

Wyniki badań odporności przepięciowej lampy oświetlenia przeszkodowego typu MSL 2010

Opracował:
Mgr inż. Jarosław Wiater

Białystok 2009

1. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wyników badań odporności przepięciowej lampy oświetlenia przeszkodowego typu MSL 2010 podczas doziemnych wyładowań piorunowych. Zleceniodawcą opracowania jest firma MY SOFT.

Na podstawie bezpośrednich rozmów z przedstawicielem Zleceniodawcy ustalono, że zakres pracy będzie obejmował:

- opracowanie podstawowej analizy zagrożeń MSL 2010 występujących podczas doziemnego wyładowania piorunowego w obiekt, w którym pracuje lampa lub w bliskim sąsiedztwie tego obiektu,
- przeprowadzenie podstawowych badań laboratoryjnych umożliwiających określenie poziomów wrażliwości MSL 2010,
- wstępna ocena możliwych przyczyn awarii MSL 2010 podczas wyładowań atmosferycznych.

Analiza zagrożeń piorunowych MSL 2010 przeprowadzona zostanie na podstawie informacji zawartych w normach i zaleceniach krajowych oraz międzynarodowych określających zasady:

- ochrony odgromowej obiektów budowlanych,
- ochrony przed działaniem piorunowego impulsu elektromagnetycznego,
- doboru urządzeń ograniczających przepięcia w instalacji elektrycznej oraz w systemach przesyłu sygnałów.

W badaniach laboratoryjnych wykorzystane zostaną zalecenia zawarte w normach dotyczących:

- kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń,
- zasad badań odporności udarowej urządzeń,

oraz wieloletnie doświadczenie zawodowe autora dotyczące oceny zagrożeń piorunowych urządzeń elektronicznych.

Wykonując powyższe zadania wykorzystano:

- kompletną lampę oświetlenia przeszkodowego typu MSL 2010 dostarczoną przez zleceniodawcę,
- materiały dotyczące MSL 2010 dostarczone przez Zleceniodawcę.

2. ZAGROŻENIA PIORUNOWE LAMPY OŚWIETLENIA PRZESKODOWEGO

W przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany, w którym zainstalowano lampę lub w bliskim sąsiedztwie tego obiektu należy uwzględnić zagrożenie stwarzane przez:

- prąd piorunowy rozpryskujący się w konstrukcji wieży,
- przepięcia występujące w instalacji elektrycznej zasilającej MSL 2010,
- przepięcia występujące w obwodzie sterowania urządzeń dołączonych do MSL 2010,
- bezpośredniego oddziaływania na poszczególne elementy systemu impulsowego pola elektrycznego i magnetycznego wywołanych przez przepływ prądu piorunowego.

2.1. Przepięcia w instalacji elektrycznej zasilającej lampy MSL 2010

W analizowanym przypadku, przed oceną poprawności rozwiązań systemu ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej, należy posiadać podstawowe informacje dotyczące poziomów odporności udarowej przyłącza zasilania lampy MSL 2010.

Wymagania normy **PN-EN 61000-4-5 [11]** określają poziomy odporności przyłączy zasilania na działanie udarów napięciowo-prądowych 1,2/50 – 8/20.

Tab. 1. Poziomy udarów występujących w środowiskach o różnych klasach (zasilanie urządzenia)

Klasa instalacji	Poziom probierczy – zasilanie sieciowe	
	Rodzaj sprzężenia	
	Między przewodami linii	Między przewodami a ziemią
0	NA	NA
1	NA	0,5 kV
2	0,5 kV	1,0 kV
3	1,0 kV	2,0 kV
4	2,0 kV	4,0 kV
5	2) ²⁾	2) ²⁾
X		

NA – nie stosowane

2) – zależy od klasy lokalnej systemu zasilania sieciowego

Podczas badań przyjęto poziomy znacznie przekraczające zalecane w normie wartości (ze względu na miejsce pracy lampy MSL 2010) :

- linia – linia **6 kV** (odpowiada badaniu odporności pomiędzy L i N),
- linia – ziemia **6 kV** (odpowiada badaniu odporności pomiędzy L/N – PE).

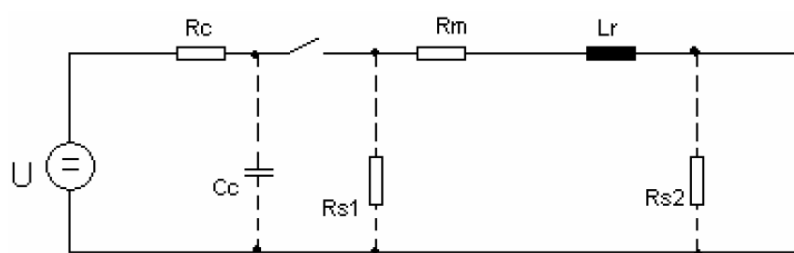
Pomimo stosowania systemu ograniczania przepięć w zastosowanym układzie trudno jednoznacznie określić poziom ograniczania przepięć pomiędzy przewodami L i N. Można jedynie przyjąć, że w przypadku zagrożeń stwarzanych przez skoki potencjałów wywołane przez przepływ prądu piorunowego poziom ograniczonych przepięć nie powinien przekroczyć wartości 1250 V. Po mimo tego badania przeprowadzono dla poziomu 6kV.

Badania przeprowadzono zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 61000-4-5 [11]. Bezpośrednim celem badań laboratoryjnych było wyznaczenie reakcji badanej lampy MSL 2010 w określonych warunkach roboczych, powodowanej przez udary napięciowe będące skutkiem wyładowań atmosferycznych przy określonych poziomach zagrożenia.

W badaniach wykorzystano generator napięciowo-prądowy UCS 500-M, który wytwarza:

- napięcia udarowe o kształcie $1,2/50 \mu s$ z możliwością regulacji wartości szczytowej w zakresie od 250 V do 6,6 kV przy otwartych zaciskach wyjściowych,
- prądy udarowe o kształcie $8/20 \mu s$ z możliwością regulacji wartości szczytowej w zakresie od 125 A do 3,3 kA przy zwartych zaciskach wyjściowych.

