

## 위성 SAR 모듈화 구현을 위한 전원회로 설계 및 해석

박성우, 장진백, 박희성, 장성수  
한국항공우주연구원

### A Power-stage Design and Analysis to Modularize the SAR of the KOrea Multi-Purpose SATellite

S.W. Park, J.B. Jang, H.S. Park, and S.S. Jang  
Korea Aerospace Research Institute

#### ABSTRACT

KOrea Multi-Purpose SATellite (KOMPSAT) uses software-controlled unregulated bus system in which the main bus is directly connected to a battery and the duty-ratio for PWM switch is generated by the on-board satellite software algorithm. In this paper, we propose a new power-stage circuit that can be available for modularization of a solar array regulator(SAR) which is used in the KOMPSAT. The operations at each mode and current sharing characteristics of the power-stage are analyzed and verified by simulation and experiments on a prototype converter.

#### 1. 서 론

새로운 위성개발 과정에서 시스템 요구 전력용량의 증가로 대 전력의 전원장치를 새롭게 개발할 경우, 기존의 전원단을 모듈화 하여 사용할 수 있다면, 개별소자에 대한 특성검토, 노이즈나 방열문제 등을 쉽게 해결 할 수 있을 뿐만 아니라 고 신뢰도의 대형 전원장치를 짧은 기간 내에 적은 개발비용으로 구현 할 수 있다. 즉, 필요한 대용량 전원시스템은 기존의 소용량 전원단 모듈의 수를 변화시킴으로서 쉽게 구현 할 수 있게 된다. 이와 같이 대용량 전원을 소용량의 모듈화를 통해서 구현하는 방법은 통신 중계기와 같은 통신장비나 네트워크 장치, 대형 컴퓨터 시스템뿐만 아니라 위성 전원장치 등의 분야에서도 이미 널리 사용되고 있다.

일반적으로 대용량의 전원단 컨버터를 소용량 컨버터의 병렬 모듈(parallel module)로 구현 할 경우, 단일 대용량 전원을 사용하는 경우보다 높은 효율특성과 우수한 동특성을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 위성 전원설계의

중요한 개념인 중복성(redundancy) 개념을 쉽게 적용할 수 있다.<sup>[1],[2]</sup> 하지만, 위와 같은 여러 이점에도 불구하고, 컨버터의 병렬 동작 시 모듈 간 전류분배(current sharing)가 적절히 이루어지지 않을 경우 특정 모듈에 대부분의 부하 전류가 흐르게 되어 해당 모듈의 과중한 전류 압력으로 인해 전체 시스템에 치명적인 손상을 가할 수 있다.<sup>[3]</sup>

위성의 전력계는 버스 전압 특성에 따라 regulated bus 시스템과 unregulated bus 시스템으로 나눌 수 있으며, 전력조절기의 스위칭 듀티 값(duty-ratio) 생성, 제어 방법에 따라 하드웨어 제어와 소프트웨어 제어방법으로 나눌 수 있다. 다목적 실용위성 시리즈는 unregulated bus 시스템을 적용하고 있으며, solar array의 출력전력을 조절하기 위해 사용되는 전력조절기의 스위칭 듀티 값이 탑재 소프트웨어에 의해 제어되는 소프트웨어 제어 방식을 사용한다. 본 논문에서는 다목적 실용위성과 동일한 소프트웨어 제어 방식을 사용하는 unregulated bus 시스템의 전력조절기 모듈화에 적용 가능한 새로운 전원단 회로를 제안하며, 제안된 전원단을 적용한 병렬모듈 컨버터의 prototype 제작, 실험을 통해 제안된 회로의 타당성을 검토한다.

#### 2. 소프트웨어 제어방식 Unregulated Bus 시스템

다목적 실용위성은 unregulated bus 시스템을 사용하고 있으며, 전력조절기의 듀티 값은 전력계의 상태에 따라서 소프트웨어적으로 제어된다. 따라서 메인 버스전압 (main bus voltage)은 배터리전압과 동일하며, 전력조절기는 필요한 전력을 공급하기 위해서 적당한 듀티 값을 마이크로 프로세서로부터 입력받는다. 그림 1은 다목적 실용위성의 소프트웨어 제어방식 unregulated power bus 시스템을 나타낸다.

