

Krzysztof Pacholski

**ELEKTRYCZNE
I ELEKTRONICZNE
WYPOSAŻENIE
POJAZDÓW
SAMOCHODOWYCH**

2

**Wyposażenie
elektroniczne**



Wydawnictwa Komunikacji i Łączności

Opiniodawca: *mgr inż. Andrzej Łaziński*
Projekt okładki: *Janusz Olech*
Zdjęcie na okładkę: *Bosch*
Redaktor merytoryczny: *mgr inż. Zbigniew Otczyński*
Opracowanie językowe: *mgr Barbara Głuch*
Redaktor techniczny: *Ewa Kęsicka*
Korekta: *zespół*

Podręcznik do nauczania zawodu **technik pojazdów samochodowych**

Typ szkoły **technikum i szkoła policealna**

621.3:629.11(075)

Druga część podręcznika poświęconego wyposażeniu elektrycznemu i elektronicznemu pojazdów samochodowych. Charakterystyczną cechą tego podręcznika jest połączenie wiadomości teoretycznych dotyczących budowy i działania poszczególnych zespołów i układów z praktycznymi informacjami o typowych niesprawnościach, diagnostyce, obsłudze i naprawie.

W książce opisano między innymi układy elektroniczne stosowane w pojazdach, podstawy mechatroniki samochodowej, układy zapłonowe, oświetlenie pojazdów, pokładowe urządzenia kontrolno-pomiarowe, układy sterowania wtryskiem paliwa, instalacje gazowe pojazdów samochodowych, pokładowe systemy diagnostyczne OBD, układy regulacji i stabilizacji dynamiki jazdy oraz dodatkowe wyposażenie elektryczne i elektroniczne. Po każdym rozdziale zamieszczono pytania kontrolne i zadania do samodzielnego rozwiązania, mające pomóc w ugruntowaniu nabytej wiedzy.

Odbiorcy: uczniowie kształcący się w zawodzie technika pojazdów samochodowych i elektromechanika pojazdów samochodowych oraz uczestnicy kursów kwalifikacyjnych zdobywający kwalifikację M.12: *Diagnostowanie oraz naprawa elektrycznych i elektronicznych układów pojazdów samochodowych*.

ISBN 978-83-206-1917-1

© Copyright by Wydawnictwa Komunikacji i Łączności spółka z o.o., Warszawa

Utwór ani w całości, ani we fragmentach nie może być skanowany, kserowany, powielany bądź rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, w tym również nie może być umieszczany ani rozpowszechniany w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o.
ul. Kazimierzowska 52, 02-546 Warszawa
tel. 22-849-27-51; fax 22-849-23-22
Dział Handlowy tel./fax 22-849-23-45
tel. 22-849-27-51 w. 555
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową książek
Księgarnia firmowa w siedzibie wydawnictwa
tel. 22-849-20-32, czynna pon.–pt. w godz. 10.00–18.00
e-mail wkl@wkl.com.pl
Pełna oferta WKŁ w INTERNECIE <http://www.wkl.com.pl>

Wydanie 1. Warszawa 2013

Skład i łamanie: *Janusz Olech*
Druk i oprawa: Drukarnia TREND
e-mail: drukarniatrend@wp.pl

Spis treści

Wstęp	8
1. Układy elektroniczne	9
1.1. Układy zasilające	9
1.1.1. Wiadomości wstępne	9
1.1.2. Układy prostownikowe.	9
1.1.3. Układy stabilizacji napięcia i prądu	12
1.2. Układy wzmacniające	14
1.2.1. Wiadomości wstępne	14
1.2.2. Wzmacniacze tranzystorowe	15
1.3. Wzmacniacze operacyjne	23
1.4. Transmisja sygnałów analogowych w samochodzie	29
1.5. Układy cyfrowe	33
1.5.1. Konwersja analogowo-cyfrowa	33
1.5.2. Funktory logiczne	35
1.5.3. Mikroprocesory	45
1.6. Pytania i zadania	48
2. Podstawy mechatroniki samochodowej	50
2.1. Samochód jako system mechatroniczny	50
2.1.1. Wiadomości wstępne	50
2.1.2. Sterowanie i regulacja.	50
2.1.3. Struktura układów sterowania.	53
2.1.4. Rodzaje sterowania i regulacji.	55
2.1.5. Przykłady samochodowych układów regulacji	60
2.2. Transmisja danych w samochodzie	64
2.2.1. Transmisja informacji za pomocą magistrali danych	64
2.2.2. Samodiagnostyka	70
2.2.3. Wykrywanie uszkodzeń magistrali CAN.	74
2.3. Pytania i zadania	76
3. Układ zapłonowy	78
3.1. Wiadomości wstępne	78
3.2. Budowa i działanie układu bezstykowego.	79
3.3. Podzespoły indukcyjnego układu zapłonowego.	82
3.3.1. Moduł zapłonowy	82
3.3.2. Cewka zapłonowa	84
3.3.3. Świece zapłonowe.	86
3.3.4. Przewód zapłonowy	88

3.3.5.	Czujniki pomiarowe wykorzystywane przez układ zapłonowy	89
3.4.	Statyczny układ zapłonowy	95
3.4.1.	Schemat funkcjonalny elektronicznego układu zapłonowego	95
3.4.2.	Zapłon statyczny z cewkami dwubiegunowymi	97
3.5.	Podstawowe czynności obsługowe i diagnostyka układu zapłonowego	98
3.5.1.	Ogólne czynności obsługowe i sprawdzające	99
3.5.2.	Sprawdzanie czujników	103
3.5.3.	Bezpieczna obsługa układu zapłonowego	109
3.6.	Pytania i zadania	109
4.	Oświetlenie pojazdów samochodowych	111
4.1.	Wiadomości wstępne	111
4.2.	Parametry techniczne, budowa i działanie reflektorów głównych	111
4.3.	Oświetlenie ostrzegawcze, sygnalizacyjne i dodatkowe	119
4.4.	Nowe rodzaje oświetlenia samochodu	122
4.5.	Diagnostyka samochodowych instalacji oświetleniowych	128
4.6.	Pytania i zadania	133
5.	Pokładowe urządzenia kontrolno-pomiarowe	135
5.1.	Wiadomości wstępne	135
5.2.	Zestaw wskaźników pokładowych	136
5.3.	Pomiar prędkości jazdy oraz prędkości obrotowej silnika	139
5.4.	Kontrola pracy układu chłodzenia oraz układu pomiaru ciśnienia oleju	141
5.5.	Kontrola poziomu płynu hamulcowego oraz ilości paliwa w zbiorniku	144
5.6.	Pytania i zadania	147
6.	Układy sterowania wtryskiem paliwa	149
6.1.	Wiadomości wstępne	149
6.2.	Układy sterowania silnikami o zapłonie iskrowym	149
6.2.1.	Układ sterowania wtryskiem paliwa jako układ regulacji	149
6.2.2.	Czujniki układów wtrysku benzyny	152
6.2.3.	Podzespoły elektromechaniczne układów zasilania paliwem	163
6.2.4.	Układy wtrysku paliwa	170
6.3.	Sterowanie silnikiem o zapłonie samoczynnym	187
6.3.1.	Elektronizacja układów wtryskowych	187
6.3.2.	Sterowanie pompami wtryskowymi	192
6.3.3.	Współczesne układy wtryskowe	199
6.3.4.	Diagnostyka i rozpoznawanie usterek	208
6.4.	Pytania i zadania	210
7.	Instalacje gazowe w pojazdach samochodowych	213
7.1.	Wiadomości wstępne	213
7.2.	Paliwa gazowe LPG	213
7.3.	Charakterystyka pracy silników spalinowych zasilanych paliwem LPG	214
7.4.	Mieszalnikowe układy zasilania paliwem gazowym	215
7.4.1.	Układ zasilania LPG I generacji	216
7.4.2.	Układ zasilania LPG II generacji	220
7.4.3.	Diagnostyka układów zasilania LPG I i II generacji	225
7.5.	Wtryskowe układy zasilania paliwem LPG	228
7.5.1.	Układ zasilania LPG III generacji	228
7.5.2.	Układ zasilania LPG IV generacji	232
7.5.3.	Układ zasilania LPG V generacji	236
7.5.4.	Diagnostyka wtryskowych układów zasilania LPG	239
7.6.	Pytania i zadania	242

8.	System OBD	245
8.1.	Wiadomości wstępne	245
8.2.	Geneza OBD	245
8.3.	Algorytm rozpoznawania i zapisywania usterek	247
8.4.	Komunikacja z systemem OBD	249
8.5.	Działanie systemu OBD	252
8.5.1.	System OBD silników o zapłonie iskrowym	253
8.5.2.	Testy diagnostyczne	254
8.5.3.	System OBD silników o zapłonie samoczynnym	261
8.6.	Pytania i zadania	263
9.	Układy regulacji i stabilizacji dynamiki jazdy	265
9.1.	Wiadomości wstępne	265
9.2.	Układ zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania (ABS)	265
9.2.1.	Zasada działania układu	265
9.2.2.	Czujniki prędkości obrotowej kół	269
9.2.3.	Układ z elektrozaworami 3/3	272
9.2.4.	Układ z elektrozaworami 2/2	274
9.3.	Układ przeciwoślizgowy (ASR)	279
9.3.1.	Działanie układu	279
9.3.2.	Układ z elektrozaworami 3/3	281
9.3.3.	Układ z elektrozaworami 2/2	282
9.4.	Układ stabilizacji toru jazdy (ESP)	284
9.4.1.	Działanie układu	284
9.4.2.	Czujniki układu ESP	286
9.4.3.	Działanie sterownika ESP	292
9.5.	Diagnostyka układów regulacji dynamiki jazdy	295
9.6.	Pytania i zadania	301
10.	Pozostałe elektryczne i elektroniczne wyposażenie samochodu	304
10.1.	Układy zwiększające komfort jazdy	304
10.1.1.	Ogrzewanie i klimatyzacja	304
10.1.2.	Elektryczne podnoszenie szyby i otwieranie dachu oraz elektryczna regulacja siedzeń	308
10.1.3.	Wycieraczki i spryskiwacze oraz regulacja położenia lusterek	313
10.1.4.	Układy ułatwiające parkowanie	318
10.1.5.	Automatyczne skrzynie biegów	321
10.2.	Układy bezpieczeństwa biernego	326
10.2.1.	Wiadomości wstępne	326
10.2.2.	Budowa i działanie przednich poduszek gazowych	327
10.2.3.	Poduszki i kurtyny boczne	333
10.2.4.	Pirotechniczne napinacze pasów bezpieczeństwa	334
10.2.5.	Sterownik i czujniki	336
10.2.6.	Kompletny układ elektryczny bezpieczeństwa biernego	340
10.2.7.	Zasady zachowania bezpieczeństwa	340
10.3.	Układy ochrony przed kradzieżą	342
10.3.1.	Wiadomości wstępne	342
10.3.2.	Centralne blokowanie drzwi	343
10.3.3.	Instalacje alarmowe	347
10.3.4.	Immobilizery z transponderem montowane fabrycznie	352
10.4.	Diagnostyka pozostałego wyposażenia elektrycznego	358
10.4.1.	Wiadomości wstępne	358
10.4.2.	Diagnostyka układów zwiększających komfort jazdy	358
10.4.3.	Diagnostyka układów bezpieczeństwa biernego	364
10.4.4.	Diagnostyka układów ochrony przed kradzieżą	368
10.5.	Pytania i zadania	369
	Literatura	373

Wstęp

Przekazywana do rąk Czytelników druga część podręcznika pt.: „Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych” dotyczy wyposażenia elektrycznego samochodów.

