

442

BE 10

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

Grupa Problemowa d/s Kompatybilności Elektromagnetycznej

Główny wykonawca

Wykonawcy mgr inż. Cz. Godzisz, tech. tech. K. Tekieli, W. Boryna

Konsultant dr inż. K. Żochowski, mgr inż. A. Frydlewicz

Nr zlecenia 5907

Badanie odporności na zakłócenia elektromagnetyczne serwonapędów z silnikami indukcyjnymi (wg PN-86/E-06600).

Zleceniodawca Instytut Elektrotechniki Zakład Elektrycznych Napędów Obrabiarkowych. Warszawa.

Pracę rozpoczęto dnia 90.06.01

zakończono dnia 90.06.30

Kierownik Gr.Pr.

Z-ca Dyrektora
d/s Autom. i Pomiarów

Kierownik OBN

Cz. Godzisz
mgr inż. Cz. Godzisz

T. Gałązka
doc. dr inż. T. Gałązka

St. Budzyński
dr inż. St. Budzyński

Praca zawiera:

stron 24

rysunków 3

fotografii

tabel 7

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 IEL

Egz. 3 OBN

Egz. 4 IEL

Egz. 5

Egz. 6

Nr rejestr. 6461

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE: SERWONAPĘD + SILNIK INDUKCYJNY.
KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA + BADANIA.

Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera wyniki badań zakłócalności serwo-
napędów z silnikami indukcyjnymi o momencie długotrwałym
0,7 Nm i 0,35 Nm oraz 7 Nm przeznaczonych do robotów
przemysłowych. Badania zakłócalności przeprowadzono dla
zakłóceń impulsowych nanosekundowych 5/50 ns, impulsowych
dużej energii 1,2/50 μ s oraz krótkotrwałych zaników
napięcia sieci 3-fazowej, Wg PN-86/E-06600. W oparciu
o wyniki badań sformułowano wnioski dot. poprawy odporności
i zalecenia.

Tytuły poprzednich sprawozdań

nie ma

UKD

PIAP 41/88 10000

338.45 : 62/69].002.1/2
621.376.9.001.5

Robot przemysłowy
Kompatybilność elektromagn.
- badania

2

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Warunki badań
3. Wyniki badań
 - A. Serwonapędu 0,7 Nm
 - B. Serwonapęd 7 Nm
 - C. Serwonapęd 0,35 Nm
4. Wnioski

SPIS RYSUNKÓW

- Rys.1. Połączenia serwonapędu na stanowisku badawczym
- Rys.2. Usytuowanie urządzeń na stanowisku badania serwonapędów 0,7 Nm i 7 Nm
- Rys.3. Usytuowanie urządzeń na stanowisku badania serwonapędu 0,35 Nm

Zbiór 10 przebiegów (XY) tyła w egzemplarzu przekazanym dla zleceniodawcy.

1. Wstęp

Do badań zleceńodawca udostępnił trzy układy serwonapędów z silnikami indukcyjnymi, różniącymi się momentem długotrwałym i układami elektronicznymi (układami sterującymi):

- o momencie 0,7 Nm z układem sterującym opracowanym przez zespół z IEL
- o momencie 7 Nm z układem sterującym jak wyżej
- o momencie 0,35 z układem sterującym opracowanym przez zespół z I.W.

Serwonapędy są przeznaczone do stosowania w robotach przemysłowych typu IRP. Zgodnie z wymaganiami PN-86/E-06600, roboty przemysłowe typu IRP (MERA PLAR) powinny spełniać wymagania oziomów odporności na zakłócenia elektromagnetyczne określone w wykonaniu W2.

W szczególności powinny być odporne na:

- zakłócenia impulsowe nanosekundowe 5/50 ns od strony zasilania sieciowego o poziomie 2 kV (metoda symulacji SN10) i od strony we/wy układu sterującego do manipulatora i obiektu o poziomie 1 kV (metoda symulacji SE10)
- zakłócenia impulsowe dużej energii 1,2/50 μ s (8/20 μ s) od strony obwodu zasilania sieciowego o poziomie 2 kV (metoda symulacji SN30) oraz 1 kV od strony obwodów we/wy układu sterowania przy metodzie symulacji SM30
- krótkotrwałe zaniki napięcia zasilania sieciowego o czasie trwania 10 (20) ms przy zanikach jednofazowych i w trzech fazach jednocześnie (metoda symulacji SS70)
- bezpośrednie wyładowania elektryczności statycznej ESD o poziomie 4 kV (metoda symulacji SE80).

Uzgodniono, że badania odporności serwonapędów obejmą sprawdzenia dla zakłóceń impulsowych nanosekundowych i dużej energii oraz dla krótkotrwałych zaników.

Sprawdzenie odporności na ESD powinno być wykonane dla konkretnego kompletnego robota przemysłowego, gdzie układy sterujące są umieszczone w szafie i ich elementy nie są narażone na bezpośrednie wyładowanie.

Badania zakłócalności przeprowadzono dla serwonapędów 0,7 Nm i 7 Nm.

Serwonapęd 0,35 Nm udostępniony do badań pracował w układzie otwartym bez sprzężeń zwrotnych. Dla tego serwonapędu przeprowadzono jedynie sprawdzenie dla zakłóceń impulsowych nano-sekundowych przy prędkości obrotowej 3 i 3000 obr/min.

2. Warunki badań

Badania serwonapędów przeprowadzono w laboratorium Zakładu Elektrycznych Napędów Obrabiarkowych IEL. Usytuowanie urządzeń wciągających w skład badanego serwonapędu jak również ich połączenia pokazano na rys. 1 do 3.

