

광전송용 최소대역폭 2진 선로부호 MB34d의 설계

정회원 이 동 일*, 김 대 영*

A design of the minimum bandwidth binary line code MB34d for optical transmission

Dong Il Lee*, Dae Young Kim* *Regular Members*

요 약

광전송용에 사용하기 위한 선로부호로서 최소대역폭의 성질을 만족하며, 상태독립적 복호성을 만족하며, 부호율이 0.77인 2진 선로부호 MB34d를 설계하였다. MB34d는 최소대역폭의 정리를 이용하여 상태선의 개념을 가미한 설계기법을 개발하여 설계하였으며, 전력분광 및 눈 모양 모의 시험에 의하면 대역폭이 66.6%로 감소하며, 전 주파수대에서 전력분광의 변동이 적으며, 41%의 개안을 보이는 특성을 보인다.

I. 서 론

선로부호는 망의 환경을 바꾸지 않고도 원천신호(source signal)를 적절한 값의 디지털 부호로 변환함으로써 전송선로상의 신호파형이 신호의 전달 특성에 일치되거나 선로의 제약 조건에 부합되도록 함으로써 전송 채널의 성능을 향상하는데 그 목적이 있다. 일반적으로 좋은 선로부호가 구비해야 할 조건은^[5,6] 원천신호의 입력에 대한 독립성, 앞의 상태에 의존하지 않는 상태독립적 복호성, 신호 정렬성, 적절한 타이밍 정보, 여러 검출능력, 낮은 여러 복제성, 작은 저주파 성분, 구현의 간편성, 높은 부호율, 최소대역폭 등이 있으나 이러한 모든 조건을 충족시키는 선로부호는 구현하기 어려우므로 그 적용 분야, 또는 전송선로에 따라 가장 우선적으로 만족되어야 할 조건부터 선택하여 이를 충족시키는 부호를 만들어 사용된다.

“주기 T인 신호의 전송에 있어서 이론적으로 필요한 최소대역폭은 주기의 2배 즉, 주파수 $f = 1/(2T)$ 이다.”라고 나이퀴스트(Nyquist)에 의해 입증되었다. 이때의 여파기는 이상적인 저역통과 여파기이고, sinc 펄스의 성형을 의미하고 있다. 그러나 대부분의 선로부호들은 sinc 펄스로 성형하면 전송신호의 눈(eye)이 완전히 닫히게 되므로 최소대역폭으로 동작하는 것이 불가능하다. 그러나 선로부호의 최소

대역폭 성질에 관한 정리가 발견되면서 최소대역폭 선로부호에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1, 2, 3, 7, 8, 9] 대역폭이 나이퀴스트 주파수로 제한이 되면 대역폭 이용 효율이 개선되며, 전송 시스템에서 캐리어 및 타이밍을 추출하기 위한 파일럿 신호(pilot tone)의 삽입이 용이한 장점을 가지게 된다.^[3, 7] 본 논문에서는 부호화된 신호의 무직류성을 배제하여 전력분광의 밀도 분포를 직류($f=0$ Hz)부근에 집중하도록 제한하는 (3,4) 최소대역폭 2진 선로부호를 설계하였다. 이의 성능을 평가하기 위하여 이미 알려진 전력분광 및 눈 모양 모의시험 알고리즘을 이용하기로 한다.

II. 최소대역폭 2진 선로부호에 관한 정리

최소대역폭의 정리에 의하면 선로부호가 무직류 성질을 갖도록 하기 위해서는 식(1)로 정의되는 DSV(Digital Sum Variation)를 유한하게 하면 직류($f = 0$ Hz)에서의 전력 스펙트럼은 '0'이 되어 무직류 성질을 만족하게 된다.^[1, 2]

$$DSV = \max_{I, J, (Y_n)} \left| \sum_{n=I}^J Y_n \right| \quad (1)$$

여기서 I, J는 $I < J$ 인 임의의 정수이고, Y_n 은 선로부호기의 부호화된 출력신호, 즉, 부호이다.

