

단상PWM승압정류기에서의 파라미터결정에 대한 한가지 방법

정향남, 리덕종

전력변환은 최근년간 축전지충전, 안정된 전압원천, UPS체계 등 여러가지 전력전자용에서 매우 중요하다.

선행연구[3]에서는 AC-DC변환에 피동기술 즉 출구에 피동력파기들을 설치하는 기술을 리용하였다. 이러한 정류기들의 입구전류에는 조화파가 포함되는데 조화파전류이지러짐은 전압이지러짐을 발생시키게 된다.

PWM을 리용한 승압정류기에서는 이러한 결함들을 극복하고 입구전압과 출구부하의 변화에 따라 좋은 동적응답을 제공한다.[1, 2]

논문에서는 이러한 PWM승압정류기의 한가지 형태에 대한 구체적인 파라미터결정방법을 제안하였다.

1. PWM승압정류기의 모의조종기설계

PWM승압정류기는 PWM조종에 의하여 절환되는 전력스위치가 열리면 에너르기가 유도선륄에 축적되고 전력스위치가 닫기면 에너르기가 입구전원에 중첩되어 출력되므로 입구전압보다 출구전압이 높게 되는 정류기이다.

PWM승압정류기를 모의조종기설계에 맞게 등가회로로 변환하면 그림 1과 같다.

그림 1에서 V_p 는 평균화된 극전압, I_g 는 평균화된 입구전륄, L 은 유도선륄, v_g 는 입구전압, R_e 는 무손실저항, R_s 는 전륄수감증폭도, I_0 은 부하전륄, R_0 은 부하저항이다.

극전압 V_p 는 출구전압 V_{dc} 와 스위치충만비 D 의 함수로서 다음식으로 표시할수 있다.

$$V_p = f_1(V_{dc}, D) \quad (1)$$

모의조종의 목적은 식 (2)에서의 무손실저항 R_e 와 같이 동작하는 승압정류기의 입구단을 만드는데 있다.

$$V_p = I_g R_e \quad (2)$$

$$\cos \theta = \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R_e} \right) \right] \quad (3)$$

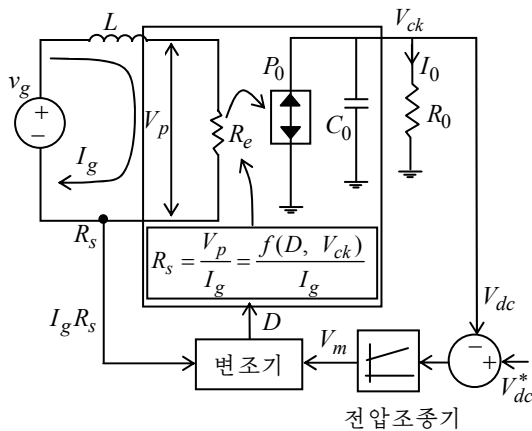


그림 1. 승압정류기의 등가회로

X_L 이 R_e 에 비하여 충분히 작다면 력률은 거의 1과 같게 되며 평균화된 극전압 V_p 는 전압 v_g 와 거의 같게 된다.

$$V_p = I_g R_e \approx v_g \quad (4)$$

이로부터 무손실저항 R_e 가 소비하는 전력은 전부 정류기의 출구로 전달된다.

그림 1에서 전압조종기는 부하와 입구전압변화에서도 DC전압을 기준전압 V_{dc}^* 로 유지하도록 한다.

전압조종기의 출력 V_m 은 다음과 같이 표시된다.

$$V_m = \frac{V_{dc} R_s}{R_e} \quad (5)$$

식 (1), (4), (5)로부터 다음식을 얻을수 있다.

$$D = f_2(V_{dc}, V_m, I_g) \quad (6)$$

따라서 조종규칙은 다음과 같다.

$$V_p = f_1(V_{dc}, D) = (1-D)V_{dc} \quad (7)$$

$$D = 1 - \frac{I_g R_s}{V_m} \quad (8)$$

2. 파라미터결정

입구전압 v_g 와 입구전류 I_g , 표준화된 입구전압 m_g 가 다음과 같이 표시된다고 하자.

$$v_g = V_{gm} \sin \omega t \quad (9)$$

$$I_g = \frac{v_g}{R_e} = I_{gm} \sin \omega t \quad (10)$$

$$m_g = \frac{v_g}{V_{dc}} = M_g \sin \omega t \quad (11)$$

여기서 $\omega = 2\pi f$, $M_g = \frac{V_{gm}}{V_{dc}}$ 이다. (V_{gm} : 최대입구전압, I_{gm} : 평균화된 입구전류의 최대값)

