

LABORATORIUM PODSTAW ELEKTRONIKI I ENERGIELEKTRONIKI

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 5

„Układ DC/DC obniżający i podwyższający napięcie”

**KATEDRA ELEKTRONIKI
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI
POLITECHNIKA LUBELSKA**

1. Wiadomości ogólne

1.1 Przeznaczenie zasilaczy impulsowych

Zasilacze impulsowe mogą być stosowane w *sprzęcie o dużym poborze prądu i niskim stabilizowanym wyjściowym napięciu zasilającym*. Są więc stosowane do zasilania: komputerów, przenośnych urządzeń nadawczo-odbiorczych, kalkulatorów, przenośnych odbiorników telewizyjnych. Ponadto stosowane są do zasilania specjalistycznej aparatury znajdującej się np. na pokładach samolotów, czy bardziej małych urządzeń w sprzęcie kosmicznym, gdzie dąży się do zmniejszenia masy i wymiarów geometrycznych.

2. Układy przekazywania energii

Jednym z najistotniejszych podzespołów zasilaczy impulsowych, jest układ przekazywania energii (stopnie wyjściowe mocy). W jego skład wchodzi elementy przełączające, które umożliwiają przepływ energii pomiędzy wejściem a wyjściem zasilacza. Dla układu przekazywania energii wyróżnia się dwie podstawowe „sekcje” to jest: niestabilizowany zespół zasilający oraz impulsowy układ przekazywania energii z wyjściem odizolowanym lub nieodizolowanym od sieci.

Układy przekazywania energii małej mocy zawierają rezystancyjny lub kondensatorowy obwód ładowania, natomiast układy średniej lub dużej mocy mają obwód ładowania indukcyjny lub transformatorowy.

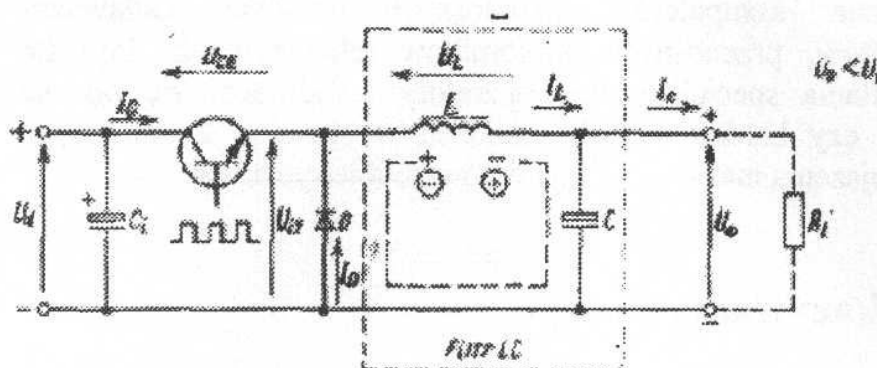
2.1. Układy o wyjściu nieizolowanym od wejścia

- Układy przekazywania energii o wyjściu nieizolowanym od wejścia dzielą się na: obniżające (ang. step - down, bucking), podwyższające (ang. step – up, boost) lub zmieniające biegunowość napięcia stałego (ang. polarity-converting). Tematyką niniejszego ćwiczenia są objęte: ○ układy podwyższające napięcie stałe (przetwornica zaporowa)

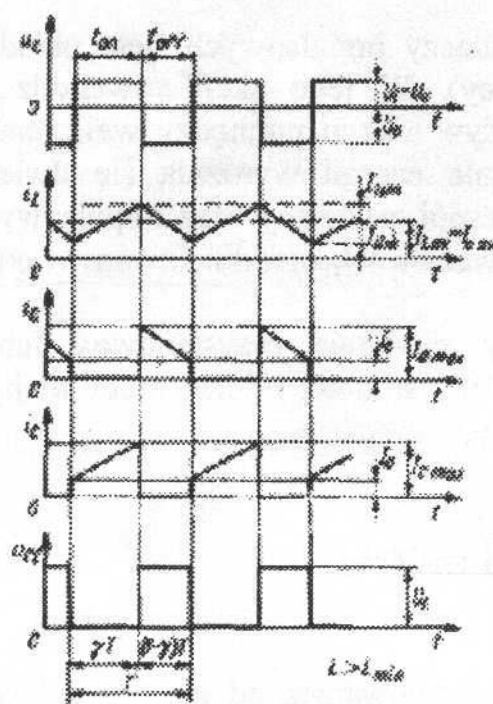
2.1.1 Układ obniżający napięcie stałe z indukcyjnym obwodem ładowania (STSI –

Szeregowo Tranzystor, Szeregowo Indukcyjność)