Zrozumienie działania układów elektronicznych zastosowanych we współczesnych samochodach wymaga wiedzy nie tylko z zakresu elektroniki, lecz także z zakresu mechatroniki. Dlatego dwa pierwsze rozdziały dotyczą tych zagadnień. W trzecim rozdziale wyjaśniono budowę i działanie bezstykowych układów zapłonowych. Rozdział czwarty dotyczy oświetlenia pojazdów samochodowych z uwzględnieniem nowych rodzajów tego oświetlenia. W rozdziale piątym opisano pokładowe urządzenia kontrolno-pomiarowe, za pomocą których można ocenić stan techniczny pojazdu w warunkach eksploatacyjnych. Szósty rozdział jest bardzo obszerny. W rozdziale tym autor opisuje układy sterowania wtryskiem paliwa współczesnych pojazdów samochodowych. Rozdział siódmy zawiera opis samochodowych instalacji gazowych. W rozdziale ósmym opisano system diagnostyki pokładowej (OBD). Rozdział dziewiąty dotyczy układów regulacji i stabilizacji dynamiki jazdy. Ostatni rozdział zawiera opis pozostałego elektrycznego i elektronicznego wyposażenia pojazdów.

W większości rozdziałów podano wskazówki ułatwiające lokalizowanie usterek w opisywanych układach i podzespołach.

Podobnie jak w pierwszej części podręcznika, na zakończenie każdego rozdziału podano zestaw pytań kontrolnych i zadań pozwalających na samodzielne sprawdzenie wiedzy nabytej podczas lektury podręcznika.

Zasób wiadomości dotyczących elektronicznego wyposażenia pojazdów samochodowych, które zawiera podręcznik, jest bardzo obszerny i znacznie wykracza poza zakres wiedzy niezbędnej do zdobycia części kwalifikacji M12: *Diagnostowanie oraz naprawa elektrycznych i elektronicznych układów pojazdów samochodowych* przypisanej przez nową podstawę programową z roku 2012 do zawodów technik pojazdów samochodowych i elektromechanik. Z tego względu adresatami książki są nie tylko uczniowie kształcący się w tych zawodach, ale również uczniowie szkół o pokrewnym profilu kształcenia, osoby zdobywające kwalifikacje zawodowe w ramach kształcenia pozaszkolnego lub zajmujące się działalnością praktyczną w zakresie techniki samochodowej oraz studenci i inżynierowie niespecjalizujący się w tej dziedzinie techniki.

1. Układy elektroniczne

1.1. Układy zasilające

1.1.1. Wiadomości wstępne

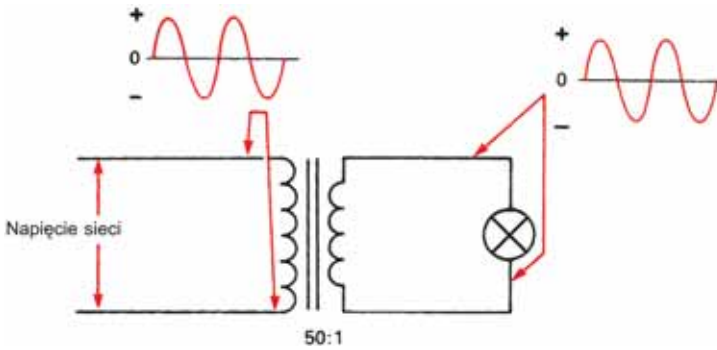
Pokładowym źródłem energii elektrycznej we współczesnych pojazdach samochodowych napędzanych silnikami spalinowymi oraz w pojazdach o napędzie hybrydowym są generatory elektromaszynowe prądu przemiennego. Niezależnie od doskonałości ich wykonania akumulatory współpracujące z tymi generatorami muszą być ze względów eksploatacyjnych doładowywane za pośrednictwem układów zasilających dołączonych do sieci elektroenergetycznej. Znajomość budowy i działania tych źródeł energii pozwala na prawidłowy ich dobór i eksploatację. Z tego względu w podrozdziale 1.1.2 opisano budowę i zasadę działania prostowników, a w podrozdziale 1.1.3 – budowę i zasadę działania układów stabilizujących tętniący napięciowy sygnał wyjściowy układów prostujących. Prostownik z dołączonym do wyjścia odpowiednim stabilizatorem jest źródłem napięcia lub prądu stałego, które może być wykorzystane do ładowania akumulatorów bądź do rozruchu spalinowego silnika napędowego pojazdu.

1.1.2. Układy prostownikowe

W technice samochodowej wykorzystuje się układy prostujące, których napięcie wyjściowe nie przekracza 24 V. Prostowniki takie są zasilane za pośrednictwem transformatora dołączonego do napięcia fazowego sieci elektroenergetycznej o wartości skutecznej 230 V. Zadaniem transformatora jest obniżenie przemiennego napięcia sieci elektroenergetycznej do poziomu, przy którym na wyjściu układu prostującego wystąpi napięcie zmienne (pulsujące), dopasowane do poziomu napięcia wejściowego stabilizatora współpracującego z prostownikiem.

Działanie transformatora prostownika sieciowego obniżające napięcie przedstawiono na rys. 1.1. Transformator sieciowy z uzwojeniem wtórnym jest w tym układzie obciążony żarówką.

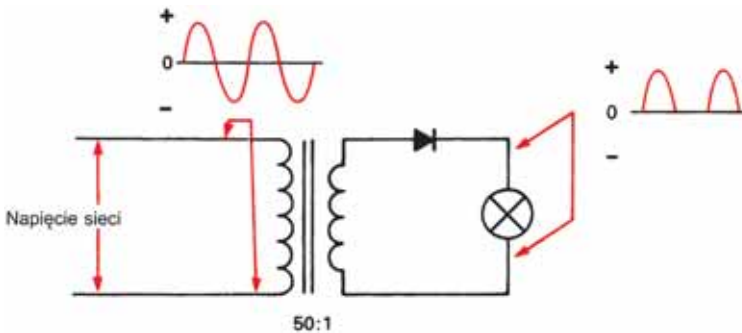
Transformator sieciowy zasilacza nie tylko obniża napięcie sieci elektroenergetycznej, ale również separuje galwanicznie układy dołączone do uzwojenia wtórnego



Rys. 1.1. Przebieg napięć pierwotnego i wtórnego transformatora obniżającego napięcie sieci elektroenergetycznej [55]

od działania tego napięcia. Z tego względu izolacja międzyzwojeniowa transformatora musi mieć na tyle dużą rezystancję, aby osoby dotykające obudowy zasilacza dołączonego do gniazda sieci elektroenergetycznej nie odczuwały charakterystycznego mrowienia, spowodowanego przepływem prądu elektrycznego przez ich organizm.

Do prostowania (unipolaryzacji) napięć przemiennych jednofazowej sieci elektroenergetycznej są wykorzystywane **układy diodowe** jednopołówkowe lub dwupołówkowe. Konfigurację układu jednopołówkowego przedstawiono na rys. 1.2.

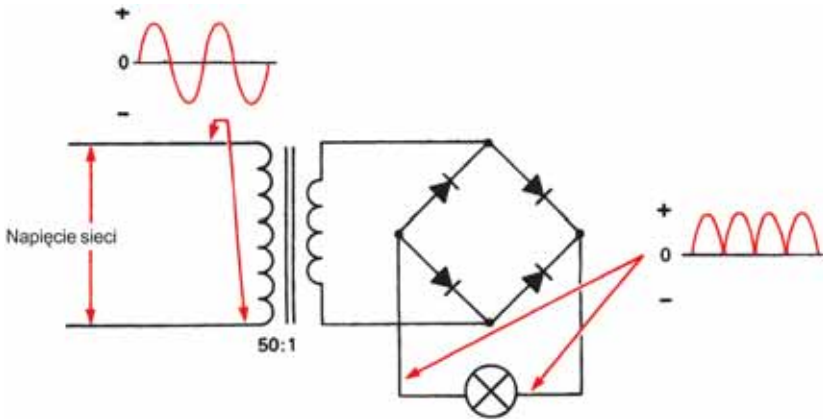


Rys. 1.2. Układ prostownika jednopołówkowego obciążonego żarówką [55]

W układzie tym przez żarówkę przepływają tylko dodatnie półfale prądu, ponieważ dioda prostownicza połączona szeregowo z żarówką przewodzi prąd wówczas, gdy jej anoda jest spolaryzowana dodatnio. Na wyjściu prostownika o takiej konfiguracji występuje dodatnie napięcie wyjściowe. W celu uzyskania na wyjściu prostownika napięcia ujemnego należy zmienić kierunek włączenia diody do obwodu.

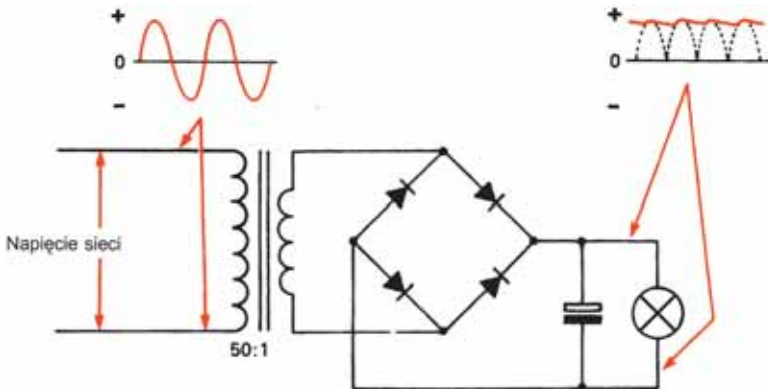
Aby zwiększyć sprawność układów prostujących, opracowano układy prostowników dwupołówkowych, przekazujących energię elektryczną do obciążenia w ciągu całego okresu napięcia przemiennego. Przykład takiego układu, dwupołówkowy prostownik mostkowy, przedstawiono na rys. 1.3.

Sposób włączenia diod prostowniczych do układu mostka powoduje, że prąd w obciążeniu prostownika płynie przez cały okres napięcia przemiennego występującego na zaciskach uzwojenia wtórnego transformatora.



Rys. 1.3. Układ mostkowego prostownika dwupołówkowego [55]

Wadą prostowników jedno- i dwupołówkowych, których obciążenie ma charakter rezystancyjny, jest pulsowanie napięcia przy takim obciążeniu. W celu wygładzenia napięcia na obciążeniu prostownika należy równoległe do tego obciążenia dołączyć kondensator o dużej pojemności, nazywany kondensatorem wygładzającym lub filtrującym. Sposób dołączenia takiego kondensatora do obciążenia dwupołówkowego prostownika mostkowego przedstawiono na rys. 1.4.



Rys. 1.4. Kondensator wygładzający dołączony równoległe do obciążenia prostownika mostkowego [55]

Zadaniem kondensatora wygładzającego jest dostarczanie do obciążenia energii elektrycznej w czasie, gdy wartość chwilowa pulsującego napięcia wyjściowego mostka jest mniejsza od wartości napięcia na kondensatorze, równej wartości szczytowej napięcia wyjściowego.

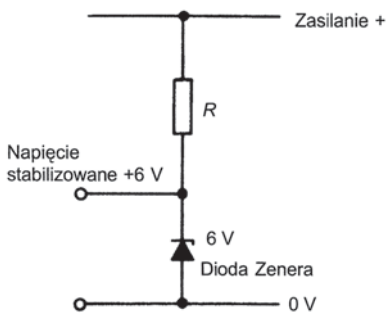
Podczas gdy wartość chwilowa pulsującego napięcia wyjściowego prostownika wzrasta ponad wartość napięcia na obciążeniu, kondensator jest doładowywany,

gromadząc energię elektryczną przekazywaną do obciążenia w czasie, gdy wartość chwilowa napięcia na zaciskach wyjściowych prostownika maleje poniżej wartości szczytowej. Dzięki temu w obciążeniu prostownika przepływ prądu jest ciągły.

Wada prostownika z kondensatorem filtrującym na wyjściu to zależność wahań napięcia wyjściowego od wartości prądu obciążenia. W celu zminimalizowania wahań tego napięcia można między obciążenie a prostownik włączyć – w zależności od potrzeb – układ stabilizacji napięcia lub układ stabilizacji prądu.

1.1.3. Układy stabilizacji napięcia i prądu

Najprostszym układem stabilizacji napięcia jest **stabilizator parametryczny z diodą Zenera** (rys. 1.5).



