

Założenia projektowe oraz protokoły badań ochronnika przeciwprzepięciowego sieci Ethernet

Celem jest opracowanie uniwersalnego, możliwego do łatwego dostosowania do potrzeb układu zabezpieczającego do wieloprzewodowego kabla sygnałowego.

Skrętka czteroparowa UTP (Unshielded Twisted Pair) kategorii 5 jest obecnie standardowym kablem używanym do transmisji danych. Ze względu na pracę w środowisku szczególnie narażonym na zakłócenia przy jednoczesnych wymaganiach co do odporności systemu w układach kontroli ruchu miejskiego stosuje się raczej ekranowaną skrętkę STP (Shielded Twisted Pair) kat. 5. Sieć taka jest coraz powszechniej stosowana jako medium transmisji danych pomiędzy kontrolerami a czujnikami wykrywającymi pojazdy, np. kamerami CCD. W zależności od konkretnego zastosowania mogą być używane różne standardy przesyłu sygnału, napięcia oraz prądu. Większość z nich zawiera się w zakresie napięć od 2 do 15 V oraz zakresie częstotliwości poniżej 200 MHz.

Układ zostanie przetestowany pod kątem generowania zakłóceń oraz skuteczności zabezpieczenia na kablu lokalnej sieci komputerowej 100Base-T, ze względu na jej wysokie wymagania w zakresie jakości sygnału.

Zaproponowany układ ochronny charakteryzuje się następującymi zaletami:

- Skalowalność

Przedstawiony schemat zawiera tylko 8 linii sygnałowych, jednak poprzez dołączanie kolejnych par diod 1N4007 można w niemal nieograniczonym zakresie rozszerzać tę liczbę.

- Niezależna regulacja napięć zadziałania przy udarze międzyżyłowym i doziemnym

Zmieniając napięcie Zenera diody transilowej D19 można dobrać napięcie zadziałania przy udarze międzyżyłowym według wzoru:

$$U_m = 2 \cdot U_{fo1N4007} + U_{BR}$$

gdzie

U_{BR} = napięcie przebicia diody transilowej

$U_{fo1N4007}$ = napięcie przewodzenia diody 1N4007

Zmieniając wartość warystora W1 można dobrać napięcie zadziałania przy udarze doziemnym według wzoru:

$$U_d = 2 \cdot U_{fo1N4007} + U_W + U_{BR}$$

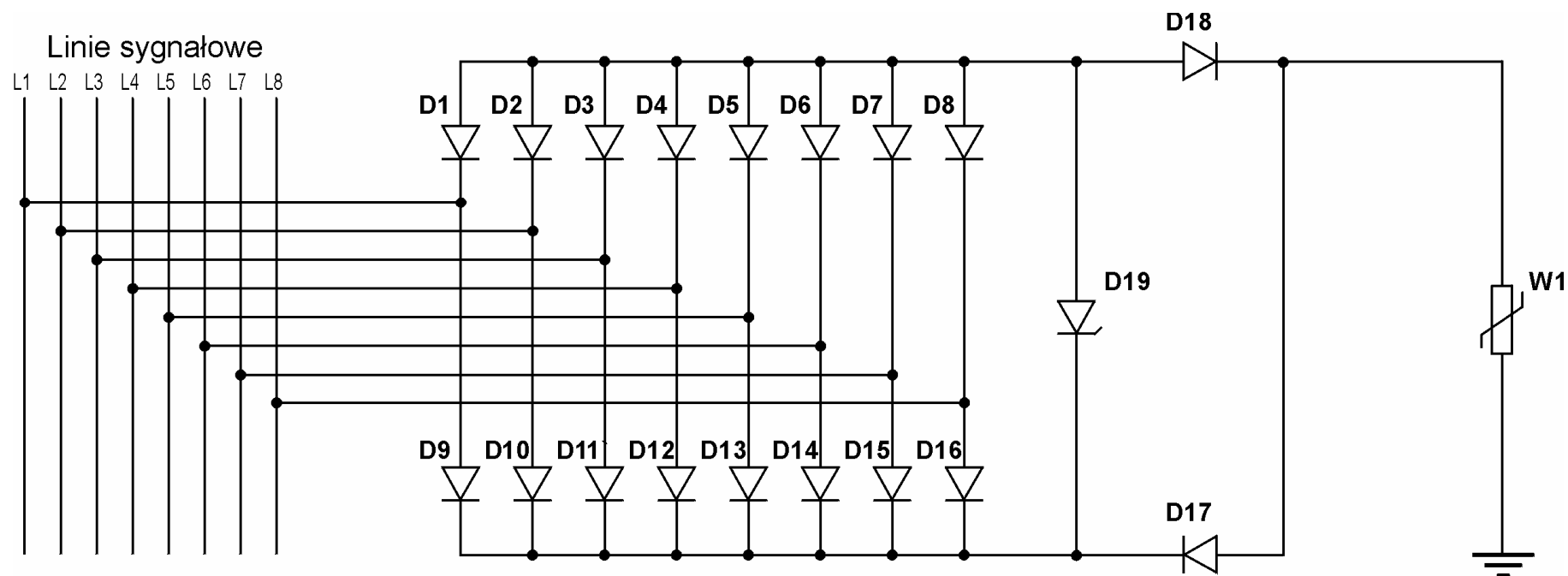
gdzie

$U_{fo1N4007}$ = napięcie przewodzenia diody 1N4007

U_{BR} = napięcie przebicia diody transilowej

U_W = napięcie przebicia warystora

Uniwersalny układ zabezpieczający na 8 linii sygnałowych

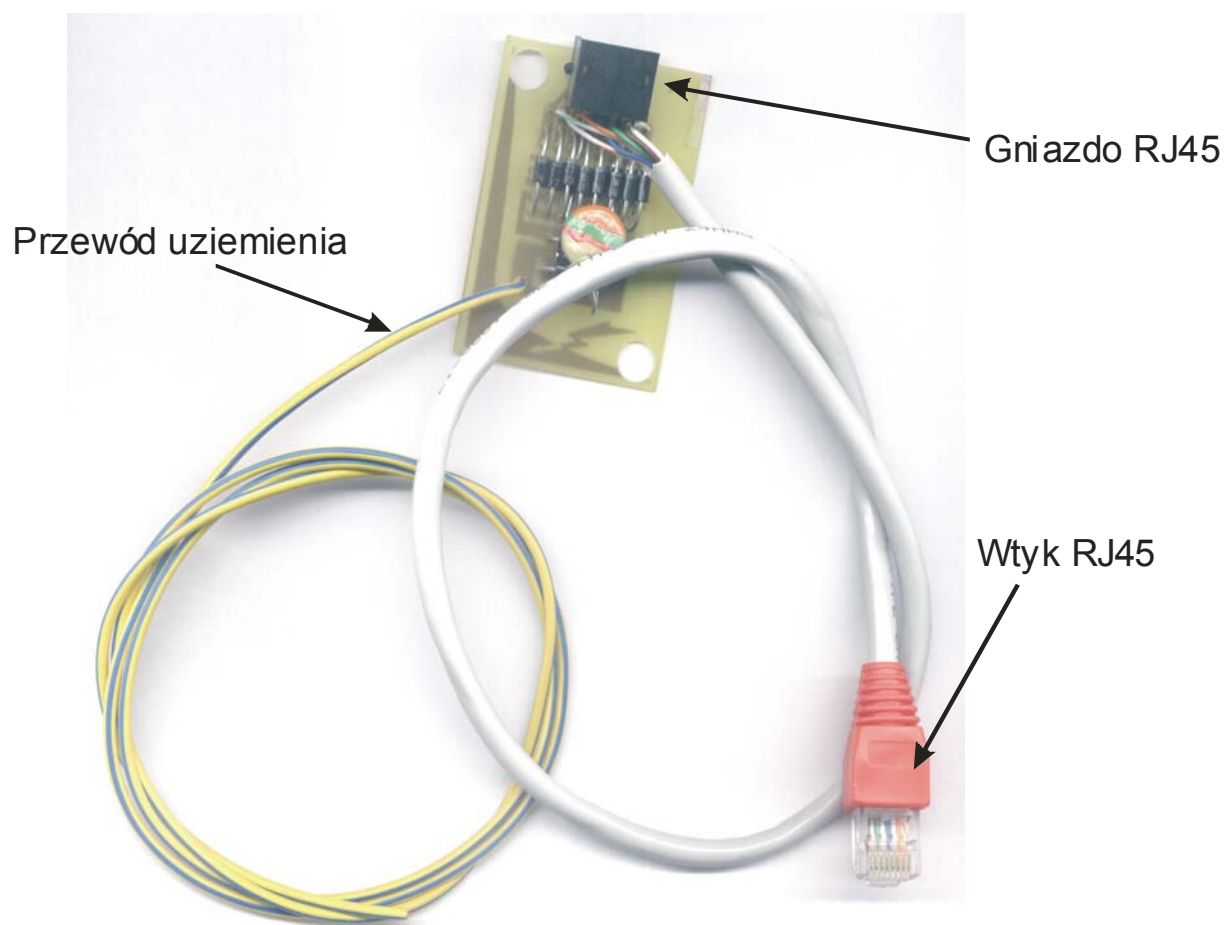


Wykaz elementów

D1-D18 – diody prostownicze 1N4007

D19 – Dioda zabezpieczająca 1.5KE12

W1 – Warystor metalowo – tlenkowy S14K25



Rys. Układ ochronnika przystosowany do kabla UTP kat.5 ze złączem RJ45

5.1 Charakterystyki elementów

5.1.1 Dioda prostownicza 1N4007

Parametry:

$V_{RRM}=1000V$ – maksymalne napięcie w kierunku zaporowym

$I_F=1 A$ – maksymalny prąd w kierunku przewodzenia

$V_F=1,1 V$ – napięcie przy prądzie I_F

$I_R=10\mu A$ – prąd przy napięciu zaporowym V_{RRM}

$t_{rr}=2\mu s$ – czas przełączania

Dioda prostownicza 1N4007 posiada określony maksymalny prąd w kierunku przewodzenia na poziomie 1 A, jednak są to dane dla prądu stałego. Prąd udarowy płynący w czasie kilkudziesięciu mikrosekund może osiągnąć wielokrotnie wyższe wartości bez zniszczenia termicznego diody. W celu przebadania przydatności diody zastosowałem określony normami udar napięciowo-prądowy

Parametry udaru testowego:

Udar napięciowy

czas narastania – 1,2 μs

czas do półszczytu – 50 μs

amplituda 250 V-6,6 kV regulowana nastawami generatora z krokiem 50 V

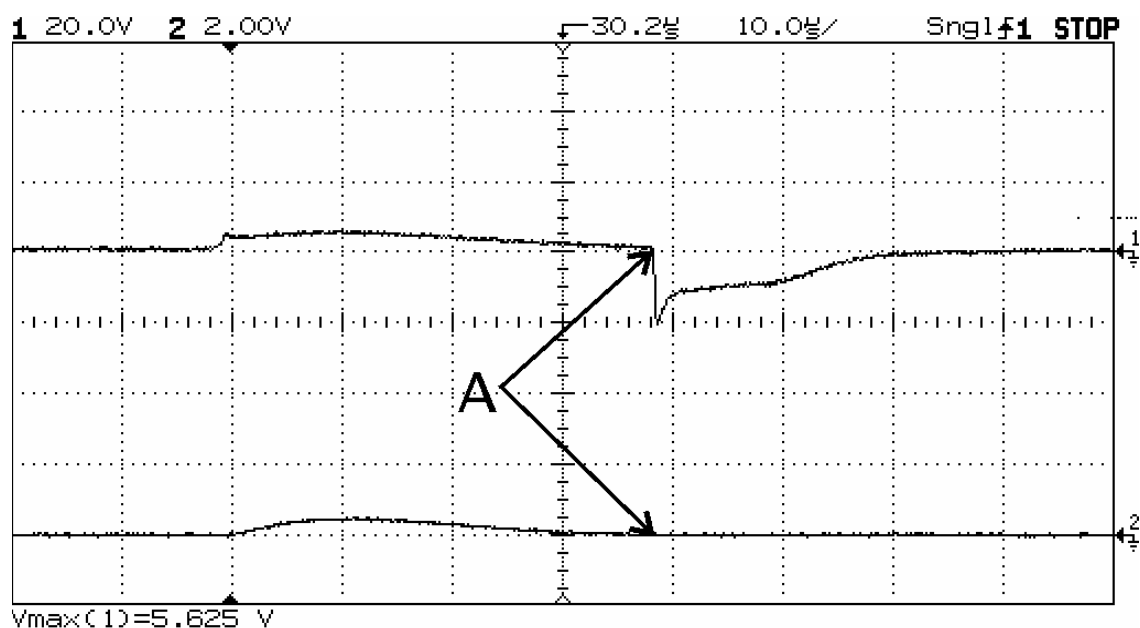
amplituda prądu 125A-3,3kA przy obciążeniu generatora 2Ω

Udar prądowy

czas narastania - 8 μs

czas do półszczytu – 20 μs

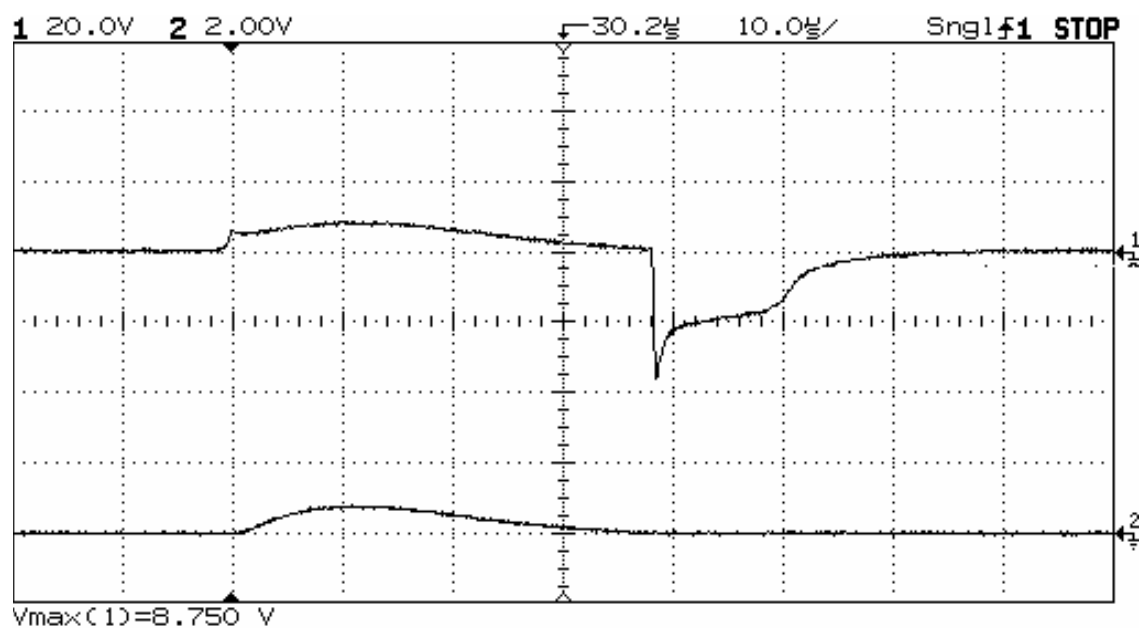
Po każdej serii udarów sprawdzana była funkcjonalność diody



