 본 등가 Impedance

변성기 승인원상의 Dot표시는 매우 중요하다. 특히 ON-OFF방식의 스위칭전원의 Trans일 경우 Dot표시가 잘못되면 상당한 문제를 유발한다. 두 권선의 상호인덕턴스와 결합계수는 다음과 같은 방법으로 계산한다. 그림 1-7에서 두 권선은 각각 자기인덕턴스 L1, L2를 갖고 또 상호 인덕턴스 M을 갖는다.

먼저 그림(b)와 같이 접속하여 전류i의 정방향으로 생기는 전압강하를 V_1, V_2라 하면 이 회로의 전압방정식은

$$v_1 = L_1 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt}$$

$$v_2 = L_2 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots (1\text{-}27)$$

$$v_{ab} = v_1 + v_2$$

이 되고 상호인덕턴스 M의 부호는 점이 찍힌 단자로 전류가 모두 유입하면 正이 되고 어느 한쪽이 그 반대이면 부가 된다. 따라서 V_{ab}는

$$v_{ab} = v_1 + v_2 = (L_1 + L_2 + 2M)\frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots (1\text{-}28)$$

가 된다.

a-b에서 관측되는 등가인덕턴스를 L^-라 하면 L^-는 (1-28)식에서

$$L^- = L_1 + L_2 - 2M \quad \cdots\cdots (1\text{-}29)$$

이 된다. 그림(c)와 같이 접속하면 전압방정식은

$$v_1 = L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}$$

$$v_2 = L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots (1\text{-}30)$$

$$v_{ab} = (L_1 + L_2 + 2M)\frac{di}{dt}$$

이므로 a-b, 에서 관측되는 등가인덕턴스를 L+라 하면 (1-30)식에서

$$L^+ = L_1 + L_2 + 2M \quad \cdots\cdots (1\text{-}31)$$

이 된다. (1-29)와 (1-31)에서

$$M = \frac{L^+ - L^-}{4} \quad \cdots\cdots (1\text{-}32)$$

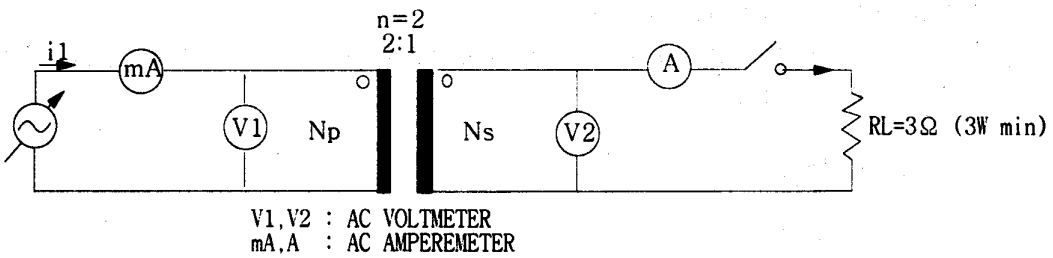
가 된다. (1-32), (1-26)식에서 상호인덕턴스 M과 결합계수 k를 구할 수 있다. 이러한 측정방법으로 M, k뿐만 아니라 권선의 극성도 동시에 알 수 있다. 가변 인덕턴스를 얻을 수 있는 가변유도기(Varimeter)의 원리는 (1-29), (1-31)식으로 설명할 수 있다.

가변유도기의 한 형식은 면이 수직으로 놓인 두 원형권선으로 되어 있는데 외측권선은 고정되어 있고 내측권선은 수직축 주위를 회전할 수 있게 되어 있다.

두 권선은 직렬로 접속되어 있어서 내측권선의 회전에 따라서 두 권선간의 상호인덕턴스 M이 변화하여 (1-29)식의 최소치에서 (1-31)의 최대치까지 변화시킬 수 있다. 자기 인덕턴스 L_1, L_2는 각각의 권선수 자승에 비례하고 상호인덕턴스 M은 두 권선의 곱인 $N_1 \times N_2$에 비례한다.

실험 및 결과

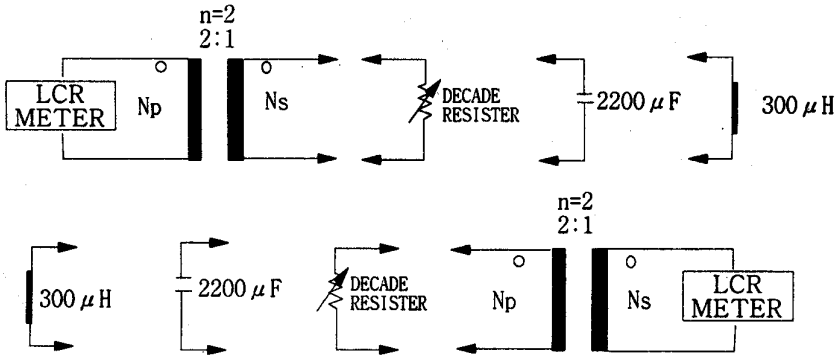
1. PL-3또는 PL-5 EER4215에 1차 권선 Np를 0.3Φ, 300 Ts하고 절연한 후 2차 권선 Ns를 0.5Φ, 150 Ts하여 무 GAP CORE를 조립하여 아래 그림과 같이 접속하여 실험한 후 다음표를 작성한다.



조건	Ie	I1	V1	I2	V2
SW OPEN					
SW ON					

- SW OPEN시 1차 권선에 흐르는 전류를 여자전류(Ie)라 하고 무부하 전류라고 한다.
- 위 실험에서 전류, 전압변성의 성질을 이해할 수 있다.

2. 실험 1에서 제작한 트랜스를 이용하여 아래 그림과 같이 1, 2차에 DECADE 저항, 커패시터, 인덕터를 상호 연결하면서 LCR METER로 L, C, R을 측정하여 다음표를 작성한다.



1차측 환산				2차측 환산			
	L	C	R		L	C	R
1차측 부품값				1차측 부품값			
2차측 부품값				2차측 부품값			
계산값	$N^2 \times R$	C/N^2	N^2/L	계산값	$N^2 \times R$	C/N^2	N^2/L

3. 한 트랜스는 Np=0.3Φ & 100 Ts, Ns=0.3Φ & 100 Ts을 BIFILAR 권선을 하고 또 한 트랜스는 Np 권선을 한 후 Ns권선을 한다. 두 트랜스의 누설 인덕턴스를 측정하여 다음표를 작성한다.

권선 방법	2차 Short 1차 L값(Le)	Le/Lp(%)
Bifilar		
1차 후 2차 권선		

12. 안전규격에 관하여

1] 안전규격과 IEC950

IEC(INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISION)이 정하고 있는 安全規格은

- IEC380 (SAFETY OF ELECTRICALLY ENERGIZED OFFICE MACHINE)
- IEC435 (SAFETY OF DATA PROCESSING EQUIPMENT)
- IEC950 (SAFETY OF INFORMATION TECHNOLOGY EQUIPMENT, INCLUDING ELECTRICAL BUSSINESS EQUIPMENT)

의 세개로 나뉘어져 있었는데 1990년부터 1991년에 걸쳐 IEC950에 통일되어졌다.
한편, 일본에서도 전기용품의 기술기준에 국제규격을 채용하기 위하여 IEC950을 인정하는 방침을 내고 있다. 따라서, 이 IEC950은 전원이 국제사양에 국한되지 않고 일본향 제품사양에도 필요한 규격이 되고 있다고 할 수 있다.
IEC950은 정보기기, 사무기기를 조작하는 사람 및 이러한 기기를 접하는 사람, 기기를 유지보수하는 사람의 안전을 확보하기 위하여 정해진 규격이다. 규격은 감전과 화재에 대해 인체를 보호하기 위하여 기기를 설계하고 제조할 때 지켜야 하는 기술기준과 검사방법, 판정기준을 정하고 있다.
구체적인 내용은 용어의 정의에서 시작하여 상당히 많은 양이므로 여기서는 TRANS에 필요한 내용을 기술한다.

2] 공간거리와 연면거리

공간거리는 IEC950의 APEND 2(수정 2)원본의 TABLE 3와 TABLE 3A 및 TABLE 4에 게재되어있다. TABLE3는 1차회로 및 1차-2차간의 공간거리를, TABLE 4는 2차회로의 공간거리를 각각 규정하고 있다. TABLE 3A는 APEND 2에 의해 새롭게 설정된 것으로 1차회로에 대한 공간거리를 반복 PEAK전압의 크기에 따라 차이를 준다는 사고에 근거하고 있다.
구체적인 예로서 AC150-300V계에서 1차회로의 반복PEAK전압이 600V정도 되는 부분(SWITCHING TRANSISTOR의 COLLECTOR와 다른 전극사이등)은 종래 OPERATIONAL INSULATION(후술 용어의 설명 참조)을 만족하기 위하여 3.0mm의 공간거리를 필요로 하였는데 APEND 2에서는 TABLE 3에서의 기본적인 값인 1.7mm와 TABLE 4A에 설정된 반복PEAK전압 600V에 따른 0.3mm를 합하여 2.0mm로 가능하게 되었다.
TRANS의 1차 MAIN권선과 1차 보조권선(SUPPLY 및 FEEDBACK권선 등)의 PIN 위치를 결정하는 경우도 종래보다 좁은 간격으로 가능하므로 BASE의 크기도 적어질 수 있다고 할 수 있다.

연면거리는 IEC950원문의 TABLE 5에 게재되어 있다. TRANS를 이용한 연면거리는 POLLUTION DEGREE 1(후술 용어의 해설 참조)의 값을 적용할 수 있으므로 대부분의 경우 TABLE 3의 공간 거리와 일치한다. 단 위에 기술한 1차회로에 대한 공간거리가 아니고 1차-2차간의 공간거리를 구하기 때문에 TABLE3의 INSULATING WORKING VOLTAGE의 해석에 대해서는 IEC950 CLAUSE 2.2.7을 참조하여야 한다. TABLE 3, 3A, 4, 5 및 CLAUSE 2.2.7은 기술하지 않지만 이것을 참조할 경우에는 다음에 기술하는 용어의 의미를 참고하십시오. (TABLE 3, 3A, 4, 5의 아라비아 숫자는 그리스 문자임.)

● CLEARANCE : 공간거리
두개의 도체간을 공간을 통하여 잇는[측정한] 최단거리 (그림 6-1)

● BASIC INSULATION : 기초절연
감전에 대해 기초적인 보호를 하기 위하여 행해진 절연.

● SUPPLEMENTARY INSULATION : 보조절연
기초절연이 효과가 없게 되었을 때 감전에 대한 보호를 확보하기 위하여 기초절연과는 별도로 강구되어져 있는 독립된 절연

● OPERATIONAL INSULATION : 동작절연
장치가 정상동작하기 위하여 필요한 절연

● DOUBLE INSULATION : 2중절연
기초절연과 보조절연 양쪽이 되는 절연.

● REINFORCED INSULATION : 강화절연
감전에 대해 2중절연과 같은 LEVEL의 보호를 행하는 단일의 절연(TRANS의 1차 권선과 2차 권선간의 절연)

● POLLUTION DEGREE 1 :
먼지 및 습기가 침투하지 않도록 SEAL(밀봉)되어진 부품 및 ASSEMBLY(조립품)에 적용 된다. (일반의 TRANS는 이 POLLUTION DEGREE 1의 적용이 가능)

● POLLUTION DEGREE 2 :
IEC950이 COVER하는 정보기기, 사무기기에 적용된다.

