
원격전력제어 장치의 모델링 및 시뮬레이션 분석에 대한 연구

전영철, 이혁재, 정원용
경남대학교 정보통신공학과

A Study on the Modeling and Simulation Analysis of Remote Solid State Power Controller

Yeong Cheol Jeon, Hyuek Jae Lee and Won Yong Chong
Department of Information and Communication
Kyungnam University
E-mail : chiriya@kyungnam.ac.kr

요 약

대규모 DC 전력 시스템에서는 회로차단기(circuit break)와 계전기(relay)로 대표되는 기존의 전자 기적 회로차단기가 현재 산업 전 분야에 널리 사용 되고 있으나, 최근에는 고 신뢰성, 원격제어능력, 과부하와 단락전류 보호, 적은 열손실(dissipation) 등의 장점을 가지고 있는 원격전력제어기(Remote Solid State Power controller)를 MOSFET 반도체 스위칭 소자를 이용하여 개발하고 있는 추세이며 고품질을 요구하는 시스템에서는 필수적인 부품이 되어가고 있다. 본 논문에서는 회로차단기와 계전기의 기능을 통합한 원격전력제어장치의 I^2t 커브에 대한 이론 분석과 전체 회로 동작에 대한 시뮬레이션 분석을 수행한다.

ABSTRACT

The conventional electro-mechanical circuit break and relay are widely used in large-sized DC power system. However, recently due to high reliability, remote controllability and small power dissipation of a RSPC (Remote Solid State Power Controller), high-friendly DC power systems have increasingly adopted the RSPC as an essential element. In this paper, we have conducted the modeling of a RSPC circuit and the simulation analysis for I^2t curve, respectively

키워드

SSPC, 전력제어, 최적 신호 범위 산출, Circuit break

1. 서 론

기존의 대규모 DC 전력시스템에서의 회로차단

기는 공급되는 전원이 전원분배장치 및 제어장치를 경유하고 있어, 전압 강하에 따른 전력손실이 발생한다. 그러나 최근에는 전력손실을 막기

위해 종래의 회로차단기와 계전기를 통합한 SSPC(Solid State Power Controller)로 교체되어 지고 있다. SSPC는 높은 신뢰성, 원격제어능력, 과부하 보호의 이점을 가지고 있으며 전력 손실은 아주 낮다. 전기적 제품들과 비교해 볼 때, SSPC는 빠른 응답 시간과 진동에 낮게 수용할 수 있다. 더욱이 SSPC는 단락 전류를 즉시 트립할 수 있을 뿐만 아니라 current-squared-time (I^2t)보호로 배선을 보호할 수 있다. 전류 피드백 루프는 대개 전류제한 기능을 실시하기 위해 디자인되어진다. 센싱 된 전류는 기준 전류 값과 비교한다. 이때 에러 신호는 제어기의 게이트를 조절하기 위해서 트립 컨트롤러에 들어가게 된다.[1][4] SSPC분야는 이미 DC전력 시스템에서 저가의 SSPC 개발, 온도 보상에 따른 SSPC, 스위칭 특성에 따른 SSPC 등 많은 분야에서 연구되어지고 있다. 하지만 과전류 차단 회로가 복잡하고 소신호로 SSPC의 동작 상태를 확인하여 미리 장비의 오작동과 결함 등을 파악하기는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 원격전력제어기(RSPC) 동작 특성 분석을 위한 시간 축 파형을 시뮬레이션으로 분석하고 최적 제어 신호 범위를 산출 하고자 한다. 본 논문의 구성은 II에서 RSPC 모델링을 설명하고 III에서는 RSPC 모델링에 대한 시뮬레이션 결과를 확인한다. IV장에서는 최적 신호 범위 산출 결과와 RSPC 응용분야를 설명한다.

II. RSPC 모델링

일반적으로, RSPC 구조인 그림1은 전력 MOSFET, Isolated Control Circuit, Internal Power Supply로 3개의 블록으로 구성되어있다.

