

Eksperyment elektroniczny sterowany komputerowo

2013

Czujniki (detektory) elektroniczne

- Analiza informacji (sygnałów) analogowych - wzmacniacze, filtry, zakłócenia i szумы
- Pomiar: przetwarzanie informacji analogowej - przetwornik ADC i komparator

Transmisja sygnałów (informacji):

- linie transmisyjne
- magistrala przesyłania danych
- sterowanie przesyłaniem danych (synchronizacja, zegar, generator impulsów)
- elektroniczny układ wyboru zdarzeń (*trigger*)

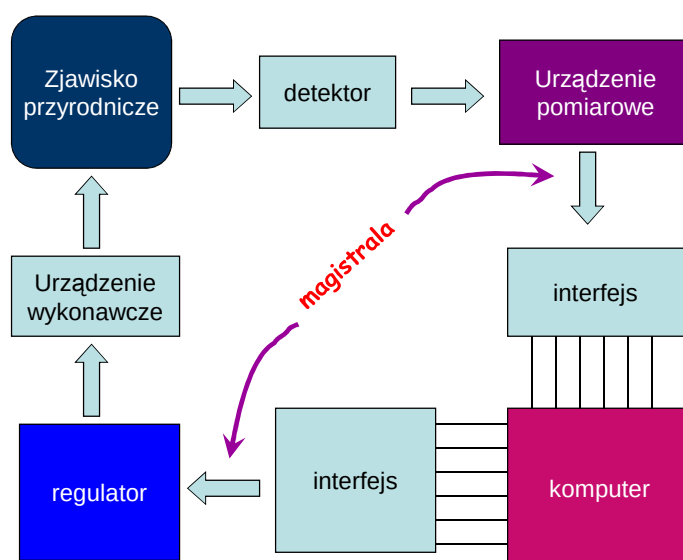
Komputer:

- procesor, pamięć, rejestry
- urządzenia wejścia/wyjścia
- sprzęgi (*interface*)

Sterowanie aparaturą doświadczalną:

- przetwornik DAC
- stabilizowane zasilacze napięcia, powielacze napięcia

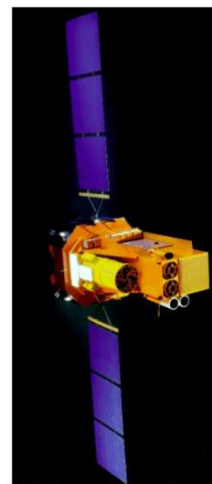
Struktura układu doświadczalnego



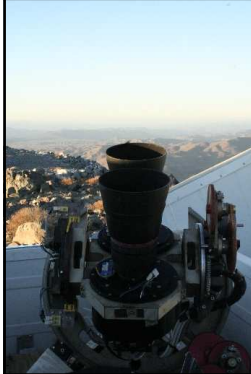


W przestworzach

- CGRO z BATSE strącony w 2000 roku (mimo działania). Pole widzenia: $\sim 4\pi$ sr, energia 25 keV - 10 MeV.
- HETE-2 wystrzelony w 2000 roku. Pole widzenia: 1.5 sr, energie: 0.5-400 keV. Kończy działanie.
- Integral wystrzelony w 2002 roku. Pole widzenia: $\sim 30^\circ \times 30^\circ$, energie: 3 keV - 10 MeV.