● POLLUTION DEGREE 3 :
장치의 내부에서 도전성 오염이던 비도전성 오염이던 결로에 의해 도전성이 바뀌는 오염이 되기 쉬운 환경에 놓여진 부분에 적용한다.

● WORKING VOLTAGE :
장치가 정격전압에서 정상동작될 때 절연체에 인가되는 최대전압.
(정격전압은 제조회사가 정하는 치)

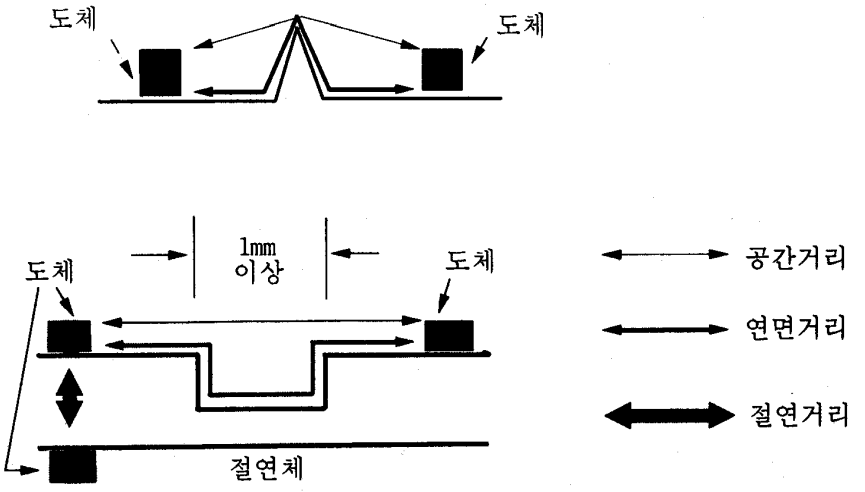
● CLEEPAGE DISTANCE :
두개의 도체간을 절연체 표면을 따라 잇는[측정한] 최단거리. (그림 6-1)

3] 절연거리

판상의 절연체, 또는 TRANS의 절연 TAPE와 같이 SHEET의 절연체에 대해서는 원문의 CLAUSE 2.9.4가 적용된다. 그 내용 중 절연 TAPE의 규격과 감는 횟수를 정하고 있는 내용은 다음과 같다.

1) 강화절연은 1층(1LAYER)당의 내압이 강화절연용 내압시험(4절 내압시험 참조)에 합격한 재질의 것은 2층(2LAYER)으로 되어 있을 것(강화 절연용 내압시험에 합격된 TAPE를 사용할 경우 TRANS의 차간은 2LAYER로 할 것)

2) 강화절연은 2층(2LAYER)의 내압이 강화절연용 내압시험(4절 내압시험 참조)에 합격한 재질의 것은 3층(3LAYER)으로 되어 있을 것. 쉽게 풀이하면 TAPE를 2회 감던지 3회 감는 것인데 이것은 TAPE 1매당 내압에 의해 결정된다는 것이다.



(그림 6-1) 공간거리, 연면거리 및 절연거리

4] 내압시험

TAPE등 절연재의 내압시험의 전압은 IEC950 원문의 TABLE 18의 PART 1과 PART 2에 게재되어있다. TABLE 18에서는 내압시험의 전압이 WORKING VOLTAGE에 의해 구별되어 있다.

WORKING VOLTAGE가 130V에서 250V사이는 REINFORCED INSULATION(강화절연)의 경우 내압시험 전압은 3,000V 공통으로 되어 있다. WORKING VOLTAGE가 130V 이하에서는 2,000V로 되어 있다.

WORKING VOLTAGE의 해석에 의하면 AC85V-132V를 정격입력으로 하여 신청하는 경우에도 220/240V 계와 같이 3,000V의 내압시험이 적용되어진다.

시험전압은 50Hz또는 60Hz의 sin파던지 혹은 그 PEAK치에 상당하는 DC전압을 1분간 가한다.

TRANS의 경우는 장치의 온도가 안정될때까지 HEAT RUN 시킨 후에 행한다.

TABLE 15에서 나오는 용어인 BODY는 접근 가능한 금속 부분(충전부), 손잡이 같은 것(SHAFT OF HANDLES, KNOBS, GRIPS), 절연물 표면에 붙어 있는 금속제 FOIL(박)등을 의미한다.

5] TRANS에 관계하는 IEC950의 내용

1]에서4] 까지의 내용과 중복되는 부분이 있지만 TRANS에 관계하는 IEC950의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 안전규격

TRANS의 1차-2차 간의 절연내압 등의 안전규격은 각국에 따라 다르다. 일본은 전기용품취제법, 미국은 UL규격, 독일은 VDE 등에 규정되어 있다.
AC 입력전압이 90V-270V로 넓은 경우는 IEC950을 적용하는 것이 적합하다.
또한, 일본을 포함하여 각국이 IEC950을 도입하고 있다.
표 6-1은 IEC950의 규격에서 절연 TRANS에 관계하는 항목을 간단히 정리한 것인데 이 규격에 준하면 UL, VDE 어느쪽이더라도 승인신청이 가능하다.

2) 연면거리

연면거리는 절연재료의 표면을 따라 측정한 거리인데 1-2차간 6.2mm를 유지하기 위해서는 BASE의 상하에 각각 3.5mm와 6.5mm의 BARRIER TAPE를 감아야 한다.
상측은 연면거리가 BARRIER TAPE 폭의 왕복분으로 되지만 하측은 PIN에 결선하는 인출선이 있으므로 6mm가 필요하다. 이 인출선에 절연 TUBE를 사용하면 3mm의 BARRIER TAPE로도 가능하다.

3) 절연 TAPE

TAPE MAKER의 카다로그에는 TAPE 1매당 내전압이 기재되어 있다. 2매 겹쳐 AC 3,000V 견디기 위해서는 1매당 DC에서 약 2,200V 이상의 내전압이 필요하다. 이러한 TAPE를 3회 감으면 된다. 감은 표면이 울퉁불퉁하면 어느 부분이 늘어나 내압불량이 발생하는 경우가 있다. 또 인출선을 PIN에 납땜할 때 납조열에 의해 특성 열화가 생기는 경우가 있으므로 주의가 필요하다. 1차간 혹은 2차간에는 TAPE의 내압 및 권수에 대한 규정은 없지만 동작절연을 확보하고 권선작업의 효율성을 위해 1회 내지 2회 감아준다.

항 목	IEC 950에 의한 規定의 解析
공간거리 1차-2차간	6.4(6.0)mm (*주 참조) ( ) 내의 수치는 정식적인 품질관리 공정에서 제조되어지고 동시에 100%의 내압시험을 실시하고 있는 경우에 적용된다.
연면거리 1차-2차간	상과 동일 (SEAL 되어져 있는것으로 본 TRANS의 경우)

절연TAPE 1차-2차간	(1) 1매의 내압이 강화절연의 내압시험에 합격한 TAPE를 2회 감는다. (2) 2매겹친 내압이 강화절연의 내압시험에 합격한 TAPE를 3회 감는다.
절연내압 시험전압	50Hz 또는 60Hz의 교류 3,000V또는 그 PEAK치에 상당하는 직류를 1분간 인가하여 절연파괴가 없을 것. (TRANS로서 제품이 완성된 경우는 통상부하에서 HEAT RUN한 후 실시.)

* 주 : 이 수치는 입력이 AC220/240V이고 출력이 일반의 스위칭 전원의 범위(권선비에 따라 다르지만 대개 200V까지)에 적용 가능하다.

(표 6-1) 절연 트랜스에 대한 IEC950의 규격 내용

6] TRANS에 관계하는 UL478의 내용

일반적으로 IEC950에 적합하게 TRANS를 설계하지만 미국의 안전규격인 UL478에 대해 약간 기술하면 다음과 같다. 미국은 치수의 단위로 인치를 사용하고 있으며 1차측(충전부)과 2차측(비충전부) 사이의 공간 및 연면거리는 1/8인치 (약 3.2mm)로 규정되어 있다.

트랜스에서 이 거리를 지켜야 하는 부분은 1차권선 또는 그 인출선과 2차권선 또는 그 인출선 사이 및 그들과 CORE사이이다. 따라서 BASE 상하측에 각각 1.6mm, 3.2mm 이상의 BARRIER TAPE를 감아 연면거리를 확보하여야 한다. 안전규격에는 1차권선과 2차권선의 층간 TAPE에 대해서는 구체적인 규정은 되어 있지 않고 내전압 시험의 전압(1,250V)을 1분간 인가하여 절연파괴되면 않된다고 되어 있다.

13. TRANSFORMER용 주요자재

1] 자심(CORE)

자심재료는 여러 금속업체에서 각종성분의 것이 여러가지 상품명으로 제조, 판매되고 있다. 현재, INDUCTOR 및 TRANSFORMER의 자심으로 사용하는 재료를 크게 분류하면 금속 자심(합금 자심), 산화물자심(페라이트 자심), 압분자심(더스트 자심)으로 구분할 수 있다.

1) 금속자심

금속재료는 도전성이 좋기 때문에 와전류손이 크므로 저주파에만 사용된다.

금속자심의 종류는 SILICON-STEEL(규소강), PERMALLOY(니켈-철), PERMINBER(코발트-니켈-철), PERMENDUR(코발트-철) 등이 있으나 일반적으로 규소강과 퍼어멀로이를 많이 사용하므로 이 두가지에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다.

규소강은 철에 2~5%의 규소를 혼입하여 열처리한 것으로서 고자장에 대한 손실이 적기 때문에 변압기, 전동기, 발전기 등의 자심에 널리 사용된다. 규소강은 다음의 용도에 적합하다.

(1) 큰 자속변화를 이용할 때

(2) 낮은 주파수에서 사용할 때

(3) 비교적 큰 직류자장을 중첩할 때

철-니켈 자성합금은 1915년 WESTING HOUSE사의 연구소에서 철-니켈 합금에 적당한 열처리를 하면 약자장에서 투자율이 매우 높은 자성합금을 얻을 수 있는 것이 발견되었다. 이후 여러 학자에 의해 연구되어 여러종류의 철-니켈 합금이 발표되었다. 크게 분류하면 니켈 함유량이 70-80%인 고투자율재와 40-50%인 고자장재가 있다. 여기에 몰리부덴 및 코발트 등을 소량 첨가하면 자기적 성질이 더욱 개선된다. 이러한 철-니켈 합금은 투자율이 높고 보자력이 적기 때문에 저자장에서 사용하기에 유리하지만 자속 밀도가 금속자성체에 비해 낮고 가격이 비싼 것이 흠이다. 니켈의 함유량을 45%로 하면 투자율, 보자력 등의 자기특성은 열화하지만 자기포화 특성은 개선되어 높은 자장에 사용할 수 있다. 일반적으로 철-니켈 자성합금은 기계적 압력에 의해 자기특성이 열화하므로 고투자율 트로이달 자심은 프라스틱 CASE등에 넣어 권선작업을 하므로써 자심에 압력이 가해지지 않도록 한다.

