

정 규 범*
조 규 형

한국과학기술원
전기및 전자공학과

서 론

유도 가열에서 전원의 동작 주파수는 가열체의 크기에 따라서 결정되며, 특히 표면처리를 하는 경우 고주파, 대전력 전원시스템이 필요하다.(2)

본 논문에서는 그림 1과 같이 고주파 전원시스템을 실현하는 데 GTO를 사용한 전압원 직렬 공진형 인버터를 구현했다.

또한, 기존의 시뮬레이션은 전류원 병렬공진형 인버터에서 일정한 입력전압에 대해 인버터 동작 주파수를 변화시켰을 때 Q(Quality factor)의 변화에 따른 소자의 전압 스트레스를 해석했다.(3)(4) 그러나, 실제의 시스템에서는 변화하는 부하에 대해 일정한 전력으로 제어할 때 소자의 전압 및 전류에 대한 변화를 해석하는 것이 인버터를 디자인하는데 더 유리하다. 또한, 고주파, 대전력의 인버터를 실현하기 위해서는 소자의 손실 (5)에

대한 고려도 아울러 해주어야 한다.

따라서 본 논문에서는 변화하는 부하 (R, Q)에 대해 인버터 주파수가 변할 때의 소자의 스트레스를 그림 2의 회로에 대해 해석하고 그 결과 가장 좋은 상태인 n(인버터 주파수와 공진 주파수의 비) ≈ 1 인 경우에 대해 실험하여 고주파, 대전력 시스템의 가능성을 제안했다.

본 론

인버터의 구성은 그림 2와 같으며, 낮은 인덕티브성 역률을 갖는다. 이를 보상하기 위해서 직렬로 콘덴서를 첨가하여 주었다. 이 때 인버터의 동작은 R, L, C 직렬 공진회로에서 발생하는 공진 전류를 이용하여 동작시켰으며, 공진주파수로 인버터를 동작시킬 경우 역률이 가장 좋다.

여기서는 인버터의 동작 주파수와 공진주파수의 비(n)에 대하여 부하의 변동에 대해서 소자의 전압 및 전류의 스트레스가 어떻게 변하는지 살펴보고

n≧1 인 경우에 대해서 실험 결과를 검토 하겠다.

1. 회로의 동작 원리

그림 2의 인버터 회로에 대해서 그림 2·b와 같은 조건에서 GTO를 스위칭 하여 일정한 전력으로 제어하는 경우, 부하가 변하는 경우에 대해서 회로를 해석할 수 있다.

결과식은 다음과 같다.

$$P_o = \frac{I_o^* R}{2(\pi + s_s - s)} (Q(1-B) - \frac{Q}{1+4Q^2} (\cos(2s_s) - B\cos(2s_s)) + 2QB\sin(2s_s) - 2Q\sin(2s)) \quad (1)$$

$$V_a = \frac{A}{(1-A)} E_d \quad (2)$$

$$i(t) = I_o^* B \sin(\omega t + s) \quad (3)$$

단,

$$A = \sqrt{B} (\cos s_s + \sin s_s / (2Q)) / (\cos s + \sin s / (2Q))$$

$$B = \exp(-(\pi + s_s - s)/Q) = (\sin s / \sin s_s)^2$$

$$I_o^* = (E_d - V_u) / (\omega L (\cos s + \sin s / (2Q)))$$

이때, 소자의 전압과 전류의 스트레스에 대해 위 식을 풀어서 그래프로 그린 것이 그림 3이다. 그래프는 n의 변화에 대해 Q=5, 10, 15, 20인 경우를 그렸다. 여기서 E_d' / \sqrt{R} , I_{DRMS} / \sqrt{R} , I_{DAV} / \sqrt{R} 은 소자의 전압 및 전류의 스트레스에 비례하는 양이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 일정한 전력에 대해 소자의 스트레스는 $1/\sqrt{R}$ 의 관계식을 갖으며 Q가 변화함에 따라 n=1인 경우는 일정하지만(Reactive 전력이 모두 Compensation) n=1인 경우에는 소자의 스트레스가 더욱 증가한다는 결론이다. 이때,

전류 스트레스가 작아지는 부분은 부하 전류가 다이오드를 통해서 흐르는 구간이 존재함을 보여준다.

