

조건 아크를 이용한 릴레이 회로의 EMFG 변환

백 형 구*, 허후숙**, 정명희*, 여 정 모***

* 부경대학교 산업대학원 전산정보학과

** 부경대학교 교육대학원 전산교육학과

*** 부경대학교 전자정보컴퓨터통신공학부

The Relay circuit to EMFG conversion with a Condition Arc

Hyung-Goo Paek*, Hu-Suk Heo**, Myung-Hee Jung*, Jeong-Mo Yeo***

*** Dept of Computer Science, Pukyong Nat'l University

*** Division of Electronics, Computer and Telecommunication Engineering,

Pukyong Nat'l University

E-mail:hgpack@orgio.net, yeo@pknu.ac.kr

요 약

설계 단계부터 많은 경험을 필요로 하고, 설계된 회로의 분석이나 검증이 어려운 시퀀스 제어의 릴레이 회로를 EMFG로 변환하는데 있어 릴레이 회로의 특성을 정확하게 반영하기 위해 EMFG에 조건 아크를 도입하였으며 이에 따라 릴레이 회로의 EMFG 변환 규칙을 추가하였다. 또한 타이머 릴레이에 대한 EMFG 변환을 위해 시간 트랜지션을 사용하였다. 교통 신호등 시스템을 이용한 응용 예를 통해 릴레이 회로를 EMFG로 변환하므로써 설계된 회로의 분석 및 해석이 용이해지고 설계오류에 대한 검증에 상당한 효과가 있음을 보인다.

1. 서론

자동화시스템을 제어하는 시퀀스제어(sequential control)는 가공공정의 자동화 등 공정자동화의 주체를 이루고 있고, 많은 시퀀스 제어회로들이 릴레이 회로로 구현되고 있다. 이러한 릴레이 회로를 구현할 때는 많은 경험을 필요로 할 뿐 아니라 초기 개념적 설계가 어려우며, 설계된 회로의 분석도 용이하지 않은 단점이 있다.[1,2] 그래서 회로의 동작해석과 이상개소의 검출이 용이하고, 동작 상태를 시각적으로 나타낼 수 있는 설계법이 요구되었다.[3,4,5]

지금까지 설계자들은 타임차트나 블록도 등으로 시스템의 흐름을 나타내고, LD (Ladder Diagram)나 SFC(Sequential Function Chart)로 프로그램을 기술하고 있지만, 설계단계에서 시퀀스 추이 체크나 이상개소의 엄밀한 검출이 어려운 실정이다.[3,6]

이를 위한 방안으로 페트리네트(PN : Petri Net)의 또 다른 모델인 확장된 마크흐름선도(EMFG:Extended Mark Flow Graph)를 이용한 릴레이 회로의 표현법이 제안되었다. EMFG는 시스템의 병렬성이나 동시성의 표현뿐만 아니라 시스템을 개념적으로 설계할 수 있게 하고, 시스템의 동작을 상세하게 분석할 수 있게 한다.[7-12]

본 연구에서는 릴레이 회로를 EMFG로 변환하기 위해 EMFG에 조건 아크를 도입하여 릴레이 회로의 특성이 더욱 정확하게 EMFG에 적용이 되게 하며, 또한 타이머 접점에 대한 EMFG의 변환 방법을 제안한다. 기존의 릴레이 회로의 EMFG 변환에 관한 연구들을 기초로 하여 제안한 방법을 이용하면 아주 간단하고 정확하게 릴레이 회로를 EMFG로 변환할 수 있다.[13]

제안한 방법을 이용하여 변환된 EMFG를 분석하면 릴레이 회로의 구성을 쉽게 파악할 수 있기 때문에 릴레이 회로의 분석 및 해석이 상당히 용이할 뿐만 아니라 이를 통한 회로 설계시 회로 구성에 대한 고려가 가능하고, 시스템의

동작을 쉽게 분석할 수 있으므로 회로 설계시 재반영하거나 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

2. 조건 아크의 도입과 박스의 특성 방정식

릴레이 회로의 입력소자들은 자신의 상태를 유지한 채로 출력을 동작시키는데 기여한다. 따라서 이러한 점점들의 상태를 표현하기 위하여 EMFG에 새로운 아크를 도입한다.

