광학적 태양위치센서의 개발과 그 응용에 관한 연구

°신 현 덕
육군사관학교 전자공학과

고 명 삼
서울대학교 제어계측공학과

A Study on the Design and the Application of an Optical Sun-Position Sensor

°Hyoun Duck Shin
Dept. of Electronics, KMA

Myoung Sam Ko
Dept. of Col. and Meas., SNU

ABSTRACT

A Sun-Position Sensor using four phototransistors and shadow band device has been designed, and a Sun-Tracking System which tracks varying positions of the sun in elevation and azimuth axes has been built and its performance has been analyzed on the basis of indoor experiments and computer simulations. Two permanent-magnetic Step Motors (1.8°/step) for the main actuators and a CRC-800A kit with the Z-80CPU for the main controller have been selected to construct the Sun-Tracking System. It has been shown that the Sun-Postion Sensor has about 0.5° resolution and 25msec is required for the response of a single step input to reach its steady state.

1. 서 론

현재 지구는 심각한 자원난과 더불어 1973년 유류파동 이후 새로운 대체에너지 개발과 활용이 절실히 요구되고 있다. 그중에서도 태양에너지는 자원의 무한성과 무공해성으로 많은 관심을 받고있다. 그러나 태양에너지의 활용은 많은 설비비와 효율성과 문제가 따르기 때문에 실용하는데 제한점을 가지고 있다. 이에 많은 효과적인 활용방법이 연구개발되고 있으며 본 연구에서는 능동적인 방법으로 태양을 추적하는 시스템을 연구하였다.

태양추적시스템은 500°F이상의 고열이 필요하고 운동속도가 느린 태양을 0.05°의 정확한 위치제어 하여야 하므로 컴퓨터 및 디지탈 제어장치가 사용되고 있으며 동력원으로도 Step motor가 제안되고 있다.[1,2] Step motor의 장점은[3] (1) 이산운동장치(Discrete Motion device)이므로 디지틀 제어 시스템에 사용이 용이하다. (2) 오차가 미소하며(3-5%), 누적되지 않는다. (3) 개루우프 제어로도 정확한 위치 및 속도 제어가 가능하고 되먹임장치의 복잡성이 감소된다. (4) 정지기간동안 동력손실이 감소된다. (5) 설계절차가 간단하다. (6) 일반 전동기와 달리 부러쉬, 정류자등이 없으므로 마모에 의한 수명 단축이 없다. 등이며 단속적인 운동으로 진동이 유발되고 부하관성에 영향을 받아 오우버슈우트가 생기며 반응시간과 최대 Stepping 비율에 제한을 받는 단점이 있으나 구동회로의 개선과 개.폐루우프 제어를 겸용한 혼합제어 방법등으로 문제점을 보완 분석할 수 있다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 태양위치센서를 설계 제작하고 두 개의 Step motor 를 사용하며 태양을 방위각과 고도로 추적할수 있는 시스템을 구성하였으며 제작된 태양추적시스템을 Single-Stepping mode로 구동하고 실내실험을 통하여 응답특성과 시스템제어를 연구하였다.

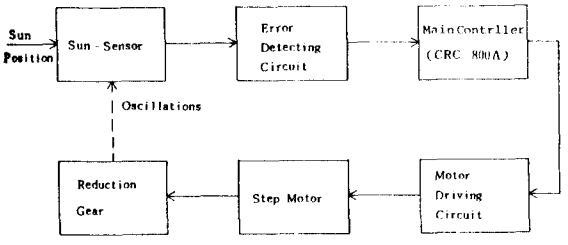


Fig.1 System Blockdiagram
그림 1 시스템 구성도

2. 태양위치센서 설계

태양위치센서는 태양을 감지하는 즉, 자연광을 입력으로 사용하는 장치이므로 자연광에 민감한 소자를 이용해야 한다. 포토다이오드는 반응시간은 빠르나 흐르는 전류가 극히 적어 포토트란지스터가 제일 적합하다. 대부분의 태양위치센서는 빛의 직진성을 이용하고 있으며 크게 아날로그형과 디지탈형으로 구분

할 수 있다. MORI,[4] MOSHER,[5] KUO[6] 등의 태양센서를 검토한 결과 그림2와 같은 원리를 이용하며, 태양위치센서를 설계하였다.

