Uniwersytet Wrocławski
Wydział Fizyki i Astronomii
Instytut Fizyki Doświadczalnej
pl. M. Borna 9
50-204 Wrocław
tel. +48 71 375 93 02, +48 71 328 73 65
fax +48 71 328 73 65
e-mail: sekr@ifd.uni.wroc.pl
www.ifd.uni.wroc.pl

Elektronika (konspekt)

Franciszek Gołek **(golek@ifd.uni.wroc.pl)**
www.pe.ifd.uni.wroc.pl

Wykład 11

Podstawy elektroniki cyfrowej
(bramki logiczne)

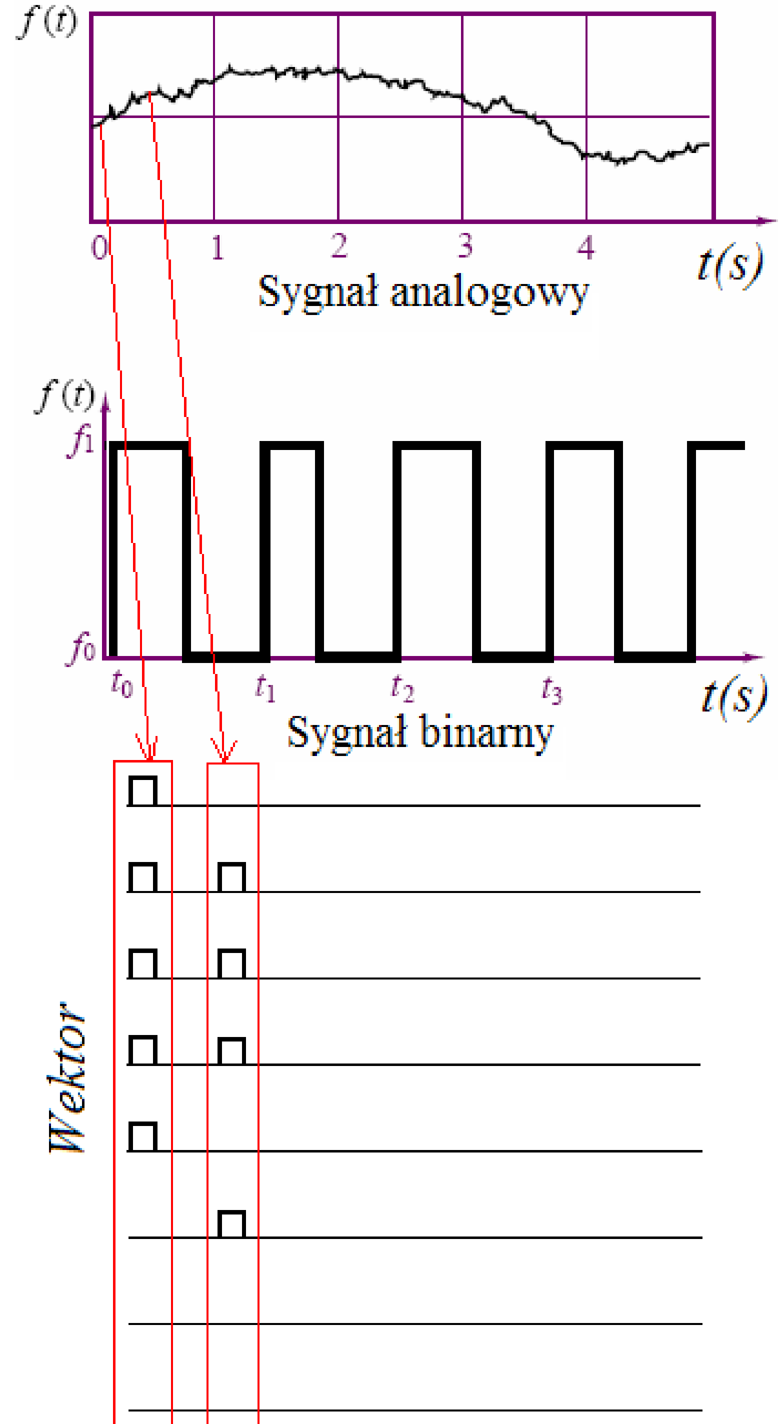
Dwa znaki wystarczają aby w układach cyfrowych i komputerach zapisywać wszelaką informację - liczby, słowa, instrukcje itp.

Podobnie jak w systemie dziesiętnym zapisujemy liczby stosując dziesięć znaków i podstawą jest liczba 10 (na przykład $256 = 2 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^0$) tak w systemie liczbowym binarnym (dwójkowym) wykorzystujemy tylko dwa symbole: 0 i 1 a podstawą jest liczba 2. Na przykład $1101_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0.$

W elektronice cyfrowej ciąg znaków 0 i 1 może oznaczać nie tylko liczby, mogą to być litery i mogą to być kody instrukcji do wykonania przez dane urządzenie elektroniczne.

Informacja w postaci elektrycznego sygnału analogowego wykazuje zasadniczą wadę jaką jest ograniczona precyzja. Dominujący wpływ na ograniczenie precyzji sygnałów analogowych mają tzw. szumy elektryczne, których wielkość choć można obniżać to o ich całkowitej eliminacji mowy nie ma.

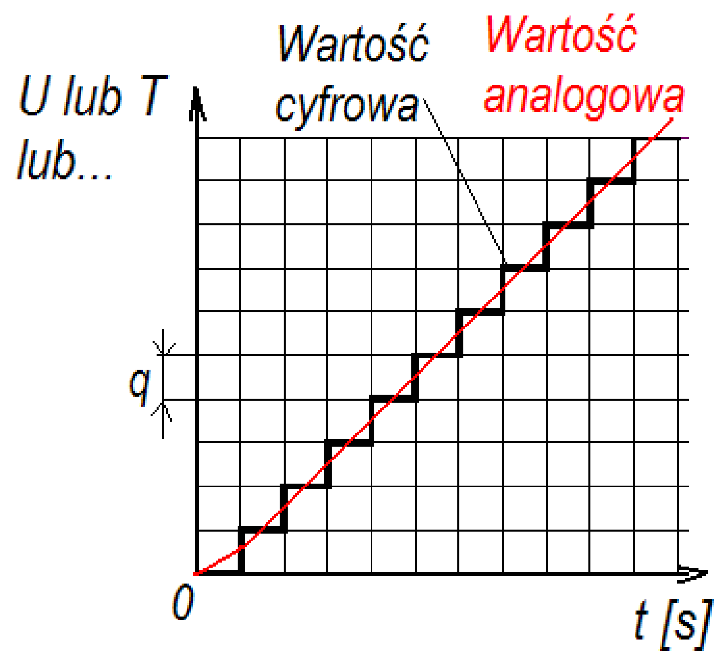
Sytuacja radykalnie się poprawia, gdy informacja jest kodowana w postaci elektrycznego sygnału cyfrowego. W tym przypadku zwykły szum nie stanowi poważnej przeszkody sygnały cyfrowe (nawet transmitowane na znaczne odległości) są łatwo oczyszczane z szumu. Istotne jest aby szum nie przekroczył wartości różnicy między stanami niskimi i wysokimi reprezentującymi zera i jedynki (– jedyne elementarne znaki w elektronice cyfrowej).