W kasecie umieszczono pakiety i płytki (bloki) układów elektronicznych serwonapędów:

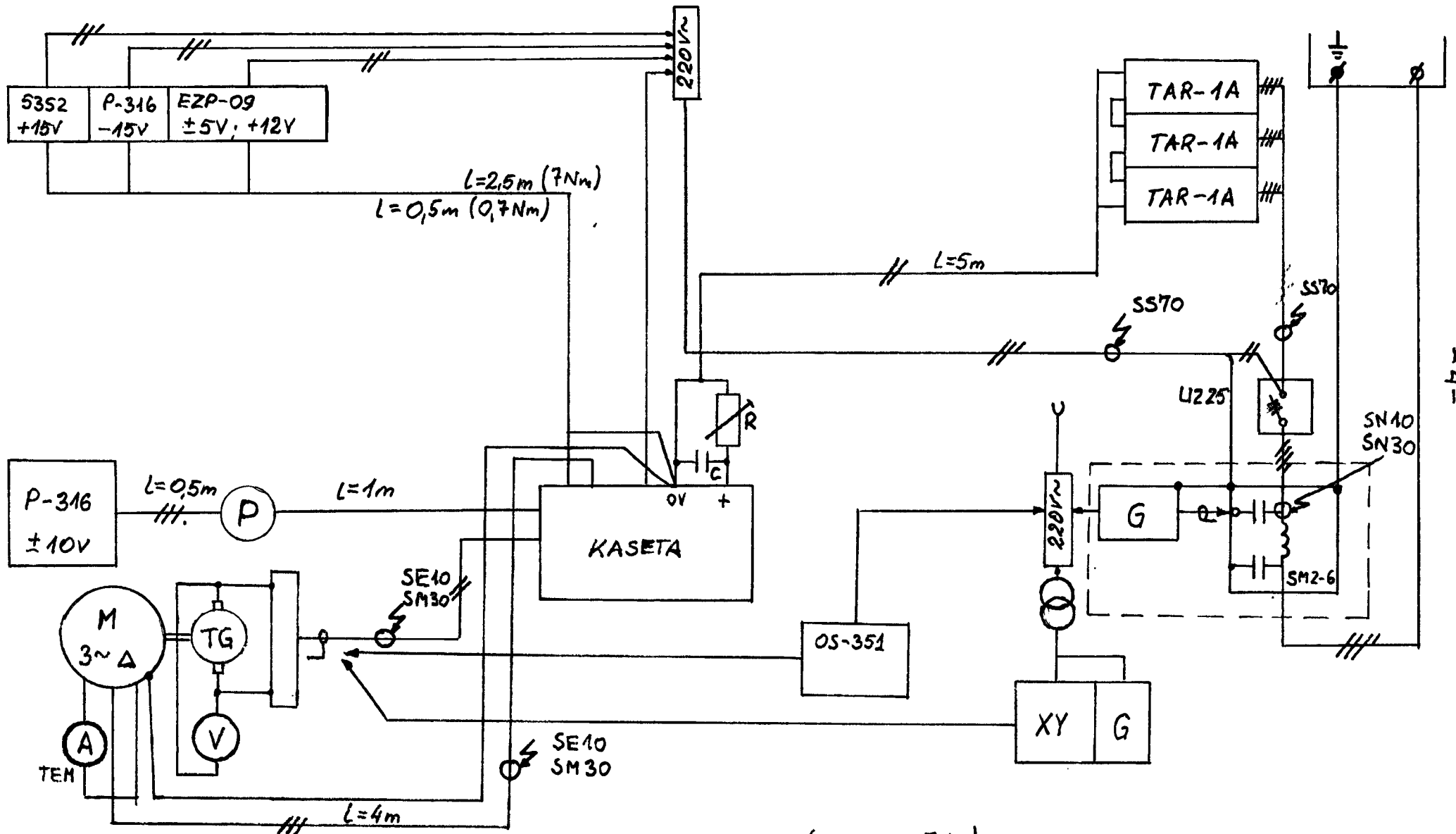
- pakiet regulatora (RU)
- pakiet generatora SIN (z mikroprocesorem 8080), oznaczony również w tekście symbolem MK
- pakiet układu sterowania mostka trójfazowego (USF)
- 2 pakiety interfejsowe (IF) z oddzieleniem transoptorowym
- płyta ze wzmacniaczami sygnałów bazowych
- płytą przedwzmacniaczy
- blok mocy falownika (radiator zamocowany do bocznej ścianki kasety z trzema blokami tranzystorowymi).

Na płycie umieszczonej z tyłu kasety umieszczono zaciski obwodów zasilania, elementy LC tworzące filtry w obwodach zasilania, elementy pomiaru prądu przewodowego falownika (LEM). Połączenia między płytami i blokiem mocy wykonano przewodami prowadzonymi wspólną wiązką.