* 충남대학교(dykim@ccl.chungnam.ac.kr)

논문번호 : 98120-0316, 접수일자 : 1998년 3월 16일

또한 식(2)로 정의된 ASV(Alternate Sum Variation)를 유한하게 하면, 나이퀴스트 주파수($f = 1/(2T)$)에서 전력 스펙트럼이 '0'이 되어 최소대역폭의 성질을 만족하게 된다.

$$ASV = \max_{i,j,(m)} \left| \sum_{n=i}^j (-1)^n Y_n \right| \quad (2)$$

III. BUDA셀 설계 기법

최소대역폭 2진 선로부호를 설계하는 기법인 BUDA(Binary Unit DSV and ASV)은 편의상 논리적 부호집합 {0,1}을 물리적 부호집합 {-1/2,1/2}로 치환하여, RDS(Running Digital Sum) 및 RAS(Running Alternate Sum)를 2축으로하는 평면에서 부호의 궤적을 그림으로써 ASV와 DSV의 유한함을 확인 할 수 있도록 한다. [9] 임의의 부호 '1100'는 RDS는 0 → 1/2 → 1 → 1/2 → 0, RAS는 0 → -1/2 → 0 → 1/2 → 0의 궤적을 따라 움직이므로 (Fig. 1)과 같이 ASV와 DSV를 동시에 유한한 값 '1'로 제한하는 단위 셀이 된다. 선로부호 궤적의 시점과 종점이 같지 않은 것은 상태의 천이를 의미하며, 최소대역폭의 성질을 만족시키기 위해서 선로부호는 이전 상태로의 복귀가 보장되어야 한다.

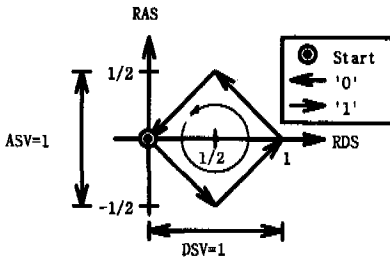


Fig. 1 Trajectory of symbol sequence '1100' = BUDA cell

무직류 성분 및 최소대역폭 성질을 만족하는 선로부호를 설계하기 위하여 BUDA 셀이 연속적으로 사용될 경우에 연속되는 BUDA셀 집합들의 교차점은 하나의 독립적인 상태가 될 수 있다. (Fig. 2)는 4개의 BUDA셀을 조합하여 9개의 상태점, 즉 S1을 시점으로 하는 부호를 고려하면 S1, S2(1110), S3(1111), S4(1101), S5(11100), S6(111), S7(11110), S8(111), S9(11)이 만들어질 수 있음을 보여주고 있다. 하지만 본 연구에서 추구하는 선로

부호는 무직류 성질을 만족하지 않는 최소대역폭 2진 선로부호의 설계이므로 ASV만 유한한 값을 가지면 된다. 따라서 설계된 최소대역폭 2진 선로부호는 경우에 따라 선로부호에 함유된 직류 성분에 의해 DSV가 RDS축을 따라 무한대로 발산하게 되므로, 이를 RDS, RAS 평면에 도시하면 무한 개의 상태가 존재하게 되고, 결국 BUDA셀을 이용한 코드의 설계를 불가능하게 한다.

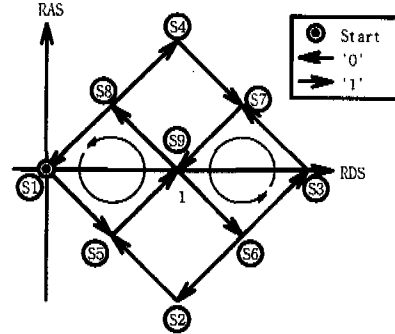


Fig. 2 BUDA cell connection with possible state_point

선로부호가 직류성분을 제한하지 않는 경우에는 식 (1)의 정의에 의하여 DSV가 무한하게 확장될 수 있으므로, 이러한 개념을 RDS축을 따라 무한하게 확장하여 보면 DSV의 제한을 없앤, 즉 직류성분을 제한하지 않는 부호의 설계에 응용할 수 있는, BUDA셀의 교차점이 상태가 되는 상태점이 아니라, 상태선의 개념을 BUDA셀 설계 기법에 응용할 수 있다. 따라서 RAS축에서 동일한 절편을 가지는 모든 BUDA셀의 교차점은 하나의 상태로 간주할 수 있게 되어 상태의 과잉에 의한 설계의 어려움을 극복할 수 있도록 해준다. 이를 (Fig. 3)에 도시하였다

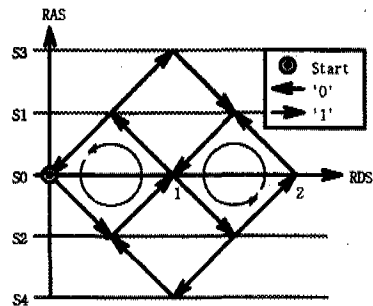


Fig. 3 BUDA cell connection with possible state_line

(Fig. 2)에서 S1을 시작점으로 하는 4비트 부호

'1100'과 S3에서 시작하는 4비트 부호 '0011'의 제적은 그 종점이 달라서 BUDA기법에 의하면 서로 다른 상태(S1, S3)를 가지게 되나, 상태선의 개념을 도입하면 (Fig. 3)과 같이 시작하는 상태선(S0)과 끝나는 상태선(S0)이 동일하므로 결국은 하나의 상태임을 알 수 있다.

