

태양광 전력설비를 위한 오차 보상기 사용의 전력변환기기에 대한 응답특성의 효과 검증

Response Characteristics Effectiveness of Power Converter According to Using of Error Compensator for PV Power System

김 동 은* · 이 현 재* · 손 진 근*

(Dong-Eun Kim · Hyun-Jae Lee · Jin-Geun Shon)

Abstract - In this paper, the improvement of the control response by using the error compensator to improve the stability of the control in the power conversion system is verified. Typically a closed loop control method is used to improve the control response characteristics in a traditional power conversion system and this is accomplished by generating a PWM waveform. In this paper, the newly constructed Type3 compensator to overcome the existing such as PI controller or Type2 compensator has been developed to improve the control stability of these closed loop control systems and the effectiveness of the use of error compensation devices was verified by presenting technique to improve stability and select its parameters by expanding the range of phase gains. Stability improvements are shown by the extension of the phase gain range and parameter selection techniques and the effects of using the error compensation device are verified accordingly.

Key Words : Control stability, Error compensator(Type 2, Type 3), Power conversion system, PWM waveform.

1. 서 론

전 세계적으로 화석연료의 과다사용으로 인한 부작용으로 고유가가 지속되고 있음과 동시에 환경문제가 동반되고 있으며 이를 해결하는 과제가 주요 이슈로 부각되고 있다. 이와 같은 추세에 따라 전 세계적으로 온실가스 감축에 대한 관심을 불러일으키고 있으며, 교토의정서를 체결하는 등 구체적인 이행방안 등이 제시되고 있는 실정이다. 이러한 세계적 추세에 따라 신재생에너지 설비의 확산이 진행되고 있으며 우리나라에서는 미래에 사용될 신재생에너지로 재생에너지 8개 분야와 신 에너지 3개 분야로 지정되어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

여러 종류의 신재생에너지 자원이 기술개발 및 상용화가 상당히 진척되고 있는 실정이며 특히 태양광 발전과 풍력 발전은 기후 변화와 외부영향에 민감한 특성을 갖고 있기 때문에 핵심기술의 보급 및 확산이 필요하다. 이 중에서 태양광 모듈을 일반 가정에서 설치 시 나무에 의한 모듈 배치와 부분 음영 발생 등 여러 요인에 따라 달라지는 일사량 차이에 의해 전력 생산의 불균형이 발생할 수 있으며 이는 전체 시스템의 효율을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 문제를 개선하는 방안으로 여러 해결책이 제안되었으며 이 중 전력변환기를 개별적으로 모듈에 적용하여 각 태

양광 모듈의 최대 전력을 맞추는 방식이 제안되었다[2].

이 방식은 각 모듈마다 균형이 맞지 않는 전력 생산에도 부하에 전달되는 출력 전압은 항상 일정해야하며 때문에 일사량 불균형으로 인해 생산되는 전압이 다르더라도 출력 전압은 항상 일정해야하는 특성을 갖는다. 때문에 전력변환시스템은 안정적인 제어가 이루어져야 하며 불안정한 제어가 이루어진다면 목표하는 출력 전압에 도달하는 시간이 지연되고 이는 전체적인 제어의 안정성을 저하시키게 된다[2, 3]. 따라서 제어의 안정도는 제어시스템의 중요한 요소이며 안정도 향상 및 정밀제어를 위하여 오차보상기가 사용된다[3,4].

본 논문에서는 태양광 전력설비 등을 겨냥하여 DC/DC컨버터의 전력변환기기에 대하여 오차 보상기 사용의 응답특성의 효과를 검증한다. 전력변환기기에 있어서의 오차 보상기는 PI제어의 역할을 수행하여 정상상태의 제어성 및 과도상태에서 시스템의 안정도를 향상시키는 특성을 갖는다. 이러한 오차 보상기의 제어 성능과 안정도는 전력변환기의 특성으로부터 결정되며 전력변환시스템의 경우 PWM에 대한 소신호 분석이 일반적으로 수행된다[4,5].

이러한 보상기[6,7]에 대하여 전력변환기기의 안정도 향상의 효과를 각각 비교 검증한다. 각 보상기에 대하여 특정 동작 구간에서 스위칭 함수에 대해 평균화 방식을 사용하여 상태 방정식을 구하면서 이를 선형화하여 소신호 전달함수를 모델링하였다. 이의 소신호 모델링 분석에 의하여 제어를 위한 전달함수 및 이에 대한 보상기의 파라미터를 선정하는 기법을 제안하였다. 제안된 모델링 및 파라미터의 선정기법에 의한 시뮬레이션의 수행 결과

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, Korea.

