

## نویز داخلی در سیستم‌های تکرار کننده

نوشته:

ناصر رضائی

مهندس برق - مربی تحقیقاتی دانشکده فنی دانشگاه تهران - رئیس بخش کاربر مرکز تحقیقات مخابرات ایران

**چکیده:** سیستم‌هایی که امروزه برای انتقال راه دور با تعداد کانالهای زیاد مورد استفاده واقع میشوند از نوع مدارهای تلفنی با کابل کواکس و مدارهای رادیویی میباشند، که در هر کدام از آنها با گسترش تکنیک، تعداد کانال‌ها روز بروز افزایش می‌یابد. بطوریکه تا چند سال قبل مدارهای رادیویی قادر بودند ۶۰۰ کانال تلفنی را عبور دهند درحالیکه فعلاً ظرفیت آنها به ۹۶۰ کانال افزایش یافته بهمین ترتیب سیستم کابل کواکس که ظرفیت آن از ۹۶۰ کانال به ۱۰۸۰۰ کانال تلفنی افزایش یافته. افزایش کانال‌ها دو مشکل کروس تالک (cross-talk) و تداخل (Interference) را بوجود می‌آورد.

مسئله کروس تالک بین دو سیستم در یک مسیر را میتوان بوسیله وسایل ساده حل کرد ولی مسأله اساسی در طرح سیستم‌های مخابراتی مشکل تداخل میباشد که در نقاطی از سیستم که عمل تقویت در آنها انجام میگردد بوجود می‌آید. تداخل در سیستم‌های مخابراتی شبیه اصطکاک در یک ماشین میباشد که بطور اجتناب ناپذیر وجود دارد و از مشکلات اساسی جهت طرح سیستم با کیفیت عالی میباشد از اینرو مطالعه آن در سیستم‌ها چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ بدست آوردن کیفیت مورد قبول دارای اهمیت فوق العاده‌ای میباشد. تداخلی که در سیستم‌های مخابراتی وجود دارد ترکیبی است از، صحبت غیرقابل فهم (babble) که در اثر کروس تالک بین تعداد زیادی از کانال‌ها بوجود می‌آید و نویز (noise) که خود شامل دو قسمت اساسی: نویز حرارتی و نویز مدولاسیون داخلی است.

آنچه که در این مقاله آمده است، بررسی نویز حرارتی و نویز مدولاسیون داخلی از لحاظ ارتباط آن با تعداد کانال‌ها و تعداد تکرارکننده‌ها در سیستم انتقال را شامل میشود. در انتها بمنظور کاربرد مطالب گفته شده همچنین استفاده از توصیه‌های کمیته مشاوره بین‌المللی تلگراف و تلفن (C.C.I.T.T.) در این مورد طرح یک سیستم ۱۲ کانالی با استفاده از خط هوایی ذکر شده.

**مقدمه :** نویز یکی از مهمترین مسائل در طرح سیستمهای تکرار کننده میباشد که باید دقیقاً مورد مطالعه قرار گیرد . در سیستمهای چند کانالی کاربرد نویز شامل دو نوع زیر میباشد .

الف - نویز داخلی : از اجزاء و عناصر خود سیستم بوجود میآید که شامل : نویز اصلی یا اساسی (Basic noise) و نویز غیرخطی ( نویز ناشی از غیرخطی بودن مشخصه اجزاء یا عناصر سیستم ) یا نویز اعوجاج ، سیگردد .

ب - نویز خارجی : که ناشی از عوامل خارجی بوده و ترکیبی از نویز کراس تاک (Cross-Talk) و نویز القائی (induced) میباشد .

در این گزارش ارتباط بین نویز داخلی و سایر عوامل مؤثر در طرح سیستمها مورد بررسی قرار میگیرد . نویز اصلی بوسیله نویز حرارتی در نقطه ای که میگنال ورودی تکرار کننده دارای حداقل سطح (Level) میباشد و همچنین عدد نویزی (NF) تکرار کننده تعریف میشود .

در نویز غیرخطی عموماً مدولاسیون مرتبه دوم اهمیت زیادتری دارد و از مدولاسیون مرتبه سوم گاهی اوقات میتوان صرف نظر کرد در حالیکه از مرتبه های بالاتر معمولاً صرف نظر میشود .

## ۱ - قدرت نویز مورد لزوم :

عموماً سیستمهای کاربری باید طوری طرح شوند که مشخصات مقدار نویز در آنها مطابق با توصیه های CCITT که در جدول ۱ داده شده است باشد .

برای مثال ، در سیستم کاربری با سیم هوایی (open-wire) با طول کمتر از 2500 کیلومتر قدرت نویز باید از 20,000 PW (-47 dBm) کمتر باشد که از این مقدار 2500 PW به دستگاههای کاربر اختصاص داده شده و 17500 PW برای خط انتقال کاربر در نظر گرفته میشود .

## ۲ - نویز اصلی :

کلیه مقاومتها دارای نویز حرارتی میباشند که قدرت آن با معادله زیر بیان میشود .

$$P_{an} = KTB \quad (1)$$

که در آن :

$$K = 1.37 \times 10^{-23} \text{ w.s/K} \quad \text{عدد ثابت بولتزمن}$$

$$T = \quad \text{درجه حرارت مطلق}$$

$$B = \quad \text{باند فرکانس بر حسب Hz}$$

مثلاً برای باند فرکانس صوتی (0.3-3.4KHz) و درجه حرارت  $t=27^{\circ}\text{C}$  قدرت نویز حرارتی چنین میشود :

$$P_{an} = KTB$$

$$P_{an} = 1.37 \times 10^{-23} \times 300 \times 3100$$

$$= 1.275 \times 10^{-17} \text{ W}$$

$$= 1.275 \times 10^{-14} \text{ mW}$$

$$N_o = 10 \log P_{an} = -139 \text{ dBm}$$

از طرف دیگر عدد نویزی (Noise Factor) که برای نویز داخلی تقویت کننده‌ها میباشد بصورت زیر تعریف میگردد :

$$NF = (S/N)_{in} / (S/N)_{out}$$

که در آن  $(S/N)_{in}$  نسبت سیگنال به نویز در ورودی تقویت کننده و  $(S/N)_{out}$  نسبت سیگنال به نویز در خروجی تقویت کننده میباشد .

حال با توجه باینکه

$$N_{in} = N_o \quad (\text{نویز حرارتی dBm})$$

$$N_{out} = N_t \quad (\text{نویز کلی در خروجی تقویت کننده})$$

$$S_{out} / S_{in} = G_A \quad (\text{ماکزیمم تقویت ، تقویت کننده})$$

میباشد ، قدرت نویز اصلی در خروجی تقویت کننده یا تکرار کننده چنین میشود :

$$N_t = N_o + NF + G_A \quad (\text{dBm}) \quad (۲)$$

در فرمول فوق NF بر حسب dB میباشد .

در صورتیکه سیستم دارای n تکرار کننده یکسان باشد قدرت نویز اصلی در خروجی تکرار کننده n ام

برابر خواهد شد با :

$$N_{tn} = N_o + NF + G_A + 10 \log n \quad (\text{dBm}) \quad (۴)$$

در فرمول فوق  $N_{tn}$  قدرت نویز بصورت مطلق میباشد ، در صورتیکه S لول سیگنال در خروجی تکرار کننده

( تقویت کننده ) باشد قدرت نسبی نویز ( لول نویز در نقطه با لول نسبی صفر ) عبارت خواهد شد از :

$$N_{tno} = S / N_{tn} = N_o + NF + G_A + 10 \log n - S \quad (۵)$$

### قدرت نویز سوفومتري :

در محاسبات فوق دامنه نویز دربانند فرکانس مورد نظر ثابت فرض شده در این صورت باید برای بدست آوردن مقدار نویز سوفومتري طبق استاندارد C.C.I.T.T. برای باند صوتی 300 ~ 3400 از مقدار محاسبه شده بطریقه فوق بمقدار  $K_{ps} = -2.5 \text{ dB}$  (Psophometric weighting factor) اضافه گردد در صورتیکه مقدار نویز مؤثر دربانند فرکانسی B مورد لزوم باشد مقدار  $K_{ps}$  عبارت خواهد بود از :

$$K_{ps} = 2.5 + 10 \log_{10} \left( \frac{B}{3.1} \right) \text{ (dB)} \quad (6)$$

با توجه به مطالب فوق قدرت نسبی سوفومتري عبارت خواهد شد با :

$$W_N = K_{ps} + N_o + N_F + G_A + 10 \log n - s \quad (7)$$

یا :

$$W_N = K_{tN} + G_A + 10 \log n - S \quad (8)$$

$$K_{tN} = K_{ps} + N_o + NF \quad (9)$$

### ۳ - تولید نویز غیرخطی :

هنگامیکه چندین فرکانس بطور همزمان به ورودی یک دستگاه غیرخطی اثر می نماید در خروجی علاوه بر فرکانسهای ورودی ، فرکانس هائی نظیر :

مجموع و تفاضل فرکانسهای ورودی

مجموع و تفاضل فرکانسهای ورودی و هارمونیکهای آنها

هارمونیکهای فرکانسهای ورودی

مجموع و تفاضل هارمونیکهای فرکانسهای ورودی

که نتیجه مدولاسیون داخلی میباشد ، بوجود خواهد آمد . در صورتیکه ورودی ، سیگنال تلفنی چند کانالی باشد ، فرکانسهای ناشی از مدولاسیون داخلی که در فوق به آن اشاره شده در خروجی دستگاه دربانند انتقال کانالها قرار گرفته و ایجاد نویزی شبیه تداخل را می نماید که بنام نویز غیرخطی نامیده میشود .

