Przyczyny uszkodzeń kondensatorów X2 i Y2

Polska wersja materiału Bajog electronic z uwagami redakcyjnymi.

Materiał archiwalny. Opisane przypadki, ceny, prognozy i odniesienia do norm dotyczą czasu powstania źródła. Nie stanowią aktualnej specyfikacji wszystkich produktów.

Skąd biorą się uszkodzenia?

Rosnąca liczba uszkodzeń kondensatorów X2 i Y2 nie musi wynikać wyłącznie z błędów produkcyjnych ani z wnikania wilgoci. Autor podkreśla, że nawet przy wysokiej jakości wykonania urządzenia działające początkowo poprawnie mogą po tygodniach lub miesiącach utracić część funkcji albo całkowicie przestać pracować. Problem dotyczy między innymi producentów inteligentnych liczników.

W artykule opisano następujący mechanizm:

1. Coraz częściej obserwowane w sieci stromości napięcia 1-10 kV/µs powodują duże prądy w kondensatorach, innych elementach i ścieżkach płytek drukowanych.

2. Duży prąd może wypalać połączenie wyprowadzenia z warstwą kontaktową (oznaczenie A na ilustracji) oraz połączenie warstw zwiniętej folii z metalizacją kontaktową (B).

3. Wzrasta rezystancja kontaktowa, co istotnie zmienia zastępczą rezystancję szeregową ESR.

4. Pierwsze przebicia dielektryka ujawniają się jako okrągłe otwory w folii. Jest to początek procesu niszczenia.

5. Duże impulsy prądowe związane z dU/dt podnoszą temperaturę kondensatora.

6. Cykle nagrzewania i chłodzenia zmieniają strukturę zalewy epoksydowej i sprzyjają uwalnianiu składników utwardzacza. Według przywołanej analizy mikroskopowej żywica staje się porowata.

7. Do wnętrza może przedostawać się wilgoć.

8. Przy dużych i często powtarzających się impulsach dU/dt silny prąd oraz wilgoć sprzyjają odparowywaniu metalizacji. Autor przywołuje prądy do 11 000 A.

9. Kondensator może pęcznieć, jeśli gazy nie mogą wydostać się przez żywicę. Powstała droga ujścia może następnie ułatwiać wnikanie wilgoci i przyspieszać uszkodzenie.

10. Metalizacja stopniowo zanika.

Stromość napięcia i prąd kondensatora

Według danych przytoczonych przez autora typowy kondensator X2 o pojemności 2,2 µF wytrzymuje dU/dt rzędu 150-200 V/µs, przy czym 200 V/µs oceniono w artykule jako dobry wynik. Obciążenie występujące w sieci zależy od miejsca i właściwości instalacji; autor podaje 1-10 kV/µs i zaznacza, że 3-5 kV/µs nie należało do rzadkości w jego pomiarach. Pokazany przykład ma 5,32 kV/µs.

Źródłami takich impulsów mogą być styczniki, uszkodzone łączniki, urządzenia indukcyjne, spawarki, aparatura rentgenowska, zwarcia, przemienniki częstotliwości, falowniki fotowoltaiczne, sterowniki tyrystorowe, zasilacze impulsowe i regulatory fazowe.

Ładunek kondensatora opisuje zależność Q = C × U. Dla stałej pojemności: dQ/dt = C × dU/dt. Ponieważ dQ/dt = I, otrzymujemy I = C × dU/dt. Duża stromość napięcia oznacza zatem duży chwilowy prąd kondensatora.

Przykłady dla C = 2,2 µF: przy 5 kV/µs prąd obliczeniowy wynosi 11 000 A; przy 10 kV/µs 22 000 A; przy 5 kV/ms 11 A; przy 10 kV/ms 22 A; przy 200 V/µs 440 A.

Uwaga do obliczeń: są to wartości wynikające z idealnej zależności pojemnościowej. Rzeczywisty impuls zależy także od impedancji obwodu, indukcyjności i rezystancji pasożytniczych oraz czasu trwania wymuszenia.

W źródle zamieszczono również zestawienie nazwane energią, lecz wyrażone w jednostkach mocy: 5 kV/µs - 13,75 MW; 10 kV/µs - 55 MW; 5 kV/ms - 13 kW; 10 kV/ms - 55 kW; 200 V/µs - 22 kW; 200 V/ms - 22 W. Zachowano liczby autora. Nie można wyznaczyć tych mocy ani energii wyłącznie z pojemności i dU/dt bez dodatkowych danych o napięciu i przebiegu impulsu.

