

Układy oparte o wzmacniacze operacyjne			
Krzyszczuk Michał Lis Przemysław	17 IV 2018 24 IV 2018	Wt 12:00	B7

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było poznanie pracy układów opartych o wzmacniacze operacyjne.

Badane zostały następujące układy liniowe:

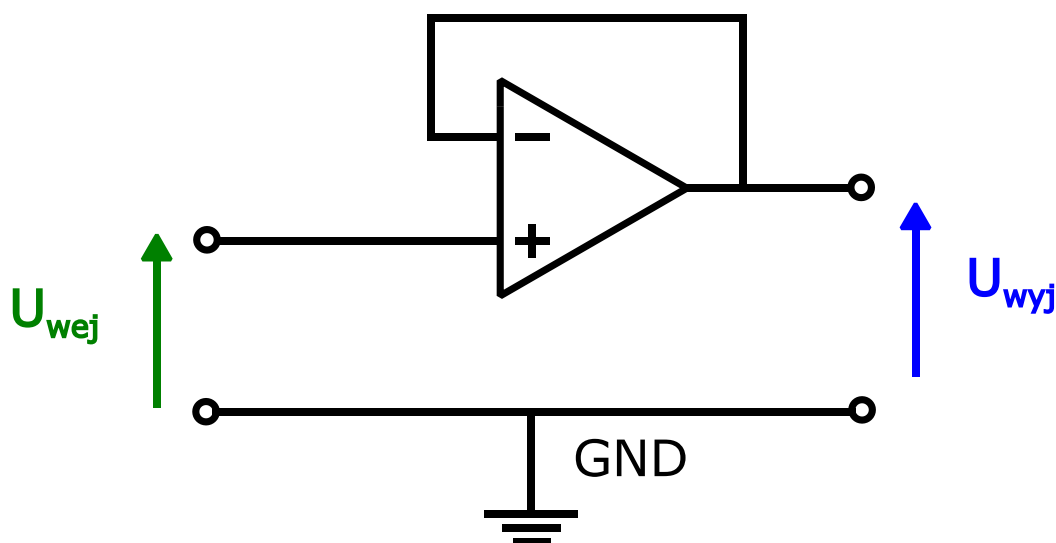
- układ wtórnika napięciowego o wzmacnieniu jednostkowym
- układ wzmacniacza nieodwracającego fazy o wzmacnieniu $2[\frac{V}{V}]$
- układ wzmacniacza odwracającego fazę o wzmacnieniu $-4,7[\frac{V}{V}]$
- układ wzmacniacza odwracającego fazę o wzmacnieniu $-2,2[\frac{V}{V}]$

Ponadto zostały przebadane następujące układy nieliniowe:

- układ super diody
- układ logarytmujący
- układ całkujący
- układ filtru pasmowo przepustowego

2. Przebieg ćwiczenia

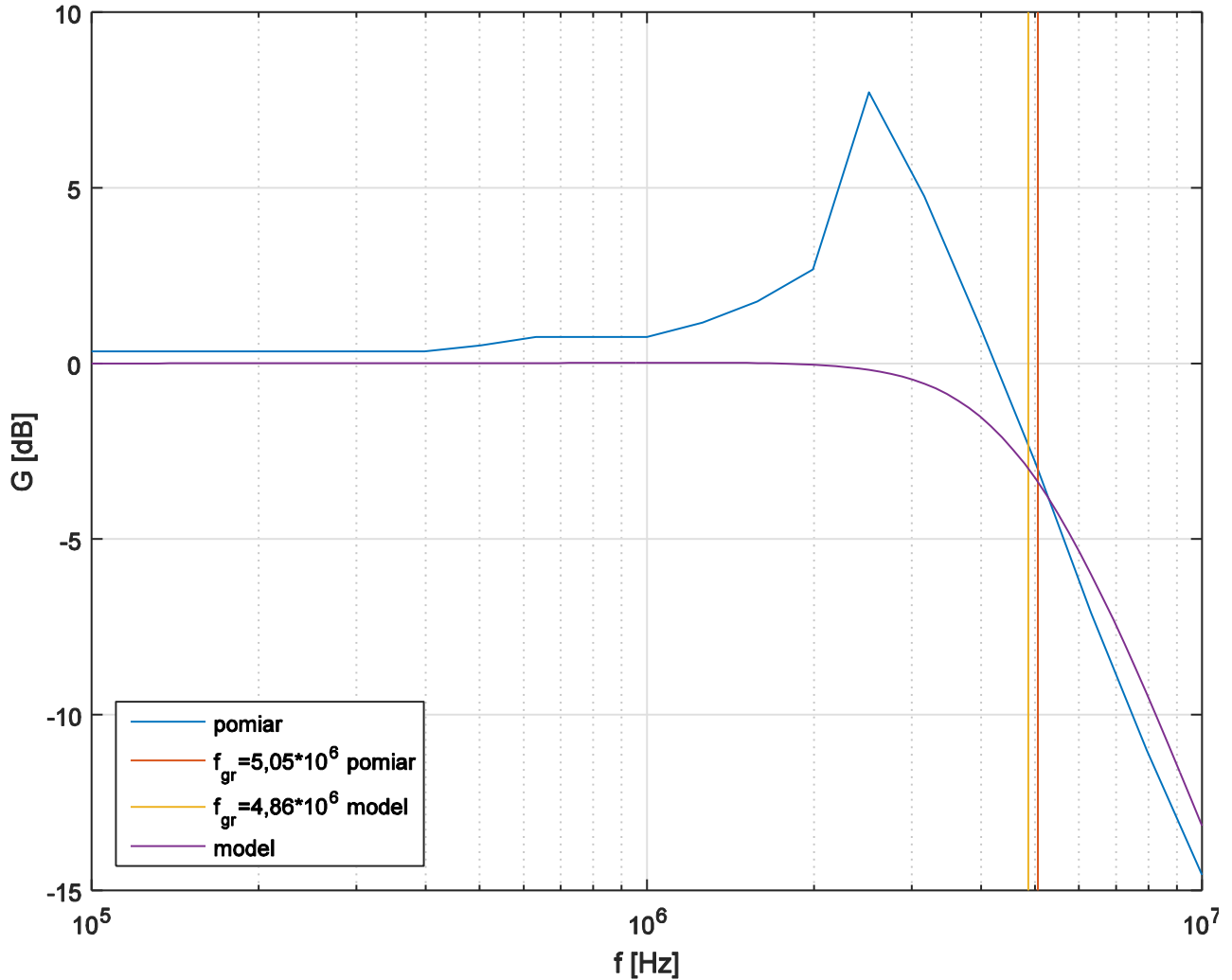
a. Układ wtórnika napięciowego o wzmacnieniu jednostkowym.



Rys 1. Układ wzmacniacza o wzmacnieniu jednostkowym (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TMI, UPEL AGH).

Tabela 1. Pomiary dla układu wzmacniacza o wzmocnieniu jednostkowym.

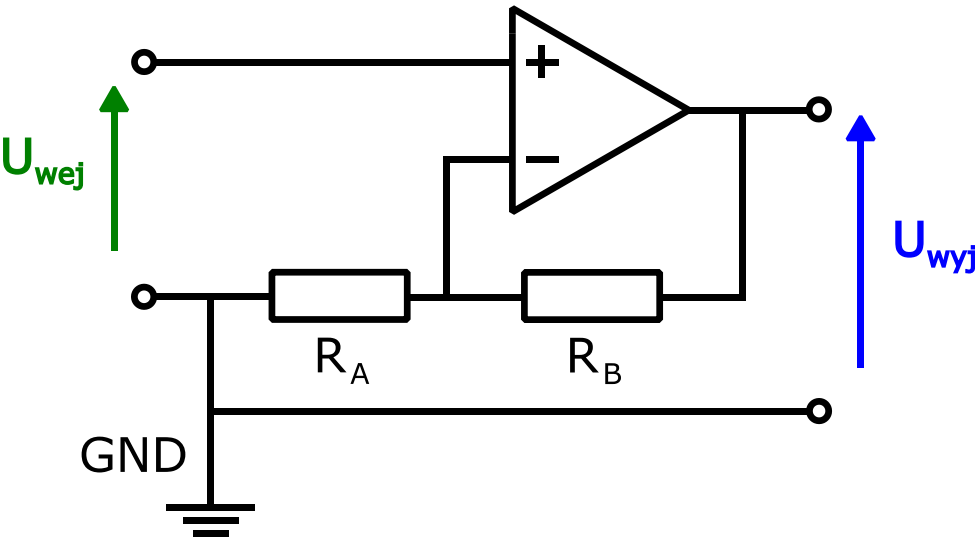
Częstotliwość wejścia [kHz]	100	126	158	199	251	316	398	501	631	794	1000	1260	1580	1990	2510	3160	3980	5010	6310	7940	10000
Amplituda wejścia [V]	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,93	0,9	0,86	0,824	0,77
Amplituda wyjścia [V]	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,05	1,08	1,08	1,08	1,12	1,2	1,32	2,36	1,66	1,05	0,65	0,38	0,232	0,144
G [V/V]	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,06	1,09	1,09	1,09	1,14	1,22	1,36	2,43	1,73	1,13	0,72	0,44	0,28	0,19
G [dB]	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,51	0,76	0,76	0,76	1,16	1,76	2,68	7,72	4,76	1,05	-2,83	-7,09	-11,01	-14,56



Rys 2. Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza o wzmocnieniu jednostkowym.

Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wtórnika napięciowego posiada wzmocnienie jednostkowe (równe jeden), stosowany jest, aby na przykład dokonać zmiany impedancji wejściowej lub wyjściowej układu. Zamieszczona charakterystyka (Rys 2) pokazuje różnice między modelem a rzeczywistym układem. W paśmie przepustowym charakterystyki różnią się nieznacznie, jednak w okolicy częstotliwości granicznej rzeczywisty układ posiada większe wzmocnienie. Naszym zdaniem jest to spowodowane rezonansem pojemności pasożytniczych oraz indukcyjności wewnątrz struktury wzmacniacza.

b. Układ wzmacniacza nieodwracającego fazy o wzmacnieniu $2[\frac{V}{V}]$.



Rys 2. Układ wzmacniacza o wzmacnieniu jednostkowym (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEL AGH).

Tabela 2. Tabela zadanych wzmacnień.

Stanowisko	1	2	3	4	5	6	7	8	Rezerwa
G [V/V] wzmacniacza nieodwracającego fazy	3,13	1,45	2	5,54	3,13	1,45	2	5,54	5,7
G [V/V] wzmacniacza odwracającego fazę	-2,12	-2,12	-4,54	-2,12	-2,12	-2,2	-4,7	-2,2	-2,2

Zgodnie z tabelą nr. 2 dla stanowiska numer 7 zostało zadane następujące wzmacnienie : $2[\frac{V}{V}]$.

Wzmacnienie (K) zostało zrealizowane wykorzystując następujące wartości rezystorów.

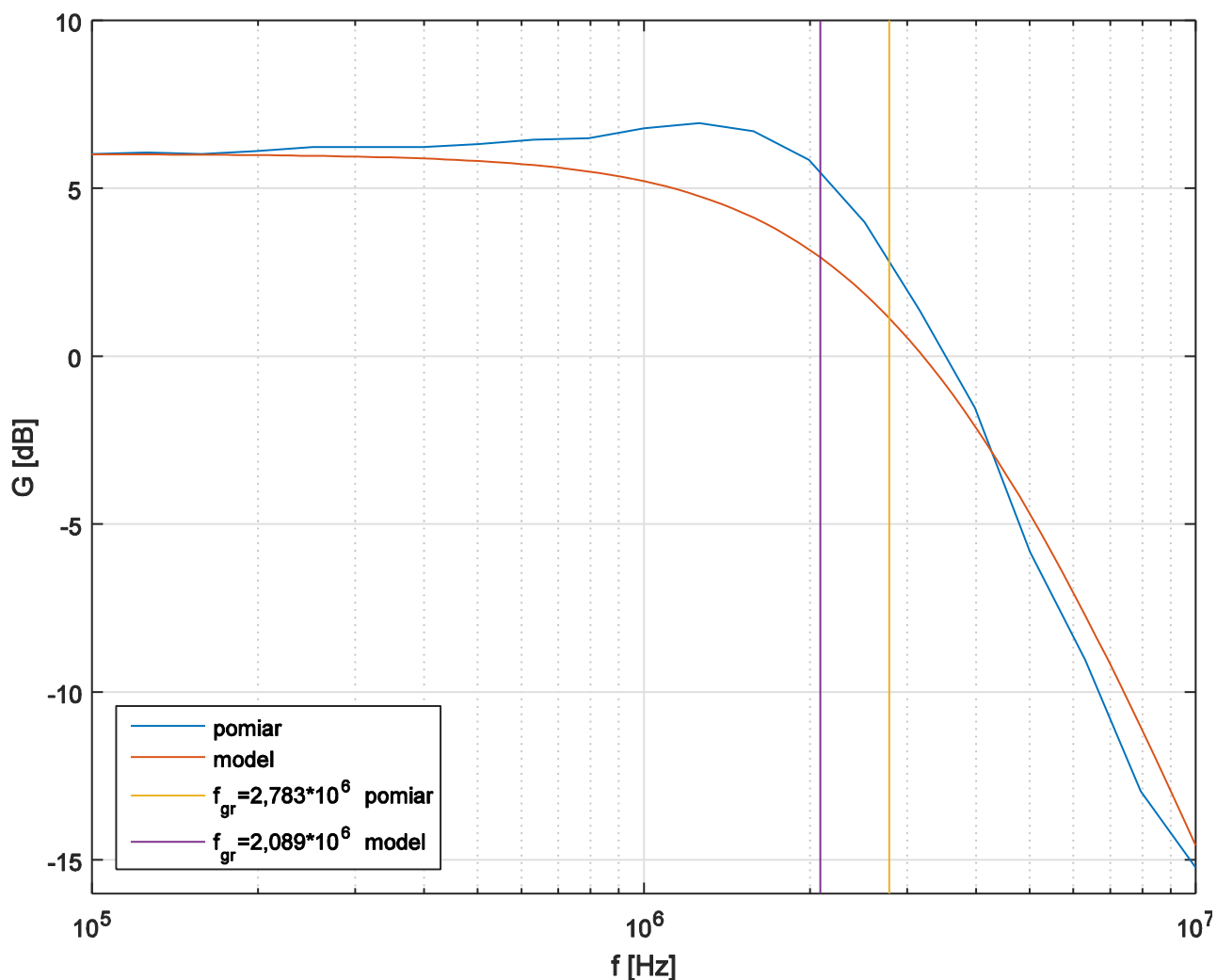
$R_a=990\ \Omega$

$R_b=990\Omega$

$K=1+\frac{R_b}{R_a} = 1 + \frac{990}{990} = 2[\frac{V}{V}]$

Tabela 3. Pomiary dla układu wzmacniacza nieodwracającego fazy.

Częstotliwość [kHz]	100	126	158	199	251	316	398	501	631	794	1000	1260	1580	1990	2510	3160	3980	5010	6310	7940	10000
Amplituda wejścia [V]	1,03	1,03	1,03	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,85	0,80	0,75
Amplituda wyjścia [V]	2,06	2,07	2,06	2,06	2,07	2,07	2,07	2,07	2,08	2,09	2,14	2,18	2,12	1,92	1,52	1,10	0,77	0,45	0,30	0,18	0,13
G [V/V]	2,00	2,01	2,00	2,02	2,05	2,05	2,05	2,07	2,10	2,11	2,18	2,22	2,16	1,96	1,58	1,17	0,84	0,51	0,35	0,23	0,17
G [dB]	6,02	6,06	6,02	6,11	6,23	6,23	6,23	6,32	6,45	6,49	6,78	6,94	6,70	5,84	3,99	1,37	-1,55	-5,83	-9,05	-12,96	-15,22

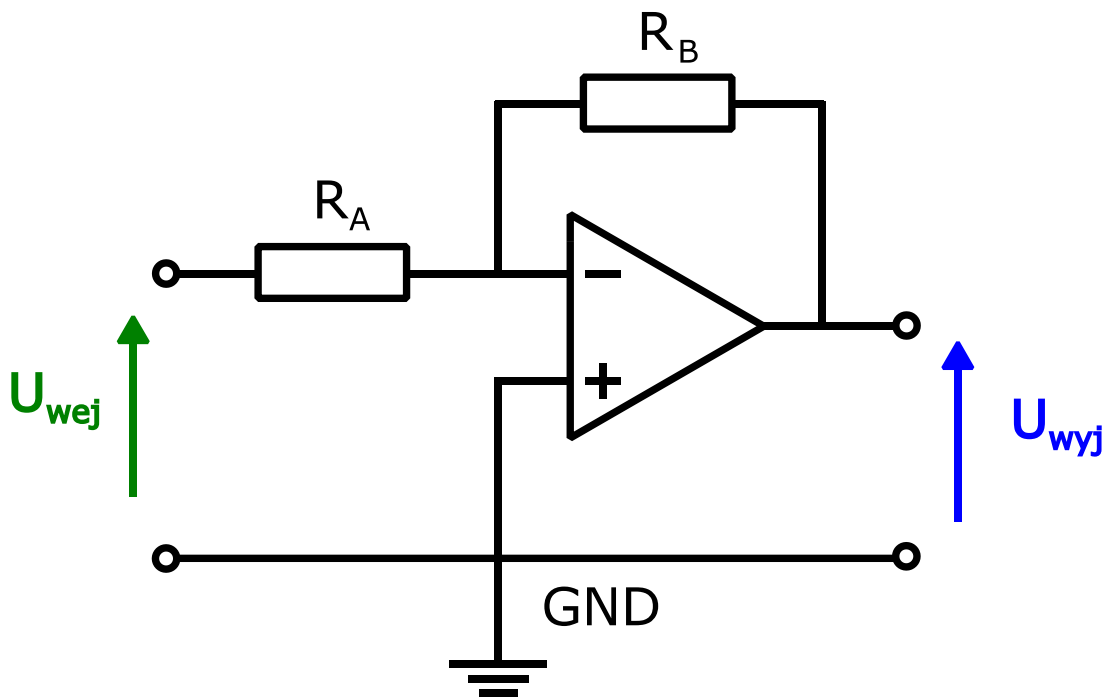


Rys 3. Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza nieodwracającego fazy.

