 Katedra Energoelektryki Zespół Urządzeń Elektroenergetycznych		Laboratorium Urządzeń i Instalacji Elektrycznych		
Rok akad.: 2019/20	Nr grupy lab. :	Skład grupy:		
Studia : S1I/ ETK	3	1. Kacper Borucki (protokół, sprawozdanie) 2. Robert Leśniak 3. Artur Walaszczyk		
Rok/semestr: III/5				
Ćwiczenie nr : 9		Data wykonania ćwiczenia	Data oddania sprawozdania	Ocena
Łączniki statyczne prądu przemiennego		2019-11-05	2019-11-12	

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z budową i podstawowymi właściwościami jednofazowych łączników statycznych prądu przemiennego oraz z możliwościami wykorzystania tych układów do sterowania parametrami energii elektrycznej pobieranej przez odbiornik.

2. Przebieg ćwiczenia

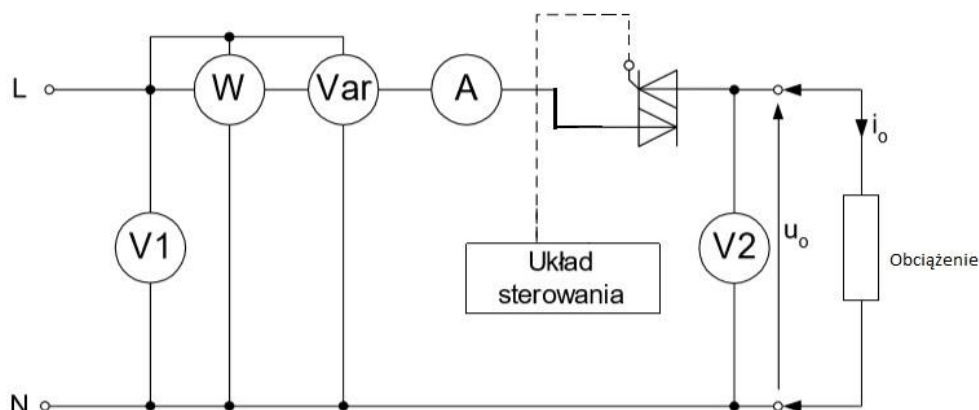
- Badanie przebiegów sygnałów podczas sterowania fazowego w obwodach:
 - Rezystancyjnym
 - Indukcyjnym
 - Rezystancyjno-indukcyjnym
- Obserwacja przebiegów prądu i napięcia podczas sterowania impulsowego
- Zapoznanie się ze sposobem działania sterowania kluczowego

3. Spis przyrządów

Przyrząd	Nr inwentarzowy	Oznaczenie na schemacie
Transformator oddzielający 800VA	I8IVa-2642	-
Woltomierz LE-1	I8IVa-2313	V1
Woltomierz LE-3	Nr 610	V2
Amperomierz LE-1	I8IVa-928W	A
Watomierz LW-1	Eksponat	W
Watomierz (waromierz) LW-1	-	Var
Oscyloskop Hamel HM507	019/I8/664/T/1353	-

4. Układy pomiarowe

Schemat 1: Układ pomiarowy do badania możliwości łącznika statycznego:



5. Tabele pomiarowe i obliczeniowe

Sterowanie fazowe

Tabela 1: Pomiary obwodu o charakterze rezystancyjnym

Lp.	α	U_1	I_{o1}	P_0	D_0^2	U_0	$\frac{P_0}{P}$	$\frac{U_0}{U_1}$	$\cos \varphi_1$	λ
	[°]	[V]	[I]	[W]	[Var]	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0	238	0,29	70	0,00	235	1,00	0,99	1,01	1,00
2	10	238	0,29	70	0,00	235	1,00	0,99	1,01	1,00
3	20	238	0,29	70	0,00	235	1,00	0,99	1,01	1,00
4	30	238	0,29	69,5	2,31	235	0,99	0,99	1,01	1,00
5	40	238	0,285	68	4,62	230	0,97	0,97	1,00	1,00
6	50	238	0,283	66	8,08	225	0,94	0,95	0,98	0,99
7	60	238	0,278	63	11,55	217,5	0,90	0,91	0,95	0,98
8	70	238	0,272	59,5	15,01	210	0,85	0,88	0,92	0,97
9	80	238	0,262	54	18,48	195	0,77	0,82	0,87	0,95
10	90	238	0,25	47,5	20,78	175	0,68	0,74	0,80	0,92
11	100	238	0,24	42	23,09	160	0,60	0,67	0,74	0,88
12	110	238	0,22	35	23,09	137,5	0,50	0,58	0,67	0,83
13	120	238	0,2	29	23,09	115	0,41	0,48	0,61	0,78
14	130	239	0,175	22	20,78	90	0,31	0,38	0,53	0,73
15	140	239	0,155	18	17,32	72,5	0,26	0,30	0,49	0,72
16	150	239	0,125	14	13,86	45	0,20	0,19	0,47	0,71
17	160	240	0,1	9	10,39	25	0,13	0,10	0,38	0,65
18	170	240	<0,1	8	10,39	17	0,11	0,07	-	-
19	180	240	<0,1	6,5	0,00	0	0,09	0,00	-	-

