2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

PV 분산전원용 인버터의 입력 커패시터 용량 결정을 위한 해석

이경수*, 정영석, 소정훈, 유권종, 최재호*
한국에너지기술연구원, *충북대학교

The analysis for appropriate value of the input capacitor in dispersed generation PV inverter

Kyung-Soo Lee*, Young-Seck Jung, Jung-Hun So, Gwon-Jong Yu, Jae-Ho Choi*
Korea Institute of Energy Research, *Chungbuk National University

Abstract - Most of PV(Photovoltaic) inverters are utilizing voltage source type. Normally in this type, an input capacitor is connected at the input of a inverter to keep dc voltage constant. However, it does not seem to be well known how to determine the appropriate value of the capacitor. By developing non-linear transient analysis, the author suggest an approach to give a guideline. An Implicit trapezoidal formula was used to do this calculation.

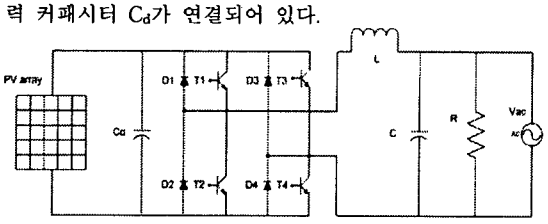
1. 서 론

일반적으로 PV 분산전원용 인버터는 전압을 안정되게 유지하기 위하여 인버터 입력단에 커패시터가 연결되어 있다(일반적으로 이 커패시터를 입력 커패시터라고 부른다). 그러나 현재 국내에서 사용하는 인버터 내부 입력 커패시터의 적절한 용량은 분명하지 않고 다양한 크기가 사용되고 있다. 또한 인버터 입력 커패시터는 열에 약하고, 수명이 짧고 그리고 비용이 비싼 등의 단점을 가지고 있다. 그래서 되도록이면 적절한 혹은 적은 용량의 입력 커패시터를 선정하여 이용하는 것이 PV 분산전원용 인버터에 있어 바람직하다고 볼 수 있다. 그러므로 이 논문에서는 입력 커패시터의 적절한 혹은 적은 용량을 선택하기 위하여 그에 따른 방법으로 비선형 과도해석이 가능한 사다리꼴 방정식에 의한 해법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 PV 분산전원용 인버터

그림 1은 PV 분산전원용 인버터의 기본 회로도 이다. 회로도를 살펴보면 태양전지 어레이(PV), 입력 커패시터, 스위치 부, L-C 필터, 부하 저항 그리고 계통의 AC 전원으로 구성되어 있다. 그리고 인버터 입력 커패시터는 그림 1에 나와 있는 것처럼 스위치 부 앞단에 입력 커패시터 C_d가 연결되어 있다.



PV array : 직류전원
D : 다이오드
L : 인덕터
C : 커패시터
Vac : 교류전원
T : 스위치 소자
R : 저항
C_d : 입력 커패시터

그림 1. PV 분산전원용 인버터의 기본회로

2.2 해석 방법

PV 분산전원용 인버터의 입력 커패시터의 용량을 결정하기 위하여 여기서는 부하측에 저항만을 연결한 독립형 태양광 발전 시스템의 회로를 가정한다. 그림2는 부하측에 저항만을 연결한 독립형 태양광 발전 시스템에 대한 등가 회로이다. 이 회로에서 인버터 입력단 커패시터의 용량 선정을 위하여 비선형 과도해석이 가능한 사다리꼴 공식을 이용한다.

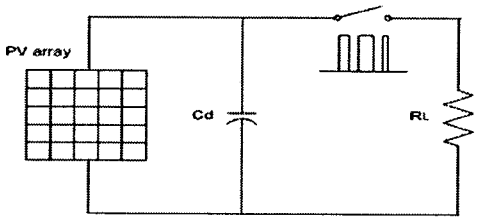


그림 2. 독립형을 가정한 PWM 반 사이클 등가회로

2.2.1 사다리꼴 방정식의 이용

그리고 입력단 커패시터에 흐르는 PV 출력 전압, 전류의 특성을 분석하기 위해서 PV arrary 와 입력단 커패시터만을 고려한 회로를 그림 3에 나타내었다.