تقریباً میتوان گفت که تمام المانها غیرخطی اند ولی در عمل فقط المانهای نظیر ، سلف ، ترانسفورماتور و المانهای اکتیو ( لامپ ها و ترانزیستورها ) را المانهای غیرخطی در نظر میگیرند .

مقدار نویز غیرخطی رابطه مستقیم با دامنه سیگنال در المان غیرخطی دارد و چون سیگنالها معمولاً در خروجی طبقه های تقویت کننده بیشترین مقدار را دارا میباشدند . لذا میتوان گفت تقویت کننده ها مهمترین

منبع تولید نویز غیرخطی میباشند . از اینرو در این بخش فقط نویز غیرخطی ناشی از تقویت کننده‌ها را مورد بررسی قرار میدهم . البته این روش کلی بوده و میتواند برای سایر عناصر غیرخطی هم بکار برده شود . مشخصه خروجی برحسب ورودی در یک تقویت کننده ( پائین تر از نقطه اشباع ) را میتوان بوسیله عبارت زیر نشان داد .

$$V = k_1 v + k_2 v^2 + k_3 v^3 + \dots \quad (10)$$

که در آن  $V$  ولتاژ خروجی و  $v$  ولتاژ ورودی تقویت کننده میباشد . در رابطه فوق اولین جمله مؤلفه سیگنال اصلی و جمله‌های دوم و سوم و . . . . . مؤلفه‌های هارمونیک اعوجاج میباشند که به مؤلفه اصلی اضافه شده‌اند . رابطه ( ۱۰ ) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$V = V_f + a_2 V_f^2 + a_3 V_f^3 + \dots \quad (11)$$

که در آن :

$$V_f = k_1 v$$

$$a_2 = \frac{k_2}{k_1^2}$$

$$a_3 = \frac{k_3}{k_1^3}$$

۱ ، ۳ : سیگنال ورودی شامل یک فرکانس :

اگر ولتاژ سیگنال اصلی بصورت  $V_f = A_1 \cos \omega_1 t$  در نظر گرفته شود در اینصورت ولتاژ خروجی

عبارت خواهد بود از :

$$V = A_1 \cos \omega_1 t + \frac{1}{2} a_2 A_1^2 (1 + \cos 2\omega_1 t) + \frac{1}{4} a_3 A_1^3 (3 \cos \omega_1 t + \cos 3\omega_1 t) + \dots \quad (12)$$

با توجه به اینکه ضریب اعوجاج (Distortion factor) عبارت است از نسبت قدرت سیگنال اصلی

به قدرت هارمونیک‌ها ، میتوان نوشت :

$$K_2 = A_1^2 / \left( \frac{1}{2} a_2 A_1^2 \right)^2 = 4 / (a_2^2 A_1^2) = 4 / (a_2^2 \cdot 2R \cdot P_f)$$

که در آن :

$$P_f = \frac{(A_1 / \sqrt{2})^2}{R} \quad \text{قدرت اصلی خروجی} \quad (13)$$

R = امیدانس خروجی تقویت کننده  
میشود .

$$K_3 = \frac{A_1^2}{\left(\frac{1}{4} a_3 A_1^3\right)^2} = \frac{16}{a_3^2 a_1^4} = \frac{16}{a_3^2 \cdot 4R^2 \cdot P_f^2} \quad (14)$$

در این صورت قدرت اعوجاج هارمونیکها چنین میشود :

$$D_2 = \frac{P_f}{K_2} = \frac{1}{4} a_2^2 \cdot 2R \cdot P_f^2 \quad (15)$$

$$D_3 = \frac{P_f}{K_3} = \frac{1}{16} a_3^2 \cdot 4R^2 \cdot P_f^3 \quad (16)$$

اگر :

$$D_3 = t_3 \quad , \quad D_2 = t_2 \text{ mW} \quad (17)$$

برای  $P_f = 1 \text{ mW}$  باشد معادلات  $D_3$  و  $D_2$  به معادلات زیر تبدیل خواهد شد :

$$D_2 = t_2 P_f^2 \text{ mW} \quad , \quad t_2 = \frac{1}{2} a_2^2 R \quad (18)$$

$$D_3 = t_3 P_f^3 \text{ mW} \quad , \quad t_3 = \frac{1}{4} a_3^2 R^2 \quad (19)$$

عبارات بالا نشان میدهند که قدرت هارمونیکهای اعوجاج مرتبه دوم و سوم متناسب با مربع و مکعب قدرت سیگنال اصلی خروجی ( $P_f$ ) میباشند .

۲ ، ۳ : سیگنال ورودی شامل دوفراکانس :

با در نظر گرفتن سیگنال اصلی بصورت :

$$V_f = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t \quad (20)$$

ولتاژ خروجی برابر خواهد شد با :

$$V = (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t) + a_2 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t)^2 + \quad (21)$$

$$a_3 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t)^3 + \dots$$

در این صورت داریم :

الف - مؤلفه اصلی :

$$A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t \quad (22)$$

ب - مؤلفه مرتبه دوم :

$$\frac{1}{2} a_2 A_1^2 (1 + \cos 2\omega_1) + \frac{1}{2} a_2 A_2^2 (1 + \cos 2\omega_2) + a_2 A_1 A_2 \left\{ \cos(\omega_1 + \omega_2) t + \cos(\omega_1 - \omega_2) t \right\} \quad (23)$$

ج - مؤلفه مرتبه سوم :

$$\begin{aligned} & \left( \frac{3}{4} a_3 A_1^3 + \frac{3}{2} a A_1 A_2^2 \right) \cos \omega_1 t + \left( \frac{3}{4} a_3 A_2^3 + \frac{3}{2} + \frac{3}{2} A_1^2 A_2 \right) \cos \omega_2 t \\ & + \frac{1}{4} a_3 A_1^3 \cos 3\omega_1 t + \frac{1}{4} a_3 A_2^3 \cos 3\omega_2 t \\ & + \frac{3}{4} a_3 A_1^2 A_2 \cos(2\omega_1 + \omega_2) t + \frac{3}{4} a_3 A_1 A_2^2 \cos(2\omega_1 - \omega_2) t \\ & + \frac{3}{4} a_3 A_1 A_2^2 \cos(2\omega_2 + \omega_1) t + \frac{3}{4} a_3 A_1 A_2^2 \cos(2\omega_2 - \omega_1) t \end{aligned}$$

با توجه به معادلات فوق قدرت هارمونیکهای اعوجاج عبارتند از :

$$D_{2\omega_1} = t_1 \cdot P_1^2 \quad \text{مؤلفه } (2\omega_1) \quad (25)$$

$$D_{2\omega_2} = t_2 \cdot P_2^2 \quad \text{مؤلفه } (2\omega_2) \quad (26)$$

$$D_{\omega_1 + \omega_2} = D_{2+} = 4t_2 \cdot P_1 \cdot P_2 \quad \text{مؤلفه } (\omega_1 + \omega_2) \quad (27)$$

$$D_{2-} = 4t_2 \cdot P_1 \cdot P_2 \quad \text{مؤلفه } (\omega_1 + \omega_2) \quad (28)$$

$$D_{3\omega_1} = t_3 P_1^3 \quad \text{مؤلفه } (3\omega_1) \quad (29)$$

$$D_{3\omega_2} = t_3 P_2^3 \quad \text{مؤلفه } (3\omega_2) \quad (30)$$

$$D_{2\omega_1 \pm \omega_2} = 9t_3 P_1^2 P_2 \quad \text{مؤلفه } (2\omega_1 \pm \omega_2) \quad (31)$$

$$D_{2\omega_2 \pm \omega_1} = 9t_3 P_1 P_2^2 \quad \text{مؤلفه } (2\omega_2 \pm \omega_1) \quad (32)$$

$P_1$  و  $P_2$  بترتیب قدرت سیگنالهای اصلی  $\omega_1$  و  $\omega_2$  در خروجی میباشند .