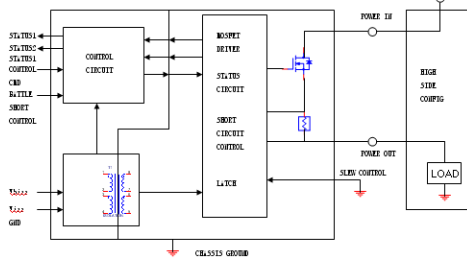


그림1. RSPC 블록 다이어그램

컨트롤러의 주 블록은 MOSFET 드라이버 논리 단계이다. 이것은 트립 특성, MOSFET를 컨트롤 하기 위한 드라이버 수준을 제공하는 필수적인 기능을 가지고 있다. RSPC와 같이 고전압의 스위칭 회로를 설계하기 위해서는 스위칭 회로의 전압/전류 용량을 결정해야 하며 rise/fall 시간, 입/출력 등가 캐패시턴스, Conduction Loss를 최소화 할 수 있어야 한다. 그림2는 수식(1)을 이용하여, 전압/전류 용량을 결정하기 위한 제어

루프의 회로를 간략화 하였다.

$$\begin{aligned} C_{iss} &= C_{gs} + C_{gd} \\ C_{oss} &= C_{gd} + C_{ds} \\ C_{rss} &= C_{gd} \end{aligned} \quad (1)$$

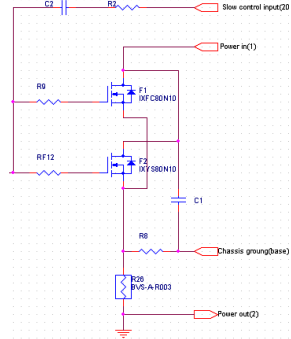


그림2. RSPC 루프 회로

다음은 호스트에게 상태를 보고하는 Control Circuit 이다. 제어회로는 디지털 컨트롤 측과 결함을 방지하기 위한 전력 MOSFET 드라이버로부터 반드시 분리되어야 한다. 따라서 이 블록은 원격으로 RSPC의 실시간 상태를 제어할 수 있게 되어 있다. 그림3은 Control Circuit의 설계 회로도이며 표1은 RSPC가 두 개의 디지털 출력과 하나의 입력 신호에 따른 RSPC의 상태를 나타내고 있다.

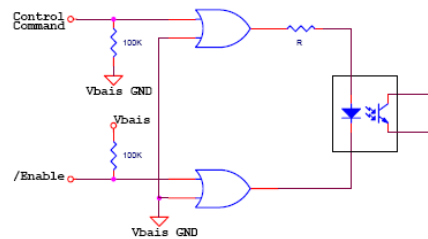


그림3. Control/Enable 회로

status1은 부하가 정격 전류의 5% 보다 낮을 경우에는 "H", 15% 보다 높을 경우에는 "L"이 된다. status2 신호는 MOSFET의 ON/OFF 상태를 나타내는 신호로서 MOSFET가 ON이면 "L", MOSFET가 OFF이면 "H"가 된다.

표1. RSPC 동작상태

순번	제어 신호	status1	status2	제어 및 부하상태
1	L	L	L	RSPC고장
2	L	L	H	부하 ON RSPC 고장
3	L	H	L	부하OFF RSPC OFF
4	L	H	H	RSPC 고장
5	H	L	L	RSPC 고장
6	H	L	H	부하ON RSPC ON
7	H	H	L	부하OFF RSPC 트립
8	H	H	H	RSPC ON

RSPC의 Short Control Circuit 모델링은 그림4의 [1] I^2t 커브에 따라 다른 전류 임계값에 따른 단락을 구성할 수 있다. 다른 기능은 지속적인 전류 모니터링에 의해 로드전류의 상태를 확인하는 것이다. 만약 로드 전류가 최대 한계를 넘었을 때, RSPC는 즉시 트립(trip)되어 진다.