Rys. Dioda 1N4007, udar standartowy 250V, U_u -1, I_u - 2

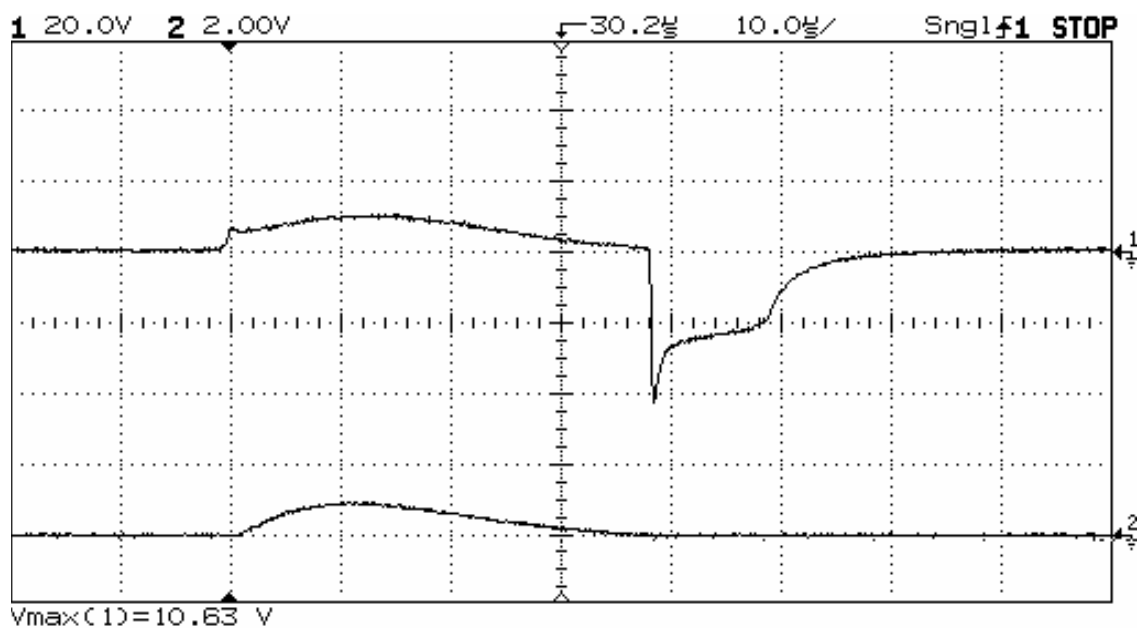
Prąd udarowy $I_u = 140$ A

Zgodnie z przewidywaniami napięcie odpowiedzi diody było wyższe niż określone w parametrach technicznych diody w związku z wyższym prądem I_u . Na wykresie prądu został zaznaczony punkt A. Jest to punkt przejścia diody w stan zaporowy. Indukcyjność pasywna doprowadzeń powoduje powstanie impulsu napięciowego w kierunku ujemnym



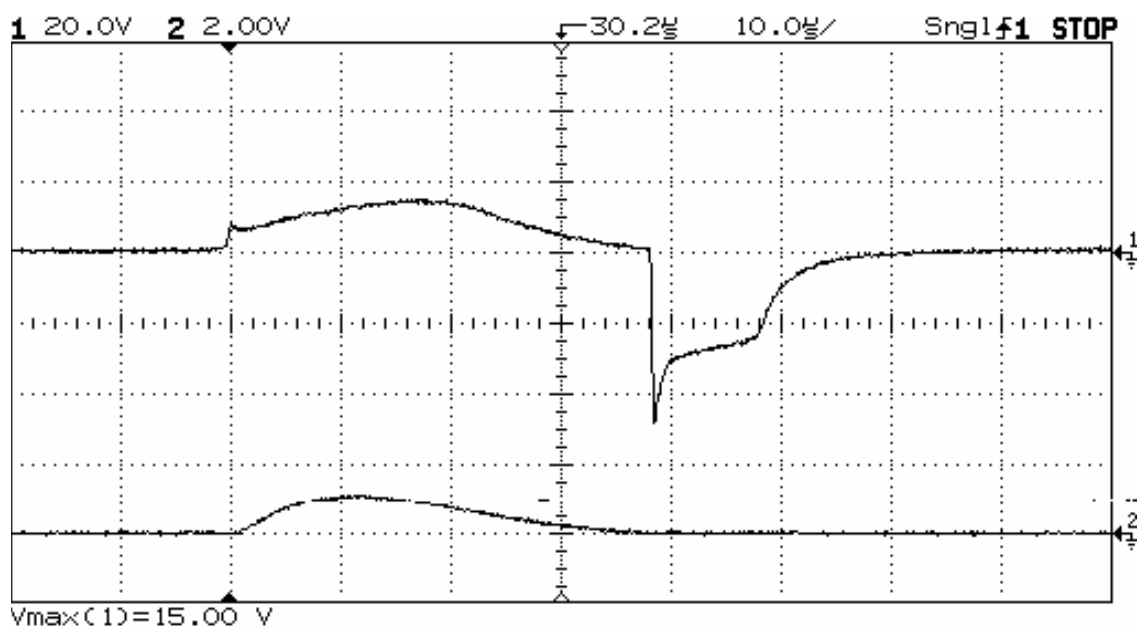
Rys. Dioda 1N4007, udar standartowy 400V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 235$ A



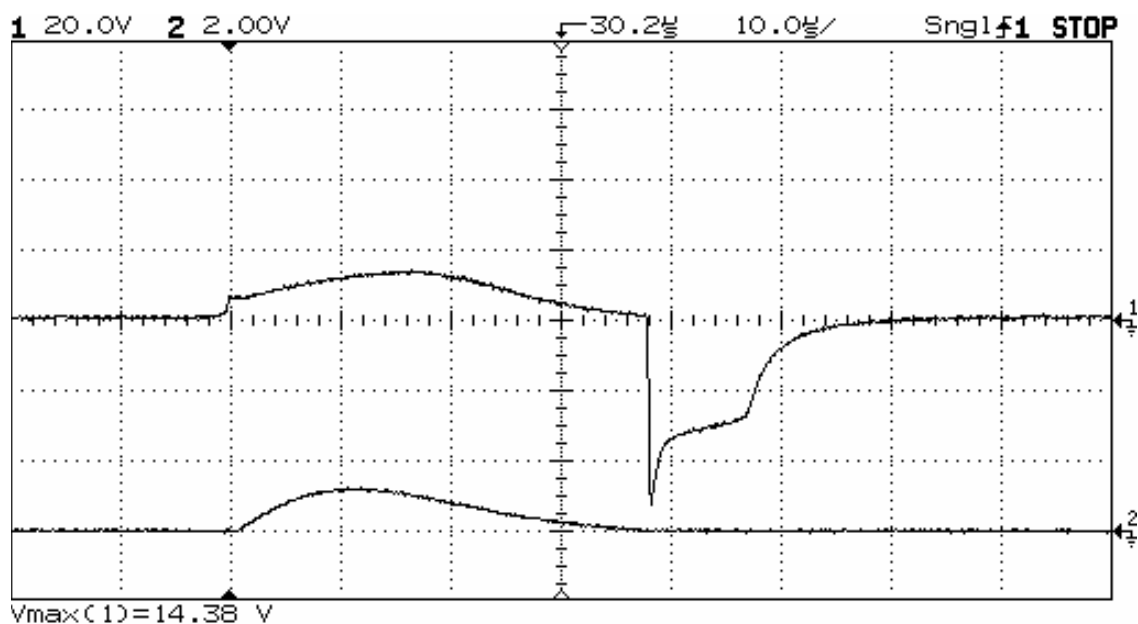
Rys. Dioda 1N4007, uder standardowy 500V, U_u -1, I_u - 2

Prąd uderowy $I_u = 285$ A



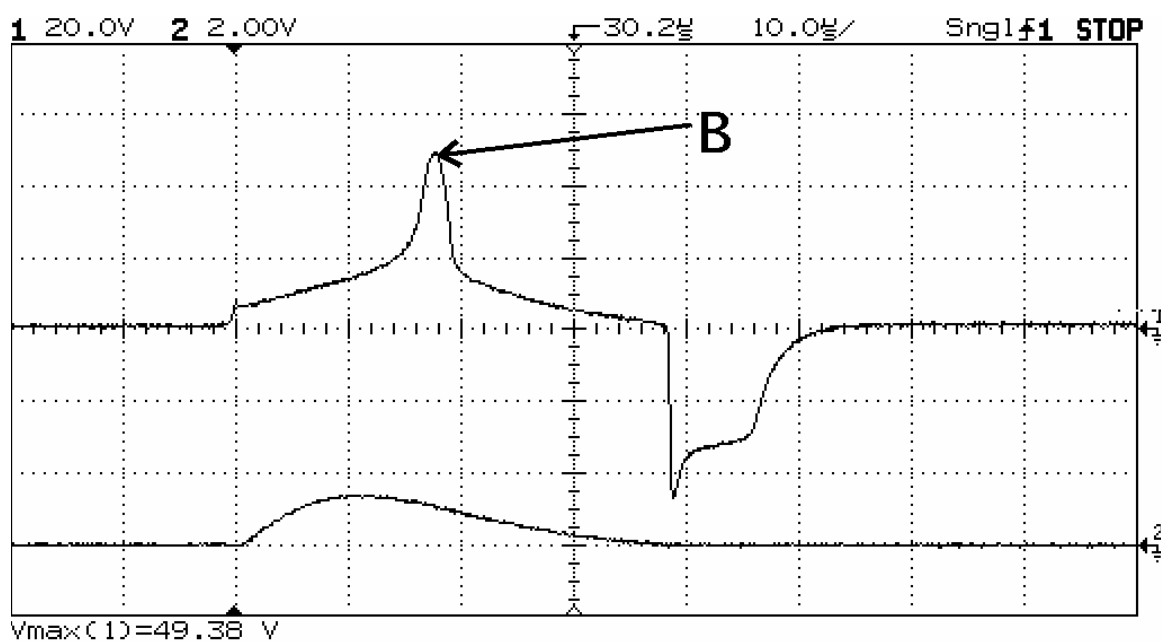
Rys. Dioda 1N4007, uder standardowy 600V, U_u -1, I_u - 2

Prąd uderowy $I_u = 340$ A



Rys. Dioda 1N4007, udar standartowy 650V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 370$ A

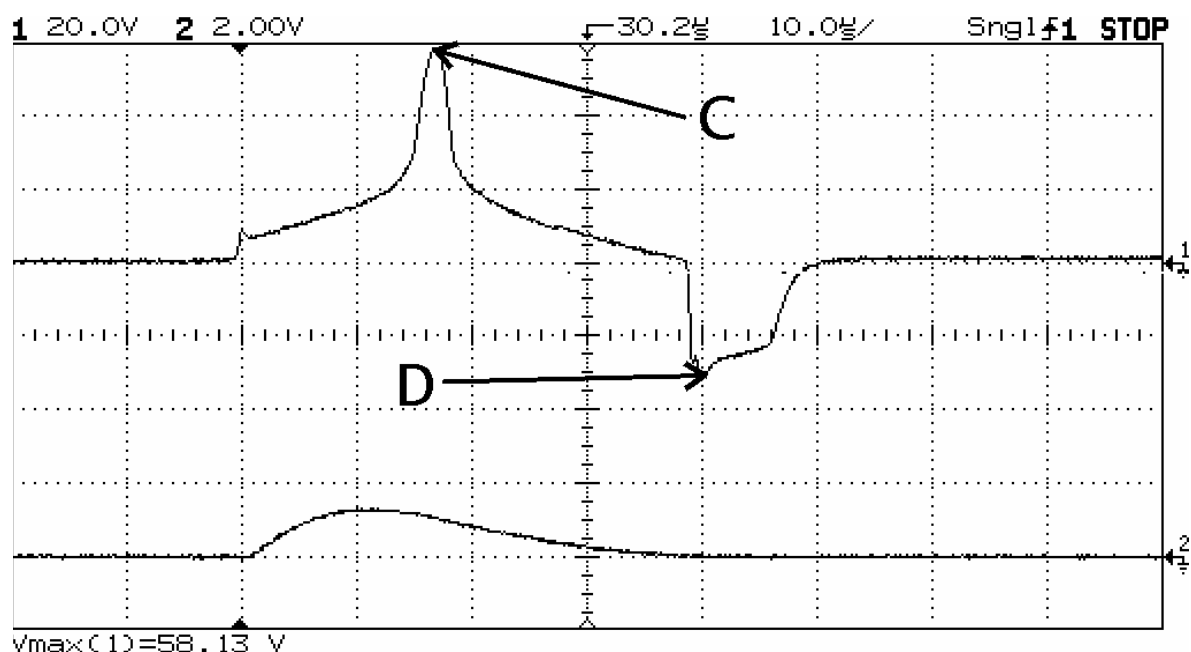


Rys. Dioda 1N4007, udar standartowy 700V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 400$ A

Przy napięciu ładowania generatora pojawia się wyrzuszenie napięcia odpowiedzi diody B będące wynikiem wysycenia prądem nośników w obszarze złącza p-n. Powoduje to postępujące uszkodzenie złącza poprzez wrywanie atomów ze sieci krystalicznej. Zjawisko to prowadzi do bardzo znacznego

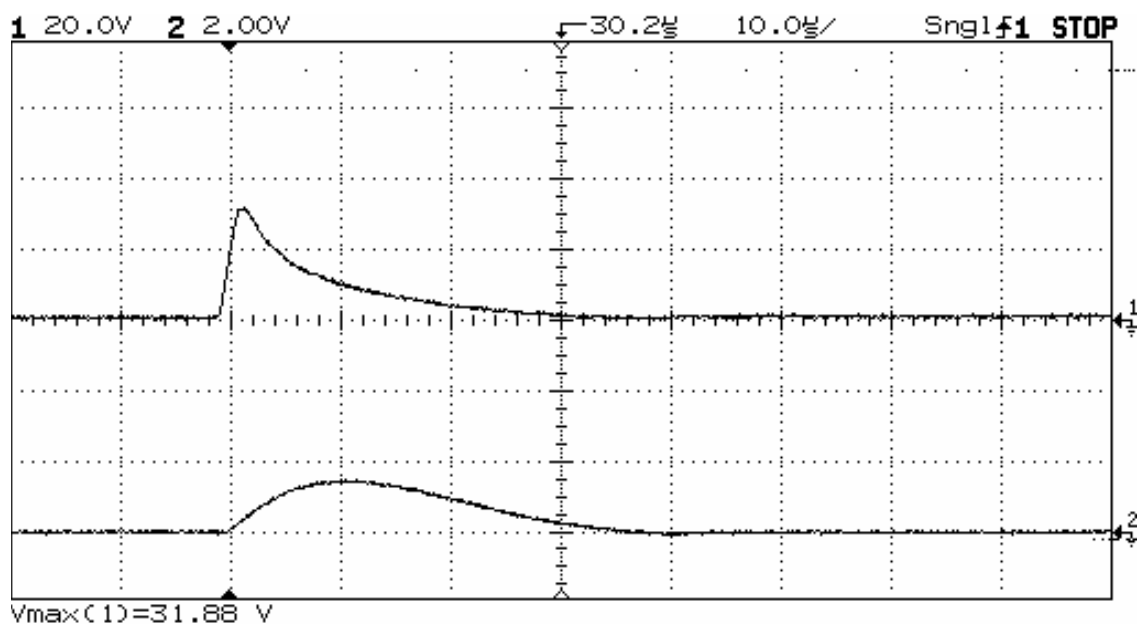
wzrostu odkładanej mocy w obszarze złącza i w krótkim czasie do jego zniszczenia przy dalszym wzroście prądu. W celu zbadania, czy powyższy udar można uznać za bezpieczny dla diody została ona poddana powyższemu udarowi z ustawioną repetycją na $N=100$ w odstępach 10 s nie wykazując uszkodzeń.