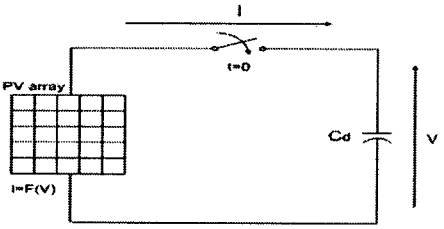


그림 3. 입력 커패시터 C_d 충전회로

시간 t=0에서 스위치를 닫을 때 입력단 커패시터에 충전되는 충전 전압과 충전 전류에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$v' = (\frac{1}{C})i = (\frac{1}{C})f(v) \quad (1)$$

(1)에서 $v' = (\frac{dv}{dt})$으로서 전압을 시간에 대해서 미분한 값을 나타낸다. C는 커패시터의 정전용량을 말하고, i는 I-V 커브 곡선에서 나오는 출력 전류를 나타낸다. 식(1)에서 PV 셀의 주어진 I-V 커브 곡선의 특성은 $i=f(v)$ 함수로 나타낸다.
PV 셀의 개방전압(Voc)과 단락전류(Isc)를 식(2)와 식(3)으로 나타내면,

$$V=\frac{v}{Voc},\quad I=\frac{i}{Isc} \quad (2)$$

$$T=\frac{1}{C}(-\frac{Isc}{Voc})t \quad (3)$$

결국, 식(4)는 식(1)로부터 일반화 될 수 있다.

$$V'=\frac{dV}{dT}=I=F(V) \quad (4)$$

식(1)의 $i=f(v)$에서 PV 어레이의 I-V커브가 비선형적인 특성을 보이므로 해석 방법에 어려움이 있다.
그래서 이에 대한 대안으로 그림 4의 사다리꼴 방정식을 이용하면 PV 어레이 출력 전압, 전류 그리고 K_{PM}이 의 비선형적인 특성을 해석할 수 있다.

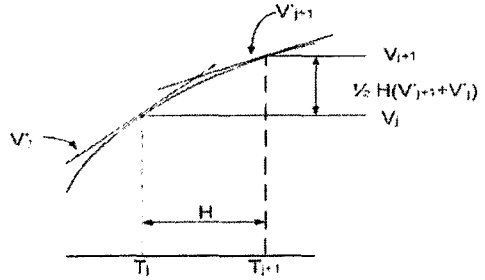


그림 4. 사다리꼴 방정식의 기본 원리

식 (5)는 전압 V와 시간 T에서 (V)와 (T)표시는 각각의 상태값을 나타낸다. 그리고 아래 첨자는 현재값을 나타내고, $_{j+1}$은 다음 상태의 값을 나타낸다. 그림 4에서 V_{j+1}은,

$$V_{j+1}=V_j+\frac{H}{2}(V'_{j+1}+V'_j) \quad (5)$$

가 됨을 알 수 있다. 또한,

$$V_{j+1}=V(T_{j+1}) \qquad V_j=V(T_j) \quad (6)$$

$$V'_{j+1}=F(V_{j+1}) \qquad V'_j=F(V_j) \quad (7)$$

으로 나타낼 수 있다.

그리고 시간축에서 T_{j+1}은,

$$T_{j+1}=T_j+H \quad (8)$$

이므로 H에 대하여 정리하면,

$$H=\frac{1}{C}(-\frac{Isc}{Voc})h \quad (9)$$

이 된다. 여기서 소문자 h는 시간 크기 $t_{j+1}-t_j$를 나타낸다. 그리고 식(5)를 미지항(알지못하는 항) A_{j+1}과 기지항(알고 있는 항) B_j로 표현하면,

$$A_{j+1}=V_{j+1}-\frac{H}{2}F(V_{j+1}) \quad (10)$$

$$B_j=V_j+\frac{H}{2}F(V_j) \quad (11)$$

결국,

$$A_{j+1}-B_j=0 \quad (12)$$

여기서 식(5)의 미분방정식 해는, 식(12)의 대수방정식을 V_{j+1}에 대해 푸는 것으로 얻을 수 있다는 것을 알았다.

K_{PM}은 「MPPT 추종 효율」이다. 이것은 PV 출력 어레이의 동작점이 P_{MAX}에 적합해서 동작하는지를 나타내는 지표로서 나타낸다. 만약 PV 출력 어레이의 동작점이 P_{MAX}점에서 동작하고 있는 경우 K_{PM}은 1이 된다.

