

전압, 무효전력 제어를 위한 전문가 시스템

서 승 우 이 흥 재 박 영 문  
서울대학교 전기공학과

An Expert System for Voltage and Reactive Power Control

Seung - Woo Seo Heung - Jae Lee Young - Moon Park  
Seoul National University Dep. of Electrical Eng.

Abstract

An expert system is developed to solve the voltage problems occurring in electric transmission power system. It is based on knowledge engineering technique satisfies the performance criteria such as minimizing the number of operation of control device and quantity of reactive power. Also, it uses best-first search technique with the help of heuristics obtained from the experts. Control devices used in this paper include shunt capacitor/reactor, transformer tap changer, generator output voltage and a generator is used after the availability of other two devices are checked.

1. 서 론

전력의 수요가 증가하면서 그 질적 향상에 대한 요구가 높아져 가고 있으며 대전선의 개발과 계통연계 강화등으로 인해 계통이 대규모화, 복잡화되어 가고 있으므로 효과적이고 합리적인 운용과 제어에 대한 요구가 절실한 실정이다. 따라서 어떤 송전 계통에서 각 모선 전압을 적정 수준으로 유지시키고 계통 손실을 감소시키며 안정도 계산을 위해서든 전압, 무효 전력 제어가 필수적으로 수반되어야 한다. 이를 위해서 지금까지는 최적화 기법을 이용한 수리알고리즘에 의존해 왔다. [ 1, 2 ]

그러나 최근 인공 지능에 대한 연구와 더불어 인간의 경험적 지식을 이용하는 전문가 시스템을 계통의 운용에 적용하려는 시도가 활발히 진행되고 있으며, 특히 진단, 복구 같은 응용 분야에서는 상당한 성과를 거두고 있다. [ 6, 7 ]

본 논문에서는 송전계통 모선 전압제어를 위한 전문가 시스템을 개발하고자 한다.

2. 전문가 시스템 개발

전문가 시스템은 어떤 특정한 분야에서 전문가의 지식을 이용하여 높은 수준의 문제를 해결할수 있는 지식 중심의 컴퓨터 프로그램으로 정의할 수 있다. 지식 중심의 전문가 시스템은 일반적인 알고리즘 중심의 프로그램이 자료 ( Data )을 기본 단위로 하는 것과는 달리 지식을 관리하는 프로그램이므로 지식을 지식베이스 ( Knowledge base )에 저장하여 두고 특정한 문제가 주어지면 그 문제에 알맞은 지식을 이용하여 문제를 해결해 나간다. 이 경우 문제 해결방식이 미리 정해진 것이 아니라 해결 과정에서 추론을 통해 유추하게 된다. 이 기능을 담당하는 곳이 추론 기관 ( Inference Engine )이다. 지식베이스 내의 지식은 해당 문제영역에 국한된 지식을 의미하며 사실, 믿음 (Belief), 경험 (Heuristics)으로 이루어지며 그들은 경험적 지식과 교과서적인 지식으로 대별되고 지식베이스는 규칙 (Rule)과 사실 (Fact)로 구성되어 있다.

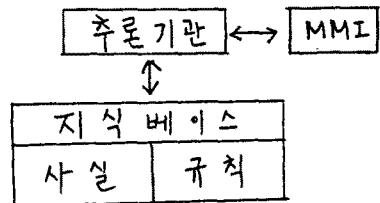


그림 1. 전문가 시스템 구성도

3. 지식베이스 내용

본 연구에서 개발한 전문가시스템의 지식베이스는 다음과 같은 내용으로 구성된다.

- (1) 각 모선 전압의 단계별 상한지와 하한지 및 전압편차
- (2) 전압상태 심각도 지수 (Severity Index)
- (3) 제어기들의 사용량과 가용량
- (4) 각 제어기들과 모선 전압 사이의 감도 (Sensitivity)

< 모선 전압 상태 판별 >

계통의 모선전압을 적정수준으로 제어하기 위해서는 우선 각 전압의 상태를 알아야 한다. 이를 위해 각 모선의 전압을 다음과 같이 5 단계로 분류한다. 경계상태는  $V_h$  에서  $V_{he}$  사이, 긴급상태는  $V_{he}$  이상을 말한다.

$V_{he}$	긴급수준 (+) (Emergency (+))
$V_h$	경계수준 (+) (Alert (+))
$V_n$	정상수준 (Normal)
$V_l$	경계수준 (-) (Alert (-))
$V_{le}$	긴급수준 (-) (Emergency (-))

이상의 각 모선 전압수준에 따라 전체 계통상태의 심각도 별 다음과 같이 세 가지로 구분한다.