그림 1과 같은 unregulated bus 시스템에서는 출

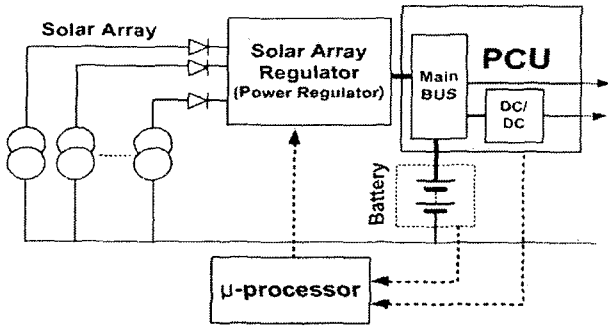


그림 1 다목적 실용위성의 소프트웨어 제어방식 unregulated bus 시스템

Fig. 1 Software-controlled unregulated bus system of the K0rea Multi-Polpose SATellite

력 버스전압을 제어(regulation) 하지 않으므로, 전력조절기로 사용되는 컨버터는 일반적으로 개 루프(open-loop)로 동작한다. 따라서 컨버터를 모듈화 하여 사용할 경우 발생할 수 있는 모듈 간 전류 불균형(current unbalance)을 해결 하기위하여 적용 가능한 제어방법에 많은 제약이 있다.<sup>[1],[2],[3],[4]</sup>

위와 같은 소프트웨어 제어방식의 unregulated bus 시스템에서는 각 모듈이 마이크로 프로세서로부터 동일한 듀티 값을 입력받게 되므로 각 모듈의 스위칭 듀티 값을 서로 다르게 제어해서 모듈 간 전류 불균형을 해소하는 방법은 적용하기 어렵다. 따라서 병렬모듈로의 확장성을 고려하여 단일모듈을 설계할 경우, 외부제어 회로의 추가 없이 단일모듈의 병렬만으로 모듈 간 전류 분배를 구현할 수 있는 전원단을 사용하여 컨버터를 설계하여야 한다. DCM (Discontinuous Conduction Mode)에서 동작하는 Buck, Boost, Buck/Boost 컨버터나 공진형 컨버터는 전원단 동작특성상 병렬 모듈화를 구현할 경우, 추가 제어회로 없이 모듈 간 전류분배가 이루어지는 것으로 알려져 있다.<sup>[2],[5]</sup> 전력 조절기의 모듈화를 위해 본 논문에서 제안된 전원단은 다목적 실용위성의 전력조절기로 사용되는 Buck 컨버터에 공진특성을 추가하여 CCM (Continuous Conduction Mode)에서 동작하면서도 병렬 모듈 동작시 모듈 간 전류 분배 특성을 가진다.<sup>[6]</sup>

### 3. 전원단 해석

제안된 전원단을 그림 2에 나타내었다. Buck 컨버터에 공진특성을 얻기 위해  $L_r$ ,  $C_r$ 이 추가되었으며, Buck 컨버터와 유사한 입력력 전압특성을 얻기 위해 다이오드  $D_1$ ,  $D_2$ 가 추가되었다.  $L_r$ 은 전류공진 컨버터의 설계에서와 동일한 방법으로 얻은 값을 이용할 수 있다.  $C_r$ 값이 크게 되면, 출력력 전압특성은 Buck 컨버터와 다르게 되므로  $C_r$ 은 공진컨버터 설계에서 요구되는 값보다 매우 작은 값으로 선택되어야 한다. 본 논문에서는 공진 컨버터

구현 시 요구되는 값보다 1/10이하의 작은 값으로 사용하였다.

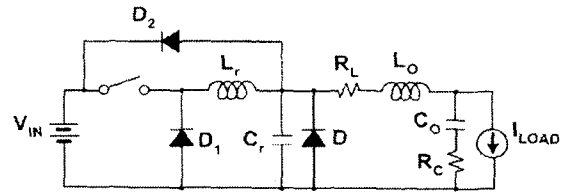


그림 2 제안된 전원단 회로

Fig. 2 The proposed power-stage circuit

그림 3은 제안된 전원단의 모드별 동작을 나타낸다.

