Data Communications And Networking

Chapter 3: Introduction To Physical Layer

Objective: الاهداف

- The first section shows how data and signals can be either analog or digital. Analog refers to an entity that is continuous; digital refers to an entity that is discrete.

يوضح القسم الأول كيف ان البيانات والإشارات يمكن أن تكون إما التناظرية أو رقمية حيث يشير التناظري إلى الكيان المستمر اما الرقمي فيشير إلى الكيان الغير منفصلة.

- The second section shows that only periodic analog signals can be used in data communication. The section discusses simple and composite signals. The attributes of analog signals such as period, frequency, and phase are also explained.

يبين القسم الثاني الإشارات التناظرية الدورية الوحيدة التي يمكن أن تستخدم في نقل البيانات.
ويناقش ايضا الإشارات البسيطة و المركبة.
و يوضح أيضا سمات الإشارات التناظرية مثل الفترة، والتردد، والمرحلة.

- The third section shows that only non-periodic digital signals can be used in data communication. The attributes of a digital signal such as bit rate and bit length are discussed. We also show how digital data can be sent using analog signals. Baseband and broadband transmission are also discussed in this section.

القسم الثالث يتحدث عن الإشارات الرقمية غير الدورية الوحيدة التي يمكن أن تستخدم في نقل البيانات. ويناقش سمات الإشارة الرقمية مثل معدل البت وطول البت. ويبين لنا أيضا كيف ان البيانات الرقمية يمكن إرسالها باستخدام الإشارات التناظرية. ويناقش أيضا في هذا القسم النقل في النطاق القاعدي والنطاق العريض.

- The fourth section is devoted to transmission impairment. The section shows how attenuation, distortion, and noise can impair a signal.

القسم الرابع خُصص لضعف الإرسال: ويوضح هذا القسم كيف ان التشويه، والضوضاء يمكن أن يضعف إشارة.

- The fifth section discusses the data rate limit: how many bits per second we can send with the available channel. The data rates of noiseless and noisy channels are examined and compared

يناقش الجزء الخامس على حد معدل البيانات: كم بت في الثانية يمكننا أن نرسل مع القنوات المتاحة. يتم فحص معدلات البيانات من القنوات الصامتة والصاخبة ومقارنتها.

- The sixth section discusses the performance of data transmission. Several channel measurements are examined including bandwidth, throughput, latency, and jitter. Performance is an issue that is revisited in several future chapters.

واخيرا القسم السادس يناقش أداء نقل البيانات. يتم فحص عدة قياسات القناة بما في ذلك عرض النطاق الترددي، والإنتاجية، الكمون، وغضب. الأداء هو المشكلة التي تم النظر في عدة فصول في المستقبل.

3-1 DATA AND SIGNALS: البيانات و الاشارات

For transmission, data needs to be changed to signals.
One of the major functions of the physical layer is to move data in the form of electromagnetic signals across a transmission medium.

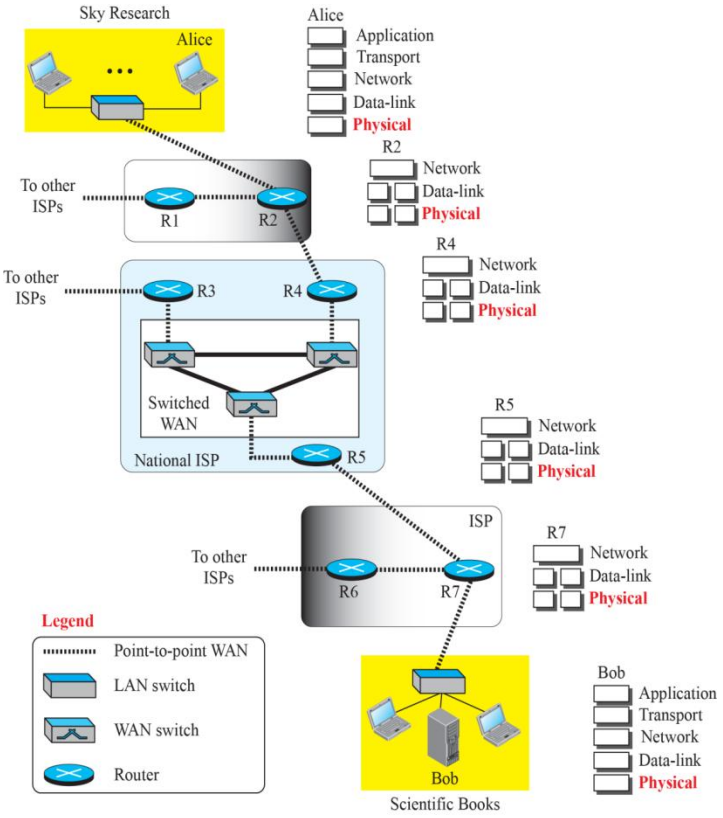
للنقل، تحتاج البيانات إلى تغيير الإشارات.
واحدة من المهام الرئيسية للطبقة المادية هو نقل البيانات في شكل إشارات كهرومغناطيسية عبر وسيلة نقل.

Figure 3.1: Communication at the physical layer الاتصال في الطبقة الفيزيائيه

The figure shows a scenario in which a scientist working in a research company, Sky Research, needs to order a book related to her research from an online bookseller, Scientific Books

يوضح الشكل سيناريو عمل عالمة في شركة الأبحاث "سكاي للبحوث"، تحتاج إلى طلب كتاب ذا صلة ببحثها من مكتبه للكتب العلمية عبر الإنترنت.

- Alice Bob exchange data.
  - ✓ **تبادل البيانات أليس بوب**
- Communication at application, transport, network, or data-link is logical.
  - ✓ **الاتصالات في التطبيق، النقل، وشبكة، أو ربط البيانات غير منطقي**
- Communication at the physical layer is physical.
  - ✓ **الاتصال على الطبقة المادية والجسدية**
- Communication at the physical layer means exchanging signals.
  - ✓ **الاتصال على الطبقة المادية يعني تبادل الإشارات**
- The media have to change data to signals.
  - ✓ **وسائل الإعلام عليها تغيير البيانات لإشارات**



- The signals can be either analog or digital in form.
  - ✓ **الإشارات يمكن أن تكون إما التناظرية أو الرقمية في النموذج**

3.1.1 Analog and Digital Data التناظريه، و البيانات الرقمية

Data can be analog or digital.
Analog data information that is continuous;
Digital data refers to information that has discrete states.

البيانات يمكن ان تكون اما تناظرية او رقمية
البيانات التناظرية المعلومات المستمرة
البيانات الرقمية معلومات لديها ولايات منفصلة

VS. ?

Digital clock that reports the hours and the minutes will change suddenly from 8:05 to 8:06.

ساعة رقمية
اللتي تظهر الساعات و الدقائق
ستتغير فجأة 8:05 حتي
08:06

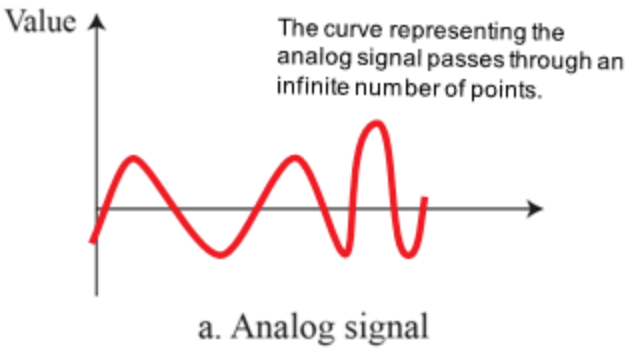
Analog clock that has hour, minute, and second hands gives information in a continuous form; the movements of the hands are continuous.
ساعة العقارب التي تحتوي على عقرب الساعات و عقرب الدقائق و للثواني و تعطي معلومات بشكل ثابت و مستمر

3.1.2 Analog and Digital Signals الاشارات الرقمية و التناظرية

المنحنى الذي يمثل إشارة
تناظرية يمر من خلال
عدد لا حصر له من النقاط.

An analog signal has infinitely many levels of intensity over a period of time. As the wave moves from value A to value B, it passes through and includes an infinite number of values along its path.

الإشارة التناظرية لها بلا حدود عدة مستويات من الشدة على مدى فترة من الزمن. مع تحرك موجة من قيمة الألف إلى الباء فإنه يمر من خلاله ويشمل عدد لا حصر له من قيمة القيم على طول مساره.

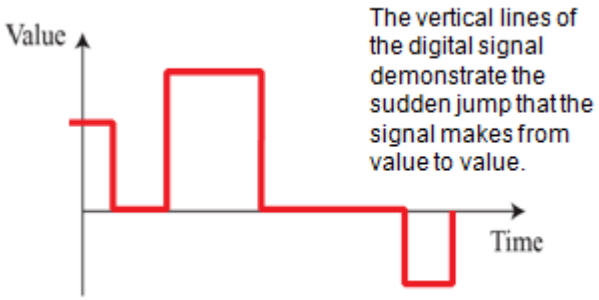


a. Analog signal

الخطوط العمودية من الإشارة
الرقمية تثبت القفزة مفاجئة
للإشارة من قيمة إلى قيمة

A digital signal can have only a limited number of defined values. Although each value can be any number, it is often as simple as 1 and 0.

الإشارة الرقمية يمكن أن تشمل فقط عدد محدود من القيم المحددة. وعلى الرغم من ان كل قيمة يمكن أن تكون أي عدد. غالبا ما يكون بسيطا مثل 1 و 0

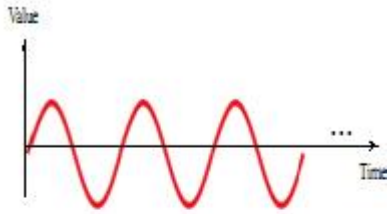


b. Digital signal

3.1.3 Periodic and Nonperiodic: الدوريه وغير الدوريه

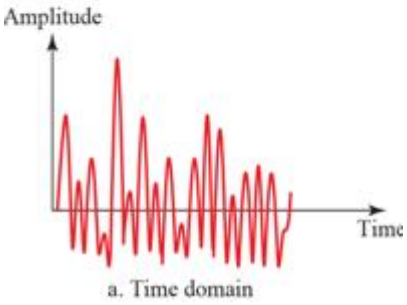
Both analog and digital signals can take one of two forms: periodic or nonperiodic

على حد سواء التناظرية والإشارات الرقمية يمكن أن تتخذ أحد شكلين:
الدوري أو غير دوري



A periodic signal completes a pattern within a measurable time frame, called a period, and repeats that pattern over subsequent identical periods. The completion of one full pattern is called a cycle.

الإشارة الدورية تكمل النمط في غضون فترة زمنية قابلة للقياس وتدعى فترة، ويتكرر هذا النمط على مدى فترات مماثلة لاحقة. ويطلق على الانتهاء من نمط واحد كامل دورة.

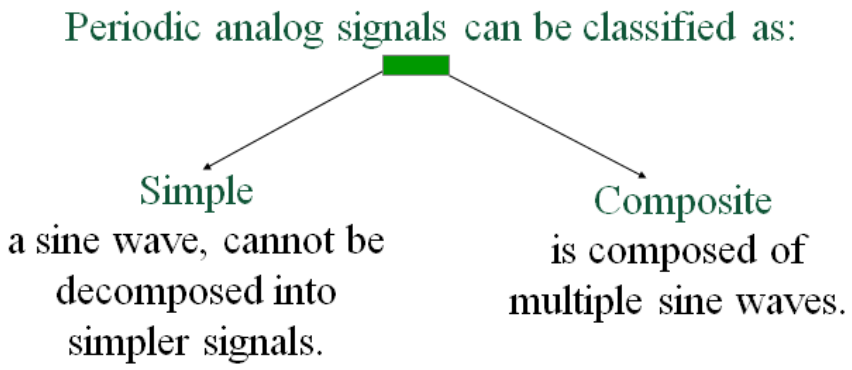


A nonperiodic signal changes without exhibiting a pattern or cycle
that repeats over time.

الإشارة الغير دورية تتغير دون اظهار نمط أو دورة تتكرر مع مرور الوقت.

3-2 PERIODIC ANALOG SIGNALS: الدوري و الاشارات التناظرية

.



مركب:	بسيط:
يتكون من موجات الجيب متعددة	موجة جيبية، لا يمكن أن تتحلل إلى إشارات أبسط

3.2.1 Sine Wave: الموجة الجيبية

The sine wave is the most fundamental form of a periodic analog signal.
موجة جيبية هي الشكل الأكثر أساسية من الإشارات التناظرية الدورية.

When we visualize it as a simple oscillating curve, its change over the course of a cycle is smooth and consistent.
عندما كنا نتصورها على أنها منحنى يتأرجح بسيط. كانت تغيير موقفها على مدى دورة على نحو سلس وثابت.

Each cycle consists of a single arc above the time axis followed by a single arc below it.
كل دورة تحتوي على قوس واحد فوق محور الزمن يليها قوس واحد أقل من ذلك.