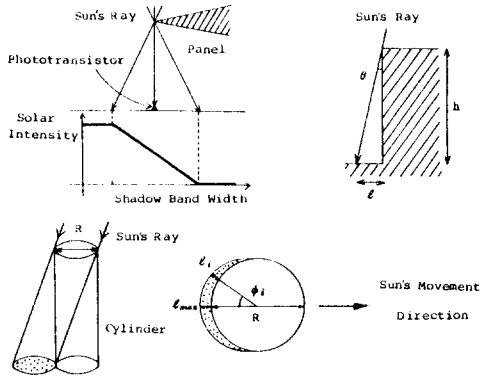


Fig.2 Shadow Band Device

그림2 그림자 형성 장치

빛이 θ 만큼 기울어서 비추면 ℓ 크기의 그림자가 생기고, 이때 ℓ은 높이 h와 다음과 같은 삼각함수의 관계가 있다.

$$\tan\theta = \frac{\ell}{h}$$

높이 h=30cm인 경우 태양이 1° 이동하면 ℓ_{max}=0.524 cm 의 그림자가 형성되고 일반적으로 그림자폭 ℓ_i는

$$\ell_i = h \tan\theta \cos\phi_i$$

로 표시된다.

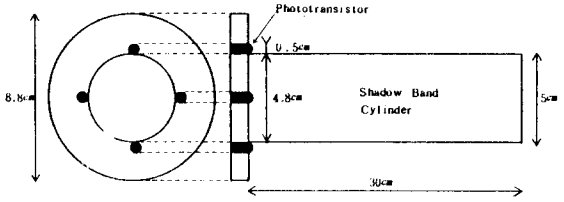


Fig.3 Sun-Position Sensor

그림3 태양위치 센서

그림3은 본 연구에서 제작된 태양위치센서이며 동력원인 Step motor의 부하정격을 고려하여 아크릴 원통을 사용하고 1°의 태양위치변화를 감지할 수 있도록 0.524cm이내에 포토트란지스터를 설치하였다.

포토트란지스터는 개방베이스 공통에미터회로를 구성하여 에미터바이어스 저항에 빛의 세기에 비례해서 유도되는 전압을 출력신호로 설계하였고 이를 다시 OP Amp를 이용 차등증폭시키고 타이머와 기준전압회로를 이용하여 비교기에서 양쪽 전압차를 비교하여 태양위치를 추적토록 하였다.

3. Step motor 구동회로 설계

일반적으로 Step motor를 구동하기 위해서는 3-30V (DC), 0.1-10 A의 비교적 높은 전력이 요구된다. 그러나 컴퓨터와 같은 대부분의 제어기는 낮은 출력의 펄스 신호를 사용하므로, 일반모타와는 달리 특별한 구동회로를 통하여 제어기로부터의 펄스 신호를 각 권선을 여자시키는 순서논리에 일치하도록 2진화 신호로 바꾸고 적절한 전력을 공급해야 한다. 그림4는 이와같은 구동회로를 설명하고 있다. 본 연구에서는

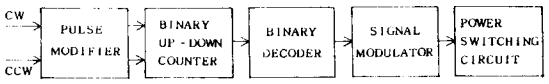


Fig.4 Driving Circuit Blockdiagram

그림4 구동회로 블럭다이어그램

SANYO회사의 구동회로를 참고로 하여 제작하였다.[7]

Single-Stepping mode의 특성 개선을 위해 저항전류 제한방법을 사용했고, 권선에서 신속하게 전류를 제거하기 위한 다이오드 대신에 상간커패시터를 사용했다.

