

차동전력조절기 회로를 적용한 독립형 태양광 벅-플라이백 전하균등화 회로의 소신호모델 분석

박정현, 박종후
 숭실대학교

Small signal Analysis of the buck-flyback stand-alone PV system for charge balancing with differential power processor circuit

Jeong Hyun Park, Joung Hu Park
 Soongsil university

ABSTRACT

본 논문에서는 차동전력조절방식을 추가하여 최대 전력점을 추종하는 동시에 출력단에 직렬로 연결된 부하가 전하 균등화 기능을 수행하는 회로를 제안한다. 제안하는 회로는 각각의 PV모듈을 제어할 하고, 이를 상태공간평균화기법을 이용하여 해석하였다.

본 논문에서의 전력조절기는 포워드컨버터로 구성 되어 있고, 주 컨버터인 전하균등화회로는 벅 플라이백컨버터로 구성하였다. 컨버터의 입력은 PV모듈을 직렬로 연결, 출력은 배터리를 직렬로 연결하여 제안한 기능을 구현하였다. 이에 따른 조건을 수식으로 증명하고, MATLAB과 모의 시뮬레이션 프로그램인 PSIM의 Bode plot을 비교하여 이를 검증하였다.

1. 서론

끊없이 향상하고 있는 생활수준과 화석연료의 고갈과 환경적인 요인에 의하여 신재생에너지의 관심은 증가하고 있다. 그 중 태양광발전(Photovoltaic, PV)은 장소에 큰 영향을 미치지 않아 어디서든 효율적인 발전을 할 수 있기 때문에 많은 기업들과 연구단체의 연구대상으로 떠오르고 있다. 또한, 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 태양광에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 장치인 전력변환장치(Power Conversion System, PCS)의 연구는 매우 중요한 요소로 떠오르고 있다.

근래에는 이러한 태양광에너지를 저장할 수 있는 고용량 저장수단에도 꾸준한 연구를 진행하고 있다. 하지만 현재 신재생에너지 발전 시스템은 복수 입력전원으로부터 전력을 부하로 공급하는 구조를 가지고 있는데, 이 입력전원은 독립적으로 구성되어 있고, 최대 전력점이 다르기 때문에 균등화 회로가 없는 경우 각각의 직렬형 저장장치 충전량에 편차가 생길 수 있기 때문에 전압의 편차가 생길 수 있다. 본 논문에서의 전력변환장치는 이러한 기존의 단점을 위해 균등화의 기능을 포함하는 동시에 소용량 컨버터를 이용한 차동전력조절방식을 적용하였다.^[1]

제안하는 피드백 차동전력조절방식은 소용량 컨버터를 사용하여 제어를 할 수 있다. 하지만 기존 차동전력조절방식은 각각의 PV모듈에 양방향 컨버터를 사용하기 때문에 효율적으로 떨어지고, 가격적인 면에서도 불리한 단점이 있다. 본 논문에서는 기존의 차동전력조절방식의 단점을 보완하기 위해 차동전력조절기 회로를 적용한 독립형 태양광 벅 플라이백 전하균등화

회로의 분석을 하고자 한다.^[2]

2. 차동전력조절기 회로를 적용한 벅-플라이백 전하균등화 회로의 소신호 모델링

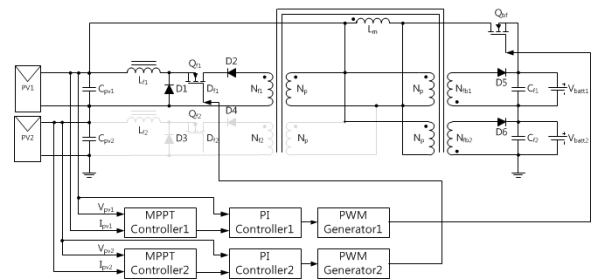


그림 1. 차동전력조절기 회로를 적용한 벅 플라이백 전하균등화 회로의 제어 구성도

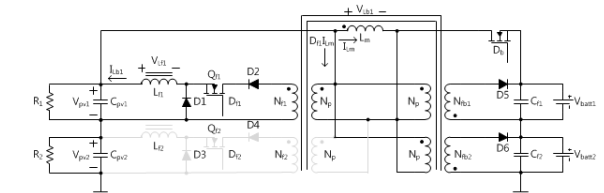


그림 2. 차동전력조절기 회로를 적용한 벅 플라이백 전하균등화 회로의 소신호 등가회로 ($I_{L1/2}=0$)

