

074

OŚRODEK MECHATRONIKI

A

Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

mgr inż. L. Przybylski

Wykonawcy:

mgr inż. A. Socha

mgr inż. L. Przybylski

Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześciosiowego o udźwigu 120/150 kg, dużym obszarze pracy i dużych prędkościach, dostosowanego do pracy w zautomatyzowanych gniazdach, liniach produkcyjnych i systemach ESP i CIM.

Zadanie 9: Projekt i wykonanie instalacji oraz próby i badania robota w linii pras lub/i w linii zgrzewania punktowego.

DOKUMENT WZORCOWY

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

Projekt celowy

zgodnie z umową Nr 1026/D. S5-8/94

Kierownik Ośrodka

Z-ca Dyrektora
d/s Badawczo-Rozwojowych

Pracę zakończono dnia 01.1997

Nr arch. 74.17.....

Nr zlecenia 1504C, 9.635C

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

Abstrakt

Opracowanie zawiera opis laboratoryjnych badań i testów optymalizujących charakterystykę techniczno-użytkową robota, pracującego wg programu użytkowego charakterystycznego dla obsługi pras w linii.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Opracowanie i weryfikacja metod badań parametrów techniczno - eksploatacyjnych robotów przemysłowych i ich węzłów konstrukcyjnych. Etap 1: Badania uzupełniające robotów o udźwigu do 120 kg i 2,5 kg. (Nr rej. 6846).
2. Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześciokościowego o udźwigu 120/150 kg, dużym obszarze pracy i dużych prędkościach. Etap 7a: Opracowanie koncepcji dwu wersji robota z napędami BOSCH'a:
 - wersji 120/150 B
 - wersji superszybkiej 120 BS. (Nr rej. 7152).
3. Uruchomienie, badania i testy laboratoryjne wersji superszybkiej robota. (Nr rej. 7332).

Rozdzielnik

Egz. 1. OME

Egz. 2. ZSS

Egz. 3. OIN

OŚRODEK MECHATRONIKI

.....
Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

mgr inż. L. Przybylski
.....

Wykonawcy:

mgr inż. A. Socha
.....mgr inż. L. Przybylski
.....
.....

Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześciosiowego o udźwigu 120/150 kg, dużym obszarze pracy i dużych prędkościach, dostosowanego do pracy w zautomatyzowanych gniazdach, liniach produkcyjnych i systemach ESP i CIM.

Zadanie 9: Projekt i wykonanie instalacji oraz próby i badania robota w linii pras lub/i w linii zgrzewania punktowego.

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

Projekt celowy
.....zgodnie z umową Nr 1026/C. S5-8/94
.....

Kierownik Ośrodka

Z-ca Dyrektora
d/s Badań i RozwojowychPracę zakończono dnia 01.1997
.....

Nr arch. 7417.....

Nr zlecenia 1504.C., 9635C

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

Abstrakt

Opracowanie zawiera opis laboratoryjnych badań i testów optymalizujących charakterystykę techniczno-użytkową robota, pracującego wg programu użytkowego charakterystycznego dla obsługi pras w linii.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Opracowanie i weryfikacja metod badań parametrów techniczno - eksploatacyjnych robotów przemysłowych i ich węzłów konstrukcyjnych. Etap 1: Badania uzupełniające robotów o udźwigu do 120 kg i 2,5 kg. (Nr rej. 6846).
2. Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześciokościowego o udźwigu 120/150 kg, dużym obszarze pracy i dużych prędkościach. Etap 7a: Opracowanie koncepcji dwu wersji robota z napędami BOSCH'a:
 - wersji 120/150 B
 - wersji superszybkiej 120 BS. (Nr rej. 7152).
3. Uruchomienie, badania i testy laboratoryjne wersji superszybkiej robota. (Nr rej. 7332).

Rozdzielnik

Egz. 1. OME

Egz. 2. ZSS

Egz. 3. OIN

OŚRODEK MECHATRONIKI

.....
Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

mgr inż. L. Przybylski
.....

Wykonawcy:

mgr inż. A. Socha
.....mgr inż. L. Przybylski
.....
.....

Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześciosiowego o udźwigu 120/150 kg, dużym obszarze pracy i dużych prędkościach, dostosowanego do pracy w zautomatyzowanych gniazdach, liniach produkcyjnych i systemach ESP i CIM.

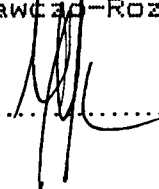
Zadanie 9: Projekt i wykonanie instalacji oraz próby i badania robota w linii pras lub/i w linii zgrzewania punktowego.

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

Projekt celowy
.....zgodnie z umową Nr 1026/C. 85-8/94
.....

Kierownik Ośrodka


.....Z-ca Dyrektora
d/s Badawczo-Rozwojowych
.....

Pracę zakończono dnia 01.1997

Nr arch. 7417

Nr zlecenia 1504C, 9635C

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

Abstrakt

Opracowanie zawiera opis laboratoryjnych badań i testów optymalizujących charakterystykę techniczno-użytkową robota, pracującego wg programu użytkowego charakterystycznego dla obsługi pras w linii.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Opracowanie i weryfikacja metod badań parametrów techniczno - eksploatacyjnych robotów przemysłowych i ich węzłów konstrukcyjnych. Etap 1: Badania uzupełniające robotów o udźwigu do 120 kg i 2,5 kg. (Nr rej. 6846).
2. Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześcioposiowego o udźwigu 120/150 kg, dużym obszarze pracy i dużych prędkościach. Etap 7a: Opracowanie koncepcji dwu wersji robota z napędami BOSCH'a:
 - wersji 120/150 B
 - wersji superszybkiej 120 BS. (Nr rej. 7152).
3. Uruchomienie, badania i testy laboratoryjne wersji superszybkiej robota. (Nr rej. 7332).

Rozdzielnik

Egz. 1. OME

Egz. 2. ZSS

Egz. 3. OIN'

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie.....	4
2. Zakres pracy.....	5
2.1. Założenia.....	5
2.2. Stanowisko badawcze.....	5
2.3. Cel i zakres testów i badań.....	6
3. Testy i badania.....	6
3.1. Program użytkowy robota.....	6
3.2. Wybór parametrów pracy robota.....	8
3.2.1. Maksymalne prędkości ruchów poszczególnych osi roboty (P103).....	8
3.2.2. Rozruch i hamowanie ruchów poszczególnych osi robota.....	9
3.2.2.1. Wybór kształtu narastania przyspieszenia i opóźnienia (P121).....	10
3.2.2.2. Ustalenie wielkości przyspieszenia i opóźnienia (P104).....	10
3.2.2.3. Modyfikacja "trapezowego" narastania prędkości w po- czątkowej fazie ruchu (P105).....	10
3.2.2.4. Wybór wartości błędu położenia osi robota (P101).....	11
3.2.2.5. Wybór wielkości strefy zerowej (P201).....	12
3.3. Wybór wielkości "kroku inkrementalnego" w pozycjonowaniu w pracy ręcznej i przy "uczeniu" robota (P116).....	13
4. Osiągnięte rezultaty badań.....	13
4.1. Uwagi ogólne	
4.2. Omówienie wyników badań.....	14
4.2.1. Oznaczenia użyte na wykresach.....	14
4.2.2. Komentarze do wykresów.....	15
5. Wnioski.....	18

1. Wprowadzenie.

Wstępem do niniejszego opracowania jest przytoczony poniżej fragment treści p.6 "Raportu rocznego z realizacji projektu celowego", przesłanego do KBN w 1996 r., w całości odnoszący się do realizacji zadania Nr 9:

"Wymienione zadanie Nr 9 planowano wykonać na linii pras w tłoczni Zakładu Nr 2 w Tychach firmy FIAT-AUTO Poland. Poczynione zostały odpowiednie uzgodnienia, w efekcie których Zakład w Tychach uwzględnił w swoim planie inwestycyjnym na rok 1996 środki na dofinansowanie tej pracy (rzędu 50 000,00 PLN). Niespodziewanie jednak w II kw. 1996 r., w momencie formalnego finalizowania przedsięwzięcia, firma FIAT-AUTO Poland wycofała się z planowanej współpracy (nastąpiło to w krótkim czasie po dokonanych przez koncern FIAT zmianach kadrowych w zarządzie firmy FIAT-AUTO Poland). Przyczyny nagłego odejścia FIAT-AUTO Poland od dotychczasowych uzgodnień można upatrywać w fakcie, że nowym dyrektorem naczelnym tej firmy został dotychczasowy dyrektor naczelny należącej do koncernu FIAT firmy COMAU, a więc podstawowego producenta i dostawcy sprzętu robotowego dla FIAT'a. Podjęte próby wprowadzenia realizacji rzeczowego zadania na terenie FSO były bezowocne, m.in. ze względu na przeprowadzane w FSO reorganizacje związane z przejściem tego przedsiębiorstwa przez koncern DAEWOO.

Z konieczności więc zadanie Nr 9 będzie mogło być wykonane w warunkach nie przemysłowych, a laboratoryjnych. Próby laboratoryjne prowadzone są na rzeczywistym detalu z linii pras tłoczni samochodowej (blacha karoseryjna samochodu 126p), a merytoryczny zakres pracy badawczo-rozwojowej nie powinien istotnie zmienić się, ponieważ praktycznie jest mało zależny od lokalizacji badanego robota. Również planowane w projekcie celowym nakłady nie powinny znacząco się zmienić, ponieważ w "planie zadaniowo-finansowym prac badawczo-rozwojowych..." nie zakładano środków na instalację przemysłową robota".

Ponieważ rzeczony raport został przez KBN zaakceptowany, niniejsza praca została wykonana w zakresie zgodnym z powyższym wnioskiem.

2. Zakres pracy.

2.1. Założenia.

Dla niniejszej pracy przyjęto te same podstawowe założenia, jak dla wykonania testów i badań robota pracującego w linii pras w tłoczni Zakładu Nr 2 FIAT-AUTO Poland w Tychach, bazując na znanych parametrach linii pras 300T, a mianowicie:

- czas cyklu pracy robota: $\leq 8,5$ s,
- odległość pomiędzy obsługiwanymi stanowiskami pras: 5,5 m.

Przyjęto również, że przedmiotem manipulacji robota będzie rzeczywisty element karoseryjny samochodu 126p - pokrywa bagażnika.

2.2. Stanowisko badawcze.

Stanowisko badawcze składało się z trzech podstawowych jednostek:

- robot RP120BS (tym symbolem oznaczono robota z napędami i sterowaniem firmy BOSCH),
- dwóch stanowisk pobierania i odkładania przez robot w/w pokrywy bagażnika samochodu 126p.

Stanowiska pobierania i odkładania zostały wykonane na bazie dokładnie obrobionych korpusów części manipulacyjnej robota IRb-60, wyposażonych w specjalnie zaprojektowane i wykonane dla badań mechanizmy umożliwiające pozycjonowanie w/w przedmiotu manipulacji.

Oba stanowiska zostały rozmieszczone symetrycznie względem osi globalnego ruchu obrotowego robota.

Robot został wyposażony w specjalnie zaprojektowany i wykonany eżektorowy chwytak podciśnieniowy z trzema "ssawkami", zapewniający utrzymywanie masy > 80 kg przy ciśnieniu zasilania sprężonym powietrzem $> 0,4$ MPa (masa przenoszonej pokrywy bagażnika ok. 10 kg).