Rys. 1.5. Układ stabilizatora napięcia z diodą Zenera [55]

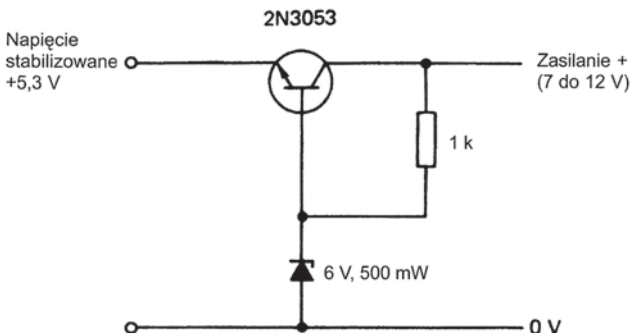
W układzie tym wartość rezystancji opornika R , za którego pośrednictwem jest zasilana spolaryzowana zaporowo dioda Zenera, dobrano tak, aby przez diodę płynął prąd o takiej wartości, przy której napięcie na diodzie będzie miało wartość większą od wartości progowej. Powyżej tego progu, nazywanego napięciem Zenera, dużym zmianom prądu płynącego przez diodę odpowiadają bardzo małe zmiany napięcia na diodzie.

Główną wadą układu przedstawionego na rys. 1.5 jest przepływ prądu polaryzującego diodę oraz prądu obciążenia przez opornik R . Jeśli wartość rezystancji tego opornika będzie zbyt mała,

to po odłączeniu obciążenia przez diodę może popłynąć prąd o wartości przekraczającej dopuszczalną wartość maksymalną. Dlatego wartość rezystancji opornika R należy dobierać, uwzględniając dopuszczalne straty mocy cieplnej wydzielanej w diodzie.

Ze względu na przedstawioną wadę stabilizatory parametryczne z diodą Zenera można stosować do zasilania układów o małym poborze prądu.

Większym prądem wyjściowym, w porównaniu z prądem wyjściowym stabilizatora parametrycznego, charakteryzują się stabilizatory z aktywnym elementem regulacyjnym włączonym między prostownikiem a obciążeniem. Przykład układu takiego



Rys. 1.6. Układ stabilizatora napięcia z tranzystorem regulacyjnym [55]

stabilizatora przedstawiono na rys. 1.6. W tym układzie wartość prądu obciążenia jest regulowana za pomocą tranzystora bipolarnego N-P-N, którego obwód kolektor-emiter połączono szeregowo z obciążeniem. Dlatego stabilizator ten jest nazywany szeregowym.

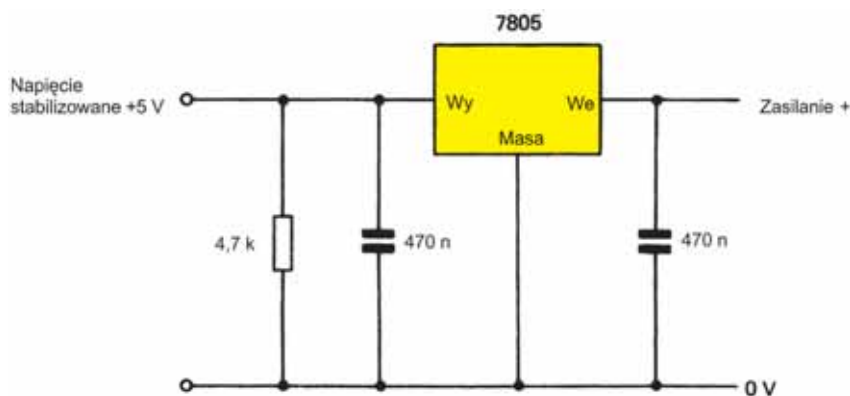
W układzie przedstawionym na rys. 1.6 napięcie bazy tranzystora jest napięciem wyjściowym stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera, której napięcie stabilizacji musi z kolei być większe o 0,7 V od wymaganego napięcia wyjściowego stabilizatora. Jest to wartość napięcia na przewodzącym złączu baza-emiter tranzystora regulacyjnego. Na wyjściu obciążonego stabilizatora (rys. 1.6) występuje napięcie 5,3 V, ponieważ obwód bazy tranzystora regulacyjnego jest polaryzowany za pomocą diody o napięciu stabilizacji równym 6 V.

Przy braku obciążenia przez tranzystor nie płynie prąd i prostownik zasilający stabilizator jest obciążony prądem niezbędnym do polaryzacji diody Zenera. Dołączenie obciążenia do wyjścia stabilizatora spowoduje przepływ prądu kolektor-emiter o wartości zależnej od rezystancji obciążenia i od wartości prądu bazy tranzystora regulacyjnego. Wartości rezystancji R polaryzującej diodę Zenera oraz tranzystor regulacyjny powinny być tak dobrane, aby w stanie ustalonym na obciążeniu występowało napięcie mniejsze o 0,7 V od napięcia znamionowego diody Zenera.

Gdy współczynnik wzmocnienia prądu tranzystora regulacyjnego ma dużą wartość, a napięcie wyjściowe prostownika jest niezmiennie, zmiany rezystancji obciążenia nie mają wpływu na napięcie wyjściowe stabilizatora, pod warunkiem że prąd obciążenia ma taką wartość, przy której tranzystor pracuje liniowo. Dopiero zmniejszenie napięcia zasilającego stabilizator poniżej poziomu, przy którym napięcie na diodzie będzie mniejsze od napięcia stabilizacji, spowoduje zaburzenia w pracy stabilizatora.

Obecnie stabilizatory napięcia działające tak jak stabilizator przedstawiony na rys. 1.6 są produkowane w wersji scalonej. Układ stabilizatora scalonego typu 7805 o znamionowym napięciu wyjściowym 5 V i maksymalnym prądzie obciążenia 1 A przedstawiono na rys. 1.7.

W celu odfiltrowania tętnień napięcia wyjściowego prostownika zasilającego układ scalony między wejście i masę układu włączono kondensator filtrujący o pojemności



Rys. 1.7. Układ scalonego stabilizatora napięcia [55]

470 nF. Dodatkowym układem wygładzającym napięcie na obciążeniu stabilizatora jest równoległy obwód RC ($R = 4,7 \text{ k}\Omega$ i $C = 470 \text{ nF}$).

Układy stabilizatorów przedstawione na rysunkach 1.6 i 1.7 regulują wartość napięcia wyjściowego w sposób ciągły, czego skutkiem są duże straty mocy cieplnej w tranzystorze regulacyjnym. Przyczyną tego jest ciągły przepływ prądu obciążenia przez ten tranzystor.

Aby zminimalizować straty mocy cieplnej w aktywnym elemencie regulacyjnym stabilizatora, zamiast sterowania ciągłego stosuje się **sterowanie impulsowe**, polegające na tym, że element regulacyjny jest włączany i wyłączany okresowo. Stosunek czasu włączenia do sumy czasu włączenia i wyłączenia szeregowego elementu regulacyjnego określa wartość średnią napięcia wyjściowego stabilizatora.

Względy ekonomiczne spowodowały, że impulsowe stabilizatory napięcia zasilają komputery stacjonarne i niestacjonarne oraz systemy mikroprocesorowe wykorzystywane w technice samochodowej. Jediną dziedziną zastosowań, w której nie mogą być stosowane zasilacze impulsowe dużej mocy, są lotnicze pokładowe systemy nawigacyjne. Przyczyną są impulsowe zakłócenia elektromagnetyczne generowane przez stabilizatory impulsowe tych zasilaczy.

Wykorzystanie zasilacza o stabilizowanym napięciu wyjściowym do ładowania akumulatora wraz z wpływem czasu ładowania powoduje wzrost prądu obciążenia. Przyczyną zmian prądu płynącego przez akumulator są zmiany rezystancji wewnętrznej akumulatora. Akumulator rozładowany ma dużą rezystancję wewnętrzną, która maleje w trakcie procesu ładowania. Aby w trakcie ładowania była dostarczana do akumulatora niezmienna w czasie ilość energii elektrycznej, zamiast zasilacza o stabilizowanym napięciu wyjściowym należy stosować zasilacz stabilizujący prąd płynący przez obciążenie.

1.2. Układy wzmacniające

1.2.1. Wiadomości wstępne

W układach sterujących pracą podzespołów elektromechanicznych we współczesnych samochodach zachodzi konieczność zwiększenia poziomu sygnałów wyjściowych elektronicznych bloków operacyjnych, określających sposób funkcjonowania tych podzespołów. W tym celu są wykorzystywane układy wzmacniające, zwane również **wzmacniaczami**.

Zasadę działania wzmacniaczy stosowanych w technice samochodowej można wyjaśnić, analizując funkcjonowanie typowego wzmacniacza, działającego jak wzmacniacz mikrofonowy lub gramofonowy. Na schematach wzmacniacz taki (rys. 1.8), niezależnie od budowy i zasady działania, oznacza się za pomocą trójkąta. Sygnał wejściowy, którego poziom jest zwiększany w układzie wzmacniacza, zostaje doprowadzony do podstawy trójkąta. W omawianym przypadku chodzi o sygnał wyjściowy wkładki gramofonowej 1, działającej identycznie jak czujnik spalania stukowego w cylindrze silnika spalinowego. Przeciwnie do podstawy wierzchołek trójkąta odpowiada wyjściu wzmac-

niacza. Na schemacie przedstawionym na rys. 1.8 do wyjścia wzmacniacza jest dołączony głośnik.

Niezależnie od budowy, w układzie wzmacniacza można wyodrębnić dwa podstawowe bloki. Blokiem wejściowym układu wzmacniającego jest **przedwzmacniacz**, którego zadanie to wzmocnienie słabego sygnału wejściowego. Źródłem tego sygnału może być np. mikrofon lub wyjście wykonawcze mikroprocesorowego sterownika silnika.

Przedwzmacniacz zwiększa poziom sygnału wejściowego do wartości niezbędnej do wystawienia **stopnia mocy**, do którego wyjścia jest dołączony np. głośnik (wzmacniacz akustyczny) lub cewka elektrozaworu dawującego ilość paliwa wtryskiwanego do cylindra silnika (wzmacniacz wykonawczy).

Wszystkie wzmacniacze stosowane obecnie w technice samochodowej są monolitycznymi lub hybrydowymi układami scalonymi, w których można wyodrębnić od kilkunastu do kilkuset tranzystorów. Dokładna analiza działania tak złożonych układów elektronicznych wykracza poza ramy tego podręcznika i jest zbyt trudna dla ich użytkowników. Z tego względu rozważania dotyczące układów wzmacniających ograniczono do wyjaśnienia działania i właściwości wzmacniaczy tranzystorowych. Znajomość tych zagadnień jest niezbędna do zrozumienia działania wzmacniaczy operacyjnych opisanych w podrozdziale 1.3.

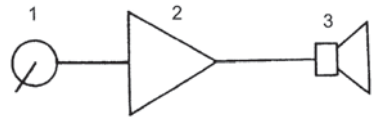
1.2.2. Wzmacniacze tranzystorowe

W pierwszej części podręcznika (*Wyposażenie elektryczne i elektromechaniczne*) opisano budowę i zasadę działania tranzystorów bipolarnych i unipolarnych (polowych). Tranzystory te można wykorzystać do budowy przedwzmacniaczy oraz wzmacniaczy mocy. Przed wyjaśnieniem zasady działania tych bloków należy zrozumieć istotę ich funkcjonowania w roli wzmacniaczy. Na rysunku 1.9 przedstawiono układ wzmacniacza z jednym tranzystorem bipolarnym (niestosowany w praktyce).

W układzie przedstawionym na rys. 1.9 sygnał wejściowy jest doprowadzony do bazy tranzystora za pośrednictwem opornika R_B . Sygnał ten powoduje przepływ prądu bazy. Przepływ tego prądu jest przyczyną zmiany wartości prądu kolektora dołączonego do źródła zasilającego układ za pomocą opornika R_L . Skutkiem zmiany prądu kolektora są zmiany napięcia wyjściowego spowodowane przez zmiany rezystancji struktury półprzewodnika znajdującego się między kolektorem a emiterym. Od strony wyjścia układ wzmacniający jest dzielnikiem napięcia, składającym się z opornika obciążenia R_L o stałej wartości rezystancji oraz z rezystancji kolektor-emitery tranzystora o wartości zależnej od prądu bazy (rys. 1.10).