Tabela 2: Pomiary obwodu o charakterze indukcyjnym

Lp.	α	U_1	I_{o1}	P_0	$\sqrt{Q_0^2 + D_0^2}$	U_0	$\frac{P_0}{P}$	$\frac{U_0}{U_1}$	$\cos\varphi_1$	λ
	[°]	[V]	[I]	[W]	[Var]	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0	234	0,435	43	90,1	230	1,00	0,98	0,42	0,43
2	60	233	0,43	42,5	90,1	230	0,99	0,99	0,42	0,43
3	80	233	0,425	42	87,8	227,5	0,98	0,98	0,42	0,43
4	90	235	0,355	34	73,9	210	0,79	0,89	0,41	0,42
5	100	236	0,285	27	60,0	190	0,63	0,81	0,40	0,41
6	110	236	0,22	20	43,9	165	0,47	0,70	0,39	0,41
7	120	238	0,168	15,5	32,3	142,5	0,36	0,60	0,39	0,43
8	130	238	0,115	12	20,8	115	0,28	0,48	0,44	0,50
9	140	238	0,1	9,5	13,9	90	0,22	0,38	0,40	0,57
10	150	239	<0,1	8	6,9	65	0,19	0,27	-	0,76
11	160	239	<0,1	7	2,3	40	0,16	0,17	-	0,95
12	170	225	<0,1	59	154,7	205	1,37	0,91	-	0,36

Tabela 3: Pomiary obwodu o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym

Lp.	α	U_1	I_{o1}	P_0	$\sqrt{Q_0^2 + D_0^2}$	U_0	$\frac{P_0}{P}$	$\frac{U_0}{U_1}$	$\cos\varphi_1$	λ
	[°]	[V]	[I]	[W]	[Var]	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0	231	0,579	102	87,8	227,5	1,00	0,98	0,76	0,76
2	52	231	0,576	102	86,6	227,5	1,00	0,98	0,77	0,76
3	60	231	0,565	98	85,4	225	0,96	0,97	0,75	0,75
4	70	231	0,538	93	83,1	215	0,91	0,93	0,75	0,75
5	80	232	0,485	82	77,4	200	0,80	0,86	0,73	0,73
6	90	233	0,435	70	69,3	185	0,69	0,79	0,69	0,71
7	100	234	0,385	59	61,2	165	0,58	0,71	0,65	0,69
8	110	235	0,325	46	50,8	142,5	0,45	0,61	0,60	0,67
9	120	235	0,275	36	41,6	120	0,35	0,51	0,56	0,65
10	130	236	0,225	27	32,3	92,5	0,26	0,39	0,51	0,64
11	140	238	0,185	20	24,2	70	0,20	0,29	0,45	0,64
12	150	239	0,136	0	16,2	42,5	0,00	0,18	0,00	0,00
13	160	239	0,105	0	11,5	25	0,00	0,10	0,00	0,00
14	170	239	0,1	0	9,2	0	0,00	0,00	0,00	0,00
15	180	239	<0,1	0	0,0	0	0,00	0,00	-	-

6. Przykładowe obliczenia

Wyznaczenie zależności $\frac{P_0}{P}$ [tabela 3, lp. 4]:

$$\frac{P_0}{P} = \frac{93W}{102W} = 0,91$$

Wyznaczenie zależności $\frac{U_0}{U_1}$ [tabela 3, lp. 4]:

$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{215V}{231V} = 0,93$$

Wyznaczenie $\cos\varphi_1$ [tabela 2, lp. 5]:

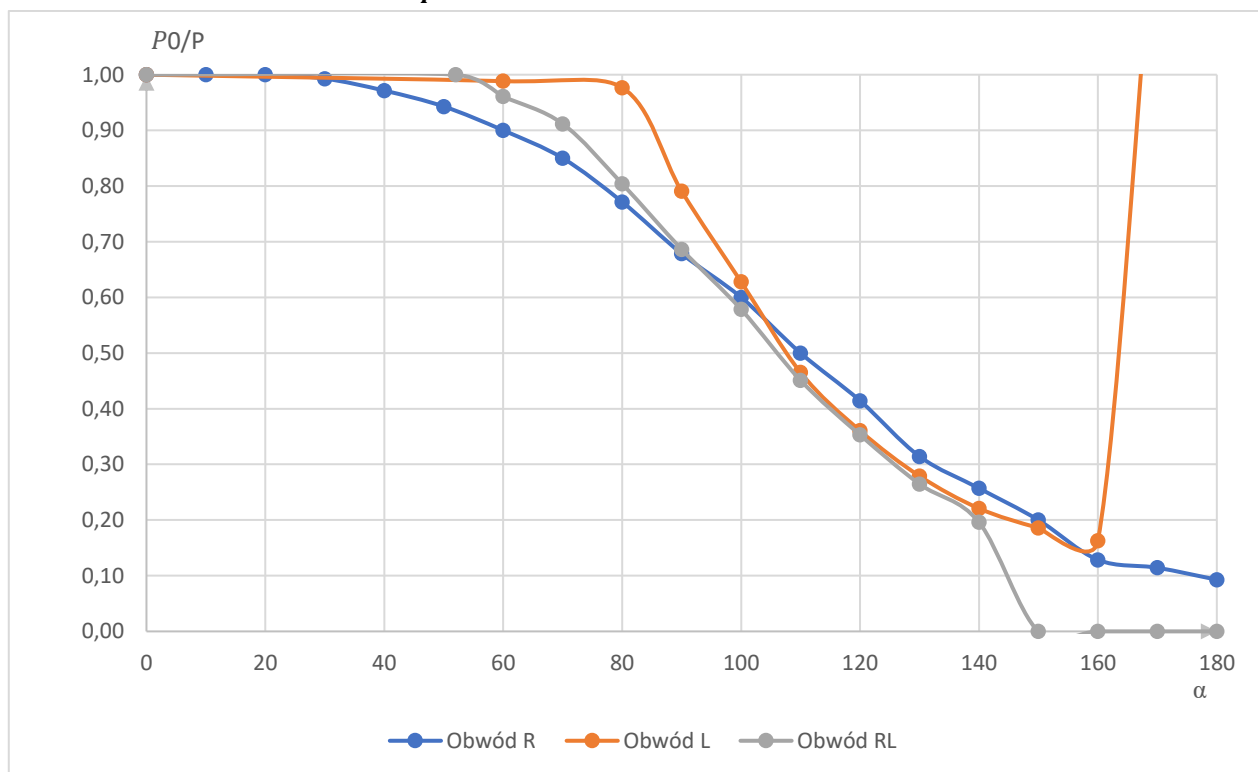
$$\cos\varphi_1 = \frac{P_0}{U_1 I_{o1}} = \frac{27W}{236V \cdot 0,285A} = 0,4$$

Wyznaczenie λ [tabela 2, lp. 5]:

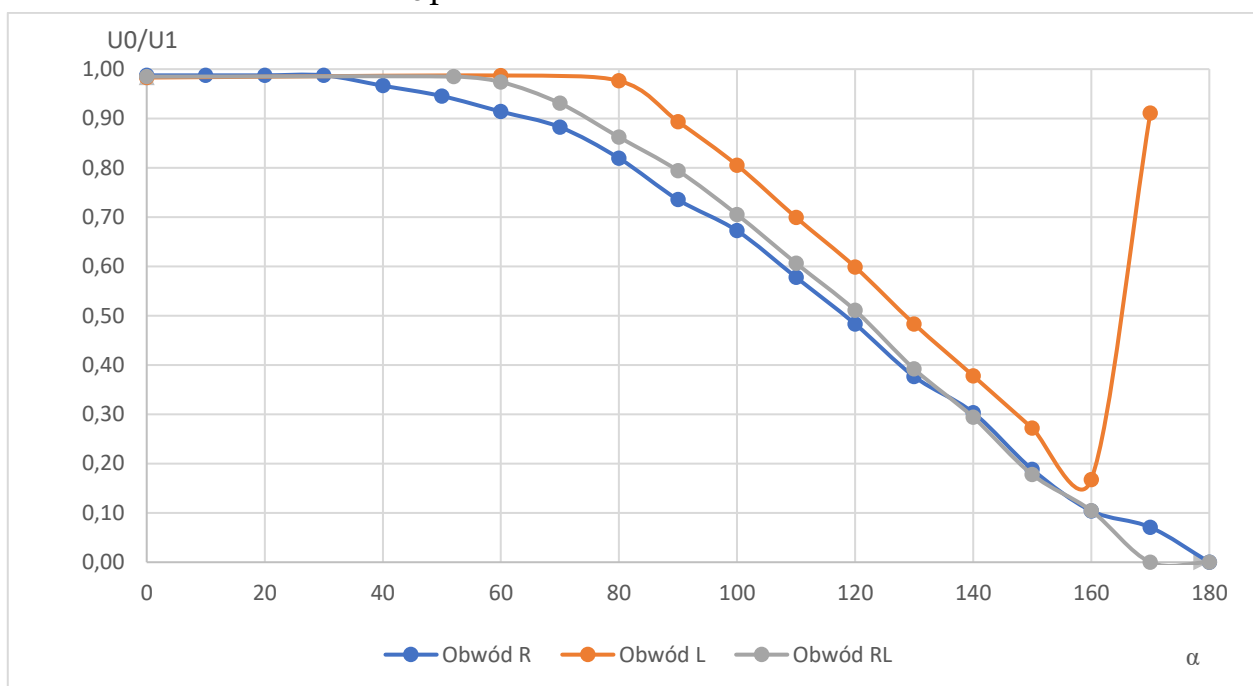
$$\lambda = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2 + D_0^2}} = \frac{27W}{\sqrt{(27W)^2 + (60Var)^2}} = 0,41$$

