



Podstawy transmisji sygnałów



Sygnal elektromagnetyczny

- Jest funkcją czasu
- Może być również wyrażony jako funkcja częstotliwości
 - Sygnal składa się ze składowych o różnych częstotliwościach



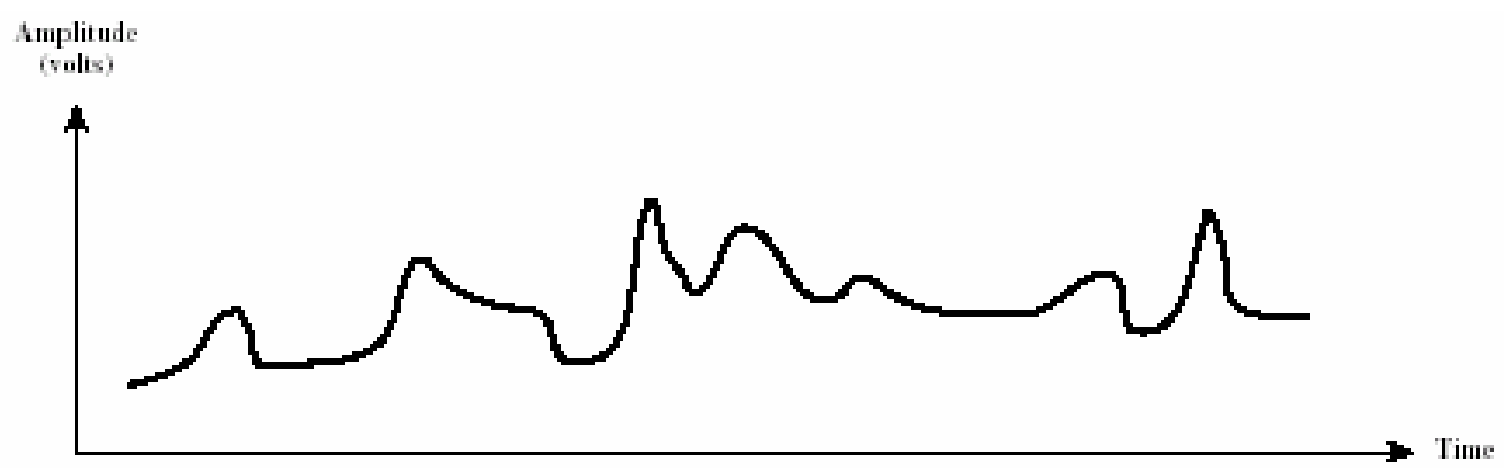
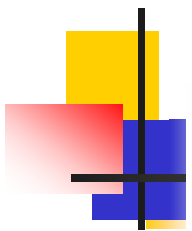
Koncepcja sygnału

- **sygnał analogowy** – intensywność sygnału zmienia się w sposób łagodny w czasie
 - Brak przerw czy nieciągłości w sygnale
- **sygnał cyfrowy** – podtrzymywana jest intensywność sygnału na stałym poziomie przez pewien okres czasu a następnie zmienia się on do innego stałego poziomu
- **sygnał periodyczny** – sygnał analogowy lub cyfrowy, którego obraz powtarza się periodycznie (cyklicznie) w czasie

