

S P I S T R E Ś C I

	Str.
Przedmowa	3
1. BADANIE WŁASNOŚCI ROZRUCHOWYCH SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO KLATKOWEGO	5
1.1. Wyznaczenie momentu zamachowego (GD^2)	5
1.1.1. Metoda wybiegu	5
1.1.2. Metoda wahań	7
1.1.3. Metody porównawcze	9
1.2. Wyznaczenie prądu rozruchowego z próby zwarcia	11
1.3. Wyznaczenie momentu i prądu rozruchowego w zależności od poślizgu metodą oscylograficzną	12
1.4. Określenie czasu rozruchu sposobem wykreślno-analitycz- nym	14
2. REGULACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ I HAMOWANIA SILNIKÓW ASYNCHRONICZNYCH	17
2.1. Wiadomości ogólne	17
2.1.1. Wstęp	17
2.1.2. Regulacja prędkości obrotowej przez zmianę opor- ności w obwodzie wirnika	17
2.1.3. Hamowanie silników elektrycznych	19
2.1.3.1. Funkcje hamowania w układach napędowych	20
2.1.3.2. Wymagania stawiane układom hamowania	20
2.1.4. Hamowanie nadsynchroniczne	21
2.1.4.1. Hamowanie nadsynchroniczne mechanizmu podnoszenia dźwigni napędzanego sil- nikiem pierścieniowym	22
2.1.4.2. Hamowanie nadsynchroniczne silników dwubiegowych	23
2.1.4.3. Hamowanie nadsynchroniczne silników wielobiegowych	25
2.1.5. Hamowanie przeciwprądowe	27
2.1.6. Wyznaczenie sztucznych charakterystyk mechanicz- nych silnika asynchronicznego pierścieniowego	29
2.1.7. Hamowanie jednofazowe	31
2.1.8. Hamowanie dynamiczne	33
2.2. Badania laboratoryjne	35
2.2.1. Pomiarów charakterystyk regulacyjnych silnika otrzymywanych przez zmianę oporności w obwodzie wirnika	35
2.2.2. Pomiarów charakterystyk mechanicznych przy hamo- waniu nadsynchronicznym	37

	Str.
2.2.3. Pomiary charakterystyk mechanicznych przy hamowaniu przeciwwprędem	38
2.2.4. Pomiary $n = f(M)$ przy hamowaniu jednofazowym	39
2.2.5. Pomiary $n = f(M)$ przy hamowaniu dynamicznym	40
3. BADANIE PRACY SILNIKA KLATKOWEGO W UKŁADZIE NAWROTNYM PRZY STEROWANIU STYCZNIKOWO-PRZEKAŹNIKOWYM	43
3.1. Wiadomości ogólne	43
3.1.1. Wstęp	43
3.1.2. Charakterystyki mechaniczne $n = f(M)$ przy pracy nawrotnej silnika klatkowego	44
3.1.3. Straty w silniku napędowym oraz nagrzewanie silnika przy pracy nawrotnej	46
3.1.4. Hamulce mechaniczne i silniki specjalne	50
3.1.5. Przykład sterowania układu napędowego przy pracy nawrotnej	54
3.1.5.1. Układ kinematyczny napędu	54
3.1.5.2. Przykład układu połączeń silnika przy pracy nawrotnej	55
3.1.6. Aparatura stosowana przy pracy nawrotnej	58
3.1.6.1. Łączniki drogowe	58
3.1.6.2. Zwalniaki hamulców	59
3.2. Laboratoryjne badanie pracy układu nawrotnego przy sterowaniu stycznikowo-przełącznikowym	61
3.2.1. Układ kinematyczny	61
3.2.2. Budowa układu napędowego	61
3.2.3. Sprawdzenie prawidłowości i rozruch układu	61
3.2.4. Określenie charakterystyk mechanicznych	62
3.2.5. Analiza pracy układu nawrotnego	62
4. BADANIE NAPIĘD MECHANIZMU PODNOSZENIA DŹWIGNICY W UKŁADZIE STEROWNIKOWO-STYCZNIKOWYM "eh"	63
4.1. Wiadomości ogólne	63
4.1.1. Wstęp	63
4.1.2. Warunki pracy urządzeń dźwigowych	63
4.1.3. Wartości momentów przy podnoszeniu i opuszczaniu ciężaru	65
4.1.4. Charakterystyki mechaniczne układu "eh"	66
4.1.5. Aparatura sterownicza	69
4.1.6. Opory rozruchowo-regulacyjne	70
4.2. Badania, pomiary i analiza pracy wciągarki dźwigowej	73
4.2.1. Wstęp	73
4.2.2. Sprawdzenie prawidłowości całego układu napędowego	73
4.2.3. Badania i pomiary wciągarki	74

