

Damian GONSCZ

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI

Badania odporności zasilaczy niskonapięciowych na zaburzenia typu *BURST* i *SURGE* Testy wybranych ograniczników przepięć niskiego napięcia

Dr inż. Damian GONSCZ

Dyplom magra inż. elektryka uzyskał w 1998r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, gdzie również w 2003r. otrzymał stopień doktora w dyscyplinie elektrotechnika. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej oraz Sekcji Podstaw Metrologii Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN. Działalność naukową realizuje w obszarze badań kompatybilności elektromagnetycznej i budowy aparatury pomiarowej do analizy oddziaływań elektromagnetycznych.



e-mail: damian.gonszcz@polsl.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono procedury badań odporności niskonapięciowych zasilaczy napięcia stałego na zaburzenia typu BURST i SURGE. Analizie pomiarowej poddano trzy przykładowe, komercyjne zasilacze: impulsowy w wersji przemysłowej, zasilacz komputerowy oraz liniowy bez stabilizacji. Badania wykonano zgodnie z zaleceniami stosownych norm. Przepięcia BURST i SURGE wytworzono i wprowadzono do linii zasilających badanych układów (EUT) za pomocą generatora Moduła 6150. Celem badań była ocena analizowanych obiektów z punktu widzenia poprawności działania w trakcie podania sygnału zaburzającego i po jego ustąpieniu. Dodatkową część badań stanowią testy skuteczności ochrony przed przepięciami wybranych ograniczników przepięć, takich jak: warystory, ograniczniki diodowe, struktury RC i transile.

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, badania odporności.

Immunity research of low power supply units on disturbances *BURST* and *SURGE* Tests of some low voltage surge limiters

Abstract

The paper deals with the immunity research of low power supply units and the tests of some surge limiters. The problems of immunity of low DC power supply units on disturbances BURST and SURGE are presented in the chapters of paper. Three exemplary AC/DC power supply adaptors (industry unit, computer unit and linear net adaptor) are analyzed in laboratory. The research have executed according to objective norms. For generation BURST and SURGE disturbances has been used the special laboratory generator Moduła 6150. The standard test impulses are described (§2). The results of immunity research are shown in the table 2. The operation efficiencies of selected surge limiters are analyzed in chapter 4. The varistors, diode limiters, RC circuits and Zener transient voltage suppressors (transils) are analyzed. The characteristics of exemplary surge limiters are shown in the Fig. 9. Conclusions and the most important practical hints are pointed (§5).

Keywords: electromagnetic compatibility, immunity tests.

1. Wprowadzenie

Problem odporności urządzeń elektrycznych i elektronicznych na różnego rodzaju zaburzenia jest bardzo istotny z wielu względów. Urządzenie odporne cechuje się niezawodnością pracy, co w niektórych sytuacjach przekłada się bezpośrednio na osiągnięcie wysokiego poziomu bezpieczeństwa systemu, w którym takie urządzenie pracuje. Badania odpornościowe stanowią podstawową grupę badań wykonywanych standardowo w laboratoriach kompatybilności elektromagnetycznej. Pozytywne wyniki badań, złożonych z pomiarów emisji promieniowanej i przewodzonej oraz testów odporności, są podstawą do nadania certyfikatu zgodności konkretnemu wyrobowi. Kompatybilność elektromagnetyczna

(EMC) jest rozumiana jako zdolność do poprawnej pracy wielu urządzeń lub systemów w środowisku elektromagnetycznym, zaś odporność charakteryzuje poprawną pracę danego urządzenia w trakcie trwania zewnętrznego zaburzenia i po jego ustaniu. Badania odporności wykonuje się według ścisłych procedur i zaleceń zawartych w stosownych normach.

