DBpia

짧은 폭의 펄스 출력을 위한 GaN HEMT 기반의 펄스 컨트롤러 인버터 설계

Design of the Pulse Controller Inverter Based on GaN HEMT for Short Pulse

저자
(Authors)

이승희, 송승호, 조현빈, 안재범, 류홍제
Seung-Hee Lee, Seung-Ho Song, Hyun-Bin Jo, Jae-Beom Ahn, Hong-Je Ryoo

출처
(Source)

조명·전기설비학회논문지 34(2), 2020.2, 46-51(6 pages)
Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 34(2), 2020.2, 46-51(6 pages)

발행처
(Publisher)

한국조명·전기설비학회
The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers

URL

http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09306410

APA Style

이승희, 송승호, 조현빈, 안재범, 류홍제 (2020). 짧은 폭의 펄스 출력을 위한 GaN HEMT 기반의 펄스 컨트롤러 인버터 설계. 조명·전기설비학회논문지, 34(2), 46-51

이용정보
(Accessed)

중앙대학교
219.255.207.***
2020/04/14 09:43 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s)and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s)for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2020) 34(2) : 46～51
http://doi.org/10.5207/JIEIE.2020.34.2.046 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)
논문 34-2-8

짧은 폭의 펄스 출력을 위한 GaN HEMT 기반의 펄스 컨트롤러 인버터 설계

(Design of the Pulse Controller Inverter Based on GaN HEMT for Short Pulse)

이승희* · 송승호** · 조현빈** · 안재범** · 류홍제†
(Seung-Hee Lee · Seung-Ho Song · Hyun-Bin Jo · Jae-Beom Ahn · Hong-Je Ryoo)

Abstract

High voltage pulsed power supply is a device for discharging high energy in a short time and is used to various fields. In particular, pulse characteristic with a short pulse width and fast rise time is required for discharging non-thermal plasma which is applied to the water treatment and gas treatment system. In this paper, for generating a high-voltage short pulse, pulse controller inverter based on wide band gap device is designed to provide fast and short gate signals for pulse discharging switches and the operational principle is analyzed. Pulse controller is designed with simple structure and GaN E-HEMT is utilized as inverter switch for fast characteristics. To verify the operation of the pulse controller inverter and its reliability in arc condition, the experiment was conducted.

Key Words : Fast Rise Time, Gate Drive Circuit, Pulse Power Supply, Short Pulse Width

1. 서 론

국방, 산업, 의료 등 고전압 펄스를 활용한 응용분야들의 수요가 증가함에 따라서 펄스 전원 장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 펄스 전원 장치는 충전된 에너지를 짧은 순간에 부하에 인가하는 전원 장치로서, 기존에는 전압 전류 정격이 높은 기계식 방전 스위치들이 사용되었다. 반복률, 펄스폭, 출력 전압에 대한 넓은 범위에서의 조절 가능함과 긴 수명이 요구됨에 따라서 현재에는 반도체 스위치 기반의 다양한 펄스 전원장치들이 제안되고 있다[1-4].

반도체 기반의 펄스 전원장치들이 높은 출력을 낼 때, 반도체 스위치의 전압 전류 정격의 한계를 극복하기 위하여 여러 개의 모듈을 연결하는 구조들이 사용된다. 이때 각 모듈 방전 스위치의 게이트 드라이버에 절연된 게이트 시그널과 파워소스를 공급 해주어야하기 때문에 비용이 높고 구조가 복잡해진다. 위의 문제들을 극복하기 위해 인버터의 출력을 변압기를 통하여 절연된 게이트 시그널과 파워를 모든 게이트 드라이버들에 동시에 전달할 수 있는 컨트롤 루프 게이트

† Corresponding Author : Professor, Department of Energy System Engineering, Chung-Ang University
* Department of Energy System Engineering, Chung-Ang University
** Department of Energy System Engineering, Chung-Ang University
Tel : 02-820-5178, Fax : 02-3280-5867
E-mail : hjryoo@cau.ac.kr
Received : 2019. 12. 26. / Revised : 2019. 12. 30.
Accepted : 2020. 1. 9.