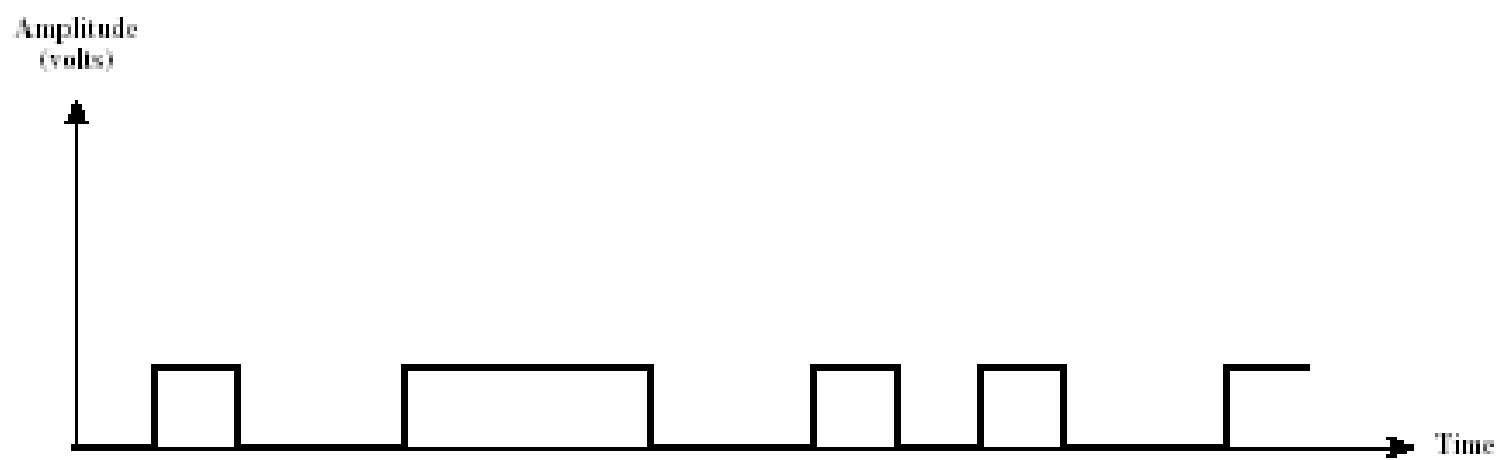
$$s(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < +\infty$$

gdzie T jest okresem sygnału

- **sygnał aperiodyczny** – sygnał analogowy lub cyfrowy, którego obraz nie powtarza się w czasie



(a) Analog



(b) Digital

Figure 2.1 Analog and Digital Waveforms



Koncepcja sygnału (cd.)

- **amplituda (A)**
 - maksymalna wartość lub siła sygnału w czasie
 - Zwykle mierzona w voltach
- **częstotliwość (f)**
 - Liczba powtórzeń (cykli) sygnału w ciągu jednej sekundy; jednostką częstotliwości jest **herc (Hz)** odpowiadający jednemu powtórzeniu sygnału w ciągu 1 sekundy



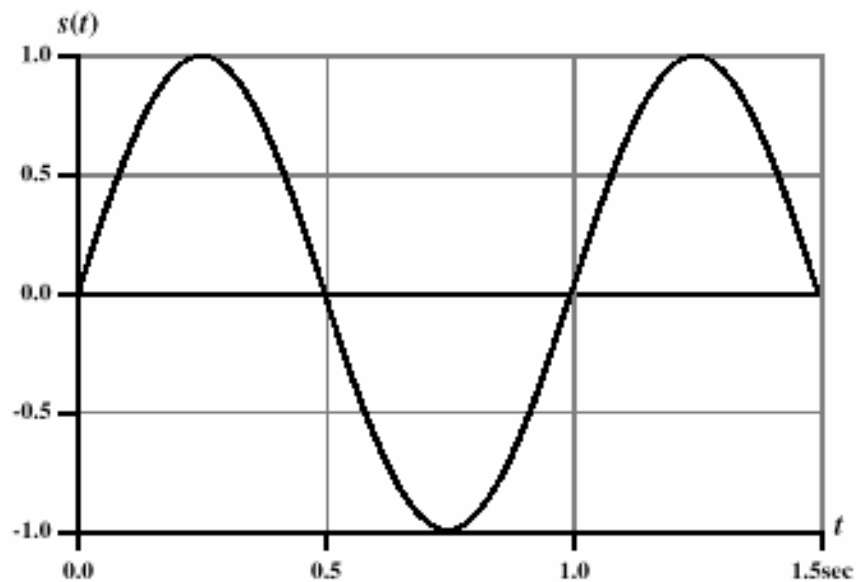
Koncepcje sygnału (cd.)

- **Okres (T)**
 - wielkość czasu jaką zajmuje jedno powtórzenie sygnału
 - $T = 1/f$
- **Faza (ϕ)** - miara względnej pozycji w czasie wewnątrz pojedynczego okresu sygnału
- **Długość fali (λ)** - odległość zajmowana przez pojedynczy cykl sygnału
 - Np: Prędkość światła $v = 3 \times 10^8$ m/s. To długość fali $\lambda f = v$ (lub $\lambda = vT$).