Wzmacniacz operacyjny nieodwracający fazy posiada wzmocnienie ustalane przez rezystancje R_b oraz R_a , stosowany jest tam gdzie trzeba dokonać zmiany impedancji wyjściowej (lub wejściowej) układu jednocześnie wzmacniając sygnał, należy pamiętać, że w konfiguracji wzmacniacza nieodwracającego niemożliwe jest zaimplementowanie układu tłumiącego.

Zamieszczona charakterystyka ukazuje różnice między modelem, a rzeczywistym układem. W paśmie przepustowym charakterystyki różnią się nieznacznie, jednak w okolicy częstotliwości granicznej rzeczywisty układ posiada zwiększone wzmocnienie. Naszym zdaniem jest to spowodowane rezonansem pojemności pasożytniczych oraz i indukcyjności wewnątrz struktury wzmacniacza (podobnie jak dla układu badanego w pkt. 2a).

c. Układ wzmacniacza odwracającego fazę o wzmocnieniu $-4,7 [\frac{V}{V}]$.



Rys 4. Układ wzmacniacza odwracającego fazy (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEL AGH).

Zgodnie z tabelą nr. 2 dla stanowiska 7 zostało dobrane następujące wzmocnienie : $-4,65 [\frac{V}{V}]$.

Wzmocnienie (K) zostało zrealizowane wykorzystując następujące wartości rezystorów.

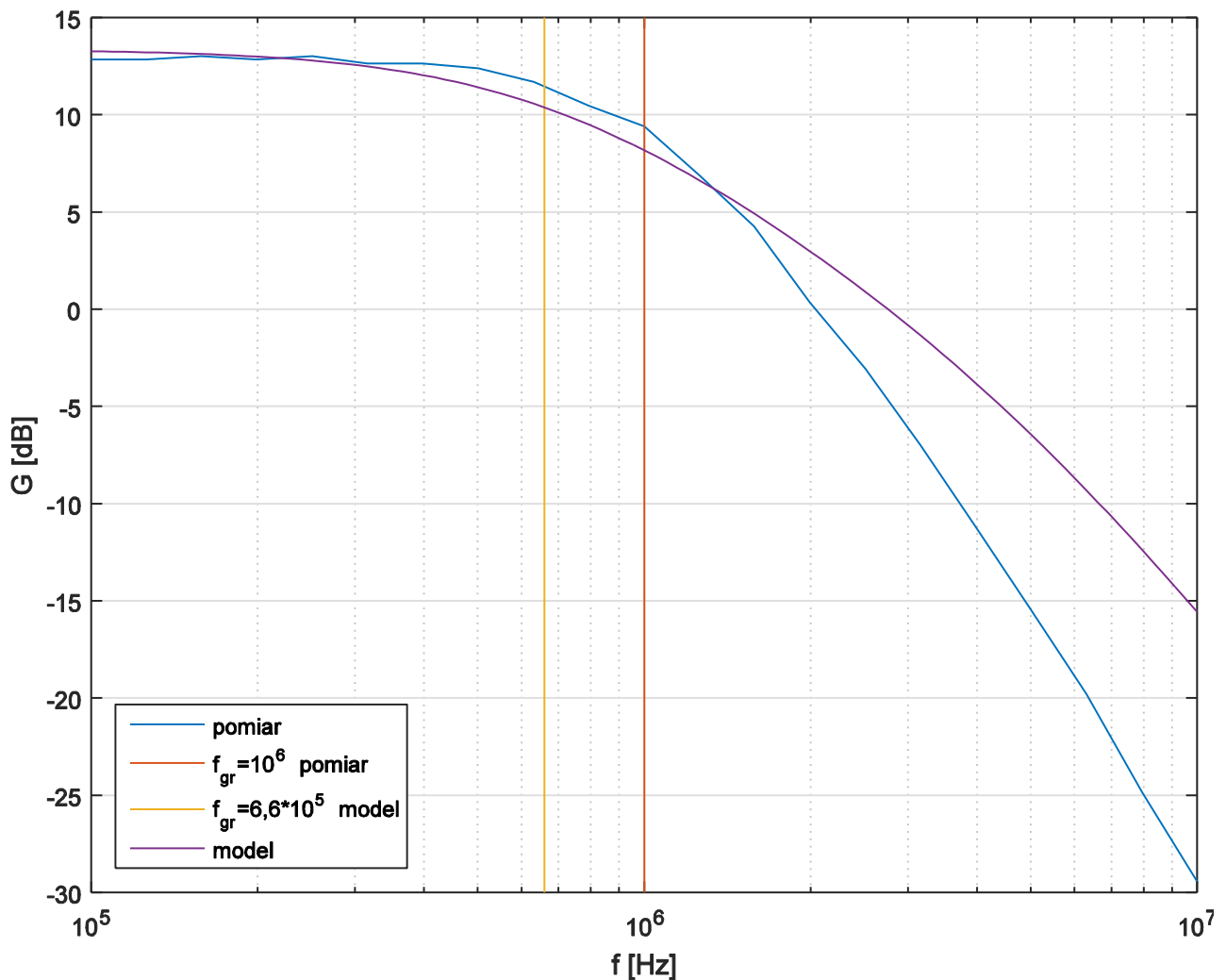
$$R_a=2147\ \Omega$$

$$R_b=9990\Omega$$

$$K=-\frac{R_b}{R_a} = -\frac{9990}{2147} = -4,65[\frac{V}{V}]$$

Tabela 4. Pomiary dla układu wzmacniacza odwracającego fazę.

Częstotliwość [kHz]	100	126	158	199	251	316	398	501	631	794	1000	1260	1580	1990	2510	3160	3980	5010	6310	7940	10000
Amplituda wejścia [V]	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96	0,94	0,94	0,91	0,89	0,86	0,82	0,77
Amplituda wyjścia [V]	-4,56	-4,56	-4,56	-4,56	-4,56	-4,45	-4,28	-4,12	-3,8	-3,3	-2,92	-2,16	-1,6	-1	-0,66	-0,42	-0,25	-0,15	-0,088	-0,047	-0,026
G [V/V]	-4,38	-4,38	-4,47	-4,38	-4,47	-4,28	-4,28	-4,16	-3,84	-3,33	-2,95	-2,20	-1,63	-1,04	-0,70	-0,45	-0,27	-0,17	-0,10	-0,06	-0,03
G [dB]	12,84	12,84	13,01	12,84	13,01	12,63	12,63	12,39	11,68	10,46	9,39	6,86	4,26	0,35	-3,07	-7,00	-11,22	-15,47	-19,80	-24,83	-29,43