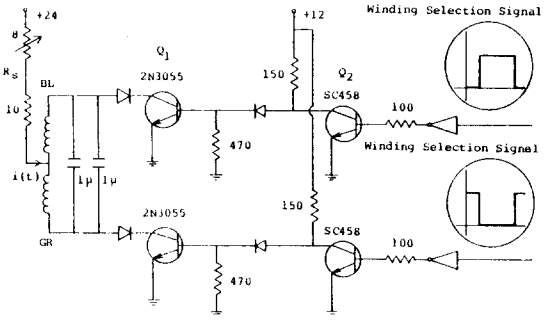


Fig.5 Resistance Current Limiting and Commutating Capacitor Circuit

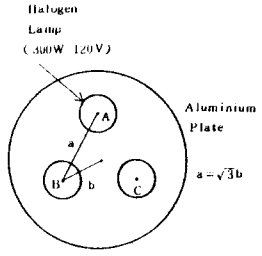
그림5 저항전류 제한 및 상간커패시터 회로

그림5에서 권선 스윗칭 신호가 1(high)이 되면, 인버어팅되어서 0(low)이 Q_1 트란지스터 베이스에 인가되어 Q_1 이 OFF 되고, +12V 전압은 Q_2 트란지스터를 ON 시키게 되며 +24V 전압이 검정(BL) 권선에 전류를 흐르게 만들어 여자시킨다.

4. 실험 및 검토

(1) Sun-Simulator 설계

태양은 일기 및 시간 변화에 민감하고 운동속도가 느리므로 자연광에 가까운 광원을 제작하여 실험하였다. 그림6과 같이 Sun-Simulator를 설계 제작하고 태양위치센서로부터 750cm 떨어진 곳에 radian법칙을 응용 태양궤적을 설치하여 실내에서 센서의 분해능(resolution)을 측정하였다.[8]



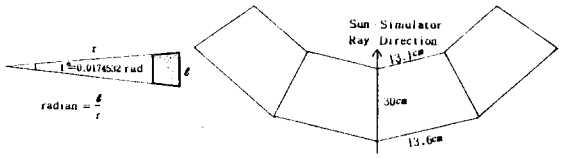


Fig.6 Sun-Simulator and Locus

그림6 태양시뮬레이터와 궤적

(2) 시스템 제어

전체 시스템은 폐회로로 구성되었고 ON - OFF 제어 방식을 이용하였다. Step motor 는 1-2 상여자 방식과 1/2기아감속을 통하여 Single-Stepping mode 에서 약 0.5° 씩 구동하게 된다. 또 설계된 태양위치 센서는 0.5° 의 감지능력을 가지고 있고 포토트란지스터도 약2분의 태양운동이 0.5° 의 각운동에 해당하고 이때 큰 전압차가 유기되므로 Single-Stepping mode에 부합된다. 따라서 매 step 구동한 다음 두쌍의 포토트란지스터 출력을 비교하여 1(+5V)인 쪽이 태양이 있는 방향이므로 출력이 큰 방향으로 회전을 하여 양쪽 모두 0(+0.34 V)이 될 때까지 회전한다.

그림7에 나타낸 것과같이 시스템을 ON 시키면 외부 타이머(555)에서 7초를 주기로 인터럽트를 걸어서 HALT 되어 있던 프로그램을 수행하게 된다. 이때 NMI (Nonmaskable Interrupt) 방법을 사용했으므로 7초 이내에 정확한 태양의 위치를 추적하지 못하면 새롭게 인터럽트가 걸리게 된다. 실제로는 2분정도의 주기가 적당하지만 Sun-Simulator를 사용했으므로 타이머의 반고정 저항을 7초로 마추었다.

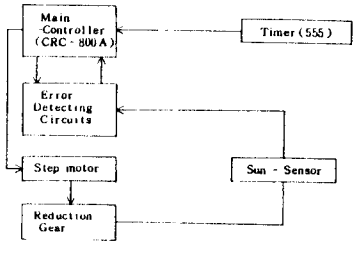


Fig.7 System Control Blockdiagram

그림7 시스템제어 블럭다이어그램

그림8은 시스템 제어프로그램 플로어챠트를 보여주고 있으며 여기서 A1, A2, E1, E2는 각각 4개의 포토트란지스터 출력을 나타낸다.