Rys. Dioda 1N4007, udar standardowy 750V, U_u-1 , I_u-2

Prąd udarowy $I_u=425\text{ A}$

Podwyższenie napięcia udaru poza efektem wysycenia złącza C podobnie jak w przypadku poprzednim doprowadziło także do mikrouszkodzenia obszaru złącza i częściowego jego przebicia. Świadczy o tym obszar D krzywej przebiegu napięcia udarowego, które w kierunku zaporowym zostało spłaszczone, mimo, że dioda powinna być w stanie zaporowym. Ponawianie udaru spowodowało poszerzenie obszaru zniszczenia złącza i powstanie zwarcia. W celu potwierdzenia wyników w ten sam sposób przetestowałem 10 egzemplarzy diody 1N4007, z których każdy uległ zniszczeniu przy zbliżonym obciążeniu i w ten sam sposób – tworząc zwarcie. Świadczy to o możliwości zastosowania diody do projektowanego układu.



Rys. Dioda 1N4007, udar standardowy 750V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 430$ A

Powyższy przebieg został zarejestrowany na zniszczonej diodzie z wcześniejszych testów. Świadczy on o kontynuowaniu ochrony mimo zniszczenia właściwości diodowych złącza p-n.

Tabela Napięcia i prądu udarowe diody 1N4007

Napięcie ładowania generatora	Napięcie odpowiedzi diody	Prąd udaru	Uwagi
250	5,625	140	
400	8,750	235	
500	10,63	285	
600	14,38	340	
650	15,00	370	
700	49,38	400	Maksymalny udar powtarzalny
750	58,13	425	Udar niszczący
750	31,88	430	Odpowiedź diody po zniszczeniu

5.1.2 Warystor metalowo – tlenkowy S14K25

Parametry:

$V_R=39V$ maksymalne napięcie przy 1 mA prądu upływu

$W=7,0 J$ Energia tłumienia (2 ms)

$C=4600 pF$

$t<25 ns$ czas odpowiedzi

$R> 1000 M\Omega$ rezystancja izolacji

Warystory przeznaczone są do tłumienia przepięć. Dobrze znoszą bardzo duże udary prądów w zakresie niedostępnym dla innych elementów elektronicznych. Mimo dużej pojemności własnej warystora jest to element często niezastąpiony w ochronie przeciwprzepięciowej.

Parametry udaru testowego:

Udar napięciowy

czas narastania – $1,2 \mu s$

czas do półszczytu – $50 \mu s$

amplituda 250 V-6,6 kV regulowana nastawami generatora z krokiem 50 V

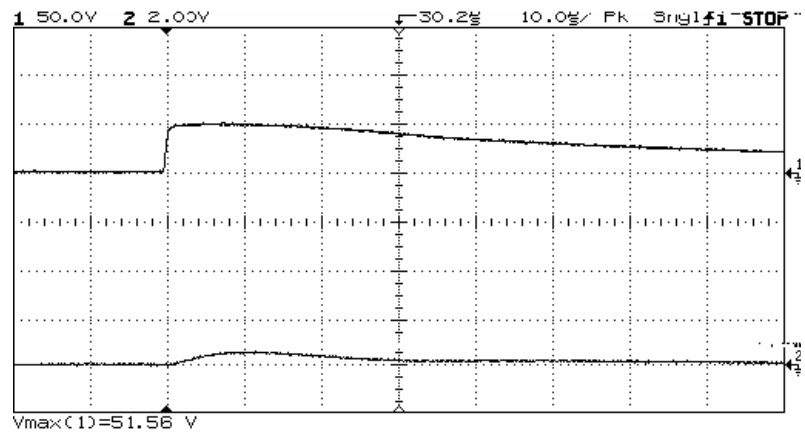
amplituda prądu 125A-3,3kA przy obciążeniu generatora 2Ω

Udar prądowy

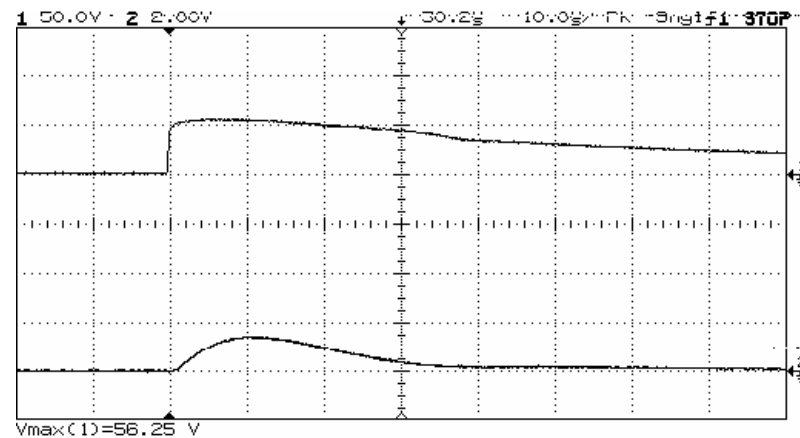
czas narastania - $8 \mu s$

czas do półszczytu – $20 \mu s$

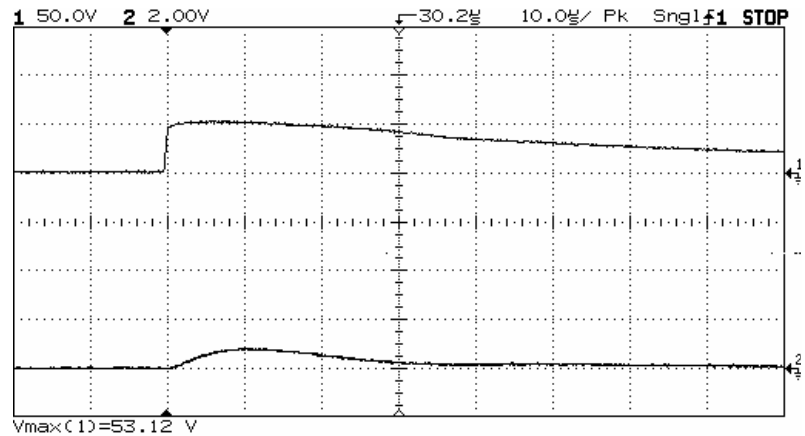
Po każdej serii ударów sprawdzana była funkcjonalność warystora



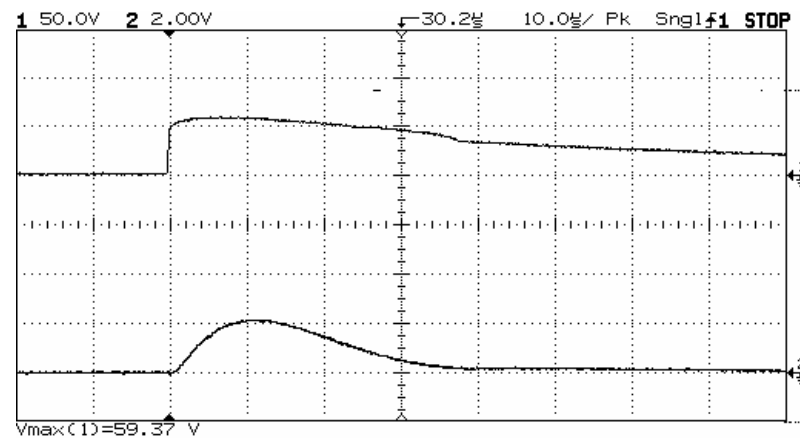
Rys. Warystor S14K25 , uder standartowy 250V, U_u -1, I_u - 2
Prąd uderowy I_u = 90 A



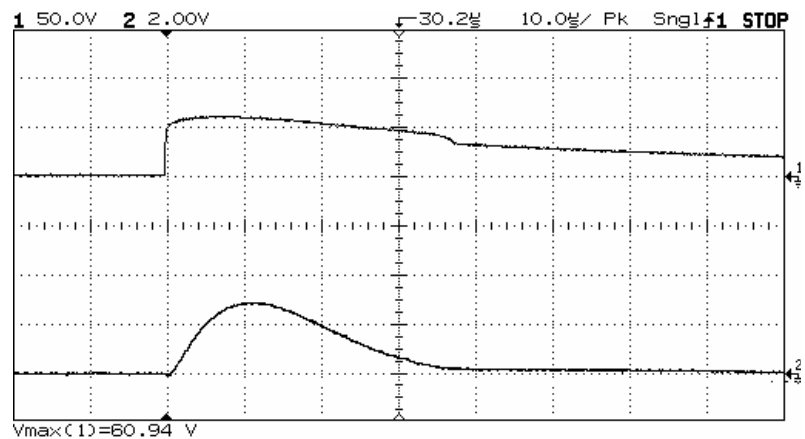
Rys. Warystor S14K25 , uder standartowy 800V, U_u -1, I_u - 2
Prąd uderowy I_u = 425 A



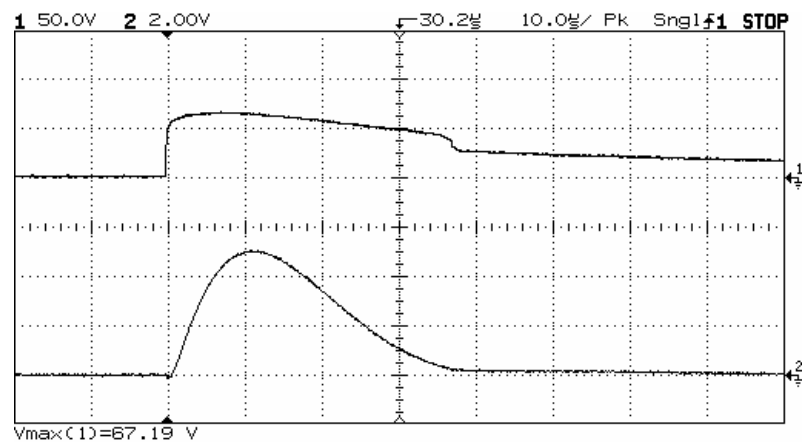
Rys. Warystor S14K25 , uder standartowy 500 V, U_u -1, I_u - 2
Prąd uderowy I_u = 230 A



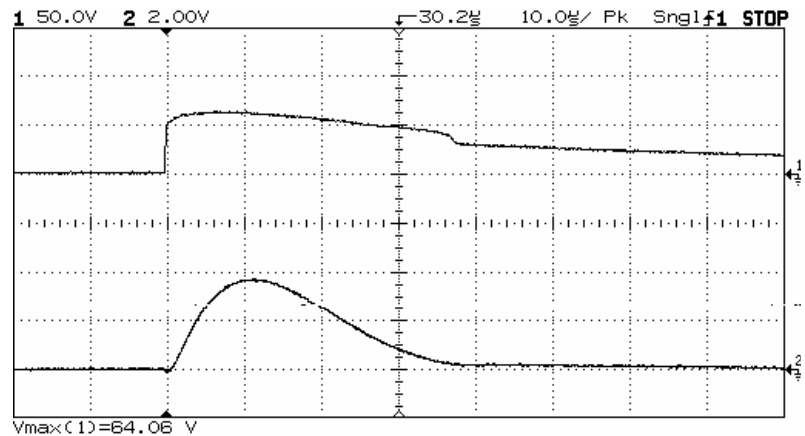
Rys. Warystor S14K25 , uder standartowy 1200V, U_u -1, I_u - 2
Prąd uderowy I_u = 650 A



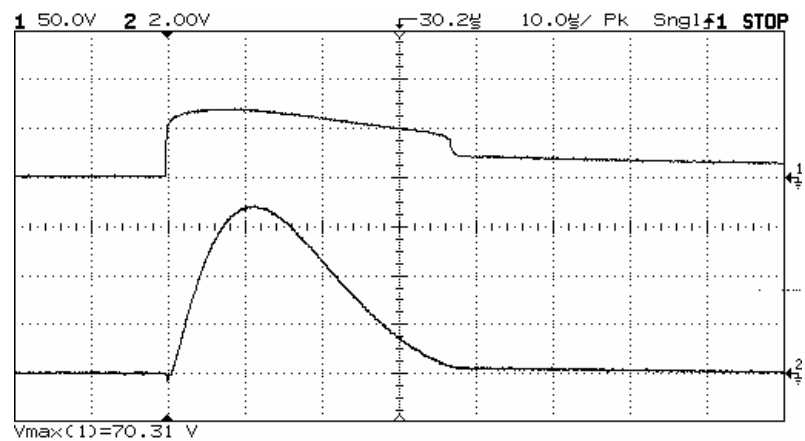
Rys. Warystor S14K25 , udar standartowy 1600V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 900 A