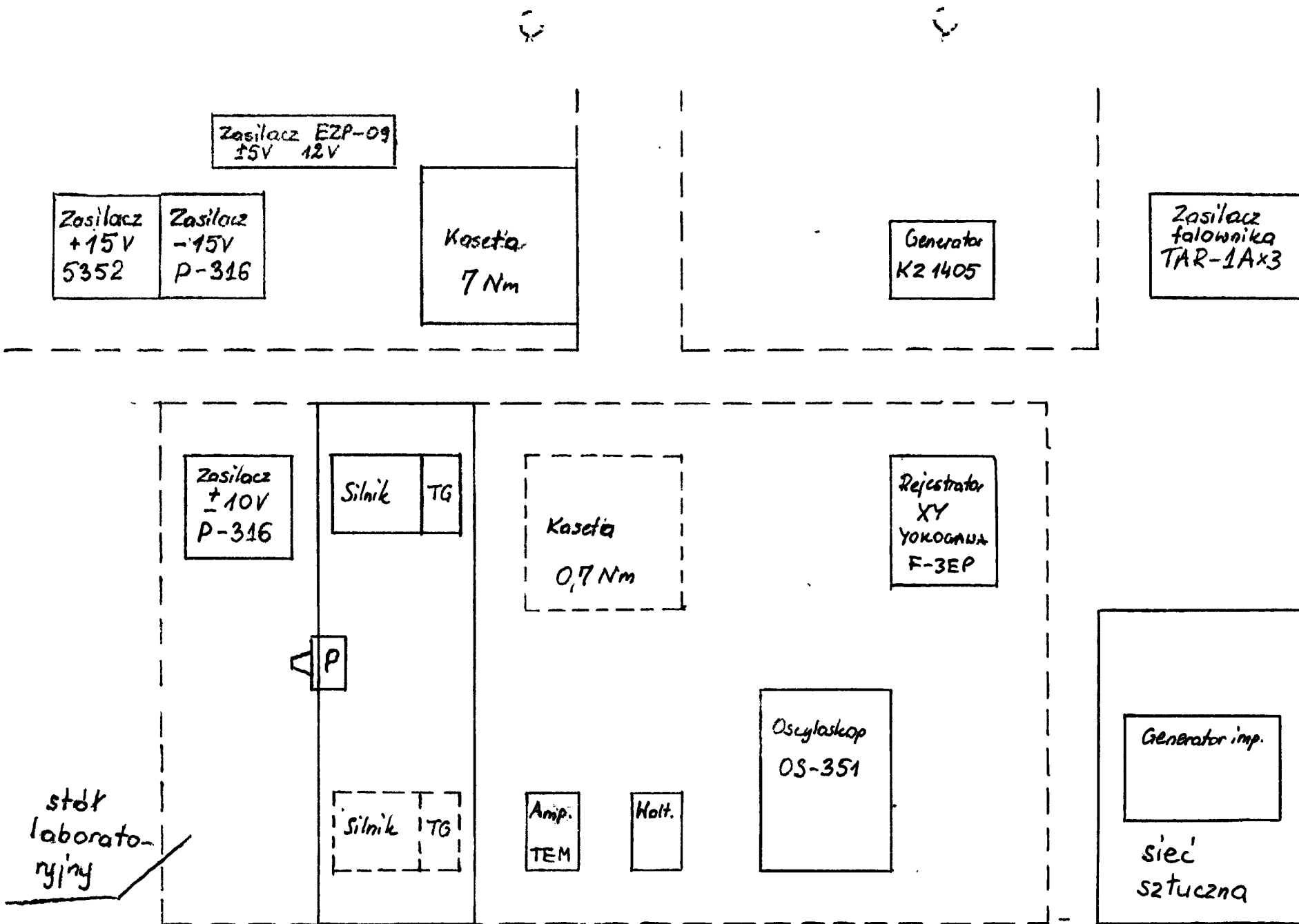
Połączenia między pakietami wykonano na gniazdach złącz pośredniczących pakietów.

Kondensator olokujący zasilanie falownika był przyłączony do przewodów obwodu zasilania w odległości ok. 0,1 m od zacisków zasilania w odległości ok. 0,1 m od zacisków kasety. Do zasilania falownika zastosowano trzy zasilacze typu PAR połączone w szereg. W zasilaczach usunięto kondensatory olokujące.

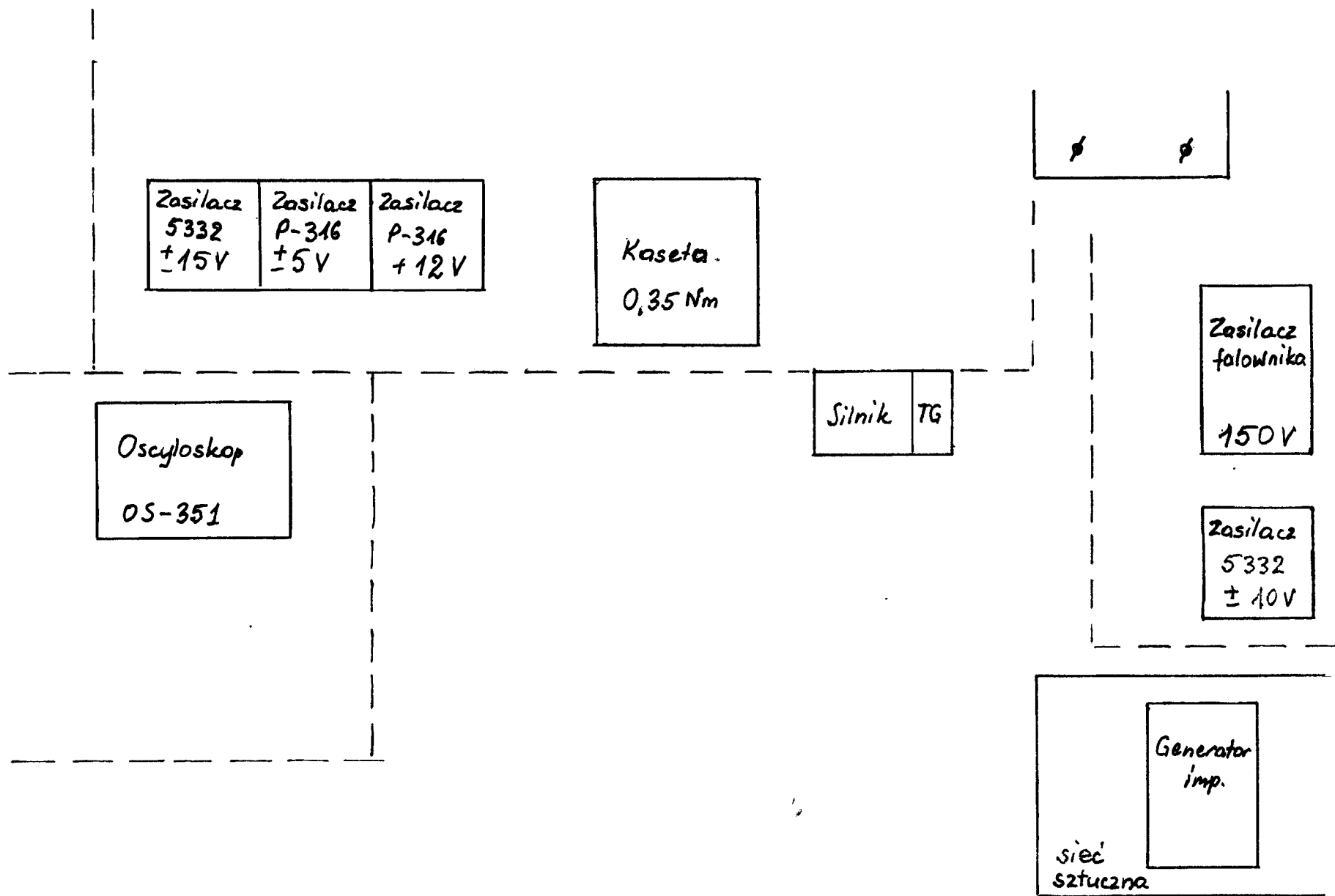
5



Rys. 1: Połączenia serwonapędu na stanowisku badawczym: (0,7Nm i 7Nm).