W przeciwieństwie do układów analogowych pracujących na sygnałach o ciągłym spektrum wartości, układy cyfrowe pracują na sygnałach dwuwartościowych. W układach cyfrowych rozróżniamy stany: wysoki (H – High) i stan niski (L – Low). Dokładna wartość stanu jest tu mniej istotna byle tylko mieściła się w odpowiednim dopuszczalnym przedziale wartości. W układach cyfrowych sygnały są ciągami zer i jedynek. Można nimi kodować dowolną informację, nawet przebiegi analogowe stosując przetworniki A/C (analogowo-cyfrowe) i ponownie przywracać pierwotną postać analogową stosując przetworniki C/A (cyfrowo-analogowe).

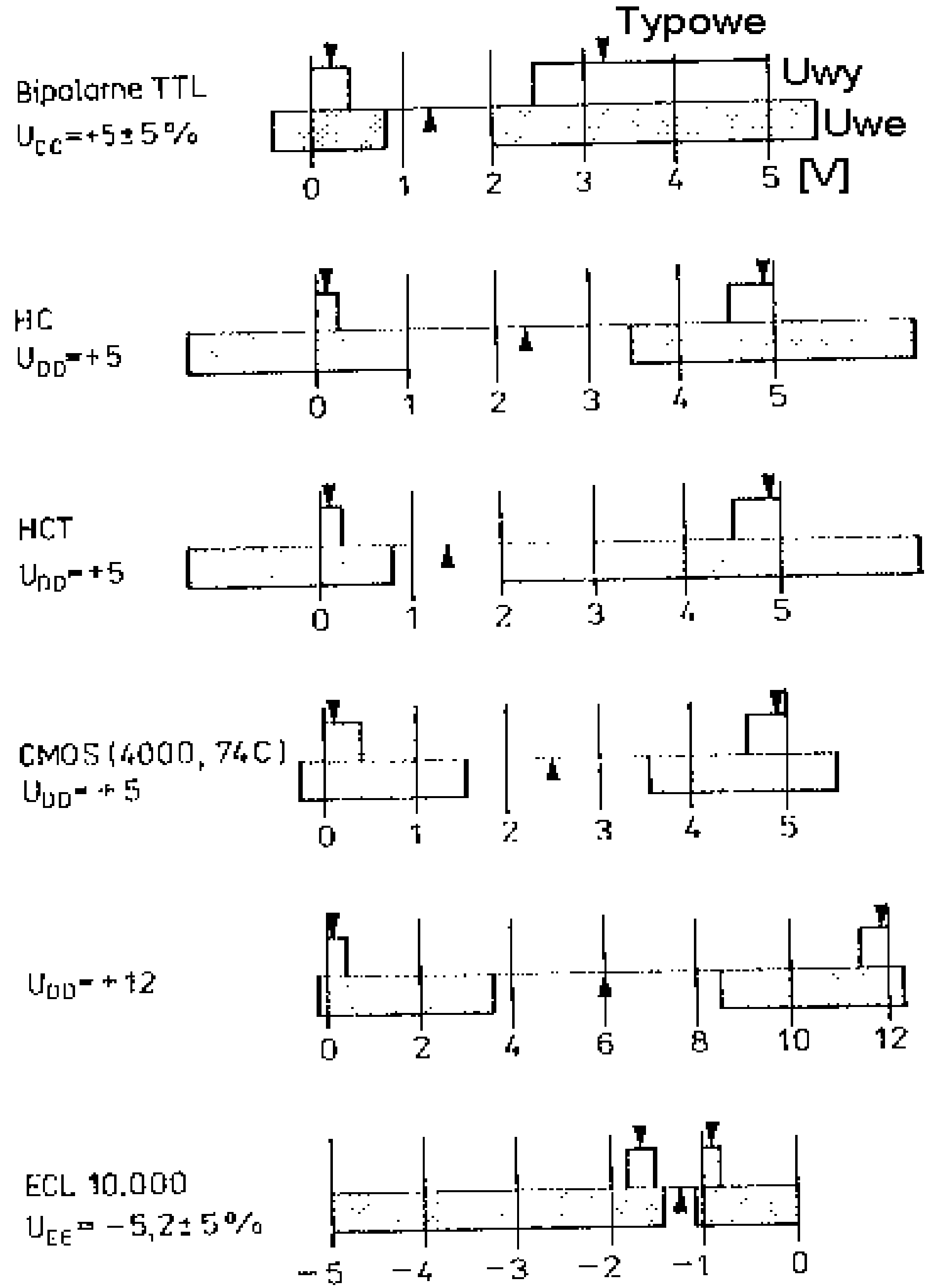
Dzięki ciągle postępującej miniaturyzacji i swoistej odporności na zakłócenia systemy cyfrowe pozwalają na przetwarzanie i długotrwałe magazynowanie olbrzymich ilości informacji.

W przypadku cyfryzacji sygnałów analodowych należy mieć na uwadze efekt kwantyzacji wartości w pomiarze, zapisie czy też odczycie.
Waga „q" najmniej znaczącej cyfry określa minimalną różnicę sygnałów (wielkości fizycznych), którą dany układ cyfrowy rozróżnia.



Wartości napięć stanów logicznych L i H (L - stan niski H - stan wysoki)

Przedziały nad osiami to przedziały napięć wyjściowych (wystawianych).
Pod osiami zaznaczono przedziały rozpoznawania stanów pojawiających się na wejściach.
Górne strzałki pokazują wartości typowe.
Dolne strzałki pokazują granice miedzy L i H.
(P. Horowitz, W. Hill, *Sztuka elektroniki*)