E-mail: shon@gachon.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, Korea

Received : August 12, 2018; Accepted : September 14, 2018

Type3 보상기가 Type2 보상기에 비해 보상할 수 있는 위상각의 범위가 더 넓어서 제어의 안정성 확보를 검증하였으며 이에 따라 제어 시스템을 설계함에 있어 더 넓은 보상범위를 기대할 수 있었다. 이의 연구 결과를 토대로 태양광 전력설비 등에 사용되는 전력변환기에 대하여 오차 보상기 사용에 따른 안정성 및 속도 등 제어의 응답특성 효과를 검증하는 기초 데이터로 활용할 수 있음을 기대할 수 있다.

2. 전력변환기의 구성 및 시스템 전달함수

2.1 태양광 전력설비를 위한 전력변환기의 구성

그림 1은 본 논문에서 구성된 태양광 발전의 전력변환시스템의 용도로 사용한 DC/DC 컨버터의 전체 제어시스템 구성도이며 DC/DC 컨버터와 PWM 발생부, 안정도 향상 및 정상편차 감소를 위한 제어부로 구성되었다. 특히 제어부는 안정도 향상이 가능한 Type2 보상기와 Type3 보상기를 각각 선택토록 하여 이에 대한 응답특성을 검증토록 한다[6,7].

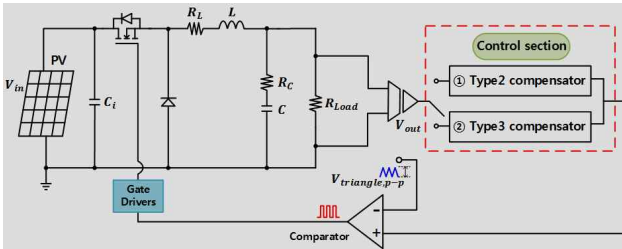


그림 1 태양광 전력변환기의 제어 시스템 구성도
Fig. 1 Block diagram of PV power conversion control system

2.2 전력변환시스템의 전달함수

시스템 제어를 위한 전달함수를 구하는 방법은 일반적으로 상태공간평균 기법을 사용 한다. 이는 시스템의 시간 변화에 따라 발생하는 동적인 특성을 공간으로 나타내는 것을 의미한다. 그림 1과 같은 DC/DC 컨버터인 경우 스위치가 on일 때의 상태와 off 일 때의 상태를 상태방정식으로 표현하여 나타내고자 한다.

즉 그림 1의 전력변환시스템에서 스위치의 한 주기 T에 대한 on의 시간(듀티비)은 d이고 off일 때의 시간은 (1-d)로 표현할 때 이의 상태 방정식을 이용하여 식 (1)과 같은 상태변수형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} A = A_1d + A_2(1-d) \\ B = B_1d + B_2(1-d) \\ C^T = C_1^Td + C_2^T(1-d) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 A, B, C^T는 각 평균 상태변수를 나타낸 것으로 A_n은 시스템 행렬, B_n은 입력 행렬, C_n는 출력 행렬을 의미한다. 출력 행렬은 시간 T에서 각 적분기의 출력 상태를 나타내기 때문에

C_n^T로 표현하였다. 이러한 상태방정식과 소신호 해석을 사용하여 전력변환기의 정상상태 출력제어 전압 V_o와 주어진 입력전압 V_i의 입출력 제어관계를 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$V_o = -C^T A^{-1} B V_i \quad (2)$$

2.3 전력변환기시스템의 상태방정식과 전달함수

위와 같이 그림 1과 같은 전력변환기 회로에서 상태방정식을 구할 수 있으며 이에 대한 스위치 동작상태에 따른 on, off 등가 회로는 그림 2와 같이 나타낸다. 즉 회로의 KVL, KCL을 통해 각 파라미터 L, C에 대한 관계를 정리하여 상태방정식을 얻을 수 있으며 간단한 연산을 거쳐 식 (1)의 행렬 A₁ 및 B₁을 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

그림 2(b)의 등가회로는 스위치 off 시 회로로서 스위치가 on 일 때와 같으므로 스위칭 주기 동안 A는 변하지 않으며 이는 A₁과 A₂가 같다는 것을 의미한다. 스위치 on의 시간과 off 상태의 시간을 상태변수에 대입하여 이에 가중치를 주고 전개하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있고 \dot{x} 는 인덕터 전류와 커패시터 전압의 연속 시불변 상태를 의미한다.

