

4.2MW (600VDC, 7kADC) 직류 펄스 전원장치의 성능분석

(Analysis of the performance of a 4.2MW (600VDC, 7kADC)
DC pulsed power supply)

魯義哲*
(Eui-Cheol Nho)

요 약

본 논문은 펄스 형태의 출력전류를 얻기 위한 직류 전원장치의 성능분석에 관한 것이다. 직류 전원장치의 입력은 3상 3,300[V]이고 펄스 출력용량은 4.2MW(600VDC, 7kADC)이며 용도는 플라즈마의 밀폐 및 구속을 위한 전자석 구동용이다. 펄스폭이 10초인 펄스파형이 150초 주기로 출력되면서 동작함에 따라 전원장치를 구성하는 변압기와 위상제어 정류기의 용량선정시 전원장치의 성능과 설비비를 고려하여 최적화할 필요가 있다. 본 논문에서는 변압기의 용량선정시 역률과 전압강하를 고려하여 가능한 한 용량을 최소화 하였으며 선정된 변압기에 대하여 변압기의 %Z에 따른 직류 출력전압 강하, 역률, 전고조파 왜율 등의 특성을 시뮬레이션을 통하여 분석하였으며 제작된 전원장치의 실험을 통하여 분석의 타당성을 검증하였다. 특히, 전원장치의 과부하 동작시 변압기의 %Z가 출력성능에 미치는 영향에 대하여 중점적으로 시뮬레이션 하였으며 실험적으로 확인하였다.

Abstract

In this paper, the performance of a DC power supply which supplies DC pulsed output current to a magnetic coil is analyzed. The input voltage of the DC power supply is 3 ϕ 3,300[V] and output DC pulsed power is 4.2MW(600VDC, 7kADC). The interval of the pulsed output power is 150 seconds and output pulse width is 10 seconds. Therefore it is necessary that the power ratings of the transformer and phase controlled rectifier which are the main devices of the power supply should be optimised in consideration of the output performance and cost. The variations of the DC output voltage drop, power factor, and total harmonic distortion factor with the variations of %Z of the transformer is analyzed through simulation and the experimental results show the validity of the analysis. Especially, the effects of the %Z of transformer to the output performance in overload conditions are simulated and experimented.

*正會員：釜慶大學校 工大 電氣工學科 專任講師 接受日字：1996年 8月 23日

1. 서론

2000년대 핵융합발전 실현을 목표로 연구중인 열핵융합 실험장치의 플라즈마 밀폐 및 구속을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1)~5)}

핵융합 반응의 필요조건은 고온의 플라즈마가 상호 충돌할 수 있도록 충분히 가까운 거리에 있도록 하는 것이므로 인공적인 핵융합에너지를 얻기 위해서는 고온의 플라즈마를 밀폐하여 고밀도 ($2\sim 3 \times 10^{20}$ 개/ m^3)로 구속할 필요가 있다.⁶⁾ 플라즈마의 밀폐는 진공용기를 사용하여 이루어지며 진공용기 내의 플라즈마를 구속하기 위해서는 수~수십Tesla의 자장을 인가한다. 이처럼 강력한 자장을 형성하기 위해서는 수~수십(kA)의 직류 전류로 초전도 전자석을 구동한다. 그러나 아직까지는 실험단계이고 플라즈마 밀폐 제어기술이 확립되어 있지 않기 때문에 직류 전력을 연속으로 공급하지는 않고 수 초(sec)정도의 온(on) 구간과 수백 초 정도의 오프(off) 구간을 갖는 펄스 형태의 직류전력을 공급한다.^{7), 8)} 따라서 펄스 전력을 공급하기 위한 직류 전원장치를 구성하는 변압기와 위상제어 정류기의 특성이 일반적으로 연속부하에서 사용되는 AC/DC 컨버터에서와는 다르다.

최근 국내에서도 핵융합 실험장치의 기초단계에 해당하는 플라즈마 밀폐가열 장치인 「한빛」이 설치되어 실험단계에 있다. 「한빛」장치는 내부에 3~5Tesla의 자장을 형성하기 위해 32개의 수냉식 전자석 시스템으로 구동된다. 이들 전자석 시스템은 10초의 온 구간과 150초의 오프 구간을 갖는 펄스 형태의 직류전류로 구동된다.

