

최소대역폭 시스템을 위한 4승법 동기복구

正會員 朴 文 泰* 正會員 金 大 榮** 正會員 姜 昌 求***

Fourth-Power-Law Timing Recovery for Minimum-Bandwidth Systems

Moon Tae PARK*, Dae Young KIM**, Chang Goo KANG*** *Regular Members*

要 約 동기복구에 대한 대부분의 기존 방법들은 비선형 최소대역폭 시스템에 대하여 적용할 수 없다. 그래서 최근에는 비선형 최소대역폭 시스템에서의 동기복구 방법에 대한 관심이 높아지고있다.

본 논문에서는 비선형 최소대역폭 시스템에 대한 동기복구 방법으로 4승법을 제안하였으며 제안된 방법이 최소대역폭 시스템에 대하여 실현 가능함을 엄밀한 분석을 통하여 보여 주었다. 더구나 4승법 비선형처리에 관련된 주변 여파기에 대한 최적 구성전략을 설정하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 일반적으로는 중간 대역여파기가 필요 없으며 전력분광 밀도가 대칭성을 가진 시스템에 대해서는 앞단의 대칭성형여파기 조차도 필요없음을 발견하였다.

ABSTRACT Timing recovery for recently proposed nonlinear minimum-bandwidth systems is of concern since most conventional methods fail for these systems. As a method to surmount this retiming difficulty, this paper proposes the fourth-power-law method. The feasibility of the proposed method for minimum-bandwidth systems is shown through a rigorous analysis. Furthermore, extensive computer simulations are used to determine the best configurational strategy for various filters around the fourth-power nonlinear process. It is found that no intermediate filtering is necessary in general and even the pre-filtering can be omitted for systems having symmetric power spectral densities.

I. 서 론

디지털 데이터 전송에 있어서 중요한 기술적 관심사의 하나는 제한된 대역폭의 선로를 통해서 어떻게 하면 시간당 보다 많은 양의 데이터를

보낼 수 있겠는가 하는 것이다. 이러한 의문에 대하여 Nyquist⁽¹⁾는 일찌기 다음과 같은 정리를 증명한 바 있다.

[정리] 초당 $1/T$ 심벌의 속도로 심벌간 무간섭 동기전송을 하기 위한 최소한의 대역폭은 $1/2T$ Hz이다.

그러나 정작 Nyquist가 제시한 이 최소대역폭 (MB : Minimum Bandwidth)으로 동작하는 시스

*대전기계창 4 연구개발본부 1부 4실
4-1-4, ADD

**忠南大學校 電子工學科
Dept. of Elec. Eng., Choongnam National Univ.

***韓國電子通信研究所 부호 2실
Coding Section 2, ETRI
論文番號 : 90-50 (接受 1990. 4. 6)

템은 1960년대 초반에 출현한 Duobinary 시스템이 최초였다.⁽²⁾ 그후 이 착상은 그 개념이 일반화되어 70년대 중반에 Partial-Response(PR) 시스템으로 정립되었다.⁽³⁾⁽⁴⁾

최근 수년간 PR 시스템이 선형 최소대역폭 시스템인 것에 주목하여 비선형 최소대역폭 시스템을 포함하는 보다 일반화된 최소대역폭 시스템의 발견에 주력하여 연구해오던중, 최소대역폭 특성을 갖기 위한 조건을 발견하여 정리로 정립하는 한편 일련의 비선형 최소대역폭 선로부호들을 설계하여 발표하기에 이르렀다.⁽⁵⁾⁻⁽⁹⁾ 이 새로운 최소대역폭 선로부호들은 여러가지 우수한 특성을 갖고 있어 미래의 유력한 선로부호로 기대되나 이 부호들이 실용화되기 위해서는 선결되어야 할 한가지 중요한 과제가 있는 바 바로 비선형 최소대역폭 시스템에 알맞는 동기복구(timing recovery) 방법을 정립시키는 일이다.

동기복구 방법은 오랫동안 데이터전송 분야의 중요한 연구과제로서 많은 연구가 있어 왔지만 그 대부분, 특히 가장 교과서적인 방법으로 받아들여지고 있는 자승법은 비최소대역폭시스템을 위한 것으로서 최소대역폭 시스템에는 적용 효과가 없다.⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ PR 시스템의 출현 이후로 최소대역폭 시스템을 위한 동기복구 방법에 대한 연구가 주목을 받고 몇몇 중요한 연구결과가 있으나 이들은 모두 PR 시스템과 같은 선형 최소대역폭 시스템에만 적용이 가능한 방법들로서 비선형 최소대역폭 시스템에는 직접적인 응용이 불가능

하다.⁽¹²⁾⁻⁽¹⁴⁾

본 논문에서는 선형뿐만 아니라 비선형 최소대역폭 시스템에도 적용가능한 동기복구 방법으로 4승법을 제안하고 그 타당성을 수학적 해석과 시뮬레이션을 통하여 입증하였다. 또한 그 적용예로서 최근 설계된 비선형 최소대역폭 선로부호인 VMDB 및 VDB⁽⁶⁾에 대해 4승법에 근거한 최적여파기 구성전략을 시뮬레이션을 통하여 도출 제시하였다.