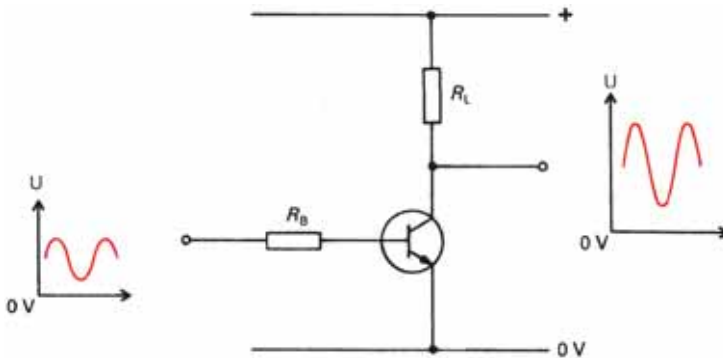
Ze względu na diodowy charakter złącza emiter-baza tranzystora układ wzmacniacza przedstawiony na rys. 1.9 będzie działał, gdy do bazy zostaną doprowadzone sygnały dodatnie o wartości powyżej 0,7 V.

Aby wzmacniacz mógł przetwarzać sygnały przemienne o wartości szczytowej poniżej 0,7 V, złącze baza-emitery tranzystora musi być zawsze spolaryzowane do-

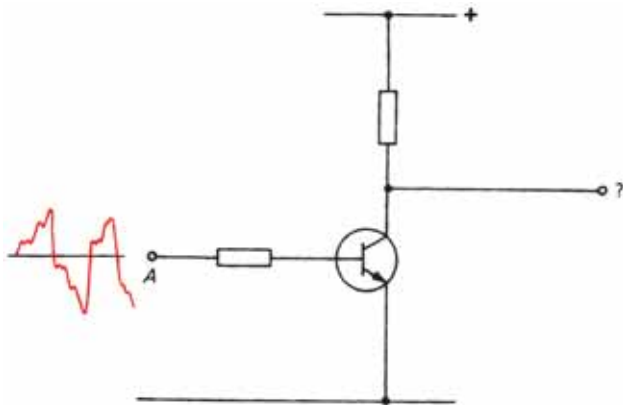


Rys. 1.8. Schemat blokowy układu wzmacniającego [55]

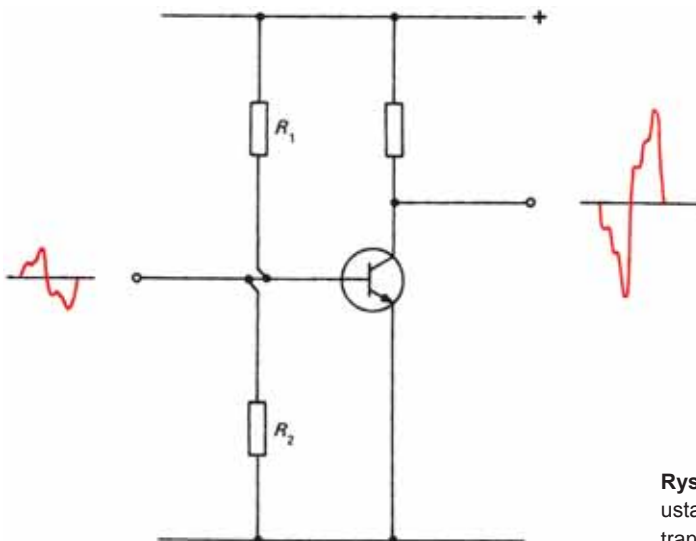
1 – źródło sygnału wejściowego,
2 – wzmacniacz, 3 – głośnik



Rys. 1.9. Prosty wzmacniacz tranzystorowy (niestosowany w praktyce) [55]



Rys. 1.10. Wzmacniacz tranzystorowy jako dzielnik napięcia [55]



Rys. 1.11. Dzielnik rezystancyjny ustalający wartość napięcia bazy tranzystora [55]

datnio. Do tego można wykorzystać dzielnik rezystancyjny (rys. 1.11).

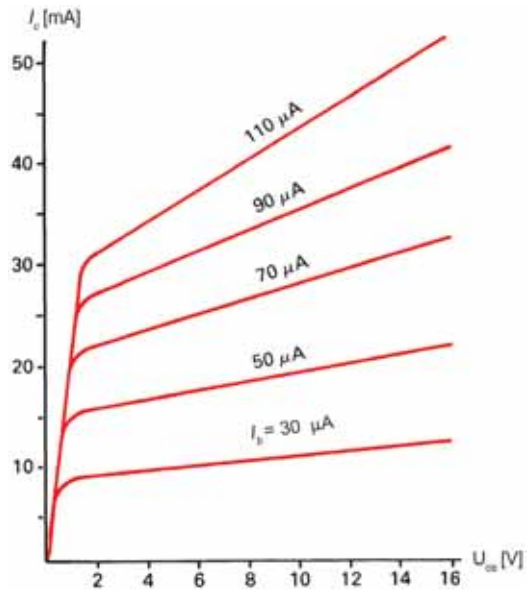
Wartości rezystancji oporników R_1 i R_2 dzielnika powinny być tak dobrane, aby przy zerowym sygnale wejściowym napięcie na kolektorze było równe połowie napięcia zasilającego układ wzmacniacza. Gwarantuje to przetwarzanie bez zniekształceń dodatniej i ujemnej połówki przemiennego sygnału wejściowego, gdy punkt pracy tranzystora znajduje się w środku obszaru, w którym charakterystyki wyjściowe (kolektorowe) tranzystora mają przebieg liniowy (rys. 1.12).

Na charakterystykach przedstawionych na rys. 1.12 obszar, w którym powinien znajdować się punkt pracy tranzystora, występuje w otoczeniu (w pobliżu) punktu o współrzędnych $U_{ce} = 8 \text{ V}$, $I_c = 25 \text{ mA}$.

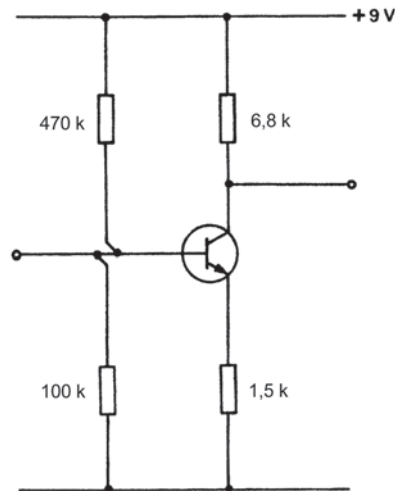
Właściwości tranzystorów są uzależnione od temperatury otoczenia, która decyduje o wartości prądu zerowego. Prąd ten wzrasta wraz z przyrostem temperatury, czego skutkiem jest zmniejszenie wartości napięcia kolektor-emiter.

Do zminimalizowania wpływu temperatury na działanie wzmacniaczy tranzystorowych stosuje się układ polaryzacji automatycznej, w którym emiter tranzystora jest dołączony do masy układu za pomocą opornika o odpowiednio dobranej wartości (rys. 1.13).

W przedstawionym układzie baza tranzystora jest spolaryzowana napięciem o wartości $9 \text{ V} \cdot \frac{100 \text{ k}\Omega}{470 \text{ k}\Omega} \approx 1,6 \text{ V}$. Jest to wartość większa od $0,7 \text{ V}$, a więc wystarczająca do przewodzenia tranzystora. W tym celu widziana z zacisku bazy tranzystora zastępcza rezystancja równolegle połączonych oporników dzielnika bazy musi być tak dobrana, aby prąd bazy miał wartość, przy której prąd emitera wymusi na oporniku emiterowym o rezystancji $1,5 \text{ k}\Omega$ napięcie o wartości $1,6 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 0,9 \text{ V}$.



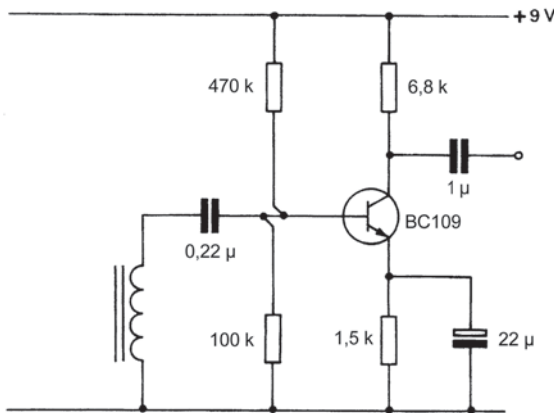
Rys. 1.12. Charakterystyki kolektorowe tranzystora [55]



Rys. 1.13. Układ polaryzacji automatycznej [55]

Wzrost temperatury powoduje zwiększenie prądu zerowego tranzystora, czego skutkiem jest zmniejszenie napięcia kolektor-emiter. Przy ustalonej wartości napięcia zasilającego układ i przy stałej wartości rezystancji opornika kolektorowego równej 6,8 k Ω zmniejszenie napięcia kolektor-emiter spowoduje wzrost prądu kolektora, czego rezultatem będzie zwiększenie napięcia emitera względem masy. Oznacza to, że potencjał emitera zbliży się do potencjału bazy. Skutkiem tego jest zmniejszenie prądu bazy, a więc i prądu kolektora. Ponieważ prąd kolektora stanowi składnik prądu emitera, zmniejszeniu wartości prądu kolektora towarzyszy zmniejszenie wartości napięcia na oporniku łączącym emiter z masą układu, czyli kompensacja termiczna układu wzmacniacza.

Gdyby przemienny sygnał wejściowy był dołączony bezpośrednio do bazy układu przedstawionego na rys. 1.13, wówczas sygnały przemiennie o wartości szczytowej większej od $-0,7$ V powodowałyby krótkotrwałe blokowanie pracy układu, w czasie gdy złącze baza-emiter tranzystora jest spolaryzowane zaporowo. Drugim czynnikiem negatywnie wpływającym na polaryzację bazy wzmacniacza może być mała impedancja wyjściowa źródła sygnału. Ma to miejsce, gdy do wejścia wzmacniacza przedstawionego na rys. 1.13 jest bezpośrednio dołączone uzwojenie indukcyjnego czujnika prędkości obrotowej kół jezdnych, wykorzystywanego przez układ ABS pojazdu (rys. 1.14).



Rys. 1.14. Wzmacniacz sygnału wyjściowego indukcyjnego czujnika prędkości obrotowej kół [55]

Jeśli uzwojenie czujnika ma małą liczbę zwojów, to jego impedancja nie przekracza kilku omów. Skutkiem tego jest obniżenie potencjału bazy do zera i zatkanie tranzystora, niezależnie od wartości szczytowej przemiennego sygnału wyjściowego czujnika.

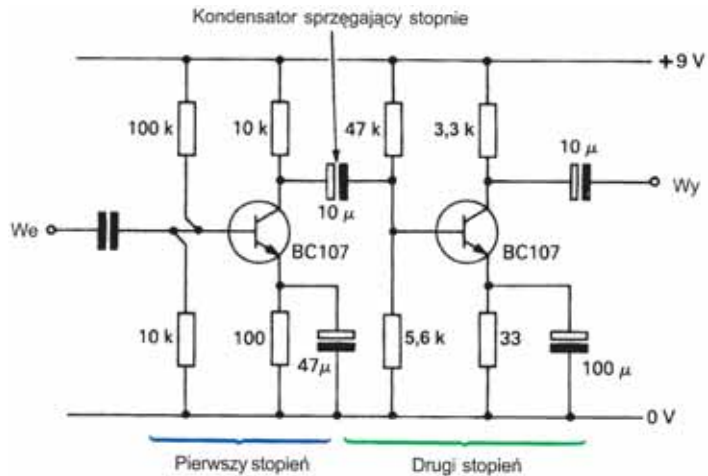
Aby tego uniknąć, między źródłem sygnału a bazą tranzystora jest włączony kondensator separujący wejście wzmacniacza od źródła wzmacnianego sygnału. Kondensator ten zapobiega przepływowi prądu stałego zmieniającego polaryzację stałoprądową wejścia wzmacniacza. Takie samo zadanie pełni kondensator włączony między wyjście wzmacniacza a wejście kolejnego stopnia wzmacniającego.

