(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2019 년 8 월 8 일 (08.08.2019)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2019/151639 A1

(51) 국제특허분류:
H02J 3/38 (2006.01) *H02J 3/18* (2006.01)
H02M 7/219 (2006.01) *H02M 1/00* (2007.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2018/015695

(22) 국제출원일: 2018 년 12 월 11 일 (11.12.2018)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2018-0011318 2018 년 1 월 30 일 (30.01.2018) KR

(71) 출원인: 인천대학교 산학협력단 (**INCHEON UNIVERSITY INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION**) [KR/KR]; 22012 인천시 연수구 아카데미로 119, Incheon (KR).

(72) 발명자: 김학만 (**KIM, Hak Man**); 03759 서울시 서대문구 성산로7길 45, Seoul (KR). 유형준 (**YOO, Hyeong Jun**); 21653 인천시 남동구 논현남로30번길 9, Incheon (KR). 느웬타이탄 (**NGUYEN, Thai Thanh**); 22012 인천시 연수구 아카데미로 119, Incheon (KR).

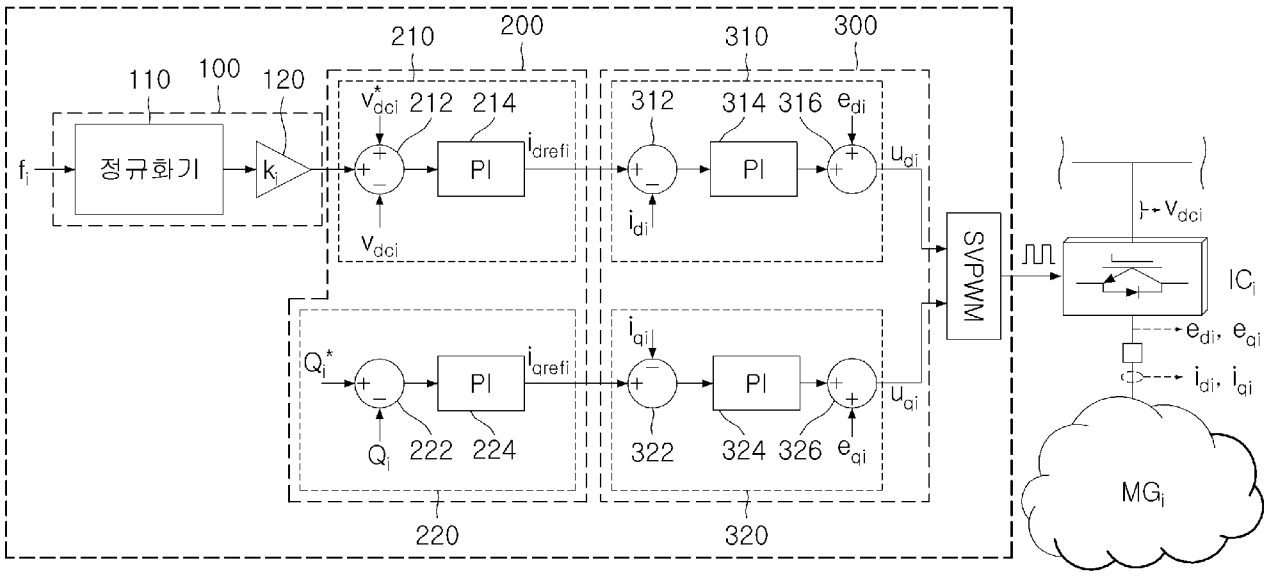
(74) 대리인: 특허법인 충정 (**HMP IP GROUP**); 06251 서울시 강남구 역삼로 120, 5층 (역삼동, 성보역삼빌딩), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2019/151639 A1

(54) **Title:** DROP FREQUENCY CONTROLLER FOR MAINTAINING DIFFERENT FREQUENCY QUALITIES IN INDEPENDENT TYPE MULTI-MICROGRID SYSTEM, AND INDEPENDENT TYPE MULTI-MICROGRID SYSTEM USING SAME

(54) **발명의 명칭:** 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기 및 이를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템



110 ... Normalizer

(57) **Abstract:** The present invention relates to a drop frequency controller for maintaining different frequency qualities in an independent type multi-microgrid system, and an independent type multi-microgrid system using the same. The present invention provides: a drop frequency controller for maintaining different frequency qualities in an independent type multi-microgrid system, and an independent type multi-microgrid system using the same, the controller comprising: a drop frequency control unit, which receives a system frequency from a corresponding microgrid so as to calculate a normalized frequency deviation, thereby outputting a DC link voltage deviation; a power control unit for generating a reference current so as to allow a DC link voltage to follow a voltage obtained by

[다음 쪽 계속]

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

adding a DC link voltage command to the DC link voltage deviation output from the drop frequency control unit; and a current control unit for outputting a modulation signal to a corresponding connected converter so as to allow a terminal current to follow the reference current output from the power control unit.

(57) 요약서: 본 발명은 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기 및 이를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에 관한 것이다. 이와 같은 본 발명은 해당하는 마이크로 그리드에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차를 산출하여 DC 링크 전압 편차를 출력하는 드룹 주파수 제어부; 상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산한 전압을 DC 링크 전압이 추종하도록 기준 전류를 생성하는 전력 제어부; 및 상기 전력 제어부에서 출력되는 기준 전류를 단자 전류가 추종하도록 변조 신호를 해당하는 연계 컨버터로 출력하는 전류 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기 및 이를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템을 제공한다.

명세서

발명의 명칭: 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기 및 이를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템

기술분야

[1] 본 발명은 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기 및 이를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[2] 풍력 및 태양 광 발전소와 같은 재생 가능 에너지 자원을 기반으로 한 분산 전원들(distributed generations, DGs)은 환경 친화적 특성으로 인해 더 많은 주목을 받고 있다.

[3] DGs의 보급은 DGs의 불확실한 특성으로 인하여 시스템의 전압 및 주파수의 변동을 초래한다. DGs와 에너지 저장 시스템(Energy storage system, ESS)으로 구성된 마이크로 그리드(Micro-grid, MG)에서 ESS는 DGs의 불확실한 특성으로 인한 시스템의 전압 및 주파수 변동 문제를 극복하기 위한 해결책으로 연구가 진행되고 있다[1]-[3].

[4] 한편, DGs의 보급률이 증가할 수록 MG의 주파수 및 전압이 크게 변동될 수 있으며, 이와 같은 전력품질의 요구사항 불충족으로 DGs의 보급이 제한될 수 있다.

[5] 이를 보완하기 위하여 유연한 주파수 운용 전략을 가진 독립형 다중 마이크로 그리드(multi-microgrid, MMG) 시스템이 제안되었다. 유연한 주파수 운용전략을 갖는 MMG 주파수 동작의 개념은 부하의 요구 품질에 기인하여 MMG 시스템의 상이한 주파수 품질에 기초한다.

[6]

[7] MMG내의 고품질의 주파수를 요구하는 MG에서 DGs의 출력변동으로 인한 주파수 변동은 인접한 MG 시스템과의 전력 교환으로 인하여 감소시킬 수 있으며, 주파수 특성이 다른 독립형 MMG 시스템을 운영하면 경제적 이점도 얻을 수 있다.

[8] 서로 다른 주파수 특성을 갖는 독립형 MMG 시스템을 안정적이고 효율적으로 운용하기 위해서는 1 차, 2 차, 3 차 레벨로 구성된 계층적 제어 구조가 적절하게 설계되어야 한다. 이때, 하위 시스템은 상위 시스템에서 상위 제어 신호를 수신한다.

[9] 1차 제어 레벨은 전압 및 주파수의 기준 추적 성능을 보장하는 가장 빠른 제어 성능을 갖는다. 2 차 제어 레벨은 필요한 범위 내에서 전압 및 주파수 오차를 줄일 수 있도록 제어하면서 전력 품질을 보장하도록 설계되었다[13]. 1 차 및 2 차

제어 레벨이 시스템 주파수를 허용 범위 내에서 유지하는 중요한 역할을 하기 때문에 1 차 및 2 차 제어 수준의 설계가 중요하다.

[10] MMG 동작을 최적화하고 전압 및 주파수 제어 성능을 향상시키기 위하여 다양한 계층적 제어 솔루션이 문헌에 보고되었다. [14]와 [19]에서는, 3 차 제어 단계에서 실행되는 에너지 관리 시스템을 이용하여 MMG 시스템의 운영 효율성을 극대화하고 운영 비용을 최소화하기 위해 제안되었다.

[11] MMG 시스템의 전압 및 주파수 제어를 위한 다중 계층 구조는 [20] - [24]에서 제안되었으며, 3 차 제어 레벨은 MG 주파수와 전압을 복구하기 위해 인접한 MG 간의 전력 분배를 담당한다.

[12] 그러나, 상기 연구들은 상이한 주파수 특성을 갖는 MMG 시스템의 유연한 주파수 동작을 고려하지 않았으며, 다중 MG 시스템은 AC 라인으로 연결되기 때문에 각 MG의 주파수 품질은 동일하다.MMG 시스템을 다른 주파수로 작동시키기 위해 연속적인 컨버터가 여러 MG를 상호 연결하는 데 사용되었다[25] - [32].

[13] [25]에서는, 분배 - 인터 라인 전력 흐름 제어기(distribution-interline power flow controller)를 이용하여 인접한 MG를 연결하고 전력 교환을 관리하여 인접한 여러 MG를 최적으로 운영한다.생태학적 및 기술적인 문제를 모두 고려한 다목적 최적화가 여러 MG를 조정하기 위해 제안되었다. 그러나 최적화 문제는 시간별 시스템 일정에 적합하다. 또한, 이러한 연구에서는 1 차 및 2 차 대조군 수준이 제시되지 않았다.

[14] 상호 연결 마이크로 그리드의 유연한 주파수와 전압은 [26], [27]에서 논의되었다. 예비 전력 분배를 달성하기 위해 기존의 전력/주파수(P/f) 드롭 제어에 기반한 자율 드롭 장치가 상호 연결된 마이크로 그리드에 제안되었다.

[15] 제안된 드롭 제어 전략은 과부하 상태와 미부하 상태를 기반으로 두 MG 간의 전력 흐름을 결정한다.

[16] 부하 조건은 측정된 주파수와 임계 주파수를 비교하여 정의된다. 이 개념은 또한 두 MG의 주파수 제어 성능을 증명하기 위해 [28] - [30]에 제시되었다.

[17] 이 제어 전략의 단점은 주파수 편차가 작으면 전력 분배가 비활성 상태라는 점이다. 또한, 통신 네트워크는 주파수 정보를 제어기에 전송해야한다.

[18] [31,32]에서는 독립형 MG 간의 전력 교환을 관리하기 위한 분산 제어 기법이 제안되었다. 제안된 분산 제어기는 통신 네트워크를 사용하여 인접한 마이크로 그리드의 주파수 편차를 모니터링하여 백투백(back-to-back, BTB) 컨버터를 통하여 전력 흐름을 조절한다.

[19] 위와 같이 MMG 시스템에서 BTB 컨버터에 대한 몇 가지 제어 전략이 제안되었지만 알고리즘이 복잡하고 통신 네트워크가 필수적이다. 또한, 상이한 주파수 특성들에 대한 MMG 시스템의 동작은 이전의 제어 전략들에서 고려되지 않았다. 이전의 연구에서, BTB 컨버터는 인접한 MG들을 상호 연결하기 위해 사용되며, MG의 수가 증가하면 MMG 시스템의 전체 비용을 증가시킬 수 있다.

[20]

[21] (비특허문헌 1)[1] S. Chanda and A. K. Srivastava, "Defining and Enabling Resiliency of Electric Distribution Systems With Multiple Microgrids,"IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2859-2868, Nov. 2016.

[22] (비특허문헌 2)[2] D. E. Olivares et al., "Trends in Microgrid Control,"IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 4, pp. 1905-1919, May 2014.

[23] (비특허문헌 3)[3] Y.-S. Kim, E.-S. Kim, and S.-I. Moon, "Frequency and Voltage Control Strategy of Standalone Microgrids With High Penetration of Intermittent Renewable Generation Systems,"IEEE Trans. Power Syst., vol. 31, no. 1 pp. 718-728, Jan. 2016.

[24] (비특허문헌 4)[4] J. Suh, D.-H. Yoon, Y.-S. Cho, and G. Jang, "Flexible Frequency Operation Strategy of Power System with High Renewable Penetration,"IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 8, no. 1, pp. 192-199, 2017.

[25] (비특허문헌 5)[5] Z. Li, M. Shahidehpour, F. Aminifar, A. Alabdulwahab and Y. Al-Turki, "Networked Microgrids for Enhancing the Power System Resilience," Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 7, pp. 1289-1310, July 2017.

[26] (비특허문헌 6)[6] J. M. Guerrero, M. Chandorkar, T. L. Lee and P. C. Loh, "Advanced Control Architectures for Intelligent Microgrids-Part I: Decentralized and Hierarchical Control," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 4, pp. 1254-1262, April 2013.

[27] (비특허문헌 7)[7] A. Bidram and A. Davoudi, "Hierarchical Structure of Microgrids Control System," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1963-1976, Dec. 2012.

[28] (비특허문헌 8)[8] T. L. Vandoorn, J. C. Vasquez, J. De Kooning, J. M. Guerrero and L. Vandevelde, "Microgrids: Hierarchical Control and an Overview of the Control and Reserve Management Strategies," IEEE Industrial Elec-tronics Magazine, vol. 7, no. 4, pp. 42-55, Dec. 2013.

[29] (비특허문헌 9)[9] V. H. Bui, A. Hussain, and H. M. Kim, "A Multiagent-Based Hierarchical Energy Management Strategy for Multi-Microgrids Considering Adjustable Power and Demand Response," IEEE Trans. Smart Grid, (accepted for publication).

[30] (비특허문헌 10)[10] A. Hussain, V. H. Bui, and H. M. Kim, "A Resilient and Privacy-Preserving Energy Management Strategy for Networked Microgrids," IEEE Trans. Smart Grid, (accepted for publication).

[31] (비특허문헌 11)[11] M. Marzband, F. Azarinejadian, M. Savaghebi, and J. M. Guerrero, "An Optimal Energy Management System for Islanded Microgrids Based on Multiperiod Artificial Bee Colony Combined with Markov Chain," IEEE Systems Journal, (accepted for publication).

[32] (비특허문헌 12)[12] J. Wu and X. Guan, "Coordinated Multi-Microgrids Optimal

Control Algorithm for Smart Distribution Management System," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, no. 4, pp. 2174-2181, Dec. 2013.

[33] (비특허문헌 13)[13] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuna and M. Castilla, "Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids-A General Approach Toward Standardization," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 1, pp. 158-172, Jan. 2011.

[34] (비특허문헌 14)[14] M. Marzband, S. S. Ghazimirsaeid, H. Uppal, and T. Fernando. "A Real-Time Evaluation of Energy Management Systems for Smart Hybrid Home Microgrids." Electric Power Systems Research vol. 143, pp. 624-633, 2017.

[35] (비특허문헌 15)[15] N. Nikmehr and S. Najafi Ravadanegh, "Optimal Power Dispatch of Multi-Microgrids at Future Smart Distribution Grids," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 4, pp. 1648-1657, July 2015.

[36] (비특허문헌 16)[16] M. Marzband, N. Parhizi, M. Savaghebi and J. M. Guerrero, "Distributed Smart Decision-Making for a Multimicrogrid System Based on a Hier-archical Interactive Architecture," IEEE Trans. Energy Conver., vol. 31, no. 2, pp. 637-648, June 2016.

[37] (비특허문헌 17)[17] Z. Xu, P. Yang, Y. Zhang, Z. Zeng, C. Zheng and J. Peng, "Control Devices Development of Multi-Microgrids Based on Hierarchical Structure," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 10, no. 16, pp. 249-4256, 2016.

[38] (비특허문헌 18)[18] M. Marzband, M. Javadi, J. L. Dominguez-Garcia and M. Mirhosseini Moghaddam, "Non-Cooperative Game Theory Based Energy Manage-ment Systems For Energy District In The Retail Market Considering DER Uncertainties," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 10, no. 12, pp. 2999-3009, 2016.