II. 4승기의 해석

본 장에서는 최소대역폭 시스템에 4승법을 적용하였을 경우 유효한 동기 정현파를 얻어낼 수 있음을 해석적으로 보이고자 한다. 자승법에 대해서는 Franks⁽¹⁰⁾에 의해 잘 정리되어 있으나 4승법에 대한 해석은 본 연구의 것이 처음이다.

본 연구에서 고려한 4승법 동기복구 회로의 기본 구성도는 그림 1과 같다.

그림에서 4승기를 두개의 직렬 2승기로 가른 것은 회로 제작의 실제에 맞추기 위한 한편 중간의 $H_1(f)$ 여파기의 필요성 여부를 확인하기 위한 때문이다.

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k g_i(t - kT) \quad (1)$$

라 표현하기로 한다. $\{a_k\}$ 는 평균이 0이고 상호

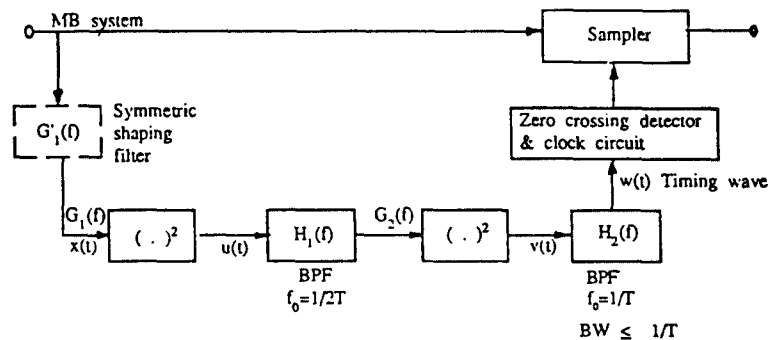


그림 1. 4승법 동기 복구기의 기본 구성도.

Fig. 1 Block diagram of 4th power timing recovery system

독립적 stationary sequence로 가정한다. $g_i(t)$ 는 송신여파기, $G_1(f)$ 채널등을 모두 포함하는 통합전송 시간응답함수이다. 또한 표현의 간편화를 위하여 다음 두 함수를 정의한다.

$$p_m(t) = g_i(t)g_i(t-mT) \quad (2)$$

$$q_m(t) = [h_1 \otimes p_m](t) \quad (3)$$

그러면 그림에서

$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_m \sum_k a_k a_{k+m} g_i(t-kT)g_i(t-kT-mT) \\ &= \sum_m \sum_k a_k a_{k+m} p_m(t-kT) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} v(t) &= [h_1 \otimes u]^2(t) \\ &= \sum_k \sum_m \sum_j \sum_l a_k a_{k+m} a_{k+j} a_{k+j+l} q_m(t-kT) \end{aligned}$$

$$q_l(t-kT-jT) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} w(t) &= [h_2 \otimes v](t) \\ &= \sum_k \sum_m \sum_j \sum_l a_k a_{k+m} a_{k+j} a_{k+j+l} h_2(t) \otimes [q_m(t-kT)q_l(t-kT-jT)] \end{aligned} \quad (6)$$

가 된다. 따라서 동기신호 $w(t)$ 의 기대치 $E[w(t)]$ 는

$$\begin{aligned} E[w(t)] &= \sum_k \sum_m \sum_j \sum_l E [a_k a_{k+m} a_{k+j} a_{k+j+l}] \\ & [h_2(t) \otimes \{q_m(t-kT)q_l(t-kT-jT)\}] \end{aligned} \quad (7)$$

