



نام درس: روش‌های اندازه‌گیری پیشرفته – انتقال سیگنال اندازه‌گیری

جلسه دوازدهم

نام استاد: علی چائی بخش لنگرودی



دلایل نیاز به ارسال سیگنال‌ها به فواصل بسیار دورتر از نقطه‌ی اندازه‌گیری

شرایط محیطی اطراف نقطه اندازه‌گیری

حد نهایی دما، رطوبت، آب و هوا، دود و بخار

دوری نقطه اندازه‌گیری

مشکل رایج در سیستم‌های مانیتورینگ محیط زیست و آب و هوا

دوری اجزای یک سیستم کنترلی از یکدیگر

سیستم‌های کنترل نیروگاه، پالایشگاه‌ها، تاسیسات آب و فاضلاب و...



انواع روش‌های انتقال سیگنال

← الکتریکی

← نیوماتیکی

← نوری

← دورسنجی رادیویی

انتقال الکتریکی

انتقال به صورت ولتاژ متغیر

حفظ سیگنال‌ها در همان شکل، ساده‌ترین روش برای ارسال ولتاژهای متغیر آنالوگ

ارسال الکتریکی با مساله افت قدرت امواج و همچنین در معرض آسیب قرار گرفتن سیگنال‌ها توسط نویزهای القایی مواجهه است.



انتقال الکتریکی

اقدامات ضروری برای انتقال سیگنال:

۱ تقویت سیگنال‌ها، در صورتی که نسبت سیگنال به نویز از حد مشخصی بیشتر باشد.

۲ تقویت سیگنال در ورودی سیستم انتقال، نیازمند جبران افت قدرت سیگنال حاصل از مقاومت سیم انتقال سیگنال می‌باشد.

۳ استفاده از شیلد یا محافظ برای سیم‌های انتقال سیگنال



انتقال الکتریکی

انتقال توسط حلقه جریان:

- ▼ ایمنی بالایی در مقابل نویز حاصل از جریان‌های قوی الکتریکی
- ▼ استفاده از جریان‌های متغیر در بازه $4 \sim 20 \text{ mA}$ برای بیان سطح ولتاژ در سیگنال آنالوگ

استفاده از دو منبع جریان با ولتاژ کنترل شده به صورت زیر:

- ▼ منبع تغذیه جریان با خروجی ثابت 4 mA
- ▼ منبع تغذیه جریان با خروجی متغیر $0 \sim 16 \text{ mA}$ به صورت مدرج و متناسب با سطح ورودی ولتاژ



انتقال الکتریکی

انتقال توسط حلقه جریان

جریان خروجی:

تغییر جریان خروجی خالص از ۴ تا ۲۰ mA

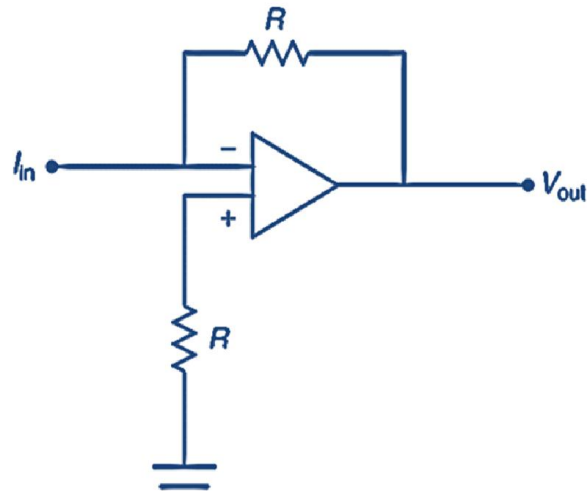


مطابق با

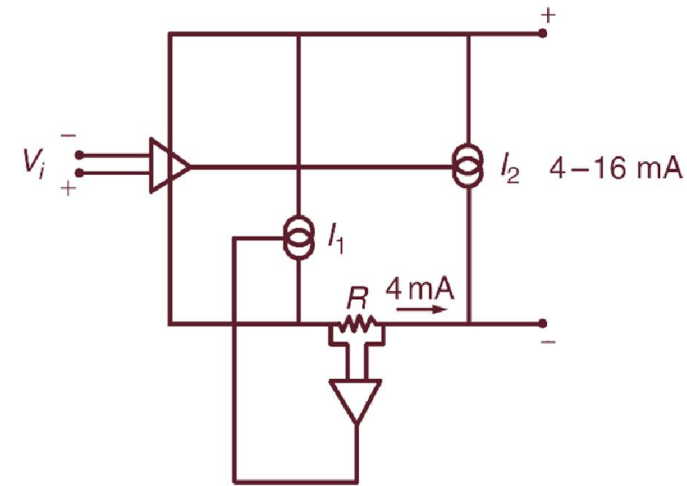
تغییر سطح سیگنال آنالوگ از صفر تا بیشترین مقدار

امکان تشخیص خطای انتقال با استفاده از مقدار جریان مثبت غیر صفر برای نمایش مقدار صفر سیگنال ارسال شده

انتقال الکتریکی



استفاده از یک تقویت‌کننده Op-amp :
برای تبدیل جریان به ولتاژ در پایان خط انتقال
برای بازتبدیل جریان‌های ارسال شده به ولتاژ



مبدل ولتاژ به جریان مشهور به واسط
حلقه جریان ۲۰~۴ mA است.



انتقال الکتریکی

انتقال با استفاده از حامل a.c.

● یکی از راه حل‌های رفع مشکل آسیب حاصل از نویز در سیگنال‌های d.c. با ولتاژ پایین، انتقال سیگنال‌ها به یک سیستم حامل a.c. قبل از انتقال و استخراج آن از حامل در پایان خط انتقال است.

● دو روش مدولاسیون دامنه (AM) و مدولاسیون فرکانسی (FM)



انتقال الکتریکی

روش مدولاسیون دامنه (AM):

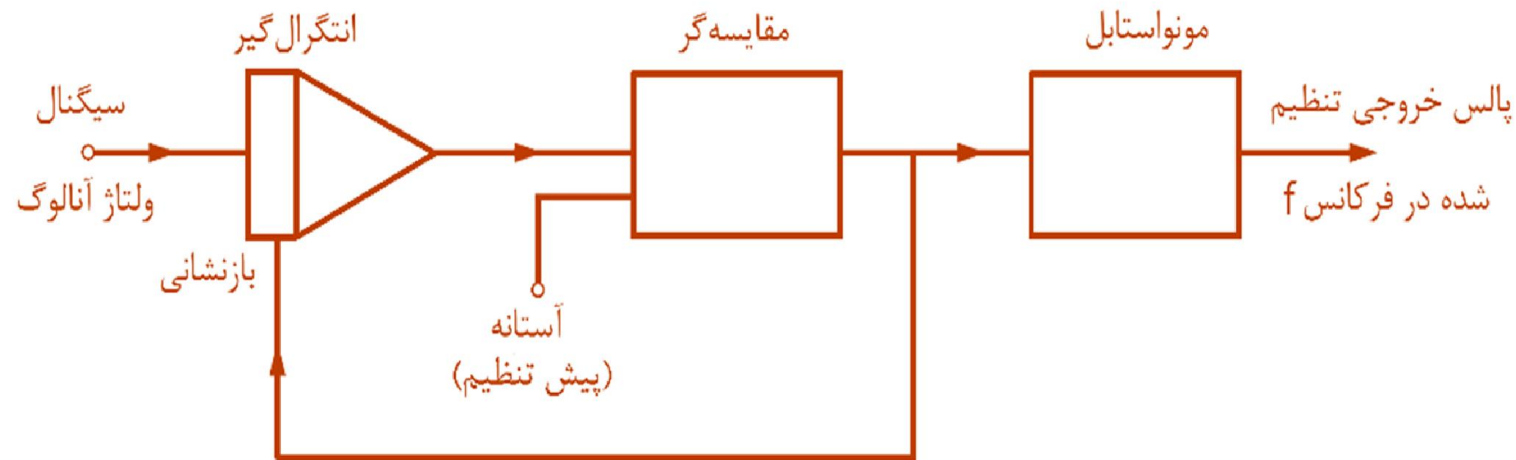
- تبدیل تغییرات در سیگنال ولتاژ به تغییرات در دامنه امواج حامل سینوسی با فرکانس چندین کیلوهرتز
- استفاده از یک مدار پل a.c. به عنوان بخشی از سیستم تبدیل خروجی سنسورها
- خروجی پل: مقاومت متغیر (R)، ظرفیت الکتریکی (C) و یا ظرفیت القای مغناطیسی (L)
- اعمال یک فیلتر بالاگذر به سیگنال AM پس از تغییر سیگنال d.c. به حامل a.c. با فرکانس بالا:
 - ▼ حذف موفقیت‌آمیز نویز به شکل ولتاژهای انحراف فرکانس پایین
 - ▼ تداخل امواج
- عملیات رمزگشایی در انتهای مسیر انتقال، برای استخراج سیگنال اندازه‌گیری از حامل