۳، ۳ - سیگنال ورودی شامل سه فرکانس :

با در نظر گرفتن ولتاژ سیگنال اصلی بصورت :

$$V_f = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t + A_3 \cos \omega_3 t \quad (۳۳)$$

مولفه مرتبه سوم سیگنال خروجی برابر خواهد شد با :

$$a_3 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t + A_3 \cos \omega_3 t)^3 \quad (۳۴)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} a_3 A_1^3 (\cos 3\omega_1 t + 3 \cos \omega_1 t) + \frac{1}{4} a_3 A_2^3 (\cos 3\omega_2 t + 3 \cos \omega_2 t) \\ &+ \frac{1}{4} a_3 A_3^3 (\cos 3\omega_3 t + 3 \cos \omega_3 t) \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A_1^2 A_2 [2 \cos \omega_2 t + \cos(2\omega_1 + \omega_2)t + \cos(2\omega_1 - \omega_2)t] \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A_1^2 A_3 [2 \cos \omega_3 t + \cos(2\omega_1 + \omega_3)t + \cos(2\omega_1 - \omega_3)t] \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A_2^2 A_1 [2 \cos \omega_1 t + \cos(2\omega_2 + \omega_1)t + \cos(2\omega_2 - \omega_1)t] \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A_2^2 A_3 [2 \cos \omega_3 t + \cos(2\omega_2 + \omega_3)t + \cos(2\omega_2 - \omega_3)t] \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A_3^2 A_1 [2 \cos \omega_1 t + \cos(2\omega_3 + \omega_1)t + \cos(2\omega_3 - \omega_1)t] \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A_3^2 A_2 [2 \cos \omega_2 t + \cos(2\omega_3 + \omega_2)t + \cos(2\omega_3 - \omega_2)t] \\ &+ \frac{6}{4} a_3 A_1 A_2 A_3 [\cos(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)t + \cos(\omega_1 + \omega_2 - \omega_3)t + \\ &\quad \cos(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3)t + \cos(-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)t] \end{aligned}$$

در این صورت قدرت مولفه های مرتبه سوم برابر میشود با :

$$D_{3i} = t_3 P_i^3 \quad i = 1, 2, 3 \quad 3\omega_i \quad \text{مولفه (۳۵)}$$

$$D_{2i \pm j} = 9t_3 P_i^2 P_j \quad i, j = 1, 2, 3 \quad i \neq j \quad 2\omega_i + \omega_j \quad \text{مولفه (۳۶)}$$

$$D_{\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k} = 36t_3 P_i P_j P_k, (i, j, k = 1, 2, 3 \quad i \neq j \neq k), \quad \omega_1 \pm \omega_2 + \omega_3 \quad \text{مولفه (۳۷)}$$



۴ - سیگنال باطیف پیوسته :

اگر سیگنال خروجی تقویت کننده دارای تابع چگالی قدرت پیوسته  $\omega(x)$  برای فرکانس  $x$  باشد

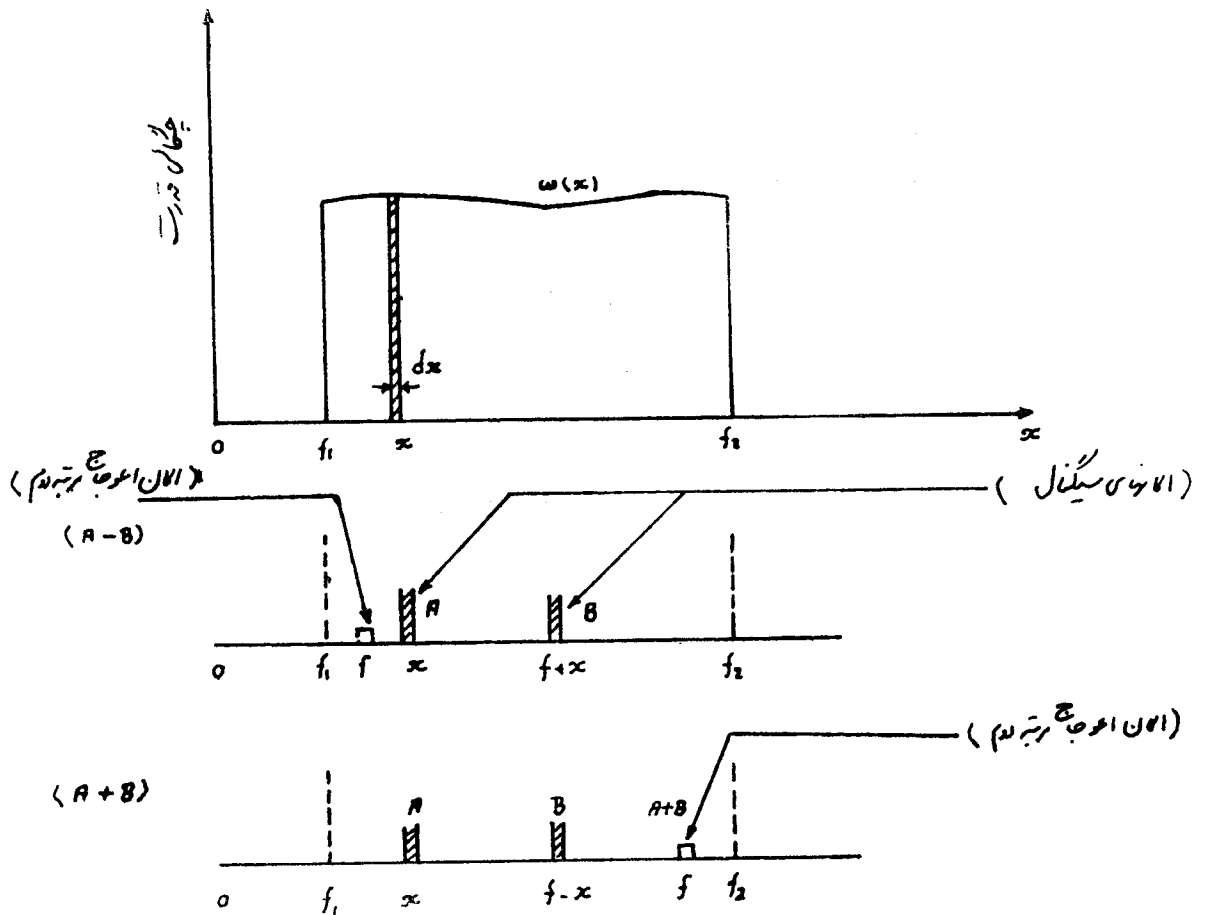
(شکل ۱) توابع چگالی قدرت نویزهای غیرخطی مرتبه دوم و مرتبه سوم با توجه به روابط (۲۷) و (۲۸)

و (۳۷) عبارتند از:

$$D_{A-B}(f) = 4t_2 \int_0^{\infty} \omega(x) \cdot \omega(x+f) dx = 4t_2 \frac{P^2}{B^2} \int_0^{\infty} \omega'(x) \cdot \omega'(x+f) dx \quad (38)$$

که در آن :

$$\omega(x) = \frac{P}{B} \omega'(x) \quad (39)$$



شکل (۱): اتصال سیگنال اصلی و امواج در مرتبه دوم

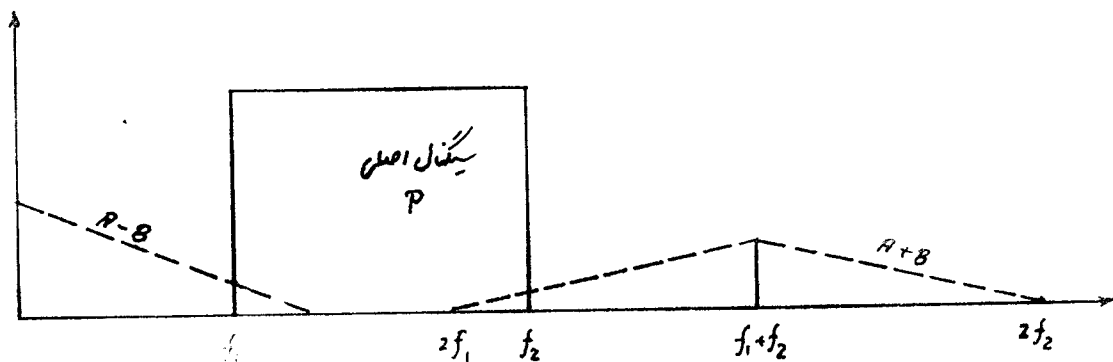
$$P = \int_{f_1}^{f_2} \omega(x) dx \quad \text{قدرت سیگنال} \quad (40)$$

$$B = f_2 - f_1 \quad \text{باند فرکانس سیگنال} \quad (41)$$

$$D_{A+B}(f) = 2t_2 \frac{P^2}{B^2} \int_0^f \omega'(x) \cdot \omega'(f-x) dx \quad (42)$$

$$D_{A+B-C}(f) = 18 t_3 \frac{P^3}{B^3} \int_0^\infty \int_0^{f+y} \omega'(f-x+y) \cdot \omega'(x) \omega'(y) dx dy \quad (43)$$

$$D_{A+B+C}(f) = 6 t_3 \frac{P^3}{B^3} \int_0^f \int_0^{f-y} \omega'(f-x-y) \cdot \omega'(x) \cdot \omega'(y) dx dy \quad (44)$$