A sine wave can be represented by three parameters: موجة جيبية يمكن أن يمثله المعلمات الثلاث:

1. The peak amplitude. السعة القصوى
2. The frequency. التردد
3. The phase. المرحلة

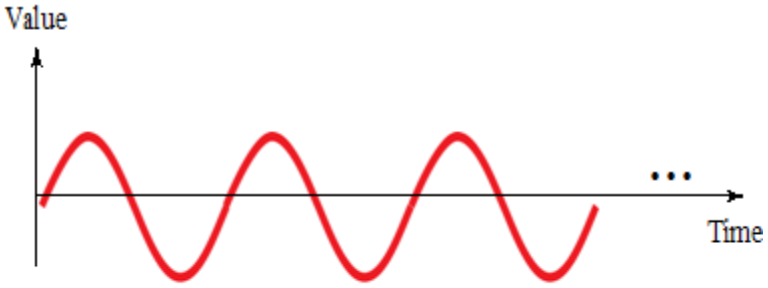


Figure 3.3 shows a sine wave.

The Peak Amplitude: السعة القصوى

The peak amplitude of a signal is the absolute value of its highest intensity, proportional to the energy it carries.

Normally measured in volts

ذروة اتساع إشارة هي القيمة المطلقة لأعلى كثافة لها، بما يتناسب مع الطاقة التي يحملها.

يقاس عادة بوحدة الفولت.

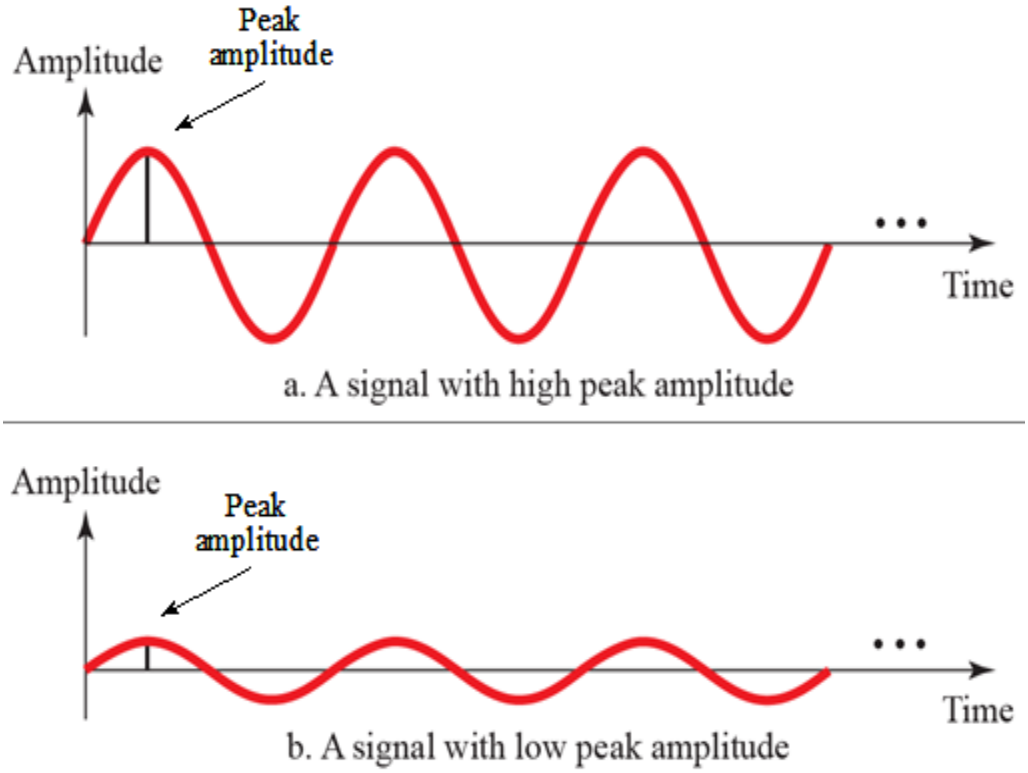


Figure 3.4: Two signals with two different amplitudes

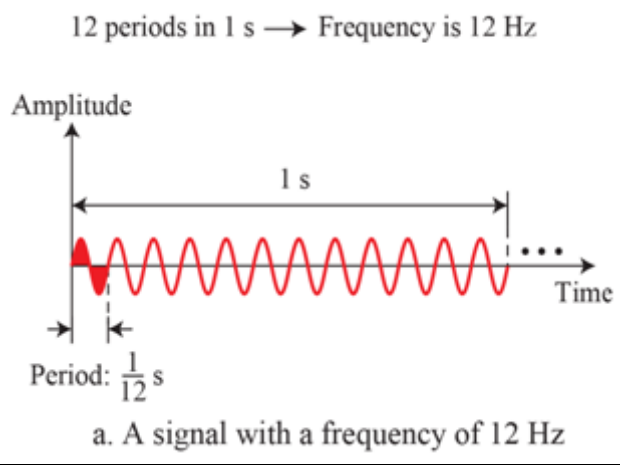
The Frequency: التردد

Period: Amount of time, in seconds, a signal needs to complete 1 cycle.
Period is expressed in: seconds

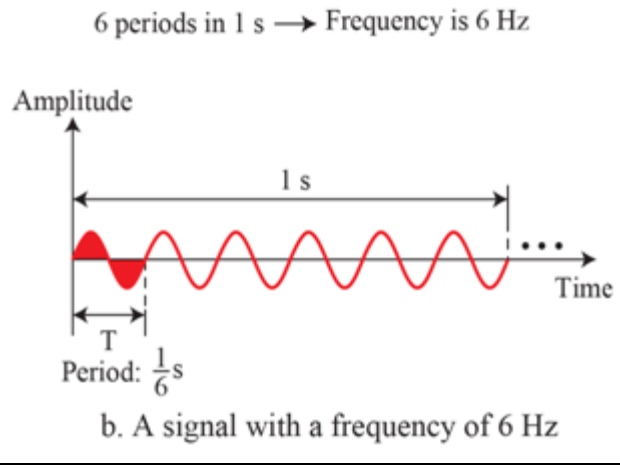
الفتره: مقدار الوقت بالثواني، إشارة تحتاج إلى إكمال دورة واحدة.
و يعبرعن الفتره: بالثواني

Frequency: Number of periods in 1 second.
Frequency is expressed in: Hertz (Hz)

التردد: عدد الفترات في الثانيه الواحده.
و يعبرعن التردد في: هيرتز ()



a. A signal with a frequency of 12 Hz



b. A signal with a frequency of 6 Hz

Figure 3.5: Two signals with the same amplitude and phase, but different frequencies

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{and} \quad T = \frac{1}{f}$$

Period is the inverse of frequency, and frequency is the inverse of period, as the following formulas show:

Period		*Frequency*	
Unit	*Equivalent*	*Unit*	*Equivalent*
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^{3} Hz
Microseconds (μs)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^{6} Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^{9} Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz

Table 3.1: Units of period and frequency

Example 3.3: The power we use at home has a frequency of 60 Hz (50 Hz in Europe). The period of this sine wave can be determined as follows:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0.0166 \text{ s} = 0.0166 \times 10^{3} \text{ ms} = 16.6 \text{ ms}$$

This means that the period of the power for our lights at home is 0.0116 s, or 16.6 ms. Our eyes are not sensitive enough to distinguish these rapid changes in amplitude.

Example 3.4

Express a period of 100 ms in microseconds.

Solution:

From Table 3.1 we find the equivalents of 1 ms (1 ms is 10^–3 s) and 1 s (1 s is 106 μs). We make the following substitutions:

$$100 \text{ ms} = 100 \times 10^{-3} \text{ s} = 100 \times 10^{-3} \times 10^{6} \text{ μs} = 10^{2} \times 10^{-3} \times 10^{6} \text{ μs} = 10^{5} \text{ μs}$$

Example 3.5

The period of a signal is 100 ms. What is its frequency in kilohertz?.

Solution:

1. we change 100 ms to seconds.
2. we calculate the frequency from the period.

The result we get will be in Hz. So, we change Hz to kHz. (1 Hz = 10^{-3} kHz).

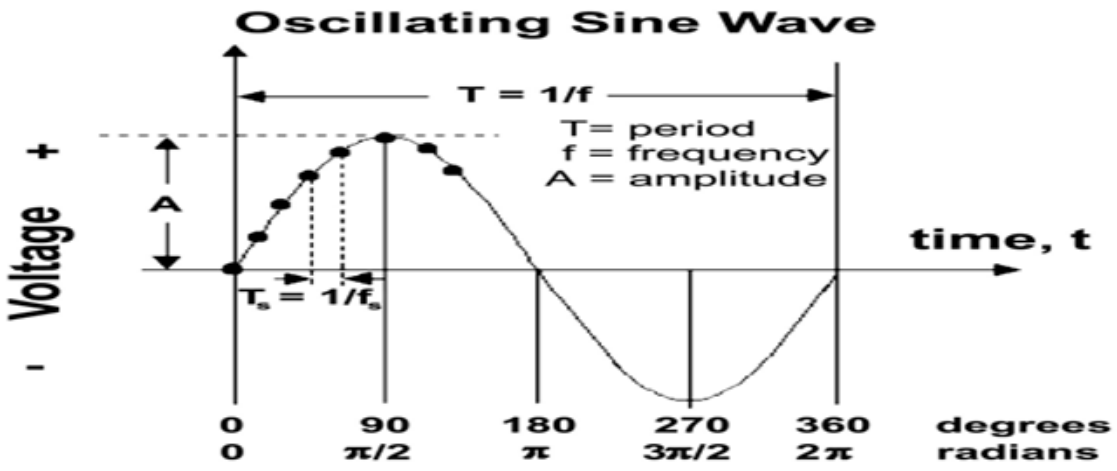
$$100 \text{ ms} = 100 \times 10^{-3} \text{ s} = 10^{-1} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-1}} \text{Hz} = 10 \text{ Hz} = 10 \times 10^{-3} \text{ kHz} = 10^{-2} \text{ kHz}$$

3.2.2 Phase: المرحلة

The term phase, or phase shift, describes the position of the waveform relative to time 0. Phase is measured in degrees or radians

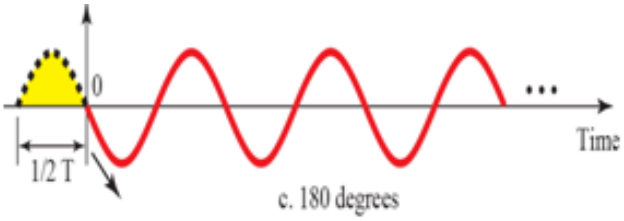
360° = 2□ rad	1° = 2□/360° rad	1 rad = 360°/(2□)



3.2.2 Phase

Corresponds to the transition of 180o shift 1/2 for a while, time starts with zero capacity is diminished capacity.

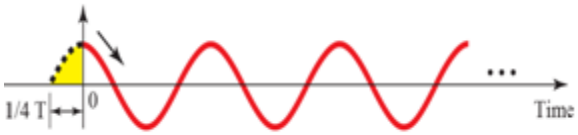
يتوافق مع الانتقال من 180o و التحول 1/2 لفترة من الوقت، والوقت يبدأ من سعة صفر "هو تناقص القدرة"



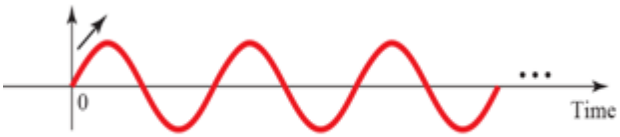
c. 180 degrees

A phase shift of 90o corresponds to a shift of 1/4 of a period starts at time 0 with a peak amplitude. The amplitude is decreasing.

تبدأ المرحلة بتحول 90o يناظر تحولاً من 4/1 لفترة في وقت الصفر مع سعة القصوى . السعة أخذ في التناقص.



b. 90 degrees



a. 0 degrees

A phase shift of 0° means not shifted. starts at time 0 with a zero amplitude. The amplitude is increasing.

مرحلة القيام بدوره لا يعني الانتقال .0°
يبدأ الوقت 0 مع سعة صفر .هو زيادة السعة.

Example 3.6 V

A sine wave is offset 1/6 cycle with respect to time 0. What is its phase in degrees and radians?