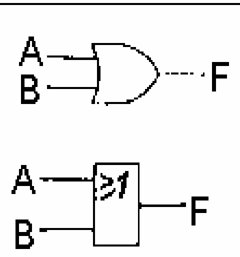
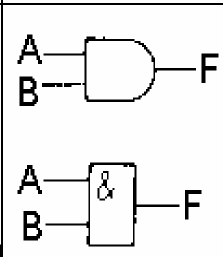
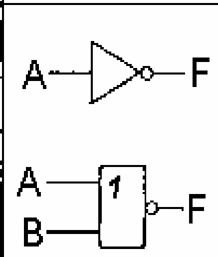
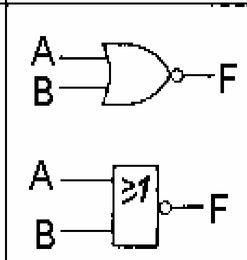
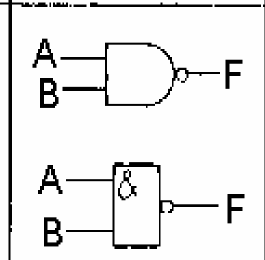
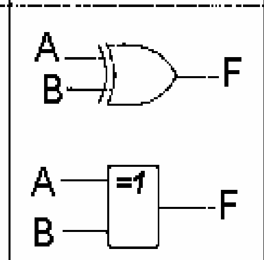
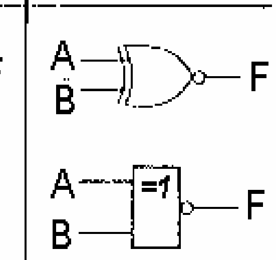


Bramki logiczne – to inaczej funktory realizujące proste operacje logiczne.

Działanie bramek definiują tzw. tablice (tabele) prawdy!

Tabela prawdy jest zestawieniem wszystkich wartości wyjściowych bramki (układu) dla wszystkich możliwych kombinacji wartości wejściowych.

Bramki — Najważniejsze funkcje logiczne, ich nazwy, tablice prawdy i symbole graficzne

Argumenty		Wartości funkcji F						
A	B	Suma	Iloczyn	Negacja	Negacja sumy	Negacja iloczynu	Nietożsamość	Tożsamość
0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1	0 0 0 1	1 1 0 0	1 0 0 0	1 1 1 0	0 1 l 0	1 0 0 1
Wyrażenie logiczne		$F = A+B$	$F = AB$	$F = \bar{A}$	$F = \overline{A+B} = \bar{A}\,\bar{B}$	$F = \overline{AB} = \bar{A}+\bar{B}$	$F = A \oplus B$ $= A\bar{B}+\bar{A}B$	$F = \overline{A \oplus B}$ $= AB+\bar{A}\,\bar{B}$
Nazwy skrótowe		LUB, OR	I, AND	NIE, NOT	LUB – NIE, NOR	I – NIE, NAND	ALBO, EX-OR	ALBO – NIE, EX-NOR
Symbolr graficzne								

Wybrane reguły algebry Boolea

1. $0 + X = X$
2. $1 + X = 1$
3. $X + X = X$
4. $X + \overline{X} = 1$
5. $0 \cdot X = 0$
6. $1 \cdot X = X$
7. $X \cdot X = X$
8. $X \cdot \overline{X} = 0$
9. $\overline{\overline{X}} = X$
10. $X + Y = Y + X$
11. $X \cdot Y = Y \cdot X$
12. $X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$
13. $X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$
14. $X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$
15. $X + X \cdot Z = X$
16. $X \cdot (X + Y) = X$
17. $(X + Y) \cdot (X + Z) = X + Y \cdot Z$
18. $X + \overline{X} \cdot Y = X + Y$
19. $X \cdot Y + Y \cdot Z + \overline{X} \cdot Z = X \cdot Y + \overline{X} \cdot Z$

Reguły 10–11: Komutacja

Reguły 12–13: Asocjacja

Prawa De Morgan'a

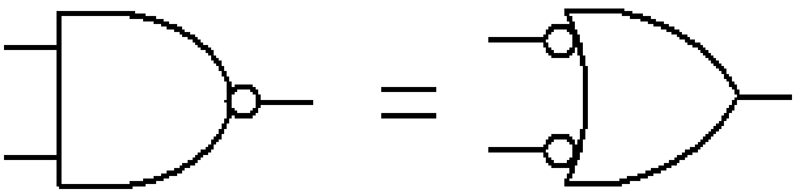
$$(\overline{X + Y}) = \overline{X} \cdot \overline{Y}$$

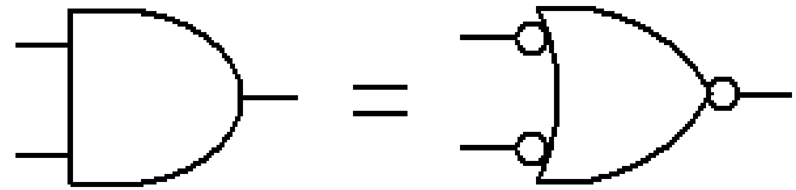
$$(\overline{X \cdot Y}) = \overline{X} + \overline{Y}$$

Wskazują, że dowolną funkcję logiczną można otrzymać stosując tylko bramki OR i NOT albo tylko AND i NOT.

Prawa De Morgana

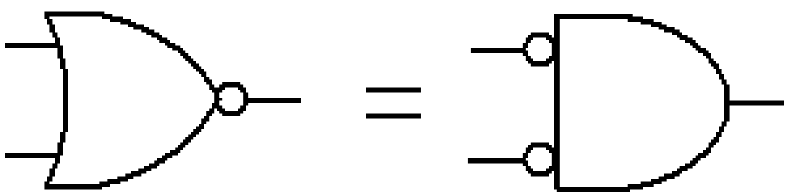
$$\overline{(A \wedge B)} = \overline{A} \vee \overline{B}$$