Do obserwacji i rejestracji wykorzystano wysokonapięciowe sondy firmy Tektronix typu P6015A o płaskiej charakterystyce przenoszenia w zakresie od 10 Hz do 30 MHz (pasmo 3dB) przy napięciu 6 kV oraz oscyloskopy cyfrowe Tektronix DPO 7254 i GDS-800. Wszystkie oscyloskopy miały możliwość rejestracji otrzymanych przebiegów w formacie cyfrowym i w formie graficznej bezpośrednio na dyskietkę lub przez złącze LAN, RS232 do komputera. Uproszczony schemat generatora wykorzystywanego do badań przedstawia rysunek 2.



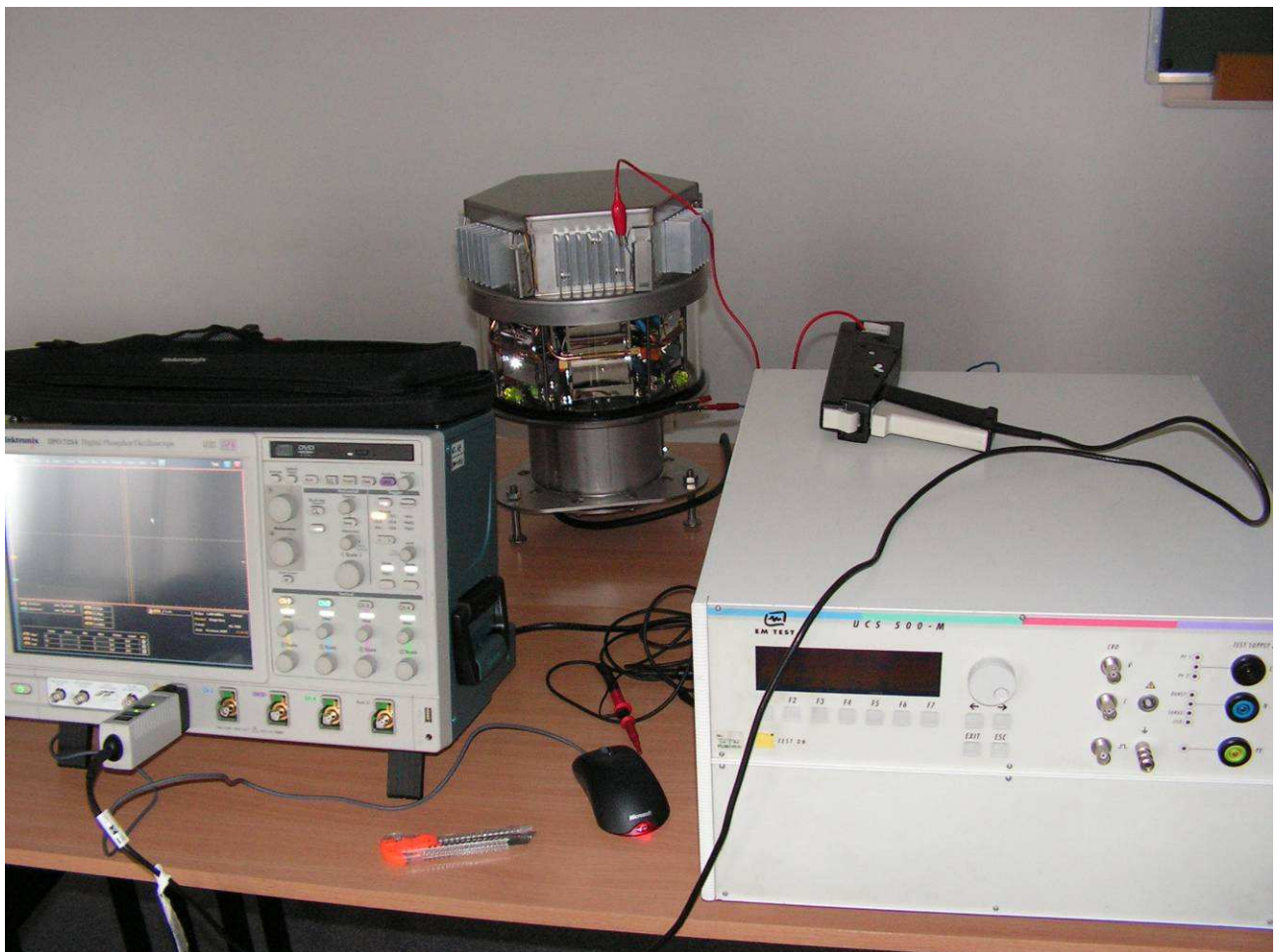
Rys. 2. Uproszczony schemat generatora wykorzystywanego podczas badań

gdzie:

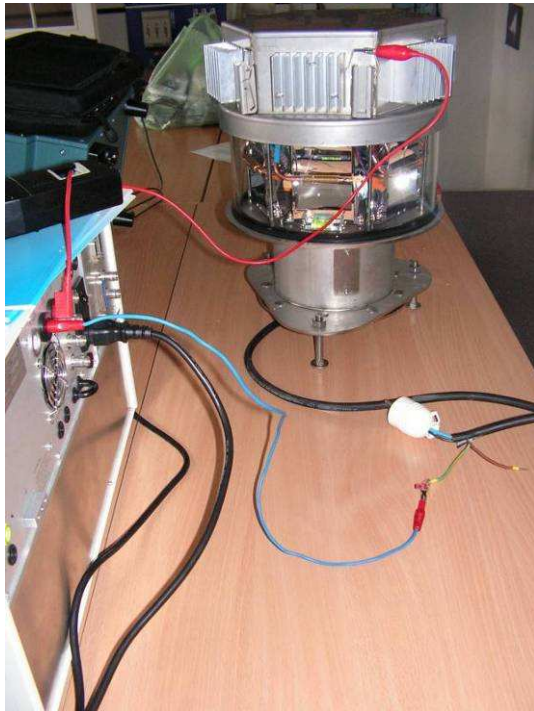
- U – źródło wysokiego napięcia,
- R_c – rezystor ładujący,
- C_c – kondensator gromadzący energię,
- R_s – rezystor kształtujący czas trwania impulsu,
- R_m – rezystor dopasowujący impedancję,
- L_r – dławik kształtujący czas narastania.

