

Maximum Solar Energy Tracking System에서의 최적정수선정에 관한 연구

황 영 문, 백 병 산, 성 백 주
부산대학교 전기공학과

Study on the method for calculating of optimal passive
elements values in Maximum Solar Energy Tracking System

Young-moon Hwang, Byung-san Baek, Baek-joo Sung

Dept. of Electrical Engineering, Pusan National Univ.

ABSTRACT

In order to spread the practical utilization of solar energy, it depends upon how we can increase the efficiency of solar energy conversion system.

This paper describes the method for calculating of optimal passive elements values in Maximum Solar Energy Tracking System. And experimental results with those calculated values are presented.

1. 서론

인류공급의 에너지이고 미래의 유일한 대체에너지이며 무공해, 무진장의 에너지인 태양에너지의 보급의 확대를 위해서는 이용효율에 있음은 주지의 사실이다. 각 분야별로 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 에너지 변환효율의 향상은 매우 중요하다.

에너지변환장치는 에너지전송장치이기 때문에 효율이 중요하며 연계수단은 손실이 없어야 한다. 따라서 소오스와 부하사이에 연결된 어떤 회로망 또는 소오스-변환장치-부하사이에 분포된 회로망은 소비가 없어야 한다. 연계는 일반적으로 passive elements 즉, 인덕터 및 캐패시터를 이용한다. 대부분 실제소자 사용시 어쩔수없이 수반되는 저항을 제외하고는 손실은 받아들일 수 없다. 따라서 에너지변환장치에서 passive elements 선정시 이 모든점을 고려하여 선정해야 한다. 또한 태양전지 및 축전지와 같이 소오스의 특성과 부하의 특성이 상태에 따라 달라질 경우에는 이를 고려해야 한다. 따라서 에너지변환시스템에서

Passive elements의 최적정수선정이 변환에너지를 최대로 가능하게 만든다.

본 연구에서는 Maximum Solar Energy Power System에서의 최적정수를 산정하고 이를 실험을 통하여 확인하며 태양에너지 활용의 이용을 제고 및 보급의 확대에 기여하고자 한다.

2. Maximum Solar Energy Tracking System의 특성해석

2-1. 시스템의 동작특성

Maximum Solar Energy Tracking System의 구성은 그림 2-1 과 같다. 승,강압이 가능한 본 시스템은 입력로부터의 에너지를 캐패시터 C1에 저장하고 이것을 출력에 전달하는 역할을 한다.

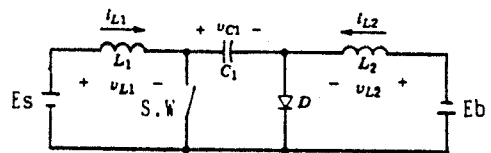


그림 2.1, Maximum Solar Energy Tracking System

정상상태에서 평균 인덕터전압 \bar{v}_{L1} 과 \bar{v}_{L2} 는 zero이다. 따라서,

$$V_{C1} = E_s + E_b \dots\dots\dots (2-1)$$

스위치가 OFF 되었을때, 인덕터전류 i_{L1} 과 i_{L2} 는 다이오드를 통하여 흐른다. 그 회로를 그림 2.2a에 보았다. C1은 입력과 L1, i_{L1} 의 감소로 에너지가 다이오드를 통해 충전된다. 그 이유는 V_{C1} 이 E_b 보다 크기 때문이다. i_{L2} 역시 감소한다

스위치가 ON 되었을때, V_{C1} 은 다이오우드에 역바이어스가 된다. 인덕터전류 i_{L1} 과 i_{L2} 는 그림 2.2b에서 보여주는 바와같이 스위치를 통하여 흐른다. $V_{C1} > E_d$ 이기 때문에 C1은 스위치를 통하여 방전하여, 에너지를 축전지와 L2에 전달한다. 그러므로 i_{L2} 는 증가한다. 이때 입력은 i_{L1} 이 증가하여 에너지를 L1에 공급한다.

