

## Podstawy Projektowania Analogowych Układów VLSI – zajęcia projektowe

Projekt zakładał narysowanie schematu układu wzmacniacza w konfiguracji wtórnika. Układ powinien się składać z części referencyjnej oraz wzmacniacza dwustopniowego. Następnie należało stworzyć odpowiedni layout.

W pierwszej kolejności poprawiłam schemat wzmacniacza różnicowego, aby spełnił wymagania projektu. W tym celu dodałam lustro prądowe oraz przetwornik cyfra-analog (sprawozdanie z laboratorium nr 2). Schemat początkowo uzależniłam od parametrów. Aby wykonać analizy na schemacie, stworzyłam układ do testów, który zawierał zasilania oraz prądy referencyjne. Po wykonaniu analizy stałoprądowej wyznaczyłam odpowiedni punkt pracy wzmacniacza. Analizy ac, stb oraz noise służyły mi odpowiednio do wyznaczenia pasma przepustowego, stabilności układu oraz szumów na wejściu i wyjściu. Po spełnieniu wymagań projektowych parametry zastąpiłam wyznaczonymi wartościami. Kondensator CM oraz rezystor R\_STAB zamieniłam na komponenty technologiczne. Następnie stworzyłam layout. Wygenerowałam elementy ze schematu, usunęłam tranzystory z przekładki prądowej oraz pary różnicowej. Tranzystory z pary różnicowej dodałam jako instancję ze zmienioną liczbą fingerów (w tym przypadku 16, zmiany zostały zaimportowane na schemat). Po stronie krótszych boków pary różnicowej dodałam tranzystory dummy, aby zapewnić takie samo otoczenie. Tranzystory z przekładki prądowej zostały utworzone jako mozaika oraz ułożone symetrycznie względem środka. Kolejnym krokiem było połączenie komponentów za pomocą ścieżek, a następnie sprawdzenie reguł DRC oraz LVS. Wygenerowałam widok av\_extracted z pasożytniczymi rezystancjami oraz kondensatorami. Stworzyłam plik config, a następnie dla niego przeprowadziłam analizy określone dla schematu.

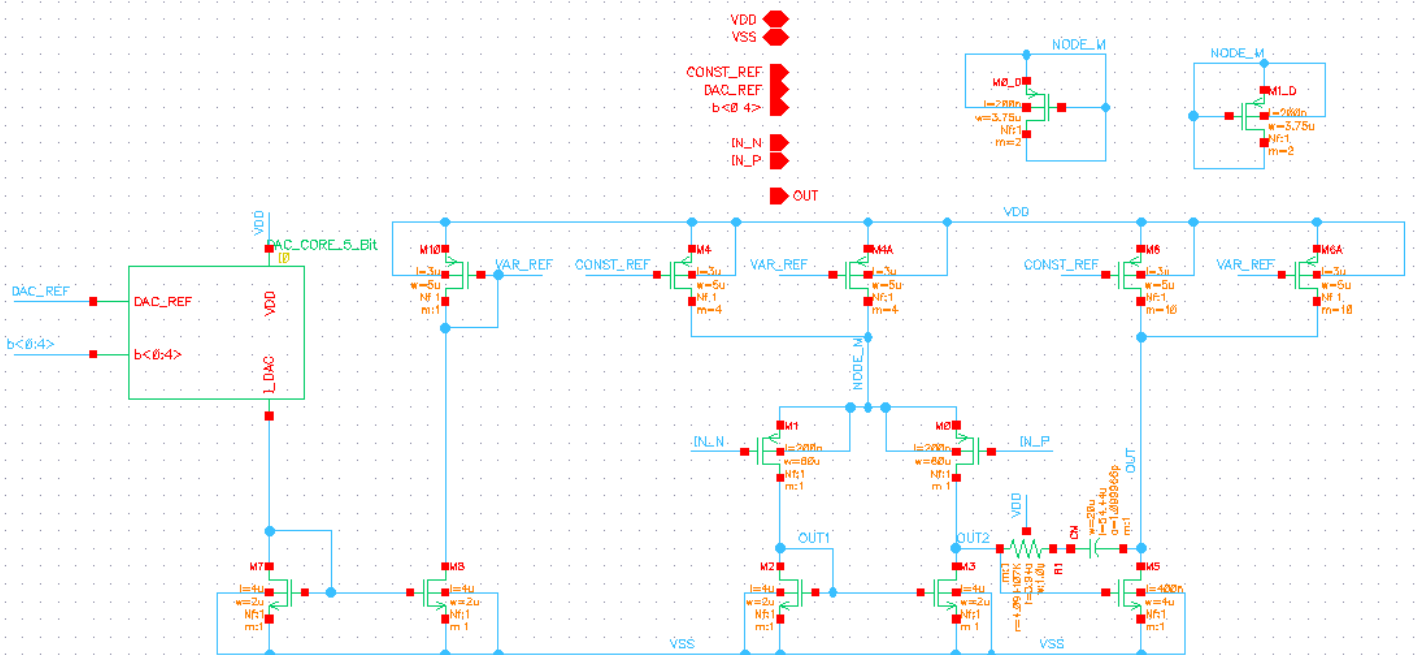


Figure 1. Schemat wzmacniacza oraz referencji wraz z parametrami.

