

# SPIS TREŚCI

Przedmowa .....	8
1. GRAFY PRZEPLYWU SYGNAŁÓW .....	9
1.1. Podstawowe pojęcia grafu Masona .....	9
1.2. Zastosowanie grafu Masona w analizie obwodów .....	12
1.3. Przykłady zastosowania grafów w analizie obwodów .....	16
1.3.1. Układ z wielopętlowym sprzężeniem zwrotnym .....	16
1.3.2. Układ ze wzmacniaczami o skończonym wzmocnieniu .....	17
1.3.3. Struktura bikwadratowa filtru analogowego .....	18
1.3.4. Filtr KHN .....	20
1.3.5. Układ FDNR .....	21
2. FILTRACJA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA SYGNAŁÓW .....	24
2.1. Filtry. Pojęcia podstawowe .....	24
2.2. Aproksymacje charakterystyk częstotliwościowych .....	26
2.2.1. Wprowadzenie .....	26
2.2.2. Aproksymacja Butterwortha .....	27
2.2.3. Aproksymacje Czebyszewa .....	30
2.2.4. Aproksymacja eliptyczna .....	32
2.2.5. Analiza porównawcza filtrów .....	34
2.3. Transformacje częstotliwościowe .....	36
2.3.1. Transformacja filtru dolnoprzepustowego .....	36
2.3.2. Transformacja filtru dolnoprzepustowego w górnoprzepustowy .....	37
2.3.3. Transformacja filtru dolnoprzepustowego w środkowoprzepustowy .....	39
2.3.4. Transformacja filtru dolnoprzepustowego w środkowozaporowy .....	41
2.3.5. Skalowanie rezystancyjne i częstotliwościowe filtrów .....	43
2.4. Realizacja filtrów wyższego rzędu o strukturze kaskadowej .....	44
2.5. Implementacja aktywna filtrów bikwadratowych o strukturze KHN .....	48
2.6. Przykład filtracji analogowej sygnałów .....	51
3. WYBRANE METODY SYNTEZY PASYWNYCH OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH LINIOWYCH .....	55
3.1. Podstawowe definicje obwodów pasywnych .....	55
3.2. Warunki realizowalności dwójników pasywnych RLC .....	56
3.2.1. Realizowalność w klasie elementów RLC .....	57
3.2.2. Realizowalność w klasie elementów RL .....	59
3.2.3. Realizowalność w klasie elementów RC .....	60
3.2.4. Realizowalność w klasie elementów LC .....	61

3.3.	Struktury kanoniczne obwodów dwuklasowych .....	61
3.4.	Metoda Fostera syntezy obwodów dwuklasowych .....	63
3.4.1.	Metoda Fostera w odniesieniu do obwodu RL .....	63
3.4.2.	Metoda Fostera w odniesieniu do obwodu RC .....	66
3.4.3.	Metoda Fostera w odniesieniu do obwodu LC .....	70
3.5.	Metoda Cauera syntezy obwodów RLC .....	72
3.6.	Metoda Brune'a syntezy obwodów RLC .....	76
3.7.	Metoda Darlingtona syntezy obwodów RLC .....	81
4.	WRAŻLIWOŚĆ OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH .....	88
4.1.	Podstawowe pojęcia wrażliwości .....	88
4.2.	Niezmienniki wrażliwości względnej .....	90
4.3.	Określanie wrażliwości metodą obwodu dołączonego .....	94
4.3.1.	Ogólne równanie Tellegena .....	94
4.3.2.	Obwód dołączony .....	95
4.3.3.	Równanie Tellegena w odniesieniu do obwodu przyrostowego .....	98
4.3.4.	Wyznaczanie wrażliwości .....	99
4.3.5.	Interpretacja metody układu dołączonego przy użyciu grafów przepływu sygnalów .....	108
4.4.	Metoda przyrostowa obliczania wrażliwości .....	112
4.5.	Przykład analizy wrażliwościowej w dziedzinie częstotliwości .....	120
5.	OBWODY CZASU DYSKRETNEGO .....	124
5.1.	Opis układów dyskretnych w dziedzinie czasu .....	124
5.2.	Przekształcenie $Z$ w opisie układów dyskretnych .....	130
5.2.1.	Definicja przekształcenia $Z$ .....	130
5.2.2.	Własności transformaty $Z$ .....	132
5.2.3.	Przekształcenie odwrotne $Z$ .....	133
5.2.4.	Transmitancja operatorowa układu dyskretnego .....	136
5.3.	Transformacja układu analogowego w dyskretny na podstawie opisu transmitancyjnego ..	140
5.3.1.	Transformacja biliniowa .....	140
5.3.2.	Metoda niezmienniczości odpowiedzi impulsowej .....	142
5.4.	Obwody z kondensatorami przełączanymi .....	143
5.4.1.	Zależności podstawowe .....	143
5.4.2.	Modele obwodowe kondensatorów przełączanych .....	145
5.4.3.	Zastosowanie grafów w analizie obwodów z kondensatorami przełączanymi ...	153
6.	ELEMENTY NIELINIOWE W OBWODACH ELEKTRYCZNYCH .....	158
6.1.	Podstawowe pojęcia elementów nieliniowych .....	158
6.2.	Rezystory nieliniowe .....	161
6.2.1.	Wprowadzenie .....	161
6.2.2.	Przykłady nieliniowych rezystorów dwukońcówkowych .....	162
6.2.3.	Przykłady nieliniowych rezystorów wielokońcówkowych .....	165
6.3.	Cewki nieliniowe .....	169
6.4.	Kondensatory nieliniowe .....	174
6.5.	Memristory .....	179
7.	NIELINIOWE OBWODY REZYSTANCYJNE .....	184
7.1.	Wprowadzenie .....	184
7.2.	Metody analizy obwodów nieliniowych .....	185
7.2.1.	Metody graficzne .....	185
7.2.2.	Metody graficzno-analityczne .....	187

