

# Zabezpieczenia zwarciovowe w obwodach prądu stałego (D.C.)

Roman Kłopotcki

## ETI Polam w Pułtusku

Bezpieczniki topikowe do zabezpieczeń obwodów prądu stałego – DC w ostatnim czasie szybko zyskują na znaczeniu.

W niniejszym artykule opisano w skrócie „stan techniki” w dziedzinie zabezpieczeń zwarciovych w obwodach prądu stałego.

W dalszej części opisano kilka najczęstszych dziedzin zastosowań, gdzie konwencjonalne zabezpieczenie zwarciovie nie jest już wystarczające i pojawiają się szczególne wymagania ze strony projektantów lub użytkowników. Przedstawiono również kilka nowości z programu produkcyjnego firmy ETI Polam, które zostały zaprojektowane na potrzeby obwodów prądu stałego DC, oraz krótki opis trendów światowych w tej dziedzinie.



Bezpieczniki topikowe  
WT-gG na napięcie stałe – 440V DC

## Podstawy teoretyczne

Bezpieczniki topikowe są uniwersalnym elementem zabezpieczającym tak dla obwodów prądu przemiennego (AC), jaki i prądu stałego (DC). Zdolność wyłączania prądu zwarciovego przez wkładkę topikową jest oczywiście różna dla AC i DC i dla różnych warunków stosowania, i nie ma takiej prostej zasady, na podstawie której można by było określić wartość maksymalnego, dopuszczalnego napięcia DC, na podstawie danych o dopuszczalnym napięciu AC określonej wkładki topikowej. Do prawidłowego zrozumienia zastosowania bezpieczników w obwodach

DC należy poznać kilka podstawowych informacji o zasadzie ich działania.

Charakterystyki prądowo-czasowe i pozostałe właściwości bezpieczników mocy, publikowane w katalogach producentów, zazwyczaj skupiają się na wartości AC dla częstotliwości 50 Hz (niekiedy 60 Hz). Również bezpieczniki, przeznaczone do stosowania w obwodach prądu stałego, były już stosowane w przeszłości – przede wszystkim w obwodach niskiej mocy i niskiego napięcia (np. w urządzeniach elektronicznych i jako zabezpieczenie zwarciovie w instalacjach samochodowych). Można wymienić również kilka przykładów stosowania bezpieczników DC w innych dziedzinach, jak np. zabezpieczanie silników elektrycznych pojazdów trakcyjnych – lokomotyw, tramwajów, elektromagnesów i pojazdów ciężarowych, które do napędu stosują energię z akumulatorów (wózki transportowe). Przykład bezpiecznika do akumulatorowych wózków widlowych pokazano na Rys. 1:

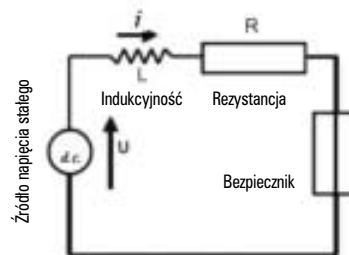


Rys. 1. Bezpieczniki do wózków akumulatorowych

## Podstawy obwodów prądu DC

Na Rys.2 pokazano podstawowy schemat obwodu prądu stałego – DC. Źródło napięcia prądu stałego (DC), cewka (z indukcyjnością  $L$ ) i rezystor  $R$  są szeregowo połączone w obwód, w którym jest również bezpiecznik topikowy.

W przypadku wystąpienia zwarcia, prąd w obwodzie narasta zgodnie z krzywą wykładniczą, tak jak to pokazano na schemacie graficznym A (Rys. 3).



Rys. 2. Obwód prądu stałego.

Matematycznie przyrost prądu w obwodzie można zapisać równaniem:

$$i = I_A \cdot (1 - e^{-(L/R)t})$$

Wartość prądu w obwodzie  $I_A$ , (zazwyczaj nazywanego też spodziewanym IP) jest określona prawem Oma  $I_A = U/R$ , wartość  $L/R = T$  – stała czasowa. Powyższe równanie pokazuje wpływ parametru  $L/R$  na czas przepalenia się bezpiecznika,

$$di/dt = U/L = I_A/T$$

Z powyższego równania wynika, że im większa jest stała czasowa  $L/R$ , tym dłuższy jest czas narastania prądu według  $di/dt$  i dłuższa jest faza przepalania się bezpiecznika.

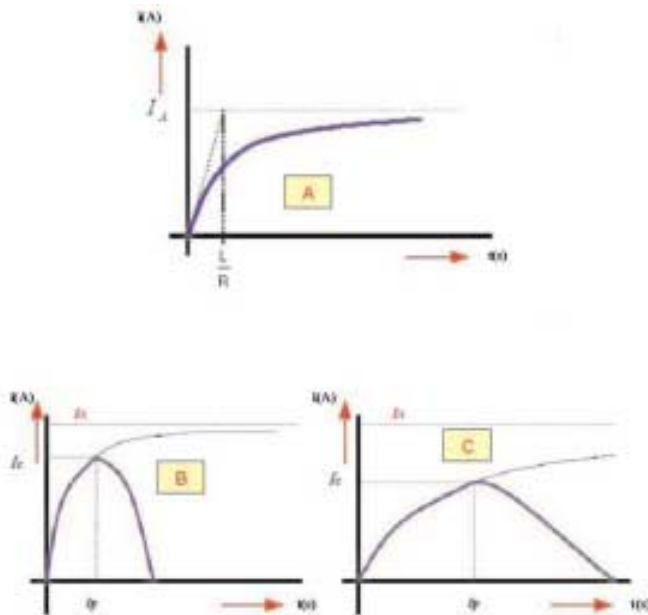
W schemacie graficznym B z powodu niższej indukcyjności przyrost prądu jest szybszy i czas przepalania się bezpiecznika krótszy, w porównaniu z sytuacją przedstawioną na schemacie graficznym C, gdzie jest pokazany przykład narastania prądu przy dużej stałej czasowej  $T$ .