Rys. 2: Usytuowanie urządzeń na stanowisku badania serwonapędów 0,7 Nm i 7Nm.



Rys. 3: Usytuowanie urządzeń na stanowisku badania serwonapędu 0,35 Nm.

Moment obciążenia silnika wytwarzano ręcznym hamowaniem, utrzymując stałą wartość prądu przewodowego silnika. Dla niskich obrotów wystąpiło zjawisko falowania prędkości obrotowej od nierównomierności momentu obciążenia.

Prędkość obrotową silnika obserwowano na oscyloskopie. W przypadku rejestracji przebiegu tej prędkości wykorzystano rejestrator XY (F-3EP) z zewnętrznym generatorem piły dla osi x (generator KZ1405). Dla zmniejszenia wpływu zakłóceń na pracę rejestratora zasilanie rejestratora i generatora zrealizowano poprzez transformator separujący z obwodu sieciowego niezakłócanego. Uzgodniono następujące kryterium zakłócalności serwonapędów, objawy zakłócania się serwonapędu:

- dynamiczne chwilowe zmiany prędkości obrotowej krótkotrwałe **utykanie** silnika
 - utrata momentu, zatrzymanie silnika, wymagające interwencji obsługi w celu przywrócenia własności użytkowych serwonapędu.
- Serwonapęd jest odporny na zakłócenia jeżeli w czasie i po narażeniu nie wystąpiły objawy uniemożliwiające wykorzystanie właściwości użytkowych serwonapędu.

W trakcie badań zakłócalności wprowadzano zmiany w układzie. Iryskładowo, konstruktorzy dokonywali regulacji w układzie pakietu regulatora, zmiany wartości opornika ograniczającego prąd zasilania falownika, wprowadzali dodatkowe kondensatory odsprzęgające i ołowujące na pakiecie z mikroprocesorem, wprowadzili osłonę ekranującą typu pes el na kabel do silnika, ekranowany kabel dla obwodu sygnału z prądnicy tachometrycznej. Układy pomiarowe dla wykorzystywanych sygnałów zakłócających i metod symulacji były zgodne z FN-86/E-06600.

Dla wyeliminowania wpływu zakłóceń z lokalnej sieci oraz standaryzacji impedancji sieci zastosowano układ sieci sztucznej. Dodatkowo od strony zasilania przewód zerowy sieci połączono z zaciskiem uziemiającym na tablicy rozdzielczej.

Zakres sprawdzeń obejmował:

- dla sieciowego obwodu zasilania 3-fazowego:
 - sprawdzenie zakłócalności dla impulsów nanosekundowych 5/50 ns przy metodzie symulacji SN10. Czas narażania powyżej 1 min, zwykle do 3 min
 - sprawdzenie zakłócalności dla impulsów dużej energii 1,2/50 μ s (8/20 μ s) o amplitudzie \pm 2 kV i energii impulsów 4J przy

- metodzie symulacji SN30. Narażenie po 10 impulsów każdej polaryzacji generowanych co 10 s
- sprawdzenie zakłócalności dla krótkotrwałych zaników napięcia sieci w trzech fazach, przy metodzie symulacji SS70 z wykorzystaniem stycznika. Liczba narażeń powyżej 3, częstość symulacji co 10 s
 - dla obwodu silnika i prądnicy tachimetrycznej
 - sprawdzenie zakłócalności dla impulsów nanosekundowych 5/50 ns przy metodzie symulacji SE10 (klamra pojemnościowa zakładana na badany kabel, symulacja zakłóceń od bliskiego pola elektrycznego), czas narażania od 1 do 3 min
 - sprawdzenie zakłócalności dla impulsów dużej energii 1,2/50 μ s (8/20 μ s) o amplitudzie ± 2 kV i energii 4J, przy metodzie symulacji SM30 (symulacja zakłóceń polem magnetycznym od przewodu testowego (owiniętego dookoła badanego kabla, z prądem zwarcia generatora impulsów 8/20 μ s). Czas narażenia po 10 impulsów obu polaryzacji, częstość generacji impulsów 0,1 Hz.

Stosowane przyrządy pomiarowe:

- 1) symulator zakłóceń impulsowych 5/50 ns typ NSG200 + NSG225 (SCHAFER)
- 2) generator impulsów dużej energii 1,2/50 μ s (8/20 μ s), GZI 23 (MERA PIAP)
- 3) symulator zakłóceń sieciowych SZS-2 (MERA PIAP)
- 4) sieć sztuczna SMZ-6 (INCO) (adaptacja MERA PIAP)
- 5) klamra pojemnościowa (MERA PIAP)
- 6) przystawka UP-07 3-faz. do symulatora SZS-2 (MERA PIAP)
- 7) przewód testowy
- 8) układ zabezpieczający UZ25 (MERA PIAP)
- 9) sieć sztuczna (IKSAiP).

3. Wyniki pomiarów

A. Serwonapęd 0,7 Nm

A1. Zakłócalność od impulsów nanosekundowych w obwodzie sieci 3-fazowej. Stwierdzono, że przy amplitudzie impulsów ± 2 kV występuje objaw zakłócania prędkości obrotowej silnika. Występują chwilowe zmiany prędkości obrotowej w takt generowanych paczek

impulsów. Charakter tych zmian można obserwować na zapisach rejestratora. Obserwacje przeprowadzono przy zakłócaniu poszczególnych przewodów fazowych (R,S,T,O), przy biegu luzem i obciążeniu silnika. Dodatkowo przeprowadzono pomiary przy zmienionym egzemplarzu pakietu generatora SIN (pakietu z mikroprocesorem). Wybrane wyniki zestawiono w tabl.1. Dla scharakteryzowania wpływu zakłóceń wprowadzono pojęcie % względnej dynamicznej zmiany prędkości obrotowej (oszacowanej z zapisów rejestratora i wartości szczytowych $p-p$). W nawiasach podano wartości występujące przypadkowo. Rejestrację przeprowadzono przy zakłócaniu oddziaływujących na ten sam przewód fazowy R, zasilania dla którego stwierdzono największy wpływ zakłóceń. Umożliwia to porównanie wyników. Stwierdzono, że faza R jest wykorzystana do zasilania zasilaczy kasety.