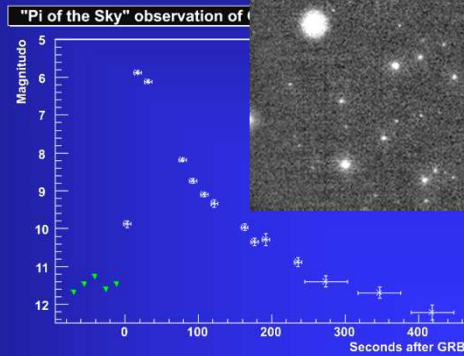


Rozbłysk gamma GRB 080319B

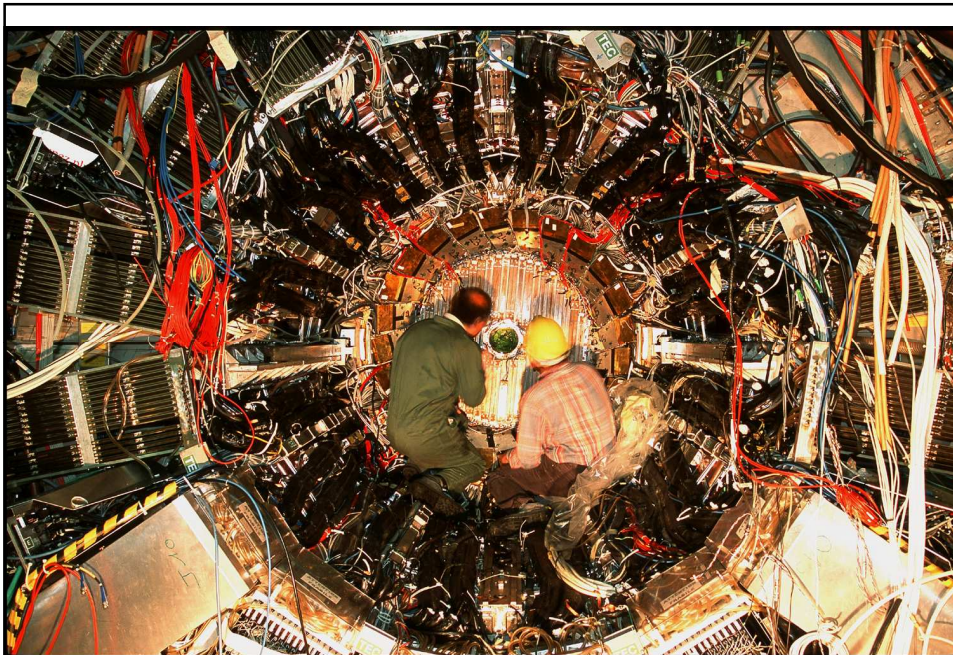


19.03.2008 teleskop „Pi of the Sky”
sfilmował najpotężniejszą eksplozję
obserwowaną przez człowieka

- ☐ pierwszy film narodzin czarnej dziury
- ☐ 7.5 mld lat świetlnych

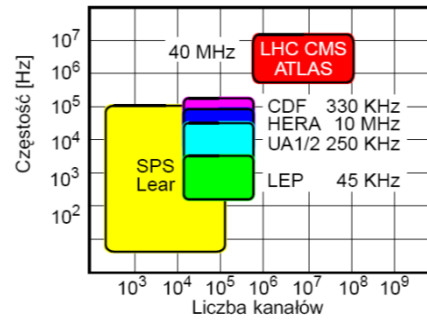


<http://grb.fuw.edu.pl/>



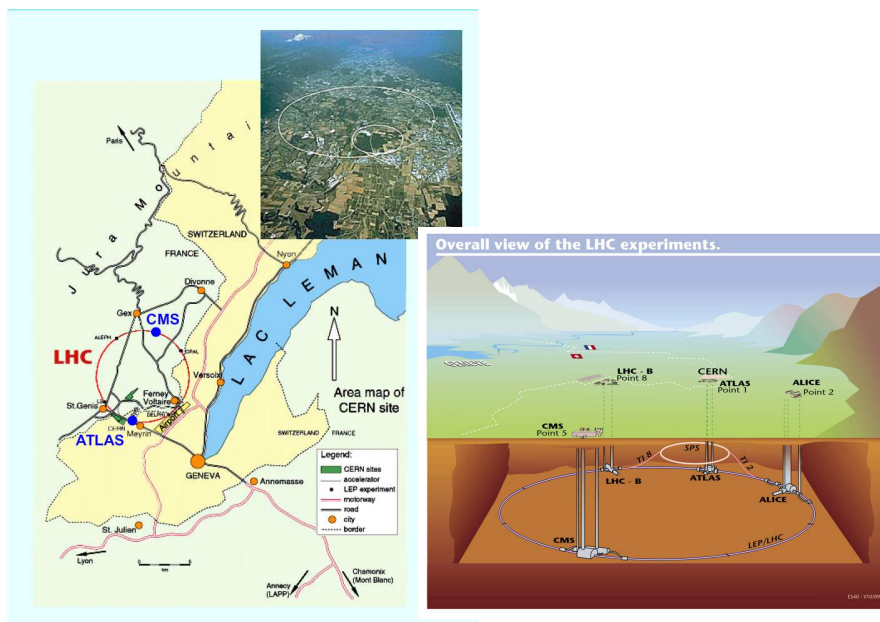
CMS a inne eksperymenty

detektor	l. kanałów	zajętość	przypadek
mozaikowy	80 000 000	0.01 %	100 kB
mikropaskowy	16 000 000	3 %	700 kB
wczesnych kaskad	512 000	10 %	50 kB
kalorymetry	125 000	5 %	50 kB
mionowy	1 000 000	0.1 %	10 kB
całkowita wielkość przypadku			1 MB