Niniejsza praca dotyczy problematyki odporności zasilaczy sieciowych ~ 230 V z niskim napięciem stałym po stronie wyjściowej na typowe zaburzenia BURST i SURGE. Nie bez powodu poddano analizie moduły zasilające. Przede wszystkim należy pamiętać, że w układach elektronicznych, blokiem rozdzielającym część stałoprądową o małej mocy od elektroenergetycznej sieci zasilającej napięcia przemiennego jest przetwornik AC/DC (zasilacz). Zasilacz przejmuje bezpośrednio wszystkie zaburzenia o charakterze przepięć, nakładane na wejściową linię zasilającą napięcia przemiennego. Poprawnie zaprojektowany zasilacz, od strony obwodu wejściowego powinien być odporny na przepięcia sieciowe i jednocześnie powinien skutecznie zapobiegać przeniesieniu przepięć do wyjściowego obwodu stałoprądowego. Współcześnie są to przede wszystkim rozwiązania zasilaczy impulsowych, choć w wielu aplikacjach stosuje się nadal zasilacze liniowe (transformatorowe). Nierzadkie są przypadki awarii wielu podzespołów całego urządzenia np. komputera, spowodowane uszkodzeniem modułu zasilania w wyniku wystąpienia w sieci udaru o dużej energii.

2. Stanowisko badawcze

Badania odporności na udary wysokonapięciowe, przeprowadzono z wykorzystaniem generatora Moduła 6150 firmy TESEQ, stanowiącego kompleksowy system do badań kompatybilności elektromagnetycznej w zakresie odporności. Stanowisko badawcze odpowiada wymogom obowiązujących norm [1] i [2]. Generator sterowany jest zdalnie za pomocą standardu Ethernet, zaś interfejsem użytkownika jest dedykowany program umożliwiający nastawę parametrów urządzenia według zaleceń norm. Elektroniczne biblioteki norm podstawowych i wybranych przedmiotowych, stanowią integralną część aplikacji. Wybór testu polega na przywołaniu danej normy i wybraniużądanego poziomu badań. Widok fragmentu stanowiska pokazano na rys. 1.



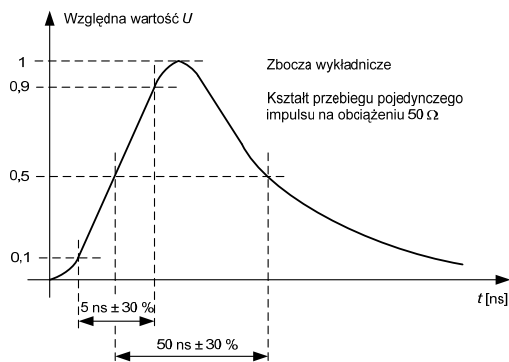
Rys. 1. Stanowisko laboratoryjne do badań odporności urządzeń elektronicznych na zaburzenia BURST i SURGE

Fig. 1. Laboratory stand for immunity research of electronic devices on disturbances BURST and SURGE

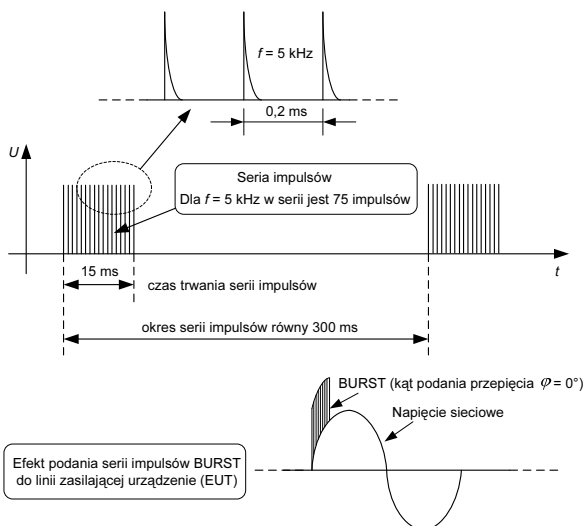
System Moduła ma wewnętrzną sztuczną sieć wraz z systemem sprzęgającym i umożliwia generację zaburzeń BURST i SURGE o znormalizowanych parametrach, które scharakteryzowano poniżej.