스위치 off 시 \dot{x} 는 스위치 on일 때와 형태가 동일하므로 식 (5)와 같이 전개되며 부하의 평균 상태공간표현식을 나타낼 수 있다. 출력전압인 V_o는 식 (6)과 같이 정리할 수 있으며 따라서 C^T를 식 (7)과 같이 나타낼 수 있고 식 (8)과 같은 출력의 전달 함수를 나타낼 수 있다.

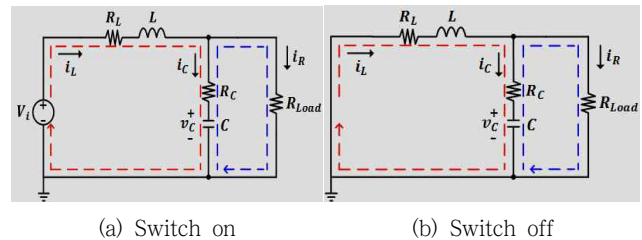


그림 2 전력변환기의 상태방정식을 위한 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit for state equation of converter

$$A_1 = \begin{bmatrix} -\frac{Rr_L + r_c r_L + Rr_c}{L(R+r_c)} & -\frac{R}{L(R+r_c)} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & -\frac{1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} \quad B_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\dot{x} = A_1 x + [B_1 d + B_2 (1-d)] V_i \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_c}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} V_i \quad (5)$$

$$V_o = R i_R = R(i_L - i_C) = R(i_L - \frac{V_o - v_C}{r_c}) \approx r_c i_L + v_C \quad (6)$$

$$C^T = \begin{bmatrix} \frac{Rr_C}{R+r_C} & \frac{R}{R+r_C} \end{bmatrix} \approx [r_C \quad 1] \quad (7)$$

$$\tilde{V}_o(s) = C^T \tilde{x}(s) = C^T [sI - A]^{-1} B V_i \tilde{d}(s) \quad (8)$$

따라서, 출력의 전달함수를 사용하여 출력 전압과 시비율(듀티)의 변화에 따른 전력변환기의 최종 전달함수를 식(9)와 같이 표현하게 된다.

$$\frac{\tilde{v}_o(s)}{\tilde{d}(s)} = C^T [sI - A]^{-1} B V_i \quad (9)$$

2.4 제어 보상기 Type2, 3의 도입과 설계

본 논문에서 구성하고자 하는 태양광 발전설비를 위한 전력변환시스템은 DC/DC 컨버터가 도입되며, 이에 대한 전체 제어시스템에서 특히 제어부에서는 안정도 향상 및 정상편차 감소를 위해서 그림 3과 같은 구성의 Type2, Type3 보상기[6,7]를 도입하기로 하면서 이를 설계하기 위한 순서는 다음의 과정을 거치게 한다.

- ① 안정도를 보장할 수 있는 위상여유를 설정한다.
- ② 전체 개루프 전달함수에서 교차주파수(f_{co})를 선정한다. f_{co} 는 일반적으로 전력변환기의 스위칭 주파수보다 낮고 이득 0[dB]을 지나는 순간의 주파수를 의미한다.
- ③ 보상기를 제외한 모든 회로의 전달함수와 주파수 응답을 구한다.
- ④ 교차주파수를 얻기 위해 보상기의 중간주파수 이득을 선정하며 그림 3 회로의 R_1 은 임의의 값으로 설정한다.

위의 방법과 절차에 따라 본 논문에서는 다음과 같이 파라미터를 선정하였다. 즉 Type2, 3 보상기의 안정도 향상 효과를 검증하기 위해 세 가지 파라미터에 대하여 시뮬레이션을 진행하였으며 그림 2를 포함한 파라미터 선정은 표 1과 같다.

표 1 전력변환시스템 및 보상기의 설계 파라미터

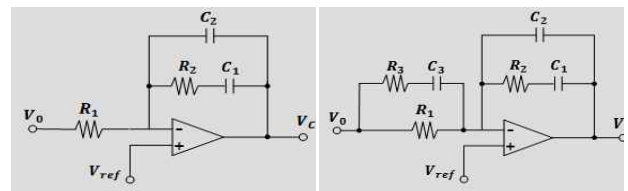
Table 1 Design parameters for power converter and compensator

| Parameter | $R_L [\Omega]$ | $L [H]$ | $R_C [\Omega]$ | $C [F]$ | $R_{Load} [\Omega]$ |
|--|----------------|-----------|----------------|------------|---------------------|
| Parameter1 $f_{co}=10,000\text{Hz}$ | 0.1 | 100 μ | 0.5 | 100 μ | 50 |
| Parameter2 $f_{co}=1,000\text{Hz}$ | 0.1 | 2m | 0.05 | 1000 μ | 50 |
| Parameter3 $f_{co}=1,000\text{Hz}$ | 2.1 | 2.627m | 0.0582 | 873 μ | 50 |