본 논문에서는 「한빛」장치의 각 수냉식 전자석을 구동하기 위한 600VDC, 7kADC 펄스 출력용량을 갖는 직류 전원장치의 변압기와 위상제어 정류기의 특성을 분석하여 각 특성이 역률과 상용전원 전류의 고조파 및 출력전압 변동에 미치는 영향을 파악하고 이로부터 향후의 대용량 펄스 직류 전원장치의 성능개선을 위한 방안을 제시한다.

2. 펄스 직류 전원장치의 구성 및 동작 개요

그림 1은 600[V], 7[kA] 펄스 출력용량을 갖는 직류 전원장치의 주회로도를 나타낸다. 전원장치는 변압기와 6-펄스 위상제어 정류기로 구성되며 전자석 부하에 직류 전원을 공급하는 기능을 갖는다. 변압기의 1차측은 델타(delta) 결선되어 3상 3.3[kV]를 수전하고 2차측은 와이(wye) 결선되어 있으며 각 상에는 120, 180, 240, 480[V]의 탭(tap)이 인출되어 있다. 2차측에 탭을 인출한 이유는 전원장치의 부하설비인 수냉식 전자석의 용량에 따라 역률을 최대로 하기 위한 것이다.

위상제어 정류기는 환류다이오드(D_F)가 있는 삼상 전파형으로서 냉각방식은 수냉식이다. 분압기로 검출된 출력전압은 절연 증폭기에 의해 전기적으로 절연되어 제어장치로 입력되고 출력전류는 홀소자(HCT)로 검출되어 입력된다. 제어장치에 입력되는 전류기준치는 폭이 10초이고 주기가 150초인 펄스 형태이며 펄스파형은 상승과 하강 시간이 각각 4초이고 일정값 지속 시간이 2초인 사다리꼴이다.

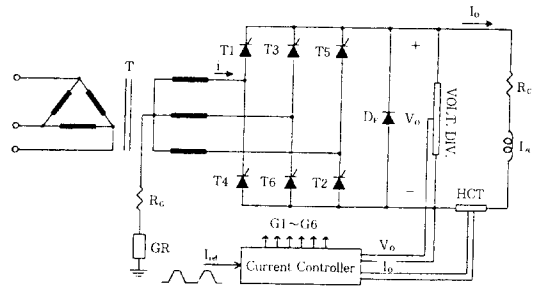


그림 1. 펄스 직류 전원장치 시스템
Fig. 1. Pulsed DC power supply system

3. 성능 분석

3.1 변압기 용량 산정

전원장치의 최대 펄스전류는 7[kA]이다. 따라서 변압기 2차측의 480[V] 단자에서 최대부하를 공급할 경우 변압기의 용량 S는

$$S = \sqrt{3}VI = \sqrt{3} \times 480[V] \times 7000[A] \times \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$= 4.75[MVA] \quad (1)$$

이다. 그런데, 본 전원장치의 운전은 연속이 아니고 펄스폭이 10초인 펄스 형태로 150초 간격으로 이루어지므로 열적 온도상승 측면에서 보면 변압기의 용량을 4.75[MVA]로 할 필요는 없다. 전원장치의 운전율로부터 열적 온도상승 측면을 고려하여 변압기 용량을 결정한다면, 변압기의 철손과 동손의 비율에 따라 차이는 있지만 316[kVA]~4.75[MVA] 즉, 변압기 최대 용량의 6.7~100[%] 사이에서 정해진다.

그러나 온도상승 측면만 고려하여 변압기 용량을 최소로 정하면 전원장치의 펄스 출력시 발생하는 전압강하와 역률감소가 매우 커지므로 전원

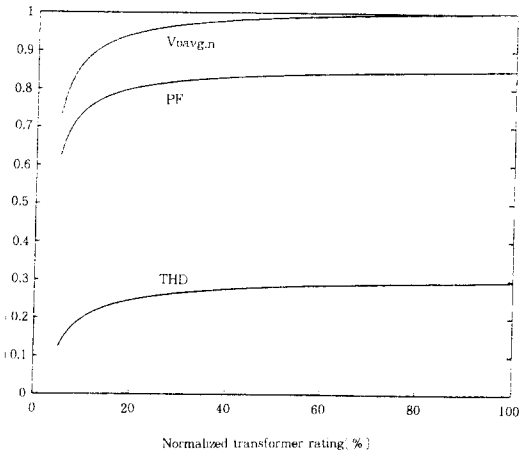


그림 2. 변압기 용량에 따른 전원장치의 출력전압 평균값, 역률 및 전고조파왜율

Fig. 2. $V_{avg,n}$, PF, and THD of the power supply with the variation of the transformer power rating