Maksymalna masa obciążenia robota (chwytak z uchwyconym detalem) wynosiła ok. 20 kg.

2.3. Cel i zakres testów i badań.

Podstawowym celem badań i testów robota RP120BS było sprawdzenie, w warunkach laboratoryjnych, możliwości jego aplikacji w obsłudze linii pras przy stosunkowo dużych odległościach pomiędzy obsługiwanyymi maszynami i wynikającymi stąd dużymi wymaganiami w zakresie charakterystyki ruchowej robota, niemożliwymi do spełnienia bezpośrednio przez sprzęt robotowy dotychczas użytkowany (IRb60).

Zakres testów i badań obejmował sprawdzenia wpływu możliwych zmian poszczególnych parametrów charakterystyki techniczno-eksploatacyjnej robota na czas cyklu roboczego, z punktu widzenia jego optymalnej minimalizacji, a co najmniej możliwości osiągnięcia wielkości założonej wg p. 2.1.

3. Testy i badania.

3.1. Program użytkowy robota.

Bazowy program użytkowy (zakodowany w jego pamięci pod adresem PRAS.GLL) obejmuje pozycjonowanie w ośmiu punktach jego przestrzeni roboczej, opisanych 30-toma instrukcjami pozycjonowania. Współrzędne punktów pozycjonowania (w układzie współrzędnych robota) zostały zestawione w tabeli 1.

Program bazowy zapewnia w pracy ciągłej przenoszenie jednego detalu pomiędzy dwoma stanowiskami załadowczo-rozładowczymi na przemian, a więc zawiera 4 praktycznie jednakowe cykle pracy robota:

- 1: przenoszenie detalu ze stanowiska 1 do 2,
- 2: cykl pracy bez detalu,
- 3: przenoszenie detalu ze stanowiska 2 do 1,
- 4: cykl pracy bez detalu, zakończony "skokiem" do początku cyklu 1.

Wielokrotność instrukcji pozycjonowania w poszczególnych punktach przestrzeni roboczej zapewniała dostateczną elastyczność programu, umożliwiając istotne dla celów badawczych stosunkowo szybkie modyfikacje trajektorii ruchu robota pomiędzy punktami przestrzeni roboczej, bez konieczności tworzenia dodatkowych programów użytkowych. Jak wynika z tabeli 1, program użytkowy w zakresie pozycjonowania ograniczony jest wyłącznie do ruchów "globalnych" I, II i III osi.

Tabela 1.

Współrzędne punktów pozycjonowania.

Nr punktu w przestrzeni roboczej	Nr punktu pozycjonowania w programie	Współrzędne położenia osi robota [°]					
		I (ϕ)	II (θ)	III (α)	IV (t_z)	V (v)	VI (t)
1	10, 50, 110, 150, 210, 250	-62,90	-15,00	36,00	- 88,20	53,00	- 5,80
2	20, 120, 220	-62,90	35,00	56,00	"	"	"
3	30, 130, 230	-62,90	37,35	58,60	"	"	"
4	40, 140, 220	-62,90	32,50	52,00	"	"	"
5	60, 100, 160, 200, 260, 300	93,50	-15,00	36,00	"	"	"
6	70, 170, 270	93,50	35,00	56,00	"	"	"
7	80, 180, 280	93,50	37,35	58,60	"	"	"
8	90, 190, 290	93,50	32,50	52,00	"	"	"

Punkty przestrzeni roboczej 3 i 7 wyznaczają miejsca pobrania i odłożenia przenoszonego detalu, przy czym po instrukcjach pozycjonowania 30 i 180 następowało uchwycenie detalu, a po instrukcjach pozycjonowania 80 i 230 następowało puszczenie detalu.

M

3.2. Wybór parametrów pracy robota.

System sterowania RHO3 umożliwia dokonanie doboru, z szerokiego zakresu, parametrów ruchu odpowiednich dla programu określonego przez użytkownika realizującego konkretne zadanie aplikacyjne. Dalej opisano najbardziej istotne dla realizacji niniejszej pracy te parametry oraz ich konkretny wybór.

Parametry te oznaczone są literą P z trzycyfrową liczbą.

3.2.1. Maksymalne prędkości ruchów poszczególnych osi robota (P103).

Maksymalne prędkości osi robota ustawiono zgodnie z jego założeniami konstrukcyjnymi i przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2.

Oś robota	Nastawiona prędkość maksymalna (P103) [°/s]	Odpowiadająca prędkość maksymalna silnika [min ⁻¹]
I (φ)	95,5	2850
II (θ)	113,8	4800
III (α)	114,3	4800
IV (v _z)	176,5	3500
V (t)	162,0	2400
VI (v)	90,0	3000

Dla osi II i III nie ma liniowej zależności pomiędzy prędkością osi a prędkością silnika. Przyjęto tutaj średnie przełożenie $i=223$ (w położeniach krańcowych przełożenie to wynosi $223 \pm 17\%$).

W przyjętym cyklu pracy robota istotne są prędkości osiągnięte przez jego osie I, II i III. Przy powyższych nastawach (P103) nie osiąga się w tych osiach maksymalnych znamionowych prędkości (n_{zn}) silników napędowych, a mianowicie:

dla osi I: 95 % n_{zn} ,
 " " II: 80 % n_{zn} ,
 " " III: 80 % n_{zn} .

Parametry P103 mogą być w pracy automatycznej robota jednocześnie wszystkie zmieniane przy wykorzystaniu możliwości deklarowania współczynnika VFaktor (zakres 0,01...100%).

3.2.2. Rozruch i hamowanie ruchów poszczególnych osi robota.

Możliwość formowania przebiegu ruchu osi w trakcie realizacji instrukcji pozycjonowania robota ma istotne znaczenie ze względu na:

- 1) możliwość minimalizacji czasu cyklu pracy robota,
- 2) ograniczenia wynikające z wytrzymałości konstrukcyjnej mechaniki manipulatora robota, w tym również mechanizmów napędowych,
- 3) dynamikę obciążenia robota (przenoszonego detalu).

Rzeczywiste przyspieszenia i opóźnienia występujące podczas rozruchu i hamowania osi są wypadkową wpływu wartości zadanych formowanych w układzie sterowania robota, własności konstrukcyjnych poszczególnych osi (oporów mechanicznych ruchu i momentów bezwładności) oraz masy i kształtu i wynikającego stąd również momentu bezwładności obciążenia robota.

Przyspieszenia i opóźnienia ruchu osi robota formowane są metodą odpowiedniego ustawiania zestawu t.zw. parametrów maszynowych w układzie sterowania RH03. Opisane one są poniżej.

3.2.2.1. Wybór kształtu narastania przyspieszenia i opóźnienia (P121).

Parametr P121 umożliwia wybór jednego z dwóch wariantów przebiegu przyspieszenia i opóźnienia ruchu osi robota.

W pierwszym wariantcie zmiana "liniowa" (zwana też "trapezową") powoduje bardzo łagodne rozpoczęcie i zakończenie ruchu. Przebieg prędkości w czasie jest podobny do przebiegu funkcji $\sin^2 t$.

W drugim wariantcie przebieg przyspieszenia i opóźnienia ma charakter "prostokątny". Przebieg prędkości w czasie ma kształt trapezu.

Dla identycznych instrukcji pozycjonowania, czas ruchu wg wariantu pierwszego jest dłuższy. Dla maksymalnego skrócenia cyklu pracy robota wybrano więc wariant drugi.

3.2.2.2. Ustalenie wielkości przyspieszenia i opóźnienia (P104).

Przy pomocy parametru P104 zmienia się nachylenie "trapezowego" przebiegu prędkości (w wybranym wariantcie drugim P121).

W konkretnym przypadku pozostawiono fabrycznie ustawiony parametr na poziomie 9999,99 °/s². Wartość ta dopuszcza generowanie w układzie sterowania robota wartości zadanej prędkości o przebiegu prostokątnym (nachylenie "trapezu" bliskie 90°).

3.2.2.3. Modyfikowanie "trapezowego" narastania prędkości w początkowej fazie ruchu (P105).

Parametr P105 powoduje, że początkowy kształt charakterystyki prędkości ruchu osi ustalony parametrem P104 zmienia skokowo nachylenie od pewnego poziomu prędkości (t.zw. Slope-punkt). Wprowadzona zostaje więc niejako kombinacja dwóch wariantów kształtowania narastania prędkości. Przy ustawieniu "slope-punkt" na poziomie prędkości maksymalnej pozostaje w "czystej" postaci drugi wariant kształtowania przyspieszeń. Przy maksymalnej wartości parametru P104, parametr P105 nie ma znaczenia, więc pozostawiono ustawioną fabrycznie jego wartość na poziomie 30%.

3.2.2.4. Wybór wartości błędu położenia osi robota (P101).

Parametr ten jest ściśle związany ze wzmocnieniem pętli pozycyjnej serwomechanizmu (t.zw. servolag).

W warunkach ustawienia maksymalnej wartości parametru P104, wybór błędu położenia decyduje o rzeczywistym nachyleniu charakterystyki prędkości ruchu osi, czyli bezpośrednio wpływa decydująco na wielkości przyspieszeń podczas rozruchu i hamowania. Inaczej mówiąc, zmniejszanie wartości błędów położenia osi prowadzi do skracania cyklu pracy robota, zwiększając jego dynamikę.

Parametr P101 był ustawiony fabrycznie na poziomie 66° dla wszystkich osi. W pierwszej fazie badań został zmniejszony dla osi I (ϕ) do poziomu 33° . W drugiej fazie badań zmieniono wartości błędów położenia dla pozostałych osi robota.

Zestawienie ostatecznych wartości błędów położenia osi robota przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3.

Oś robota	Błąd położenia osi (P101) [°]
I (ϕ)	33
II (θ)	33
III (α)	33
IV (v_a)	25
V (t)	25
VI (v)	20

3.2.2.5. Wybór wielkości strefy zerowej (P201).

Wielkość tego parametru wpływa na czas cyklu pracy z pozycjonowaniem "dokładnym". Po dojściu osi robota do granicy strefy zerowej generowany jest w układzie sterowania sygnał INFOS, umożliwiający rozpoczęcie wykonywania następnej instrukcji programu użytkowego. Wraz ze zmniejszeniem strefy zerowej zmniejsza się prędkość dochodzenia osi robota do zaprogramowanego dokładnie punktu pozycjonowania, ponieważ szybko malejący uchyb błędu położenia osi wywołuje odpowiednie spowolnienie pracy serwomechanizmu napędowego.

Z drugiej strony zbyt duża strefa zerowa powoduje znaczącą różnicę między położeniem zaprogramowanym w procedurze "uczenia" robota a osiągniętym w pracy automatycznej (podczas realizacji programu). W praktyce zbyt duża strefa zerowa uniemożliwia realizację programu w zakresie instrukcji pozycjonowania dokładnego zgodnie z ustalonym w procesie "uczenia" robota poziomem dokładności pozycjonowania. Fabrycznie ustawiona strefa zerowa wynosiła 4° dla wszystkich osi.

Ze względu na wymaganą dokładność pozycjonowania robota w obsłudze pras zmniejszono strefy zerowe dla poszczególnych osi, ustalając wartości bliskie minimalnym, co ilustruje tabela 4.

Tabela 4.

Zadana wartość strefy zerowej (P201) [°]	Osie robota					
	I	II	III	IV	V	VI
0,05	-	-	-	-	-	+
0,10	+	+	-	-	-	
0,15			-	-	-	
0,20			+	+	-	
0,25					+	

Znak "-" oznacza, że przy zadanej wartości strefy zerowej nie można było uzyskać synchronizacji danej osi robota, a więc w tych przypadkach wartość zadana strefy zerowej była za mała.