그림4. RSPC I^2t 커브 특성 곡선

III. 최적 신호 범위 산출을 위한 시뮬레이션

본 논문에서는 RC 회로의 시정수 값을 조절하여 최적 신호 범위를 산출할 수 있으며, PSpice 시뮬레이션을 이용하여 그 결과를 확인할 수 있다. 그림5는 본 논문에서 제안한 과부하 차단 회로이며 센싱 된 신호의 rising time을 결정하는 특성은 수식(2),(3),(4)를 통해 결정할 수 있다.[2] 산출된 값은 비교기의 기준전압과 비교하여 RSPC의 전류차단 특성을 확인할 수 있다. 마지막으로 전류 차단 이후의 상태를 유지시키기 위해 Latch 회로를 설계 하였다.

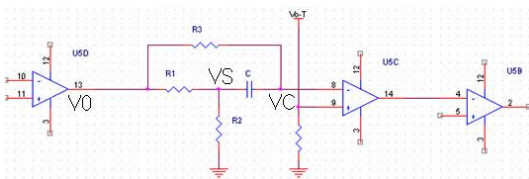


그림5. Short Control Circuit

$$VS = \frac{R2}{R1 + R2} * V0 \quad (2)$$

$$t = R3 * C * Lm \left(\frac{VS - V0}{VE - V0} \right) \quad (3)$$

$$VC = V0 + (VS - V0) e^{-\frac{1}{\tau} t} \quad (4)$$

VC는 커패시터의 충전 전압을 의미한다. 이는 PSpice를 이용한 과도해석을 통해 적절한 시정수(τ)값을 산출할 수 있고 Trip 시간(t)를 역으로 계산함으로써 I^2t 특성곡선의 최적 신호 범위를 알아낼 수 있다.

그림6은 실제 RSPC의 동작 타이밍을 계측하기 위한 실험 환경이며 그림7은 계측된 결과데이터이다. SSPC는 I^2t 특성 곡선에서의 로드전류 200%에 준하는 최고 한계 값과 최소 한계 값을 각각 220ms~600ms로 규정하고 있다. 따라서 그림8에서, 계측된 Trip 시간은 550ms로 안정적으로 전류를 차단함을 확인할 수 있다.



그림6. RSPC 디바이스

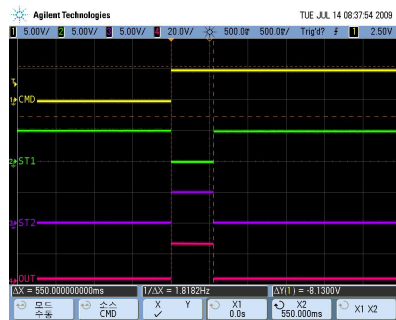


그림7. 로드 전류 200%에서의 RSPC 동작특성

그림8은 본 논문에서 설계한 Short Control Circuit를 PSpice 시뮬레이션으로 나타낸 결과 데이터이다. 과부하 차단 이후의 신호 상태가 Latch 회로로 인하여 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 그림9는 I^2t 특성 곡선에서의 분포도를 나타낸다.