Zaburzenie typu BURST

Test w sposób laboratoryjny odwzorowuje szybkie elektryczne stany przejściowe, polegające na pojawianiu się serii krótkich impulsów elektrycznych w elektroenergetycznych liniach zasilających. W rzeczywistości zaburzenia tego typu występują często podczas komutacji wieloprądowych odbiorników o charakterze indukcyjnym lub np. są efektem drgań styków styczników. Wygenerowane w sieci serie impulsów przepięciowych zwykle nie powodują zniszczenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych z uwagi na ich małą energię, natomiast w niektórych przypadkach mogą skutecznie zakłócić pracę tych urządzeń. Efekty łączeniowe są także powodem pojawiania się w sieci tzw. interharmonicznych, których częstotliwości nie są wielokrotnościami częstotliwości podstawowej prądu zasilania, lecz wynikają z parametrów obwodów oscylacyjnych, mających charakter pasożytniczy (np. pojemności między stykami łącznika i indukcyjności, którymi łącznik steruje). Powyższe zjawiska występują dosyć często w sieciach energetycznych i nie są zwykle zauważane przez użytkowników. Poniższe rysunki przedstawiają znormalizowane parametry pojedynczego impulsu testowego (rys. 2), wymagane do poprawnego wykonania badań odporności [1] oraz zależności czasowe między impulsami (rys. 3).



Rys. 2. Kształt i parametry pojedynczego impulsu testowego
Fig. 2. Curve and parameters of single test impulse



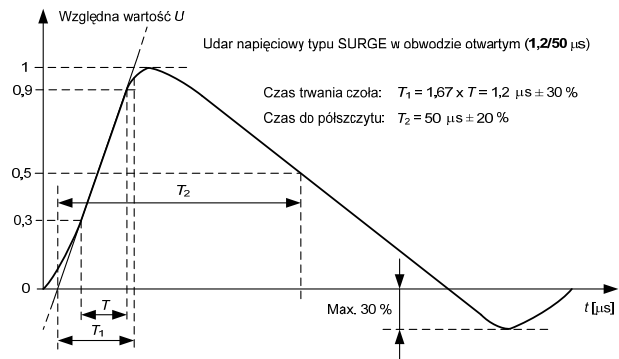
Rys. 3. Znormalizowane zależności czasowe między generowanymi impulsami
Fig. 3. Standard time relations between generated impulses

Na rys. 3 pokazano przykładową serię impulsów nałożonych na przebieg o kształcie sinusoidalnym. W tym szczególnym przypadku początek zaburzenia pokrywa się z przejściem przebiegu podstawowego przez zero. Podczas badań rzeczywistych wybrano

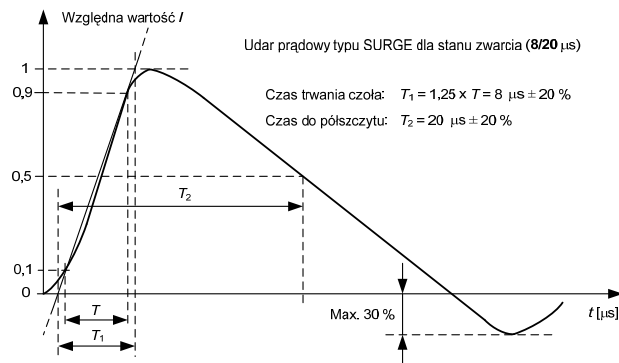
jednak opcję asynchronicznej zależności od zasilania. Czas trwania testu dla każdego poziomu wyniósł 120 s.

Zaburzenie typu SURGE

Test w sposób laboratoryjny odwzorowuje udary napięciowe o dużej energii, które w warunkach rzeczywistych spowodowane są zwykle łączeniem obciążeń dużej mocy lub wyładowaniami atmosferycznymi. Poniżej pokazano znormalizowane kształty impulsów testowych o charakterze napięciowym (rys. 4) i prądowym (rys. 5) [2].



