

# 직류 배전 시 가전기기 입력단 파워부의 커패시터 설계

구근완, 전준영, 신승민, 이병국  
성균관대학교 정보통신공학부

## Design of Power Part Capacitor at DC Distribution system

Keun Wan Koo, Joon Young Jeon, Seung Min Shin, Byoung Kuk Lee  
School of Information and Communication Engineering, SungKyunKwan

### ABSTRACT

본 논문에서는 가정용 직류배전시스템 도입 시 가전기기 입력단 커패시터의 용량 산정 및 최적화 가능성 검증을 위하여 직류배전시스템용 가전기기 입력단 및 PWM 컨버터 출력단 사이의 관계를 전압방정식의 형태로 모델링 한다. 또한 모델링된 전압방정식을 이용하여 대용량 부하변화 시 발생가능한 Sag 및 Surge 규격에 부합하는 커패시터의 용량을 산정하고 시뮬레이션을 통하여 검증한 뒤 직류배전시스템 가전기기 설계의 가이드라인을 제시한다.

### 1. 서 론

최근 신재생에너지원 사용의 증가와 가정에서 사용하는 디지털 부하의 증가에 따라 가정용 직류배전시스템의 도입이 검토되고 있다. 일반적인 교류가전기기의 입력단은 디커플링(Decoupling) 및 전압 평화를 위한 전해커패시터와 응답특성이 빠른 필름커패시터의 병렬 구조로 이루어져있고 이 경우 전해커패시터는 필름커패시터에 비하여 대용량 커패시터를 확보할 때 비용측면에서 유리하나 상대적으로 부피가 크고 무거우며 수명이 낮아 시스템 전체의 대형화와 수명저하의 핵심적인 요인이 된다는 단점이 있다. 직류배전시스템의 경우 직류가전기기 입력단의 정류부 및 역률 개선 회로가 제거되고 따라서 PWM컨버터의 출력단 커패시터가 충분히 크다면 병렬로 구성된 가전기기 입력단 커패시터를 줄일 수 있어 전해커패시터를 사용하지 않아도 되는 장점을 가질 것이라 예측되고 있으나 실제 선로의 인덕턴스와 저항등의 기생성분, 대용량 부하변화 및 시스템을 통해 유입되는 노이즈 성분 등을 고려한 구체화는 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 기생성분을 고려한 직류배전 출력단과 직류가전기기의 입력단의 관계를 모델링하여 과도상태 및 정상상태의 가전기기 입력단 전압방정식을 도출하였고 도출된 방정식을 이용하여 대용량 부하변화 시 부하입력단의 Sag 및 Surge발생 규격을 만족시키는 입력단 커패시터 용량을 산정하였다. 산정된 커패시터 용량은 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 검증하였으며 이는 직류가전기기 설계 시 대용량 부하변동 측면에서 입력단 전해 커패시터의 제거가능성을 입증한다.

### 2. 커패시터 용량 산정

#### 2.1 PWM 컨버터 및 커패시터의 등가회로

직류가전기기 입력단의 커패시터 용량을 산정하기 위해서 PWM 컨버터의 출력단, 실제 연결 선로 및 가전기기 입력단 커패시터를 등가화하여 모델링하였고 이를 표 1 및 그림 1에 나타내었다.

표 1 등가 회로 파라미터

Table 1 parameter of equivalent circuit

$C_1$	PWM 컨버터 출력단 커패시터	$C_2$	가전기기 입력단 커패시터
$L$	기생 인덕터 성분	$R$	기생 저항 성분
$V_{C1}$	C1의 전압	$V_{C2}$	C2의 전압
$V_{diff}$	C2 전압과 C1 전압의 차이		

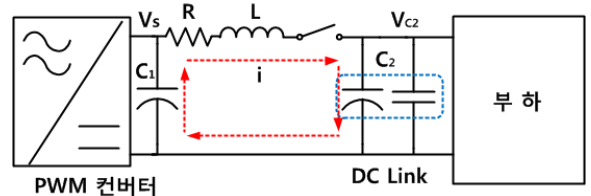


그림 1 PWM 컨버터 출력단과 가전기기 커패시터 등가회로도  
Fig. 1 Equivalent circuit of PWM converter output port capacitor and capacitor of appliance

#### 2.1.1 등가 회로 해석

가전기기 입력단 커패시터의 전압변화를 해석하기 위해 그림 1의 회로를 라플라스 변환을 사용하여 회로를 해석하면 다음과 같은 주파수 영역의 전류에 대한 함수가 얻어지게 된다.

$$i(s) = \frac{V_{diff}}{s} \frac{1}{R + sL + \frac{1}{s} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)} = \frac{V_{diff}}{L} \frac{1}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} \quad (1)$$

$$\left( \text{단, } \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C} \right)$$

따라서 커패시터의 전압은 식 (2)와 같이 된다.

$$V_{C2}(s) = \frac{\frac{V_{diff}}{L}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} \times \frac{1}{sC_2} \quad (2)$$

위 식을 시간영역으로 역변환 하면 식 (3)와 같이 된다.

$$V_{C2}(t) = V_{diff} \frac{C_1}{C_1 + C_2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{2L} \sqrt{LC}\right)^2}}\right) \times e^{-\frac{R}{2L}t} \sin\left(\sqrt{\frac{1 - \left(\frac{R}{2L} \sqrt{LC}\right)^2}{LC}} t\right) \quad (3)$$