7. Charakterystyki

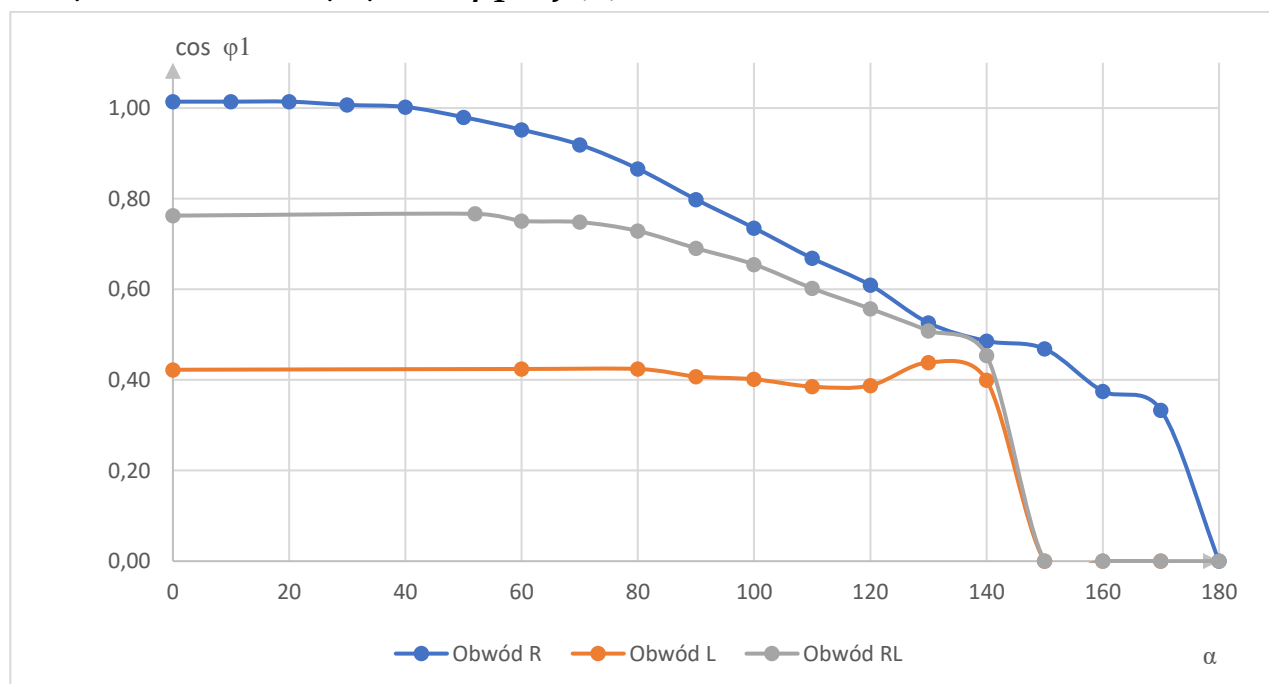
Wykres 1: Charakterystyki $\frac{P_0}{P} = f(\alpha)$



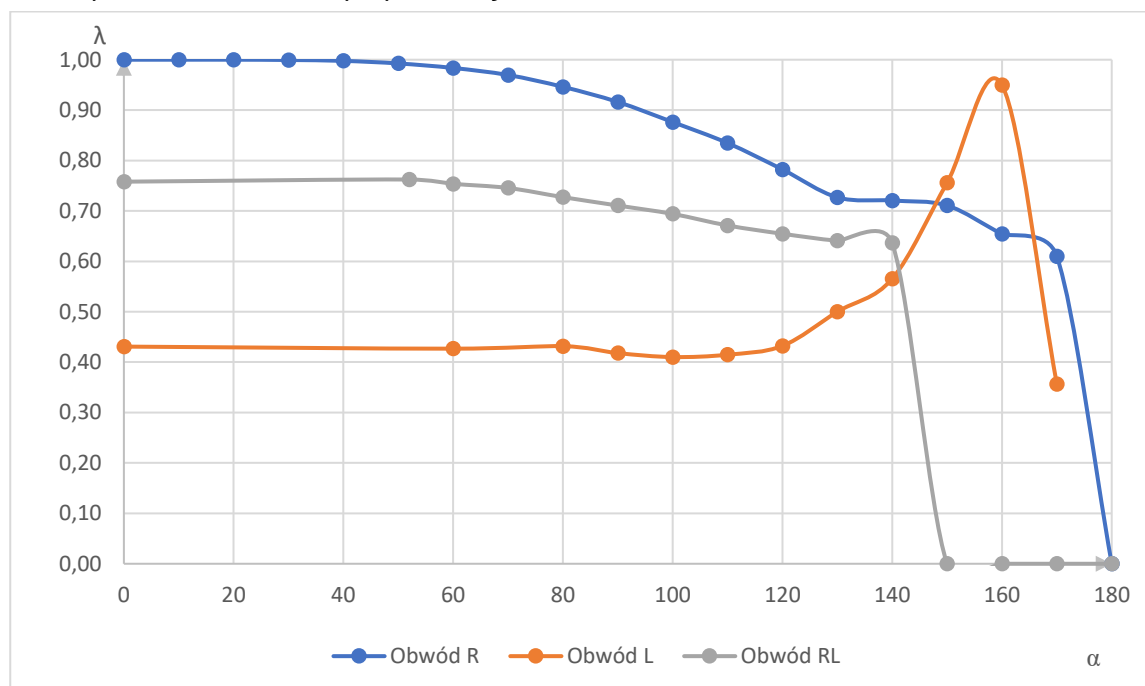
Wykres 2: Charakterystyki $\frac{U_0}{U_1} = f(\alpha)$