Połączenie emitera tranzystora wzmacniającego sygnał z masą za pomocą opornika powoduje, że potencjał emitera będzie zmieniał wartość wraz ze zmianami wzmacnianego sygnału. W celu zapewnienia stałoprądowej stabilizacji termicznej układu opornik emiterowy jest bocznikowany kondensatorem elektrolitycznym o dużej pojemności. Kondensator ten zwiiera do masy składową przemienną potencjału emitera.

Parametrem charakteryzującym ilościowo wzmocnienie układów wzmacniających jest współczynnik wzmocnienia napięciowego k_u określony stosunkiem wartości skutecznej sygnału wyjściowego U_o do wartości skutecznej sygnału wejściowego U_i :

$$k_u = \frac{U_o}{U_i} \quad (1.1)$$

Aby uzyskać dużą wartość współczynnika wzmocnienia, pojedyncze stopnie wzmacniające łączy się kaskadowo w sposób przedstawiony na rys. 1.15.



Rys. 1.15. Wzmacniacz dwustopniowy [55]

Oba stopnie wzmacniacza dwustopniowego (rys. 1.15) mają układ identyczny z układem przedstawionym na rys. 1.14. Zróżnicowanie wartości rezystancji oporników zastosowanych w każdym stopniu wynika z różnicy wartości sygnałów wejściowych. Sygnał wejściowy stopnia drugiego jest większy od sygnału wejściowego stopnia pierwszego.

Wzmocnienie wzmacniacza wielostopniowego jest określone iloczynem współczynników wzmocnienia stopni składowych, tzn. jeśli wzmocnienie każdego stopnia wzmacniacza dwustopniowego ma wartość równą 40, to zastępcze wzmocnienie całego wzmacniacza wynosi: $40 \cdot 40 = 1600$.

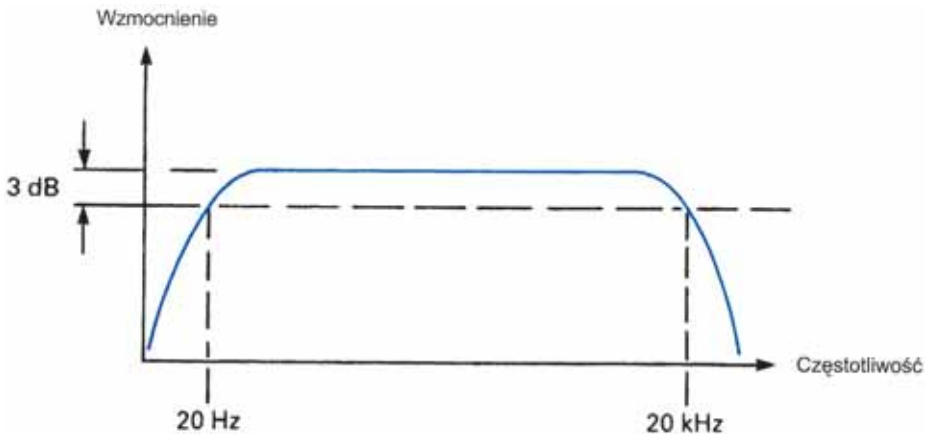
Przy doborze wzmacniaczy do konkretnego przeznaczenia należy brać pod uwagę przebieg charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza, określony przez zależność współczynnika wzmocnienia od częstotliwości sinusoidalnego sygnału wejściowego. Ze względów praktycznych, wyznaczając przebieg charakterystyki częstotliwościowej, wzmocnienie wzmacniacza wyraża się w decybelach (dB):

$$k_{udB} = 20 \log \frac{U_o}{U_i} \text{ [dB]} \quad (1.2)$$

Zgodnie z zależnością (1.2) wzmacniacz ma wzmocnienie równe 20 dB, gdy wzmocnienie $k_u = \frac{U_o}{U_i} = 10$, ponieważ

$$k_{udB} = 20 \log \frac{U_o}{U_i} = 20 \log 10 = 20 \cdot 1 = 20 \text{ dB} \quad (1.3)$$

Przykład przebiegu charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza akustycznego przedstawiono na rys. 1.16.



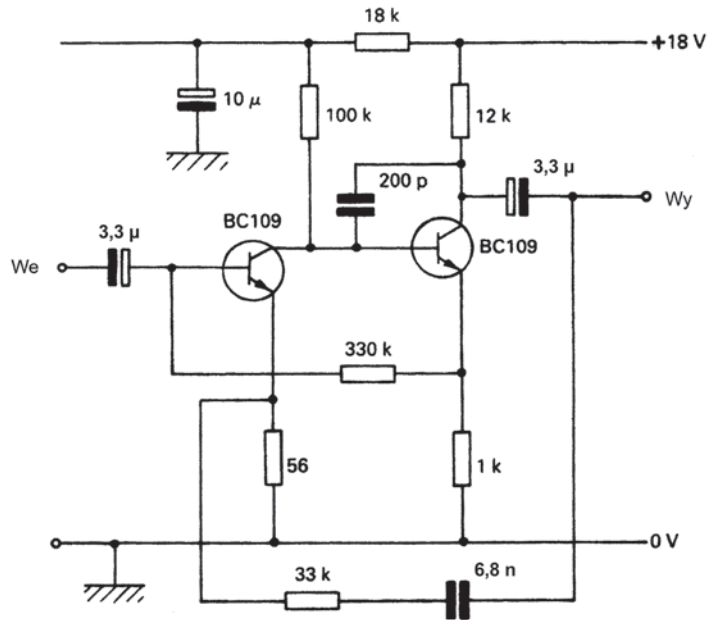
Rys. 1.16. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza akustycznego [55]

Z przebiegu charakterystyki częstotliwościowej można odczytać wartości dolnej i górnej częstotliwości granicznej tzw. pasma przenoszenia. Są to częstotliwości, przy których wzmocnienie maleje o 3 dB.

Pasma przetwarzania wzmacniacza akustycznego, którego charakterystykę częstotliwościową przedstawiono na rys. 1.16, ogranicza od dołu częstotliwość 20 Hz – jest to **dolna częstotliwość graniczna** pasma. **Górna częstotliwość graniczna** pasma przetwarzania ma wartość 20 kHz.

Wzmacniacz należy tak dobrać, aby wartość częstotliwości wzmacnianego sygnału była większa od dolnej częstotliwości granicznej i mniejsza od górnej częstotliwości granicznej pasma przetwarzania.

W celu dostosowania przebiegu charakterystyki częstotliwościowej do potrzeb użytkowników w wielostopniowych układach wzmacniających stosuje się tzw. **ujemne sprzężenie zwrotne**, przekazujące część sygnału wyjściowego układu do stopnia wejściowego. Obwód do tego przeznaczony jest nazywany pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego. Ujemnym sprzężeniem zwrotnym może być również objęty



Rys. 1.17. Wzmacniacz z ujemnym sprzężeniem zwrotnym [55]

każdy stopień wzmacniacza. Przykład wzmacniacza, w którego układzie zastosowano ujemne sprzężenie zwrotne, przedstawiono na rys. 1.17.

W układzie przedstawionym na rysunku 1.17 pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego obejmującą cały układ jest obwód szeregowy, składający się z kondensatora o pojemności 6,8 nF i opornika o rezystancji 33 kΩ. Dodatkową pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego stanowi opornik o rezystancji 330 kΩ, przekazujący sygnał stałonapięciowy z emitera tranzystora stopnia wyjściowego do bazy tranzystora stopnia wejściowego. Zadaniem tego opornika jest polaryzacja bazy tego stopnia z kompensacją termiczną całego układu. Ponadto stopień wyjściowy obejmuje lokalną pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego, zrealizowaną za pomocą kondensatora o pojemności 200 pF.

Pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego z kondensatorami pełni funkcję opornika, którego rezystancja zmienia się przy zmianach częstotliwości f .

W przypadku kondensatora o pojemności C odpowiednikiem rezystancji opornika jest parametr nazywany **reaktancją**: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$.

Na przykład kondensator o pojemności 10 pF przy częstotliwości 50 Hz ma reaktancję

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \approx \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = \frac{10^9}{3140} \approx 3,2 \cdot 10^5 \Omega = 320 \text{ k}\Omega$$

a kondensator o pojemności 1 μF przy tej samej częstotliwości ma reaktancję

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \approx \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{3140} \approx 3,2 \cdot 10^2 \Omega = 320 \Omega$$

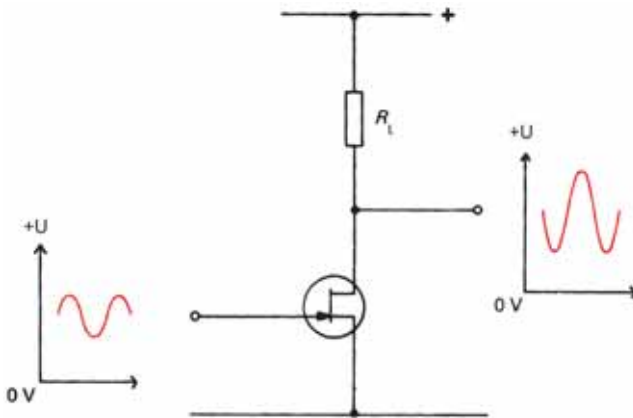
Jeśli teraz zwiększymy częstotliwości do 1 kHz, to reaktancje kondensatorów o pojemności 10 pF i 1 μ F będą miały dużo mniejsze wartości:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \approx \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = \frac{10^6}{3140} \approx 3,2 \cdot 10^2 \Omega = 320 \Omega$$

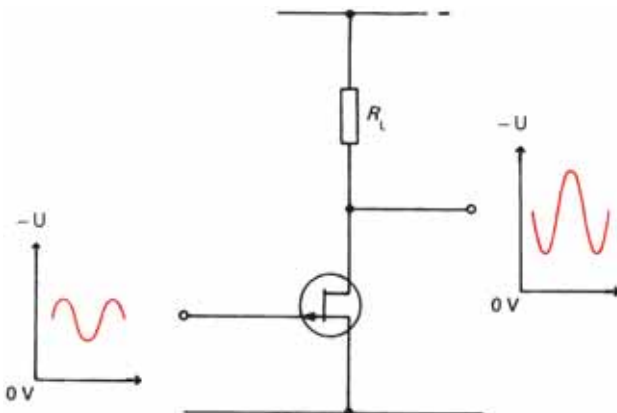
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \approx \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^3}{3140} \approx 0,32 \Omega$$

Z przedstawionego przykładu liczbowego wynika, że kondensator o małej pojemności przy małej częstotliwości ma dużą reaktancję. W związku z tym zastosowanie takiego kondensatora jako pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego przekazuje na wejście układu tylko niewielką część sygnału wyjściowego. Przy wzroście częstotliwości reaktancja kondensatora maleje i zwiększa się część sygnału przekazywanego z wyjścia na wejście układu.

Podobnie jak tranzystory bipolarne, wzmacniają również tranzystory unipolarne (polowe) typu FET i MOSFET, opisane w pierwszej części podręcznika (*Wyposażenie elektryczne i elektromechaniczne*). Tranzystory te przy odpowiedniej polaryzacji elek-



Rys. 1.18. Wzmacniacz z tranzystorem FET z kanałem typu N [55]



Rys. 1.19. Wzmacniacz z tranzystorem FET z kanałem typu P [55]

trod zachowują się jak oporniki o regulowanej sygnałem bramki rezystancji dren-źródło. Problem ten wyjaśniono na rysunkach 1.18 i 1.19.

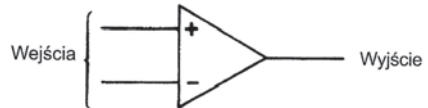
Na rysunkach 1.18 i 1.19 przedstawiono odpowiednio wzmacniacze zrealizowane za pomocą tranzystorów złączowych FET z kanałem typu N oraz P. Oba tranzystory działają identycznie i jedyną różnicą jest odwrotna polaryzacja ich elektrod.