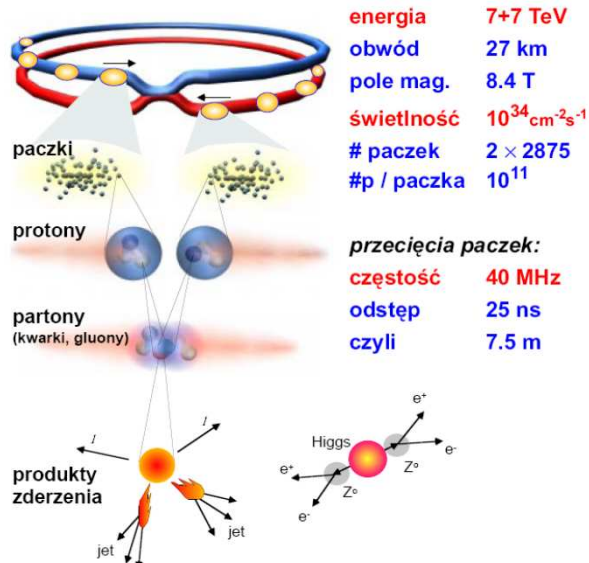


Strumień danych kontrolnych CMS (temperatura, napięcie itp.) jest porównywalny ze strumieniem wszystkich danych jednego ze współczesnych eksperymentów LEP (100 kB/s)

Eksperymentowanie przy LHC



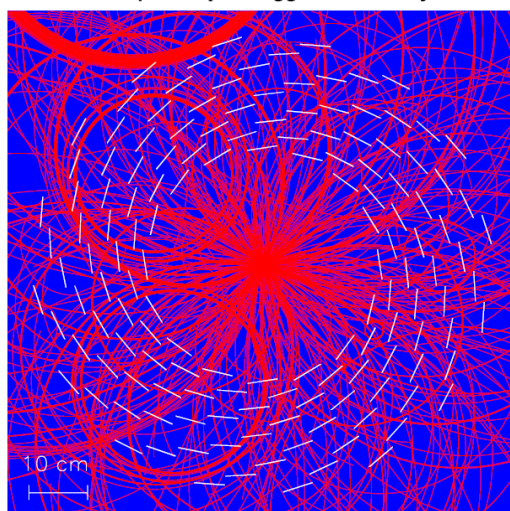
Zderzenia proton-proton w LHC



Przy nominalnej światłości w każdym przecięciu paczek zajdzie 10-20 zderzeń proton-proton.

Łamigłówka

18 nałożonych zderzeń pp, widzianych przez wewnętrzną część krzemowego detektora mikropaskowego.
 Wśród nich rozpad cząstki Higgsa na 4 miony.

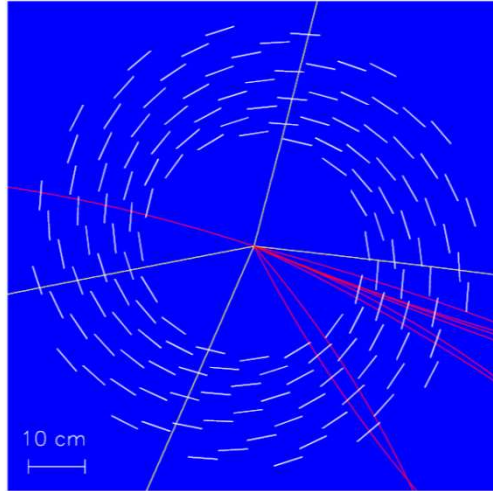


Znajdź 4 proste ślady.

Rozwiązanie łamigłówki

Zrekonstruowane ślady o $p_T > 2 \text{ GeV}$.

Wśród nich dobrze widoczne 4 miony z rozpadu Higgsa.