	261
	Str.
4.2.4. Czas cyklu pracy wciągarki	75
4.2.5. Sprawdzenie wartości oporów regulacyjno-rozruchowych	75
4.2.6. Układy połączeń obwodu sterowniczego i siłowego	77
4.2.7. Analiza pracy wciągarki w układzie „eh”	79
5. BADANIE UKŁADU DŹWIGOWEGO Z MASZYNĄ HAMUJĄCĄ	31
5.1. Wiadomości ogólne	31
5.1.1. Wstęp	31
5.1.2. Zasada działania układu z maszyną hamującą . . .	31
5.1.3. Przykłady układów dwumaszynowych	34
5.1.4. Sprawdzenie analityczne charakterystyk mechanicznych układu napędowego z maszyną hamującą . .	39
5.2. Badanie układu napędowego z maszyną hamującą	91
5.2.1. Budowa układu napędowego	91
5.2.2. Rozruch układu napędowego	92
5.2.3. Pomiary	92
5.2.4. Charakterystyki mechaniczne	93
5.2.5. Bilans mocy układu	94
6. BADANIE UKŁADÓW NAPĘDOWYCH ZASILANYCH Z PRZETWORNICY CZĘSTOTLIWOŚCI	96
6.1. Wiadomości ogólne	96
6.1.1. Wstęp	96
6.1.2. Zasady regulacji prędkości obrotowej w urządzeniach dźwigowych	96
6.1.3. Analiza pracy silnika asynchronicznego, zasilanego prądem o obniżonej częstotliwości	97
6.1.4. Przetwornica częstotliwości	101
6.1.5. Napięcie przetwornicy częstotliwości	102
6.1.6. Moc przetwornicy częstotliwości	103
6.1.7. Charakterystyki mechaniczne układów dźwigowych przy zastosowaniu przetwornicy częstotliwości . .	104
6.1.8. Uwagi końcowe dotyczące pracy układu silnik asynchroniczny-przetwornica częstotliwości . . .	107
6.2. Badania, pomiary i analiza pracy układu napędowego mechanizmu podnoszenia, współpracującego z przetwornicą częstotliwości	109
6.2.1. Budowa układu napędowego	109
6.2.2. Rozruch układu napędowego	110
6.2.3. Wykonanie pomiarów i charakterystyki mechaniczne	110
6.2.4. Bilans mocy	112

	Str.
7. PRACA SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO, ZASILANEGO NIESYMETRYCZNYM UKŁADEM NAPIĘĆ PRZY POMOCY TRANSDUKTORA	113
7.1. Wstęp	113
7.2. Transduktor regulacyjny	113
7.2.1. Wiadomości ogólne	113
7.2.2. Badanie transduktora	115
7.3. Współpraca transduktora z silnikiem asynchronicznym	118
7.3.1. Zasada regulacji prędkości obrotowej	118
7.3.2. Współpraca transduktora z silnikiem asynchronicznym w układzie niesymetrycznym	119
7.4. Badanie laboratoryjne układu napędowego złożonego z silnika asynchronicznego współpracującego z transduktorem	122
8. BADANIE WAŁU ELEKTRYCZNEGO	127
8.1. Wał elektryczny z asynchronicznymi maszynami pomocniczymi (wyrównawczymi)	127
8.1.1. Wstęp	127
8.1.2. Schemat zastępczy, wykres wektorowy i charakterystyki wału elektrycznego	127
8.1.3. Bilans energetyczny wału elektrycznego z maszynami wyrównawczymi	132
8.2. Uproszczony wał elektryczny (bez maszyn pomocniczych).	134
8.2.1. Schemat zastępczy, wykres wektorowy i charakterystyki wału uproszczonego	134
8.2.2. Bilans energetyczny uproszczonego wału elektrycznego	138
8.3. Badanie laboratoryjne uproszczonego wału elektrycznego	138
8.3.1. Rozruch wału elektrycznego	138
8.3.2. Pomiar kąta rozchyłu wału	140
8.3.3. Zdjęcie zależności $n = f(R)$ przy $\xi = \text{const}$	141
8.3.4. Zdjęcie zależności $\Theta = f(M_1 - M_2)$ przy $R = \text{const}$	142
8.3.5. Bilans energetyczny wału	142
8.3.6. Hamowanie nadsynchroniczne wału	143
9. BADANIE ŁĄCZ SELSYNOWYCH	144
9.1. Badanie selsynowego łącza wskaźnikowego	144
9.1.1. Uwagi ogólne	144
9.1.2. Zasada działania	144
9.1.3. Ustawienie selsyna nadajnika i odbiornika w położeniu zerowym	146
9.1.4. Zdjęcie zależności $E = f(\alpha)$	147
9.1.5. Pomiar prądów w selsynowym łączy wskaźnikowym	148
9.1.6. Pomiar momentu synchronizującego	151