Próbowano w trakcie badań również sprawdzić możliwość "zróżnicowania" strefy zerowej w odniesieniu do poszczególnych osi robota, metodą stosowania instrukcji pozycjonowania "zgrubnego" z ustawionym bezpośrednio za nią "czasem czekania". Metoda ta nie jest w pełni zadowalająca przy dużych prędkościach ruchu ze względu na wymaganą powtarzalność pozycjonowania i z tego względu nie można jej ogólnie zalecać, chociaż w przypadkach szczególnych w aplikacjach innego typu może być stosowana.

3.3. Wybór wielkości "kroku inkrementalnego" w pozycjonowaniu w pracy ręcznej i przy "uczeniu" robota (P116).

Fabrycznie ustawiona wartość tego parametru: 4° okazała się nieprzydatna dla pozycjonowania chwytaka robota w punktach chwytania i zwalniania detalu, ze względu na zbyt duże różnice między współrzędnymi punktów zaprogramowanych w procedurze "uczenia" robota a osiągniętymi podczas odtwarzania programu w pracy automatycznej. Różnica ta np. dla III osi robota wynosiła ok. 17 mm., co uniemożliwiało praktycznie właściwą pracę automatyczną robota mimo dokładnego ustalenia właściwych współrzędnych w pracy ręcznej podczas programowania ("uczenia"). Parametr ten ustawiono na poziomie $0,01^\circ$, równym dokładności współrzędnych położenia osi robota wykazywanych na wyświetlaczu panelu programowania po zatrzymaniu pracy automatycznej przyciskiem "STOP" (programu).

4. Osiągnięte rezultaty badań.

4.1. Uwagi ogólne.

Wykonano szereg prób optymalizacji, stosownie do wymagań wg p.2.1., procesu przenoszenia blachy karoseryjnej samochodu 126p (pokrywa bagażnika) pomiędzy dwoma stanowiskami zdawczo-odbiorczymi, symulującego rzeczywistą obsługę pras.

Poza operowaniem wymienionymi w p. 3 "parametrami maszynowymi", wykonano badania wpływu innych czynników dostępnych dla użytkownika robota z układem sterowania RHO3, jak:

- a) zmiany przyspieszenia i opóźnienia ruchu przy pomocy współczynników deklarowanych w programie użytkowym: AFACTOR i DFACTOR),
- b) zmiany wzmocnienia pętli prędkościowej sterownika II (Θ) osi robota (doświadczenia aplikacyjne z robotami IRb60 o podobnej, przegubowej strukturze konstrukcyjnej mechanizmów ruchów globalnych robota wykazywały najsilniejszy wpływ dynamiki tej osi na czas cyklu pracy automatycznej przy obsłudze linii pras),
- c) zmiany trajektorii ruchu robota pomiędzy obsługiwanymi stanowiskami (zmiany instrukcji pozycjonowania).

Kryterium optymalizacji było uzyskanie możliwie najkrótszego cyklu pracy robota, a przynajmniej spełnienie założenia z p. 2.1.

Wpływ zmian poszczególnych w/w parametrów na zmiany cyklu pracy automatycznej robota sprawdzano rejestrując przebiegi rzeczywistych ruchów jego osi, a konkretnie przebiegi prędkości obrotowych silników serwomechanizmów napędowych tych osi w funkcji czasu.

Przebiegi te zilustrowano na 11-tu wykresach.

4.2. Omówienie wyników badań.

4.2.1. Oznaczenia użyte na wykresach.

- ω_{max} - maksymalna zaprogramowana prędkość w danym punkcie wykresu,
 ω - rzeczywista prędkość w danym punkcie wykresu (obroty silnika, prędkości osi w rad/s i $^{\circ}$ /s),
 k_{rv} - stała rejestratora [V/cm],
 k_{rt} - stała rejestratora [s/cm],
 p - ciśnienie sprężonego powietrza w układzie odciążenia robota
 T_{11} - czas rozruchu osi I,
 T_{12} - " " " II,
 T_{13} - " " " III,
 T_p - czas pozycjonowania osi,
 T_{p1} - " " " dokładnego do punktu bezpośrednio przed stanowiskiem pobrania detalu,

T_{p2} - czas pozycjonowania dokładnego do punktu pobrania detalu,
 T_c - czas cyklu pracy robota.

4.2.2. Komentarze do wykresów.

a) Wykresy Nr 1 i Nr 2.

Przebiegi prędkości osi I i II uzyskano w cyklu pracy "symetrycznym", po zmniejszeniu strefy zerowej do wartości wg p. 3.2.2.5. W programie zastosowano pozycjonowanie "dokładne" dla punktów bezpośrednio przed stanowiskami pobrania i odłożenia detalu oraz w punktach jego pobrania i odłożenia. Po instrukcjach "załączenia" i "wyłączenia" chwytaka zaprogramowano "czasy czekania" 2 s. Pozostałe instrukcje pozycjonowania zaprogramowano "zgrubnie".

Wykres Nr 1 - skala czasu rejestracji 2,5 cm/s,

" Nr 2 - " " " 0,5 cm/s.

Instrukcje ruchów pozycjonowania osi I i II przebiegają sekwencyjnie (w programie ruchy tych osi nie nakładają się), w rzeczywistości jednak na skutek istnienia "błędów położenia osi" ruch jest częściowo złożony.

Łączny czas wykonania wszystkich instrukcji pozycjonowania (t. zn. bez instrukcji "czekania") w cyklu wynosi ok. 16 s. Wynika stąd, że łączny czas instrukcji pozycjonowania "dokładnego" stanowi ok. 66 % czasu całego cyklu pracy.

b) Wykresy Nr 3 i Nr 4.

Wykresy te, w porównaniu do wykresów Nr 1 i Nr 2, ilustrują wpływ na czas cyklu pracy zmian instrukcji pozycjonowania z "dokładnych" na "zgrubne" z "czasami czekania" 2 s, ustalającymi dochodzenie do wymaganej w tych punktach strefy zerowej (patrz p. 3.2.2.5).

Czas cyklu pracy robota został zmniejszony do ok. 10 s.

Rozwiązanie to nie zostało uznane za zadowalające, ze względu na możliwość występowania niedostatecznej powtarzalności pozycjonowania robota, na skutek istotnego wpływu na rzeczywistą wartość stosunkowo dużej "strefy zerowej" w pozycjonowaniu zgrubnym zbyt wielu niezależnych czynników zewnętrznych, np. chwilowe zmiany oprów ruchu przy

przemieszczaniu detalu o dużej powierzchni, temperatury otoczenia itp.

c) Wykres Nr 5.

Wykres przedstawia przebiegi ruchów osi I i II w warunkach identycznych, jak w p. a), ale przy zmniejszeniu współczynnika DFACTOR do poziomu 0,005. Dało to wartość opóźnienia $\epsilon = 9999,99 \times 0,005 \approx 50$ [$^\circ/s^2$] i zmieniło przebieg prędkości z "prostokątnego" na "trapezowy". W efekcie czas cyklu zwiększył się o ok. 2,6 s, t.j. o ok. 14 % w stosunku do czasu przy maksymalnej wartości nastawy DFACTOR.

d) Wykresy Nr 6 i Nr 7.

Wykresy przedstawiają przebiegi prędkości osi robota po modyfikacji programu użytkowego, polegającej na zastąpieniu sekwencyjnie zaprogramowanych ruchów przemieszczenia robota pomiędzy dwoma stanowiskami pobrania/odłożenia detalu ruchem złożonym, przez współbieżne pozycjonowanie w tej fazie programu wszystkich osi ruchu globalnego robota. Zmianę powyższą wprowadzono w pierwszej połowie programu użytkowego, obejmującej przemieszczanie detalu od stanowiska 1 do stanowiska 2, pozostawiając bez zmian drugą połowę programu obejmującą czynność odrotną. Teoretyczny przebieg ruchów osi robota wg tak zmodyfikowanego programu przedstawiono schematycznie na rys. 1. Skrócenie czasu cyklu pracy robota osiągnięte tą metodą okazało się niewielkie, rzędu 1 s (różnica pomiędzy czasami T_{c1} i T_{c2} na wykresie Nr 7).

e) Wykres Nr 8.

Wykres przedstawia prędkości ruchów osi II i III w warunkach opisanych w p. d) w odniesieniu do pierwszej części programu użytkowego. Ruchy tych osi są współbieżne i wzajemnie zależne. Prędkość przemieszczenia wyznacza ta oś, która ma większą drogę do pokonania. Obie osie zaczynają i kończą ruch w tym samym czasie.

f) Wykres Nr 9.

Wykres przedstawia stan osiągnięty po zmniejszeniu parametru P101 t.j. zmniejszeniu błędu położenia (patrz p. 3.2.2.4.) dla II osi z 66° do 33° , co jest jednoznaczne z powiększeniem dla tej osi wzmocnienia pętli pozycyjnej serwomechanizmu napędowego.

Zabieg ten spowodował znaczne skrócenie czasu pozycjonowania "dokładnego" tej osi przez powiększenie prędkości maksymalnej oraz przyspieszeń podczas rozruchu i przede wszystkim hamowania. Osiągnięto dzięki temu skrócenie czasu cyklu pracy robota o ok. 4,4 s.

Nie zauważono natomiast istotnego wpływu tej zmiany na współbieżny ruch osi III.

g) Wykres Nr 10.

Wykres przedstawia przebiegi prędkości ruchów osi II i III wg programu identycznego, jak dla p. f), ale ze zmianą parametru P101 dla III osi identyczną, jak dla osi II. Spowodowało to, podobnie jak w przypadku poprzednim, zmianę parametrów prędkościowych III osi, a czas cyklu pracy robota skrócił się jeszcze o 1 s, osiągając poziom 10,4 s.

h) Wykres Nr 11.

Wszystkie badania zilustrowane wykresami 1-10 prowadzone były wg programu użytkowego robota, w którym przemieszczenia pomiędzy punktami przestrzeni roboczej (patrz tab. 1 w p. 3.1) 2 i 3 oraz 6 i 7 zaprogramowane były z prędkością $V_{PTF}=50\%$, natomiast wszystkie pozostałe ruchy z prędkością $V_{PTF}=100\%$. Ponadto po instrukcjach "chwywania" i "puszczania" detalu, a więc po osiągnięciu punktów 3 i 7 w przestrzeni roboczej, programowane były "czasy czekania" 2 s.

Wykres Nr 11 ilustruje przebiegi prędkości osi II i III, których przemieszczenia mają największy wpływ na długość czasu cyklu pracy robota, po wyeliminowaniu z programu czasów czekania oraz zrównaniu do $V_{PTF}=100\%$ zadanej programowej prędkości dla wszystkich instrukcji pozycjonowania.

Czas cyklu pracy robota zmniejszył się do 8,5 s.

Dodatkowo wykonano próbę wg tego samego programu, ale ze zmniejszonym o 8° zakresem ruchu osi II przy ruchu do punktów 1 i 5 przestrzeni roboczej (współrzędna II osi -7° zamiast dotychczas -15° , patrz tab. 1 w p.3.1). Osiągnięto dalsze skrócenie czasu cyklu pracy robota, do ok. 8,2 s.

Na tym badania zakończono.