2) 산화물 자심

페라이트는 MFe_2O_4로 표시되고 M은 2가 금속산화물로서 산화망간, 산화니켈, 산화아연 등이다. 실질적으로 페라이트 자심은 이러한 화합물이 복합된 다결정의 소결체이다.

페라이트 자심은 크게 Mn-Zn계 자심, Ni-Zn계 자심, Cu-Zn계 자심으로 구분되고 현재 가장 많이 사용되고 있는 것은 Mn-Zn계와 Ni-Zn계이다. 페라이트의 특징은 고유저항이 금속자심에 비해 매우 높다. 실용되고 있는 페라이트의 고유저항은 $10-10^{7}\Omega-Cm$ 이므로 와전류 효과는 무시할 수가 있어 높은 주파수에서 금속자심재보다 높은 투자율을 유지한다.

이것이 페라이트가 고주파용 자심으로 이용되는 최대의 이유이다. 또한 페라이트는 금속자심, 압분자심과 달리 도자기 제조기술로 생산하기 때문에 여러가지 모양을 쉽게 만들 수 있다. (E-CORE, U-CORE, POT-CORE 등)

그러나, 페라이트는 금속자심 재료에 비해 직류투자율과 자기포화가 낮고 또한 자성변태점인 큐리온도가 낮고 경시변화가 있다. 일반적으로 투자율이 높은 자심재일수록 이러한 현상이 두드러진다.

① Mn-Zn페라이트

Mn-Zn페라이트는 Mn페라이트와 Zn페라이트의 복합 페라이트이다. 이 페라이트는 고유저항이 10-수백 Ω-Cm정도의 도전성이 있다. 따라서 고주파에서의 와전류손을 무시할 수 없기 때문에 저손실의 자심으로는 수백 kHz가 사용의 한계이며 자성변태점이 낮다. 그러나 다른 페라이트계보다는 높은 투자율의 자심이 만들어진다.

② Ni-Zn페라이트

Ni-Zn페라이트는 고유저항이 $10^{5}\Omega-Cm$ 이상으로 매우 높아 와전류손은 무시 수 있어 수백 MHz대 까지 사용할 수 있다. 또한 자성변태점이 높다. 그러나 투자율이 높은 자심을 만들수가 없고 Mn-Zn계 보다 가격이 비싸다.

지금까지 금속자심과 페라이트 자심에 대해 개략적으로 설명하였는데 지금까지의 설명을 요약하여 자재간의 기능을 비교하여 보면 표 3-1과 같다.

자심재 / 특성	페라이트	금속	
		퍼어멀로이	규소장
고주파 손실	○	△	×
투자율	○	○	×
각형성	×	○	×
포화자속밀도	×	○	○
온도 의존성	△	○	○
가공성	○	○	○
가격	○	△	○

주) ○ : 좋다, × : 안좋다, △ : 보통이다

(표 3-1) 금속재와 산화물재의 기능 비교

3) 압분자심

압분자심은 와전류손에 의한 손실을 줄이기 위하여 금속을 분체화하여 절연하고 가압 성형한 것으로 비교적 투자율이 낮은 반면 강자계 중에서도 사용할 수 있는 특징이 있다.

압분자심을 크게 분류하면 카보니철 더스트 자심과 몰리부덴-퍼어멀로이 더스트 자심으로 구분할 수 있다.

① 카보닐계 더스트 자심

카보닐-철을 가열 분해하여 얻어지는 순철에 가까운 구상의 미립자를 이용한 자심재이다.

직경 수미크론의 입자가 쉽게 얻어지기 때문에 와전류손을 극소화 할 수 있다.

순철의 비투자율이 500정도이므로 높은 투자율의 자심은 만들 수가 없어 비투자율은 60정도이다.

투자율을 더 낮게한 것은 100MHz이상에서도 저손실이다. 가하는 자계에 의한 투자율의 변화가 적고 온도계수가 적은 특성이 있다.

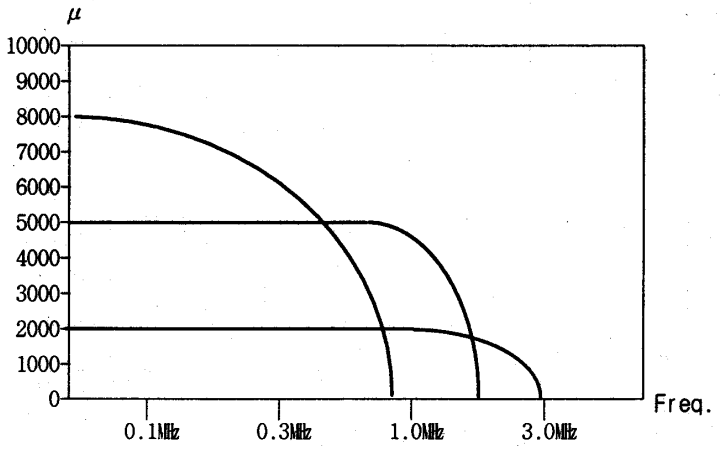
② 몰리부덴-퍼어멀로이 더스트 자심

몰리부덴-퍼어멀로이 더스트 자심은 몰리부덴, 철, 니켈의 합금을 잘게 분해하여 만든것으로 수백 KHz까지 저손실 자심재이다. 히스테리시스손이 적기 때문에 낮은 주파수 범위에서 사용하는 경우 손실을 많이 줄일 수 있고 온도특성도 매우 좋다. 비투자율은 150정도로서 투자율이 습도의 영향을 받는 성질이 있다.

4) 자심재의 주파수 특성

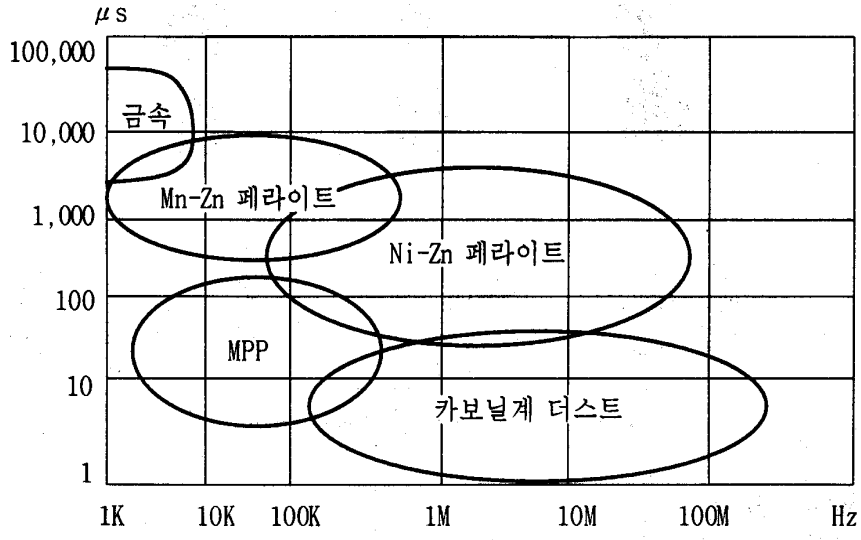
자심재의 투자율은 주파수 특성이 있고 투자율 변화는 INDUCTANCE의 변화를 의미하기 때문에 매우 중요하다.

투자율은 어떤 주파수 이하에서는 일정하고 그 이상에서는 저하한다. 이 만곡점의 주파수는 자심의 손실이 급증하는 주파수와 대강 일치한다. 그림 3-2에 Mn-Zn계 페라이트의 주파수 특성을 개념적으로 나타내었다.



(그림 3-2) 페라이트의 주파수 특성

그림에서도 알 수 있듯이 비투자율이 낮은 재질이 높은 주파수까지 투자율이 일정하다. 중요 자심재를 손실을 고려하여 각 재질에 적합한 주파수와 투자율을 도식화하면 그림 3-3과 같다.



(그림 3-3) 자심재의 손실이 적은 영역

그림에서 알 수 있듯이 수십 KHz이상의 고주파에서는 Mn-Zn페라이트, Ni-Zn페라이트, 카보닐 철 더스트의 세가지 재질이 자심재료로 적합하다는 것을 알 수 있다. 주파수 대역은 카보닐계 철 더스트, Ni-Zn, Mn-Zn 순이고 투자율은 그 역순으로 된다.

5) 자심재의 요구 특성

설명을 표로 정리하면 표3-1, 3-2와 같다.

분류	자심재 종 류	주요 원자재	자 심 재 의 질						특 징
			초기 투자율 μ_i	포화 자속밀도 KGAUSS	규리 온도 ℃	고유 저항 ohm-Cm	$\mu_i * Q$ at 1KHz	사용 주파수	
금속 자심	퍼멀로이	니켈 철합금	1,200-100,000	8 - 11	450	$55*10^{-6}$	8,000-12,000	1KHz-75KHz	(초)고투자율
	규소강 (UN-ORIENTED)	철 규소	500	20	740	$50*10^{-6}$		60Hz-1KHz	고자속밀도 가격이 싸다
산화물 자 심	Mn-Zn계 페라이트	망간 아연	750-15,000	3 - 5	100-300	10-100	100,000 - 50,000	10KHz-2MHz	고투자율, 저손실, 저주파
	Ni-Zn계 페라이트	니켈 아연	10-1,500	3 - 5	150-450	10^6	30,000	200KHz - 100MHz	고주파에서 저손실 투자율이 낮다
압분 자심	카보닐철 더스트	철	5-80	10	770	10^4	2,000-30,000	100KHz - 100MHz	고자속밀도 고주파에서 저손실 투자율일정
	몰리브덴 퍼멀로이	몰리브덴 니켈, 철	14-500	3	450	1	10,000	10KHz-200KHz	투자율 일정 온도보상이 쉽다

(표 3-1) 자심재의 종류 및 특성표

항 목 \ 자성부품	NOISE FILTER		SWITCHING TRANS	POWER FILTER (INDUCTOR)
	NORMAL MODE	COMMON MODE		
투자율	●	●	●	●
포화자속밀도	●	●	●	●
저손실	●	●	●	●
요구자기특성	고자속밀도	고투자율	20KHz이상:저손실 20KHz이하: 고자속밀도	고자속밀도
사용재	*MPP CORE(압분) *IRON-PODER CORE (압분) *GAPPED CORE	*FRRITE TROIDS *FERRITE SHAPES (UN-GAPPED) *Mn-Zn계 FERRITE (고투자율재)	*FERRITE SHAPES Mn-Zn FERRITE (고자속밀도재)	*MPP CORE(압분) *GAPPED -FERRITES *IRON-PODER CORE (압분) *규소 강판

(표 3-2) 자성부품에 요구되는 자심 특성

2] 동선[MAGNET WIRE]

동선은 변성기(TRANSFORMER)및 회전기의 권선에 이용하는 것이 주 목적이며 도체에 비교적 얇은 절연 피막을 입힌 전선이다. 자심, 절연 TAPE와 함께 TRANS의 중요한 구성 재료로서 기기의 성능, 중량치수, 수명에 크게 관계한다. 2차대전 이전에 사용된 동선은 주로 면권선, 견권선 등과 같이 도체에 실을 감아 절연한 선을 사용하였다. 전후에 우수한 합성수지가 많이 개발되어 이것을 도포한 여러가지의 MAGNET WIRE가 만들어졌다. 지금은 MAGNET WIRE의 선택의 적절함이 TRANS의 가격, 성능에 영향을 주는 상황이다.