[39] (비특허문헌 19)[19] Z. Wang, B. Chen, J. Wang and J. kim, "Decentralized Energy Management System for Networked Microgrids in Grid-Connected and Islanded Modes," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 1097-1105, March 2016.

[40] (비특허문헌 20)[20] R. Zamora; A. K. Srivastava, "Multi-Layer Architecture for Voltage and Frequency Control in Networked Microgrids," IEEE Trans. Smart Grid, (accepted for publication).

[41] (비특허문헌 21)[21] C. Yuen, A. Oudalov and A. Timbus, "The Provision of Frequency Control Reserves From Multiple Microgrids," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 1, pp. 173-183, Jan. 2011.

[42] (비특허문헌 22)[22] A. G. Madureira, J. C. Pereira, N. J. Gil, J. A. P. Lopes, G. N. Korres, N. D. Hatziargyriou, "Advanced Control and Management Functionalities for Multi-Microgrids", Eur. Trans. Elect. Power, vol. 21, no. 2, pp. 1159-1177, 2011.

[43] (비특허문헌 23)[23] S. A. Arefifar; M. Ordonez; Y. Mohamed, "Voltage and Current Con-trollability in Multi-Microgrid Smart Distribution Systems," IEEE Trans.

Smart Grid, (accepted for publication).

[44] (비특허문헌 24)[24] M. H. Cintuglu; O. A. Mohammed, "Behavior Modeling and Auction Architecture of Networked Microgrids for Frequency Support," IEEE Trans. Industrial Informatics, (accepted for publication).

[45] (비특허문헌 25)[25] A. Kargarian and M. Rahmani, "Multi-Microgrid Energy Systems Oper-ation Incorporating Distribution-Interline Power Flow Controller," Electr. Power Syst. Res., vol. 129, pp. 208-216, 2015.

[46] (비특허문헌 26)[26] I. U. Nutkani, P. C. Loh, P. Wang, T. K. Jet, and F. Blaabjerg,"Intertied AC-AC Microgrids with Autonomous Power Import and Export,"In-ternational Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 65, pp. 385-393, 2015.

[47] (비특허문헌 27)[27] I. U. Nutkani, P. C. Loh and F. Blaabjerg, "Distributed Operation of Interlinked AC Microgrids with Dynamic Active and Reactive Power Tuning," IEEE Trans. Industry Applications, vol. 49, no. 5, pp. 2188-2196, Sept.-Oct. 2013.

[48] (비특허문헌 28)[28] M. Goyal and G. Arindam. "Microgrids Interconnection to Support Mutually During Any Contingency." Sustainable Energy, Grids and Networks vol. 6, pp. 100-108, 2016.

[49] (비특허문헌 29)[29] M. Khederzadeh, H. Maleki, and V. Asgharian, "Frequency Control Improvement of two Adjacent Microgrids in Autonomous Mode Using Back To Back Voltage-Sourced Converters,"International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 74, pp. 126-133, 2016.

[50] (비특허문헌 30)[30] I. U. Nutkani, P. C. Loh and F. Blaabjerg, "Power Flow Control of Inter-tied AC Microgrids," IET Power Electronics, vol. 6, no. 7, pp. 1329-1338, August 2013.

[51] (비특허문헌 31)[31] M. J. Hossain et al., "Design of Robust Distributed Control for Inter-connected Microgrids,"IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2724-2735, 2016.

[52] (비특허문헌 32)[32] R. Majumder and G. Bag, "Parallel Operation of Converter Interfaced Multiple Microgrids,"International Journal of Electrical Power & En-ergy Systems, vol. 55, pp. 486-496, Feb. 2014.

[53] (비특허문헌 33)[33] W. Liu, W. Gu, Y. Xu, Y. Wang, and K. Zhang, "General Distributed Secondary Control for Multi-Microgrids with both PQ-Controlled and Droop-Controlled Distributed Generators,"IET Gener. Transm. Distrib., vol. 11, no. 3, pp. 707-718, 2017.

[54] (비특허문헌 34)[34] N. Nikmehr and S. Najafi Ravadanegh, "Reliability Evaluation of Mul-ti-Microgrids Considering Optimal Operation of Small Scale Energy Zones Under Load-Generation Uncertainties,"Int. J. Electr. Power En-ergy Syst., vol. 78, pp.

80-87, 2016.

[55] (비특허문헌 35)[35] C. Klumpner, M. Liserre, and F. Blaabjerg, "Improved Control of an Active-front-end Adjustable Speed Drive with a Small dc-Link Capacitor under real grid conditions,"in Proc. IEEE PESC, 2004, pp. 1156-1162.

[56] (비특허문헌 36)[36] X. Lu et al., "Hierarchical Control of Parallel AC-DC Converter Inter-faces for Hybrid Microgrids", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 683-692, Mar. 2014.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[57] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 마이크로 그리드의 주파수 및 DC 링크 전압과 같은 로컬 정보를 이용하여 DC 링크 전압과 각 마이크로 그리드 사이의 유효 전력 공유를 조절할 수 있도록 연계 컨버터를 제어하여 상이한 주파수 품질을 유지할 수 있도록 하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기를 제공하는 데 있다.

[58] 또한, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 연계 컨버터의 수가 감소되어 유연한 주파수 및 전압의 이점을 제공할 뿐만 아니라 설치 비용을 줄일 수 있도록 하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템을 제공하는 데 있다.

과제 해결 수단

[59] 본 발명에 따르면, 다수의 마이크로 그리드; 각각의 상기 마이크로 그리드와 공통 DC 라인 사이에 위치하여 교류를 직류로 변환하는 다수의 연계 컨버터; 및 각각의 상기 연계 컨버터를 제어하여 공통 DC 라인의 해당하는 DC 링크 전압의 변화와 해당하는 상기 마이크로 그리드의 시스템 주파수가 비례하도록 하는 다수의 드룹 주파수 제어기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템이 제공된다.

[60] 또한, 본 발명에 따르면, 해당하는 마이크로 그리드에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차를 산출하여 DC 링크 전압 편차를 출력하는 드룹 주파수 제어부; 상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산한 전압을 DC 링크 전압이 추종하도록 기준 전류를 생성하는 전력 제어부; 및 상기 전력 제어부에서 출력되는 기준 전류를 단자 전류가 추종하도록 변조 신호를 해당하는 연계 컨버터로 출력하는 전류 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기가 제공된다.

발명의 효과

[61] 전술한 구성에 의하여, 본 발명은 연계 컨버터(Interlinking converter, IC)의 수가

감소된 MMG 시스템의 구조가 제안되었다. 제안된 구조는 인접한 MG들을 연계하기 위해 하나의 AC/DC 컨버터인 연계 컨버터의 사용으로 DC 연결을 기반으로 한다.

[62] 이에 따라 제안된 MMG 구조는 유연한 주파수 및 전압의 이점을 제공할 뿐만 아니라 설치 비용을 줄일 수 있다.

[63] 그리고, 드룹 주파수 제어기는 제안된 MMG 시스템에서 상이한 주파수 품질을 유지하기 위해 연계 컨버터에 대해 제안된다.

[64] 제안된 제어기를 갖는 IC는 DC 링크 전압과 각 MG 사이의 유효 전력량을 조절할 수 있다.

[65] 제안된 드룹 주파수 제어기는 시스템 주파수 및 DC 링크 전압과 같은 로컬 정보를 사용하여 각 MG 간의 전력 흐름을 조절한다. 따라서, 통신 네트워크는 제안된 드룹 주파수 제어기에 필요하지 않다.

도면의 간단한 설명

[66] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템의 구조도이다.

[67] 도 2는 본 발명에 이용되는 연계 컨버터의 대략적인 도면이다.

[68] 도 3은 정규화된 주파수 편차의 특성을 나타내는 그래프이다.

[69] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기의 특성을 나타내는 도면이다.

[70] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기의 블록도이다.

[71] 도 6은 MMG 시스템의 MG1에 대한 DSP와 OP5600 사이의 I/O 교환 신호를 나타낸다.

[72] 도 7은 MMG 시스템의 전반적인 실험 설정을 나타낸다.

[73] 도 8은 민감도 분석을 위한 검증을 나타내는 도면이다.

[74] 도 9는 본 발명에 따른 드룹 주파수 제어기의 주파수 조절의 성능을 도시한다.

[75] 도 10은 종래 기술에 따른 P/f 제어기의 주파수 조절의 성능을 도시한다.

[76] 도 11은 본 발명에 따른 드룹 주파수 제어기의 DC 커패시터의 편차를 도시한다.

[77] 도 12는 본 발명에 따른 드룹 주파수 제어기를 이용한 연계 컨버터를 통과하는 전류를 도시한다.

[78] 도 13은 본 발명에 따른 드룹 주파수 제어기를 이용한 MG간의 전력 공유를 도시한다.

[79] 도 14는 종래 기술에 따른 P/f 제어기를 이용한 MG간의 전력 공유를 도시한다.

[80] 도 15는 본 발명에 따른 드룹 주파수 제어기를 이용한 ESS 전력을 나타낸다.

[81] 도 16은 종래 기술에 따른 P/f 제어기를 이용한 ESS 전력을 나타낸다.

[82] 도 17은 MG1 및 MG2 시스템의 풍속 및 풍력 출력을 보여준다.

[83] 도 18은 MMG 시스템의 MG 주파수를 나타내며, (a)는 MG1, (b)는 MG2, (c)는 MG3를 나타낸다.

[84] 도 19는 본 발명의 드룹 주파수 제어기의 DC 링크 전압을 나타낸다.

[85] 도 20은 각각의 MG간의 전력 공유를 나타내며 (a)는 IC1, (b)는 IC2, (c)는 IC3를 나타낸다.

[86] 도 21 및 도 22는 3 개의 IC의 3 개의 드룹 이득이 각각 5 및 15 일 때 각 MG의 주파수 편차를 도시한다.

[87] 도 23 및 도 24는 3 개의 IC의 3 개의 드룹 이득이 각각 5 및 15 일 때 각 DC 커패시터의 전압 편차를 도시한다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[88] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[89] 이하에서는, 본 발명에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기 및 이를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템을 예시한 실시 형태들이 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[90] 다중 독립형 MG는 차단기 또는 고정 스위치[20]-[24], [33], [34]를 사용하여 AC 라인으로 직접 상호 연결될 수 있다. 개별적인 MG를 안정적으로 연결하기 위해서는 적절한 동기화 알고리즘을 고려해야한다.

[91] 이러한 유형의 MMG 시스템은 투자 비용의 이점을 가져올 수 있다. 그러나 AC 라인 연결을 기반으로 하기 때문에 동기화로 인해 모든 마이크로 그리드의 주파수는 동일하게 유지된다.

[92] 따라서 서로 다른 주파수 특성으로 MMG 시스템을 작동시키는 것이 어려울 수 있다. MG 주파수를 개별적으로 조절하기 위해 BTB(Back-to-back) 컨버터를 사용하여 인접한 MG를 연결하는 방법이 [25] - [32]에서 제시되었다.

[93] BTB 컨버터를 통한 인접한 MG 간의 인터페이스는 인접한 MG와의 전력 교환 능력으로 인해 시스템 안정성을 향상시킬 수 있다.

[94] 그러나 동기화 알고리즘은 AC 회선 연결로 인해 개별 MG를 연결하는 데 여전히 필수적이다.

[95] 또한 많은 수의 MG의 경우 AC / DC 및 DC / AC 컨버터로 구성된 BTB 컨버터를 사용하면 독립형 MMG 시스템의 전체 비용이 증가할 수 있다.

[96] 본 발명은 [25] - [32]와는 달리 도 1과 같이 직류 라인(DC line) 연결을 기반으로 한 독립형 MMG 시스템의 구조를 제안한다.

발명의 실시를 위한 형태

[97] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템의 구조도이다.

[98] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기를 이용한 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템은 다수의 마이크로 그리드(MG_1~MG_n)(10-1~10-n)와, 상기 각각의 마이크로 그리드((MG_1~MG_n)와 공통 DC 라인 사이에 위치하여 교류를 직류로 변환하는 다수의 연계 컨버터(IC_1~IC_n)(20-1~20-n) 및 각각의 연계 컨버터(IC_1~IC_n)를 제어하여 공통 DC 라인의 해당하는 DC 링크 전압의 변화와 해당하는 마이크로 그리드(MG1~MGn)의 주파수가 비례하도록 하는 다수의 드룹 주파수 제어기(30-1~30-n)를 구비하고 있다.

[99] 각 MG(10-1~10-n)는 해당하는 AC/DC 연계 컨버터(IC)(20-1~20-n)를 통해 공통 DC 라인에 연결된다.

[100] 공통 DC 라인에서 Z_1~Z_n은 DC 라인 임피던스(DC line impedence)를 나타낸다. 연계 컨버터(IC)(20-1~20-n)는 보조 주파수 제어를 담당한다.

[101] 제안된 독립형 MMG 시스템에서의 연계 컨버터(IC)(20-1~20-n)의 수는 이전의 MMG 시스템과 비교하여 감소 될 수 있다. 또한 DC 라인 연결로 인해 동기화 스킴(scheme)이 무시 될 수 있다.

[102] 본 발명에서는 3개의 독립형 MG(10-1~10-3)가 서로 다른 주파수 변동 범위로 고려된다. 각 MG(10-1~10-3)의 정격 주파수는 60Hz이다. 3개의 MG(10-1~10-3)의 정격 주파수는 동일하다고 가정되지만, 제안된 드룹 주파수 제어기(30-1~30-3)의 적절한 기능에 영향을 미치지 않으면서 각 MG(10-1~10-3)에 대해 다른 값을 설정할 수 있다.

[103] 상대적으로 고품질의 주파수를 갖는 MG_1(10-1)은 ±0.2Hz의 변화를 허용할 수 있는 반면, 상대적으로 저품질 주파수를 갖는 MG_3(10-3)은 ±0.6Hz의 주파수 편차에서 동작할 수 있다고 가정한다.

[104] MG_2(10-2)의 부하는 중간 주파수인 ±0.4 Hz에서 작동한다. 3 개의 MG(10-1~10-3)는 선로 임피던스가 0.1Ω이 있는 정격 전압이 800V인 공통 DC 라인에 연결된다.

[105] 각 MG(10-1~10-3)의 정격 AC 전압은 380V이다. 각 MG(10-1~10-3)는 동기 발전기(Synchronous generator, SG), 에너지 저장 시스템(Energy storage system, ESS) 및 로컬 부하로 구성된다.

[106] SG 및 ESS의 성능은 각각 200kVA 및 150kVA이다. 공칭 부하는 200kW와 같다. 3 개의 MG(10-1~10-3)는 부하 유형을 제외하고는 동일한 매개 변수를 갖는다.

[107] 한편, 각각의 드룹 주파수 제어기(20-1~20-n)는 MG_i(10-1~10-n)를 공통 DC 라인에 연결하는 IC_i(20-1~20-n)에 적용된다.

[108] MG(10-1~10-n)의 시스템 주파수 f_i와 터미널 DC 링크 전압 V_{DCi}와 같은 로컬

정보가 제안된 드룹 주파수 제어기(20-1~20-n)에 필요하다.

[109] 한편, 연계 컨버터(IC_i)(20-1~20-n)의 개략도는 도 2에 도시된 바와 같이 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터 브리지(21), DC 링크 커패시터(22) 및 인덕터(inductor) L과 저항 R을 구비한 필터(23)로 구성되어 있다.

[110] AC 또는 DC 전원은 연계 컨버터(IC_i)(20-1~20-n)로 변환할 수 있다. AC와 DC 사이의 전력 균형에 따르면, 다음 수학식 1과 같다.

[111] 즉, 연계 컨버터(20-1~20-n)의 DC 링크 커패시터(22)를 바라본 전력 P_{DCi}는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터 브리지(21)를 통과하여 필터(23)로 유입되는 전력 P_{ti}와 같다.