5. Wnioski.

5.1. Wpływ wprowadzanych zmian różnych parametrów na dynamikę pracy robota był również bardzo zróżnicowany:

- zmiany parametrów AFACTOR i DFACTOR w warunkach maksymalnej nastawy parametru P101 (9999,99) wpływają na kształtowanie przebiegu ruchu praktycznie od wartości poniżej 0,01, wydłużając odpowiednio czasy rozruchu i hamowania, a tym samym wydłużając czas cyklu pracy.
- zmiany wzmocnienia pętli prędkościowej nie mają istotnego wpływu na przebieg cyklu, wpływają natomiast na stabilność pracy serwomechanizmu. Stabilność tę w badanych warunkach obciążenia i przy ostatecznych nastawach parametrów użytkowych, należy uznać za bardzo dobrą.
- badane zmiany trajektorii ruchu robota (zastąpienie cyklu sekwencyjnego ruchów globalnych ruchem złożonym I, II i III osi) nie mają istotnego wpływu na długość cyklu pracy robota. W badaniu, w warunkach przed zmianą wartości błędu położenia osi II i III (parametr P101), oszczędność czasu trwania cyklu pracy robota z tytułu zmiany trajektorii ruchu wyniosła ok. 1 s w cyklu ok. 16 s.
Po zmianie (zmniejszeniu) parametrów P101 dla II i III osi nie zauważono istotnej różnicy pomiędzy czasami trwania obu wersji programowych cyklu pracy robota.

5.2. Próby optymalizacji programu użytkowego przy użyciu panelu programowania są bardzo pracochłonne, a dodatkowym utrudnieniem jest bardzo mały obszar widoczności (okno) wyświetlacza.

Ułożenie i przede wszystkim realizacja rozsądnego planu optymalizacji programu przy pomocy tego panelu jest złożone i stwarza dużą liczbę sytuacji umożliwiających popełnianie błędów obsługi. Do tego rodzaju prac i analiz należy uznać za niezbędne użycie bardziej efektywnego narzędzia programowania robota, t. zn. komputera.

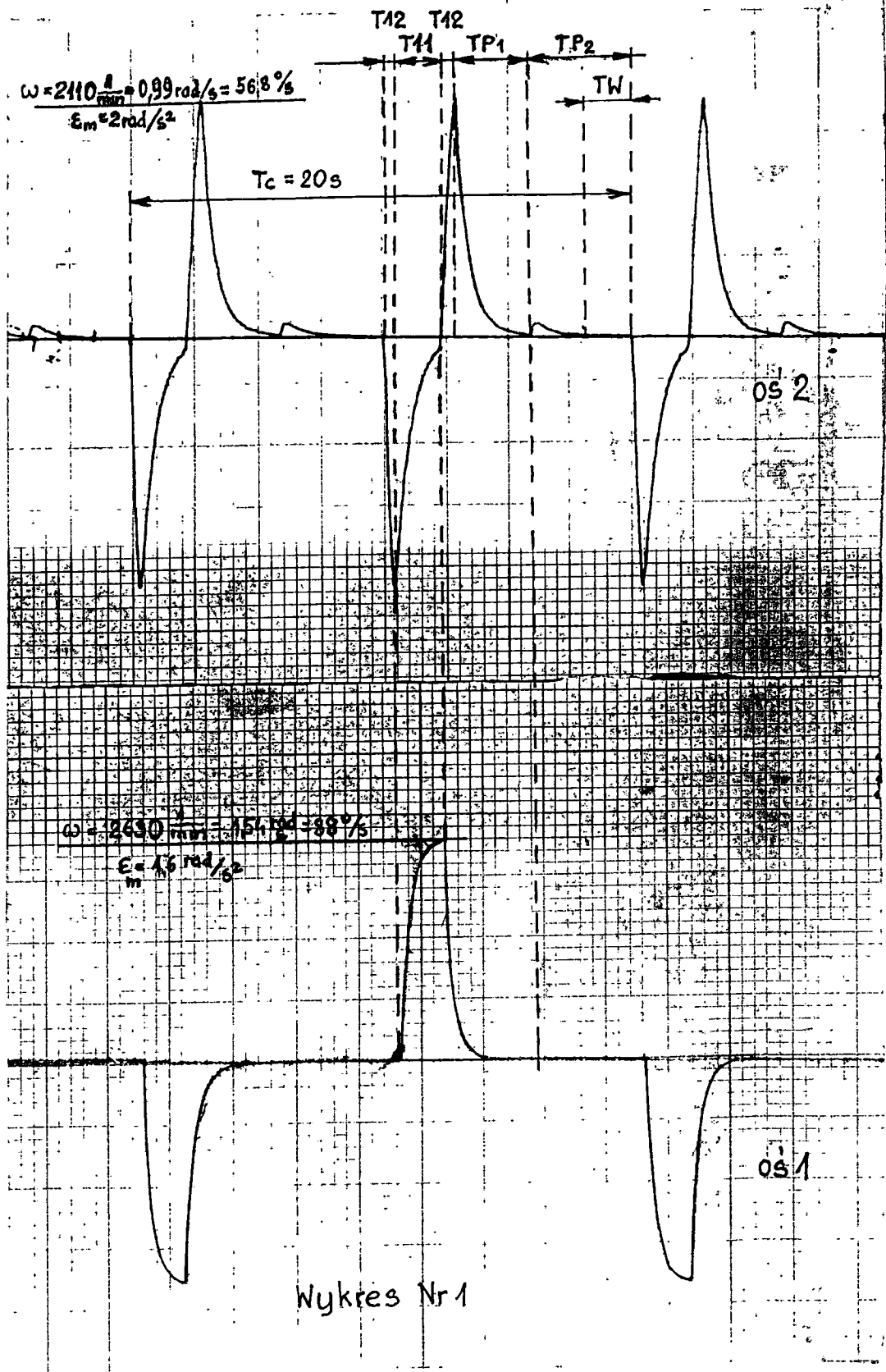
5.3. W wyniku poczynienia szeregu zmian i modyfikacji parametrów maszynowych robota oraz parametrów deklarowanych w programie użytkowym uzyskano zadowalający wynik pracy.

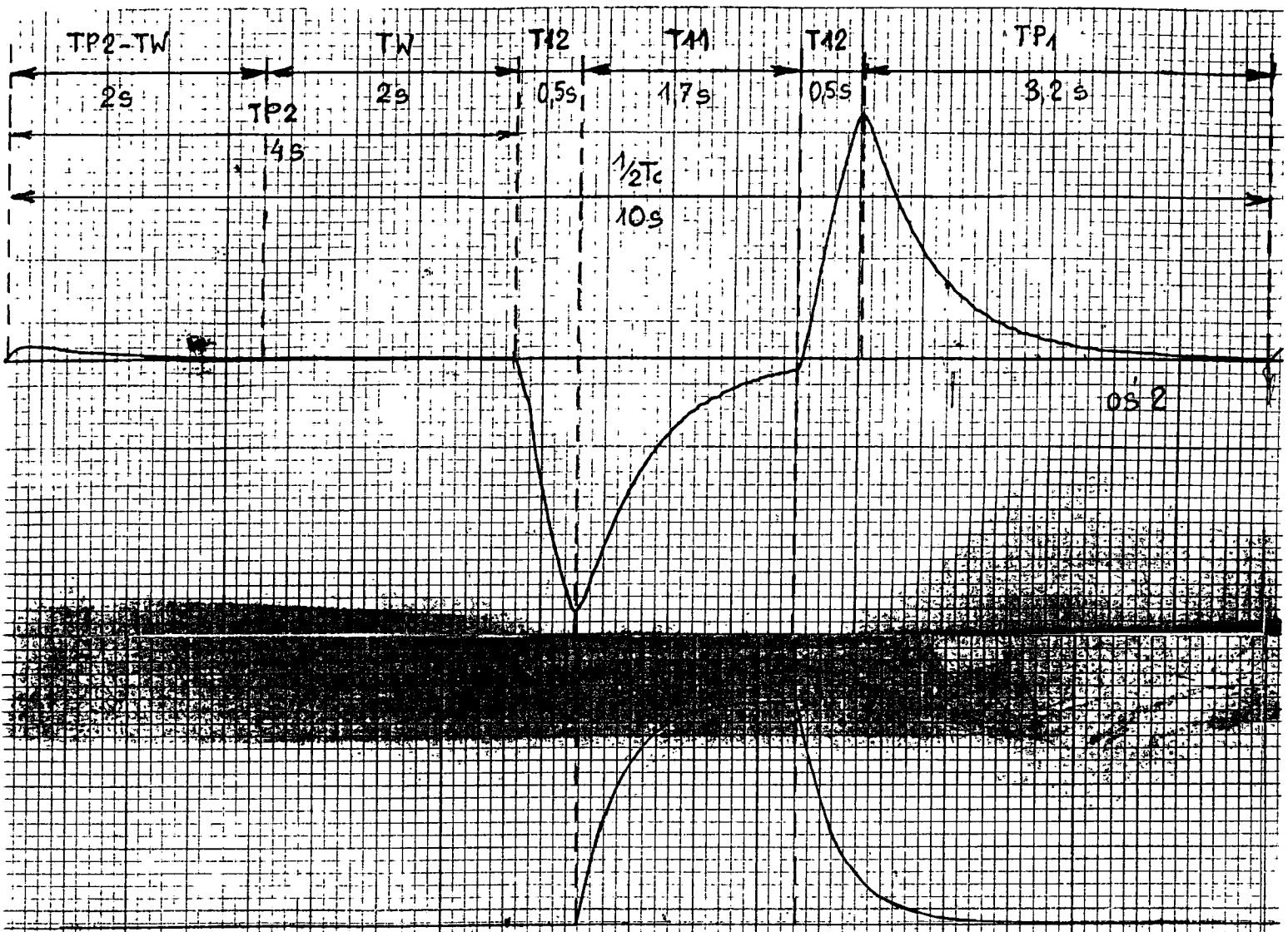
5.4. Istnieje możliwość dalszego skrócenia czasu trwania cyklu pracy robota przy obsłudze pras, a mianowicie:

- ograniczenie pozycjonowania robota do czterech punktów w przestrzeni roboczej, a mianowicie punktów 1, 2, 5 i 6 wg tabeli 1 (p.3.1), z prędkością $V_{PTP} = 100\%$ dla wszystkich instrukcji pozycjonowania, z pozycjonowaniem "dokładnym" w punktach 2 i 6 oraz "zgrubnym" w punktach 1 i 5,
- zastąpienie ruchów robota do pozycji "chwycenia" i "puszczenia" detalu ruchem lokalnym mechanizmu chwytaka,
- wyposażenie chwytaka w czujniki podciśnienia i zastąpienie subiektywnie wyznaczanych w programie "czasów czekania" instrukcjami "czekania warunkowego".

Przy zastosowaniu powyższych modyfikacji można oczekiwać skrócenia pełnego czasu cyklu pracy robota do ≤ 8 s.