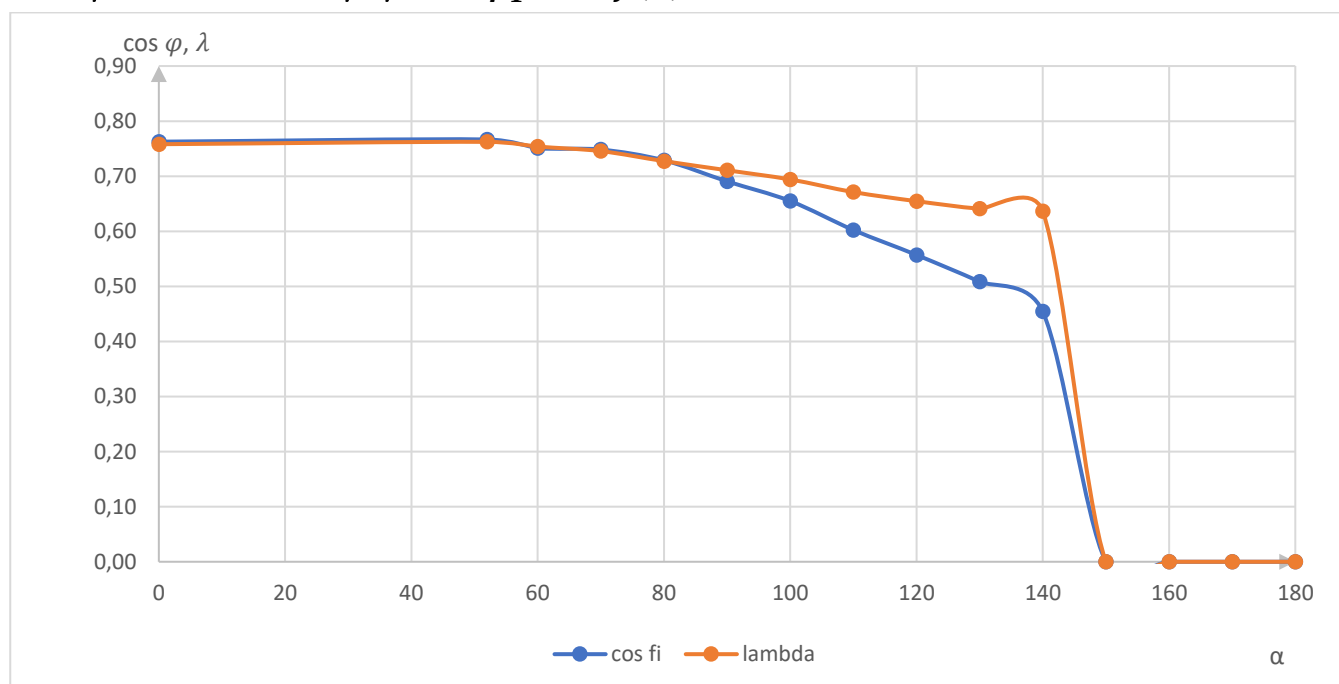
Wykres 3: Charakterystyki $\cos \varphi_1 = f(\alpha)$



