

BADANIA EKSPERYMENTALNE 1-FAZOWEGO, BEZTRANSFORMATOROWEGO KONDYCYJONERA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Grzegorz Meckien

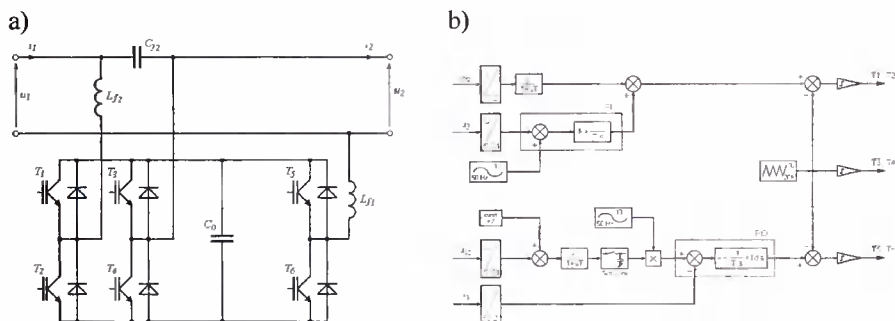
Akademia Techniczno-Rolnicza, Instytut Elektrotechniki
ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

W artykule przedstawiono strukturę jednofazowego układu kondycjonowania energii elektrycznej. Jest to układ beztransformatorowy ze zminimalizowaną ilością łączników tranzystorowych. Układ ten może pełnić rolę szeregowo-równoległego filtra aktywnego zmniejszającego oddziaływanie odbiornika nieliniowego na sieć zasilającą, poprawiać jakość energii elektrycznej dostarczanej do odbiornika oraz dopasowywać parametry sieci zasilającej do parametrów wymaganych przez zasilany odbiornik. Artykuł zawiera wybrane wyniki badań eksperymentalnych.

Słowa kluczowe: filtry aktywne, jakość energii elektrycznej, kondycjonowanie energii elektrycznej, układy 1-fazowe

1. WSTĘP

Jednym ze sposobów zapewnienia wymaganej [8, 9] jakości energii elektrycznej jest zastosowanie układu kondycjonowania energii elektrycznej APC (active power conditioners). W niniejszym artykule zaprezentowany został 1-fazowy układ APC w konfiguracji dwóch połączonych filtrów aktywnych: szeregowego i równoległego [1, 2]. Na podstawie wcześniejszych rozważań [5] wybrano topologię beztransformatorową typu odwrócona Γ , przy wykorzystaniu 3-fazowego modułu tranzystorowego IGBT (rys. 1a). Układ ten umożliwia dopasowanie odbiornika i źródła, dynamiczne sterowanie przesyłem mocy [3, 4], kompensację przesunięcia fazowego φ prądu odbiornika i_2 oraz regulacji napięcia wyjściowego u_2 . Możliwa jest także praca tego układu w zakresie zmniejszania oddziaływania nieliniowego odbiornika na sieć zasilającą przy zapewnieniu zadanych parametrów zasilania odbiornika przy zakłóceniach parametrów sieci. Oczywiście sposób działania i rezultaty pracy układu APC zależą nie tylko od topologii obwodów głównych, ale także od zastosowanego algorytmu sterowania. Zastosowana w badanym modelu laboratoryjnym struktura układu regulacji została przedstawiona na rysunku 1b. Podstawy teoretyczne działania poszczególnych bloków układu sterowania oraz ogólna strategia funkcjonowania tej struktury regulacji są przedstawione w literaturze [5, 6, 7]. W artykule zaprezentowano wybrane rezultaty badań eksperymentalnych układu APC o przedstawionych powyżej właściwościach.