[112] (수학식 1)

[113]
$$v_{DCi}i_{ext_i} - v_{DCi}C_i\frac{dv_{DCi}}{dt} = \frac{3}{2}\left(e_{di}i_{di} + e_{qi}i_{qi}\right)$$

[114] 여기에서, V_{DCi}는 DC 링크 전압이며, i_{ext_i}는 직류 전류이며, Ci는 커패시터(22)의 커패시턴스이며, e_{di}는 단자 유효 전압이고, e_{qi}는 단자 무효 전압이며, i_{di}는 단자 유효 전류이고, i_{qi}는 단자 무효 전류이다.

[115] 평형점(equilibrium point) 주변의 작은 교란에 대해, 수학식 1의 소 신호 선형화는 다음을 유도한다.

[116] (수학식 2)

[117]
$$(V_{DCi} + \hat{v}_{DCi})i_{ext_i} - (V_{DCi} + \hat{v}_{DCi})C_i\frac{d(V_{DCi} + \hat{v}_{DCi})}{dt}$$
$$= \frac{3}{2}\left\{(E_{di} + \hat{e}_{di})(I_{di} + \hat{\imath}_{di}) + (E_{qi} + \hat{e}_{qi})(I_{qi} + \hat{\imath}_{qi})\right\}$$

[118] DC 링크 전압(V_{DCi})은 단자 유효 전류 성분(i_{di})에 의해 제어되기 때문에, i_{di}에서 V_{DCi} 로의 전달 함수는 수학식 3에서 주어진 것처럼 다른 섭동[35]을 무시함으로써 발견될 수 있다.

[119] (수학식 3)

[120]
$$G_v(s) = \frac{\hat{v}_{dci}}{\hat{\imath}_{di}} = \frac{E_{di}}{V_{DCi}C_i s - I_{ext_i}}$$

[121] 수학식 3은 교란 v_{DCi}가 MG_i에 전달된 AC 전력에 해당하는 단자 유효 전류 성분의 교란을 초래함을 보여준다.

[122] 수학식 2와 3에서 햇 표시(∧)는 교란 신호를 나타내며, 대문자 V, E, I는 직류 성분을, 소문자 v,i,e는 교류 성분을 나타낸다.

[123] 한편, MG_i의 교류 전력의 변화는 주파수의 변화에 영향을 미친다. 따라서, MMG 시스템에서, MG_i의 시스템 주파수는 DC 링크 전압(v_{DCi})의 변화, 즉 DC 링크 전압의 편차 ΔV_{DCi}에 의해서도 조절될 수 있다.

[124] 따라서 드룹 주파수 제어는 다음과 같이 수학식 4와 5로 제안된다. 여기에서 k_i는 비례 상수이다.

[125] (수학식 4)

[126] $$\Delta V_{DCi} = k_i \Delta f_i$$

[127] (수학식 5)

[128] $$\Delta f_i = \frac{f_i^{meas} - 0.5\left(f_i^{max} + f_i^{min}\right)}{0.5\left(f_i^{max} - f_i^{min}\right)}$$

[129] MG_i의 주파수 편차는 정규화된 주파수 편차 Δf_i로 변환되어 모든 MG에 대해 고유한 값을 얻는다.

[130] 수학식 5에 기초한 정규화 된 주파수 편차의 특성은 도 3에 나와있다. 정규화된 주파수가 클수록 큰 전력 MG_i가 전송될 수 있다.

[131] 측정된 주파수 편차가 양수라고 가정한다. 도시된 바와 같이 이 도면에서, 최대 주파수 편차가 감소될 때 표준화된 주파수 편차가 증가된다.

[132] 정규화된 주파수 편차는 도 4에 도시된 바와 같이, ICi의 DC 커패시터 전압(즉, DC 링크 전압)의 편차 ΔV_{DCi}에 정비례한다.

[133] 한편, MG_i로의 전력 전달은 IC_i의 DC 커패시터 전압의 교란에 비례한다.

[134] 따라서 고품질 주파수를 가진 독립형 MG는 저품질 주파수를 가진 MG보다 더 많은 전력을 수신할 수 있다.

[135] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기의 블록도이다.

[136] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기는 드룹 주파수 제어부(100), 전력 제어부(200) 및 전류 제어부(300)를 포함한다.

[137] 그리고, 드룹 주파수 제어부(100)는 정규화기(110) 및 증폭기(120)를 포함한다.

[138] 다음으로, 전력 제어부(200)는 유효 전력 제어부(210)와 무효 전력 제어부(220)로 이루어져 있다.

[139] 유효 전력 제어부(210)는 제1 감산기(212), 제1 비례 적분 제어기(214)를 구비하고 있고, 무효 전력 제어부(220)는 제2 감산기(222), 제2 비례 적분 제어기(224)를 구비하고 있다.

[140] 다음으로, 전류 제어부(300)는 유효 전류 제어부(310)와 무효 전류 제어부(320)로 이루어져 있다.

[141] 유효 전류 제어부(310)는 제3 감산기(312), 제3 비례 적분 제어기(314), 제1 가산기(316)를 구비하고 있고, 무효 전류 제어부(320)는 제4 감산기(322), 제4 비례 적분 제어기(324), 제2 가산기(326)를 구비하고 있다.

[142] 상기 정규화기(110)는 해당하는 마이크로 그리드 MG에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차 Δf_i를 출력한다.

[143] 그리고, 증폭기(120)는 정규화된 주파수 편차에 비례 상수 k_i를 곱하여 정규화된 주파수 편차의 배수를 출력하며 이는 DC 링크 전압 편차에 해당한다.

[144] 한편, 전력 제어부(200)는 드룹 주파수 제어부(100)에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산한 전압을 DC 링크 전압이 추종하도록 기준 전류를 생성하여 출력한다.

[145] 이때, 유효 전력 제어부(210)는 드룹 주파수 제어부(100)에서 출력되는 DC 링크 전압 편차 ΔV_{DCi}에 DC 링크 전압 지령 V^*_{DCi}을 가산하고, DC 링크 전압 V_{DCi}을 감산하여 비례-적분 제어하여 기준 유효 전류 i_{drefi}를 출력한다.

[146] 이러한 유효 전력 제어부(210)의 제1 감산기(212)는 드룹 주파수 제어부(100)에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령 V^*_{DCi}을 가산하고, DC 링크 전압 V_{DCi}를 감산하여 출력한다.

[147] 상기 제1 비례 적분 제어기(214)는 상기 제1 감산기(212)의 출력 전압을 비례-적분 제어하여 기준 전류의 기준 유효 전류 i_{drefi}를 생성하여 출력한다.

[148] 이와 달리, 무효 전력 제어부(220)는 무효 전력 지령 Q^*_i을 가산하고, 무효 전력 Q_i을 감산하여 비례-적분 제어하여 기준 전류의 기준 무효 전류 i_{qrefi}를 출력한다.

[149] 이러한 무효 전력 제어부(220)의 제2 감산기(222)는 무효 전력 지령 Q^*_i을 가산하고, 무효 전력 Q_i를 감산하여 출력한다.

[150] 상기 제2 비례 적분 제어기(224)는 상기 제2 감산기(222)의 출력 전압을 비례-적분 제어하여 기준 무효 전류 i_{qrefi}를 생성하여 출력한다.

[151] 다음으로, 전류 제어부(300)는 상기 전력 제어부(200)에서 출력되는 기준 전류(i_{drefi})를 단자 전류(i_{di})가 추종하도록 변조 신호(u_{di})를 해당하는 연계 컨버터(20-1~20-n)로 출력한다.

[152] 그리고, 전류 제어부(300)의 유효 전류 제어부(310)는 상기 유효 전력 제어부(210)의 유효 기준 전류를 유효 단자 전류가 추종하도록 유효 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터(20-1~20-n)로 출력한다.

[153] 이와 같은 유효 전류 제어부(310)의 제3 감산기(312)는 유효 전력 제어부(210)에서 출력되는 유효 기준 전류에서 유효 단자 전류를 감산하여 출력한다.

[154] 그리고, 유효 전류 제어부(310)의 제3 비례 적분 제어기(314)는 제3 감산기(312)의 출력을 비례-적분 제어하여 출력한다.

[155] 다음으로, 유효 전류 제어부(310)의 제1 가산기(316)는 제3 비례 적분 제어기(314)의 출력 전압에 유효 단자 전압을 가산하여 유효 변조 신호를 생성한다.

[156] 상기 전류 제어부(300)의 무효 전류 제어부(320)는 무효 전력 제어부(210)의 무효 기준 전류를 무효 단자 전류가 추종하도록 무효 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터(20-1~20-n)로 출력한다.

[157] 이와 같은 무효 전류 제어부(320)의 제4 감산기(312)는 무효 전력 제어부(220)에서 출력되는 무효 기준 전류에서 무효 단자 전류를 감산하여

출력한다.

[158] 그리고, 무효 전류 제어부(320)의 제4 비례 적분 제어기(324)는 제4 감산기(322)의 출력을 비례-적분 제어하여 출력한다.

[159] 다음으로, 무효 전류 제어부(320)의 제2 가산기(326)는 제4 비례 적분 제어기(324)의 출력 전압에 무효 단자 전압을 가산하여 무효 변조 신호를 생성한다.

[160] 이처럼 전류 제어부(300)는 수학식 6과 수학식 7에서처럼 유효 변조 신호 u_{di}와 무효 변조 신호 u_{qi}를 생성한다.

[161] (수학식 6)

[162]
$$u_{di} = e_{di} + k_{pc}(i_{drefi} - i_{di}) + k_{ic}\int (i_{drefi} - i_{di})dt$$

[163] (수학식 7)

[164]
$$u_{qi} = e_{qi} + k_{pc}(i_{qrefi} - i_{qi}) + k_{ic}\int (i_{qrefi} - i_{qi})dt$$

[165] 여기에서, k_{pc}는 제3 비례 적분 제어기(314)와 제4 비례 적분 제어기(324)의 비례 상수이고, k_{ic}는 제3 비례 적분 제어기(314)와 제4 비례 적분 제어기(324)의 적분 상수이다.

[166] 기준 전류의 유효 기준 전류 i_{drefi} 및 무효 기준 전류 i_{qrefi}는 다음과 같이 전력 제어부(200)의 유효 전력 제어부(210)와 무효 전력 제어부(220)에 의해 생성된다.

[167] (수학식 8)

[168]
$$i_{drefi}=k_{pv}(\Delta V_{DCi}+V^{*}_{DCi}-V_{DCi})+k_{iv}\int(\Delta V_{DCi}+V^{*}_{DCi}-V_{DCi})dt$$

[169] (수학식 9)

[170]
$$i_{qrefi} = k_p(Q_i^* - Q_i) + k_i\int (Q_i^* - Q_i)dt$$

[171] 여기에서, k_{pv}는 제1 비례 적분 제어기(214)의 비례 상수이고, k_{iv}는 제1 비례 적분 제어기(214)의 적분 상수이다.

[172] 그리고, k_p는 제2 비례 적분 제어기(224)의 비례 상수이고, k_i는 제2 비례 적분 제어기(224)의 적분 상수이다.

[173] 제안된 드룹 주파수 제어기는 수학식 10과 같이 DC 링크 전압의 변동을 유발한다.

[174] (수학식 10)

[175]
$$\Delta v_{DCi} = k_i * \frac{f_i - 0.5(f_i^{max} + f_i^{min})}{0.5(f_i^{max} - f_i^{min})}$$

[176] 제안된 드룹 주파수 제어기는 인접한 MG와 전력을 교환하기 위해 DC 링크

전압의 작은 편차를 기반으로 한다. 시스템 주파수 f_i와 단자 DC 링크 전압 v_{DCi}와 같은 로컬 정보가 제안된 제어기에 사용되기 때문에 통신 네트워크 없이 자율적인 전력 공유를 달성할 수 있다.

[177] <실험 결과>

[178] 전력 공학 연구는 개발된 제어 장치를 테스트하기 위해 HIL 시뮬레이션을 널리 사용했다. 실시간 디지털 시뮬레이터(OP5600)는 물리적 플랜트 대신 MMG 시스템을 에뮬레이션하는 데 사용된다. 디지털 신호 프로세서(DSP) TMS-320F-28335에 구현된 제안된 제어기는 OP5600으로 쉽게 테스트 할 수 있다. MMG 시스템의 MG1에 대한 DSP와 OP5600 사이의 I/O 교환 신호가 도 6에 나와 있다.

[179] DSP는 측정된 3 상 전압 및 전류, 측정된 DC 커패시터 전압과 같은 OP5600에서 아날로그 신호를 수신한다. DSP에 의해 생성된 PWM 신호는 OP5600의 IC_1로 전송된다. MMG 시스템에서 다른 MG의 구성은 동일하다. MMG 시스템의 전반적인 실험 설정이 도 7에 나와있다.

[180] 본 발명에서 MMG 시스템은 OP5600에서 모델링되었지만 제안된 주파수 제어는 DSP 플랫폼에서 실행되었다.

[181] DSP TMS-320F-28335를 갖춘 신속 제어 프로토 타이핑 플랫폼(OP8665)은 3 개의 MG로 구성된 3 개의 변환기(IC_1, IC_2 및 IC_3)를 실행할 수 있다. 세 대의 컴퓨터는 DSP 기반의 세 제어기를 구현하는 데 사용된다. 각각의 MG 시스템은 기존의 MG 시스템을 사용하는 ESS로 구성된다.

[182] 주파수 특성의 차이로 인해 서로 다른 드롭 이득으로 주파수 제어를 줄인다. ESS의 드롭 제어기는 RT-Lab 환경에서 구현된다.

[183] 제안된 드롭 주파수 제어와 기존 P/f 드롭 제어 간의 비교가 이 절에서 설명된다. 종래의 P/f 제어를 갖는 MMG 시스템에서, IC1은 DC 라인 전압 조정을 담당하는 반면, 다른 IC는 종래의 P/f 드롭 제어를 담당한다. 전통적인 P/f 드롭 제어의 상세한 제어 스킴(scheme)은 [28]에서 찾을 수 있다.

[184] A. 감도 분석의 검증

[185] HIL 시스템에서 IC_1 만 시뮬레이션되고 민감도 분석을 검증하기 위해 제안된 제어가 DSP에서 실행된다.

[186] 도 8은 드롭 이득 k_1이 0에서 20으로 변경되었을 때의 실험 결과를 보여준다. 이 도면에는 3 상 전류와 DC 커패시터 전압이 표시되어 있다.

[187] DC 커패시터 전압은 드롭 이득 k_1이 0, 5, 10 및 15 일 때 안정적으로 조정된다.

[188] 그러나 DC 커패시터 전압은 드롭 이득 k_1이 20으로 증가할 때 제어할 수 없다. 단일 IC_1에 대한 실험 결과가 민감도 분석과 일치함을 관찰할 수 있다.

[189] B. 부하 변화 고려

[190] 제안된 제어의 유효성을 검증하기 위해 3 개의 DSP를 사용하여 IC1, IC2 및 IC3의 세 제어기를 구현한다. 3 개의 DSP와 인터페이스 할 수 있는 실시간 시뮬레이터(OP5600)는 MMG 시스템을 시뮬레이션하는 데 사용된다.

[191] 결과적으로 각 개별 MG의 부하가 변경되어 제안된 주파수 제어의 동적 성능을 테스트한다. 3 개의 IC의 드롭 이득 k_1, k_2 및 k_3은 각각 15, 10 및 5와 같다고 가정한다.

[192] 제안된 주파수 제어 및 종래의 P/f 제어의 경우에 주파수 조절의 성능은 도 9 및 도 10에 도시된다.

[193] 처음에는 MG_1의 40kW 부하가 갑자기 증가하여 MG_1의 주파수가 감소한다. 둘째, MG_2의 40kW 부하가 차단되어 MG_2의 주파수가 증가한다. 마지막으로 MG_3의 40kW 부하가 MG_3에 연결되어 MG_3 주파수가 감소한다.