شکل (۲): صد در صد فاکتور اعوجاج در مرتبه دوم

با توجه بمعادلات فوق قدرت نویزهای غیرخطی مرتبه دوم و مرتبه سوم در باند فرکانس جزئی (کوچک) برابر است با:

$$n_2 = 4t_2 P^2 \frac{b}{B} y_2 \quad (45)$$

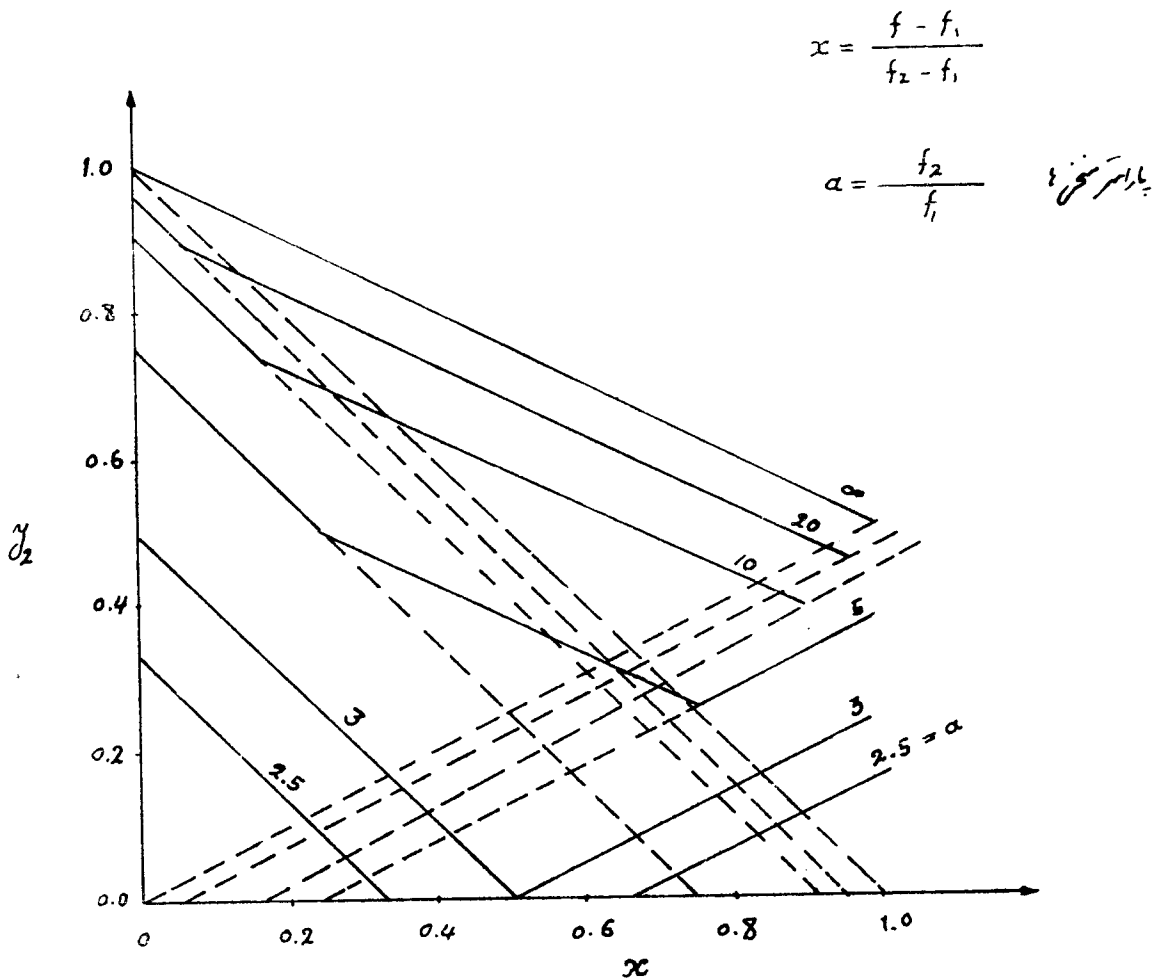
$$n_3 = 24 t_3 P^3 \frac{b}{B} y_3 \quad (46)$$

که در آن:

$$Y_2 = \frac{1}{B} \left[ \int_0^\infty \omega'(f+x) \cdot \omega'(x) dx + \frac{1}{2} \int_0^f \omega'(f-x) \cdot \omega'(x) dx \right] \quad (47)$$

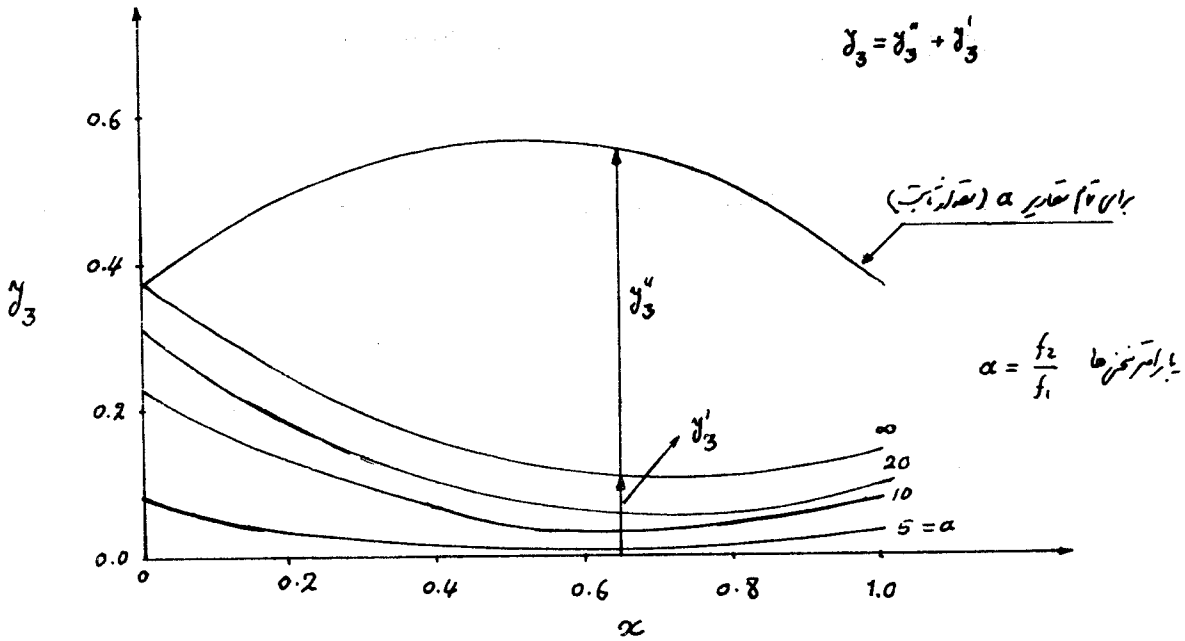
$$Y_3 = \frac{1}{B^2} \left[ \frac{3}{4} \int_0^\infty \int_0^{f+y} \omega'(f-x+y) \cdot \omega'(x) \cdot \omega'(y) dx dy + \frac{1}{4} \int_0^f \int_0^{f-y} \omega'(f-x-y) \cdot \omega'(x) \cdot \omega'(y) dx dy \right] \quad (48)$$

برای حالت  $\omega'(x) = 1$  در باند فرکانس  $f_1 \sim f_2$  مقادیر  $Y_2$  و  $Y_3$  بوسیله Wass و Brock bank (در مجله JIEE, Vol, 92, 1945, P III, No 17 ~ 20) محاسبه شده که نتیجه آن در اشکال (3) و (4) آمده است.



شکل (3)، فاکتور مدولاسیون داخلی مرتبه دوم

$$\gamma_3 = \gamma_3'' + \gamma_3'$$



$$\alpha = \frac{f_2}{f_1}$$

بالاترین فرکانسها

شکل (۴): نمودار مدولاسیون داخلی مرتبه سوم

**نبره ۱:**

در یک تقویت کننده معمولی  $t_2$  به مقدار 20 dB از  $t_3$  بیشتر است .

**نبره ۲:**

درسیستهای تکرار کننده شامل چند تکرار کننده .

الف نویزهای غیرخطی مرتبه دوم در فازهای random قرار دارند . لذا جمع آنها طبق قانون جمع قدرتها (Power addition) انجام میگیرد .

