وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

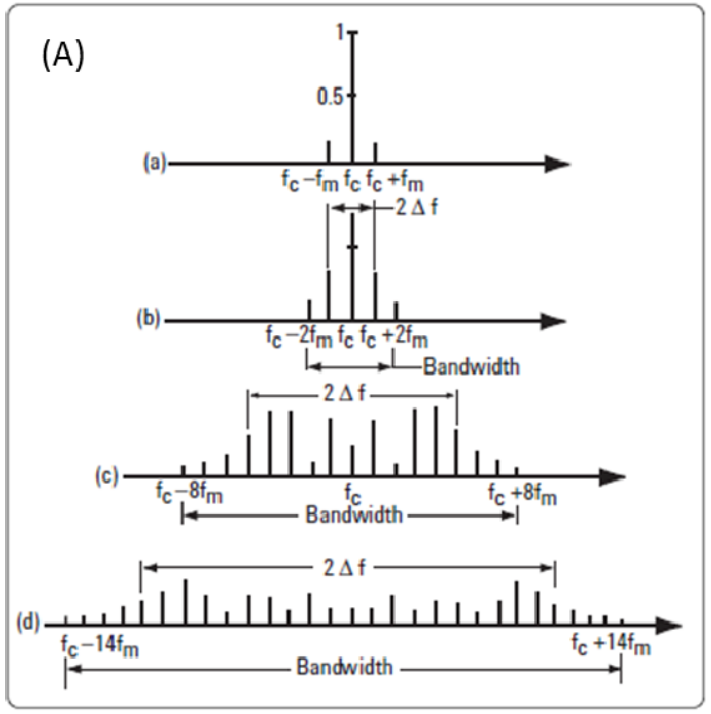
سیستمهای مخابراتی

جلسه ۱۶

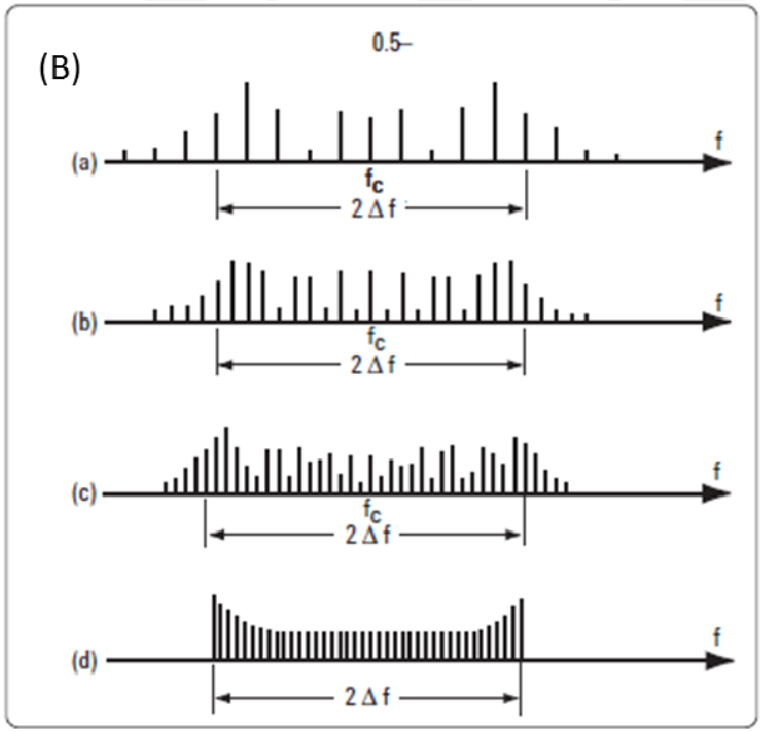
مهندس محمد هاشمی‌نژاد

مدولاسیون FM

- پهنای باند FM: تک فرکانس $x(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$,$\Delta f = f_\Delta A_m$,$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$



A: f_m ثابت و A_m متغیر



B: f_m متغیر و A_m ثابت

- در حالت کلی نا محدود – تعیین تقریبی
- f_m ثابت – فاصله مؤلفه‌های طیفی ثابت
- افزایش β – افزایش تعداد مؤلفه‌های با دامنه قوی
- f_m متغیر – افزایش مؤلفه‌ها، پهنای باند ثابت $2\Delta f$
- پس در حالت دوم β تأثیر چندانی بر پهنای باند ندارد.