1.3. Wzmacniacze operacyjne

W technice samochodowej wzmacniacze tranzystorowe są wykorzystywane tylko w specyficznych sytuacjach, gdy parametry wzmacniaczy scalonych nie pozwalają na ich zastosowanie. Przykładem takiego układu są np. wzmacniacze sterujące różnego rodzaju elektrozaworami, do których uruchomienia prąd wyjściowy wzmacniaczy scalonych jest zbyt mały.

Do wzmacniania sygnałów wyjściowych czujników pokładowych są wykorzystywane scalone wzmacniacze operacyjne. Nazwa tych wzmacniaczy pochodzi z czasów, gdy do rozwiązywania zadań numerycznych były stosowane komputery analogowe zwane również maszynami analogowymi. Wzmacniacze operacyjne w tych maszynach realizowały różnego rodzaju liniowe i nieliniowe operacje matematyczne, np.: całkowanie, różniczkowanie, wyznaczanie wartości bezwzględnej. Do realizacji takich operacji wzmacniacze operacyjne są stosowane również obecnie. Symbol graficzny wzmacniacza operacyjnego przedstawiono na rys. 1.20.

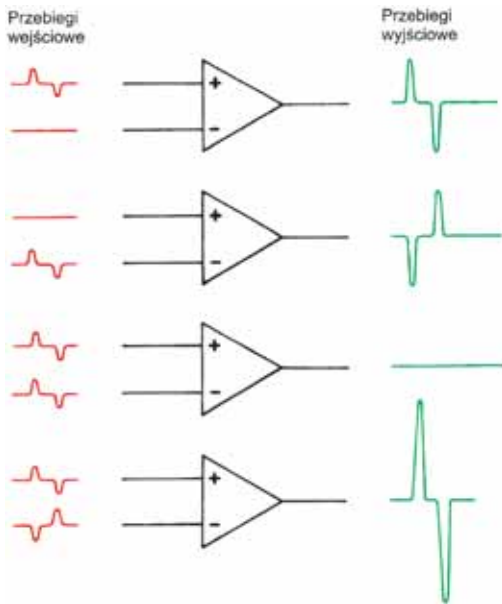
W odróżnieniu od typowych wzmacniaczy tranzystorowych, wzmacniacz operacyjny ma jedno wyjście oraz dwa wejścia: nieodwracające oznaczone jako „+” i odwracające oznaczone symbolem „-”. Dzięki temu wzmacniacz może wzmacniać sygnały pojedyncze dołączone tylko do jednego wejścia, gdy na drugim wejściu występuje sygnał o zerowej wartości, oraz wzmacniać różnicę sygnałów wejściowych. Możliwość realizacji tej operacji wynika z faktu, że sygnał dodatni doprowadzony do wejścia odwracającego na wyjściu wzmacniacza wymusza sygnał ujemny, a dołączenie tego sygnału do wejścia nieodwracającego jest przyczyną dodatniego sygnału wyjściowego (rys. 1.21).



Rys. 1.20. Symbol graficzny wzmacniacza operacyjnego [55]

Producenci wzmacniaczy operacyjnych projektują ich układy tak, aby parametry wzmacniaczy były zbliżone do parametrów wzmacniacza idealnego. Parametry takiego wzmacniacza są następujące:

- **wzmocnienie napięciowe** o nieskończonej wartości,
- **rezystancja wejściowa** bliska nieskończoności,
- **rezystancja wyjściowa** zbliżona do zera,
- **częstotliwościowe pasmo przetwarzania** nieograniczone,
- **współczynnik tłumienia sygnału współbieżnego** (wspólnego) o wartości zbliżonej do nieskończoności,
- **tolerancja wartości napięć zasilających**.



Rys. 1.21. Przebieg sygnału wyjściowego wzmacniacza operacyjnego dla różnych sygnałów wejściowych [55]

Przedstawiony zestaw parametrów wymaga komentarza. Współczynnik wzmocnienia o wartości zbliżonej do nieskończoności sugeruje, że różnica sygnałów wejściowych o wartości na poziomie miliwoltów może być wzmocniona przez wzmacniacz do poziomu nieokreślonej liczby woltów. Nie należy zapominać, że wzmacniacze operacyjne są zasilane najczęściej napięciem symetrycznym względem masy, np. ± 15 V. W związku z tym przy współczynniku wzmocnienia o nieskończonej wartości, w zależności od znaku różnicy sygnałów wejściowych sygnał wyjściowy wzmacniacza będzie miał wartość nieprzekraczającą wartości napięcia zasilającego: +15 V lub -15 V. Ponadto wzmacniacze operacyjne w układach stosowanych w technice samochodowej nie pracują bez pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, redukującej wypadkowe wzmocnienie układu do skończonej i określonej wartości.

Bardzo duża rezystancja wejściowa wzmacniacza gwarantuje, że wzmacniacz nie będzie obciążał źródła sygnału wejściowego o skończonej rezystancji wewnętrznej. Dzięki temu sygnał wzmocniany przez wzmacniacz nie będzie pomniejszony o spadek napięcia na tej rezystancji.

Jeśli rezystancja wyjściowa ma znikomo małą wartość, to strona wyjścia wzmacniacza jest idealnym źródłem sygnału napięciowego i można do wyjścia dołączyć obciążenie o dowolnej rezystancji bez obawy, że rezystancja wyjściowa wzmacniacza będzie miała wpływ na wartość sygnału wyjściowego.

Nieskończone, bardzo szerokie częstotliwościowe pasmo przetwarzania pozwala na wzmocnianie sygnałów stałonapięciowych oraz sygnałów o częstotliwości rzędu megaherców.

Duża wartość współczynnika tłumienia sygnału współbieżnego (wspólnego) oznacza, że po doprowadzeniu do obu wejść wzmacniacza takiego samego sygnału, wartość sygnału wyjściowego będzie równa zero.

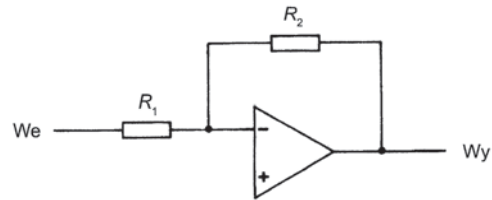
Tolerancja wartości napięć zasilających gwarantuje, że duże zmiany napięć zasilających nie mają wpływu na prawidłowe funkcjonowanie wzmacniacza. Jedynym warunkiem, jaki musi być spełniony, jest konieczność symetrii, względem potencjału masy, wartości tych napięć dla wzmacniaczy zasilanych symetrycznie. Z tego względu wzmacniacze są tak projektowane, aby mogły być zasilane napięciami z pewnego przedziału, np. $\pm 12 \dots 15$ V.

Parametry rzeczywistych wzmacniaczy operacyjnych są jedynie zbliżone do idealnych. Pomimo tego spełniają doskonale swoje funkcje, a założenie, że wzmacniacze są idealne, znacznie upraszcza zależności matematyczne opisujące działanie układów realizowanych za pomocą wzmacniaczy operacyjnych.

Dla porównania parametry niedrogiego wzmacniacza operacyjnego typu SN72741 mają wartości:

- wzmocnienie $2 \cdot 10^5$;
- rezystancja wejściowa $2 \text{ M}\Omega$;
- rezystancja wyjściowa 75Ω ;
- pasmo przetwarzania od 0 do 1 MHz;
- współczynnik tłumienia sygnału współbieżnego 90 dB (co oznacza, że dołączenie do obu wejść jednocześnie takiego samego sygnału daje na wyjściu wzmacniacza sygnał 32 000 razy mniejszy niż sygnał wyjściowy wymuszony przez sygnał doprowadzony tylko do jednego wejścia);
- tolerancja wartości napięć zasilających pozwalająca na zasilanie wzmacniacza napięciami symetrycznymi od ± 3 V do ± 18 V; ponadto zmiana wartości napięcia zasilającego o 1 V spowoduje zmianę napięcia wyjściowego wzmacniacza o $150 \mu\text{V}$.

Jak sygnalizowano, wartość współczynnika wzmocnienia układów realizowanych za pomocą wzmacniaczy operacyjnych jest określona przez pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego. Praktyczny sposób działania takiej pętli można wyjaśnić, analizując działanie wzmacniacza odwracającego sygnał wejściowy (rys. 1.22).



Rys. 1.22. Układ wzmacniacza odwracającego [55]

W układzie tym opornik R_2 jest rezystorem sprzężenia zwrotnego tworzącym z opornikiem R_1 dzielnik napięciowy, przekazujący na wejście odwracające wzmacniacza sygnał wyjściowy pomniejszony

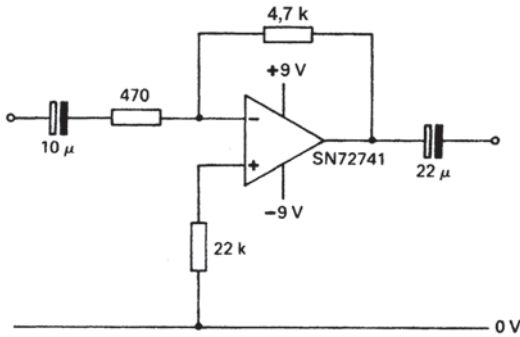
$\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ razy. Prawidłowe funkcjonowanie

układu wymaga, aby rezystancja opornika R_1 była mniejsza od rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego.

Zakładając, że współczynnik wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego ma wartość bliską nieskończoności, wzmocnienie w układzie z rys. 1.22 opisać można za pomocą wyrażenia

$$k_u = -\frac{R_2}{R_1}$$

(1.4)



Rys. 1.23. Praktyczny układ wzmacniacza odwracającego [55]

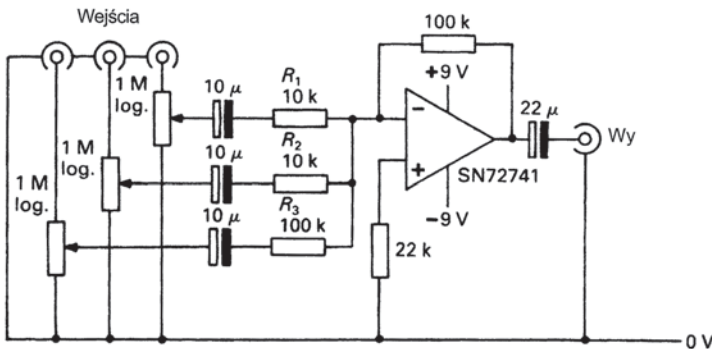
Rezystancja wejściowa układu odwracającego jest równa rezystancji opornika R_1 dołączonego do wejścia „-” wzmacniacza. Jest to wadą tego układu.

Praktyczny układ wzmacniacza odwracającego (rys. 1.23) jest bardziej złożony niż układ przedstawiony na rys. 1.22.

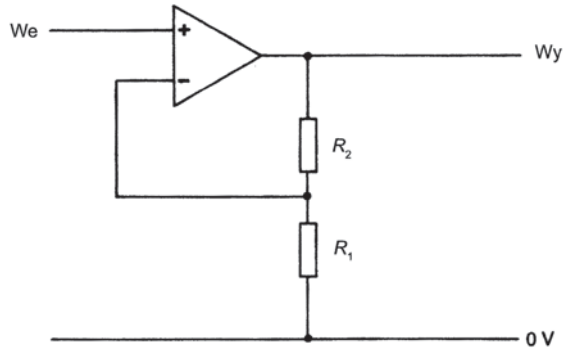
W odróżnieniu od układu z rys. 1.22, w układzie praktycznym wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego jest dołączone do masy układu za pomocą opornika o rezystancji 22 kΩ. Istnienie tego opornika w układzie minimalizuje wpływ tzw. wejściowego napięcia niezrównoważenia na pracę wzmacniacza. Przyczyną tego napięcia jest przepływ prądów bazy tranzystorów układu wejściowego wzmacniacza. Gdyby wejście nieodwracające było dołączone bezpośrednio do masy układu, prąd polaryzacji wejścia odwracającego spowodowałby dodatkowe napięcie na rezystancji zastępczej widzianej przez wzmacniacz od strony tego wejścia. Napięcie to dodawałoby się do napięcia wejściowego i byłoby wzmacniane wraz z tym napięciem. Aby tego uniknąć, wejście nieodwracające łączy się z masą układu za pomocą opornika o rezystancji równej rezystancji zastępczej widzianej przez wejście odwracające. Dzięki temu napięcia dodatkowe spowodowane prądami polaryzacji obu wejść wzmacniacza są równe, a więc ich różnica ma wartość zerową i nie ma wpływu na wartość sygnału wyjściowego wzmacniacza.