7.2.3. Zastosowanie linearyzacji w rozwiązywaniu obwodów nieliniowych .....	189
7.2.4. Metody numeryczne rozwiązywania układu równań nieliniowych .....	193
7.2.5. Zastosowanie Matlaba w rozwiązywaniu układu równań nieliniowych .....	195
7.3. Metody syntezy obwodów nieliniowych .....	201
7.3.1. Sformułowanie problemu syntezy .....	201
7.3.2. Synteza charakterystyk dwójnikowych .....	203
7.3.3. Synteza charakterystyki napięciowo-napięciowej .....	211
8. NIELINIOWE OBWODY DYNAMICZNE .....	220
8.1. Opis obwodu równaniami stanu .....	220
8.2. Punkty osobliwe układu autonomicznego .....	222
8.3. Stabiłość układów nieliniowych .....	224
8.4. Obwody autonomiczne pierwszego rzędu .....	228
8.4.1. Punkty równowagi .....	228
8.4.2. Rozwiązanie równania stanu pierwszego rzędu w dziedzinie czasu .....	230
8.4.3. Rozwiązanie równania stanu pierwszego rzędu w przypadku charakterystyk od- cinkowo-liniowych .....	232
8.5. Generatory drgań z wykorzystaniem przerzutnika Schmitta .....	237
8.5.1. Realizacja przerzutnika Schmitta przy użyciu wzmacniacza operacyjnego .....	237
8.5.2. Generator fali prostokątnej i trójkątnej z wykorzystaniem przerzutnika Schmitta .....	241
8.6. Stany nieustalone w obwodach nieliniowych drugiego rzędu .....	244
8.6.1. Drgania w obwodzie $R\psi C$ .....	245
8.6.2. Drgania samowzbudne w obwodzie z diodą tunelową .....	248
9. LINIA DŁUGA .....	255
9.1. Schemat zastępczy linii długiej .....	255
9.2. Równania różniczkowe linii długiej .....	258
9.3. Równania linii długiej w stanie ustalonym przy wymuszeniu sinusoidalnym .....	259
9.4. Rozwiązanie linii długiej w stanie ustalonym .....	260
9.5. Zależność stałej propagacji od częstotliwości .....	266
9.6. Impedancja falowa linii długiej .....	267
9.7. Impedancja wejściowa linii długiej .....	269
9.8. Współczynnik odbicia fali w linii długiej .....	270
9.9. Linia bezstratna .....	273
9.9.1. Obciążenie impedancją falową .....	273
9.9.2. Stan jałowy .....	274
9.9.3. Stan zwarcia .....	275
9.10. Stany nieustalone w linii długiej .....	276
9.10.1. Rozwiązanie w dziedzinie operatorowej $s$ .....	276
9.10.2. Przykład rozwiązania czasowego linii bezstratnej w stanie jałowym .....	280
9.11. Model obwodowy linii długiej w symulacji komputerowej .....	283
Bibliografia .....	290
Skorowidz .....	292