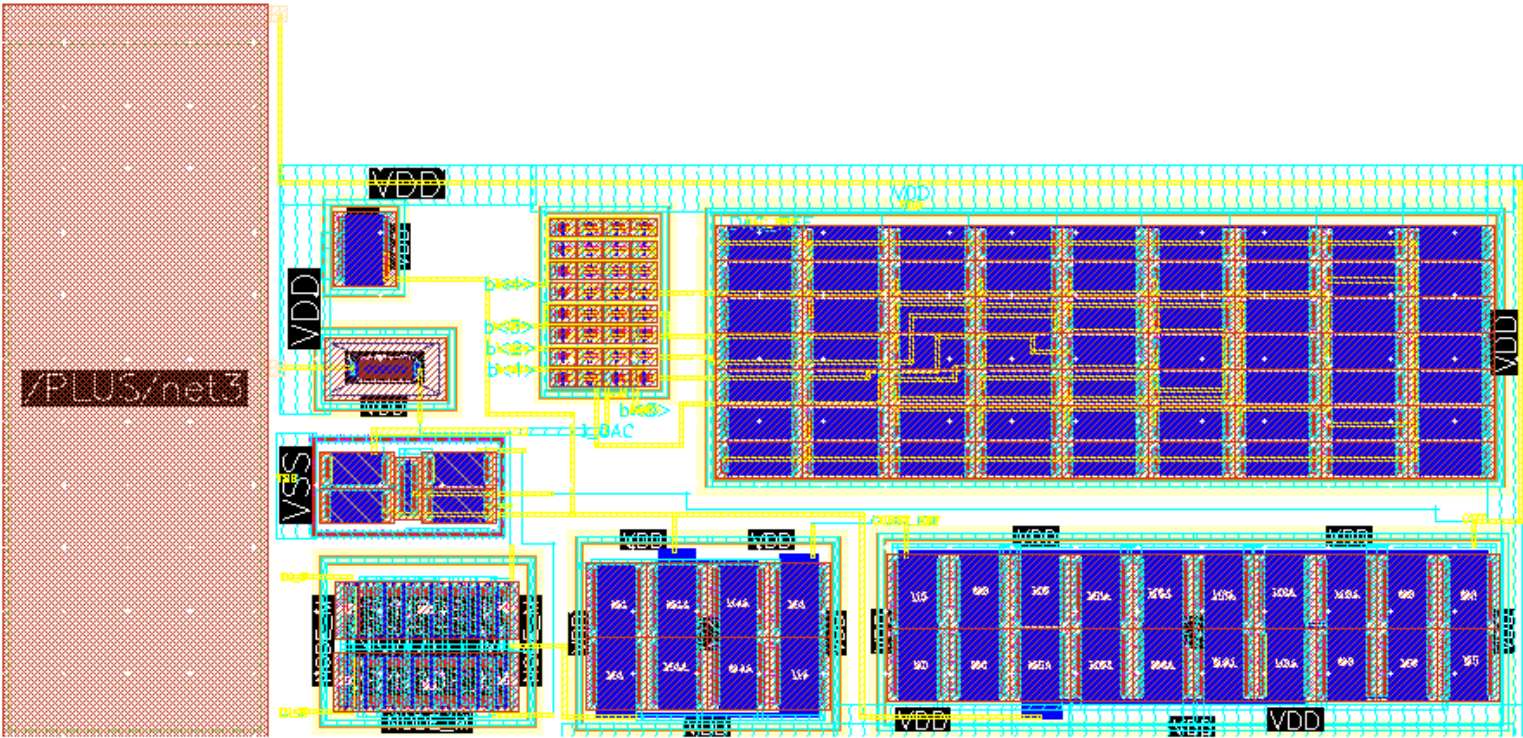


Figure 2. Layout całego układu.

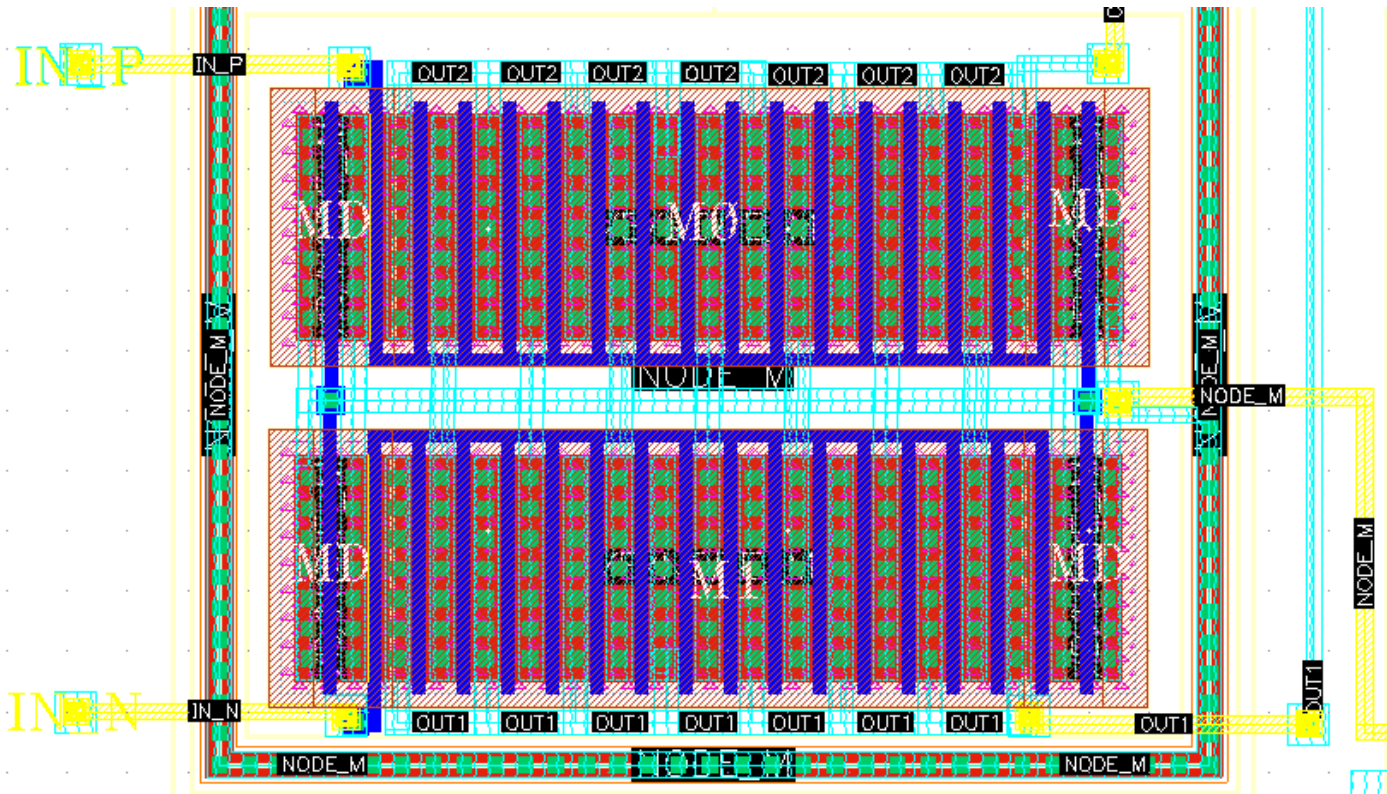


Figure 3. Layout pary różnicowej z etykietami oraz tranzystorami dummy.