A2. Zakłócalność od impulsów nanosekundowych oddziaływujących na kable do silnika i prądnicy tachometrycznej. Wstępne badania przeprowadzono dla silnika nieobciążonego. Stwierdzono, że przy odpowiednich amplitudach impulsów występuje objaw chwilowego zatrzymywania silnika, utykania silnika na czas powyżej 20 ms. w tabl.2 zestawiono parametry impulsów zakłócających, przy których objaw ten występuje.

W tabl.3 zestawiono wyniki dla silnika nieobciążonego i obciążonego momentem odpowiadającym prądowi przewodowemu silnika 5A. Zakłócany kabel do silnika umieszczono w osłonie peszel, połączonej do siećuna 0 V zasilania falownika i obudowy silnika. W trakcie badań wystąpił przypadek zakłócenia pracy generatora SIN (mikroprocesora).

A3. Zakłócalność od impulsów dużej energii w obwodzie sieci.

Stwierdzono, że przy amplitudzie impulsów 2 kV o energii 4J nie wystąpiły objawy zakłócenia pracy serwonapedu. Sprawdzenie wykonano dla różnych prędkości obrotowych silnika, przy nieobciążonym i obciążonym silniku (prąd przewodowy silnika 5 A).

A4. Zakłócalność od impulsów dużej energii oddziaływujących polem magnetycznym na kable do silnika i prądnicy tachometrycznej. Sprawdzenie wykonano dla różnych prędkości i obciążeń silnika. Nie stwierdzono objawów zakłóceń pracy serwonapedu przy amplitudzie impulsów 2 kV (prąd zwarcia 8/20 μ s ok. 400 A).

1'

A5. Zakłócalność od krótkotrwałych zaników napięcia zasilania sieciowego. Przy symulacji krótkotrwałych zaników o czasie trwania powyżej 8 ms jednocześnie w trzech fazach zarejestrowano wyłączenie styczników w zasilaczu FAR-1A i zatrzymanie silnika. Przywrócenie poprawnej pracy serwonapędu wymaga przeprowadzenia procedury włączenia zasilacza przez obsługę.

Dodatkowo przeprowadzono sprawdzenie zakłócalności serwonapędu przy symulacji krótkotrwałych zaników napięcia w obwodzie sieci zasilającej zasilacza kasety. Przy zanikach o czasie trwania do 60 ms nie zarejestrowano objawów zakłócenia pracy serwonapędu. Przy zanikach o czasie trwania dłuższym od 63 ms wystąpiły objawy zatrzymania silnika, wyłączenia falownika. Czas wyłączenia falownika wydłużał się wraz z wydłużaniem czasu zaniku.

Tabl. 1: Serwonapęd 0,7 Nm. Zakłócalność prędkości obrotowej silnika od zakłóceń impulsowych w obwodzie zasilania 3-fazowego. (Impulsy $\pm 2 \text{ kV}$, 5/50 ns, metoda symulacji SN 10 - wybrane wyniki).

prędkość obrotowa silnika [obr/min]	zakłócany przewód fazowy	dynamiczne zmiany pp [%] 1)		Nr rej	uwagi	
		bieg luzem	obciąż. statyczne prąd silnika 5A			
3	R	30,0 23,4	35,0 38,5	1,2,3	płyta MK nr 1	
30	R	X X	20,0 13,3	4		
	T	X X	11,7 11,7	4		
	S	X X	4,1 2,5	5		
300	R	3,3 1,7	6,7 2,5	6		
750	R	1,3 1,3	2,0 1,3	6		
3000	R	0,8 0,8 (5,5)	0,8 0,8 (4)	7		
	0	(6,7)	(6,7)	7		
3	R	27,0 X	25,0 X	8		płyta MK nr 2 koscylacje od nierównomiernego obciążenia)
30	R	1,7 1,7	11,7 8,3 (11,7)	8		
300	R	2,5 0,8	4,2 1,7	9		
3000	R	1,7 0,8	1,7 0,8 (5)	10		
	0	0,8 1,7	2,5 2,5	10		

1) górna liczba - impulsy o polaryzacji (+)
dolna - " - " - " - " - " - " (-)

2) () - w nawiasach podano maksymalne zmiany występujące przypadkowo

3) X - nie wykonano pomiaru

Tabl. 2: Serwoopęd 0,7Nm. Poziom zakłóceń impulsowych 5/50ns oddziaływających na kabel do silnika (M) i prądnicy (TG), przy których występują objawy utykania silnika. Metoda symulacji SE10, silnik bez obciążenia.

prędkość obrotowa silnika [obr/min]	zakłócany kabel	polaryzacja i amplituda zakłóceń impulsowych [kV]	uwagi
3	M+TG	$\pm 1,0$	
300	M	+1,0 -0,5	pojedyncze przypadki (dla -0,5)
	TG	$\pm 1,0$	czas zatrzymania 0,1... 0,15s
	M+TG	+1,0 -0,5	czas zatrzymania do 1 s. (dla +1)
3000	M	$\pm 0,5$	pojedyncze przypadki
	M+TG	$\pm 0,6$	

Tabl. 3: Serwoopęd 0,7Nm. Poziom zakłóceń impulsowych 5/50ns, przy których występują objawy utykania silnika. Zakłócany kabel do silnika. Kabel w osłonie typu "peszel". Metoda symulacji SE10.

