

Mirosław NESKA, Andrzej GOSPODARCZYK
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

UKŁAD DO TESTOWANIA PRĄDU ROZRUCHU ŹRÓDEŁ NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO

Słowa kluczowe

Impuls przetężenia prądu, prąd rozruchu źródła napięcia przemiennego, tyrystor wyzwalający, źródło napięcia przemiennego.

Streszczenie

W artykule przedstawiono opracowany i wykonany układ do testowania prądu rozruchu źródeł napięcia przemiennego. Urządzenie umożliwia pomiar impulsowego prądu przetężenia (szczytowy prąd rozruchu) źródeł przemiennego prądu elektrycznego o napięciu do 700VAC, przy wyzwalaniu w zakresie kąta fazowego 0–360°, a tym samym określenie przeciążalności danego zasilacza AC według zaleceń normy PN-EN 61000-4-11. Zastosowana metoda sterowania wyzwalaniem bramkowym tyrystora pozwala uzyskiwać krótkie czasy impulsów prądu bramki, tym samym odciażając bramkę.

Wprowadzenie

Wzrost zainteresowania nowymi źródłami energii wynika w głównej mierze z czynników ekonomicznymi i restrykcji ekologicznych. Możliwość transpozycji energii w sposób pośredni lub bezpośredni w jej postaci elektryczną przyjmuje postać oferty z rosnącą paletą usług. Rozwój zarówno źródeł konwencjonalnych (np. elektrownie fluidalne), czy coraz prężniej rozwijających się odnawialnych źródeł energii (np. elektrownie wiatrowe, biomasa, ogniwa fotowoltaiczne, ogniwa paliwowe) pociąga za sobą konieczność dynamiczniejszego rozwoju różnego rodzaju przekształtników wytwarzanej energii elektrycznej (DC/AC,

AC/AC), stanowiącej ostatnie ogniwo tuż przed finalnym odbiorcą, w łańcuchu przekształcanej energii. Produkcja przemiennego prądu elektrycznego o parametrach zbliżonych do napięcia sieci przemysłowej 230/400VAC pociąga za sobą konieczność przeprowadzenia badań zgodności z dyrektywami – niskonapięciową i kompatybilności elektromagnetycznej. Procedury tych badań są obecnie dobrze znane i ich stosowanie nie jest kłopotliwe dla producentów sprzętu elektronicznego [1]. Jednak z obserwacji autorów wynika, że problemem jest pomiar jednego z ważnych parametrów źródeł energii – prądu rozruchowego. Niektóre odbiorniki AC generują przetężenia prądu elektrycznego w momencie ich rozruchu, a wiąże się to ze specyfiką ich parametrów. W zależności od charakteru obciążenia, przy różnych kątach fazowych, przetężeniowy prąd osiąga swoje maksimum. Dlatego precyzyjne określenie zdolności przetężeniowej danego generatora AC w funkcji kąta wyzwalania umożliwia określenie jego parametrów przetężeniowych i pozwala dobrać odpowiedni zasilacz AC do danego obciążenia.

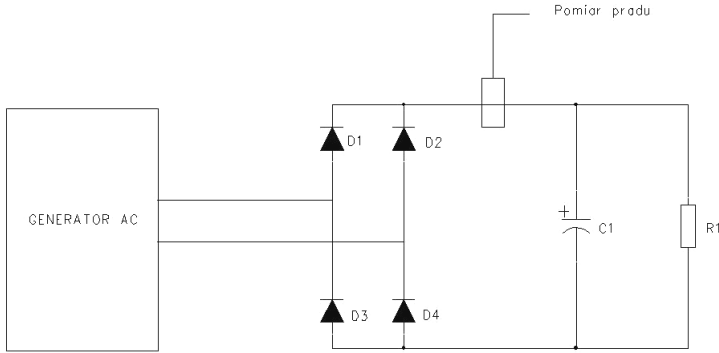
Badanie prądu rozruchowego źródeł napięcia przemiennego ustala norma PN-EN 61000-4-11, podając opis badania jako zalecany w przypadku badania generatorów zapadów napięcia, krótkich przerw i zmian napięcia.