انتقال الکتریکی

روش مدولاسیون فرکانسی (FM):

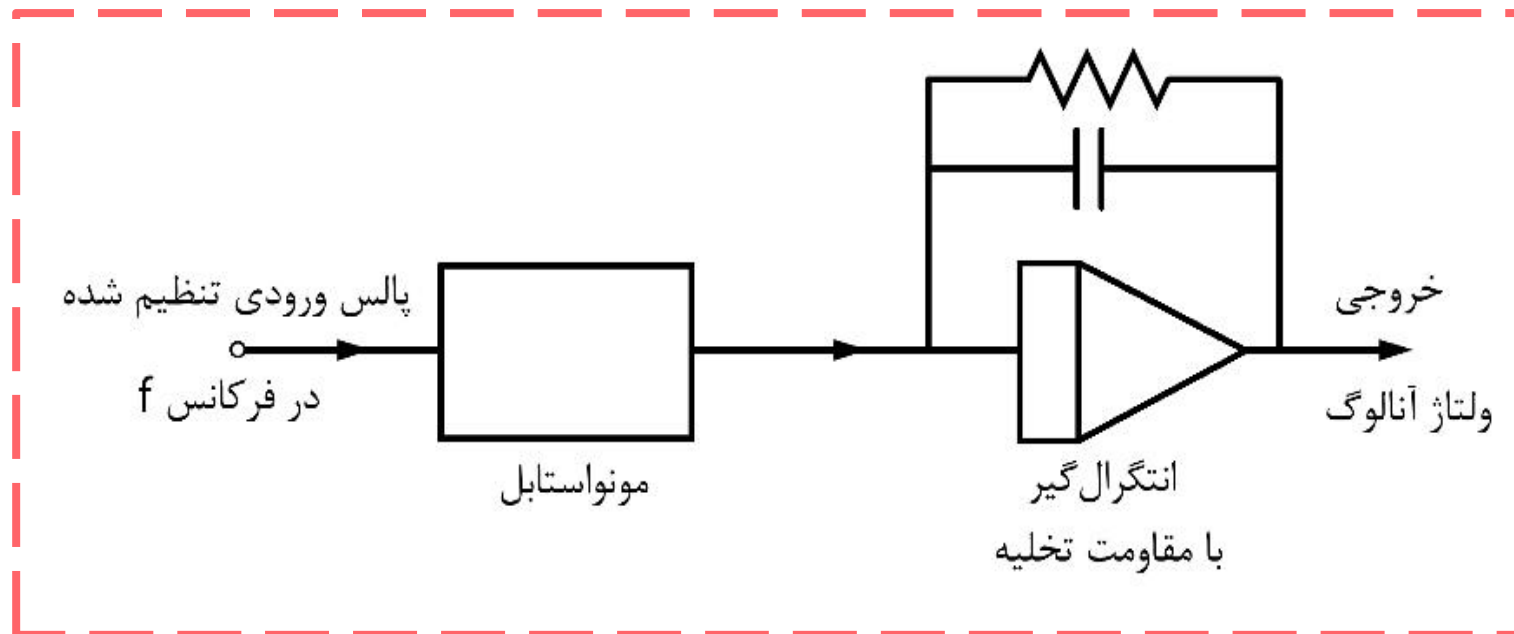
عملکردی بهتری نسبت به AM در حذف نویز سیگنال

شامل تبدیل تغییرات در سیگنال ولتاژ آنالوگ به تغییرات در فرکانس یک سیگنال حامل با فرکانس‌های بالا