가 된다. (7)식에서 $m=i=j=0$ 인 경우 $E[a_k^4] = \bar{a}^4$ 이므로

$$E[w(t)] = \bar{a}^4 \sum_k h_2(t) \otimes q_0^2(t-kT) \quad (8)$$

$m=i=0, j \neq 0$ 인 경우 $E[a_k^2 \cdot a_{k+j}^2] = \bar{a}^2 \cdot \bar{a}^2 = \bar{a}^4 \triangleq \alpha_0^2$ 이므로

$$\alpha_0^2 \sum_k \sum_{j \neq 0} h_2(t) \otimes [q_0(t-kT)q_0(t-kT-jT)]$$

$$\begin{aligned} &= \alpha_0^2 \sum_k \sum_j h_2(t) \otimes [q_0(t-kT)q_0(t-kT-jT)] \\ &- \alpha_0^2 \sum_k h_2(t) \otimes q_0^2(t-kT) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} m=j \neq 0, i=0 \text{인 경우 } E[a_k^2 a_{k+m}^2] &= \alpha_0^2 \text{이므로} \\ \alpha_0^2 \sum_k \sum_{m \neq 0} h_2(t) \otimes [q_m(t-kT)q_{-m}(t-kT-jT)] \\ &= \alpha_0^2 \sum_k \sum_m h_2(t) \otimes [q_m(t-kT)q_{-m}(t-kT-mT)] \\ &- \alpha_0^2 \sum_k h_2(t) \otimes q_0^2(t-kT) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} m=i \neq 0, j=0 \text{인 경우 } E[a_k^2 a_{k+m}^2] &= \alpha_0^2 \text{이므로} \\ \alpha_0^2 \sum_k \sum_{m \neq 0} h_2(t) \otimes q_m^2(t-kT) \\ &= \alpha_0^2 \sum_k \sum_m h_2(t) \otimes q_m^2(t-kT) - \alpha_0^2 \sum_k h_2(t) \otimes q_0^2(t-kT) \end{aligned} \quad (11)$$

위 네가지 경우를 제외하고는 $E[a_k a_{k+m} a_{k+j} a_{k+j+l}] = 0$ 이 된다. 그리고 (1)-(3)의 정의에 의하면

$$\begin{aligned} \alpha_0^2 \sum_k \sum_j h_2(t) \otimes [q_0(t-kT)q_0(t-kT-jT)] \\ = \alpha_0^2 \sum_k \sum_m h_2(t) \otimes [q_m^2(t-kT)] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \alpha_0^2 \sum_k \sum_m h_2(t) \otimes [q_m(t-kT)q_{-m}(t-kT-mT)] \\ = \alpha_0^2 \sum_k \sum_m h_2(t) \otimes [q_m^2(t-kT)] \end{aligned} \quad (13)$$

이 되므로 $E[w(t)]$ 를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[w(t)] &= (\bar{a}^4 - 3\alpha_0^2) \sum_k h_2(t) \otimes q_0^2(t-kT) + 3 \\ &\alpha_0^2 \sum_k \sum_m h_2(t) \otimes q_m^2(t-kT) \end{aligned} \quad (14)$$

위의 첫번째항에 Poisson의 sum 공식을 적용하면

$$\begin{aligned} \sum_k h_2(t) \otimes q_0^2(t-kT) &= \frac{1}{T} \sum_r M\left(\frac{r}{T}\right) \exp(j \\ &\frac{2\pi r t}{T}) \end{aligned} \quad (15)$$

단 여기에서

$$m(t) = h_2(t) \otimes q_0^2(t) \quad (16)$$

라 할때 M(f)는 m(t)의 Fourier 변환이며

$$M(f) = H_2(f) [Q_0(f) \otimes Q_0(f)] \\ = H_2(f) \int_{-\infty}^{\infty} Q_0(f-\nu) Q_0(\nu) d\nu \quad (17)$$

$$Q_0(\nu) = H_1(\nu) [G_1(\nu) \otimes G_1(\nu)] \\ = H_1(\nu) \int_{-\infty}^{\infty} G_1(\nu-\eta) G_1(\eta) d\eta \quad (18)$$

$$Q_0(f-\nu) = H_1(f-\nu) \int_{-\infty}^{\infty} G_1(f-\nu-\tau) G_1(\tau) d\tau \quad (19)$$

이다. 따라서

$$M(f) = H_2(f) \int_{-\infty}^{\infty} [H_1(f-\nu) \int_{-\infty}^{\infty} G_1(f-\nu-\tau) G_1(\tau) d\tau] [H_1(\nu) \int_{-\infty}^{\infty} G_1(\nu-\eta) G_1(\eta) d\eta] d\nu \\ = H_2(f) \int \int \int H_1(f-\nu) G_1(f-\nu-\tau) G_1(\tau) H_1(\nu) G_1(\nu-\eta) G_1(\eta) d\eta d\tau d\nu \quad (20)$$

(14)식의 두번째 항에도 Poisson의 sum 공식을 적용하면

$$\sum_k \sum_m h_2(t) \otimes q_m^2(t-kT) = \frac{1}{T} \sum_r N\left(\frac{r}{T}\right) \exp(j \frac{2\pi r t}{T}) \quad (21)$$