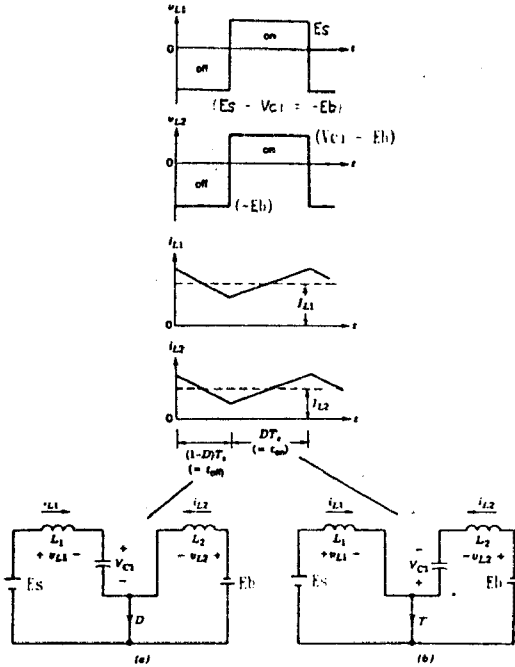


그림 2.2, System Waveforms (a) S.W ON, (b) S.W OFF

인덕터전류 i_{L1} 과 i_{L2} 는 연속적이라고 가정할 수 있으므로 정상상태에서의 전압의 표현은 다음식으로 표현이 가능하다. 캐패시터전압 V_{C1} 이 일정하다고 가정하면, 그때 한주기 동안의 L1과 L2에 걸리는 전압은 zero와 같다.

즉,

$$L1 : EsDTs + (Es - V_{C1})(1 - D)Ts = 0$$

$$\therefore V_{C1} = Es / (1 - D) \dots \dots \dots (2-2)$$

$$L2 : (V_{C1} - Eb)DTs + (-Eb)(1 - D)Ts = 0$$

$$\therefore V_{C1} = (1/D)Eb \dots \dots \dots (2-3)$$

식 (2-2)와 (2-3) 으로부터,

$$Eb / Es = D / (1 - D) \dots \dots \dots (2-4)$$

그리고 인덕터전류 i_{L1} 과 i_{L2} 가 리플이 없다고 가정하면, 전류는 다음식으로 표현할 수 있다. 즉,

$$i_{L1} = I_{L1} \quad , \quad i_{L2} = I_{L2}$$

스위치가 OFF 되었을때 C1에 전달된 전하는 $I_{L1}(1 - D)Ts$

와 같다. 스위치가 ON 되었을때 캐패시터는 $I_{L2}DTs$ 만큼 방전한다. 따라서 정상상태에서 한주기에 걸쳐 C1의 전하량의 변화는 zero이다. 즉,

$$I_{L1}(1 - D)Ts = I_{L2}DTs \dots \dots \dots (2-5)$$

$$\therefore I_{L1} / I_{L2} = I_b / I_s = (1 - D) / D \dots \dots (2-6)$$

의 식이 성립한다.

2-2. 시스템의 주파수특성

시스템의 주파수는 Tracking의 정도.응답을 좌우하는 중요한 요소이다. 또한 Passive element L1, C, L2에 따라 시정수의 상관관계를 가지고 결정해야 한다. 그리고 반도체 소자는 스위칭의 속도에 한계가 있으며, 마이크로 컴퓨터를 사용할 경우는 연산시간, 분해능등의 제약이 따른다.

2-3. 태양전지의 특성

태양전지는 빛의 조사를 받아서 전류를 발생한다. 이 전류는 광강도의 증가와 함께 커지나, 일정한 강도의 빛을 받고 있을 때 태양전지는 정전류원이라고 볼수 있다. 그림 2.3은 태양광아래에서의 태양전지의 출력특성을 표시하고 있다. 그림에서 알수 있듯이 태양전지는 일사량에 따라 전압, 전류값이 변동하여 내부저항이 변화함을 생각 할수 있다. 그림 2.4는 백열전구광아래에서의 단락전류와 내부저항변화를 나타낸 것이다.