prędkość obrotowa silnika [obr/min]	polaryzacja i amplituda zakłóceń impulsowych [kV]		uwagi
	biegu luzem	obciąż. statyczne prąd silnika 5A	
3	$\pm 1,2$	$\pm 0,6$	dla -0,6 wyst. zakłócenia pracy MK
30	$\pm 1,2$	$\pm 0,6$	
300	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	
3000	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	

B. Serwonapęd 7 Nm

B1. Zakłócalność od impulsów nanosekundowych w ośrodku sieci 3-fazowej. Badanie przeprowadzono dla różnych prędkości obrotowych i obciążeniu silnika odpowiadającym prądowi przewodowemu 5A i 10A. Stwierdzono, że występują następujące objawy zakłócania serwonapędu, dynamiczne zmiany prędkości, utykanie silnika oraz zakłócenia generatora SIN (pakietu mikroprocesorowego). Dynamiczne zmiany prędkości obserwowano oscyloskopem. Czas trwania chwilowych zmian prędkości, zwykle obniżen, przekraczał 20 ms, głębokość obniżen większa od 20 %. Utykanie silnika stwierdzono na podstawie chwilowej utraty momentu obrotowego. W przypadkach wystąpienia zakłócenia pakietu mikroprocesorowego do przywrócenia poprawnej pracy serwonapędu należało przeprowadzić procedurę wyłączenia i ponownego włączenia zasilaczy kasy i falownika.

Wyniki zestawiono w tablicy 4.

B2. Zakłócalność od impulsów nanosekundowych oddziaływujących na kabel do silnika i prądnic tachimetrycznej. Wstępnyimi badaniami stwierdzono, że objawy zakłócen, utykanie i dynamiczne zmiany występują przy niższym poziomie w przypadku zakłócania samego kabla do silnika. Wprowadzono osłonę kabla do silnika typu peszel przyłączoną do bieguna 0 V zasilania falownika i obudowy silnika. Wyniki obserwacji zestawiono w tabl. 5. Wykonano szereg dodatkowych badań wykonywanych po wprowadzeniu kolejnych zmian w połączeniach układu serwonapędu i po wprowadzeniu przez konstruktora na pakiet z mikroprocesorem dodatkowych kondensatorów blokujących i odsprzęgających. W wyniku tych zmian uzyskano podwyższenie poziomu odporności. Badania końcowe przeprowadzono przy zahamowanym silniku i zwiększonych prądach przewodowych silnika 15 A i 20 A.

B3. Zakłócalność od impulsów dużej energii w ośrodku sieciowym i oddziaływającym polem magnetycznym na kable do silnika i prądnic tachimetrycznej. Sprawdzenie wykonano przy amplitudzie impulsów 2 kV i energii impulsu 4J, dla prędkości obrotowej 3 i 3000 obr/min, silnika obciążonym z prądem przewodowym 10 A.

W czasie narażania impulsami nie zarejestrowano objawów zakłóce-
nia serwonapędu.

B4. Zakłócalność od krótkotrwałych zaników napięcia zasilania
sieciowego. Sprawdzenia nie wykonano. Ze względu na zastoso-
wanie tych samych egzemplarzy zasilaczy należy przyjąć wyniki
badań jak w p. A5.

10

Tabl. 4: Serwonapęd 7 Nm. Objawy zakłóceń w pracy serwonapędu od zakłóceń impulsowych 5/50 ns w obwodzie zasilania 3-fazowego. Metoda symulacji SN10.

prędkość obrotowa silnika [obr/min]	zakłócany przewód fazowy	amplituda i polaryzacja impulsów [kV]	objawy zakłócenia	uwagi
3	S	-2,0 ± 2,4	MK dzp, us	obciążenie statyczne, prąd silnika 5A
	T	-2,0 ± 2,4	MK dzp, (20ms)	
	O	-1,2 +2,4	dzp dzp(60..100), us	
30	R	± 2,4	—	pojedyncze przy wyłączeniu zakłóceń
	S	-1,2 +2,4	dzp dzp(50%, 40ms)	
	T	+2,4 -2,4	— dzp(60..100ms)	
	O	± 1,2 ± 2,4	dzp(60ms) —	
300	R, S, O	± 2,4	—	obciążenie statyczne, prąd silnika 10A
	T	+2,4 -2,4	— MK	
750	R, T, O	± 2,4	—	
	S	+2,4 -2,4	MK —	
3000	R, S, T, O	± 2,4	—	
3	O	± 1,0	MK	

dzp - dynamiczne zmiany prędkości, powyżej 20%, w nawiasie zaobserwowany czas trwania.

us - utykanie silnika

MK - zakłócenie pracy MK (generatora SIN)

Tabl. 5: Serwonapęd 7Nm. Objawy zakłóceń w pracy serwonapędu od zakłóceń impulsowych nanosekundowych 5/50ns. Zakłócony kabel do silnika. Metoda symulacji SE10 (kabel do silnika w osłonie typu „peszel”).

prędkość obrotowa silnika [obr/min]	amplituda i polaryzacja impulsów [kV]	objawy zakłóceń	uwagi
3	±0,5	utykanie silnika	obciążenie statyczne, prąd silnika 10A
30	±0,5	— —	
300	±0,5	dynamiczne zmiany > 30%	
3	±0,6	dynamiczne zmiany, utykanie, oscylacje	zakłócony kabel do TG
Wyniki po zmianach na płycie MK oraz uporządkowaniu połączeń			
30	±1,0	pojedyncze krótkotrwałe przypadki utraty momentu (czas obserwacji: 3 min).	prąd silnika 15A silnik zahamowany
	≠1,0	zakłócenie pracy MK	prąd silnika 20A silnik zahamowany.

C. Serwonapęd 0,35 Km. pracujący w układzie otwartym

Ze względu na to, że udostępniony układ nie posiadał zapiętych sprzężeń zwrotnych, badania ograniczono do sprawdzenia wpływu zakłóceń impulsowych nanósekundowych. Wyniki obserwacji zestawiono w tabl. 6 i 7.