Copyright ⓒ 2020 KIIEE All right's reserved
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중앙대학교 | IP:219.255.207.*** | Accessed 2020/04/14 09:43(KST)

드라이빙 방식이 제안되었다[5].

다양한 응용분야들이 요구하는 펄스의 주요 사양으로 출력 전압 전류, 반복률, 출력 상승 시간, 펄스 폭, 전압 드룹률 등이 있다. 위와 같은 사양들이 항상 모두 고려되어지는 것은 아니며, 특히 가스 처리 장치에 사용되는 비열 플라즈마 방전을 위해선 짧은 펄스 폭과 빠른 상승 시간을 갖는 펄스가 필요하다[6-8]. 가스 처리 시스템에서의 반응은 펄스 상승 시간동안 이뤄진다. 상승 시간 후에 펄스가 유지되는 시간이 짧도록 하여 비교적 낮은 에너지를 가함으로써 열 플라즈마가 되는 것을 막아 처리 효율을 낮추지 않도록 하고, 동시에 실제 가스 처리 과정에서 예상되는 아크 발생에도 전원장치가 고장 없이 안정적으로 동작할 수 있다.

본 논문에선 방전 부 모듈들의 게이트 드라이빙을 위해 사용된 컨트롤 루프에 빠르고 짧은 양극성 펄스 전압을 인가해주기 위하여 스위칭 특성이 빠른 GaN E-HEMT 기반 풀 브릿지 인버터가 사용되었다. 또한 인버터에 입력되는 PWM 신호를 만들어주기 위한 on/off pulse signal을 출력하는 간단한 구조의 펄스 컨트롤러가 설계되었다. 마지막으로 펄스 컨트롤러 인버터의 동작을 검증하기 위해 펄스 방전부 모듈들이 포함된 컨트롤 루프 부하 조건에서의 출력 실험이 진행되었으며 아크 발생 상황을 모의한 실험도 진행되었다.

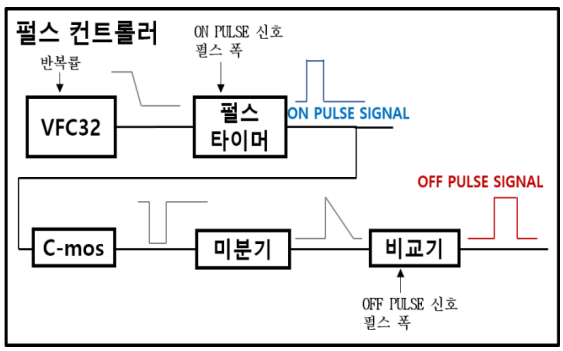
2. 본 론

빠른 상승시간과 짧은 펄스폭을 갖는 펄스 방전을 위해선 각 모듈의 방전 스위치에 동기화가 완벽하고 빠른 상승시간과 짧은 펄스폭을 갖는 게이트 입력 전압이 필요하다. 본 논문에서 사용된 컨트롤 루프 게이트 드라이빙 방식에선 그림 1 (a)와 같이 펄스 컨트롤러 인버터 하나의 출력이 동시에 각 펄스 방전 부 게이트 드라이버들에 입력되기 때문에 동기화 오차가 거의 발생하지 않는다. 한편 펄스 컨트롤러 인버터의 출력 특성이 느려지면 빠른 방전 부 게이트 드라이빙이 어려워진다. 펄스 컨트롤러 인버터에서 빠르게 컨트롤 루프 입력 on pulse를 출력하여 방전 스위치를 턴 온 시켰다가 off pulse를 출력하여 방전 스위치를 턴 오프 시키는 동작이 필요하다.

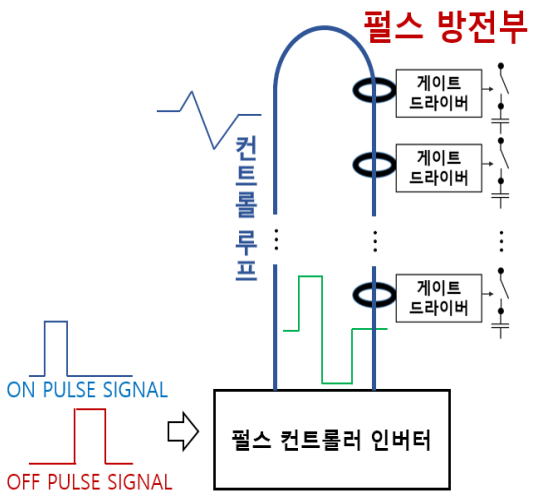
2.1 구조와 동작모드 분석

펄스 컨트롤러 인버터의 빠른 출력 특성을 위해 인버터 스위치로 스위칭 특성이 빠른 GaN E-HEMT (GS66516B)가 사용되었고 주요 사항은 표1에 나타나 있다.