1) 도체

동선의 도체는 다음과 같은 특성이 요구된다.

(1) 도전재료로서 도전율(CONDUCTIVITY)이 높고 온도계수가 적어야 한다.

(2) 선으로 가공할 때 적절한 인장강도와 신장율이 있고 가동성이 있을 것.

(3) 권선이 쉽도록 유연성이 있어야 하고 BASE와 분리하더라도 형태가 허물어지지 않아야 한다.

(4) 화학적으로 내부식성이어야 하고 표면이 산화 및 다른 오손에 의해 절연처리를 저해하지 않아야 한다.

이러한 조건에 적합한 것이 동이다. 그러나 중량을 경감할 목적으로 알루미늄이 이용되기도 하지만 알루미늄은 납땜성에서 특히 동에 미치지 못한다.

동은 일반적으로 연질의 전기동을 사용한다. 용도에 따라 반경질동, 경동이 사용된다. 연질 전기동의 물리적 성질은 표 3-3과 같다.

화학기호	Cu
선팽창 온도계수(1℃당)	$17*10^{-6}$
원자번호	29
비중	8.89
원자량	63.57
인장강도(kg/mm^2)	20-28
융융점(℃)	1,083
고유저항(u-ohm)	1.7241
비열(20℃)	0.0951
저항온도계수(20℃기준)	0.00393

(표 3-3) 연질 전기동의 물리적 성질

2) 동선이 구비해야 하는 조건

동선이 전항에서 기술한 조건을 대체적으로 만족하고 절연피막처리를 한 경우

(1) 피막의 두께가 균일하고 핀 홀이 적을 것.

(2) 피막이 내마모성, 내구부림성, 내비틀림성 등의 기계적 강도가 풍부하고 피막과 도체가 잘 접착되어 있어야 한다.

(3) 화학적으로 안정되어 있어야 하고 처리용 바니쉬 및 공기중에 포함된 수분이 침투하지 않아야 한다.

(4) 절연저항, 절연내력, 손실각 등이 필요조건을 만족하여야 하고 모든 부분에서 특성이 균일하여야 한다.

(5) 내열충격성이 있어야 한다. 등의 조건이 필요하다.

실제에는 사용온도 및 기타 주위조건, 권선속도, 장력, 권선의 굵기, 절연처리재료의 화학적 성분을 고려하여 적당한 종류를 선택하여야 한다.

3) 피막 두께 및 외경

합성수지를 도포한 소위 에나멜선은 피막의 두께에 의해 0종, 1종, 2종으로 분류된다. 표 3-4에 피막두께에 대한 분류를 나타내었다. 2종은 0종, 1종과 도체의 치수공차의 규격도 다르다.

종류	피막두께	용도
0종	두껍다	전기기계기구용
1종	보통	-
2종	얇다	전기통신기계구 및 전기계기용

(표 3-4 동선의 분류)

KS 및 JIS규격에서는 최소의 피막 두께를 규정하고 있고 도체경과 피막두께의 비율은 다르다. 도체의 직경이 가늘수록 비율은 커진다. 즉 가는선일수록 정미의 도체점유율은 적어진다. 0종과 1종의 경우에는 1종의 최대 피막 두께는 0종의 최소 피막 두께와 같다.

4) 각종 MAGNET WIRE의 종류

현재 많이 사용되는 각종 에나멜선을 간단히 소개하면 다음과 같다.

① 유성 에나멜선(Oleoresinous Enameled Wire)

가장 오래전부터 공업화 된 에나멜 선으로 현재도 에나멜 선이라 하면 유성 에나멜선을 의미하는 경우가 많다. 유성 에나멜은 페놀수지, 아마인유, 테레빈유 등을 배합한 것이다. 각종 에나멜 선 중 가장 가격이 싸므로 현재에도 많이 이용되는데 피막의 강도가 약하고 내열충격성, 내유성, 내용제성에 결점이 있어 컴파운드 충전 및 유입의 트랜스에는 사용할 수 없다. 또 굵은 선에 대해서는 적당하지 않다.

② 포말 선(Polyvinyl Formal Wire)

1939년에 미국의 GE사에 의해 FORMEX라는 상품명으로 발매되었다. 포말선은 가동성, 내열성, 내용제성, 내마모성 등의 점에서 에나멜 선보다 우수하다. 현재 각종 상품명으로 다량 생산된다.

③ 폴리우레탄 선(Polyuretan Enameled Wire)

독일의 BAYER사에 의해 개발되어졌다. 내약품성, 내수, 내유성, 내후성의 점에서 우수하다. 포말선과 비교하여 내마모성이 나쁘다. 이 선의 특징은 열가소성이 있어 피막을 벗기지 않고 납땜할 수 있는 것이다.

④ 폴리에스텔 선(Polyester Enameled Wire)

포리에스텔 수지를 주성분으로 한 합성수지를 이용한 것이다. 이 선의 특징은 내열성이 우수한 것이고 B종(130℃), F종(150℃)에 사용할 수 있다. 내마모성, 가동성, 내 알카리성 등에서는 포말 선보다 뒤떨어진다.

⑤ 그 외 나이론 에나멜 선(Nylon Enameled Wire), 에폭시 에나멜 선(Epoxi Enameled Wire) 등이 있다.

5) 특수용도의 MAGNET WIRE

최근 트랜스는 H종(180℃) 절연을 하여 높은온도에서 사용하는 경우가 많다. 고온에 견디는 MAGNET WIRE가 몇 종류 개발되어 있다. 테프론은 내열성이 우수하면서 가동성이 풍부하기 때문에 고온용 MAGNET WIRE의 절연피막으로 우수하다. 그러나 압력이 높은 곳에서는 열연화를 일으키기 때문에 일반적으로 실리콘 등과 병용하여 200℃까지 견디고 200℃를 넘는곳에 사용할 경우는 동선이 산화를 일으키기 쉬우므로 니켈 도금 동선이 사용되어진다. 더 높은 온도에서 사용할 경우는 세라믹을 유기질의 바인더를 이용하여 도체에 도포한 테프론을 외피로 후자는 500℃까지 사용할 수 있다. 그 외 H종 절연용의 MAGNET WIRE로서 GLASS섬유를 도체에 감아 붙인 실리콘수지로서 처리한 GLASS 권전선이 있다.

자기융착 에나멜 선(Self Bonding Wire)은 열처리에 의해 권선을 경화 성형하는 경우에 좋다. 이것은 이중 도장되어 있고 외층피막이 내층피막보다 연화점, 융점이 낮기 때문에 소정의 온도에서 권선을 서로 융착시킬 수 있다. 또 권선이 미끄러지는 것을 막기 위해 무기질을 피막에 혼입하여 표면을 까칠까칠하게 한 그립 에나멜 선(Grip Enameled Wire)은 허니컴(Honey Comb) 코일 권선 등에 유리하다. 또 바이파일러 권선같이 두선을 병렬로 권선할 때 편리하도록 두 선의 에나멜 선을 융착하고 두가지 색으로 착색한 폴리에스텔 동선, 폴리우레탄 동선 등이 있다. 또 최근에는 3층절연전선(TIW)이 개발되어 베리어가 없는 트랜스를 만들 수 있게 되었다.

6) Litz Wire

표피효과에 의한 도체표면의 고주파전류의 집중을 억제하고 겉보기 저항을 줄이기 위하여 리츠선이 사용된다. 리츠선은 절연피막된 가는 선을 꼰 것으로 각 가는선이 도체의 중심부에서 외연으로 외연에서 중심부로 통하게 된다. 더 굵은 도체가 필요할 때는 꼰 선을 몇 개 꼬아서 사용한다.

리츠선은 절연피막과 공격에 의해 점유율이 저하하고 꼬므로 해서 선의 정미의 길이가 길어지기 때문에 같은 외경의 단선보다 직류저항이 높아진다. 그러나 높은 주파수에서는 전류가 그 외연부만이 아니고 전단면적을 흐르기 때문에 실효저항은 감소한다. 주파수가 너무 높아지면 절연한 가는 선간의 분포용량을 통하여 전류가 흐르게 되어 꼰선의 효과가 감소하기 때문에 리츠 선은 유효한 사용 주파수범위가 있다. 또 권선하는 경우 꼰 선이기 때문에 INDUCTANCE의 증가를 고려할 필요가 있다.

7) 에나멜 동선표

0종과 1종에 대하여 트랜스를 설계할 때 유효하게 사용하도록 표 3-5, 표 3-6 에

나멜 동선표를 나타내었다. 최대외경은 권선폭에 몇 회 감을 수 있는가를 계산할 수 있고 전류밀도에 따른 선경결정을 할 수 있도록 각 전류 밀도에 따른 허용 실효전류를 계산하여 두었다.

8) 동선의 저항법에 의한 트랜스의 온도상승 측정

트랜스의 온도상승은 권선은 저항법에 의해서 자심 또는 CASE등 노출부 표면은 온도계법에 의해 측정한다. 저항법은 다음식에 의해 권선의 온도상승을 산출한다.

$\theta = \theta_2 - \theta_3 = R_2 / R_1(235 + \theta_1) - 235 - \theta_a$

여기서,

θ : 온도상승치

θ_2 : 시험종료시의 권선의 온도

θ_3 : 시험종료시의 주위온도

θ_1 : 시험개시시의 주의온도

R_1 : 온도 θ_1에서의 권선저항

R_2 : 온도 θ_2에서의 권선저항

위와 같은 계산식으로 산출하는 것은 복잡하므로 표 3-7에 저항치 측정에 의한 온도 상승표를 게재하였다. 예를 들어 1차권선 초기저항이 2Ω 이고 정격 동작상태에서 연속동작시킨 후 저항이 2.5Ω 이면 %증가율이 25%이고 주위온도가 20℃라 하면 온도상승은 63.75℃가 된다.

3] 절연재료

1) 절연재료의 특성

절연재료(Insulation Materials)는 두 도체간에 전류가 흐르는 것을 차단하기 위한 재료이다. 전기저항이 매우 크기 때문에 절연재료를 흐르는 전류는 무시할 정도로 적다. 절연재료는 전기의 양도체와 대조를 이루고 있는데 절연체와 양도체 사이에 엄밀한 정의에 의한 구분은 없고 양자의 중간에 위치하는 반도체라는 것이 있어 개략적으로 분류되어 있다. 절연재료(절연체), 반도체, 양도체를 체적 고유저항에 의해 구분한 표가 다음에 있다.

전기재료의 분류	체적고유저항(ohm-cm)
도체	10^{-6} – 10^{0}
반도체	10^{0} – 10^{6}
절연재료	10^{6} - 10^{20}

절연재료는 그 용도에 따라 절연저항, 유전율 역율, 절연내력 등의 제특성을 알 필요가 있다.