단 여기에서도

$$n(t) = \sum_m h_2(t) \otimes q_m^2(t) \quad (22)$$

라 하면 N(f)는 그 Fourier 변환이며

$$N(f) = \sum_m H_2(f) [Q_m(f) \otimes Q_m(f)] \\ = \sum_m H_2(f) \int_{-\infty}^{\infty} Q_m(f-\nu) Q_m(\nu) d\nu \quad (23)$$

$$Q_m(f) = H_1(f) \int_{-\infty}^{\infty} G_1(f-\nu) G_1(\nu) \exp(-j2\pi m T \nu) d\nu \quad (24)$$

$$\sum_m \exp(-j2\pi m T f) = \frac{1}{T} \sum_r \delta(f - \frac{r}{T}) \quad (25)$$

따라서

$$N(f) = \sum_m H_2(f) \int \int [G_1(f-\nu-\tau) G_1(\tau) \exp(-j2\pi m T \tau)] [H_1(\nu) \int G_1(\nu-\eta) G_1(\eta) \exp(-j2\pi m T \eta) d\eta] d\nu \\ = \frac{1}{T} \sum_r H_2\left(\frac{r}{T}\right) \int \int H_1\left(\frac{r}{T} - \nu\right) G_1\left(\frac{r}{T} - \nu - \tau\right) G_1(\tau) H_1(\nu) G_1\left(\nu + \tau - \frac{j}{T}\right) G_1\left(\frac{j}{T} - \tau\right) d\tau d\nu \quad (26)$$

결국

$$V_r = \frac{\bar{a}^4 - 3\alpha_0^2}{T} M\left(\frac{r}{T}\right) + \frac{3\alpha_0^2}{T} N\left(\frac{r}{T}\right) \quad (27)$$

라 놓으면

$$E[w(t)] = \sum_r V_r \exp(j \frac{2\pi r t}{T}) \quad (28)$$

(28)의 합산에서는 $|f| = 1/T > 1/2T$ 일때 $H_2(f) = 0$ 이라는 조건으로부터 $r = \pm 1$ 값만 유효하다. 그리고 최소대역폭 시스템이므로 $|f| > 1/2T$ 인 경우 $G_1(f) = 0$ 이 된다.

우선 $r = +1$ 인 경우

$$M\left(\frac{1}{T}\right) = H_2\left(\frac{1}{T}\right) \int \int \int H_1\left(\frac{1}{T} - \nu\right) G_1\left(\frac{1}{T} - \nu - \tau\right) G_1(\tau) H_1(\nu) G_1(\nu - \eta) G_1(\eta) d\eta d\tau d\nu \\ = H_2\left(\frac{1}{T}\right) \int Q_0\left(\frac{1}{T} - \nu\right) Q_0(\nu) d\nu \quad (29)$$

$$N\left(\frac{1}{T}\right) = \frac{1}{T} \sum_r H_2\left(\frac{1}{T}\right) \int \int H_1\left(\frac{1}{T} - \nu\right) G_1\left(\frac{1}{T} - \nu - \tau\right) G_1(\tau) H_1(\nu) G_1\left(\nu + \tau - \frac{j}{T}\right) G_1\left(\frac{j}{T} - \tau\right) d\tau d\nu = 0 \quad (30)$$

마찬가지로 $r = -1$ 인 경우

$$M\left(-\frac{1}{T}\right) = H_2\left(-\frac{1}{T}\right) \int \int \int H_1\left(-\frac{1}{T} - \nu\right) G_1\left(-\frac{1}{T} - \nu - \tau\right) G_1(\tau) H_1(\nu) G_1(\nu - \eta) G_1(\eta) d\eta d\tau d\nu$$

$$= H_2\left(-\frac{1}{T}\right) \int Q_0\left(-\frac{1}{T} - \nu\right) Q_0(\nu) d\nu \quad (31)$$

$$N\left(-\frac{1}{T}\right) = \frac{1}{T} \sum H_2\left(-\frac{1}{T}\right) \int \int H_1\left(-\frac{1}{T} - \nu\right) G_1\left(-\frac{1}{T} - \nu - \tau\right) G_1(\tau) H_1(\nu) G_1(\nu + \tau - \frac{1}{T}\right) G_1\left(\frac{1}{T} - \tau\right) d\tau d\nu = 0 \quad (32)$$