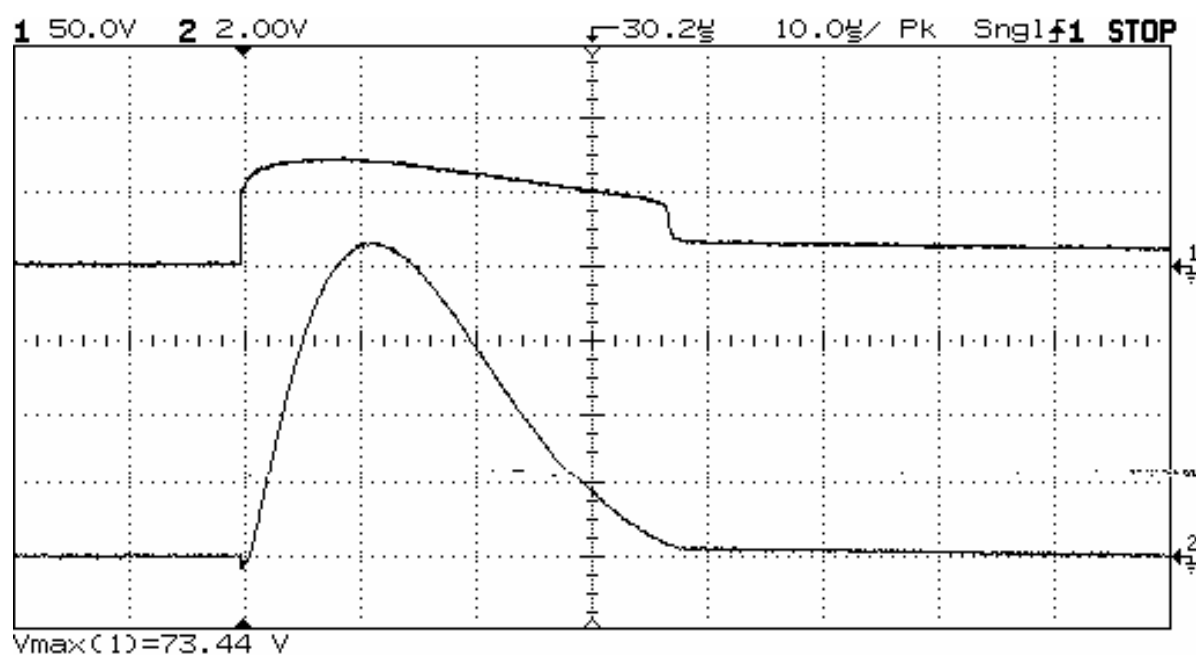
Rys. Warystor S14K25 , udar standartowy 3000 V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 1620 A



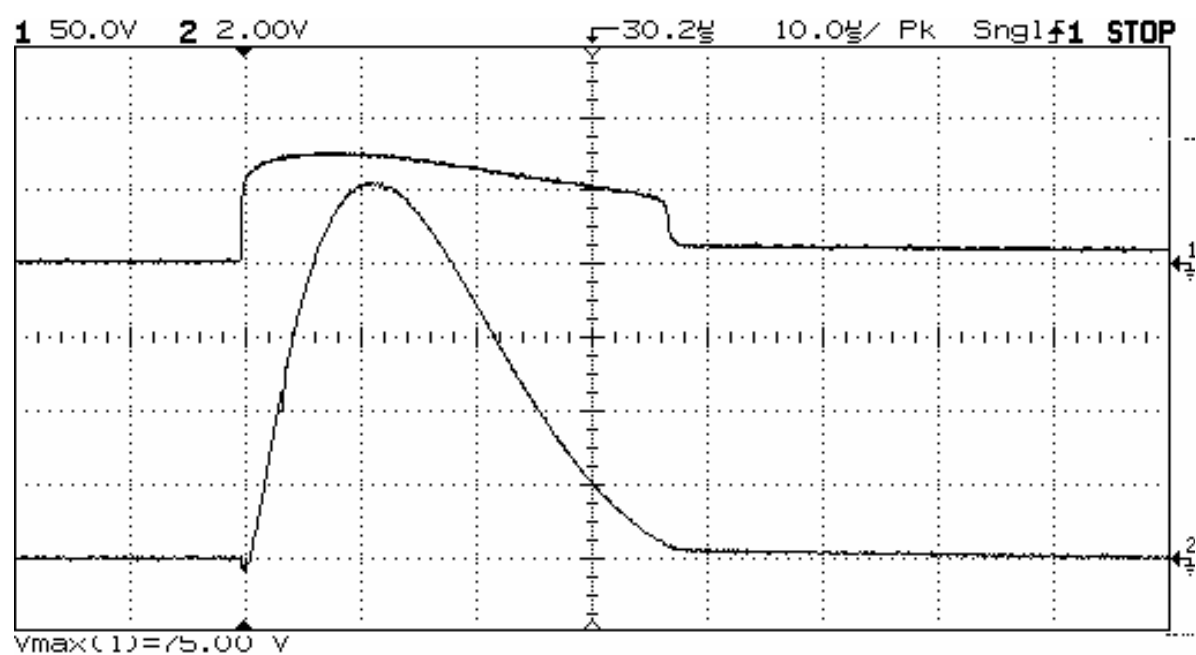
Rys. Warystor S14K25 , udar standartowy 2000V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 1185 A



Rys. Warystor S14K25 , udar standartowy 4000 V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 2210 A



Rys. Warystor S14K25 , udar standartowy 5000 V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 2810 A



Rys. Warystor S14K25 , udar standartowy 6500 V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 3365 A

Tabela Napięcia i prądy udarowe warystora S14K25

Napięcie ładowania generatora	Napięcie odpowiedzi warystora	Prąd udaru	Uwagi
250	51,56	90	
500	53,12	230	
800	56,26	425	
1200	59,37	650	
1600	60,94	900	
2000	64,06	1185	
3000	67,19	1620	
4000	70,31	2210	
5000	73,44	2810	
6500	75	3365	

5.1.3 Zabezpieczająca dioda transilowa 1.5 KE12

Parametry:

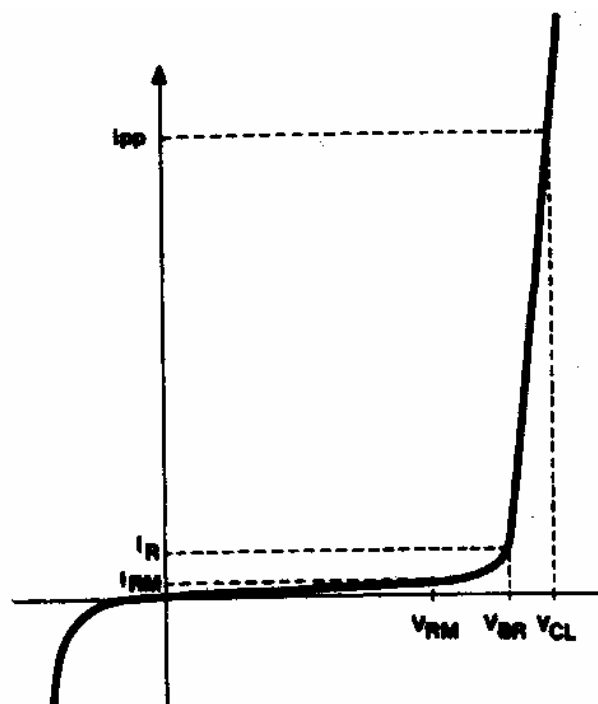
$V_{RM}=9,72V$ – maksymalne dopuszczalne napięcie wsteczne, przy którym dioda nie przewodzi

$V_{BR}=12$ – Napięcie przebicia (zadziałania) diody

$V_{CL}=17,3$ - Maksymalne napięcie mierzone w kierunku wstecznym przy napięciu impulsowym o czasie trwania 1 ms

$I_{PP}=87 A$ – maksymalny prąd przy V_{CL}

$I_{RM}=5\mu A$ – maksymalny prąd przy napięciu V_{RM}



Prąd udarowy płynący w czasie kilkudziesięciu mikrosekund może osiągnąć wielokrotnie wyższe wartości bez zniszczenia termicznego diody. W celu przebadania przydatności diody zastosowałem określony normami udar napięciowo-prądowy

Parametry udaru testowego:

Udar napięciowy

czas narastania – $1,2 \mu s$

czas do półszczytu – $50 \mu s$

amplituda 250 V-6,6 kV regulowana nastawami generatora z krokiem 50 V

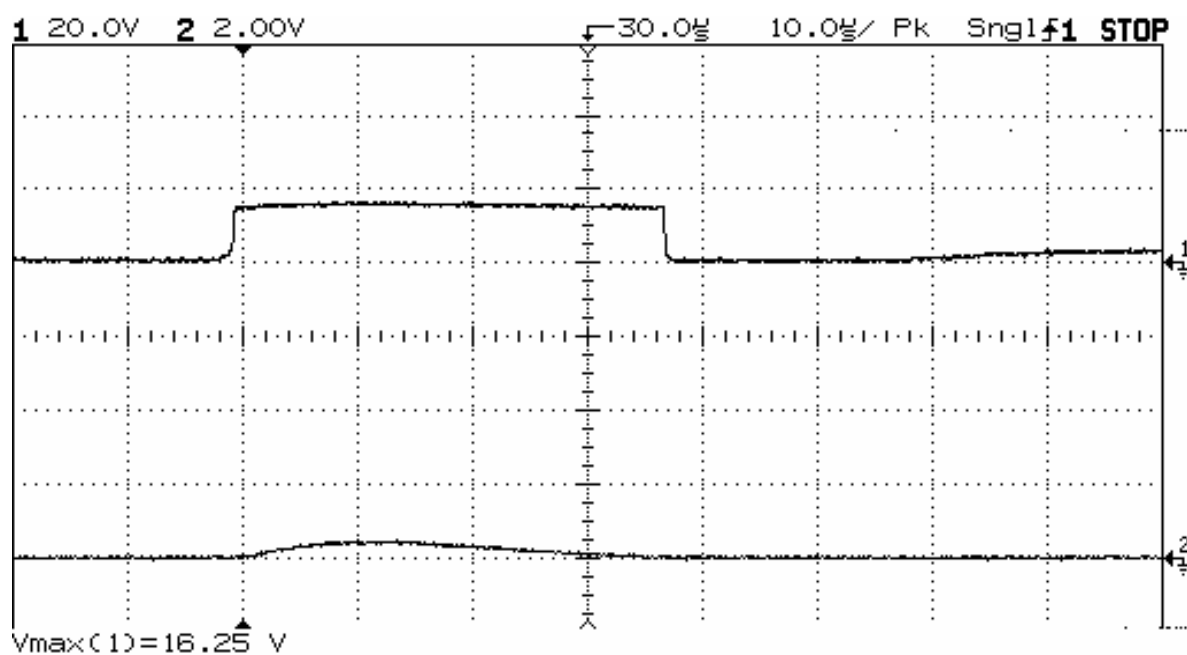
amplituda prądu 125A-3,3kA przy obciążeniu generatora 2Ω

Udar prądowy

czas narastania - $8 \mu s$

czas do półszczytu – $20 \mu s$

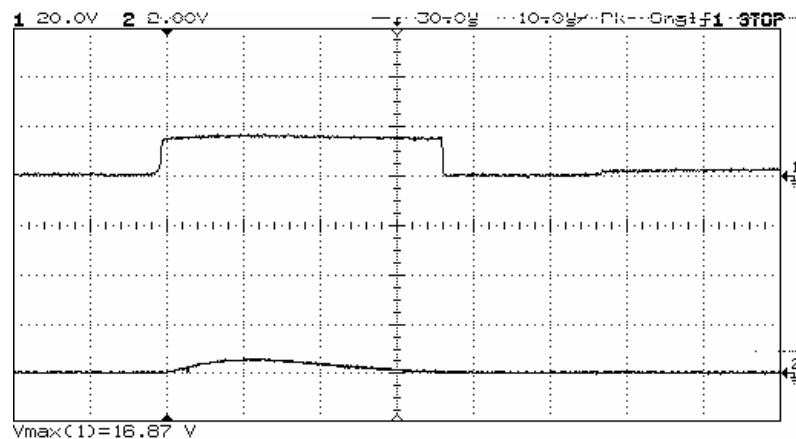
Po każdej serii uderzeń sprawdzana była funkcjonalność diody



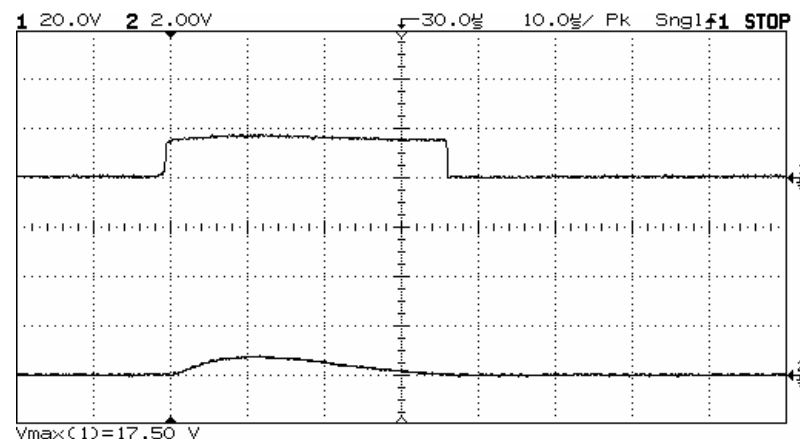
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 250V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 135$ A

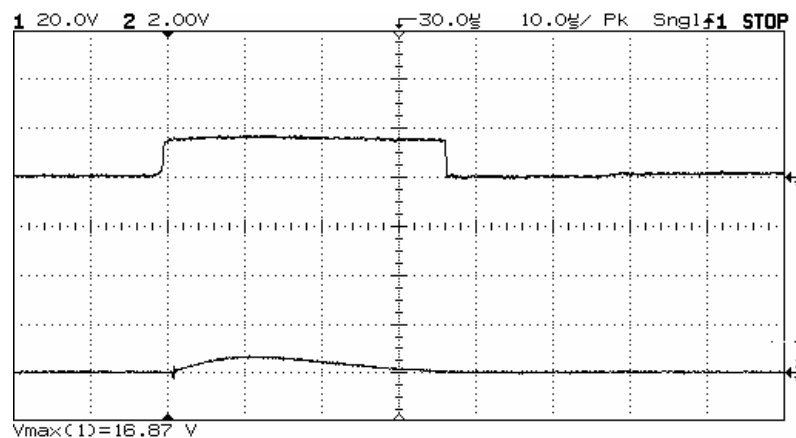
Przy prądzie udarowym o 60% większym od nominalnego dioda zachowuje pełną sprawność. Aby określić maksymalny powtarzalny prąd udarowy dioda została poddana uderom o zwiększanych amplitudach.