Wykres 4: Charakterystyki $\lambda = f(\alpha)$

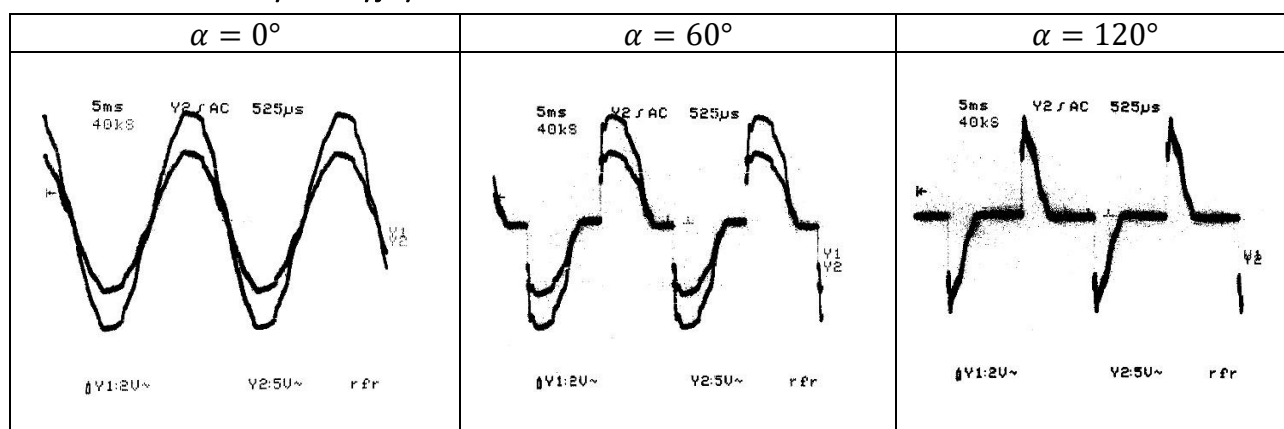


Wykres 5: Charakterystyki $\cos \varphi_1$, $\lambda = f(\alpha)$ dla obwodu RL

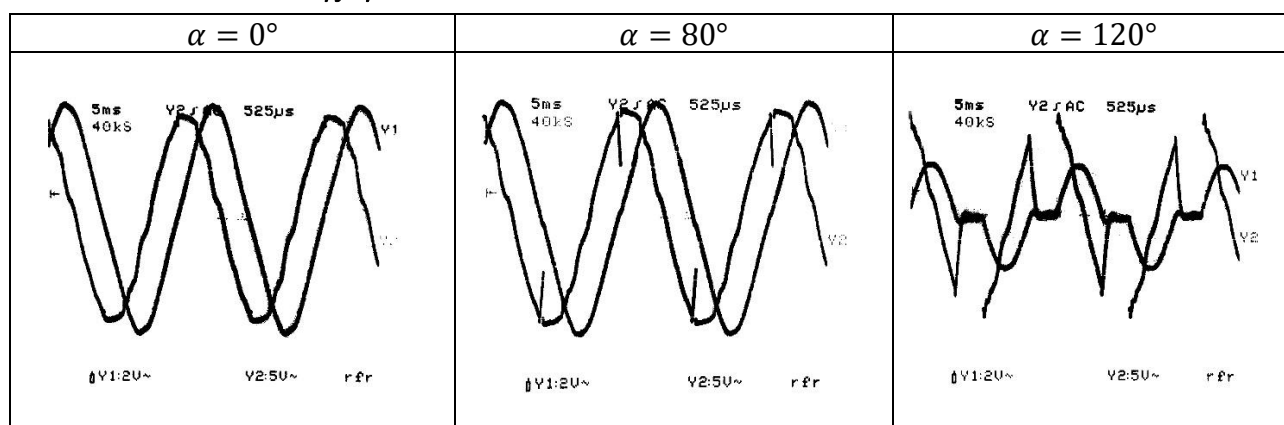


8. Przebiegi sygnałów

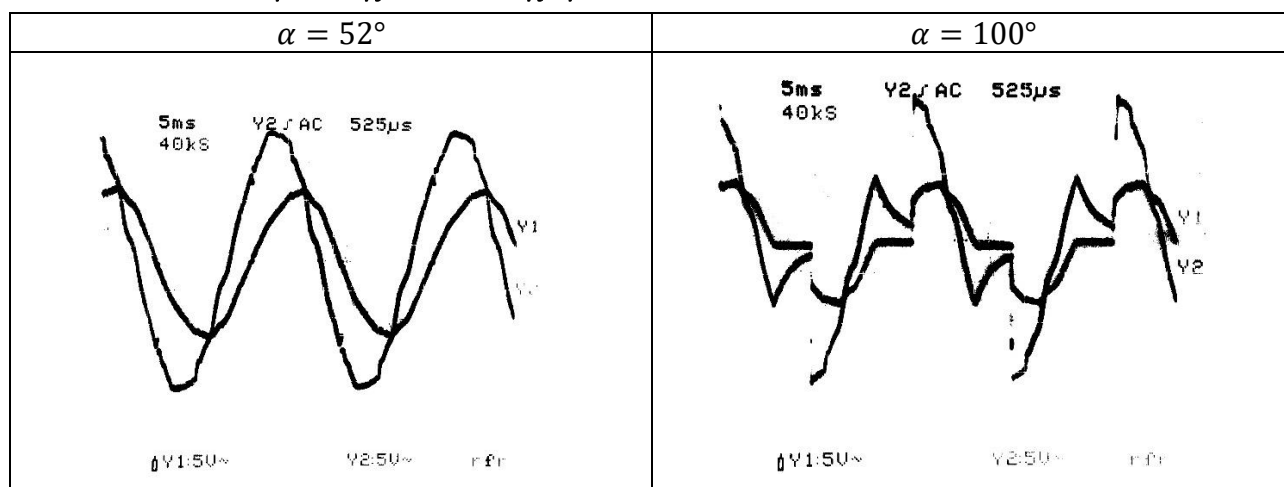
Rysunek 1: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie w przypadku obwodu o charakterze rezystancyjnym.



