

통신교환기용 DC 전원시스템을 위한 에너지 절약형 지능제어기

김·일·중 구·세·원**, 김·택·용***, 최·주·엽*

*한국과학기술연구원 정보전자연구부 **한양대학교 전자통신공학과 ***전성전기

Intelligent Energy Saving Power System Controller for Telecom DC Power Plant

I. J. Kim, S. W. Gu**, T. Y. Kim***, J. Y. Choi*

*Div. of Electronics & Information Tech., KIST **Dept. of Electronic Communication, Hanyang Univ.

***Jeon-Sung Electric Co.

Abstract: The design of Intelligent Energy Saving Power System Controller (*IESPSC*) for Telecom DC power plants is proposed and presented in this paper. From the past experience, rectifiers for Telecom DC power plants have been operated inefficiently at light loads. *IESPSC* offers "novel load sharing" approach based on the knowledge of each unit's efficiency of paralleled rectifiers. Neural networks is used for identifying each rectifier's efficiency characteristic curve corresponding to load currents, which is in turn utilized to produce a system efficiency close to the maximum under all operating conditions. In addition, by limiting the number of operating units to the minimum while maintaining high efficiency at the determined loads, a drastic savings in operating cost can be achieved.

I. 서론

지난 수십여년 동안 통신시스템은 현대사회에 없어서는 안되는 중요한 핵심요소로 여겨져 왔으며, 이런 많은 관심을 바탕으로 통신시스템은 비약적인 발전을 거듭하여 왔다. 통신시스템을 개발하는 회사들의 경쟁이 치열해짐에 따라 설계자들은 통신시스템 장비 자체와 운영비용을 절감시키는 노력을 한층 기울이게 되었다. 통신용 DC 전원시스템의 신뢰성 및 에너지소비와 관리에 소요되는 비용들이 중요한 이슈로 등장함에 따라, 본 논문에서는 DC 전원시스템용 에너지 절약형 지능제어기(Intelligent Energy Saving Power System Controller, *IESPSC*)를 제안한다. *IESPSC*는 원격 모니터링을 이용한 중앙통제기능(centralized supervision)과 고등예측유지기능(advanced predictive maintenance)을 제공하여 DC 전원시스템의 운영비용을 절감함과 동시에 전체 통신시스템의 신뢰도를 향상시킨다.

다중 유니트의 고효율 병렬운전은 불필요한 에너지소비 감소와 운영비용 절감을 위하여 꼭 필요하다. 예를 들어 NO.1A와 AXE-10 통신시스템에 사용된 많은 정류기들은 1980년대부터 운영되고 있으며, DC 전원시스템에서 고장난 각 모듈의 영향을 제거하기 위해서 여분운영정책을 채택하고 있다. 정전후 복전시

에 교환기 뿐만 아니라 방전된 배터리 전류를 일정시간 내에 충전시키기 위하여, 병렬운전되는 정류기들은 평상시에 필요로 하는 부하전류보다 여유있는 구조로 사용되고 있지만, 부하를 통신시스템에만 공급할 경우에는 낮은 효율로 운전되는 단점이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해서 "새로운 부하분배" 방식을 각 정류기의 효율을 식별하는 것을 기초로 하여 제안한다. 신경 회로망은 부하전류에 상응하는 각 정류기의 효율특성곡선을 식별하는데 이용되고, 시스템의 효율을 모든 동작 조건하에서 최대한으로 근접시킨다. 또한, *IESPSC*는 일정시간동안 각 정류기들을 회전운영시켜 정류기의 고장 발생율을 효과적으로 감소시킨다.

II. 시스템 구성

통신시스템의 DC 전원시스템에 적용되는 *IESPSC*는 CPU 보드, RS-232 전송포트 / 모뎀포트, 24 채널의 아나로그포트, 릴레이 포트와 바이너리포트, 키패드, 액정디스플레이로 구성되며, 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다.