표 1. 변압기의 주요 사양

Table 1. Major specification of the transformer

| 용 량 | 750(kVA)(연속정격) |
|----------|--------------------|
| 정격 1차 전압 | 3300[V] |
| 정격 2차 전압 | 120/180/240/480[V] |
| 주파수 | 3상, 60[Hz] |
| %Z | 2.5[%] |
| 무부하 손실 | 8[kW]이하 |
| 효율 | 98.5[%]이상 |
| 결선방식 | delta-wye |
| 냉각방식 | 자연 공냉식 |

장치의 성능이 크게 떨어진다. 그림 2는 변압기 용량에 따른 전원장치의 출력전압 평균값($V_{avg,n}$), 역률(PF) 및 전고조파왜율(THD)을 나타낸 것이며 각각은 식 (2), (9) 및 (11)로부터 구해진다.

그림 2에서 변압기 용량은 4.75[MVA]를 100%로 하였으며, $V_{avg,n}$ 은 변압기 용량이 4.75[MVA]이고 부하전류가 7[kA]일 때의 직류 출력전압 평균값을 기준으로 정규화한 값이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 변압기의 용량이 4.75[MVA]의 10~15[%] 이하가 되면 $V_{avg,n}$ 과 PF가 급격히 감소한다. 따라서, 변압기의 온도상승과 전원장치의 역률 및 전압강하를 고려하여 변압기 용량을 4.75[MVA]의 16[%] 정도로 해서 750[kVA]로 한다.

표 1은 변압기의 주요사양을 나타낸다. 표 1에서 일반 변압기와 다른 점은 변압기의 용량과 %Z 값이다. 연속부하에서 사용되는 일반 변압기의 %Z가 4~6[%]임에 비해 2.5[%] 정도로 최소화한다.

3.2 출력전압 강하

그림 1에서 변압기와 배선의 임피던스에 의한 전압강하와 SCR사이리스터의 온상태 전압강하를 고려하여 출력전압의 평균값 V_{avg} 를 구하면 다음 식과 같다.

$$V_{avg} = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \cos\alpha - \left\{ 2(R_T + R_l) + \frac{3}{\pi}\omega L_s \right\} I_o - 2V_T$$

$$(0 \leq \alpha < \frac{\pi}{3}) \quad (2)$$

여기서,

V : 변압기 2차측 선간전압

α : 위상제어 정류기의 지연각(delay angle)

R_T : 변압기 상당 등가저항

R_l : 변압기와 위상제어 정류기간의 배선 저항

I_o : 위상제어 정류기 직류 출력전류

L_s : 변압기의 누설 인덕턴스(L_T) + 배선의 교류 인덕턴스(L_l) 단, $L_T \gg L_l$

V_T : SCR의 온상태 전압강하

식 (2)에서 R_T 는 전류의 크기에 따라 저항에서 발생하는 주울열에 의한 온도상승으로 값이 변하는데 본 전원장치에서는 펄스출력시 변압기 정격

전류의 3~6배 과전류가 흐르므로 온도상승을 충분히 고려하여야 한다. 변압기 권선부의 대기 중에 대한 열저항을 Θ 라 하면 I_0 의 부하전류가 흐를 경우 권선의 온도상승 ΔT 는

$$\Delta T = 3 \left(\sqrt{\frac{2}{3}} I_0 \right)^2 R_T \Theta \quad (3)$$

이고 20[°C]에서의 권선 저항값을 R_{20} 이라 하면 R_T 는

$$R_T = R_{20}(1 + \alpha_{20}\Delta T) \quad (4)$$

이다. 식 (4)에서 α_{20} 은 20[°C]에서 권선저항의 온도계수이며 동(Cu)의 경우 0.00392/[°C]이다.