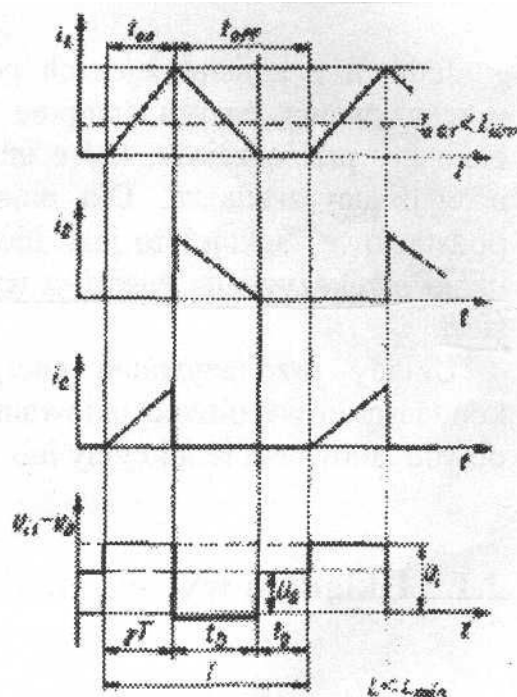
Na rysunku nr 1 (a, b, c, d) przedstawiono podstawowy układ i przebiegi obniżającego przepustowego układu przekazywania energii z indukcyjnym obwodem ładowania.



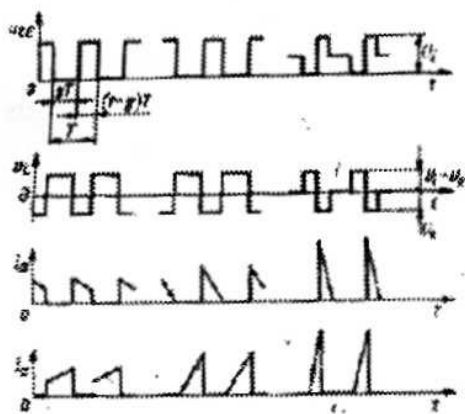
Rysunek 1a.
Schemat podstawowego układu stabilizatora obniżającego napięcie, o indukcyjnym obwodzie ładowania



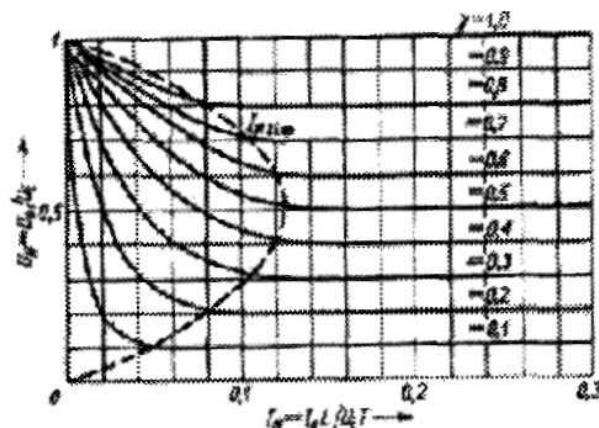
Rysunek 1b.
Przebiegi sygnałów na podzespołach. Przypadek, gdy indukcyjność nie przekazuje całkowicie swej energii między dwoma stanami przewodzenia tranzystora.



Rysunek 1c.
Przebiegi sygnałów na podzespołach, gdy indukcyjność przekazuje całą energię między dwoma stanami przewodzenia tranzystora;



Rysunek 1d.
Przebiegi pokazujące wpływ zmian indukcyjności



Rysunek 1e.
Znormalizowane napięcie wyjściowe układu w funkcji znormalizowanego prądu wyjściowego

W układzie tym tranzystor pracuje jako przełącznik. Kondensator C, podłączony równolegle do wyjścia, jest ładowany okresowo poprzez dławik L ograniczający prąd. W czasie włączenia tranzystora, dławik ogranicza prąd do wartości odpowiedniej dla zabezpieczenia tranzystora. Gdy tranzystor przewodzi pojemność C ładuje się poprzez dławik, w którym gromadzi się energia magnetyczna. W czasie włączenia t_{on} przyrost prądu w dławiku:

$$\Delta I_{Lon} = \frac{U_i - U_o}{L} t_{on} = \frac{U_i - U_o}{L} \gamma T$$

Gdzie L jest indukcyjnością dławika, a γ – współczynnikiem wypełnienia. Gdy tranzystor zostanie zatkany, zmienia się biegunowość napięcia na dławiku, a zgromadzona w nim energia jest doprowadzona do obciążenia, poprzez diodę usprawniającą D. W czasie wyłączenia t_{off} prąd w dławiku maleje w sposób następujący:

$$\Delta I_{Loff} = \frac{U_o}{L} - T(1 - \gamma)$$

Równowaga zachodzi wówczas, gdy przyrost i spadek prądu dławika w trakcie czasu włączania i wyłączania są sobie równe czyli:

$$\frac{U_i - U_0}{L} \gamma T = \frac{U_0}{L} T(1 - \gamma) \quad \text{stąd} \quad U_0 = \gamma U_i$$

Jak widać, napięcie wyjściowe może być stabilizowane przez zmianę współczynnika wypełnienia. Ponieważ współczynnik wypełnienia $\gamma < 1$, więc napięcie wyjściowe jest zawsze niższe od napięcia wejściowego.