W trakcie badań uderzeniowo-prądowy z wyjścia generatora doprowadzono:

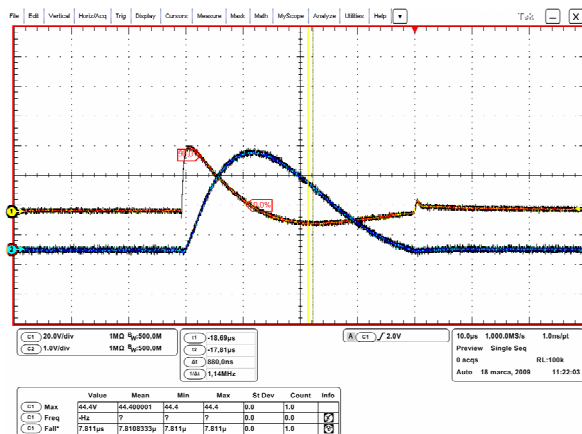
- między górną metalową pokrywę lampy MSL 2010 a dolną podstawę mocującą przy wyłączonym urządzeniu dla napięć od 1kV do 6kV,
- między przewód fazowy i neutralny (L-N) przy wyłączonym urządzeniu po uprzednim odłączeniu SPD stosowanych na zewnątrz lampy MSL 2010 dla napięć od 1kV do 6kV,
- między przewód fazowy i ochronny (L-PE) przy wyłączonym urządzeniu po uprzednim odłączeniu SPD stosowanych na zewnątrz lampy MSL 2010 dla napięć od 1kV do 6kV,
- między przewód neutralny i ochronny (N-PE) przy wyłączonym urządzeniu po uprzednim odłączeniu SPD stosowanych na zewnątrz lampy MSL 2010 dla napięć od 1kV do 6kV,
- między przewód sterujący i ochronny (S-PE) przy wyłączonym urządzeniu po uprzednim odłączeniu SPD stosowanych na zewnątrz lampy MSL 2010 dla napięć od 1kV do 6kV,
- między przewód sterujący i neutralny (S-N) przy wyłączonym urządzeniu po uprzednim odłączeniu SPD stosowanych na zewnątrz lampy MSL 2010 dla napięć od 1kV do 6kV.



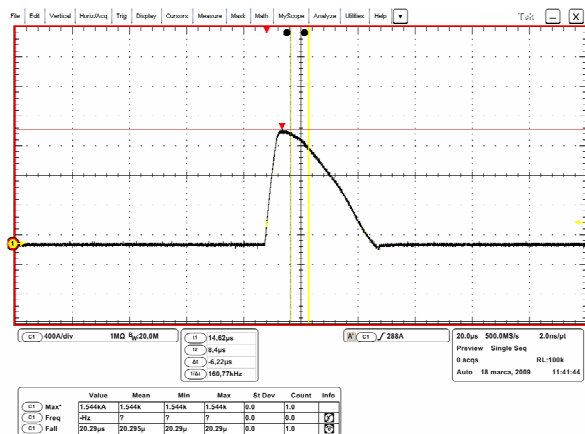
Rys.3a. Stanowisko badawcze (generator napięciowo-prądowy UCS 500-M, lampa MSL 2010, sprzęt pomiarowy)



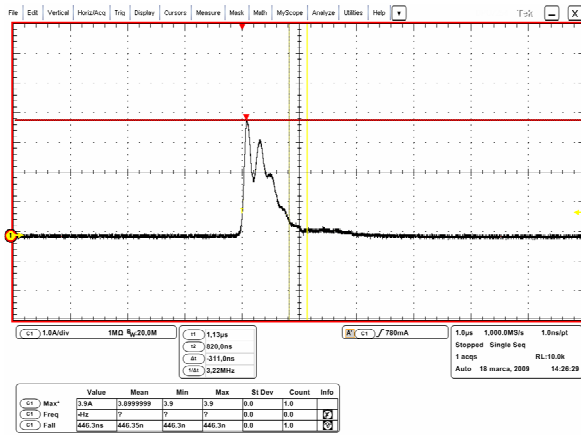
Rys.3b. Stanowisko badawcze



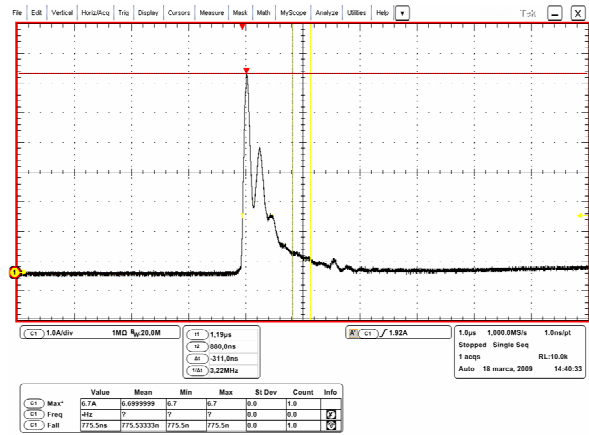
Rys. 4. Przebieg napięcia i prądu na wyjściu generatora ($U=2kV$, $I=1,1kA$) podłączonego pomiędzy górną metalową pokrywą lampy i dolną podstawą mocującą przy wyłączonym zasilaniu lampy.