Solution:

We know that 1 complete cycle is 360°. Therefore, 1/6 cycle is

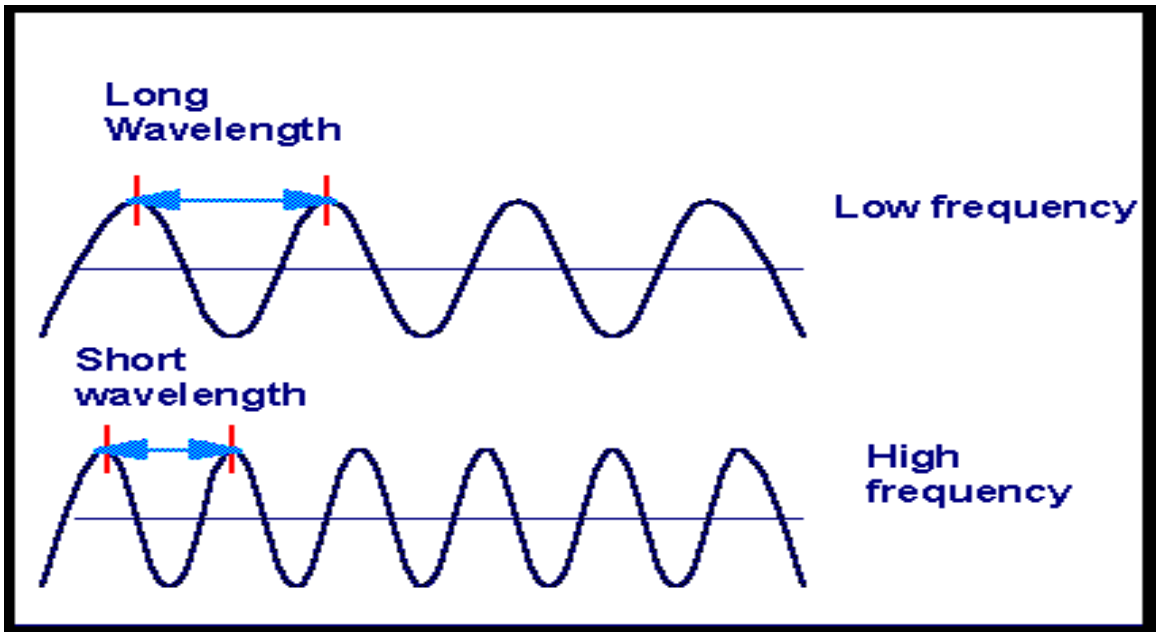
$$\frac{1}{6} \times 360 = 60^\circ = 60 \times \frac{2\pi}{360} \text{ rad} = \frac{\pi}{3} \text{ rad} = 1.046 \text{ rad}$$

3.2.3 Wavelength الطول الموجي

Wavelength:

The distance a simple signal can travel in one period.

المسافة إشارة بسيطة تستطيع السفر في فترة واحدة.



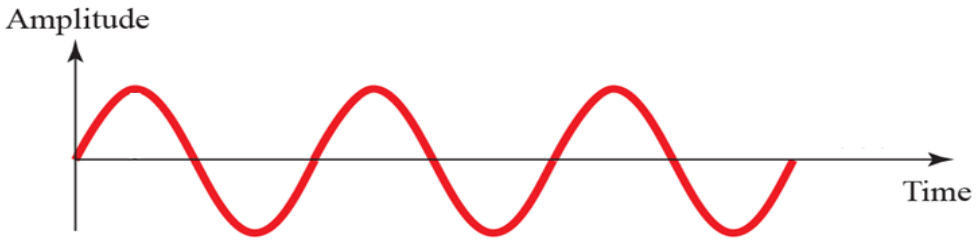
3.2.4 Time and Frequency Domains الوقت و نطاقات التردد

We have been showing a sine wave by using what is called **a time domain plot.**

نحن نعرض موجه جيبية باستخدام ما يسمى بمؤامرة مجال وقت.

Time-domain plot shows changes in signal amplitude with respect to time (it is an amplitude-versus-time plot).

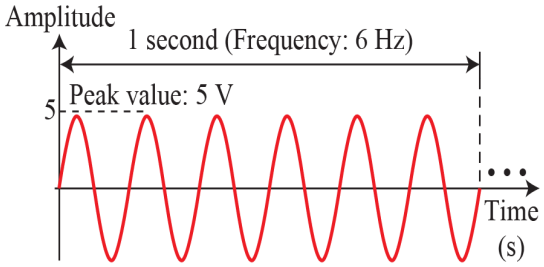
رسم مجال- الوقت : يبين التغيرات في السعة إشارةً فيما يتعلق بالوقت (قدرة النظام مقابل الوقت)



3.2.4 Time and Frequency Domains

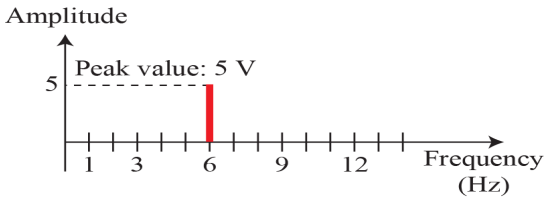
The time-domain plot shows changes in signal amplitude with respect to time

رسم مجال الوقت: يظهر إشارة السعة تغييرات فيما يتعلق بالوقت



a. A sine wave in the time domain

A frequency-domain plot is concerned with only the peak value and the frequency.
Changes of amplitude during one period are not shown.
A complete sine wave is represented by one spike.



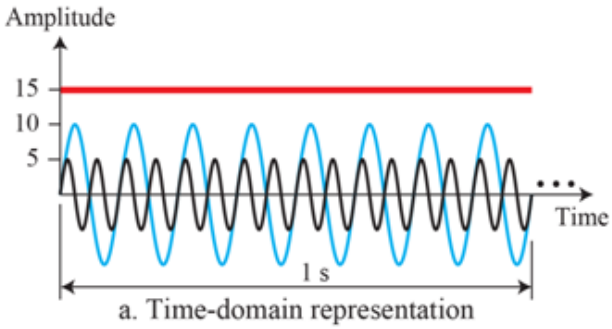
b. The same sine wave in the frequency domain

رسم مجال التردد: تشعر بالقلق مع قيمة الذروة فقط والتواتر.
لا يتم إظهار التغييرات من السعة خلال فترة واحدة.
وتمثله موجه جيبية كاملة سبايك واحدة.

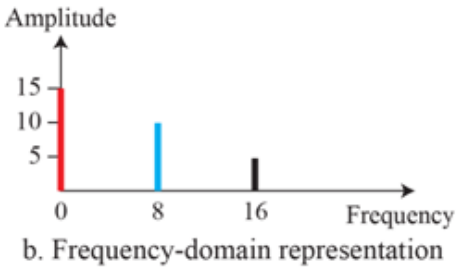
Example 3.7

The frequency domain is more compact and useful when we are dealing with more than one sine wave.
For example, Figure 3.9 shows three sine waves, each with different amplitude and frequency.
All can be represented by three spikes in the frequency domain.

مجال التردد أكثر أحكاما، ومفيدة عندما نتعامل مع موجه جيبية بمعدل واحد أو أكثر.
على سبيل المثال، يوضح الشكل 3.9 ثلاث موجات جيبية، كل منهما مختلفة السعة والتردد.
كل ما يمكن أن يمثله ثلاث طفرات في مجال التردد.



a. Time-domain representation



b. Frequency-domain representation

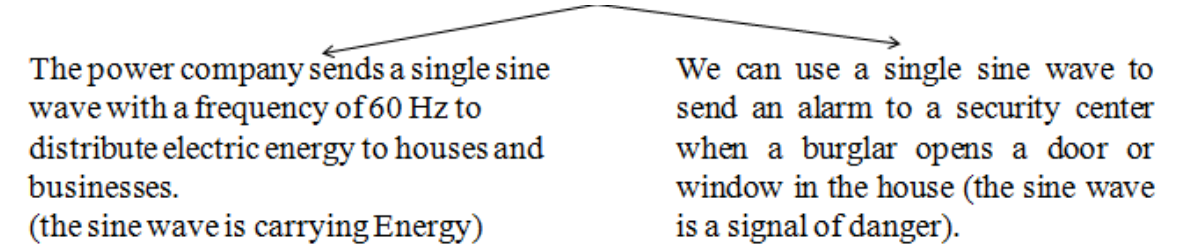
Figure 3.9

3.2.5 Composite Signals اشارات مركب

So far, we have focused on simple sine waves, which has many applications in daily life. We can send a single sine wave to carry electric energy from one place to another.

For example:

وحتى الآن، أننا ركزنا على موجات جيبية بسيطة، لها العديد من التطبيقات في الحياة اليومية .يمكننا إرسال موجه جيبية واحد و نقل الطاقة الكهربائية من مكان لآخر .على سبيل المثال:



The power company sends a single sine wave with a frequency of 60 Hz to distribute electric energy to houses and businesses. (the sine wave is carrying Energy)	We can use a single sine wave to send an alarm to a security center when a burglar opens a door or window in the house (the sine wave is a signal of danger).
شركة الطاقة ترسل موجه جيبية واحده بتردد 60 هرتز لتوزيع الطاقة الكهربائية للمنازل والأعمال التجارية (موجه جيبية يحمل الطاقة)	يمكننا استخدام موجه جيبية واحده بإرسال إنذار إلى مركز الأمن عندما يتفح الباب أو النافذة في البيت لص (موجه جيبية إشارة للخطر)

However, If we had one single sine wave to convey a conversation over the phone, it would make no sense and carry no information. We would just hear a buzz. we need to send a composite signal to communicate data.

ومع ذلك، إذا كان لدينا موجه جيبية بمعدل واحده لنقل محادثة عبر الهاتف فإنه لن يكون مجدياً بالقيام بأية معلومات وسوف نسمع مجرد ضجة. نحن بحاجة إلى إرسال إشارة مركبة لإبلاغ البيانات.

composite signal: is made of many simple sine waves, with different frequencies, amplitudes, and phases.

الإشارات المركبة : تتكون من العديد من موجات جيبية بسيطة، مع ترددات مختلفة، الاتساع، ومراحل.

Example 3.8

Figure 3.10 shows a periodic composite signal with frequency of.
We can consider it to be three alarm systems, each with a different frequency.
It is very difficult to manually decompose this signal into a series of simple sine waves.
However there are hardware and software tools, that can help us do the job.

يبين الشكل3 ، 10 إشارة مركب دورية مع تواتر.
يمكن أن نعتبر أن يكون ثلاثة نظم إنذار، كل منهما بتردد مختلف.
من الصعب جداً يدوياً ان تتحلل هذه الإشارة إلى سلسلة من موجات جيبية بسيطة . بيدو أن هناك أدوات و أجهزة والبرامج، التي يمكن أن تساعدنا على القيام بهذه المهمة.

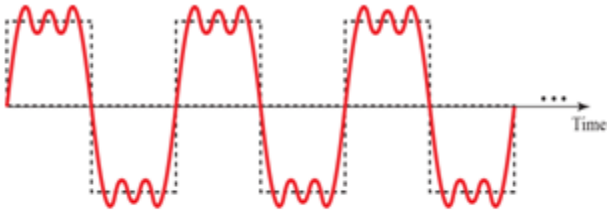


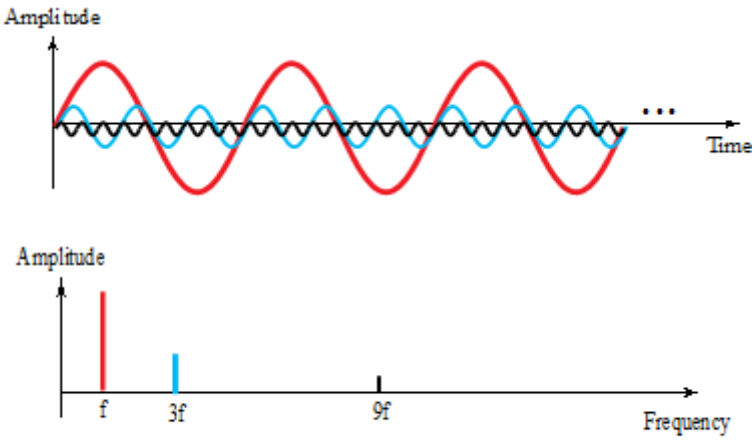
Figure 3.10: A composite periodic signal

Figure 3.11 shows the result of decomposing the above signal in both the time and frequency domains:

- The frequency of the sine wave with frequency f is the same as the frequency of the composite signal; it is called the fundamental frequency, or first harmonic.
- The sine wave with frequency 3f has a frequency of 3 times the fundamental frequency; it is called the third harmonic.
- The third sine wave with frequency 9f has a frequency of 9 times the fundamental frequency; it is called the ninth harmonic.

ويبين الشكل 3.11: نتيجة تحليل الإشارات المذكورة أعلاه في نطاقات التردد والوقت

- تواتر موجه جيبية مع التردد و هو نفس تواتر الإشارات المركبة؛ فإنه يسمى التردد الأساسي، أو التوافقية الأولى.
- موجه جيبية مع 3f التردد بتردد 3 مرات بتكرار الأساسية؛ ويطلق عليه التوافقي الثالث.
- موجه جيبية الثالثة مع التردد 9f قد تتردد 9 مرات بتكرار الأساسية؛ ويطلق عليه التوافقي التاسعة.



b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

Example 3.9

Figure 3.12 shows a nonperiodic composite signal. It can be the signal created by a microphone or a telephone set when a word or two is pronounced.
In this case, the composite signal cannot be periodic, because that implies that we are repeating the same word or words with exactly the same tone.