Zadaniem kondensatorów: wejściowego o pojemności 10 μF i wyjściowego o pojemności 22 μF jest separacja układu wzmacniacza od składowej stałej napięcia źródła przemiennego sygnału wejściowego oraz od składowej stałej napięcia stopnia następnego.

Układy odwracające mogą mieć więcej niż jedno wejście i dzięki temu można za ich pomocą sumować kilka sygnałów, np. kilka sygnałów wyjściowych czujników pomiarowych. Przykład rozwiązania układu odwracającego z trzema wejściami przeniennoprądowymi przedstawiono na rys. 1.24.



Rys. 1.24. Wzmacniacz odwracający sumujący trzy sygnały przemiennoprądowe [55]



Rys. 1.25. Wzmacniacz nieodwracający [55]

Za pomocą wzmacniacza operacyjnego można również zrealizować układ nieodwracający (rys. 1.25).

W układzie nieodwracającym sygnał wejściowy jest doprowadzony do wejścia „+”. Pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego układu jest dzielnik utworzony przez oporniki o rezystancjach R_1 i R_2 .

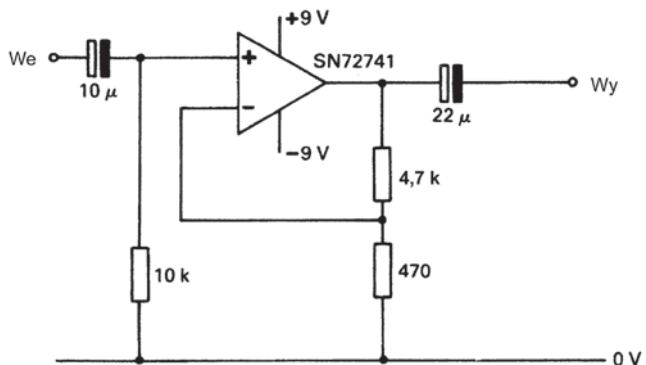
Współczynnik wzmocnienia wzmacniacza nieodwracającego

$$k_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1.5)$$

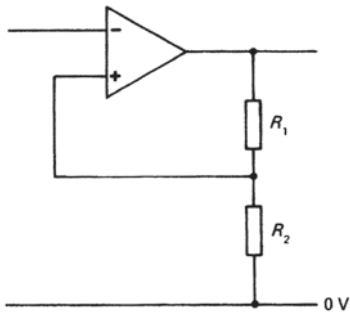
W odróżnieniu od układu odwracającego rezystancja wejściowa układu nieodwracającego ma wartość rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego i jest rzędu megaomów. Z tego względu wzmacniacz nieodwracający jest stosowany wówczas, gdy zależy nam, aby źródło sygnału wejściowego nie było obciążane przez wejście wzmacniacza.

Praktyczny układ nieodwracający wzmacniający sygnał przemienny przedstawiono na rys. 1.26. W układzie tym opornik o rezystancji 10 k Ω łączący wejście „+” wzmacniacza operacyjnego z masą układu pełni taką samą rolę, jak opornik 22 k Ω w układzie odwracającym przedstawionym na rys. 1.23.

Typowym przeznaczeniem wzmacniaczy operacyjnych jest wzmacnianie sygnałów stałych i przemiennych. Technika wymaga również, aby układy elektroniczne



Rys. 1.26. Praktyczny układ wzmacniacza nieodwracającego [55]



Rys. 1.27. Układ z dodatnim sprzężeniem zwrotnym [55]

pełniły rolę szybko i niezawodnie działających przełączników bezstykowych. Do tego celu można wykorzystać układ z dodatnim sprzężeniem zwrotnym przedstawiony na rys. 1.27.

W odróżnieniu od układu wzmacniacza nieodwracającego z rys. 1.26, w układzie przedstawionym na rys. 1.27 dzielnik napięcia utworzony przez oporniki R_1 i R_2 ma za zadanie powiększenie sygnału wejściowego układu, ponieważ jego wyjście jest dołączone do wejścia „+” wzmacniacza operacyjnego.

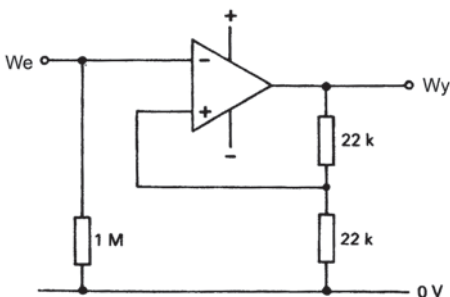
Skutek układowego zwiększania sygnału wejściowego jest następujący. Przy zerowym sygnale wejściowym sygnał wyjściowy układu też będzie miał wartość zerową, ponieważ wejście „+” układu jest utrzymywane na potencjale masy za pomocą opornika R_2 . Jeśli do wejścia „-” wzmacniacza doprowadzimy niewielki sygnał dodatni, to sygnał wyjściowy układu przyjmie wartość ujemną, która za pośrednictwem dzielnika pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego będzie przekazana do wejścia „+” wzmacniacza. Spowoduje to gwałtowny skok napięcia wyjściowego wzmacniacza do wartości bliskiej wartości ujemnego napięcia zasilającego.

Skokową zmianę wartości napięcia wyjściowego analizowanego układu można uzyskać, doprowadzając do jego wejścia sygnał ujemny o wartości, przy której sygnał wyjściowy wzmacniacza na krótką chwilę przyjmie wartość dodatnią.

Pozostawienie wejścia układu bez żadnego sygnału może spowodować, że zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne zaindukują w ścieżce drukowanej, łączącej wejście „+” wzmacniacza z wejściem układu, sygnał napięciowy o wartości wystarczającej do jego przełączenia. Aby tego uniknąć, w rozwiązaniach praktycznych potencjał wejścia układu ustala się na poziomie potencjału masy układu za pomocą opornika o dużej rezystancji w sposób przedstawiony na rys. 1.28. W układzie tym do ustalenia potencjału wejścia układu na poziomie zerowym, przy braku sygnału wejściowego, jest przeznaczony opornik o rezystancji $1\text{ M}\Omega$.

Przełącznik, którego układ przedstawiono na rys. 1.28, w technice samochodowej może być wykorzystywany do bezstykowego włączania świateł lub do inicjowania pracy pokładowego układu alarmowego. Sposób rozwiązania przełącznika przeznaczonego do włączania i wyłączania żarówki przedstawiono na rys. 1.29. W układzie praktycznym zamiast żarówki należy zastosować przekaźnik dobrany tak, aby prąd obciążenia uruchamianego przełącznikiem nie uszkodził jego styków.

Prawidłowe funkcjonowanie układu wymaga, aby żarówka lub przekaźnik były dołączone do wyjścia przełącznika za pośred-

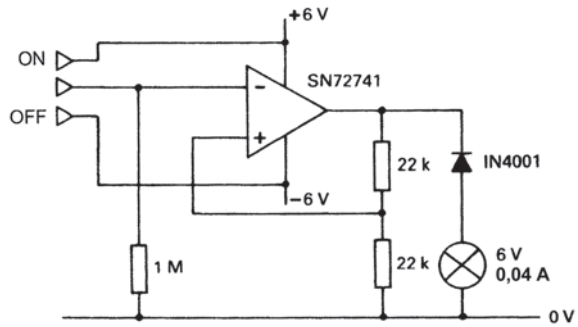


Rys. 1.28. Praktyczny układ przełącznika [55]

nictwem diody. Brak tej diody spowoduje, że przez obciążenie przełącznika prąd będzie płynął niezależnie od stanu jego wyjścia.

Styki kontaktowe oznaczone na rys. 1.29 jako ON i OFF mogą być rozmieszczone w sposób przedstawiony na rys. 1.30.

Z rysunku 1.30 wynika, że przełącznik jest uruchamiany palcem, którego rezystancja, w zależności od wilgotności naskórka, ma wartość od kilkuset omów do kilku kilomów. Zwarcie powierzchnią palca dwóch sąsiednich styków powoduje, że do wejścia układu jest dołączone dodatnie lub ujemne napięcie zasilające wzmacniacz operacyjny i w zależności od znaku tego napięcia następuje włączenie lub wyłączenie przełącznika.



Rys. 1.29. Przełącznik dotykowy włączający i wyłączający żarówkę [55]



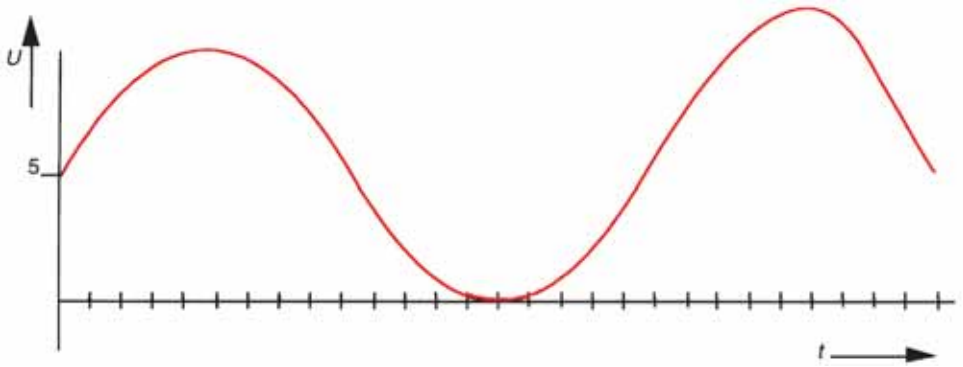
Rys. 1.30. Rozmieszczenie styków inicjujących pracę przełącznika [55]

1.4. Transmisja sygnałów analogowych w samochodzie

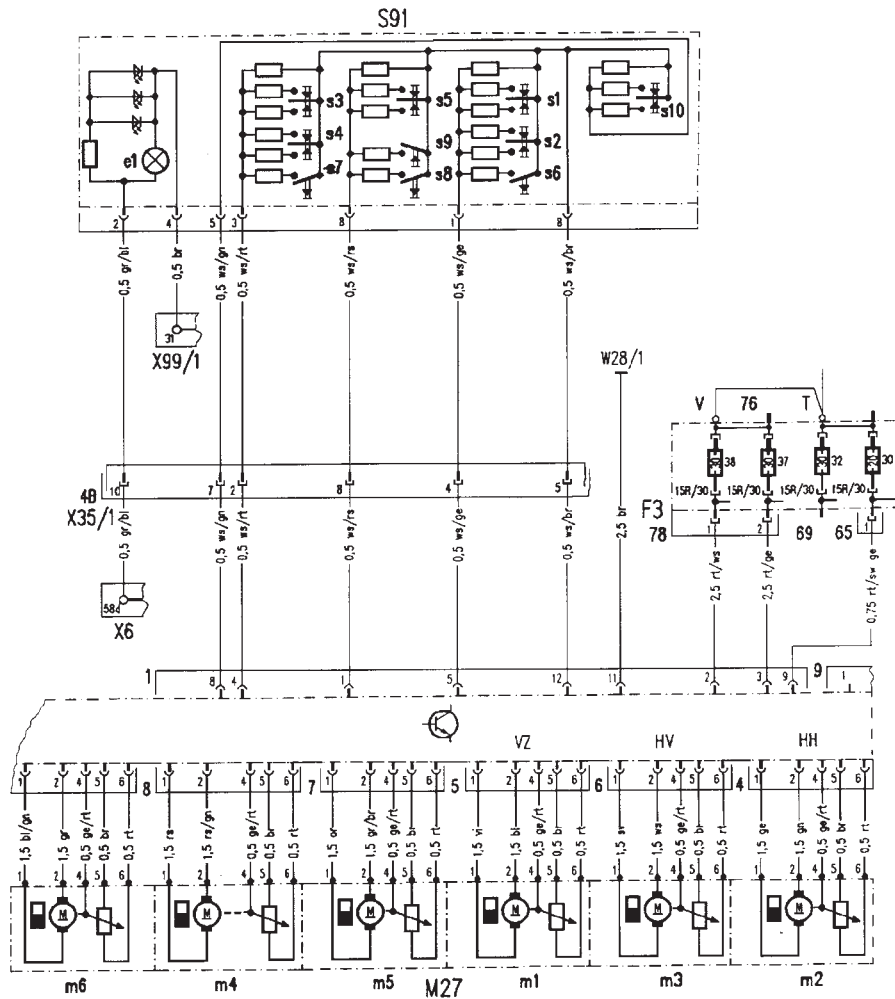
Sygnaly analogowe towarzyszą człowiekowi na co dzień i stanowią naturalne źródło informacji o zjawiskach zachodzących w przyrodzie. Sygnaly cyfrowe powstają w wyniku przetworzenia sygnałów analogowych w przeznaczonych do tego układach elektronicznych.