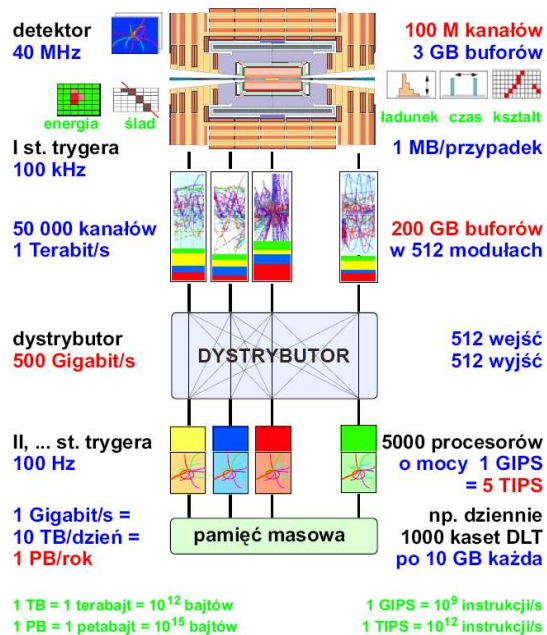


Rozwiązanie możliwe jeśli zajętość detektora $\sim 1\%$

→ powierzchnia mikropaska $\sim 1 \text{ mm}^2$

→ $> 10^7$ kanałów odczytu

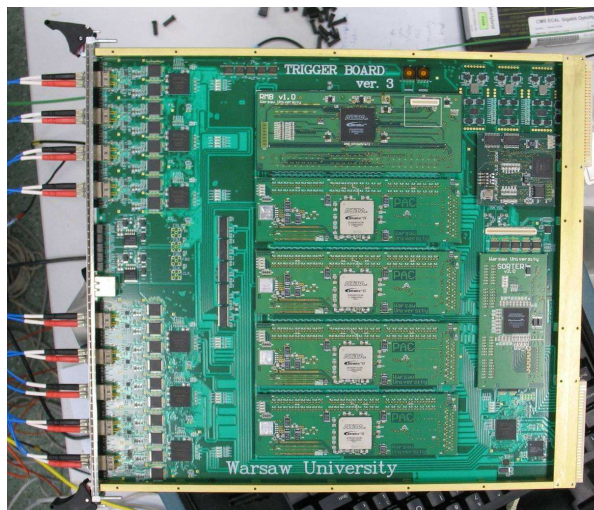
Przepływ danych w CMS



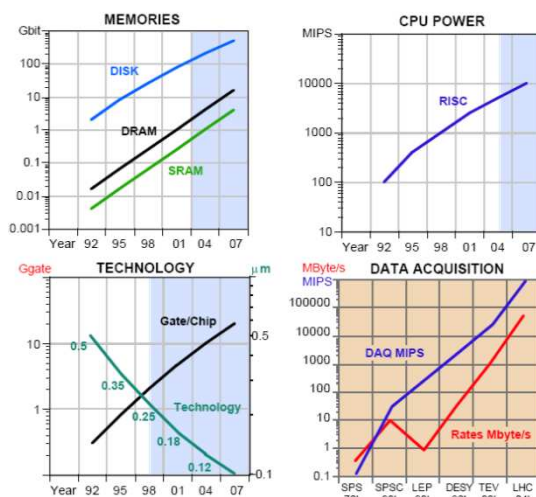
RPC PACT (TC i TB)



Dziękuję Maćka
Kudły & co.



Rozwój technologii

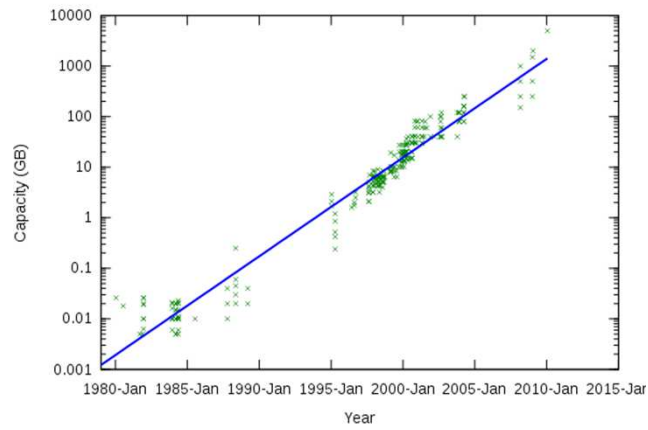


Moc obliczeniowa procesorów wzrasta 10 razy co 5 lat

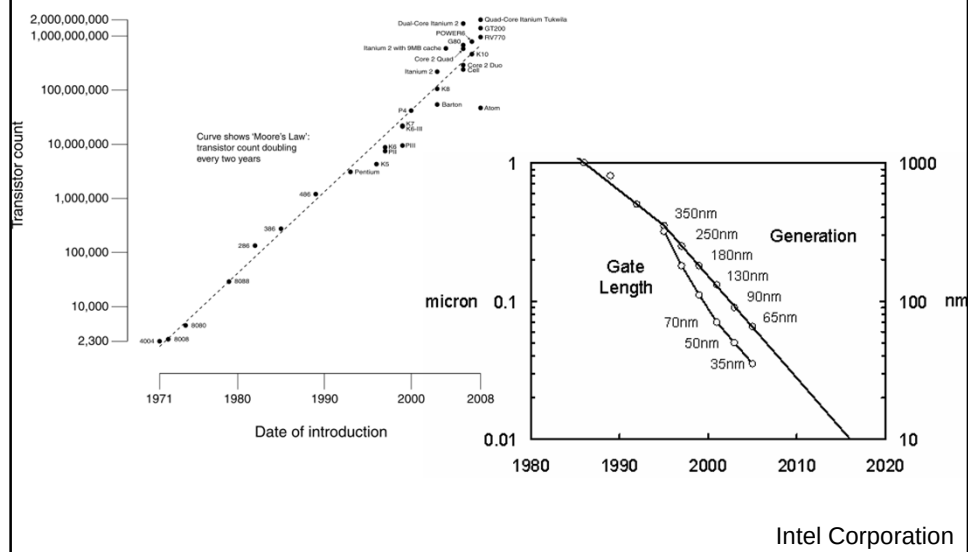
Pojemność pamięci wzrasta 4 razy co 2 lata

Cała moc obliczeniowa CERNu w 1980 roku była
mniejsza niż jednego współczesnego komputera
osobistego.

