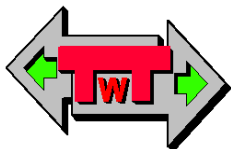
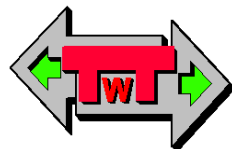


**ZESPÓŁ LABORATORIÓW TELEMATYKI TRANSPORTU  
ZAKŁAD TELEKOMUNIKACJI W TRANSPORCIE**



**WYDZIAŁ TRANSPORTU  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**



---

**LABORATORIUM  
SYSTEMÓW TELETRANSMISYJNYCH II**

---

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 1

**Modulacje analogowe AM/FM**

© TwT WT PW, DO UŻYTKU WEWNĘTRZNEGO

Warszawa 2016

## 1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest prezentacja procesu modulacji amplitudowej AM oraz częstotliwościowej FM ze szczególnym uwzględnieniem przebiegu kształtowania sygnału zmodulowanego (widma) oraz wpływ, jaki wywierają na niego zmiany sygnału modulującego i sygnału nośnej.

Zakres ćwiczenia obejmuje identyfikację, obserwację, pomiar oraz rejestrację podstawowych dla procesu modulacji amplitudowej AM wielkości i przebiegów, a w szczególności:

- sygnał modulujący i sygnał nośny (kształt, parametry, widmo),
- sygnał zmodulowanego (kształt, budowa, parametry),
- współczynnik głębokości modulacji (definicja, pomiar-obliczenie),
- widmo sygnału zmodulowanego (identyfikacja składowych, rozkład mocy, wpływ zmian częstotliwości sygnału modulującego i nośnej),
- detekcja sygnału (kształt, jakość, przyczyny zniekształcenia).

dla procesu modulacji częstotliwości FM wielkości i przebiegów, a w szczególności:

- sygnał modulujący i sygnał nośny (kształt, parametry, widmo),
- sygnał zmodulowanego (kształt, budowa, parametry),
- dewiacja częstotliwości (definicja, pomiar-obliczenie),
- wskaźnik modulacji (obliczenie, wpływ na wielkość pasma),
- widmo sygnału zmodulowanego (identyfikacja składowych, rozkład mocy, wpływ zmian częstotliwości sygnału modulującego i nośnej),
- detekcja sygnału (kształt, jakość, przyczyny zniekształcenia).

## 2. Wykaz wykorzystanych przyrządów

- multimetr elektroniczny (rys. 2.1),
- generator funkcyjny DF1641A z funkcją pomiaru częstotliwości (rys. 2.2),
- komputerowa przystawka oscyloskopowa PCSU1000 (rys. 2.3),
- komputerowa przystawka generatora, 2 szt., PCSG1000 (rys. 2.4),
- komputer PC z systemem Windows 98/NT/2000/XP,
- moduł zasilacza i podwójnego generatora KL-92001 (rys. 2.5),
- moduł modulatora i demodulatora AM KL-93002 (rys. 2.6),
- moduł modulatora i demodulatora FM KL-93004 (rys. 2.7).