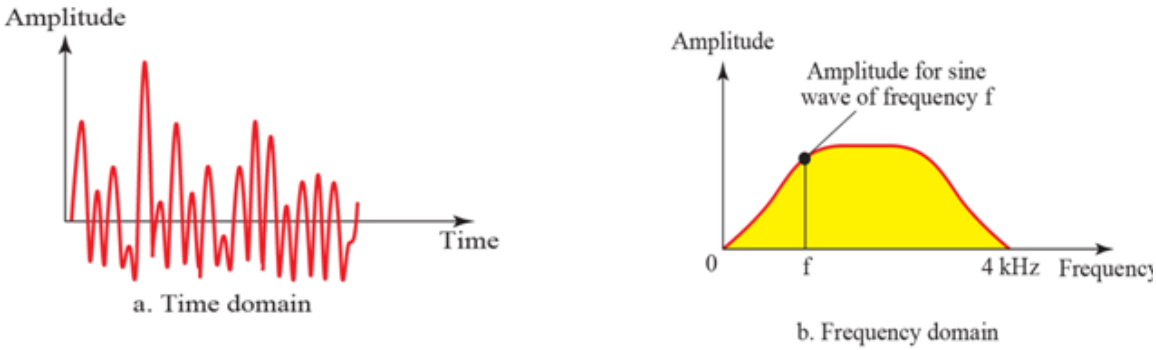
بين الشكل 3.12 : إشارة مركب الشريحة، يمكن أن يكون إشارة تم إنشاؤها بواسطة ميكروفون أو هاتف تعيين عند كلمة أو اثنتين ويشتد.
في هذه الحالة، لا يمكن أن تكون إشارة المركب دورية، لأن هذا يعني أنه سيتم تكرار نفس الكلمة أو العبارة بالضبط على نفس النغمة.

In a time-domain, there are an infinite number of simple sine frequencies.

في نطاق الوقت، هناك عدد لا حصر له من ترددات جيب البسيطة.

The frequency decomposition of the signal yields a continuous curve.
There are an infinite number of frequencies between 0.0 and 4000.0 (real values: A normal human being can create a continuous range of frequencies between 0 and 4 kHz.).

تحلل اشارة التردد تعطي الإشارة منحنى مستمر.
وهناك عدد لا حصر له من الترددات بين 0.0 و 4000.0 (القيم الحقيقية : الإنسان الطبيعي يمكنه إنشاء مجموعة متواصلة من الترددات بين 0 و 4 كيلوهرتز).



28 Figure 3.12: Time and frequency domain of a non-periodic signal

3.2.6 Bandwidth عرض النطاق الترددي

Signal Bandwidth: The range of frequencies contained in the signal.

عرض النطاق الترددي للإشارة :نطاق الترددات الواردة في الإشارة.

How to measure the composite signal Bandwidth?

The bandwidth of a composite signal is the difference between the highest and the lowest frequencies contained in that signal.

كيفية قياس الإشارات المركبة عرض النطاق الترددي؟

عرض النطاق الترددي لإشارة المركب هو الفرق بين أعلى وأدنى الترددات الواردة في تلك الإشارات.

$$B = f_h - f_l$$

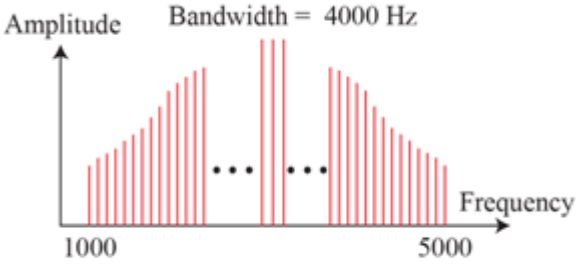
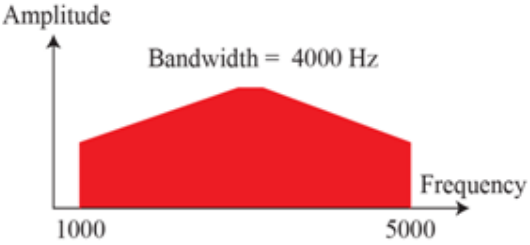
Figure 3.13:

The bandwidth of periodic and nonperiodic composite signals

عرض النطاق الترددي للإشارات المركبة الدورية والشريحة

For example, if a composite signal contains frequencies between 1000 and 5000, its bandwidth is 5000 − 1000, or 4000.

إذا كانت إشارة المركب يحتوي على ترددات بين 1000 و5000 ، عرض النطاق الترددي هو 5000 – 1000 أو4000.

The bandwidth of the periodic signal contains all integer frequencies between 1000 and 5000 (1000, 1001, 1002, . . .). **عرض النطاق الترددي للإشارات الدورية يحتوي على جميع الترددات عدد صحيح بين 1000 و 5000 (1000, 1001, 1002,...).**	The bandwidth of the nonperiodic signals has the same range, but the frequencies are continuous. **عرض النطاق الترددي للإشارات الشريحة بنفس النطاق، ولكن الترددات مستمرة.**
 a. Bandwidth of a periodic signal	 b. Bandwidth of a nonperiodic signal

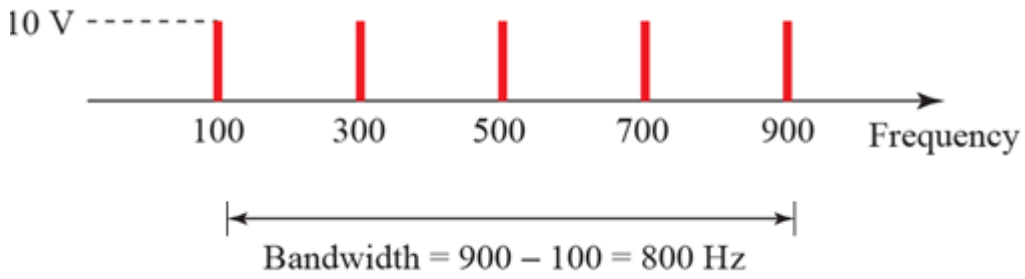
Example 3.10

If a periodic signal is decomposed into five sine waves with frequencies of 100, 300, 500, 700, and 900 Hz, what is its bandwidth? Draw the spectrum, assuming all components have a maximum amplitude of 10 V.

Solution:

Let fh be the highest frequency, fl the lowest frequency, and B the bandwidth.

Then $$B = f_h - f_l = 900 - 100 = 800 \text{ Hz}$$



Example 3.11

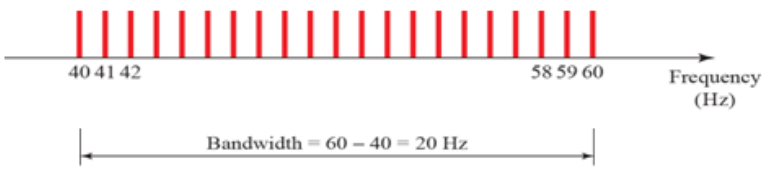
A periodic signal has a bandwidth of 20 Hz. The highest frequency is 60 Hz. What is the lowest frequency? Draw the spectrum if the signal contains all frequencies of the same amplitude.

Solution:

Let fh be the highest frequency, fl the lowest frequency, and B the bandwidth.

Then $$B = f_h - f_l \longrightarrow 20 = 60 - f_l \longrightarrow f_l = 60 - 20 = 40 \text{ Hz}$$

The spectrum contains all integer frequencies. We show this by a series of spikes:

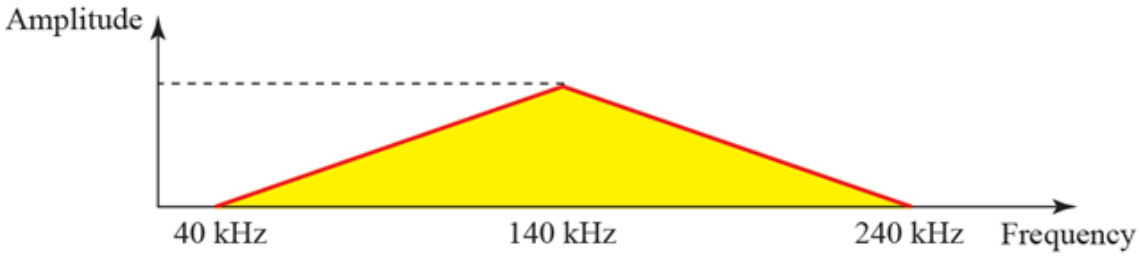


Example 3.12

A nonperiodic composite signal has a bandwidth of 200 kHz, with a middle frequency of 140 kHz and peak amplitude of 20 V. The two extreme frequencies have an amplitude of 0. Draw the frequency domain of the signal.

Solution:

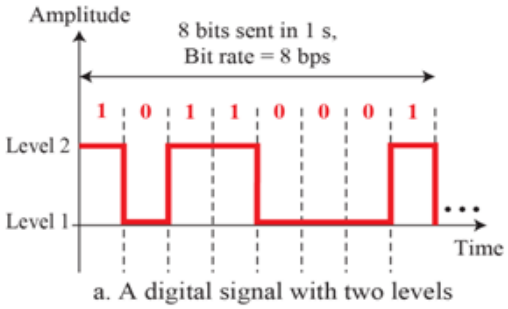
The lowest frequency must be at 40 kHz and the highest at 240 kHz. Figure 3.16 shows the frequency domain and the bandwidth.



3-3 DIGITAL SIGNALS: الاشارات الرقمية

In addition to being represented by an analog signal, information can also be represented by a digital signal.
For example, a 1 can be encoded as a positive voltage and a 0 as zero voltage.

بالإضافة الى ان المعلومات
تمثلها إشارة تمثيلية، يمكن أيضا تمثيلها بإشارة رقمية.
على سبيل المثال، يمكن ترميز 1 جهد
إيجابي و 0 كالصفر الجهد.

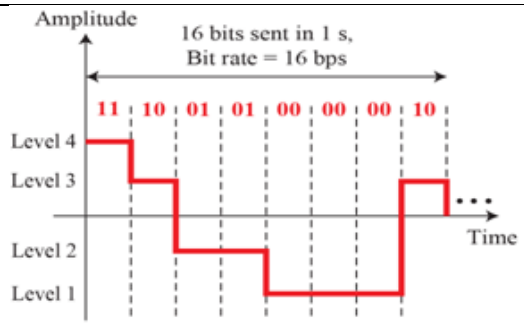


a. A digital signal with two levels

A digital signal can have more than two levels.
In this case, we can send more than 1 bit for each level.
If a signal has L levels, each level needs (log2 L) bits.

يمكن أن تكون الاشارة الرقمية أكثر من مستويين.
وفي هذه الحالة، يمكن
أن نقوم بإرسال أكثر من بت واحد لكل مستوى.

إذا كانت للإشارة (L) من المستويات، اذن كل مستوى يحتاج الى (log2 L) بت.



b. A digital signal with four levels

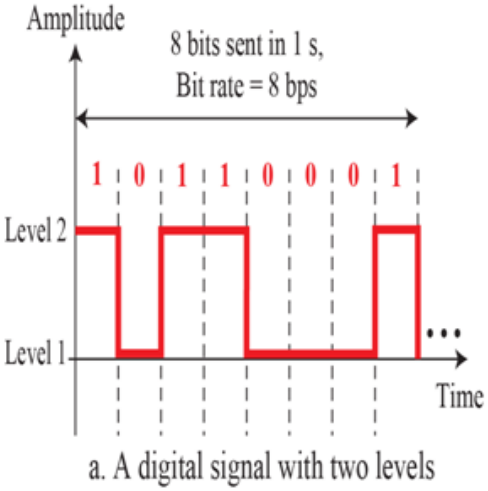
3.3.1 Bit Rate: معدل البت

Another term: bit rate (instead of frequency) is used to describe digital signals.

مصطلح أخر: يتم استخدام معدل بت (بدلاً من التردد) لوصف الإشارات الرقمية.

The bit rate is the number of bits sent in 1s, expressed in bits per second (bps).

معدل البت هو عدد البتات المرسلة في 1s التعبير عنها ببت في الثاني(bps)



a. A digital signal with two levels

Example 3.18

Assume we need to download text documents at the rate of 100 pages per second. What is the required bit rate of the channel?

Solution:

A page is an average of 24 lines with 80 characters in each line. If we assume that one character requires 8 bits, the bit rate is:

$$100 \times 24 \times 80 \times 8 = 1{,}536{,}000 \text{ bps} = 1.536 \text{ Mbps}$$

3.3.2 Bit Length: طول بت

We discussed the concept of the wavelength for an analog signal: the distance one cycle occupies on the transmission medium.

ناقشنا مفهوم الطول الموجي للإشارة التمثيلية :المسافة التي تشغلها دورة واحدة على نقل متوسطة.

We can define something similar for a digital signal: **The bit length**: The bit length is the distance one bit occupies on the transmission medium.