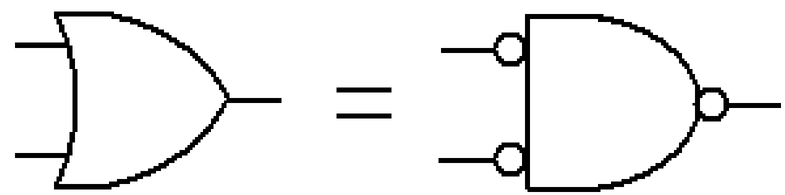




$\longrightarrow$

$$\overline{(A \vee B)} = \overline{A} \wedge \overline{B}$$

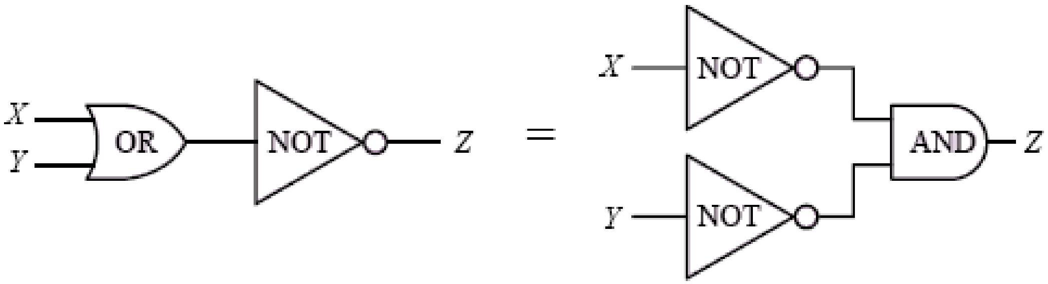




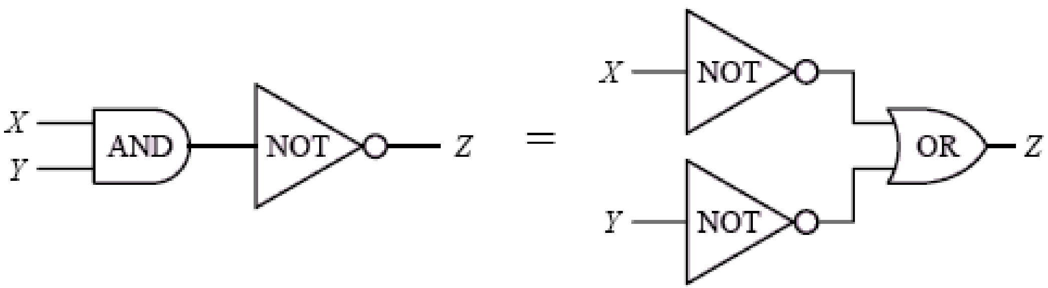
Należy pamiętać, że bramka AND jest iloczynem (AND-em) dla stanów wysokich traktowanych jako stany aktywne, a dla stanów niskich jest sumą logiczną. Podobnie bramka OR - dla stanów wysokich, dla stanów niskich (będących stanami aktywnymi) działa jak iloczyn logiczny.

Ilustracja praw De Morgana

$$\overline{(X+Y)} = \overline{X} \cdot \overline{Y}$$



$$\overline{(X \cdot Y)} = \overline{X} + \overline{Y}$$



Tablice prawdy

X	Y	$Z = \overline{(X+Y)} = \overline{X} \cdot \overline{Y}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

X	Y	$Z = \overline{(X \cdot Y)} = \overline{X} + \overline{Y}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Przykład: przedstaw funkcję logiczną, która zezwala na start samolotu gdy co najmniej dwóch z trzech pilotów wykazują aktywność (X – 1-pilot siedzi za sterami, Y – 2-pilot siedzi za sterami, Z – autopilot jest czynny).

Rozw. $f = X \cdot Y + X \cdot Z + Y \cdot Z$; gdy $f = 1$ mamy zezwolenie na start. Warto odnotować, że (stosując prawa De Morgana) stosując negację funkcji f zamieniamy sumę iloczynów na iloczyn sum dostajemy funkcję g, która dla wartości $g = 1$ oznacza zakaz startu!

$$g = \overline{f} = \overline{X \cdot Y + X \cdot Z + Y \cdot Z} = (\overline{X} + \overline{Y}) \cdot (\overline{X} + \overline{Z}) \cdot (\overline{Y} + \overline{Z})$$

Przykład: Zbudować układ z bramek logicznych realizujący funkcję Y = Y(A,B,C) zdefiniowaną poprzez tablice prawdy:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Rozw. Należy zacząć od zamiany tablicy na wyrażenie logiczne. Zaczynamy od drugiej linii bo dla linii pierwszej Y = 0 urządzenie jest zbyteczne (wybieramy linie gdzie Y = 1) i piszemy iloczyny dające wartość 1.

$$
\begin{aligned}
Y &= \overline{A}\cdot\overline{B}\cdot C + \overline{A}\cdot B\cdot C + A\cdot\overline{B}\cdot\overline{C} + A\cdot\overline{B}\cdot C + A\cdot B\cdot\overline{C} + A\cdot B\cdot C \\
&= \overline{A}\cdot C(\overline{B}+B) + A\cdot\overline{B}\cdot(\overline{C}+C) + A\cdot B\cdot(\overline{C}+C) \\
&= \overline{A}\cdot C + A\cdot\overline{B} + A\cdot B \\
&= \overline{A}\cdot C + A\cdot(\overline{B}+B) \\
&= \overline{A}\cdot C + A \\
&= A + C.
\end{aligned}
$$

Czyli rozwiązaniem jest pojedyncza bramka OR podłączona tylko do wyjść sygnałów A i C!

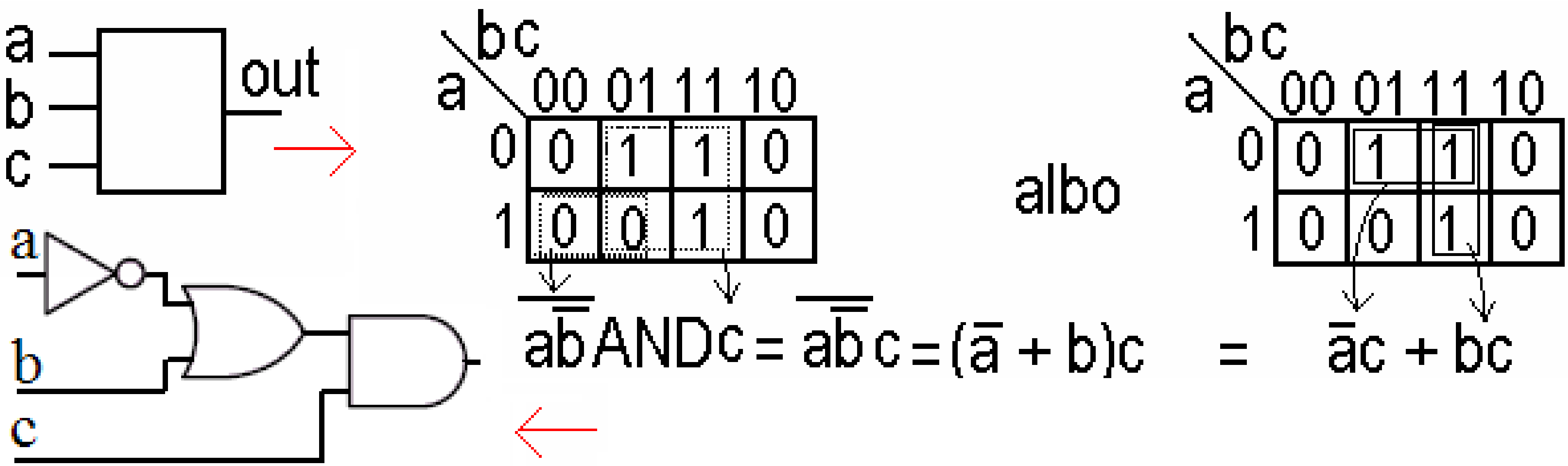
Metoda Karnaugh

Jest to metoda znajdywania minimalnej formuły (minimalnej ilości bramek logicznych) dla zadanej funkcji Boolowskiej przy małej liczbie zmiennych. Metoda ta nie wymaga takiego sprytu jak przy przekształceniach i stopniowym upraszczaniu wyrażeń Boolowskich. Metoda polega na zapisaniu mapy Karnaugh'a, która jest w zasadzie tabelą prawdy projektowanego i minimalizowanego układu kombinacyjnego a następnie zastosowaniu następujących reguł i czynności:

1) Pogrupować „jedynki" w czworokątne bloki zawierające 2^n jedynek (1, 2, 4, 8 itd.).