Rys. 1. Beztransfornatorowy układ kondycjonera typu inv. Γ : a) topologia, b) układ sterowania

2. REZULTATY BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

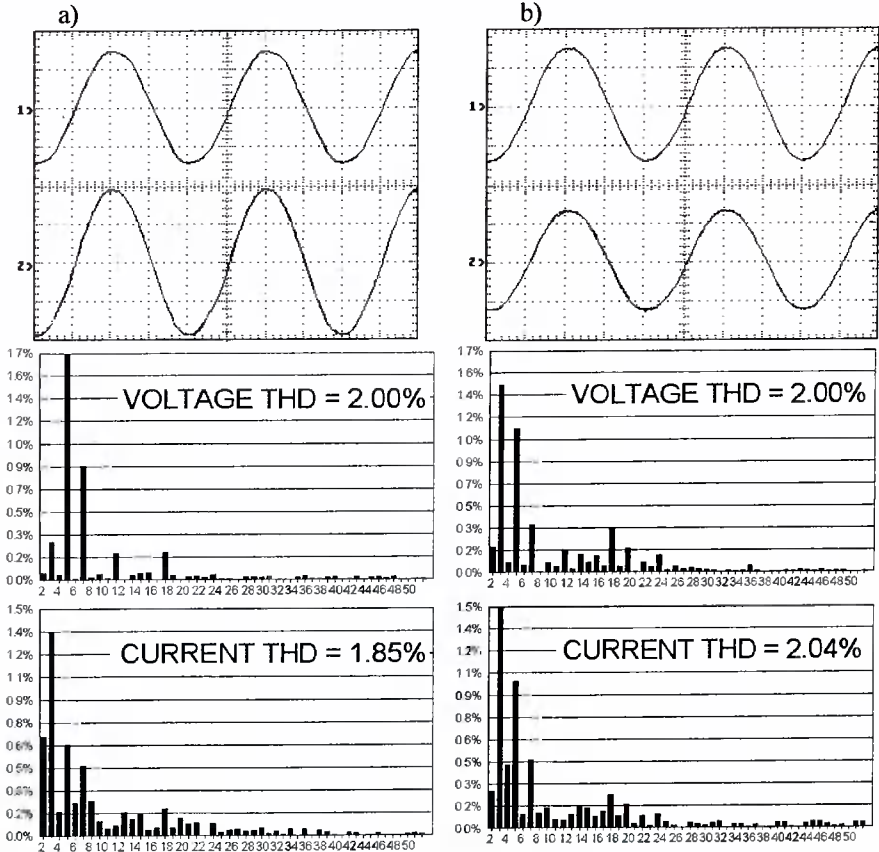
Wykonany model laboratoryjny został zaprojektowany do pracy przy znamionowym napięciu sieci zasilającej $U_{IN} = 230$ V i prądzie odbiornika $I_{2N} = 6$ A dla kształtu sinusoidalnego. Determinuje to maksymalną moc odbiornika na poziomie 1400 W. Oczywiście przy odkształconej fali prądu dla nieliniowego odbiornika wartość maksymalna przebiegu może przekraczać wartość maksymalną dla prądu sinusoidalnego $I_{2Nmax} = I_{2N} \cdot \sqrt{2} \cong 8,5$ A. W modelu wykorzystano moduł tranzystorowy z tranzystorami o prądzie maksymalnym 15 A i aktywnym zabezpieczeniem przed przeciążeniem nastawionym na wartość ca 13 A. Z tego powodu wartość chwilowa odkształconego prądu nie może przekraczać tej wartości. W artykule przedstawiono rezultaty wstępnych badań kondycjonera przy obniżonym napięciu zasilania. Przyjęto $U_{IN} = 50$ V. Podstawowe parametry badanego układu zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry badanego modelu laboratoryjnego

Napięcie sieci zasilającej	50	V
Napięcie obwodu DC	300	V
Indukcyjność filtra L_{f1}	2	mH
Indukcyjność filtra L_{f2}	2	mH
Pojemność filtra C_{f2}	20	μ F
Pojemność kondensatora C_0	3000	μ F
Częstotliwość przełączania	20	kHz