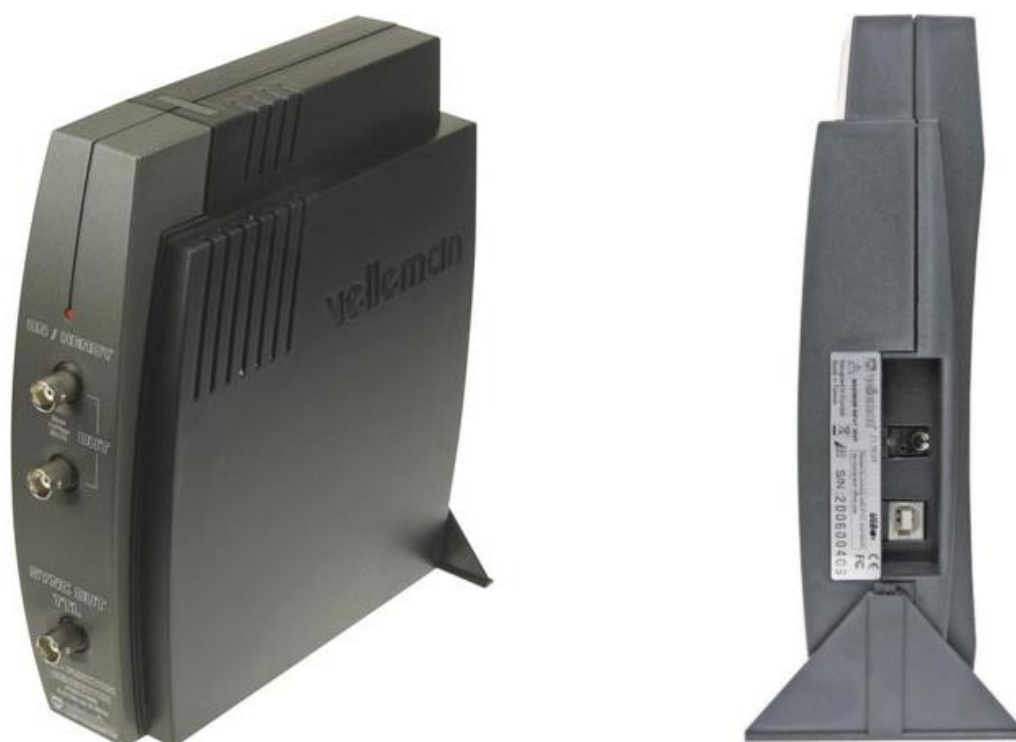
Rys. 2.1 Multimetr elektroniczny



Rys. 2.2 Generator funkcyjny DF1641A z funkcją pomiaru częstotliwości



Rys. 2.3 Komputerowa przystawka oscyloskopowa PCSU1000

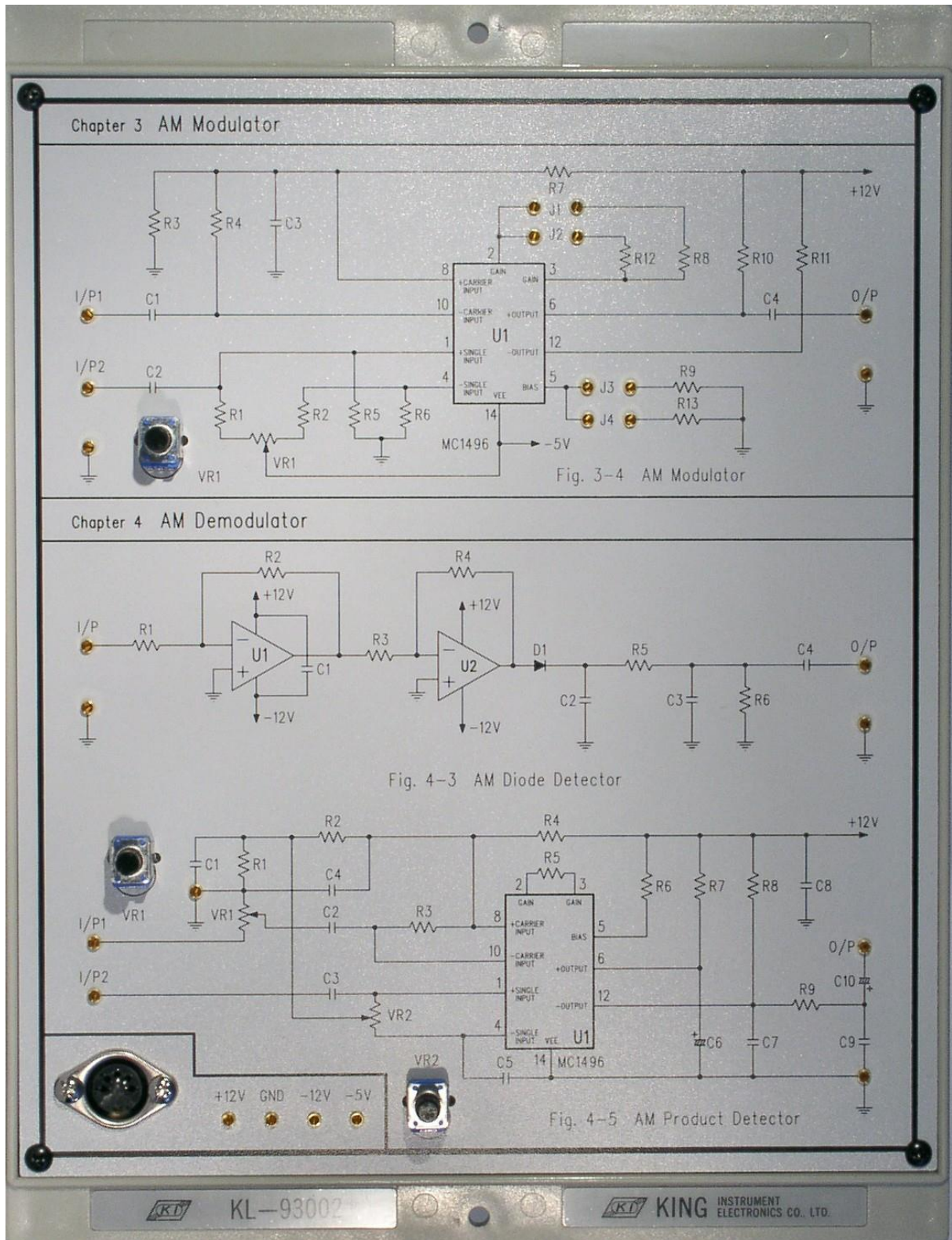


Rys. 2.4 Komputerowa przystawka generatora, PCSG1000



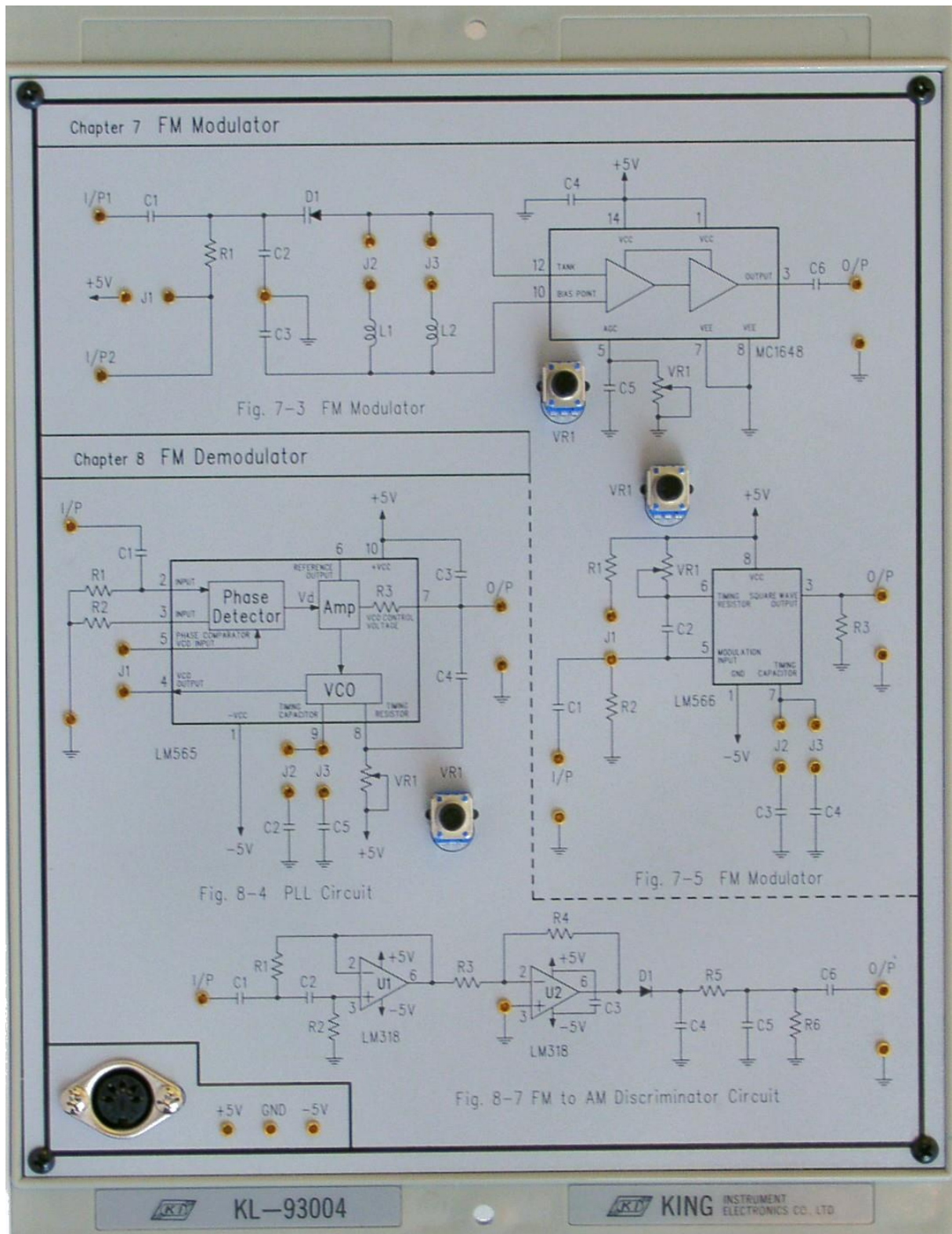


Rys. 2.5 Modul zasilacza i podwójnego generatora KL-92001