정의 1) EMFG에서 트랜지션 t_n 에 입력 아크로 연결된 점선 아크를 조건 아크(Condition Arc)라 하고, t_n 에 조건 아크로 연결된 입력 박스 b_m 에는 마크가 있어야 t_n 의 점화 조건이 만족되며, t_n 가 점화하였을 때 b_m 의 마크 상태는 변화하지 않는다.

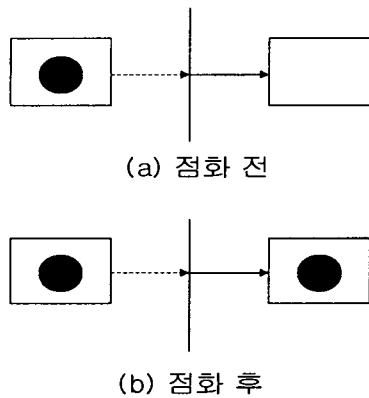


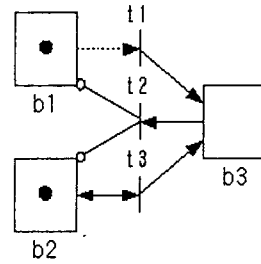
그림 1. 조건 아크의 표현

조건 아크로 연결된 박스는 트랜지션의 점화조건만 만족시키고, 연결된 트랜지션의 점화에 의해 자신의 마크 상태는 변화되지 않으므로 어떤 상태를 변화시키는 게이트 역할을 한다.

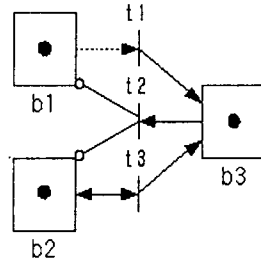
자기보존 아크(self arc; 박스와 트랜지션 사이에서 출력 일반 아크와 입력 일반 아크로 연결되어 있는 두 아크를 말함)에 연결되어 있는 박스에는 마크가 있어야 트랜지션의 점화조건을 만족시키고, 트랜지션이 점화하였을 때 박스의 마크 상태는 변화되지 않는다. 이런 점에서 조건 아크는 자기보존 아크의 성질과 동일하다.

그러나 박스에 출력 역 아크가 연결되어 있는 EMFG에서는 그 동작이 서로 다르다. 예를 들어 그림 2(a)에서 박스 b_1 과 b_2 에 마크가 존재하여 트랜지션 t_1 과 t_3 이 동시에 점화하는 경우, 그림 2(b)에서 알 수 있듯이 조건 아크로 연결

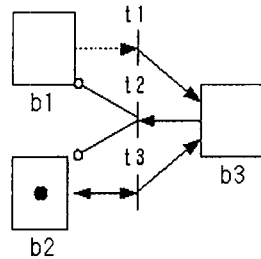
된 그림 2의 박스 b_1 과 b_2 의 마크는 그대로 유지되지만 그림 2(b)에서 트랜지션 t_2 가 점화하였을 때 그림 2(c)와 같이 박스 b_2 의 마크는 유지되지만 자기보존 아크가 있는 b_1 의 마크는 소멸하지 않는다.



(a) t_1 과 t_3 트랜지션 점화 전 상태



(b) t_1 과 t_3 트랜지션 점화 후의 상태



(c) t_2 트랜지션 점화 후의 상태

그림 2. 조건 아크와 자기보존 아크가 있는 EMFG의 예

조건 아크의 도입으로 트랜지션의 점화동작이 바뀌었으므로 릴레이 회로의 출력 동작조건과 출력 해제조건을 트랜지션으로 변환하는 규칙을 다시 정의해야 한다.

정리 1) 릴레이 회로에서 출력에 대한 출력 동작조건과 출력 해제조건은 다음과 같이 구성되는 EMFG의 트랜지션으로 변환된다.

① 출력 동작조건과 출력 해제조건을 구성하는 입력소자는 트랜지션의 입력 박스로 변환되고, 해당 출력은 트랜지

선의 출력 박스로 변환된다.

② 입력소자가 출력 동작조건이나 출력 해제조건에서 동작 상태로서 기여한다면 해당 박스에서 조건 아크로 트랜지선에 연결하고, 동작되지 않은 상태에서 기여한다면 해당 박스에서 역 아크로 트랜지선에 연결한다.

③ 출력 동작/해제조건을 EMFG의 트랜지선으로 변환하는 경우에는 트랜지선에서 일반/역 아크로 출력 박스에 연결한다.