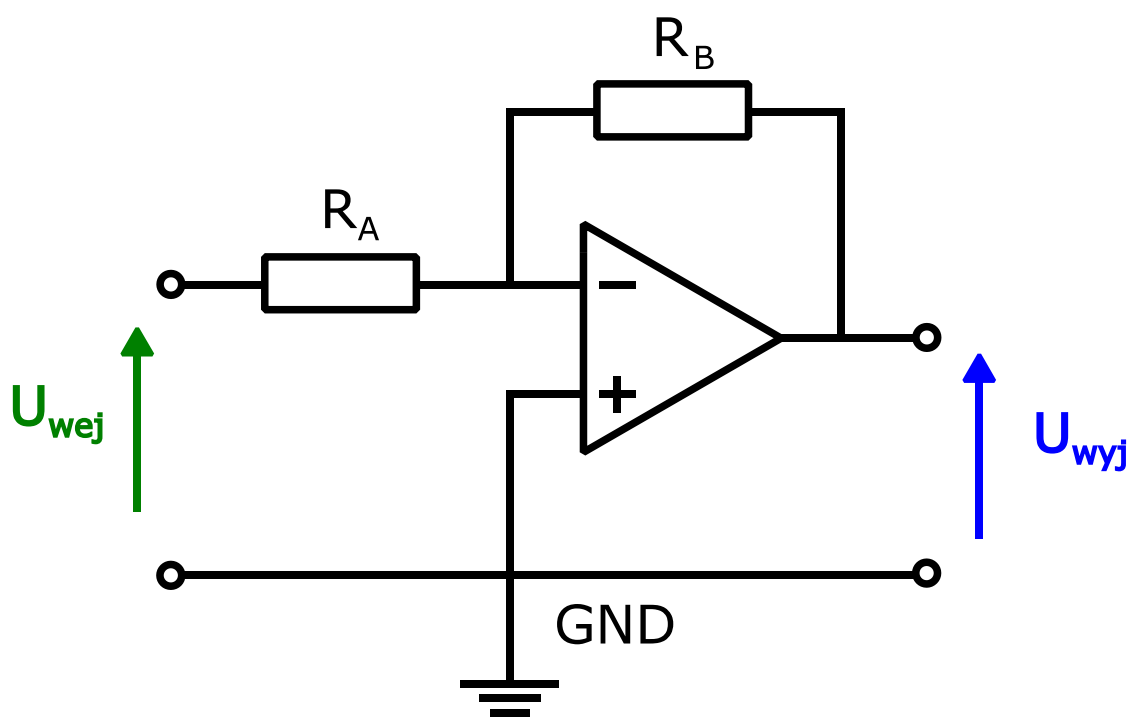


Rys 5. Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza odwracającego fazę.

Układ wzmacniacza odwracającego fazę posiada wzmocnienie ustalone przez rezystancje R_b oraz R_a , stosowany jest tam gdzie trzeba dokonać zmiany impedancji wyjściowej układu jednocześnie zmienić sygnał, należy pamiętać że w konfiguracji wzmacniacza odwracającego sygnał wyjściowy posiada przeciwny znak do sygnału wejściowego.

Zamieszczone charakterystyki ukazują niewielkie różnice między modelem a rzeczywistym układem. W paśmie przepustowym charakterystyki różnią się nieznacznie, jednak w okolicy częstotliwości granicznej rzeczywisty układ posiada większe pasmo przenoszenia, a za częstotliwością graniczną sygnał jest tłumiony z większym skutkiem. Ponieważ żaden układ nie jest projektowany na pracę w okolicy częstotliwości granicznej w praktycznym zastosowaniu powyższe różnice nie tworzą poważnych problemów eksploatacyjnych.

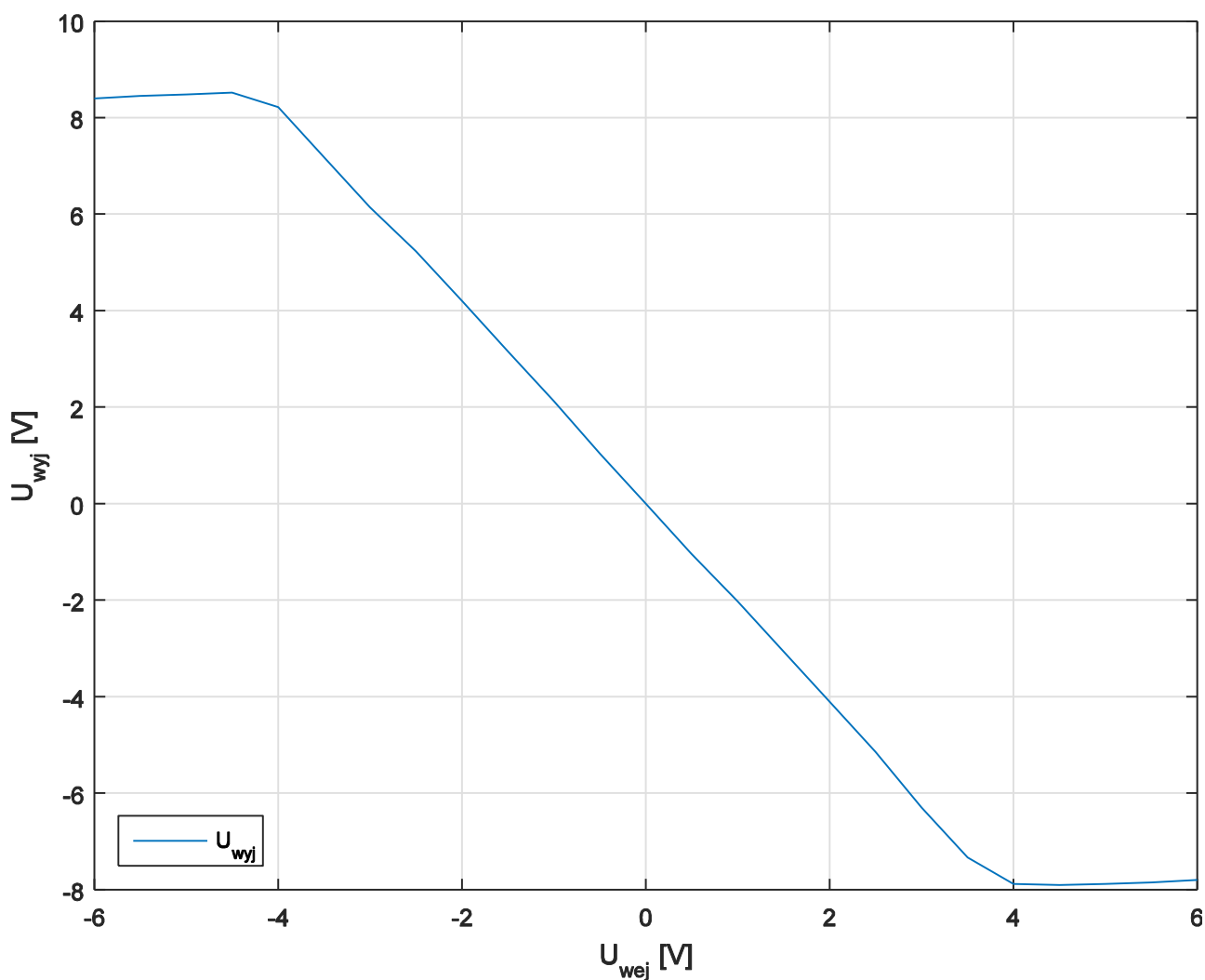
d. Układ wzmacniacza odwracającego fazę o wzmacnieniu $-2,2 \left[\frac{V}{V}\right]$.



Rys 6. Układ wzmacniacza odwracającego (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEL AGH).

Tabela 4. Pomiar napięcia dla układu wzmacniacza odwracającego fazę.

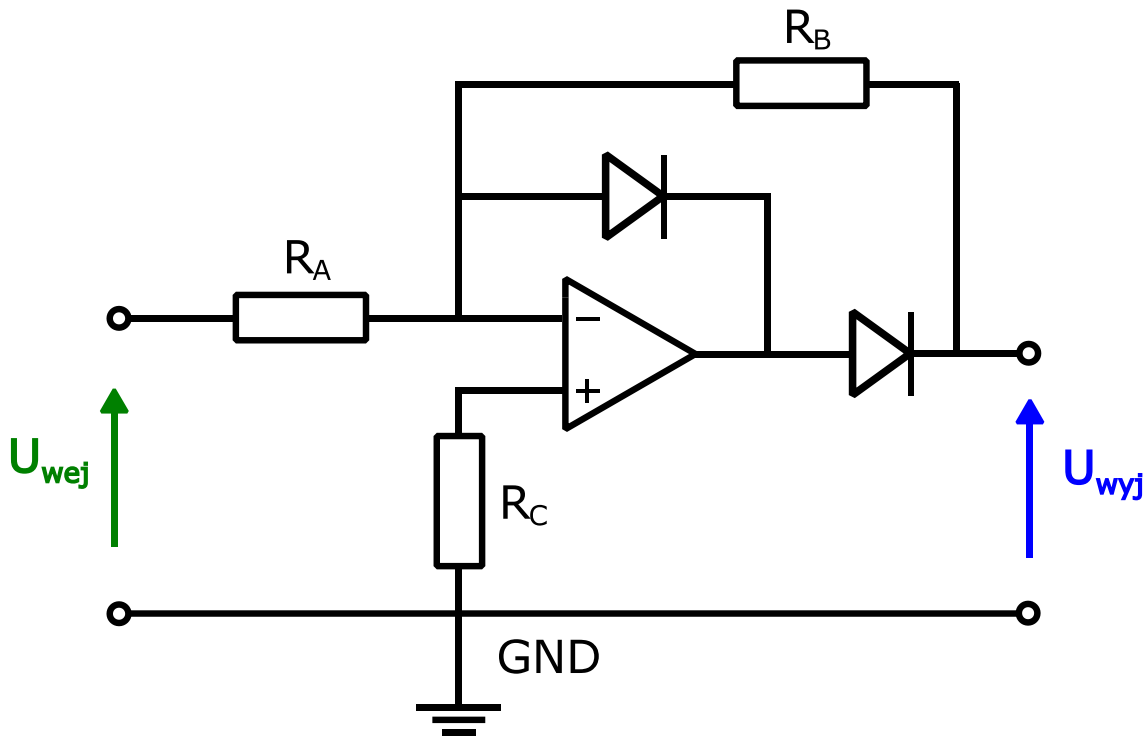
Amplituda wyjścia [V]	-6	-5,5	-5	-4,5	-4	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Napięcie na wyjściu [V]	8,4	8,45	8,48	8,52	8,22	7,18	6,14	5,23	4,2	3,16	2,123	1,041	0	-1,044	-2,027	-3,065	-4,103	-5,14	-6,3	-7,33	-7,88	-7,9	-7,88	-7,85	-7,8



Rys 7. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza odwracającego.