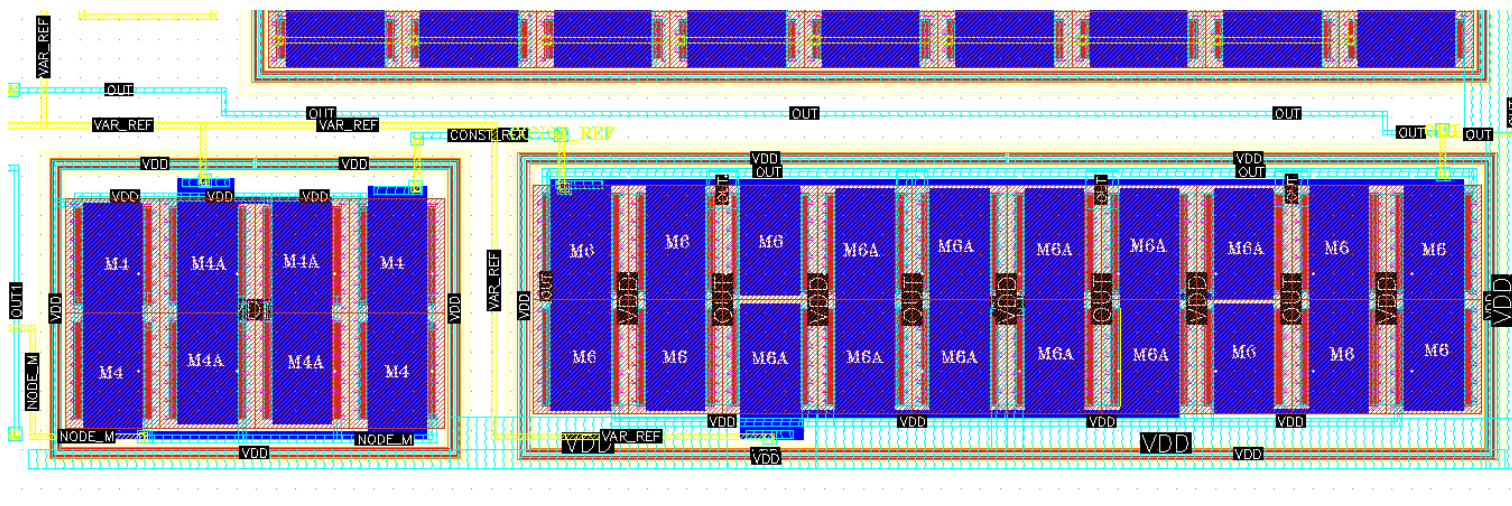


Figure 4. Layout mozaiki tranzystorów z przekładki prądowej.

Użyte rozwiązania layoutowe:

- symetria tranzystorów w mozaikach względem środka (common centroid) – została zastosowana przez wzgląd na wydzielane przez układ ciepło; w ten sposób tranzystory danego typu mają podobne otoczenie,
- tranzystory dummy w parze różnicowej – zastosowane z powodu zachowania takiego samego otoczenia,
- poprowadzenie grubszych ścieżek zasilania – miało na celu poprawienie pasma, jest związane ze zmniejszeniem rezystancji ścieżki poprzez większą powierzchnię metalu.

Eliminacja wszystkich błędów DRC oraz LVS: TAK.

Poniższe charakterystyki przedstawiają wyniki dla bitów 0, 10, 20 oraz 31. W każdym przypadku legenda odpowiada tej kolejności.

Charakterystyki dotyczące wymagań projektowych:

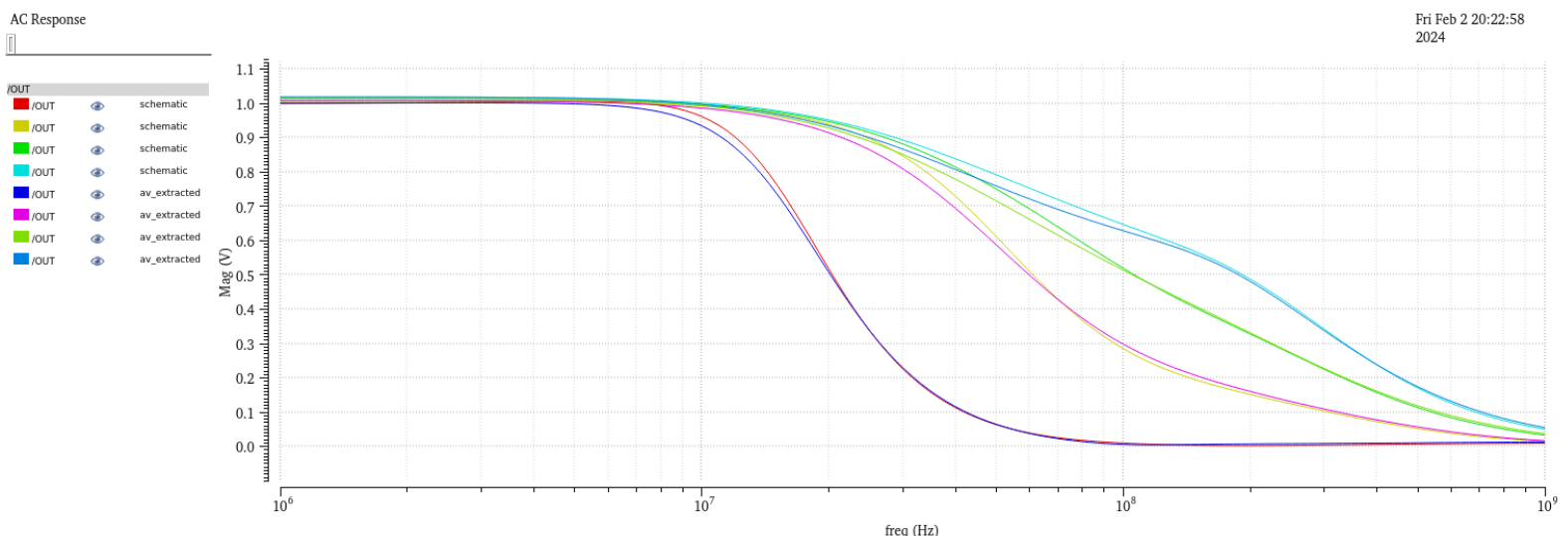


Figure 5. Charakterystyka zmiennoprądowa - pasmo przepustowe.