2.1 회로의 구성

제안하는 회로가 동작할 때, 차동전력조절기(DPP) 회로를 적용한 벅 플라이백 컨버터의 최대 전력점(Maximum Power Point, MPP)을 추종하기 위하여 벅 컨버터 및 소용량 컨버터로 사용된 포워드컨버터의 입력전압 제어기를 설계해야한다.

그림1은 본 논문에서 제안하는 회로의 제어구성도이다. 본 논문에서는 $P_{pv1} < P_{pv2}$ 라는 가정이 있기 때문에 PV1에 연결된 포워드컨버터가 동작을 한다. 최대전력점을 추종하기 위하여 각각의 PV모듈의 전압과 전류를 센싱하여 최대전력지점추종 알고리즘과 PI컨트롤러를 통하여 제어 할 수 있다. 그림2는 제안하는 회로의 소신호 등가회로이다. 벅 플라이백 컨버터의 입력단을 제어하기 위해 벅 플라이백 Control to input voltage와 포워드컨버터의 출력단을 제어하기 위해 포워드 Control to output voltage의 전달함수를 구해야 한다.^[2]

2.2 등가회로 분석

제어기의 설계 및 분석을 위하여 컨버터의 전달함수 식이 필요하다. 전달함수를 얻기 위한 동적 평형상태에서의 동작 점을 기준으로 비선형 시스템을 선형화하여 전달함수를 구하는 상태공간평균화기법을 적용하여 전달함수를 계산하였다.^[3]

그림2에 해당되는 컨버터의 등가회로에서 스위치의 턴 온, 오프에 의하여 식(1)~(2)로 나타낼 수 있다.

$$\widehat{V}_{pv} = \frac{F Z_{fn} B Z_{f1} + C Z_{f1}}{(1-E Z_{fn}) - \frac{D Z_{fn} B Z_{f1}}{(1-E Z_{fn})}} + \frac{C Z_{f1} D Z_{f1} + F Z_{fn}}{(1-A Z_{f1}) - \frac{B Z_{f1} D Z_{f1}}{(1-A Z_{f1})}} \quad (1)$$

$$A = \frac{(1-ND_{f1})(ND_{f1})}{sL_{f1}} - \frac{(1-ND_{f1})}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m},$$

$$B = \frac{(1-ND_{f1})(ND_{f1})}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m},$$

$$C = -\frac{V_{pv}}{sL_m} + \frac{(V_{batt} - V_{batt}N')/2}{sL_m},$$

$$D = -\frac{(ND_{f1})^2}{sL_{f1}} + \frac{ND_{f1}}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m},$$

$$E = -\frac{(ND_{f1})^2}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m},$$

$$F = -\frac{V_{batt}}{sL_m} + \frac{(V_{batt} - V_{batt}N')/2}{sL_m}$$

$$\widehat{V}_{pv1} = \frac{F^* Z_{f2} B^* Z_{f1} + C^* Z_{f1}}{(1-E^* Z_{fn}) - \frac{D^* Z_{fn} B^* Z_{f1}}{(1-E^* Z_{fn})}} \quad (2)$$

$$A^* = \frac{(1-ND_{f1})(ND_{f1})}{sL_{f1}} - \frac{(1-ND_{f1})}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m},$$

$$B^* = \frac{(1-ND_{f1})(ND_{f1})}{sL_m} - \frac{1}{sL_m},$$

$$C^* = \frac{NV_{pv}(1-ND_1)}{sL_{f1}} - NI_{Lf1},$$

$$D^* = -\frac{(ND_{f1})^2}{sL_{f1}} + \frac{ND_{f1}}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m},$$

$$E^* = -\frac{(ND_{f1})^2}{sL_{f1}} - \frac{1}{sL_m}, F^* = -\frac{N^2 V_{pv} D_{f1}}{sL_{f1}} - NI_{Lf1}$$

2.3 시뮬레이션

계산한 전달함수를 검증하기 위해 MATLAB을 이용하여 모의 시뮬레이션 프로그램인 PSIM의 Bode plot을 비교해보았다. 표1은 제안하는 컨버터의 소자 값이다. 그림3은 제어 입력 (V_{pv})의 전달함수, 그림4는 제어 입력 (V_{cl})의 Bode plot이다. 그림5는 제어 출력 (V_{cl})의 Bode plot을 나타내어 계산한 전달함수를 검증하였다.