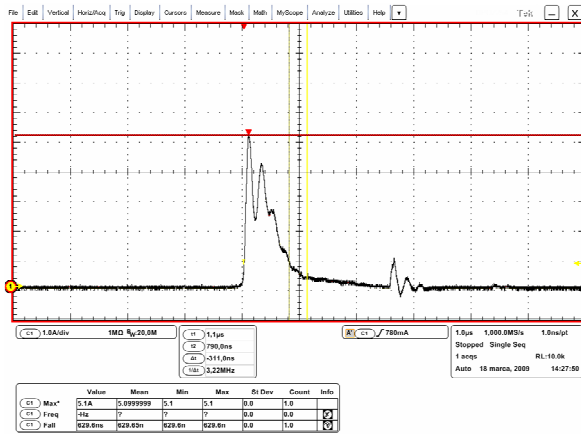
Rys. 6. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($U=4kV$, $I=1,4kA$) podłączonego pomiędzy górnym aluminiowym radiatorem lampy i dolną podstawą mocującą przy wyłączonym zasilaniu lampy.



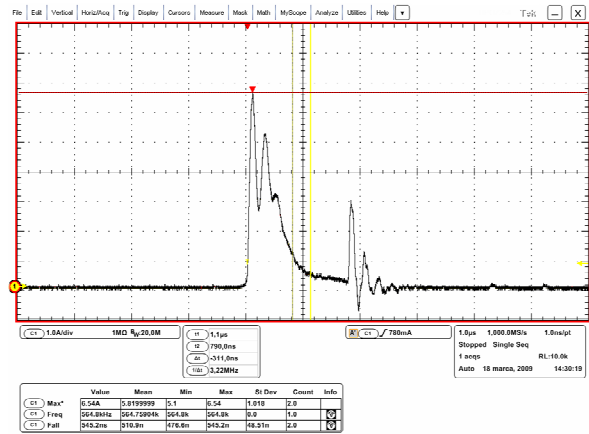
Rys. 8. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($U=4kV$, $I=20A$) podłączonego pomiędzy przewód ochronny i sterującym przy wyłączonym zasilaniu lampy.



Rys. 7. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($U=6kV$, $I=20A$) podłączonego pomiędzy przewód neutralny i ochronny przy wyłączonym zasilaniu lampy.



Rys. 5. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($U=5kV$, $I=20A$) podłączonego pomiędzy przewód ochronny i sterujący przy wyłączonym zasilaniu lampy.

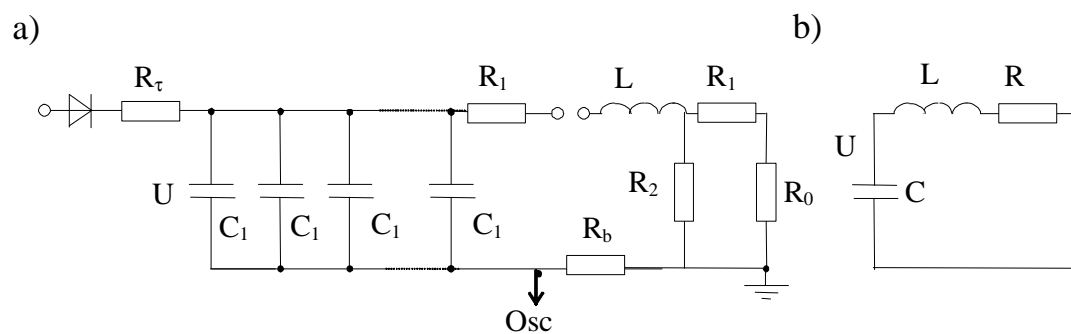


Rys. 9. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($U=6kV$, $I=20A$) podłączonego pomiędzy przewód ochronny i sterujący przy wyłączonym zasilaniu lampy.

Wszystkie badania przy pracującej lampie przeprowadzono z wykorzystaniem generatora napięciowo-prądowego zamieszczonego na rysunku 10.

W trakcie badań przy włączonym zasilaniu lampy MSL 2010 udar napięciowo-prądowy z wyjścia generatora doprowadzono:

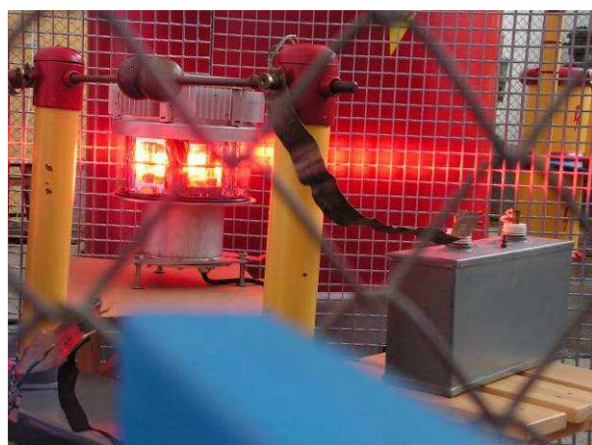
- między górną metalową pokrywę lampy MSL 2010 a dolną podstawę mocującą (podłączoną do uziemienia laboratorium),
- między przewód fazowy i ochronny (L-PE),
- między przewód neutralny i ochronny (N-PE),
- między przewód sterujący i ochronny (S-PE).



Rys. 10. Generator udarów napięciowo-prądowych: a) układ; b) obwód obliczeniowy; c) widok stanowiska badawczego

gdzie:

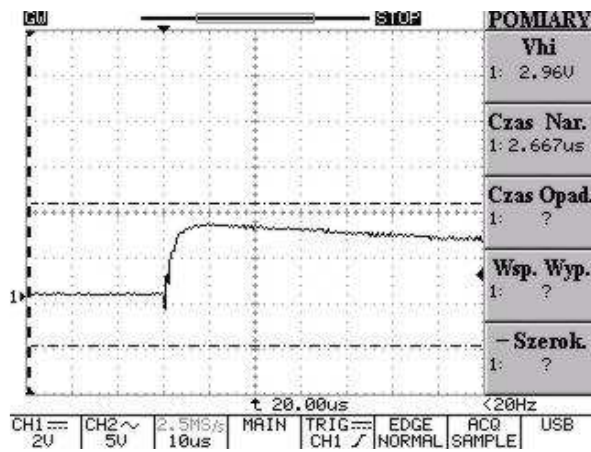
- C_1 = 84,8 μ F
- R_b = 0,92 m Ω
- R_2 = 5 k Ω
- L, R_1 – zmienne wartości w zależne od żądanego kształtu udaru
- R_0 – badany obiekt