Rys. 4. Kształt i parametry napięciowego impulsu testowego (1,2/50)
Fig. 4. Curve and parameters of voltage test impulse (1,2/50)



Rys. 5. Kształt i parametry prądowego impulsu testowego (8/20)
Fig. 5. Curve and parameters of current test impulse (8/20)

Powyższe przebiegi opisują parametry wyjścia generatora. Udar napięciowy (1,2/50) z rys. 4 dotyczy pracy w obwodzie otwartym, zaś udar prądowy (8/20) występuje w stanie zwarcia. Minimalny czas trwania testu SURGE dla każdego poziomu probierczego to 10 min., ponieważ wymagane jest [2] wprowadzenie do zasilania badanego obiektu EUT (*ang. Equipment Under Test*) min. 5 impulsów o polaryzacji dodatniej „+” i 5 impulsów o polaryzacji ujemnej „-”, w odstępach min. 1 minuty.

3. Badania odporności na zaburzenia BURST i SURGE

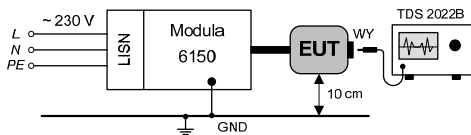
Spśród pewnej grupy badanych zasilaczy niskiego napięcia, w pracy zaprezentowano wyniki badań trzech przykładowych zasilaczy, celem porównania. Parametry zasilaczy zestawiono w tabeli 1, bez podania nazw ich producentów.

Zgodnie z [3] zasilacze mogą być traktowane jako niezależne urządzenia jak to ma miejsce w pracy lub jako podzespoły składowe. Takie podejście jest zasadnie, zwłaszcza, że w niniejszych testach, zasilacze badane są celem oceny możliwości wykorzystania ich w aplikacjach elektronicznych. Praca jest więc ukierunkowana poznawczo i nie ma charakteru pełnych badań kompatybilnościowych. W ramach testów sprawdzono reakcję przykładowo-

wych EUT na zaburzenia BURST i SURGE, obserwując dodatkowo za pomocą oscyloskopu kształt napięcia wyjściowego podczas występowania sygnału zaburzającego.

Tab. 1. Podstawowe parametry trzech przykładowych zbadanych zasilaczy
Tab. 1. Basic parameters of researched power supply adaptors

Oznac.	Charakterystyka zasilacza (EUT)	Parametry zasilania
A	Impulsowy zasilacz komputerowy sprzed 10 lat o mocy 150 W, produkowany przez wiodącą firmę. Brak certyfikatu CE !	Napięcie wejściowe (AC): $U_{WE} = 230\text{ V}$
		Napięcia wyjściowe (DC):
		+ 5 V → 20 A + 12 V → 8 A - 5 V → 0,5 A - 12 V → 0,5 A
B	Produkowany współcześnie przez znaną firmę impulsowy zasilacz przemysłowy małej mocy, wynoszącej 121 W. Nadany certyfikat CE !	Napięcie wejściowe (AC): $U_{WE} = 230\text{ V}$
		Napięcia wyjściowe (DC):
		+ 5 V → 11 A + 12 V → 4,5 A - 12 V → 1 A
C	Zasilacz wtyczkowy liniowy bez stabilizacji, złożony z transformatora TS 2/15, mostka prostowniczego, diody LED (kontrolka) i elektrolitycznego kondensatora filtrującego. Brak certyfikatu CE !	Napięcie wejściowe (AC): $U_{WE} = 230\text{ V}$
		Napięcia wyjściowe (DC): + 14, 2 V → 150 mA



Rys. 6. Schemat blokowy toru pomiarowego
Fig. 6. The block diagram of measuring path