이 결과는 종래의 인버터 주파수 변화에 의한 전력의 제어가 소자의 전류, 전압 정격에 불리함을 보여주며, n=1일 경우에 대해서 부하의 특성에 따른 GTO의 정격을 결정하는 데 사용할 수 있다.

또한, 위 식에서 I_o 는 스위칭시의 스위칭 손실과 관련된 양이며 I_o 가 작을수록 스위칭 손실이 개선되어 고주파, 대전력 시스템에 유리하다.

2. 실험

유도 가열용 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 실험은 2.6KW, 17KHZ에서 인버터를 동작시켰으며, 그림 4·a는 부하의 전류와 전압파형 b는 GTO의 전류와 전압파형을 나타낸다.

그림 4에서 보는 바와 같이 인버터에서 GTO의 스위칭은 R,L,C 공진전류를 sensing하여 직렬 공진에 의한 전류가 영이 되는 순간 스위칭했다.(이때 그림 4에서 스위칭 순간의 전류가 영이 되지 않는 것은 스위치의 특성이 이상적이지 않은 요인과 스너버 전류 때문이다.)

따라서, 역률이 크게 개선되고, GTO의 스위칭 손실이 작으며, 전류가 영을 crossing하므로 스위칭이 원활하다.

결론

본 논문은 직렬 공진형 인버터에 대해

n이 변함에 따라 소자의 전류 및 전압 스트레스에 대해 해석하였고, $n \approx 1$ 인 경우에 대하여 실험하여 그 주파, 대전력 시스템의 가능성을 제시했다.

실험한 인버터 시스템의 장점은 전류가 영을 지나는 순간 스위칭이 이루어져 스위칭이 원활하므로 그 주파의 실현이 가능하다는 점과 $n \approx 1$ 인 경우 인덕티브성 역률이 크게 개선되어 GTO의 전압, 전류 정격에 유리하다.

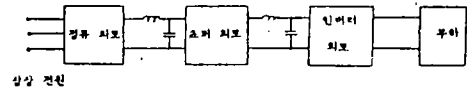
또한, 스위칭 손간의 전류가 적어 GTO의 스위칭 손실이 적으므로 대전력 시스템에 유리한 점이다.

참 고 문 헌

1. '고주파 유도 가열을 위한 새로운 방식의 직렬 공진형 GTO 인버터' 과학기술원 석사학위논문(정규범), 1986.
2. Davies.J. and Simpson.P. "Induction Heating Hand book, M. Graw-Hitt, 1979.
3. G.N.Revankar and S.A.Gadag, "Analysis of High Frequency Inverter Circuits, "IEEE Trans. vol. IECI-20.p.178-182. Aug. 1973.
4. G.N.Revankar and S.A.Gadag. "A High Frequency Bridge Inverter with Series Parallel Compensated Load, "IEEE Trans. vol. IECI-21, FEB. 1974.

5. T. Shinohe. K.Takigami and M.Azuma, "Dynamic Power Loss Modeling For Gate Turn Off Thyristor, "IPEC-TOKYO P.75-86, 1983.