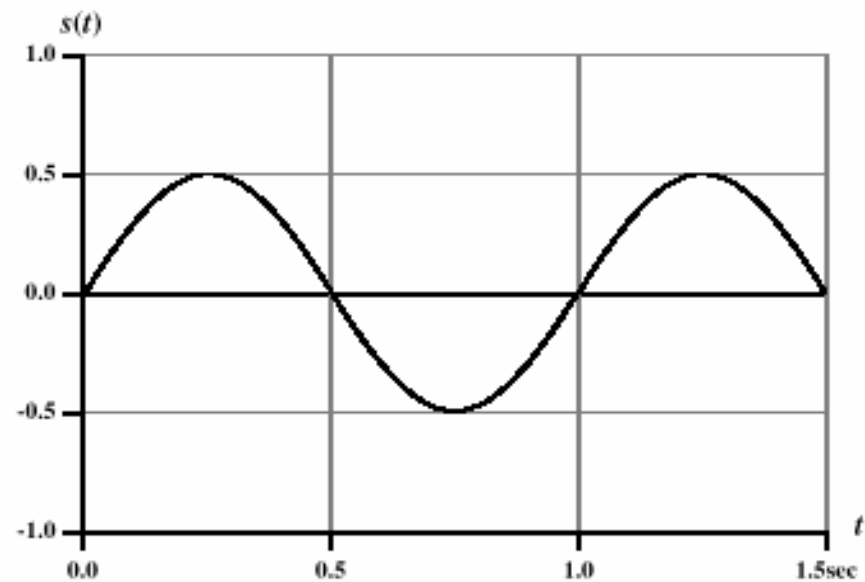


Parametry fali sinusoidalnej

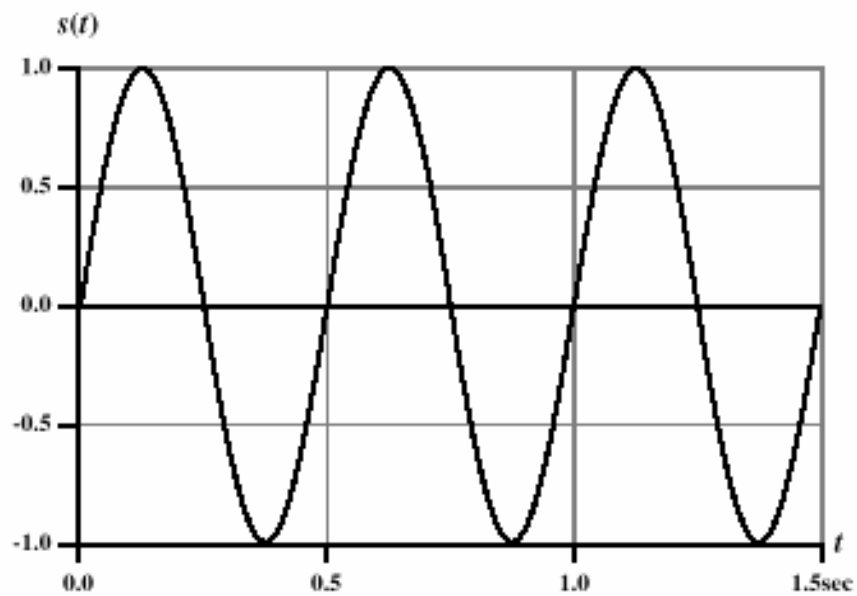
- Ogólna fala sinusoidalna
 - $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$
 - uwaga: 2π radianów = $360^\circ = 1$ okres
- Rys 2.3 pokazuje efekt zmian każdego z trzech parametrów
 - (a) $A = 1, f = 1$ Hz, $\phi = 0$; tak więc $T = 1$ s
 - (b) zredukowana amplituda; $A = 0.5$
 - (c) zwiększona częstotliwość; $f = 2$, tak więc $T = 1/2$
 - (d) przesunięcie fazowe; $\phi = \pi/4$ radiany (45 stopni)