ويمكننا تحديد شيء مشابه للإشارة الرقمية : طول البت : طول البت هو المسافة التي تشغلها بت واحد على نقل متوسطة.

$$\text{Bit length} = \text{propagation speed} \times \text{bit duration}$$

3.3.3 Digital As Composite Analog: الرقمية كمركب تمثيلي

Based on Fourier analysis, a digital signal is a composite analog signal with an infinite bandwidth.

استناداً إلى تحليل فورييه، الاشارة الرقمية إشارة تمثيلية مركبه مع النطاق الترددي الانهائي.

We can come up with this concept when we consider a digital signal:

يمكن أن نتوصل إلى هذا المفهوم عندما نرى إشارة رقمية:

- **A digital signal, in the time domain, consist of connected vertical and horizontal line segments.**

  الاشارة الرقمية، في مجال الوقت، تتكون من أجزاء متصلة الخط الرأسي والأفقي.

- **A vertical line in the time domain means a frequency of infinity. (sudden change in time)**

  خط العمودي في مجال الوقت يعني تردد الانهائي: (التغير المفاجئ في الوقت المناسب)

- **A horizontal line in the time domain means a frequency of zero. (no change in time)**

  خط الافقي في المجال الوقت يعني تردد صفر .(لا تغيير في الوقت)

- **Going from a frequency of zero to a frequency of infinity implies all frequencies in between are part of the domain.**

  الانتقال من تردد صفر إلى تردد انفينيتي يعني ان جميع الترددات بينهما يعتبر جزء من المجال.

Fourier analysis can be used to decompose a digital signal.

يمكن استخدام تحليل فورييه لتتحلل إشارة رقمية.

If the digital signal is periodic:

the decomposed signal has a frequency domain representation with an infinite bandwidth and discrete frequencies.

إذا كانت الإشارات الرقمية دورية:

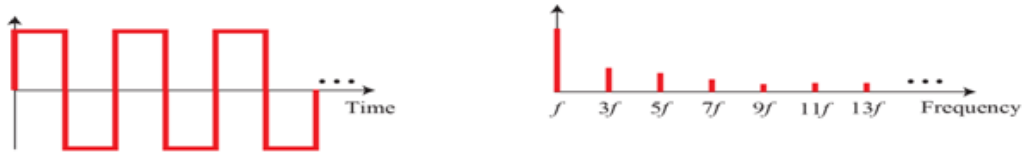
الإشارة المتحللة تمثل مجال التردد مع النطاق الترددي الانهائي وترددات منفصلة.

If the digital signal is nonperiodic:

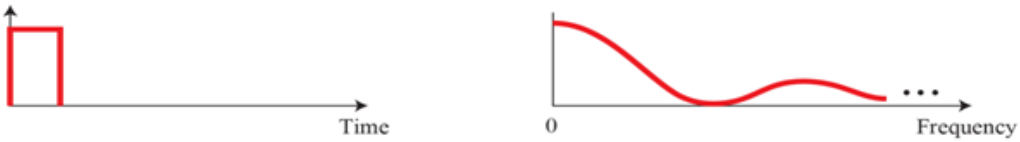
the decomposed signal also has a frequency domain representation with an infinite bandwidth, but the frequencies are continuous.

إذا كانت الإشارات الرقمية شريحة:

الإشارة المتحللة أيضا تمثل مجال التردد مع النطاق الترددي الانهائي ، ولكن الترددات تكون مستمره.



a. Time and frequency domains of periodic digital signal



b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

Figure 3.18: The time and frequency domains of periodic and nonperiodic digital signals

3.3.4 Transmission of Digital Signals: نقل الاشارات الرقيمة

We can transmit a digital signal by using one of two different approaches:

يمكن أن نقوم بنقل إشارة رقمية باستخدام أحد نهجين مختلفين:

1- Baseband transmission: means sending a digital signal over a channel without changing the digital signal to an analog signal. (requires that we have a low-pass channel: a channel with a bandwidth that starts from zero.) For example, The entire bandwidth of a cable connecting two computers is one single channel.

الانتقال القاعدي :يعني إرسال إشارة رقمية عبر قناة دون تغيير الإشارات الرقمية إلى إشارة تمثيله يتطلب لدينا لذلك قناة لتمرير المنخفضة :قناة باستخدام عرض النطاق الترددي التي تبدأ من الصفر) على سبيل المثال، يتم عرض النطاق الترددي كامل من كبل توصيل جهازي قناة واحدة واحدة.

2- Broadband transmission: Broadband transmission or modulation means changing the digital signal to an analog signal for transmission.(use a bandpass channel: a channel with a bandwidth that does not start from zero.) This type of channel is more available than a low-pass channel.

نقل النطاق العريض :انتقال النطاق العريض أو التحوير يعني تغيير الإشارات الرقمية إلى إشارة تمثيلية لانتقال العدوى. (باستخدام قناة ممر الموجه :قناة باستخدام عرض النطاق الترددي التي تبدأ من الصفر) يتوفر هذا النوع من القناة أكثر من قناة لتمرير المنخفضة .

Figure 3.19: Baseband transmission أحادي الارسال

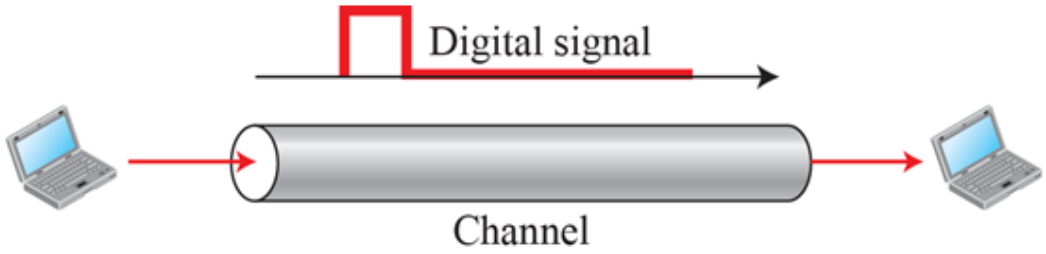
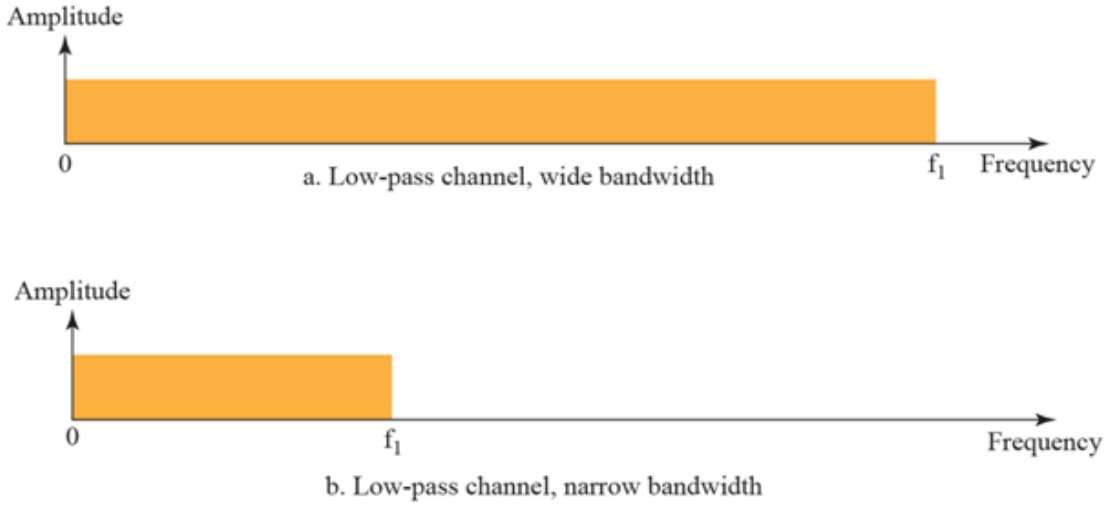


Figure 3.20: Bandwidth of two low-pass channels : one with a narrow bandwidth and the other with a wide bandwidth.

عرض النطاق ترددي قناتين المنخفضة التمرير :الاول مع عرض النطاق ترددي ضيق والأخر مع عرض النطاق ترددي على نطاق واسع.

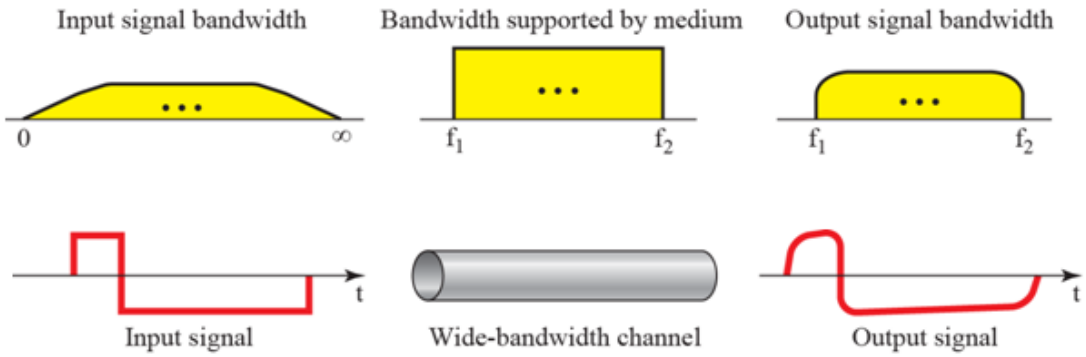


Baseband transmission of a digital signal that preserves the shape of the digital signal . It Is possible only if we have a low-pass channel with an infinite or very wide bandwidth.

انتقال القاعدي لإشارة رقمية على أن يحافظ على شكل الإشارات الرقمية .يمكن حدوثه إذا كان لدينا قناة المنخفضة التمرير مع النطاق اللانهائي أو نطاق ترددي واسع جدا.

Figure 3.21: Baseband transmission using a dedicated medium

انتقال القاعدي باستخدام وسيلة مخصصة



Although the output signal is not an exact replica of the original signal, the data can still be deduced from the received signal. Note that the frequencies that has been blocked by the medium are not critical.

على الرغم من ان إشارة لإخراج ليست نسخة طبق الأصل من الإشارة الأصلية، يمكن استنتاج ان البيانات لا تزال من الاشاره المرسله.
ملاحظة أن الترددات التي تم حظرها بواسطة المتوسطة ليست حرجة.

Figure 3.22: Rough approximation of a digital signal (part 1)

تقريب الاشارة الرقمية (الجزء1)

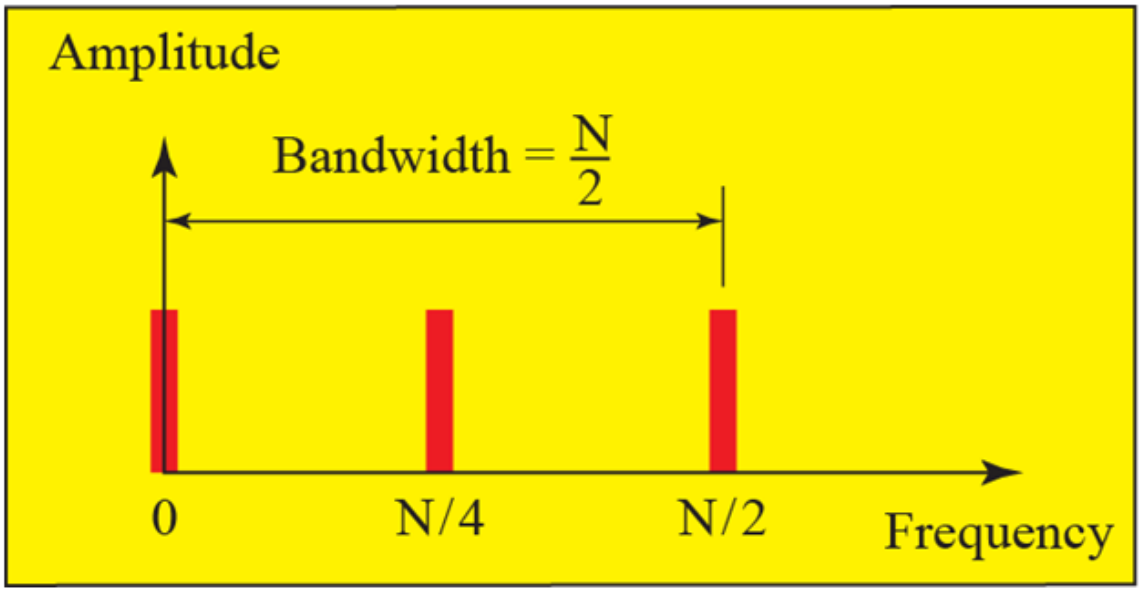


Figure 3.22: Rough approximation of a digital signal (part 2)

تقريب الاشارة الرقمية (الجزء 2)

