

# 檢波回路의 入力等價抵抗에 關한 研究

## (Study on Equivalent Input Resistance of N-Phase Diode Detector.)

金 良 模\* · 李 忠 雄\*\*

(Kim, Yang Mo and Lee, Choong Woong)

### 要 約

本論文은 먼저  $n$  相다이 오드 平均檢波回路와  $n$  相다이 오드 包絡線檢波回路의 正弦波 信號에 對한 入力等價抵抗을 檢波回路의 負荷端에서 發生하는 電力損失로 부터 解析的으로 求하였다.

또한 同一한 方法으로 任意의 周期的 信號에 對한  $n$  相다이 오드 包絡線檢波回路의 入力等價抵抗도 求하였다.

### Abstract

In this paper, the input equivalent resistances of the  $n$  phase-diode average and envelope detection circuits for the sinusoidal signal waveforms are analytically derived from the power loss in their load resistances, and the input equivalent resistance of the  $n$  phase-diode envelope detection circuits for the arbitrary signal waveforms is also obtained from the same physical conception.

### I. 序 論

一般的으로 다이오드檢波回路의 入力等價抵抗을 求하는 데 있어서 다이오드의 非直線性으로 因하여 線形回路解析方法으로는 求하기 困難하다. 그러나 다이오드 檢波回路의 負荷抵抗에서 發生하는 電力損失로부터 入力等價抵抗을 誘導할 수 있으며 이와 같은 方法으로 Everitt<sup>1)</sup>는 單相다이 오드 包絡線檢波回路에 對한 入力等價抵抗을 求하였다.

本論文에서는  $n$  相다이 오드 平均檢波回路와  $n$  相다이 오드 包絡線檢波回路<sup>2)</sup>의 入力等價抵抗을 負荷抵抗에서의 電力損失로부터 解析的으로 求하고 特히  $n$  相다이 오드 包絡線檢波回路에 對하여는 負荷端에서의 時定數의 變化에 따른 入力等價抵抗을 求하고 任意의 周期的 信號에 對한 入力等價抵抗도 求하고자 한다.

### II. $n$ 相다이 오드 平均檢波回路의 入力等價抵抗

그림 1은 定位相器를 使用한  $n$  相다이 오드 平均檢波回路이고 그림 2는 損送信號周波數가  $f$ 인 無變調信號  $e = E \cos \theta$ (단  $\theta = 2\pi f t$ )에 對한  $R_L$ 前端의 出力波形

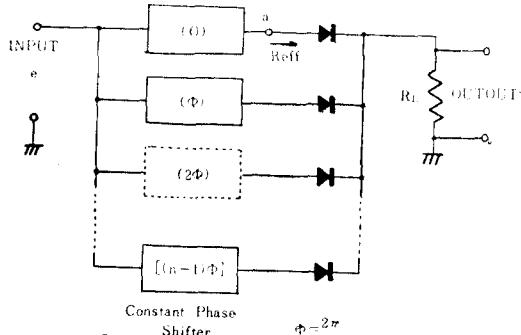


그림 1.  $N$  相다이 오드 平均檢波回路

Fig. 1.  $N$  phase-diode average detection circuit.

이다.

그림 1에서  $a$ 端子를 通하여 負荷抵抗  $R_L$ 에 供給된 電力  $P_L$ 은 다이오드의 檢波効率을  $\eta_d$ 라고 하면 다음과

\* 準會員, 서울大學校 教育大學院

\*\* 正會員, 서울大學校 工科大學 電子工學科

接受日字: 1975年 4月 11日

같다.

$$\text{即, } P_L = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{n}}^{\frac{\pi}{n}} \frac{\eta_d E \cos \theta}{R_L} \cdot E \cos \theta d\theta$$

$$= \frac{\frac{\pi}{n} + \frac{1}{2} \sin^2 \frac{2\pi}{n}}{2\pi R_L} \cdot \eta_d E^2 \quad (1)$$

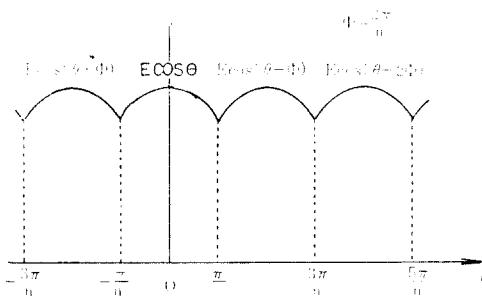


그림 2. 그림 1의 出力波形

Fig. 2. The output waveform of Fig. 1.