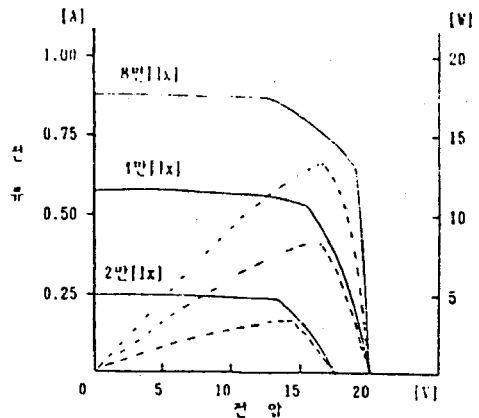


그림 2.3, 태양전지의 출력특성

2-4. 축전지의 특성

축전지에서 가장 예측 곤란한 분야는 내부저항이다. 들 수지는 주위온도, 축전지의 충전상태, 과거이력등에 크게 의존한다. 예를 들어, 내부저항 측정직전에 전지가 계속 충전전압에 걸려 있었는지, 또는 충전종료와 저장속정

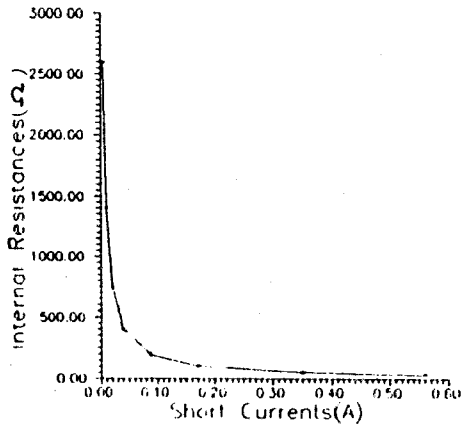


그림 2.4. 태양전지의 단락전류와 내부저항특성

개시 사이에 여러시간이 지났는지 등에 따라 달라진다. 완전충전된 상태에서는 내부저항이 아주 작고 방전함에 따라 매우 급속히 증가한다. 그림 2.5는 일반적인 축전지의 방전에 따라 내부저항(Cell당) 변화를 표시하고 있다.

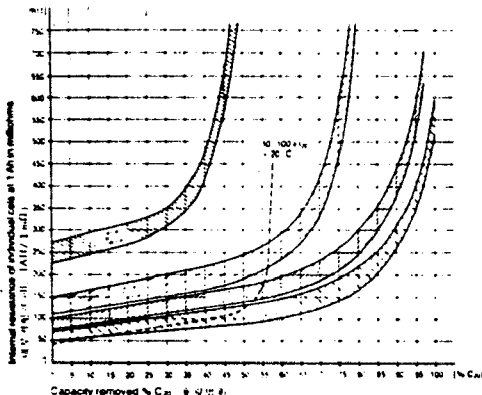


그림 2.5. 축전지의 내부저항과 방전특성

3. Maximum Solar Energy Tracking System의 회로 해석 및 최적점수 선정

3-1. 회로 해석

Max. Solar Energy Tracking System의 최적성수를 선정하기 위해서는 그림 3.1과 같이 등가회로를 그려서 해석할 수 있다.

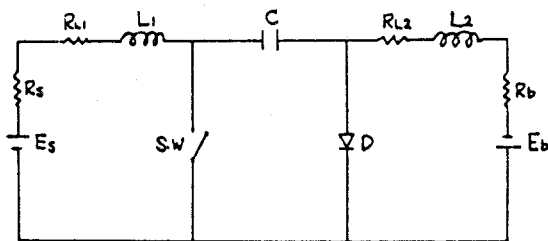


그림 3.1. Max. Solar Energy Tracking System

가. S.W ON동작시 회로 방정식

1) 입력측

$$E_s = L_1 \frac{di_1}{dt} + (R_s + R_{L1}) i_1$$

$$\frac{E_s}{s} = L_1 [s I_1(s) - i_1(0_+)] + (R_s + R_{L1}) I_1(s)$$

초기조건을 대입하여 정리하면

$$i_1(t) = \frac{E_n}{R_s + R_{L1}} + \left(I_L - \frac{E_n}{R_s + R_{L1}} \right) e^{-\frac{R_s + R_{L1}}{L_1} t}$$

2) 출력측

$$\frac{1}{C} \int_0^t i_3(t) dt = (R_{L2} + R_b) i_3 + L_2 \frac{di_3}{dt} + E_b$$

$$\frac{1}{CS} [I_3(s) - i_3(0_+)] = (R_{L2} + R_b) I_3(s) + \frac{E_b}{s} + L_2 [s I_3(s) - i_3(0_+)]$$