Rys. 2.6 Modul modulatora i demodulatora AM KL-93002

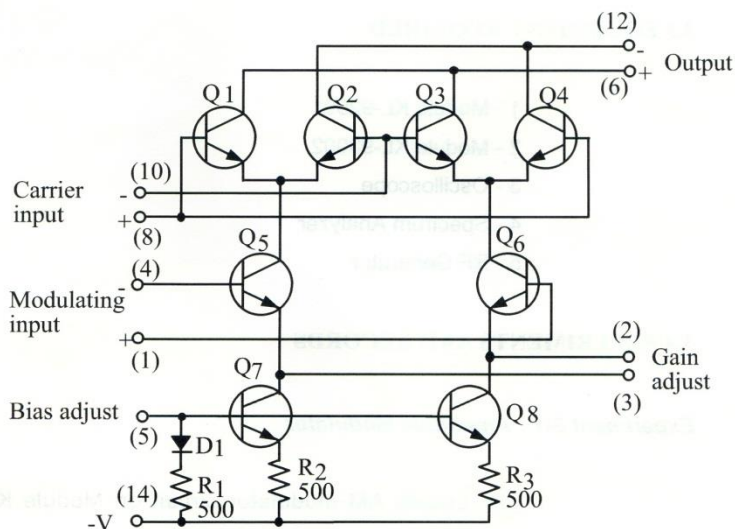




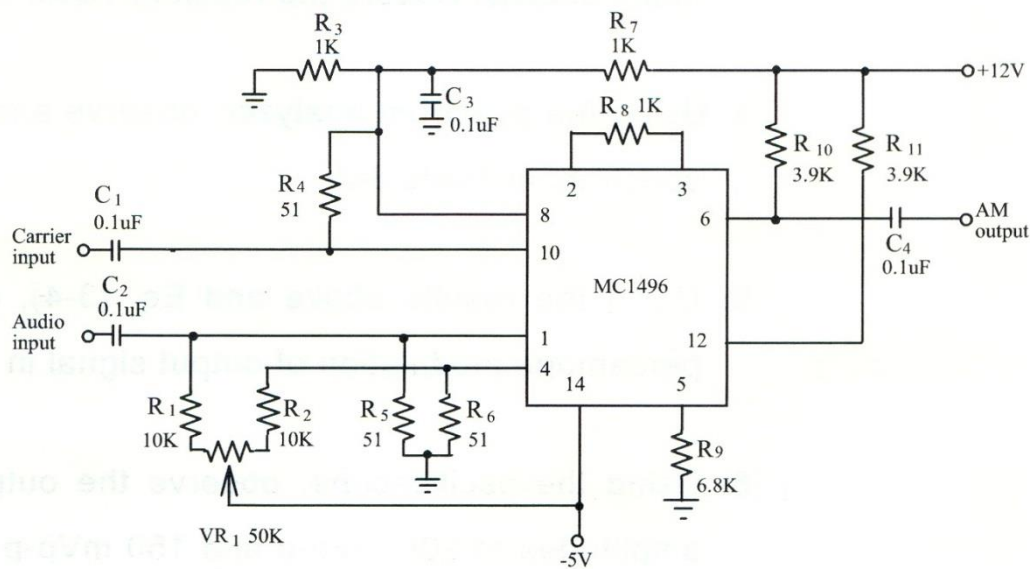
Rys. 2.7 Modul modulatora i demodulatora FM KL-93004

### 3. Schemat blokowy i funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego

Został przedstawiony na rys. 3.1. Wykorzystane w nim skróty i oznaczenia zostały wyjaśnione w p. 4 instrukcji.