표1. 제안하는 컨버터의 소자 값

R_1	8 [Ω]	C_{f1}, C_{f2}	100 [μ F]
R_2	7 [Ω]	V_{pv1}, V_{pv2}	20 [V]
L_{f1}, L_{f2}	1,000 [μ H]	V_{batt1}, V_{batt2}	12 [V]
L_m	100 [μ H]	$N_{fn} : N_p : N_{fbm}$	4:1:1
C_{pv1}, C_{pv2}	1000 [μ F]	f	50 [kHz]

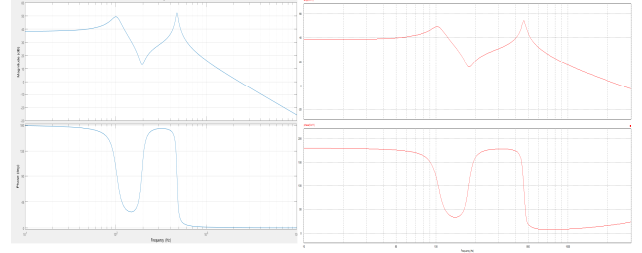


그림 3. 제어 입력 (V_{cl}) Bode plot

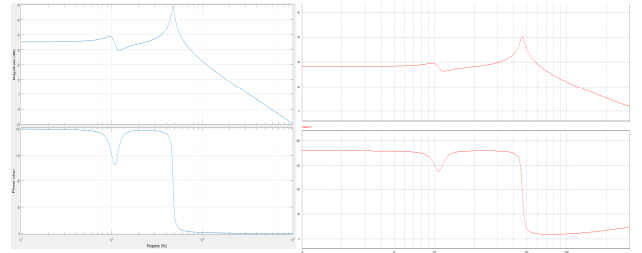


그림 4. 제어 입력 (V_{pv}) Bode plot

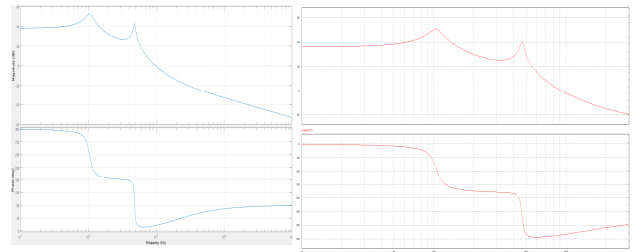


그림 4. 제어 출력 (V_{cl}) Bode plot

(좌측 : MATLAB, 우측 : PSIM)

3. 결론

본 논문은 차동전력조절기 회로를 적용한 독립형 태양광 박 플라이백 전하균등화 회로의 소신호 모델링 기법에 대하여 분석을 하고, 전하균등화의 기능을 구현하는 동시에 각각의 PV모듈을 소용량 컨버터를 이용하여 제어를 수직과 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 추후 실제 하드웨어 실험에 적용하여 이를 검증해야 한다.

참고 문헌

- [1] 박정현, 박종후 “불평등 부하 상태에서의 전하 균등화를 위한 연속모드 결합 인덕터 박 플라이백 컨버터 설계”, 전력전자학회, 전력전자학회논문집, 2015.7, 253 254
- [2] 김현우 “고효율 차동전력 조절기를 위한 부스트 파워드 통합 컨버터 분석 및 설계”, 숭실대학교, 2015.6
- [3] 김찬인, 문술, 김도현, 박종후 “부스트 컨버터 입력임피던스를 포함한 증반전기 소신호 모델링”, 전력전자학회, 전력전자학회논문집, 2012.7, 339 340