IV. 부호화 규칙

앞에서 전개된 상태선의 개념을 이용하여 2진 선로부호를 설계한다. 설계하고자 하는 선로부호는 최소대역폭의 성질을 충실히 만족하는 것을 목표로 하며, 특히 나이퀴스트 주파수에서의 전력밀도를 최소화하고, 직류 부근에 전력 밀도가 집중화하도록 하며, 상태독립적 복호가 가능해야 한다. 이러한 조건을 충족시키는 최소대역폭 2진 선로부호를 설계하기 위하여 부호화 규칙을 정한다.

- 1) 목표 부호의 길이를 정한다. (원천신호 길이:m, 부호 길이 : n)
- 2) RDS와 RAS 측에 BUDA 셀을 생성하고, 시작점을 하나 정한다.
- 3) 시작점을 포함하며 RDS측에 평행한 선을 상태 0(S0)으로 정한다.
- 4) S0을 기준으로 하여 RAS 절편이 정수 값이 되도록 아래, 위로 교대로 상태를 S1, S2, S3, S4,와 같이 정한다.
- 5) 모든 가능한 부호 조합 (= 2^n 개)에 대하여 항상 동일한 시작점으로부터 시작하여 각각의 부호에 대하여 RDS, RAS평면에서 궤적을 그린다.
- 6) 그려진 궤적으로 부터 모든 부호에 대하여 부호별로 ASV, DSV 및 최종 상태를 구한다.
- 7) 시작한 상태(S0)로 돌아오는 부호, 즉 시점과 종점이 일치하는 부호중에서 ASV가 작은 부호를 먼저 선택하고, 만일 ASV의 값이 같은 부호가 2개 이상 존재하면, 이중 DSV 값이 큰 부호, 즉 평균 직류성분이 큰 것의 순으로 선택하여 사용한다.
- 8) 만일 선택된 부호의 갯수가 원하는 수 만큼 되지 않을 때는 현재의 상태에서 가장 인접한 상태가 종점이 되는 부호들 중에서 7)의 규칙에 의거 부호를선택한다. 단, 시작상태를 제외한 홀수상태와 짝수상태로 귀결하는 부호는 서로 보수의 관계를 갖는다. 상태독립적 복호 성질을 만족시키기 위하여 짝수상태와 홀수상

태 중 하나의 상태로 끝나는 부호만 선택한다.
9) 원하는 부호수를 만족할 때 까지 8)을 과정을 반복한다.

10) 생성된 부호에 대하여 상태 천이도를 그린다. 상태독립적 복호성이 보장되는지를 점검하고, 복호성이 보장되지 않으면 상태 수를 하나씩 증가 시키면서 다시 점검하고, 이상이 없으면 부호 및 복호관계 대치표를 작성한다.

11) 상태천이가 발생한 부호는 보수의 관계에 있는 부호를 사용하도록 하여 원 상태로의 복귀성을 부여하도록 한다.

12) 선정된 부호들에 대하여 전력분포 모의시험을 하여 원하는 전력분포가 나오면 부호의 설계는 완료되고, 전력분포가 만족스럽지 못하면 8) 12)의 과정을 반복한다.

설계된 최소대역폭 2진 선로부호를 명명하는데, 위의 규칙에 의해 생성된 부호군은 직류성분을 포함하는 최소대역폭 2진 선로부호이므로 MBmnd (Minimum bandwidth Binary line code mn with 직류 components)라 한다.. 즉, 원천신호의 블럭길이가 3비트(m=3)이고, 생성된 부호의 길이가 4비트 (n=4)인 경우 MB34d가 된다.

V. 부호화 및 복호화

4비트의 부호에 대하여 생성 가능한 부호의 수는 $2^4 = 16$ 개가 존재한다.