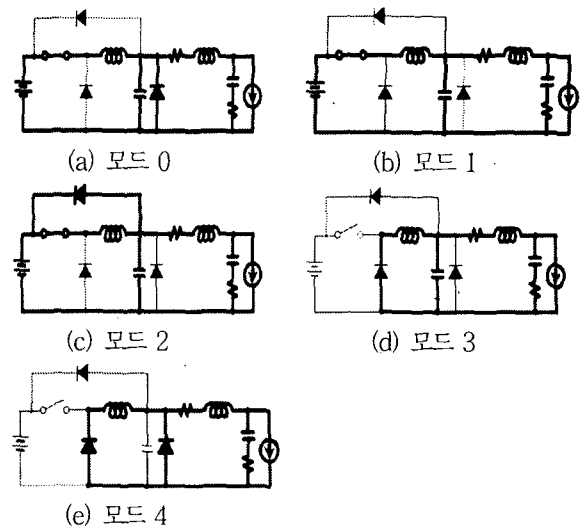


그림 3 제안 전원단의 모드별 동작

Fig. 3 Circuit operations at each mode of the proposed power-stage

제안된 전원단은 그림 3과 같은 5개의 모드로 동작하며, 각 모드의 동작 과정은 다음과 같다.

모드 0: 스위치가 OFF, 다이오드 D가 ON 된 상태에서 스위치가 ON이 되면, 모드 0과 같은 회로가 구성되어 스위치와 다이오드 D가 ON 상태를 유지한다. 하지만 제안된 전원단에서는  $C_r$ 의 값이 공진 컨버터에 비해 매우 작으므로 실제 이 구간은 공진 컨버터에 비해 극히 짧다.

모드 1: 모드 0에서 다이오드 D의 전류가 0이 되면, 제안된 회로는 다음 모드로 진행되어 그림 3의 (b)와 같은 동작을 하게 된다.  $L_r$ ,  $C_r$ 이 공진하기 시작하고  $C_r$ 양단 전압  $V_C$ 이 입력전압과 같아지는 때까지  $V_C$ 은 상승한다.  $C_r$ 값이 매우 작으므로  $V_C$ 은 거의 선형적으로 증가하며, 이 구간은 스위칭 주기에 비해 매우 짧다.

모드 2:  $V_{Cr}$ 이 입력 전압과 같아지면, 공진작용은 멈추고, 부하 전류보다 큰 입력 전류 성분은 D2를 통해서 입력으로 캐환된다.

모드 3: 스위치가 OFF되면,  $Lr$ 에 연속된 전류를 흘리기 위해 D1이 ON된다.  $Cr$ 에 충전된 에너지는 부하로 전달되어  $V_{Cr}$ 이 0으로 감소하게 된다.

모드 4:  $V_{Cr}$ 이 감소하여 0이 되면, 다이오드 D가 ON이 되어 모드 4의 회로가 구성된다.

그림 4와 5에 제안한 전원단의 모드별 동작파형과 모의 실험 결과를 각각 나타내었다. 각각의 파형은 출력 인덕터 전류( $i_{L_o}$ ), 출력다이오드 전류( $i_D$ ), 캐환 다이오드 전류( $i_{D2}$ ), 공진 인덕터 전류( $i_{Lr}$ ), 공진 커패시터 전압( $V_{Cr}$ )과 스위칭 PWM 신호를 나타낸다. 시뮬레이션 동작 조건과 회로 소자 값은 다음 표 1과 같다.

표 1 동작 조건 및 회로 소자

Table 1 Operating conditions and components

Conditions/Components	Simulation values
입력 전압( $V_{IN}$ )	30[V]
부하 전류( $I_{LOAD}$ )	1[A]
공진 인덕터( $Lr$ )	1.75[uH]
공진 커패시터( $Cr$ )	30[nF]
출력 인덕터( $L_o$ )	75[uH]
출력 커패시터( $C_o$ )	400[uF]
스위칭 주파수( $f_s$ )	100[kHz]