[194] 제안된 드롭 주파수 제어기가 적용될 때 MMG 시스템의 주파수 편차가 훨씬 작다는 것을 알 수 있다. 정상 상태 조건에서 제안된 방법을 사용할 때 MG_1의 최대 주파수 편차 제어는 0.06 Hz인 반면, 이 편차는 종래의 P/f 제어의 경우 0.13 Hz와 동일하다.

[195] MG_1은 ±0.2 Hz의 범위에서 가장 높은 주파수 품질을 요구하고 MG_3는 ±0.6 Hz의 범위에서 최저 주파수 품질을 요구한다. 도 9로부터, MG_1의 주파수 편차는 작지만 MG_3의 주파수 편차는 가장 크다는 것을 알 수 있다. MG_1은 제안된 드롭 주파수 제어가 적용될 때 항상 고품질의 주파수로 유지된다.

[196] 인접한 MG는 방해받은 MG를 지원할 수 있다. MG_1 주파수 편차는 제안된 드롭 주파수 제어기가 사용될 때 개선된다. 교란 중에 인접한 MG에 작은 주파수 편차가 존재할 수 있지만, 인접한 MG의 주파수 변화는 여전히 허용 가능한 변동 범위에 있다. 점차적으로 독립형 MG를 상호 연결함으로써 외란 중 인접한 MG의 주파수 편차를 크게 줄일 수 있다.

[197] 부하 변화에 따른 3 개의 IC의 DC 커패시터 전압의 교란이 도 11에 나타나 있다. IC_1의 드롭 제어를 위한 드롭 이득 k_1은 15의 값이 가장 높으므로 DC 커패시터 전압이 가장 많이 떨어진다.

[198] 그러나 DC 커패시터 전압의 편차는 여전히 허용 범위(4V)에 있고 컨버터 시스템은 여전히 안정적이다.

[199] 제안된 드롭 주파수 제어기를 사용함으로써 인접한 MG들 간의 전류 공유가 도 12에 도시되고 대응 전력 공유가 도 13에 도시된다. 전력의 양의 값은 인접 MG로부터의 수신 전력을 나타낸다. 첫 번째 시나리오에서는 MG_1의 40kW 부하가 연결된다. 제안된 제어로 인하여, MG_1은 인접한 2 개의 MG로부터 20kW를 수신하고, 이는 도 15에 도시된 바와 같이 ESS 전력의 감소를 초래한다. 종래의 P/f 드롭 제어가 적용될 때(도 14 및 도 16) IC_1는 DC 라인 전압 조정을 담당하기 때문에 제 1 시나리오에서 각 MG 사이의 전력 공유를 가능하게 한다.

[200] ESS1은 도 16과 같이 5 초에서 부하 변화를 보상하기 위해 40kW를 생성한다. 10 초에 MG_2 시스템에서 부하가 분리되면 MG_2에서 잉여 전력이 MG_1로 전달된다.

[201] 마지막으로, MG_1은 40kW 부하가 MG_3에 연결될 때 MG_3의 부족 전력으로 인해 15 초에 MG_3에 전원을 전달한다. MG_1만이 인접한 MG의 교란을 지원할 수 있는

반면에, 2 개의 인접한 MG는 종래의 P/f가 사용될 때 서로를 지원하지 않는다는 것을 알 수 있다.

[202] 따라서 대용량의 IC_1을 설계해야한다. IC_1은 종래의 P/f 드룹 제어를 사용하여 MMG 시스템에서 중요한 역할을 한다. 이와 대조적으로, 제안된 제어를 갖는 MMG 시스템에서, 각 IC의 역할은 똑같이 중요하다. 제안된 드룹 주파수 제어가 적용될 때 모든 MG는 교란 중에 서로를 지원할 수 있다.

[203] 제안된 제어를 갖는 MMG 시스템의 ESS는 종래의 P/f 제어를 이용하는 경우보다 작은 전력을 공급할 수 있다. 제안된 주파수 제어를 갖는 인접한 MG들의 에너지 저장은 효과적으로 공유될 수 있음을 알 수 있다.

[204] 인접한 MG의 에너지 저장량을 공유할 수 있기 때문에 각 MG의 ESS 등급을 줄일 수 있다. RES의 보급은 각 MG 사이의 에너지 보존 교환으로 인해 증가 될 수 있다.

[205] C. 풍력 발전 고려

[206] MG_1 및 MG_2 시스템은 풍력 발전의 보급을 제한할 수 있는 고품질 주파수를 필요로 한다.

[207] 이 절에서는 풍력 발전기가 MG_1 및 MG_2 시스템에 포함된 경우 제안된 제어기의 제어 성능을 보여준다. 유도 발전기를 기반으로 한 풍력 발전기는 단순화를 위해 사용된다.

[208] 도 17은 MG_1 및 MG_2 시스템의 풍속 및 풍력 출력을 보여준다. 두 MG의 풍속은 다르다고 가정한다.

[209] 제안된 제어 및 종래의 P/f 제어를 갖는 MMG 시스템의 MG 주파수는 도 18에 도시된다.

[210] 풍력 출력의 변동은 MG_1과 MG_2 시스템의 주파수 편차 편차를 유발한다. MG_1 및 MG_2 시스템의 풍력 발전으로 인해 MG_3 주파수가 약간 진동한다. MG 주파수에 약간의 변동이 있지만, 제안된 드룹 주파수 제어기가 적용될 때 주파수 편차는 더 작다. 제안된 제어기를 사용할 때 MG 주파수의 작은 변동 때문에 풍력 발전의 보급은 증가될 수 있다.

[211] MG 주파수의 변동은 도 19에 도시된 바와 같이 DC 링크 전압의 편차를 야기한다. 3 개의 IC의 단자 전압이 상이하기 때문에,도 20에 도시된 바와 같이, 3 개의 MG 사이의 전력 분배는 자율적으로 달성될 수 있다.

[212] IC_2에서 DC 링크 전압의 편차가 더 크므로 MG_3 시스템에서 다른 MG로 전달되는 전력이 발생한다. 3 개의 IC의 DC 링크 전압은 변동하지만 전압 편차는 허용 범위 내에 있다.

[213] D. DC 라인 전압에 대한 드랍 이득의 영향

[214] 본 발명은 주파수 특성이 다른 다중 마이크로 그리드 시스템의 아키텍처를 제시한다. 드룹 주파수 제어기는 MMG 시스템의 주파수 제어 성능을 개선하기 위해 제안된다. 제안된 드룹 주파수 제어기는 각 MG의 주파수 편차를 줄일 수 있음을 보여 준다. 각 MG의 부하 변화에 대한 ESS 전력은 인접 MG로부터의

전력 공유 능력으로 인해 감소 될 수 있다. 그러나 문제는 각 MG 시스템에 대해 제안된 주파수 제어기의 드룹 이득을 선택하는 방법이다.

[215] 도 21 및 도 22는 3 개의 IC의 3 개의 드룹 이득이 각각 5 및 15 일 때 각 MG의 주파수 편차를 도시한다. 제안된 제어의 더 큰 드룹 이득이 선택되면, MG의 더 작은 주파수 편차가 달성된다는 것을 알 수 있다. 그러나 주파수와 DC 커패시터 전압 간에는 트레이드 오프가 있다. 도 23 및 도 24에 도시된 바와 같이, 더 높은 드룹 이득이 선택될수록, 더 높은 DC 커패시터 전압이 떨어진다.

[216] MG_1 시스템은 가장 높은 주파수 품질을 요구하는 반면, MG_3 시스템은 최저 주파수 품질을 필요로 한다는 점에 유의해야한다. 따라서, 작은 주파수 편차는 MG_1 시스템에 바람직하다.

[217] MG_1 시스템은 제안된 제어기가 채택되지 않은 경우 주파수 편차를 줄이기 위해 많은 양의 에너지를 준비해야한다.

[218] 제안된 제어기가 MMG 시스템에 적용될 때, 인접한 MG들로부터의 에너지 보유는 MG_1 시스템과 교환되어 주파수 제어 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 MG_3 시스템에는 저품질 주파수가 필요하기 때문에 MG_3 시스템의 큰 주파수 편차가 허용될 수 있다.

[219] 제안된 드룹 주파수 제어기를 사용하는 독립형 MMG 시스템에 대한 제안 사항은 다음과 같다.

[220] 1) 고품질의 주파수를 가진 MG만이 주파수 제어를 위한 높은 드룹 이득을 선택해야 한다.

[221] 높은 드룹 이득으로 인해, 인접한 MG들로부터의 많은 에너지 보유량은 주파수를 신속하게 복구하는데 사용될 수 있다.

[222] 2) 최저 드룹 이득은 이 MG가 광범위한 주파수 변동을 허용할 수 있기 때문에 가장 낮은 주파수 품질을 요구하는 MG에 적합하다.

[223] < 결론>

[224] 직류 라인 연결 기반의 독립형 MMG 시스템이 본 발명에서 제안되었다.

[225] 각 MG 시스템은 AC / DC 연계 컨버터를 통해 공통 DC 라인에 연결된다.

[226] 제안된 프레임 워크는 BTB 컨버터의 사용에 비해 연계 컨버터의 수를 줄여 MMG 시스템의 비용 절감을 가져온다.

[227] 드룹 주파수 제어기는 독립형 MMG 시스템에서 상이한 주파수 품질을 유지하기 위해 제안되었다.

[228] 인접한 MG의 에너지 보유량은 각 MG 시스템의 주파수 조절을 향상시키기 위해 효과적으로 공유될 수 있다는 것이 입증되었다. 결과적으로 재생 가능한 에너지 자원의 보급은 큰 에너지 저장 장치의 설치 없이 증가될 수 있다. 제안된 드룹 주파수 제어기는 DSP에서 간단하게 구현될 수 있다. 제안된 방법이 DC 라인 전압의 발진을 일으키지만, DC 라인 전압의 변동은 작고 여전히 허용 가능한 편차 범위에 있다.

[229] 또한, 안정성 분석은 제안된 제어기의 드룹 이득이 적절히 선택되면 컨버터

시스템의 안정성이 보장될 수 있음을 보여 주었다. 더 많은 독립형 MG를 상호 연결함으로써 외란시 각 MG의 주파수 편차가 크게 개선될 수 있다.

[230] 본 발명은 주로 1 차 및 2 차 제어 수준에 중점을 두지만 3 차 제어 수준은 MMG 시스템의 운영 비용을 최적화하기 위해 쉽게 조정될 수 있다.

[231] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예는 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.

[232] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

산업상 이용가능성

[233] 본 발명은 마이크로 그리드의 주파수 및 DC 링크 전압과 같은 로컬 정보를 이용하여 DC 링크 전압과 각 마이크로 그리드 사이의 유효 전력 공유를 조절할 수 있도록 연계 컨버터를 제어하여 상이한 주파수 품질을 유지할 수 있도록 하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기를 제공하여 연계 컨버터의 수가 감소되어 유연한 주파수 및 전압의 이점을 제공할 뿐만 아니라 설치 비용을 줄일 수 있도록 한다.

청구범위

[청구항 1] 다수의 마이크로 그리드;
각각의 상기 마이크로 그리드와 공통 DC 라인 사이에 위치하여 교류를 직류로 변환하는 다수의 연계 컨버터; 및
각각의 상기 연계 컨버터를 제어하여 공통 DC 라인의 해당하는 DC 링크 전압의 변화와 해당하는 상기 마이크로 그리드의 시스템 주파수가 비례하도록 하는 다수의 드룹 주파수 제어기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 2] 청구항 1항에 있어서,
상기 마이크로 그리드는 동기 발전기(Synchronous generator, SG), 에너지 저장 시스템(Energy storage system, ESS) 및 로컬 부하로 구성되는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 3] 청구항 1항에 있어서,
상기 연계 컨버터는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터 브리지, DC 링크 커패시터 및 인덕터(inductor) L과 저항 R을 구비한 필터로 구성되는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 4] 청구항 1항에 있어서,
상기 드룹 주파수 제어기는 해당하는 상기 마이크로 그리드에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차를 산출하여 DC 링크 전압 편차를 출력하는 드룹 주파수 제어부;
상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산한 전압을 DC 링크 전압이 추종하도록 기준 전류를 생성하는 전력 제어부; 및
상기 전력 제어부에서 출력되는 기준 전류를 단자 전류가 추종하도록 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 전류 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 5] 청구항 4항에 있어서,
상기 드룹 주파수 제어부는
해당하는 상기 마이크로 그리드에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차를 산출하여 출력하는 정규화기; 및
상기 정규화기에서 정규화된 주파수 편차에 비례 상수를 곱하여 정규화된 주파수 편차의 배수인 DC 링크 전압 편차를 출력하는 증폭기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 6] 청구항 4항에 있어서,
상기 전력 제어부는
상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산하고, DC 링크 전압을 감산하여 비례-적분 제어함으로

기준 유효 전류를 출력하는 유효 전력 제어부; 및
무효 전력 지령을 가산하고, 무효 전력을 감산하여 비례-적분 제어함으로 기준 무효 전류를 출력하는 무효 전력 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 7] 청구항 6항에 있어서,
상기 유효 전력 제어부는
상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산하고, DC 링크 전압을 감산하여 출력하는 제1 감산기; 및
상기 제1 감산기의 출력 전압을 비례-적분 제어하여 기준 유효 전류를 생성하여 출력하는 제1 비례 적분 제어기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 8] 청구항 6항에 있어서,
상기 무효 전력 제어부는
무효전력 지령을 가산하고, 무효전력을 감산하여 출력하는 제2 감산기; 및
상기 제2 감산기의 출력 전압을 비례-적분 제어하여 기준 무효 전류를 생성하여 출력하는 제2 비례 적분 제어기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 9] 청구항 6항에 있어서,
상기 전류 제어부는
상기 유효 전력 제어부의 유효 기준 전류를 유효 단자 전류가 추종하도록 유효 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 유효 전류 제어부; 및
상기 무효 전력 제어부의 무효 기준 전류를 무효 단자 전류가 추종하도록 무효 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 무효 전류 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 10] 청구항 9항에 있어서,
상기 유효 전류 제어부는
상기 유효 전력 제어부에서 출력되는 유효 기준 전류에서 유효 단자 전류를 감산하여 출력하는 제3 감산기;
상기 제3 감산기의 출력을 비례-적분 제어하여 출력하는 제3 비례 적분 제어기; 및
상기 제3 비례 적분 제어기의 출력 전압에 유효 단자 전압을 가산하여 유효 변조 신호를 생성하여 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 제1 가산기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 11] 청구항 9항에 있어서,
상기 무효 전류 제어부는

상기 무효 전력 제어부에서 출력되는 무효 기준 전류에서 무효 단자 전류를 감산하여 출력하는 제4 감산기;
상기 제4 감산기의 출력을 비례-적분 제어하여 출력하는 제4 비례 적분 제어기; 및
상기 제4 비례 적분 제어기의 출력 전압에 무효 단자 전압을 가산하여 무효 변조 신호를 생성하여 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 제2 가산기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템.