Układ wzmacniacza odwracającego fazę może wejść w część nasycenia, spowodowane jest to nie idealną konfiguracją rzeczywistą. Nasycenie to polega na nie możliwości wymuszenia napięcia wyjściowego większego (lub ujemnie mniejszego) niż napięcie jakim jest zasilony. Z charakterystyki przejściowej można odczytać wzmocnienie oraz konfigurację wzmacniacza. Należy na części charakterystyki aktywnej wzmacniacza wybrać określone napięcie, a następnie odczytać jakie napięcie wyjściowe odpowiada napięciu wejściowemu. Zmiana znaku napięcia wskazuje konfigurację odwracającą wzmacniacza, a brak tej zmiany określa konfigurację nieodwracającego wzmacniacza. Współczynnik wzmocnienia jest tożsamy z ilorazem wartości wyjściowej napięcia do wartości wejściowej napięcia.

e. Układ super diody.



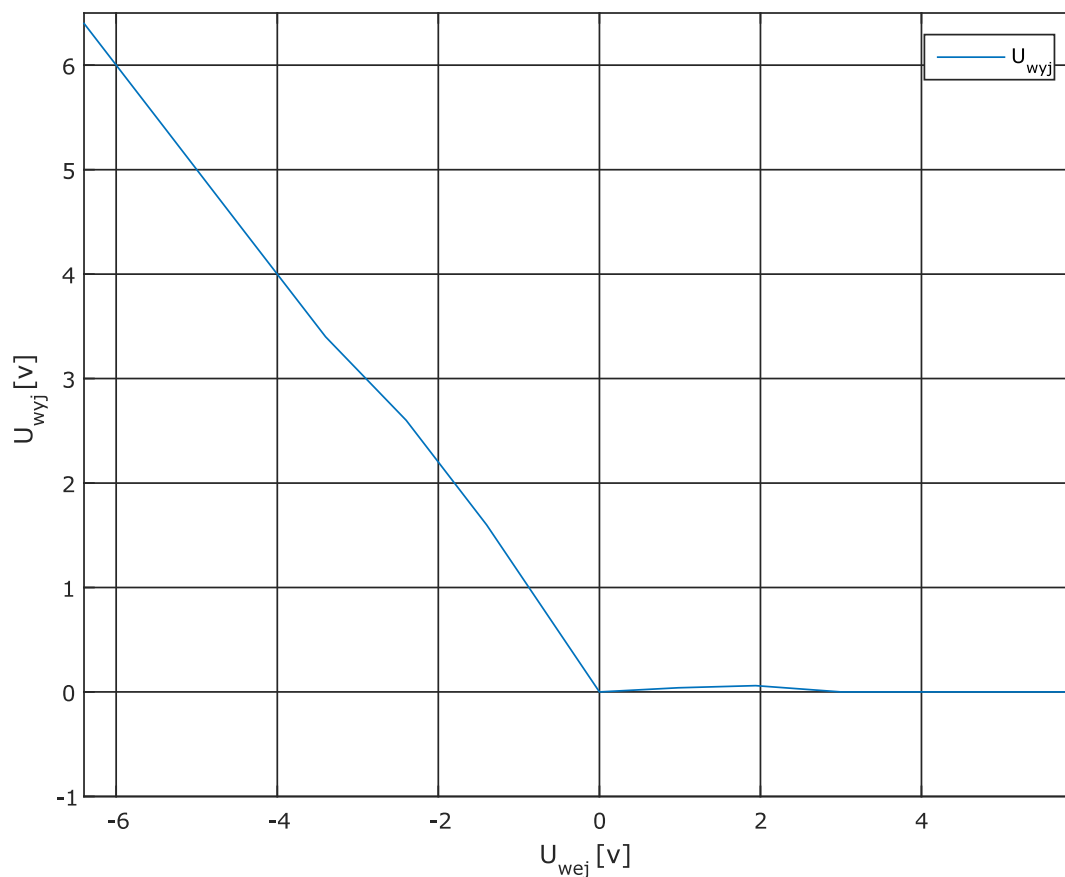
Rys 8. Układ super diody (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEL AGH).

Tabela 5. Zadane wzmocnienia.

Stanowisko	1	2	3	4	5	6	7	8	Rezerwa
R _A	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	4,7	4,7 kΩ	4,7 kΩ	2,2 kΩ	2,2 kΩ
R _B	4,7 kΩ	2,2 kΩ	1 kΩ	10 kΩ	1 kΩ	2,2 kΩ	4,7 kΩ	1 kΩ	2,2 kΩ
R _C	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ

Tabela 6. Pomiar dla układu wzmacniacza układu super diody.

Napięcie na wejściu [V]	-6,4	-5,4	-4,4	-3,4	-2,4	-1,4	0	0,98	1,94	3	3,96	4,92	5,92
Napięcie na wyjściu [V]	6,4	5,4	4,4	3,4	2,6	1,6	0	0,04	0,06	0	0	0	0

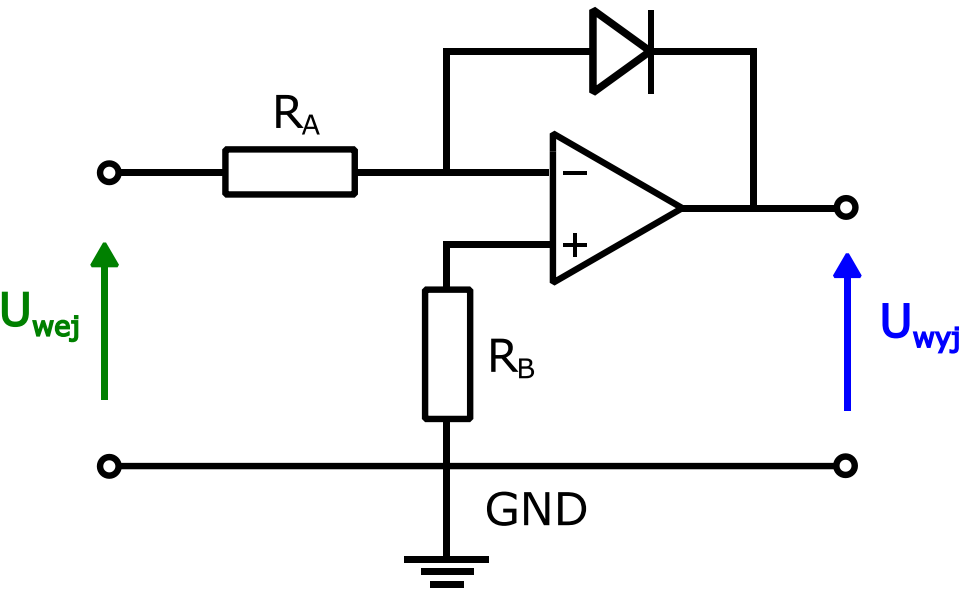


Rys.9 Charakterystyka przejściowa super diody.

Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji super diody jest układem rzeczywistym realizującym funkcję idealnej diody prostowniczej, to jest brak napięcia przewodzenia, niemal nie mierzalny prąd wsteczny. Powyższy układ posiada również możliwość wzmacnienia sygnału wzmacnieniem dodatnim jak i ujemnym.

Układ dla napięć ujemnych posiada diodę umiejscowioną w sprzężeniu w stanie zaporowym, a diodę na wyjściu w stanie przewodzenia. Oznacza to że dla napięć ujemnych układ zachowuje się jak zwykły układ wzmacniacza odwracającego. Natomiast dla napięć dodatnich dioda znajdująca się w sprzężeniu jest w stanie przewodzenia, efektem czego układ posiada automatyczne zerowanie napięcia wyjściowego.