증명) ① 항의 증명 : 릴레이 회로에서 입력소자의 동작 상태는 동작 상태와 동작하지 않는 상태로 구분되며 이는 박스의 유무로 표현할 수 있으므로 릴레이 회로의 입력소자 및 출력은 박스로 변환되고, 동작 상태는 박스의 마크 상태로 표현할 수 있으므로 정리는 타당하다.

② 항의 증명 : 입력소자는 수동 입력소자이거나 접점 입력소자들이므로 스스로 자신의 상태를 변화시키지 못한다. 따라서 입력소자가 동작 상태로서 트랜지선의 점화조건에 기여한다면 당연히 조건 아크로 연결되어야 하고, 동작되지 않은 상태에서 기여한다면 역 아크로 연결되어야 한다.

③ 출력 동작/해제조건이 만족되면 출력 상태를 동작/해제 상태로 한다. 이는 해당 트랜지선이 점화하면 출력 박스에 마크를 생성/소멸시키게 된다. 따라서 정리와 같이 연결하는 것은 당연하다.

단 각종 스위치나 푸쉬 버튼과 같은 수동 입력소자의 경우는 이들을 수동으로 동작시킬 경우에만 다른 릴레이 접점을 구동시키므로 이런 경우는 자기보존 아크로 연결한다.

3. 타이머 릴레이의 EMFG 변환

릴레이 회로의 타이머 릴레이를 EMFG로 변환하기 위해 먼저 타이머에 관련된 용어를 정의하기로 한다.

정의 2) 릴레이 회로에 사용되는 두 종류의 타이머 접점들을 다음과 같이 정의한다.

- ① 온(ON) 타이머 : 시한동작-순시복귀 동작하는 타이머 릴레이
- ② 오프(OFF) 타이머 : 순시동작-시한복귀 동작하는 타이머 릴레이

온 타이머는 릴레이가 여자되어 설정 시간이 경과한 후에 릴레이 접점들이 동작되며 릴레이가 소자되는 즉시 릴레이 접점들이 해제되는 릴레이이고, 오프 타이머는 릴레이가 여자되는 즉시 릴레이 접점들이 동작되고 릴레이가 소자되어 설정 시간이 경과한 후에 릴레이 접점들이 해제되는 릴레이

이다.

그런데 온 타이머와 오프 타이머는 설정 시간에 따라 동작하므로 EMFG로 변환될 때 다르게 변환되어야 한다.

정리 2) 온 타이머와 오프 타이머는 다음과 같이 EMFG로 변환한다.

① 온 타이머의 EMFG 변환 : 부울식으로 표현한 온 타이머의 출력 동작조건의 각 항을 온 타이머의 설정시간을 가진 생성 트랜지선으로 변환하고, 부울식으로 표현한 출력 해제조건을 소멸 트랜지선으로 변환한다.

② 오프 타이머의 EMFG 변환 : 부울식으로 표현한 오프 타이머의 출력 동작조건의 각 항을 생성 트랜지선으로 변환하고,

부울식으로 표현한 출력 해제조건을 오프 타이머의 설정시간을 가진 소멸 트랜지선으로 변환한다.

증명) ① 항의 증명 : 온 타이머는 출력 동작조건이 만족되어 타이머 릴레이가 여자된 후 설정시간이 경과하여야 해당 접점들이 동작하고, 출력 해제조건이 만족되어 타이머 릴레이가 소자되는 즉시 해당 접점들이 동작되지 않은 초기 상태로 되돌아간다. 따라서 출력 동작조건이 변환된 생성 트랜지선의 점화조건이 만족되어 설정시간이 경과한 후에 점화가 완료되도록 하여야 할 것이며, 출력 해제조건이 변환된 소멸 트랜지선은 점화조건이 만족되는 즉시 점화하도록 하여야 한다.

② 항의 증명 : 오프 타이머는 출력 동작조건이 만족되어 타이머 릴레이가 여자되는 즉시 해당 접점들이 동작하고, 출력 해제조건이 만족되어 타이머 릴레이가 소자된 후 설정 시간이 경과하여야 해당 접점들이 동작되지 않은 초기 상태로 되돌아간다. 따라서 출력 동작조건이 변환된 생성 트랜지선은 점화조건이 만족되는 즉시 점화하도록 해야 하고, 출력 해제조건이 변환된 트랜지선은 점화조건이 만족되어 설정시간이 경과한 후에 점화가 완료되도록 하여야 한다.