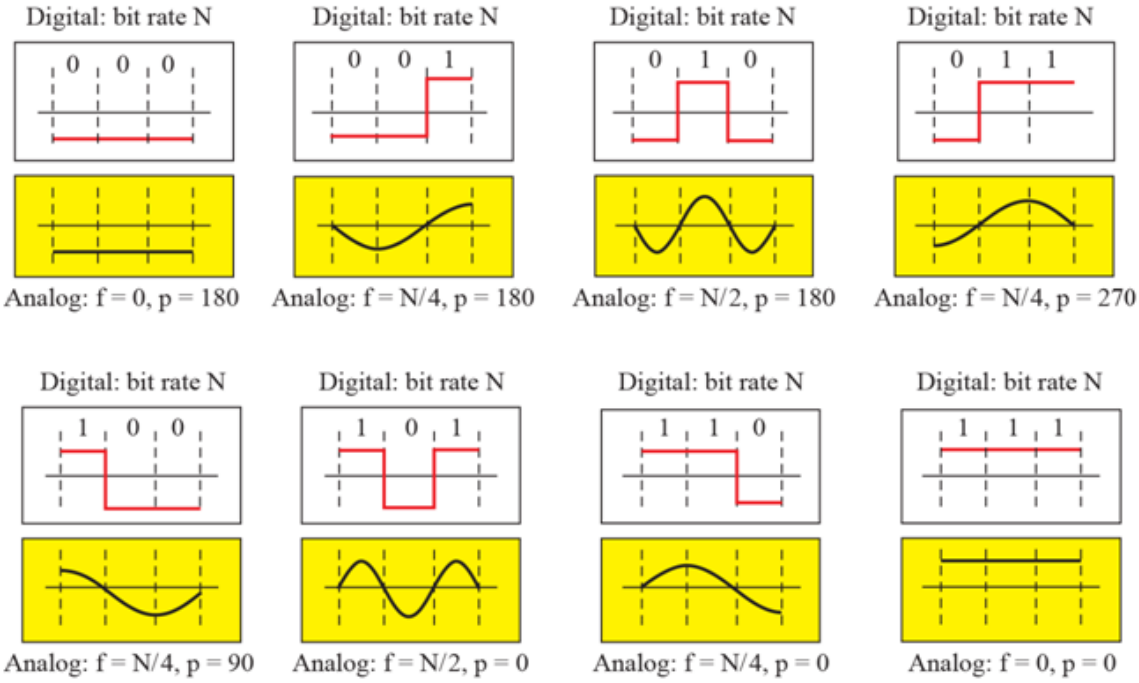


Figure 3.23: Simulating a digital signal with first three harmonics (part I)

محاكاة الإشارة الرقمية مع التوافقيات الثلاثة الأولى (الجزء 1)

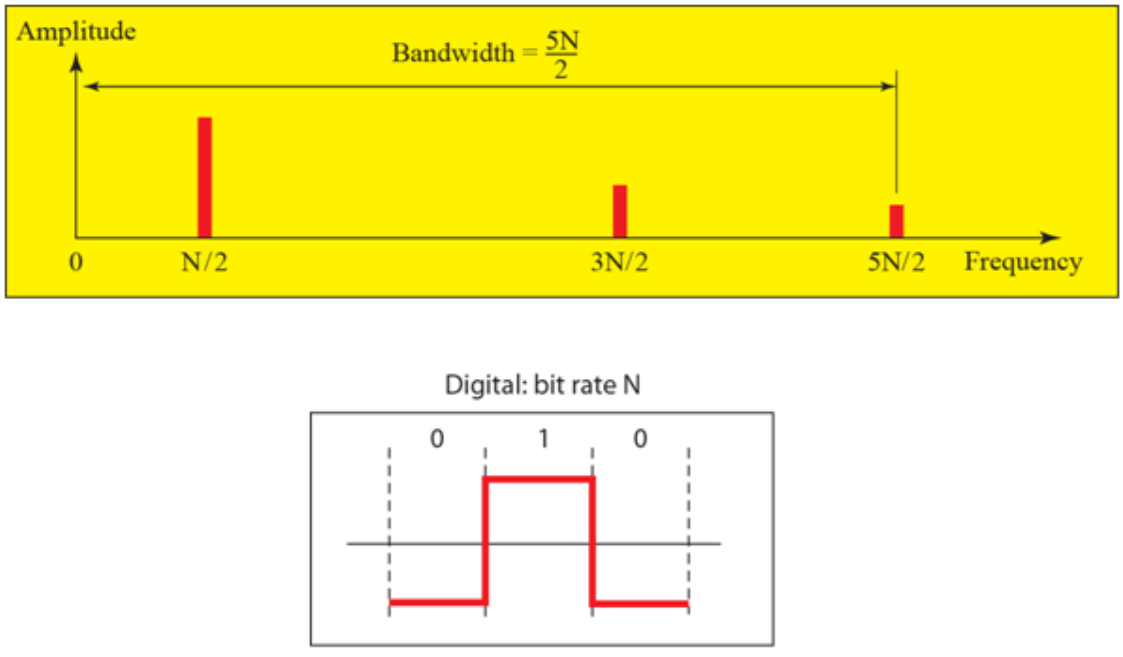
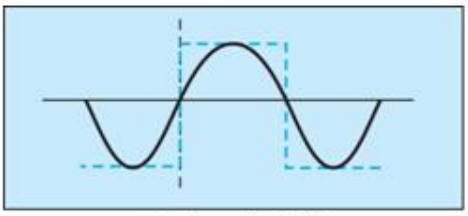
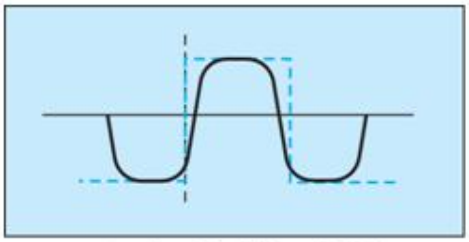


Figure 3.23: Simulating a digital signal with first three harmonic (part II)

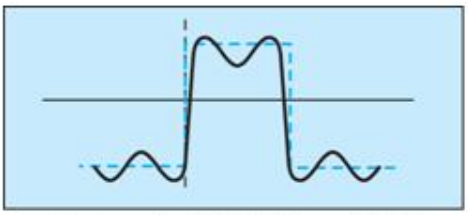
محاكاة الإشارة الرقمية مع التوافقيات الثلاثة الأولى (الجزء 2)



Analog: f = N/2



Analog: f = N/2 and 3N/2



Analog: f = N/2, 3N/2, and 5N/2

Table 3.2: Bandwidth requirements

الجدول 3-2 متطلبات عرض النطاق الترددي

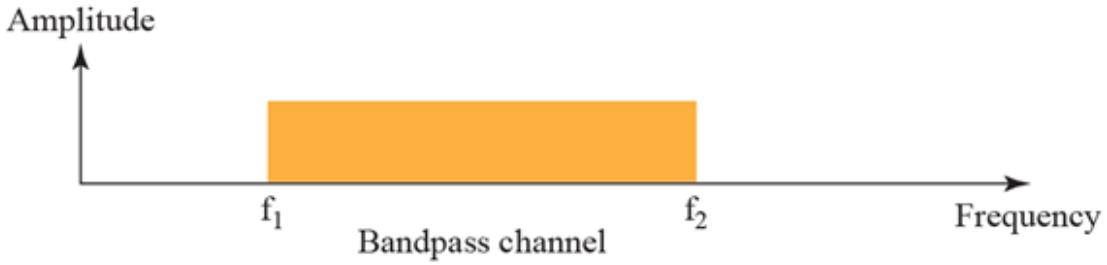
Bit Rate	*Harmonic 1*	*Harmonics 1, 3*	*Harmonics 1, 3, 5*
n = 1 kbps	B = 500 Hz	B = 1.5 kHz	B = 2.5 kHz
n = 10 kbps	B = 5 kHz	B = 15 kHz	B = 25 kHz
n = 100 kbps	B = 50 kHz	B = 150 kHz	B = 250 kHz

Figure 3.24: Bandwidth of a band-pass channel

عرض النطاق الترددي لقناة شريط التمرير

We cannot send the digital signal directly to the bandpass channel; we need to convert the digital signal to an analog signal before transmission.

نحن لا يمكن إرسال الإشارات الرقمية مباشرة إلى قناة ممر الموجه؛ نحن بحاجة إلى تحويل الإشارات الرقمية إلى إشارة تمثيلية قبل الإرسال.

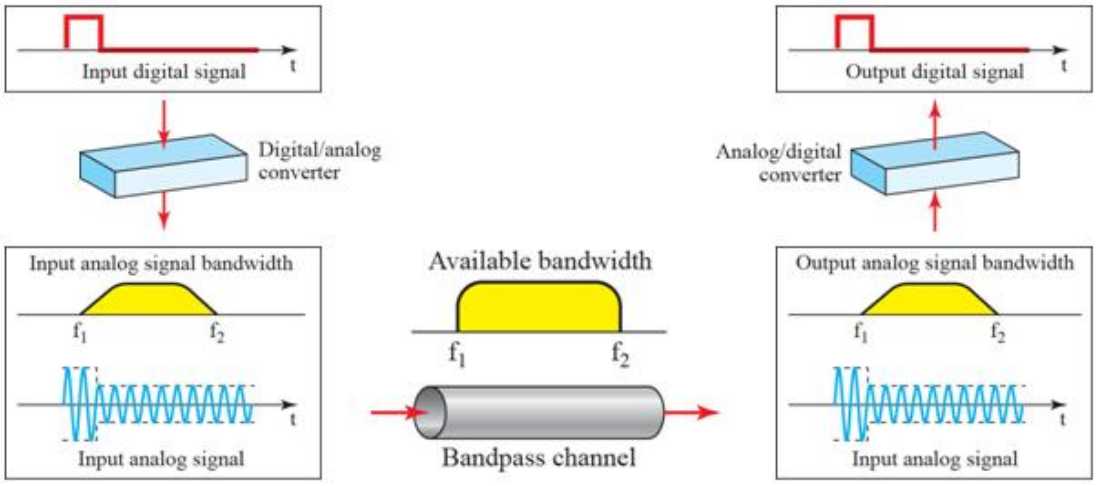


Note that a low-pass channel can be considered a bandpass channel with the lower frequency starting at zero.

لاحظ أن قناة التمرير المنخفضة يمكن أن تعتبر قناة ممر الموجه بتواتر أقل بدءاً من الصفر.

Figure 3.25: Modulation of a digital signal for transmission on band-pass channel

التحوير لإشارة رقمية للبث على القناة شريط تمرير



a digital signal is converted to a composite analog signal.
At the receiver, the received analog signal is converted to digital, and the result is a replica of what has been sent.

إشارة رقمية يتم تحويلها إلى إشارة تمثيلية مركبه.
عند المتلقي، يتم تحويل إشارة التناظرية المستلمه إلى الرقمية، والنتيجة هي نسخة طبق الأصل لما تم إرساله.

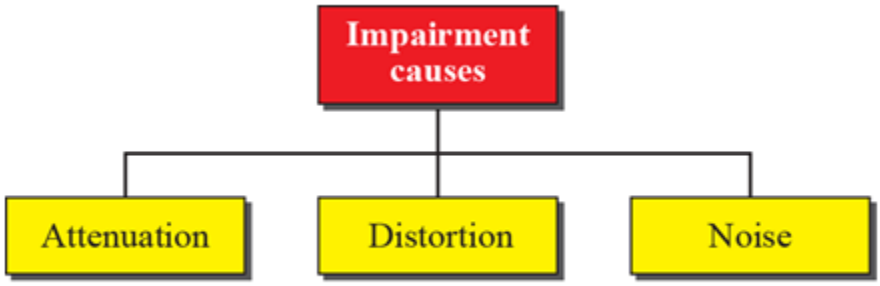
3-4 TRANSMISSION IMPAIRMENT ضعف الارسال

Signals travel through transmission media, which are not perfect.
The imperfection causes **signal impairment:**
The signal at the beginning of the medium is not the same as the signal at the end of the medium.

سفر الإشارات عن طريق وسائط النقل، وهي ليست بمثالية.
العيب يؤدي ضعف الإشارة:
الإشارة في بداية المتوسطة ليست نفس الإشارة في نهاية المتوسطة.

(What is sent is not what is received). ما يتم ارساله ليس ما يتم استقباله
Three causes of impairment are: ثلاث اسباب للإعاقة:
1. Attenuation. 1. تخفيف
2. Distortion. 2. التشويش
3. Noise 3. الضوضاء

Figure 3.26: Causes of impairment اسباب الاعاقه



3.4.1 Attenuation التخفيف او التوهين

Attenuation means a loss of energy.
When a signal, simple or composite, travels through a medium, it loses some of its energy in overcoming the resistance of the medium.

توهين يعني فقدان الطاقة.
عندما تسافر الاشارة، بسيطة أو مركبة، من خلال وسيط، فإنها تفقد بعض من طاقتها في التغلب على مقاومة المتوسط.

That is why a wire carrying electric signals gets warm,
The wire becomes hot after a while because some of the electrical energy in the signal is converted to heat.