انتقال الکتریکی

پایان خط ارسال





انتقال نیوماتیک

انتقال سیگنال‌های آنالوگ به صورت تغییر فشار نیوماتیک معمولاً در محدوده‌ی $3 \sim 15 \text{ psi}$  **مزایا:**

▲ برخورداری از امنیت بالا

▲ سطوح ایمنی مشابه با جریان حلقه‌ای انتقال در برابر نویز

 **معایب:**

▼ استفاده از هوا به عنوان ابزار انتقال

▼ سرعت بسیار کم آن در مقایسه با انتقال الکتریکی یا اپتیکال

▼ تغییرات فشار در طول لوله انتقال

▼ ایجاد خطا در اندازه‌گیری به دلیل تغییرات فشار هوا با تغییرات دما



انتقال فیبر نوری

بسیار ایمن

افت قدرت امواج سیگنال نوری در طول فیبر نوری بسیار کمتر از این افت درسیگنال الکتریکی در سیم
رسانای فلزی با همان طول مشابه است.

معایب:



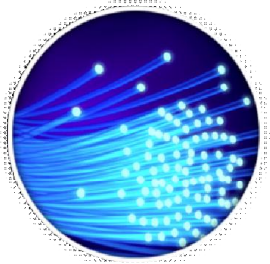
هزینه تحمیلی بسیار زیاد به دلیل قیمت بالاتر سیستم‌های فیبر نوری در مقایسه هزینه فلز رسانی

سه روش عمده مورد استفاده از کابل‌های فیبر نوری

کابل‌های فیبر نوری نسبتاً کوتاه: برای انتقال نور از سنسورهای مرسوم به یک مکان پردازش با فاصله
بسیار اندک از محل اندازه‌گیری

اتصال ابزارهای دور از دسترس به کنترلرها در یک شبکه ابزار دقیق

اتصالات نسبتاً طولانی: سیستم‌های انتقال داده در شبکه‌های تلفن و رایانه



انتقال فیبر نوری

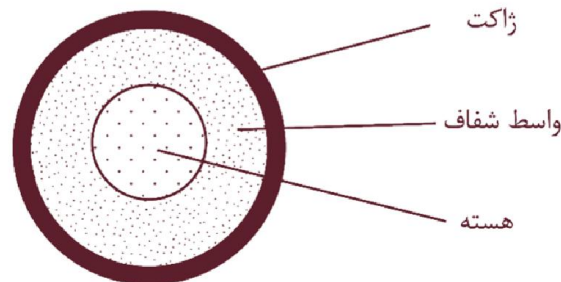
اصول فیبرهای نوری

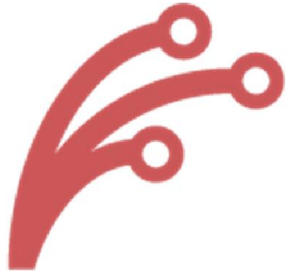


کابل فیبر نوری:

شامل یک هسته‌ی استوانه‌ای داخلی احاطه شده توسط یک روکش استوانه‌ای شفاف و یک پوشش حفاظتی یا ژاکت.

وظیفه آن: حفاظت هسته در برابر ضربات مکانیکی.





انتقال فیبر نوری

۶ تک حالت: هسته‌ای با قطر کوچک، معمولاً $6\mu m$ ، دارای هسته بسیار بزرگتر.

۶ چندحالت: قطری به اندازه ۵۰ تا $200\mu m$

۶ مواد بکار رفته در کابل‌ها: شیشه و پلاستیک با ترکیبات مختلف و در اشکال متفاوت

○ کابل‌های تمام پلاستیکی:

ارزان‌ترین نوع

معایب: نامناسب برای انتقال

نور در مسیرهایی با طول‌ها

متوسط و زیاد

○ هسته شیشه‌ای و واسط شفاف

پلاستیکی:

ارزان‌تر

شکندگی کمتر نسبت به مدل تمام

شیشه‌ای

○ فیبر شیشه‌ای برای

هسته و واسط شفاف



انتقال فیبر نوری

فرستنده فیبر نوری

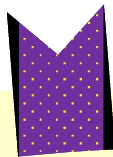
دیودهای لیزری

دیودهای منتشرکننده نور (LED)