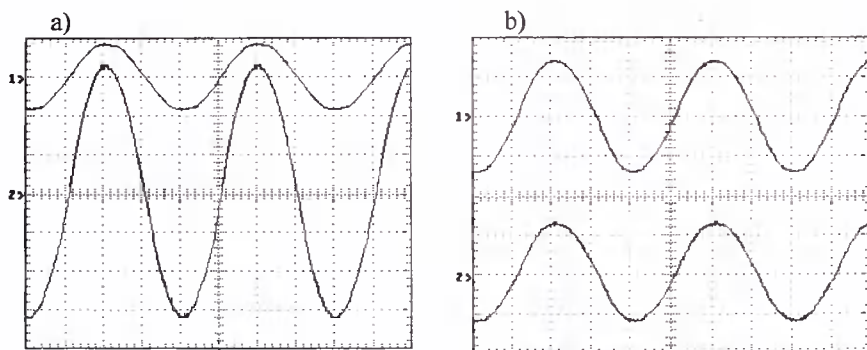
2.1. OBCIĄŻENIE LINIOWE – REZYSTOR

Przeprowadzono próbę pracy kondycjonera dla odbiornika liniowego. Do zacisków wyjściowych dołączono rezystor $R = 50 \Omega$. Ponieważ kondycjoner jest urządzeniem energoelektronicznym o skończonej częstotliwości łączeń tranzystorów liniowe obciążenie i zasilanie układu napięciem sinusoidalnym może wykazać wpływ samego kondycjonera na zawartość wyższych harmonicznych w prądach i napięciach.

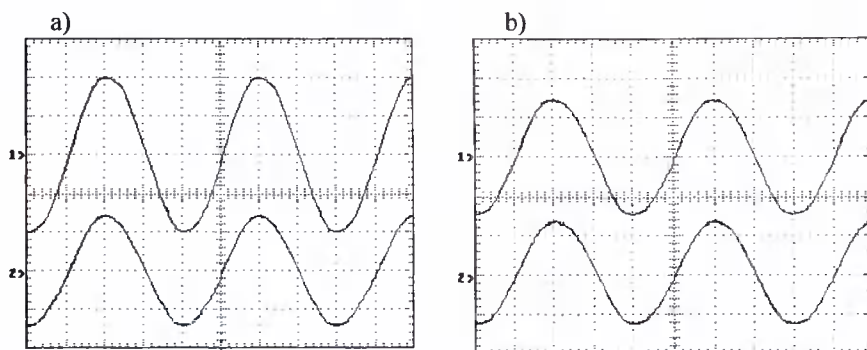
2.1.1. Praca układu dla $U_1 = U_2 = 50$ V

Rys. 2. Przebiegi czasowe i zawartość wyższych harmonicznych napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 1 A; 5 ms): a) sieć zasilająca, b) obciążenie (liniowe)

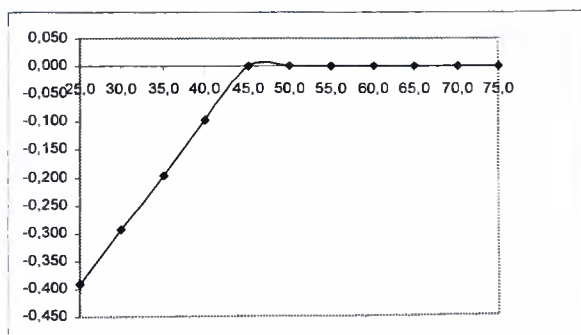
W czasie badania kondycjoner pracował w trybie filtra aktywnego i stabilizatora napięcia. Przebiegi czasowe są zgodne z oczekiwaniami, prąd sieci jest w fazie z napięciem zasilającym. Jak widać wartość współczynnika odkształcenia harmonicznymi THD wyznaczona dla wejściowych i wyjściowych prądów i napięć oscyluje wokół wartości 2 %. Wartość współczynnika THD na takim poziomie jest w myśl zapisów normalizacyjnych [8, 9] dopuszczalna trwale dla wszystkich klas środowiska elektromagnetycznego.

2.1.2. Praca układu dla $U_2 = 50$ V przy $U_1 = \text{VAR}$ 

Rys. 3. Przebiegi czasowe napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 1 A; 5 ms) dla $U_1 = 30$ V: a) sieć zasilająca, b) obciążenie (liniowe)



Rys. 4. Przebiegi czasowe napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 1 A; 5 ms) dla $U_1 = 70$ V: a) sieć zasilająca, b) obciążenie