ب - نویزهای غیرخطی مرتبه سوم از نوع  $(A+B-C)$  در فاز یکسان هستند و جمع آنها طبق قانون جمع جریان انجام میگیرد ، در صورتیکه نوع دیگر از قانون جمع قدرت پیروی میکند .

**نبره ۳:**

درسیستم های تکرار کننده کاربر نویزهای مدولاسیون از نوع  $(A+B)$  ،  $(A-B)$  ، و  $(A+B-C)$  دارای بیشترین درجه اهمیت میباشند .

**۵ - قدرت سیگنال درسیستمهای چندکانالی کاربر :**

قدرت سیگنال درسیستمهای چندکانالی کاربر مطابق توصیه C.C.I.T.T. (توصیه G. 223 کتاب سفید) تحت عنوان بار قراردادی بطریق زیر تعریف میشود :

بمنظور محاسبه نویز مدولاسیون داخلی ( نویز غیرخطی ) در زیر نقطه اشباع فرض شده که میتوان سیگنال مولتیپکس را در هنگام ساعات اشغال بوسیله یک سیگنال نویز random با طیف یکنواخت نمایش داد که متوسط لول قدرت مطلق آن در نقطه با لول نسبی صفر  $(10 \log P(N))$  بوسیله فرمول زیر محاسبه میشود :

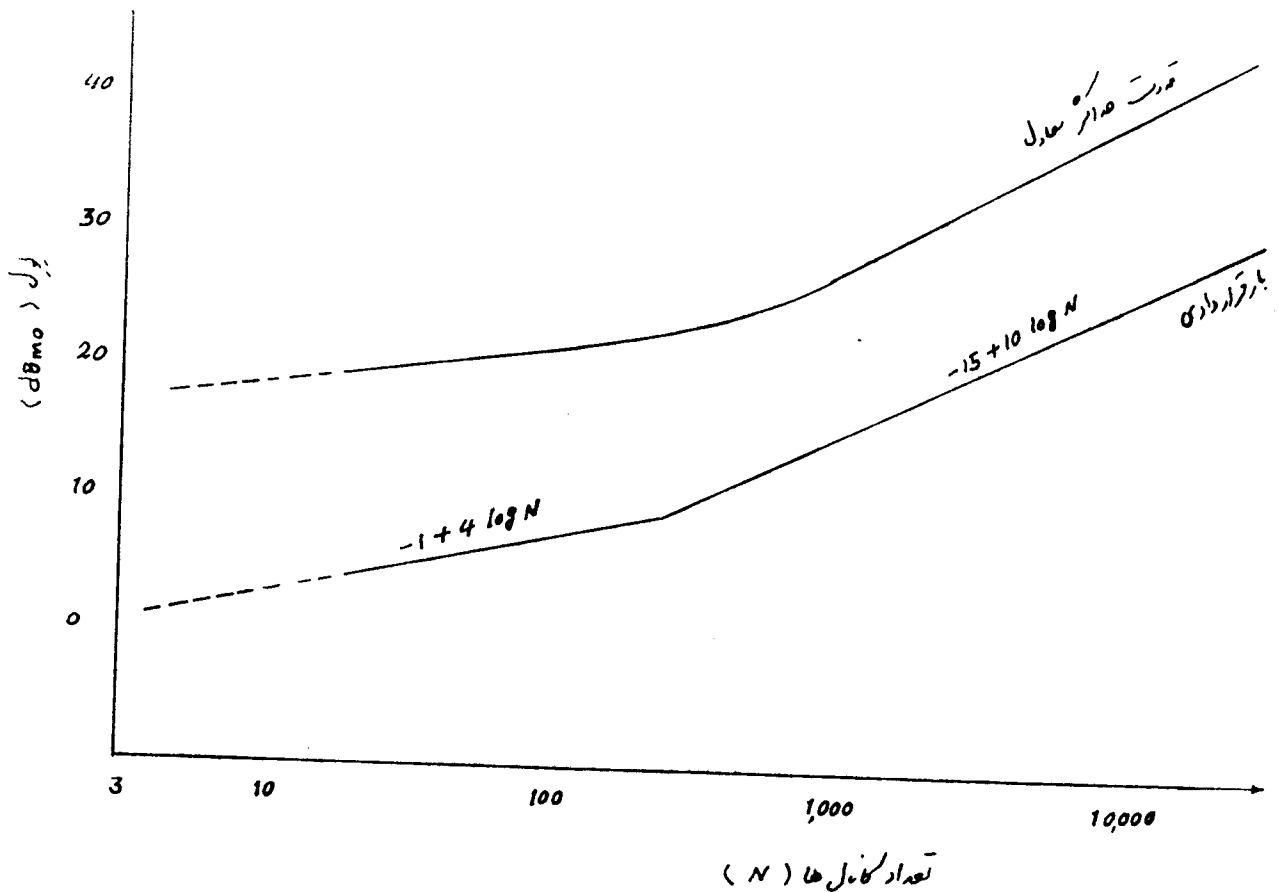
$$10 \log_{10} \bar{P}(N) = -15 + 10 \log_{10} N \text{ dB} \quad \text{برای } N \geq 240 \quad (49)$$

$$10 \log_{10} \bar{P}(N) = -1 + 4 \log_{10} N \text{ dB} \quad \text{برای } 12 \leq N < 240 \quad (50)$$

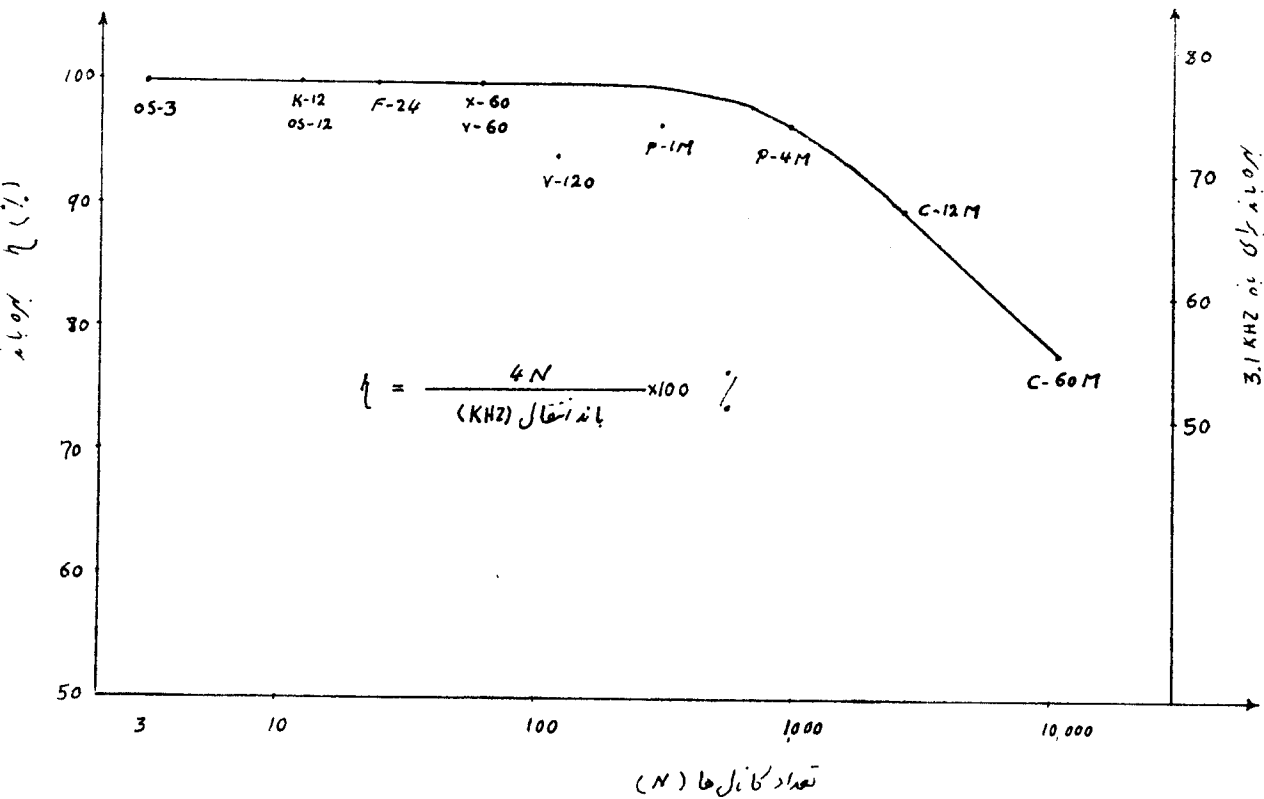
$N$  عبارتست از تعداد کانالهای تلفنی در سیستم .