2) Starać się aby te bloki były możliwie duże.

3) Odczytać zmienne - współrzędne bloków i stany wyjściowe w blokach i to one zostają ważnymi zmiennymi, reszta jest zbędna.



Istotą techniki cyfrowej jest wytwarzanie cyfrowych sygnałów wyjściowych jako odpowiedzi na cyfrowe sygnały wejściowe realizując odpowiednią funkcję logiczną lub arytmetyczną.

Układy kombinacyjne

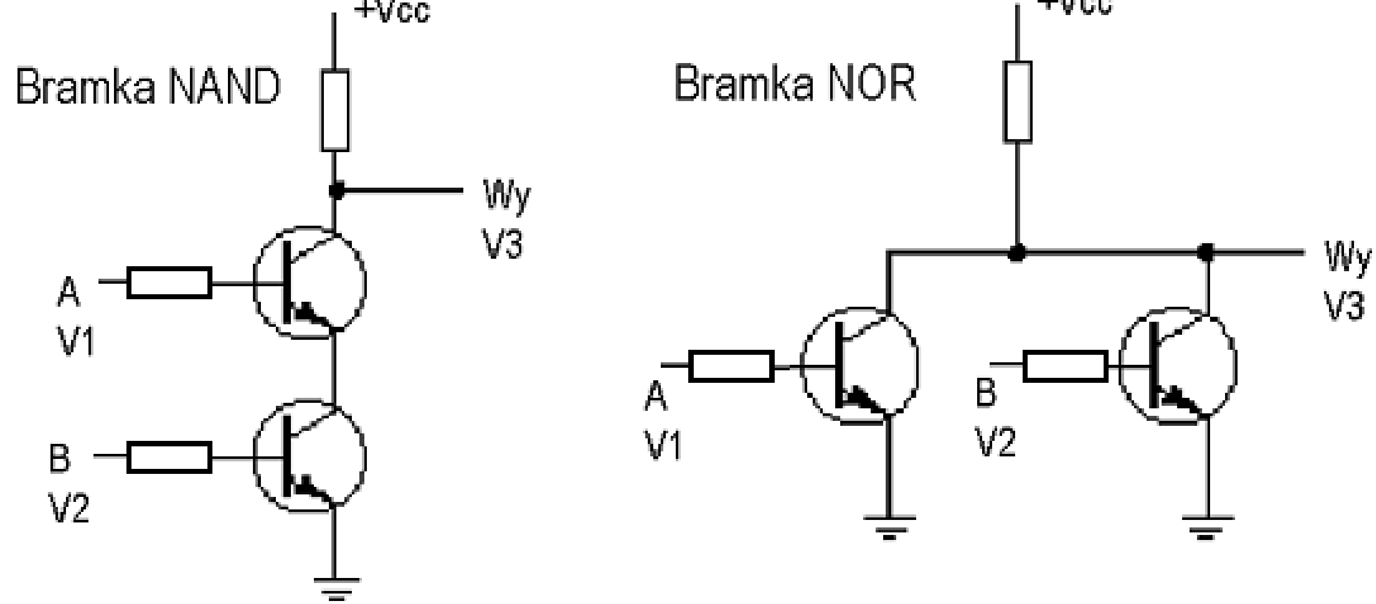
Układy, dla których sygnały (stany) wyjściowe zdeterminowane są aktualnymi stanami wejściowymi nazywamy układami kombinacyjnymi.

Należy jednak pamiętać, że stan wyjściowy ustala się dopiero po tzw. czasie propagacji (przejścia sygnału przez dany układ) od momentu zmiany stanów wejściowych. Bramki logiczne są układami kombinacyjnymi. **Czas propagacji** przez pojedynczą bramkę może wynosić od 1ns do 10ns - oznacza to, że szeregowe łączenie bramek zwiększa czas propagacji do znacznych wartości szkodliwych dla działania szybkich układów cyfrowych.

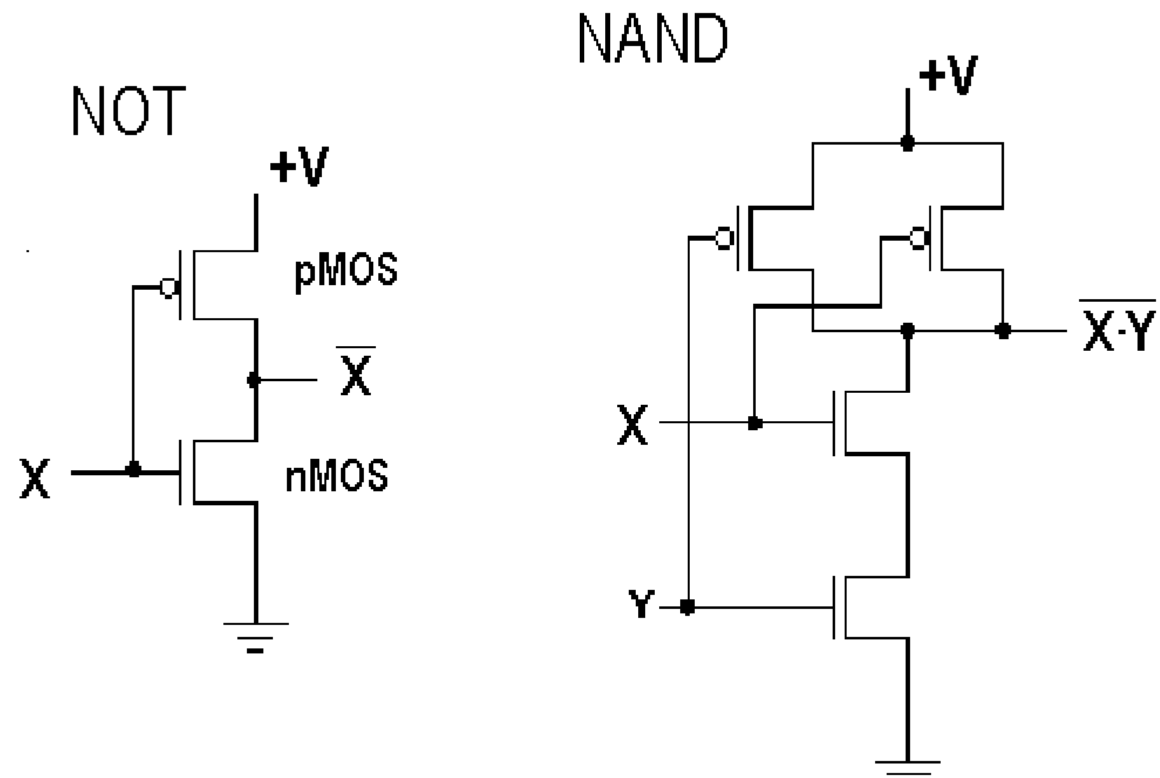
Układy sekwencyjne

Układy, dla których sygnały (stany) wyjściowe zdeterminowane są nie tylko aktualnymi stanami wejściowymi ale zależą od stanów poprzednich (występuje pamięć) nazywamy układami sekwencyjnymi. W tych układach czas propagacji też odgrywa istotną rolę.