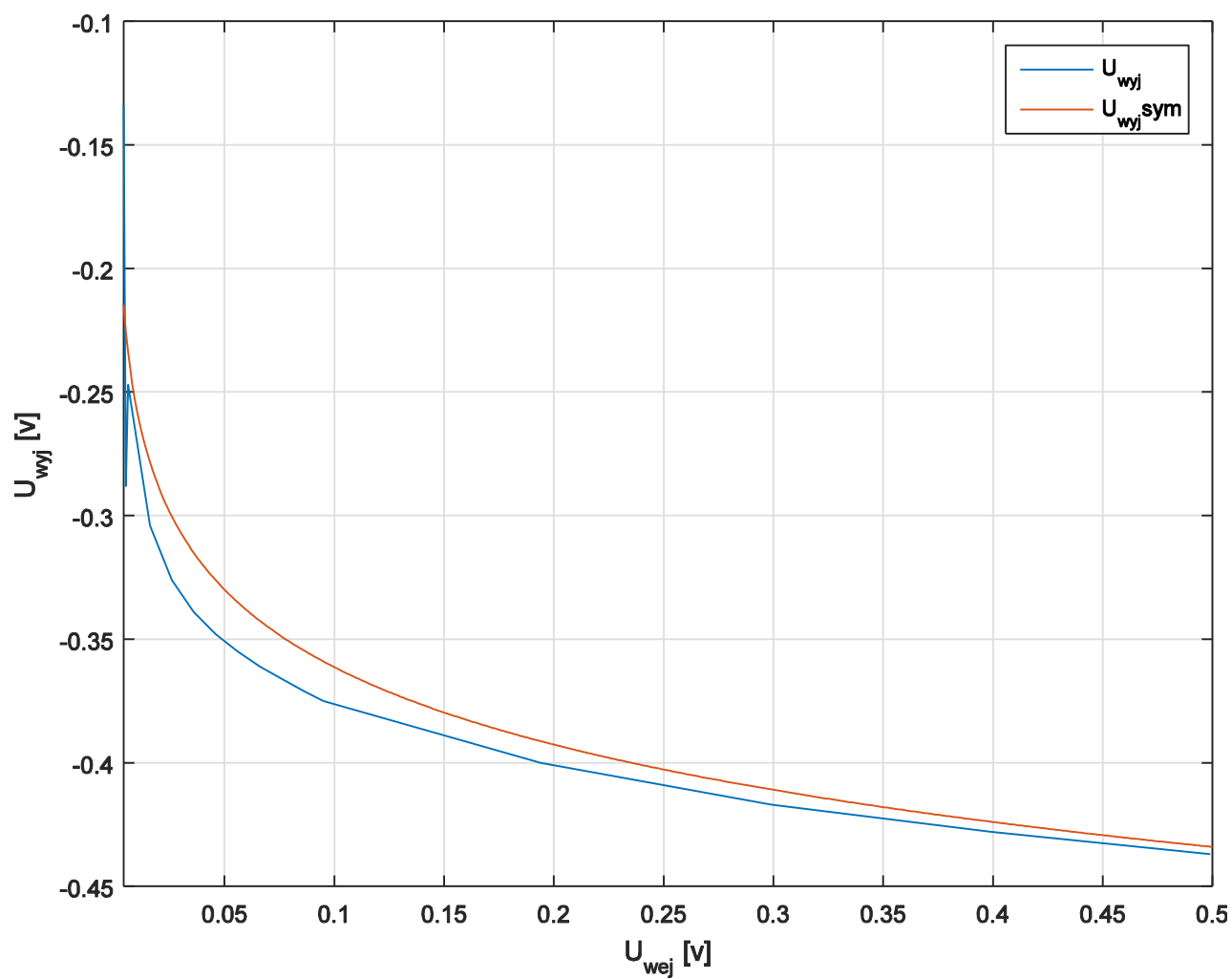
f. Układ logarytmujący.



Rys. 10 Schemat układu logarytmującego (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEŁ AGH).

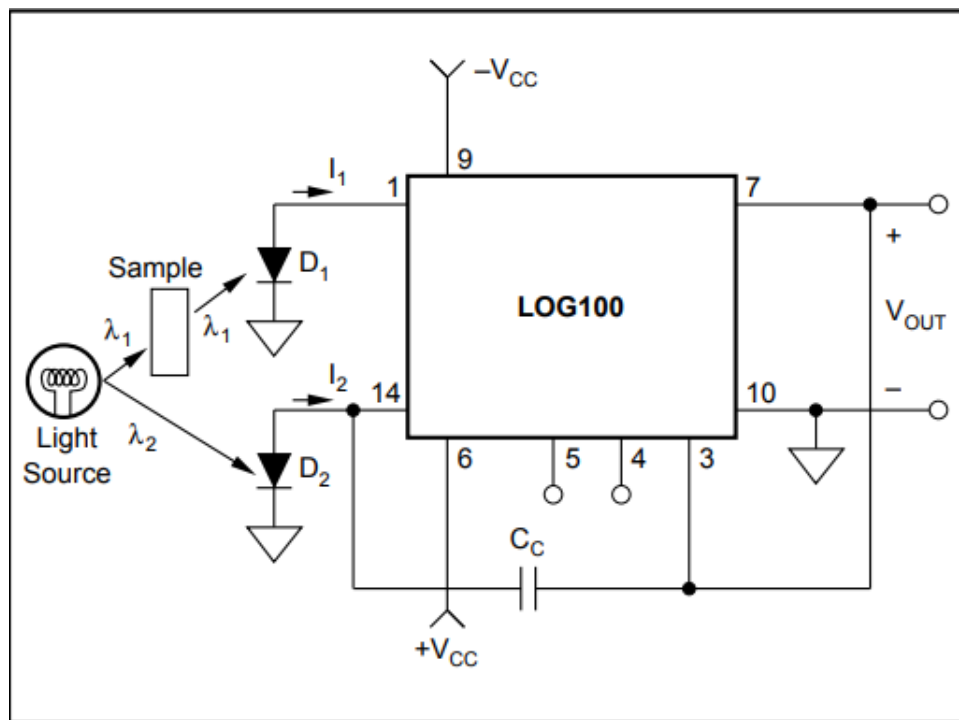
Tab.7 Pomiar dla układu logarytmującego.

Napiecie na wejsciu [V]	0,499	0,399	0,299	0,194	0,095	0,086	0,076	0,066	0,056	0,046	0,036	0,026	0,016	0,006	0,005	0,004	0,0037	0,0034	0
Napiecie na wyjsciu [V]	-0,437	-0,428	-0,417	-0,4	-0,375	-0,371	-0,366	-0,361	-0,355	-0,348	-0,339	-0,326	-0,304	-0,247	-0,288	-0,134	9,33	9,4	9,54



Rys 11. Charakterystyka przejściowa układu logarytmującego

Układ logarytmujący jest często wykorzystywany przez elektroników. Przykładem jest układ LOG100, jest to scalony układ realizujący funkcję logarytmującą. Stosowany jest do rozszerzenia dokładności przetwornika ADC w zakresie niskich napięć.



Rys 12. Przykładowy układ zawierający układ logarytmujący.

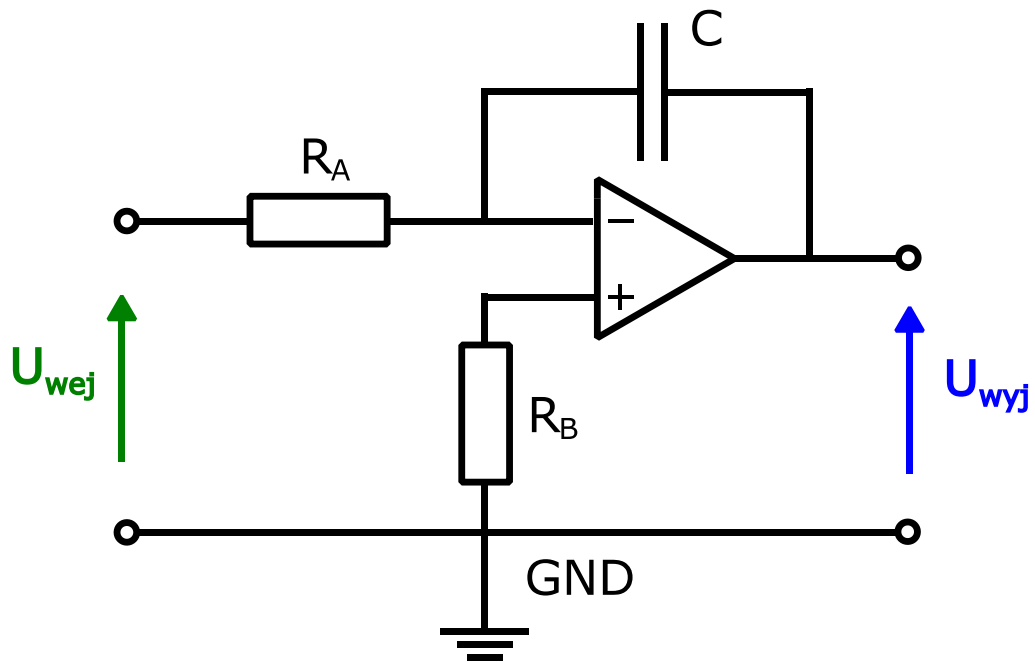
Powyższy układ za pomocą przetwornika 8 bitowego ADC realizuje funkcjonalności przetwornika 20 bitowego ADC.