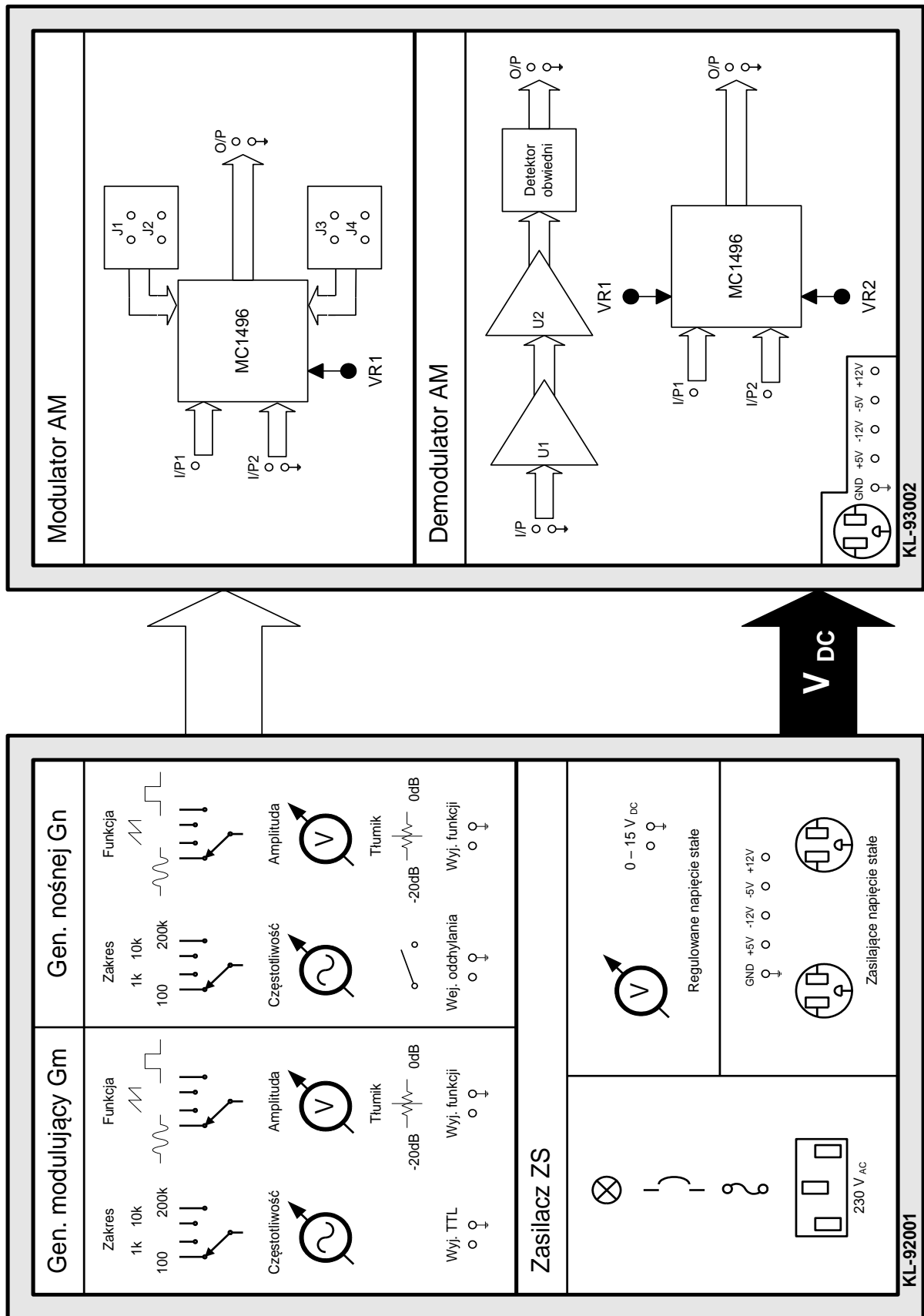


Rys. 3.1 Schemat układu MC1496

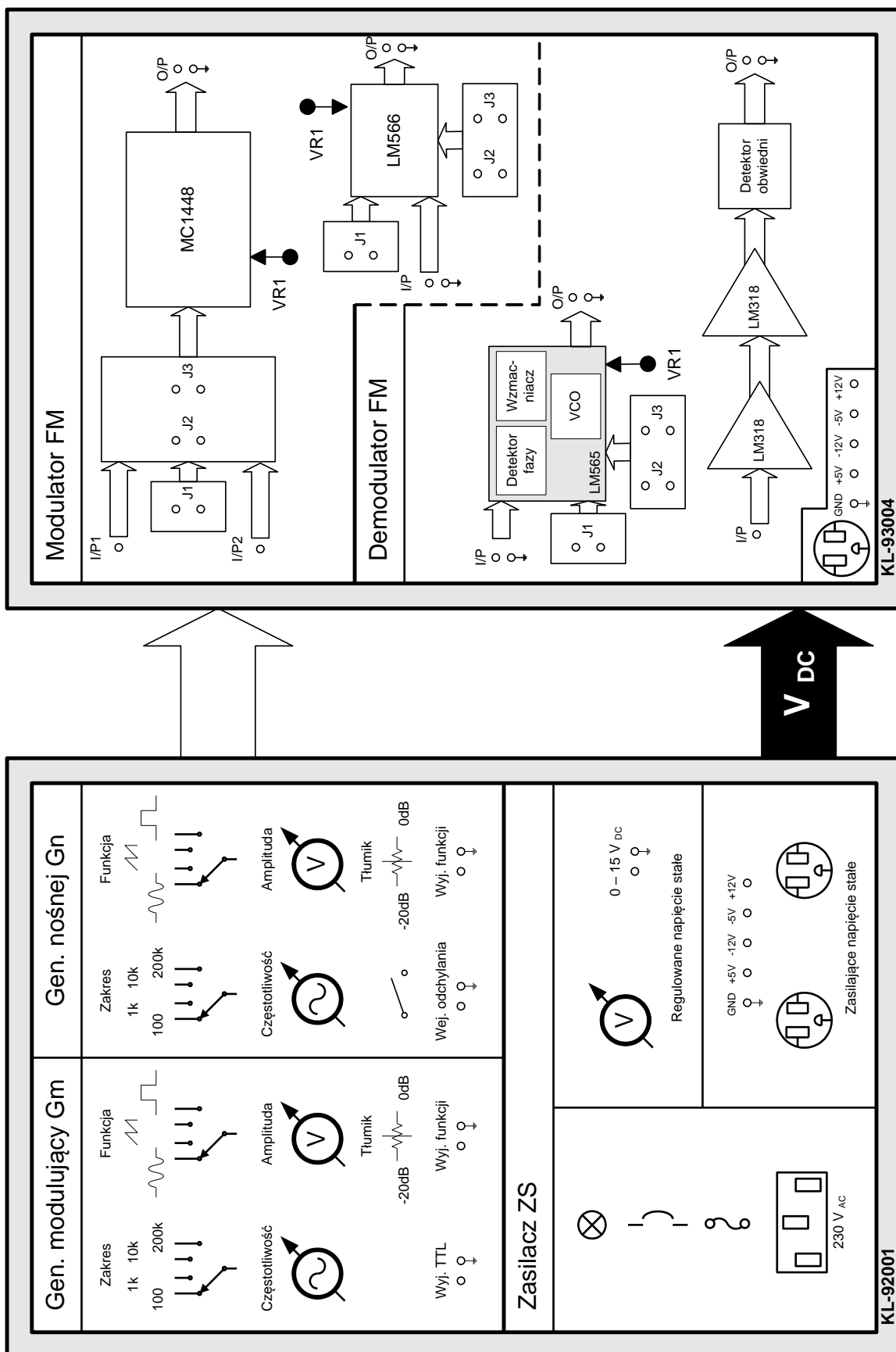


Rys. 3.2 Schemat ideowy modulatora AM na układzie MC1496

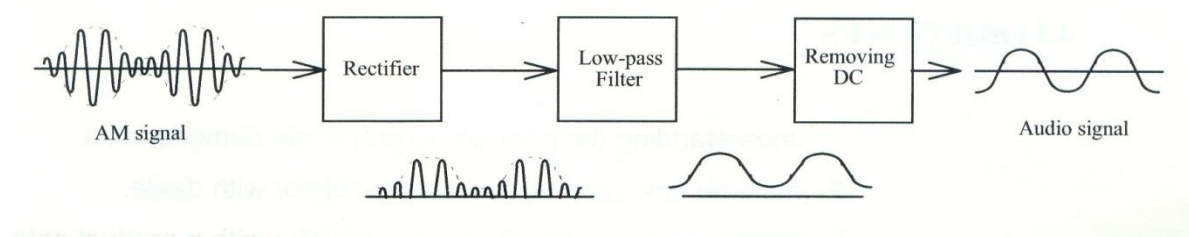




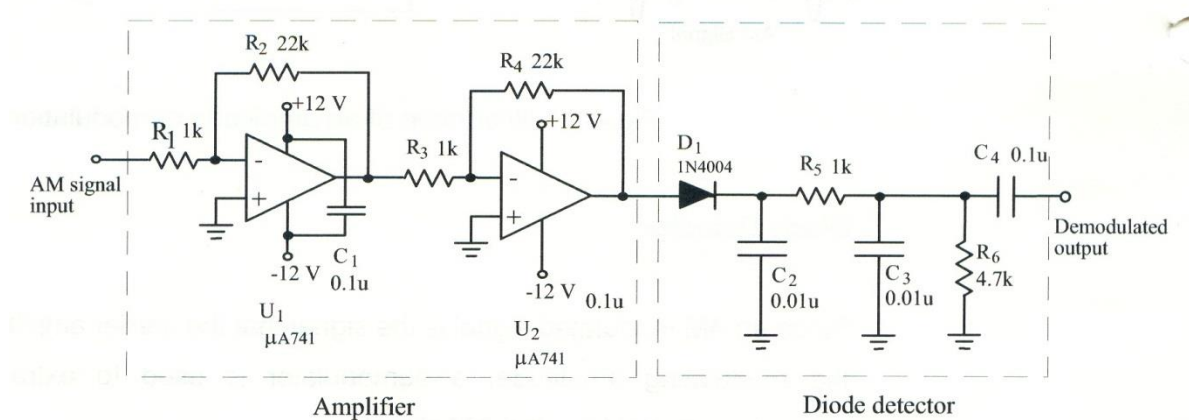
Rys. 3.3 Schemat blokowy i funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego AM



Rys. 3.5 Schemat blokowy i funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego FM



Rys. 3.6 Schemat blokowy demodulatora AM



Rys. 3.7 Schemat ideowy demodulatora AM – detektora obwiedni

#### 4. Wykaz użytych skrótów i oznaczeń



Dla zwiększenia przejrzystości instrukcji wprowadzono poniższe skróty, które zostały wykorzystane w tekście oraz schematach blokowych. Dotyczą one wykorzystywanych przyrządów oraz ustawień dokonywanych w sprzęcie pomiarowym i modułach laboratoryjnych. Dla ich lepszego wyróżnienia skróty w tekście pisane są czcionką pogrubioną.

- ZS** - zasilacz,
- G** - generator,
- Gm** - generator częstotliwości modulującej,