Rys. 5. Wykres $\delta U_{2\%} = f(U_1)$

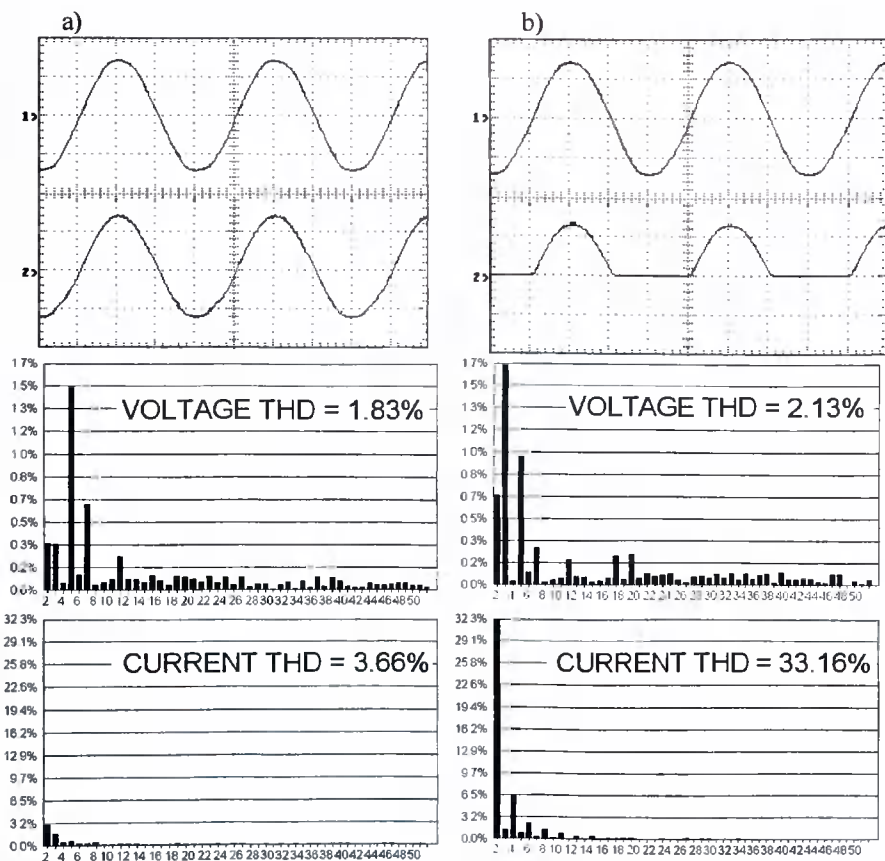
Badany układ zasilano z autotransformatora i dokonano pomiarów napięć i prądów (rys. 3 i 4) dla napięcia zasilającego zmienianego od 25 V do 75 V. Jak widać

z oscylogramów i sporządzonego wykresu względnej zmiany napięcia wyjściowego (zakładając $U_{2N} = 50$ V) kondycjoner wykazuje właściwości stabilizacji napięcia (rys. 5).

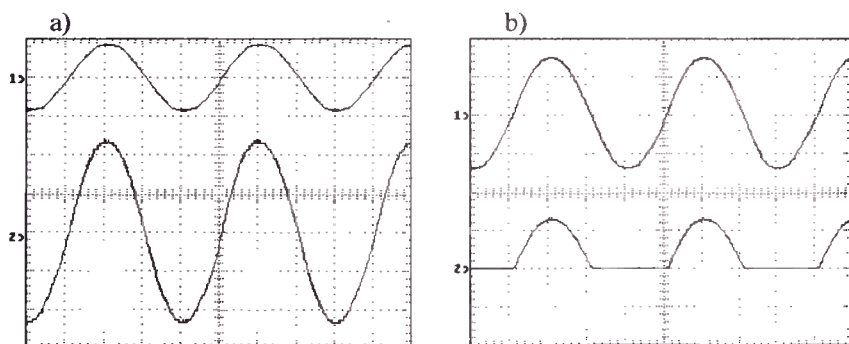
2.2. OBCIĄŻENIE NIELINIOWE – PROSTOWNIK JEDNOPULSOWY

W tej części badań do zacisków wyjściowych kondycjonera dołączono prostownik jednopulsowy obciążony rezystorem $R = 50 \Omega$. Tego rodzaju obciążenie generuje składową stałą prądu, która jest szczególnie niekorzystna dla pracy transformatorów. Jak widać z prezentowanych oscylogramów i histogramów zawartości harmoniczných (rys. 6) kondycjoner zapewnia wystarczającą redukcję odkształcenia prądu. Dla tego rodzaju obciążenia jest także zapewniana stabilizacja napięcia wyjściowego (rys. 7 – 9).