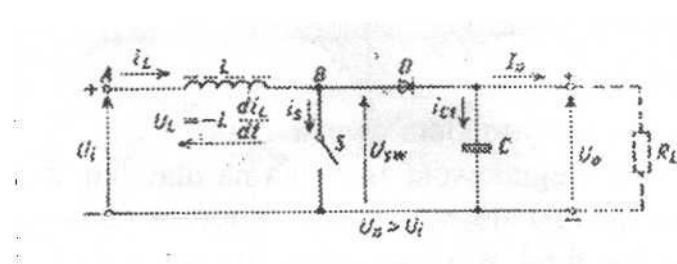
Pomijając straty do określenia parametrów układu ważne są następujące zależności:

$$U_0 = \begin{cases} \gamma U_i, & \text{gdyn} I_0 > I_{\text{lim}} \\ \frac{U_i}{1 + \frac{2L}{2U_i} \frac{I_0}{T}}, & \text{gdyn} 0 \leq I_0 \leq I_{\text{lim}} \end{cases}$$

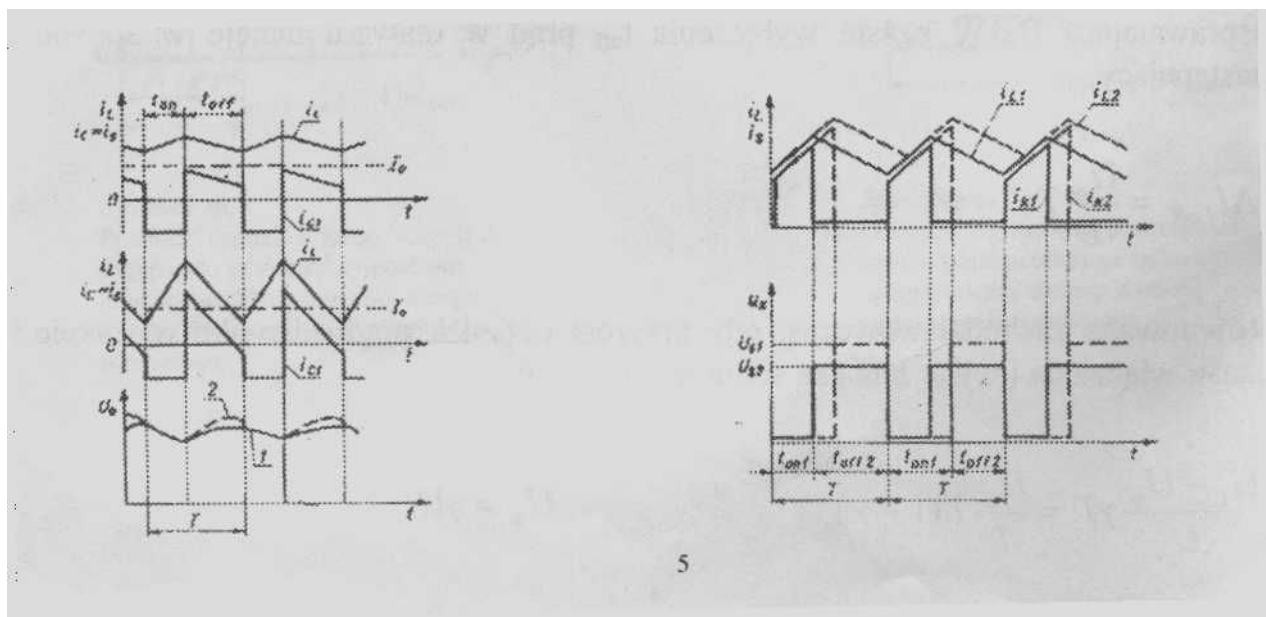
2.1.2 Układy podwyższające napięcie stałe (przetwornica zaporowa) (RTSI- Równoległe Tranzystor , Szeregowo Indukcyjność)

W przypadku, gdy wymagane jest napięcie stabilizowane o wartości wyższej od napięcia wejściowego, to w stabilizatorze impulsowym stosuje się układ przekazywania energii podwyższający napięcie stałe. Na Rysunku 2. Przedstawiono schemat podstawowy takiego układu wraz z przebiegami czasowymi.

W tym układzie, energia jest doprowadzona do wyjścia przy wyłączonym (zatkanym) tranzystorze. Dlatego, układ ten zwany jest też przetwornicą zaporową.



Rysunek 2.
Podstawowy układ dławikowy
przekazywania energii, podwyższający
napięcie oraz przebiegi czasowe



Po włączeniu przełącznika prąd w indukcyjności narasta liniowo od najmniejszej wartości I_{Lmin} do największej wartości I_{Lmax} uzyskanej w chwili wyłączenia. Dioda zapobiega rozładowaniu kondensatora gromadzącego C w czasie wyłączenia przełącznika. W czasie włączenia przełącznika, kondensator gromadzący pokrywa zapotrzebowanie energii obciążenia. Po wyłączeniu przełącznika prąd dławika L zaczyna maleć i spada od wartości I_{Lmax} do wartości I_{Lmin} , w czasie t_{off} . W tym czasie indukcyjność przekazuje nagromadzoną energię do obciążenia. Zachodzi przy tym takie zjawisko, że indukowane w dławiku napięcie w chwili wyłączenia przełącznika dodaje się do napięcia wejściowego.

Napięcie wyjściowe może być regulowane przez zmianę okresu włączenia.