- Gn** - generator częstotliwości nośnej,
- OSC** - oscyloskop,



- PO** - komputerowa przystawka oscyloskopowa,
- MCZ** - miernik częstotliwości,
- We** - wejście (+ ewentualnie numer lub oznaczenie wejścia),
- Wy** - wyjście (+ ewentualnie numer lub oznaczenie wyjścia),
- CH** - kanał (+ ewentualnie numer lub oznaczenie kanału – **OSC** lub **PO**),
- DSO** - podgląd oscyloskopu  $Y(t)$  (zwykle dotyczy **PO**),
- FFT** - podgląd analizatora widma  $Y(f)$  (zwykle dotyczy **PO**),
- V/D** - volt na działkę (zwykle dotyczy **OSC** lub **PO**),
- T/D** - czasu na działkę (zwykle dotyczy **OSC** lub **PO**),
- TRG** - wyzwalanie (zwykle dotyczy **OSC** lub **PO**),
- ON** - włączone (zwykle dotyczy **TRG** lub **CH** dla **OSC** lub **PO**),
- OFF** - wyłączony (zwykle dotyczy **TRG** lub **CH** dla **OSC** lub **PO**),
- FR** - zakres pasma (zwykle dotyczy **PO** w trybie **FFT**),
- xN** - powiększenie  $N$  razy (1, 2, 4 lub 8 razy, zwykle dotyczy **PO** w trybie **FFT**)

oraz dodatkowo:

- $f_m$  - częstotliwość sygnału modulującego [Hz],
- $f_n$  - częstotliwość sygnału nośnej [Hz],
- $m$  - współczynnik głębokości modulacji [%],
- $V_{pp}$  - napięcie międzyszczytowe [V],
-  - zapisz przebieg na dysku,
-  - pytanie, na które odpowiedź musi znaleźć się w sprawozdaniu,

## 5. Uwagi praktyczne

Większość obserwacji i pomiarów dokonywana jest przy wykorzystaniu komputerowej przystawki oscyloskopowej **PO**. Należy jednak pamiętać, że oglądane przebiegi powstają w wyniku procesu próbkowania, przez co obarczone są pewnym błędem. Błąd ten jest zależny od rodzaju (np. okresowy lub nie) i częstotliwości przebiegu. Z tego powodu dla pomiarów współczynnika głębokości modulacji  $m$  najlepiej jest wykorzystywać klasyczny oscyloskop analogowy.

Przy przełączaniu przystawki oscyloskopowej w tryb **FFT** zwykle należy wyłączyć wyzwalanie **OFF**. Włączenie wyzwalania **ON**, wymagane na ogół w trybie **DSO**, zwykle

wymaga korekty poziomu wyzwalania. Jej zaniechanie skutkuje brakiem odświeżania wykresu przebiegu i prowadzi do błędnych odczytów.

Jeśli nie zaznaczono inaczej, podczas oglądania widma sygnału w trybie **FFT**, zawsze najpierw ustawiaj podstawową częstotliwość sygnału na środku ekranu. Upewnij się, że oglądasz właściwy fragment widma wykorzystując marker częstotliwości i dopiero przystępuj do pomiarów.

Oprogramowanie **PO** pozwala na zapisywanie oglądanych przebiegów, zarówno w trybie **DSO** jak i **FFT**. Nazwy plików nie mogą mieć jednak więcej niż 8 znaków, dlatego należy zaplanować wcześniej system nazewnictwa plików, np. pierwszy znak to punkt instrukcji, drugi to seria, a reszta to opis.

Miernik częstotliwości **MCZ** i oscyloskop **OSC** najwygodniej jest podłączyć do wspólnych końcówek pomiarowych. W chwilach, kiedy nie są one bezpośrednio wykorzystywane do pomiarów, najlepiej jest je rozdzielić i podłączyć miernik częstotliwości **MCZ** do wyjścia generatora częstotliwości nośnej **Gn**, a oscyloskop **OSC** do wyjścia **O/P** modulatora AM. W ten sposób można na bieżąco kontrolować wartość częstotliwości nośnej  $f_n$  i współczynnika głębokości modulacji  $m$ .

Podczas przestrajania generatora (zmiany częstotliwości) zmianie ulega także poziom sygnału wyjściowego – zawsze najpierw należy ustawić częstotliwość, a dopiero później amplitudę.

Dla szybszej identyfikacji końcówek kabli pomiarowych wprowadzono rozróżnienie kabli kolorami. Podłącz do **PO** kabel żółty do kanału pierwszego **CH1**, a kabel zielony na do kanału drugiego **CH2**. Takie podłączenie odpowiada kolorom przebiegów na ekranie komputera.

Pod żadnym pozorem nie należy „upraszczać” ćwiczenia i próbować wykonywać pomiarów jednocześnie z kilku punktów instrukcji. Jest to najszybsza droga do pomyłki w identyfikacji przebiegów, co skutkuje odrzuceniem sprawozdania.




W nawiasach klamrowych {} podane są ustawienia podstawowych parametrów przyrządu pomiarowego – odnoszą się do przyrządu powołanego przed nawiasami.

## 6. Przebieg ćwiczenia

- 6.1 Zapoznaj się z budową stanowiska laboratoryjnego. Zidentyfikuj wszystkie przyrządy i moduły pomiarowe. Określ poszczególne bloki funkcjonalne modułów pomiarowych.
- 6.2 Zauważ, że masz do dyspozycji dwa komputery – jeden do obsługi przystawki oscyloskopowej **PO** i pierwszej przestawki generatora **PG1**, a drugi tylko dla drugiej przystawki generatora **PG2**.
- 6.3 W układzie modulatora AM, bloku KL-93002 ustaw zwory J1 i J3.
- 6.4 Podłącz do przystawki oscyloskopowej **PO** kabel żółty do kanału pierwszego **CH1**, a kabel zielony do kanału drugiego **CH2**. Takie połączenie odpowiada kolorom przebiegów na ekranie komputera.
- 6.5 Do górnego wyjścia generatora **PG1** podłącza kabel czerwony, a do górnego wyjścia drugiego generatora **PG2** kabel niebieski.
- 6.6 Do wejścia COUNTER miernika częstotliwości **MCZ** podłącz kabel i połącz go z dolnym wyjściem pierwszego generatora **PG1**. Przełącz na funkcję pomiaru częstotliwości EXT. Drugi miernik częstotliwości **MCZ** ustaw analogicznie i połącz z dolnym wyjściem drugiego generatora **PG2**.