따라서

$$E[w(t)] = \sum V_r \exp\left(j \frac{2\pi r t}{T}\right) = \frac{\bar{a}^4 - 3\alpha_0^2}{T} \left\{ H_2\left(\frac{1}{T}\right) \int Q_0\left(\frac{1}{T} - \nu\right) Q_0(\nu) d\nu \exp\left(j \frac{2\pi t}{T}\right) + H_2\left(-\frac{1}{T}\right) \int Q_0\left(-\frac{1}{T} - \nu\right) Q_0(\nu) d\nu \exp\left(-j \frac{2\pi t}{T}\right) \right\}$$

$$= 2(\bar{a}^4 - 3\alpha_0^2) |u_2| \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \Phi_2\right) \quad (33)$$

단 위에서 Φ_2 는 u_2 의 위상이고

$$u_2 = \frac{1}{T} H_2\left(\frac{1}{T}\right) \int Q_0\left(\frac{1}{T} - \nu\right) Q_0(\nu) d\nu \quad (34)$$

(33)에서 보듯이 timing wave에 동기복구에 필요한 정현파 $\cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \Phi_2\right)$ 성분이 발생되므로 4승법에 근거한 동기복구방법이 최소대역폭 시스템에 성공적으로 적용될 수 있음이 확인된다. 더구나 위의 해석과정에서 볼 수 있듯이 4승법 자체가 최소대역폭 시스템의 선형성을 전제로 하지 않으므로 비선형 최소대역폭 시스템에도 적용이 가능한 일반적 방법임에 주목하여야 하겠

다.

III. 시뮬레이션 및 검토

비선형 최소대역폭 선로부호인 VMDB3 및 VDB3[6]에 대하여 4승법을 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 이들은 최소대역폭 시스템이므로 부호화 후 먼저 대역폭이 $1/2T$ 로 제한이 된 이상적인 저역통과 여파기를 거치는데 이 여파기는 바로 sinc 함수로서 $+\infty$ 에서 $-\infty$ 까지 값을 가지게 되나 본 시뮬레이션에서는 $\pm 10T$ 구간에서 rectangular windowing하고 표본빈도는 심벌율 $1/T$ 의 20배로 하여 FIR 여파기로 구성하였다. 본 동기 복구기의 각 여파기 특성에 대한 개괄도는 그림 2와 같다.

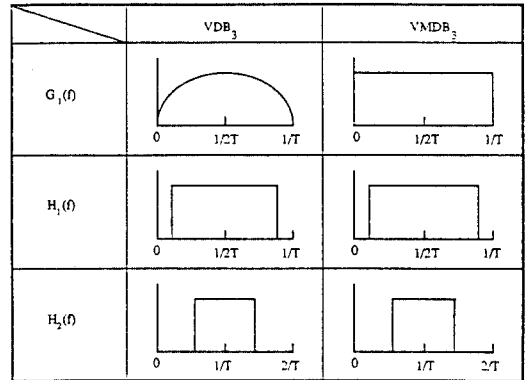
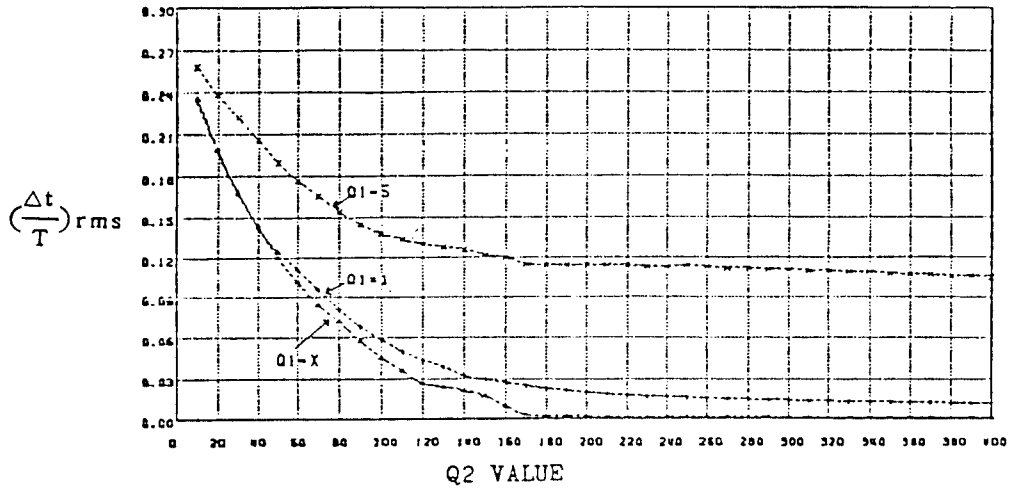