Jednostkowa pojemność dysków PC



CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



Wzmacniacze operacyjne

- należą do najbardziej uniwersalnych układów elektronicznych
- istnieją w postaci układów scalonych

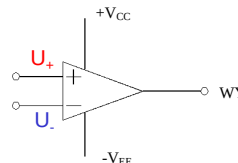
Każdy wzmacniacz operacyjny dwa wejścia:

(-) - odwracające fazę (sygnał wyjściowy jest przesunięty w fazie o 180° względem sygnału wejściowego),

(+) - nieodwracające fazy

Realizuje funkcję:

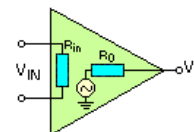
$$U_{WY} = A \cdot (U_+ - U_-) \quad \text{gdzie } A - \text{wzmocnienie układu}$$



- Zasilanie dwubatteryjne
- Napięcia zasilania $+V_{CC}$ i $-V_{EE}$ (z dwóch niezależnych źródeł)
- Wartości napięć U_+ , U_- i U_{WY} oraz V_{CC} i V_{EE} określone względem wspólnego poziomu odniesienia - masy

Idealny wzmacniacz operacyjny:

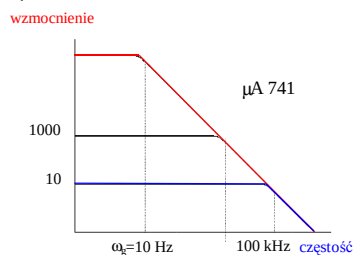
- wzmocnienie napięciowe $A \rightarrow \infty$,
- rezystancje obu wejść względem masy są nieskończone,
- rezystancja między wejściami $R_{WE} \rightarrow \infty$ (układ nie pobiera prądu z wejść)
- rezystancja wyjściowa jest pomijalnie mała $R_{WY} \rightarrow 0$,
- nieograniczone pasmo przenoszenia (własności częstotściowe wzmacniacza nie mają wpływu na jego pracę)



Idealny wzmacniacz operacyjny nie istnieje!

Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne:

- Rezystancje wejściowe wynoszą: $10^4 - 10^{12} \Omega$, wyjściowe: $1 - 10^4 \Omega$.
- Wzmocnienie dla małych częstotliwości może sięgać 10^6 (szybko spada z częstotliwością)
- Budując wzmacniacz o wzmocnieniu 10 możemy określić jego charakterystykę częstotściową i pasmo przenoszenia



$$A \cdot \Delta\omega = \text{const}$$

Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne wystarczająco dobrze spełniają założenia dla wzmacniaczy idealnych, by model na nich oparty był stosowalny

np. LM 318: $A > 20\,000$, $R_{WE} = 10^{10} \Omega$, $R_{WY} = 100 \Omega$

niestety ograniczone pasmo przenoszenia ($A \cdot \Delta\omega = \text{const}$)

Wzmacniacz operacyjny $\mu A741$ - schemat

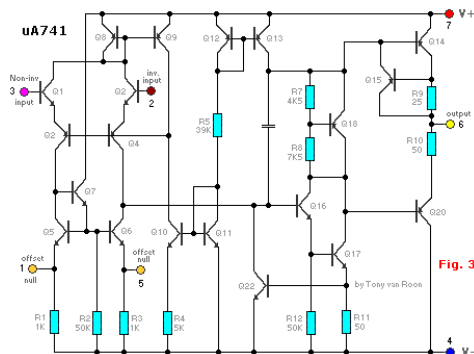
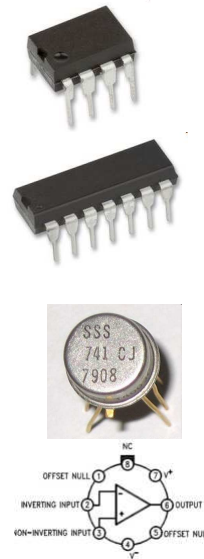


Fig. 3

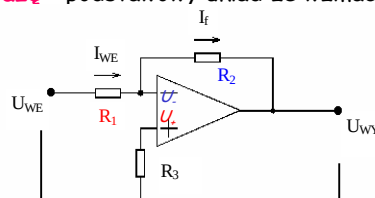


Parametry wzmacniacza $\mu A 741$:

- wzmacnienie przy otwartej pętli sprzężenia $k= 100\ 000$
- rezystancja wejściowa $R_i= 2\ M\Omega$
- maksymalne różnicowe napięcie wejściowe $= \pm 30\ V$
- napięcie zasilania $\pm 15\ V$
- pobór mocy $45\ mW$

Wzmacniacz odwracający fazę - podstawowy układ ze wzmacniaczem operacyjnym

Wzmocnienie ?