그 림



상당 전원
그림 1 전체 시스템의 개요

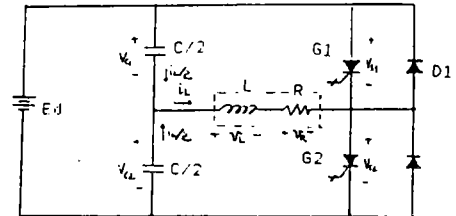


그림 2 실현한 전압인 인버터 회로

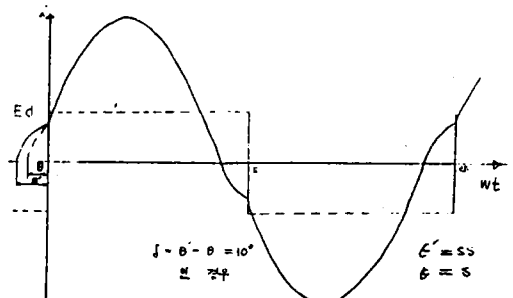


그림 2.(b) 그림2의 스위칭시 전류 파형

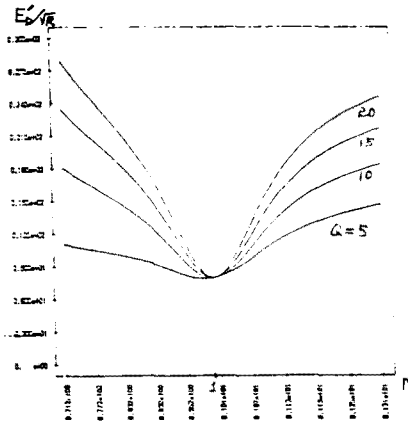


그림 3. a 소자의 전압 스트레스

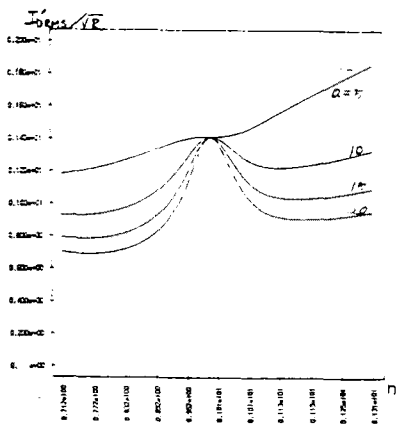


그림 3. b 소자의 전류(RMS) 스트레스

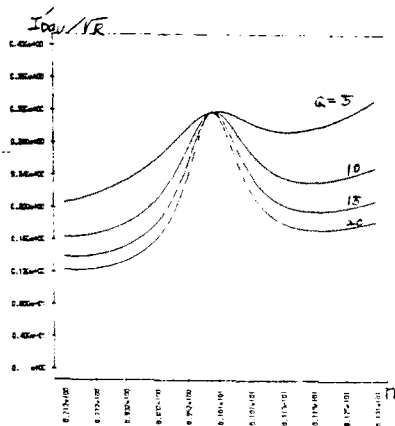


그림 3. c 소자의 전류(AV) 스트레스

그림 3. 시뮬레이션 결과

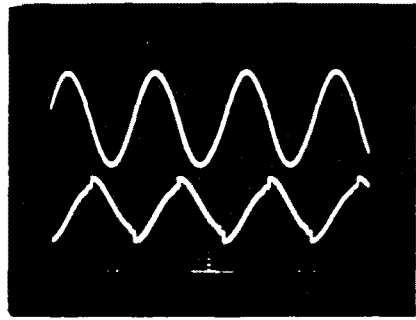


그림 4. a 부하의 전류, 전압 파형

위: 전류 12.5A/div 아래: 전압 1000V/div

세로: 20 μsec/div

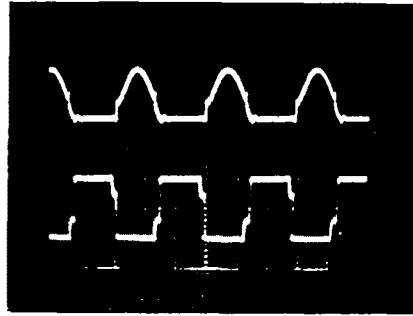


그림 4. b GTO의 전류, 전압파형

위: 전류 12.5A/div 아래: 전압 200V/div

세로: 20 μsec/div

그림 4. 실험한 결과