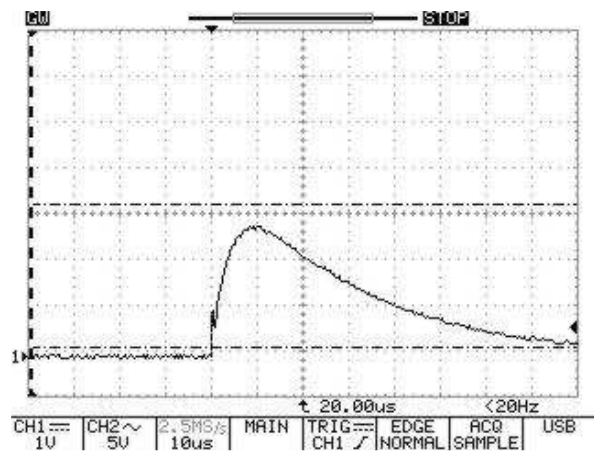
Rys. 11a. Włączona lampa podczas badań



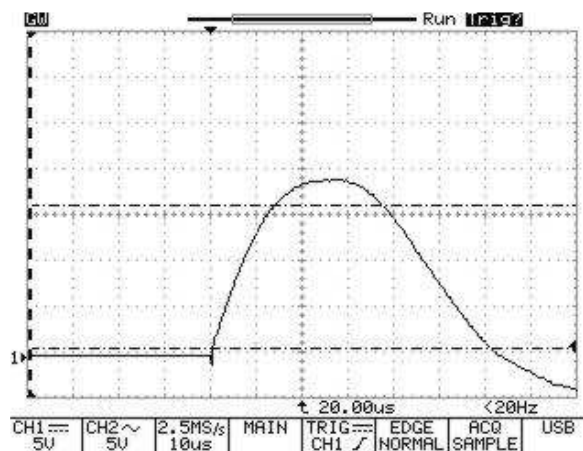
Rys. 11b. Włączona lampa podczas badań



Rys. 12. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($10/350\mu\text{s}$, $I=5\text{kA}$) podłączonego pomiędzy górnym aluminiowym radiatorem lampy i przewodem ochronnym przy włączonym zasilaniu lampy.



Rys. 13. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($10/35\mu\text{s}$, $I=3,5\text{kA}$) podłączonego pomiędzy przewód fazowy i ochronny przy włączonym zasilaniu lampy.



Rys. 14. Przebieg prądu na wyjściu generatora ($20/40\mu\text{s}$, $I=20\text{kA}$) podłączonego pomiędzy przewód neutralny i ochronny przy włączonym zasilaniu lampy.

W trakcie prowadzonych badań:

1. Nie stwierdzono zaburzeń w pracy lampy MSL 2010.
2. Stwierdzono iskrzenie na połączeniu górnej pokrywy lampy MSL 2010 i konstrukcji wsporczej ją mocującej.

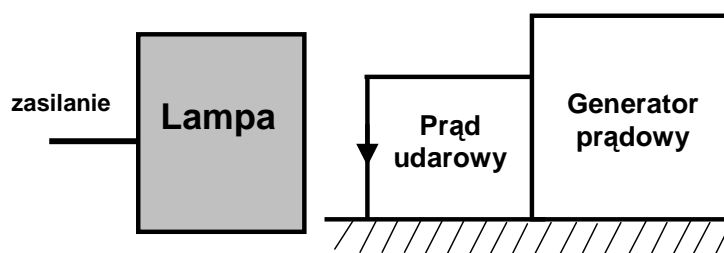
Wnioski dotyczące wymagań, jakie należy spełnić w celu zapewnienia ochrony przyłączy zasilania lampy i zapewnienia jej poprawnej pracy.

1. W analizowanym obiekcie w projektowanej instalacji elektrycznej zasilającej lampę powinien być zastosowany dwu- lub trójstopniowy system ograniczający przepięcia ze względu na istniejące zagrożenie, potrzebę zapewnienia niezawodnego jej działania oraz wymagania normy PN-EN 61000-4-5 [11] określające poziomy odporności przyłączy zasilania na działanie udarów napięciowo-prądowych 1,2/50 – 8/20, dla których prowadzono niniejsze badania.
2. W przypadku braku szczegółowej analizy zagrożenia piorunowego instalacji elektrycznej należy zastosować iskiernikowe urządzenia ograniczające przepięcia typu 1 chroniące przed prądami impulsowymi o wartościach szczytowych nie mniejszych od 12,5 kA na fazę.

2.3. Zagrożenie stwarzane przez napięcia i prądy udarowe w sąsiedztwie linii sterującej

Źródło zakłóceń – impulsowe pole magnetyczne.

W przypadku badań oddziaływania pola magnetycznego, włączona lampa została umieszczana obok przewodu z prądem udarowym wytwarzanym przez typowy generator prądowy (rys. 17).