그림 3에서 $V_{avg,n}$ 은 식 (2)의 V_{avg} 를 $\frac{3\sqrt{2}V}{\pi}$ 로 나누어 정류화한 값으로 최대부하 조건에서 지연각 α 의 변화에 대한 출력전압 평균값이 변압기의 %Z에 따라 변화하는 경향을 나타낸다. 변압기의 %Z는

$$\%Z = \sqrt{(\%R_T)^2 + (\%\omega L_T)^2} \quad (5)$$

으로서 주로 ωL_T 에 의해 결정된다. 시뮬레이션에 사용된 각 변수들은 다음과 같다.

$$R_{20} = 0.34[m\Omega], \quad \Theta = 0.0294[^\circ C]/W,$$

$$R_T = 0.69[m\Omega]$$

$$V = 83 \times 10^{-6} I_0 + 1.0(SCR : 5STP27L1800)$$

그림 3(a)는 750[kVA] 변압기가 정격부하로 운전될 때의 출력전압 평균값을 나타내는데 변압기의 %Z가 0~6[%] 범위에서 가변할 때 출력전압 평균값은 0~3.3[%] 정도 변한다.

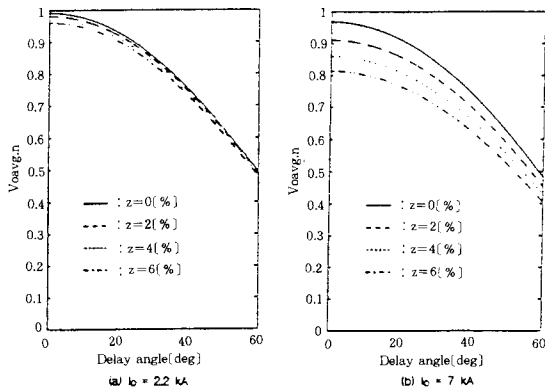


그림 3. 변압기의 %Z와 지연각 α 의 변화에 대한 출력전압 평균값의 변화
Fig. 3. Variation of output average voltage with the variations of the transformer %Z and delay angle α

지연각 α 를 0~60° 범위로 한정된 것은 위상제어 정류기 출력전압이 연속모드인 경우만 고려하였기 때문이다. 변압기 2차측에 120, 180, 240, 480[V]의 탭이 있으므로 부하의 전압과 전류용량에 따라 주로 연속모드 동작이 되도록 변압기 2차측 전압을 설정한다. 그림 3(b)는 750[kVA]용량의 변압기로 약 4.2[MW](600[V], 7[kA])의 위상제어 정류기 부하를 구동할 경우 정류화한 출력전압 평균값을 나타낸다. 이 경우는 변압기의 %Z가 0~6[%] 범위로 가변할 때 출력전압 평균값은 0~15.6[%] 정도 변한다.

3.3 역률

위상제어 정류기 입력전원에 포함된 인덕턴스 성분에 의하여 정류기를 구성하는 SCR의 턴온, 턴오프시 중복(overlap)이 발생하며 이때 해당 선전류의 상승과 하강은 각각 다음과 같다.

$$i = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}V}{2\omega L_s} \{ \sin(\alpha + \omega t) - \sin\alpha \}, & \text{(턴온되는 SCR의 선전류 상승시)} \\ I_0 - \frac{\sqrt{2}V}{2\omega L_s} \{ \sin(\alpha + \omega t) - \sin\alpha \} & \text{(턴오프 되는 SCR의 선전류 하강시)} \\ \text{단, } (\alpha \leq \omega t < \alpha + u) \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)에서 중복각 u 는 다음식으로부터 구한다.

$$\cos(\alpha + u) + \frac{2I_0(R_T + R_1)}{\sqrt{2}V} u = \cos\alpha - \frac{2\omega L_s I_0}{\sqrt{2}V} \quad (7)$$

식 (7)을 근사적으로 선형화하여 정류기 입력 선

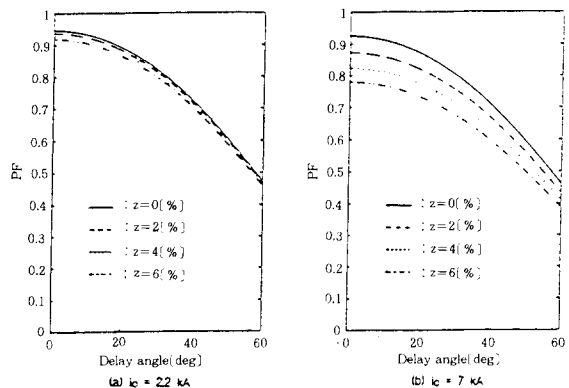


그림 4. 변압기의 %Z와 지연각 α 의 변화에 대한 역률의 변화
Fig. 4. Variation of PF with the variations of the transformer %Z and delay angle α