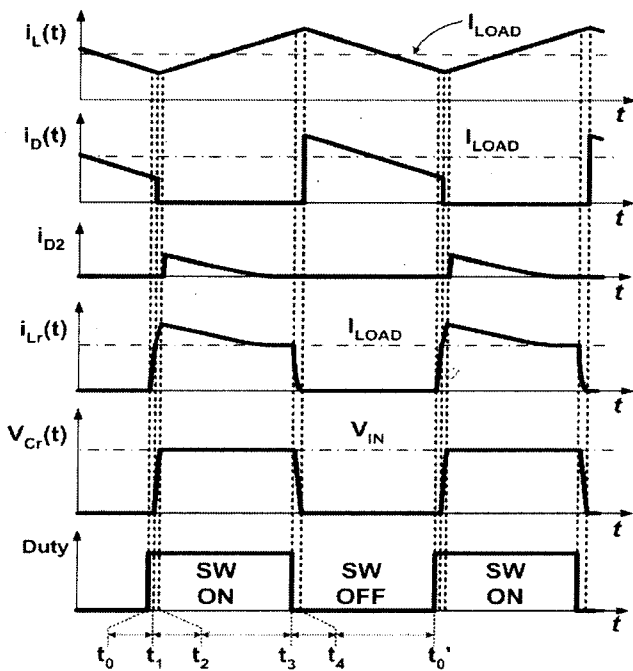


그림 4 제안된 전원단의 모드별 동작 파형

Fig. 4 Operational waveforms at each mode of the proposed power-stage

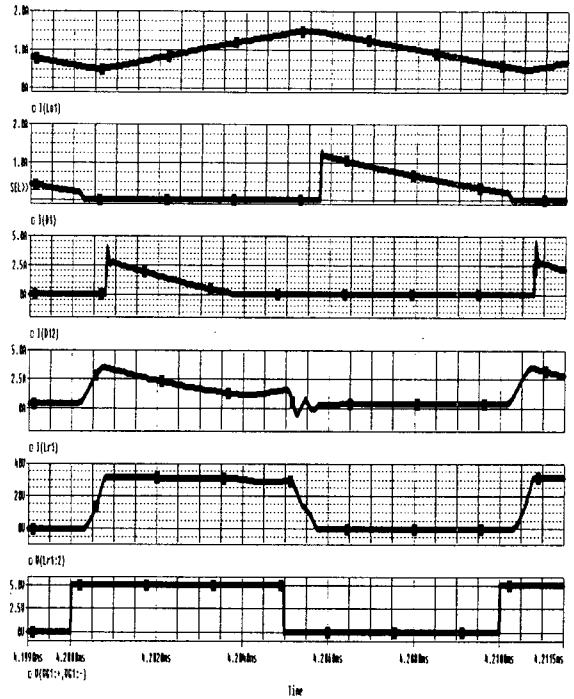


그림 5 제안된 전원단 모의 실험 결과

Fig. 5 Simulation results of the proposed power-stage

#### 4. 병렬모듈 전력조정기의 시뮬레이션 및 실험결과

3장에서는 제안된 전원단의 모드별 동작특성을 해석하였다. 본 장에서는 기존의 전원단과 제안된 전원단으로 구성된 병렬모듈 컨버터를 구성하여 각 병렬모듈에서 전류 분배특성을 검토하여 제안된 전원단의 우수한 전류 분배특성을 검증한다. 그림 6과 그림 7은 각각 기존 전원단을 사용한 컨버터의 병렬모듈 회로와 병렬모듈 동작 시 각 모듈에 흐르는 부하전류를 나타낸다. 병렬모듈의 부하전류는 각각 0.5A, 1.5A로 모듈 간 전류 불균형량은  $\pm 50\%$ 로 매우 크게 나타남을 알 수 있다.

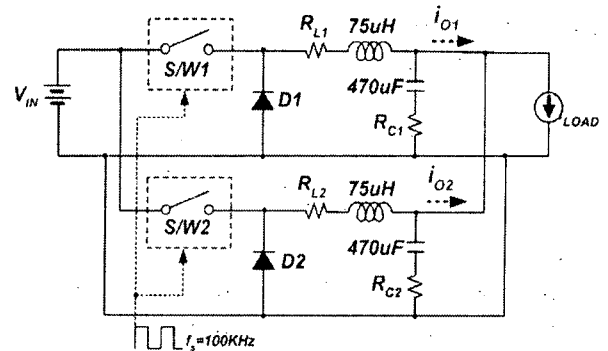


그림 6 기존 전원단을 적용한 병렬모듈 컨버터

Fig. 6 A Parallel-module converter composed of the conventional power-stages

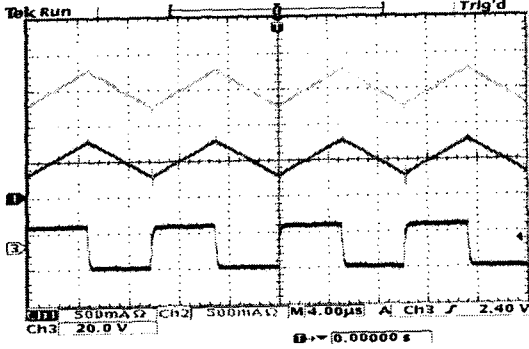


그림 7 출력전류: @conventional power-stage  
Fig. 7 Output current: @conventional power-stage