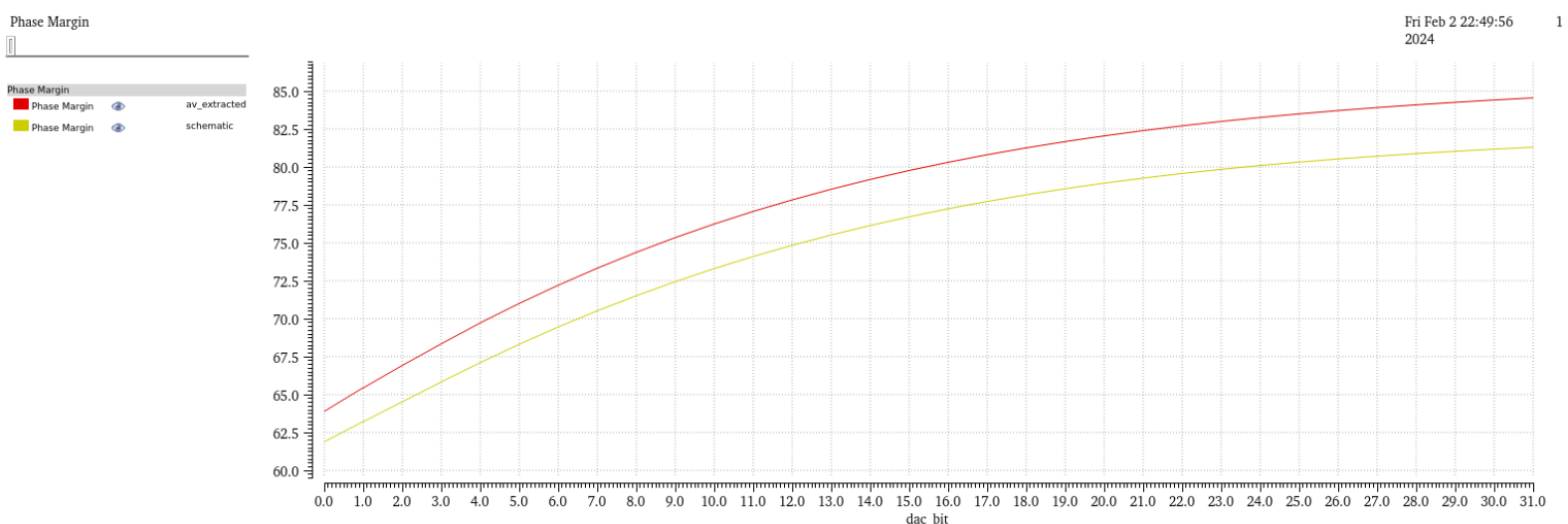


Figure 6. Margines fazy dla schematu przed i po ekstrakcji.

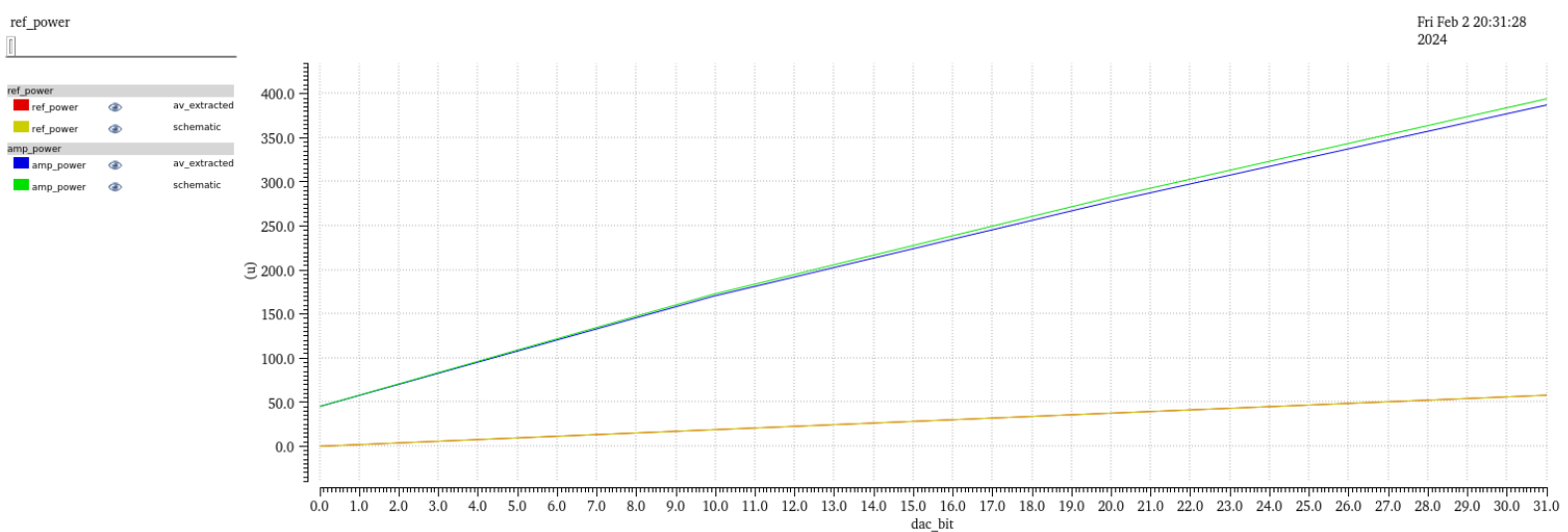


Figure 7. Porównanie mocy wzmacniacza oraz referencji.