여기서의 온 타이머와 오프 타이머의 접점들은 일반 접점들을 가지지 않은, 즉 시간 접점들만을 가진다. 만약 타이머가 일반 접점을 가지는 경우에는 다르게 EMFG로 변환되어야 하는데, 이와 같은 경우는 거의 드물기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않는다.

4. 타이머 릴레이를 포함한 릴레이 회로의 EMFG 변환

타이머 릴레이를 포함한 릴레이 회로의 EMFG 변환하는 과정을 횡단보도에 시설하는 신호등 시스템에 적용시켜 보

도록 한다.

이 출력이다.

(1) 교통 신호등의 동작과 회로

그림 3에서 BS1을 누르면 적색 신호등이 점등하고, t1초 후에 황색 신호등이 점등한다. t2초 후에 적색 신호등과 함께 황색 신호등이 소등함과 동시에 청색 신호등이 점등한다. t3초 후에 청색 신호등이 소등하고, 적색 신호등이 점등하며 BS2를 누를 때까지 같은 동작을 반복한다.

단계 2: 릴레이 회로에서 각 출력에 대하여 첨자 i의 입력조건에서 첨자 g의 출력 동작조건과 첨자 d의 출력 해제조건을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X1i &= BS2' \cdot (BS1 + X1 \cdot X3' + D3) \\ &= BS2' \cdot BS1 + BS2' \cdot D3 + BS2' \cdot X3' \cdot X1 \\ X2i &= BS2' \cdot (D1 + X2) \cdot X3' \\ &= BS2' \cdot D1 \cdot X3' + BS2' \cdot X3' \cdot X2 \\ X3i &= BS2' \cdot (D2 + X1' \cdot X3) \\ &= BS2' \cdot D2 + BS2' \cdot X1' \cdot X3 \end{aligned}$$

(2) 교통 신호등 시스템 릴레이 회로의

EMFG 변환

그림 3(a)의 교통 신호등 시스템 릴레이 회로를 릴레이 회로의 EMFG 변환 단계에 따라 해당 EMFG로 변환하기로 한다.

$$\begin{aligned} L1i &= X1 & D1i &= BS2' \cdot X1 \cdot X2' \\ L2i &= X2 & D2i &= BS2' \cdot X2 \\ L3i &= X3 & D3i &= BS2' \cdot X3 \end{aligned}$$

단계 1: 그림 3(a)의 릴레이 회로에서 모든 입력소자(수동·접점 입력소자) 및 모든 출력(릴레이 출력, 비릴레이 출력)을 각각 박스로 표현한다.

위에서 구한 입력조건식에서 출력 동작조건과 출력 해제조건을 구하면 다음과 같다.

수동 입력소자

: BS1, BS2 -> bs1, bs2

BS1은 신호등을 동작시키기 위한 수동 입력소자이고, BS2는 시스템의 동작을 정지시키기 위한 수동 입력소자이다.

$$\begin{aligned} X1g &= BS2' \cdot BS1 + BS2' \cdot D3 \\ X1d &= BS2 + X3 \\ X2g &= BS2' \cdot D1 \cdot X3' & X2d &= BS2 + X3 \\ X3g &= BS2' \cdot D2 & X3d &= BS2 + X1 \end{aligned}$$

릴레이 출력

: X1, X2, X3, D1, D2, D3 -> x1, x2, x3, d1, d2, d3

x1, x2, x3는 일반 릴레이 역할의 릴레이 출력이다. d1, d2, d3는 타이머 릴레이이며 이들은 정리 2에 의하여 트랜지션으로 변환된다.

$$\begin{aligned} L1g &= X1 & L1d &= X1' \\ L2g &= X2 & L2d &= X2' \\ L3g &= X3 & L3d &= X3' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D1g &= BS2' \cdot X1 \cdot X2' & D1d &= BS2 + X1' + X2 \\ D2g &= BS2' \cdot X2 & D2d &= BS2 + X2' \\ D3g &= BS2' \cdot X3 & D3d &= BS2 + X3' \end{aligned}$$