Poniżej podane zostaną istotne zależności określające napięcie wyjściowe oraz prąd, niezbędne przy projektowaniu układów tego typu:

U_o gdy indukcyjność nie jest wolna od energii ($L > L_{min}$)

$$U_o = \frac{U_i}{1 - \gamma}, \text{ gdy } I_o > I_{lim}$$

Gdy indukcyjność jest wolna od energii w części okresu

$$U_o = U_1 + \frac{U_1^2 \gamma^2 T}{2 L I_o}, \text{ gdy } 0 \leq I_o \leq I_{lim}$$

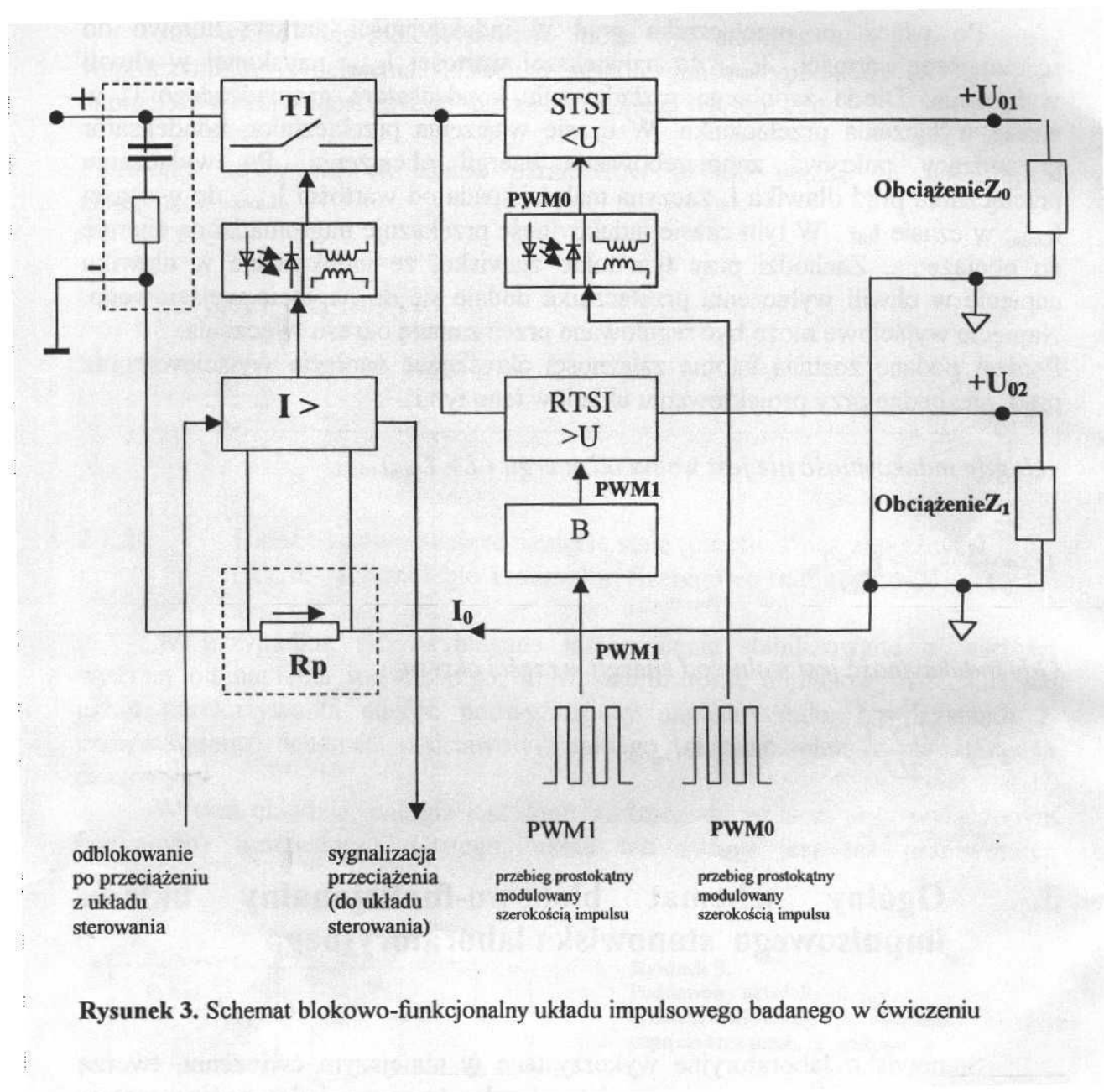
3. Ogólny schemat blokowo-funkcjonalny układu impulsowego stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne wykorzystane w niniejszym ćwiczeniu, tworzą dwa niezależne podsystemy sprzęgnięte ze sobą, tworzące jeden spójny system do badania układów impulsowych ze sterowaniem mikroprocesorowym.

Pierwszy – konsola sterująca – to system mikroprocesorowy sterujący pracą tranzystorów układów impulsowych, który umożliwia zmianę parametrów impulsowania przez zespół laboratoryjny wykonujący ćwiczenie.

Druga – kaseta – zawiera dwa niezależne obwody (podwyższający oraz obniżający napięcie) z tranzystorami pracującymi impulsowo, oraz system zabezpieczeń chroniących obwody przed przeciążeniem.

Na poniższym rysunku (Rysunek 3) przedstawiony zostanie schemat blokowo-funkcjonalny układów impulsowych badanych w niniejszym ćwiczeniu.