- 심각도 0 : 모든 모선 전압이 정상수준
- 심각도 1 : 한개 이상의 모선전압이 경계수준  
이외 나머지 모선은 정상상태
- 심각도 2 : 한개 이상의 모선전압이 긴급수준일때

심각도가 0 인 경우는 감도 행렬을 구성하고 최적 무효전력 배분 알고리즘을 사용하여 계통의 손실을 최소화하는 투입량을 결정한다.

< 감도 행렬 >

각 제어기기에 대한 모선전압의 변화를 나타내는 감도 행렬은 전력조류 계산식에서 얻어질수 있다. 감도 행렬은 설비의 단위 용량 투입에 대한 전압의 증분량을 가리킨다.

$$\Delta V = [ S1 ] \Delta Q$$

$$\Delta V = [ S2 ] \Delta T$$

$$\Delta V = [ S3 ] \Delta V$$

- 단 [ S1 ] : 병렬콘덴서/리액터에 대한 감도행렬
- [ S2 ] : 변압기 탭 절환기에 대한 감도행렬
- [ S3 ] : 발전기 단자 전압에 대한 감도행렬

< 제어 기기 >

전압, 무효전력 제어에 사용되는 제어기기는 병렬 콘덴서, 리액터, 변압기 탭 절환기, 발전기 단자전압 등이 있다. 변압기 탭 절환기는 ULTC (Under load tap changer) 와 Fixed tap changer 로 구분되며 Fixed tap 은 고려하지 않았다. 발전기 단자 전압은 나머지 제어기기로 제어가 되지않을 경우 최종적으로 고려하였다. 모든 제어기기의 용량과 전압변화는 (P.U) 단위로 환산했다.

4. 최량우선 탐색

본 전문가 시스템은 Turbo Prolog 로 구현했으며 후진 추론 (Backward-reasoning) 과 최량우선탐색 (Best-first search) 를 기본으로 해결 구하였다. 전압상태가 심각도 1 과 2 에 들 경우 가능한 해를 찾기위해 상태공간을 탐색한다. 이 때 최량우선 탐색을 하기 위해 감도표 (Sensitivity table) 을 이용한다. 감도표는 감도 행렬에 전압 편차, 가용제어기기량까지 고려하여 만든다. 궁극적으로 찾는 해는 다음의 2가지 요건을 만족시킨다.

- (1) 제어기기 사용개소 최소
- (2) 제어량의 합이 최소

탐색은 아래와 같은 공간에서 이루어진다. 경계는 현재 전압 상태이고 각 단계 (level) 은 적당한 제어기기를 적용시킨 후의 전압 상태를 가리키고 줄기 (Branch) 는 제어기기를 가리킨다.

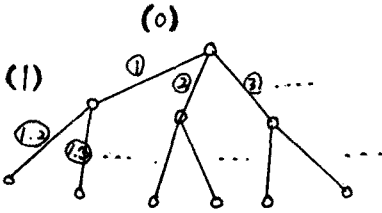


그림 2. 탐색 공간

부임발을 적게 하기 위해 정상 수준보다 전압이 높은 경우에는 상한치를 기준으로 하고 전압이 높은 경우에는 하한치를 기준으로 부임한다.

### 3. 결 론

이 논문에서는 전압, 무효 전력 제어를 위한 전문가 시스템을 개발하였다. 제어 기기 선정은 전문가의 경험적 지식에 의한 최방 우선 탐색법에 의했으며 추론은 TURBO-PROLOG 에 내제된 후진 추론 방식을 이용하였다.

### 4. 참고 문헌

[1] E. Hobson  
 " Network Constrained Reactive Power Control  
 Using Linear programming "  
 1980 IEEE TRANS. PAS May

[2] K.R.C. Manandur and R.D.Chenoweth  
 " Optimal Control Of Reactive Power Flow  
 For Improvements In Voltage Profiles  
 And For Real Power Loss Minimization "  
 1981 IEEE TRANS. PAS July

[3] A.DoI and K.Uemura  
 " Knowledge Based Operation Guidance Method  
 for Voltage and Reactive Power Control  
 in Power System " 1985 IFAC

[4] C.C. Liu and K. Tomsovic  
 " An Expert System Assisting Decision-Making  
 of Reactive Power/Voltage Control "  
 1986 IEEE TRANS. PWRs August

[5] " Turbo Prolog " 1986 Borland

[6] Buchanan and Shortliffe  
 " Rule-Based Expert Systems " 1984

[7] T.Sakaguchi and K.Matsumoto  
 " Development of a Knowledge Based system  
 for Power System Restoration "  
 1983 IEEE PAS - 102

[8] McClelland and Van Horne  
 " Fast Voltage Prediction using a Knowledge  
 Based Approach " 1983 IEEE PAS-102

[9] Nilsson " Artificial Intelligence "