Table 1. ASV and DSV of the 4 bit symbols

부 호	DSV	ASV	종점상태
0000	2	0.5	S0
0001	1.5	1	S4
0010	1	1.5	S3
0011	1	1	S0
0100	1	1.5	S4
0101	0.5	2	S8
0110	1	1	S0
0111	1.5	1	S4
1000	1.5	1	S3
1001	1	1	S0
1010	0.5	2	S7
1011	1	1.5	S3
1100	1	1	S0
1101	1	1.5	S4
1110	1.5	1	S3
1111	2	0.5	S0

부호화 규칙에 따라 BUDA 셀을 이용하여 RDS 및 RAS 평면에서 4비트의 길이를 가지는 부호의

모든 경우 수에 대한 ASV, DSV 및 최종 상태를 찾아서 (표 1)에 정리하였으며, 각각의 상태 선에 수렴하는 부호의 수를 (표 2)에 정리하였다.

Table 2. Number of symbols ending at each state line

구 분	종점 상태									
	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
No.	6	0	0	4	4	0	0	1	1	

3비트의 원천신호를 부호화하기 위해 필요한 부호수는 $2^3 = 8$ 개이고, S0에 수렴하는 부호의 수가 6이고, S3에 수렴하는 부호의 수가 4개로 $6 + 4 = 10 > 2^3 = 8$ 이므로 2개의 상태를 가지는 부호화가 가능하다. 상태 S0에 수렴하는 6개의 부호를 원천신호의 양쪽 끝에서 부터 1 대 1로 대응시키고, 상태S3에 수렴하는 4개의 부호 중에서 부호화 규칙에 의거하여 나머지 2개의 원천신호에 1대 1로 대응시킨다. 이와 같은 과정에 의해 설계된 최소대역폭 2진 선로부호를 (표 3)과 같이 부호화 표로 작성하였다.

Table 3. Code mapping of the MB34d

입 력	부호화		복호화	
	부호출력		부호입력	출 력
	S1 / stste tr.	S2 / stste tr.		
000	0000 / S1	0000 / S2	0000	000
001	0011 / S1	0011 / S2	0011	001
010	0111 / S2	1000 / S1	0111, 1000	010
011	0110 / S1	0110 / S2	0110	011
100	1001 / S1	1001 / S2	1001	100
101	1101 / S2	0010 / S1	1101, 0010	101
110	1100 / S1	1100 / S2	1100	110
111	1111 / S1	1111 / S2	1111	111

원천신호가 초기 상태 S1에서 '000'이면 '0000', '001'이면 '0011', '011'이면 '0110', '100'이면 '1001', '110'이면 '1100', '111'이면 '1111'로 부호를 생성하고, 다음 상태는 S1로 유지된다. 원천신호가 초기 상태 S1에서 '010'이면 '0111', '101'이면 '1101'로 부호를 생성하고, 다음 상태는 S2로 천이 된다.

원천신호가 상태 S2에서 '000'이면 '0000', '001'이면 '0011', '011'이면 '0110', '100'이면 '1001', '110'이면 '1100', '111'이면 '1111'로 부호를 생성하고, 다음 상태는 S2로 유지된다. 원천신호가 상태 S2에서 '010'이면 '1000', '101'이면 '0010'으로 부호를 생성하고, 다음 상태는 S1로 천이 된다.

복호화는 부호화의 역의 과정이므로 입력되는 4비

트의 부호에 대응하는 3비트의 원천신호로 재생하여주면 된다. 입력 부호가 '0000'이면 '000', '0011'이면 '001', '0111 또는 1000'이면 '010', '0110'이면 '011', '1001'이면 '100', '1101 또는 0010'이면 '101', '1100'이면 '110' 및 '1111'이면 '111'로 복호화 된다. (표3)에 의하면 동일한 입력 부호가 다른 두 개 이상의 원천신호로 대치되는 경우가 없으므로 상태독립적 복호화가 가능함을 알 수 있다.