이제 내부손실을 무시한다면 입출구전력방정식은 다음과 같다.

$$P_0 = \frac{V_{gm}^2}{2R_e} = V_{dc} I_0 = \frac{V_{dc}^2}{R_0} \quad (12)$$

선류전류 i_g 에 대한 맥동전류 Δi_g 는 다음과 같다.

$$\Delta i_g = f_3(V_{dc}, m_g, L)DT_s \quad (13)$$

$$\frac{\Delta i_g}{DT_s} = f_3(V_{dc}, m_g, L) = m_g \frac{V_{dc}}{L} \quad (14)$$

$$\Delta i_{g(\max)} = \frac{V_{dc}}{4Lf_{sw}} \quad (15)$$

여기서 f_{sw} 는 스위칭주파수, T_s 는 스위칭주기이다.

이로부터 승압단 유도선류 L 은 다음과 같이 선택할수 있다.

$$L = \frac{M_g V_{dc}^2}{8P_0 f_{sw} \left(\frac{\Delta i_{g(\max)}}{I_{gm}} \right)} \quad (16)$$

그림 1에서 보여준 승압정류기에 대하여 콘덴샤전류 I_c 는 다음과 같이 표시된다.

$$I_c = f_4(M_g, \omega t) I_0 = -\cos(2\omega t) I_0 \quad (17)$$

출구전압의 맥동은 다음과 같다.

$$\tilde{v}_{dc} = \frac{1}{\omega C_0} \int I_c d\omega t = \left(\frac{-V_{dc}}{2\omega C_0 R_0} \right) \sin 2\omega t \quad (18)$$

출구전압에서의 맥동 Δv_{dc} 는 다음과 같다.

$$\Delta v_{dc} = \frac{V_{dc}}{\omega R_0 C_0} \quad (19)$$

따라서 출구단 직류콘덴샤 C_0 은 다음과 같이 얻을수 있다.

$$C_0 = \frac{P_0}{\omega V_{dc}^2 \left(\frac{\Delta v_{dc}}{V_{dc}} \right)} \quad (20)$$

입구측 평균전압과 출구측의 평균전류는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$V_L = v_g - \left(\frac{I_g R_s}{V_m} \right) V_{dc} \quad (21)$$

$$I_d = \frac{I_g^2 R_s}{V_m} \quad (22)$$

웃식들을 리용한 모형은 비선형적이다.

이제 선형화된 미소신호모형을 고찰해보자.

식 (21)과 (22)는 다음과 같이 선형화된 식으로 표시할수 있다.

$$\hat{v}_L(s) = \hat{v}_g - R_e \hat{i}_g(s) - m_g \hat{v}_{dc}(s) + (m_g R_e / R_s) \hat{v}_m(s) \quad (23)$$

$$\hat{i}_d(s) = 2m_g \hat{i}_g(s) - (m_g^2 / R_s) \hat{v}_m(s) \quad (24)$$

식 (23), (24)에 기초한 모형은 그림 2와 같다.

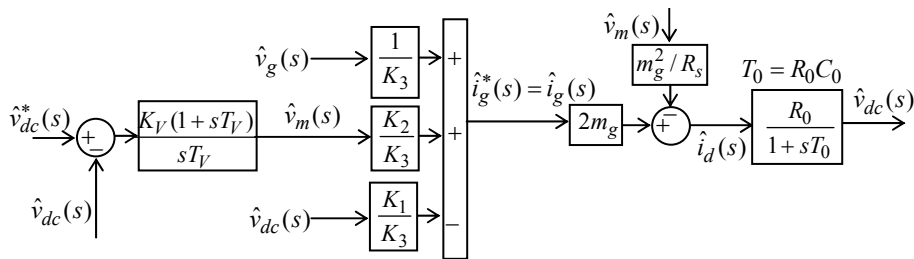


그림 2. 승압정류기의 미소신호모형

그림 2에서 K_V , T_V 는 전압조종기파라메터, $K_1 = m_g$, $K_2 = \frac{m_g R_e}{R_s}$, $K_3 = R_e$ 이다.

그림 2를 전달함수형태로 고찰하면 그림 3과 같다.