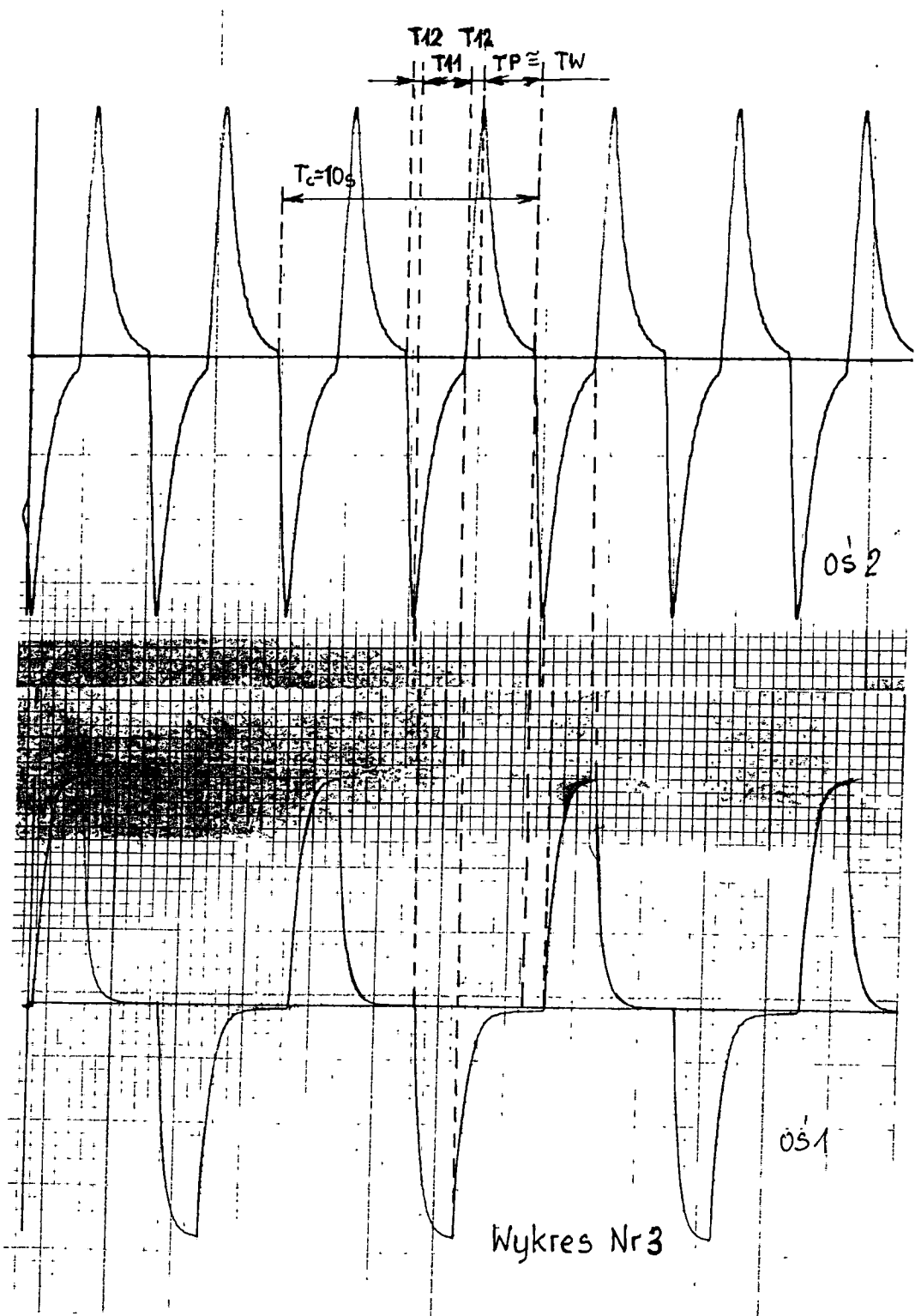
5.5. Należy założyć, że procedury optymalizacyjne o zakresie podobnym do wykonanego w niniejszej pracy będą niezbędne zwłaszcza w aplikacjach związanych z okresowym w ramach programu pracy robota przenoszeniem dużych obciążeń, a więc w warunkach, kiedy robot pracuje w jednym cyklu zarówno z dużym obciążeniem, jak i nieobciążony.