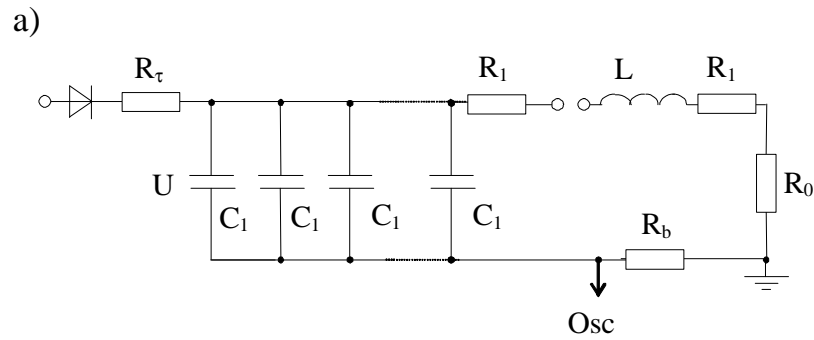
Rys. 17. Badania oddziaływania impulsowego pola magnetycznego na lampę i linię sygnałową

Powyższe badania laboratoryjne przeprowadzono przy wykorzystaniu generatora prądowego o zmiennych parametrach (rys. 18):

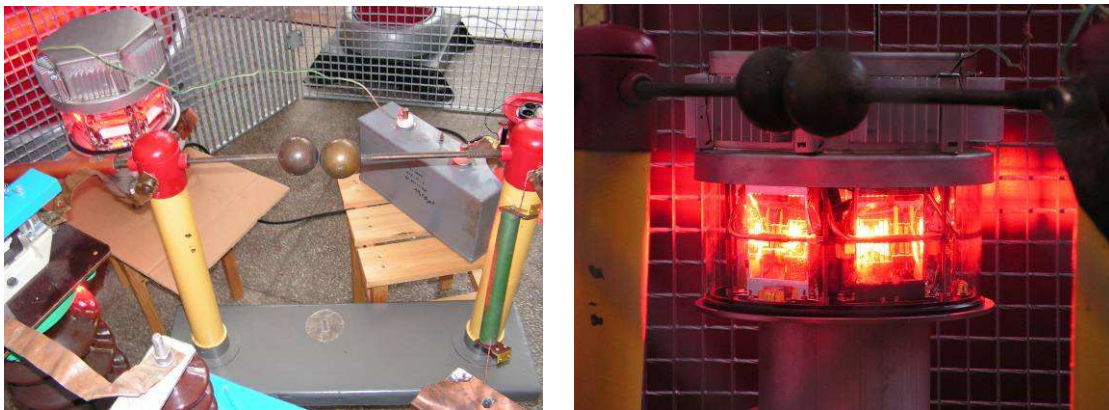
T_1 - czas czoła,

T_2 - czas do półszczytu,

I_m - wartość maksymalna prądu udarowego.



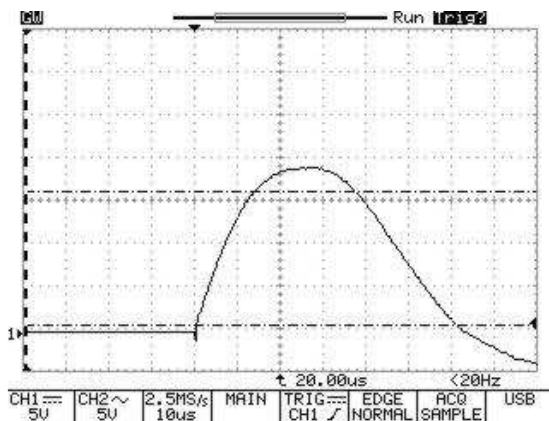
b)



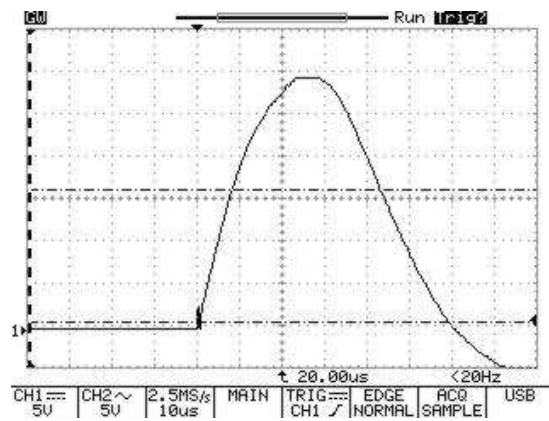
Rys. 18. Generator uderów prądowych: a) układ; b) widok stanowiska badawczego

gdzie:

- C_1 = 84,8 μ F
- R_b = 0,92m Ω
- L, R_1 – zmienne wartości w zależne od żądanego kształtu uderu prądowego
- R_0 – badany obiekt



Rys. 19. Prąd na wyjściu generatora (20/40 μ s, I=22kA)



Rys. 20. Prąd na wyjściu generatora (20/40 μ s, I=34kA)

Charakterystyka otrzymanych wyników:

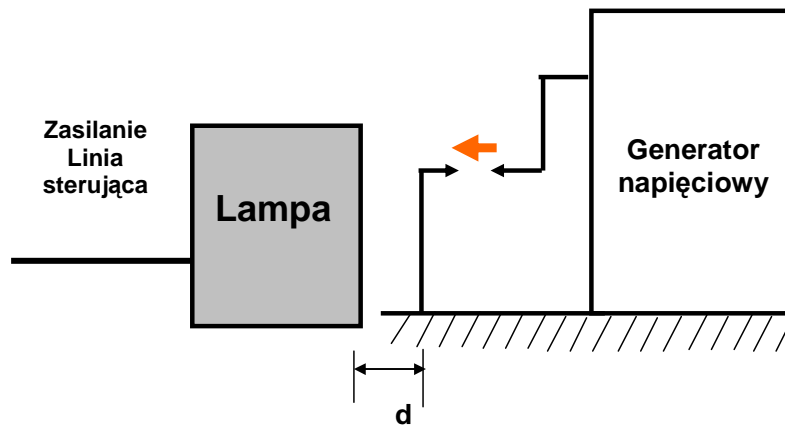
1. Pomimo umieszczenia lampy MSL 2010 w bliskim sąsiedztwie przewodu z prądami udarowymi o różnych wartościach szczytowych (dochodzących do 34 kA) i różnych kształtach nie stwierdzono zakłóceń w pracy lampy.

Źródło zakłóceń - wysokonapięciowy, wielostopniowy generator napięciowy.