일반적으로 위상여유가 최소 45° 이상이어야 시스템의 안정도를 보장할 수 있기 때문에 위상여유를 45°로 설정하였으며 파라미터 1의 안정도는 이득 교차주파수 f_{co} 는 10,000[Hz]일 때로 설

정하였고 파라미터2, 3은 1,000[Hz]일 때를 기준으로 설정했다. 각 설정한 기준에 성립하기 위한 보상기의 파라미터를 구성을 표 1 및 그림 3과 같이 Type2, 3 보상기의 회로를 나타내었다. Type2 보상기는 위상여유를 확보하기 위한 위상각의 범위가 0~180°까지며 Type3 보상기는 0~270°다.

또한 전달함수와 이에 대한 주파수 응답을 구하기 위해서는 소신호 모델링을 통해 얻은 출력 전압과 시비율의 변화를 사용해야하며 이는 MATLAB 프로그램을 이용하여 전달함수를 구할 수 있다. 그림 4는 파라미터1 회로에 대한 전달함수를 얻기 위하여 수행된 MATLAB 실행 코드이며 이를 통하여 식 (10)과 같은 최종 전달함수를 얻을 수 있고 파라미터2, 3의 최종 전달함수 또한 식 (11), (12)와 같이 구할 수 있었다.



(a) Type2 compensator (b) Type3 compensator

그림 3 OP앰프로 구성된 오차 보상기 회로

Fig. 3 Circuit of error compensator using OP amp.

```

1 % Parameter of circuit 1
2 R = 50
3 rL = 0.1
4 rC = 0.5
5 L = 100*10^-6
6 C = 100*10^-6
7 s = tf('s')
8 I = [1 0; 0 1]
9 Vp = 3
10 Vin = 15
11
12 % Q: Matrix A, W: Matrix B, E: Matrix C, G: State Variable
13 Q = [-(R+rL+rC+rL+R+rC)/(L*(R+rC)) - (R/(L*(R+rC))) : R/(C*(R+rC)) - (1/(C*(R+rC)))]
14 W = [Vin/(Vp*L); 0]
15 E = [(R+rC)/(R+rC) R/(R+rC)]
16 G = ss(Q,W,E,0)
    
```

그림 4 파라미터1의 MATLAB 상태방정식 코드

Fig. 4 State equation code of parameter1 using MATLAB

$$G(s) = \frac{2.475 \times 10^{-4} s + 4.95 \times 10^{-7}}{s^2 + 6149s + 9.921 \times 10^{-7}} \quad (10)$$

$$G(s) = \frac{22.13s + 4.355 \times 10^{-5}}{s^2 + 844.4s + 4.538 \times 10^{-5}} \quad (11)$$

$$G(s) = \frac{110.6s + 2.178 \times 10^{-6}}{s^2 + 844.4s + 4.538 \times 10^{-5}} \quad (12)$$

그림 5는 그림 4와 같이 MATLAB을 사용하여 도출한 파라미터1의 전달함수에 대한 보드선도의 결과를 나타낸 것이고 교차검증을 위하여 PSIM 프로그램을 사용하여 구한 보드선도의 결과를 그림 6에 각각 나타내었다.

그림 5 및 그림 6의 검증결과 목표 교차주파수인 10,000[Hz]

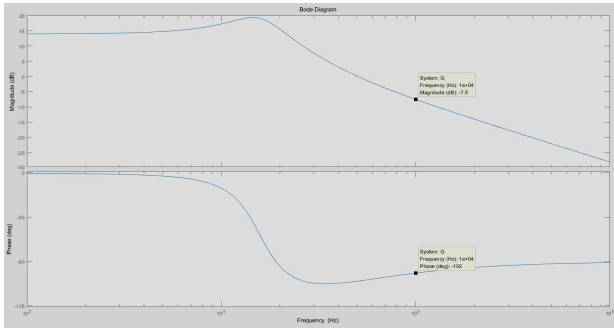


그림 5 개루프 출력전압-시비율 전달함수의 보드선도 결과
 Fig. 5 Bode diagram of output voltage-to-duty ratio at open loop (using MATLAB)