GaN E-HEMT 기반의 펄스 컨트롤러 인버터 사용 게이트 드라이브 회로의 전체 구조는 그림 1 (b)에 나타나있다. 펄스 컨트롤러의 출력 단은 GaN 드라이빙 모듈의 입력 단과 연결된다. 모듈의 인버터 출력 단은 변압기의 1차 측 권선과 연결되고 2차 측 권선이 게이트 드라이버의 입력 단이 된다.



(a)



(b)

중앙대학교 | IP:219.255.207.*** | Accessed 2020/04/14 09:43(KST)

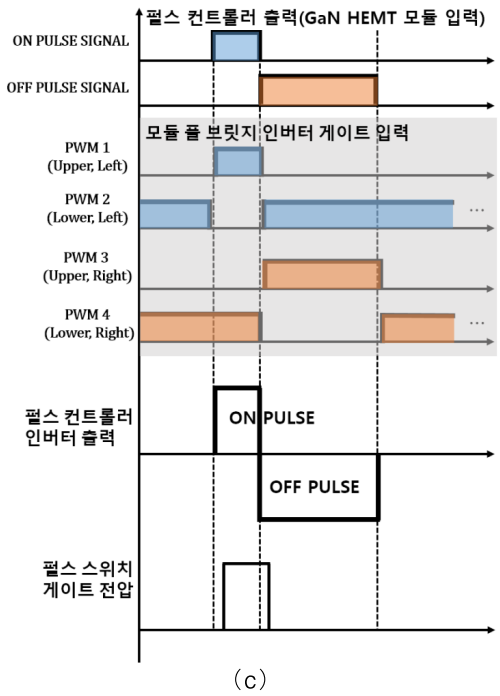


Fig. 1. Scheme of proposed pulse controller inverter. (a) Pulse controller. (b) Inverter and control loop load. (c) On/Off pulse signal processing

그림에서와 같이 입력 전압 크기에 따라 반복률이 가변되는 전압-주파수 변환기(VFC32)는 반복률 가변이 가능하고 일정 펄스 폭을 갖는 신호를 출력한다. 펄스 타이머(SN74LVCG123)는 VFC32 출력 신호의 하강 슬로프에 펄스 폭 가변 가능한 신호를 출력한다. 동시에 펄스 타이머의 출력(온 펄스 신호)이 Push-pull 회로와 미분기를 거쳐 비교기에 입력된다. 비교기는 이 신호를 받아 펄스 폭 가변 가능한 신호를 출력한다. 펄스 타이머의 출력과 비교기의 출력을 받아 on pulse signal과 off pulse signal는 그림 1 (c)에서와 같이 풀 브릿지 인버터의 PWM 신호가 되는 처리 과정을 거치고, PWM 신호는 GaN 파워 트랜지스터 인버터에 전달되어 on/off pulse를 출력한다. 인버터의 출력은 1차 측 루프와 변압기를 통해 펄스 방전 스위치 게이트 드라이버에 입력되고 게이트 드라이빙 파워를 공급해주는 동시에 게이트 온 오프 신호가 된다.

Table 1. GS66516B 650V GaN transistor datasheet

Model	GS66516B
$V_{CE,MAX}$	650V
$I_{DS,\max}$	60A (Tc = 25°), 47A (Tc = 100°)
C_{ISS}	520pF
C_{OSS}	130pF
C_{RSS}	4pF

2.2 실험 결과

본 논문에 근거하여 설계한 펄스 컨트롤러의 동작, GaN 파워 트랜지스터의 스위칭 특성, 펄스 컨트롤러 인버터 출력과 방전 부 게이트 드라이빙 동작을 검증하기 위한 실험이 진행되었다. 추가적으로 아크 발생 시에 펄스 방전 스위치 소손 발생 여부를 모의하기 위해 싱글 방전 부 모듈과 단락 부하 조건에서의 실험도 진행되었다.