Zakres częstotliwości i przykłady źródeł

Autor wiąże opisane zjawiska przede wszystkim z dolnym pasmem częstotliwości, około 2-200 kHz. Podaje orientacyjne częstotliwości przełączania: przemienniki częstotliwości 5-20 kHz; zasilacze UPS 15-25 kHz; zasilacze impulsowe 20-300 kHz; elektroniczne stateczniki lamp 20-200 kHz; urządzenia indukcyjne i spawalnicze 150-200 kHz.

Wskazuje również pomiary napięć zakłócających do 160 dBµV w sieci domowej 250 V AC, w zakresie 1-500 kHz. W źródle odpowiada to dodatkowej wartości szczytowej około 141 V, mającej nasilać proces uszkadzania.

Uwaga do jednostek: dla poziomu napięcia L = 20 log10(U/1 µV), 160 dBµV odpowiada 100 V. Wartość około 141 V wynika dopiero z przeliczenia wartości skutecznej sinusoidy na szczytową.

Wnioski autora

Autor sprzeciwia się przekonaniu, że krótkie impulsy dU/dt w zakresie mikrosekund nie mogą mieć skutków niszczących. Ocenia, że parametry badań EN 61000-4-4 i EN 61000-4-5, wywodzące się z wcześniejszych warunków pracy sieci, wymagają dostosowania. Jest to stanowisko przedstawione w historycznym materiale, nie stwierdzenie aktualnego stanu normalizacji.

Miniaturyzacja kondensatorów prowadziła, według artykułu, do zmniejszania grubości folii i metalizacji z około 7 do 3 µm. Dobór ferrytów bywał podporządkowany wymiarom i cenie zamiast właściwościom w wymaganym paśmie. Autor wskazuje, że niewłaściwy materiał rdzenia może nasycać się już przy niewielkich prądach zakłóceń asymetrycznych, co ogranicza działanie filtra i może zwiększać obciążenie sieci.

Proponowane rozwiązania

1. Rozszerzenie omawianych przez autora norm EN 55011-55022 z zakresu 150 kHz-30 MHz na 1 kHz-30 MHz i obniżenie postulowanych limitów w paśmie 1-150 kHz z 80 do 60 dBµV.

2. Dostosowanie badań surge i burst do rzeczywistych obciążeń sieci.

3. Klasyfikacja elementów pod kątem obciążeń i zwiększenie ich odporności.

4. Dobór materiałów ferrytowych zdolnych do pracy przy wysokoenergetycznych stanach przejściowych oraz kondensatorów odpornych na duże prądy asymetryczne i stromości do 10 kV/µs. Istotne są stabilność ESR i unikanie niekorzystnego oddziaływania elementu na obwód.

Bajog deklaruje, że takie rozwiązania zastosowano w filtrach firmy, z których część pracowała w chwili publikacji przez 22 lata bez przerwy i bez pogorszenia parametrów. Wymieniono zastosowania wojskowe, kabiny pomiarowe, laboratoria wysokiego napięcia, instalacje średniego napięcia do 35 kV, energetykę wiatrową, wodną, biogazową i kogenerację oraz filtry dU/dt w windach.

W kabinach pomiarowych utrzymanie parametrów filtracji jest niezbędne do prawidłowych pomiarów EMC i wyładowań niezupełnych. W windach ze starszymi silnikami spadek skuteczności filtra mógłby prowadzić do przebić izolacji i zwarć. Autor podaje redukcję stromości wyjściowej falownika z 10 kV/µs do maksymalnie 500 V/µs oraz eksploatację filtrów w windach Schindler od lat 1990-1993. Dane te odnoszą się do przykładów historycznych producenta.

Źródło i kontakt

Bajog electronic GmbH. Dokument źródłowy: DT_02_X2_Zersto_CC_88rung_englisch.pdf.