❖ napięcie wyjściowe układu jest skończone, lecz wzmacnienie „idealne” $A \rightarrow \infty$,

❖ z równania $U_{WY} = A \cdot (U_+ - U_-)$ wynika, że $U_+ = U_-$, czyli, że $U_- = 0$

nieskończona rezystancja wejściowa $\Rightarrow$ prądy wpływające do wejść pomijalne

równanie prądów w układzie:
$$I_{WE} = \frac{U_{WE} - U_-}{R_1} = \frac{U_- - U_{WY}}{R_2} = I_f$$

Stąd efektywne wzmocnienie układu:
$$\frac{U_{WY}}{U_{WE}} = - \frac{R_2}{R_1} = A$$

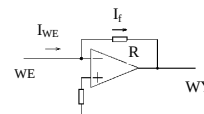
Ponieważ potencjał $U_- = 0$, rezystancja wejściowa układu wynosi R_1

Konwerter prąd-napięcie

gdy w układzie rezystor R_1 nie istnieje ($R_1 \rightarrow 0$) $\Rightarrow U_{WY} = I_{WE} \cdot R_2$

Zastosowanie:

do współpracy ze źródłami prądowymi, np. fotodiody, fotopowielacze



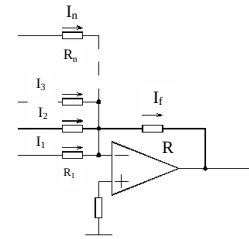
Wzmacniacz sumujący

w układzie wzmacniacza odwracającego fazę:

Suma prądów, które dopływają do wejścia odwracającego fazę jest równa prądowi sprzężenia zwrotnego:

$$\sum I_i = \sum \frac{U_{wei}}{R_i} = I_f = \frac{-U_{wy}}{R}$$

stąd: $U_{wy} = -R \sum \frac{U_{WEi}}{R_i}$



napiecie wyjściowe jest proporcjonalne do sumy napięć wejściowych z wagami R/R_i .

Jeśli wszystkie oporniki będą miały wartość oporu R, to

$$U_{wy} = -(U_{WE1} + U_{WE2} + \dots + U_{WEN})$$

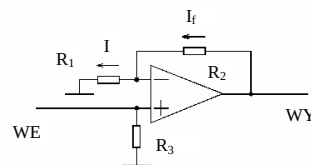
Jedno z zastosowań:

mikser akustyczny w studiach nagrań.

Przez regulację R_i ustala się wkład (głośność) każdego ze źródeł

Wzmacniacz nieodwracający fazy:

napiecie wejściowe podawane jest na wejście nieodwracające (+) wzmacniacza operacyjnego



Różnica napięć między wejściami wzmacniacza U_+ i U_- jest infinitesimalna

→ prąd płynący w pętli sprzężenia zwrotnego: $I_f = \frac{U_{wy} - U_{we}}{R_2} = \frac{U_{we}}{R_1} = I$

wzmocnienie układu: $\frac{U_{wy}}{U_{we}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = A$

Rezystor R_3 określa rezystancję wejściową układu

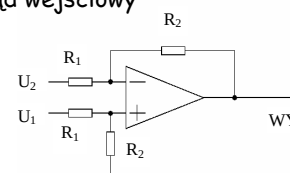
Zastosowanie: współpraca z wysokooporowymi źródłami sygnału jak np. termopary

Wtórnik napięciowy:

gdy w układzie wzmacniacza $R_1 \rightarrow \infty$, → $A=1$,

lecz prąd wyjściowy może być znacznie większy niż prąd wejściowy

Wzmacniacz różnicowy
napiecie wyjściowe: $U_{wy} = \frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2)$



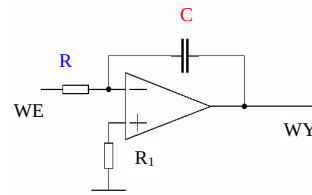
Inne operacje matematyczne na sygnałach

Wzmacniacz całkujący

Równanie prądów w układzie ma postać:

$$I_{WE} = \frac{U_{WE}}{R} = I_f = \frac{dq}{dt} = -C \frac{d}{dt} U_{WY}$$

stąd:
$$U_{WY} = -\frac{1}{RC} \int U_{WE} dt$$



Dla wejściowych sygnałów harmonicznych (sinusoida) charakterystyka częstotściowa układu:

$$\left| \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \right| = \frac{1}{\omega RC}$$

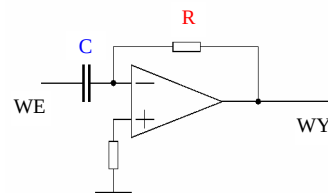
Inne operacje matematyczne na sygnałach c.d.