W trakcie zakłócania wystąpiły zauważalne objawy zakłócenia w postaci trótnotrwałych zatrzymań silnika, wyłączeń zasilacza falownika (zakłócenie układu blokady w zasilaczu).

Tabl. 6: Serwonaped 0,35Nm, pracujący w układzie otwartym. Poziom zakłóceń impulsowych 5/50us w obwodzie zasilania 3-fazowego, przy których występują objawy zakłóceń (krótkotrwałe utykanie silnika (KUS), wyłączenie zasilania falownika (WZF).

predkość obrotowa silnika [obr/min]	prąd przewodowy silnika [A]	faza, polaryzacja i amplituda impulsów [kV] przy wystąpien.		uwagi
		KUS	WZF	
3	< 0,5	S ±2,0 T,0 -2,0 R -2,4	R,S,T,0 +2,0 S,T,0 -2,4	bieg luzem
	4,5	R +1,0 -1,2 S,T,0 +1,2 -1,0	0 ±2,0 R,S,T +2,0 -2,4	
1500	0,75	R,S,T,0 ±2,4 bez zauważalnych objawów	R,S,T,0 +2,0 R,S,0 -2,4 T +4,0	
	4,5	0 ±1,0 S,T +1,0 R +1,2 R -1,0 S -2,0 T -1,2	R,S,T,0 +2,0 R,S -2,4 0 -2,0 T -4,0	
3000	0,75	R,S,T,0 ±2,0 bez zauważalnych objawów	R,S,T,0 +2,0 0 -2,0 R,S,T -2,4	
	3,2	- -	R,S,T,0 +2,0 -2,4	

Tabl. 7: Serwonaped 0,35 Nm pracujący w układzie otwartym. Objawy zakłóceń przy zakłócaniu kabla silnika (metoda symulacji SE 10).

prędkość obrotowa silnika [obr./min]	prąd silnika [A]	polaryzacja i amplituda impulsów [kV]	objawy zakłóceń
3	0,5	$\pm 1,0$	bez zauważalnych objawów
	4,5	+0,5 -0,6	krótkotrwałe utykanie silnika
3000	0,75	$\pm 1,0$	bez zauważalnych objawów
	3,2	$\pm 1,0$	krótkotrwałe utykanie silnika

4. Wnioski

1. Badane układy serwonapędów 0,7 Nm i 7 Nm charakteryzują się następującymi poziomami odporności:

na zakłócenia impulsowe nanosekundowe 5/50 ns w owoźcie zasilania 3-fazowego (metoda symulacji SW10)

0,7 Nm

2 kV przy dopuszczeniu dynamicznych zmian prędkości obrotowej powyżej 30 % dla zakresu prędkości obrotowych 3--3000 obr/min i obciążeniu silnika momentem statycznym odpowiadającym prądowi silnika do 5A

2 kV przy dopuszczeniu dynamicznych zmian prędkości obrotowej poniżej 20 % dla zakresu prędkości obrotowych 30+3000 obr/min i obciążeniu silnika j.w.

7 Nm

poniżej 1 kV przy obciążeniu silnika momentem statycznym odpowiadającym prądowi silnika do 10 A

ok. 1 kV przy dopuszczeniu dynamicznych zmian prędkości obrotowej do 20 % i obciążeniu silnika do 5A.

Na zakłócenia impulsowe nanosekundowe 5/50 ns oddziaływujące na kable do silnika i do prądnicy tachometrycznej (metoda symulacji SE10):

0,7 Nm

poniżej 0,5 kV w pełnym zakresie prędkości obrotowych i obciążeniu silnika do 5 A

(poniżej 0,6 kV przy częściowym zakręceniu kabla do silnika przez osłonę typu peszel i zastosowaniu wybranego egzemplarza pakietu generatora SIN, pakietu z mikroprocesorem)

7 Nm

poniżej 0,5 kV w pełnym zakresie prędkości obrotowych i obciążeniu silnika odpowiadającemu prądowi silnika do 10 A (zastosowaniu osłony peszel dla kabla do silnika)

(poniżej 1 kV dla zahamowanego silnika z prądem 15 A (20 A) przy prędkości 30 obr/min po uporządkowaniu owoźców zasilania i wprowadzeniu dodatkowych kondensatorów blokujących i odsprzęgających na pakiet z mikroprocesorem).

Na zakłócenia impulsowe dużej energii $1,2/50 \mu s$, $2 kV$, o energii impulsów $4 J$ w obwodzie zasilania sieciowego 3-fazowego (metoda symulacji SN30) oraz oddziaływujących na kable do silnika i do prądnicy tachometrycznej (metoda symulacji SM30, prąd w przewodzie testowym ok. $400 A$ $8/20 \mu s$).

Na krótkotrwałe zaniki napięcia sieciowego, symulowane stycznikiem jednocześnie w 3 fazach o czasie trwania poniżej $8 ms$ (przy dłuższych czasach zaniku występują wyłączenia zasilaczy falownika przez własne styczniki)

2. Dla serwonapędu $0,35 Nm$ pracującego w stanie otwartym sprawdzono jedynie wpływ zakłóceń impulsowych nanosekundowych. W obwodzie zasilania sieciowego 3-fazowego, przy poziomie $1 kV$ wystąpiły zjawiska krótkotrwałego utyknięcia silnika, zaś przy poziomie $2 kV$ zadziałanie układu blokady i wyłączenie zasilacza falownika. Przy zakłócaniu kabla do silnika objawy krótkotrwałego utyknięcia silnika wystąpiły przy poziomie $0,5 kV$. Uzyskane wyniki mogą służyć jedynie do jakościowej oceny układu.