Polskie opracowanie: Maschek Polska. Pytania o dobór rozwiązań: s.stepa@maschekpolska.pl, tel. +48 663 365 904. www.maschekpolska.pl

Ilustracje i pomiary źródłowe

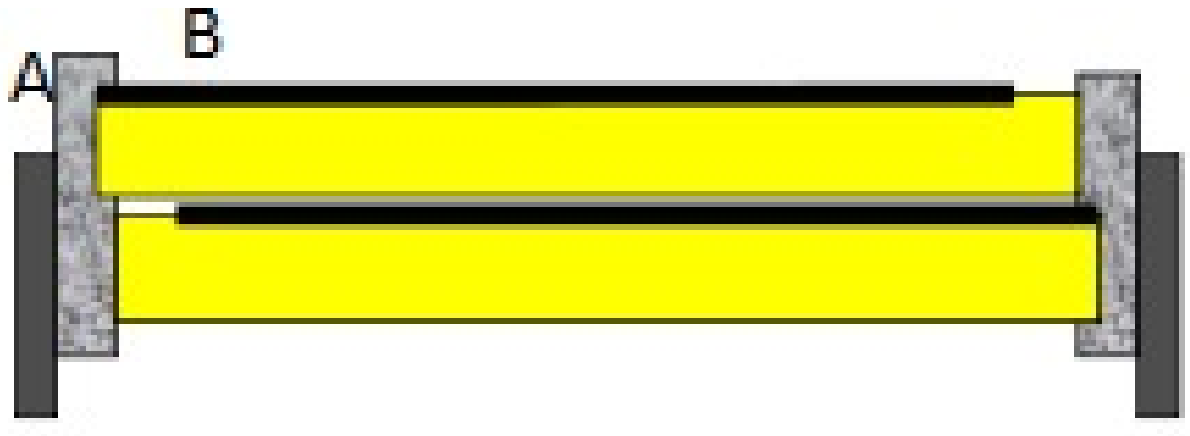
Ilustracje pochodzą z materiału producenta. Zachowano oryginalne ślady pomiarowe i oznaczenia przyrządów; polskie objaśnienia znajdują się pod ilustracjami.



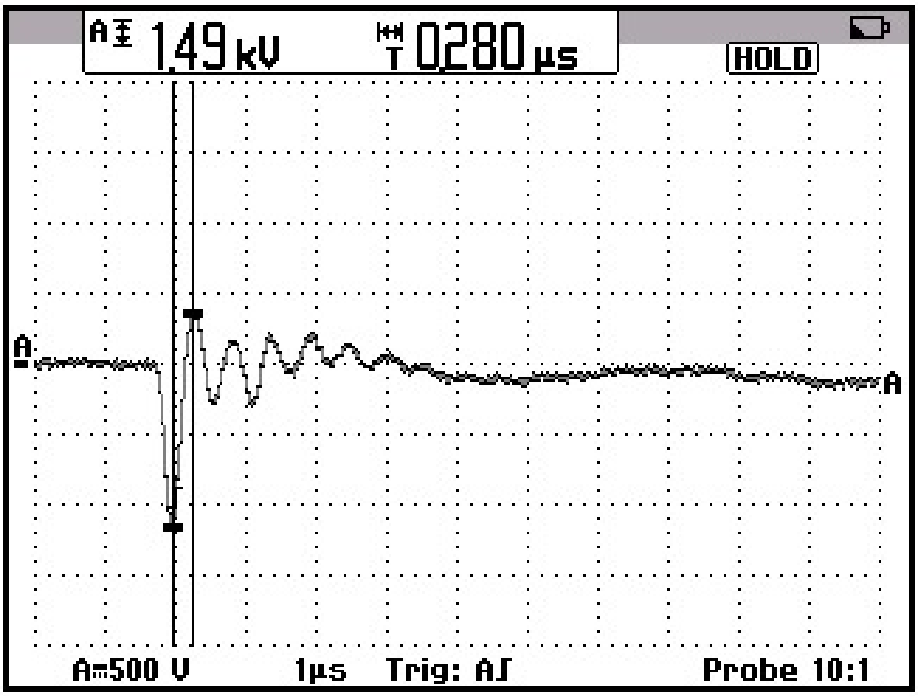
Uszkodzenie warstwy kontaktowej kondensatora.