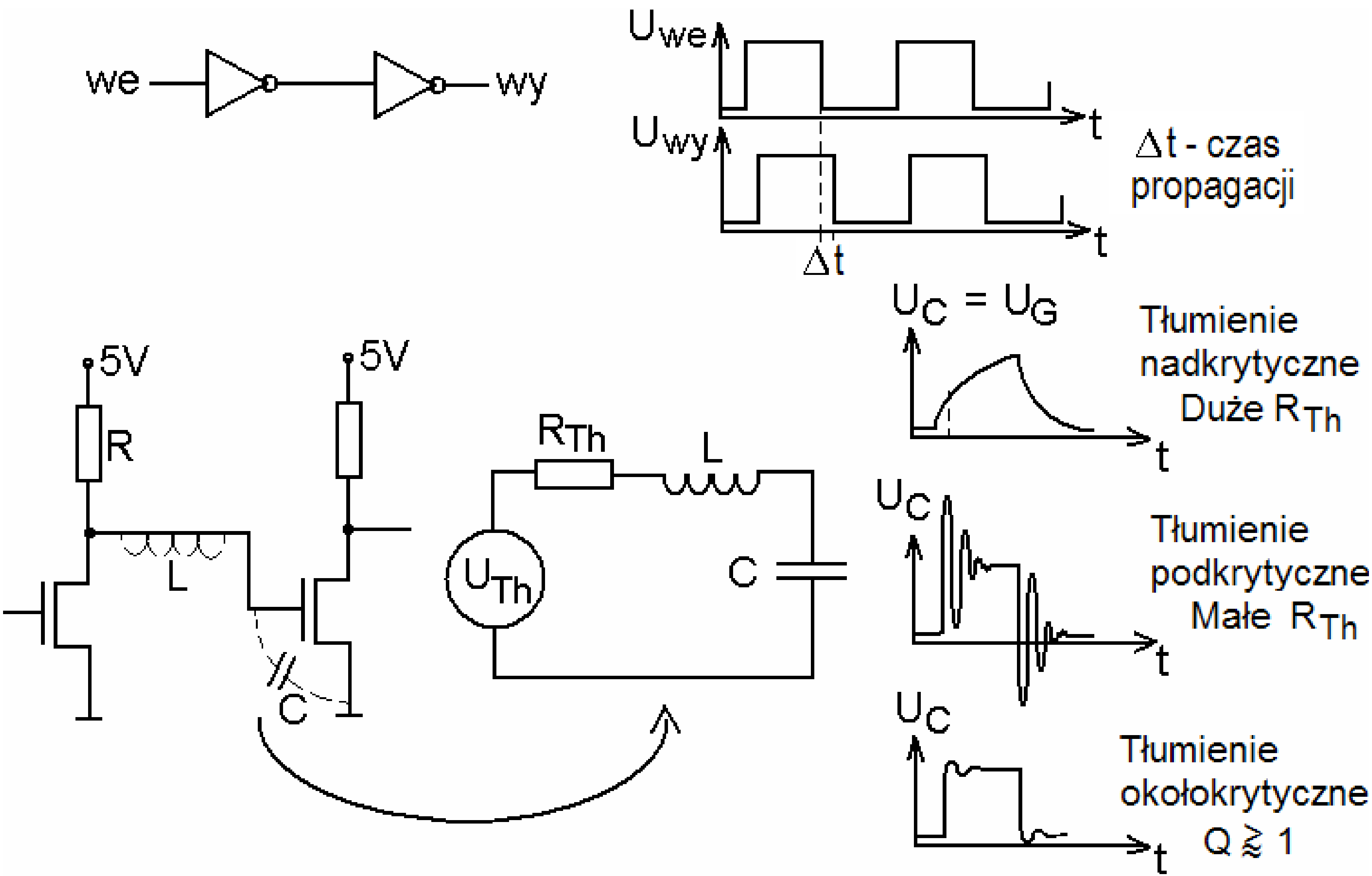
Bramki TTL:



Bramki CMOS:



Szybkość przełączania Szybkie działanie (szybkie i częste przełączania) układów cyfrowych ograniczają takie czynniki jak: a) wydzielana moc (duża ilość ciepła). b) skończony czas propagacji sygnału wynikający z wielu przyczyn, np. resztkowe (pasożytnicze) pojemności i indukcyjności, długość połączenia itp.

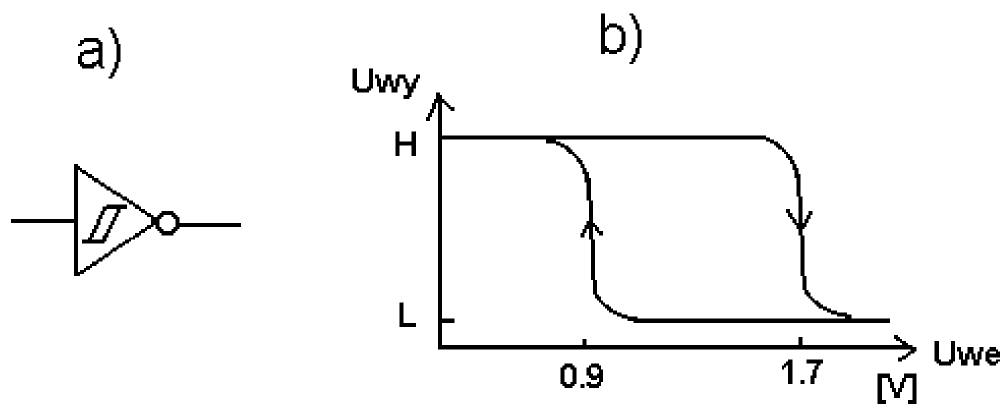


Uwaga o zakłóceniach w elektronice cyfrowej

Jeżeli narosty impulsów są tak krótkie, że wynoszą około 1 ns (10^{-9} s przy szybkości transmisji sygnału około $3x10^{8}$ m/s) to połączenia o długości zaledwie kilku cm należy traktować jako linie długie. Przyczynami zakłóceń mogą być: A) Odbicia sygnału od niedopasowanych impedancji połączonych ze sobą odcinków linii sygnałowych. B) Pojawianie się szpilek napięciowych na liniach sygnałowych. Napięcie to powstaje jako skok nawet ponad 1 V na indukcyjności przewodu gdy szybkie przełączenie stanu wymaga przesłania określonej porcji ładunku na pojemność wejściową układu odbierającego sygnał. Takie szpilki napięciowe w przewodach masy i zasilania mogą powodować niepożądane przełączenia „pobliskich” układów (np. pamięci). Dlatego przewody masy wykonywane są jako maksymalnie szerokie (i grube) a kondensatory filtrujące napięcie zasilania stosowane są obficie.