[청구항 12] 해당하는 마이크로 그리드에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차를 산출하여 DC 링크 전압 편차를 출력하는 드룹 주파수 제어부;
상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산한 전압을 DC 링크 전압이 추종하도록 기준 전류를 생성하는 전력 제어부; 및
상기 전력 제어부에서 출력되는 기준 전류를 단자 전류가 추종하도록 변조 신호를 해당하는 연계 컨버터로 출력하는 전류 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

[청구항 13] 청구항 12항에 있어서,
상기 드룹 주파수 제어부는
해당하는 상기 마이크로 그리드에서 시스템 주파수를 입력받아 정규화된 주파수 편차를 산출하여 출력하는 정규화기; 및
상기 정규화기에서 정규화된 주파수 편차에 비례 상수를 곱하여 정규화된 주파수 편차의 배수인 DC 링크 전압 편차를 출력하는 증폭기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

[청구항 14] 청구항 12항에 있어서,
상기 전력 제어부는
상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산하고, DC 링크 전압을 감산하여 비례-적분 제어함으로 기준 유효 전류를 출력하는 유효 전력 제어부; 및
무효 전력 지령을 가산하고, 무효 전력을 감산하여 비례-적분 제어함으로 기준 무효 전류를 출력하는 무효 전력 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

[청구항 15] 청구항 14항에 있어서,
상기 유효 전력 제어부는
상기 드룹 주파수 제어부에서 출력되는 DC 링크 전압 편차에 DC 링크 전압 지령을 가산하고, DC 링크 전압을 감산하여 출력하는 제1 감산기;

및
상기 제1 감산기의 출력 전압을 비례-적분 제어하여 기준 유효 전류를 생성하여 출력하는 제1 비례 적분 제어기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

[청구항 16] 청구항 14항에 있어서,
상기 무효 전력 제어부는
무효 전력 지령을 가산하고, 무효 전력을 감산하여 출력하는 제2 감산기;
및
상기 제2 감산기의 출력 전압을 비례-적분 제어하여 기준 무효 전류를 생성하여 출력하는 제2 비례 적분 제어기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

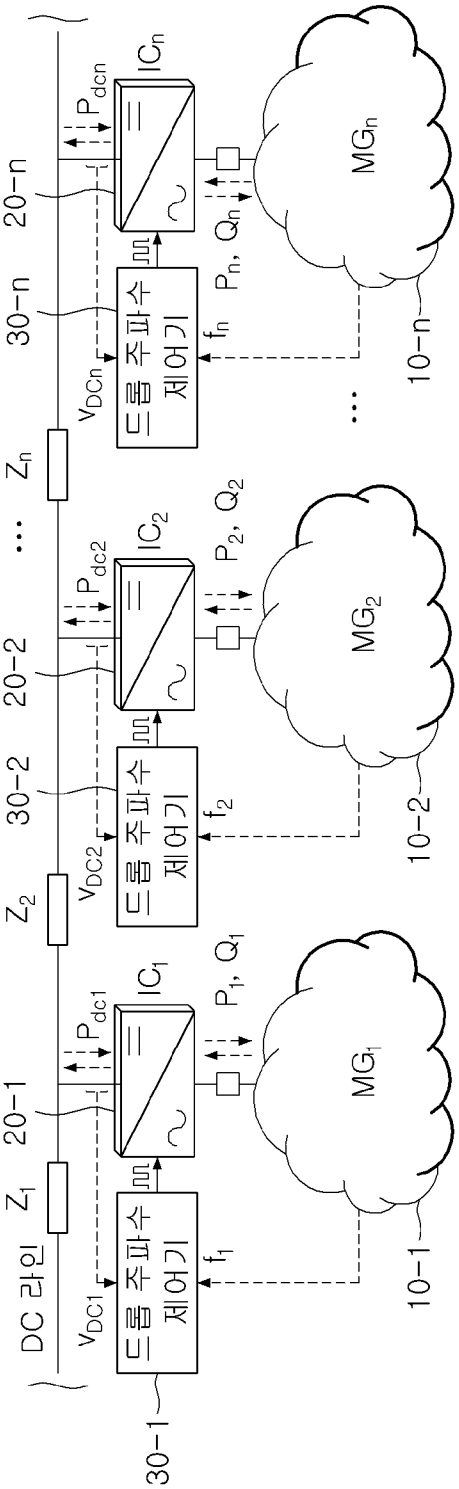
[청구항 17] 청구항 14항에 있어서,
상기 전류 제어부는
상기 유효 전력 제어부의 유효 기준 전류를 유효 단자 전류가 추종하도록 유효 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 유효 전류 제어부; 및
상기 무효 전력 제어부의 무효 기준 전류를 무효 단자 전류가 추종하도록 무효 변조 신호를 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 무효 전류 제어부를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

[청구항 18] 청구항 17항에 있어서,
상기 유효 전류 제어부는
상기 유효 전력 제어부에서 출력되는 유효 기준 전류에서 유효 단자 전류를 감산하여 출력하는 제3 감산기;
상기 제3 감산기의 출력을 비례-적분 제어하여 출력하는 제3 비례 적분 제어기; 및
상기 제3 비례 적분 제어기의 출력 전압에 유효 단자 전압을 가산하여 유효 변조 신호를 생성하여 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 제1 가산기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

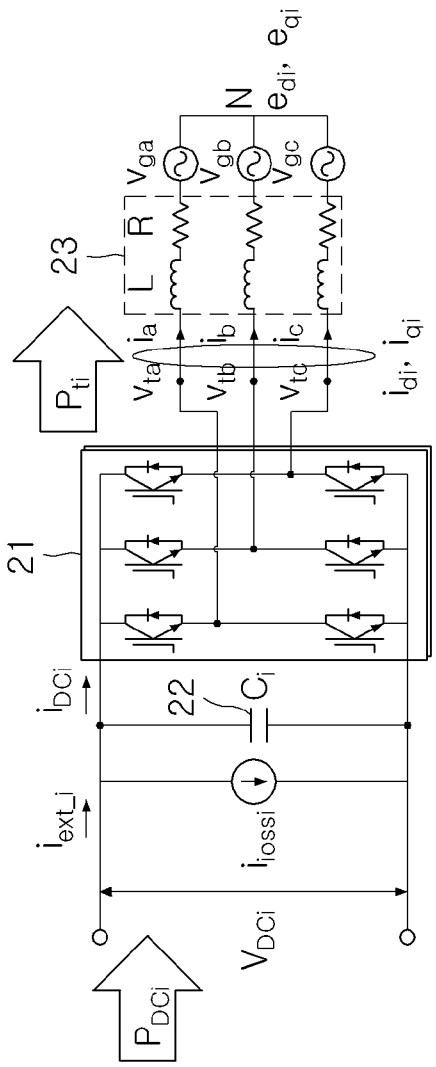
[청구항 19] 청구항 17항에 있어서,
상기 무효 전류 제어부는
상기 무효 전력 제어부에서 출력되는 무효 기준 전류에서 무효 단자 전류를 감산하여 출력하는 제4 감산기;
상기 제4 감산기의 출력을 비례-적분 제어하여 출력하는 제4 비례 적분 제어기; 및

상기 제4 비례 적분 제어기의 출력 전압에 무효 단자 전압을 가산하여 무효 변조 신호를 생성하여 해당하는 상기 연계 컨버터로 출력하는 제2 가산기를 포함하는 독립형 다중 마이크로 그리드 시스템에서 서로 다른 주파수 품질을 유지하기 위한 드룹 주파수 제어기.

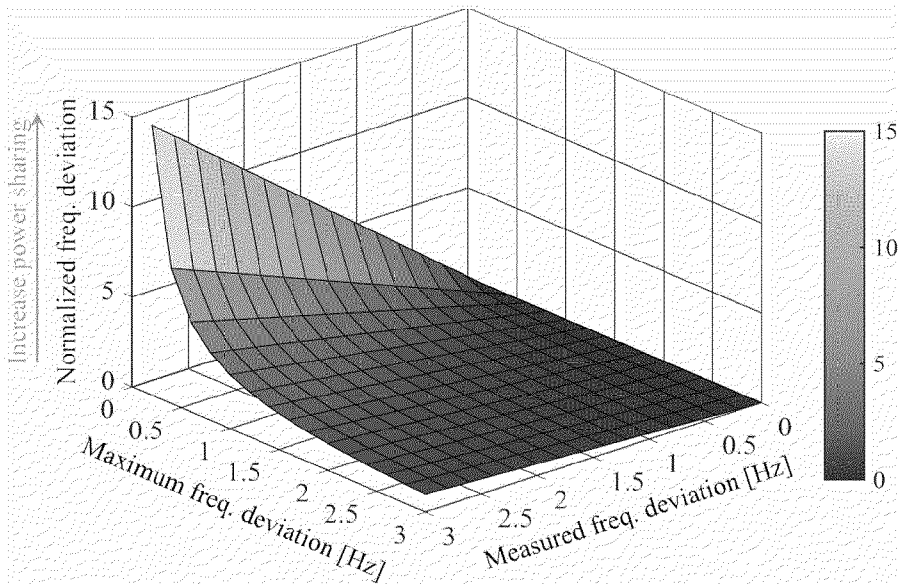
[도1]


DC 라인
Z1
Z2
Zn
20-1
20-2
20-n
30-1
30-2
30-n
10-1
10-2
10-n
IC1
IC2
ICn
Pdc1
Pdc2
Pdcn
VDC1
VDC2
VDCn
드룹 주파수 제어기
f1
f2
fn
P1, Q1
P2, Q2
Pn, Qn
MG1
MG2
MGn

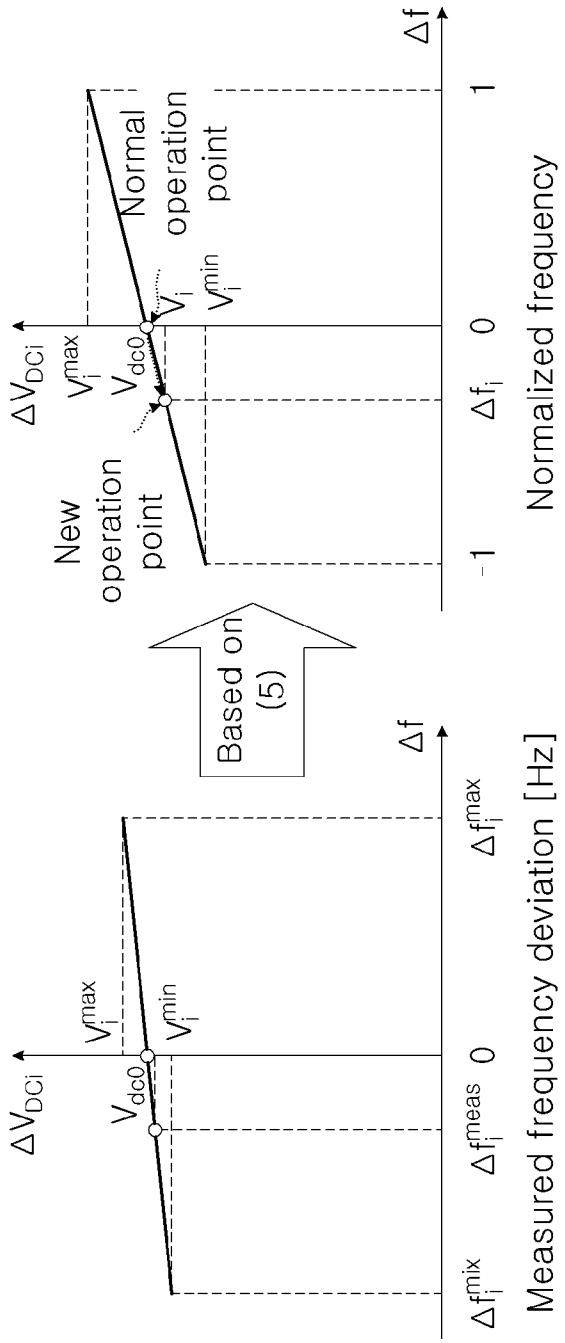
[도2]


N
e_{di}, e_{qi}
v_{ga}
v_{gb}
v_{gc}
R
L
23
i_a
i_b
i_c
v_{ta}
v_{tb}
v_{tc}
i_{di}, i_{qi}
P_{ti}
21
i_{DCi}
22
C_i
i_{ext_i}
i_{iossi}
V_{DCi}
P_{DCi}

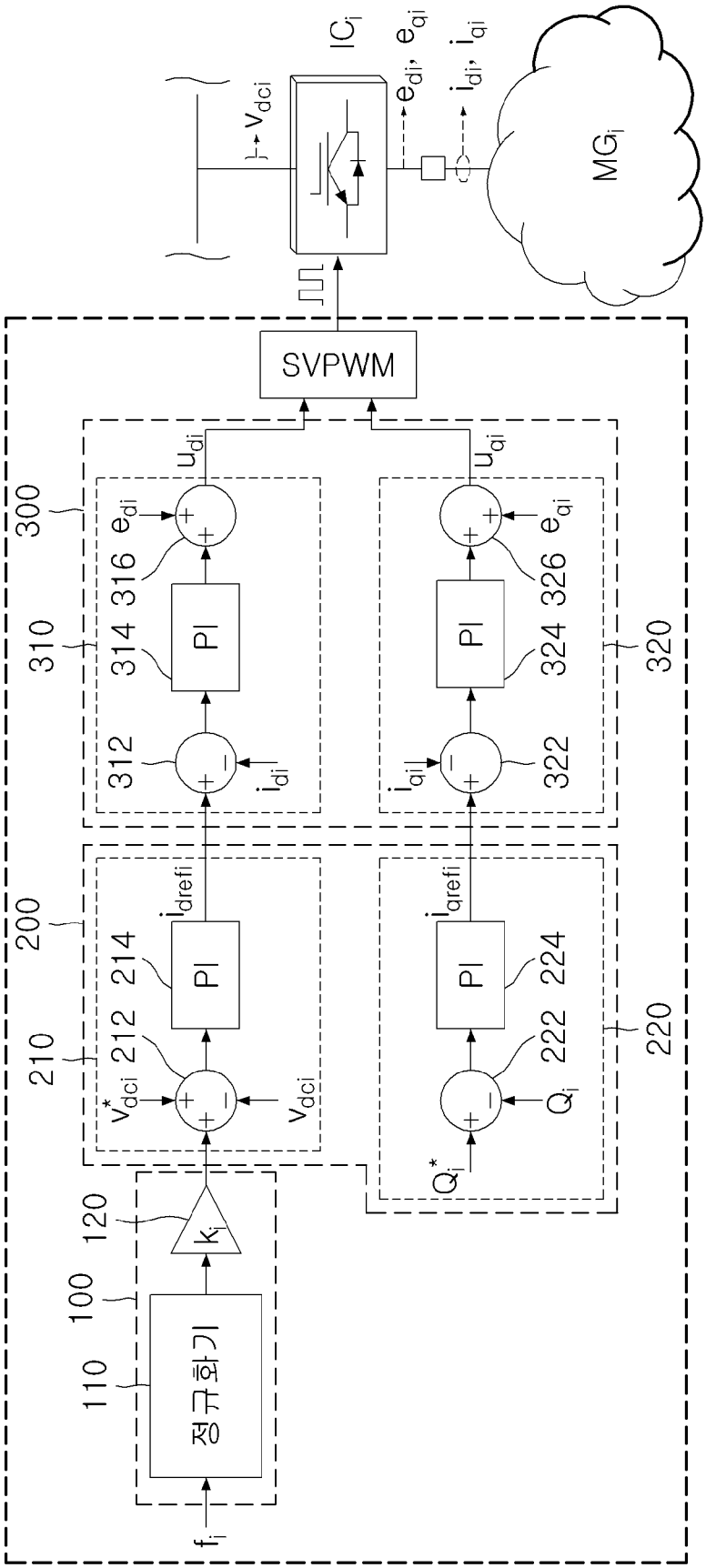
[도3]


Increase power sharing
Normalized freq. deviation
15
10
5
0
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Maximum freq. deviation [Hz]
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Measured freq. deviation [Hz]
15
10
5
0