$a$ 端子와 어스 사이에서 본 入力等價抵抗을  $R_{eff}$ ,  $a$ 端子에서의 入力信號의 實効值를  $E_{eff}$ 라고 하면,

$$P_L = \frac{E_{eff}^2}{R_{eff}} = \frac{E^2}{2R_{eff}}$$
 的關係와 (1)式으로부터  $R_{eff}$ 는

다음과 같이 表示된다.

$$R_{eff} = \frac{n}{1 + \frac{\sin 2\pi/n}{2\pi/n}} \cdot \frac{R_L}{\eta_d} \quad (n=2, 3, 4\cdots) \quad (2)$$

여기서  $a$ 端子 以外의 各 端子와 어스사이의 入力等價抵抗도 위에서 求한 바와 같이 (2)式과 같다.

그런데 여기서 注意할 것은  $n=1$ 일 때 다이오드를 通하여 負荷抵抗에 供給된 電力量은  $n=2$ 일 때의 한 개의 다이오드를 通하여 供給된 電力量과 같고 따라서  $n=1$  일 때  $a$ 端子에서 본 入力等價抵抗은  $n=2$  일 때의 入力等價抵抗과 같으며 그 值은  $\frac{2R_L}{\eta_d}$ 이다. 그리고

(2)式에서  $n$ 가 10보다 大時遇를 생각하면, 分母의  $\frac{\sin n2\pi/n}{2\pi/n}$ 項이 0.9보다 크게 되어  $a$ 端子의 入力等價抵抗  $R_{eff}$ 는  $\frac{nR_L}{2\eta_d}$ 에 近似한다.

그런데 그림 1에서  $n$ 相다이 오드平均檢波回路의 入力等價抵抗은 定位相器가 受動素子로 이루어지고 負荷端子와 입력이던스整合이 되어 있다면 그림 1의  $a$ 端子에서 본 入力等價抵抗의  $n$ 並列로 볼 수 있다. 萬一에 定位相器가 能動回路素子로 이루어졌다면 單純히 各 定位相器의 入力抵抗의  $n$ 並列로 볼 수 있다.

그림 3은 定位相器를 使用한  $n$ 相다이 오드 包絡線檢波回路이고 그림 4는 無變調信號  $e=E \cos \theta$ 에 對한 出力波形이다.

그림 4에서와 같이  $a$ 端子의 다이오드가 導通되는 角度  $-\theta_1 \sim \theta_2$ 하고 하고 다음과 같이 等價導通角  $\alpha$ 를 定義한다. 即,

$$\int_{-\infty}^{\alpha} E \cos \theta d\theta = \int_{-\theta_1}^{\theta_2} E \cos \theta d\theta \quad (3)$$

### III-1. $n$ 相다이 오드 即絡線檢波回路의 入力等價抵抗

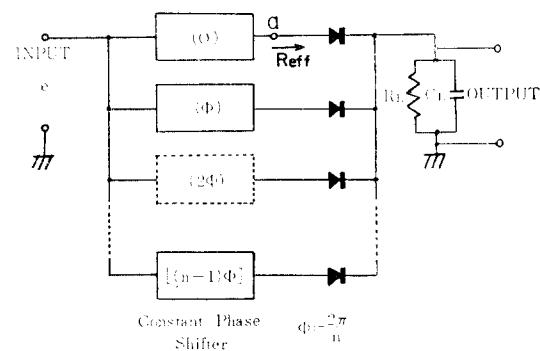


그림 3.  $n$ 相다이 오드 包絡線檢波回路

Fig. 3.  $n$  phase-diode envelope detection circuit.