	Str.
9.1.7. Błędy łączeniowe	152
9.2. Selsynowe łącze różnicowe	153
9.2.1. Uwagi ogólne	153
9.2.2. Ustawienie selsyna różnicowego w położeniu zerowym	155
9.2.3. Sumowanie kątów za pomocą selsyna różnicowego	155
9.2.4. Pomiar napięć	156
9.3. Badanie selsynowego łącza transformatorowego	157
9.3.1. Uwagi ogólne	157
9.3.2. Ustawienie selsyna transformatorowego w położeniu zerowym	157
9.3.3. Zdjęcie charakterystyki napięcia wyjściowego	158
10. BADANIE UKŁADU LEONARDA	160
10.1. Uwagi ogólne	160
10.2. Charakterystyki mechaniczne układu Leonarda	161
10.3. Stany przejściowe w układzie Leonarda	164
10.3.1. Rozruch układu Leonarda	164
10.3.2. Hamowanie układu Leonarda	169
10.3.3. Nawrót układu Leonarda	170
10.4. Pomiar momentu i mocy na wale silnika	172
10.5. Zdjęcie charakterystyk mechanicznych	173
10.6. Badanie stanów przejściowych w układzie Leonarda	174
11. STABILIZACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ W UKŁADZIE LEONARDA Z AMPLIDYNĄ JAKO WZBUDNICĄ	175
11.1. Badanie amplidyny	175
11.1.1. Uwagi ogólne	175
11.1.2. Charakterystyki magnesowania	174
11.1.3. Zdjęcie charakterystyk zewnętrznych i wyznaczenie statycznego współczynnika wzmocnienia	179
11.2. Zastosowanie amplidyny w układzie Leonarda	180
11.2.1. Ujemne napięciowe sprzężenie zwrotne	182
11.2.2. Dodatnie prądowe sprzężenie zwrotne	182
11.2.3. Ujemne prędkościowe sprzężenie zwrotne	184
11.2.4. Dodatnie prądowe i ujemne prędkościowe sprzężenie zwrotne	185
11.3. Badania laboratoryjne	188
11.3.1. Zdjęcie charakterystyki mechanicznej otwartego układu Leonarda	188
11.3.2. Zastosowanie amplidyny w układzie Leonarda i zdjęcie charakterystyk mechanicznych w układzie zamkniętym	188