Https://www.drisnet.com

مدولاسیون FM

- تقریب ۱ برای پهنای باند:

- $BW \simeq 2\Delta F \quad \Delta f = f_\Delta A_m, \beta = \frac{\Delta f}{f_m}$

- تقریب بهتر که به رابطه کارلسون معروف است:

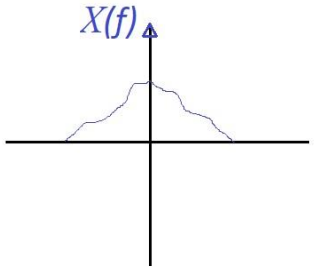
- $B_T \simeq 2\Delta f\left(1+\frac{1}{\beta}\right) \Rightarrow B_T = \begin{cases} 2f_m & \beta \ll 1 \\ 2\Delta f & \beta \gg 1 \end{cases}$

- تمام نتایج تقریبی فوق برای حالت ورودی تک فرکانس است (طیف فقط در f_m) که در عمل وجود ندارد.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

مدولاسیون FM

- برای حالت کلی اگر پهنای باند ورودی را W در نظر بگیریم، کار بسیار مشکلتر می‌شود و از تقریب دیگری استفاده می‌کنیم.



- هر فرکانس در اینجا طیف مزبور را می‌دهد.
- در این حالت کلی فاصله مؤلفه‌های فرکانسی بر اساس f_m تغییر می‌کند.
- برای تقریب در اینجا به جای β، پارامتر D را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

- $D = \frac{\Delta f}{W}$
- $B_T \simeq 2\Delta f \left(1 + \frac{1}{D}\right) = 2(D+1)W$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

مدولاسیون FM

- مثال: برای رادیوی FM مقدار $\Delta f = 75kHz$، $W = 15kHz$ استاندارد FM به صورت ۴ برابر پهنای باند صوت است.

- $D = \frac{75}{15} = 5 \Rightarrow B_T \simeq 150(1.2) \simeq 180kHz$

- اهمیت مقدار پهنای باند بدست آمده این است که می‌فهمیم چه تعداد کانال را می‌توانیم راه بیاندازیم.

- در عمل فاصله‌ای که برای FM در نظر می‌گیریم $200kHz$ است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

مدولاسیون FM

- سوالاتی که در خصوص FM مطرح می‌شود:

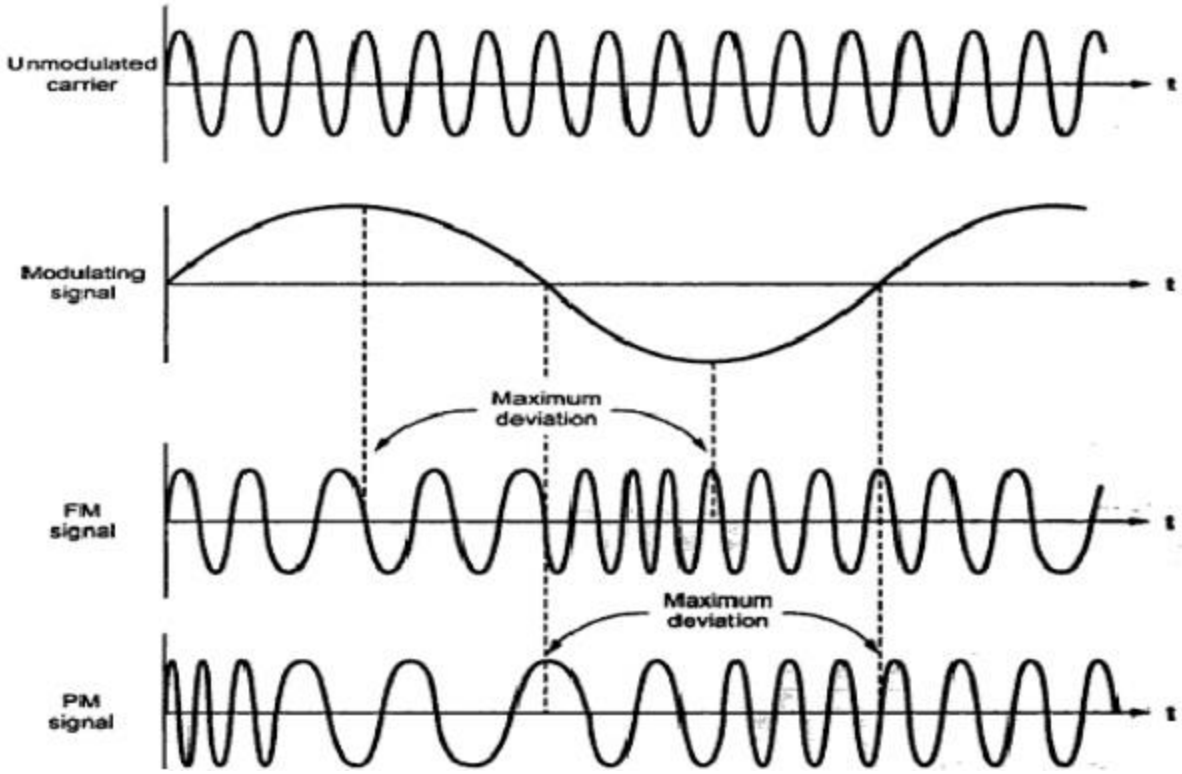
1 اثر این مدولاسیون بر کاهش نویز ⁉

2 اثر بر پیچیدگی گیرنده ⁉

3 اثر روی پهنای باند. نسبت به SSB بیش از ۱۰ برابر است.😮

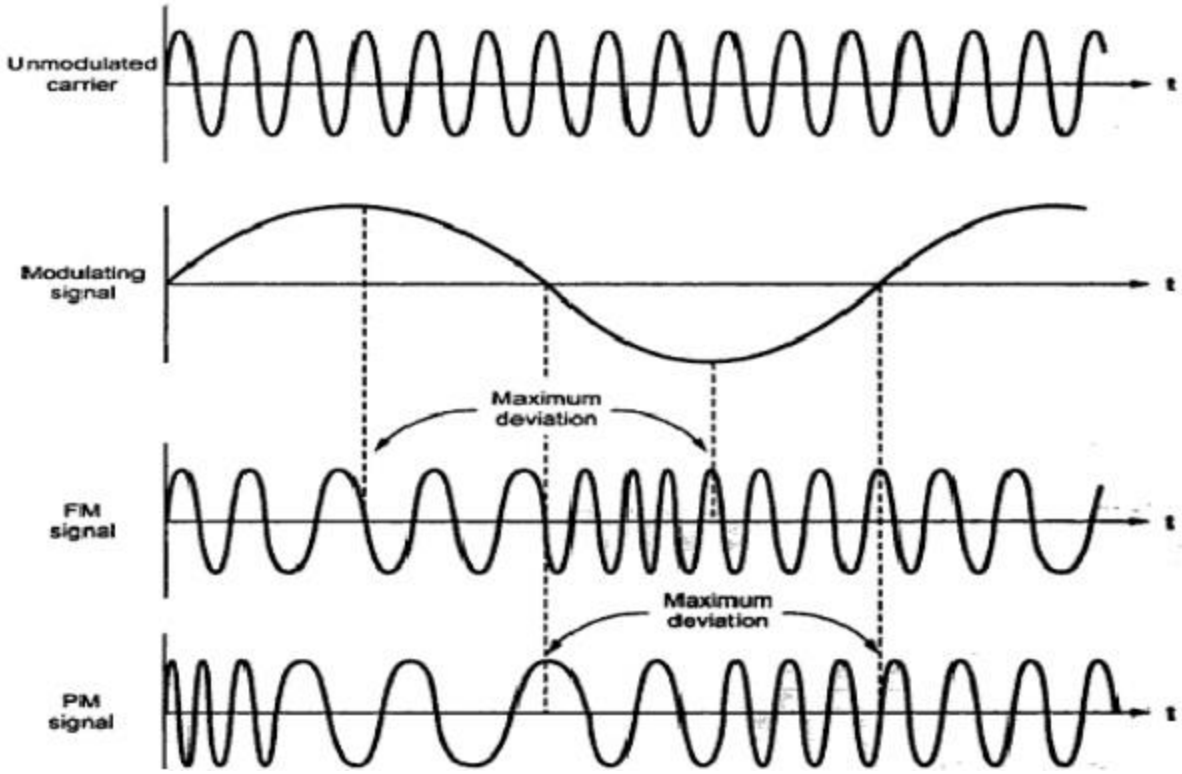
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

مدولاسیون FM



- **مدولاتورها و آشکارسازهای *FM*:**
- چطور می‌توان اطلاعات دامنه را به تغییر در فرکانس تبدیل کرد؟
- اجزای مدولاتور؟!