1. Zalecenia normy PN-EN 61000-4-11

Obwód do pomiaru zdolności generatora AC do wytwarzania szczytowego prądu rozruchu zawiera mostek prostownikowy, którego zastosowanie eliminuje potrzebę zmiany biegunowości przy badaniach dla kątów 90° oraz 270° (rys. 1). Mostek powinien być obciążony kondensatorem elektrolitycznym $1700 \mu\text{F}$ o tolerancji $\pm 20\%$. Kondensator powinien mieć znamionowe napięcie w miarę możliwości wyższe o 15% do 20% od znamionowego szczytowego napięcia sieci, na przykład 400 V w przypadku obwodów 220 V–240 V. Ponieważ próba powinna być wykonana z rozładowanym kondensatorem $1700 \mu\text{F}$, do kondensatora należy dołączyć równolegle rezystor i zachowywać między próbami czas równy kilku stałym czasowym (RC). W przypadku zastosowania rezystora o rezystancji 10000Ω stała czasowa RC wynosi 17 s, tak więc przerwa między badaniami zdolności prądu rozruchu powinna wynosić 1,5 min do 2 min. W przypadku potrzeby uzyskania krótszej przerwy należy stosować rezystor o mniejszej rezystancji 100Ω .

Sonda prądowa powinna umożliwiać odwzorowanie całkowitego szczytowego prądu rozruchu na wyjściu generatora w ciągu jednej czwartej okresu, bez nasycenia. Jeżeli zdolność generatora w zakresie szczytowego prądu rozruchu spełnia wymagania (np. co najmniej 500 A przy obwodach od 220 V do 240 V) pomiar szczytowego prądu rozruchu EUT (Equipment Under Test) nie jest wymagany. Do prób EUT można używać generatora o mniejszym prądzie rozruchu niż 500 A tylko wtedy, jeżeli wymagany prąd rozruchu EUT jest mniejszy niż zdolność generatora w zakresie rozruchu.

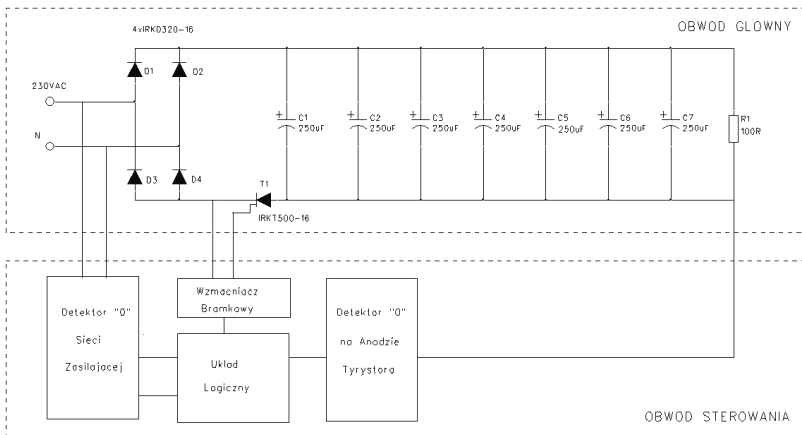
Pomiary należy wykonywać poprzez skokowe przełączanie wyjścia generatora z 0% do 100% przy kątach 90° i 270° , w celu osiągnięcia odpowiedniej wartości szczytowego prądu rozruchu przy obu biegunowościach [2].



Rys. 1. Obwód do wyznaczania zdolności uzyskania prądu rozruchowego przez generator AC [2]

2. Urządzenie pomiarowe

Zgodnie z tymi zaleceniami opracowano urządzenie, składające się z dwóch obwodów: głównego mocy i sterowania (rys. 2). Podstawowym blokiem urządzenia do pomiaru prądu rozruchu źródeł napięcia przemiennego jest obwód główny mocy. Każdy z wyróżnionych bloków zdeterminowany jest poziomem przenoszonej mocy elektrycznej. Obwód główny spełniając funkcję podstawową – realizuje pomiar, poprzez absorpcję i magazynowanie impulsu przetężenia generowanego przy rozruchu źródła AC. Obwód sterowania przy minimalnym poborze energii generuje impuls załączający bramkę tyrystora obwodu głównego, dla dowolnie ustawionego kąta fazowego z zakresu $(0-360^\circ)$.