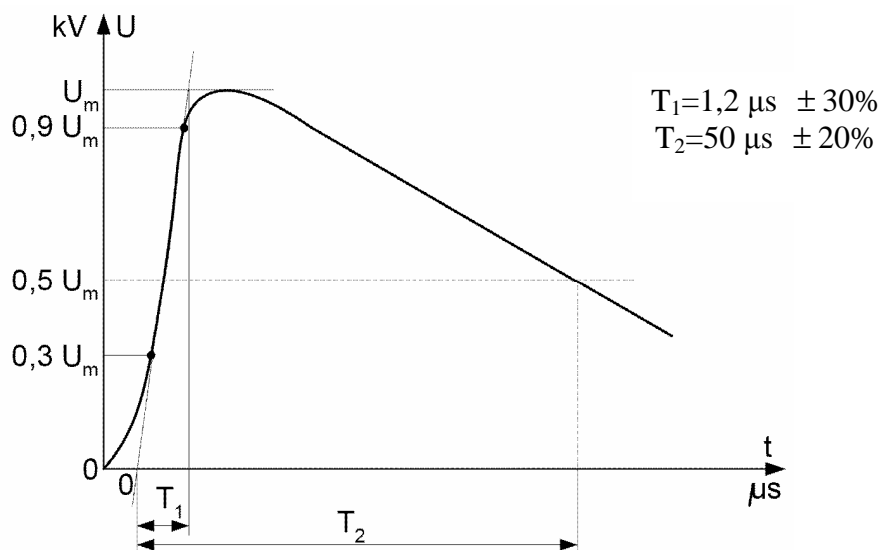
Lampę umieszczono w odległości 40cm od 4-stopniowego wysokonapięciowego generatora napięciowego pracującego w układzie Marksa. Wytwarzano udary napięciowe o wartościach od 100 kV do 220 kV (1,2/50 μ s), które doprowadzano do iskiernika ostrzowego (rys. 21-23).

Obserwowano zachowanie się pracującej lampy MSL 2010 zakłócającej przez:

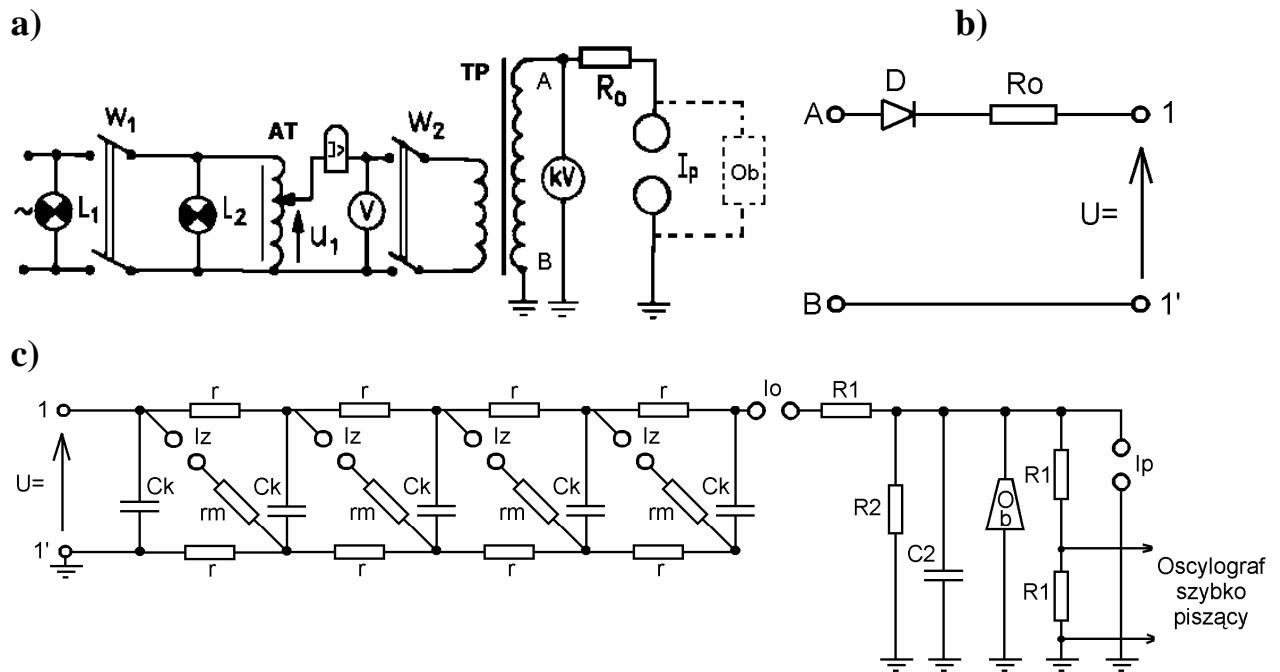
- napięcia udarowe – bez przeskoku na iskierniku,
- napięcia i prądy udarowe – doprowadzane napięcie wywoływało przeskok na iskierniku,
- bezpośrednie doprowadzenie udaru napięciowego do metalowej konstrukcji lampy.



Rys. 21. Badania oddziaływania impulsowego pola magnetycznego na lampę i linię sygnałową



Rys. 22. Znormalizowany udar napięciowy.



Rys.23. Schematy 4-stopniowego generatora w układzie Marks'a

a) zasilacz WN przemiennego,

- AT – autotranslator,
- TP – transformator próbierczy WN,
- R_o – opornik ograniczający,
- kV – kilowoltomierz elektrostatyczny,
- Ob – obiekt badany,
- I_p – iskiernik kulowy pomiarowy,

b) prostownik WN z rezystorem ograniczającym R_o do zasilania generatora z rys. 7c,
 c) schemat generatora WN udarowego w układzie 4-stopniowym (układ Marksa).

- C_k – pojemności główne poszczególnych stopni generatora,
- r – oporniki ładujące międzystopniowe,
- I_z – iskierniki zapłonowe,
- r_m – rezystancje tłumiące,
- I_o – iskiernik zamykający,
- R_1 i R_2 – oporniki kształtujące udar napięciowy,
- C_2 – kondensator kształtujący głównie czoło udaru,
- Ob – obiekt badany,
- I_p – iskiernik pomiarowy.