실험에선 설계한 펄스 컨트롤러의 출력을 받아 GaN E-HEMT를 동작시키기 위하여 GaN systems 사의 GSP65MB-EVB 650V 모듈이 사용되었다. 오실로스코프로 Yokogawa 사의 DLM2024 (2.5GS/s, 200MHz)가 사용되었으며, 출력 전압 전류를 측정하기 위해 Tektronix 사의 차동프로브 P6015A (75MHz, 20kV)와 전류 프로브 701933 (50MHz, 30ARMS)가 사용되었다.

펄스 컨트롤러의 on/off pulse signal 출력을 받는 GaN 파워 트랜지스터 모듈 내부의 게이트 드라이빙 PWM 신호들의 동작을 확인하기 위한 실험이 진행되었다. 그림은 풀 브릿지 인버터의 게이트드라이버 입력 PWM 실험 파형을 나타낸다. 이는 펄스 컨트롤러의 on/off pulse signal 출력을 받아 4개의 GaN HEMT 전용 게이트 드라이버에 입력되는 PWM이고, 모듈 내부의 dead time 기능을 이용하여 암 단락을 방지하기 위하여 경험적으로 확인한 최소 dead time 30ns으로 설정하였다.

그림은 PWM 신호가 모듈 내부의 게이트 드라이버

중앙대학교 | IP:219.255.207.*** | Accessed 2020/04/14 09:43(KST)

에 입력됨에 따라서 출력되는 인버터 출력 전압, 출력 전류 (출력 단 컨트롤 루프 전류), 그리고 방전부 게이트 입력 전압 파형을 나타낸다. GaN E-HEMT를 사용한 인버터는 27ns의 빠른 상승시간을 갖는 80ns의 on pulse를 출력하고 on pulse 출력 직후 바로 off pulse를 출력한다. 이에 따라서 컨트롤 루프 전류가 급격하게 상승했다가 하강한다. 위와 같은 빠른 컨트롤 루프 전류 동작에 의해 방전부 게이트 드라이버의 게이트 입력 시그널이 약 100ns의 펄스 폭(full width at half maximum 기준)을 갖고 펄스 방전 스위치에 입력되는 것을 확인하였다.

최소 출력 펄스폭의 약 두 배인 200ns 조건에서 아크 발생을 모의하기 위한 단락 부하 싱글 방전 모듈 실험이 진행되었다. IGBT(FGL40N120)와 SiC MOSFET(C2M0040120D) 두 모델이 방전 스위치로서 사용되었고, 주요 사양은 표 2에 나타나있다. 단락 부하 조건에서 싱글 모듈 정격 전압 (약 900V)를 출력하여 방전 스위치에 흐르는 전류값이 380A, 330A 까

Table 2. Pulse discharging device datasheet

Model	FGL40N120AND	C2M0040120D
$V_{CE(DS),\max}$	1200V	1200V
$I_{CE(DS),\max}$	60A (Tc = 25°), 40A (Tc = 100°)	60A (Tc = 25°), 40A (Tc = 100°)

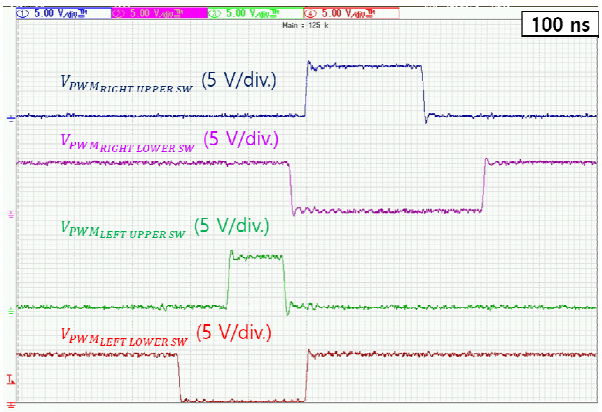


Fig. 2. The experimental waveform of the gate driver input signals in GaN E-HEMT module