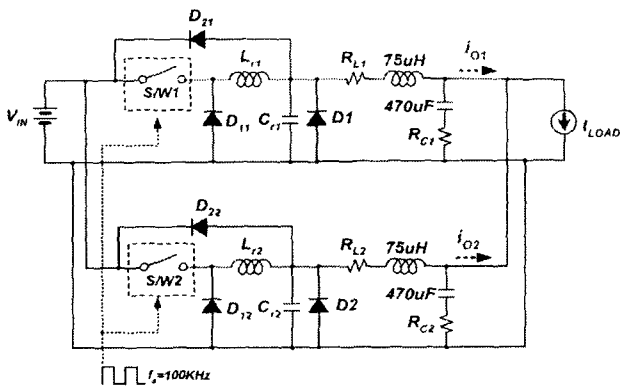


그림 8 제안된 전원단을 적용한 병렬모듈 컨버터  
Fig. 8 A Parallel-module converter composed of the proposed power-stages

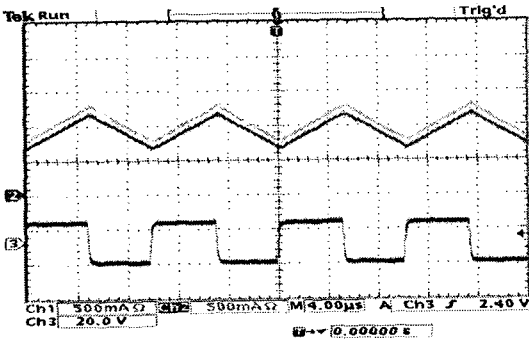


그림 9 출력전류: @proposed power-stage  
그림 9 Output current: @proposed power-stage

그림 8과 그림 9은 각각 제안된 전원단을 사용한 컨버터의 병렬모듈 회로와 병렬모듈 동작시 각 모듈에 흐르는 부하전류를 나타낸다. 병렬모듈의 전류는 각각 0.95A, 1.05A로 모듈 간 전류 불균형량은  $\pm 5\%$ 수준으로 기존 전원단을 그대로 사용한 경우에 비해 1/10 수준으로 크게 감소하였음을 알 수 있다. 위의 실험결과에서 보듯이 제안된 전원단 회로로 단일모듈 컨버터를 구현하면, 부하 요구 조건의 증가로 컨버터의 용량을 증가 시켜야 할 경우 단순히 전원단 회로의 병렬연결만으로 상당히 개선된

전류분배능력을 갖는 병렬모듈 컨버터를 구성할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 소프트웨어 제어방식을 적용하는 unregulated bus 시스템의 전력 조절기 모듈화 구현에 적합한 새로운 컨버터 전원단을 제안 하였다. 제안된 전원단을 적용한 병렬모듈 컨버터의 prototype 제작을 통해 병렬모듈의 전류 분배특성을 검토하였으며 그 결과를 기존 전원단을 사용한 병렬모듈 컨버터의 전류분배 특성과 비교, 검토함으로써 제안된 전원단의 적용 타당성을 검증하였다

## 참고 문헌

- [1] Shiguo Luo, Z. Ye, R. Lin and Fred C. Lee, "A Classification and Evaluation of paralleling Methods for Power Supply Modules", *PESC '99 Proc.*, pp. 901-908.
- [2] C. Jaerson, C. Mullet, "Paralleling supplies via various droop methods," in *High Frequency power Conversion (HFPC) Conference*, apl. 1994, pp. 68-76.
- [3] R-H.Wu, T.Kohama, Y.Kordra, "Load-Current sharing for parallel operation of dc-dc converters", in *Power Electronics Specialists Conference 1993*, pp. 101-107.
- [4] Joe Bocek et al., "Determining Current Sharing Criterion for Parallel Operation of Power Converters in Multi-module BUS System." *PESC '90*, pp. 1105-1111.
- [5] J. Perkinson, "Current sharing of redundant DC-DC converters in high availability systems a simple approach", *APEC Proc.* pp. 952-956.
- [6] 정규범외, 위성 SAR 모듈화 설계 및 분석, KARI 위탁 연구과제 보고서.