مدولاسیون FM



- در یک مدار LC که فرکانس تولید می‌کند فرکانس برابر است با $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ در شرایط ایده‌آل این مدار سیگنال تک فرکانس تولید می‌کند.
- اگر خازن متغیری در مدار LC بگذاریم که تغییر آن وابسته به ولتاژ ورودی باشد کار تبدیل ذکر شده انجام می‌شود. این المان می‌تواند یک ترانزیستور یا دیود باشد.
- به چنین مداری *Voltage Controlled Oscillator(VCO)* گفته می‌شود که یک مدار خیلی مهم است.

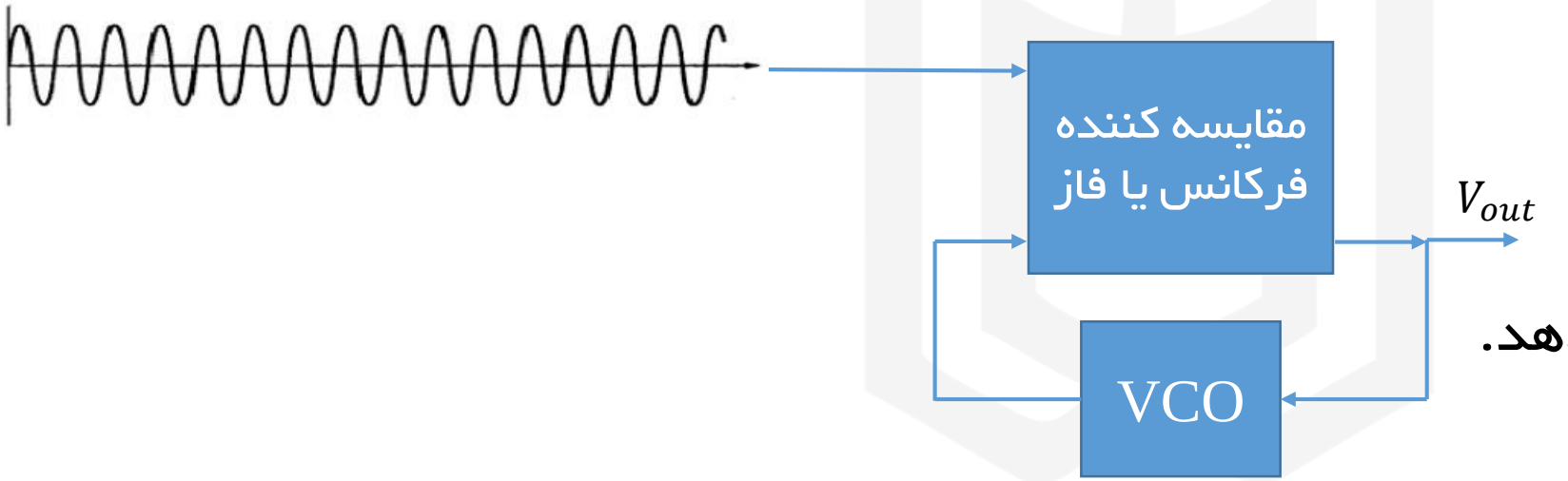
مثال

- $c(x) = c_0 - cx(t)$ اگر $\left|\frac{c}{c_0}x(t)\right| \ll 1$ باشد در نتیجه $\omega_c(t) = \frac{1}{\sqrt{LC(t)}}$
- $\Rightarrow \omega_c(t) = 2\pi f_c(t) \approx \frac{1}{\sqrt{LC_0}}\left[1 + \frac{c}{2c_0}x(t)\right]$
- این مدار در عمل مشکلات پیاده سازی زیادی دارد:
  - پایداری و حساسیت به المانها
  - قابلیت کنترل تغییرات فرکانس لحظه‌ای
- درس مدارهای مخابراتی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