Rys. 24. Stanowisko badawcze

W trakcie prowadzonych badań nie stwierdzono zaburzeń w pracy lampy MSL 2010.



Rys. 25. Stanowisko probiercze napięcia zmiennego TP350.

Źródło zakłóceń – układ probierczy napięcia zmiennego TP350.

Lampę umieszczono na uziemionej powierzchni metalowej w odległości 1,5m od transformatora. Po podaniu napięcia na układ probierczy TP350 (rys. 25) uzyskano na wyjściu wysokie napięcie, które doprowadzono do elektrody ostrzowej umiejscowionej nad lampą na wysokości 70cm. Po przekroczeniu napięcia 110kV uzyskano przeskok z elektrody ostrzowej do obudowy lampy MSL 2010. Powstałe w ten sposób zwarcie utrzymywano przez okres 7 sekund. Sztucznie podtrzymywano je uzyskując prąd zwarcia 65mA przy napięciu zwarcia równym 70kV.



Rys. 26. Pracująca lampa podczas prób.

**W trakcie prowadzonych badań nie stwierdzono zaburzeń
w pracy lampy MSL 2010.**

Podsumowanie badań przeprowadzonych w punktach 2.1, 2.2 i 2.3.

1. Część badań poprowadzono wykorzystując źródła zaburzeń zalecane do badań odporności udarowej zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 61000-4-5 (dotyczy to szczególnie generatora napięciowo-prądowego 1,2/50-8/20).
2. Udary wytwarzane przez te źródła charakteryzował stosunkowo krótki czas trwania i w niektórych przypadkach duże wartości szczytowe od kilku do kilkuset kilowoltów. Ich oddziaływanie nie powodowało błędnej pracy lampy oświetlenia przeszkodowego typu MSL 2010.
3. Nie obserwowano przerw w działaniu lampy MSL 2010.
4. Nie obserwowano żadnych widocznych efektów w związku z przepływem prądów udarowych poprzez konstrukcję lampy MSL 2010.
5. Stwierdzono iskrzenie na połączeniu górnej pokrywy lampy MSL 2010 i konstrukcji wsporczej ją mocującej podczas przepływu prądów udarowych.
6. Wszystkie badania przeprowadzono na jednym egzemplarzu lampy MSL 2010, który po wszystkich badaniach był w pełni sprawny.

7. Należy zauważyć, że w czasie doziemnego wyładowania piorunowego mogą wystąpić zakłócenia o znacznie dłuższym czasie trwania, w porównaniu z udarami wytwarzanymi w czasie badań. Są one wywołane przez prądy głównych wyładowań doziemnych, które mogą mieć czas trwania kilkaset mikrosekund – kilka milisekund. Słuszne jest stosowanie SPD typu 1 w instalacji elektrycznej zasilającej lampę.

3. PODSUMOWANIE

- Obserwacje wykazały, że dochodzące do przyłączy sygnałowych, udary o dużych wartościach amplitud oraz stosunkowo krótkich czasie trwania, których źródłem był wielostopniowy generator wysokonapięciowy lub generator 1,2/50-8/20 μ s nie powodują błędnego działania lampy MSL 2010 ani jej uszkodzenia.
- W przypadku braku analizy zagrożenia piorunowego instalacji elektrycznej należy zastosować iskiernikowe urządzenia ograniczające przepięcia typu 1 chroniące przed prądami impulsowymi o wartościach szczytowych nie mniejszych od 12,5 kA / moduł.
- Należy zauważyć, że w czasie doziemnego wyładowania piorunowego mogą wystąpić zakłócenia o znacznie dłuższym czasie trwania w porównaniu z udarami 1,2/50-8/20 μ s testującymi odporność lampy MSL 2010, co uzasadnia konieczność dodatkowego stosowania iskiernikowych SPD typu 1.

4. LITERATURA

1. **PN-86/E-05003/01:** *Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.*
2. **PN-89/E-05003/03** *Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Ochrona obostrzona*
3. **PN-IEC 61024-1:2001,** *Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne.*
4. **PN-IEC 61024-1-1:2001,** *Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych.*
5. **PN-IEC 61024-1-2:2002,** *Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Przewodnik B – Projektowanie, montaż, konserwacja i sprawdzanie urządzeń piorunochronnych.*
6. **PN-IEC 61312-1:2001,** *Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogólne.*
7. **PN-IEC/TS 61312-2:2002,** *Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP). Część 2. Ekranowanie obiektów, połączenia wewnątrz obiektów i uziemienia.*
8. **PN-IEC/TS 61312-3:2003,** *Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Część 3. Wymagania urządzeń do ograniczania przepięć (SPD).*
9. **PN-IEC 60364-4-443:1999,** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przez przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.*
10. **PN-EN 61643-21:2002(U),** *Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 21: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych. Wymagania eksploatacyjne i metody badań*
11. **PN-EN 61000-4-5:1998,** *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na udary*
12. **PN-EN 61000-4-5: 1998/A1: 2002(U)** *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Metody badań i pomiarów - Badanie odporności na udary (Zmiana A1)*

Załącznik 1.

Podstawowe informacje o urządzeniach pomiarowych stosowanych w badaniach.

1. Oscyloskopy cyfrowe Tektronix DPO 7254 i GDS-800.
2. Generator UCS 500-M
3. Wysokonapięciowy generator prądowy o $I_{max}=55kA$ i zmiennych parametrach T_1 i T_2 .
4. Wysokonapięciowy generator pracujący w układzie Marksa (4-stopniowy).
5. Wysokonapięciowe sondy firmy Tektronix typu P6015A o płaskiej charakterystyce przenoszenia w zakresie od 10 Hz do 30 MHz (pasmo 3dB)
6. Autotransformator $I_n=10A$, $U_{wyj}=0...250V$.
7. Kamera wideo do zdjęć poklatkowych.
8. Rezystory laboratoryjne.
9. Kondensatory sprzęgające generatory udarowe i sieć zasilającą.
10. Inny drobny sprzęt pomiarowy.