Wyniki z przeprowadzonych testów odporności przedstawiono w tabeli 2 (a, b, c). Zachowanie się EUT w czasie zaburzenia i po jego ustąpieniu, należy zawsze odnieść do odpowiedniego kryterium oceny odporności, opisanego w [1] i [2]. Najczęstszym jest kryterium „B” (czasowa utrata funkcji), zgodnie z którym badane urządzenie w trakcie zaburzenia traci pewne swoje funkcje lub właściwości, zaś po ustąpieniu anomalii zasilania, automatycznie wraca do poprawnego działania. Rzadziej spotyka się EUT spełniające kryterium „A”, mówiące o całkowitym braku reakcji urządzenia na zaburzenie.

Badania odporności przeprowadzono, korzystając ze standardowych poziomów probierczych, zdefiniowanych w normach ogólnych [1, 2]. Procedura badań wymaga kolejnego zwiększania tych poziomów od najmniejszego do największego, ustalonego w normie przedmiotowej [3]. Wyjątkiem jest przerwanie testu na etapie poziomu pośredniego, spowodowane uszkodzeniem badanego obiektu.

W przypadku zaburzeń BURST, norma [3] wymaga odporności dla poziomu 2 między L-PE (test min. 60 s), dla zasilaczy do użytku domowego i odporności dla poziomu 3 między L-PE (test min. 60 s), dla zasilaczy przemysłowych.

Poniżej pokazano wybrane zaobserwowane przepięcia nakładane na napięcia wyjściowe zasilaczy. Przepięcia są efektem zaburzeń w linii zasilającej i stanowią zakłócenia, które w niektórych przypadkach mogą być groźne dla układów zasilanych tego typu zasilaczami.

Z punktu widzenia wytrzymałości układów zasilających, uważa się, że wyjście zasilacza powinno wytrzymać przepięcie doprowadzone z sieci zasilającej typu SURGE o wartości 2,5 kV między L i N oraz przepięcie 4 kV między L i PE [4].

Ograniczanie przepięć nałożonych na stałe napięcia wyjściowe jest kłopotliwe, co potwierdzono kilkunastoma testami. Zaobserwowane przepięcia mają krótkie czasy trwania (małe okresy oscylacji) i strome zbocza, co wymaga użycia bardzo szybkich ograniczników.

Tab. 2. Wyniki badań odporności zasilaczy na zaburzenia BURST i SURGE
Tab. 2. Research results of immunity of EUT

a)

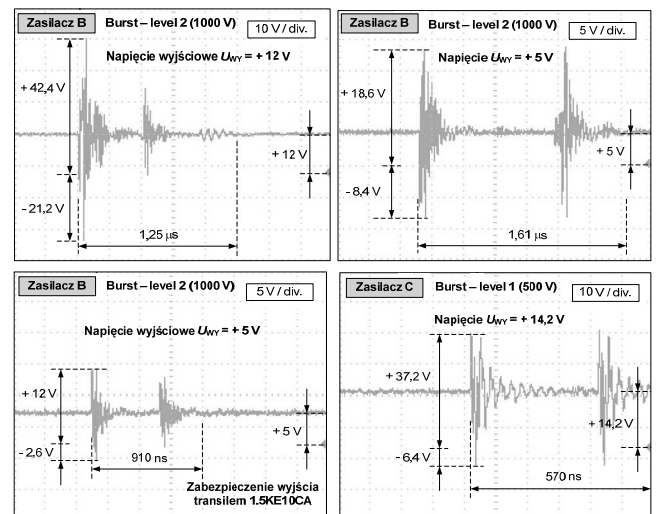
Zasilacz A			
Zaburzenie	Poziom probierczy	Parametry zaburzenia	Uwagi
BURST	Poziom 1 (500 V) sprzężenie: L, N, PE	- Konfiguracja zasilania: L, N, PE. - Zależność od zasilania: asynchroniczna.	Wizualizacja kształtu napięcia wyjściowego: +12 V. Wyniki testów są pozytywne, zgodne z kryterium „A”. Podczas prób nie zauważono zmian w obserwowanym sygnale.
	Poziom 2 (1000 V) sprzężenie: L, N, PE	- Alternate (50 % impulsów dodatnich, 50 % ujemnych).	
	Poziom 3 (2000 V) sprzężenie: L, N, PE	- Czas testu: 120 s.	
SURGE	Poziom 1 (1000 V) między L - PE	5 impulsów o polaryzacji „+” oraz 5 impulsów o polaryzacji „-”, generowanych w odstępach 1 min. Konfiguracja zasilania: L, N, PE.	Wyniki testów są pozytywne, zgodne z kryterium „A”.
	Poziom 1 (1000 V) między N - PE		
	Poziom 2 (2000 V) między L - PE		
	Poziom 2 (2000 V) między N - PE		
	Poziom 1 (1000 V) między L - N		
	Poziom 2 (2000 V) między L - N		

