

## SPIS TREŚCI

	str.
13. WYBÓR I STABILIZACJA PUNKTU PRACY .....	9
13.1. Wybór punktu pracy tranzystorów bipolarnych .....	9
13.1.1. Wybór rezystancji obciążenia $R_L$ .....	9
13.1.2. Wybór położenia punktu pracy .....	10
13.2. Stabilizacja punktu pracy .....	13
13.2.1. Współczynnik niestabilności .....	13
13.3. Układy stabilizacyjne .....	14
13.3.1. Baza zasilana prądem pobranym z obwodu kolektora ..	14
13.3.2. Układ przedpięcia samoczynnego .....	16
13.4. Zagadnienie temperaturowych zmian $U_{BE}$ i $\beta$ .....	17
13.4.1. Mechanizm działania zmian temperatury na parametry obwodu bazy .....	18
13.4.2. Współczynnik niestabilności ze względu na zmiany $U_{BE}$ .....	19
13.4.3. Współczynnik niestabilności ze względu na zmiany $\beta$ ..	19
13.5. Metody kompensacyjne .....	21
13.5.1. Diodowa kompensacja zmian napięcia $U_{BE}$ .....	21
13.5.2. Diodowa kompensacja zmian $I_{CO}$ .....	22
13.5.3. Obwody kompensacyjne z termistorami .....	22
13.6. Niestabilność cieplna tranzystorów bipolarnych .....	23
13.6.1. Moc maksymalna kolektora, a temperatura otoczenia .	23
13.6.2. Wpływ położenia punktu pracy na bezpieczeństwo pra- cy tranzystora .....	24
13.7. Wybór punktu pracy tranzystorów unipolarnych .....	25
13.7.1. Polaryzacja tranzystorów z bramką złączową i typu MOS pracujących w reżimie zubożenia .....	25
13.7.2. Polaryzacja tranzystorów typu MOS pracujących w re- żymie wzbogacania .....	28
14. CZWÓRNIKOWE MODELE TRANZYSTORÓW BIPOLARNYCH .....	29
14.1. Model tranzystora z parametrami mieszanymi .....	31
14.1.1. Parametry mieszane dla konfiguracji OE .....	32
14.1.2. Wyznaczanie parametrów mieszanych na podstawie cha- rakterystryk statycznych .....	33

14.1.3.	Zależność parametrów $h$ od prądu kolektora oraz od napięcia $U_{CE}$ .....	35
14.2.	Analiza wzmacniacza tranzystorowego przy użyciu parametrów $h$ .....	36
14.2.1.	Wzmocnienie prądowe $A_I$ .....	37
14.2.2.	Impedancja wejściowa $Z_i$ .....	37
14.2.3.	Wzmocnienie napięciowe $A_u$ .....	38
14.2.4.	Admitancja wyjściowa $Y_o$ .....	38
14.2.5.	Wzmocnienie napięciowe i prądowe przy uwzględnieniu rezystancji wewnętrznej źródła .....	39
14.2.6.	Wzmocnienie mocy .....	40
15.	TRANZYSTOR W ZAKRESIE WIELKICH CZĘSTOTLIWOŚCI .....	41
15.1.	Model T tranzystora .....	41
15.1.1.	Częstotliwość graniczna w układzie OB .....	42
15.1.2.	Częstotliwość graniczna w układzie OE .....	43
15.2.	Mieszany model $\pi$ tranzystora w konfiguracji OE .....	44
15.2.1.	Schemat zastępczy modelu .....	45
15.2.2.	Konduktancje modelu $\pi$ wyrażone za pomocą parametrów $h$ .....	46
15.3.	Zależność wzmocnienia prądowego modelu $\pi$ od częstotliwości .....	49
15.3.1.	Zwarciovyy współczynnik wzmocnienia prądowego $A_i$ ..	49
15.3.2.	Wzmocnienie prądowe tranzystora obciążonego rezystancją .....	51
15.3.3.	Zależność sygnału od częstotliwości przy uwzględnieniu rezystancji źródła .....	52
16.	WIELOSTOPNIOWE WZMACNIACZE TRANZYSTOROWE MAŁEJ CZĘSTOTLIWOŚCI ..	55
16.1.	Rodzaje sprzężeń międzystopniowych .....	55
16.1.1.	Wzmacniacze o sprzężeniu bezpośrednim .....	55
16.1.2.	Wzmacniacze o sprzężeniu kondensatorowym .....	57
16.2.	Układy z tranzystorami bipolarnymi o zwiększonej impedancji wejściowej .....	62
16.2.1.	Wzmacniacz OE z rezystorem w obwodzie emitera ..	63
16.2.2.	Wtórnik emiterowy .....	67
16.2.3.	Układ Darlingtona .....	69
16.2.4.	Problem przedpięcia .....	72
16.3.	Wzmacniacze różnicowe .....	72
16.3.1.	Właściwości ogólne wzmacniaczy różnicowych .....	73
16.3.2.	Wzmacniacz różnicowy z rezystorem w obwodzie emiterów .....	74