Rys. 2. Schemat układu do wyznaczania zdolności uzyskania prądu rozruchowego zasilaczy AC

Obwód główny

W obwodzie głównym prąd badanego źródła napięcia przemiennego poprzez mostek diodowy składający się z dwóch modułów diodowych typu IRKD320-16 i tyrystora typu IRKT500-16, ładuje w chwili wyzwolenia tyrystora baterię kondensatorów typu LNK-P3X-250-90 o łącznej pojemności 1750 μF [3, 4]. Zastosowanie mostka prostowniczego pozwala przekazywać do kondensatora jednobiegunowy prąd ładowania, zarówno dla dodatniej, jak i ujemnej połówki napięcia AC. Ze względu na zastosowane kondensatory impulsowe o niezdeterminowanej biegunowości mostek diodowy może być pominięty. Stosunkowo wysoki impuls prądowy rozruchu przykładowego zasilacza AC może być uzyskany poprzez zastosowanie baterii kondensatorów propylenowych o bardzo dobrych parametrach impulsowych. Równolegle do kondensatorów dołączono rezystor o rezystancji 100 Ω , służący rozładowaniu baterii kondensatorów po zaniknięciu prądu ładowania [2, 5–7].

Obwód sterowania

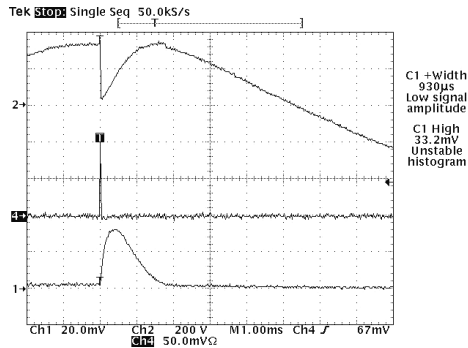
Zastosowany obwód sterowania wykorzystuje sygnały z detektorów przejścia przez zero do realizacji załączania tyrystora w dowolnym kącie fazowym z zakresu 0° – 360° .

„Detektor „0” Sieci Zasilającej” generuje impuls w momencie przejścia napięcia sieci przez zero dla uformowania sygnału wyzwolenia tyrystora dla danego kąta fazowego oraz sygnał dla dodatniej połówki napięcia sieci. Sygnały te podawane są do „Układu Logicznego” i determinują, dla jakiego kąta fazowego i w jakim zakresie kątów (0 – 180° – dodatniej czy 180 – 360° – ujemnej połowce napięcia zasilania) znajduje się sygnał sterowania.

„Detektor „0” na Anodzie Tyrystora” generuje impuls, w momencie, gdy tyrystor przewodzi. Tak ukształtowany sygnał trafia do „Układu Logicznego”.

Na podstawie tych sygnałów „Układ Logiczny” generuje impuls bramkowy, który jest przekazywany do „Wzmacniacza Bramkowego”, gdzie po wzmocnieniu podawany jest na bramkę tyrystora obwodu głównego. Zastosowanie „Detektora „0” na Anodzie Tyrystora” pozwala na skrócenie impulsu bramkowego w momencie wyzwolenia tyrystora (rys. 3), tym samym odciąża bramkę, chroniąc ją przed przegrzaniem [5, 6, 8].

Pomiary przeprowadzono używając oscyloskopu typu TDS420A (TEKTRONIX), przebiegi napięcia mierzono sondą typu P5210 (TEKTRONIX). Do pomiarów prądu wykorzystano: pas Rogowskiego typu CWT600B (PEM) o czułość pomiaru 0,05 mV/A i maksymalnym prądzie do 120 kA oraz sondę TPC202 (TEKTRONIX).