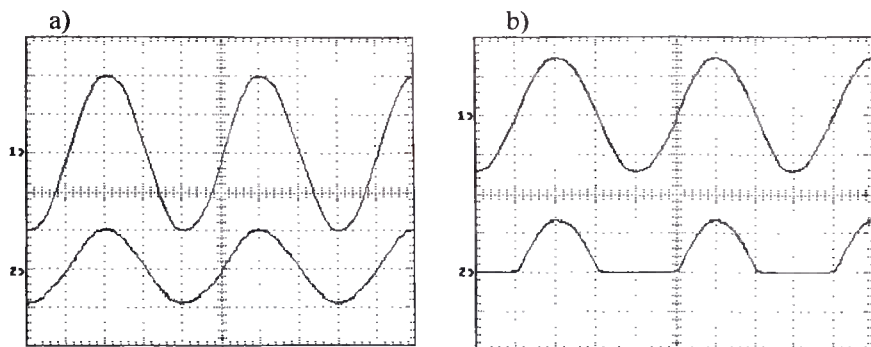
2.2.1. Praca układu dla $U_1 = U_2 = 50$ V



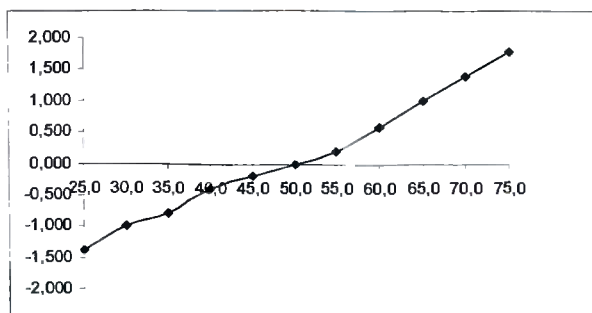
Rys. 6. Przebiegi czasowe i zawartość wyższych harmoniczných napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 1 A; 5 ms): a) sieć zasilająca, b) obciążenie (prostownik 1-pulsowy)

2.2.2. Praca układu dla $U_2 = 50 \text{ V}$ przy $U_1 = \text{VAR}$ 

Rys. 7. Przebiegi czasowe napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 1 A; 5 ms) dla $U_1 = 30 \text{ V}$; a) sieć zasilająca, b) obciążenie (prostownik 1-pulsowy)



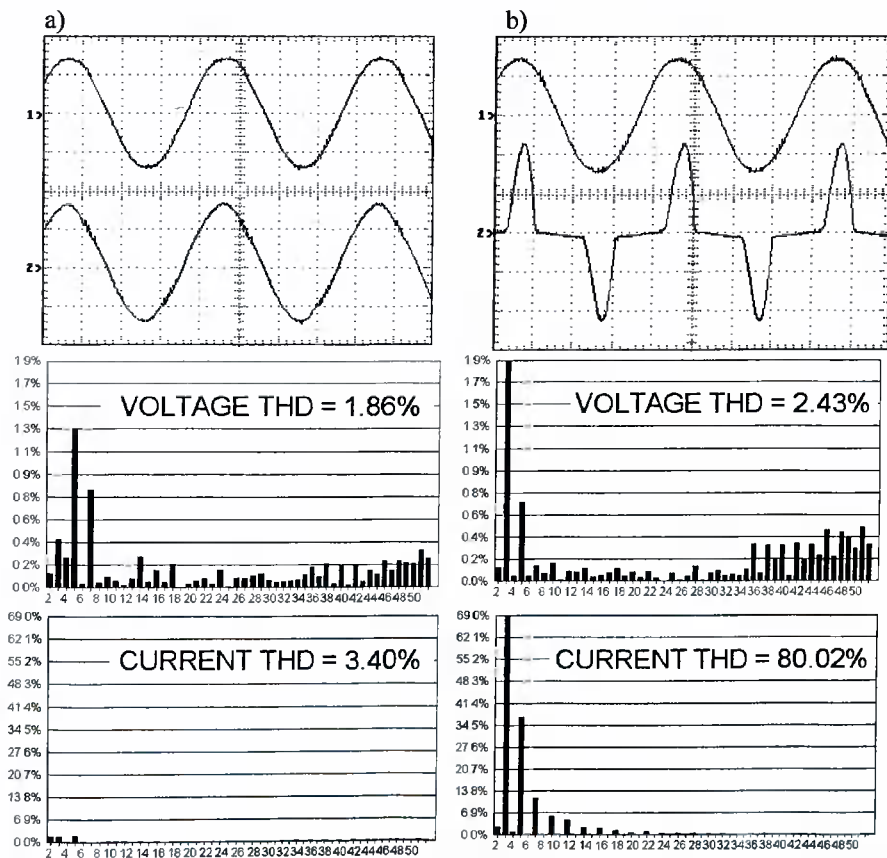
Rys. 8. Przebiegi czasowe napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 1 A; 5 ms) dla $U_1 = 70 \text{ V}$; a) sieć zasilająca, b) obciążenie (prostownik 1-pulsowy)