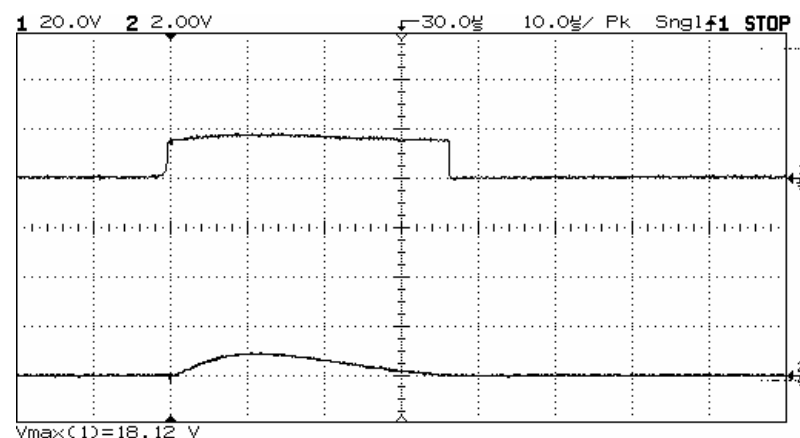
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 300V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 160 A



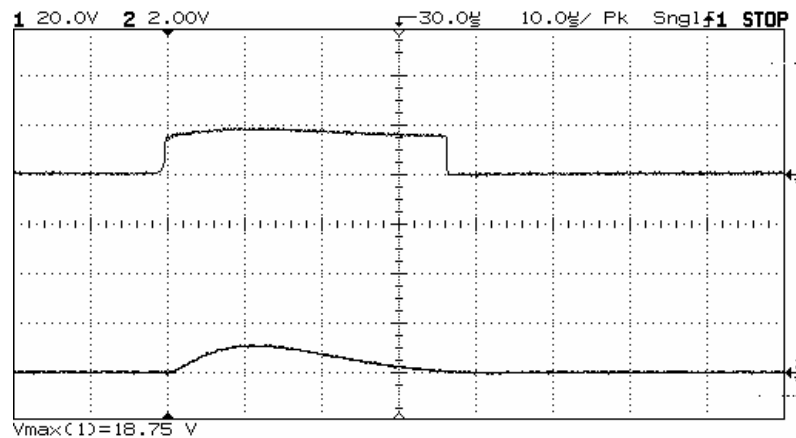
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 400V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 230 A



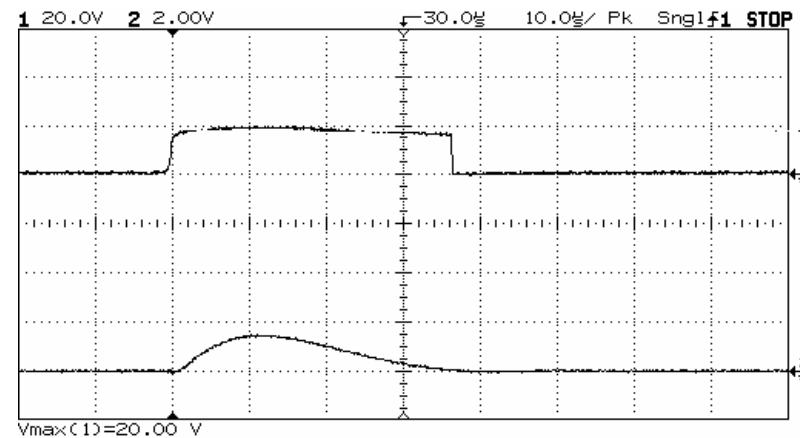
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 350V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 192 A



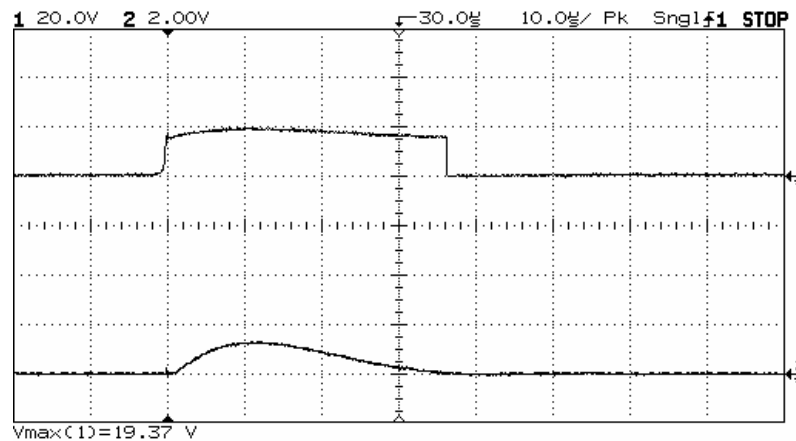
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 500V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 280 A



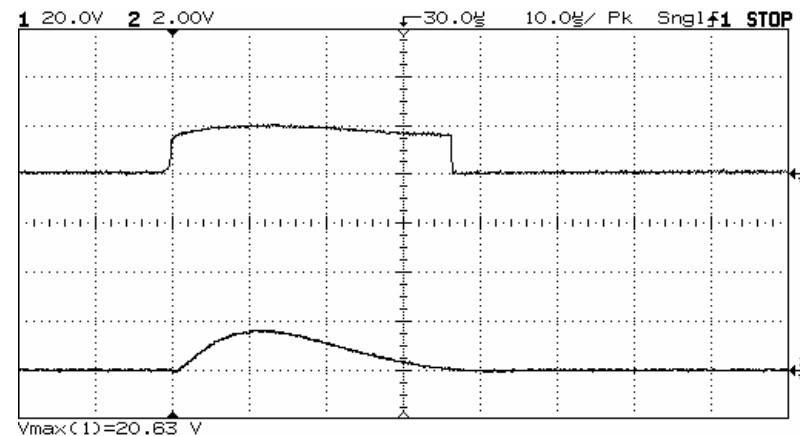
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 600V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 340 A



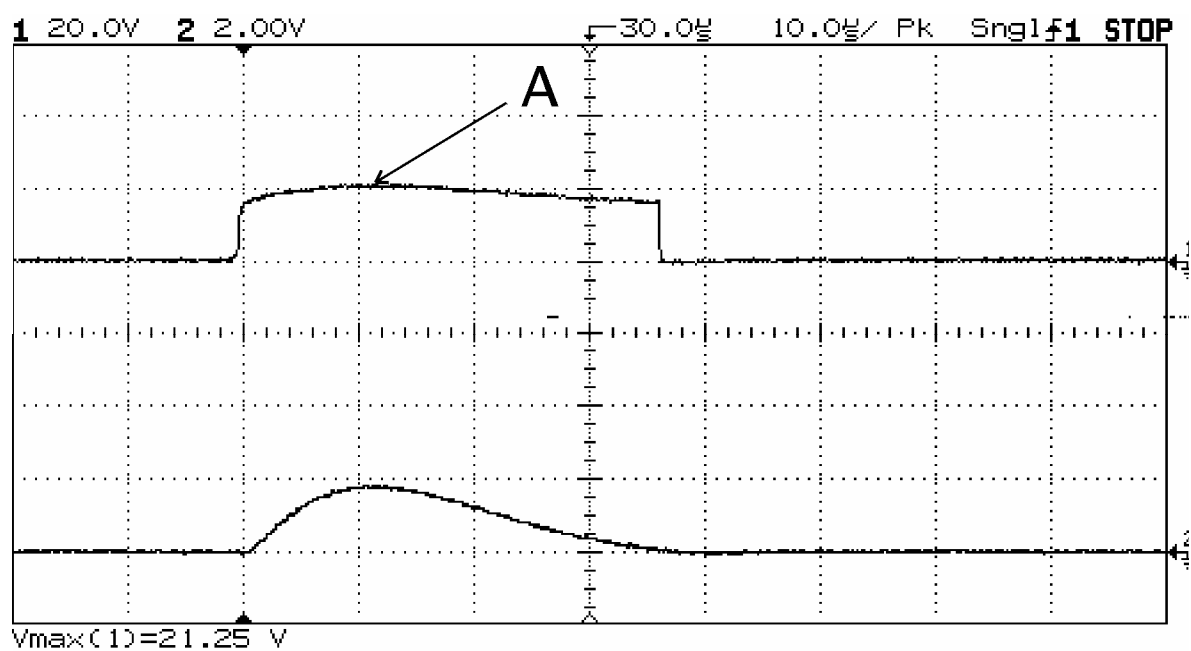
Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 800V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 450 A



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 700V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 395 A

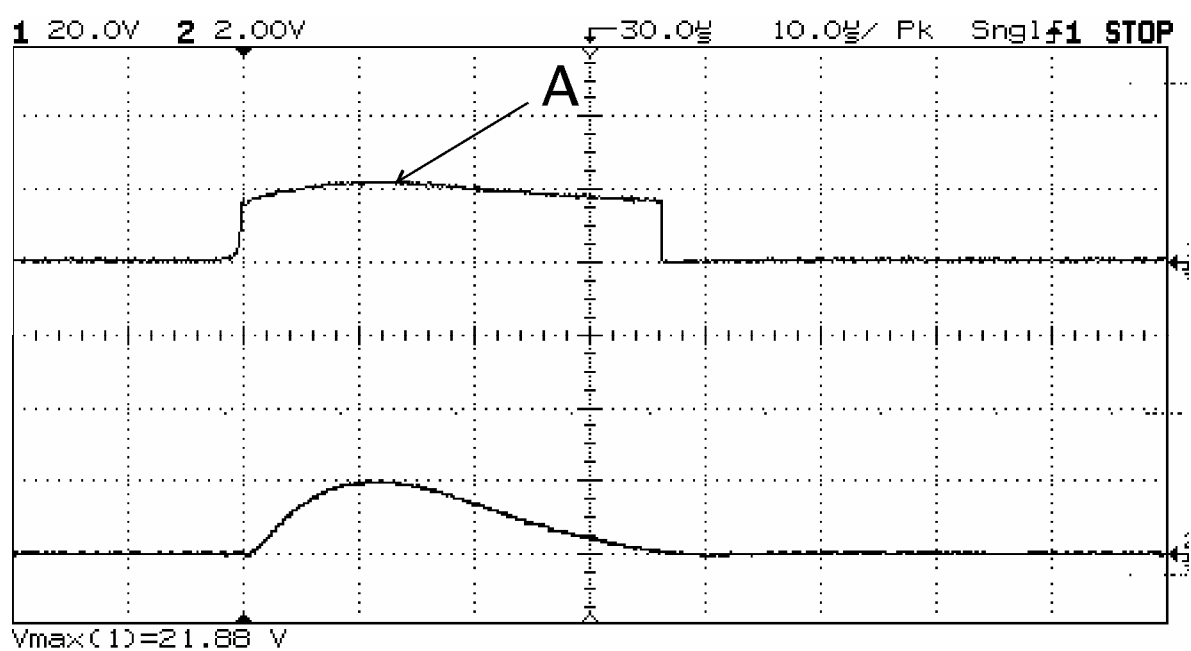


Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 900V, U_u -1, I_u - 2
Prąd udarowy I_u = 490 A



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 1000V, U_u -1, I_u - 2

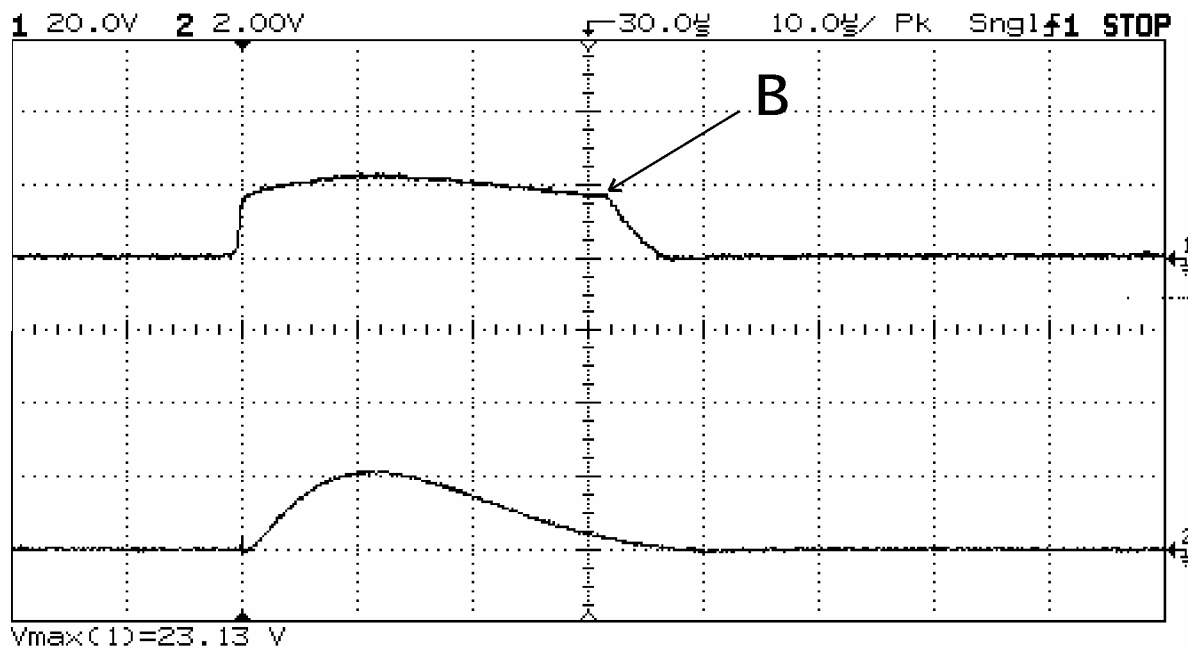
Prąd udarowy $I_u = 555$ A



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 1100V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 615$ A

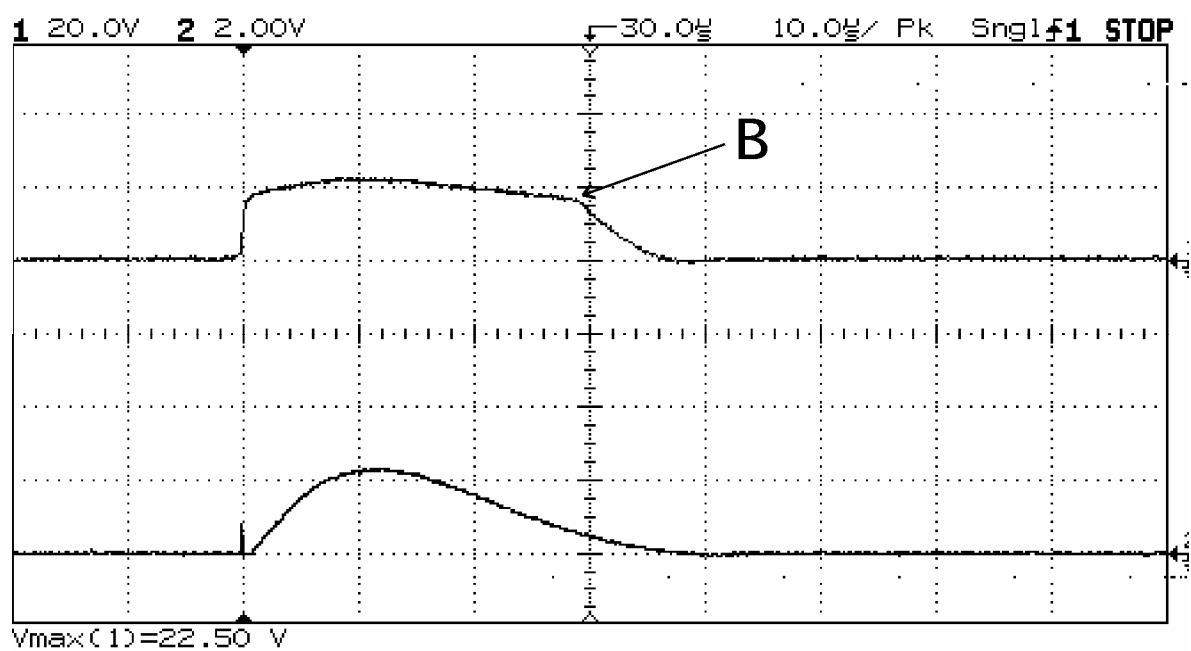
Znacznik A wskazuje punkt wybrzuszenia charakterystyki ze względu na wysycenie obszaru złącza. Należy stwierdzić, że jest to wybrzuszenie nieporównanie mniejsze niż analogiczne zjawisko na wykresach dla diody prostowniczej.