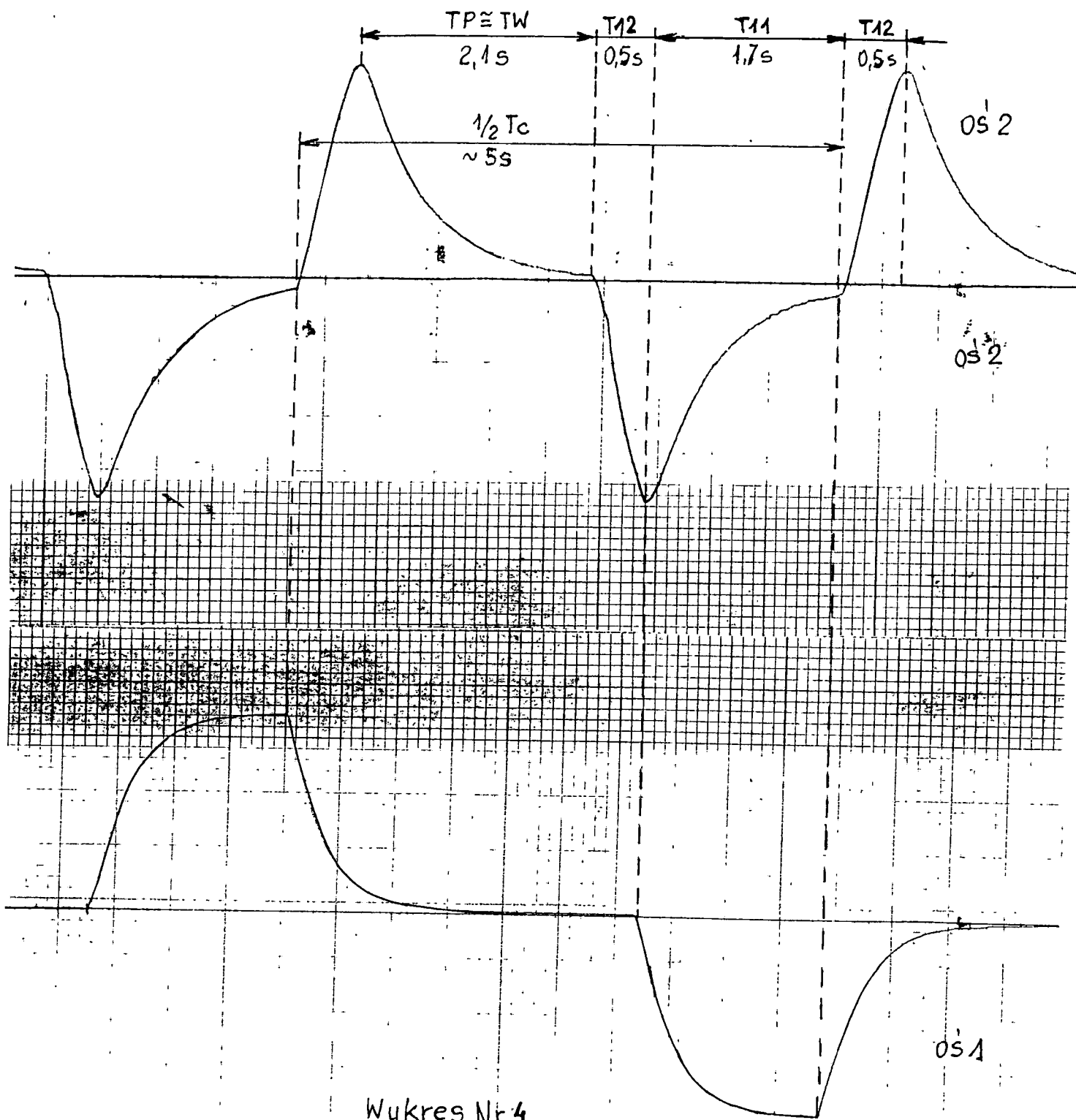




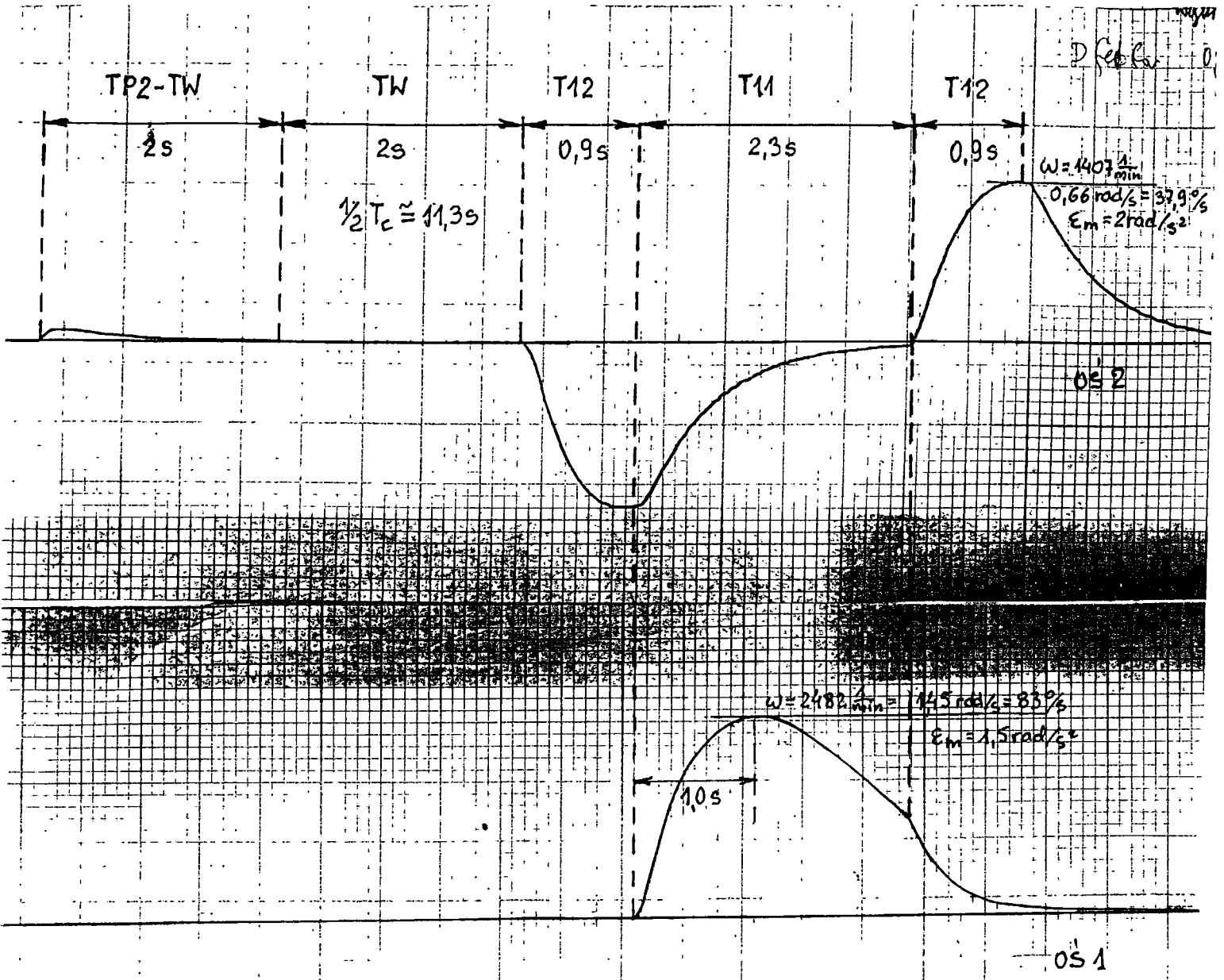
Wykres Nr 2

0.51

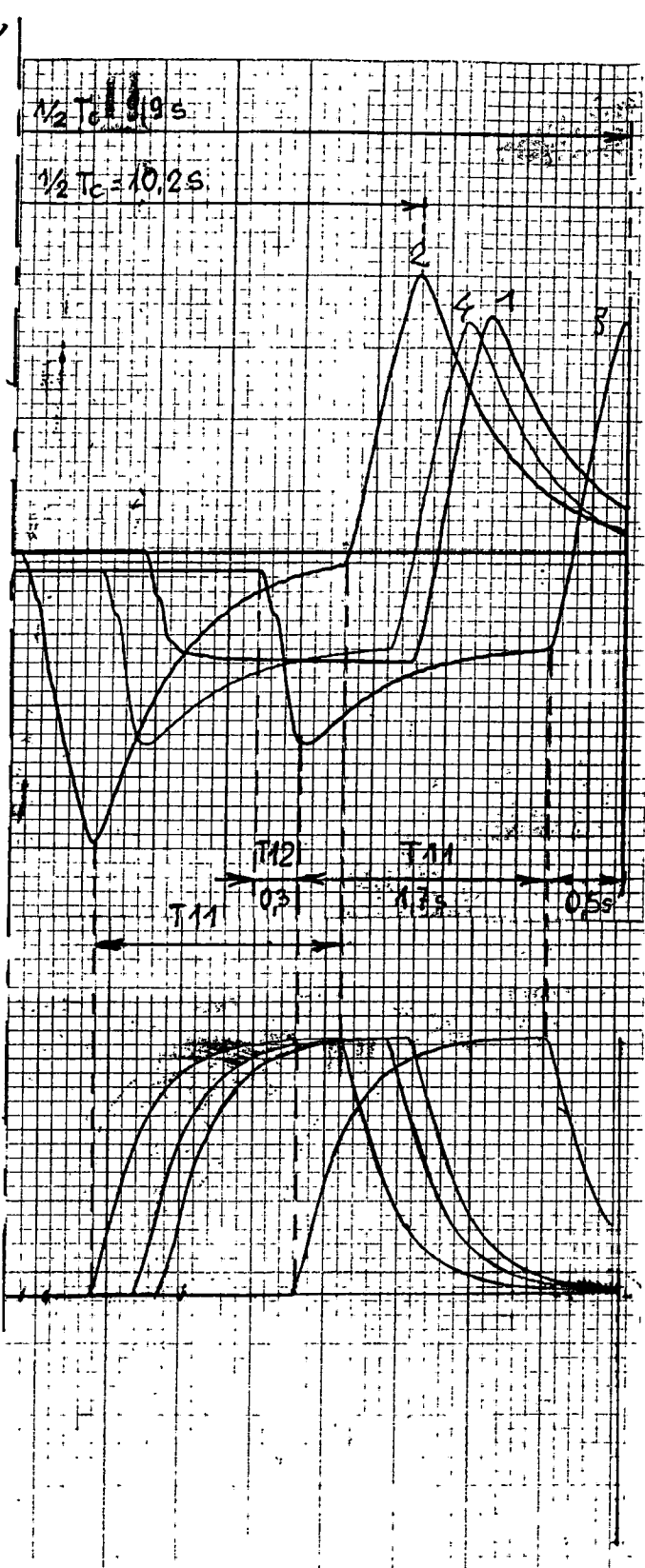
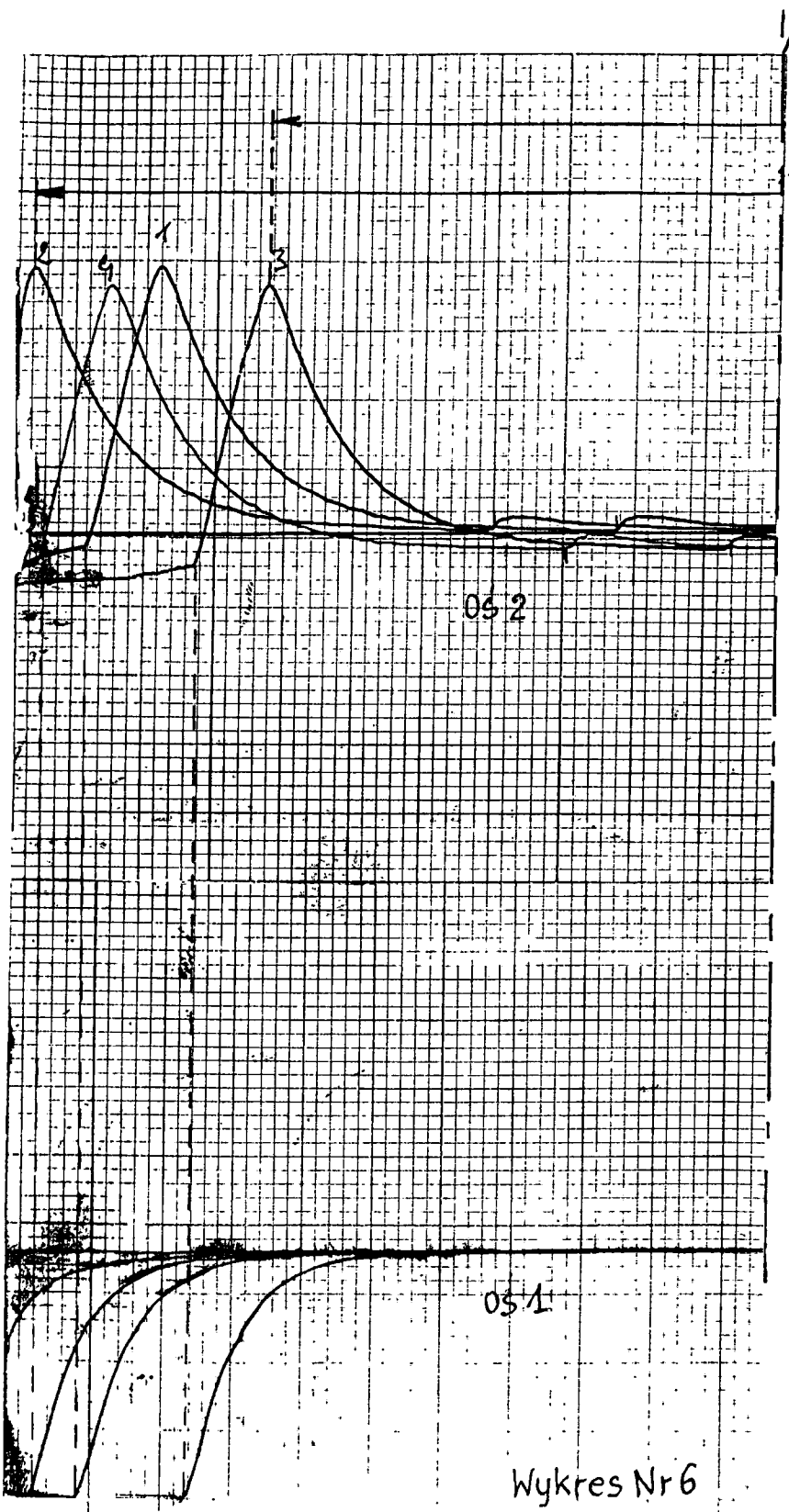