(3) Single-Stepping Mode 해석

본 연구에서 제작된 실제의 전체 시스템을 시스템 동특성에 영향을 미치는 중요한 물리량을 중심으로 구성한 블럭다이어그램은 다음 그림9와 같이 나타낼 수 있다.

Single-Stepping Mode로 구동하였을 때 무부하상태

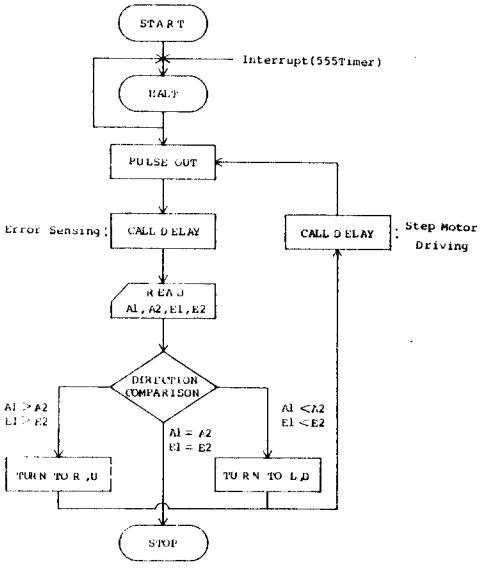


Fig.8 System Control Program Flow-Chart

그림8 시스템 제어프로그램 플로어챠트

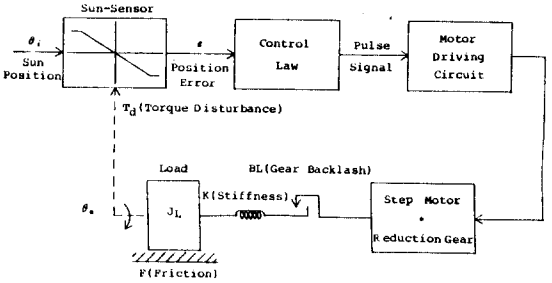


Fig.9 System Model Blockdiagram

그림9 시스템모델 블럭다이어그램

의 동특성과 감속기아와 태양위치센서의 부하관성 J_L 마찰계수 F, Stiffness K, 기아 백래쉬 BL, 토오크외란 T_d 등을 하나의 플랜트로 보고, Step motor 자체를 적분기로 보아서 전체 시스템을 선형화하여 그림10과 같이 해석할 수 있다. 여기서 K_s는 시스템 이득이고, ω_n는 시스템 고유진동수, ξ 는 시스템 감쇄비이며, 시스템 고유진동수 ω_n 는 $\sqrt{K/J}$로 정의된다.[9,10]

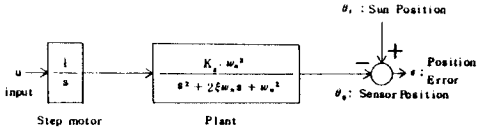


Fig.10 Linearized System Model

그림10 선형화된 시스템 모델

Step motor의 동특성과 선형화된 시스템 특성을 정리 유도하면 권선저항 R과 마찰계수 D의 영향을 받는 2차선형시스템으로 해석할 수 있고 컴퓨터 시뮬레이션으로 R,D 의 최적치를 선정하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 태양에너지의 이용 효율을 높이기 위해 방위각과 고도의 2개축으로 태양을 추적하는 시스템을 설계하여 구성된 시스템의 Single-Stepping mode 에서의 응답특성을 연구 해석하였다. Sun-Simulator를 이용한 실내실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 결과로 다음과 같은 사항들이 확인되었다.

(1) 두 쌍의 포토트란지스터와 그림자형성장치를 이용하여 1°의 감지능력을 갖도록 설계한 태양위치센서는 Sun-Simulator 의 실험을 통하여 약 0.5° 까지의 태양 위치오차를 감지할 수 있고, 자연광에서의 실험에서는 잔그림자가 생기지 않으므로 더욱 좋은 감지능력이 예상된다.