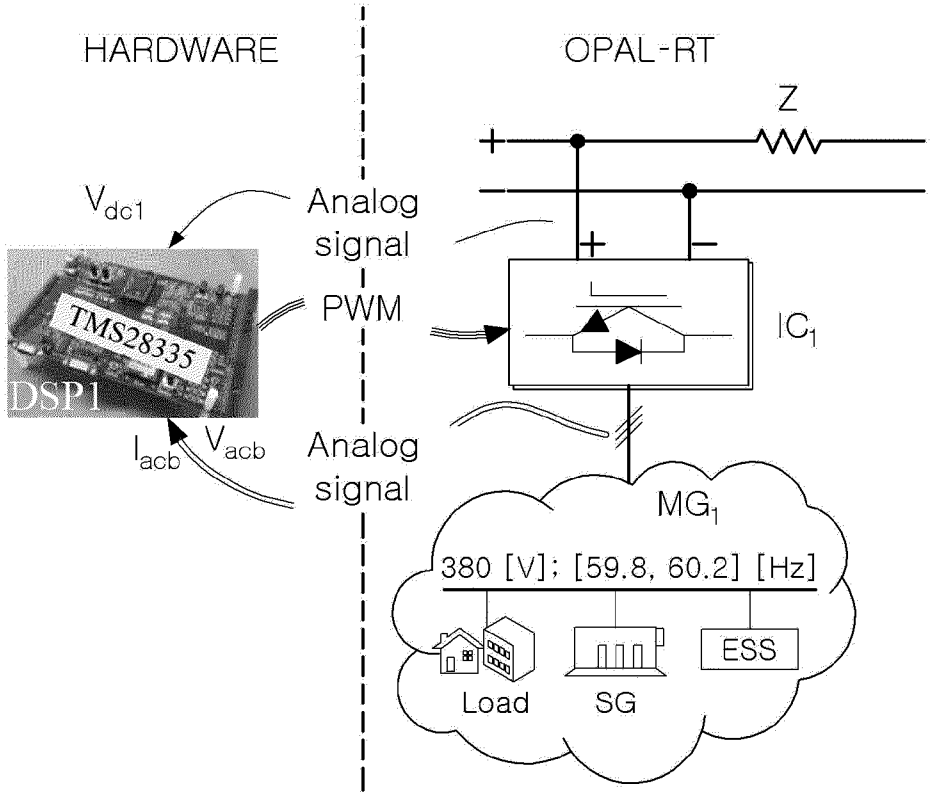
[도4]


Δf
Normal operation point
V_i^{min}
V_i
V_i^{max}
V_{dc0}
ΔV_{DCi}
New operation point
Based on (5)
-1
0
1
Δf_i
Normalized frequency
Δf_i^{max}
Δf_i^{meas}
Δf_i^{mix}
Measured frequency deviation [Hz]

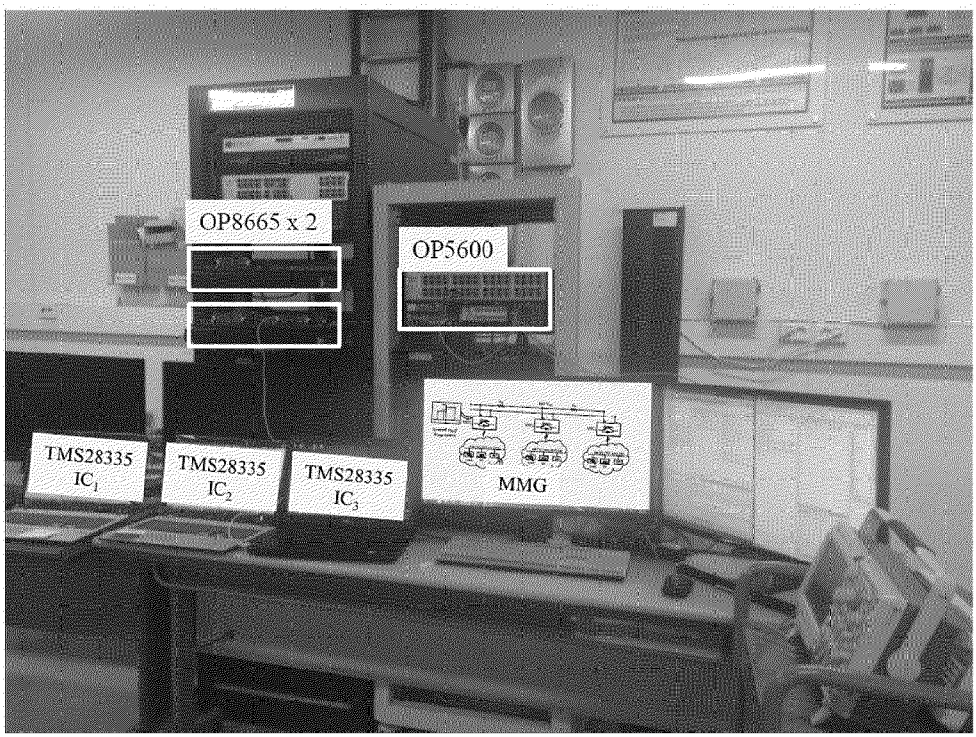
[도5]


IC$_i$
e_{qi}
e_{di}, i_{qi}
i_{di}
v_{dci}
MG$_i$
SVPWM
u_{di}
u_{qi}
300
310
320
200
210
220
e_{di}
e_{qi}
316
326
314
324
PI
312
322
i_{di}
i_{qi}
$i_{dref i}$
$i_{qref i}$
214
224
212
222
v^*_{dci}
v_{dci}
Q_i
Q^*_i
120
k_i
100
110
정규화기
f_i

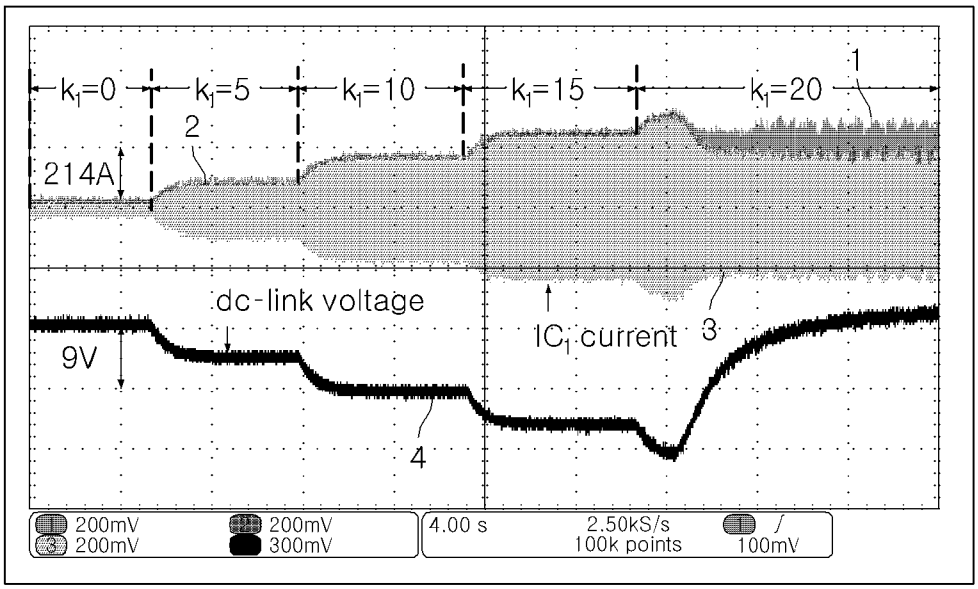
[도6]


HARDWARE
OPAL-RT
Z
V_{dc1}
Analog signal
PWM
TMS28335
DSP1
IC_1
I_{acb}
V_{acb}
Analog signal
MG_1
380 [V]; [59.8, 60.2] [Hz]
Load
SG
ESS

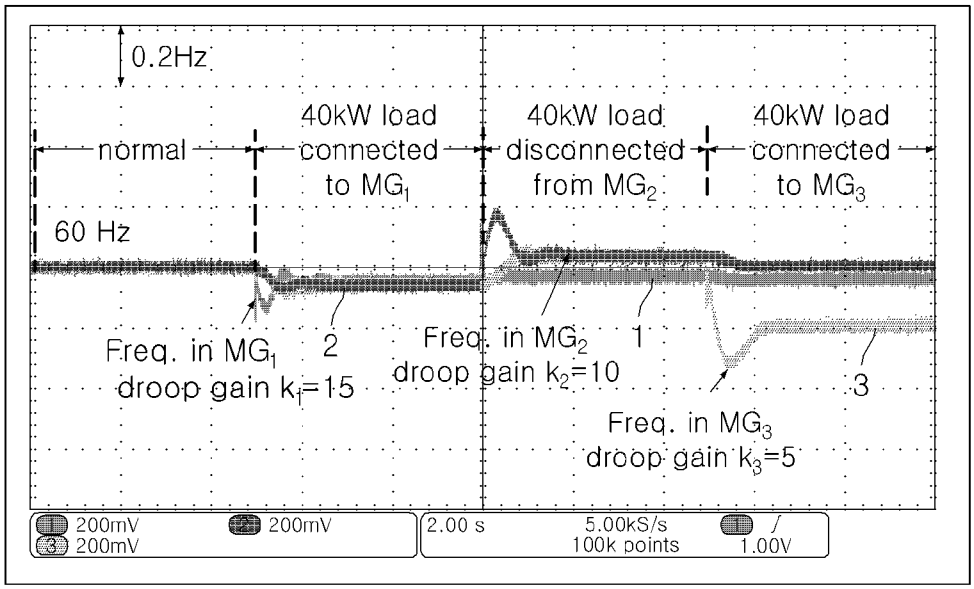
[도7]


OP8665 x 2
OP5600
TMS28335 IC_1
TMS28335 IC_2
TMS28335 IC_3
MMG

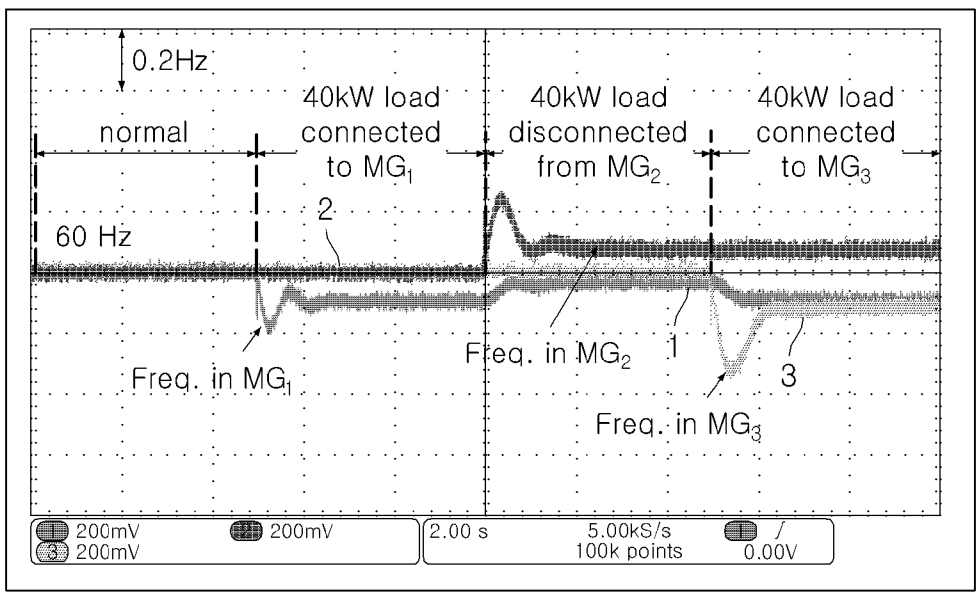
[도8]


k_1=0
k_1=5
k_1=10
k_1=15
k_1=20
1
2
214A
dc-link voltage
9V
IC_1 current
3
4
200mV
200mV
200mV
300mV
4.00 s
2.50kS/s
100k points
100mV

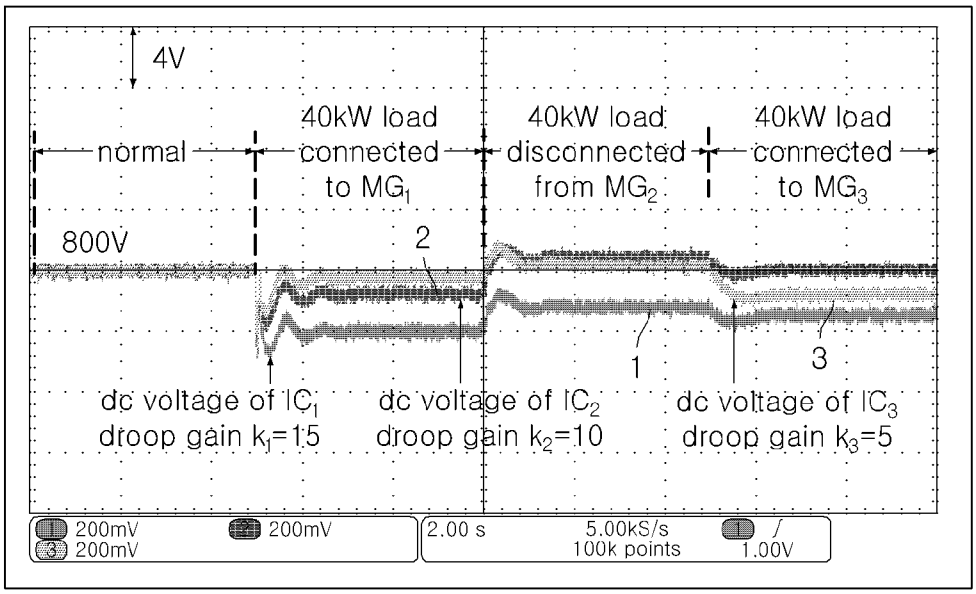
[도9]


0.2Hz
normal
40kW load connected to MG_1
40kW load disconnected from MG_2
40kW load connected to MG_3
60 Hz
Freq. in MG_1 droop gain k_1=15
2
Freq. in MG_2 droop gain k_2=10
1
3
Freq. in MG_3 droop gain k_3=5
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
1.00V

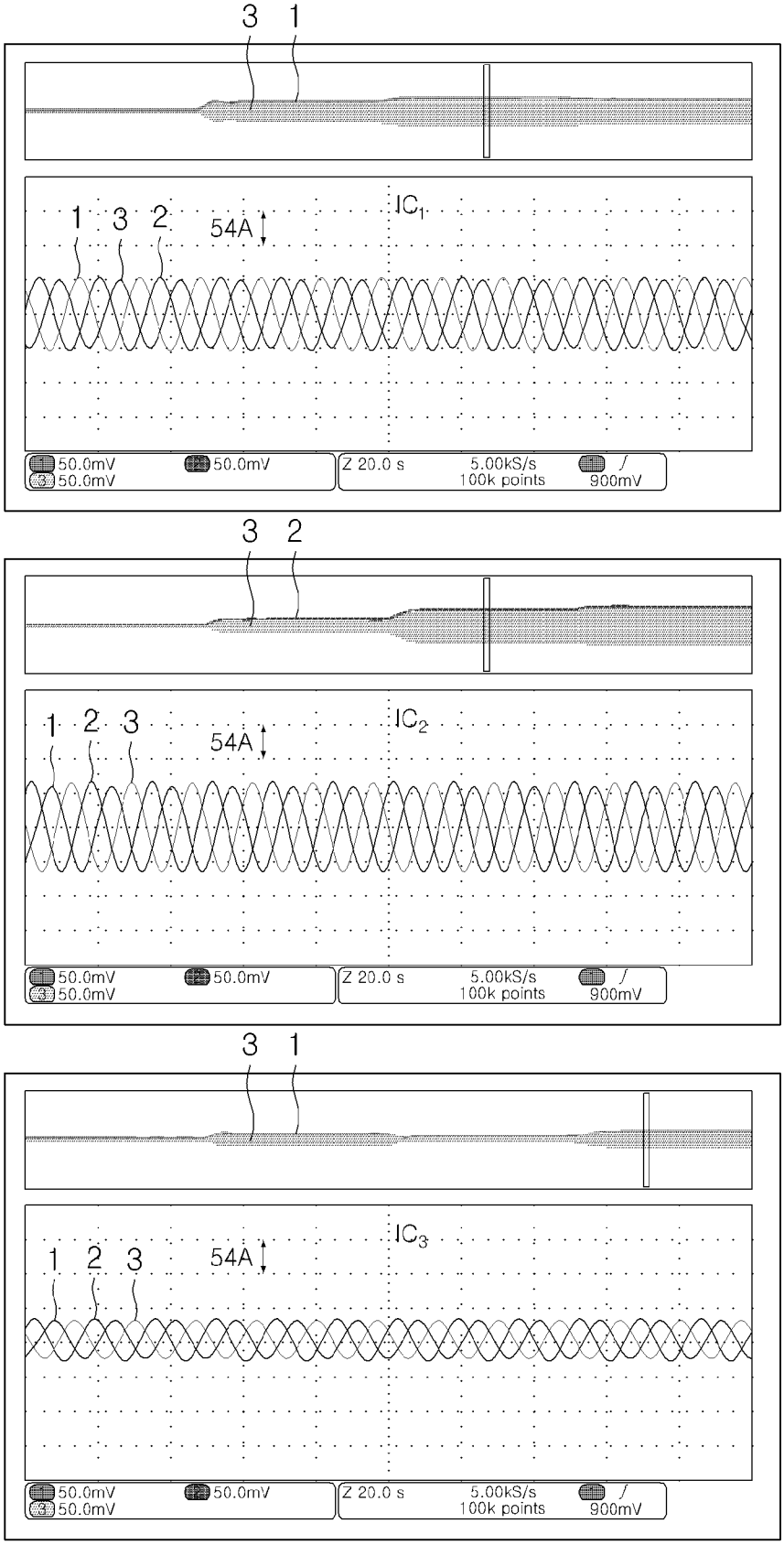
[도10]