آشکارساز FM

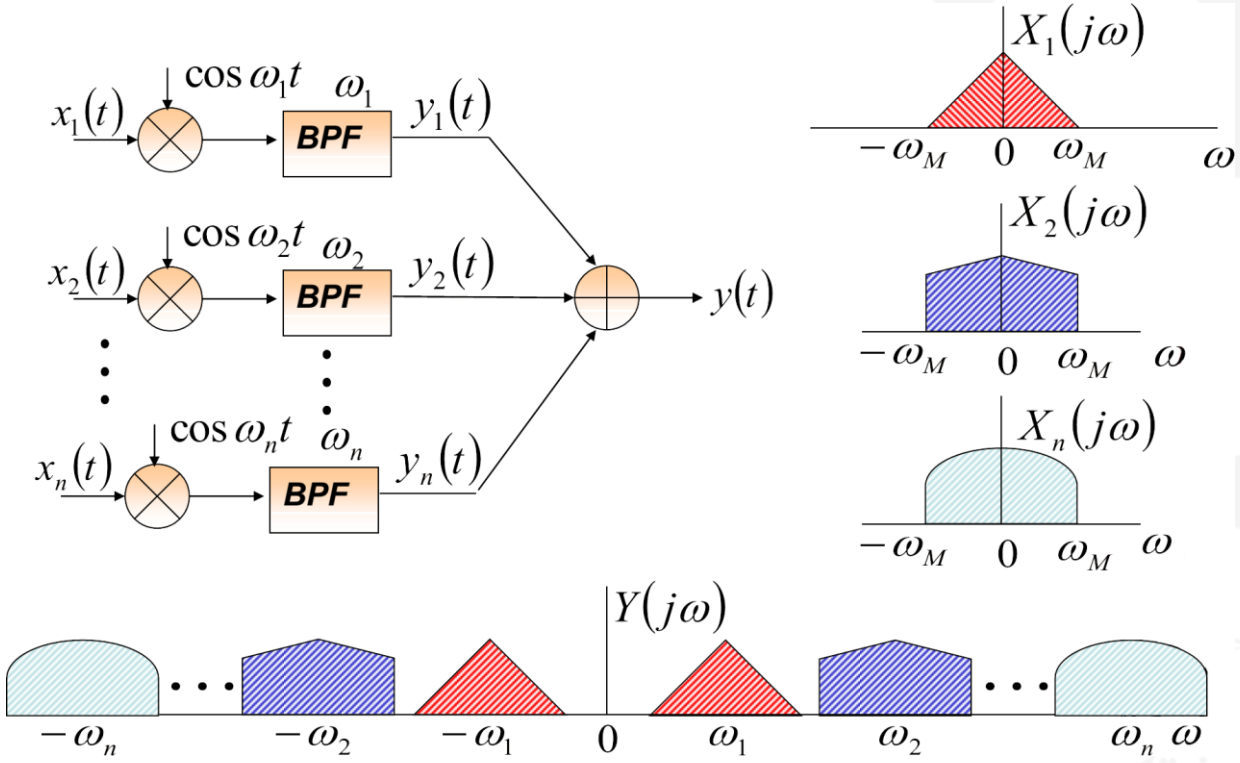
- آشکارسازی با استفاده از فیدبک
- پیدا کردن فرکانس سیستم تک فرکانس:



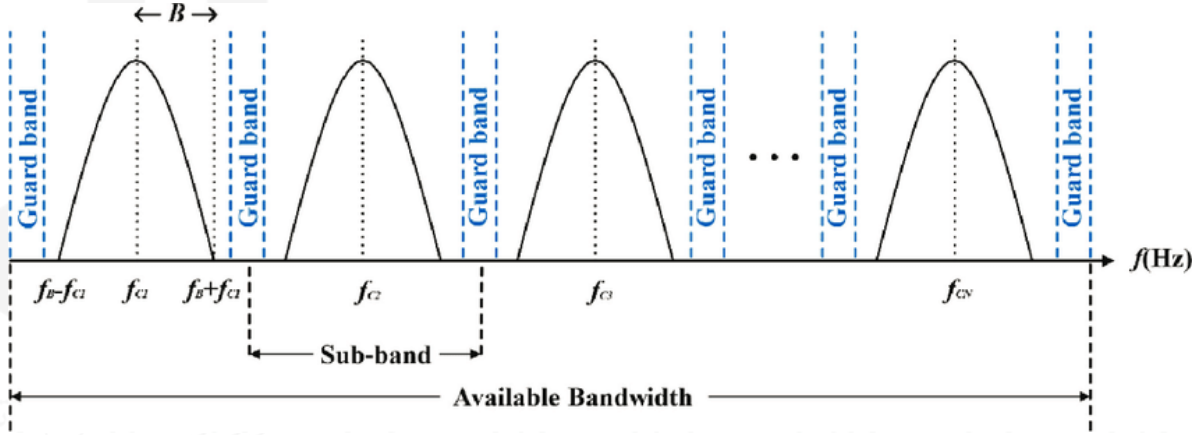
- Feedback magic
- این معکوس VCO را می‌دهد.