Powyższe informacje są zaczerpnięte z dokumentacji technicznej układu LOG100
<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/BurrBrown/mXsswsr.pdf>.

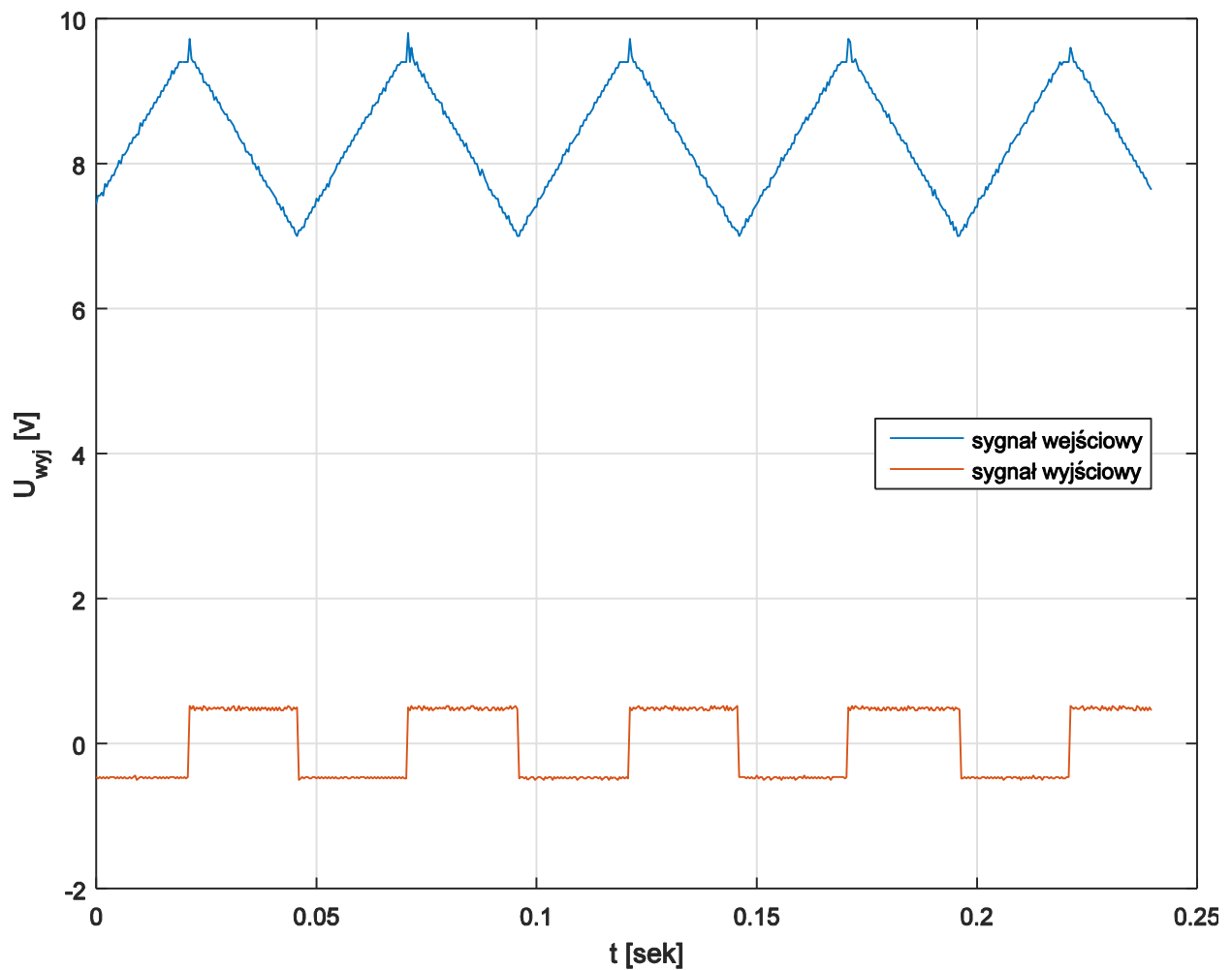
Ponadto układ logarytmujący jest stosowany w celu linearyzacji charakterystyki pracy tranzystorów z rodziny „tranzystorów bipolarnych”.

Wyniki pomiarów oraz modelu symulowanego (Rys 11) różnią się nieznacznie, może być to spowodowane rozbieżnościami modelu diody (1N5062) użytego w programie LTspice od parametrów diody układu rzeczywistego.

g. Układ całkujący.



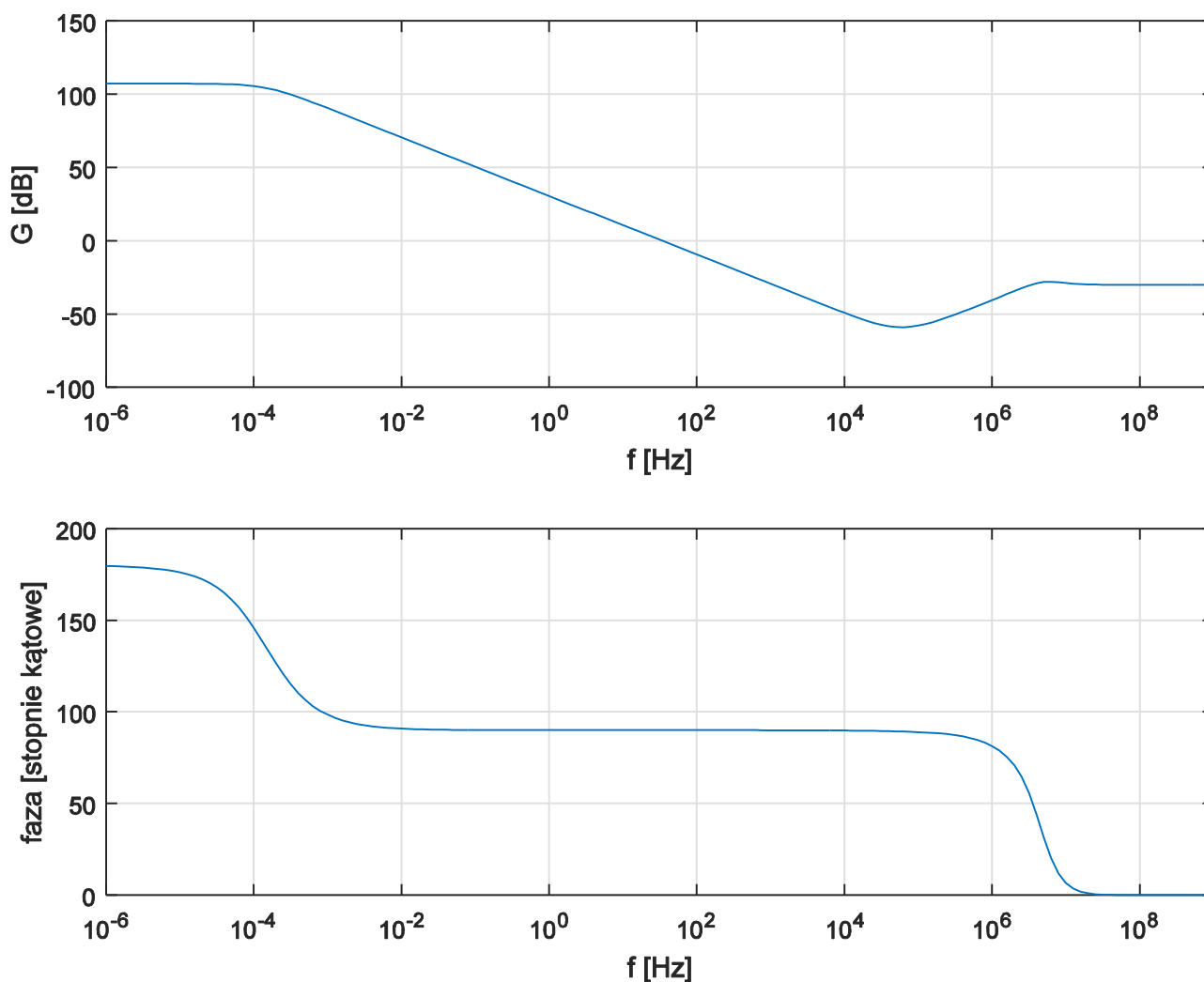
Rys 13. Schemat układu całkującego (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEL AGH).



Rys 14. Przebieg sygnału wejściowego i wyjściowego układu całkującego (oscylloskop).

Dla napięcia ujemnego na wejściu napięcie na wyjściu narasta w sposób niemal liniowy. Dla napięć wejściowych dodatnich napięcie wyjścia maleje również w sposób liniowy. Odczytany przebieg posiada składową stałą, oznacza to że zastosowany kondensator przy tej częstotliwości nie rozładowuje się w pełni, oraz nie zmienia polaryzacji napięcia znajdującego się na nim.