3. Przytoczone wyniki pomiarów zakłócalności dotyczą układów badanych w warunkach odbiegających od warunków ich zastosowania w szafie sterującej robota. Dotyczy to głównie usytuowania kasety i zasilaczy, typów zasilaczy ($45 V$), tras i długości kabli połączeniowych. Uwzględniając warunki montażu układów serwonapędów w szafie sterującej robota można założyć, że odporność dla zakłóceń impulsowych dużej energii nie ulegnie zmianie. Odporność na krótkotrwałe zaniki można podwyższyć przez zmianę sposobu włączania zasilaczy falownika. Zatem badane serwonapędy $0,7 Nm$ i $7 Nm$ powinny zapewnić uzyskanie wymaganych poziomów odporności robota dla zakłóceń impulsowych dużej energii i krótkotrwałych zaników napięcia sieci. Odporność badanych serwonapędów $0,7 Nm$ i $7 Nm$ dla zakłóceń impulsowych nanosekundowych nie zapewnia uzyskania wymaganych poziomów odporności robota. w szczególności przy uwzględnieniu faktu skrajnego montażu w szafie mogą pojawić się wpływy wzajemnego zakłócania się układów, co w efekcie może obniżyć przytoczone w p.1 poziomy odporności.

4. W oparciu o wyniki pomiarów zakłócalności serwonapędu 0,7 Nm i 7 Nm mają następujące cechy:
- odporność układów na zakłócenia impulsowe nanosekundowe maleje przy niższych prędkościach obrotowych, jak i przy zwiększaniu obciążenia silnika (wzroście prądu przewodowego falownika)
 - układy są bardzo podatne na zakłócenia impulsowe nanosekundowe oddziaływujące na table do silnika i do prądnicy tachometrycznej, w szczególności przy dużych prądach przewodowych silnika i wyższych prędkościach występuje zakłócenie pracy pakietu generatora SIN (pakietu z mikroprocesorem)
 - poziom odporności (zakłócalności) zależy od egzemplarza pakietu generatora SIN (pakietu z mikroprocesorem) oraz od parametrów dynamicznych i nastaw zadawanych na pakiecie regulatora
 - typowe objawy zakłócania się to dynamiczne (ciwilowe) zmiany prędkości obrotowej, krótkotrwałe zatrzymania (utykanie) silnika, zakłócenie pracy generatora SIN (pakietu z mikroprocesorem).
5. Wymienione w p.4 właściwości układów wskazują na konieczność przeprowadzenia analizy propagacji zakłóceń od wyjścia falownika do pozostałych układów w masce, wskazują również na wysoki poziom zakłóceń własnych (zmniejszenie poziomu odporności przy wzroście prądu falownika).
- Ta ostatnia hipoteza została potwierdzona dodatkowymi obserwacjami oscyloskopowymi napięć wyjściowych i prądów falownika serwonapędu 7 Nm. Stwierdzono występowanie składowych impulsowych w wyjściowym napięciu o amplitudzie do 200 Vpp i stromości impulsu poniżej 2 μ s. Składową impulsową w prądzie przewodowym falownika o częstotliwości ok. 5 kHz wynoszącą ok. 7,5 App przy prądzie silnika 14 A, odpowiednio 5 App przy prądzie silnika 8 A i 5 A.
- Występuje również składowa zmienna na kondensatorze blokującym zasilanie falownika rzędu 15 Vpp zmierzona przy zahamowanym silniku przy poborze prądu ok. 10 A. Składowa zmienna prądu zasilacza falownika wynosiła ok. 1 App przy częstotliwości ok. 600 Hz.

6. Wstępnie można zalecić następujące zmiany konstrukcyjne w kasie:

- staranne zaekranowanie części układów falownika obejmujące układy do oddzielenia transoptorowego
- separację obwodów zasilania wewnętrznego kasety od obwodów siłowych i energetycznych
- zlikwidowanie wspólnych wiązek przewodów obwodów o różnym poziomie sygnałów
- zmianę w rozmieszczeniu układów z oddzieleniem transoptorowym (dodatkowe płytki umieszczone w strefie wysokich zakłóceń)
- wprowadzenie kondensatorów blokujących i odsprzęgających na pakiecie z mikroprocesorem (p.3 B2)

Ze względu na niski poziom sygnału z prądnicy tachometrycznej przy najniższym obrocie silnika należy wprowadzić ekranowanie kabla. Również ze względu na duży poziom sygnału w kablu do silnika należy zalecić jego ekranowanie.

Ze względów bezpieczeństwa należy zalecić połączenie ujemnego bieguna zasilania falownika 150 V z zaciskiem ochronnym.

7. Przy zastosowaniu serwonapędów do robota typu IRp należy zwrócić uwagę na następujące problemy:

- na staranne konstrukcyjne wydzielenie przestrzeni szafy przeznaczonej do zabudowy sterownikami
- na prowadzenie kabli siłowych i sygnałowych w szafie i przez złącza do manipulatora, z zachowaniem ciągłości ekranów
- na zapewnienie wentylacji układów
- na połączenie sterowników napędu z częścią centralną robota. Należy wspomnieć o fakcie, że w robocie nie jest łączony biegun wspólny 0 V zasilania wewnętrznego elektroniki z zaciskiem ochronnym
- na bilans obciążeń zasilaczy, możliwość wykorzystania już istniejących zasilaczy
- na silne pole magnetyczne silników.

8. Badania zakłócalności serwonapędów powinny być przeprowadzone w konfiguracji i rozmieszczeniu zblizonym do celowego, względnie na prototypie robota z silnikami indukcyjnymi. W przypadku badań serwonapędów bez manipulatora robota należy sprecyzować:

- kryteria zakłócalności, dopuszczalny wpływ zakłóceń na parametry użytkowe
- moment obciążenia silnika względnie odpowiadający mu prąd przewodowy silnika
- nastawy regulatora, które nie powinny być zmieniane w trakcie badań

Stanowisko do badań powinno być wyposażone w hamownicę oraz możliwość kontroli obrotów bez konieczności wykorzystywania do tego celu prądniczki tachometrycznej układowej.

W przypadku badań prototypu robota z silnikami indukcyjnymi należy określić dopuszczalny wpływ zakłóceń na parametry użytkowe robota, przykładowo pozycjonowanie, powtarzalność trajektorii, stabilność prędkości itp.

9. W niniejszym sprawozdaniu nie przeprowadzono dyskusji dopuszczalnej wartości dynamicznej zmiany prędkości obrotowej serwonapędu. Proponuje się aby ten parametr został określony przez specjalistów.