전류의 실효치 I 를 구하면

$$I = I_0 \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{4}{3} \times \frac{u}{180}}, \quad (0 \leq \alpha < \frac{\pi}{3}) \quad (8)$$

이다. 따라서 역률 PF는

$$\begin{aligned} PF &= \frac{V_{oavg} I_0}{\sqrt{3} VI} \\ &= \frac{V_{oavg}}{\sqrt{3} V \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{4}{3} \times \frac{u}{180}}}, \quad (0 \leq \alpha < \frac{\pi}{3}) \end{aligned} \quad (9)$$

이다. 식 (9)로부터 변압기의 %Z와 지연각 α 의 변화에 대한 역률의 변화를 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4에서 (a)는 750[kVA] 변압기가 정격 부하에서 동작할때의 역률을 나타내며 (b)는 750 [kVA] 변압기로 4.2[MW]의 위상제어 정류기 부하를 구동할 경우의 역률을 나타낸다. 출력전압 평균값 강하에서와 마찬가지로 변압기의 %Z가 0~6[%]로 증가하면 역률은 그림 4(a)의 경우는 0~3.1[%], 4(b)의 경우는 0~14.5[%] 감소한다.

3.4 전고조파왜율(THD)

위상제어 정류기의 입력전원에 포함된 인덕턴스 성분으로 인하여 입력 선전류가 구형파가 아닌 사다리꼴로 됨에 따라 역률과 출력전압은 감소하지만 입력 선전류의 고조파 성분은 오히려 줄어들어 전고조파왜율이 감소하는 잇점이 있다.

식 (6)에서 주어진 전류를 근사적으로 선형화하여 입력 선전류를 푸리에 전개하여 기본파 성분의 실효치 I_1 을 구하면

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{4}{\sqrt{2}\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{3} - \frac{u}{2}} I_0 \cos \omega t d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{3} - \frac{u}{2}}^{\frac{\pi}{3} + \frac{u}{2}} \left\{ \frac{I_0}{u} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{u}{2} \right) - \frac{I_0}{u} \omega t \right\} \cos \omega t d(\omega t) \right] \\ &= \frac{4\sqrt{3}I_0}{\sqrt{2}\pi u} \sin \frac{u}{2}, \quad (u \neq 0) \end{aligned} \quad (10)$$

이다.

식 (8)과 (10)으로부터 전고조파 왜율 THD는

$$\begin{aligned} THD &= \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} \\ &= \frac{\sqrt{\frac{2}{3} - \frac{4u}{3\pi} - \left(\frac{4\sqrt{3}}{\sqrt{2}\pi u} \sin \frac{u}{2} \right)^2}}{\frac{4\sqrt{3}}{\sqrt{2}\pi u} \sin \frac{u}{2}}, \quad (u \neq 0) \end{aligned} \quad (11)$$

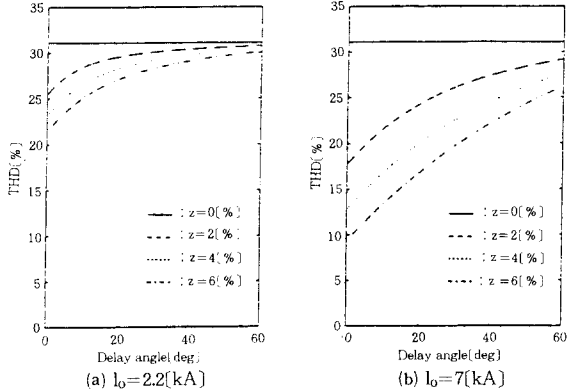


그림 5. 변압기의 %Z와 지연각 α 의 변화에 대한 전고조파왜율의 변화
Fig. 5. Variation of THD with the variations of the transformer %Z and delay angle α

이다. u 가 0일 경우는 이상적인 경우이며 이때의 THD는

$$\begin{aligned} THD &= \frac{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{2}{3}} I_0 \right)^2 - \left(\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{2}\pi} I_0 \right)^2}}{\frac{2\sqrt{3}I_0}{\sqrt{2}\pi}} \\ &= \frac{\sqrt{\frac{2}{3} - \frac{6}{\pi^2}}}{\frac{\sqrt{6}}{\pi}} \end{aligned} \quad (12)$$

이다.