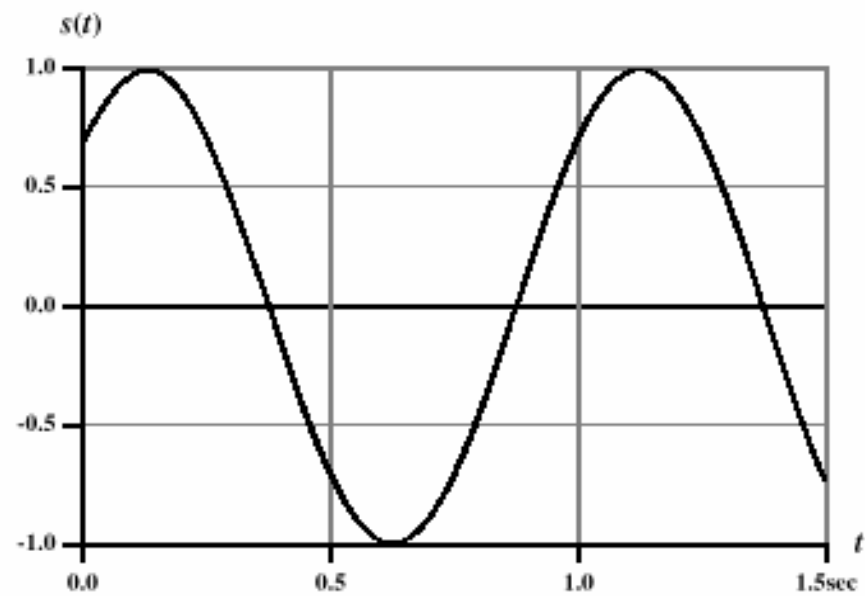
(a) $A = 1, f = 1, \phi = 0$



(b) $A = 0.5, f = 1, \phi = 0$



(c) $A = 1, f = 2, \phi = 0$



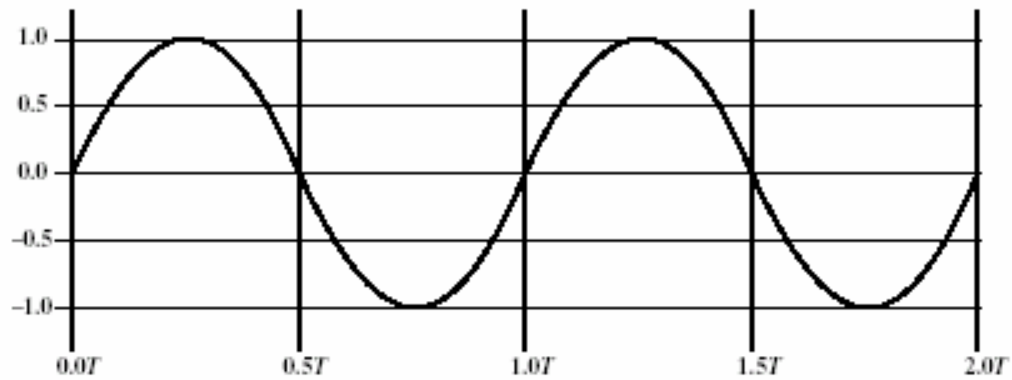
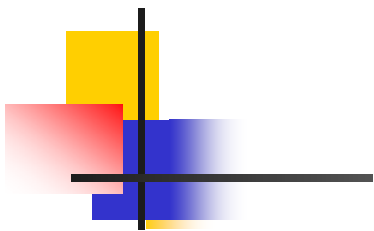
(d) $A = 1, f = 1, \phi = \pi/4$