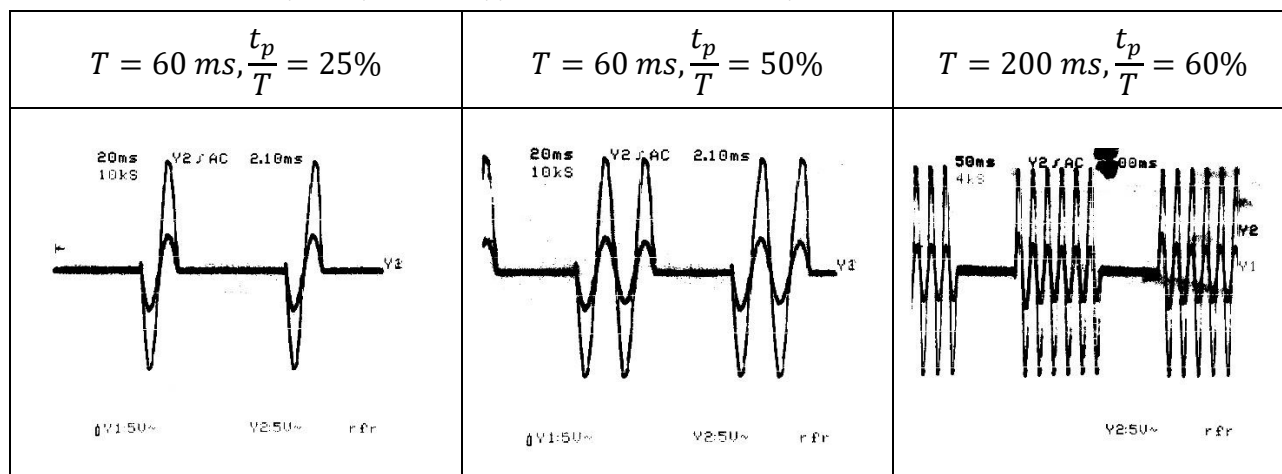
Rysunek 2: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie w przypadku obwodu o charakterze indukcyjnym.



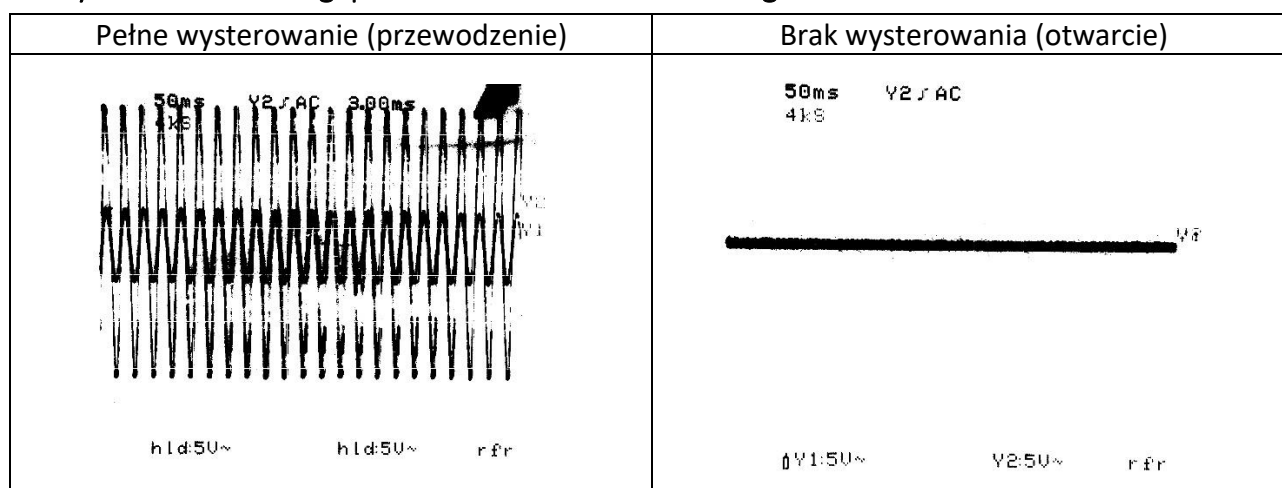
Rysunek 3: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie w przypadku obwodu o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym.