لهذا السبب السلك الذي يحمل إشارات كهربائية يحصل على الدافئ،
السلك يصبح حار وبعد فترة من الوقت لأنه يتم تحويل بعض من الطاقة الكهربائية في الإشارة إلى الحرارة.

To compensate for this loss, amplifiers are used to amplify the signal.
تستخدم مكبرات الصوت للتعويض عن هذه الخسارة، تضخيم الإشارات.

Figure 3.27: Attenuation and amplification التضخيم و التوهين

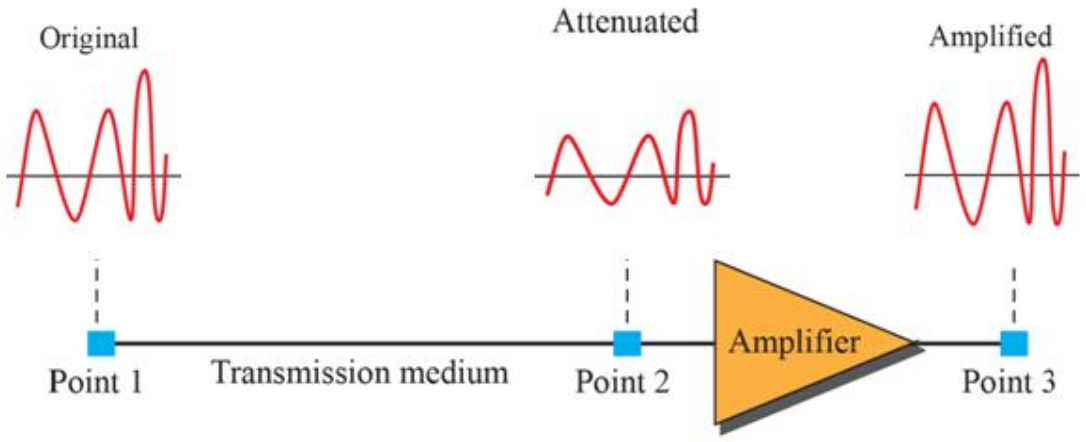
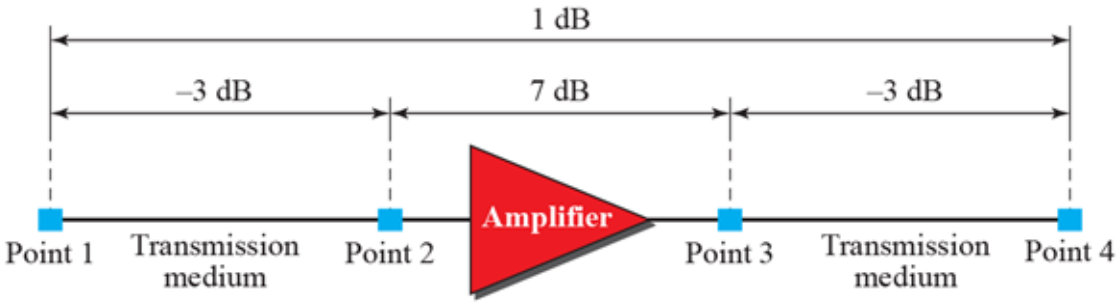


Figure 3.28: Decibels for Example 3.28



3.4.2 Distortion التشوية

Distortion means that the signal changes its form or shape.

التشويه يعني أن الإشارة تغير النموذج أو الشكل.

Distortion can occur in a composite signal made of different frequencies.

يمكن أن يحدث تشويها في إشارة مركبة المصنوعة من ترددات مختلفة.

Each signal component has its own propagation speed through a medium and its own delay in arriving at the final destination.

كل مكون من مكونات الإشارة لها سرعة نشر الخاصة بها عبر طريق وسيط و تأخير الخاصة في وصوله إلى الوجهة النهائية .

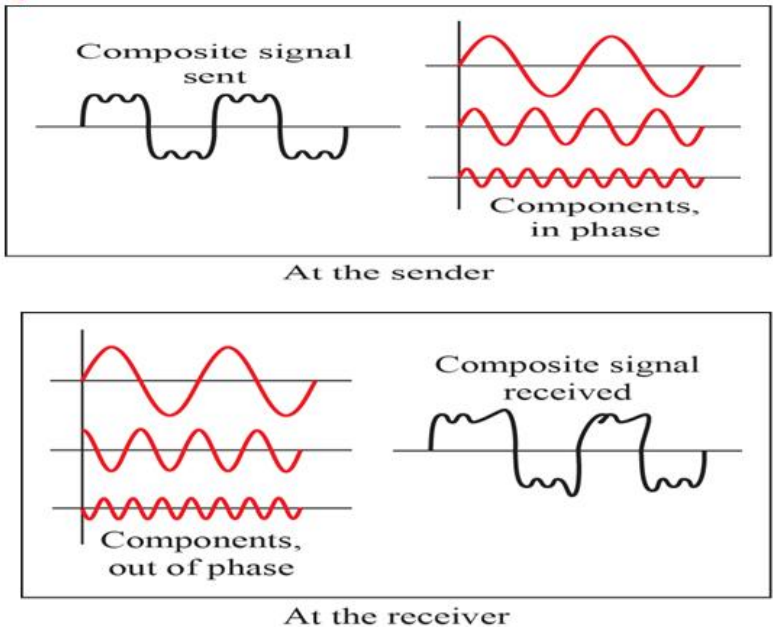
Differences in delay may create a difference in phase.

الاختلافات في تأخير قد يخلق فرقا في المرحلة.

If the delay is not exactly the same as the period duration.

إذا كان التأخير ليس بالضبط نفس مدة الفترة.

Figure 3.29: Distortion التشويه



If the delay is not exactly the same as the period duration, it may create a difference in phase.

إذا كان التأخير هو ليس بالضبط نفس مدة الفترة، قد يخلق فرقا في المرحلة.

3.4.3 Noise الضوضاء

Noise is another cause of impairment. الضجيج سبب اخر للضعف

Several types of noise, such as: عدة انواع من الضجيج مثل،

1. **Thermal noise**: is the random motion of electrons in a wire, which creates an extra signal not originally sent by the transmitter.

1. **الضوضاء الحرارية:** هي الحركة العشوائية للإلكترونات في سلك، مما يخلق إشارة إضافية غير أصليه مرسلة من جهاز الإرسال.

2. **Induced noise**: comes from sources such as motors and appliances. These devices act as a sending antenna, and the transmission medium acts as the receiving antenna.

2. **الناجمة عن الضوضاء:** يأتي من مصادر مثل السيارات والأجهزة المنزلية .هذه الأجهزة بمثابة هوائي إرسال، والنقال المتوسط يعمل كهوائي الاستقبال.

3. **Crosstalk:** is the effect of one wire on the other. One wire acts as a sending antenna and the other as the receiving antenna.

3. **الحديث المتبادل:** هو أثر سلك واحد على الآخر .بمثابة سلك واحد من هوائي إرسال وأخرى كهوائي الاستقبال.

4. **Impulse noise:** is a spike (a signal with high energy in a very short time) that comes from power lines, lightning, and so on.

4. **دفعة الضوضاء:** هو سبايك(إشارة باستخدام طاقة عالية في فترة زمنية قصيرة جداً) التي تأتي من خطوط الكهرباء والبرق، وهلم جرى.

Figure 3.30: Noise:

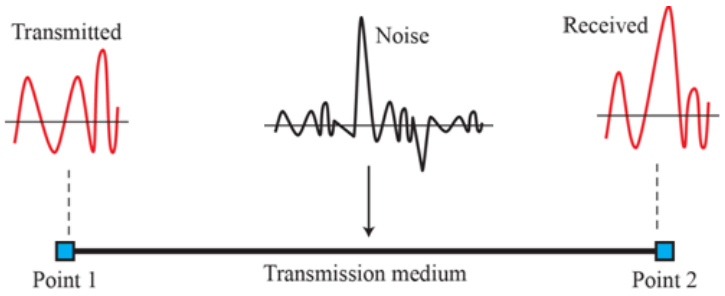
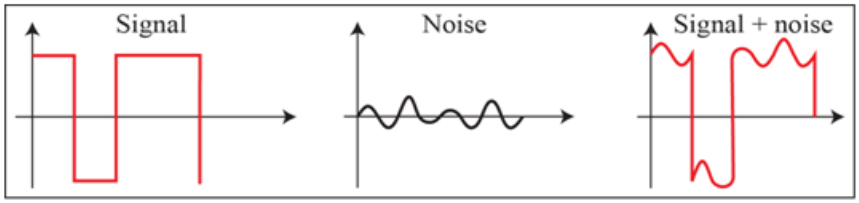
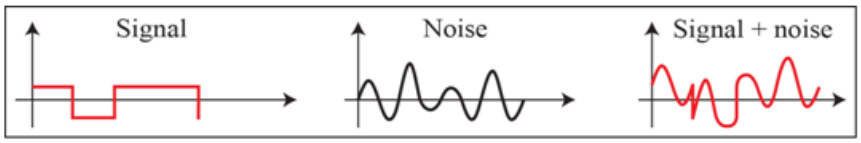


Figure 3.31: Two cases of SNR: a high SNR and a low SNR



a. High SNR



b. Low SNR

SNR is the ratio of what is wanted (signal) to what is not wanted (noise).
high SNR means the signal is less corrupted by noise.
Low SNR means the signal is more corrupted by noise

SNR هو النسبة ما هو مطلوب من (إشارة) إلى ما هو غير مطلوب من (الضوضاء)
SNR العالية يعني ان الإشارة أقل تلف بالضوضاء.
SNR المنخفضة يعني الإشارة تالف أكثر من الضوضاء

$$\text{SNR} = \frac{\text{average signal power}}{\text{average noise power}}$$

3-5 DATA RATE LIMITS حدود معدل البيانات

Data Rate:
How fast we can send data, in bits per second, over a channel?

معدل نقل البيانات:
كيف سريعة يمكننا إرسال البيانات، بعدد البتات في الثانية، عبر قناة؟
Two theoretical formulas were developed to calculate the data rate:

- One by Nyquist for a noiseless channel
- Another by Shannon for a noisy channel.

وضعت اثنين من الصيغ النظرية لحساب معدل البيانات:
- **واحدة من جانب نايكست للقناة الصامتة**
- **و آخر من جانب شانون للقناة الصاخبة.**

3.5.1 Noiseless Channel: Nyquist Rate القناة الصامته لنايكست

For a noiseless channel, the Nyquist bit rate formula defines the theoretical maximum bit rate.

بالنسبه للقناة الصامته، صيغة بت نايكست تحدد الحد الأقصى النظري لمعدل بت.

$$\text{BitRate} = 2 \times \text{bandwidth} \times \log_2 L$$

Bandwidth is the bandwidth of the channel.
L is the number of signal levels used to represent data.
BitRate is the bit rate in bits per second.

عرض النطاق الترددي: هو عرض النطاق الترددي للقناة.
Lهو: عدد مستويات الإشارات المستخدمة لتمثيل البيانات.
معدل البت: هو معدل البت في الثانية.

Example 3.34

Consider a noiseless channel with a bandwidth of 3000 Hz transmitting a signal with two signal levels. The maximum bit rate can be calculated as

$$\text{BitRate} = 2 \times \text{bandwidth} \times \log_2 L$$

$$\text{BitRate} = 2 \times 3000 \times \log_2 2 = 6000 \text{ bps}$$

Example 3.35

Consider the same noiseless channel transmitting a signal with four signal levels (for each level, we send 2 bits). The maximum bit rate can be calculated as

$$\text{BitRate} = 2 \times \text{bandwidth} \times \log_2 L$$

$$\text{BitRate} = 2 \times 3000 \times \log_2 4 = 12{,}000 \text{ bps}$$

Example 3.36

We need to send 265 kbps over a noiseless channel with a bandwidth of 20 kHz. How many signal levels do we need?

Solution

We can use the Nyquist formula as shown:

$$\text{BitRate} = 2 \times \text{bandwidth} \times \log_2 L$$

$$265{,}000 = 2 \times 20{,}000 \times \log_2 L \longrightarrow \log_2 L = 6.625 \longrightarrow L = 2^{6.625} = 98.7 \text{ levels}$$

Since this result is not a power of 2, we need to either increase the number of levels or reduce the bit rate.

(The number of bits sent per level needs to be an integer as well as a power of 2)

If we have 128 levels, the bit rate is 280 kbps.

If we have 64 levels, the bit rate is 240 kbps.

3.5.2 Noisy Channel: Shannon Capacity القناة الصاخبه: قدرة شانون

In reality, we cannot have a noiseless channel; the channel is always noisy.