Figure 2.3 $s(t) = A \sin (2 ft + \phi)$

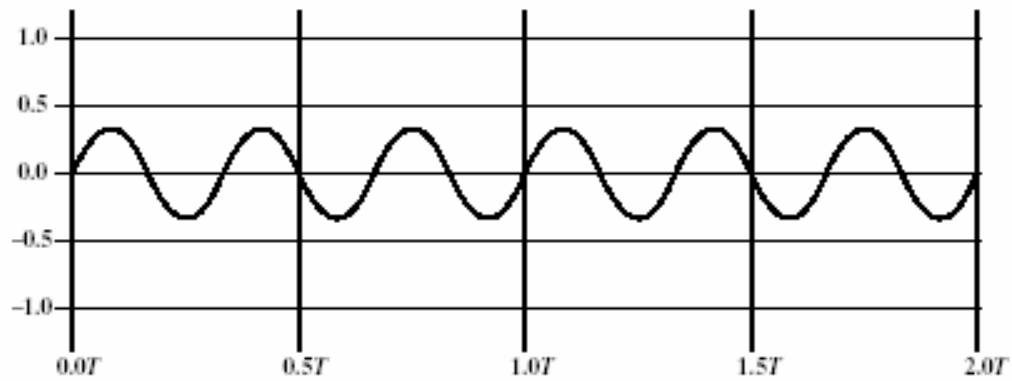


Koncepcje związane z częstotliwością

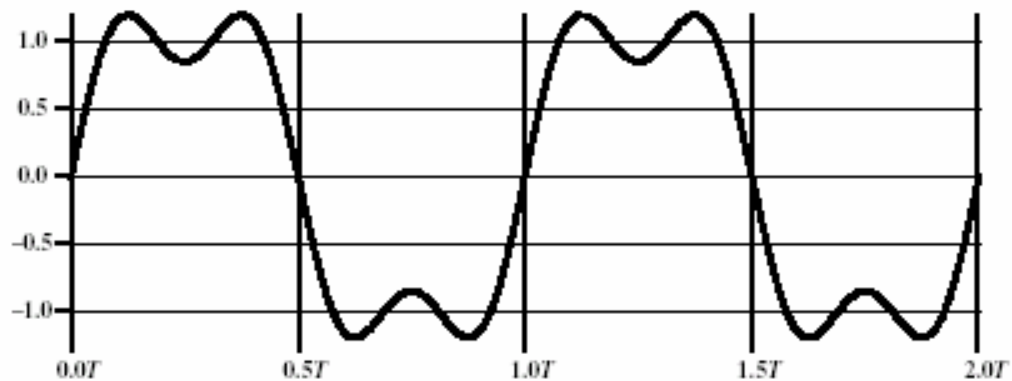
- Sygnał elektromagnetyczny może składać się z wielu częstotliwości.
 - przykład:
$$s(t) = (4/\pi)(\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3f)t))$$
 - Rys. 2.4(a) + Fig. 2.4(b) = Fig. 2.4(c)
 - Widoczne są dwie składowe częstotliwości: f i $3f$.
 - Na podstawie analizy Fouriera, każdy sygnał utworzony jest ze składowych o różnych częstotliwościach,
 - wszystkie składowe są falami sinusoidalnymi o różnych amplitudach, częstotliwościach i fazach.



(a) $\sin(2\pi ft)$



(b) $(1/3)\sin(2\pi(3f)t)$



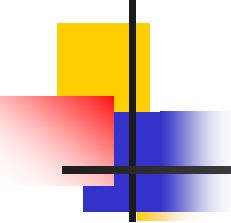
(c) $(4/3)[\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3f)t)]$

Figure 2.4 Addition of Frequency Components ($T = 1/f$)



Koncepcje związane z częstotliwością (cd.)

- **Spektrum** – zakres częstotliwości które zawiera sygnał
 - na Rys. 2.4(c), spektrum rozciąga się z f do $3f$.
- **Absolutne pasmo** - szerokość spektrum sygnału
 - na Rys. 2.4(c), wynosi ono $3f - f = 2f$.
- **Efektywne pasmo** lub **pasmo** –
 - sygnał może zawierać wiele częstotliwości.
 - Ale większość energii może być skoncentrowana na wąskiej grupie częstotliwości.
 - Te częstotliwości są efektywnym pasmem.

- 
- **częstotliwość podstawowa** –
 - gdy wszystkie składowe częstotliwości sygnału są całkowitoliczbowymi wielokrotnościami jednej częstotliwości, to nazywana jest ona **częstotliwością podstawową**
 - (przykład wcześniejszy) f oraz $3f \rightarrow$ częst. Podst. = f
 - okres całego sygnału jest równy okresowi częstotliwości podstawowej.
 - Patrz, Rys. 2.4 znowu!

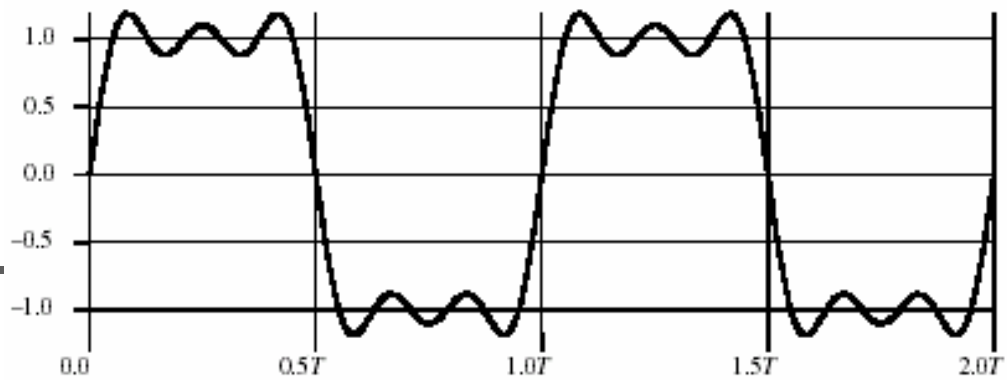
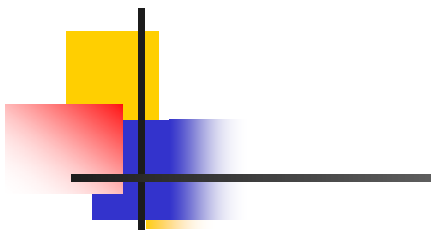