2) 절연저항(Insulation Resistance)

절연재료는 그 종류에 따라 다른 유한의 저항 즉 절연저항이 있다. 절연저항은 고체 절연물에 전압을 가했을 때 그 내부를 관류하는 전류와 표면에 부착해 있는 습기 및 불순물을 통하여 흐르는 전류를 합성한 것에 대한 저항으로 표시한다. 절연저항은 절연내력과 반드시 직접적인 관련이 있다고 할 수는 없지만 절연저항의 급격한 열화는 표면의 오염 및 화학적 물리적인 변화에 의해 절연내력이 저하하고 있는 것을 나타내는 기준이 된다. 절연저항은 온도, 습도 및 재료의 흡습도에 의해 영향을 받고 더욱이 표면의 청정도, 인가전압의 크기와 인가시간에 따라서 달라진다. 따라서 절연재료의 좋고 나쁨을 나타내는 기준으로 절연저항을 이용하는 경우 습도, 온도와의 관련에 주목할 필요가 있다.

절연저항은 일반적으로 500V-1,000V의 직류로 측정한다.

3) 유전율(Dielectric Constant)

절연물은 공기(진공)에 비해 유전율이 매우 크다. 유전율이 다른 두 종류의 절연재료를 겹쳐 사용하면 전위경도(단위길이당 전압)에 큰 영향을 준다. 식 3-1에서 식 3-4는 유전율이 K_1, K_2이고 두께가 d_1, d_2인 절연재료의 양단에 전압 V를 인가하였을때의 전위경도를 나타내었다.

$$V + E_1 d_1 + E_2 d_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{K_1}{K_2}$$

$$E_1 = \frac{K_2 V}{d_1 K_2 + d_2 K_1}$$

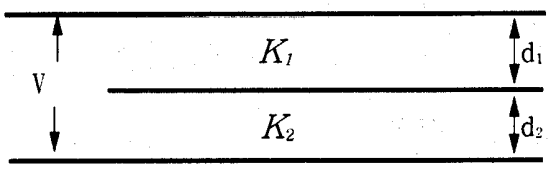
$$E_2 = \frac{K_1 V}{d_1 K_2 + d_2 K_1}$$

여기서, E_1=유전율 K_1, 두께 d_1인 재료의 전위경도 (V/mm)

E_2=유전율 K_2, 두께 d_2인 재료의 전위경도 (V/mm)

이 관계는 그림 3-4과 같이 도시된다.

즉, 절연재료의 두께가 같은 두 종류의 절연재료를 겹쳐 사용하면 유전율이 낮은 재료가 큰 전압을 부담하게 된다. 따라서 각 절연체가 절연내력의 반을 부담할 것으로 생각하여 설계하면 절연파괴의 위험이 있다.



(그림.3-4)

4) 역률(Power Factor)

절연물과 같은 유전체에 교류를 흘리면 그 절연저항에서 추정되는 값보다 훨씬 큰 전력손실이 생긴다. 이것은 유전체 흡수현상 및 누설현상에 의해 생기는 데 이것을 유전체 손실이라 한다.

절연재료의 역율은 유전체 손실의 대소를 나타내기 때문에 교류전압을 인가하였을 때의 볼트.암페어(Volt.Ampere)에 대한 절연재료 내의 전력손실의 비로 나타낸다. 유전체 손실은 열로 되어 절연재료를 가열하기 때문에 그 정도가 심해지면 절연재료를 파괴하게 된다. 따라서 고전압 또는 고주파에서 사용하는 절연재료는 유전체 손실이 적은 것을 사용하여야 한다.

유전체 손실 P를 입력 볼트.암페어 EI에 대해

$P = EI \sin \delta$

로 표시하고 δ를 손실각이라 한다. tan δ는 절연재료의 유전정접이라 부른다.

5) 절연내력(Dielectric Strength)

절연재료에 전압을 인가하여 전압을 상승시켜 어떤 값에 도달하면 절연물의 내부를 관통하던지 혹은 그 표면을 따라 절연이 파괴된다. 이 때의 전압을 절연파괴전압이라 한다. 절연재료의 절연내력은 일반적으로 절연파괴전압을 재료의 두께로 나눈 값으로 나타내는데 절연재료가 절연내력을 잃지 않고 사용할 수 있는 지정전압을 나타낸다. 절연내력은 단순히 절연재료의 종류에 의해 달라지는 것이 아니고 인가전압의 상승속도, 인가시간, 교류, 직류의 종별, 주파수, 온도, 습도, 재료의 두께, 시험전극의 형상에 의해서도 영향을 받기 때문에 절연내력에 대한 측정을 할 때는 이러한 제조건을 일정하게 두어야 한다.

6) 절연재료에 대한 코로나(Corona) 영향

기체중의 도체에 높은 전압을 인가하면 그 전압치가 매질기체의 임계전압을 넘었을 때 도체 주위의 기체가 부분적인 절연파괴가 생겨 도체표면에서 미광이 발생하면서 일종의 소음이 들리게 된다. 이 현상을 코로나 방전(Corona Discharge)이라 한다. 코로나는 고체절연물과 기체가 공존할 때도 발생하는데 인가전압이 절연재료의 절연내력보다 낮으면 절연파괴를 일으킬 위험은 없다.

코로나 방전에 의해 기체의 이온화가 진행되면 기체층에 걸리는 전압이 저하하므로 이로 인해 전 인가전압이 절연재료에 가해지게 된다. 코로나 그 자체는 절연재료에 악영향을 주지 않지만 코로나에 의해 발생한 오존 등의 산화제 작용에 의해 유기절연물의 산화를 촉직하여 절연 열화를 일으키는 2차적인 작용이 있다.

7) 절연재료에 미치는 수분의 영향

수분 또는 습도가 절연물에 영향을 주는 이유는 다음의 두가지이다. 그 하나는 절연

물의 세공(작은 구멍)으로 수분이 흡수되어 절연저항이 저하하는 경우이고 또 하나는 표면이 수분에 의해 적셔져 물박막이 전면에 걸쳐 부착되어 도전성을 띄는 경우이다. 절연물의 내부에 확산된 수분은 재료의 정전용량과 역율을 증가시켜 체적고유저항이 감소한다. 흡수된 수분에 의해 재료가 받는 영향의 정도는 주위공기의 상대습도와 측정 주파수에 의해 달라진다. 절연재료의 표면에 형성한 물의 박막이 절연에 미치는 영향은 그 표면이 물에 적셔지기 쉬운가 아닌가에 의해 결정된다.

예를 들어 물방울이 부착하여도 박막을 이루지 않고 미소한 물방울의 상태로 상호 연결되지 않으면 도전로가 형성되지 않기 때문에 표면의 절연저항은 그다지 저하하지 않는다. 일반적으로 흡수성이 높은 다공질의 재질은 물에 적셔지기 쉬운 성질이 있다. 반면 미끈한 표면은 적셔지기 어렵기 때문에 다공질의 재질에 왁스, 바니쉬 등을 도포하면 물에 적셔지기 어렵기 때문에 습도가 높은 장소에 사용할 수 있다. 절연재 표면의 오염도는 절연상태에 영향을 주어 절연저항이 열화한다.

8) 절연재료와 온도

비교적 높은 전압을 취급하는 변성기의 수명은 변성기에 사용하는 절연재료에 의해 가장 영향을 많이 받는다. 따라서 절연재료의 수명에 관계하는 온도의 영향에 대해 많은 연구가 행해지고 있다. 그 연구결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 절연재료는 급격히 절연파괴를 일으키는 일정한 온도가 있는 것은 아니지만 높은 온도에서 사용하고 있는 사이에 서서히 변질되어 기계적으로 열화하여 파괴된다.
2. 즉 절연물의 수명은 기계적 강도에 대한 열화의 비율을 나타낸다. 물론 절연물의 절연저항과 기계적 강도와는 직접적인 관련은 없고, 더욱이 기계적 열화의 과정에서 절연저항이 높아지는 것도 있을 수 있다. 절연물의 기계적 수명이 다하면 약간의 충격, 진동, 팽창 등의 외부 힘에 의해 기계적으로 붕괴하여 절연파괴된다.
3. 경험적으로 유기절연물의 수명은 사용온도가 5-10℃높아짐에 따라 반감한다. 특히 화학반응을 촉진하는 온도상승은 현재 가장 많이 쓰는 유기질 절연재료의 화학구조의 열화속도를 증가시켜 절연을 열화시키는 중요한 요인이다.

절연재료의 내열성에 의한 분류 등은 TRANSFORMER의 온도와 수명에서 상세히 기술한다.

9) 대표적 절연재료의 특성

변성기(Transformer)의 층간절연 및 권선간 절연재료에 사용되는 대표적인 절연재료의 특성에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다.

1. 종이, 포를 기본재료로 한 절연재료

   종이, 포 등 식물성섬유를 주체로 한 절연재료를 셀룰로즈(Cellulose)계 절연재료라고 한다. 이것은 적당한 기계적 강도와 더불어 유연성이 있고 가격이 싸기 때문에 전기기기에 많이 이용되고 있다. 다공질이라 흡수성이 큰 결점이 있다. 이 결

점을 제거하기 위하여 바니쉬 등의 액체절연물에 충분히 함침하여 사용하는 경우가 많다. 만약 미처리한 상태로 사용할 경우는 반드시 충분한 건조와 후처리를 하여야 한다.

일반적으로 높은 절연강도가 요구되는 경우는 포보다는 종이가 적합하지만 기계적 강도가 중요할 때는 포가 사용된다. 섬유성 절연물은 높은 온도에서의 특성이 불안정하기 때문에 사용온도의 제한이 있다.

대체적으로 절연종별 Y종(90℃) 절연재에 속한다.

2. 폴리에틸렌 테레프타레이트(Polyethylene Terephthalate, PTE)

전후 많은 합성수지가 등장하였는데 폴리에틸렌 테레프타레이트는 불소수지와 함께 대표적인 필름 절연재이다. PTE는 마일라(Myler:미국 듀폰사 상품명), 메리넥스(Melinex)등의 상품명으로 판매되고 있는 폴리에스텔 수지 필름이다. 이것은 셀룰로즈계 절연재료에 비해 기계적 강도가 좋고 내습성, 내화학약품성 등이 우수하다. 절연파괴 전압은 15kV/0.1mm정도의 매우 높은 특성이 있으나 열가소성으로서 코로나에 약한 결점이 있다.

3. 유리섬유(Glass Fiber)

유리는 우수한 전기절연재이다. 1930년대 말 유리를 가는 섬유상으로 만드는 것이 공업화되어 이것을 이용한 실과 포를 사용한 절연재료가 널리 사용되어져 왔다. 이 재료는 내열성이 우수한 H종 절연재료로 사용할 수 있고 화학적으로도 안정적이다.

4. 4불화 수지(Fluorinated Hydro Carbon)

불소수지에는 4불화 에틸렌과 3불화 에틸렌이 있는데 모두 내열성이 우수하여 H종 절연재료로 사용할 수 있다. 또 耐樂品性도 풍부하다. 테프론은 4불화 에틸렌의 상품명이다.

5. 합성 섬유

면이나 견과 같은 천연 섬유에 의한 포 외에 나이론 및 테트론 같은 합성수지를 바니쉬로서 처리한 절연용 포가 시판되고 있다. 이러한 합성수지는 기계적인 강도 및 내열성에서 천연섬유에 비해 우수하다. 지금까지 여러 가지 절연재료의 특성에 대해 간략하게 기술하였는데 현재 TRANS 제조업체에서 가장 많이 사용하는 절연 Tape는 열가소성 합성수지 필름 Tape이다. 열가소성이란 고온이 되면 고분자 사이에 흐름이 생겨 유동을 일으키게 되고 다시 온도를 내리면 고체가 되는 성질을 말한다.