دیودهای لیزری:

- * نور منسجم با توان بیشتری نسبت به نور غیرمنسجم ایجاد شده توسط LED
- * پیچیده‌تر و گرانتر از LED ها
- * قابلیت اطمینان کمتر



LED:

- * رابطه خطی‌تر بین جریان ورودی و نور خروجی در LED ها
- * ارزانتر از دیگر انواع فرستنده‌ها



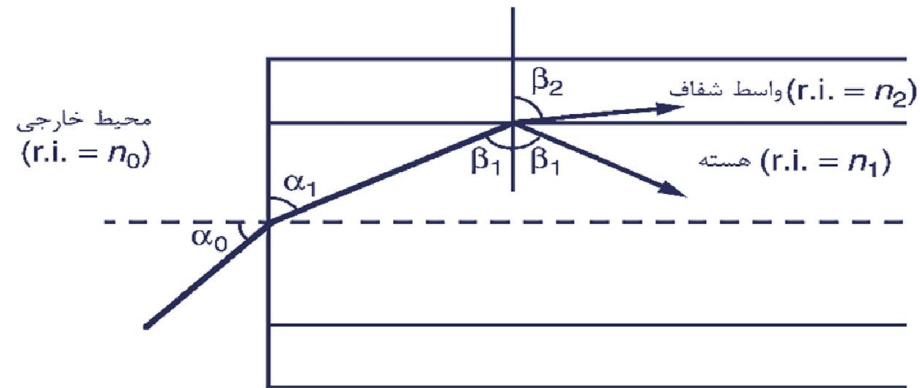
انتقال فیبر نوری

گیرنده فیبر نوری: وسیله‌ای برای تبدیل سیگنال نوری و بازگرداندن آن به شکل الکتریکی

- ← فتوترانزیستورها: حساسیت خوب، پهنای باند آنها کم.
- ← دیودهای PIN: پهنای باند بالاتر ولی حساسیت کمتر.
- ← دیودهای نوری آوالانچ (APD): نیاز همزمان به حساسیت و پهنای باند بالا، هزینه بالا

انتقال فیبر نوری

مشخصه‌های انتقال



$$n_0 \sin \alpha_0 = n_1 \sin \alpha_1$$

$$n_1 \sin \beta_1 = n_2 \sin \beta_2$$

با جایگذاری $\sin \beta_2 = 1$

$$\frac{n_1 \sin \beta_1}{n_2} = 1$$

$$\sin \beta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \alpha_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_1} = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_1} = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2}$$

$$\sin \alpha_c = \sin \alpha_0 = \frac{n_1}{n_0} \sin \alpha_1$$

$$\sin \alpha_c = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2}$$



روش‌های تسهیم

- استفاده از یک تسهیم‌کننده در بخش فرستنده برای ادغام سیگنال‌های ورودی مختلف با یکدیگر و یک تقسیم‌کننده در بخش گیرنده برای جداسازی مجدد سیگنال‌ها
- سیستم تسهیم طول موج، معمولاً از یک کابل تک منظوره با قطر $9\text{ }\mu\text{m}$ و یا کابل‌های چندمنظوره با قطر $50\text{ }\mu\text{m}$ یا $5/62\text{ }\mu\text{m}$ بهره می‌برد.

تله‌متری نوری بی‌سیم

امکان انتقال سیگنال به یک مکان مشخص، بدون نیاز به ارتباطات فیزیکی نظیر کابل‌های الکتریکی و یا فیبر نوری

تله‌متری نقطه به نقطه:

- ◀ شامل استفاده از یک پرتو نور باریک و متمرکز
- ◀ برای انتقال میان ساختمان‌های همجوار
- ◀ سرعت انتقال داده‌ها 5 Mbit/s و بیشترین فاصله ممکن 1000 m
- ◀ اگر فاصله محدود به 200 m شود، سرعت انتقال تا 20 Mbit/s قابل افزایش بوده
- ◀ قابل استفاده برای ارتباط شبکه اترنت الکتریکی یا فیبر نوری در ساختمان‌های مجاور.