(2) Single-Stepping mode의 응답특성을 마찰계수 D 와 저항 R 의 영향을 받음을 알 수 있고, 외부인가 전압 V=+24 V(DC), 저항 Rs=14.2Ω 일 때의 컴퓨터 시뮬레이션은 Single-Stepping 시간이 3 m sec이내로 2.4m sec의 모타정격에 유사하고, 진동은 25m sec이내에 정지함을 확인했다. 또 2차의 시스템 특성은 고유진동수 ω_n=439rad/sec, 감쇄비 ζ=0.44의 값을 가지고 있다.

(3) 1-2상여자 방식으로 구동할 때 1상여자시의 표준토오크는 $-\{\sin\phi(t) - K_a \sin 2\phi(t)\}$ 이고 여기서 K_a는 모타여자상수, $\phi(t)$ 는 회전자의 위상각이며, 2상여자시의 표준토오크는 $-\sqrt{2}\{\sin(\phi(t)-45°) - \sqrt{2} K_a \sin 2(\phi(t)-45°)\}$ 로 증가되므로 강스탭과 약스탭이 발생하고, 이와같은 토오크의 변화는 매 Step의 위치 정확도를 나쁘게 하며, 본 실험에서도 매 Step 구동시의 소리로써 확인할 수 있다. 또한 Sun-Simulator를 궤적을 따라 이동할 때 태양위치센서의 감지능력과 좌표계 설정의 잘못으로 Null Point 가 생기므로 올바른 좌표계 설정(Coordinates Setting)이 필요하다.

한편 실제의 태양추적시스템은 바람에 의한 부하가 크므로 이를 필히 고려해야 하고 적절한 부하와 구동회로의 선정이 Step motor 위치 제어에 성공적인 요소이다. 또 포토트란지스터의 수와 위치를 조절하여 높은 감지능력의 디지탈형 태양위치센서를 설계하고, Multiple-Stepping mode 및 Slewing mode 로 구동하면 최적제어방법을 사용할 수 있다. 그리고 동특성 해석시 상관커패시터용량 C의 감쇄비에 대한 영향을 고려한다면 좋은 진동제거방법을 기대할 수 있다.

이상의 연구에서 개발된 태양추적시스템을 태양위치센서의 재질을 개량하고 높은 토오크의 Step motor를 사용하여 서울공과대학 화학과의 포물형 접속기 구동에 응용하였다.

참 고 문 헌

[1] R.O. Hughes, "The sun-tracking control of solar collectors using high-performance step motors," Control and Energy Conversion Division, Jet Propulsion Laboratory, 4800 Oak Grove Dr. Pasadena, CA 9]]03.

[2] S.J. Bailey, "Incremental actuation '78; Stepper Torque and force moving up," Control Engineering, pp.47-50, May 1978.

[3] W.D. Page, G. Singh, and B.C. Kuo, "Application of a computer control to a study of open-loop acceleration of step motors," IEEE Trans, I.E. & C.I., Vol. IECI-22, No.2, May 1975.

[4] Y. Mori, et al, "Fundamental research on heat transfer performances of solar focusing and tracking collector," Solar Energy, Vol.]9, pp.595-600, 1977.

[5] D.M. Mosher, R.E. Boese and R.J. Soukup, "The advantages of sun tracking for planar silicon solar cells", Solar Energy, Vol. 19, pp.91-97, 1977.

[6] B.C. Kuo, Automatic Control, 3rd Edition, Printess-Hall, 1975.

[7] SNAYO DENKI CO., LTD., Step Motor Manual

[8] H. Curtis, "Low cost AM2 Simulator", NASA TMX-71802, March 1975.

[9] J.P. O'Donohue, "Transfer function for a stepper motor," Control Engineering, November 1961.

[10] D.J. Robinson & C.K. Taft, "A Dynamic analysis of magnetic stepping motors," IEEE Trans. I.E.C.I., Vol. IECI-16, pp.111-125, Sept. 1969.