설계된 선로부호는 원천신호가 계속 '0' 또는 '1' 이 입력될 때에는 유한연속장(run-length limit)성질을 보장하지않으므로 입력신호의 유한연속장의 성질이 보장이 될 경우에만 출력되는 선로부호의 유한연속장 성질도 보장이 된다. SDH(Synchronous Digital Hierachy) 광전송시스템에서는 논리적으로 유한연속장의 성질을 보장하지않는 혼화기(scrambler)를 사용하여 성공적인 타이밍복구와 고신뢰성의 전송을 하고 있다. MB34d를 혼화기의 다음단에 사용한다면 부호화기로 입력되는 원천신호의 유한연속장의 성질을 논리적으로는 보장하지 못하지만 수신단에서 타이밍과 원래의 신호를 복구할 수 있는 정도로 무작위화(randomize)하므로 유한 연속장의 성질을 보장하지 않더라도 실제 상황에서 응용이 가능할 것으로 기대된다.

(표 3)을 이용하여 MB34d 최소대역폭 2진 선로 부호의 상태 천이도를 (Fig. 4)와 같이 그렸다. 초기 상태 S1에서 0(000), 1(001), 3(011), 4(100), 6(110), 7(111) 번째 원천신호가 입력되면 상태를 S1을 유지하면서 0000, 0011, 0110, 1001, 1100, 1111을 부호로 출력하고, 원천신호가 2(010), 5(101)이 입력되면 상태를 S2로 바꾸면서 0111, 1101을 부호로서 출력한다. S2에서 0(000), 1(001), 3(011), 4(100), 6(110), 7(111) 번째 원천신호가 입력되면 상태를 S2를 유지하면서 0000, 0011, 0110, 1001, 1100, 1111을 부호로 출력하고, 원천신호가 2(010), 5(101)이 입력되면 상태를 S1로 바꾸면서 1000, 0010을 부호로서 출력한다.

RDS와 RAS 평면에서 설계된 MB34d의 궤적을 (Fig. 5)와 같이 그렸다. 모든 부호의 궤적이 ASV가 3이내로 제한되고 있음을 보여주고 있다. 단, DSV의 궤적은 모든 부호에 대하여 동일한 S0선상의 한 점에서 시작한 중첩된 궤적을 그렸다. 이상으로 3비트 블럭화한 원천신호를 최소대역폭 성질을 만족하면서 직류 성분을 포함하고, 동시에 상태독립적 복호성을 보장하는 4비트 부호인 MB34d 부호를 생성하였다.

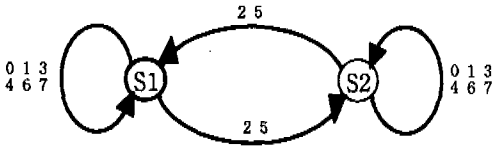


Fig. 4 State transition diagram of the MB34d

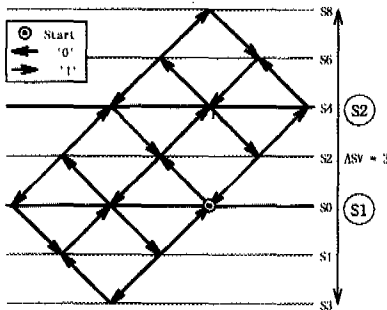


Fig. 5 Trace of the MB34d

VI. 부호 성능의 평가

선로부호의 전력분광은 전송선로의 주파수 응답과 직접 관련이 있기 때문에 선로부호의 성능 평가 기준으로 적용되고 있으며, 또한 수신 측에서의 표본화 시간 변화에 대한 민감도는 눈 모양의 열린 정도, 즉, 열린 눈 폭의 정도로 비교 평가할 수 있다. 본 논문에서는 설계된 부호의 성능을 평가하기 위하여 전력분광과 눈 모양의 개안 정도를 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. [5, 10]

전력분광의 시뮬레이션을 위하여 Carriolaro가 개발한 블럭부호에 대한 전력분광 알고리즘을 적용하여 현상균이 개발한 프로그램을 이용하였다. [4, 5] Carriolaro의 알고리즘은 시스템 모델을 선형 시스템으로 가정하였으며, 이 때 변조기는 선형의 PAM(Pulse Amplitude Modulation)을 가정하고 있다. 또한 신호모델은 FSSM(Finite State Sequential Machine), 즉, 입력심벌이 상호독립적이고 동등하게 분포된 것으로 가정하고 있다.

일반적으로 좋은 선로부호는 신호전력밀도가 전송대역폭내에서 고르게 분포된 것이 좋은 것으로 인식되고 있으며, 본 논문에서 연구의 대상이 된 직류 성분을 제한하지 않는 최소대역폭 2진 선로부호는 전력분광의 분포가 직류부근에 집중하도록 설계하였으며, 따라서 설계된 선로부호의 평가에 있어서 입력신호가 '1'일 확률에 따른 직류레벨의 변동 폭

도 판단의 요소가 될 수 있으며, 직류레벨의 변동 폭이 작아야 좋은 선로부호라고 할 수 있다.