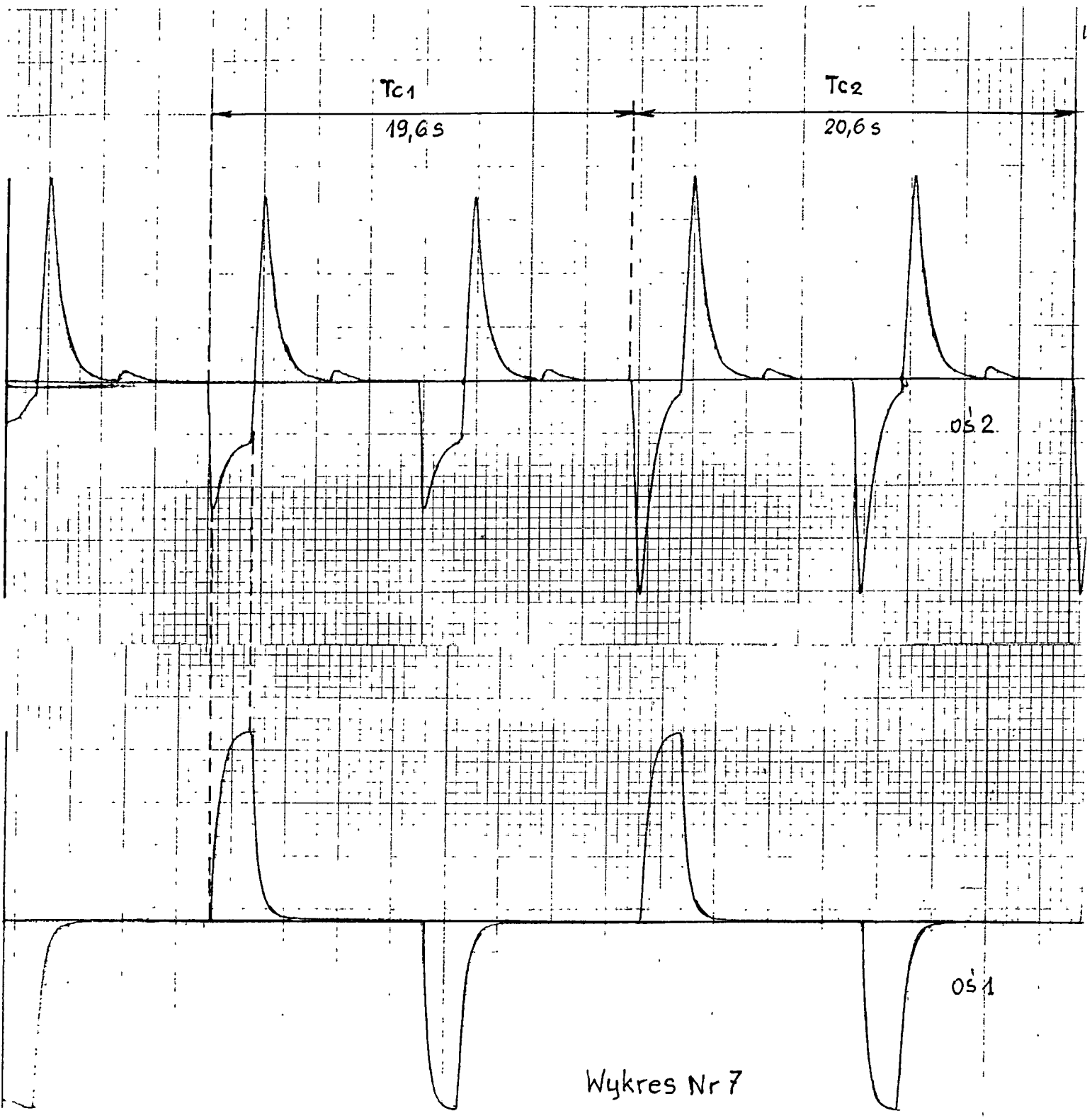
Wykres Nr 4



Wykres Nr 5



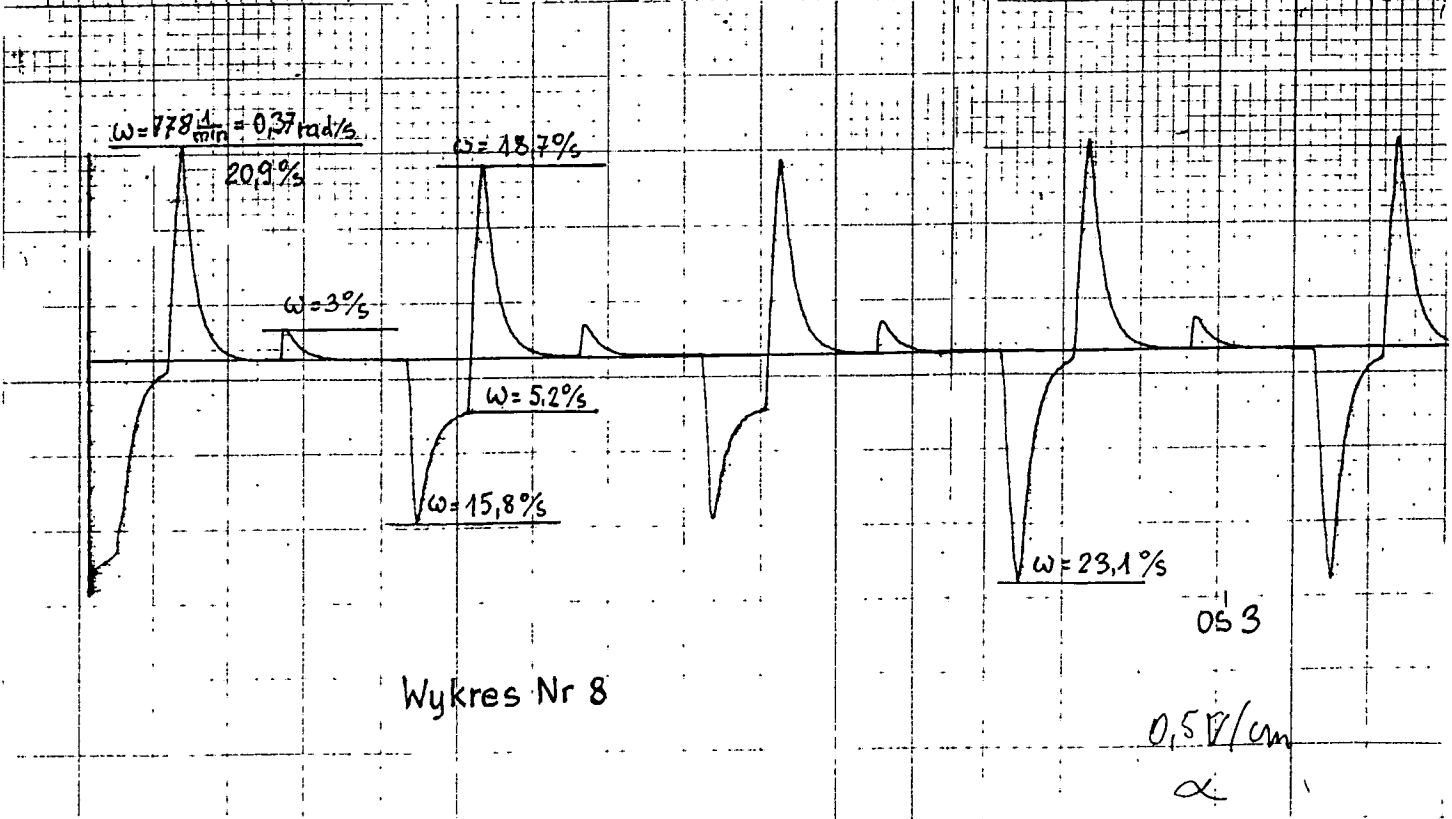
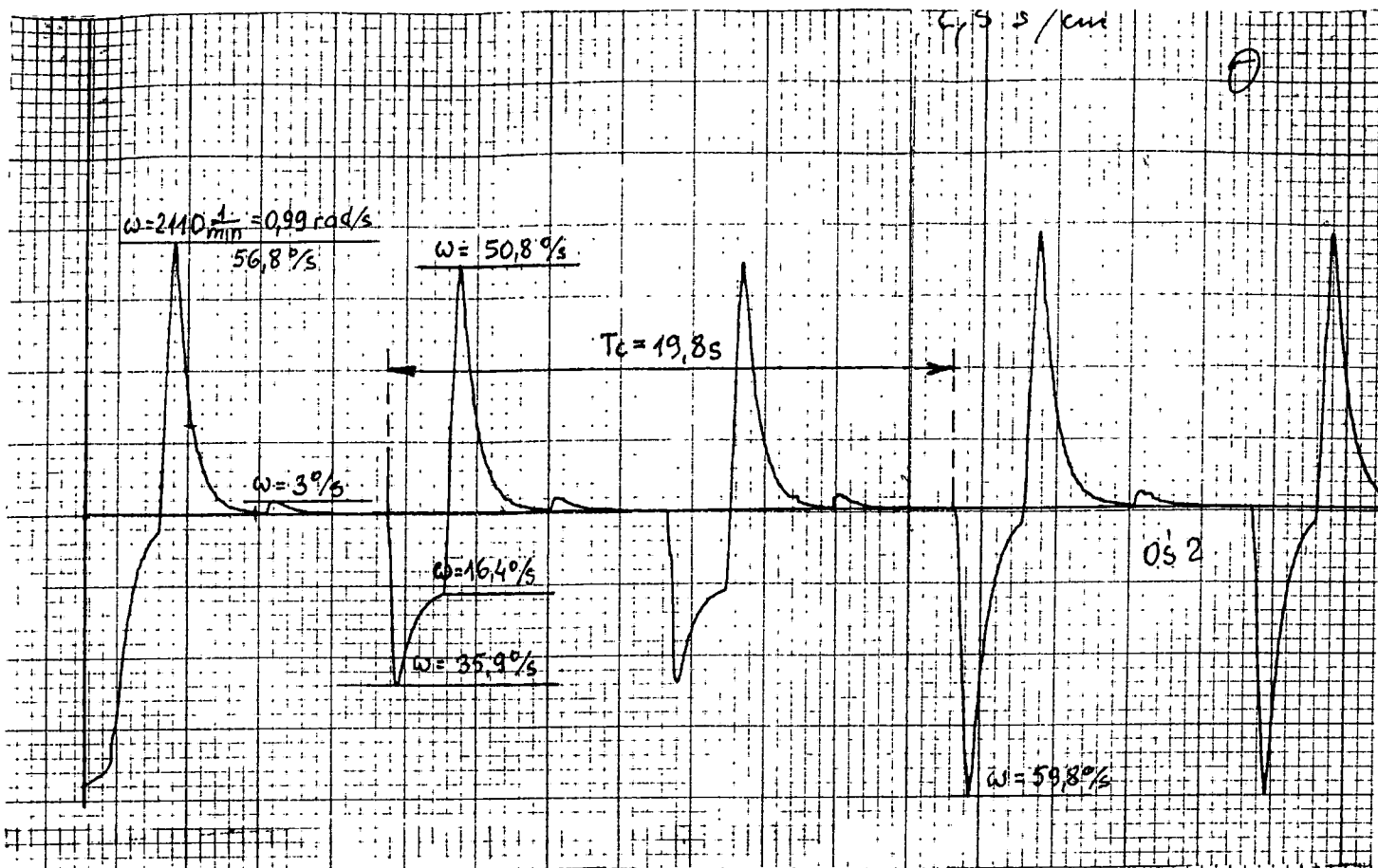
Wykres Nr 6