Rys. 9. Wykres $\delta U_{2\%} = f(U_1)$ dla obciążenia (prostownik 1-pulsowy)

2.3. OBCIĄŻENIE NIELINIOWE – PROSTOWNIK DWUPULSOWY Z FILTREM POJEMNOŚCIOWYM

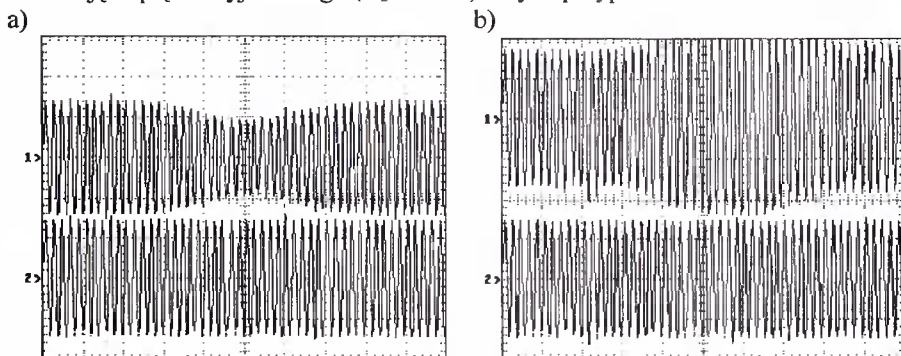
Jako najmniej korzystne warunki pracy dla kondycjonera można przyjąć obciążenie prostownikiem z filtrem pojemnościowym. Tego rodzaju obciążenie, przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym, generuje pulsy (piki) prądu o dużych wartościach. Badania przeprowadzono dla obciążenia $R = 50 \Omega$ i kondensatora filtrującego o pojemności $660 \mu\text{F}$ przy $U_1 = U_2 = 50 \text{ V}$. Otrzymane oscylogramy (rys. 10) jednoznacznie weryfikują skuteczność pracy kondycjonera. Współczynnik THD wynoszący dla prądu odbiornika ponad 80% został zredukowany przez kondycjoner do wartości 3,4%. Jednocześnie zawartość wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym nie przekroczyła 2,5%. Można przyjąć, że kondycjoner o zaprezentowanej topologii i wybranej strukturze układu regulacji działa prawidłowo.



Rys. 10. Przebiegi czasowe i zawartość wyższych harmonicznych napięć (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądów (Ch 2: 2 A; 5 ms): a) sieć zasilająca, b) obciążenie (prostownik 2-pulsowy)

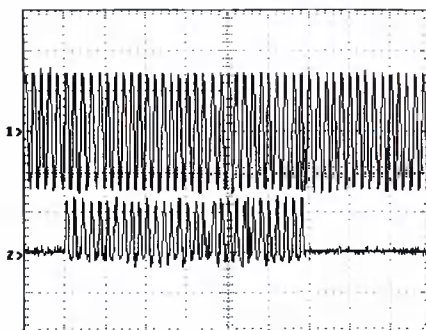
2.4. PRÓBY STANÓW PRZEJŚCIOWYCH

W tym przypadku dla obciążenia typu „prostownik jednopulsowy” wprowadzono w napięciu zasilającym kondycjoner przemijające zaburzenia – zmniejszenie (rys. 11a) oraz zwiększenie (rys. 11b) amplitudy napięcia. Uzyskane oscylogramy potwierdzają stabilizację napięcia wyjściowego ($U_2 = 50$ V) w tych przypadkach.