그림 2. $G_1(f)$, $H_1(f)$, $H_2(f)$ 여파기의 특성 개괄도.
Fig. 2 Schematic diagram of $G_1(f)$, $H_1(f)$, $H_2(f)$ filters

$H_1(f)$ 및 $H_2(f)$ 는 중심주파수가 각각 $1/2T$ 및 $1/T$ 인 대역통과 여파기로서 IIR 형태로 구현하였으며, 각 여파기의 Q값의 변화에 따른 시간 함수의 지터 값을 산출하였다. 데이터는 1부터 12,000 심벌까지 취한 다음 정상상태를 고려하여 1부터 1999번째까지의 데이터는 버리고 2,000부터 12,000번째까지 데이터를 취하여 timing 신호가 zero crossing하는 위상값을 선형보간으로 구하여 rms 지터 $(\Delta t / T)_{rms}$ 를 산출하였다.

대칭 성형 여파기 $G_1'(f)$ 의 사용에 대해서는 약간의 주의가 필요하다. 왜냐하면 VMDB3 부호의 경우 출력 전력분광이 $1/4T$ 를 중심으로 대칭인 반면 VDB3 부호의 경우는 전력 분광이 $\cos^2(\omega T/2)$ 로서 $1/4T$ 를 중심으로 비대칭이다. 따라서 $G_1(f)$ 의 대칭성이 클럭지터의 크기에 미치는 영향을 조사하기 위해 VDB3 부호일때는

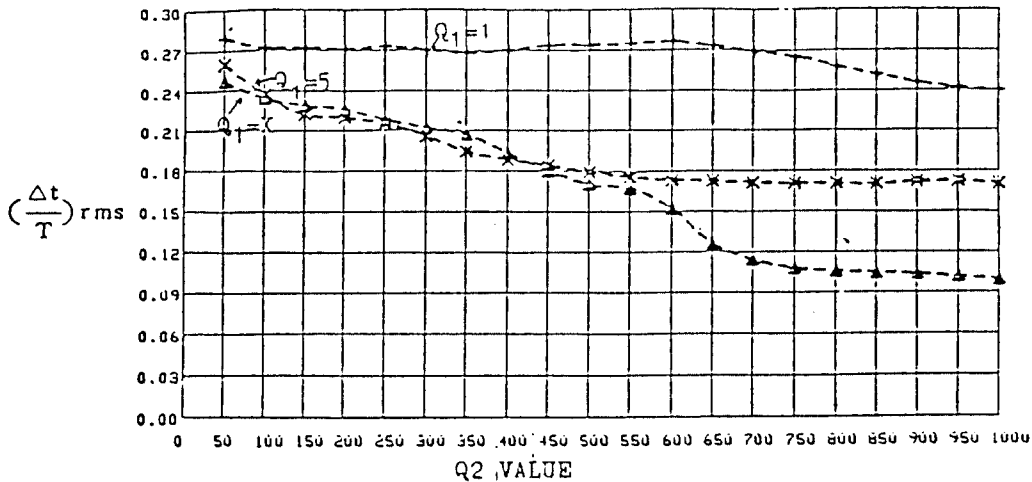
$G_1(f)$ 전단에 주파수 응답이 $\sin(\omega T/2)$ 되는 여파기 $G_1'(f)$ 를 첨가하였다. 그러면 $G_1(f)$ 의 전력분광이 $\sin^2(\omega T)$ 모양이 되어 VMDB3와 마찬가지로 $1/4T$ 를 중심으로 대칭이 된다. $G_1(f)$ 도 FIR 여파기로 구성하였다. 그림 3 및 그림 4는 시뮬레이션 수행 결과이다.



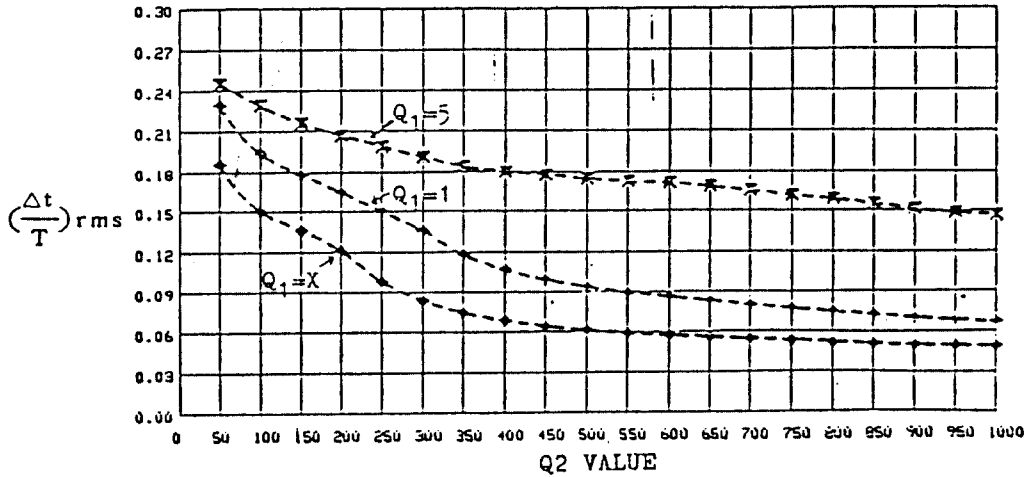
($Q_1 = X$ 는 $H_1(f)$ 가 없는 경우임)