Dane a sygnały

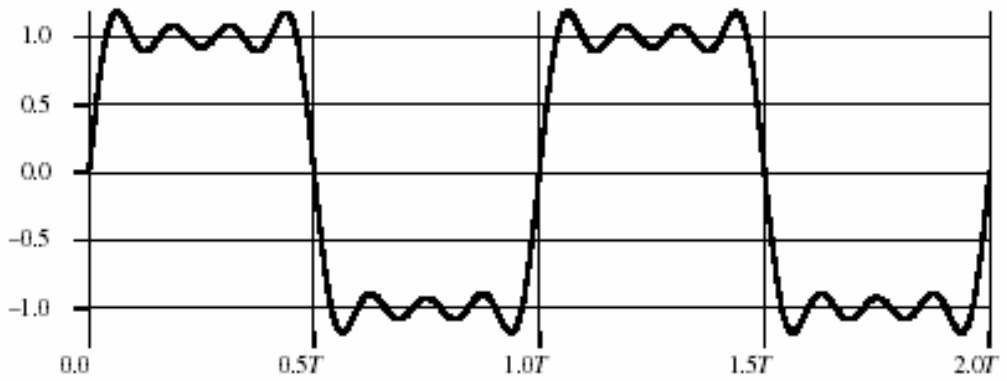
- Sygnały - elektryczna lub elektromagnetyczna reprezentacja danych
- Dane – byty, które przenoszą znaczenia lub informację
- Transmisja – przenoszenie danych przez propagację i przetwarzanie sygnałów

Aproksymacja funkcji kwadratowej przez sygnały

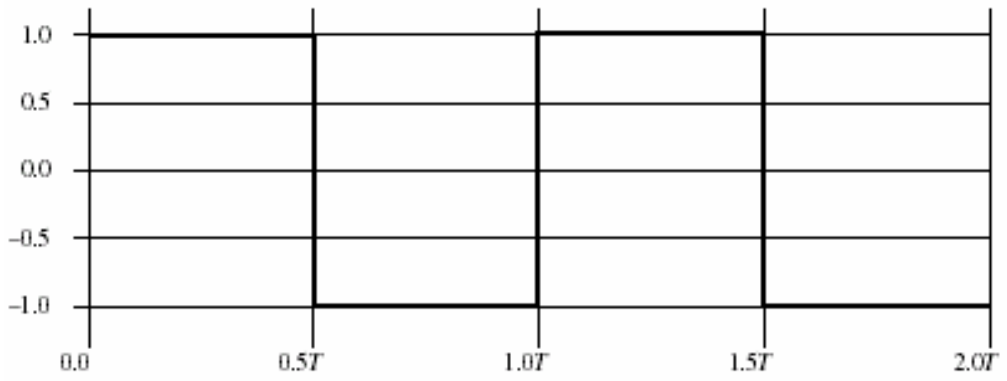
- dodanie częstotliwości $5f$ do Rys. 2.4(c) → Rys. 2.5(a)
- dodanie częstotliwości $7f$ do Rys. 2.4(c) → Rys. 2.5(b)
- dodanie wszystkich częstotliwości $9f, 11f, 13f, \dots$ → Rys. 2.5(c), funkcja kwadratowa
 - Ta funkcja kwadratowa posiada **nieskończoną liczbę** składowych częstotliwości i w ten sposób **nieskończone pasmo**.