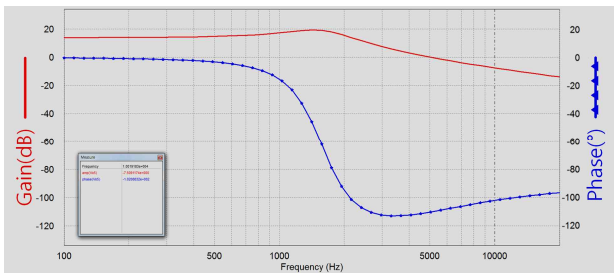


그림 6 개루프 출력전압-시비율 전달함수의 보드선도 결과
 Fig. 6 Bode diagram of output voltage-to-duty ratio at open loop (using PSIM)

에서 위상여유(Phase)는 약 -102.08° 이므로 이 시스템은 불안정하고 두 시뮬레이션 결과가 서로 일치하기 때문에 도출해낸 전달함수는 회로의 전달함수와 일치한다는 것을 알 수 있다.

다음으로 R_1 을 임의의 값으로 정하고 극점과 영점을 선정하는 방법인 K계수법을 사용하여 보상기의 나머지 파라미터를 구할 수 있으며 이는 표 2에 있는 식을 통해 구할 수 있다[5].

표 2 두 보상기에 대한 설계 변수

Table 2 Design parameters for two compensator

| | Type2 compensator | Type3 compensator |
|-------|-----------------------------------|--|
| R_2 | $\frac{\tilde{V}_c}{V_o} R_1$ | $\frac{ G(j\omega_{co}) R_1}{\sqrt{K}}$ |
| R_3 | X | $\frac{ G(j\omega_{co}) R_1}{\sqrt{K}}$ |
| C_1 | $C_1 = \frac{K}{2\pi f_{co} R_2}$ | $\frac{\sqrt{K}}{2\pi f_{co} R_2}$ |
| C_2 | $C_1 = \frac{K}{2\pi f_{co} R_2}$ | $\frac{1}{2\pi f_{co} R_2 \sqrt{K}}$ |
| C_3 | X | $\frac{\sqrt{K}}{2\pi f_{co} R_1}$ |

3. 각 보상기의 사용에 따른 시스템 안정도 및 응답특성의 분석

3.1 보상기의 사용에 따른 안정도 분석 - 파라미터1

파라미터1에 Type2, 3 보상기 사용 시 안정도 분석을 위해 PSIM 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템의 안정도를 판단하는 기준은 이득이 0[dB]인 주파수(이득교차주파수)일 때 위상여유가 양수인 경우와 위상여유가 0° 인 주파수(위상교차주파수)일 때 이득이 음수인 경우, 이 두 가지를 만족할 때 시스템은 안정적이라고 판단할 수 있다.

그림 7은 벡 컨버터가 파라미터1일 때 Type2 보상기를 사용하여 안정도를 향상시킨 보드선도이다. 이득교차주파수는 9,495 [Hz]로 이는 설정한 주파수에 근접한 값이고 이때의 위상여유는 45.55° 이기 때문에 설정한 기준에 성립하여 안정도를 보장한다고 할 수 있다.

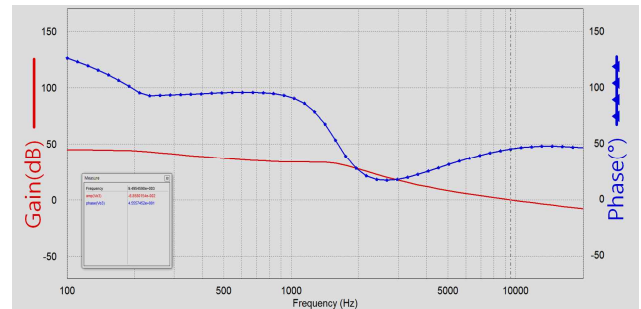


그림 7 파라미터1에 Type2 보상기 사용 시 보드선도
 Fig. 7 Bode diagram when using Type2 compensator for Parameter1

그림 8은 파라미터1로 설정된 벡 컨버터에 Type3 보상기를 사용하였을 때의 보드선도이다. 이득교차주파수 10,019.1 [Hz]에서 위상여유가 58.88° 이며 Type2 보상기를 사용했을 때와 마찬가지로 시스템의 안정도를 보장할 수 있다.