열가소성 재료는 이러한 결점도 있지만 성형, 가공이 용이하여 필름, 섬유 및 성형품을 만드는 데 실용적으로 이용된다.

10) 절연재료의 선택기준

절연재료는 다종다양하여 권선의 층간절연에 사용하는 재료에 한해서도 포, 종이, 합성수지 필름 등 많은 종류가 있다. 절연재료는 전기기기의 수명에 가장 밀접한 관계가 있기 때문에 적정한 선택이 필요하다. 절연재료선택의 기준은 다음과 같다.

1. 온도

   온도는 절연수명에 가장 큰 영향을 준다. 기계가 동작하는 주변온도와 변성기(Transformer)의 온도상승으로부터 최고점 온도를 구하여 절연종별을 결정한 후 적합한 재료를 사용하여야 한다.

2. 습도

   습도는 절연내력을 현저하게 열화시키므로 습도가 높은 장소에 사용될 때는 바니쉬 등으로 처리하여 내습성을 높일 필요가 있다.

3. 화학적 안정성

   유입 변성기의 경우는 절연물의 내유성이 필요한 조건이 된다. 또 처리(바니쉬 함침)를 할 때는 바니쉬 중의 용제에 대한 내성이 필요하다. 또 약산 및 알카리에 대한 내력이 커야 한다.

4. 기계적 강도

   절연물에는 권선 작업중에 구부린다, 팽팽히 당긴다 등의 기계적인 힘이 작용하는데 이와 같은 기계적인 힘을 받아도 절연성능이 요구를 만족하여야 한다. 또 동작중의 진동, 충격, 팽창에 의한 인장력 등에 대해서도 고려하여야 한다.

5. 내 코로나성

   높은 장소에서 사용되는 변성기 및 고전압을 발행하는 변성기의 절연상태에 대해서는 특히 내 코로나성이 필요하다.

6. 사용 주파수

   절연재료의 유전체 손실은 주파수가 높아짐에 따라 증대하기 때문에 높은 주파수에 사용하는 경우에는 특히 고려하여야 한다.

   Trans를 설계할 경우 이상의 조건을 하나하나 음미하여 중점을 두어야 할 조건과 적당히 적합한 조건을 고려하여 가장 어울리는 재료를 선택하여야 한다.

   절연재료의 절연내력은 트랜스에 가해지는 최종의 내전압시험지의 2배 이상의 값을 갖는 것을 절연설계의 기준으로 하는 것이 좋다.

   절연재료의 개략적인 설명을 하였는데 지금까지의 내용을 참고하여 절연재료 제조업체의 카다로그를 참조하면 절연설계의 도움이 될 것으로 사료된다.

   다음 표에 절연기본자재별로 분류한 대표적인 절연재료의 특성을 나타내었다.

재료명		두께 (mm)	밀도 (gr/cm²)	인장강도 (Kg/mm²)		절연내력 (KV/mm)	유전체 역률	비유전율	체적 고유 저항 (Ω-cm)
				종	횡				
절연용지	Kraft지	0.13	0.7	6.8	2.2	6			
	콘덴스지	0.012	1.1-1.25	<6	6	4.4	0.002		
	프레스-보드	2.4	1.0-1.2	4.5-8	2.0-3.5	6-8			
절연용포	바니쉬-Cloth	0.13		>9.0	>6.0	3.5-5.5		4.5-6.5	
	왁스실크	0.10		>4.5	>4.5	4.0-5.0		4.4-6.6	
	바니쉬-테트론-Cloth	0.10		>6.0	>4.5	4.0-5.5			>1.0*1012
	바니쉬-글래스-Cloth	0.13		>10	>7	4.0-5.5			
프라스틱	폴리에틸렌-필름	0.07							
	마일라-필름	0.025	1.2	11.3	10.8	160	0.0017 (1KHz)	3.2	1019
	테프론-필름	0.025	2.1-2.3					2.0	

14. 장기 연구 계획을 세우는 방법

장기 연구의 목적은 기업의 장래를 생각하고 가능성이 있는 것을 검토하여 보다 효과적인 것을 구체화 하는 것이다.

공장에서 연구를 진행하고 있는 중이라도 장래에 어떤 것이 될지 100% 알 수는 없다. (완전히 알 수 없다는 것이다.) 그렇지만 여러가지 주제와 판단 기준에 근거하여 미리 장기 연구 계획을 세우는 것이 무엇보다 합리적이고 중요하다.

장기 연구 계획을 세울 때의 중요 사항

① 연구에 관한 자금

② 연구해야 할 주제의 선정

③ 연구 목표 달성을 위한 기술자의 문제

④ 경영 및 기술적인 측면에서 예상되어지는 사항

업종에 따라 한마디로 말할 수는 없지만 최근에는 기술 혁신의 기간이 단축되고 제품의 라이프 사이클(Life Cycle)이 짧아지고 있다.

특히 TV등의 약전 업체는 장기 연구 계획을 3년 이내로 해야만 한다.

평범한 업종의 경우는 5년 정도가 이상적인 것 같다.

특히 중소기업은 장기 연구 입안 단계 혹은 그 후의 계획 단계에서 외부의 기관을 이용하는 것도 하나의 방법이다.

외부기관을 많이 활용하고 있는 기업이 발전하고 있는 것 같다.

15. 설계 표준화의 장점

설계 표준화는 생산합리화 테마의 하나이다. 원가는 설계에서 결정되어진다고 하는데 그만큼 설계 부문의 역할은 매우 크다.

설계 표준화에 의한 질적인 향상 및 신속한 출도가 전사적으로 영향을 준다.

설계화의 장점으로는

1) 기술 수준의 향상

표준화가 되어 있으면 경험이 적은 초보자라 할지라도 현재의 기술수준을 이해할 수 있어 결국은 개인의 차가 없어지므로 전체의 기술수준이 향상된다.

2) 출도 기간의 단축

표준화가 되어 있으면 설계자는 도면에 사양 및 치수를 기입하면 도면 작성이 끝나므로 설계시간을 단축하여 다른 중요한 일에 할애할 수 있다.

3) 제작의 용이

표준화가 되어 있으면 표준 도면에 익숙해져 숙련자의 양성이 쉬워지고 다소나마 선행 생산이 가능해 지므로 단납기에 의한 혼란을 줄일 수 있다.

4) 표준화는 제품 크레임을 감소시킨다.

표준화는 과거의 실적에 의해 이루어지고 충분히 검토되어진 것 이므로 표준화를 바르게 적용하면 크레임 발생을 최소한으로 줄일 수 있다.

아래에 설계 표준화에 의해 기대할 수 있는 효과를 도표로 나타내었다.

<table>
<tr><td rowspan="4">설계의 표준화</td><td>기술수준의 향상</td><td>-과거의 실적 정리
-미경험자 수준 향상</td><td rowspan="3">설계 공수의 절감
- 꼭 숙련된 설계자를 필요로 하지 않는다.
- 노련한 설계자는 다른 주요한 일에 참여시킬 수 있다.</td></tr>
<tr><td>출도의 신속화</td><td>-작도 불필요
-시간 단축</td></tr>
<tr><td>품잘의 안정화</td><td>-잘못된 적용 방지
-크레임 감소</td></tr>
<tr><td>제작의 용이성</td><td>-선행 생산 가능
-작업 능률 향상</td><td>제작 공수의 절감
- 작업 표준 설정이 쉽다.
- 외주 활용의 확대가 가능하다.</td></tr>
</table>

16. GT 방법과 적용 분야

기본적인 합리화 기법이라 불리어지는 GT(Group Technology)는 어떠한 기법인지 또한 어느 분야에서 적용되어지는 것인지를 알아보자.
결론적으로 GT 방법은 다품종 소량 생산 형태에 있어서 합리화의 기본적인 방법이다. 다품종 생산의 경우는 제품 및 부품이 대부분 신규이기 때문에 설계사양, 계획, 견적 등을 따로 준비해야만 한다. 따라서 설계 및 관리에 시간이 걸리고 현장작업의 가동율도 떨어진다. 이와 같은 경우에 GT 방법이 효과적이다.
신규의 제품 및 부품이라도 대부분 약간의 사양만 다를 뿐이다.
따라서, 유사성의 정도를 정량적으로 파악하기 위하여 형상, 칫수, 가공법, 재질 등에 의한 분류 기호를 정하여 정리하면 좋다. 이것에 의해 유사품의 검출을 간단히 할 수 있는 이러한 기법을 GT 기법이라 한다.

GT의 적용 분야로는

1) 설계부문으로써 유사품의 도면을 검출하여 기능적으로 큰 차이가 없는 것이 있으면 그것을 채용하여 신규 설계에 걸리는 시간을 줄인다. 그리고 부품은 표준화할수록 좋다.
2) 관리 부문으로써 유사품의 견적자료를 이용함으로써 신규부품의 견적이 쉬워진다. 또, 유사공정끼리 모아 각 전문 공정에 편성시켜 라인을 구성할 수 있다.
3) 직장, 기계, 공구, 가공부위 등을 검토하여 준비작업이 공통인 것을 모으면 준비시간을 절약할 수 있다.

17. 설계관리의 평가항목

설계 합리화는 그 효과가 매우 큰데 설계관리 측면에서 평가할 수 있는 항목에는 어떠한 것이 있는지를 알아보자.

1) 설계의 합리화
   ① 설계의 표준화는 어느 정도 되어 있는가?
   ② 설계 자료는 정리하여 비치하고 있는가?
   ③ GT는 도입하고 있는가?
   ④ 유사 설계법 등의 수법을 채용하고 있는가?
2) 설계 변경, 도면 정정의 문제
   ① 이유는 무엇인가?
   ② 생산적 측면의 손실은 어느 정도인가?
3) 설계할 때 가공방법 및 공정 등을 고려하고 있는가?
   ① 설계자는 공정 및 원가의 지식을 가지고 있는가?
   ② 현장 및 생산기술 부문의 의견이 피드-백(Feed-Back)되어지는가?
4) 설계일정
   ① 설계 일정은 확보되어 있는가?
   ② 늦어진 정도와 원인은 무엇인가?
5) 도면 관리
   ① 도면 변경의 조치는 신속한가?
   ② 도면은 확실히 회수되고 있는가?
   ③ 외주 공장의 대출도면 관리는 적당한가?

18. 연구 개발에 대한 평가항목

제조 업체에서는 연구 개발 상황이 그 기업의 장래를 좌우한다고 한다. 연구 개발 항목에는 무엇이 있는가?
연구개발의 방침, 시장 조사, 기술 혁신의 상황, 특허 등 공업 소유권에 관한 사항에서 보면 다음의 네 가지 항목이 있다.