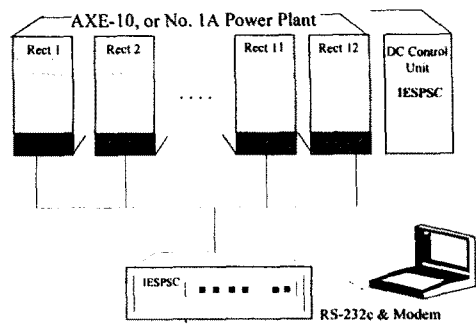


그림 1. DC 전원시스템의 *IESPSC*

III. 시스템 식별 (System Identification)

1980년대 초부터 비선형 시스템의 제어와 모델링에 신경회로망을 이용한 연구가 진행되어 왔다. 물리적인 시스템들을 제어하는 곳에 신경회로망을 이용하자는 착상은 최근에 많이 주목받고 있으며, 시스템의 정확한 수학적 모델을 구하기 어려운 곳에서 이용하자는 데에 주요 목적이 있다. 근본적인 전제는 신경회로망이 학습을 통해서 물리적인 시스템의 동적특성을 모방할 수 있다는데 있고 universal approximator로 알려져 있다. 즉, 원하는 입출력의 값을 적절하게 학습시켜 신경회로망이 임의의 연속적인 vector map을 아주 가깝게 표현할 수 있다는 것이다 [1, 2, 3].

통신교환기에서 사용되는 DC 전원시스템의 각 정류기가 경부하에서 비효율적으로 운영되는 것을 개선시키기 위하여, 신경회로망을 기초로 한 비선형수는 각각의 정류기들의 효율특성곡선을 찾아 에너지 가격함수를 최소화하고, 부하에 따른 DC 공급전력의 양을 조절하여 동작 정류기의 수를 결정하며 정해진 부하에 대해 고효율을 유지시키면서 운영비용 절감효과를 얻을 수 있다.

제안된 식별방법은 신경회로망의 back-propagation 학습방법을 통해 확인된 모델을 확립하는 데에 이용한다 [4]. 그러나, 물리적 시스템의 좋은 mapping을 위해서 back-propagation 학습은 훈련시에 주어진 시스템의 차수를 근사화할 수 있는 정보 필요로 한다 [5, 6]. 그림 1의 DC 전원시스템의 에너지 비용을 최소화하기 위해서 우선 그림 3과 같은 효율곡선을 정확히 식별하는 것이 필요하다. 일반적으로, 몇 가지의 다른 방법으로 접근할 수 있으나 본 논문에서는 그림 2와 같은 multi-layered feed-forward 신경회로망을 이용한 2-6-1 구조를 사용하였다. Back-propagation 알고리즘은 그림 2와 같은 회로망의 weights를 수식 (1)과 같이 변화시키 시스템의 복성을 학습한다 [7].

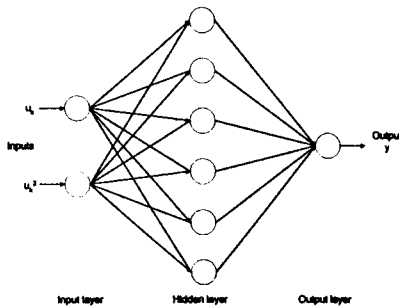


그림 2. 시스템 식별을 위한 신경회로망 구조

$$W_{ij} = W_{ij} + \eta \delta_j + \alpha \Delta W_{ij} \quad (1)$$

여기서, η 와 α 는 상수이며 각 회로망 층의 δ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta_{out-hid} &= \frac{1}{2}(d_{out} - o_{out})(1 - o_{out}^2) \\ \delta_{hid-in} &= \frac{1}{2}(1 - o_{hid}^2) \sum_{out} \delta_{out-hid} W_{out-hid} \end{aligned} \quad (2)$$

신경회로망의 출력은 수식 (3)과 같다.

$$out_i = f(net_i) = f\left(\sum_j W_{ij} out_j + \theta\right) \quad (3)$$

$$f(net_i) = \tanh(net_i) = \frac{e^{net_i} - e^{-net_i}}{e^{net_i} + e^{-net_i}} \quad (4)$$