b)

Zasilacz B			
Zaburzenie	Poziom probierczy	Parametry zaburzenia	Uwagi
BURST	Poziom 1 (500 V) sprzężenie: L, N, PE	- Konfiguracja zasilania: L, N, PE. - Zależność od zasilania: asynchroniczna.	Wizualizacja kształtu napięć wyjściowych: + 5 V i +12 V. Wyniki testów są zgodne z kryterium „B”. Podczas prób zauważono przepięcia w obserwowanych sygnałach.
	Poziom 2 (1000 V) sprzężenie: L, N, PE	- Alternate (50 % impulsów dodatnich, 50 % ujemnych).	
	Poziom 3 (2000 V) sprzężenie: L, N, PE	- Czas testu: 120 s.	
SURGE	Poziom 1 (1000 V) między L - PE	5 impulsów o polaryzacji „+” oraz 5 impulsów o polaryzacji „-”, generowanych w odstępach 1 min. Konfiguracja zasilania: L, N, PE.	Wyniki testów są pozytywne, zgodne z kryterium „A”.
	Poziom 1 (1000 V) między N - PE		
	Poziom 2 (2000 V) między L - PE		
	Poziom 2 (2000 V) między N - PE		
	Poziom 1 (1000 V) między L - N		
	Poziom 2 (2000 V) między L - N		

c)

Zasilacz C			
Zaburzenie	Poziom probierczy	Parametry zaburzenia	Uwagi
BURST	Poziom 1 (500 V) sprzężenie: L, N	- Konfiguracja zasilania: L, N. - Zależność od zasilania: asynchroniczna.	Wizualizacja kształtu napięcia wyjściowego: + 14,2 V. Wyniki testów są zgodne z kryterium „B”. Podczas prób zauważono przepięcia w obserwowanym sygnale.
	Poziom 2 (1000 V) sprzężenie: L, N	- Alternate (50 % impulsów dodatnich, 50 % ujemnych).	
	Poziom 3 (2000 V) sprzężenie: L, N	- Czas testu: 120 s.	
SURGE	Poziom 1 (1000 V) między L - N	5 impulsów o polaryzacji „+” oraz 5 impulsów o polaryzacji „-”, generowanych w odstępach 1 min. Konfiguracja zasilania: L, N.	Wyniki testów są pozytywne, zgodne z kryterium „A”.
	Poziom 2 (2000 V) między L - N		Wyniki testów są zgodne z kryterium „B”.