1) 연구개발의 방침
   ① 신제품, 신공법, 신재료 중 어느 쪽인가?
   ② 연구 개발의 추진은 어떠한가?
   ③ 개발의 주도는 누가 하는가?
   ④ 목표를 정하고 연구를 추진하는가?
   ⑤ 연구 개발에 대한 당사의 특색은 무엇인가?
   ⑥ 기술 제휴를 하고 있는 공장 및 대학이나 연구소가 있는가?
   ⑦ 기술 고문 및 자문을 의뢰하고 있는가?
2) 연구 개발을 위한 시장 조사
   ① 조직적으로 실시하고 있는가?
   ② 동업종의 타사의 상황을 파악하고 있는가?
   ③ 동업종 타사의 유사 제품과의 비교 검토를 하는가?
   ④ 전시회, 견학회, 강습회 등에 적극적으로 참가하고 있는가?
3) 기술 혁신의 상황
   ① 업계 전반적인 진전 상황은 어떠한가?
   ② 당사는 뒤떨어지지 않았는가?
   ③ 신기술, 신설비의 도입 정도는 어떠한가?
4) 특허 등 공업 소유권
   ① 적극적으로 권리의 설정을 하고 있는가?
   ② 타사와의 기술 제휴를 하고 있는가?
   ③ 외부 연구 기관 및 기술 고문을 이용하고 있는가?

19. 제품 공정 분석 방법

제품 공정 분석이란 소재에서 완성품이 되기까지의 전 공정 혹은 문제가 되는 부분, 공정에 대한 제품 및 부품의 변화과정을 기호로 사용하여 도표화함으로써 공정의 흐름과정을 일관하여 조사하는 기법을 말한다.

제품 공정 분석 기호

기호			조사 항목
가공 ○	③	제 3공정	가공 내용, 로트 수, 시간 사용 치공구 및 기계, 기종
	Ⓑ5	B부품의 제 5공정	
검사 □	□	양의 검사	검사 항목, 검사 방법 불량율, 불량 원인
	◇	질의 검사	
운반 ○	ⓜ	사람에 의한 운반	운반거리, 운반횟수, 운반로트, 중량 용기, 수단, 쌓는 방법, 상하이동, 통로조건, 작업자(직종)
	ⓣ	트랙에 의한 운반	
정체 △	△	소재의 저장	용기, 놓는 방법, 놓는 장소 정체 기간, 관리 담당자
	▽	(반)제품의 저장	
	▽	공정간의 대기	
	✡	작업중의 일시대기	

공정 분석 기호의 설명

1. ○ : 가공 기호로서 변형, 변질, 조립, 분해의 일을 의미한다
2. □ : 검사 기호로서 품질검사와 수량검사는 기호의 방향으로 구별한다.
3. ○ : 운반 기호로서 가공기호의 1/2 ~ 1/3의 크기로 표시한다.
   예를 들어, ⓒ로 하면 콘베이어로 운반하는 것을 의미한다.
   운반 기호는 반드시 거리, 시간, 운반 방법을 명시한다.
4. △ : 정체기호로서 4종의 파생 기호가 있다. △▽는 저장을 나타내고 ▽ ✡ 는 체류를 나타낸다.

이상의 공정 분석기호를 사용하여 제품 공정 분석을 한다.

20. 원가 절감은 VA로

1) VA는 가치 분석의 약자이다.

가치분석이란 필요로 하는 기능을 명확히 정의하는 것부터 출발하여 그 기능을 최저의 원가로 실현하기 위해 그 기능과 원가와의 조화를 연구하고, 설계나 재료의 사용변경에서부터 제조 방법이나 공급처의 변경에 이르는 사내, 외의 지식을 종합하여 조직적이고 체계적이면서 영구적으로 행하는 활동이다.

VA는 원가절감에 도움이 되기 위하여 제품의 가치에 대해 기능상, 제품기술상, 구매정책상의 면에서 분석 검토하는 것이다.

다음과 같은 공식으로 나타낸다.

$$VA(\text{가치분석}) = \frac{F(\text{기능})}{C(\text{원가})} = \frac{Q(\text{품질})}{P(\text{가격})}$$

따라서 F가 일정한 경우 C를 절감시키면 가치(V)가 향상된다. VA는 가치가 최대로 되도록 품질과 원가의 평형을 고려하여 품질기능에 적합한 원가절감을 꾀하는 것이다. 지금까지의 원가절감 방법은 모두 주어진 설계사양 및 재료에 대하여 재료의 절약이나 작업시간의 단축, 노력의 절감을 하는 것이 대부분이었는데 이것으로는 한도가 있다. 특히 작업개선이나 표준화가 되어 있는 경우에는 더욱 더 원가절감이 어렵다. 따라서 주어진 설계사양을 변경하여 보다 값싼 재료로 변경하거나 가공하기 쉬운 형상으로 변경하는 것이 VA이다. 또 설계자는 제품을 설계할 때 최종 제품의 기능이나 품질에 주안점을 두기 때문에 사용재료나 공정에 대해 세밀한 검토를 하지 않아 부적정한 것이나 과잉 품질의 것이 발생하는 경우가 있다.

따라서 설계부문 이외의 사람이 그것을 검토하여 설계사양을 변경하여 가므로 대폭적인 원가절감을 실현할 수 있다. 여기서 주의해야 할 점은 절대로 기능적으로 문제가 없다는 전제하에 실시하는 것이다.

VA체크 항목을 표로 정리하였다.

항목	체크항목	체크항목
1	그 재료, 부품은 왜 사용하는가?	그 재료, 부품이 구비해야 할 기능에 대해 검토한다.
2	그 재료, 부품의 가격은 사용목적상 타당한가?	재료, 부품의 사용 목적에서 보아 현재의 것이 최적이고 가장 경제적인지 아닌지를 검토한다.
3	사용목적상 더 적합한 것은 달리 없는가?	대체품의 검토

4	그 재료, 부품이 지닌 특색(가공정도, 재질, 형상 등)의 모두를 현재 필요로 하는가?	재료의 불필요(낭비), 부품의 불필요를 검토한다.
5	더 싼 것을 이용할 수 없는가?	표준품, 시판품의 사용을 검토한다.
6	걸맞는 방법으로 제조하고 있는가?	제조량에 적합한 제조법을 생각한다.
7	더 싸게 만드는 방법은 있는가?	더 좋은 방법을 검토한다.
8	재료, 부품은 공정한 가격으로 구입되고 있는가?	구입품, 외주품의 가격을 검토한다.
9	더 싸게 공급할 수 있는 발주처는 없는가?	최량의 조달원, 전문업체를 조사한다.
10	더 싸게 구입하는 실 예는 없는가?	보다 싸게 구입하는 부문, 사람, 타사의 예를 조사한다.

2) 원가 절감의 착안점

제조 원가를 절감하는 데는 크게 나누어 두 가지가 있다.

첫째는 재료비를 절감하는 것이고 또 하나는 가공비를 절감하는 것이다.

다시 말하면 제조원가 절감의 목적은 최소의 수단으로 최대의 활용을 고려하는 것이다.

A) 재료비의 절감 방법

1. 보유율 향상
   - ① 재료 취급의 개선
   - ② 잔재의 활용
   - ③ 성형법의 이용
   - ④ 불량품의 감소
2. 구입 가격의 인하
   - ① 발주 방법의 개선
   - ② 지불 방법의 개선
   - ③ 구입처의 변경 검토
   - ④ 재공품의 감소
   - ⑤ 하청 기업의 육성 지도
3. 대체재 이용
   - ① 원재료 및 부품의 비교
   - ② 재고품의 활용
   - ③ 신재료의 활용

B) 가공비의 절감 방법

1. 조업도의 향상

① 유휴 설비의 활용

② 생산량의 증대와 변동률 감소

③ 작업 로트의 적정화

2. 작업 능률의 향상

① 작업 순서 및 방법의 개선

② 계획의 정도(오차) 향상

③ 적정한 작업 분배에 의한 대기시간 감소

3. 노동 의욕의 향상

① 능률급의 채용

② 적정한 인사 고과

③ 모럴의 향상과 직장의 안전 위생

21. 제조 원가와 총 원가와의 관계

생산현장에서 제품을 만드는 경우 그것에 필요한 모든 비용을 총칭하여 제조 원가라고 한다.

1. 제조 원가의 3요소

1) 재료비

재료비에는 직접 재료비와 간접 재료비가 있다.

직접 재료비는 제품 그 자체를 구성하는 부분인데 예를 들면 철판 같은 것을 재료로 하여 구입한 비용이다.

간접 재료비는 제품 그 자체를 구성하는 부분은 아니지만 제품을 생산할 때 보조적으로 사용되어지는 것을 구입한 비용이다.

2) 노무비

노무비에는 직접 노무비와 간접 노무비가 있다.

직접 노무비는 그 제품 생산에 직접 종사한 사람에 대한 인건비이다.

간접 노무비는 공장의 사무 부문이나 창고 등의 보조자에 대한 인건비와 복리후생비이다.

3) 경비

주로 설비기기에 관한 것으로 그 외 외주 가공비, 가스, 수도대, 통신비, 교통비 등이 포함된 비용이다.

2. 총원가(판매원가)

본사 및 영업 부문 등의 인건비, 선전비 등은 일반 관리비, 판매비라고 한다.

판매 원가는 제조 원가에 일반 관리비 및 판매비를 더한 것이다.

<table>
<tr><td colspan="5">총원가 (판매원가)</td></tr>
<tr><td colspan="3">제조원가</td><td>직접판매비</td><td>일반관리비</td></tr>
<tr><td>재료비</td><td>노무비</td><td>경비</td><td></td><td></td></tr>
</table>