Fig. 5 przedstawia charakterystykę zmiennoprądową. Dla magnitudy wynoszącej około 707mV pasmo dla bitu równego 0 wynosi 16.13MHz przed ekstrakcją, a po 15.65MHz. Dla bitu równego 31 pasmo wynosi 69.77MHz przed ekstrakcją, a po 60.1MHz. Dzieje się tak ze względu na obecność pasywnych filtrów górno- oraz dolnoprzepustowych. Pasmo było dobierane poprzez zmiany prądu referencyjnego (1.8uA) oraz prądu wyjściowego przetwornika (0.52uA). Dodatkowo służyła temu zmiana przekładki prądowej (liczba tranzystorów M4 i M4A wynosi po 4, a tranzystorów M6 i M6A wynosi po 10).

Fig. 6 przedstawia zależność marginesu fazy od bitów przetwornika. Zarówno przed, jak i po ekstrakcji margines jest wyższy niż 60°. Po ekstrakcji margines jest większy przez pasywności pojemności, które poprawiają stabilność. Aby osiągnąć taki margines fazy należało zmienić pojemność kondensatora CM (1100fF).

Fig. 7 przedstawia porównanie mocy części wzmacniającej oraz referencyjnej. Najmniejsza występująca proporcja wynosi około 86% całej mocy, która jest przeznaczona na wzmacniacz. Zależność ta występuje dla 31 bitu. Moc również była kontrolowana przez prądy.

# Charakterystyki przejściowe (bity 0, 10, 20, 31):

DC Response

Fri Feb 2 22:55:08 2024 1

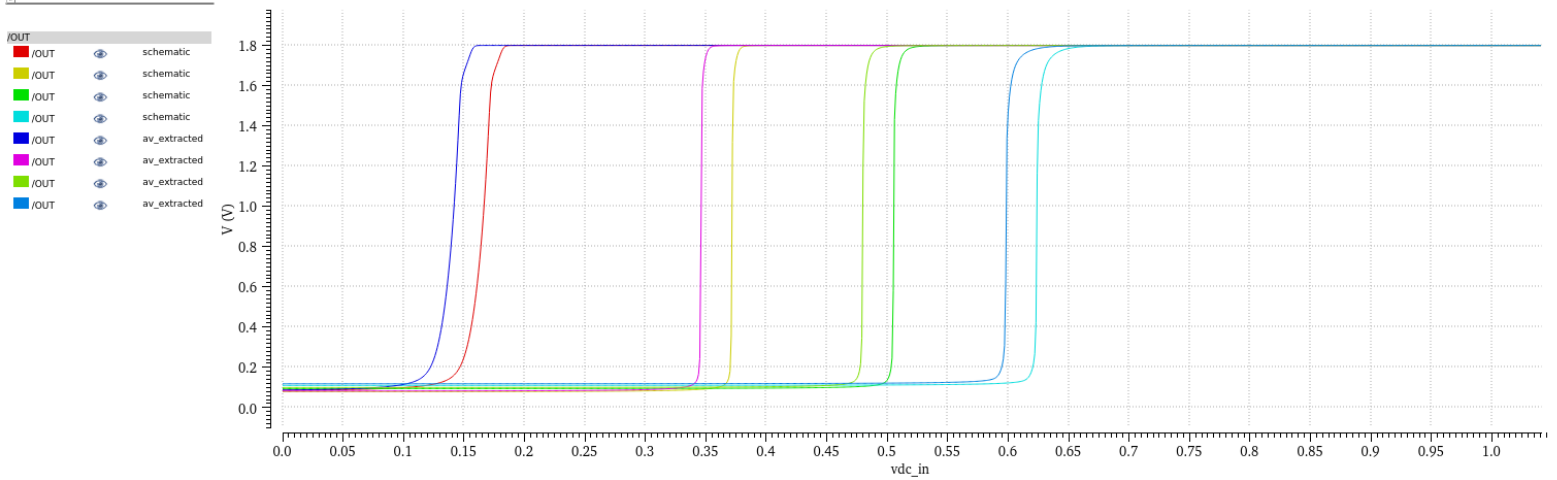


Figure 8. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego.

DC Response

Fri Feb 2 20:29:08 2024 1

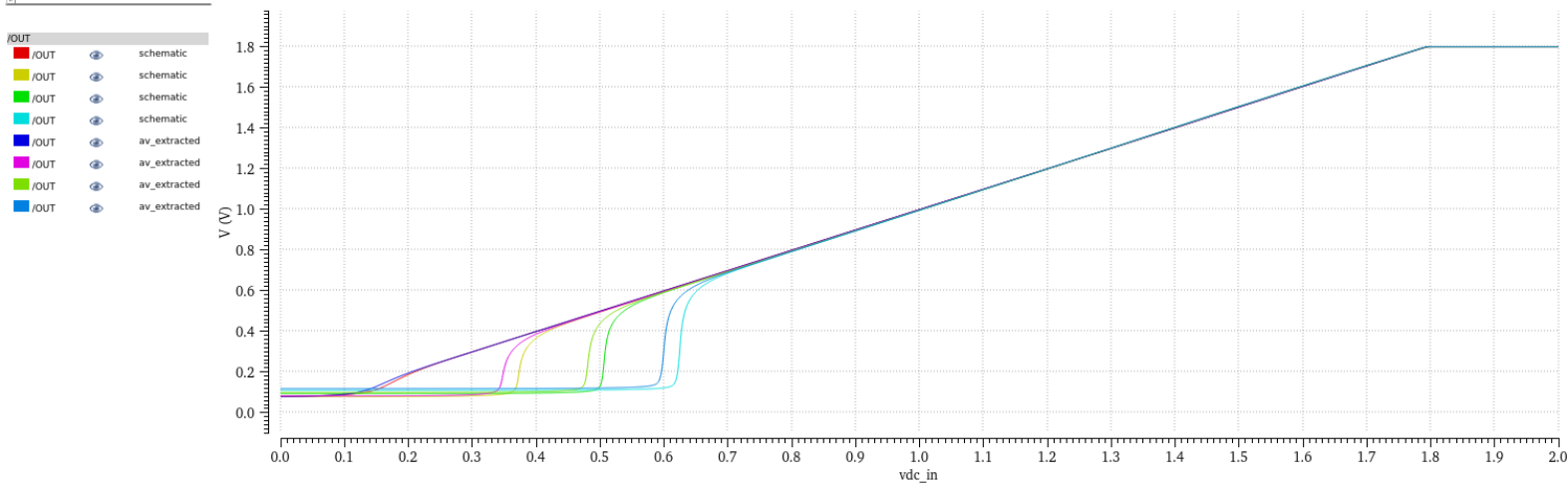


Figure 9. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.