Wzmacniacz różniczkujący:

Zamiana kondensatora i opornika miejscami!

$$I_{WE} = \frac{dq}{dt} = C \frac{d}{dt} U_{WE} = I_f = -\frac{U_{WY}}{R}$$

czyli:
$$U_{WY} = -RC \frac{d}{dt} U_{WE}$$



Charakterystyka częstotściowa tego układu dla wejściowych sygnałów harmonicznych:

$$\left| \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \right| = \omega RC$$

Zastosowanie wzmacniaczy całkujących i różniczkujących:
=> formowanie sygnałów analogowych

Inne operacje matematyczne na sygnałach c.d.

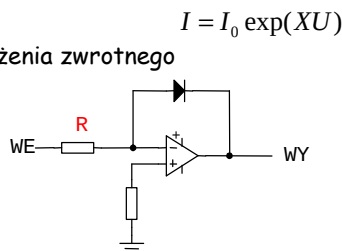
Wzmacniacz logarytmujący:

element o charakterystyce wykładniczej w pętli sprzężenia zwrotnego

$$I_{WE} = \frac{U_{WE}}{R} = I_f = I_0 \exp(-XU_{WY})$$

$$U_{WY} = -\frac{1}{X} \ln\left(\frac{U_{WE}}{RI_0}\right)$$

element nieliniowy: dioda, tranzystor bipolarny



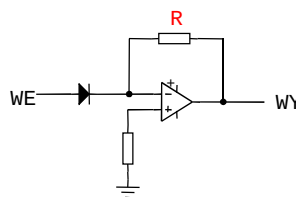
Wzmacniacze logarytmujące: przetwarzanie sygnałów o dużej dynamice zmian

Wzmacniacz antylogarytmujący:

zamiana miejscami rezystora i elementu nieliniowego

$$I_{WE} = I_0 \exp(XU_{WE}) = I_f = \frac{-U_{WY}}{R}$$

$$U_{WY} = -I_0 R \cdot \exp(XU_{WE})$$



Układy mnożące: kombinacja wzmacniaczy sumujących, odejmujących, logarytmujących i antylogarytmujących

Ćwiczenie „Wzmacniacz operacyjny”.

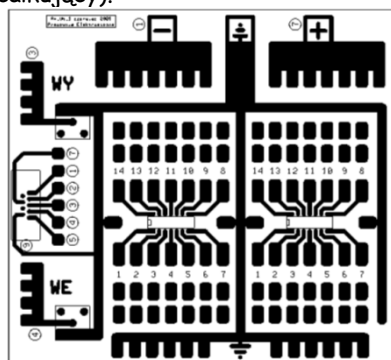
Zbadanie charakterystyk dwóch układów ze wzmacniaczem operacyjnym:

- wzmacniacz szerokopasmowy (odwracający lub nieodwracający),
- wzmacniacz kształtujący (różniczkujący lub całkujący).

Patrz instrukcja do ćwiczenia
„Analogowe układy scalone”

- pomiar charakterystyki amplitudowej:
 $U_{wy} = f(U_{we})$ przy częstotliwości 1000 Hz
- pomiar charakterystyki częstotliwościowej:

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = f(\nu)$$



Charakterystykę amplitudową przedstawiamy na skali liniowej,
charakterystykę częstotściową - na skali logarytmiczno-logarytmicznej

Pomiary powtórzyć za pomocą zestawu sterowanego komputerowo

Rejestracja i analiza sygnałów analogowych

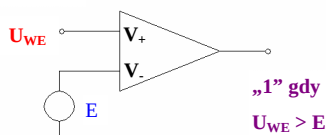
- Komparator analogowy
- Przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC)
- Przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC)

Komparator analogowy:

- układ pośredniczący między elektroniką analogową i cyfrową

Komparator analogowy służy do porównywania napięć analogowych

WEJŚCIE



Komparator - specyficzny rodzaj wzmacniacza porównującego dwa napięcia:

- V_+ (na wejściu nieodwracającym fazy) i
- V_- (na wejściu odwracającym fazę).

Jeśli zachodzi relacja: $V_+ > V_-$, to stan wyjściu jest jedynką logiczną

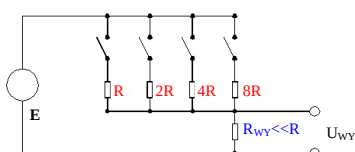
Uwaga:

Komparatora analogowego nie należy mylić z komparatorem cyfrowym, który służy do porównywania słów logicznych

Przetwornik cyfrowo-analogowy

Przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC - Digital - Analog Converter)