3.1 Opis układu badanego w ćwiczeniu

Na wejściu układu znajduje się filtr RC wysokiej częstotliwości, który filtruje ewentualne zakłócenia wchodzące od strony sieci zasilającej. Tranzystor wejściowy T1 pełni rolę klucza, który w trakcie normalnej pracy jest zamknięty, natomiast jego wyłączenie i tym samym przerwanie obwodu następuje w stanach awaryjnych.

Sterowanie pracą tranzystora odbywa się poprzez układ nadprądowy ,z zapewnieniem izolacji galwanicznej. Bezpośrednio za tranzystorem T1 układ rozdziela się na dwa podstawowe układy badane w ćwiczeniu tj. układ obniżający napięcie (STSI – patrz ppkt 2. 1.1. oraz Rysunek 1) oraz układ podwyższający napięcie (RTSI – patrz ppkt 2.1.2 oraz Rysunek 2). Powyższe układy sterowane są przebiegami prostokątnymi modulowanymi szerokością impulsu generowanymi przez układ mikroprocesorowy w konsoli sterującej. Sterowanie obydwu układów (STSI oraz RTSI) odbywa się z zapewnieniem izolacji galwanicznej. Każdy z układów obciążony jest odbiornikiem. Obwody tych układów zamykają się poprzez odbiorniki, następnie wspólny „punkt masy”, rezystor bezindukcyjny i do „ - „, zasilania napięciem stałym. Rezystor bezindukcyjny pełni funkcję bocznika na którym występuje spadek napięcia proporcjonalny do płynącego prądu. Kontrola wartości płynącego prądu odbywa się przez układ nadprądowy , który oprócz funkcji sterowania pracą tranzystora wejściowego T1, w przypadku stanu przeciążenia generuje sygnał dla układu sterowania. Rozwiązanie takie zapewnia komunikację pomiędzy mikroprocesorowym układem sterowania a badanym układem impulsowym.

4. Obsługa konsoli sterującej

Poniżej na Rysunku 4 przedstawiono wygląd pulpitu sterującej wraz z opisem poszczególnych elementów. Konsola sterująca zaprojektowana została tak, by maksymalnie uprościć sterowanie pracą układów impulsowych badanych w niniejszym ćwiczeniu. Od strony użytkowej konsola posiada czytelny wyświetlacz LCD, klawiaturę dotykową (4x4), dwie diody LED informujące o stanie pracy układu, oraz dwa przyciski typu „switch”.

UWAGA!!!

Przed rozpoczęciem ćwiczenia, należy zapoznać się z niniejszą instrukcją. Przełączanie ustawień konsoli za pomocą klawiatury, bądź wciskanie przełączników typu „switch” na pulpicie bez zapoznania się z instrukcją jest **niedozwolone**.

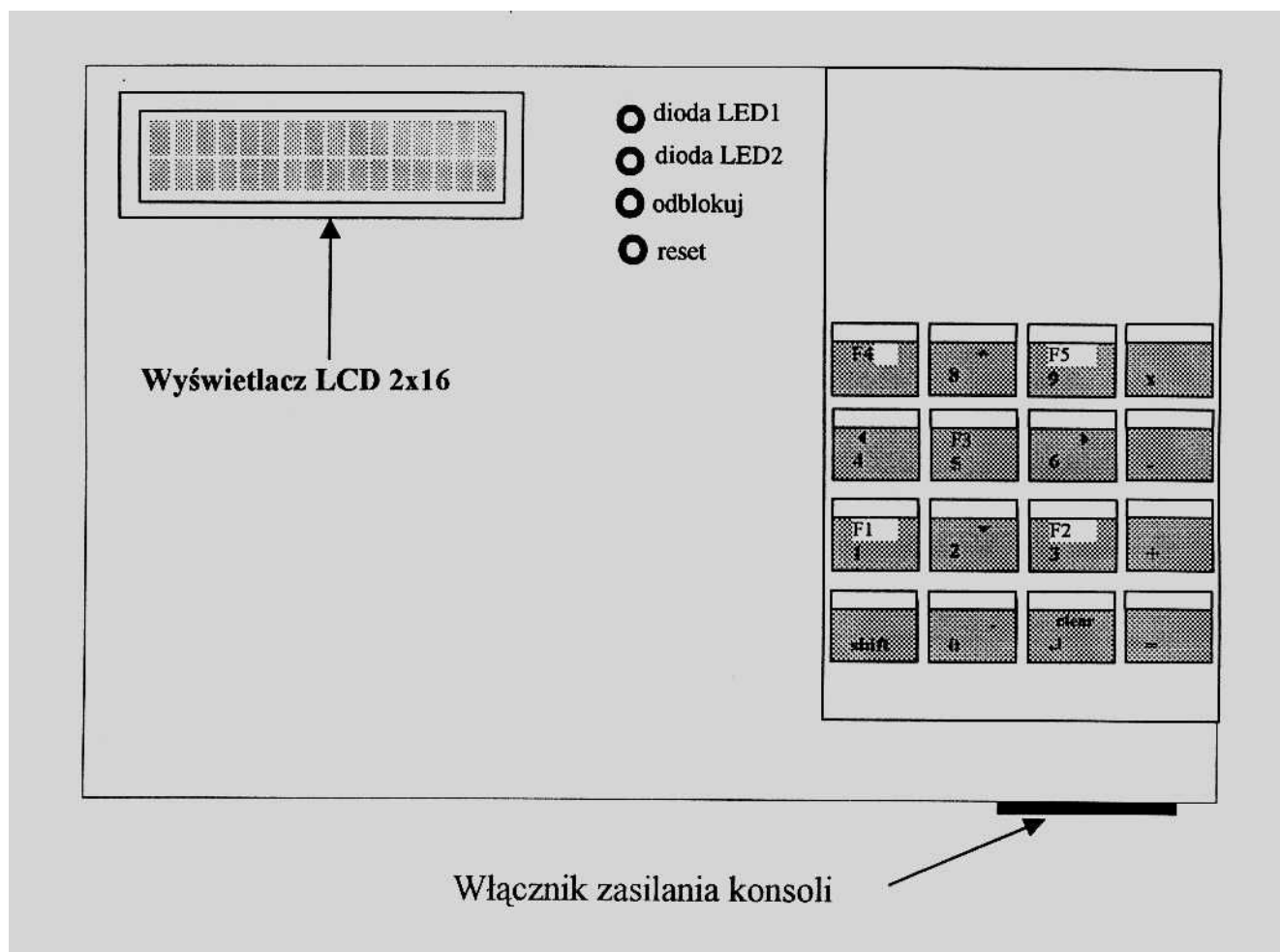
Opis diod i przełączników:

dioda LED1 - sygnalizuje, że konsola jest włączona

dioda LED2 - sygnalizuje stan przeciążenia układu impulsowego.

przełącznik „switch” odblokuj – patrz niniejsza instrukcja ppkt „Sygnalizacja przeciążenia w układzie”

przełącznik „switch” reset – patrz niniejsza instrukcja ppkt „Informacje uzupełniające”



Rysunek 4 . Pulpit konsoli sterującej (widok z góry)

Po włączeniu zasilania, na pulpicie zapala się zielona dioda LED sygnalizująca włączenie konsoli. Układ mikroprocesorowy wczytuje początkowe parametry sterowania dla układu obniżającego napięcie. W tym czasie na wyświetlaczu pojawiają się następujące komunikaty:

i	n	i	c	j	a	c	j	a	u	k	l	a	d	u
		o	b	n	i	ż	a	j	ą	c	e	g	o	

Domyślnie, przy każdym uruchomieniu systemu wczytywane są wartości dla układu obniżającego napięcie.

p	o	c	z	ą	t	k	o	w	a								
w	a	r	t	o	ś	ć		P	W	R	_o	=	5	%			



Wartość współczynnika wypełnienia PWR dla układu obniżającego, w momencie inicjacji jest ustawiona na 5%. Więcej informacji na temat zmiany wartości PWR patrz: ppkt „Zmiana wartości współczynnika wypełnienia PWR”

c	z	ę	s	t	o	t	l	i		p	o	c	z	ą	t		
					F	=	3	,	6	k	H	z					



Częstotliwość impulsowania przy inicjacji systemu dla układu obniżającego napięcie wynosi 3.6 kHz. Więcej informacji na temat zmiany częstotliwości F patrz: ppkt „Zmiana częstotliwości impulsowania”

r	o	z	p	o	c	z	y	n	a	m							
m	o	n	i	t	o	r	o	w	a	n	i	e					



Niniejszy komunikat informuje o zakończeniu etapu inicjacji systemu i przejścia do pracy cyklicznej. Zainicjowana zostaje obsługa klawiatury oraz pomiar prądu I.

System mikroprocesorowy zakończył ustawianie wartości początkowych i rozpoczyna monitorowanie pracy całego układu. Na bieżąco wyświetlane są informacje o aktualnej wartości współczynnika wypełnienia, wartości prądu odbiornika I_o oraz częstotliwości impulsowania



	P	W	R	_o	=	5	%	I	_o	=	2	,	7	8			
	F	=	3	,	6	k	H	z									

(Wartości przykładowe)

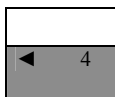
4.1 Zmiana wartości współczynnika wypełnienia

Zarówno dla układu obniżającego jak i podwyższającego napięcie, można zmieniać wartość współczynnika wypełnienia PWR. Jak wiadomo, domyślnie po włączeniu, konsola umożliwia sterowanie pracą układu obniżającego napięcie. Dla tego rodzaju układu możliwa jest zmiana współczynnika wypełnienia w zakresie 5-95%.

Założmy, że rozpoczynamy regulację współczynnika PWR po starcie systemu. W tym wypadku możemy jedynie zwiększyć wartość współczynnika wypełnienia ponieważ wartość zainicjowana [5%] jest wartością minimalną.