0.2Hz
normal
40kW load connected to MG_1
40kW load disconnected from MG_2
40kW load connected to MG_3
60 Hz
2
Freq. in MG_1
Freq. in MG_2
1
3
Freq. in MG_3
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
0.00V

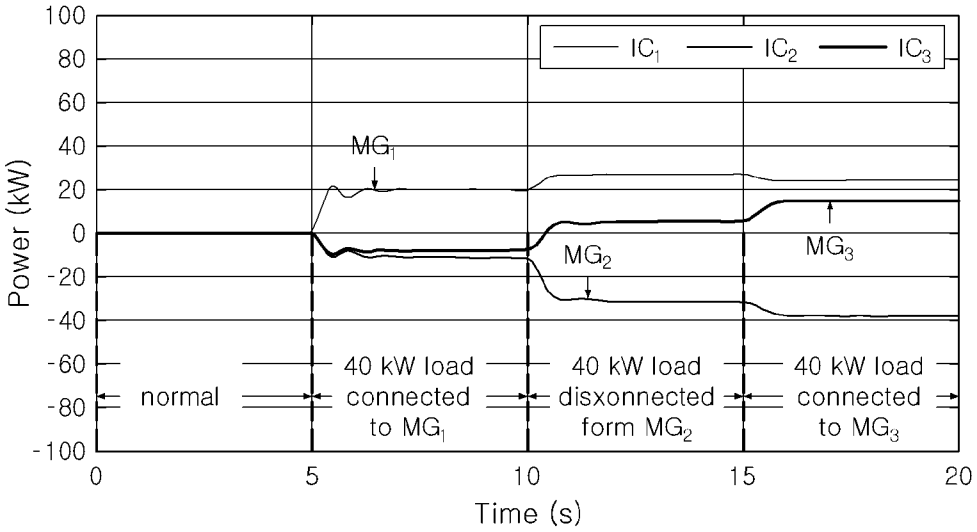
[도11]


4V
normal
40kW load connected to MG1
40kW load disconnected from MG2
40kW load connected to MG3
800V
2
1
3
dc voltage of IC1 droop gain k1=15
dc voltage of IC2 droop gain k2=10
dc voltage of IC3 droop gain k3=5
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
1.00V

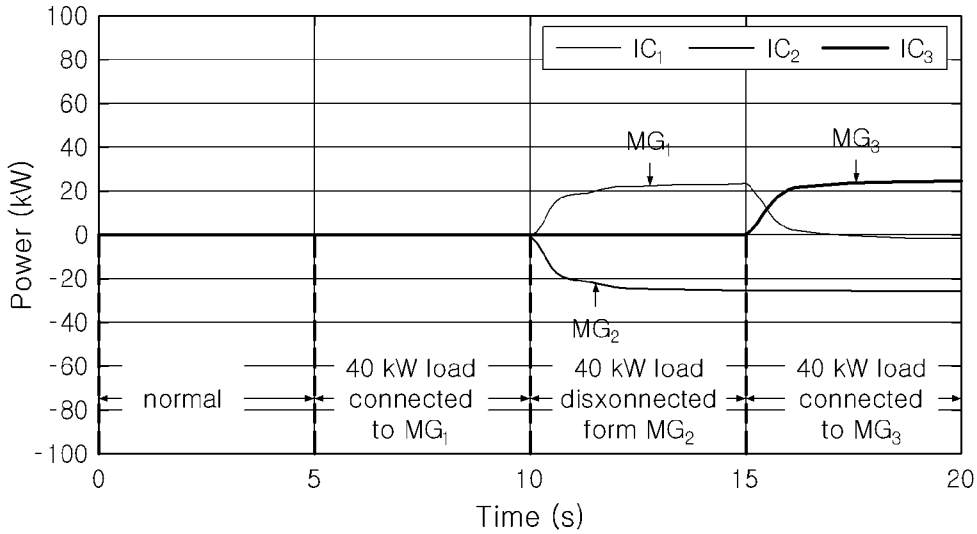
[도12]


3 1
1 3 2
54A
IC1
50.0mV
50.0mV
50.0mV
Z 20.0 s
5.00kS/s
100k points
900mV
3 2
1 2 3
54A
IC2
50.0mV
50.0mV
50.0mV
Z 20.0 s
5.00kS/s
100k points
900mV
3 1
1 2 3
54A
IC3
50.0mV
50.0mV
50.0mV
Z 20.0 s
5.00kS/s
100k points
900mV

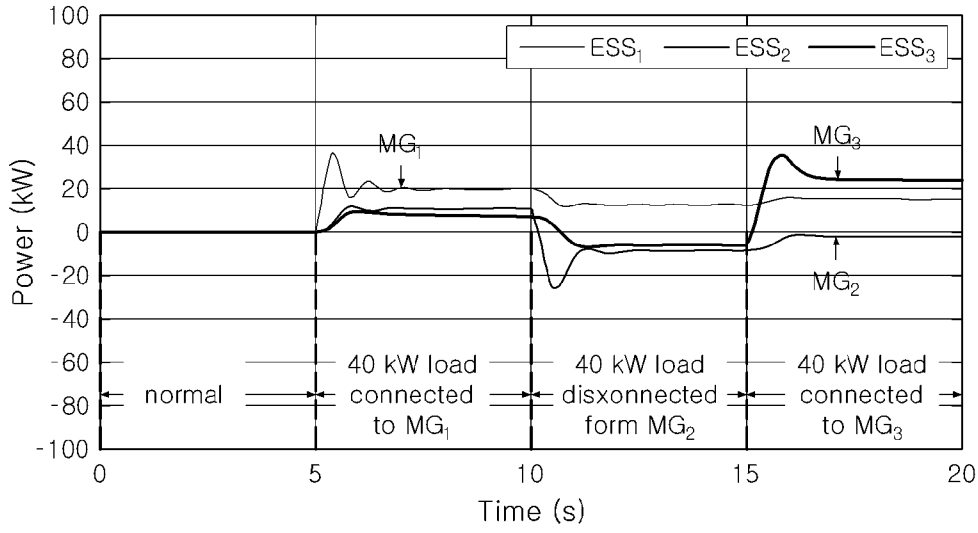
[도13]


IC1
IC2
IC3
MG1
MG2
MG3
Power (kW)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
normal
40 kW load connected to MG1
40 kW load disxonnected form MG2
40 kW load connected to MG3
0
5
10
15
20
Time (s)

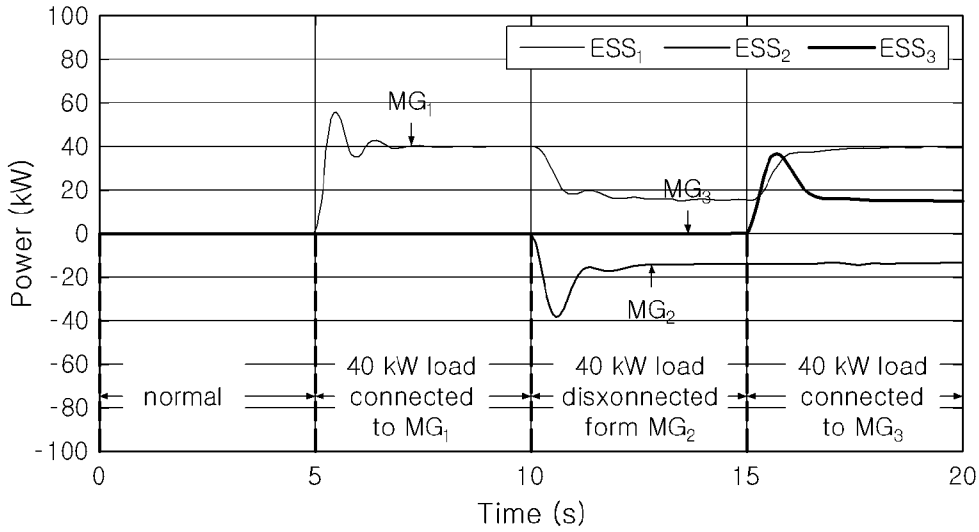
[도14]


IC1
IC2
IC3
MG1
MG2
MG3
Power (kW)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
normal
40 kW load connected to MG1
40 kW load disxonnected form MG2
40 kW load connected to MG3
0
5
10
15
20
Time (s)

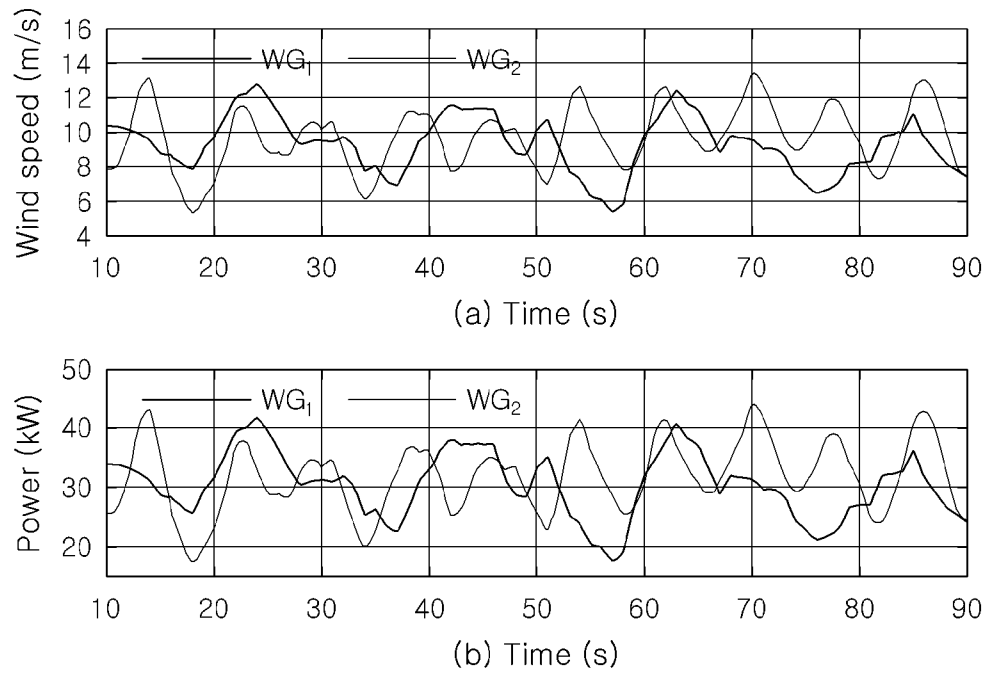
[도15]


ESS1
ESS2
ESS3
MG1
MG2
MG3
Power (kW)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
normal
40 kW load connected to MG1
40 kW load disxonnected form MG2
40 kW load connected to MG3
0
5
10
15
20
Time (s)

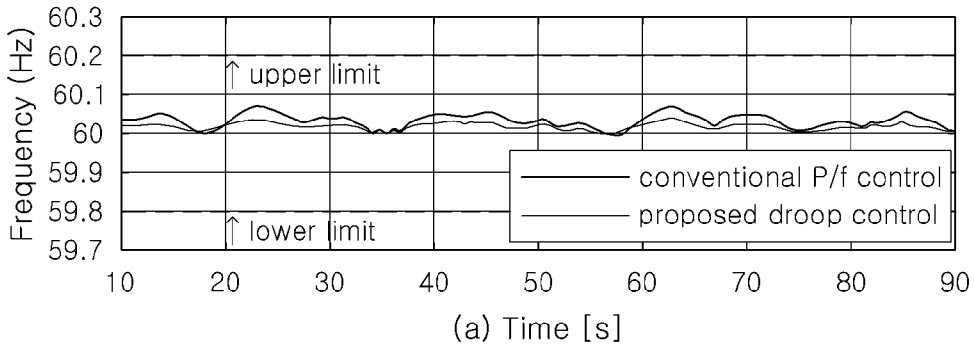
[도16]


ESS1
ESS2
ESS3
MG1
MG3
MG2
Power (kW)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
normal
40 kW load connected to MG1
40 kW load disxonnected form MG2
40 kW load connected to MG3
0
5
10
15
20
Time (s)

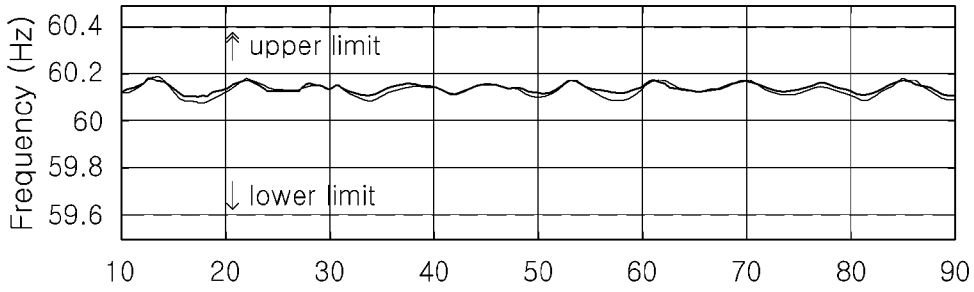
[도17]


WG1
WG2
Wind speed (m/s)
16
14
12
10
8
6
4
10
20
30
40
50
60
70
80
90
(a) Time (s)
WG1
WG2
Power (kW)
50
40
30
20
10
20
30
40
50
60
70
80
90
(b) Time (s)

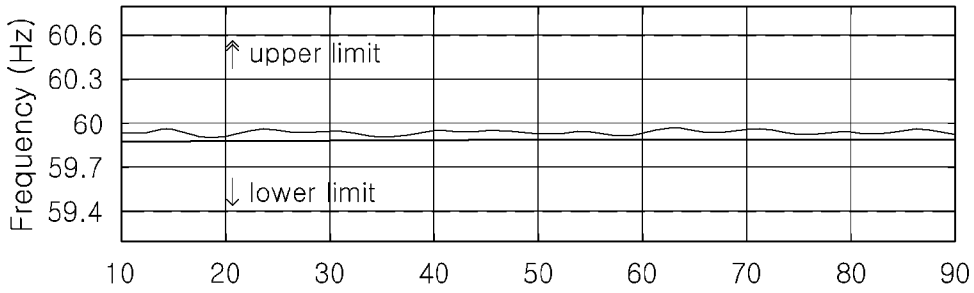
[도18]



(a) Time [s]

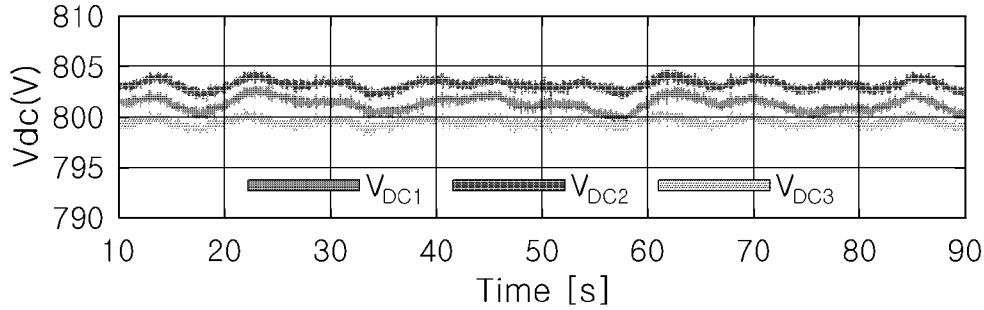


(b) Time [s]