برای تعیین نقطه اشباع (over Load Point) تقویت کننده لازم است که حداکثر دامنه سیگنال ورودی به تقویت کننده مورد توجه قرار گیرد منحنی b از شکل (5) لول ماکزیمم قدرت معادل

شکل (5) ، قدرت سیگنال برابر فرکانس "سیستم کاربر"



شکل (۶): بهره‌باند برابر یعنی از سیستم‌های موجود



یک سیگنال مولتیپلکس را برحسب تعداد کانالهای سیستم مشخص می‌نماید که باید جهت طرح نقطه‌اشباع در تقویت‌کننده‌ها از آن استفاده گردد. این منحنی با استفاده از منحنی b در شکل (۷) از مقاله Halbrook و Dixon با در نظر گرفتن مقدار قراردادی (-15dBm) که بوسیله C.C.I.T.T. برای قدرت متوسط هر کانال توجیه شده بدست آمده، این منحنی هنگامی استفاده میشود که هیچگونه محدودکننده دامنه‌ای در ورودی کانال و همچنین هیچگونه Pre-emphasis در باند کلی سیگنال مولتیپلکس موجود نباشد.

۶ - نویز مدولاسیون داخلی (غیرخطی) در سیستمهای تکرارکننده:

نویز مدولاسیون داخلی مرتبه دوم:

نویز مرتبه دوم تولید شده در یک تکرارکننده عبارت خواهد بود از:

$$n_2 = 4t_2P^2 \frac{b}{B} y_2$$

یا :

$$N_2 = 10 \log n_2 = 6 + T_2 + 2P + K_B + Y_2 \quad (51)$$

که در آن :

$$T_2 = 10 \log t_2 \quad \text{dB}_m$$

$$P = 10 \log P \quad \text{dB}_m$$

$$K_B = 10 \log \frac{b}{B} \quad \text{dB}$$

$$Y_2 = 10 \log Y_2 \quad \text{dB}$$

و بالاخره نویز مرتبه دوم در خروجی تکرار کننده (n) ام برابر خواهد شد با :

$$N_{2n} = 6 + T_2 + 2P + K_B + Y_2 + 10 \log n \quad (51)$$

در صورتیکه S لول سیگنال در خروجی تکرار کننده باشد مقدار نسبی نویز سوفومتري عبارت خواهد بود از :

$$W_2 = K_{ps} + 6 + T_2 + 2P + K_B + Y_2 + 10 \log n - S \quad (52)$$

یا :

$$W_2 = K_{ps} + 6 + Y_2 + K_B + T_2 + 2(P_0 + S) + 10 \log n - S$$

$$= K_{ps} + 6 + Y_2 + K_B + T_2 + 2P_0 + 10 \log n - S \quad (53)$$

$P_0$  عبارتست از مقدار بار قراردادی در نقطه با لول نسبی صفر .

### ۶، ۱ - نویز مدولاسیون داخلی مرتبه سوم :

نویز مدولاسیون داخلی مرتبه سوم تولید شده در یک تکرار کننده برابر است با :

$$n_3 = 24 t_3 P^3 \frac{b}{B} Y_3$$

$$N_3 = 10 \log n_3 = 13.8 + T_3 + 3P + K_B + Y_3 \quad (54)$$

که در آن :

$$T_3 = 10 \log t_3 \quad \text{dB}_m$$

$$K_B = 10 \log \frac{b}{B} \quad \text{dB}$$

$$Y_3 = 10 \log Y_3 \quad \text{dB}$$

و بالاخره نویز مرتبه سوم در خروجی تکرار کننده (n) ام برابر است با :

$$N_{3n} = 13.8 + T_3 + 3P + K_B + Y_3 + 20 \log n \quad (55)$$

در صورتیکه S لول سیگنال در خروجی تکرار کننده باشد مقدار نسبی نویز سوفومتري ( قدرت نویز سوفومتري در نقطه با لول نسبی صفر ) عبارت خواهد بود از :

$$W_3 = K_{ps} + 13.8 + T_3 + 3P + K_B + Y_3 - S + 20 \log n$$

$$= K_{ps} + 13.8 + T_3 + 3P_o + K_B + Y_3 + 2S + 20 \log n \quad (56)$$

### ۷ - طرح سیستم‌های تکرار کننده :

روابط بین ضرایب طرح برای سیستم‌های تکرار کننده را میتوان با جانشین کردن مقادیر تقریبی از معادلات ذکر شده بترتیب زیر بدست آورد .

الف - نویز اصلی :

$$W_N = N_{ps} + N_o + N_F + G_A + 10 \log n - S$$

ب - نویز مدولاسیون داخلی مرتبه دوم :

$$W_2 = K_{ps} + 6 + Y_2 + K_B + T_2 + 2P_o + 10 \log n + S$$

ج - نویز مدولاسیون داخلی مرتبه سوم :

$$W_3 = K_{ps} + 13.8 + Y_3 + K_B + T_3 + 3P_o + 20 \log n + 2S$$

برای بعضی از فاکتورها در معادلات فوق مقادیر زیر در نظر گرفته شده :

$$K_{ps} = -2.5 \quad \text{dB} \quad (\text{برای باند صوتی } 3.1 \text{ KHz})$$

$$N_o = -139 \quad \text{dB}_m \quad (\text{نویز حرارتی در } 300^\circ\text{K})$$

$$N_F = 10 \quad \text{dB} \quad (\text{عدد نویزی})$$

$$Y_2 = -3 \quad \text{dB} \quad \text{ضریب مدولاسیون داخلی مرتبه دوم « با استفاده از شکل ۳ »}$$

$$Y_3 = -3 \quad \text{dB} \quad \text{ضریب مدولاسیون داخلی مرتبه سوم « با استفاده از شکل ۴ »}$$

$K_B$  نسبت باند برابر است با :

$$K_B = 10 \log \frac{\text{باند کانال}}{\text{باند انتقال}}$$

طبق شکل (۶) ملاحظه میشود که برای سیستمهایی که تعداد کانالهای آنها (N) کمتر از ۶ میباشد باند انتقال برابر  $4N \text{ KHz}$  میباشد لذا فرمول فوق بصورت زیر درمیآید :

$$K_B = 10 \log \frac{3.1}{4N} = -1.1 - 10 \log N \quad (57)$$



$P_o$  بار قراردادی بوده و برابر است با :

$$P_o = -1 + 4 \log N \quad \text{برای} \quad 12 \leq N < 240$$

با توجه به مقادیر فوق معادلات مربوط به نویز بصورت زیر درمیآید .

$$\begin{aligned} W_N &= -2.5 - 139 + 10 + G_A + 10 \log n - S \\ &= -131.5 + G_A + 10 \log n - S \end{aligned} \quad (58)$$

$$\begin{aligned} W_2 &= -2.5 + 6 - 3 - 1.1 - 10 \log N + T_2 + 2(-1 + 4 \log N) + 10 \log n - S \\ &= -2.6 - 2 \log N + T_2 + 10 \log n + S \end{aligned} \quad (59)$$

$$\begin{aligned} W_3 &= -2.5 + 13.8 - 3 - 1.1 - 10 \log N + T_3 + 3(-1 + 4 \log N) + 20 \log n + 2S \\ &= 4.2 + 2 \log N + T_3 + 20 \log n + 2S \end{aligned} \quad (60)$$

ازطرفی داریم :

$$G_A + 10 \log n = \frac{L_s}{n} + 10 \log n$$

که در آن  $L_s$  ماکزیمم تضعیف خط میباشد .

برای  $N=12$  معادلات بالا در شکلهای  $\nu$  و  $\wedge$  نشان داده شده است .

۸ - مثال :

۱ ، ۸ - احتیاجات :

الف - تعداد کانال :  $N=12$  ، ماکزیمم فرکانس 150 KHz

ب - نوع خط : خط هوایی دو سیمه با ماکزیمم افت 0.4 dB/Km

ج - فاصله : 2500 Km

د - نویز :