## Symulacje transient:

Transient Response

Fri Feb 2 20:35:49 2024 1

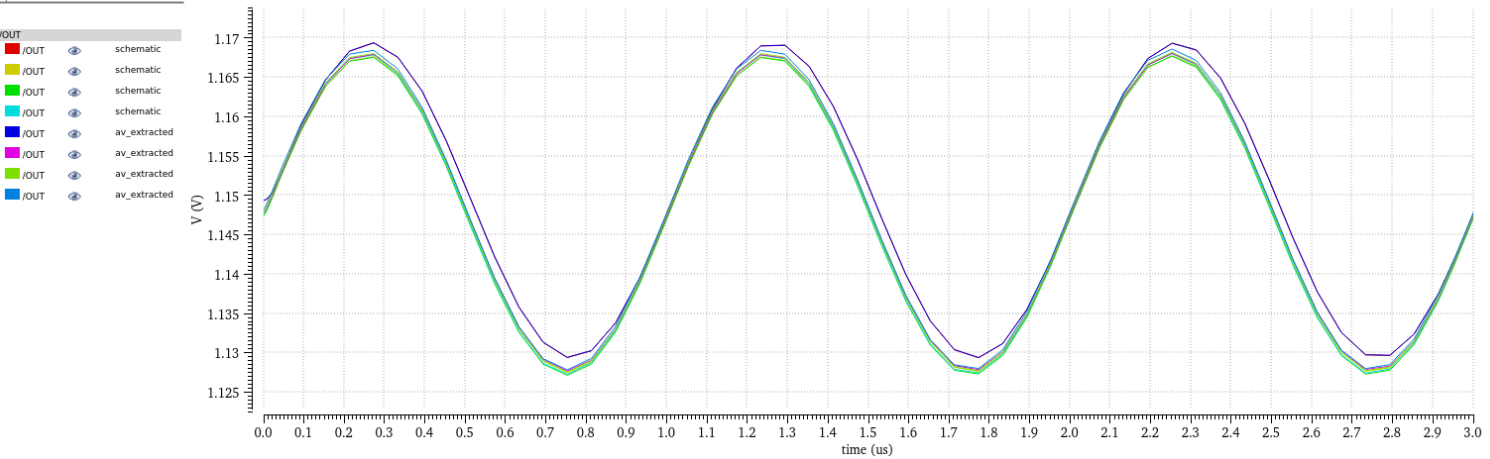


Figure 10. Amplituda 20mV, częstotliwość 1MHz.

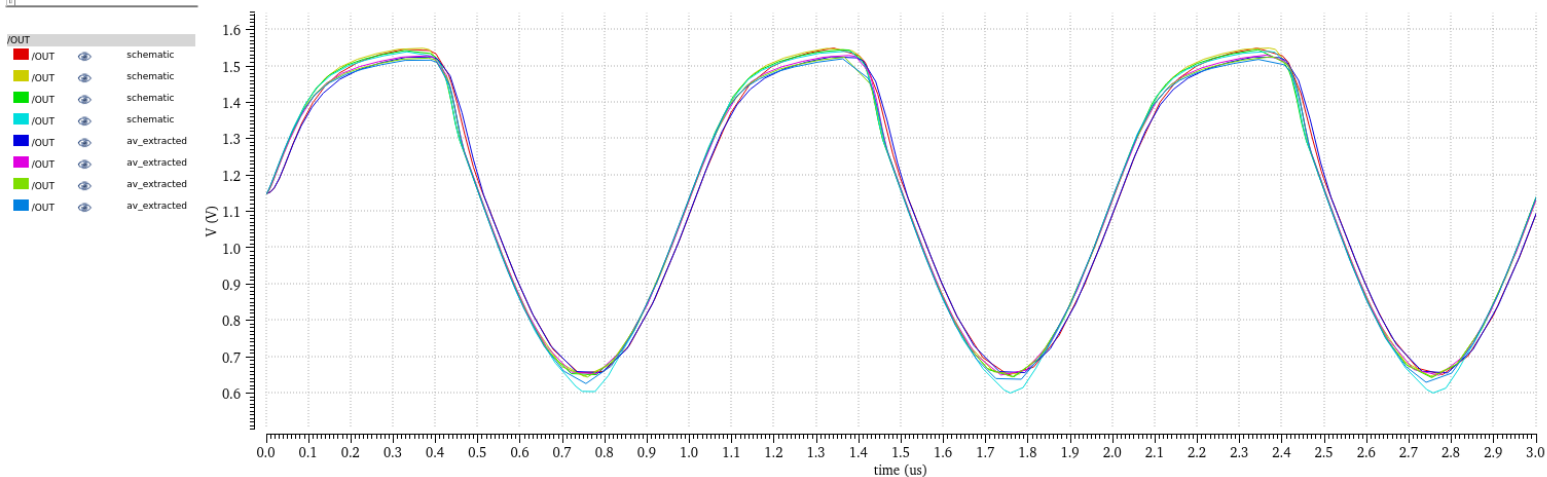


Figure 11. Amplituda 500mV, częstotliwość 1MHz.