تله‌متری نوری بی‌سیم

تله‌متری هدایت شده:

- شامل انتقال پرتوهای نور با واگرایی اندک
- سطح پوشش بالا
- امکان دریافت سیگنال در نقاط مختلف
- بیشترین نرخ انتقال داده 1 Mbit/s در حداکثر فاصله‌ی 70 m
- اگر فاصله انتقال به 20 m محدود شود سرعت انتقال 10 Mbit/s در دسترس خواهد بود.



تله‌متری نوری بی‌سیم

تله‌متری پراکنده:

¶ مشابه با دورسنجی هدایت شده با واگرایی پرتو نور بیشتر

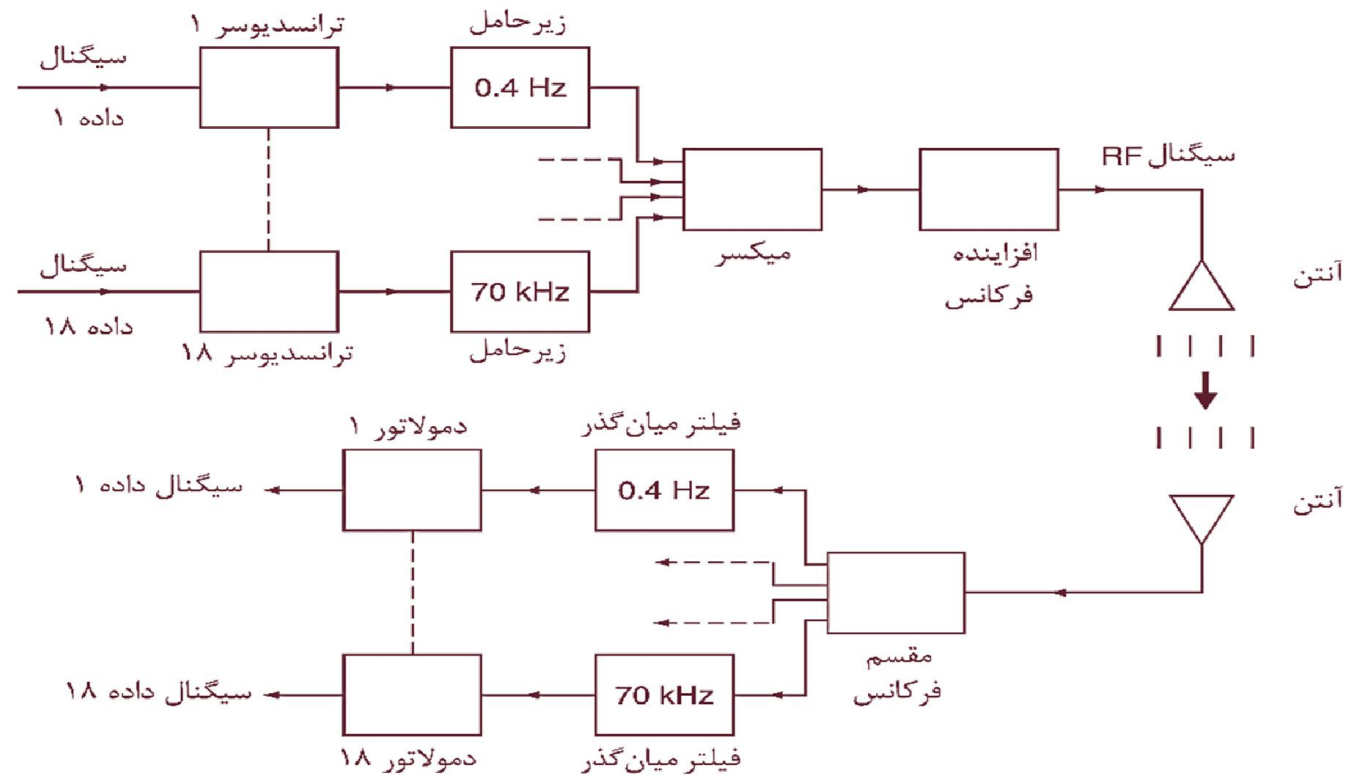
¶ در بیشترین دامنه 20 m ، حداکثر سرعت انتقال 500 kbit/s ، اگرچه این سرعت در محدوده 10 m به 2 Mbit/s افزایش می‌یابد.