식 (11)과 (12)로부터 전고조파왜율이 지연각 α 와 변압기의 %Z에 따라 변화하는 경향을 나타내면 그림 5와 같다. 변압기의 %Z가 0이면 이상적인 경우로서 중복구간이 존재하지 않으므로 입력 선전류는 구형파이다. 즉, 지연각이나 부하의 크기에 무관하게 전류 파형이 구형파로 일정하므로 THD는 31.08[%]로서 일정하다. 그림 5(a)는 750 [kVA] 정격 부하시의 THD이고 5(b)는 4.2[MW]의 부하를 구동하는 경우의 THD를 나타낸다.

4. 실험 및 결과고찰

변압기의 %Z가 클수록 역률이 감소하고 정류기 출력전압 평균값이 작아지므로 가능한한 변압기의 %Z를 작게 할 필요가 있다. 750[kVA] 용량

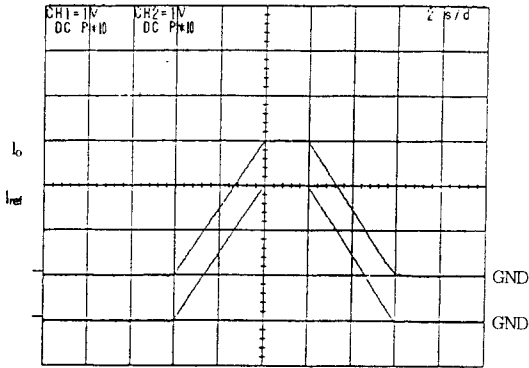
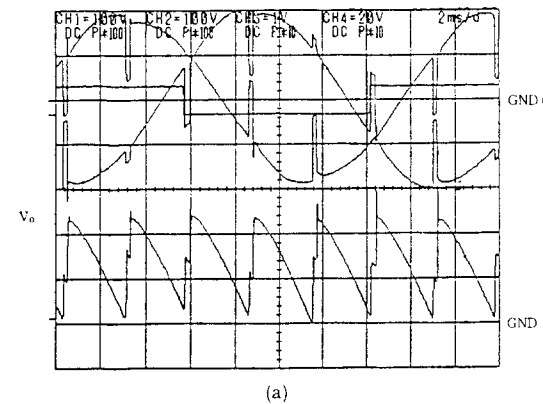
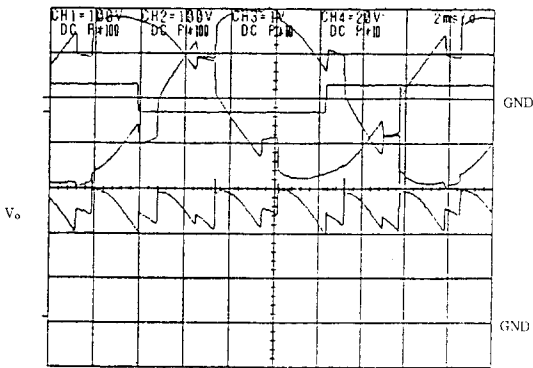


그림 6. 출력전류 지령과 출력전류 파형(1 : 1kA/div, time : 2sec/div.)
 Fig. 6. Output current command and output current waveform(1 : 1kA/div, time : 2sec/div.)



(a)



(b)

그림 7. 입력 상전압과 출력전압 파형(V : 100V/div, time : 2ms/div.)
 Fig. 7. Input phase voltages and output voltage waveform(V : 100V/div, time : 2ms/div)

의 변압기로 최대 4.2[MW]의 위상제어 정류기 부하를 구동함에 따라 변압기의 %Z는 펄스 전원장치의 성능에 미치는 영향이 크다. 일반 변압기의 %Z는 약 5[%] 정도이지만 본 전원장치에 사용된 변압기는 2.5[%]의 %Z를 갖도록 설계하였다. 그러나 2차측 권선에서 4개의 탭을 1800(12×150)[mm²]의 부스바로 인출함에 따라 권선의 구조가 복잡하여 실제 제작된 변압기의 %Z는 측정결과 2.9[%]이었다.