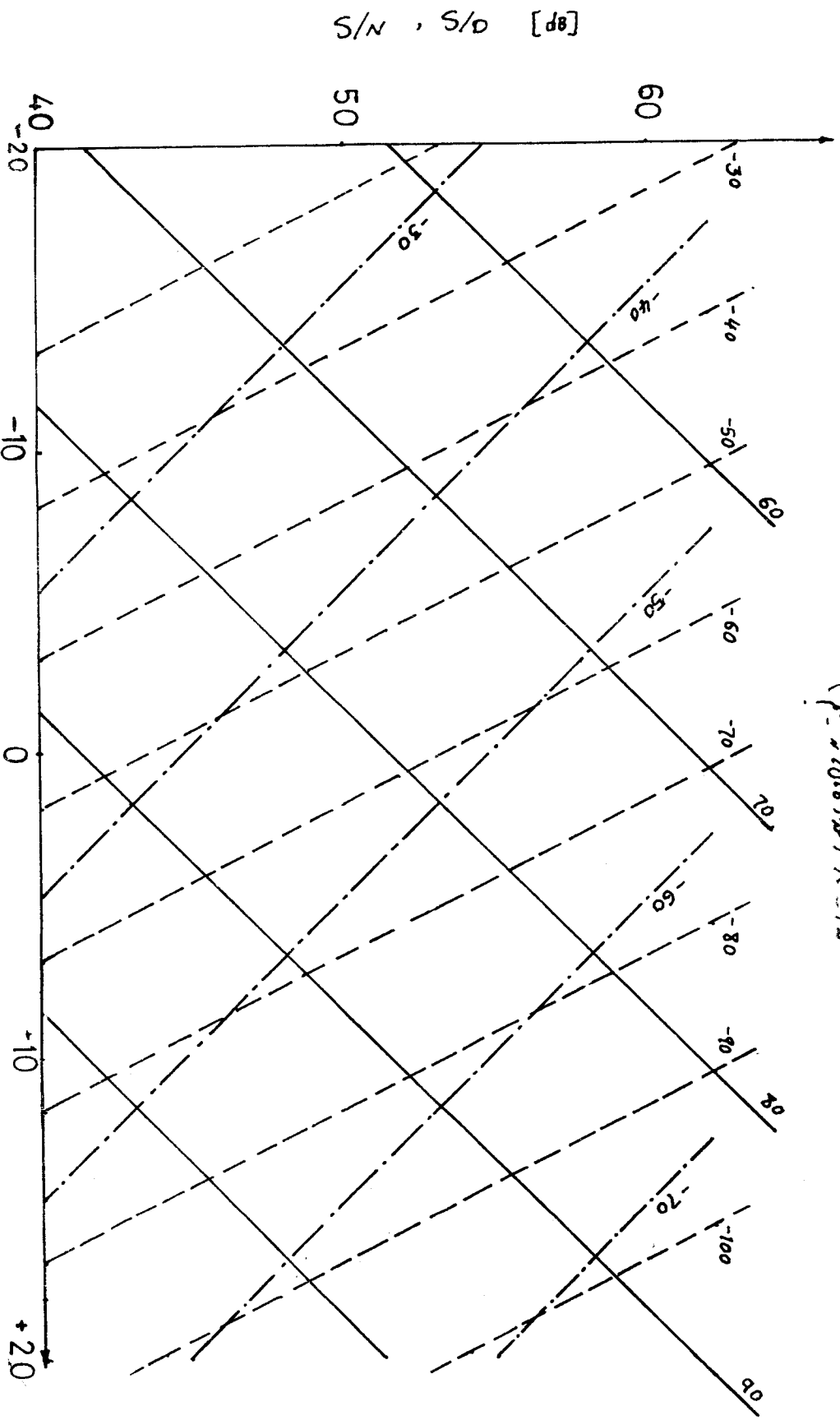
6,500 pW	داخلی
10,000 pW	کروس تآك
1,000 pW	انواع دیگر
<hr/>	
17,500 pW	نویز کلی خط

ه - لول سیگنال ارسالی ، +17 dBr

نسخ (۷) نویز داخلی برابر اولی در مختلف سیگنال

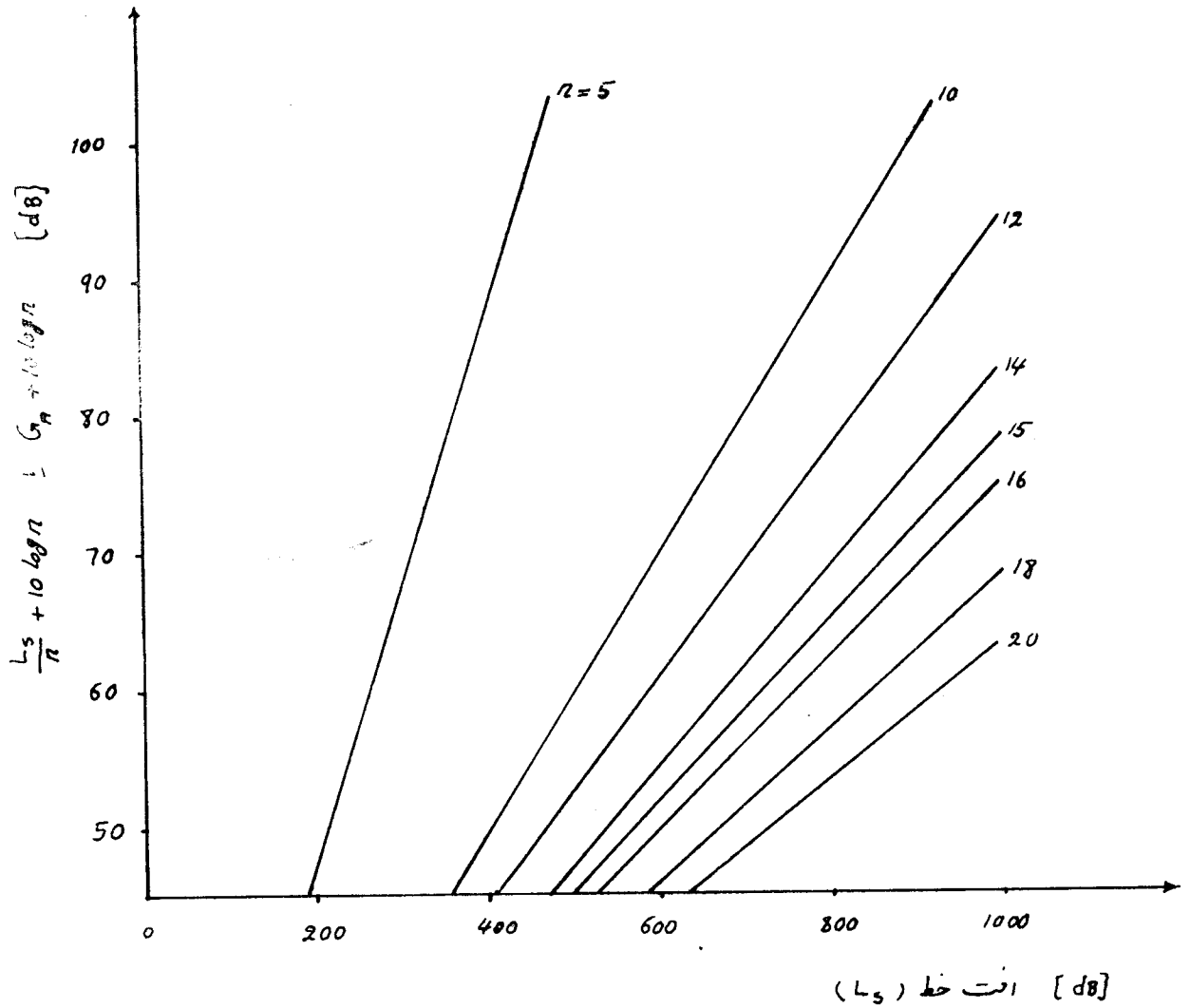
- S/N (  $G_A + 10 \log n$  ) (بالاتر نمی ها)
- - - S/D<sub>2</sub> (  $T_2 + 10 \log n$  ) ( " )
- - - S/D<sub>3</sub> (  $T_3 + 20 \log n$  ) ( " )

( تعداد کانال = ۱۲ )



برون نویسی سیگنال (۷۸۳)

شکل (۸): مشخصه لازم جهت محاسبه نویز اساسی در طرح سیستم‌ها



۸،۲ - طرح :

طبق مشخصات فوق برای نویز داخلی داریم :

$$W = W_N + D_2 + D_3 = 6500 \text{ pW}$$

اما برای محاسبه مشخصات سیستم لازم است که طبق شکل (۷) مقدار هر کدام از نویزها ( $D_2$ )

یا  $D_3$  یا  $W_N$ ) بدست آید .

اگر ما کمترین مقدار سه نوع نویز را یکسان فرض کنیم داریم :

$$W = 3W_N = 6500 \text{ pW}$$

یا :

$$10 \log W = 10 \log 3 + 10 \log W_N = 10 \log 6500 = -52 \text{ dB}_m$$

یا :

$$W_N = -57 \text{ dB}_m$$

که با در نظر گرفتن 3dB بعنوان حاشیه (margin) خواهیم داشت :

$$W_N = -60 \text{ dB}_m$$

در محاسبات فوق فرض شده که ما کزیم مقدار سه نوع نویز در یک فرکانس بوجود میآید ، در صورتیکه عملاً چنین نیست بلکه ما کزیم آنها در فرکانسهای مختلف میباشد ، لذا برای تصحیح در محاسبه یک ضریب تصحیح برابر 2dB در نظر میگیریم در این صورت :

$$W_N = -58 \text{ dB}_m$$

و چون این مقدار ، برای نویز در نقطه با لول نسبی صفر میباشد لذا میتوان گفت که  $S/N = 58 \text{ dB}$  میباشد .  
با استفاده از شکل (v) و با در نظر گرفتن لول نسبی سیگنال برابر  $S = 17 \text{ dB}$  و همچنین مقدار  $S/N = 58 \text{ dB}$  مقادیر زیر بدست خواهد آمد .

$$G_A + 10 \log n = 91 \text{ dB}$$

$$T_2 + 10 \log n = -61 \text{ dB}$$

$$T_3 + 20 \log n = -98 \text{ dB}$$

با استفاده از شکل (۸) با در نظر گرفتن :

$$L_s = 0.4 \times 2500 = 1000 \text{ dB}$$

و :

$$G_A + 10 \log n = 91 \text{ dB}$$

ملاحظه میشود که باید  $n \geq 13$  باشد .