Claude Shannon introduced a formula, called the Shannon capacity, to determine the theoretical highest data rate for a noisy channel:

وفي الواقع، أنه لا يمكننا أن نحصل على قناة صامتة؛ فالقناة دائماً صاخبة.
كلود شانون عرض صيغة، تسمى القدرة شانون، لتحديد معدل بيانات أعلى نظرية لقناة صاخبة:

Bandwidth: bandwidth of the channel

SNR: signal-to- noise ratio

Capacity: capacity of the channel in bits per second.

$$\text{Capacity} = \text{bandwidth} \times \log_2(1 + \text{SNR})$$

عرض النطاق :عرض النطاق الترددي للقناة الترددي

SNR: نسبة الإشارة إلى الضجيج

القدرات :قدرة القناة بعدد البتات في الثانية.

There is no indication of the signal level, which means that no matter how many levels we have, we cannot achieve a data rate higher than the capacity of the channel.

So, the formula defines a characteristic of the channel, not the method of transmission.

لا يوجد ما يشير إلى مستوى إلاشارة، مما يعنى أنه بغض النظر
عن كم عدد المستويات التي لدينا، لا يمكننا تحقيق معدل بيانات أعلى من قدرة القناة.
لذا، الصيغة تُعرف سمة القناة، لا طريقة الانتقال.

Example 3.37

Consider an extremely noisy channel in which the value of the signal-to-noise ratio is almost zero. In other words, the noise is so strong that the signal is faint. For this channel the capacity C is calculated as

$$\text{Capacity} = \text{bandwidth} \times \log_2(1 + \text{SNR})$$

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = B \log_2(1 + 0) = B \log_2 1 = B \times 0 = 0$$

This means that the capacity of this channel is zero regardless of the bandwidth.
In other words, we cannot receive any data through this channel.

Example 3.38

We can calculate the theoretical highest bit rate of a regular telephone line. A telephone line normally has a bandwidth of 3000 Hz (300 to 3300 Hz) assigned for data communications. The signal-to-noise ratio is usually 3162. For this channel the capacity is calculated as

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 3000 \log_2(1 + 3162) = 3000 \times 11.62 = 34{,}860 \text{ bps}$$

This means that the highest bit rate for a telephone line is 34.860 kbps.
If we want to send data faster than this, we can either increase the bandwidth of the line or improve the signal-to-noise ratio.

3.5.3 Using Both Limits استخدام كلا الحدود

In practice, we need to use both methods to find the limits and signal levels.

في الممارسة العملية، نحن بحاجة إلى استخدام كلا الأسلوبين للبحث عن الحدود ومستويات الإشارة.

The Shannon capacity gives us the upper limit.

قدرة شانون تعطينا الحد الأعلى.

The Nyquist formula tells us how many signal levels we need.

صيغة نايكست تخبرنا كم عدد مستويات الاشارة التي نحن بحاجة لها.

3.6.1 Bandwidth عرض النطاق الترددي

One characteristic that measures network performance is bandwidth

صفة مميزة واحدة أن تدابير أداء الشبكة هو عرض النطاق الترددي.

However, the term can be used in two different contexts with two different measuring values:

- bandwidth in hertz.
- bandwidth in bits per second.

ومع ذلك، يمكن استخدام المصطلح في سياقين مختلفين مع قيمتين قياس مختلفة:

- **عرض النطاق الترددي بالهرتز.**
- **عرض النطاق الترددي بعدد البتات في الثانية.**

Example 3.42 - Example 3.43

The bandwidth of a subscriber line is 4 kHz for voice or data. The bandwidth of this line for data transmission
can be up to 56,000 bps using a sophisticated modem to change the digital signal to analog.

If the telephone company improves the quality of the line and increases the bandwidth to 8 kHz, we can send 112,000 bps.

3.6.2 Throughput الانتاجية

Throughput is a measure of how fast we can actually send data through a network.
Bandwidth in bits per second and throughput are different.
A link may have a bandwidth of B bps, but we can only send T bps through this link, with T always less than B.

الإنتاجية هي مقياس لمدى سرعة التي يمكننا فعلا إرسال البيانات من خلال شبكة.
عرض النطاق الترددي بعدد البتات في الثانية وسرعة النقل مختلفة.
قد يكون ارتباط عرض النطاق الترددي B bps في الثانية، ولكن يمكننا فقط إرسال T bps من خلال هذا الرابط، و T دائماً أقل من B

Example: we have a link with a bandwidth of 1 Mbps, but the devices connected to the end of the link may handle only 200 kbps. This means that we cannot send more than 200 kbps through this link.

على سبيل المثال: لدينا ارتباط مع عرض النطاق الترددي من 1 ميغابايت في الثانية، ولكن الأجهزة المتصلة بنهاية الارتباط يمكنها التعامل فقط مع 200 كيلو بايت في الثانية. وهذا يعني أنه لا يمكن أن نقوم بإرسال أكثر من 200 كيلو بايت في الثانية من خلال هذا الرابط.

Imagine a highway designed to transmit 1000 cars per minute from one point to another. However, if there is congestion on the road, this figure may be reduced to 100 cars per minute. The bandwidth is 1000 cars per minute; the throughput is 100 cars per minute.

تخيل أحدى الطرق السريعة المصممة لنقل 1000 سيارة في الدقيقة الواحدة من نقطة واحدة إلى أخرى .ومع ذلك، إذا كان هناك ازدحام في الطريق، قد يُخفض هذا الرقم إلى 100 سيارة في الدقيقة .عرض النطاق الترددي 1000 سيارات في الدقيقة الواحدة؛ الإنتاجية من 100 سيارة في الدقيقة الواحدة.

Example 3.44

A network with bandwidth of 10 Mbps can pass only an average of 12,000 frames per minute with each frame carrying an average of 10,000 bits. What is the throughput of this network?

Solution:

We can calculate the throughput as:

$$\text{Throughput} = (12{,}000 \times 10{,}000) / 60 = 2 \text{ Mbps}$$

The throughput is almost one-fifth of the bandwidth in this case.

3.6.3 Latency

The latency or delay defines how long it takes for an entire message to completely arrive at the destination from the time the first bit is sent out from the source.

زمن الوصول أو تأخير يوضح كم الوقت المستغرق لوصول الرسالة بالكامل إلى الوجهة من باية وقت إرسال البت الأول من المصدر.

We can say that latency is made of four components:

يمكننا ان نقول ان زمن الوصول ويتكون من أربعة عناصر:

Propagation time: **زمن الانتشار**
Transmission time: **وقت الاسال**
Queuing time: **وقت الانتظار**
Processing delay: **تأخير التجهز**

$$\text{Latency} = \text{propagation time} + \text{transmission time} + \text{queuing time} + \text{processing delay}$$

3.6.3 Latency زمن الوصول

Propagation time: measures the time required for a bit to travel from the source to the destination.

وقت النشر : يقيس الوقت اللازم للبت لسفر من المصدر إلى الوجهة.

$$\text{Propagation time} = \text{Distance} / (\text{Propagation Speed})$$

Transmission time: time between the first bit leaving the sender and the last bit arriving at the receiver. The transmission time of a message depends on the size of the message and the bandwidth of the channel.

وقت الإرسال :الوقت المستغرق بين مغادرة بت الأول للمرسل ووصول البت الاخير الى المتلقي .وقت إرسال الرسالة يعتمد على حجم الرسالة وعرض النطاق الترددي للقناة.

$$\text{Transmission time} = (\text{Message size}) / \text{Bandwidth}$$

Queuing time: the time needed for each intermediate or end device to hold the message before it can be processed.

وقت انتظار :الوقت اللازم لكل وسيطة أو إنهاء جهاز لحمل الرسالة قبل ان يتم معالجتها.

3.6.4 Bandwidth-Delay Product عرض النطاق الترددي- تأخير المنتج

What is very important in data communications is the product of the Bandwidth and delay.

ما هو مهم جداً في اتصالات البيانات هو المنتج لعرض النطاق الترددي والتأخير.

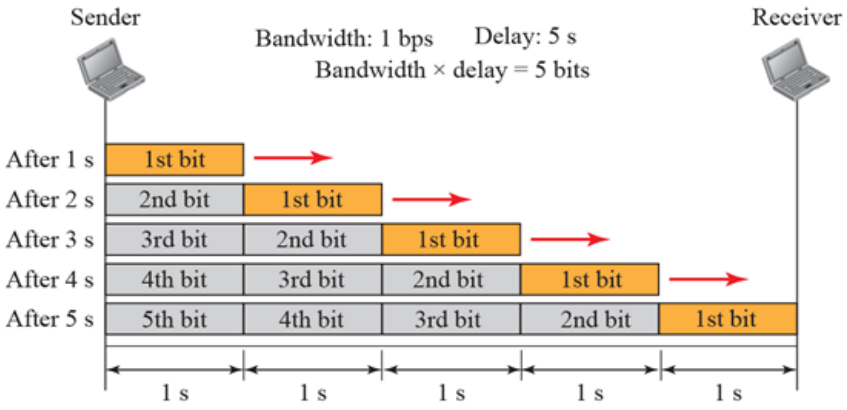
The product of bandwidth and delay is the number of bits that can fill the link.

المنتج لعرض النطاق الترددي والتأخير هو عدد البتات التي يمكن أن تملأ الارتباط.

Let us elaborate on this issue, using two hypothetical cases as examples.

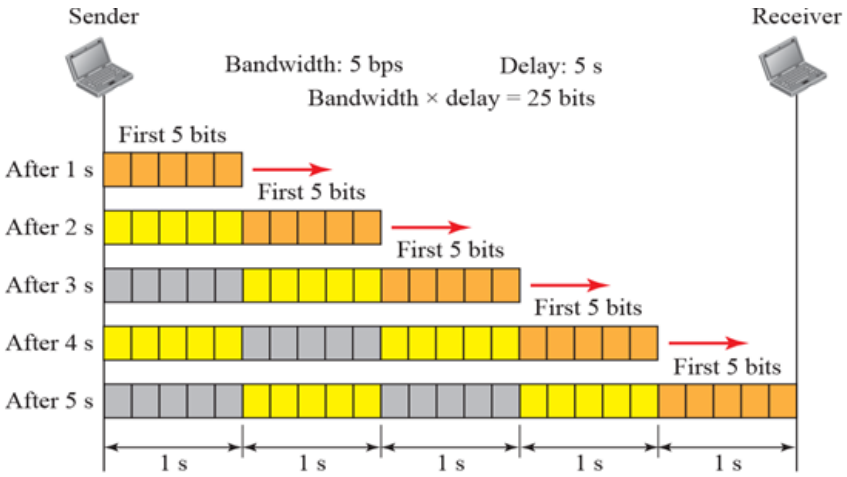
دعونا نوضح هذه المسألة، وذلك باستخدام اثنين من حالات افتراضية على سبيل المثال.

Figure 3.32: Filling the links with bits for Case 1 ملء الروابط بالبتات في الحاله1



assuming that we have a link with a bandwidth of 1 bps (unrealistic).
We also assume that the delay of the link is 5 s (also unrealistic).
We want to see what the bandwidth-delay product means in this case?
This product 1 × 5 is the maximum number of bits that can fill the link. There can be no more than 5 bits at any time on the link.

Figure 3.33: Filling the pipe with bits for Case 2 ملء الروابط بالبتات في الحاله2



Assuming we have a bandwidth of 5 bps, and the delay of the link is 5 s
There can be maximum 5 × 5 = 25 bits on the line.
The reason is that, at each second, there are 5 bits on the line
The duration of each bit is: 1/5 = 0.20 s.

Example 3.48:

We can think about the link between two points as a pipe. The cross section of the pipe represents the bandwidth, and the length of the pipe represents the delay.
We can say the volume of the pipe defines the bandwidth-delay product, as shown in Figure 3.34.

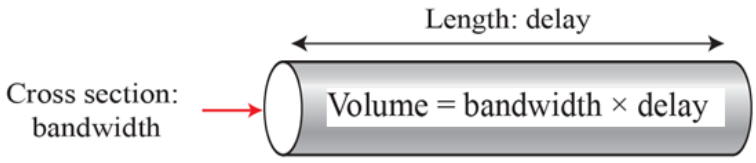


Figure 3.34: Concept of bandwidth-delay product

3.6.5 Jitter التقطع

Jitter is another performance issue that is related to delay.

التقطع مسألة أداء أخرى مرتبط بتأخير.

We can roughly say that jitter is a problem if different packets of data encounter different delays and the application using the data at the receiver site is time-sensitive (audio and video data, for example).

يمكننا أن نقول تقريبا أن التقطع مشكلة إذا تواجه تأخيرات مختلفة من مجموعات مختلفة من البيانات، والتطبيق باستخدام البيانات الموجودة في موقع المتلقي حساسة للوقت (على سبيل المثال، بيانات الصوت والفيديو)

If the delay for the first packet is 20 ms for the second is 45 ms, and for the third is 40 ms, then the real-time application that uses the packets endures jitter.

إذا كان التأخير للحزمة الأولى 20 مللي ثانية وللمرة الثانية هو 45 والثالث هو 40 مللي للثانية، إذا الوقت الحقيقي للتطبيق في أن يستخدم الحزم التي تحمل التقطيع.