- wytwarza napięcie proporcjonalne do wartości słowa logicznego na wejściu



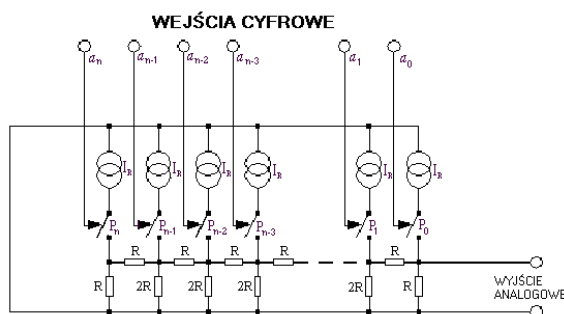
Działanie najprostszyc (2-4 -bitowych) opiera się na **zasadzie dzielnika napięcia**

Nieliniowe działanie dzielnika liczby bitów

Wielobitowe (do 18 bitów) przetworniki cyfrowo-analogowe buduje się w oparciu o drabinkę rezystorów zasilane za pomocą bardzo stabilnych źródeł prądowych

$$U_{wy} = \frac{2}{3} I_R \cdot R \cdot \sum_{i=0}^n \frac{P_i}{2^i}$$

Przetworniki cyfrowo - analogowe => do budowy programowalnych generatorów przebiegów analogowych, sterowników analogowych, itd



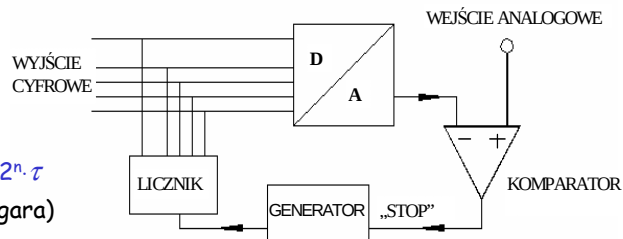
Przetwornik analogowo-cyfrowy

Przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC - Analog - Digital Converter)

- zamiana wartości napięcia (lub natężenia prądu) wejściowego na słowo logiczne

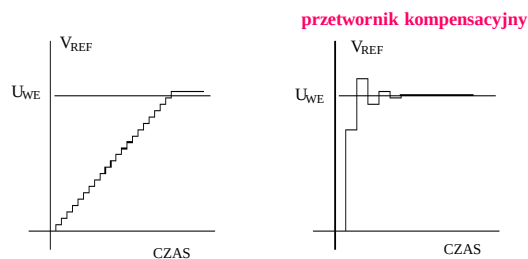
Powolna konwersja:

przy n -bitowym słowie
wyjściowym wymaga czasu $2^n \cdot \tau$
(τ czas trwania impulsu zegara)



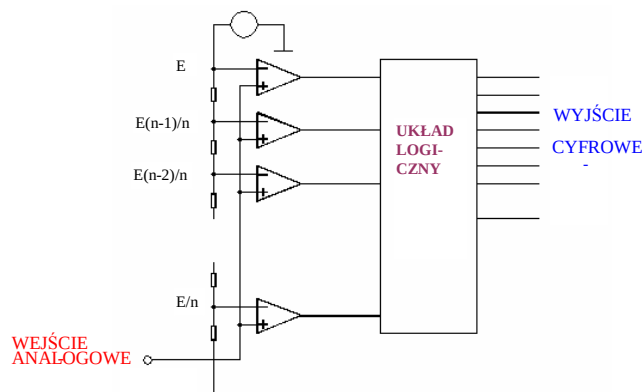
Przetwornik kompensacyjny:

czas konwersji wynosi $n \cdot \tau$
➔ rzędu kilkudziesięciu μs



Im mniejsza dokładność przetwarzania tym większa szybkość konwersji

Najszybsze są przetworniki analogowo-cyfrowe typu flash

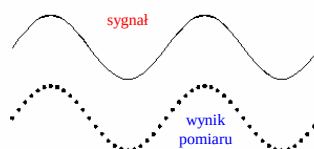
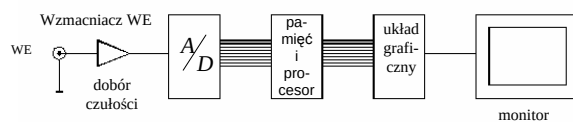


- Dokładność przetworników 10 bitów przy częstotliwości próbkowania 1 GHz
(Hewlett-Packard, Tektronix, National Instruments, Agiris)
- Możliwe tworzenie układów przetworników pracujących sekwencyjnie
➔ częstotliwość próbkowania sięga 10 GHz
- Przetworniki typu „flash” o większej liczbie bitów są wolniejsze:
12 bitów - 100 MHz, 14 bitów - 50 MHz (firma Ga-Ge).

Przetwornik analogowo cyfrowy - podstawowy element układów pomiarowych

Przykład: **oscilloskop cyfrowy**

UPROSZCZONY SCHEMAT OSCYLOSKOPU CYFROWEGO



Szybkie przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe: podstawowe urządzenia do cyfrowego zapisu, przetwarzania i odtwarzania obrazu i dźwięku