Zmianę współczynnika wypełnienia możemy przeprowadzić na dwa sposoby:

- 1) *Zmiana krokowa co 1% za pomocą klawiatury poprzez wciskanie przycisków:*



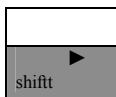
Wciśnięcie powoduje zmniejszenie wartości współczynnika wypełnienia o 1% jeśli $PWR > 5\%$ zarówno dla układu obniżającego jak i podwyższającego napięcie



Wciśnięcie powoduje zwiększenie wartości współczynnika wypełnienia o 1%, jeśli $PWR < 95\%$ dla układu obniżającego napięcie, oraz jeśli $PWR < 50\%$ dla układu podwyższającego napięcie

- 2) *Zmiana skokowa współczynnika wypełnienia do wartości zadanej.*

- a. Należy przełączyć tryb pracy klawiatury poprzez wciśnięcie przycisku



- b. Na wyświetlaczu LCD pojawi się komunikat o treści:

				k	l	a	w	i	a	t	u	r	a		
				n	u	m	e	r	y	c	z	n	a		

- a następnie:

v	a	r	t	o	ś	ć	m	n	i	e	j	s	z	a
o	d	m	i	n	i	m	a	l	n	e	j	!	!	!
Dla wartości wprowadzonej mniejszej od 5%														

w	p	r	o	w	a	d	ż		w	a	r	t	o	ś
	z		z	a	k	r	e	s	u		5	-	9	5

c. Wprowadzamy wartość z określonego zakresu przyciskami (0-9) np. 45

x	x	W	p	r	o	w	a	d	z	o	n	o	:		
						4	5								

d. następnie akceptujemy wybraną wartość przyciskiem:

=

e. Na wyświetlaczu pojawia się informacja:

w	p	i	s	a	n	a		z	o	s	t	a	l	a	
w	a	r	t	o	ś	ć		P	W	R	=	4	5	%	

f. Jeśli wprowadzona została wartość spoza określonego zakresu, to na wyświetlaczu pojawi się komunikat ostrzegawczy:

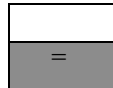
g. Jeśli przez pomyłkę wprowadzono trzy cyfry to zostanie wyświetlony komunikat ostrzegawczy:

		w	p	r	o	w	a	d	z	o	n	o			
		z	a		d	u	ż	o		c	y	f	r		

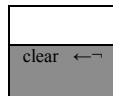
a następnie:

p	i	e	r	w	s	z	e	2	c	y	f	r	y
t	o	3	2	(	w	c	z	y	t	a	ć	?	)

Wówczas możemy zatwierdzić przyciskiem



lub anulować przyciskiem



Przycisk ten możemy użyć także w przypadku gdy wprowadzimy inną wartość od zamierzonej

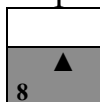
4.2 Zmiana częstotliwości impulsowania

Przy inicjacji systemu wartości początkowe dobrane są tak, że impulsowanie odbywa się z częstotliwością $F=3.6$ kHz. Podczas wykonywania ćwiczenia możliwa jest zmiana częstotliwości impulsowania na jedną z poniższych wartości.

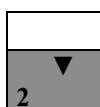
3.6 kHz (wartość domyślna)	4.3 kHz	5.4 kHz	7.2 kHz	10.8 kHz
-------------------------------	---------	---------	---------	----------

Zmiana częstotliwości impulsowania możliwa jest w trybie monitorowania tzn. gdy wyświetlane są informacje o pracy systemu (wartości PWR, I_o , F).

Przełączanie pomiędzy poszczególnymi wartościami za pomocą przycisków:



Wciśnięcie powoduje przeskok na wyższą wartość F w stosunku do aktualnej, zgodnie z powyższą tabelą jeśli $F < 10.8$ kHz



Wciśnięcie powoduje przeskok na niższą wartość F w stosunku do aktualnej, zgodnie z powyższą tabelą jeśli $F > 3.6$ kHz

W przypadku gdy podjęta zostanie próba zmiany częstotliwości poza wartość graniczną (górną lub dolną) na wyświetlaczu pojawi się komunikat ostrzegawczy:

	c	z	ę	s	t	o	t	l	i	w	o	ś	ć		
	m	a	k	s	y	m	a	l	n	a					

komunikat przykładowy

4.3 Sygnalizacja przeciążenia w układzie

Jeśli w układzie nastąpi przeciążenie to praca zostanie przerwana, na pulpicie konsoli sterującej zapali się czerwona dioda LED, natomiast na wyświetlaczu pojawi się migający komunikat:

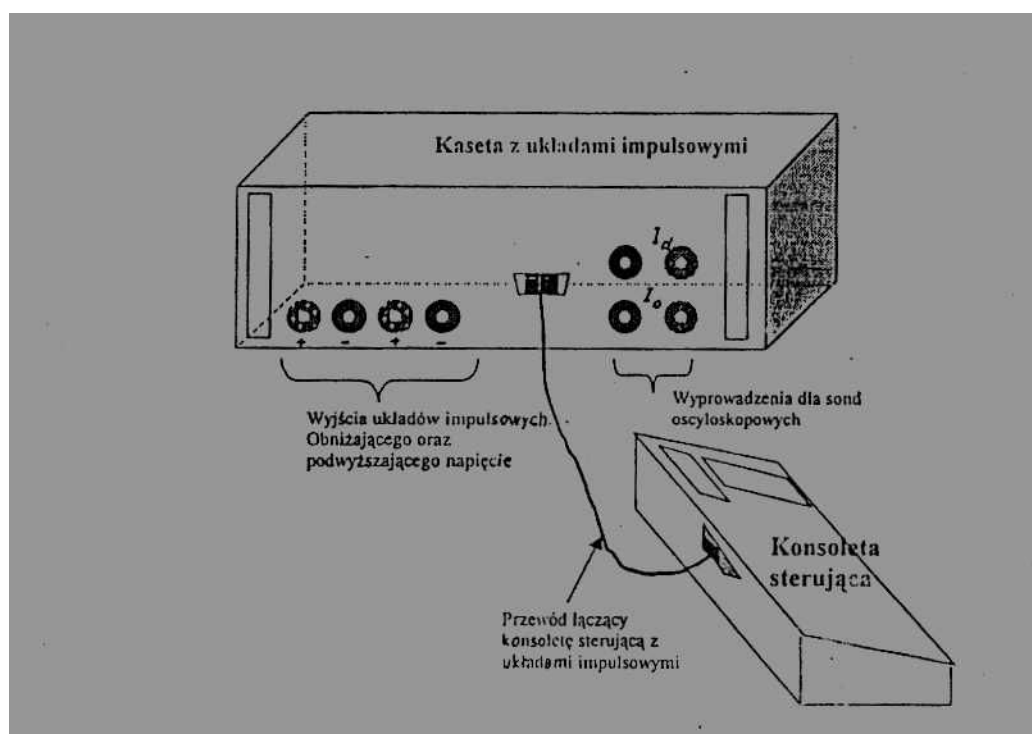
				A		L		A		R		M			
P	R	Z	E	C	I	A	Ż	E	N	I	E	!	!	!	

Należy wówczas odnaleźć przyczynę przeciążenia, w układzie zmienić tak nastawy aby nie popłynął prąd o nadmiernej wartości I , na pulpicie wcisnąć przyciski switch „odblokuj.” System powinien powrócić do normalnej pracy z zachowaniem parametrów sprzed stanu awaryjnego.

5. Wykonanie ćwiczenia

5.1. Schemat układu połączeń

Przed rozpoczęciem wykonania ćwiczenia należy połączyć ze sobą poszczególne podzespoły stanowiska, lub sprawdzić prawidłowość połączeń. Na rysunku nr 5 przedstawiono sposób połączeń wraz z opisem poszczególnych wyprowadzeń.



Rysunek 5. Sposób połączeń oraz opis wyprowadzeń stanowiska laboratoryjnego do badania układów impulsowych

5.2 Układ obniżający napięcie

5.2.1 Wyznaczenie charakterystyki zewnętrznej

Dla dwóch zadanych częstotliwości wyznaczyć charakterystykę $U_o = f(I_o)$ przy współczynniku wypełnienia $d=30\%=\text{const}$, $d=50\%=\text{const}$, $d=80\%=\text{const}$. W trakcie

wykonywania ćwiczenia obserwować kształt prądu odbiornika I_o , prądu diody I_d oraz napięcie U_o . Wyniki zapisać w tabeli wg poniższego wzoru:

			Dane do wyznaczenia charakterystyki $U_o = f(I_o)$											
$f =$	d=30%	U_o [V]												
		I_o [A]												
	d=50%	U_o [V]												
		I_o [A]												
	d=80%	U_o [V]												
		I_o [A]												
$f =$	d=30%	U_o [V]												
		I_o [A]												
	d=50%	U_o [V]												
		I_o [A]												
	d=80%	U_o [V]												
		I_o [A]												

5.2.2 Wyznaczenie charakterystyki sterowania

Dla dwóch zadanych częstotliwości wyznaczyć charakterystykę $U_o = f(d)$ przy stałej wartości prądu obciążenia $I_o = \text{const}$. Wyniki zapisać w tabeli wg poniższego wzoru:

			Dane do wyznaczenia charakterystyki $U_o = f(I_o)$											
$f =$	$I_o =$	U_o [V]												
		d [%]												
	$I_o =$	U_o [V]												
		d [%]												
	$I_o =$	U_o [V]												
		d [A]												
	I_o	U_o [V]												
		d [A]												

Na podstawie wykonanych pomiarów oraz obserwacji kształtu prądu I_o , określić przy jakiej częstotliwości i współczynniku wypełnienia występuje prąd krytyczny i określić jego wartość. Wykonać 5 pomiarów.

5.2.3 Obserwacja fluktuacji współczynnika wypełnienia „d”

W zakresie prądu ciągłego dokonać obserwacji fluktuacji wartości współczynnika wypełnienia d, w funkcji impedancji obciążenia Z.

5.3 Układ podwyższający napięcie

5.3.1 Wyznaczenie charakterystyki zewnętrznej

Pomiary przeprowadzić w sposób analogiczny jak dla układu obniżającego napięcie. Przeprowadzić obserwację prądów oraz napięcia U_o . Wyniki zapisać w tabeli wg powyższego wzoru.

5.3.2 Wyznaczenie charakterystyki sterowania

Pomiary przeprowadzić w sposób analogiczny jak dla układu obniżającego napięcie. Przeprowadzić obserwację prądów oraz napięcia U_o . Wyniki zapisać w tabeli w /g wzoru jak w punkcie 5.2.2.

-