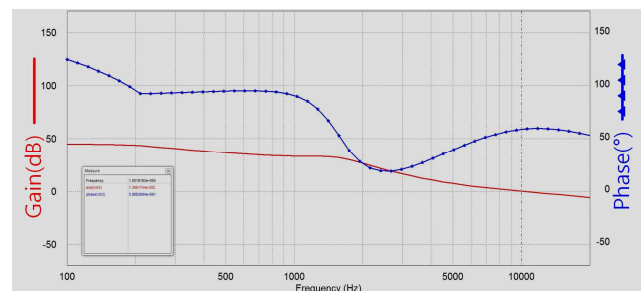


그림 8 파라미터1에 Type3 보상기 사용 시 보드선도
 Fig. 8 Bode diagram when using Type3 compensator for Parameter1

3.2 보상기의 사용에 따른 안정도 분석 - 파라미터2

그림 9는 파라미터2로 구성된 벡 컨버터에 Type2 보상기를 사용했을 때의 보드선도이다. 시뮬레이션 결과로 이득교차주파수에서 위상여유가 14.03°이기 때문에 설정한 조건에 성립하지 못하는 것을 알 수 있다.

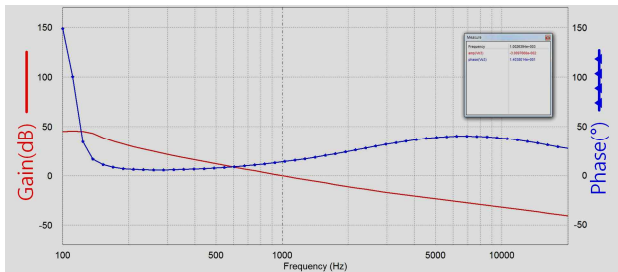


그림 9 파라미터2에 Type2 보상기 사용 시 보드선도
 Fig. 9 Bode diagram when using Type2 compensator for Parameter2

그림 10은 Type3 보상기를 사용했을 때의 보드선도를 나타낸다. Type2 보상기는 파라미터2인 벡 컨버터의 안정도를 설정한 값에 성립시키지 못하였지만 Type3 보상기는 47.43°로 설정한 조건에 성립함을 알 수 있다.

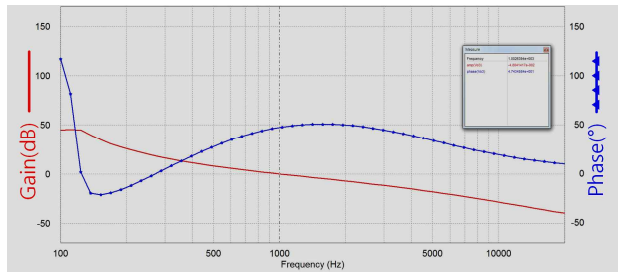


그림 10 파라미터2에 Type3 보상기 사용 시 보드선도
 Fig. 10 Bode diagram when using Type3 compensator for Parameter2

3.3 보상기의 사용에 따른 안정도 분석 - 파라미터3

파라미터 3으로 구성된 벡 컨버터가 보상해야하는 위상여유는 199°이기 때문에 Type2 보상기를 사용할 시 설정한 조건에 성립하지 않으므로 안정도를 보장할 수 없다. 그림 11의 시뮬레이션 결과를 보면 위상여유는 이득교차주파수가 569.3[Hz]일 때 23.8°이므로 시스템의 안정도를 보장할 수 없다.

그림 12는 Type3 보상기를 사용했을 때의 보드선도이며 이득교차주파수는 1000.3[Hz]이고 이때의 위상여유는 약 48°이다. 이는 설정한 기준 조건에 성립하며 Type3 보상기를 사용할 때 파라미터3으로 구성된 시스템의 안정도는 보장됨을 알 수 있다. 위와 같이 진행한 시뮬레이션 결과들을 바탕으로 Type2 보상기를

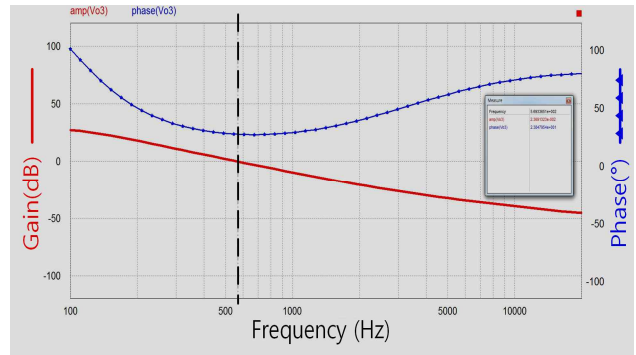


그림 11 파라미터3에 Type2 보상기 사용 시 보드선도
 Fig. 11 Bode diagram when using Type2 compensator for parameter3