그림 3. VMDB3 부호의 경우 $H_2(f)$ 의 Q_2 값에 대한 rms jitter의 변화추이.

Fig. 3 rms jitter vs Q_2 value of $H_2(f)$ for VMDB3



(a) 대칭성형 여파기 $G_1'(f)$ 를 사용하지 않은 경우



($Q_1 = X$ 는 $H_1(f)$ 가 없는 경우임)

(b) 대칭성형 여파기 $G'_1(f)$ 를 사용한 경우

그림 4. VDB₃ 부호의 경우 $H_2(f)$ 의 Q_2 값에 대한 rms 지터의 변화추이.

Fig. 4 rms jitter vs Q_2 value of $H_2(f)$ for VDB₃

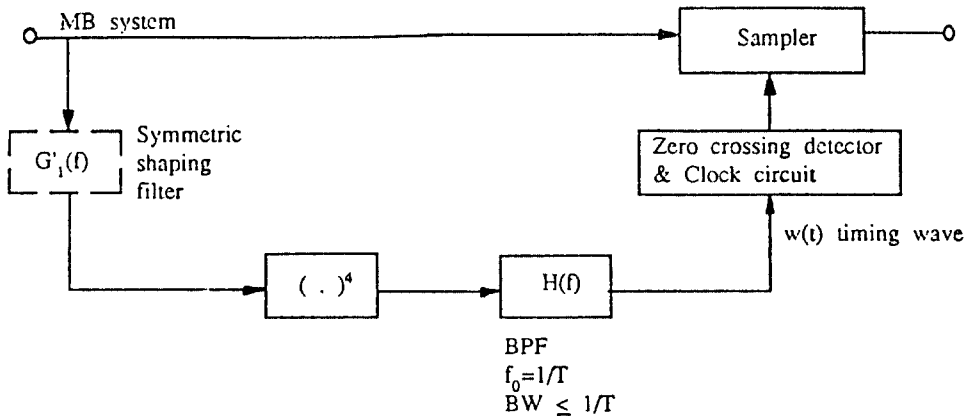


그림 5. 4승 동기복구기의 최적화 구성도
 Fig. 5 Optimum block diagram of 4th power timing recovery system

앞에서 논한대로 VMDB3의 경우 전력분광이 $1/4T$ 를 중심으로 대칭이므로 대칭여파기 $G'_1(f)$ 가 필요없다. $H_1(f)$ 여파기의 경우를 보면 Q_1 값을 크게 할수록 지터가 증가하며, 여파기를 사용하지 않을 때가 가장 지터가 작다. 따라서 $H_1(f)$ 여파기는 생략하는 편이 좋음을 발견할

수 있었다. $H_2(f)$ 의 경우는 Q_2 값을 증가시킬수록 지터가 감소하였다.

VDB3 부호의 경우는 전력 분광이 $1/4T$ 를 중심으로 비대칭이므로 그림 4(a)에서와 같이 대칭화 여파기를 사용하지 않은 경우 VMDB3에 비해서 지터가 훨씬 크다. 그러나 주파수

특성이 $\sin(\omega T / 2)$ 인 여파기 $G_1(f)$ 를 사용하여 $G_1(f)$ 의 주파수 특성을 $1/4T$ 를 중심으로 대칭화 하였을 때는 그림 4(b)에서와 같이 그림 4(a)에 비해서 지터가 크게 감소하였다. 또한 VMDB3에서와 마찬가지로 $H_1(f)$ 여파기는 사용하지 않고 $H_2(f)$ 의 Q_2 값을 증가시킬수록 지터를 감소시킬 수 있었다. 그러므로 최소대역폭 시스템을 위한 최적화된 4승 동기복구기는 그림 5와 같이 구성하는 것이 바람직하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 최소대역폭 시스템을 위한 새로운 동기복구 방법으로서 4승법에 기초한 방법을 제안하고 그 타당성을 해석적 방법으로 입증하였다. 시뮬레이션을 통하여 4승기 전후 주변의 여파기 전락을 연구한바 그림 5에 보인 구성이 최적인 것으로 도출되었다. 제안된 4승법은 그 동작이 선로부호의 선형성에 입각하지 않으므로 선형뿐만 아니라 비선형 최소대역폭 시스템에도 적용이 가능한 일반적인 방법이다. 이로써 그동안의 현안이었던 비선형 최소대역폭에 대한 동기 복구 문제가 일차적으로 해결되었다 하겠다.