선로부호의 전력분광은 부호의 대응에 따라, 그리고 입력 신호가 '1'일 확률에 따라 달라지므로 시뮬레이션에서는 모든 입력 신호를 동일한 비율로 입력시켜 전력분광을 관찰하였다. 전력분광 시뮬레이션에 사용되는 입력은 상태전이 행렬, 출력 행렬, 원천신호의 '1'의 갯수이다.

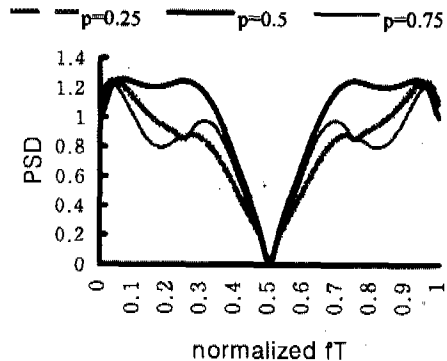


Fig. 6 Power spectrum of the MB34d

(Fig. 6)은 MB34d 부호의 전력분광의 시뮬레이션 결과를 3 가지 확률 값에 대하여 도시하고 있다. 입력 신호가 '1'일 확률이 P=0.25, P=0.5, P=0.75에 대하여 모두 $f=1/(2T)$ Hz에서 전력분광밀도(PSD)가 '0'이 되므로 최소대역폭 성질을 만족함을 알 수 있고, 전력분광의 밀도가 직류 부근에서 최대치가 나오고, 직류 값은 약 1.1이며, 직류레벨의 변동은 입력신호가 '1'일 확률에 따라 약 7.7%의 변동을 보인다. 3 가지 확률 값에 대하여 fT가 0 부터 0.3 사이의 전력밀도는 PSD가 0.8에서 1.3 사이에 존재하고, 전주파수대역에서 '1'의 확률에 따른 전력 밀도 분포의 변동은 약32%로서 평탄한 전력분광 분포를 보임을 알 수 있다. (Fig. 6)은 정규화된 주파수 fT에 대하여 나타낸 전력분광으로 실제로는 부호화 시의 잉여 비트로 인한 전송속도의 증가율로 인해 대역폭이 1.33 (=4/3)배 정도 증가되나, 대칭적으로 분포된 신호대역중 저역 또는 고역 하나만의 대역을 사용할 경우에는 대역폭은 0.665로 감소되는 효과가 있다.

최소대역폭이 실용화되기 위해서는 수신기에서의 샘플링 지터(jitter)에 어느 정도는 견딜 수 있어야 하는데, 이것은 곧 눈 모양(eye pattern)의 눈이 열려 있어야 한다는 것을 뜻한다 ASV의 유한성이 눈 모양의 개안성을 보장하는 정리가 발표되었으므로

ASV가 유한하게 설계된 MB34d부호의 개안성을 시물레이션을 통해서 시각적으로 확인하고자 한다. [2, 10] 임펄스 응답함수가 올림 여현 펄스 (raised cosine pulse)인 시스템에서 설계된 선로부호에 대한 눈(eye) 모양을 상대초과 대역폭 (relative excessive bandwidth)의 지수 값에 따라 나타내었다. 최소대역폭 선로부호의 눈 모양에 대한 연구 논문에서 제시하는 표에 의하면 ASV가 3 일 때 눈의 열림은 최악의 조건인 $\alpha=0.0$ 에서 약41.8 %로 예측하고 있다. [2]

(Fig. 7)은 설계된 부호에 대해 $\alpha=0.0$ 인 경우의 대한 눈 모양의 시물레이션 결과이다. 이 눈 모양은 1200회의 반복적인 신호입력에 의해 중첩되어 그려진 것이다. 비록 $\alpha=0.0$ 인 최악의 경우에도 눈이 약 41% 정도가 열려 있어서, 예측치에 근접함을 알 수 있으며, 이의 효과로 수신단의 샘플링 지터가 어느 정도 존재하더라도 오류 없는 신호의 복구가 가능하다.