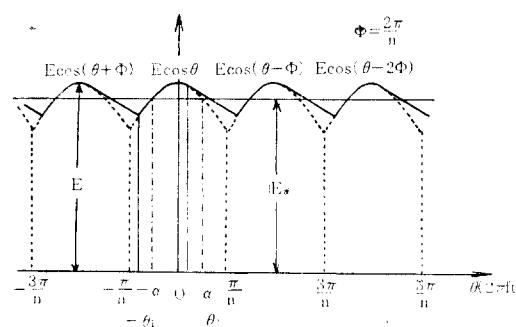


그림 4. 그림 3의 出力波形

Fig. 4. The output waveform of Fig. 3.

여기서 다이오드의 實効內部抵抗을  $r_d$ 하고 入力信號에 對한  $a$ 端子의 다이오드의 電壓電流,  $e_d - i_d$ 를 等價導通角  $\alpha$ 로 나타내면 그림 5와 같다. 그림 5에서  $e_d, i_d$ 는 各各 다음과 같은 式으로 表示할 수 있다.

$$e_d = E \cos \theta - E_a \quad (4)$$

$$i_d = \frac{1}{r_d} (E \cos \theta - E_a) \quad (5)$$

이 때  $a$ 端子의 다이오드를 通하여 流하는 電流의 平

均值  $I_{dc}$ 는

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\alpha}^{\alpha} i_d d\theta = \frac{1}{\pi r_d} (E \sin \alpha - \alpha E_a) \quad (6)$$

그런데,

$$E_a = n I_{dc} R_L = E \cos \alpha \quad (7)$$

가成立하고, (6), (7)式으로부터 다이오드의 實効內抵抗과 負荷抵抗과의 比는 다음과 같다.

$$\frac{r_d}{R_L} = \frac{n}{\pi} (\tan \alpha - \alpha) \quad (8)$$

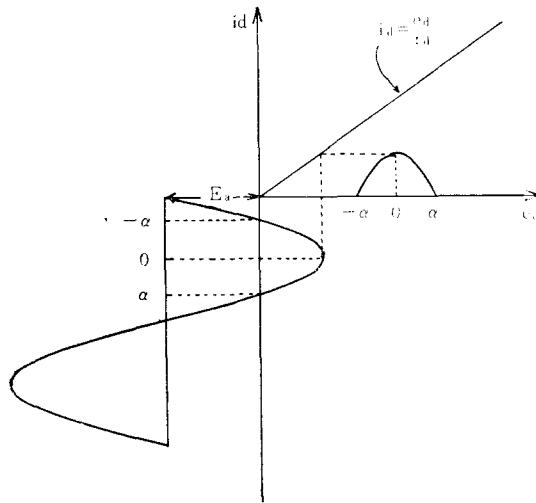


그림 5. 다이오드의 電壓-電流特性曲線

Fig 5. Voltage-current characteristic curve of the diode.

$a$ 端子를 通하여 負荷端에 供給된 力電  $P_L$ 은,

$$P_L = \frac{1}{2\pi} \int_{-\alpha}^{\alpha} e i_d d\theta = \frac{E^2}{2\pi r_d} (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) \quad (9)$$

여기서  $a$ 端子와 어스 사이에서 본 入力等價抵抗을

$R_{eff}$ 라고 하면  $P_L = \frac{E^2}{2R_{eff}}$ 의 關係로 (8), (9)式으로 부터  $R_{eff}$ 는 다음과 같이 表示된다.

$$R_{eff} = n \frac{\tan \alpha - \alpha}{\sin \alpha \cos \alpha} R_L \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (10)$$

$a$ 端子 以外의 端子와 어스 사이의 入力等價抵抗은 (10)式과 같다. 여기서 檢波効率  $\eta_d$ 는  $\eta_d = \frac{E_d}{E} = \cos \alpha$ 의 關係가 成立되고 (10)式을  $\eta_d$ 로서 나타내면 다음과 같다.

$$R_{eff} = n \frac{\sqrt{1 - \eta_d^2} - \eta_d \cos^{-1} \eta_d}{\eta_d \cos^{-1} \eta_d - \eta_d^2 \sqrt{1 - \eta_d^2}} R_L \quad (11)$$

이경우에 그림 3의  $n$ 相다이오드 包絡線檢波回路의 入力等價抵抗은 定位相器가 受動素子로 이루어지고 負荷端과 임피던스整合이 되어 있다면  $a$ 端子에서 본 入力

等價抵抗의  $n$ 並列로 볼 수 있으며, 定位相器가 能動回路素子로 이루어졌다면 負荷端에 相關敘의 各定位相器의 入力抵抗의  $n$ 並列로 볼 수 있다.