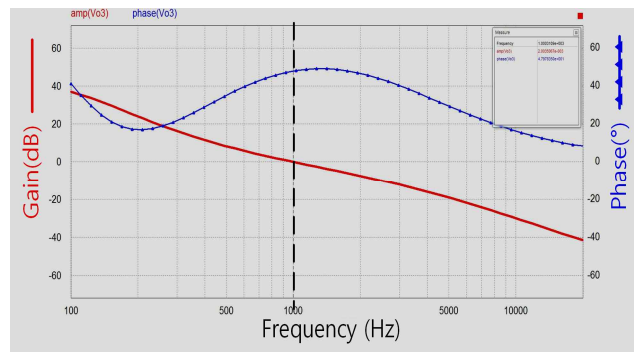


그림 12 파라미터3에 Type3 보상기를 사용 시 보드선도
 Fig. 12 Bode diagram when using Type3 compensator for parameter3

사용했을 때와 Type3 보상기를 사용했을 때의 각각의 결과를 표 3에 비교하였다.

표 3은 각 파라미터에 Type2 보상기를 적용했을 때와 Type3 보상기를 적용했을 때의 결과를 보여준다. 시뮬레이션 결과를 통해 Type2 보상기 사용 시 기준 조건에 성립하지 않았던 시스템은 위상각 180°이상의 범위를 보상 가능한 Type3 보상기 사용으로 안정도를 기준 조건에 성립시킬 수 있다는 것을 검증하였다. 따라서 Type3 보상기는 Type2 보상기에 비해 위상여유를 확보할 수 있는 위상각의 범위가 90° 더 넓기 때문에 Type2 보상기로 제어의 안정도를 보장할 수 없는 경우, Type3 보상기를 사용하여 안정도를 보장할 수 있는 특성이 있다.

3.4 Type2, 3 보상기의 응답 특성 고찰

시간응답에 대한 시뮬레이션 결과는 파라미터3인 벡 컨버터일 때 시스템의 안정도 보장에 따라 달라지는 정상상태 도달 시간을 나타내었다. 이때의 조건은 입력 전압이 15[V]일 때 출력전압이 10[V]가 되는 것을 목표로 두고 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 13은 Type2 보상기를 사용하였지만 시스템의 안정도가 설정한 기준에 적합하지 않을 때의 정상상태 도달 시간이고 그림

표 3 Type2 보상기와 Type3 보상기 사용에 따른 결과
Table 3 Result of using Type2 compensator and Type3 compensator

| Conversion Parameter | Performance | Type2 compensator | Type3 compensator |
|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| Parameter1 | Crossover Frequency [Hz] | 9495.4 | 10019.1 |
| | Gain[dB] | 0 | 0 |
| | Phase margin [°] | 45.5 | 58.88 |
| | Stability Guarantee | 0 | 0 |
| Parameter2 | Crossover Frequency [Hz] | 1002.6 | 1002.6 |
| | Gain[dB] | 0 | 0 |
| | Phase margin [°] | 14 | 47.4 |
| | Stability Guarantee | X | 0 |
| Parameter3 | Crossover Frequency [Hz] | 569.3 | 1000.3 |
| | Gain[dB] | 0 | 0 |
| | Phase margin [°] | 23.8 | 48 |
| | Stability Guarantee | X | 0 |

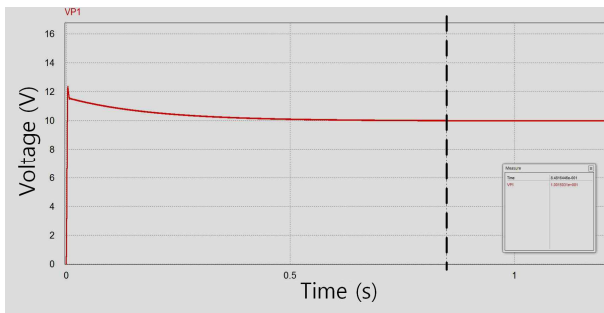


그림 13 Type2 보상기 사용 시 정착 시간
Fig. 13 Setting time when using Type2 compensator

14는 Type3 보상기를 사용하여 시스템의 안정도가 설정한 기준에 적합할 때의 정상상태 도달 시간이다.