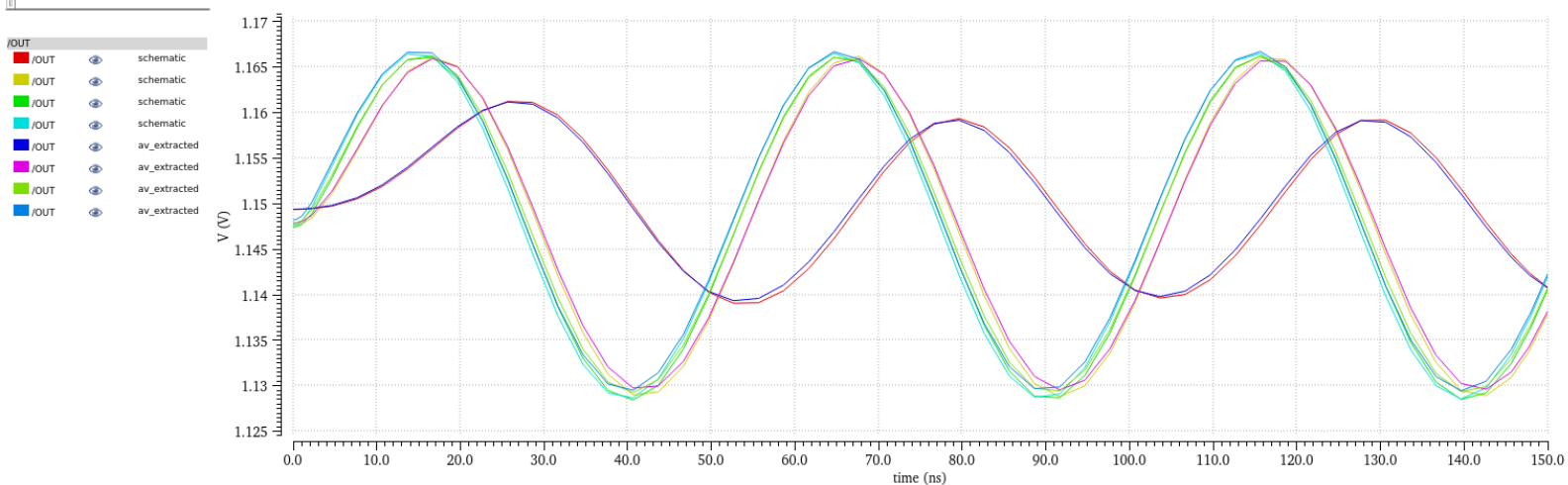


Figure 12. Amplituda 20mV, częstotliwość 20MHz.

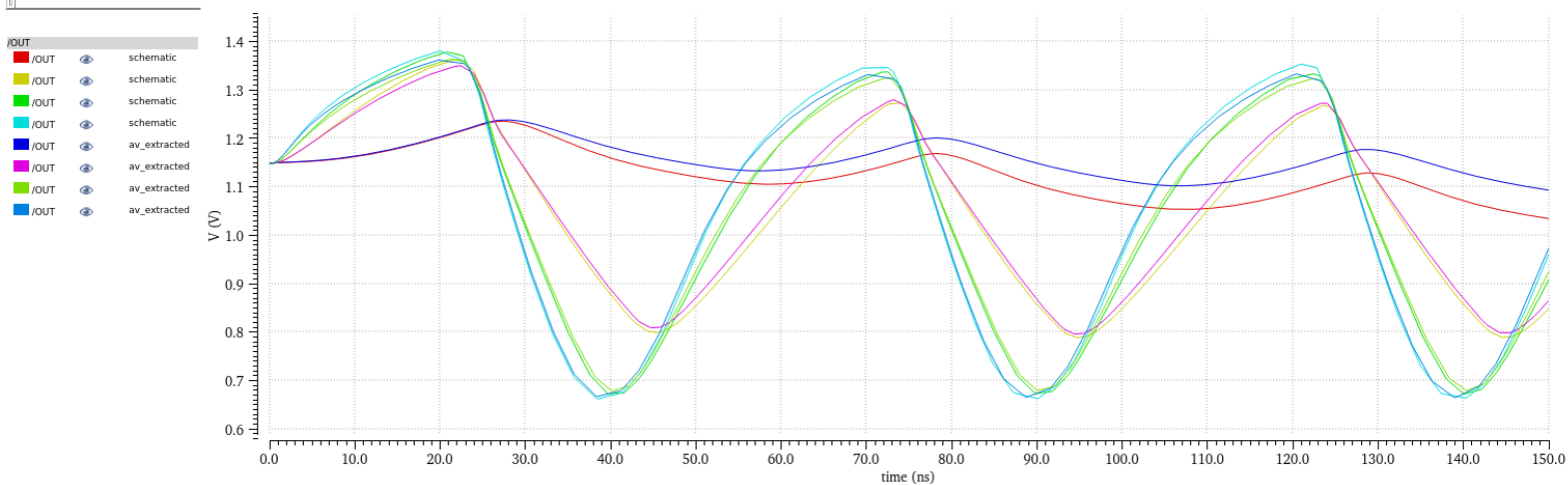


Figure 13. Amplituda 500mV, częstotliwość 20MHz.

Jak widać na fig. 10 przebieg przypomina przebieg sinusoidalny, nie występuje znaczne zniekształcenie oraz przesunięcie fazy. Jest tak, ponieważ częstotliwość sinusa występuje w paśmie przepustowym. Na fig. 11 obecne jest zjawisko zniekształcenia sygnału. Na fig. 12 oraz 13 mamy do czynienia z przesunięciem fazowym oraz zniekształceniem. Przesunięcie fazowe dla bitu równego 0 wynika z faktu, że częstotliwość równa 20MHz nie mieści się już w paśmie przepustowym.