### III. AM包絡線檢波에 있어서

#### 時定數에 따른 入力等價抵抗

위의 (10)式에서 等價導通角  $\alpha$ 는 檢波回路의 相數  $n$ , 撥送信號周波數  $f$  및 時定數  $R_L C_L$ 에 依하여 決定되며 本節에서는 撥送信號周波數  $f$ 가 455KHz일 때  $n$ 와  $R_L C_L$ 의 變化에 對한 各 다이오드에서 본 入力等價抵抗을 負荷抵抗과의 比로서 그림 6에 實線으로 나타내었다. 이때 diagonal clipping의 일어나지 않는  $R_L C_L$ 의 範圍<sup>9)</sup>는,

$$R_L C_L \leq \frac{1}{2\pi f_m} \sqrt{\frac{1}{m_a^2} - 1} \quad (12)$$

로 表示되며, 이 그림에 點線으로서 나타내었다. (12)式에서  $f_m$ 은 許容最大變調波周波數이고  $m_a$ 는 變調度이다.

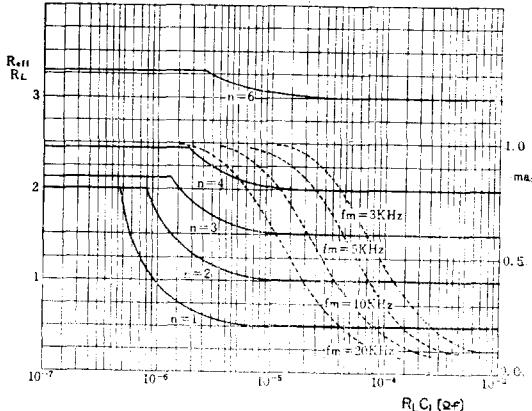


그림 6. 時定數  $R_L C_L$ 及  $\frac{R_{eff}}{R_L}$  및 變調度  $m_a$ 와의 關係曲線

Fig 6. Relationship curves among time constant  $R_L C_L$ ,  $\frac{R_{eff}}{R_L}$  and percentage modulation  $m_a$ .

그림 6에서 實線은 相數  $n=1, 2, 3, 4, 6$ 에 對하여 時定數  $R_L C_L$ 을 數로 한 入力等價抵抗의 負荷抵抗과의 比  $R_{eff}/R_L$ 의 值을 나타내고 點線은 變調度  $m_a$ 와 變調波周波數  $f_m=3, 5, 10, 20$  KHz의 各境遇에 對한 diagonal clipping의 境界를 나타내며 clipping의 일어나지 않는 範圍는 各點線의 左側部分이다.

또한 그림 6에서  $C_L$ 가 작아짐으로 因하여  $R_L C_L$ 의 值이 작아지면 負荷端의 急速한 放電으로 因하여 平均檢波回路와 같게 되며  $R_L C_L$ 의 值이 커짐에 따라 負荷

回路의 緩慢한 放電으로 耗失이 암아 等價導通角  $\alpha$ 는 작  
아지며,  $\alpha$ 가 0으로 接近하면  $R_{eff}/R_L \approx \frac{n}{2}$  가 되고 이  
는 그림 6과一致한다,

#### N. 任意의 波形에 對한 n相다이오드 包絡線檢 波回路의 入力等價抵抗

最大值가  $E_{max}$ 이고 周期  $T$ 인 任意의 信號波形  $e(t)$   
가 그림 3의  $n$ 相다이오드 包絡線檢波回路에 加해질 때  
의  $a$ 端子에서의 入力等價抵抗을 求하기로 한다.