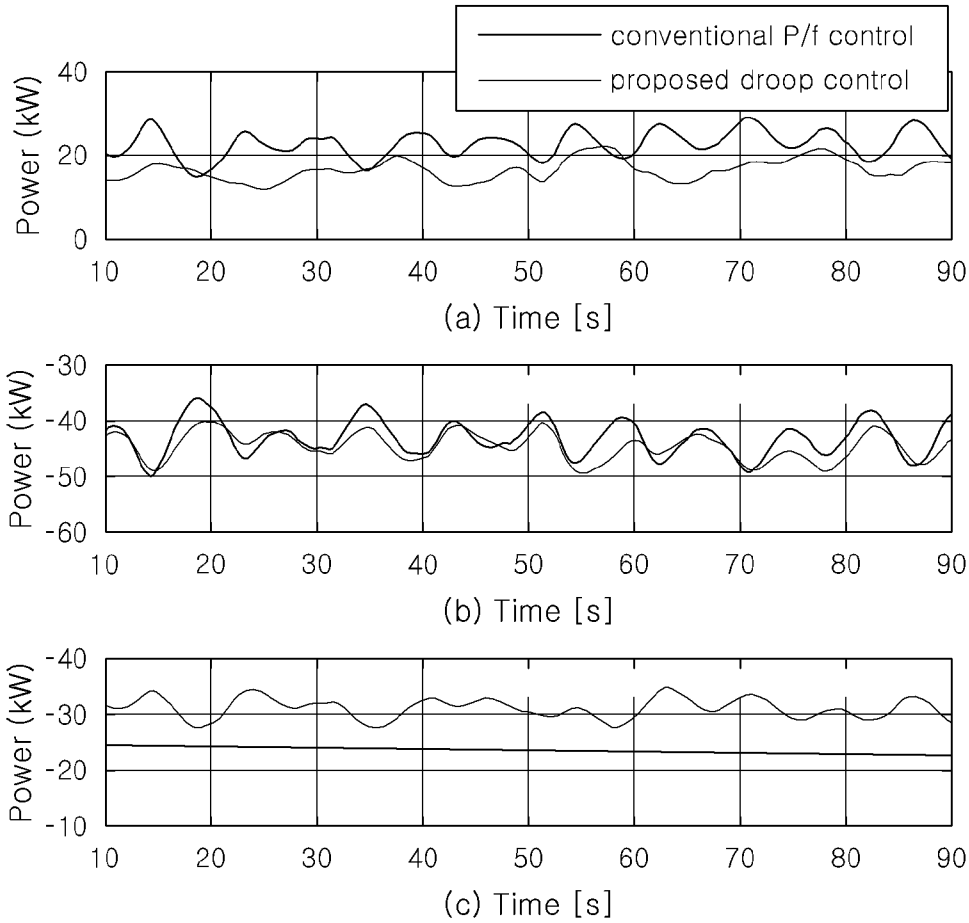


(c) Time [s]

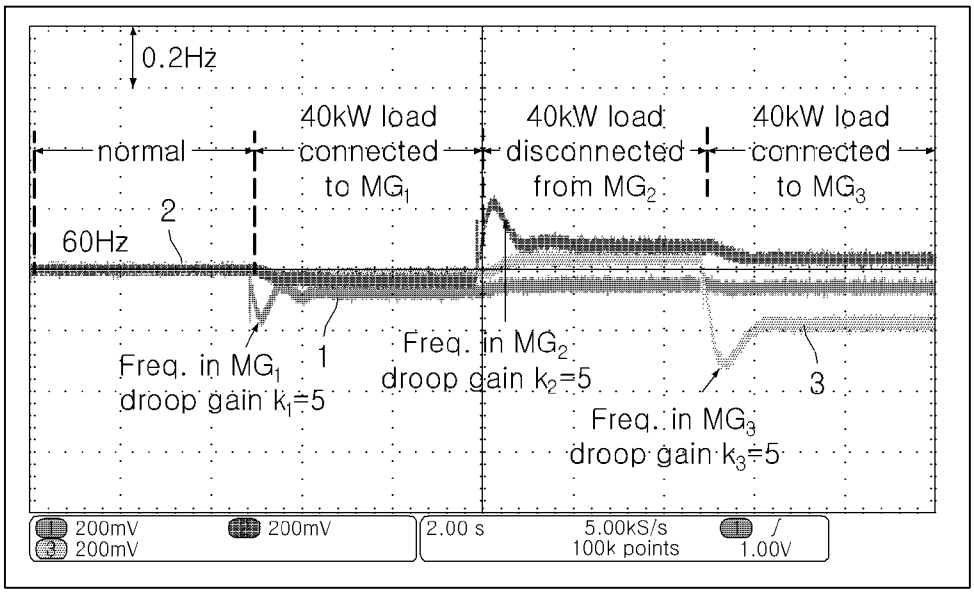
[도19]



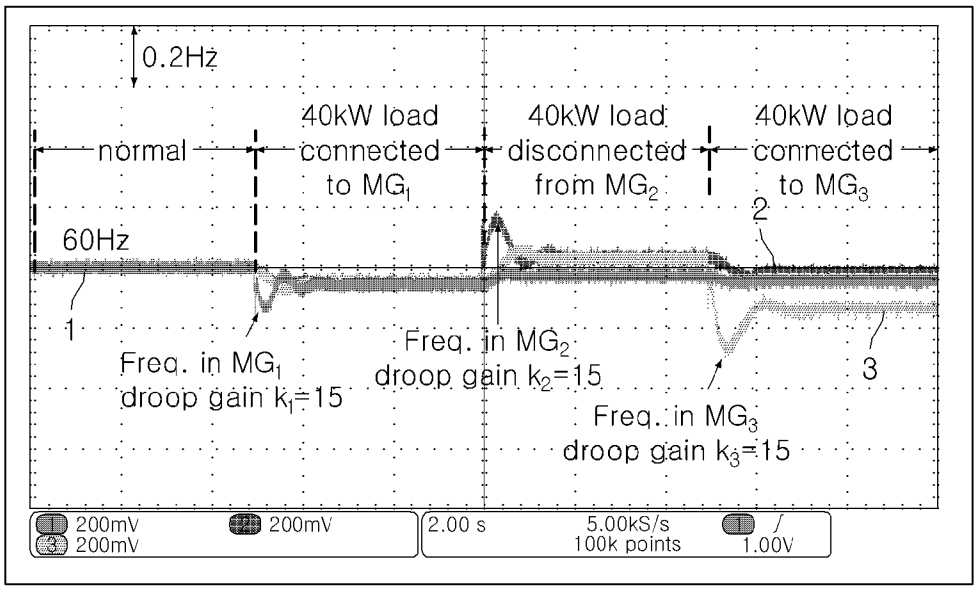
[도20]


conventional P/f control
proposed droop control
Power (kW)
40
20
0
10 20 30 40 50 60 70 80 90
(a) Time [s]
Power (kW)
-30
-40
-50
-60
10 20 30 40 50 60 70 80 90
(b) Time [s]
Power (kW)
-40
-30
-20
-10
10 20 30 40 50 60 70 80 90
(c) Time [s]

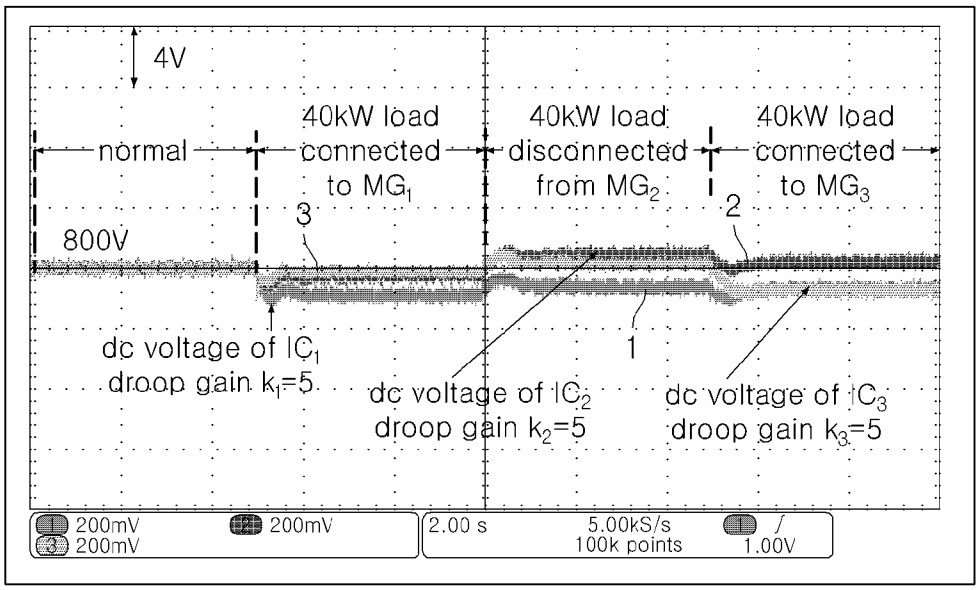
[도21]


0.2Hz
normal
40kW load connected to MG1
40kW load disconnected from MG2
40kW load connected to MG3
60Hz
2
1
3
Freq. in MG1 droop gain k1=5
Freq. in MG2 droop gain k2=5
Freq. in MG3 droop gain k3=5
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
1.00V

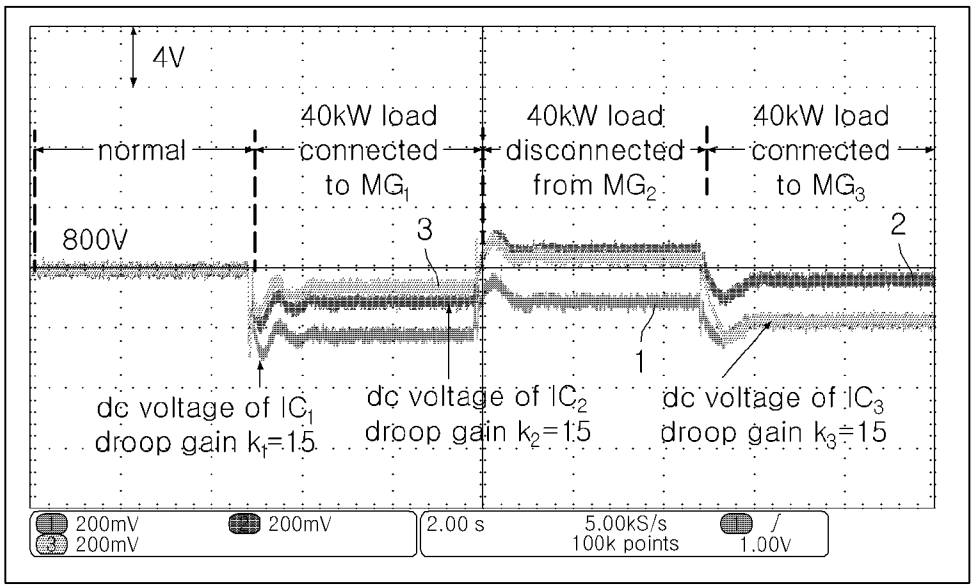
[도22]


0.2Hz
normal
40kW load connected to MG1
40kW load disconnected from MG2
40kW load connected to MG3
60Hz
1
2
3
Freq. in MG1 droop gain k1=15
Freq. in MG2 droop gain k2=15
Freq. in MG3 droop gain k3=15
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
1.00V

[도23]


4V
normal
40kW load connected to MG1
40kW load disconnected from MG2
40kW load connected to MG3
800V
3
2
1
dc voltage of IC1 droop gain k1=5
dc voltage of IC2 droop gain k2=5
dc voltage of IC3 droop gain k3=5
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
1.00V

[도24]


4V
normal
40kW load connected to MG1
40kW load disconnected from MG2
40kW load connected to MG3
800V
3
2
1
dc voltage of IC1 droop gain k1=15
dc voltage of IC2 droop gain k2=15
dc voltage of IC3 droop gain k3=15
200mV
200mV
200mV
2.00 s
5.00kS/s
100k points
1.00V

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2018/015695

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/38(2006.01)i, H02M 7/219(2006.01)i, H02J 3/18(2006.01)i, H02M 1/00(2007.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J 3/38; G05F 1/70; H02J 3/02; H02J 3/06; H02J 3/18; H02J 3/46; H02M 7/219; H02M 1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above

Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: independence, micro-grid, frequency, quality, droop, control, converter, regular, proportional-integral, validity, invalidity

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NGUYEN, Thai-thanh et al. A Droop Frequency Control for Maintaining Different Frequency Qualities in a Stand-Alone Multi-microgrid System. IEEE Transactions on Sustainable Energy. Volume: 9, Issue: 2, 06 September 2017, pages 1-10 See pages 1-10, figures 1-26.	1-19
A	KR 10-2014-0098431 A (MYONGJI UNIVERSITY INDUSTRY AND ACADEMIA COOPERATION FOUNDATION) 08 August 2014 See paragraphs [33]-[77], figures 2-5.	1-19
A	KR 10-1769795 B1 (INCHEON UNIVERSITY INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 05 September 2017 See the entire document.	1-19
A	KR 10-1689315 B1 (INCHEON UNIVERSITY INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 02 January 2017 See the entire document.	1-19
A	KR 10-1690742 B1 (INCHEON UNIVERSITY INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 28 December 2016 See the entire document.	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 MARCH 2019 (21.03.2019)	**21 MARCH 2019 (21.03.2019)**

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2018/015695

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2014-0098431 A	08/08/2014	KR 10-1431047 B1	21/08/2014
KR 10-1769795 B1	05/09/2017	None	
KR 10-1689315 B1	02/01/2017	EP 3331116 A1	06/06/2018
		JP 2017-527240 A	14/09/2017
		US 10074979 B2	11/09/2018
		US 2018-0131183 A1	10/05/2018
		WO 2017-018584 A1	02/02/2017
KR 10-1690742 B1	28/12/2016	WO 2017-030228 A1	23/02/2017

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2018/015695

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H02J 3/38(2006.01)i, H02M 7/219(2006.01)i, H02J 3/18(2006.01)i, H02M 1/00(2007.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)
H02J 3/38; G05F 1/70; H02J 3/02; H02J 3/06; H02J 3/18; H02J 3/46; H02M 7/219; H02M 1/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌
한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 독립, 마이크로 그리드, 주파수, 품질, 드룹, 제어, 컨버터, 정규, 비례-적분, 유효, 무효

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	THAI-THANH NGUYEN et al. `A Droop Frequency Control for Maintaining Different Frequency Qualities in a Stand-Alone Multi-microgrid System.' IEEE Transactions on Sustainable Energy, Volume: 9, Issue:2, 06 September 2017, page 1-10. 페이지 1-10, 도면 1-26 참조.	1-19
A	KR 10-2014-0098431 A (명지대학교 산학협력단) 2014.08.08 단락 33-77, 도면 2-5 참조.	1-19
A	KR 10-1769795 B1 (인천대학교 산학협력단) 2017.09.05 전체 문헌 참조.	1-19
A	KR 10-1689315 B1 (인천대학교 산학협력단) 2017.01.02 전체 문헌 참조.	1-19
A	KR 10-1690742 B1 (인천대학교 산학협력단) 2016.12.28 전체 문헌 참조.	1-19

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2019년 03월 21일 (21.03.2019)	2019년 03월 21일 (21.03.2019)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관
박혜련
전화번호 +82-42-481-3463

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2018/015695

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2014-0098431 A	2014/08/08	KR 10-1431047 B1	2014/08/21
KR 10-1769795 B1	2017/09/05	없음	
KR 10-1689315 B1	2017/01/02	EP 3331116 A1	2018/06/06
		JP 2017-527240 A	2017/09/14
		US 10074979 B2	2018/09/11
		US 2018-0131183 A1	2018/05/10
		WO 2017-018584 A1	2017/02/02
KR 10-1690742 B1	2016/12/28	WO 2017-030228 A1	2017/02/23