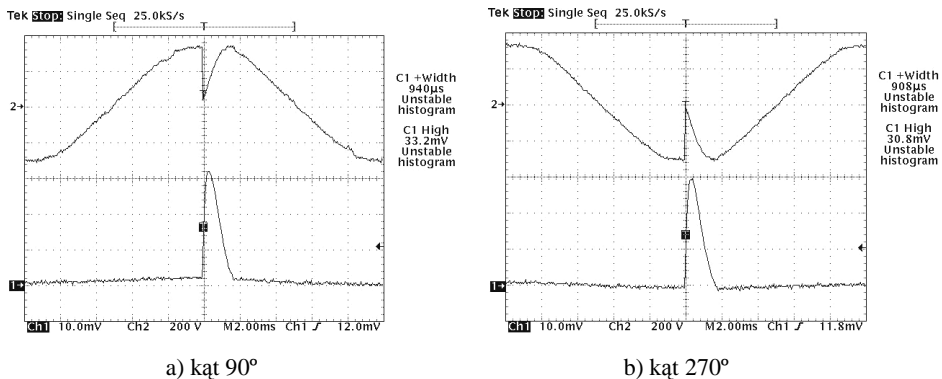
Rys. 3. Oscylogram impulsu prądu bramki tyrystora przy kącie wysterowania 90° , zasilanie z sieci 230 VAC, Ch1 – prąd anody tyrystora (400 A/dz), Ch2 – napięcie zasilające (200 V/dz), Ch4 – prąd wysterowania bramki tyrystora (50 mA/dz)

3. Badania układu

Wykorzystując zaprojektowany układ (rys. 2) dokonano pomiaru prądu rozruchu: sieci zasilającej niskiego napięcia 230 VAC oraz na wyjściu z autotransformatora 2,5 kVA podłączonego do sieci zasilającej niskiego napięcia 230 VAC.

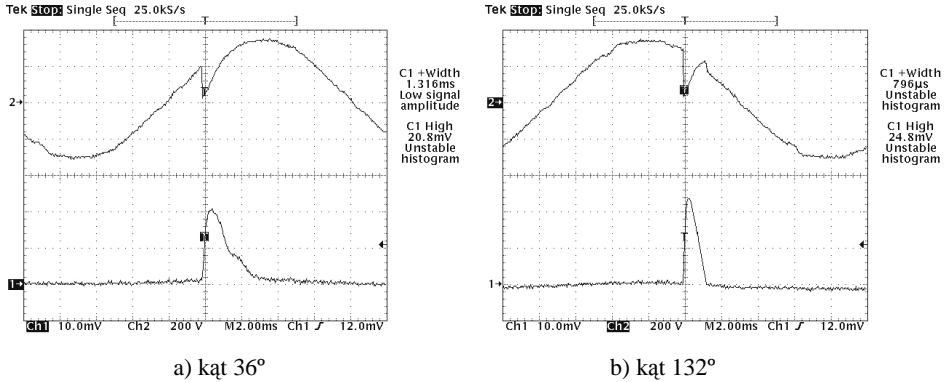
Sieć 230 VAC jako źródło AC

W pomiarze prądu rozruchu sieci zasilającej 230 VAC mierzono anodowy prąd tyrystora i kontrolowano napięcie na źródle. Poniżej zamieszczono przykładowe oscylogramy prądu rozruchu sieci zasilającej 230 VAC dla kątów fazowych 90° (rys. 4a) i 270° (rys. 4b), wymaganych do spełnienia normy PN-EN 61000-4-11, w zakresie badania generatorów przerw napięcia jako źródeł AC.



Rys. 4. Oscylogramy impulsu ładowania baterii kondensatorów $1750 \mu\text{F}$ przy różnych kątach wysterowania tyrystora, zasilanie z sieci 230 VAC, Ch1 – prąd anody tyrystora (200 A/dz), Ch2 – napięcie zasilające (200 V/dz)

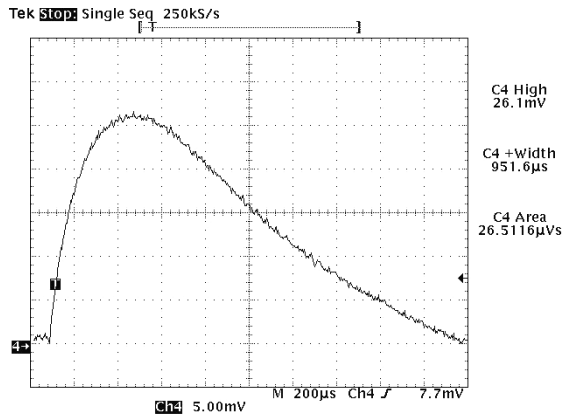
Opracowane urządzenie pozwala na przeprowadzanie badań generatorów AC w całym zakresie kątów fazowych 0-360°, co umożliwiła precyzyjne określenie przeciążalności danego zasilacza AC. Przykładowo podano pomiary prądu rozruchu dla kątów 36° (rys. 5a) i 132° (rys. 5b).