تله‌متری رادیویی (انتقال رادیویی بی‌سیم)

- 🌸 برای انتقال تا فواصل ۴۰۰ مایل (۷۵۰ کیلومتر)، قابل افزایش به میلیون‌ها.
- 🌸 مورد استفاده برای مسافت‌های کوتاهی که در آن امکان نصب و نگهداری اتصالات الکتریکی یا فیبرهای نوری به صورت فیزیکی وجود نداشته باشد
- 🌸 تضعیف کمتر انرژی امواج رادیویی میان فرستنده و گیرنده توسط موانع نسبت به انتقال نوری بی‌سیم از طریق مسیر هوایی
- 🌸 استفاده رایج‌تر از آن نسبت به فیبر نوری



تله‌متری رادیویی (انتقال رادیویی بی‌سیم)



انتقال رادیویی با استفاده از سیستم FM/FM



تله‌متری رادیویی (انتقال رادیویی بی‌سیم)

بازه تغییر فرکانسی برای انتقال رادیویی با استفاده از سیستم FM/FM

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
فرکانس مرکز (kHz)	۰/۴	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۹۶	۱/۳	۱/۷	۲/۳	۳/۰	۳/۹
باند	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
فرکانس مرکز (kHz)	۵/۴	۷/۳۵	۱۰/۵	۱۴/۵	۲۲/۰	۳۰/۰	۴۰/۰	۵۲/۵	۷۰/۰

بیشترین انحراف فرکانس مجاز برابر با $7/5 \pm$ درصد است.

عدم صحت تله‌متری رادیویی تقریباً $\pm 1\%$

تله‌متری رادیویی (انتقال رادیویی بی‌سیم)

- عدم صحت تله‌متری رادیویی تقریباً $\pm 1\%$
- عدم قطعیت اندازه‌گیری در ارسال یک سیگنال اندازه‌گیری دما در محدوده صفر تا 100°C در یک کانال $\pm 1\%$ یا $\pm 1^\circ\text{C}$
- در صورت وجود کانال‌های انتقال استفاده نشده، تقسیم سیگنال به دو بازه (0°C تا 50°C و 50°C تا 100°C) و انتقال از طریق دو کانال
- در این صورت، عدم قطعیت اندازه‌گیری به $\pm 5/0^\circ\text{C}$ کاهش یافته، با استفاده از ۱۰ کانال برای یک متغیر، بیشترین عدم قطعیت اندازه‌گیری $\pm 1/0^\circ\text{C}$ قابل دسترس خواهد بود.

پروتکل‌های انتقال دیجیتال

- کاهش آسیب دیدن سیگنال‌ها در هنگام انتقال دیجیتال
- پروتکلی که به طور معمول برای ارسال داده‌ها از سنسور یا مدار اندازه‌گیری بکار می‌رود، انتقال سریال ناهمزمان است.
- انتقال ناهمزمان شامل تبدیل سیگنال ولتاژ آنالوگ به باینری معادل با استفاده از مبدل دیجیتال به آنالوگ است که بصورت پالس‌های ولتاژی متوالی با پهنای یکسان که بیانگر اعداد باینری «۱» و «۰» هستند.
- سطح ولتاژ ۵+ یا V_6+ برای عدد باینری ۱ و سطح ولتاژ صفر ولت برای باینری صفر



پروتکل‌های انتقال دیجیتال

مدولاسیون کد پالس:

❄️ شکل‌گیری سیگنال انتقالی به صورت پالس‌های V ۶ متوالی که توسط پالس‌های ولتاژ صفر از یکدیگر جدا شده

❄️ مصونیت بالا نسبت به نویز

❄️ ارسال اطلاعات دیگر، نظیر وضعیت تجهیزات صنعتی نیز می‌توانند همراه با مقادیر پارامترها



پروتکل‌های انتقال دیجیتال

دو ابزار عمده انتقال داده دیجیتال:

- طریق کابل الکتریکی زوج بهم تابیده
- کابل هم محور و به صورت پالس‌های مدوله شده بر روی یک حامل فرکانس بالا



پایان جلسه دوازدهم