Gdyby informacje dotyczące stanu technicznego podzespołów współczesnych samochodów były przekazywane do jednostki centralnej za pośrednictwem sygnałów analogowych, to każdy podzespół elektroniczny pojazdu musiałby być połączony z jednostką centralną za pośrednictwem co najmniej dwóch przewodów. W przypadku przekazu informacji w sposób cyfrowy problem znacznie się upraszcza. Mankamenty przekazu informacji w sposób analogowy i zalety przekazu cyfrowego opisano w tym podrozdziale.

Sygnaly analogowe mogą przyjmować dowolne wartości w zakresie dopuszczalnych zmian tych sygnałów, np. sygnał wyjściowy wzmacniaczy operacyjnych zasilanych symetrycznie może się zmieniać od wartości ujemnego napięcia zasilającego do wartości dodatniego napięcia zasilającego układ. Przykład przebiegu analogowego sygnału napięciowego przedstawiono na rys. 1.31.



Rys. 1.31. Przykład przebiegu analogowego zmiennego w czasie sygnału napięciowego [18]



Rys. 1.32. Schemat ideowy układu ustawiania foteli samochodu Mercedes W140 [18]

W technice samochodowej sygnały analogowe były wykorzystywane do sterowania układami funkcjonalnymi oraz do przekazywania informacji o pracy silnika i innych podzespołów elektronicznych jedynie w pojazdach z początku lat dziewięćdziesiątych minionego stulecia.

Typowym przykładem sterowania analogowego jest układ do ustawiania foteli samochodu Mercedes typu W140. Schemat ideowy tego układu przedstawiono na rys. 1.32.

Do sterowania ustawieniem foteli są przeznaczone zespoły przycisków (rys. 1.33) umieszczonych w podłokietnikach zamocowanych na drzwiach samochodu.

Zespół przycisków i wielosilnikowy układ wykonawczy łączy tylko jeden przewód poprowadzony specjalnym przepustem między drzwiami a nadwoziem samochodu.

Aby zmienić położenie wybranego elementu fotela (oparcia lub siedziska), należy za pomocą kombinacji przycisków 1, 2 oraz 3 wybrać kierunek zmiany położenia konkretnego elementu, a następnie nacisnąć na symbolu graficznym fotela na ten element, inicjując przesyłanie ustalonej wartości napięcia stałego do odpowiedniego zespołu silników wykonawczych. Każdej kombinacji przycisków odpowiada inna wartość napięcia oraz inny układ rezystorów z zestawu S91 (rys. 1.32), zmieniający wartość prądu płynącego przez odpowiednie silniki wykonawcze, których wirniki są połączone elektromechanicznym sprzężeniem zwrotnym z zestykami konfiguracyjnymi zestaw. Dzięki temu sprzężeniu każda wartość napięcia przesyłana od zestawu przycisków do napędowego silnikowego zespołu wykonawczego może być zapamiętana i odtwarzana przez użytkownika samochodu. Do tego celu jest przeznaczony przycisk A (rys. 1.33).

Ze względu na zróżnicowanie poziomów napięć odpowiadających kombinacjom przycisków ustalających położenie elementów siedzenia przesył wartości tych napięć do nastawnika jest odporny na zakłócenia zewnętrzne. Nawet w przypadku zaistnienia tych zakłóceń użytkownik samochodu może powtórzyć takie czynności, bez zagrożenia dla bezpieczeństwa pojazdu.

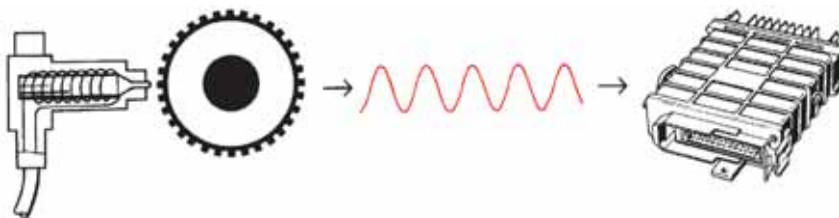
Ustalanie pozycji siedzeń za pomocą zmiany wartości napięcia ma drugoplanowy wpływ na bezpieczeństwo pojazdu, natomiast wykorzystanie sygnałów analogowych do sterowania pracą silnika oraz do sterowania podzespołów bezpieczeństwa czynnego nie daje pozytywnych rezultatów.

W celu wyjaśnienia tego problemu przeanalizujemy wpływ zakłóceń na przesył analogowego sygnału wyjściowego czujników prędkości obrotowej kół pojazdu wykorzystywanych przez układ ABS. Sygnałem wyjściowym takich czujników w początkowej technicznej fazie ich rozwoju był napięciowy sygnał sinusoidalny, przekazywany do modułu sterującego za pomocą dwóch przewodów (rys. 1.34).

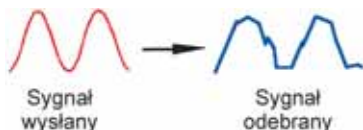
Jeśli przewody czujników prędkości obrotowej kół pojazdu w pobliżu modułu sterującego przebiegają w jednej wiązce, to przy niekorzystnym rozkładzie potencjałów między sąsiednimi przewodami należącymi do różnych czujników może dojść do



Rys. 1.33. Zespół przycisków do zmiany ustawienia fotela [18]
A – przycisk pamięci do zapisywania ustawień fotela



Rys. 1.34. Analogowy przekaz informacji między czujnikiem prędkości obrotowej koła i modulem sterującym [18]



Rys. 1.35. Deformacja przebiegu sygnału analogowego spowodowana zakłóceniami zewnętrznymi [18]



Rys. 1.36. Pozytywne skutki cyfrowego przekazu informacji [18]

znieskształcenia przebiegów wyjściowych czujników. Przyczyną tych zniekształceń są pojemnościowe sprzężenia międzyprowadowe. Przykład zniekształcenia przebiegu sygnału analogowego przedstawiono na rys. 1.35.

Wyjściowe sygnały analogowe czujników prędkości obrotowej kół pojazdu w cyfrowej jednostce sterującej są zamieniane na postać cyfrową w ten sposób, że układ wyjściowy jednostki sterującej rejestruje chwile zmiany znaku z ujemnego na dodatni przemiennych sygnałów wyjściowych czujników i wyznacza w ten sposób okres tych sygnałów. W przypadku zakłócenia takich chwil w okresie może być więcej niż jedna, co dla sterownika będzie oznaczało, że jedno z kół pojazdu ma dwukrotnie większą prędkość obrotową w porównaniu z prędkością rzeczywistą. Spowoduje to nieprawidłowe sterowanie hamulcem tego koła, czego skutkiem może być wydłużenie drogi hamowania pojazdu. Z tego względu współczesne pojazdy są wyposażone w cyfrowy przekaz informacji między czujnikami ABS i jednostką sterującą (rys. 1.36).

Sygnały cyfrowe zniekształcone przez zakłócenia zewnętrzne są regenerowane w jednostce sterującej, ponieważ w odróżnieniu od sygnałów analogowych mogą przyjmować tylko dwa stany – niski, oznaczany cyfrą 0 lub literą *L* (ang. *Low*), albo wysoki, oznaczany cyfrą 1 lub literą *H* (ang. *High*). Oznacza to, że napięcie między dwoma przewodami magistrali przekazującej informacje ma wartość bliską zera lub różniącą się od zera o wartość charakterystyczną dla konkretnego systemu transmisji danych. Najczęściej jest to wartość 5 V.

1.5. Układy cyfrowe

Na zakończenie poprzedniego podrozdziału wyjaśniono przyczyny wykorzystania sygnałów cyfrowych (dwustanowych) do przekazu informacji między podzespołami elektronicznymi oraz centralnym mikroprocesorowym sterownikiem pojazdu. Źródłem sygnałów cyfrowych są zarówno podzespoły, jak i sterownik.

Istota sygnałów cyfrowych polega na ich dwuwartościowym znaczeniu. Oznacza to, że zarówno poziom niski (*Low* – logiczne 0), jak i poziom wysoki (*High* – logiczna 1) reprezentuje informację przekazywaną między układami cyfrowymi.

W celu wyjaśnienia działania układów cyfrowych, na początku niniejszego podrozdziału przedstawiono układ zamieniający sygnał analogowy na postać cyfrową oraz krótki opis funkcji bramek logicznych. Następnie opisano układy przetwarzające dane cyfrowe. Na zakończenie podrozdziału opisano strukturę i działanie systemu mikroprocesorowego.

1.5.1. Konwersja analogowo-cyfrowa

Aby sygnały analogowe informujące o stanie podzespołów decydujących o funkcjonowaniu pojazdu mogły być przetwarzane przez sterownik centralny, muszą mieć postać liczb dwójkowych (binarnych). Cechą charakterystyczną tych liczb jest wykorzystanie ciągu 0 i 1 do odwzorowania wartości odpowiadających liczbie zapisanej w postaci dziesiętnej.

Zapis liczby w postaci dziesiętnej wymaga użycia systemu pozycyjnego, którego podstawą jest liczba 10. W systemie tym wartość liczby określają liczby z przedziału 0...9 pomnożone przez odpowiednią potęgę liczby 10, np. liczbę 235 można zapisać w postaci: $235 = 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$.

Zapis dwójkowy dowolnej liczby jest również pozycyjny, a jego podstawą jest liczba 2. Polega on na przedstawieniu dowolnej wartości liczbowej jako sumy iloczynów liczb 0 lub 1 przez odpowiednią potęgę liczby 2, np. odpowiednik dwójkowy liczby 11 ma postać 1011 i wynika z następującego zapisu: $1011 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11$. Każda cyfra zapisu dwójkowego jest nazywana bitem i dlatego liczbę dwójkową 1011 możemy nazwać czterobitową.

Analogowe sygnały wyjściowe czujników i przetworników mierzących np. parametry użytkowe spalinowego silnika napędowego pojazdu są odwzorowane za pomocą wartości dziesiętnych, np. temperatura cieczy chłodzącej ma wartość 90°C. W związku z tym między układem z analogowym sygnałem wyjściowym oraz układem cyfrowym przetwarzającym informacje w postaci liczb dwójkowych musi funkcjonować układ pośredniczący, dokonujący zamiany dziesiętnej informacji analogowej na liczby dwójkowe. Układ taki nosi nazwę przetwornika analogowo-cyfrowego. Sposób funkcjonowania takiego przetwornika można wyjaśnić, analizując działanie czterobitowego przetwornika kompensacyjnego, przedstawionego na rys. 1.37.

Określenie czterobitowy oznacza, że każdej wartości analogowego sygnału wejściowego odpowiada liczba binarna z przedziału od 0000 do 1111.