- می‌تواند ایده اولیه برای ساختن معکوس‌های مختلف باشد.
- این مشکل سنکرون کردن را حل می‌کند. Phase Lock Loop (PLL) (در آشکارساز SSB)

ارسال همزمان چند سیگنال



- فرکانس‌های حامل (Carrier) این سیگنالها باهم فرق می‌کند.
- مهمترین مسئله تداخل فرکانس‌های داخلی



- غیرخطی بودن
  - در فرستنده منجر به تداخل

Https://www.drisnet.com

مدولاسیون FM

- سوالاتی که در خصوص FM مطرح می‌شود:

1 اثر این مدولاسیون بر کاهش نویز ⁉

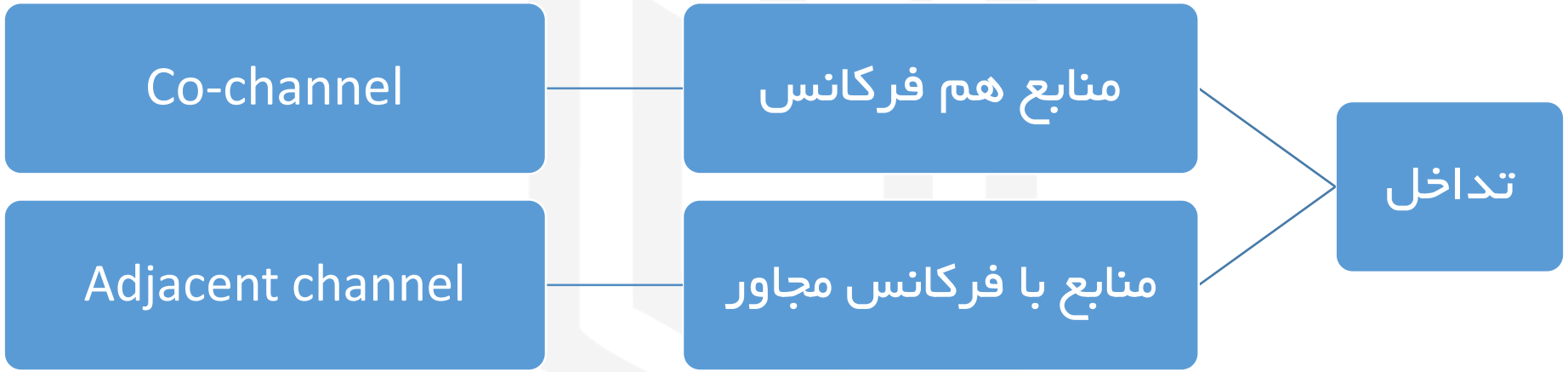
2 اثر بر پیچیدگی گیرنده 😯

3 اثر روی پهنای باند. نسبت به SSB بیش از ۱۰ برابر است.😯

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

تداخل

- منابع از خود سیستم مخابراتی هستند



- $v(t) = \underbrace{A_c \cos(\omega_c t)}_{\text{سیگنال اصلی}} + \underbrace{A_i \cos[(\omega_c + \omega_i)t + \phi]}_{\text{سیگنال تداخلی}}$

$x(t)=0$

اثر تداخل

- اثر تداخل در مدولاسیون‌های آنالوگ

- $v(t) = \underbrace{A_c \cos(\omega_c t)}_{\text{سیگنال اصلی}} + \underbrace{A_i \cos[(\omega_c + \omega_i)t + \phi]}_{\text{سیگنال تداخلی}}$

- سوال: اثر تداخل روی آشکارسازهای مختلف به چه صورت است؟

1. آشکارساز سنکرون
2. آشکارساز پوش
3. آشکارساز فاز و فرکانس

- برای ورودی صفر ← خروجی غیر صفر ← ناشی از تداخل سیگنال‌ها