Charakterystyki szumów:

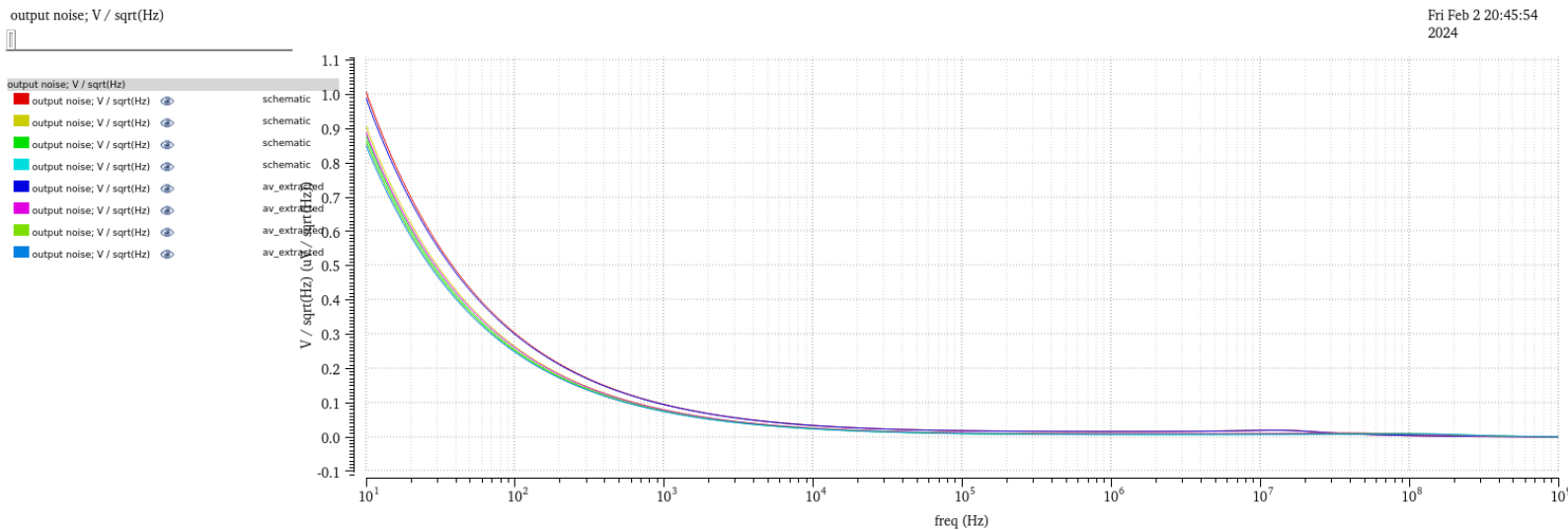


Figure 14. Charakterystyka szumów wyjściowych.

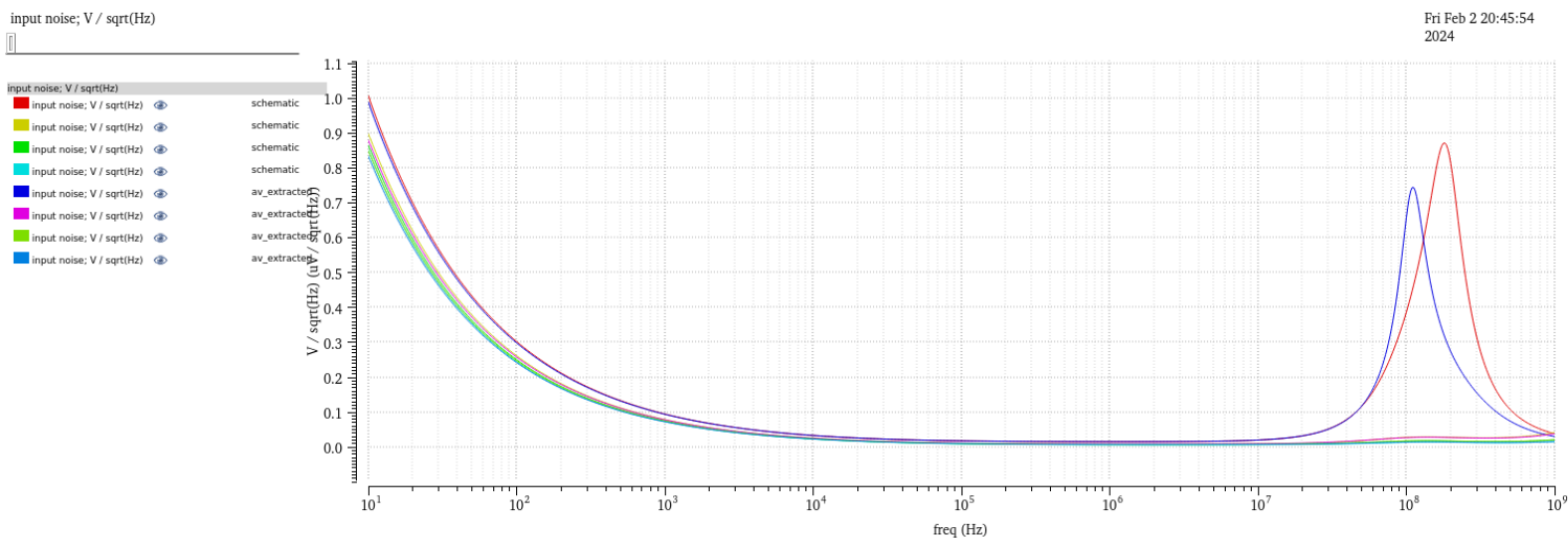


Figure 15. Charakterystyka szumów wejściowych.

Szumy na wyjściu są odcinane na wyższych częstotliwościach, aby pozbyć się wpływu szumów dla małej ilości bitów. Wynika to z faktu, że SNR dla bitu równego 0 osiąga maksymalną wartość, ponieważ przez przetwornik nie płynie prąd. Jest to zilustrowane na fig. 15, gdzie widać obecność peaku.

Podsumowując, udało się spełnić wymagania projektowe. W przyszłości należy bardziej zwrócić uwagę na symetrię ścieżek oraz ich grubość np. dla zasilania lub dla ścieżek, przez który ma płynąć większy prąd. Wygenerowanie pasożytniczych pojemności oraz rezystancji

najbardziej wpłynęło na pasmo dla bitu 31, ponieważ jego wartość spadła o około 9MHz. Należałoby również zwrócić uwagę na wymiary kondensatora, który w danym układzie jest odpowiedzialny za stabilność (w layoucie mógłby być bardziej „kwadratowy” przez co układ miałby kształt zbliżony do prostokąta).