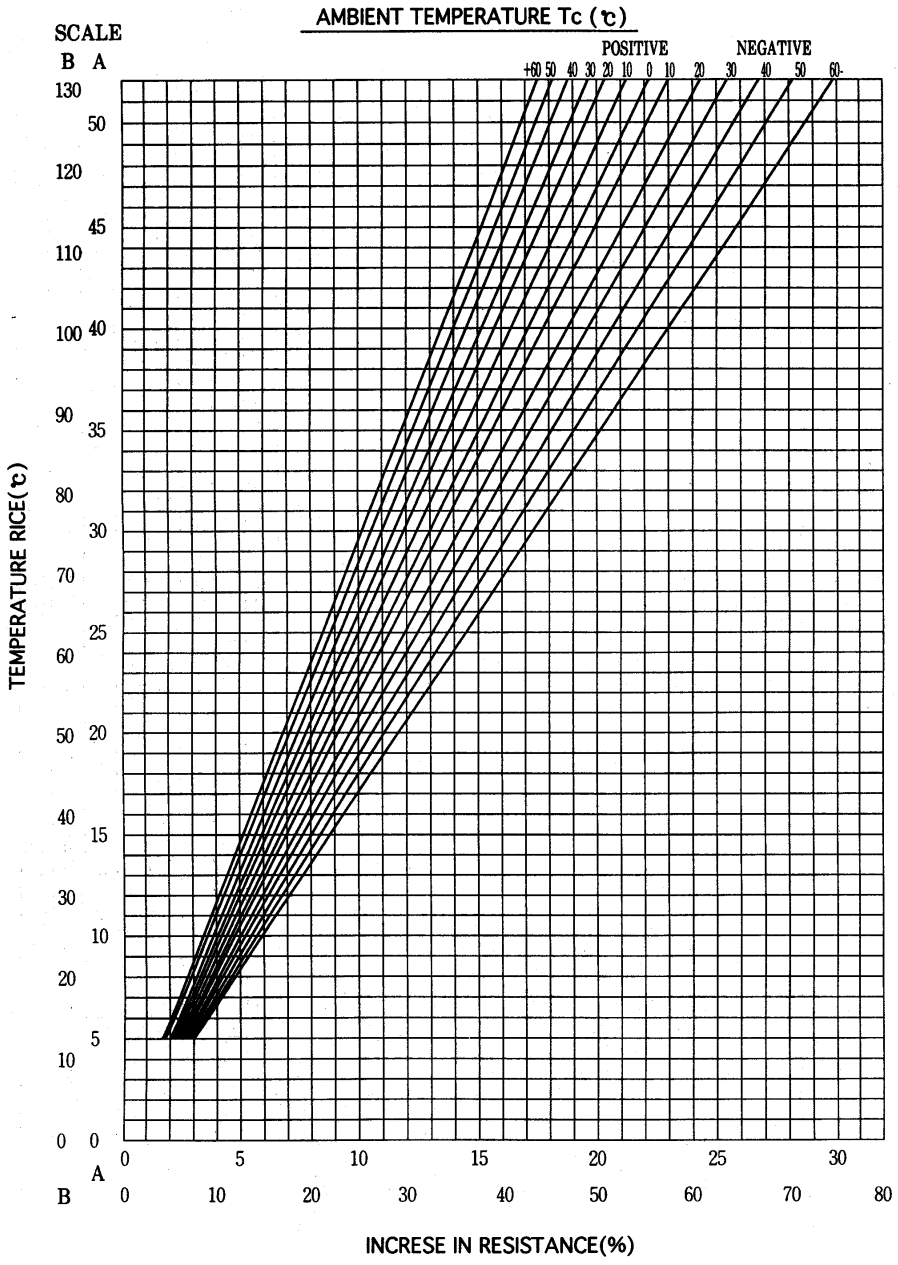
부록1. 1종 에나멜선 정수표

표준경	최대외경	1/4×π×D	電流 密度와 銅線의 許容 實效 電流値												
d(mm)	(d max)	(㎟)	J=3	J=3.5	J=4	J=4.5	J=5	J=5.5	J=6	J=7	J=8	J=9	J=10	J=11	J=12
2.00	2.113	3.1416	9.4248	10.9956	12.5664	14.1372	15.7080	17.2788	18.8496	21.9911	25.1327	28.2743	31.4159	34.5575	37.6991
1.80	1.914	2.5447	7.6341	8.9064	10.1788	11.4511	12.7234	13.9958	15.2681	17.8128	20.3575	22.9022	25.4469	27.9916	30.5363
1.60	1.712	2.0106	6.0319	7.0372	8.0425	9.0478	10.0531	11.0584	12.0637	14.0743	16.0850	18.0956	20.1062	22.1168	24.1274
1.40	1.508	1.5394	4.6181	5.3878	6.1575	6.9272	7.6969	8.4666	9.2363	10.7757	12.3150	13.8544	15.3938	16.9332	18.4726
1.30	1.408	1.3273	3.9820	4.6456	5.3093	5.9730	6.6366	7.3003	7.9639	9.2913	10.6186	11.9459	13.2732	14.6005	15.9279
1.20	1.304	1.1310	3.3929	3.9584	4.5239	5.0894	5.6549	6.2204	6.7858	7.9168	9.0478	10.1788	11.3097	12.4407	13.5717
1.10	1.204	0.9503	2.8510	3.3262	3.8013	4.2765	4.7517	5.2268	5.7020	6.6523	7.6027	8.5530	9.5033	10.4536	11.4040
1.00	1.102	0.7854	2.3562	2.7489	3.1416	3.5343	3.9270	4.3197	4.7124	5.4978	6.2832	7.0686	7.8540	8.6394	9.4248
0.90	0.986	0.6362	1.9085	2.2266	2.5447	2.8628	3.1809	3.4989	3.8170	4.4532	5.0894	5.7256	6.3617	6.9979	7.6341
0.80	0.882	0.5027	1.5080	1.7593	2.0106	2.2619	2.5133	2.7646	3.0159	3.5186	4.0212	4.5239	5.0265	5.5292	6.0319
0.70	0.776	0.3848	1.1545	1.3470	1.5394	1.7318	1.9242	2.1166	2.3091	2.6939	3.0788	3.4636	3.8485	4.2333	4.6181
0.65	0.724	0.3318	0.9955	1.1614	1.3273	1.4932	1.6592	1.8251	1.9910	2.3228	2.6546	2.9865	3.3183	3.6501	3.9820
0.60	0.672	0.2827	0.8482	0.9896	1.1310	1.2723	1.4137	1.5551	1.6965	1.9792	2.2619	2.5447	2.8274	3.1102	3.3929
0.55	0.620	0.2376	0.7127	0.8315	0.9503	1.0691	1.1879	1.3067	1.4255	1.6631	1.9007	2.1382	2.3758	2.6134	2.8510
0.50	0.560	0.1963	0.5890	0.6872	0.7854	0.8836	0.9817	1.0799	1.1781	1.3744	1.5708	1.7671	1.9635	2.1598	2.3562
0.45	0.508	0.1590	0.4771	0.5567	0.6362	0.7157	0.7952	0.8747	0.9543	1.1133	1.2723	1.4314	1.5904	1.7495	1.9085
0.40	0.456	0.1257	0.3770	0.4398	0.5027	0.5655	0.6283	0.6912	0.7540	0.8796	1.0053	1.1310	1.2566	1.3823	1.5080
0.35	0.402	0.0962	0.2886	0.3367	0.3848	0.4330	0.4811	0.5292	0.5773	0.6735	0.7697	0.8659	0.9621	1.0583	1.1545
0.32	0.372	0.0804	0.2413	0.2815	0.3217	0.3619	0.4021	0.4423	0.4825	0.5630	0.6434	0.7238	0.8042	0.8847	0.9651
0.30	0.352	0.0707	0.2121	0.2474	0.2827	0.3181	0.3534	0.3888	0.4241	0.4948	0.5655	0.6362	0.7069	0.7775	0.8482
0.28	0.330	0.0616	0.1847	0.2155	0.2463	0.2771	0.3079	0.3387	0.3695	0.4310	0.4926	0.5542	0.6158	0.6773	0.7389
0.25	0.298	0.0491	0.1473	0.1718	0.1963	0.2209	0.2454	0.2700	0.2945	0.3236	0.3927	0.4418	0.4909	0.5400	0.5890

부록2. 2종 에나멜선 정수표

표준경	최대외경	1/4×π×D²	電流 密度와 銅線의 許容 實效 電流値												
d(mm)	(d max)	(㎟)	J=3	J=3.5	J=4	J=4.5	J=5	J=5.5	J=6	J=7	J=8	J=9	J=10	J=11	J=12
0.90	0.956	0.6362	1.9085	2.2266	2.5447	2.8628	3.1809	3.4989	3.8170	4.4532	5.0894	5.7256	6.3617	6.9979	7.6341
0.80	0.852	0.5027	1.5080	1.7593	2.0106	2.2619	2.5133	2.7646	3.0159	3.5186	4.0212	4.5239	5.0265	5.5292	6.0319
0.70	0.746	0.3848	1.1545	1.3470	1.5394	1.7318	1.9242	2.1166	2.3091	2.6939	3.0788	3.4636	3.8485	4.2333	4.6181
0.65	0.694	0.3318	0.9955	1.1614	1.3273	1.4932	1.6592	1.8251	1.9910	2.3228	2.6546	2.9865	3.3183	3.6501	3.9820
0.60	0.644	0.2827	0.8482	0.9896	1.1310	1.2723	1.4137	1.5551	1.6965	1.9792	2.2619	2.5447	2.8274	3.1102	3.3929
0.55	0.592	0.2376	0.7127	0.8315	0.9503	1.0691	1.1879	1.3067	1.4255	1.6631	1.9007	2.1382	2.3758	2.6134	2.8510
0.50	0.542	0.1963	0.5890	0.6872	0.7854	0.8836	0.9817	1.0799	1.1781	1.3744	1.5708	1.7671	1.9635	2.1598	2.3562
0.45	0.490	0.1590	0.4771	0.5567	0.6362	0.7157	0.7952	0.8747	0.9543	1.1133	1.2723	1.4314	1.5904	1.7495	1.9085
0.40	0.439	0.1257	0.3770	0.4398	0.5027	0.5655	0.6283	0.6912	0.7540	0.8796	1.0053	1.1310	1.2566	1.3823	1.5080
0.35	0.387	0.0962	0.2886	0.3367	0.3848	0.4330	0.4811	0.5292	0.5773	0.6735	0.7697	0.8659	0.9621	1.0583	1.1545
0.32	0.357	0.0804	0.2413	0.2815	0.3217	0.3619	0.4021	0.4423	0.4825	0.5630	0.6434	0.7238	0.8042	0.8847	0.9651
0.29	0.324	0.0661	0.1982	0.2312	0.2642	0.2972	0.3303	0.3633	0.3963	0.4624	0.5284	0.5945	0.6605	0.7266	0.7926
0.26	0.294	0.0531	0.1593	0.1858	0.2124	0.2389	0.2655	0.2920	0.3186	0.3717	0.4247	0.4778	0.5309	0.5840	0.6371
0.23	0.264	0.0415	0.1246	0.1454	0.1662	0.1870	0.2077	0.2285	0.2493	0.2908	0.3324	0.3739	0.4155	0.4570	0.4986
0.20	0.231	0.0314	0.0942	0.1100	0.1257	0.1414	0.1571	0.1728	0.1885	0.2199	0.2513	0.2827	0.3142	0.3456	0.3770
0.18	0.211	0.0254	0.0763	0.0891	0.1018	0.1145	0.1272	0.1400	0.1527	0.1781	0.2036	0.2290	0.2545	0.2799	0.3054
0.16	0.189	0.0201	0.0603	0.0704	0.0804	0.0905	0.1005	0.1106	0.1206	0.1407	0.1608	0.1810	0.2011	0.2212	0.2413
0.14	0.167	0.0154	0.0462	0.0539	0.0616	0.0693	0.0770	0.0847	0.0924	0.1078	0.1232	0.1385	0.1539	0.1693	0.1847
0.13	0.157	0.0133	0.0398	0.0465	0.0531	0.0597	0.0664	0.0730	0.0796	0.0929	0.1062	0.1195	0.1327	0.1460	0.1593
0.12	0.147	0.0113	0.0339	0.0396	0.0452	0.0509	0.0565	0.0622	0.0679	0.0792	0.0905	0.1018	0.1131	0.1244	0.1357
0.11	0.135	0.0095	0.0285	0.0333	0.0380	0.0428	0.0475	0.0523	0.0570	0.0665	0.0760	0.0855	0.0950	0.1045	0.1140
0.10	0.125	0.0079	0.0236	0.0275	0.0314	0.0353	0.0393	0.0432	0.0471	0.0550	0.0628	0.0707	0.0785	0.0864	0.0942

부록3. 저항치 측정에 의한 온도 상승 확인표



磁性部品 設計의 基礎

발행인:구 진욱
편집인:김 성규
발행처:코리아 코일 엔지니어링(주)

139-865
서울특별시 노원구 중계3동 511-2 중계제1공단 601호
Tel:+82-2-974-7034
Fax:+82-2-974-7345

인쇄처:코리아 코일 엔지니어링(주)