Type2 보상기를 사용 시 정상상태 도달시간은 약 0.848[sec] 이고 Type3 보상기를 사용 시 정상상태 도달시간은 약 0.018 [sec]이다. Type3 보상기를 사용할 때 정상상태 도달 시간이 Type2 보상기를 사용했을 때 보다 0.83[sec] 빨라지고 이는 파라미터3에서 Type2 보상기를 사용하여 안정도를 보장하지 못할

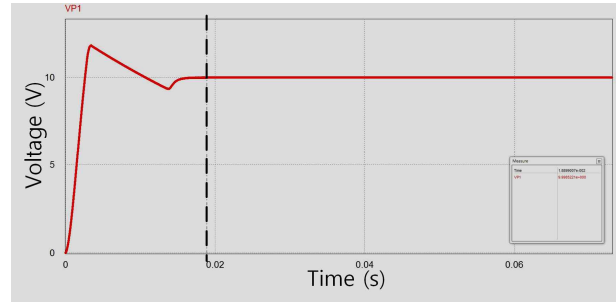


그림 14 Type3 보상기 사용 시 정착 시간
Fig. 14 Setting time when using Type3 compensator

때에 비해 Type3 사용하여 안정도를 보장할 시 정상상태 도달 시간이 약 97.8[%] 빨라지는 것을 의미한다.

4. 결론

본 논문은 태양광 전력설비를 위한 각 오차 보상기 사용에 따른 전력변환기에 대한 시스템의 안정도와 응답특성의 효과를 검증하였다. 정상상태의 제어성 및 제어시스템의 안정도를 향상시킬 수 있는 오차 보상기는 간편하게 도입될 수 있는 Type2 보상기와 Type3 보상기의 도입 비교를 통하여 결과 검증을 수행하였다.

검증의 수행 결과 Type3 보상기가 Type2 보상기보다 보상할 수 있는 위상각의 범위가 대략 90° 더 넓다는 것을 검증하였을 뿐만 아니라 안정도가 보장되었을 때 시스템의 정상상태 도달 시간이 안정도가 보장되지 않았을 때의 정상상태 도달 시간보다 빨라지는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 Type3 보상기를 이용하여 넓은 위상각의 범위가 필요한 시스템의 안정도를 보장할 수 있으며 이는 시스템의 응답특성에도 영향을 미친다는 결과를 얻었다.

이 결과를 통하여 태양광 전력설비 등에 사용되는 전력변환기에 대하여 오차 보상기 사용에 따른 안정도 및 응답특성의 효과를 검증하는 결과로 유용하게 활용될 수 있을 거라 판단된다. 또한 스위칭 함수에 대하여 평균화 방식의 사용에 의한 상태 방정식을 구하는 과정 그리고 보상기에 대한 파라미터의 선정기법 등을 제시하여 전력변환시스템의 제어 안정도 향상의 검증에 활용될 수 있으리라 사료된다.

References

[1] Katherine A. Kim, Pradeep S. Shenoy and Philip T. Krein, Fellow, "Converter Rating Analysis for Photovoltaic Differential Power Processing Systems", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 30, No. 4, APRIL 2015.

[2] Wen Cai, Fan Yi, "Stability Optimization Method Based on

Virtual Resistor and Nonunity Voltage Feedback Loop for Cascaded DC-DC Converters”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 51, No. 6, November/December 2015.

- [3] P. Julián, A. Oliva, P. Mandolesi, and H. Chiacchiarini, “Output discrete feedback control of a DC-DC Buck converter,” in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE'97), Guimaraes, Portugal, 7-11 Julio 1997*, pp. 925-930.
- [4] Corentin Briat, “Stability Analysis and State-Feedback Control of LPV Systems With Piecewise Constant Parameters Subject to Spontaneous Poissonian Jumps,” in *IEEE Control Systems Letters*, Vol. 2, Issue: 2, April 2018)
- [5] Basso, “Switch-Mode Power Supplies”, McGraw-Hill, Ney York, 2008.
- [6] Patrick Y.Wu, Sam Y.S.Tusi, Philip K.TMok, “Area- and Power-Efficient Monolithic Buck Converters With Pseudo-Type III Compensation,” in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol 45, 8, Aug.2010.
- [7] Ayan Mallik, Jiangheng Lu, Alireza Khaligh, “A Comparative Study Between PI and Type-II Compensators for H-Bridge PFC Converter,” in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol, 54, 2, March-April, 2018



손진근 (Jin-Geun Shon)

1990년 송실대학교 전기공학과 학부 졸업,
1992년 송실대학원 전기공학과 석사 졸업,
1997년 송실대학원 전기공학과 박사 졸업,
현재 가천대학교 전기공학과 교수.

E-mail : shon@gachon.ac.kr

저자 소개



김동은 (Dong-Eun Kim)

2017년~현재 가천대학원 전기공학과 석사
과정.

E-mail : dong6038@gc.gachon.ac.kr



이현재 (Hyun-Jae Lee)

2018년~현재 가천대학원 전기공학과 석사
과정.

E-mail : lhj501@gc.gachon.ac.kr