	Str.
12. BADANIE UKŁADU NAPĘDOWEGO Z INDUKCYJNYM SPRZĘGŁEM POŚLIZGOWYM	189
12.1. Uwagi ogólne	189
12.2. Ogólne zależności parametrów sprzęgła w stanach ustalonych	191
12.2.1. Schemat zastępczy i wykres wektorowy sprzęgła	191
12.2.2. Moc i moment sprzęgła	196
12.2.3. Wykres kołowy sprzęgła	196
12.3. Wyznaczenie strat jałowych maszyn pomocniczych oraz strat mechanicznych sprzęgła	198
12.4. Pomiar momentów zamachowych sprzęgła	200
12.5. Charakterystyki mechaniczne sprzęgła dla różnych prądów wzbudzenia	201
12.6. Charakterystyki mechaniczne sprzęgła dla różnych prędkości części napędzanej	202
12.7. Zależność momentu rozruchowego i maksymalnego od prądu wzbudzenia $M_r, M_k = f(i_m)$	203
12.8. Zależność momentu rozruchowego od prędkości obrotowej części napędzanej sprzęgła $M_r = f(n_o)$ przy $i_m = \text{const}$.	204
12.9. Określenie sprawności sprzęgła	205
13. BADANIE UKŁADÓW Z PROSTOWNIKIEM STEROWANYM (TYRATRONEM) . .	208
13.1. Wstęp	208
13.2. Zdjęcie charakterystyki zapłonowej tyratronu	209
13.3. Sterowanie zapłonu tyratronu	211
13.3.1. Sterowanie „poziome”	211
13.3.2. Sterowanie „pionowe”	214
13.4. Badanie pracy silnika prądu stałego sterowanego tyra- tronem	216
13.4.1. Układ ze sterowaniem „poziomym”	217
13.4.2. Układ ze sterowaniem „pionowym”	219
13.4.3. Układ ze sterowaniem „pionowym” i ujemnym na- pięciowym sprzężeniem zwrotnym	221
13.4.4. Straty i sprawność układu tyratronowego . . .	222
14. BADANIE UKŁADÓW SILNIKA PRĄDU STAŁEGO ZE WZMACNIACZEM MAGNETYCZNYM	224
14.1. Wstęp	224
14.1.1. Podstawowe układy wzmacniaczy magnetycznych .	224
14.1.2. Praca silnika prądu stałego zasilanego przez wzmacniacz magnetyczny	227
14.2. Badania laboratoryjne	229
14.2.1. Zdjęcie charakterystyki sterowania wzmacnia- cza magnetycznego	229
14.2.2. Układ bez stabilizacji prędkości obrotowej .	230

	265
	Str.
14.2.3. Układ z prędkościowym sprzężeniem zwrotnym . .	232
14.2.4. Układ z dodatnim prądowym sprzężeniem zwrotnym	233
14.2.5. Układ z ujemnym napięciowym sprzężeniem zwrotnym	234
15. BADANIE UKŁADU SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO ZE WZMACNIACZAMI MAGNETYCZNYMI	236
15.1. Wstęp	236
15.1.1. Schemat połączeń badanego układu	237
15.1.2. Obliczenie statycznych charakterystyk mechanicznych układu z ujemnym prędkościowym sprzężeniem zwrotnym	241
15.2. Badania laboratoryjne	243
15.2.1. Badania układu otwartego	243
15.2.1.1. Zdjęcie charakterystyki sterowania wzmacniacza 1 WM	243
15.2.1.2. Zdjęcie charakterystyki sterowania wzmacniacza 2 WM	244
15.2.1.3. Zdjęcie charakterystyk mechanicznych układu otwartego	245
15.2.2. Badania układu zamkniętego	245
15.2.2.1. Zdjęcie charakterystyk mechanicznych układu z ujemnym prędkościowym sprzężeniem zwrotnym	245
15.2.2.2. Zdjęcie charakterystyk mechanicznych układu z ujemnym prędkościowym i dodatnim prądowym sprzężeniem zwrotnym	246
16. BADANIE UKŁADU NAPĘDOWEGO NADĄŻNEGO	247
16.1. Wstęp	247
16.1.1. Człony układu nadążnego	248
16.1.2. Współczynnik wzmocnienia i uchyby układu nadążnego	251
16.2. Badania laboratoryjne	253
16.2.1. Schemat połączeń układu	253
16.2.2. Wyznaczenie czułości łącza selsynowego transformatorowego	254
16.2.3. Wyznaczenie współczynnika wzmocnienia dyskriminatora fazy	255
16.2.4. Wyznaczenie statycznego współczynnika wzmocnienia napięciowego amplitudyny	255
16.2.5. Wyznaczenie ogólnego współczynnika wzmocnienia (dobroci układu)	256
16.2.6. Wyznaczenie uchybu statycznego układu	256
16.2.7. Wyznaczenie uchybu prędkościowego układu	256
16.2.8. Wyznaczenie uchybu dynamicznego układu	257