16.3.3. Wzmacniacz różnicowy ze źródłem stałoprądowym w obwodzie emiterów .....	77
17. SPRĘŻENIE ZWROTNE WE WZMACNIACZACH .....	79
17.1. Klasyfikacja wzmacniaczy .....	79
17.2. Istota sprzężenia zwrotnego .....	81
17.3. Funkcja przenoszenia wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym .....	82
17.4. Właściwości wzmacniaczy z ujemnym sprzężeniem zwrotnym ..	84
17.4.1. Stabilność funkcji przenoszenia .....	84
17.4.2. Zniekształcenia częstotliwościowe .....	85
17.4.3. Zniekształcenia nieliniowe .....	85
17.4.4. Wpływ sprzężenia zwrotnego na szerokość pasma przenoszenia wzmacniacza .....	86
17.4.5. Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na poziom szumów .....	86
17.4.6. Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na wartość rezystancji wejściowej i wyjściowej wzmacniacza ..	88
18. WZMACNIACZE OPERACYJNE .....	92
18.1. Idealny wzmacniacz operacyjny .....	92
18.1.1. Właściwości idealnego wzmacniacza operacyjnego ..	92
18.1.2. Podstawowe układy wzmacniacza operacyjnego .....	93
18.2. Rzeczywisty wzmacniacz operacyjny .....	95
18.2.1. Wartości parametrów wzmacniacza rzeczywistego ..	95
18.3. Zasilanie i kompensacja wpływu zmian prądu i napięcia niezrównoważenia .....	98
18.3.1. Zasilanie wzmacniaczy operacyjnych .....	98
18.3.2. Kompensacja wejściowego prądu niezrównoważenia ..	98
18.3.3. Kompensacja wejściowego napięcia niezrównoważenia .....	99
18.4. Budowa wzmacniaczy operacyjnych .....	100
18.4.1. Stopień wejściowy .....	100
18.4.2. Drugi stopień wzmacniający .....	101
18.4.3. Układ przesuwałycający poziom .....	102
18.4.4. Stopień wyjściowy .....	102
19. ZAGADNIENIE STABILNOŚCI UKŁADÓW ZE SPRĘŻENIEM ZWROTNYM .....	104
19.1. Kryteria stabilności wzmacniaczy ze sprzężeniem zwrotnym ..	104
19.1.1. Określenie znaku sprzężenia zwrotnego .....	104
19.1.2. Wzmocnienie pętli we wzmacniaczu o jednobiegunowej funkcji przenoszenia .....	105
19.1.3. Wzmocnienie pętli we wzmacniaczu o dwubiegunowej funkcji przenoszenia .....	106

	str.
19.1.4. Kryterium stabilności Nyquista .....	107
19.1.5. Wykres Bodego jako kryterium stabilności .....	108
19.1.6. Wpływ wartości marginesów wzmocnienia i fazy na kształt charakterystyki częstotliwościowej .....	109
19.2. Stabilność wzmacniaczy operacyjnych sprzężonych zwrotnie .....	109
19.2.1. Funkcja przenoszenia wzmacniacza operacyjnego ..	109
19.2.2. Kompensacja częstotliwościowa wzmacniaczy operacyjnych .....	112
19.2.2.1. Kompensacja dla uzyskania marginesu fazy równego $-90^{\circ}$ .....	113
19.2.2.2. Kompensacja dla marginesu fazy mniejszego niż $-90^{\circ}$ .....	115
20. GENERATORY DRGAŃ SINUSOIDALNYCH .....	117
20.1. Warunki generacji .....	117
20.2. Generatory z przesuwnikiem fazy typu RC .....	119
20.2.1. Generatory RC z przesuwnikiem drabinkowym .....	119
20.2.2. Generatory RC z mostkiem Wiena-Robinsona .....	122
20.3. Generatory z obwodami rezonansowymi CL .....	123
20.3.1. Równanie różniczkowe drgań w układzie niezachowawczym .....	123
20.3.2. Przykłady generatorów CL .....	126
20.3.3. Generatory z rezystancją ujemną .....	128
20.4. Zagadnienie stabilności częstotliwości .....	131
20.4.1. Przyczyny niestabilności częstotliwości .....	132
20.4.2. Płytki kwarcowe jako rezonatory .....	132
20.4.3. Układy generatorów kwarcowych .....	135
21. MODULACJA I DEMODULACJA .....	137
21.1. Modulacja amplitudy .....	137
21.1.1. Cechy charakterystyczne modulacji amplitudy ....	137
21.1.2. Układy modulatorów .....	141
21.2. Demodulacja sygnałów o modulowanej amplitudzie .....	143
21.2.1. Prostowanie przebiegów niemodulowanych .....	143
21.2.2. Prostowanie sygnałów z modulowaną amplitudą ....	148
21.3. Modulacja kątowna .....	152
21.3.1. Cechy charakterystyczne modulacji częstotliwości i modulacji fazy .....	152
21.3.2. Układy modulatorów kątowych .....	156
21.4. Demodulacja sygnałów zmodulowanych kątowno .....	158
21.4.1. Ogranicznik amplitudy .....	158
21.4.2. Dyskryminator częstotliwości .....	159