با در نظر گرفتن مقادیر فوق فاکتورهای طرح عبارت خواهند شد از :

$$G_A \leq 79 \text{ dB}$$

$$T_2 \leq -83 \text{ dB} \quad \text{در لول سیگنال } 0 \text{ dB}_m$$

$$T_3 \geq -122 \text{ dB}_m \quad \text{» } \text{»}$$

$$n \geq 13$$

نقطه اشباع تکرارکننده را میتوان با استفاده از شکل (ه) بدست آورد .

$$\text{نقطه اشباع} = 19 \text{ dB}_m + 17 \text{ dB} = 36 \text{ dB}_m$$

لول نسبی مورد نیاز سیگنال در خروجی تقویت کننده (تکرارکننده)  
 محاسبه شده در شکل (ه) در نقطه با لول نسبی صفر

۹ - ضمیمه :

۹، ۱ - نویز حرارتی :

الکترونهاى موجود در هادی در اثر حرارت هادی مقداری انرژی بدست میآورند ، با اینکه انحراف جزئی در مقدار پذیر مشخص شده نسبت به محتمل ترین توزیع انرژی خیلی کوچک است ولی قادر است که پتانسیل نویز در داخل هادی بوجود آورد .

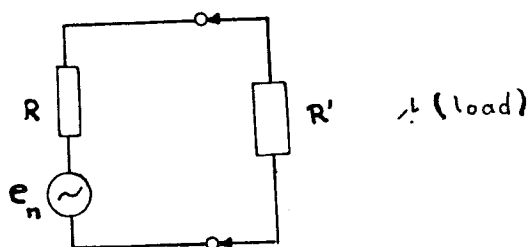
این انحرافات تصادفی (Random) که بوسیله حرکت حرارتی (Thermal Agitation) الکترونها بوجود میآید بنام نویز حرارتی (thermal noise) یا Johnson Noise خوانده میشود ، مقدار مؤثر (rms) ولتاژ ایجاد شده در یک باند فرکانس

$$B = f_2 - f_1$$

برابر است با :

$$e_n^2 = 4KTBR$$

در این صورت مدار معادل مقاومت با در نظر گرفتن نویز چنین میشود .



در صورتیکه تطبیق امپدانس وجود داشته باشد در این صورت ما کزیمم توان بوسیله مقاومت بار

جذب میشود که مقدار آن برابر :

$$P_{an} = \frac{e_n^2}{4R} = KTB$$

بنابراین ملاحظه میشود که در حالت تطبیق امپدانس مقدار  $P_{an}$  مستقل از امپدانس ورودی یا خروجی میباشد .

### ۹،۲ - نویز اساسی ( اصلی )

رابطه (۳) را میتوان بصورت زیر بدست آورد :

$$N_{in} = N_o = \text{Thermal Noise}$$

$$N_{out} = N_t = \text{Total Noise}$$

$$S_{in}/S_{out} = \frac{1}{g}$$

$$NF = (S/N)_{in}/(S/N)_{out}$$

$$N_F = 10 \log(N_t/N_o) + 10 \log \frac{1}{g}$$

$$N_F = N_t - N_o - G$$

$$N_t = N_F + N_o + G$$

### ۹،۳ - نویز غیر خطی :

رابطه (۱۷) را میتوان بطریق زیر بدست آورد :

$$K = \frac{A_1^2}{a_2^2 \cdot A_1^2 \cdot A_2^2} + \frac{A_2^2}{a_2^2 \cdot A_1^2 \cdot A_2^2} = \frac{(A_1^2 + A_2^2)}{a_2^2 \cdot A_1^2 \cdot A_2^2}$$

$$P_f = \frac{(A_1^2 + A_2^2)}{2R}$$

$$K = \frac{2RP_f}{a_2^2 \cdot A_1^2 \cdot A_2^2}$$

$$D = \frac{P_f}{K} = \frac{1}{2R} \cdot a_2^2 \cdot A_1^2 \cdot A_2^2 = a \cdot \frac{A_1^2}{2R} \cdot \frac{A_2^2}{2R} \cdot 2R$$

$$t_2 = \frac{1}{2} a_2^2 \cdot R$$

$$D = 2R a_2^2$$

$$D = 4t_2 P_1 P_2$$

جدول ۱ : حدود نویز توصیه شده بوسیله CCITT

حدود مخصوص		حدود کلی					نوع سیستم		
خطوط هوایی	برای هر مسافت کوتاه	تمام سیستم‌ها	کابل زیر دریائی	ارتباط کابل	مدارهای تلفنی				
بیش از ۲۵۰۰ کیلومتر	۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلومتر	معمولاً و مدار در هر شبکه داخلی	یک سلسله متشکل از شش مدار بین المللی	مدارهای بطول از ۲۵۰۰ تا حدود ۲۵۰۰۰ کیلومتر	مدارهای بطول از ۲۵۰۰ تا حدود ۲۵۰۰۰ کیلومتر	مدار بین المللی و مدار داخلی متصل به مدار بین المللی چهار سیمه و بطول از ۲۸۰ تا ۲۵۰۰ کیلومتر	مدارهای تلفنی		
G. 153	G. 311	G. 125	G. 143	G. 123	G. 153	G. 152 G. 212 G. 212	توصیه های CCITT		
مدار بطول ۱۰۰۰۰ کیلومتر	H. R. C بطول ۲۵۰۰ کیلومتر	یک مدار	یک سلسله مدار بطول ۲۵۰۰۰ کیلومتر		مدار ۷۵۰۰ کیلومتر	H. R. C بطول ۲۵۰۰ کیلومتر یا مدار واقعی شبیه	مدار مبناء فرضی (H. R. C) یا مدار نمونه		
50,000pw	20,000pw	2000pw	50,000pw			10,000pw	کلی	حدود های توصیه شده	
	2500pw		حدود 6000 تا 8000pw			2500	وسایل ترمینال		A*
	17500pw		حدود 1.5pw/km	1pw/km	15000 pw یعنی 2pw/km یا بهتر	7500 pw یعنی 3pw/km	خط		B*
						7500pw	خط		C*
					0.3%	0.1%	47500 pw 50000 pw		
					0.03%	0.01%	D*	قدرت unweighted	

A : قدرت متوسط نویز در هر ساعت

B : قدرت متوسط نویز در هر دقیقه برای بیش از ۲۰٪ هر ماه

C : درصدی (٪) از یک ماه که درحین آن قدرت سوفوتری یک دقیقه میتواند از مقدار تعیین شده تجاوز نماید :

D : درصدی (٪) از یک ماه که درحین آن قدرت اندازه گیری شده یا محاسبه شده در ه میلی ثانیه می تواند از  $10^6pw$  تجاوز نماید.

## واژه‌های فنی بکار برده شده

Active	اکتیو
Basic noise	نویز اصلی
Cross-talk	کروس تاک
Conventional load	بار قراردادی
External noise	نویز خارجی
Internal noise	نویز داخلی
Intermodulation noise	نویز مدولاسیون داخلی - نویز غیرخطی
Induced noise	نویز القائی
Loss	افت
Multiplex	مولتیپلکس
Noise Figure	عدد نویزی
Over load point	نقطه اشباع
Psophometric	سوفومتري
Recommendation	توصیه - پیشنهاد
Thermal noise	نویز حرارتی

## فهرست مراجع

- 1 - Bell Telephone Laboratories : Transmission systems for Communication.
- 2 - BENNET. WR : Cross Modulation in Multi-channel Amplifier below over load. Bell SYS . tech. J. 19 (1940), PP-587-610.
- 3 - BLACK. BS : Stabilized Feedback Amplifiers Bell Syst. J. 13 (1934) : PP. 1-18.
- 4 - BROCK BANK, RA & Wass, CAA : Non-linear Distortion in Transmission Systems. J. Inst. Elect. Eng. 92 (1945) : part III, PP. 45-56.
- 5 - C.C.I.T.T. : White Book.
- 6 - HOLBROOK, BD & DIXON, I. T : Load Rating Theory for Multi-Channel Amplifiers. Bell SYS. tech J. 18 (1939) : 4, PP. 624-644.
- 7 - JACOBSEN, BB : The Effect of Non-linear Distortion in Multi-Channel Amplifiers . Elect. Commun. 19 (1940) : 1, PP. 29-54.