비릴레이 출력

: L1, L2, L3 -> l1, l2, l3

L1은 적색, L2는 황색, L3는 청색의 표시등 역할의 비릴레이

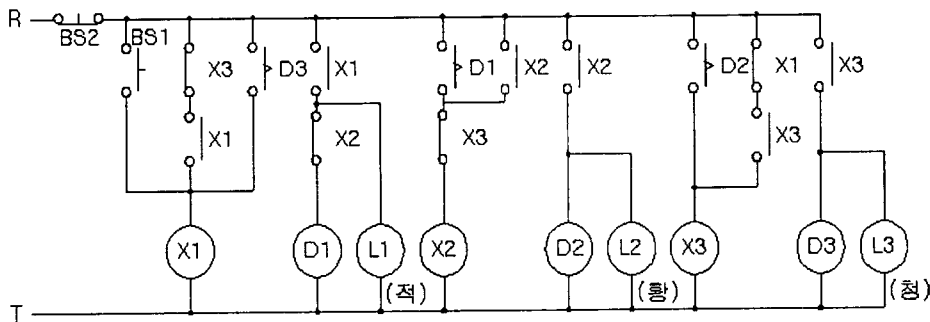


그림 3. 교통 신호등 시스템의 릴레이 회로

단계 3: 단계 2에서 구한 출력 동작조건과 출력 해제조건을 정리 1을 사용하여 각각 생성 트랜지션과 소멸 트랜지션으로 변환하여 전체적인 EMFG로 표현하면 그림 4와 같다.

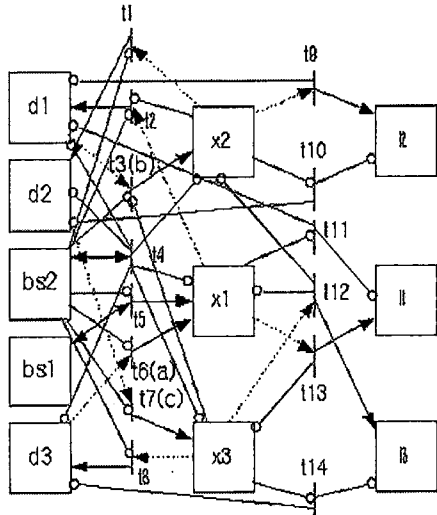


그림 4. 교통 신호등 시스템의 EMFG

(3) 변환된 EMFG의 동작 분석

그림 4의 EMFG는 초기에 어떠한 박스에도 마크가 존재하지 않는 상태에서 다음과 같이 동작된다.

① 버튼 BS1을 누르면 :

bs1 마크 생성 → t5 점화 → x1 마크 생성(x1 릴레이 동작)

→ t13 점화 → l1 마크 생성(L1 점등-적색 점등)
→ x3 마크 소멸 → t14 점화 → l3 마크 소멸(청색 소멸)

→ t2 점화 → d1 마크 생성 → b초 후 t3 점화 → x2 마크 생성(x2 릴레이 동작)

→ t9 점화 → l2 마크 생성(L2 점등-황색 점등)
→ d1 마크 소멸

→ t1 점화 → d2 마크 생성 → c초 후 t7 점화 → x3 마크 생성(x3 릴레이 동작)

→ t12 점화 → l3 마크 생성(L3 점등-청색 점등)
→ x1, x2 마크 소멸 → l1, l2 마크 소멸 (적색-황색 소등)
→ t8 점화 → d3 마크 생성 → a초 후 t7 점화 → x1 마크 생성(x1 릴레이 동작)

② 버튼 BS2를 누르면 :

bs2 마크 생성 → t4 점화 → x1, x2, x3 마크 소멸 (x1, x2, x3 릴레이 해제)

→ t10 점화 → l2 마크 소멸(황색 소등) → d2 마크 소멸
→ t11 점화 → l1 마크 소멸(적색 소등) → d1 마크 소멸
→ t14 점화 → l3 마크 소멸(적색 소등) → d3 마크 소멸

이와 같이 버튼 BS1을 한번 눌러서 적색 신호를 점등시키고 동시에 타이머 D1을 동작시킨다. 그러면 D1에 설정된 시간 b초가 지나면 황색 신호를 동작시키고, 이 때 동시에 D2 타이머를 동작시킨다. D2에 설정된 시간 c초가 지나면 청색 신호가 동작되며 동시에 적색과 황색 신호를 소등시킨다. 또 D3 타이머를 동작시키며 a초 후에 다시 처음의 순서로 넘어가서 a, b, c 시간에 따라 순차적으로 동작을 반복하며 신호를 동작시킨다.