초기조건을 대입하여 정리하면

$$i_3(t) = \frac{T\beta_1 - W}{\beta_1 - \beta_2} e^{\beta_1 t} + \frac{T\beta_2 - W}{\beta_2 - \beta_1} e^{\beta_2 t}$$

여기서,

$$T = L_2 I_L C \quad W = (E_b + V_0) C$$

$$D = L_2 C \quad F = (R_{L2} + R_b) C$$

$$\beta_1 = \frac{-F + \sqrt{F^2 + 4D}}{2D}, \quad \beta_2 = \frac{-F - \sqrt{F^2 + 4D}}{2D}$$

나. S.W OFF동작시 회로 방정식

1) 입력측

$$E_s = (R_s + R_{L1}) i_2 + L_1 \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i_2 dt$$

$$\frac{E_s}{s} = (R_s + R_{L1}) I_2(s) + L_1 [s I_2(s) - i_2(0_+)] + \frac{1}{CS} [I_2(s) + i_2(0_+)]$$

초기조건을 대입하여 정리하면

$$i_2(t) = \frac{X\alpha_1 + Y}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_1 t} + \frac{X\alpha_2 + Y}{\alpha_2 - \alpha_1} e^{\alpha_2 t}$$

여기서,

$$X = L_1 I_L C$$

$$Y = (E_L - V_0) C$$

$$A = L_1 C$$

$$B = (R_s + R_{L1}) C$$

$$\alpha_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}$$

$$\alpha_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}$$

2) 출력속

$$L_2 \frac{di_4}{dt} = (R_{L2} + R_b) i_4 + E_b$$

$$L_2 [SI_4(s) - i_4(0)] = (R_{L2} + R_b) I_4(s) + \frac{E_b}{s}$$

초기조건을 대입하여 정리하면

$$i_4(t) = -\frac{E_b}{R_{L2} + R_b} + \left(I_1 + \frac{E_b}{R_{L2} + R_b} \right) e^{-\frac{R_{L2} + R_b}{L_2} t}$$

3-2. 최적정수 선정법

Max. Solar Energy Tracking System의 각 회로 방정식에서 구한 각 부우프전류 $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$, $i_4(t)$ 식을 이용하여 일사량에 따른 단락전류와 시스템의 관계식 그리고 그때의 초기조건을 이용하여 L1, C, L2 값을 선정한다.

최적정수 선정절차

- .Step1 : 시스템의 주파수 선정
- .Step2 : Duty cycle 산출
- .Step3 : Ton, Toff 시간 산출
- .Step4 : $i_1(t)$ 선정 및 초기치 선정 ; L1 선정
- .Step5 : $i_2(t)$ 선정 및 초기치 선정 ; C 선정
- .Step6 : $i_4(t)$ 선정 및 초기치 선정 ; L2 선정

4. 최적정수 선정에 및 실험결과

가. 시스템 구성

- 1) 태양전지개방전압 : 20 ~ 17 [V]
- 2) 태양전지단락전류 : 0.56 ~ 0.1 [A]
- 3) 태양전지내부저항 : 34.5 ~ 193.2 [Ω]
- 4) 축전지의 단사전압 : 12 [V]
- 5) 축전지의 내부저항 : 20 [Ω]
- 6) 시스템주파수 : 2000 [Hz]

나. 최적정수 선정치

* L1 = 78 [mH], * C = 6 [μ F], * L2 = 149 [mH]