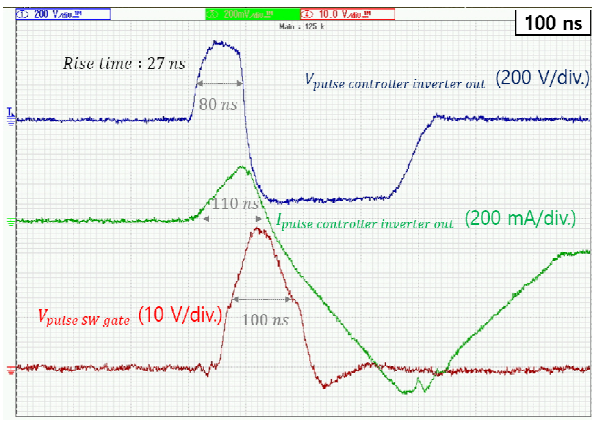


Fig. 3. The experimental waveform of the pulse controller output

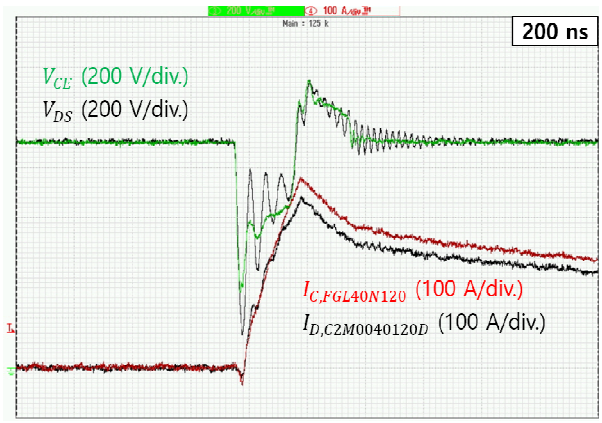


Fig. 4. The experimental result of short load condition

지 빠르게 상승하는 것을 확인하였다. 스위치에 흐르는 순간적인 전류 값이 스위치를 소손 시킬 정도의 레벨이 되기 전에 게이트 전압이 0이 되어 스위치가 턴오프되게 됨으로써 단락에 의한 소손이 방지되는 것을 확인하였고, 아크 발생 조건에서 추가적인 아크 보호회로 없이도 스위치가 보호됨을 검증하였다.

3. 결 론

짧은 펄스 방전을 위해 GaN E-HEMT 소자를 사용한 펄스 컨트롤러 인버터가 제안되었다. 동기화된 게이트 시그널을 입력하기 위해 컨트롤 루프 방식을 이

중앙대학교 | IP:219.255.207.*** | Accessed 2020/04/14 09:43(KST)

용하였고, 방전부 모듈의 게이트 드라이버를 동작시키는 컨트롤 루프 전류를 빠르게 상승시켰다가 하강시키는 동작 구현을 위해 빠르고 짧은 양극성 펄스를 출력하였다. 설계한 펄스 컨트롤러 인버터로 약 80ns의 positive pulse 출력 후 바로 negative pulse를 출력하였고, 결과적으로 100ns 펄스 폭을 갖는 방전 스위치 게이트 입력 전압을 구현하였다. 이에 따라 아크 발생 상황을 모의하기 위한 단락 부하 조건에서 추가적인 아크 보호 장치 없이도 스위치 소손이 발생하지 않는 것을 확인하였다.

Acknowledgement

이 성과는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No.NRF-2017R1A2B3004855)