## Modulacja AM




### Sygnal modulujący AM

- 6.7 Na generatorze **PG1** ustaw sinusoidalny sygnał modulujący  $y_m$  o częstotliwości  $f_m = 2$  kHz i amplitudzie  $A_m = 200$  mV<sub>pp</sub>. i podłącz go do wejścia **I/P2** modułu modulatora AM bloku KL-93002 {tryb **DSO**; **T/D** = 50us; **V/D** = 50 mV/dz; wyzwalenie **ON CH1**}. Ustaw poziom wyzwiania, by zapewnić odświeżanie przebiegu.
- 6.8 Zapoznaj się z kształtem przebiegu sygnału modulującego  $y_m$ .  Przełącz przystawkę oscyloskopową **PO** w tryb **FFT**. Włącz markery częstotliwości i napięcia. {**FR** = 6 kHz; **x1**} Wykorzystując marker częstotliwości upewnij się, że  $f_m = 2$  kHz. Popatrz na widmo sygnału modulującego. Jaka jest jego charakterystyka widmowa? Czy może ona mieć wpływ na proces modulacji?  Zmierz częstotliwości najbliższych harmonicznnych, jeśli występują, i zapisz te wartości. 








### Sygnal nośny AM

- 6.9 Na generatorze **PG2** ustaw sinusoidalny sygnał nośny  $Y_n$  o częstotliwości  $f_n = 200$  kHz. Następnie ustaw jego poziom na  $A_n = 500$  mV<sub>pp</sub>, i podłącz go do wejścia **I/P1** modułu modulatora AM bloku KL-93002, ustawienia analogicznie jak poprzednio.



- 6.10 Regulując potencjometrem **VR1** doprowadź do sytuacji, w której poziom sygnału nośnej w sygnale zmodulowanym jest maksymalny.
- 6.11 Przełącz na tryb **DSO**, wyłącz pierwszy kanał **CH1**, włącz kanał drugi **CH2** i na nim wyzwalanie **ON CH2** {**DSO**; **T/D** = 50us; **CH2 V/D** = 0,1 V/dz; **ON CH2**}. Ustaw poziom wyzwalania, by zapewnić odświeżanie przebiegu. Zapoznaj się z kształtem przebiegu sygnału nośnego  $Y_n$ . 
- 6.12 Wyłącz wyzwalanie **OFF**. Przełącz **PO** w tryb **FFT** i wybierz kanał drugi **CH2**. Włącz markery częstotliwości i napięcia. {**FR** = 300 kHz; **x1**} Wykorzystując marker częstotliwości upewnij się, że  $f_n = 200$  kHz. Popatrz na widmo sygnału nośnego. Jaka jest jego charakterystyka widmowa? Czy może ona mieć wpływ na proces modulacji?  Zmierz częstotliwości najbliższych harmonicznnych, jeśli występują, i zapisz te wartości. 

### Przebieg zmodulowany AM

- 6.13 Przełącz przystawkę oscyloskopową **PO** w tryb **DSO**. Włącz kanał pierwszy **CH1** i na nim włącz wyzwalanie **ON CH1**. {**DSO**; **T/D** = 50us; **CH1 V/D** = 50 mV/dz; **CH2 V/D** = 0,1 V/dz; **ON CH1**} Wykorzystując w oprogramowaniu przystawki oscyloskopowej **PO** suwak położenia sygnału kanału drugiego **CH2** przesun w pionie przebieg zmodulowany i sprawdź, czy jego obwiednia pasuje do przebiegu modulującego.  O czym świadczy takie a nie inne dopasowanie sygnałów? 
- 6.14 Wykorzystując oscyloskop **OSC** upewnij się, że współczynnik głębokości modulacji  $m = 100\%$ . W razie potrzeby wyreguluj poziom sygnału modulującego. Wyłącz wyzwalanie **OFF** i przełącz na tryb **FFT**. Wybierz kanał drugi **CH2**. Ustaw zakres częstotliwości 300 kHz i powiększenie na **x8**. Ustaw największy prążek na środku ekranu i popatrz na widmo sygnału zmodulowanego. Włącz markery częstotliwości. Jaka jest jego charakterystyka widmowa?  Zmierz częstotliwości najbliższych harmonicznnych i zapisz te wartości.  Jaka jest zależność pomiędzy nimi a częstotliwością nośną i modulującą? Co się dzieje z widmem przebiegu i dlaczego? 
- 6.15 Zmień kolejno częstotliwość nośną  $f_n$  na 180, 190, 210 i 220 kHz (cztery przebiegi) i zapisz je na dysku.  Przywróć częstotliwość nośną  $f_n = 200$  kHz. Zmień częstotliwość modulująca na 300 Hz, 1 kHz, 3,4 kHz. Jak wpływa zmiana częstotliwości nośnej i modulującej na przebieg sygnału zmodulowanego? Jaka jest zależność zmian? Co się dzieje z widmem przebiegu i dlaczego? 