참 고 문 헌

1. H.Nyquist, "Certain topics in telegraph transmission theory", Trans. AIEE, vol. 47, pp. 617-644, April 1928.
2. A. Lender, "The duobinary technique for high-speed data transmission", IEEE Trans. Commun. Electro., vol. 82, pp.214-210, May 1963.
3. E.R.Kretzmer, "Generalization of a technique for binary data transmission", IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-14, pp.67-68, Feb. 1966.
4. P.Kabal and S.Pasupathy, "Partial-response signaling", IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, pp.921-934, Sept. 1975.
5. D.Y. Kim and J.K.Kim, "A condition for stable minimum-bandwidth line codes", IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, no. 2, pp.152-157, Feb. 1985.
6. D.Y.Kim, J.I.Baek, J.K.Kim, S.K.Hyun, and Y.K.Park, "Runlength-limited variants of duobinary and modified duobinary", IEEE Trans. Commun., vol. COM-35, no. 2, pp.140-147, Feb. 1987.
7. D.Y.Kim and J.K.Kim, "New runlength-limited and dc free line code of minimum-bandwidth", Electronics Letters, vol.18, no. 24, pp.1040-1041. Nov. 25, 1982.
8. J.I.Baek and J.K.Kim, "New de-free line code of minimum-bandwidth with increased eye width", Electronics Letters, vol.21, no. 17, pp.755-757, Aug. 15, 1985.
9. D.Y.Kim and K.Feher, "Power suppression at the Nyquist Frequency for pilot-aided PAM and QAM systems", IEEE Trans. Commun., vol.37, no. 9, pp. 984-986, Sept. 1989.
10. L.E.Frnks, "Carrier and bit synchronization in data communication-A tutorial review", IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, no. 8, Aug. 1980.
11. D.L.Lyon, "Timing recovery in synchronous equalized data communication", IEEE Trans. Commun., vol. COM 23, no. 2, Feb. 1975.
12. S.U.H. Qureshi, "Timing recovery for equalized partial-response systems", IEEE Trans. Commun., vol. COM-24, no. 12, pp. 1326-1331, Dec. 1976.
13. J.Steel and B.M.Smith, "Carrier and clock recovery from transversal equalizer tap settings for a partial response system", IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, no. 9, pp. 976-979, Sept. 1975.
14. H.Sailer, "Timing recovery in data transmission systems using multilevel partial-response signaling", Rec. Int. Conf. Commun., pp. 34.24-34.27, June. 1975.

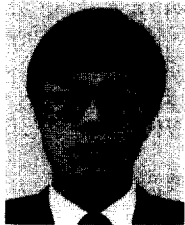


朴文泰(Moon Tae PARK) 正會員
1954年3月20日生
1977年2月: 서울大學校 電子工學科(學士)
1988年2月: 忠南大學校 電子工學科(碩士)
1977年4月~現在: 國防科學研究所 선임연구원



金大榮(Dea Yung KIM) 正會員
1952年5月28日生
1975年2月: 서울大學校 電子工學科 卒業
1977年2月: 韓國科學技術員 電氣 및 電子工學科 卒業 工學碩士 취득.
1983年2月: 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 卒業 工學博士 취득.

1979年4月~9月: 西獨 Aachen 工大 研究員
1979年10月~1981年8月: 西獨 Hannover 工大 研究員
1987年8月~1988年8月: 美國 UC Davis 방문 研究員
1983年3月~1987年: 忠南大學校 電子工學科 助教授
1987年~現在: 忠南大學校 電子工學科 副教授. 主觀심분야는 컴퓨터통신, 모뎀 및 선로부호 등임.



姜昌求(Chang Ku Kang) 正會員
1957年3月1日生
1979年: 韓國航空大學 航空電子 工學科 (學士)
1986年: 忠南大學校 電子工學科(碩士).
1979年~1982年: 韓國空軍技術장교.
1990年: 忠南大學校 電子工學科 博士課程 在學中. 現在 韓國電子通信研究所 선임연구원.
주觀심분야는 선로부호 및 네트워크 Security 등임.