BS2 버튼이 동작되면 모든 신호와 타이머 릴레이의 동작을 해제시켜 시스템을 종료시킨다.

이와 같이 타이머 릴레이를 포함한 릴레이 회로를 기존보다 정확하게 변환된 EMFG의 동작 해석을 통하여 릴레이 회로의 동작을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 EMFG는 동작되는 과정을 수식을 통해 해석할 수 있기 때문에 아무리 규모가 있는 릴레이 회로의 동작이라 하더라도 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 쉽게 해석하고 분석할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 시퀀스 제어의 릴레이 회로를 EMFG로 변환하는데 있어 EMFG에 조건 아크를 도입함으로써 릴레이 회로의 특성이 정확하게 반영되도록 하였으며 타이머 릴레이에 대한 EMFG 변환을 위해 시간 트랜지션을 사용하였다. 이렇게 변환된 EMFG를 통해 설계된 회로의 분석 및 해석이 용이해지고 설계오류에 대한 검증에 상당한 효과가 있다. 제안한 방법은 설계 단계에서부터 개념적 설계가 가

능하게 하고, 검증 단계에서도 대단히 정확하고 효과적인 수단을 제공한다. 이로써 릴레이 회로를 설계하는 데 있어 경험의 부족으로 인한 설계오류나 구성요소의 증가로 인한 해석상의 곤란, 시각화와 동작 분석의 어려움을 해결할 수 있다. 향후 거대하고 복잡한 시스템을 설계·구현할 때 대단히 효과적인 수단으로써 릴레이 회로의 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대 된다.

참 고 문 헌

[1] HERVE P. HILLION and JEAN-MARIE PROTH "Performance Evaluation of Job-Shop Systems Using Timed Events-Graphs", IEEE TRANS ON AUTOMATIC CONTROL, vol.34, NO. 1, JANUARY 1989

[2] Said Laftit, Jean-Marie Proth "Optimization of In variant Criteria for Event Graphs" IEEE TRANS ON AUTOMATIC CONTROL, vol.37, NO. 5, 1992, p547-555

[3] RENE DAVID and HASSANE "Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems-A Survey", Automatica vol 30, No. 2, pp. 175-202, 1994

[4] 강신한, 김광만, 이재원, "PLC 래더다이아그램 생성을 위한 지식기반시스템에 관한 연구", 공업경영학회 논문지 Vol. 17 No. 30, 1994. 5., p153-160

[5] 정석권, 양주호, "페트리네트의 계층화를 통한 시퀀스 제어계의 설계", 한국해양공학회 논문지 Vol. 13 No. 3, 1999. 8., p106-115

[6] 천성욱, 강순주, 서대화, "PLC를 적용한 실시간 시스템의 가상 프로토타이핑", 대한전자공학회 추계학술대회논문집, Vol. 21 No. 2, 1998. 11.

[7] 여정모, "마크흐름선도의 확장", 부산대학교 대학원 석사학위 논문, 1982. 2.

[8] 여정모, 황창선, "확장된 마크흐름선도와 시퀀스제어시스템에의 응용", 부산대학교 공과대학 연구보고 Vol. 25, 1983. 6, p. 209 - 219

[9] 여정모, "EMFG 회로의 간략화에 관한 연구", 부산개방대학 연구보고 Vol. 29., 1987. 12., p741 - 760

[10] 여정모, "이산 시스템의 설계와 해석을 위한 확장된 마크흐름선도의 재정의와 회로변환", 멀티미디어학회 논문지 Vol. 1. No. 2., 1998. 12., p224 - 238

[11] 여정모, 하재목, "확장된 마크흐름선도의 재구성 과 회로변환", 한국멀티미디어학회, 1998년도 춘계학술발표논문집, 1998. 6, p. 423 - 431

[12] 여정모, "이산제어시스템 설계를 위한 확장된 마크흐름선도의 동작해석", 정보처리논문지. Vol. 5. No. 7, 1998. 7., p. 1896-1907

[13] 백형구, 김희정, 여정모 "릴레이 회로의 EMFG 표현에 관한 연구", 부경대학교 논문집 2001.12.vol., No 2(겨울 예정)