위의 신경회로망은 효율특성곡선을 정확하게 식별하기 위해서 전류입력 외에 제한된 전류입력을 회로망의 입력으로 사용하였다. 이러한 구조는 여러 번의 실험 결과 다른 구조보다 더 시스템을 빠르고 정확하게 식별한다. 본 논문에서는 정류기에서 얻어진 43개의 학습패턴을 위의 신경회로망에 적용하여 학습시킨 결과 그림 3과 같은 결과를 얻었다. 참고로 η 와 α 값을 최적으로 조절하면 신경회로망의 학습률이 빨라지며, 위 신경회로망에서는 η 값에 0.95, α 값에 0.3을 사용하였다.

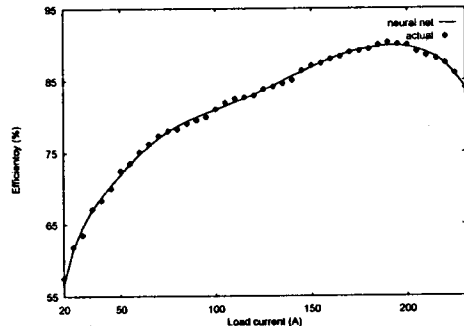


그림 3. 신경회로망이 학습한 효율특성곡선

IV. 부하공유와 에너지절약 판리

제안된 IESPSC는 병렬로 운영되는 정류기들을 최적화된 방법으로 동작시켜 전력비용을 절감할 수 있다. 즉 IESPSC는 전력공급 시스템의 각 정류기들에게 전류량을 분배하도록 하며, 이를 위해서 전체 부하전류를 운영되는 정류기의 수로 나누어서 부하량을 결정한다. 부하전류에 상응하는 효율특성곡선을 모델링한 신경회로망을 이용하여 운영 정류기의 수를 최소화하고 결정된 효율에서 최적의 효율을 유지함으로써 최대의 에너지 절감효과를 얻을 수 있다. 또한 DC 전원시스템이 다른 용량을 가진 여러종류의 정류기들로 구성되어 있다면, 위에서 제안한 "새로운 부하 분배" 방법은 여전히 이용가능하며, 다른 출력용량을 가진 정류기들이 모든 상황에서도 최고의 시스템 효율을 유지할 수 있도록 부하에 전류를 공급한다.

예를 들면, 그림 1에서와 같이 12대의 정류기 (48volts/200amps)가 병렬로 운영되는 DC 전원시스템은 최고

2400 amps 까지 부하전류 공급이 가능하지만, 평상시에 일반전인 운영조건에서는 전체용량의 30%뿐인 720 amps 를 공급한다. 그림 3 에서 보듯이 60 amps 에서 작동하는 각 정류기의 효율은 180 amps 에서의 89.4%에 비하면 75.1%이다. 그러므로, 12 대의 정류기들을 모두 작동시키는 대신에 720 amps 를 부하에 공급하도록 4 대의 정류기만 작동시키면 된다. 이런 운전상태가 계속 된다면 89.4%의 효율로 운영되는 에너지절약은 대략 시간당 7,943W 이고, 이것을 돈으로 계산하면 DC 전원시스템 1 대당 1 년에 약 400 만원의 에너지 절감효과를 얻을 수 있다. 그림 4 는 5 월 한주일동안 한국통신 전력실의 DC 전원시스템의 평균 부하사이클을 보여주고 있다. "새로운 부하 분배" 방법을 적용한 것과 적용하지 않은 경우의 DC 전원시스템 평균효율은 각각 88%와 77%였다. 결과적으로 IESPSC 는 그림 4 와 같이 부하사이클에 대한 정류기의 운영 대수를 결정한다.