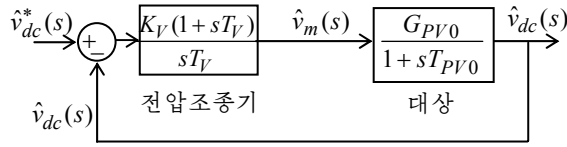


그림 3. 승압정류기의 전압조종체계

대상의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_{PV}(s) = \frac{\hat{v}_{dc}(s)}{\hat{v}_m(s)} = \frac{G_{PV0}}{1+sT_{PV0}} \quad (25)$$

$$G_{PV0} = \frac{m_g^2 R_0 / R_s}{1 + 2m_g^2 R_0 / R_e} \quad (26)$$

$$T_{PV0} = \frac{R_0 C_0}{1 + 2m_g^2 R_0 / R_e} \quad (27)$$

조종기의 파라미터 T_V 는 $T_V = T_{PV0}$ 으로 선택한다.

다음으로 파라미터 K_V 가 커지면 입구전류의 이치러짐이 커지게 되므로 입구전류 이치러짐에 따라 알맞게 선택하여야 한다.

출구전압의 맥동이 전압조종기에서 처리된다면 출구전압은 기준전압과 같게 된다.

$$V_{dc} = V_{dc}^* + \tilde{v}_{dc} \quad (28)$$

입구전류 I_g 는 출구전압맥동이 없다면 $I_g = \frac{v_g}{R_e}$ 이다. 그러나 출구전압에는 반드시 맥동이 존재하므로 안정상태에서의 입구전류는 다음과 같이 표시된다.

$$I_g \approx \frac{v_g}{R_e} [1 + 2I_2 \sin 2\omega t] = I_{gm} [\sin \omega t + I_2 \cos \omega t - I_2 \cos 3\omega t] \quad (29)$$

여기서 $I_2 = \frac{K_V R_e}{4\omega C_0 R_0 R_s}$ 이다.

고조파이치러짐은 입구전류의 THD를 증가시킨다. 이치러짐항은 K_V 에 따라 조종된다.

3. 실험 결과

제안한 방법에 따라 설계제작한 단상승압정류기의 파라미터들은 다음과 같다.

- 정격출구전력 P_0 : 3kW
- 정격입구전압 V_g : 220V
- 정격출구전압 V_{dc} : 360V
- 선주파수 f : 50Hz
- 스위칭주파수 f_{sw} : 10kHz
- 전류수감증폭도 R_s : 0.5Ω
- $\Delta i_{g(max)} / I_{gm}$: 0.1

$$-\Delta v_{dc(max)}/V_{dc} : 0.04$$

이로부터 L 과 C_0 은 다음과 같이 계산된다.

$$L = \frac{M_g V_{dc}^2}{8P_0 f_{sw} \left(\frac{\Delta i_{g(max)}}{I_{gm}} \right)} \approx 1.73(\text{mH}), \quad C_0 = \frac{P_0}{\omega V_{dc}^2 \left(\frac{\Delta v_{dc}}{V_{dc}} \right)} \approx 4935(\mu\text{F})$$

$$\text{력률: } \cos \theta = \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R_e} \right) \right] = 0.99$$

$$\text{조종기의 파라미터: } T_V = T_{PV0} = \frac{R_0 C_0}{1 + 2m_g^2 R_0 / R_e} \approx 0.04(\text{s})$$

고조파이지러짐(THD) I_2 와 조종기의 파라미터 K_V 사이관계로부터 THD가 3%인 경우 파라미터 $K_V = 0.06$ 으로 설정되었으며 THD가 5%미만일것을 요구하는 장치제작상 요구와 력률제고의 요구를 만족시킨다.

맺는 말

논문에서는 단상승압정류기에 대하여 력률을 높일수 있는 조종기를 설계하고 조종기에 따르는 파라미터들을 구체적으로 결정하는 방법을 확립하였다.

참고 문헌

- [1] N. E. Prasad; IEEE Trans. on Industry Applications, **39**, 5, 1379, 2003.
- [2] Z. Lai et al.; IEEE Trans. on Power Electronics, **13**, 3, 181, 1998.
- [3] Nathabhat Phankong; Energy Procedia, **56**, 574, 2014.

주체106(2017)년 11월 5일 원고접수

A Method for Selection of Parameter of Single-Phase PWM Boost Rectifier

Jong Hyang Nam, Ri Tok Jong

In this paper, a control scheme with high power factor has been proposed for single phase boost rectifier. And according to this control scheme, the specific selection method for parameters has been proposed.

Key words: boost rectifier, voltage control system