	str.
<b>22. SZUMY W URZĄDZENIACH ELEKTRONICZNYCH .....</b>	<b>160</b>
22.1. Mechanizm powstawania szumów - rodzaje szumów .....	160
22.1.1. Szumy termiczne .....	160
22.1.2. Szumy śrutowe .....	162
22.1.3. Szumy strukturalne .....	162
22.2. Szumy w przyrządach półprzewodnikowych .....	162
22.2.1. Szumy diody półprzewodnikowej .....	163
22.2.2. Szumy w tranzystorach bipolarnych .....	163
22.2.3. Szumy w tranzystorach unipolarnych .....	164
22.3. Metody ilościowego określania szumów .....	166
22.3.1. Równoważne źródło szumu .....	166
22.3.2. Równoważna rezystancja szumu .....	166
22.3.3. Równoważna temperatura szumu .....	167
22.3.4. Stosunek sygnału do szumu .....	167
22.3.5. Współczynnik szumów .....	168
22.3.6. Linie stałego współczynnika szumów .....	169
22.4. Określenie szumów wzmacniacza operacyjnego .....	169
<b>23. TRANZYSTOROWE WZMACNIACZE DUŻYCH SYGNAŁÓW .....</b>	<b>172</b>
23.1. Klasy wzmacniaczy .....	172
23.2. Wzmacniacze dużych sygnałów klasy A .....	172
23.2.1. Moc wyjściowa wzmacniaczy klasy A .....	174
23.2.2. Zniekształcenia nieliniowe .....	176
23.2.3. Optymalne warunki pracy .....	177
23.3. Wzmacniacze przeciwobne .....	180
23.3.1. Wzmacniacze przeciwobne klasy A .....	180
23.3.2. Wzmacniacz przeciwobny klasy B .....	182
23.3.3. Wzmacniacz przeciwobny klasy AB .....	184
23.4. Wzmacniacze mocy z tranzystorami komplementarnymi .....	184
23.4.1. Wtórnik emiterowy jako wzmacniacz mocy .....	184
23.4.2. Układ tranzystorów komplementarnych .....	187
<b>24. UKŁADY PROSTOWNICZE I STABILIZATORY NAPIĘCIA .....</b>	<b>189</b>
24.1. Układy prostownicze .....	189
24.1.1. Prostownik jednopółkowy .....	189
24.1.2. Prostownik dwupółkowy z dzielonym uzwojeniem wtórnym transformatora .....	193
24.1.3. Dwupółkowy prostownik mostkowy .....	195
24.1.4. Podwajacz napięcia .....	195
24.2. Filtracja .....	196
24.2.1. Filtr pojemnościowy .....	196
24.2.2. Filtr indukcyjny .....	198

	str.
24.2.3. Filtry typu RLC .....	199
24.3. Stabilizacja napięcia i prądu .....	202
24.3.1. Warunki stabilizacji napięcia wyjściowego .....	202
24.3.2. Regulator wtórnikowy .....	203
24.3.3. Szeregowy regulator napięcia .....	204
24.3.4. Zabezpieczenie przed przeciążeniem .....	205
24.4. Prostowniki sterowane .....	207
Pytania kontrolne .....	209
LITERATURA .....	215