IESPSC 는 또한, 정류기 관리의 일환으로써 규칙적으로 정류기를 회전운영시키는 기능이 포함되어 있다. 각 정류기는 연속적인 과잉운전을 피하고 통신시스템의 고신뢰도를 유지할 수 있도록 주기적으로 똑같은 시간만큼 작동된다. 이러한 회전운영으로 정류기의 고장률을 낮출 수 있다. 참고로 이 회전운영은 매 24 시간마다 이루어진다

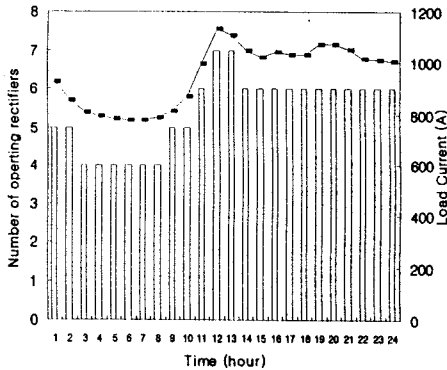


그림 4. DC 전원시스템 하루 평균 부하사이클과 이에 대응하는 정류기의 운영대수

V. 원격 모니터링

대부분 소규모의 통신시스템용 전력실에서는 평상시의 유지 관리 및 전원시스템 고장 발생시에 따른 보수를 위해서 전임 담당자가 책임지고 관리할 수 있는 여건이 여의치 않은 관계로, 무인 전력실의 운영을 위해서는 핵심 파라미터들의 원격 모니터링이 필요하며, 핵심 파라미터들로는 시스템전압, 시스템온도, 부하전류 등이 사용된다 [8, 9].

원격 모니터링은 본부 통제실의 주 제어기와 전력실 각각의 정류기들 사이에서 modem 또는 serial 통신을 이용하여 이루어진

다.

VI. 결론

본 논문에서는 통신시스템에 사용되는 DC 전원시스템을 위한 에너지 절약형 지능제어기를 디자인하는데 필요한 새로운 방법을 소개하였다. IESPSC 는 원격 모니터링을 이용한 중앙통제기능과 고등예측유지기능을 제공하여 전력공급기의 운영비용을 절감함과 동시에 전체 통신시스템의 신뢰도를 향상시킨다. 또한 효율적인 신경회로망을 기초한 식별 및 부하분배와 에너지관리를 위한 새로운 방법이 결합되어 DC 전원시스템에서 놀라운 에너지 절감효과를 얻는다는 것이 증명되었다. 본 예와 같이 간단한 효율특성곡선 모델링에는 curve fitting 같은 식별방법도 똑같이 사용될 수 있다. 본 논문에서 보여준 결과에 의하면 제안된 실시간 지능제어방식은 여러대의 정류기가 병렬로 운영되고 있는 DC 전원시스템에서 최대의 에너지 절감효과를 얻을 수 있음을 보여준다.

참고문헌

- [1] K. Hornik, M. Stinchcombe, and H. White, "Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators," *Neural Networks*, vol. 2, pp. 359-366, 1989.
- [2] G. Cybenko, "Approximation by Superposition of a Sigmoidal Function," *Mathematics of Control, Signals and Systems*, vol. 2, pp. 303-314, 1989.
- [3] S. Chen, S.A. Billings, and P.M. Grant, "Non-linear System Identification Using Neural Networks," *Int.J.Control*, vol. 51, no. 6, pp. 1191-1214, 1990.
- [4] J.L. McClelland and D.E. Rumelhart, *Parallel Distributed Processing*, 1, MIT Press, Cambridge, MA, 1986.
- [5] K.S. Narendra and K. Parthasarathy, "Neural Networks in Dynamical Systems," *SPIE Intelligent Control and Adaptive Systems*, vol. 1196, 1989.
- [6] K.S. Narendra and K. Parthasarathy, "Identification and Control of Dynamic Systems Using Neural Networks," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 1, pp. 4-27, March 1990.
- [7] J. M. Jurada, "Introduction to Artificial Systems", *Info Access Distribution Pty. Ltd.* pp. 163-250, 1992
- [8] B. Slade, R. Wikstrom and J. Dusing., "Remote Monitoring of Power Systems in the NMA Environment: an intelligent Solution," *Intelec*, pp. 484-487, 1992.
- [9] A. Ericsson and J. Akerlund, "Compact Power Formats meet Changing Conditions," *Intelec*, pp. 35-41, 1994.