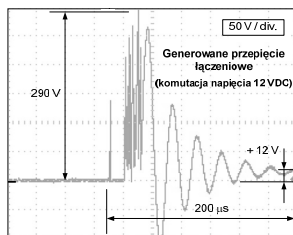


Rys. 7. Zakłócenia generowane w napięciach wyjściowych zasilaczy
Fig. 7. Voltage disturbances of power supply units

Na rys. 7 pokazano przykładowy oscylogram przepięcia dla zasilacza B z zastosowaniem ogranicznika typu transil. Ogranicznik, który wpięto między wyjściem i uziemieniem, nie spełnia swojej funkcji ze względu na zbyt długi czas zadziałania. W takich sytuacjach, należałoby przewidzieć rozwiązania o znacznie krótszych czasach reakcji. Przykład z rysunku jest najkorzystniejszym wynikiem spośród zaobserwowanych. W pozostałych przypadkach przepięcia były o wiele większe i osiągały w amplitudzie kilkadziesiąt woltów. Można więc stwierdzić, że najlepszym wyjściem jest tłumienie wysokiego napięcia po stronie wejścia układu, lecz tu również trudność tkwi w opracowaniu szybkich ograniczników i filtrów dla krótkotrwałych szybkich impulsów zaburzających np. serii BURST. Odpowiedzi wyjścia układu na przepięcia pojawiające się w wejściowej linii zasilającej mogą być różne pomimo standardowo generowanych, powtarzalnych przepięć testowych, spełniających parametry wskazane w normach. Odpowiedzi te wobec tego podlegają raczej analizie statystycznej.

4. Testy wybranych ograniczników przepięć

Częstą praktyką projektantów urządzeń elektronicznych jest aplikowanie w tych urządzeniach różnorodnych zabezpieczeń przepięciowych. Z reguły są to układy pasywne, których stopień niezawodności zależy jeszcze od spełnienia dodatkowych warunków. Idealny ogranicznik to taki układ, który w trakcie normalnej pracy nie ingeruje w zabezpieczany obwód w rozumieniu, że nie zniekształca i nie obciąża przetwarzanego sygnału. Z punktu widzenia przepisów np. ochrony odgromowej, ograniczniki dzielone są na odpowiednie klasy. Nie jest to jednak przedmiot rozważań w pracy. W ramach części badawczej skupiono się na porównaniu właściwości statycznych i dynamicznych znanych ograniczników napięciowych, aplikowanych po stronie niskonapięciowej urządzeń elektrycznych. W celu zobrazowania rzeczywistych zjawisk, zachodzących podczas zadziałania zabezpieczenia przepięciowego, zbudowano prosty generator przepięć. Układ odwzorowuje efekty łączeniowe napięcia stałego o wartości +12 V w obwodzie z indukcyjnością. Stan przełączenia w obwodzie pokazano na rys. 8.



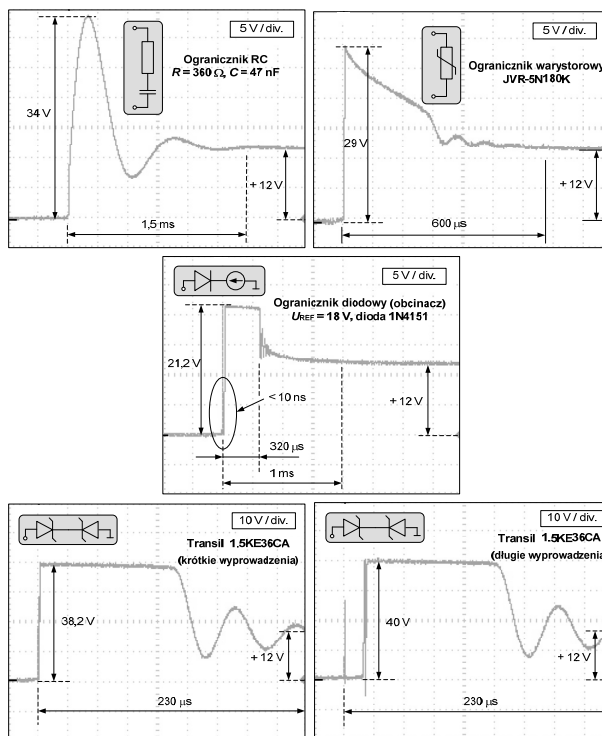
Rys. 8. Komutacja napięcia stałego o wartości +12 V w obwodzie z indukcyjnością
Fig. 8. Switching of voltage +12 VDC in the induction circuit

Na rys. 9 widoczne są oscylogramy przedstawiające efekty ograniczania przepięcia z rys. 8 przez wybrane typy ograniczników.