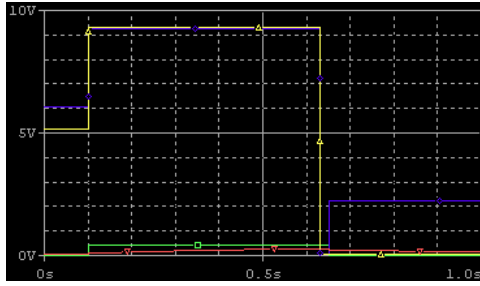


그림8. 로드 전류 200%에서의 PSpice 시뮬레이션

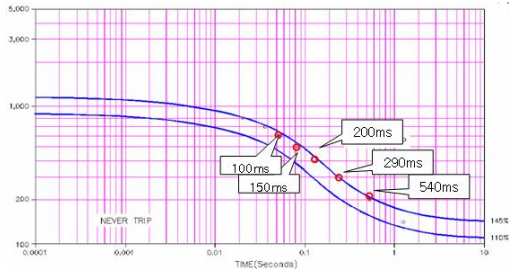


그림9. 시뮬레이션 결과 데이터

전류 차단 특성에 대한 시뮬레이션은 로드 전류가 각각 200%, 300%, 400%, 500%, 600% 일때의 신호 범위를 산출한다. 표2는 로드 전류에 대한 차단 특성 결과이다.

표2. 전류 차단 특성 표

순번	로드 전류	기준치(ms)	차단 특성(ms)
1	200%	220~2000	540
2	300%	200~700	390
3	400%	100~250	200
4	500%	65~160	130
5	600%	35~100	80

Short control Circuit 모델링에 의한 결과가 I^2t 특성 곡선 내에서 전류가 차단되어 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 원격전력 제어기의 모델링 및 시뮬레이션 분석을 통해 최적의 신호 범위를 산출하였다. RSPC 25A I^2t 커브 특성은 부하 전류 200%에서 최대 한계 값과 최소 한계 값을 200ms~2000ms로 규정하고 있다. RC회로의 시정수 값을 조절 하여 540ms에서 전류 차단 특성을 확인함으로써 최적의 신호 범위를 산출 할 수 있다.

기존의 SSPC 전류 차단 모델링은 전류차단 회로가 복잡하고 어렵다. 분석된 원격전력 제어기의 모델링은 Circuit Control 설계를 RC회로, 비교기 등 간단한 IC 소자들로 구성하면서 최적의

전류 차단 특성을 얻을 수 있으며 실시간으로 디바이스의 상태를 즉시 감지할 수 있다.

본 논문에서 분석한 RSPC 모델링은 저전압 대전류 계통의 설계 및 제작기술, I^2t 에 의한 과전류 차단 알고리즘 설계기술, 센서기술과 결합하여 RSPC 성능 향상에 도움을 줄 수 있다.

참고 문헌

[1] D. Izquierdo, A. Barrado, M. Sanz, C. Fernández, P. Zumel, "Modeling Methods for Solid State Power Controllers (SSPC)", Compatibility and Power Electronics, 2009. CPE '09, May 2009 Page(s):265 - 270

[2] Y.V. Panov and **F.C. Lee**, "Modeling and Stability Analysis of a DC Power System with Solid State Power Controllers", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1996. APEC '96. Conference Proceedings 1996, March 1996 Page(s):685 - 691 vol.2

[3] A. Barrado, D. Izquierdo(*), M. Sanz, C. Raga, A. Lázaro, "Behavioural Modeling of Solid State Power Controllers (SSPC) for Distributed Power Systems, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE, Feb. 2009 Page(s):1692 - 1697

[4] Wei Liu and Alex Q. Huang, "A Novel High Current Solid State Power Controller", Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE, Nov. 2005 Page(s):5 pp

[5] Steve Friedman, "ROBUST / LOW COST SSPC'S ARE FINALLY AVAILABLE", Aerospace and Electronics Conference, 1997. NAECON 1997., Proceedings of the IEEE 1997 National, July 1997 Page(s):145 - 150

[6] Steven N. Friedman, "Solid-state Power Controller for the Next Generation", Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, Sept. 1992 Page(s):24 - 29

[7] Xiaohu Feng Arthur V. Radun, "SiC based Solid State Power Controller", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE, Feb. 2009 Page(s):1692 - 1697

[8] A. Barrado, D. Izquierdo(*), C. Raga, A. Lázaro, M. Sanz, "SSPC Model with Variable Reset Time, Environmental Temperature Compensation and Thermal Memory Effect", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE, Feb. 2008 Page(s):1716 - 1721