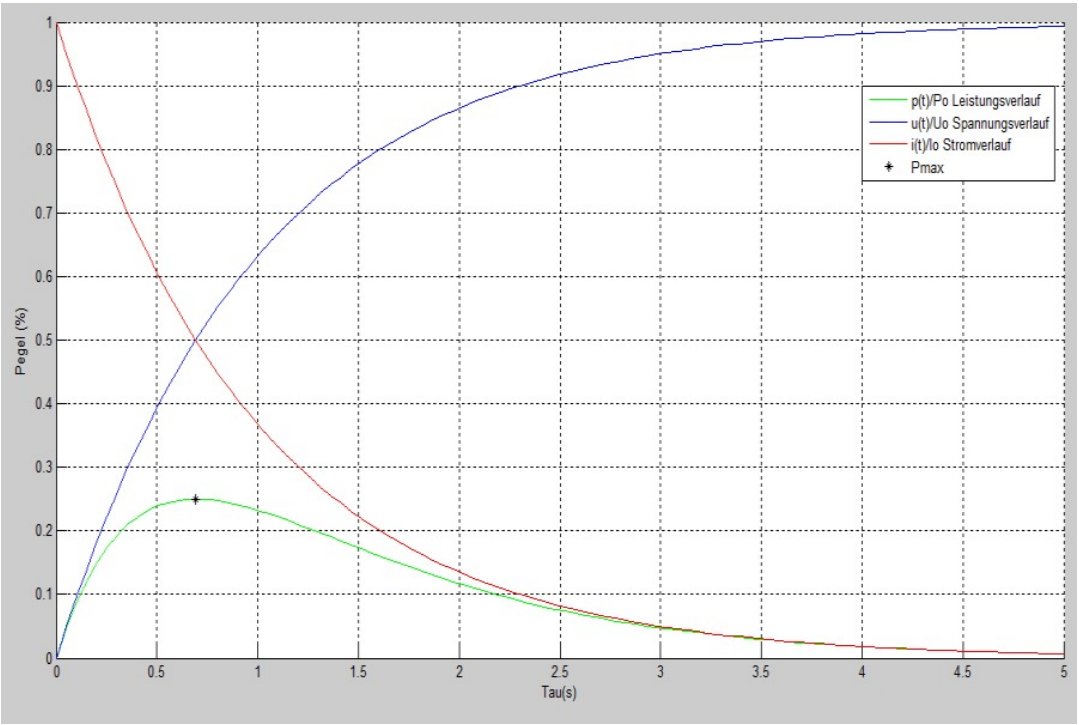
Przykład uszkodzonego kondensatora.



A - połączenie wyprowadzenia; B - połączenie folii z warstwą kontaktową.



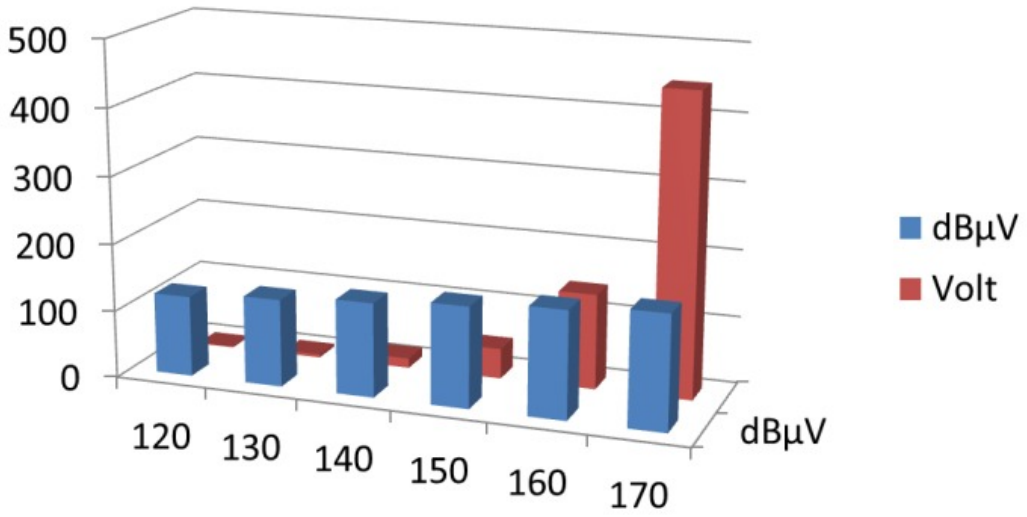
Przykład impulsu dU/dt. Na ekranie zachowano oryginalne ustawienia przyrządu.



Wykres obciążeń chwilowych kondensatora z materiału źródłowego. Interpretację wartości mocy omówiono w tekście.

dBµV	Amplitude $\hat{U}$
120	1,41
130	4,47
140	14,14
150	44,72
160	141,42
170	447,21

Tabela autora: poziom dBµV i amplituda szczytowa napięcia U. Zasady przeliczenia podano w uwadze do jednostek.



Graficzne porównanie wartości dBµV i woltów ze źródła. Są to różne wielkości i skale.