즉, $\frac{P_{OP}}{P_{MAX}}$

P_{OP} : PV 출력 어레이의 실제 동작점

P_{MAX} : PV 출력 어레이가 최대인 점

2.2.2 순서도

최대 K_{PM}을 얻기위한 적절한 입력 커패시터를 결정하는 방법이 그림 5이다.
① 해석하려는 C_d의 값이 얼마인지 설정한다.
② 부하 저항 R_L의 용량은 주어진 조건에서 최대의 에너지를 꺼낼 수 있는 구체적인 값으로 설정한다.
③ 회로의 초기값 계산에 필요한 변수를 설정한다. 또한 콘덴서의 초기값은 태양전지의 개방전압 Voc로 한다.
④ PWM 운전을 반 사이클 행하고 콘덴서와 저항에 걸리는 전압과 전류를 계산해서 각각의 충전 에너지와 PV의 출력 에너지를 계산한다. 또한 순간값을 불러 평균값도 구한다.
⑤ 전 사이클로부터 산출한 값들(커패시터와 저항에 걸리는 전압과 전류, 충전 에너지, PV의 출력 에너지, 순간치, 평균치)과 현재 사이클로부터 산출한 값이 일치하지 그렇지 않은지를 판단한다.
⑥ 정상상태가 되었다고 판단되면 정상해를 구한다.
⑦ K_{PM}이 최대가 되었는지를 계산한다. K_{PM}이 최대가 되어있지 않은 경우는 R_L을 ΔR만큼 증감시킨다.
⑧ 계산이 종료되었는지 판단한다.
⑨ 계산 결과의 그래프를 출력한다.

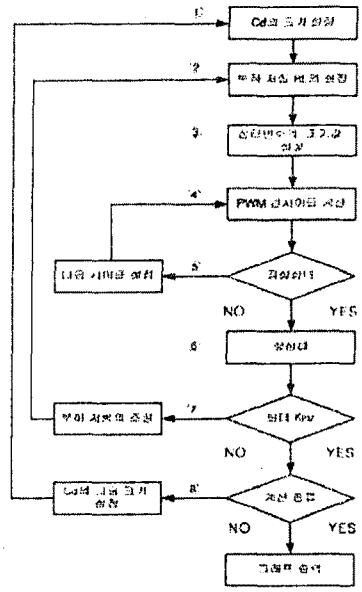


그림 5. MPPT 추종 효율 K_{PM}과 적절한 입력 커패시터 용량 해석을 위한 계산 순서도

2.3 커패시터 변화에 의한 K_{PM}의 변화

그림 6은 PSIM 프로그램으로 구현한 PV 분산전원용 독립형 PWM 반 사이클 회로이고 그림 7부터 입력 커패시터 C_d 값을 변화 시켰을 때, 태양전지의 PV전압, PV전류 및 K_{PM}을 산출한 결과를 나타낸다. 시뮬레이션에 사용한 I-V커브 데이터는 필 팩터 FF=0.7와 개방전압 Voc=293[V], 단락 전류 Isc=14.9015[A]로 하였다. 또한 초기의 부하저항은 19.66[Ω](=Voc/Isc)로 설정하였다.

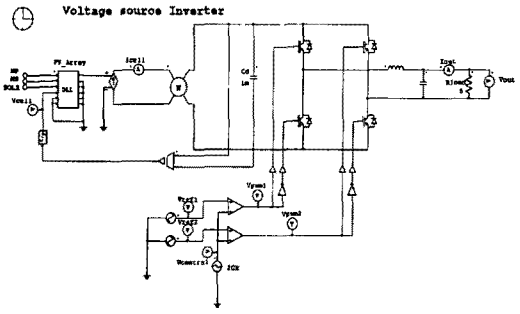


그림 6. PV 분산전원용 독립형 PWM 회로도

그림 7은 그림 6에서 인버터 입력 커패시터를 457 [μF]로 하였을 때의 결과이다. 그림에서 인버터의 PWM 이 반주기 0.83ms가 되기 전에 K_{PM}이 1이 됨을 알 수 있다.

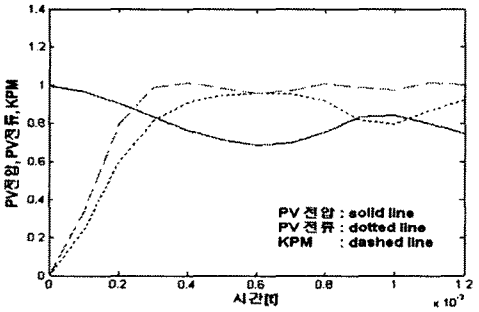


그림 7. 입력 커패시터 용량 C_d가 457[μF]시의 PV전압 · 전류, K_{PM}과의 관계

입력 커패시터 용량을 10[mF]으로 증가시켰을 때의 파형이 그림 8에 나와 있다. 그림 7과 비교해보면 PWM 의 반주기가 끝나는 0.83ms와 그 이후인 1.2ms에서도 K_{PM}이 일정한 값을 갖지 않고 계속 증가하고 있다.