## Modulacja sygnału FM










### Zależność zmian częstotliwości w funkcji napięcia – układ VCO

- 6.16 Zlokalizuj w module KL-93004 układ modulatora FM, zbudowany na układzie MC1648. Usuń zworę J1. Podłącz zworę J2 – wykorzystaj ok. 10 cm odcinek kabla, a nie zworę z modułu. Wejście **I/P2** modulatora FM połącz z wyjściem regulowanego napięcia stałego zasilacza **ZS** (0V ~ 15V) modułu zasilacza i podwójnego generatora KL-92001. Do tego wyjścia podłącz także multimetr. Ustaw wartość napięcia stałego na  $3 V_{DC}$ .
- 6.17 Podłącz miernik częstotliwości **MCZ** do wyjścia **O/P** modulatora FM. W to samo miejsce podłącz kanał pierwszy **CH1** (kabel żółty) przystawki oscyloskopowej **PO** {tryb **DSO**; **T/D** = 50us; **V/D** = 0,1 V/dz; wyzwalenie **ON CH1**}. Ustaw poziom wyzwiania, by zapewnić odświeżanie przebiegu. Delikatnie i powoli wyreguluj ustawienie potencjometru VR1, w taki sposób, by uzyskać przebieg sinusoidalny o maksymalnej amplitudzie, przy której nie występują jeszcze zniekształcenia. Zapoznaj się z kształtem przebiegu. 🖨️ Jaka jest jego jakość? 🤔 Przełącz przystawkę oscyloskopową **PO** w tryb **FFT**. Włącz markery częstotliwości i napięcia. {**FR** = 6 MHz; **x2**} Wykorzystując marker częstotliwości upewnij się, że oglądasz właściwy fragment widma – marker ma wskazywać tą samą częstotliwość, co miernik częstotliwości **MCZ**. Popatrz na widmo sygnału. Jaka jest jego charakterystyka widmowa? 🤔 🖨️
- 6.18 Powtórz dla wartości napięcia stałego od 4 do 15  $V_{DC}$ , regulując skokowo o 1 V. **NIE ZMIENIAJ** ustawienia potencjometru VR1. Za każdym razem zapisuj mierzoną wartość częstotliwości. Na dysku **NIE ZAPISUJ** przebiegów dla wartości innych niż  $3 V_{DC}$  – nie ma takiej potrzeby. Narysuj w sprawozdaniu wykres zależności zmian częstotliwości wyjściowej modulatora FM w funkcji zmian napięcia wejściowego, wg danych, które zostały uzyskane w poprzednich punktach. Jakiego rodzaju jest (lub nie jest) to zależność? Jaki zakres zmian napięcia wejściowego może być wykorzystany w modulacji FM? 🤔

### Sygnał modulujący

- 6.19 Odłącz napięcie stałe z wejścia **I/P2** modulatora FM. Podłącz zworę J1, co sprawia, że na wejście **I/P2** podawane jest stałe napięcie  $5 V_{DC}$ . Na generatorze **PG1** ustaw sinusoidalny sygnał modulujący  $y_m$  o częstotliwości  $f_m = 5$  kHz. Następnie ustaw jego poziom na  $A_m = 2 V_{pp}$ . Podłącz ten sygnał modulujący  $y_m$  do wejścia **I/P1** modulatora. Podłącz do tego punktu kanał pierwszy **CH1** przystawki oscyloskopowej **PO**, kabel żółty.

### Przebieg zmodulowany FM

- 6.20 Podłącz do kanału drugiego **CH2** (kabel zielony) przystawki oscyloskopowej **PO** sygnał z wyjścia **O/P** modulatora FM {tryb **DSO**; **T/D** = 20 us; dla **CH1 V/D** = 1 V/dz; dla **CH2 V/D** = 0,1 V/dz; wyzwalenie **ON**}. Ustaw poziom wyzwiania, by zapewnić odświeżanie przebiegu. Delikatnie i powoli wyreguluj ustawienie potencjometru **VR1**, w taki sposób, by uzyskać przebieg sinusoidalny o maksymalnej amplitudzie, przy której nie występują jeszcze zniekształcenia. Zapoznaj się z kształtem przebiegu sygnału FM. 
- 6.21 Wykorzystaj markery i zmierz wartości częstotliwości dla maksimum i minimum przebiegu modulującego.  Jakie są te wartości częstotliwości? 
- 6.22 Przełącz przystawkę oscyloskopową **PO** w tryb **FFT**. Włącz markery częstotliwości i napięcia. {**FR** = 6 MHz; **x8**} Wykorzystując marker częstotliwości upewnij się, że oglądasz właściwy fragment widma. Popatrz na widmo sygnału zmodulowanego FM.  Jaka jest jego charakterystyka widmowa?  Usuń z wejścia **I/P1** modulatora FM sygnał modulujący  $y_m$  i podłącz go ponownie. Jak zmienia się widmo sygnału zmodulowanego FM?  Moduł nie ma możliwości zmiany częstotliwości, więc wykorzystaj zmianę indukcyjności zwoy J2. Chwyć dwoma palcami zwoję J2, uważając by nie zewrzeć zwoy J3. Ściskaj palcami zwoję J2, zbliżaj i oddalaj dłoni. Co i dlaczego dzieje się z widmem sygnału FM? 
- 6.23 Nie zmieniając trybu **FFT** zmieniaj częstotliwość sygnału modulującego kolejno od 1 do 10 kHz, co 1 kHz. Popatrz na widmo sygnału zmodulowanego FM. Jak wpływa zmiana częstotliwości modulującej na charakterystykę widmową sygnału zmodulowanego FM?  

## 7. Wykonanie sprawozdania

Nie należy umieszczać w sprawozdaniu podstaw teoretycznych, ani opisów stanowiska laboratoryjnego. Sprawozdanie musi zawierać wszystkie wyniki pomiarów i wszystkie zarejestrowane przebiegi, prezentowane wg kolejności ich wykonania. Każdy wynik i przebieg musi być opatrzony numerem punktu instrukcji wg, którego został zarejestrowany. Każdy przebieg musi być opatrzony opisem, wyjaśniającym, co przedstawia i gdzie (miejsce układu pomiarowego) został zarejestrowany. W sprawozdaniu muszą się znaleźć odpowiedzi na wszystkie postawione w instrukcji pytania, ponumerowane wg punktów, w których zostały postawione. Zarówno opisy, jak i odpowiedzi, mają być zwięzłe, ale przedstawione pełnymi zdaniami.



Wnioski powinny zawierać podsumowanie przeprowadzonych pomiarów. Szczególny nacisk należy położyć na zaprezentowanie różnic i podobieństw pomiędzy wynikami pomiarów i obserwacji w zależności od zmian częstotliwości i poziomów sygnałów nośnej i modulującej.

## 8. Literatura

- Janeczek A., *CB radio*, WKŁ 1997
- Dąbrowski A., Dymarski P., *Podstawy transmisji cyfrowej*, PW 2004
- Read R., *Telekomunikacja*, WKŁ 2000
- Wesołowski K., *Podstawy cyfrowych systemów telekomunikacyjnych*, WKŁ 2003