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 1200V, U_u -1, I_u - 2

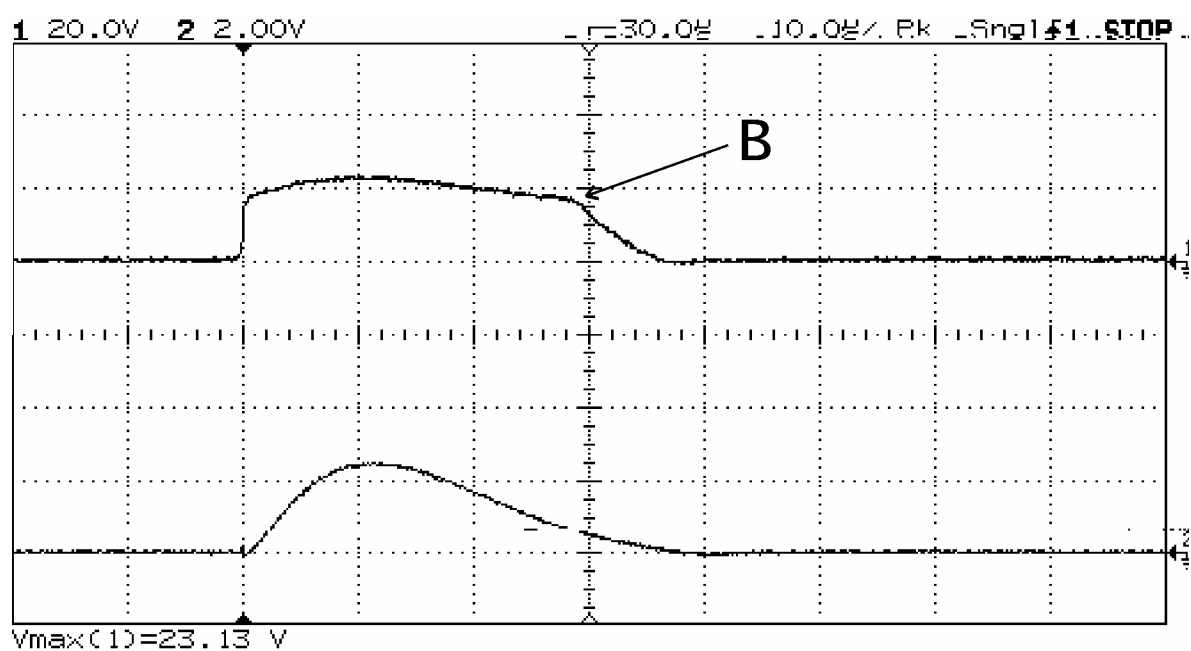
Prąd udarowy $I_u = 675$

Przy udarze napięciowym 1200V i prądowym 675 A nastąpiło uszkodzenie obszaru złącza diody (znacznik B). Należy podkreślić bardzo dobre parametry rezystancji dynamicznej diody transilowej polegające na niewielkim tylko wzroście napięcia na diodzie w funkcji prądu w całym testowanym zakresie.



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 1200V, U_u -1, I_u - 2

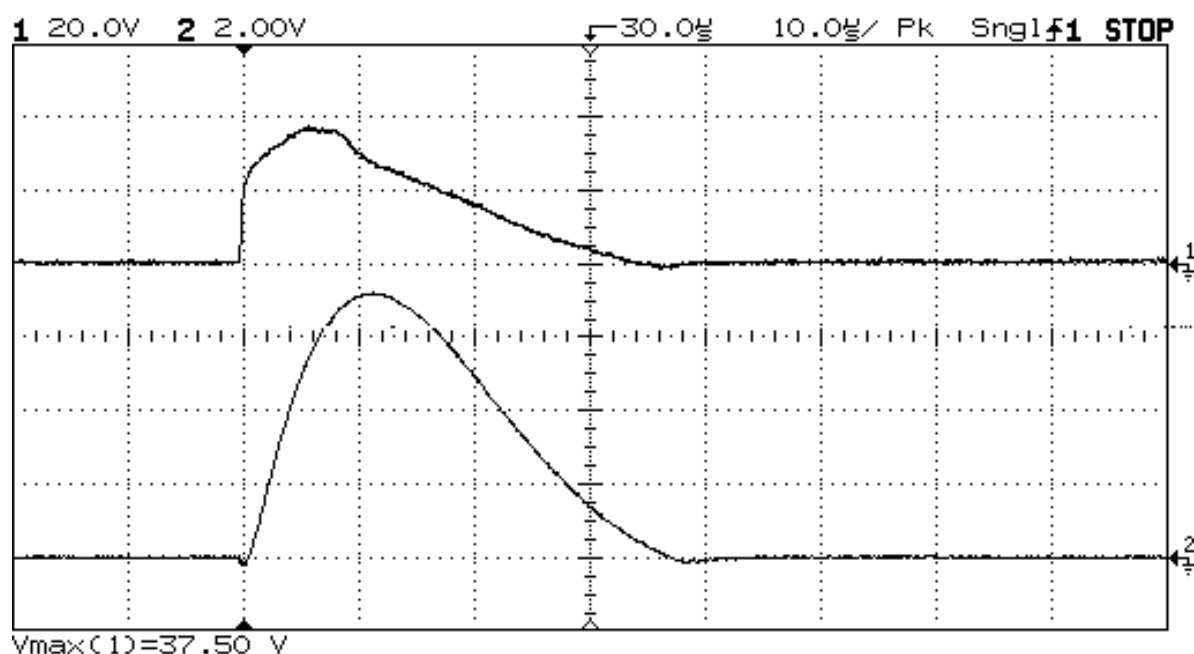
Prąd udarowy $I_u = 695$



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 1200V, U_u -1, I_u - 2

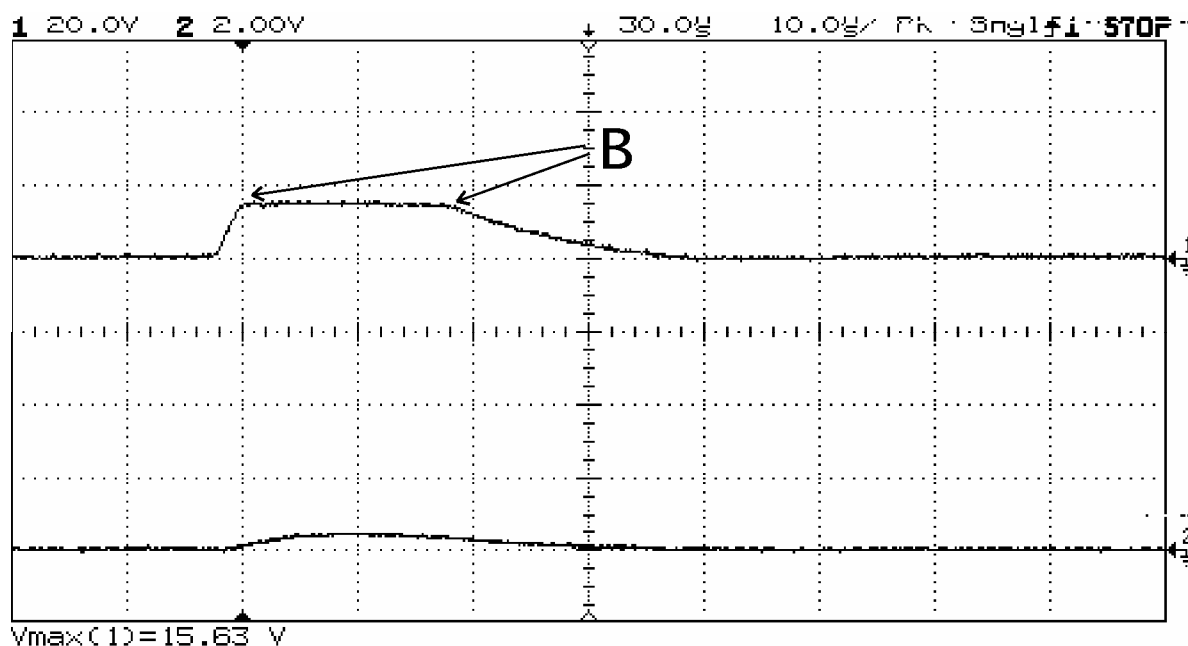
Prąd udarowy $I_u = 725$ A

Znacznik B wskazuje punkt, w którym zniszczone złącze diody działa jak rezystor, powodując liniowy spadek napięcia w funkcji prądu. W przypadku diody sprawnej spadek ten byłby ostry od napięcia 12 V do 0 V. Na kolejnych przebiegach widać pogłębiające się stopniowo uszkodzenie obszaru złącza, jednak mimo powtarzania uderzeń jest to proces stosunkowo powolny. Dopiero wielokrotne powtarzanie znacznie większego uderu przedstawionego poniżej doprowadziło to całkowitego przebicia diody zabezpieczającej i znacznej utraty jej właściwości.



Rys. Dioda 1.5 KE12, uder standardowy 4000V, U_u -1, I_u - 2

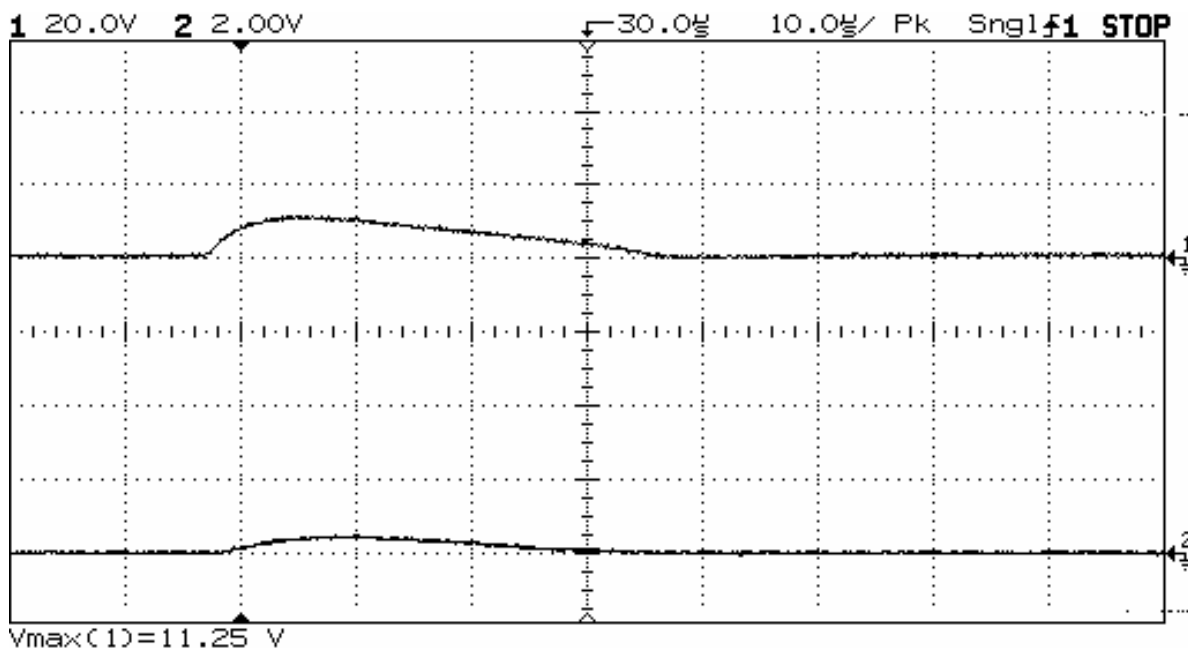
Prąd uderowy $I_u = 2125$ A



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 250V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 135$ A

Oscylogram przedstawia przebieg napięcia na diodzie zniszczonej wcześniej wielokrotnym ($N=10$) udarem o zadanym napięciu 4000 V. Znacznik B podobnie jak w poprzedniej sytuacji wskazuje punkt, w którym przewodzi zniszczona część diody.



Rys. Dioda 1.5 KE12, udar standartowy 250V, U_u -1, I_u - 2

Prąd udarowy $I_u = 135$ A

Oscylogram przedstawia przebieg napięcia na diodzie zniszczonej wcześniej wielokrotnym ($N=100$) udarem o zadanym napięciu 4000 V.

Tabela Napięcia i prądy udarowe diody transilowej 1.5 KE12

Napięcie ładowania generatora	Napięcie odpowiedzi diody	Prąd udaru	Uwagi
250	16,25	135	
250	15,63	135	Dioda częściowo zniszczona
250	11,25	135	Dioda zniszczona
300	16,87	160	
350	16,87	192	
400	17,50	230	
500	18,12	280	
600	18,75	340	
700	19,37	395	
800	20	450	
900	20,63	490	
1000	21,25	555	
1100	21,88	615	
1200	23,13	665	
4000	37,50	2125	Dioda zniszczona

5.1.4 Ochronnik

W celu oceny zakresu uderzeń dopuszczalnych ochronnika przeprowadzono testy gotowego układu uderzeniem napięciowo-prądowym 1,5/50 (8/20). Ze względu na rodzaj użytych podzespołów maksymalny powtarzalny uderzenie prądowe należy szacować na około 400 A.