(a) $(4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3ft)) + (1/5)\sin(2\pi(5ft))]$



(b) $(4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3ft)) + (1/5)\sin(2\pi(5ft)) + (1/7)\sin(2\pi(7ft))]$



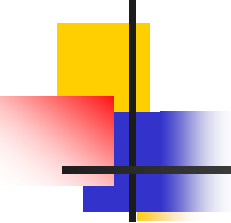
(c) $(4/\pi) \sum (1/k) \sin(2\pi(kft))$, for k odd

Figure 2.5 Frequency Components of Square Wave ($T = 1/f$)



Prędkość danych a pasmo

- przypadek I: (Rys. 2.5(a))
 - niech $f = 10^6$ cykli/sec = 1 MHz
 - Składowe częstotliwości: $1f, 3f, 5f$
 - Absolutne pasmo = $5f - 1f = 4f = 4$ MHz
 - Prędkość danych = 2 Mbps (1 bit na 0.5 us)
- przypadek II: (Rys. 2.5(a))
 - niech $f = 2 \times 10^6$ cykli/sec = 2 MHz
 - Składowe częstotliwości: $1f, 3f, 5f$
 - Absolutne pasmo = $10M - 2M = 8$ MHz
 - Prędkość danych = 4 Mbps (1 bit na 1/4 us)

- 
- przypadek III: (Rys. 2.4(c))
 - niech $f = 2 \times 10^6$ cykli/sec = 2 MHz
 - częstotliwości: $1f, 3f$
 - Absolutne pasmo = $6M - 2M = 4$ MHz
 - Prędkość danych = 4 Mbps (1 bit na $1/4$ us)
 - ** porównaj absolutne pasmo i prędkość danych w tych przykładach!



Kilka pojęć dotyczących pojemności kanału

- prędkość danych - prędkość z jaką dane mogą być przesyłane (bps)
- pasmo - pasmo transmitowanego sygnału ograniczone nadajnikiem oraz naturą of medium transmisyjnego (herc)
- szum
- Pojemność kanału – maksymalna prędkość z jaką dane mogą być transmitowane poprzez daną drogę komunikacyjną, lub kanał, przy zadanych warunkach
- Stopa błędów – prędkość z jaką pojawiają się błędy



Pasmo Nyquist'a

- dla zadanej wielkości pasma B , najwyższa prędkość transmisji danych jest równa $2B$:
 - $C = 2B$
 - *np: $B=3100 \text{ Hz}; C=6200 \text{ bps}$*
- Przy wielopoziomowym sygnale
 - $C = 2B \log_2 M$, gdzie M jest liczbą dyskretnych poziomów sygnału lub napięcia



Stosunek sygnał-szum

- Jest to stosunek mocy sygnału (signal power) do mocy zawartej w szumie (noise power), który jest obecny w jakimś konkretnym punkcie transmisji
- Zwykle jest mierzony w **odbiorniku**
- Stosunek sygnał-szum (signal-to-noise ratio (SNR, or S/N))

$$(SNR)_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}}$$

- $= 10 \log_{10} SNR$
- $(SNR)_{10}$ określa się w decybelach (db)
- Wysoka wartość SNR oznacza sygnał wysokiej jakości.
- SNR ustanawia górną granicę osiągalnej prędkości danych.



Teoretyczna pojemność kanału wg. formuły Shannona

- Maksymalna pojemność kanału (bit./s):
$$C = B \log_2(1 + \text{SNR})$$
 - uwaga: SNR nie w db.
- W praktyce, tylko znacznie mniejsze prędkości są osiągane
 - Formuła zakłada istnienie białego szumu (szum termiczny)
 - Szum impulsowy nie jest brany pod uwagę

Klasyfikacja mediów Transmisyjnych

- Medium transmisyjne
 - Fizyczna droga między nadajnikiem a odbiornikiem
- Media przewodzące
 - Fale są przewodzone wzdłuż medium trwałego
 - np., miedziana skrętka pary przewodów, miedziany kabel współosiowy, światłowód
- Media nieprzewodzące
 - zapewniają środki transmisji ale nie przewodzą sygnałów elektromagnetycznych
 - Zwykle określa się je jako **media transmisji bezprzewodowej**
 - np., atmosfera, przestrzeń kosmiczna



Ogólne zakresy częstotliwości

- Zakres częstotliwości mikrofalowych
 - 1 GHz do 40 GHz
 - Kierunkowe anteny możliwe
 - Służą do transmisji na dużą odległość, połączenia typu punkt-punkt
 - Używane w komunikacji satelitarnej
- Zakres częstotliwości radiowych
 - 30 MHz do 1 GHz
 - Służą w zastosowaniach wymagających anten dookólnych (omnidirectional)
- Zakres częstotliwości podczerwonych
 - około, 3×10^{11} do 2×10^{14} Hz
 - Użyteczne w zastosowaniach wymagających połączeń typu wielodostępowy punkt-punkt wewnątrz zamkniętych obszarów