Bramka Schmitta a) symbol, b) charakterystyka

Bramka Schmitta stosowana jest np. do oczyszczania sygnałów zakłóconych i osłabionych.
Podając na wejście bramki Schmitta napięcie sinusoidalne otrzymamy na jej wyjściu przebieg prostokątny.



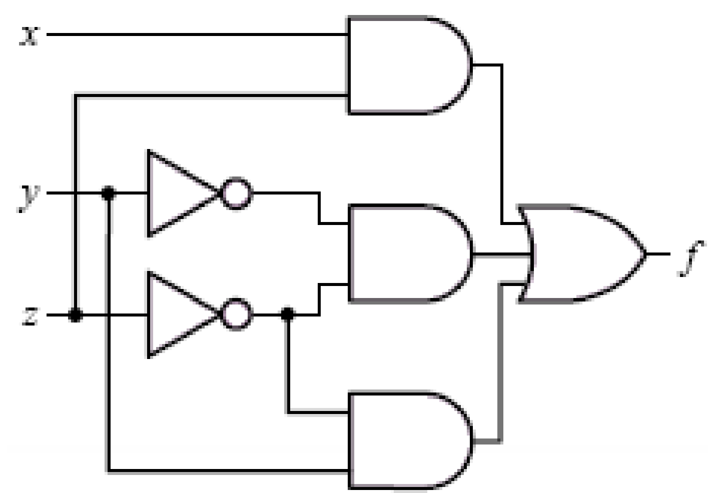
Elektronika. Lista – 11

1) Wykonać działania: X = 1011100 - 1110010, Y = 10101111- 01110011 stosując kod U2.

2) Zminimalizować układ bramek realizujący funkcję przedstawioną przy pomocy mapy Karnaugh:

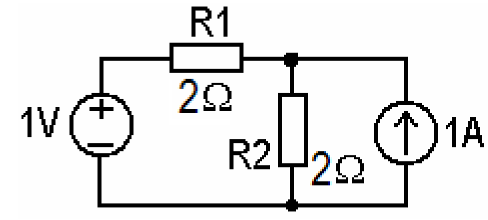
	$\overline{W}\cdot\overline{X}$	$\overline{W}\cdot X$	$W\cdot X$	$W\cdot\overline{X}$
$\overline{Y}\cdot\overline{Z}$	0	0	0	0
$\overline{Y}\cdot Z$	1	1	1	1
$Y\cdot Z$	0	0	0	0
$Y\cdot\overline{Z}$	0	0	0	0

3) Uprościć układ:



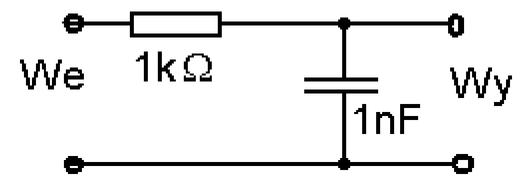
Elektronika kol-01.

1. Oblicz natężenia prądów w R1 i R2.

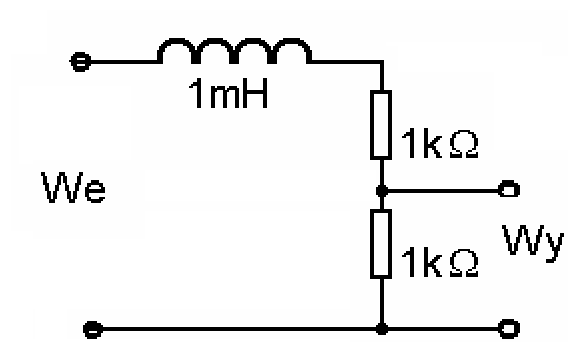


1. Oblicz i narysuj układ zastępczy Thevenina dla układu z zadania 1.

3. Oblicz pasmo przenoszenia układu:



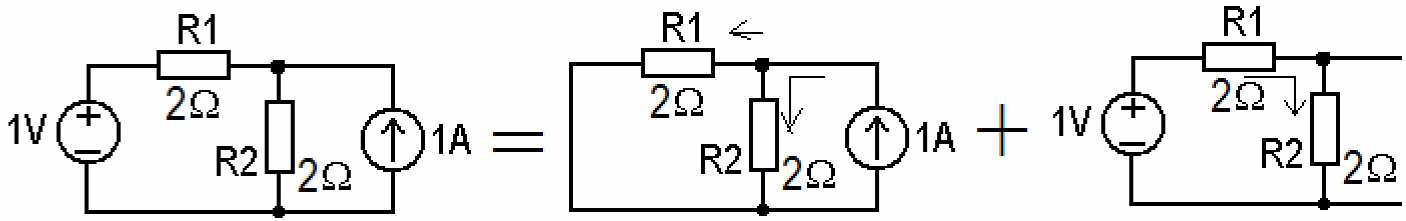
4. Oblicz pasmo przenoszenia układu:



5. Zaproponuj filtr RC na pasmo 1 kHz do 10 kHz $\pi\omega$.

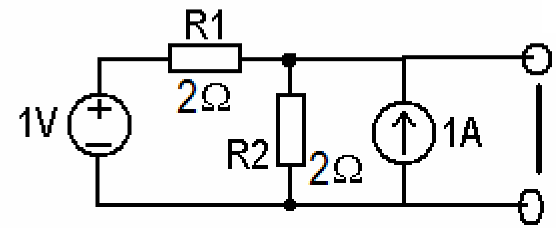
Rozw.