References

[1] L. Redondo, H. Canacsinh, and J. Silva, "Generalized solid-state Marx modulator topology," IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul., vol. 16, no. 4, pp. 1037 - 1042, Aug. 2009.
[2] P. S. Brito, H. Canacsinh, J.P. Mendes, L. M. Redondo, and M.T. Pereira, "Comparison between monopolar and bipolar microsecond range pulsed electric fields in enhancement of apple juice extraction," IEEE Trans. Plasma sci., vol. 40, no. 10, pp. 2348-2354, Oct. 2012.
[3] S. A. Ghani, W. I. Ibrahim, M. R. Ghazali, and N. A. Azli, "Power electronics converter with Marx generator configuration based PEF for liquid food sterilization," in Proc. Conf. Elect. Control Comput. Eng., Jun. 2011, pp. 416 - 419.
[4] S.B. Ok, H.J. Ryoo, S.R. Jang, S.H. Ahn, and G. Goussev, "Design of a high-efficiency 40-kV, 150-A, 3-kHz solid-state pulsed power modulator," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 40, no. 10, pp. 2569 - 2577, Oct. 2012.
[5] S. H. Ahn, H. J. Ryoo, J. W. Gong, and S. R. Jang, "Robust design of a solid-state pulsed power modulator based on modular stacking structure," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 5, pp. 2570 - 2577, May 2015.
[6] T. Namihira, S. Tsukamoto, D. Wang, S. Katsuki, R.Hackam, H. Akiyama, Y. Uchida, M. Koike: "Improvement of NOx removal efficiency using short-width pulse power", IEEE Trans. Plasma Sci.,vol. 28, pp. 434-442 (2000).
[7] T. Namihira, D. Wang, S. Katsuki, R. Hackam, and H. Akiyama, "Propagation velocity of pulsed streamer discharges in atmospheric air," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 31, pp. 1091 - 1094, Oct. 2003.
[8] W.J.M. Samaranayake, Y. Miyahara, T. Namihira, S. Katsuki, T. Sakugava, R. Hackam and H. Akiyama, "Pulsed streamer discharge characteristics of ozone production in dry air", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 7, pp. 254 - 260, 2000.

Biography



Seung-Hee Lee

Seung-Hee Lee received the B.S. degree in energy systems engineering from Chung-Ang University, Seoul, South Korea, in 2017, where he is currently working toward the M.S. degree with the Department of Energy Engineering. His research interests include high efficiency resonant converters and solid-state high voltage pulsed power modulators.



Seung-Ho Song

Seung-Ho Song received his B.S. degree in electrical engineering from the Kwang-Woon University, Seoul, South Korea, in 2016. He is currently pursuing his M.S. and Ph.D. degrees at the Department of Energy Engineering, Chung-Ang University, Seoul. His current research interests include soft-switched resonant converter applications and high-voltage pulsed-power supply systems.



Hyun-Bin Jo

Hyun-Bin Jo received the B.S. degree in electronic engineering from Catholic University, Bucheon, South Korea, in 2016. He is currently pursuing his M.S. and Ph.D. degrees at the Department of Energy Engineering, Chung-Ang University, Seoul. His current research interests include high-voltage pulsed-power supply systems.



Jae-Beom Ahn

Jae-Beom Ahn received the B.S. degree in electronic engineering from Kook-min University, Seoul, South Korea, in 2019. He is currently pursuing the integrated M.S. and Ph.D. degrees at the Department of Energy System Engineering, Chung-Ang University, Seoul. His current research interests include power electronics and high-voltage pulse power systems.

중앙대학교 | IP:219.255.207.*** | Accessed 2020/04/14 09:43(KST)



Hong-Je Ryoo

Hong-Je Ryoo (M'17) received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees in electrical engineering from Sungkyunkwan University, Seoul, South Korea, in 1991, 1995, and 2001, respectively. From 2004 to 2005, he was a Visiting Scholar with WEMPEC, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI, USA. From 1996 to 2015, he joined the Electric Propulsion Research Division as a Principal Research Engineer, the Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon, South Korea, where he was a Leader with the Pulsed Power World Class Laboratory, a director of Electric Propulsion Research Center. From 2005 to 2015, he was a Professor with the Department of Energy Conversion Technology, University of Science and Technology, Deajeon, South Korea. In 2015, he joined the School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University, Seoul, where he is currently a Professor. His current research interests include pulsed-power systems and their applications, as well as high-power and high-voltage conversions. Prof. Ryoo is an Academic Director of the Korean Institute of Power Electronics, a senior member of the Korean Institute of Electrical Engineers, and the Vice President of the Korean Institute of Illuminations and Electrical Installation Engineers.

중앙대학교 | IP:219.255.207.*** | Accessed 2020/04/14 09:43(KST)