실험에 사용된 부하는 정격전류가 4.5[kA]인 전자석으로서 코일의 R_c는 0.057[Ω], L_c는 65[mH]이다. 위상제어 정류기의 입력은 변압기 2차측 탭의 240[V] 단자로 하였으며 전원장치의 제어기는 P-I 제어기로 구현하였다.

그림 6은 전류지령에 따라 출력전류가 원하는 대로 제어되어 출력됨을 보이고 있다. 그림 6에서 출력전류의 최대값은 3[kA]이며 2초간 지속되고 있다. 그림 7에서 (a)는 출력전류가 2.5[kA]일 때, (b)는 4.4[kA]일 때의 입력 선간전압과 출력전압 파형을 나타낸다. 그림 8은 부하전류가 0~4.5[kA]로 변할 때 출력전압 평균값의 계산값과 실험값을 나타낸 것이다.

750[kVA] 변압기의 2차측 정격전류는 $750 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 240) = 1804$ [A]이므로 부하전류가 2210[A] 이하인 경우는 변압기 용량을 초과하지 않으므로 계산값과 실험값이 거의 일치한다. 그러나 2210[A] 이상이 되면 변압기의 정격 용량을 초과하여 과부하 상태가 되어 실험값이 계산값보다 10~13[%] 정도 작다. 과부하의 정도가 심할수록 실험값과 계산값과의 차이는 증가하는데 이것은 전류가 커짐에 따라 변압기 권선에서 근접효과에 의해 권선의 등가저항값이 증가하고 또한 누설자속이 증가하기 때문인 것으로 분석된다. 실험에서 사용한 변압기는 원통형 동심 배치 권선 구조를 갖는다. 원통형 동심 배치권선변압기의 과부하시 등가저항값과 누설자속의 증가분을 정량적으로 표현하기는 매우 어렵지만 실험적으로 측정된 값은 증가의 정도와 경향을 파악하여 대용량 펄스 전원장치용 변압기의 설계 및 제작에 중요한 자료로 활용되리라 기대된다.

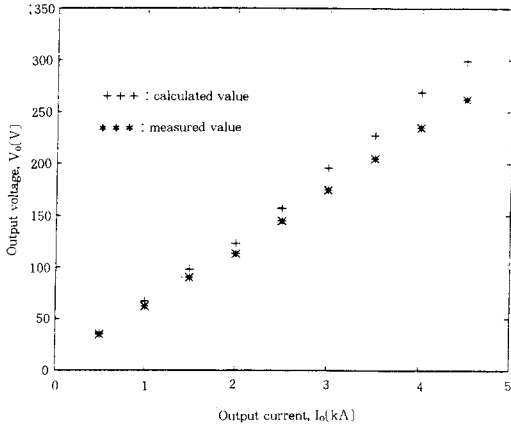


그림 8. 출력전압 평균값의 계산값과 측정값
 Fig. 8. Calculated and measured values of output average voltage

5. 결 론

본 논문에서는 플라즈마를 밀폐, 구속하기 위한 전자석 구동용 대용량 펄스 직류전원장치에서 변압기와 위상제어 정류기의 특성이 전체 성능에 미치는 영향을 중점적으로 파악하였다.

직류 펄스 전원장치의 최대 출력은 4.2(MW) (600[V], 7[kA])이지만 펄스폭이 10초인 펄스 형태 출력이 150초 간격으로 발생하므로 변압기의 용량을 열적 온도상승 측면을 고려하면 4.75 [MVA]보다 훨씬 작게 할 수 있다. 그러나 변압기 용량이 줄어들면 변압기의 %Z에 의한 전압강하와 SCR로 구성된 위상제어 정류기의 스위칭시 발생하는 중복기간에 의한 전압강하 및 역률저하 등의 문제가 있으므로 변압기의 열적 온도상승과 전원장치 출력 전압강하 및 역률 등을 고려하여 변압기의 용량을 결정한다. 역률 등을 고려한 시뮬레이션 결과를 토대로 변압기의 용량을 750[kVA]로 하였다. 변압기의 %Z를 최소화 할수록 역률이 개선되고 출력전압 강하가 줄어들게 되므로 변압기의 %Z를 2.5[%]까지 줄이는 것을 목표로 설계, 제작하였다. 그러나 750[kVA] 용량의 변압기 2차측저압부에 120, 180, 240, 480

[V]의 4개의 탭이 인출됨에 따라 2차측 권선이 구조적으로 비대칭이 되어 변압기의 %Z는 측정결과 2.9[%]이었다.