5. Podsumowanie

Podczas testów BURST we współczesnych zasilaczach impulsowych małej mocy obserwuje się zakłócenia po stronie napięcia stałego. Jest to spowodowane słabym tłumieniem na wejściu zasilacza, szybkozmiennych przepięć o stromych zboczach. W wielu sytuacjach na obciążonym wyjściu zasilacza przepięcia te są niezauważalne. Impulsy SURGE mają większą energię lecz są wolniejsze i mogą być skutecznie neutralizowane przez poprawnie wykonane wejściowe obwody zabezpieczające. Z uwagi na znaczne częstotliwości zaburzeń sieciowych o charakterze szybkich stanów przejściowych, należy stosować odpowiednio duże przekroje przewodów ochronnych ze względu na zjawisko naskórkowości. Poprawia to skuteczność działania ochrony przepięciowej. Uwagi wynikłe z powyższych badań są istotne, zwłaszcza, że impulsowe zasilacze przemysłowe są chętnie stosowane do zasilania często drogich urządzeń jak np. sterowniki programowalne. Stare zasilacze komputerowe mają zwykle moce do ok. 200 W i wykazują

duże odporności na przepięcia sieciowe. Są zatem chętnie wykorzystywane przez elektroników. W przypadku doboru ogranicznika przepięć do konkretnego układu, należy wiedzieć jakiego typu przepięcia ogranicznik ma tłumić. Ma to związek z optymalnym wyborem struktury o wymaganych parametrach statycznych i dynamicznych. Dla identycznego przepięcia, czasy ustalania widoczne na rys. 9 dla wybranych typów ograniczników są różne.



Rys. 9. Skuteczność działania niektórych ograniczników przepięć
Fig. 9. The operation efficiency of some voltage surge limiters

Zależą one od powiązania rzeczywistych parametrów obwodu chronionego i parametrów ogranicznika. Należy wspomnieć, że wyniki badań odporności mają charakter opisowy i odnoszone są do odpowiednich kryteriów, nie można więc przeprowadzić pełnej analizy metrologicznej, szacując np. błędy, czy niepewności. Dodatkowym utrudnieniem jest losowość badanych zjawisk, która w przypadku niniejszej pracy dotyczy rejestracji kształtów napięć wyjściowych badanych zasilaczy.

6. Literatura

- [1] Polska Norma PN-EN 61000-4-4 „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych. Podstawowa publikacja EMC”. Polski Komitet Normalizacyjny, 9.12.1999r. (Uchwała nr 47/99-o). Zmiany do Polskiej Normy PN-EN 61000-4-4:1999/A1 i PN-EN 61000-4-4:1999/A2, opracowane przez KT 104 ds. Kompatybilności Elektromagnetycznej i zatwierdzone przez Prezesa PKN dnia 26 maja 2003r.
- [2] Polska Norma PN-EN 61000-4-5 „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na udary”. Polski Komitet Normalizacyjny, 10.12.1998r. (Uchwała nr 52/98-o). Zmiana do Polskiej Normy PN-EN 61000-4-5:1998/A1, opracowana przez KT 104 ds. Kompatybilności Elektromagnetycznej i zatwierdzona przez Prezesa PKN dnia 26 maja 2003r.
- [3] Polska Norma PN-EN 61204-3 „Zasilacze niskiego napięcia prądu stałego. Część 3: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC)”. Norma przygotowana przez KT nr 60 ds. Energoelektroniki i zatwierdzona przez Prezesa PKN dnia 12 stycznia 2006r.
- [4] Materiały informacyjne firmy ASTAT: „Zasilacze impulsowe w automatyce przemysłowej”, publikacja elektroniczna zamieszczona na stronie internetowej www.astat.com.pl.