Rys. 11. Przebiegi czasowe napięć wejściowych (Ch 1: 50 V; 5 ms) i wyjściowych (Ch 2: 50 V; 5 ms): a) zmniejszenie amplitudy U_1 , b) zwiększenie amplitudy U_1

Ostatnim badaniem było chwilowe dołączenie obciążenia do wyjścia kondycjonera. W chwili załączenia i wyłączenia obciążenia nie zaobserwowano zmian napięcia wyjściowego (rys. 12).



Rys. 12. Przebiegi czasowe napięcia wyjściowego U_2 (Ch 1: 50 V; 5 ms) i prądu I_2 (Ch 2: 1 A; 5 ms) przy chwilowym załączeniu obciążenia

3. PODSUMOWANIE

Badany kondycjoner działa poprawnie. Napięcie wyjściowe kondycjonera jest stabilizowane i ma kształt sinusoidalny. Mimo odkształconego prądu odbiornika prąd pobierany z sieci ma sinusoidalny przebieg i jest w fazie z napięciem sieci. Zgodnie z założeniami kondycjoner zapewnia prawidłowe parametry napięcia zasilającego odbiornik w przypadku zakłóceń parametrów dostarczanej energii elektrycznej.

LITERATURA

- [1] Akagi H., 1995. New Trends in Active Filters. EPE'95 Conf. Proc., pp. 0.017-0.025.
- [2] Aredes M., Heumann K., Watanabe E.H., 1998. An Universal Active Power Line Conditioner. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp. 1453-1460.
- [3] Jeon S.-J., Cho G.-H., 1997. A Series-Parallel Compensated Uninterruptible Power Supply with Sinusoidal Input Current and Sinusoidal Output Voltage. IEEE PESC'97 Record, pp. 297-303.
- [4] Kamran L.F., Habetler T.G., 1998. A Novel On-Line UPS with Universal Filtering Capabilities. IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 13, No. 3, pp. 410-418.
- [5] Meckien G., Strzelecki R., 2001. Energoelektroniczne układy kondycjonowania energii elektrycznej w sieciach 1-fazowych. Postępy w elektrotechnice stosowanej, PES-3, Zakopane-Kościelisko 18-22 czerwca, pp. 205-212.
- [6] Strzelecki R., Kukluk J., Supronowicz H., Tunia H., 1999. A Universal Symmetrical Topologies for Active Power Line Conditioners. EPE'99 – Lausanne, CD-ROM.
- [7] Strzelecki R., Supronowicz H., 2000. Współczynnik mocy w systemach zasilania prądu przemiennego i metody jego poprawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [8] IEC 1000-3-2: 1995. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits for harmonic currents emission (Equipment input current ≤ 16 A per phase).
- [9] IEC 1000-4-11, 1994. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques – Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.

PODZIĘKOWANIA

Bardzo dziękuję za pomoc i inspiracje w realizacji pracy oraz motywację do działania Panu prof. dr hab. inż. Ryszardowi Strzeleckiemu.

Dziękuję za sugestie w uruchamianiu układu Panu dr inż. Janowi Mućko.

Niniejsza praca jest finansowana przez KBN: grant promotorski Nr 8T10A 063 19.

EXPERIMENT RESEARCH FOR SINGLE PHASE TRANSFORMERLESS ACTIVE POWER CONDITIONER

Summary

The article introduces structures at one-phase Active Power Line Conditioners. Mainly they are structures with minimum number of transistors. The conditioners like that can function as active series-parallel filters which reduce influence of a non linear load power supply, correct quality power supply that was delivered to the load and fitting parameters of supply network to required parameters by load. Finally the article contains selected results of researches for the transformerless structures.

Keywords: active filters, power conditioning, power quality, single phases systems