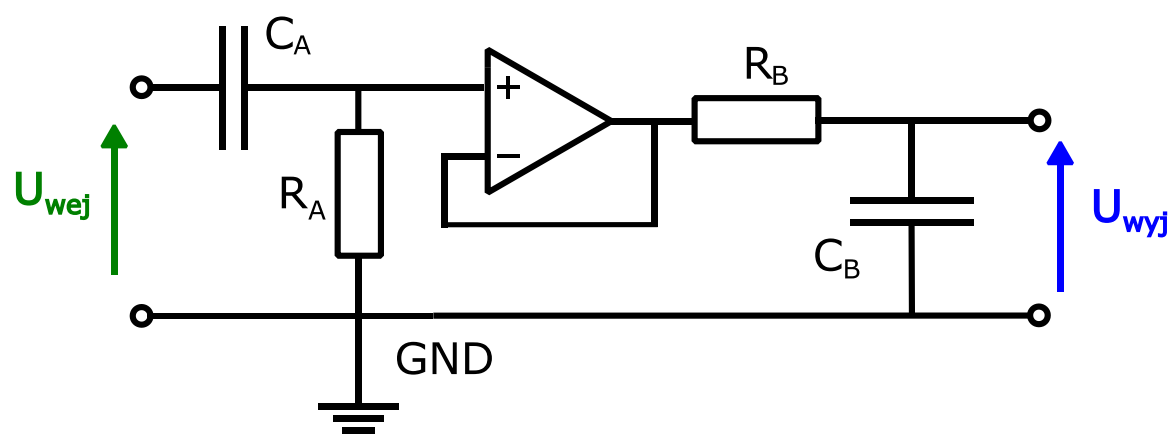
Przedstawiony układ połączony w kaskadę z drugim analogicznym układem idealnie nadają się na przekształcanie przebiegu prostokątnego na piłokształtny, a następnie na sinusoidalny. Wadą takiego zastosowania jest praca tylko przy określonej częstotliwości, inna częstotliwość determinuje inne wartości pojemności.



Rys 15. Charakterystyka amplitudowo fazowa układu całkującego.

Charakterystyka amplitudowo- fazowa układu całkującego wskazują, że układ ma charakter aktywnego filtra dolnoprzepustowego.

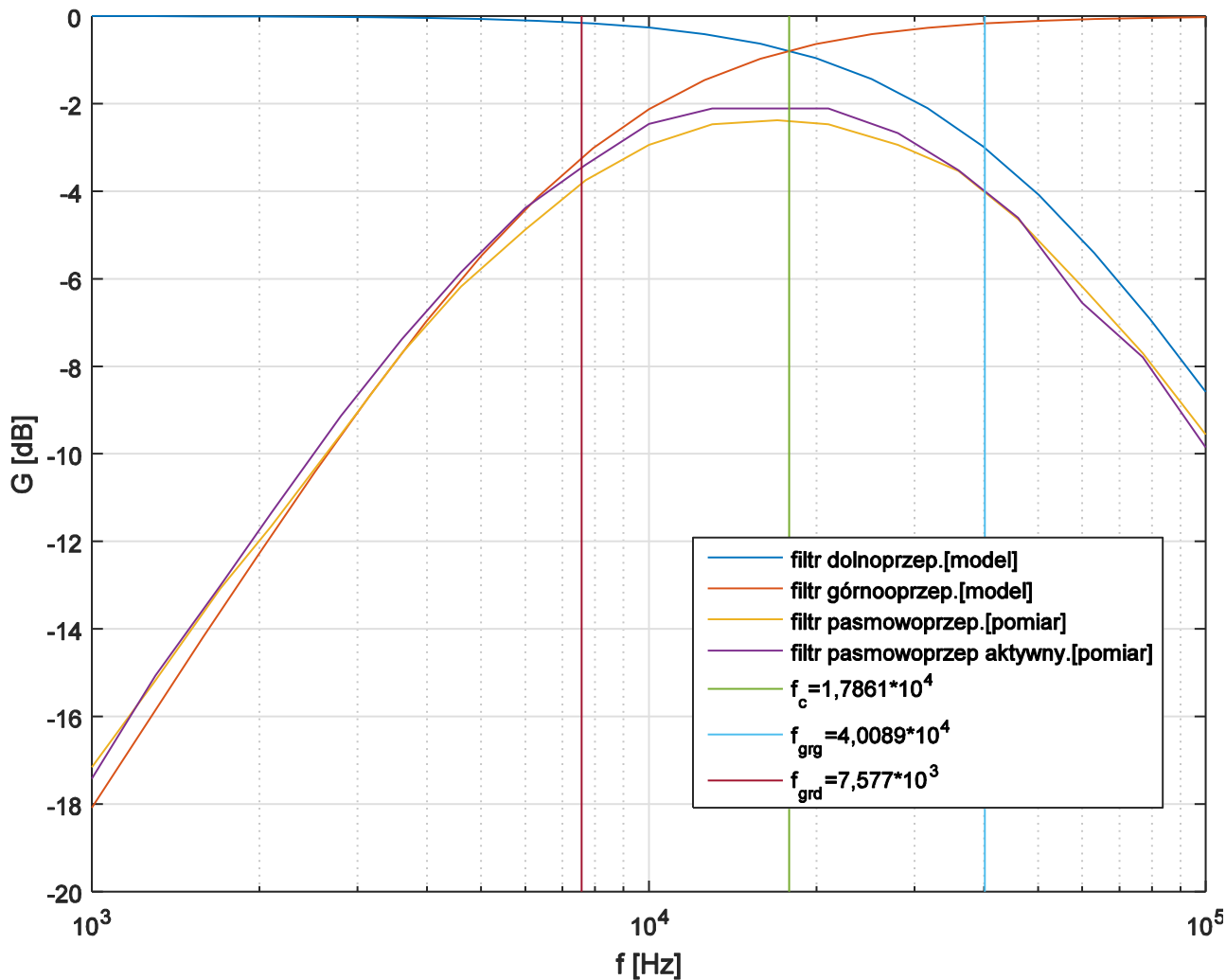
h. Układ aktywnego filtra pasmowoprzepustowego.



Rys 16. Schemat układu filtra pasmowoprzepustowego (źródło: Instrukcja do ćwiczeń TM1, UPEL AGH).

Tabela 8. Pomiar dla układu filtra pasmowoprzepustowego .

Częstotliwość [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10	13	17	21	28	36	46	60	77	100
Wejście [V]	1,04	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Wyjście [V]	0,14	0,18	0,228	0,276	0,356	0,436	0,52	0,616	0,69	0,768	0,8	0,8	0,8	0,75	0,68	0,6	0,48	0,416	0,328
Wyj [V] /Wej [V]	0,13	0,18	0,22	0,27	0,35	0,43	0,51	0,60	0,68	0,75	0,78	0,78	0,78	0,74	0,67	0,59	0,47	0,41	0,32
G[db]	-17,42	-15,07	-13,01	-11,35	-9,14	-7,38	-5,85	-4,38	-3,40	-2,46	-2,11	-2,11	-2,11	-2,67	-3,52	-4,61	-6,55	-7,79	-9,85



Rys 17. Charakterystyka amplitudowa aktywnego filtra pasmowoprzepustowego.

Charakterystyki filtrów są dokładnie takie jakich oczekiwano, tj. najmniejsze tłumienie posiadają filtry pierwszego stopnia, następnie filtr pasmowo przepustowy wraz z wtórnikami napięciowym. Największe tłumienie posiada pasywny filtr pasmowoprzepustowy. Filtr z zastosowanym wtórnikami napięcia powoduje zmniejszenie tłumienia. Polepsza to kształt charakterystyki wzmacniacza, zwiększa pasmo przepustowe wzmacniacza, oraz polepsza sprawność energetyczną układu.

3. Wnioski z wykonanego ćwiczenia

Realizacja ćwiczeń nie sprawiała problemów, jednak układ logarytmujący wymagał sporej precyzji pomiarów. Niewielkie zmiany napięcia wejściowego powodowały przechodzenie układu w nasycenie co znacząco utrudniło by późniejszą analizę kształtu charakterystyki. Kolejną trudnością była analiza układu całkującego pod względem charakteru pracy, szczególnie analiza występującej składowej stałej. Interesujące było również pobranie pomiarów z oscyloskopu do pamięci USB, co pozwoliło nam na wykonanie wysokiej jakości wykresu.

W załączonym przekładzie zastosowania układu logarytmującego (fragment podpunktu 2f) został zamieszczony rysunek rastrowy ponieważ tylko taki był dostępny w dokumentacji technicznej dostarczonej przez producenta układu.