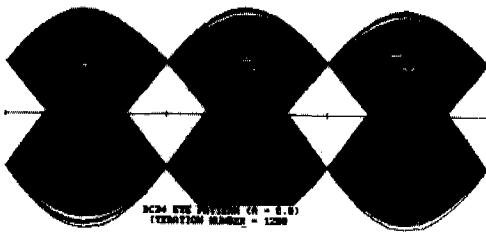


Fig. 7 Eye pattern of the MB34d code ($\alpha = 0.0$)

Ⅶ. 결 론

최소대역폭의 성질을 만족하며, 상태독립적 복호가 보장되며, 직류를 제한하지 않으며, 상태수는 2개, 부호화율은 77%인 2진 선로부호, MB34d를 설계하였다. 선로부호를 설계하기 위하여 BUDA 셀 설계 개념에 상태선의 개념을 부가하였고, 이의 유효함을 전력분광 시물레이션 결과를 이용하여 증명하였다. 전력분광분포가 cosine 함수의 제곱에 접근하며, 주파수에 따른 전력분광의 분포가 평탄한 좋은 특성을 가지며, 부호간의 간섭이 최악의 조건인 상대 초과 대역폭 지수가 '0'인 경우에도 눈이 41% 이상 열림을 확인하였다.

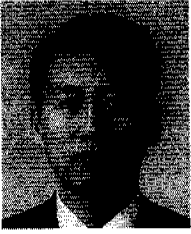
MB34d는 dc-커플링을 사용하거나 입력신호의 유한연속장을 어느 정도 보장해주는 혼화기를 사용하는 광전송로에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. Y. Kim and J.-K. Kim, "A condition for stable minimum bandwidth line codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, pp. 152-157, Feb. 1985.
- [2] D. Y. Kim and J.-K. Kim, "Lower bounds to the eye width of minimum-bandwidth systems," *Proc. IEEE GLOBECOM*, Atlanta, Ga., U.S.A., pp. 12.6.1 - 12.6.4, Nov.27-29,1984.
- [3] Patrick S. K. Leung and Kamilo Feher, "Block-Inversion-Coded QAM System," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, no. 7, pp. 797-805, July 1988.
- [4] Gianfranco L. Cariolaro, Gianfranco L. Pierobon, and Giuseppe P. Tronca, "Analysis of Codes and Spectral Calculations," *Int. T. Electronics*, vol. 55, No.1, pp. 33-79, 1983.
- [5] 김재균, 현상균, 한형근, "광 통신용 선로부호의 성능비교 연구," 한국과학기술원 최종 연구보고서, Dec. 1988.
- [6] Arnold M. Michelson and Allen H. Levesque, "Error-control Techniques for Digital Communication," John Willey & Son.
- [7] Dae Young Kim and Kamilo Feher, "Power Suppression at the Nyquist Frequency for Pilot-Aided PAM and QAM Systems," *IEEE Transactions on Communications* vol.37, No.9., pp. 984-986., 1989.9.
- [8] 정 창기, 주 언경, "조건표를 이용한 무지류 및 최소대역폭 이진선로부호의 설계," 한국통신학회 논문지 vol. 21, no. 10, pp. 2653-2659, 1996.10.
- [9] 김정환, 김대영, "Memoryless 최소대역폭 2진 선로부호 MB58의 설계 및 분석," 한국통신학회 논문지 vol. 17, no. 9, pp. 1074-1080, 1992.10.
- [10] 백제인, "최소대역폭전송에서의 개안조건," 전자공학회 논문지 제27권 제9호, pp.1321-1326, Sept. 1990.

이 동 일(II Dong Lee)

정회원



1953년 9월 20일생
1977년 3월 : 육군사관학교 전자
공학과 졸업(공학사)
1988년 4월 : 미국해군대학원 전
자공학과 졸업
(공학석사)

현재 충남대학교 대학원 전자공
학과 재학중(박사과정)

1990년 7월~현재 : 육군본부 정보체계부 통신체계
개발담당

<주관심 분야> 전술통신망 체계설계, 무선/이동통신,
비화/정보이론

김 대 영(Dae Young Kim)

정회원



1952년 5월 28일생
1975년 2월 : 서울대학교 전자공
학과 졸업(공학사)
1977년 2월 : KAIST 전자공학과
통신공학 졸업(공학석사)
1983년 2월 : KAIST 전자공학과
통신공학 졸업(공학박사)

1983년 5월~현재 : 충남대학교 정보통신컴퓨터공학
부 교수

현재 한국통신학회 대전 충남지부 지부장

<주관심 분야> 멀티미디어 그룹통신, 차세대 인터넷
기술