Rysunek 4: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie przy różnych ustawieniach współczynnika wypełnienia i okresu impulsowania.



Rysunek 5: Przebiegi podczas sterowania kluczewego.



9. Uwagi i wnioski

Ogólne

- Podczas ćwiczenia zapoznano się z praktycznym zastosowaniem sterowanych łączników statycznych, w trzech przypadkach sterowania: kluczewego, impulsowego oraz fazowego.
- Zastosowano odpowiednie oznaczenia: R – obwód o charakterze rezystancyjnym; L – obwód o charakterze indukcyjnym; RL – obwód o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym.

Sterowanie fazowe

- W przypadku obwodu R łatwo zauważyć pojawienie się mocy odkształcenia – wskazanie wariomierza zwiększa się z każdym kolejnym pomiarem. Moc odkształcenia to jeden z negatywnych skutków tego typu sterowania.

- W przypadku obwodów L i RL, wskazania wariomierza początkowo związane są z mocą bierną, dlatego dopiero od pewnego kąta wysterowania łącznika można zauważyć znaczne różnice między współczynnikiem mocy λ a $\cos\varphi_1$ wyrażającym kąt przesunięcia między pierwszą harmoniczną prądu a napięciem. Fakt ten stanowi dowód na to, że wyznaczenie $\cos\varphi$ dla sterowanego obwodu nie jest tym samym, co wyznaczenie współczynnika mocy λ . Porównawcza charakterystyka $\cos\varphi_1 = f(\alpha)$ oraz $\lambda = f(\alpha)$ dla obwodu RL została przedstawiona na wykresie 5.
- Duży kąt wysterowania (170°) w przypadku obwodu L doprowadził do znacznego skoku wskazań wszystkich przyrządów. Niestety, nie udało się znaleźć jednoznacznego wytłumaczenia tego zjawiska.
- Biorąc pod uwagę charakterystyki $\frac{P_0}{P} = f(\alpha)$ oraz $\frac{U_0}{U_1} = f(\alpha)$ z wykresów 1 i 2 można stwierdzić, że sterowanie fazowe jest skuteczną metodą regulacji zarówno napięcia, jak i mocy odbiornika. Analiza przebiegu tych charakterystyk pozwala zauważyć, że im bardziej indukcyjny charakter ma obwód, tym większy kąt wysterowania powoduje zmianę mocy czynnej i napięcia odbiornika, a także że zmiana ta jest gwałtowniejsza niż przy charakterystyce obwodu rezystancyjnego.
- W obwodzie R prąd i napięcie są ze sobą w fazie, więc zmiany ich przebiegów są widoczne na oscyloskopie już od niewielkich kątów wysterowania. Porównanie przebiegów zostało zestawione na rysunku 1. Bardzo wyraźnie widać na nim sposób działania sterowania fazowego (załączanie przy danym kącie wysterowania, wyłączenie przy przejściu napięcia przez 0).
- W przypadku obwodów z indukcyjnością, zachowawczość elementu indukcyjnego powoduje, że sterowanie napięciem i mocą jest możliwe dopiero przy kątach większych od kąta przesunięcia fazowego zależnego od charakteru odbiornika
 - W praktyce, aby zmiany przebiegów na oscyloskopie były widoczne, należało ustawić kąt wysterowania o ok. 20° wyższy, niż wynikałoby to z obliczeń (odpowiednio 65° dla obwodu L oraz 40° dla obwodu RL).
 - Zmiany przebiegów przy różnych kątach wysterowania dla tych obwodów zostały przedstawione na rysunkach 2 i 3.
- Analiza przebiegów obwodów L oraz RL z rysunków 2 i 3 pozwala zauważyć takie zjawiska, jak zachowawczość cewki (*gładki* przebieg prądu, bez dużych skoków), kąt przesunięcia fazowego, a także najmniejszy kąt wysterowania możliwy dla danego obwodu.

Sterowanie impulsowe

- Przebiegi podczas sterowania impulsowego przy różnych ustawieniach współczynnika wypełnienia i okresu impulsowania zostały zestawione na rysunku 4. Można na nich zobaczyć, jak w praktyce wygląda ten typ sterowania. Jego zaletą jest brak wprowadzania zakłóceń do sieci, a także możliwość regulacji mocy odbiornika – o ile ma on odpowiednią stałą czasową - np. grzejnik. W przypadku badanego odbiornika – żarówki – można było zaobserwować jej migotanie. Stąd wniosek, że ten typ sterowania można zastosować również do np. sygnalizacji świetlnej.

Sterowanie kluczowe

- Sterowanie kluczowe stanowi głównie funkcję rozłącznika, ponieważ jego jedyne możliwości to pełne wysterowanie lub brak wysterowania, czyli stan przewodzenia oraz stan otwarcia łącznika. Jego główną zaletą, jako funkcji rozłącznika, jest możliwość zastosowania w automatyce.