Rys. 5. Oscylogramy impulsu ładowania baterii kondensatorów 1750 μF przy różnych kątach wysterowania tyrystora, zasilanie z sieci 230 VAC, Ch1 – prąd anody tyrystora (200 A/dz), Ch2 – napięcie zasilające (200 V/dz)

Autotransformator jako źródło AC

Dokonując pomiaru prądu rozruchu na wyjściu z autotransformatora 2,5 kVA podłączonego do sieci zasilającej niskiego napięcia 230 VAC, podobnie mierzono anodowy prąd tyrystora. Poniżej podano przykładowy pomiar przy kącie 90° wysterowania tyrystora (rys. 6).



Rys. 6. Oscylogram impulsu ładowania baterii kondensatorów 1750 μF przy kącie wysterowania 90°, zasilanie z autotransformatora 2,5 kVA, Ch4 – prąd anody tyrystora (100 A/dz)

Pomiary prądu rozruchu źródeł AC przeprowadzono zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 61000-4-11. W obu przypadkach badanych źródeł osiągnięto wymagany w normie minimalny szczytowy prąd rozruchu dla obwodów od 220 VAC do 240 VAC. Otrzymane wyniki pozwalają potwierdzić założenia ujęte w normie, iż przy obciążeniu mostkiem diodowym z baterią kondensatorów największe przetężenie występuje dla kątów wysterowania 90° i 270° .

Podsumowanie

Zbudowany układ pozwala na przeprowadzanie badań zasilaczy AC w całym zakresie kąta fazowego $0-360^\circ$ i przy napięciu do 700 VAC, co umożliwia precyzyjne określenie przeciążalności danego zasilacza AC. Urządzenie może służyć nie tylko do badania generatorów przerw napięcia zdefiniowanych przez normę PN-EN 61000-4-11, ale również do badania innych, prężnie rozwijających się generatorów prądu przemiennego, zasilanych ze źródeł odnawialnych (np. ogniwa paliwowe), źródeł konwencjonalnych (np. elektrownie fluidalne), czy przetwornic DC/AC, AC/AC.

Opracowane urządzenie, w innej konfiguracji może być również wykorzystywane do rozładowania baterii kondensatorów – metody często stosowanej do uzyskiwania prądów o dużych gęstościach w urządzeniach technologicznych i badawczych.

Bibliografia

1. Bogucki J., Chudziński A., Połujan A.: Elektromagnetyczna emisyjność urządzeń. *Elektronika* 2/2006, 31–33.
2. PN-EN 61000-4-11. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia. PKN, Warszawa 2007, 17–18.
3. Katalog diod półprzewodnikowych firmy International Rectifier, USA.
4. Katalog tyrystorów półprzewodnikowych firmy International Rectifier, USA.
5. Tunia H., Winiarski B.: *Energoelektronika*. WNT, Warszawa 1994.
6. Piróg S.: *Energoelektronika*. WAGH, Kraków 1998.
7. Yensen, Trygve Dewey: Starting current of transformers, with special reference to transformers with silicon steel cores. University of Illinois at Urbana Champaign, Illinois 2007.
8. Nadachowski M., Kulka Z.: *Analogowe układy scalone*. WKŁ, Warszawa 1983.

Recenzent:
Zbigniew GORYCA

Device for the test of the overcurrent starting of the AC power supplies

Key words

Overcurrent pulse, current starting of the AC power supply, trigger thyristor, AC power supply.

Summary

The article presents the device for the test of the overcurrent starting of the AC power supplies, which was designed and made by the authors. The system allows measuring the overcurrent pulse of the AC power supplies with voltages up to 700VAC. The overcurrent pulse is triggered by applying a trigger thyristor for the phase angles from 0 to 360°, and it allows defining an overload of AC power supply according to PN-EN 61000-4-11 standard. The control system of the device allows the triggering of the thyristor by the short length pulses, thereby, unloading the thyristor gate during the trigger.