Parametry uderzenia testowego:

Uderzenie napięciowe

czas narastania – 1,2 μ s

czas do półszczytu – 50 μ s

amplituda 250 V-6,6 kV regulowana ustawieniami generatora z krokiem 50 V

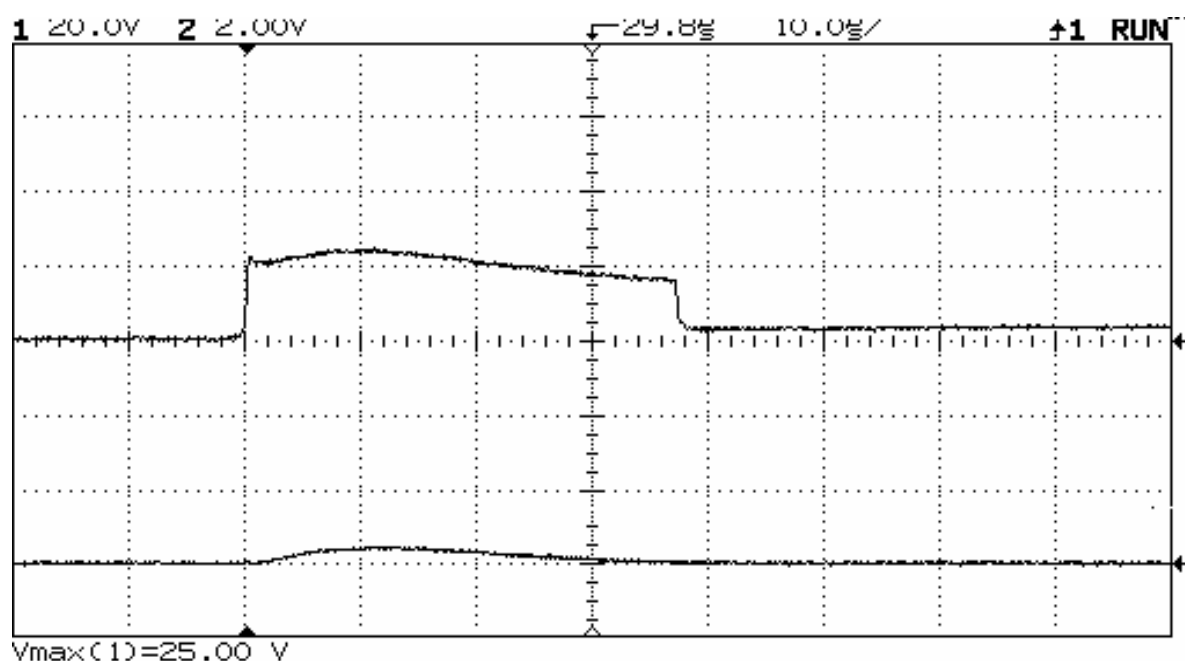
amplituda prądu 125 A-3,3 kA przy obciążeniu generatora 2 Ω

Uderzenie prądowe

czas narastania - 8 μ s

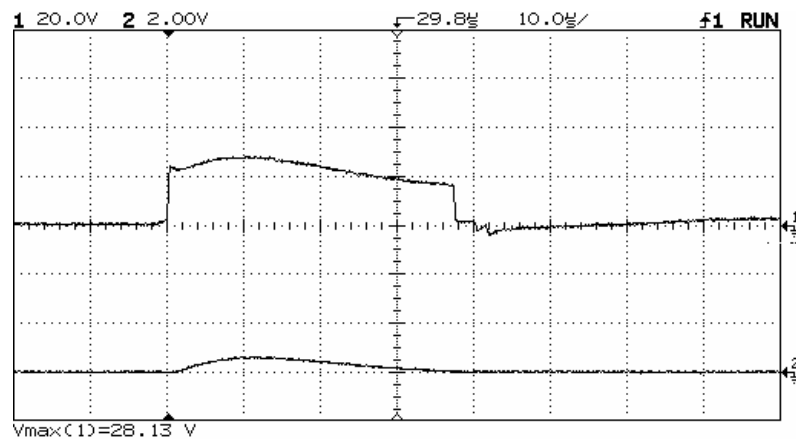
czas do półszczytu – 20 μ s

Po każdej serii uderzeń sprawdzana była funkcjonalność układu

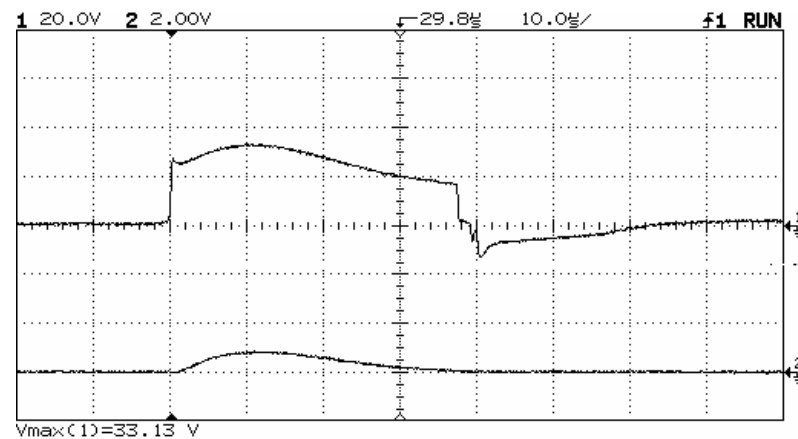


Rys. Układ ochronnika, uderzenie standardowe 250V, U_u -1, I_u - 2

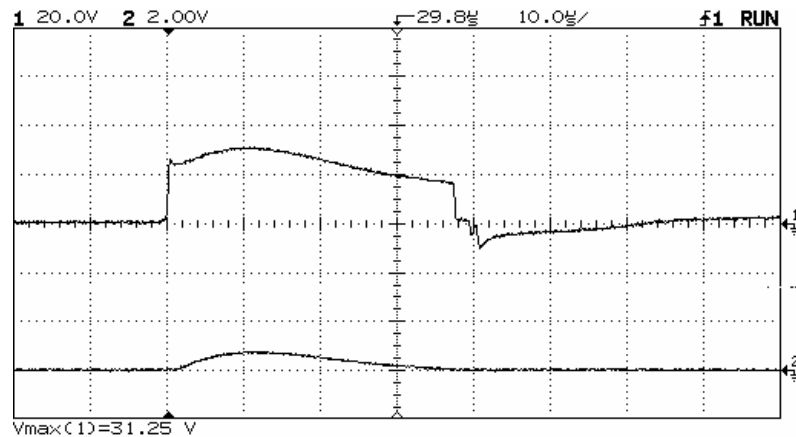
Prąd uderzeniowy I_u = 125 A



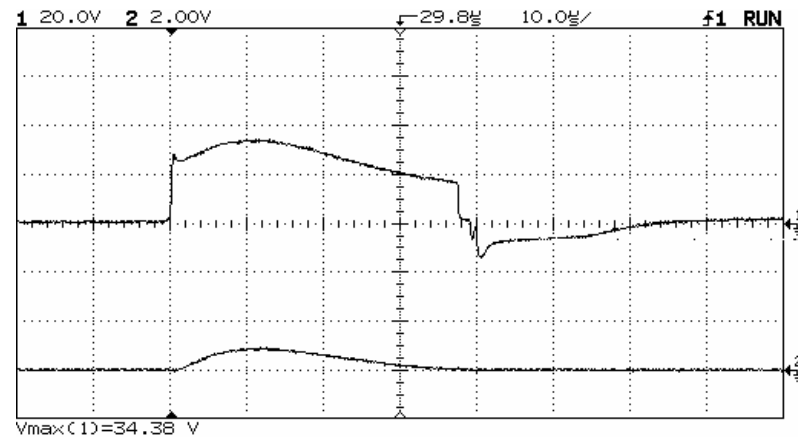
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 350V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=195$ A



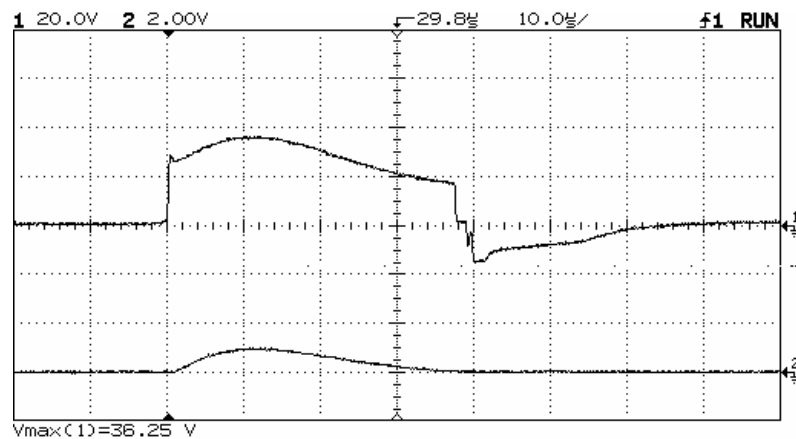
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 450V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=255$ A



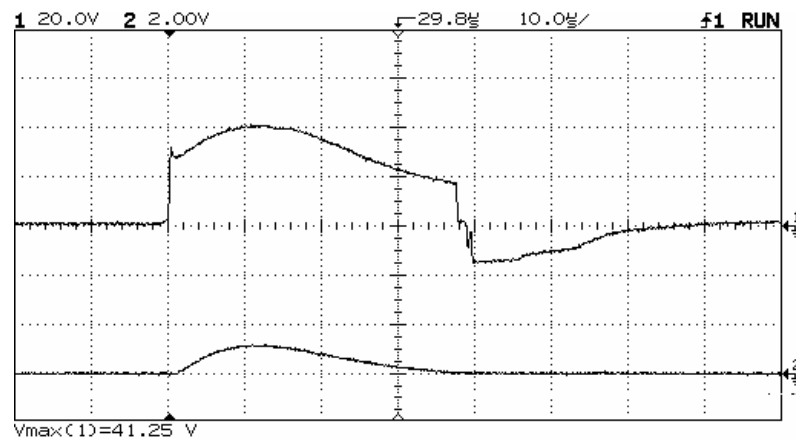
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 400V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=220$ A



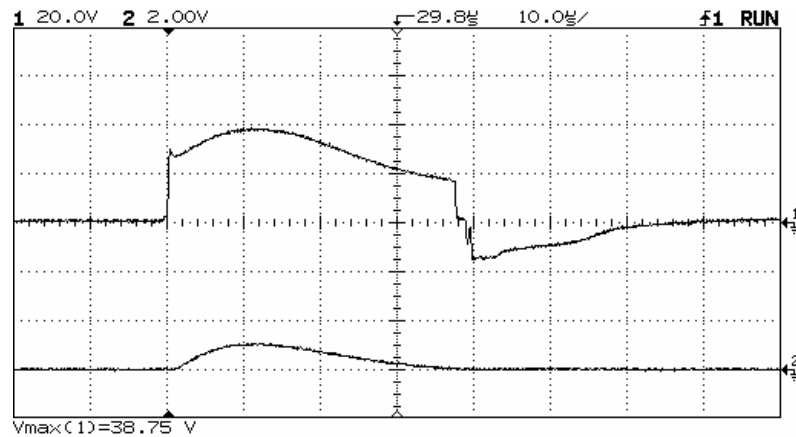
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 500V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=270$ A



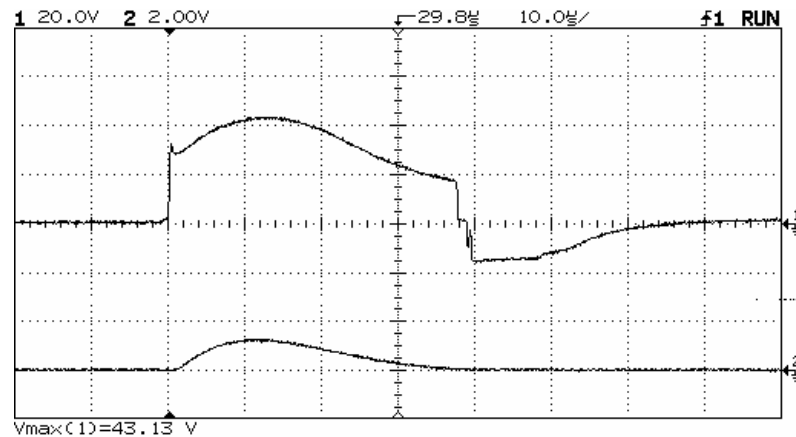
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 550V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=300$ A



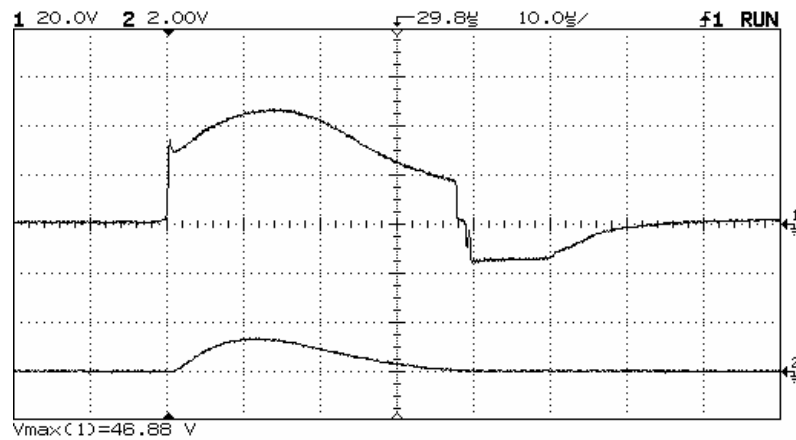
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 650V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=360$ A



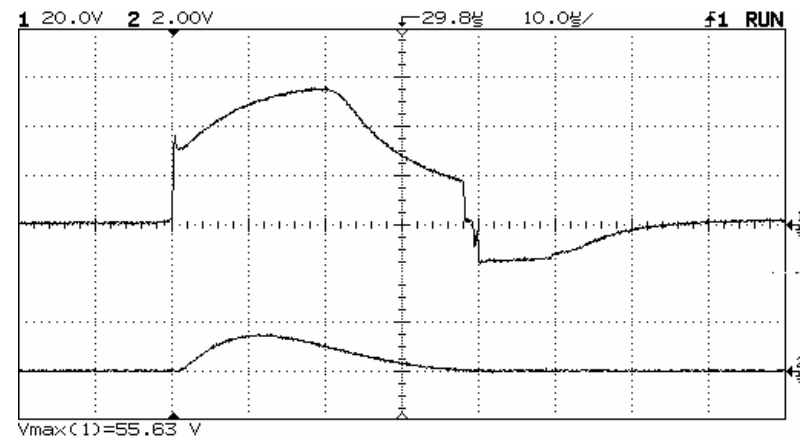
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 600V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=330$ A