任意의 信號  $e(t)$ 를 다음과 같이 Fourier 級數로 表  
示할 수 있다. 即

$$e(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} E_m e^{-im\omega t} \quad (13)$$

$$\text{但 } E_m = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) e^{-im\omega t} dt$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$e(t)$ 의 實効值  $E_{eff}$ 는

$$E_{eff} = \sqrt{\sum_{m=-\infty}^{\infty} E_m^2} \quad (14)$$

$a$ 端子의 ダイオード를 通하여 負荷端에 供給된 電力  
 $P_L$ 은

$$P_L = \frac{1}{n} \cdot \frac{\tau_d E_{max}}{R_L} \cdot E_{max} \quad (15)$$

但  $\tau_d$  = 檢波效率

그런데  $P_L = -\frac{E_{eff}^2}{R_{eff}}$ 의 關係式 (14), (15)式으로 부터  
 $R_{eff}$ 는

$$R_{eff} = \frac{n R_L}{\tau_d} \cdot \frac{\sum_{m=-\infty}^{\infty} E_m^2}{E_{max}^2} \quad (16)$$

이 된다. 여기서 入力信號가  $e(t) = E_{max} \sin \omega t$ 이고  $n=1$  일때는  $|E_{-1}| = |E_1| = \frac{E_{max}}{2}$ 의 關係에 있으므로  
 $R_{eff}$ 는  $\frac{R_L}{2\tau_d}$ 가 되며 Terman<sup>5)2</sup>와一致할 수 있다.

#### V. 結論

$n$ 相다이오드 平均檢波回路의 各 ダイオード에서 的 入

$\frac{R_L}{\tau_d}$   
力等價抵抗은  $\frac{1 + \sin 2\pi/n}{2\pi/n} \cdot \frac{n R_L}{\tau_d}$  이고 그 값은  
 $\frac{2R_L}{\tau_d}$  ( $n=1, 2$  일 때) ~  $\frac{n R_L}{2\tau_d}$  ( $n > 10$  일 때)이다.

$n$ 相다이오드 包絡線檢波回路의 各 ダイオード에서 的  
入力等價抵抗은  $n \cdot \frac{\sqrt{1-\eta_d^2} - \eta_d \cos^{-1} \eta_d}{\eta_d \cos^{-1} \eta_d - \eta_d^2 \sqrt{1-\eta_d^2}} R_L$  이고 負荷  
端의 時定數의 變化에 對한 負荷抵抗과의 比  $R_{eff}/R_L$   
(그림 6)의 값은 時定數가 작을 때는 2 ( $n=1, 2$  일 때)  
~  $\frac{n}{2}$  ( $n > 10$  일 때)이고 時定數가 증加할 때는  $\frac{n}{2}$  ( $n=1, 2,$   
3...)가 된다.

任意의 周期的 信號에 對한 各 ダイオード에서 的 入

力等價抵抗은  $\frac{n R_L}{\tau_d} \cdot \frac{\sum_{m=-\infty}^{\infty} E_m^2}{E_{max}^2}$  이고 여기서 正弦波  
에 對한 入力等價抵抗은  $\frac{n R_L}{2\tau_d}$ 이다.

各 檢波回路에서 入力端에서의 等價抵抗은 定位相器  
가 受動素子로 이루어졌을 境遇 各 ダ이オード에서 的  
入力等價抵抗의  $n$ 並列이고, 定位相器가 能動回路素子  
로 이루어진 境遇 各 位相器의 入力抵抗의  $n$ 並列이다.

#### 參考文獻

- 1) Everitt, W. L; Communication Engineering 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1937.
- 2) Choong Woong Lee; "An Analysis of Poly-phase Envelope Detection," IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-21, No. 8, 1973.
- 3) Ben Zeines; Electronic Communications Systems, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1970.
- 4) Samuel Seely; Electron-Tube Circuits, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1956.
- 5) F.E. Terman; Electronic and Radio Engineering 4th ed., International Student Edition Tokyo, 1955.