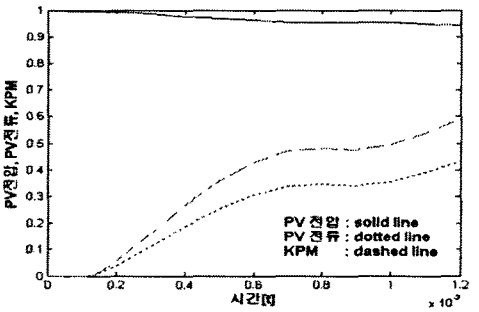


그림 8. 입력 커패시터 용량 C_d가 10[mF]시의 PV전압 · 전류 그리고 K_{PM}의 단시간 해석

그림 9는 장시간 해석에서 PWM의 스위칭을 진행시킨 결과이다. 약 7ms부근에서 K_{PM}이 1의 값이 됨을 알 수 있다. 결국, 입력단 커패시터가 10[mF]에 있어 K_{PM}이 1이라는 값과 정상상태가 되기 위해서는 시간이 7ms 이상이 걸린다는 것을 알 수 있다.

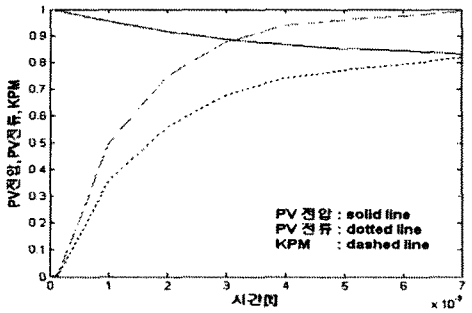


그림 9. 입력 커패시터 용량 C_d가 10[mF]시의 PV전압 · 전류 그리고 K_{PM}의 장시간 해석

2.4 최적 입력 커패시터 용량의 결정

그림 7,8,9의 시뮬레이션을 통하여 커패시터 용량이 크면 K_{PM}이 1의 값으로 되기까지 시간이 많이 걸린다. 반면, 수백 [μF]의 커패시터 용량에서도 1에 가까운 K_{PM}을 얻을 수 있기에 수 [mF]인 대용량의 커패시터가 PV 분산전원용 인버터에 적정하지 않다는 것을 알 수 있다. 그림 10은 다양한 크기의 입력 커패시터 용량과 K_{PM}에 관한 분석을 실시한 결과이다. 해석의 I-V커브 데이터는 FF=0.7과 Voc=293[V] 그리고 Isc=14.9015[A]로 하였다. 또한 초기의 부하저항은 19.66[Ω](=Voc/Isc)로 설정하였다.

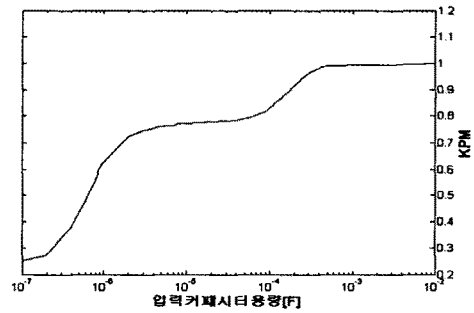


그림 10. 입력 커패시터 용량 C_d와 K_{PM}의 관계

3. 결 론

본 논문에서는 PV 분산전원용 인버터에 포함되는 입력 커패시터의 적정한 용량 선택 방법을 제안했다. 일반적으로 입력 커패시터의 용량이 수[mF]이면 MPPT 추종 효율 K_{PM}은 1이 되는 것을 알았다. 또한 입력 커패시터의 용량이 수백[μF]에서도 K_{PM}이 0.9 이상이 되었다. 시간적인 측면에서, 입력 커패시터 용량이 수[mF]이면 K_{PM}이 1이 되기까지 걸리는 시간이 수ms가 걸리고 반면 입력 커패시터 용량이 수백[μF]인 경우에는 약0.5ms의 시간이 걸렸다. 종합하면, 수백[μF]의 입력 커패시터 용량이 수[mF]의 용량보다 MPPT 추정 효율 K_{PM}에 있어 큰 차이가 없고, 입력 커패시터 비용이 적게 들고 그리고 K_{PM}이 정상상태로 되는데 시간이 적게 걸리므로 되도록이면 수백[μF]의 PV 분산전원용 인버터 입력단의 커패시터 용량을 선정하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Kosuke Kurokawa : "The Automatic Integration of Stiff Differential Equations by the Implicit Trapezoidal Rule", Electrotec Lab, Vol. 39 No.6(1975)

[2] Kosuke Kurokawa : "Numerical analysis of the performance of a photovoltaic array curve tracer by the capacitive load method", Solar Cells., Vol. 31(1991)