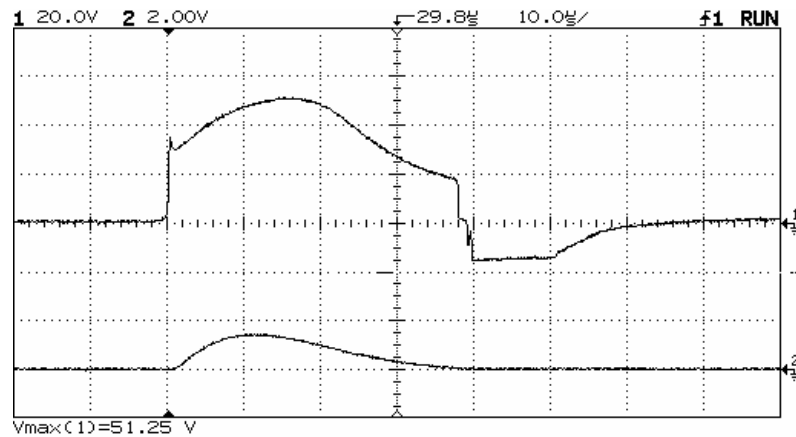
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 700V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=385$ A



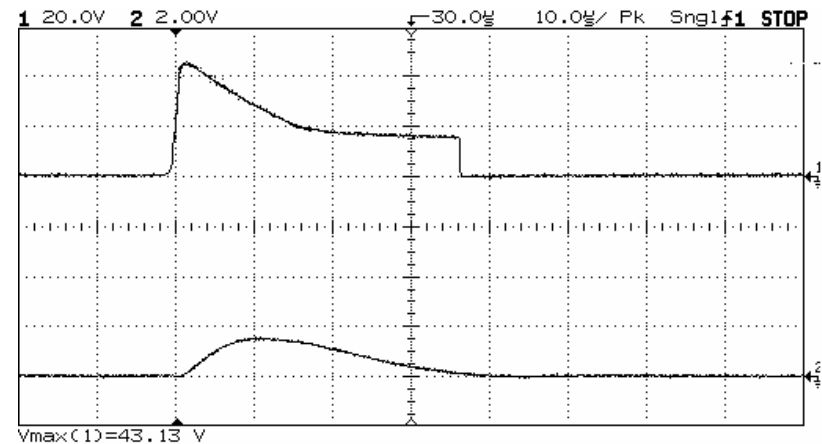
Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 750V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=415$ A



Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 850V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=450$ A



Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 800V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=440$ A



Rys. Układ ochronnika, udar standartowy 900V, U_u-1 , I_u-2
Prąd udarowy $I_u=460$ A

Zgodnie z wynikami wcześniejszych testów podzespołów prąd udarowy 460 A spowodował zniszczenie diód 1N4007. Spowodowało to ich zwarcie wewnętrzne i zmianę kształtu charakterystyki ochronnika na bardziej płaską. Świadczy to o prawidłowej reakcji układu na udar niszczący – elementy zniszczone powodują zwarcia wewnętrzne uniemożliwiając prawidłową pracę chronionego układu, ale nie dochodzi do ustania ochrony przeciwprzepięciowej.

Tabela Napięcia i prądy udarowe układu ochronnikowego

Napięcie ładowania generatora	Napięcie odpowiedzi układu	Prąd udaru	Uwagi
250	25	125	
350	28,13	195	
400	31,25	220	
450	33,13	255	
500	34,38	270	
550	36,25	300	
600	38,75	330	
650	41,25	360	
700	43,13	385	
750	46,88	415	
800	51,25	440	
850	55,63	450	
900	43,13	460	Układ zniszczony – przebite diody 1N4007

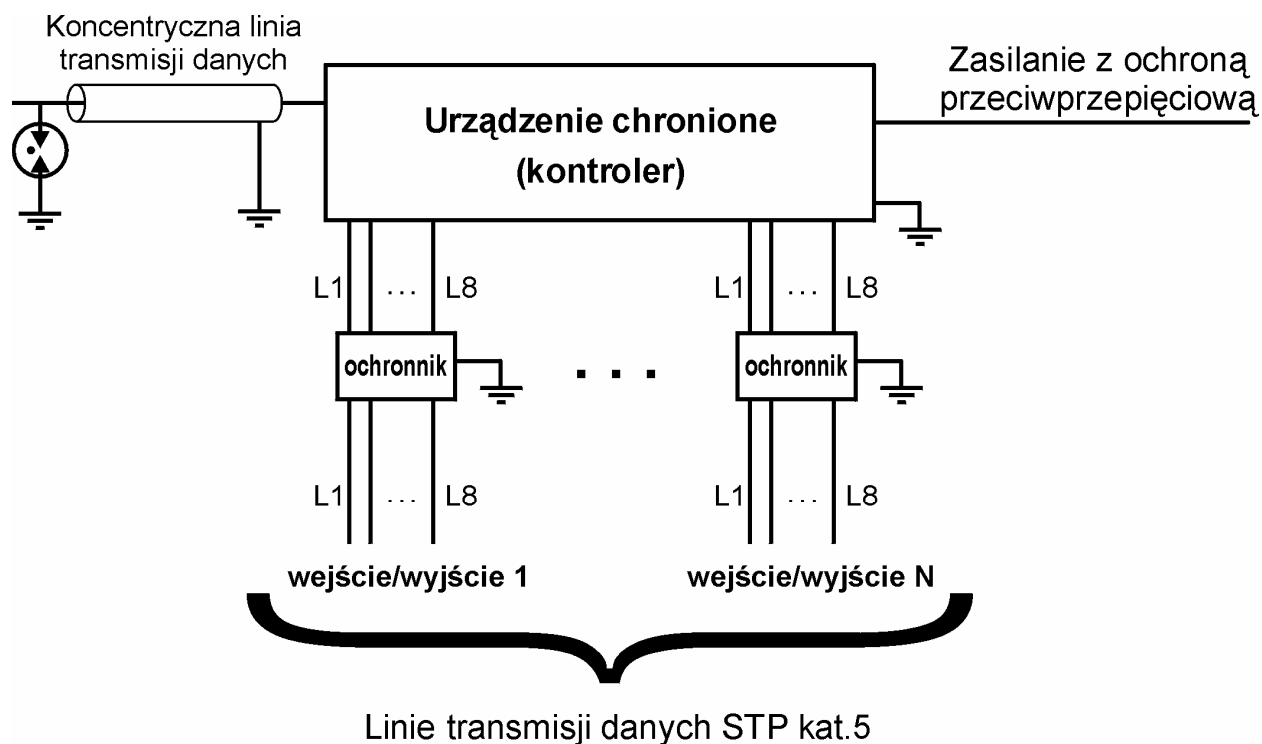
Przeprowadzone testy wykazały, że układ zapewnia ograniczenie przepięć do poziomu zgodnego z normami dla informatycznych urządzeń transmisji danych.

5.2 Testy eksploatacyjne

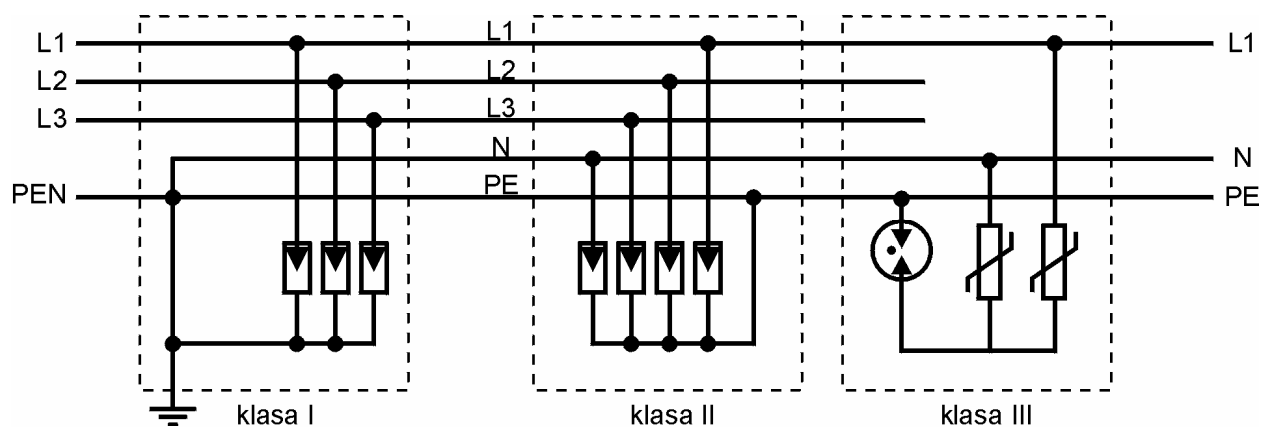
W celu przeprowadzenia testów eksploatacyjnych zostały wykonane 4 prototypowe egzemplarze ochronnika ze złączem standardu RJ-45. Zostały one zamontowane w białostockiej sieci lokalnej firmy Cybernet jako zabezpieczenie przeciwprzepięciowe najdłuższych napowietrznych odcinków sieci. Trwające od czerwca 2001 do chwili obecnej testy wykazały pełną skuteczność urządzenia. Mimo wystąpienia licznych burz, w trakcie których nastąpiło wiele awarii wywołanych przepięciami, żadna z nich nie nastąpiła na chronionym odcinku.

Kompleksowa ochrona urządzenia wymaga zastosowania zabezpieczeń na wszelkich przewodach przyłączonych do urządzenia, a w szczególności:

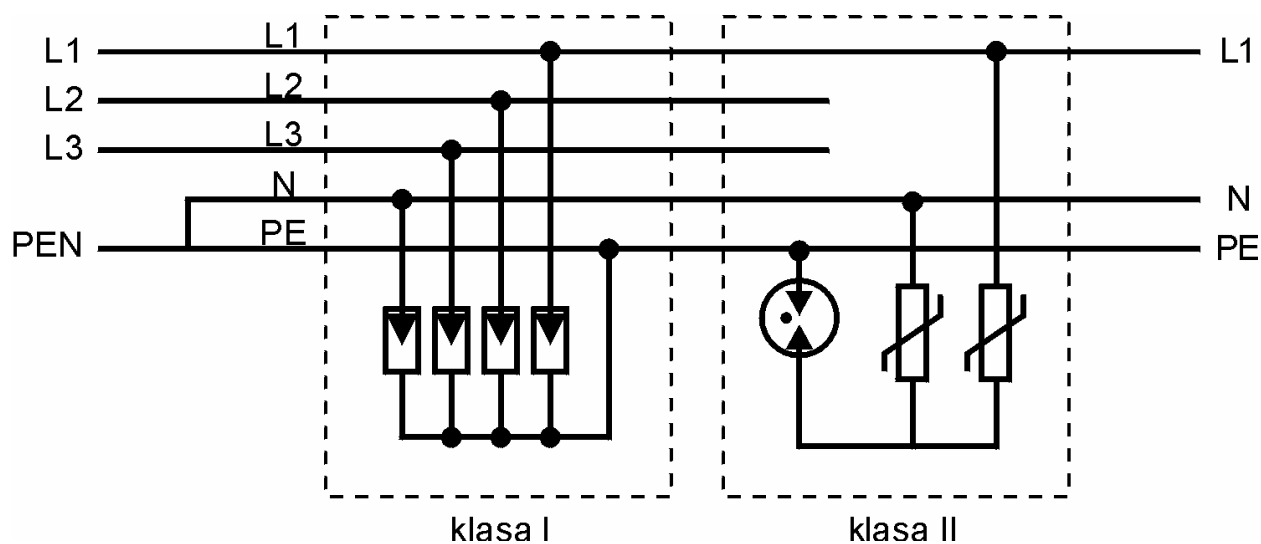
1. Wielostopniowe zabezpieczenie linii zasilania napięciem sieciowym.
2. Zabezpieczenie wieloprzewodowych linii sygnałowych zaprojektowanym ochronnikiem
3. Zabezpieczenie koncentrycznych linii sygnałowych ochronnikiem plazmowym
4. Zabezpieczenie urządzenia przed wyładowaniem elektrostatycznym ESD poprzez uziemienie obudowy



Rys. Kompleksowa ochrona punktu



Rys. Trójstopniowa ochrona zasilania punktu zasilanego z sieci TN-C-S w obiekcie posiadającym instalację piorunochronną



Rys. Dwustopniowa ochrona zasilania punktu zasilanego z sieci TN-C-S w obiekcie nie posiadającym instalacji piorunochronnej

6. Podsumowanie

Przedstawione systemy, ze względu na obejmowaną dużą powierzchnię terenu, długość linii transmisji danych liczoną w kilometrach oraz olbrzymią ilość urządzeń peryferyjnych, są bardzo wrażliwe na zakłócenia i przepięcia pochodzenia zarówno atmosferycznego jak i wytworzone przez człowieka. Stosowanie ochronników jest w takiej sytuacji obowiązkiem integratorów i instalatorów takich systemów.

Zaprojektowany ochronnik wykazał swoją skuteczność zarówno podczas testów w laboratorium, jak i w trakcie ponad rocznej eksploatacji, skutecznie chroniąc przed przepięciami rozległą sieć komputerową. Prosta konstrukcja oparta na stosunkowo tanich elementach sprawiają, że jest to atrakcyjne rozwiązanie dla wszelkich napowietrznych linii transmisji danych, nienarażonych jednak na bezpośrednie trafienie wyładowaniem piorunowym.

Bibliografia

- [1] Sowa A., „Analiza zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych”, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1990
- [2] Sowa A., „Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa”, Białystok ; Kraków : Kontekst, 1997
- [3] H. W. Denny, J. P. Rohrbaugh, „Transient Protection for Highway Traffic Control Equipment”, Georgia Tech Research Institute
- [4] Urbanek A. „Nawigacja satelitarna GPS”, Net World nr 5, 1996.
- [5] Woronow A. M., „Jak trafić do celu”, PC Kurier nr 13, 1997.
- [6] Janeczek A., GPS i GLONASS, Świat Radio nr 2, 1998.
- [7] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M., „Inżynieria ruchu”, WKŁ, Warszawa, 1997.
- [8] Hoss A., Ilg J., Hampel A., Integration potential of traffic telematics, Regensburg, 1997.
- [9] Drane C. R., Positioning systems. A unified approach, Springer - Verlag, Berlin, 1992.
- [10] LARUS - Vehicle Fleet Management System, materiały firmy TADIRAN Telematics.
- [11] System Zarządzania Taborem Pojazdów VFMS, materiały spółki z o.o. INFOTRON.
- [12] LASON. Lokalny Automatyczny System Obsługi i Nadzoru Komunikacji Miejskiej, materiały Przedsiębiorstwa Wdrażania Techniki ELTE, 1993.
- [13] IRMA. Passenger Counter for Local Public Transport, materiały firmy IRIS, Berlin, 1998.
- [14] System Monitoringu i Sterowania Ruchem Pojazdów Komunikacji Miejskiej, materiały Przedsiębiorstwa Wdrażania Techniki ELTE, Kraków, 1998.
- [15] A. Zeddam, P. Degauque, „Comparison of Predicted and Measured Currents Induced on Telecommunication Cables by a Lightning Discharge”