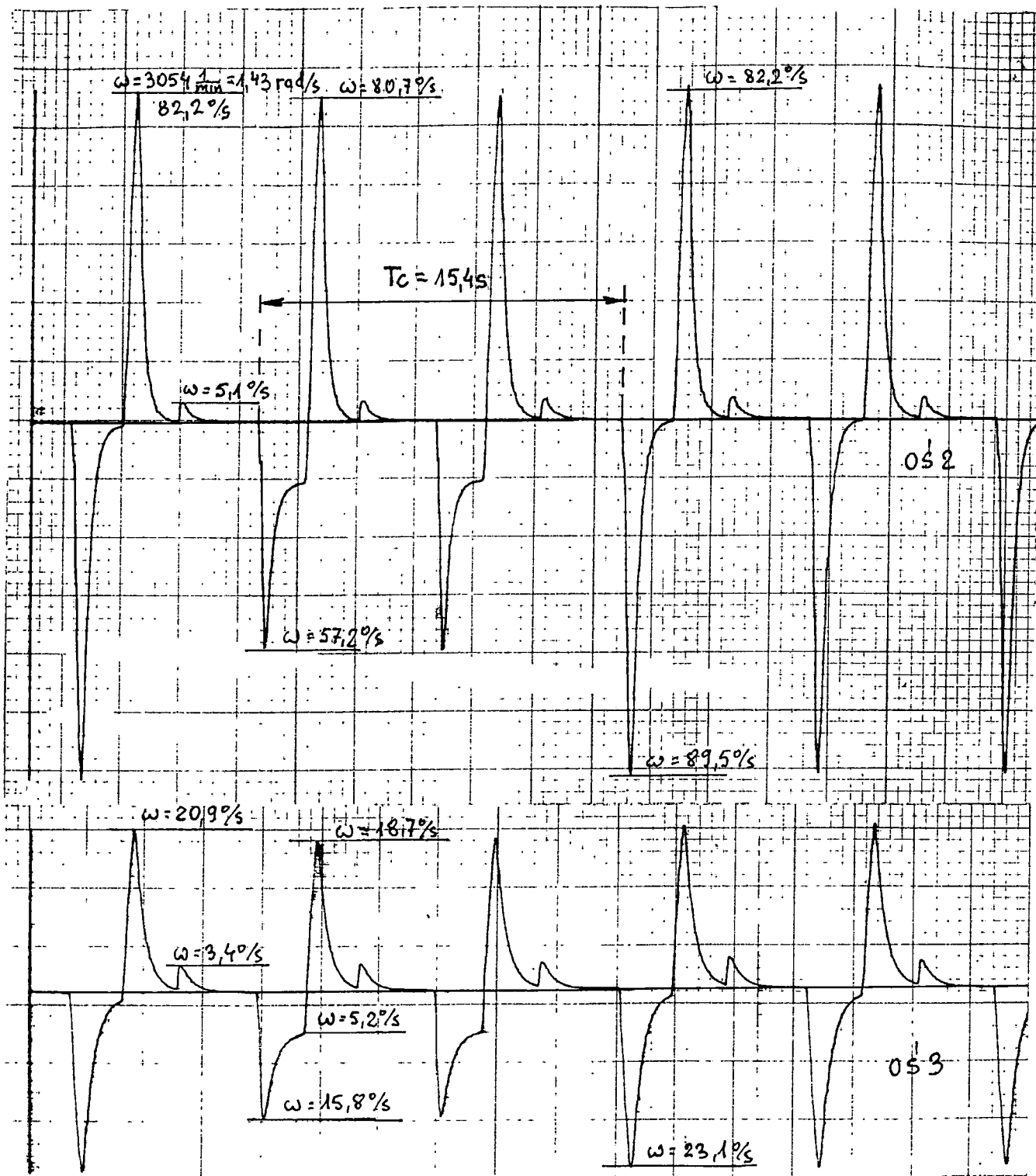
os 2

os 1

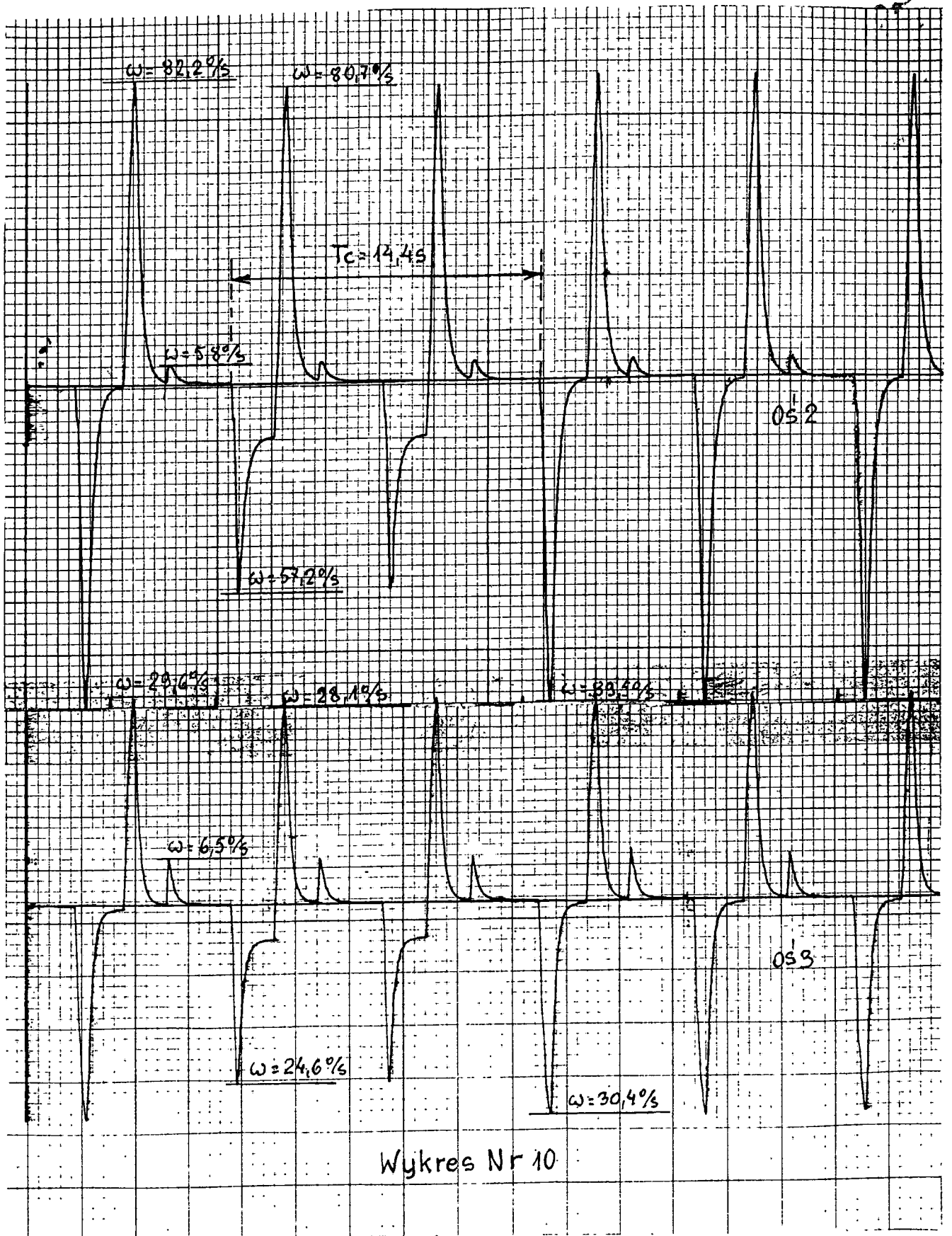
Wykres Nr 7



Wykres Nr 8



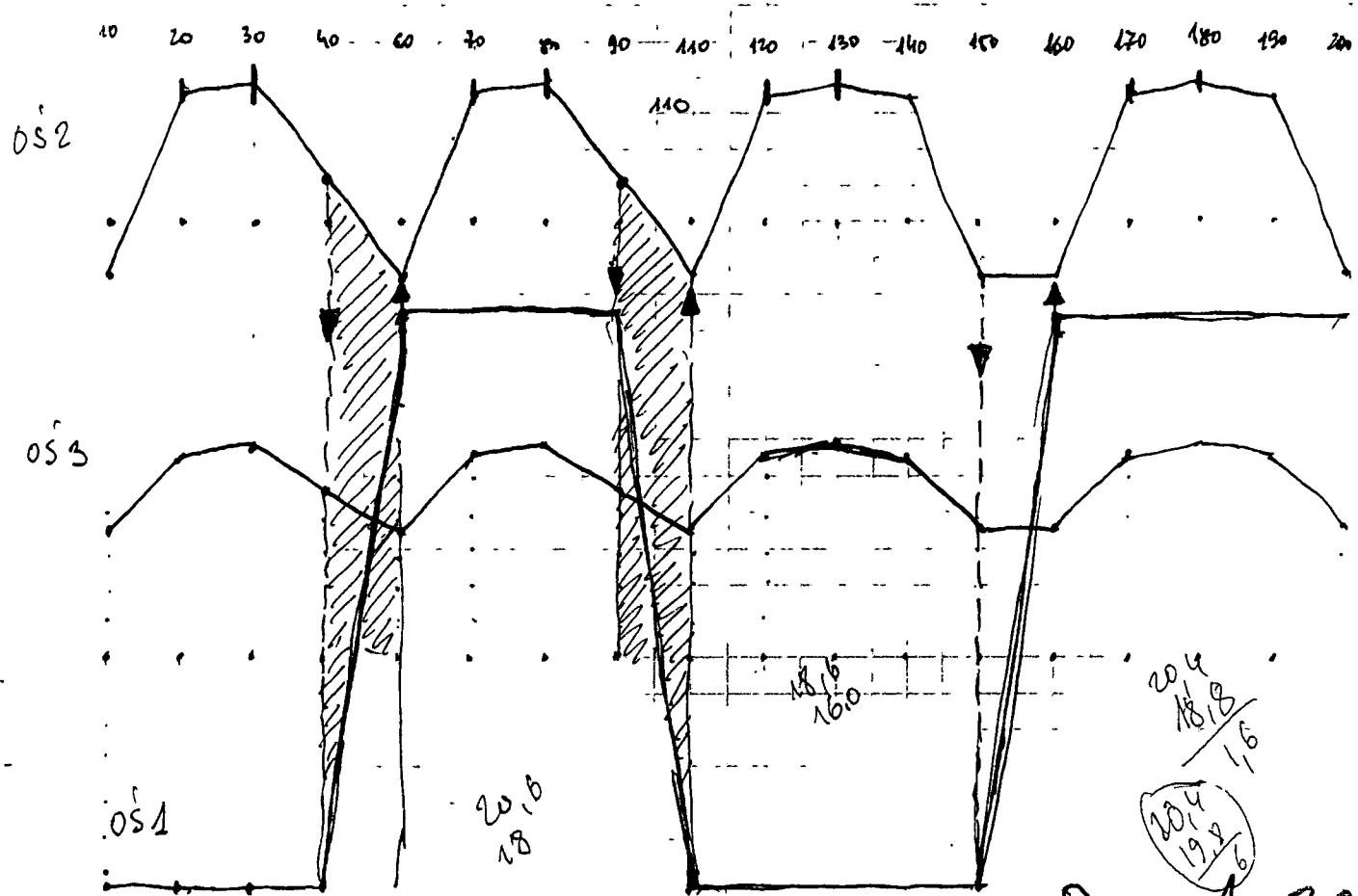
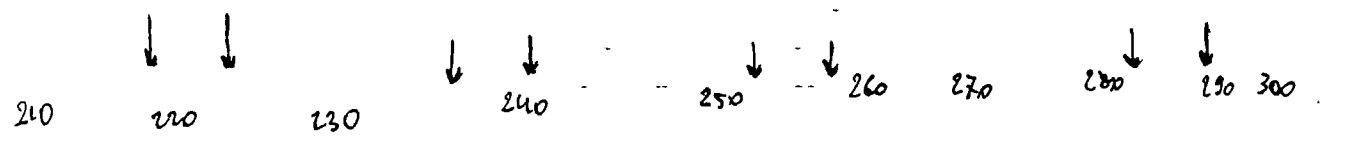
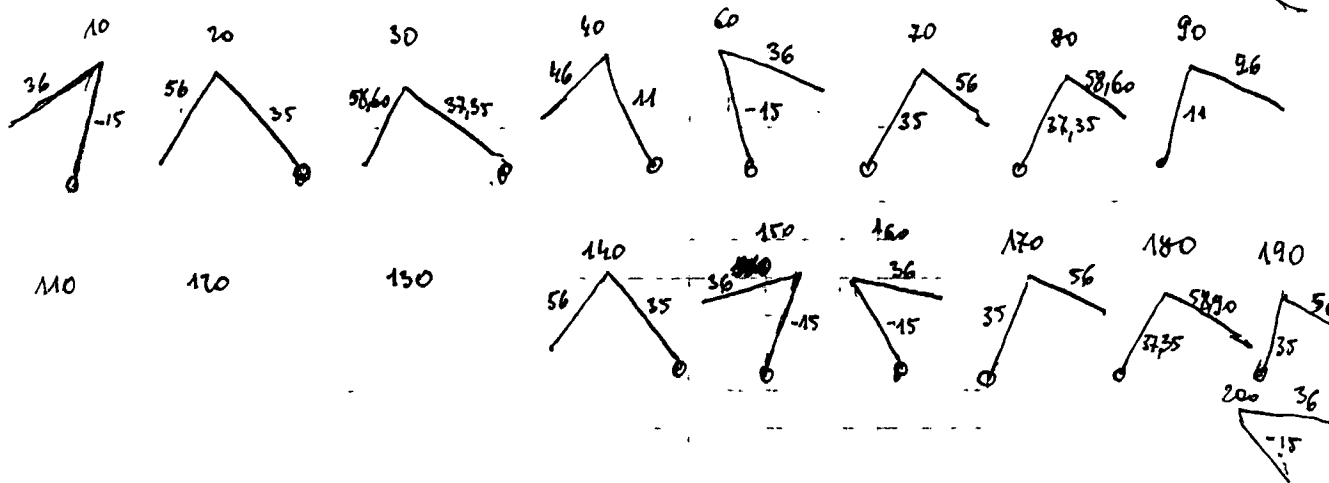
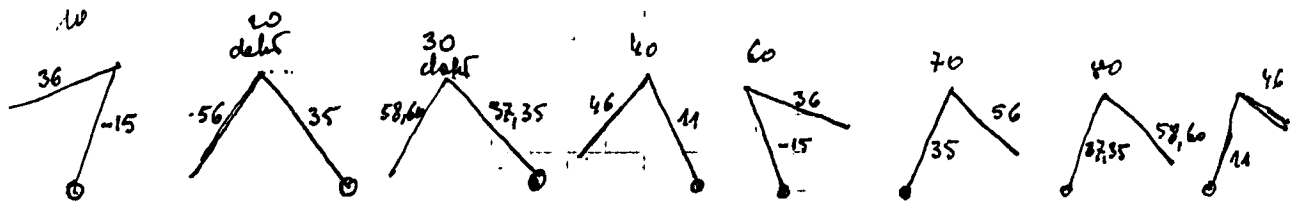
Wykres Nr 9





Wykres Nr 11

Handwritten notes at the top of the page, including a small diagram and some illegible text.



Rys. 1. 36