다. 실험결과

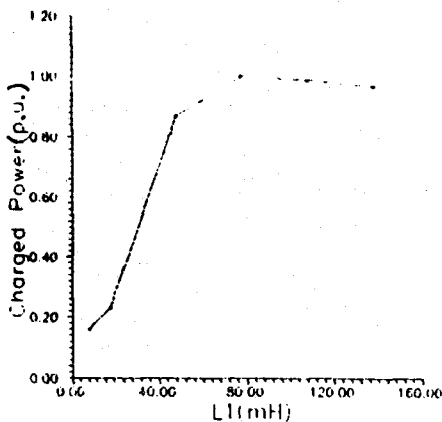


그림 4.1. 충전전력 - 정수(L1)특성

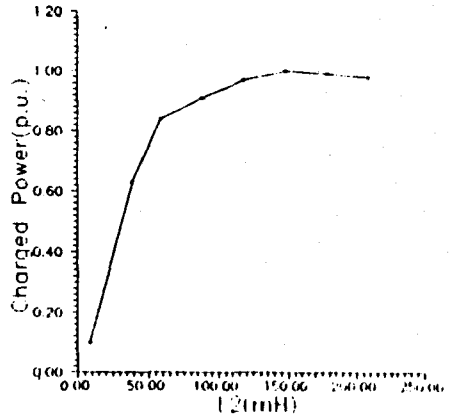


그림 4.2. 충전전력 - 정수(L2)특성

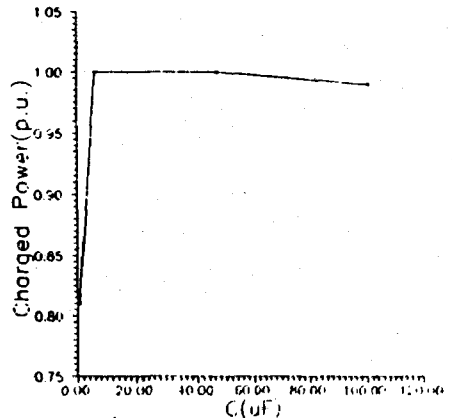


그림 4.3. 충전전력 - 정수(C)특성

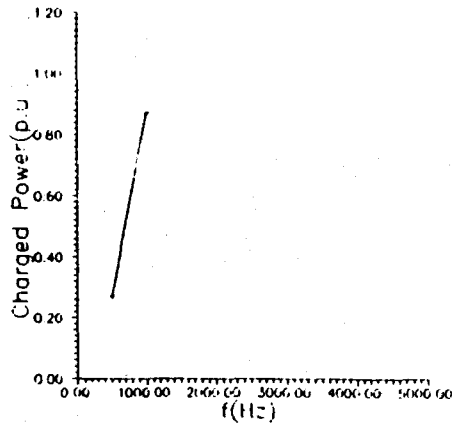


그림 4.4. 충전전력 - 주파수특성

5. 고찰 및 결론

5.1 고찰

가. 본 논문에서 서술한 실험에서는 백열전구광원으로 태양전지단락전류가 0.56 ~ 0.1 [A]로 변화할때를 기준으로 행하였다. 이것은 태양광과 분광분포가 다

르지만, 태양전지의 동작영역에서 연속 Spectrum을 갖고 있어 시스템의 동작을 검토.분석하는데는 간편하고 유효한 공원이라고 말할 수 있다.

나. 시스템의 주파수특성은 주파수를 증가시키면 정수값 L_1, L_2, C 가 감소함을 알수 있었다.

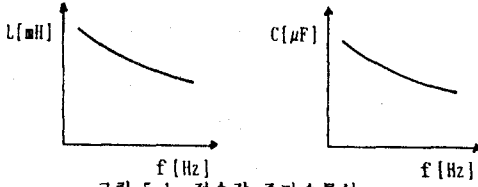


그림 5.1, 정수값-주파수특성

다. 전원전압이 증가할수록 인덕턴스값은 감소하고, 캐패시터값은 증가한다. 그러나 부하(축전지)전압이 증가하면 인덕턴스값은 증가하고, 캐패시터값은 감소함을 알수 있다.

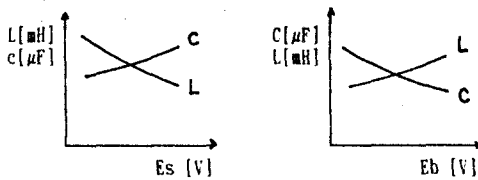


그림 5.2, 정수값-전원.부하특성

5.2 결론

- 가. Max. Solar Energy Tracking System에서 최적정수산정법을 제시하였으며, 실험결과도 양호하였다.
- 나. 전원.부하특성이 변동하는 에너지변환장치의 설계기초자료를 제공하였다.
- 다. 태양에너지활용의 이용효율을 향상시켰다.

참고 문헌

1. 황영문, 백병산, 심백주 ; "Cuk Converter에 의한 태양광 발전시스템에 관한 연구", 대한전기학회 전력전자연구회 학술연구발표회 논문지, P15 ~ 16, 1990. 4. 9
2. Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robins, POWER ELECTRONICS : Converters, Applications, Design, John Wiley & Sons Inc., 1989