변압기의 2차측 240[V] 단자를 위상제어 정류기의 입력으로 하여 4.5[kA]의 펄스 출력전류를 흘리면 무부하일 경우보다 출력전압이 약 19 [%] 감소한다. 또한, 4.5[kV] 출력시 변압기의 %Z가 이상적으로 0인 경우에 비해 역률은 약 3.5 [%] 감소한다. 그러나, 입력전류의 고조파 측면에서는 오히려 유리하게 작용하여 전고조파 왜율은 33.8[%] 정도 줄어든다.

이상 시뮬레이션과 실험결과를 토대로 직류 펄스 전원장치에 대한 성능을 분석하여 정리하면 다음과 같다.

- 1) 변압기의 운전율과 전압강하, 역률, 고조파 및 설비비 등을 고려하여 변압기 용량을 최대 펄스 출력용량의 16[%] 정도로 선정한다.
- 2) 변압기의 %Z가 증가할수록 역률과 출력전압 평균값은 감소하여 2.9[%]일 경우 최대 펄스 출력시 역률은 8.4[%], 출력전압 평균값은 9.2 [%] 감소한다.
- 3) 연속부하일 경우와는 달리 과부하 대전류 펄스 출력시 전원장치의 출력특성은 특히 변압기의 %Z에 좌우되므로 변압기의 %Z를 가능한 한 최소로 한다.
- 4) 교류입력 전원측 전류의 고조파 측면에서는 %Z가 클수록 유리하며 2.9[%]일 경우 최대 펄스 출력시 THD는 약 50[%] 정도 줄어든다.
- 5) 교류 전원과 변압기 및 SCR 정류기 간의 배선 길이를 최단으로 하여 표류 인덕턴스 및 권선저항에 의한 전압강하를 최소화 한다.
- 6) 최대 펄스 출력시 변압기 권선의 임피던스 증가에 의한 전압강하는 약 13[%] 정도이다.

참 고 문 헌

- 1) Madhavan M. Menon, "Neutral Beam Heating Applications and Development", proc. of The IEEE, Vol. 69, No. 8, pp. 1012-1029, 1981.
- 2) A. Nudelman, R. Goldston, R. Kaita, "The fast in diagnostic's neutral beam injector on the poloidal divertor experiment", J. Vac. Sci. Tech., Vol. 20, No. 4, pp.

- 1218-1221, 1982.
- 3) Y. Matsuzaki, "JT-60 Power Supplies and Possible Application to Fusion Reactor", proc. of IPEC, pp. 882-887, 1995.
 - 4) Kuchinski V., Bulgakov S., Larionov B., Mikhailov N., silin VI, Soikin V., "Power Supply Systems of Russian Fusion Installations", proc. of IPEC, pp. 893-898, 1995.
 - 5) M.P.J. Gandrean, M.S.Shuster, V.J. Berkman, P. Thomas, "The TARA 24 MVA Magnet System", Proc. of the 14th Symp. on Fusion Tech. Vol. 2, pp. 1749-1758, 1986.
 - 6) E. Bertolini, T. Bonicelli, D. Chiron, A. Santaguiustina, "Power Electronics Systems at JET objectives and Operational Experience", proc. of IPEC, pp. 875-881, 1995.
 - 7) PL. Mondino, B Bareyt, I Benfatto, M Matsukawa, A Roshal, "The ITER Tokamak and Its Power Supply", proc. of IPEC, pp. 867-874, 1995.
 - 8) Chikaraish H., Yamada S., Tanahashi S., Kitagawas., Satow T., Yamamoto J., Motojima O., "DC power system for Superconducting Magnets of LHD", proc. of IPEC, pp. 904-909, 1995.

◇ 著 者 紹 介 ◇



노 의 철(魯義哲)

1960年 8月 2日生. 1984년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1991~1992년 (주)청계기전 부설기술연구소 연구실장. 1992~1995년 (주)파워테크 부설기술연구소 연구소장. 1995~현재 부경대학교 공과대학 전기공학과 전임강사.