1)



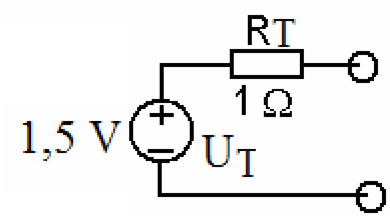
$$I_1 = I_2 = 0{,}5\ \mathrm{A} \qquad I_1' = I_2' = \frac{1\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 0{,}25\ \mathrm{A}$$

$$I_{R1} = I_1 - I_1' = 0{,}25\ \mathrm{A}, \quad I_{R2} = I_2 + I_2' = 0{,}75\ \mathrm{A} \times$$

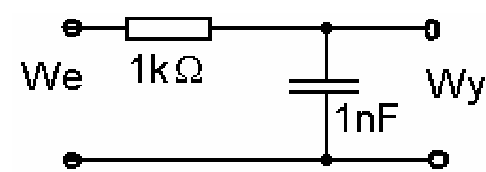


2) $U_T = U_{\text{rozwarcia}} = I_{R2} \times R2 = 0{,}75\ \mathrm{A} \times 2\,\Omega = 1{,}5\ \mathrm{V}$

$$I\ \text{zwarcia} = \frac{1\mathrm{V}}{2\Omega} + 1\mathrm{A} = 1{,}5\ \mathrm{A}, \quad R_T = \frac{1{,}5\ \mathrm{V}}{1{,}5\ \mathrm{A}} = 1\,\Omega$$



3) $Ku = \frac{Uwy}{Uwe}$, $\quad Ku_{max} = 1$ dla $\omega_{g\,1} = 0$



$$Ku = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega RC + 1}, \quad \left|\frac{Ku}{Ku_{max}}\right| = \left|\frac{1}{j\omega_g RC + 1}\right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

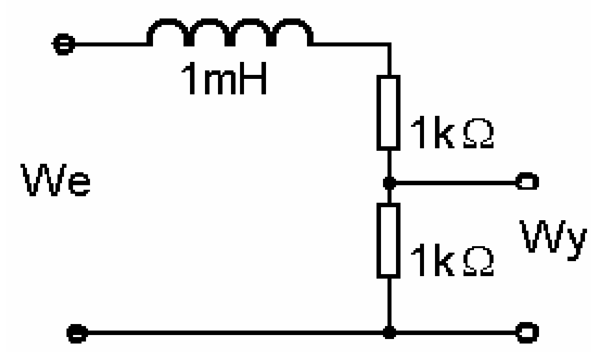
$$\frac{1}{\sqrt{(\omega_g RC)^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \omega_g RC = 1, \quad \omega_g = \frac{1}{RC}, \quad f_g = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\, 10^{-6}}\ \mathrm{Hz} = 159155\ \mathrm{Hz}$$

<u>Pasmo = [0 , 159155 Hz]</u>

Rozw.

4)

$$Ku = \frac{Uwy}{Uwe}, \quad \left|Ku_{max}\right| = \frac{1}{2} \quad \text{dla } \omega_{g1} = 0$$



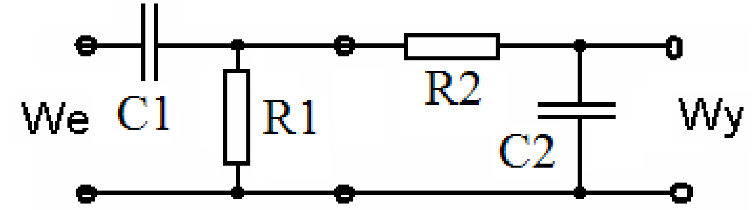
$$Ku = \frac{Uwy}{Uwe} = \frac{\cancel{I}\,R}{\cancel{I}(2R + j\omega L)} \Rightarrow \left|Ku\right| = \frac{R}{\sqrt{4R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$\frac{\left|Ku\right|}{\left|Ku_{max}\right|} = \frac{R}{\sqrt{4R^2 + (\omega_{g2} L)^2}} \bigg/ \frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \frac{2R}{\sqrt{4R^2 + (\omega_{g2} L)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$2\sqrt{2}\,R = \sqrt{4R^2 + (\omega_{g2} L)^2}, \quad 8R^2 = 4R^2 + (\omega_{g2} L)^2, \quad 4R^2 = (\omega_{g2} L)^2, \quad 2R = \omega_{g2} L,$$

$$\omega_{g2} = \frac{2R}{L} = \frac{2 \times 10^3\ \Omega}{10^{-3}\ H} = 2 \times 10^6\ \text{rad/s}, \quad f_{g2} = \frac{\cancel{2} \times 10^6\ \text{rad/s}}{\cancel{2}\pi\ \ \text{rad}} = \frac{10^6}{\pi}\ \text{Hz} = 318310\ \text{Hz},$$

$$\text{Pasmo}: \ f \in [\, f_{g1}, f_{g2} \,], \qquad \underline{\text{Pasmo}: \ f \in [\, 0\, ,\ 318\ \text{kHz}]}$$



5) Możliwości jest wiele. Można np. wybrać dwa filtry połączone szeregowo jeden górno-przepustowy i jeden dolno-przepustowy, kolejność jest dowolna. Ważne aby impedancja wejściowa drugiego filtru była dużo większa od impedancji wyjściowej filtru pierwszego. Aby pierwszy filtr „nie poczuł" obecności drugiego i aby obliczenia pierwszego pozostały w mocy po dołączeniu drugiego. Wybierając pierwszy filtr jako górno-przepustowy mamy dla niego dwie zmienne wartości do ustalenia R1 i C1. Jedną z nich wybieramy dowolnie - przykładowo niech R1 = 1 kΩ, wtedy dla częstotliwości granicznej dolnej fd, o której decyduje filtr górno-przepustowy znajdziemy wartość C1 ze związku $f_{gr} = 1/(2\pi RC)$. Zatem $C1 = 1(2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot fd) = 1(2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 10^3) = 10^{-6}/(2\pi) = 1{,}6 \cdot 10^{-7} = 160$ nF. Ponieważ impedancją wyjściową pierwszego filtru jest R1 = 1 kΩ to dla drugiego filtru, tym razem dolno-przepustowego, wybierzemy wartość R2 (korzystając z dowolności jednej z dwu zmiennych R2 i C2) 10 razy większą od R1 czyli R2 = 10 kΩ (zapewnimy tym sposobem, że impedancja wejściowa drugiego filtru tj. szeregowo połączone R2 i C2, będzie ponad 10 razy większa od R1). Wartość C2 obliczymy ponownie z warunku na częstotliwość graniczną $f_{gr} = 1/(2\pi RC)$. Zatem $C2 = 1(2 \cdot \pi \cdot R2 \cdot fg) = 1(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot 10^4) = 10^{-8}/(2\pi) = 1{,}6 \cdot 10^{-9}$ F = 1,6 nF.

Ostatecznie można zaproponować: <u>C1 = 160 nF, R1 = 1 kΩ, C2 = 1,6 nF i R2 = 10kΩ,</u>