위 식 (3)는 가전기기 입력단 커패시터의 전압을 순시적으로 나타낸다. 식에서 지수의 계수는 순간적인 전압강하와 전압상승의 크기를 나타내고 지수항의 지수는 감쇠량을 나타낸다. 또한 삼각함수 주파수 성분은 감쇠하는 파형의 진동수를 나타낸다. 위 식에서 Sag와 Surge의 크기는 직류배전단 커패시터인  $C_1$ 뿐만 아니라 가전기기 입력단  $C_2$ 의 커패시터 용량에도 영향을 받으며  $C_2$ 의 크기가 증가할수록 Sag 및 Surge의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

## 2.2 커패시터 용량 산정

직류가전기기의 입력단 커패시터 용량 산정에 앞서 정상상태 전압을 일정하게 유지하기 위하여 PWM 컨버터의 출력단 커패시터용량의 산출이 필요하다.

### 2.2.1 PWM 컨버터 출력단 커패시터 용량산정

정상상태의 리플을 일정하게 유지시키기 위해 PWM 컨버터 출력단의 커패시터의 용량을 아래의 과정을 통하여 산정하였다. 식 (6)을 통해 5kW급 출력에 허용리플 1%를 가지도록 커패시터의 용량을 산정하면 346uF이 된다.

표 2 커패시터 용량산정 식의 파라미터 설명  
Table 2 explain of parameter

$\Delta E_{Load}$	부하의 에너지 변화량	$\Delta v_{DC}$	직류링크 전압변동률
$\Delta P_{Load}$	부하의 전력 변화량	$v_{DC}$	직류링크 전압
$\Delta T_{SW}$	스위칭 주기	$C$	커패시터 용량
$\Delta P_C$	커패시터의 전력 변화량		

$$\Delta E_{Load} = \Delta P_{Load} \Delta T_{SW} = \Delta P_C \Delta T_{SW} \quad (4)$$

$$\Delta P_C = C \frac{\Delta v_{DC}}{\Delta T} v_{DC} \quad (5)$$

$$C = \frac{\Delta P_C \Delta T}{\Delta v_{DC} v_{DC}} \quad (6)$$

### 2.2.2 가전기기 입력단 커패시터 용량 산정

식 (3)에서  $V_{C2}$ 의 값을 Sag, Surge의 안전 기준치인 정상상태 전압의 90%, 110%로 설정하고  $C_2$ 에 값을 구하면 약 120nF이 된다<sup>[2]</sup>.

## 2.3 시뮬레이션

시뮬레이션은 PSIM을 이용해 진행하였으며 5kW급 전력을 공급할 수 있는 PWM 컨버터에 2kW급 부하의 변동이 있을 때를 가정하여 저항 값을 선정하였고, 정상상태에서 리플이 1%이하가 되도록  $C_1$ 의 값을 선정하였다. 선로의 기생성분의 값은 L R C 미터기를 사용해 4Φ의 두께를 가진 전선 0.5m의 기생성분을 구하고 이 값을 기준으로 전선에 길이에 저항과 인덕턴스 성분이 비례하여 증가한다고 가정하여 5m 길이의 전선의 기생 저항성분과 기생 인덕턴스 성분을 구하였다.

표 3 시뮬레이션 파라미터  
Table 3 simulation parameter

$C_1$	346uF	$C_2$	60nF부터 20nF 씩 140nF까지 변경
$L$	8uH	$R$	35mΩ
$R_{load1}$	72.2Ω	$R_{load2}$	96.2Ω

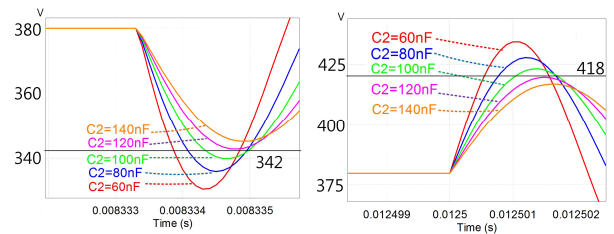


그림 2. 부하가변 시 가전기기 입력단 커패시터 전압의 Sag와 Surge 전압 파형

Fig 2. voltage of capacitor on appliance input at load swing

시뮬레이션 결과는 Sag와 Surge만을 고려하여 커패시터의 용량을 산정할 때 기존 가전기기 입력단 설계에 쓰이던 전해 커패시터와 필름 커패시터 중 전해 커패시터를 제외한 필름 커패시터만으로 가전기기의 입력단 커패시터를 설계할 수 있는 점을 나타낸다.

## 3. 결론

본 논문에서는 직류배전시스템을 도입할 때 가전기기 입력단의 커패시터의 최적화 산정 및 검증을 위해 PWM 컨버터와 직류 배전 시스템용 가전기기 입력단 커패시터로 구성된 회로를 수학적으로 해석하여 가전기기 입력단 커패시터 값을 선정할 수 있는 수식을 도출하였다. 도출된 수식은 기존의 가전기기 입력단 커패시터 설계에 사용되던 전해 커패시터와 필름 커패시터 중에서 전해 커패시터를 사용하지 않아도 되는 근거를 제시한다.

## 참고 문헌

- [1] N. G. Hingorani, "High voltage DC transmission : a power electronics workhorse," IEEE Spectrum, vol. 33, no. 4, April 1996, PP. 63-72
- [2] 최홍기, "순간 전압강하 시 voltage Sag protector에 의한 전원회로 개선에 관한 연구", 충주대학교 석사학위 논문, 2008,