## Dziedziny zastosowań bezpieczników DC i ich dobór

Powstające nowe technologie wymagają nowej wiedzy również w zakresie działania obwodów prądu stałego DC. Nowe i szybko rozwijające się dziedziny, w których można oczekiwać zainteresowania się wkładkami topikowymi na prąd stały DC są następujące:

- systemy bezprzerwowego zasilania (UPS)

Rys. 3.



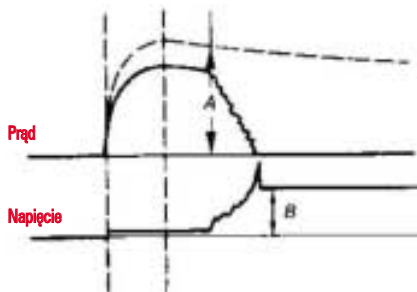
- stacje bazowe telefonii komórkowej,
- przetworniki fotonapięciowe (kolektory słoneczne) – pozyskiwanie energii elektrycznej,
- samochody z napędem elektrycznym.

Większość najnowszych zastosowań korzysta ze źródeł bateryjnych, posiadających ograniczone prądy zwarcia w porównaniu z konwencjonalnymi zasilaczami DC, które energię prądu stałego przetwarzają bezpośrednio z sieci AC i właśnie to jest najbardziej specyficzne w doborze bezpieczników prądu stałego DC.

### Analiza wyłączenia prądu stałego w różnych zastosowaniach

Jedną z właściwości bezpieczników jest zdolność do tego, że w przypadku prądu zwarcia wytworzą przepięcie (napięcie łuku elektrycznego), które „przekroczy” napięcie wsteczne i w ten sposób „zmusi” prąd zwarcia do zmniejszenia wartości do zera, co zapobiega jego niekontrolowanemu wzrostowi do wartości spodziewanego prądu zwarcia.

Bezpieczniki topikowe są więc najbardziej odpowiednie do wyłączenia prądu



A - Spodziewany prąd zwarcia  
B - Napięcie wsteczne

Rys. 4. Przebiegi prądu i napięcia w momencie wyłączania zwarcia przez bezpiecznik.

przemienne AC, jak również stałego prądu DC. W momencie wyłączania prądu zwarcia (blisko znamionowej zdolności wyłączeniowej) procesy fizyczne wewnątrz bezpiecznika są w obu przypadkach identyczne.

Procesy fizyczne w elemencie topikowym bezpiecznika w momencie wyłączenia przeciążenia (mniejsze prądy przetężeniowe) są dla prądów AC i DC zupełnie różne. Podczas gdy w przypadku prądu przemiennego, jego okresowe przechodzenie przez zero pomaga wygasić łuk elektryczny, to w przypadku wyłą-

czania prądu DC, wkładka topikowa musi „absorbować” całą energię magnetyczną zmagazynowaną w łuku elektrycznym. Wynikiem tego jest, że przy wyłączaniu prądu DC, zdolność wyłączeniowa wkładki jest odwrotnie proporcjonalna do zmagazynowanej energii magnetycznej, bądź stałej czasowej obwodu. Im większa jest stała czasowa, tym mniejsza jest zdolność wyłączeniowa wkładki dla prądu DC – więc zgodnie z zasadą jest mniejsza od zdolności wyłączeniowej dla prądu AC.

Niskonapięciowe bezpieczniki mocy (bezpieczniki przeznaczone głównie do zastosowania w przemyśle, – wg normy PN-IEC 60269-2, Ed.3, 11/2006) mają określoną minimalną zwarciovą zdolność wyłączenia – 50kA AC i 25kA DC.

Wartość zdolności wyłączeniowej bezpiecznika DC jest określona na podstawie stałej czasowej 15 ms, która odpowiada większości przemysłowych obwodów kontrolnych i obciążeniowych. Zdolność wyłączeniowa bezpieczników w obwodach z większą stałą czasową (gdzie są stosowane wielkie silniki DC), jest odpowiednio dostosowana – zmniejszona.

Oczywiście obowiązuje też i odwrotna sytuacja: w obwodach, gdzie nie przewidyje się większych indukcyjności (przetworniki do ładowania akumulatorów) można przyjąć większą przewidywaną zwarciovą zdolność wyłączenia.

Zdolność wyłączeniową wkładki topikowej w obwodzie DC musimy więc zawsze oceniać w połączeniu ze stałą czasową, która obowiązuje dla analizowanego w danym momencie obwodu.

Typowe stałe czasowe dla niektórych najczęstszych zastosowań są zawarte w tabeli nr 1.

W następnej części zaprezentowane zostaną nowości z programu produkcyjnego bezpieczników topikowych firmy ETI Polam, które zostały zaprojektowane na potrzeby obwodów prądu stałego DC, oraz krótki opis trendów światowych w tej dziedzinie.

Tabela 1

Zastosowanie	Stała czasowa T (ms)
Przemysłowe kontrolne i obwody mocy prądu stałego tokokrogi	≤ 10
Akumulatorowe źródła napięciowe i systemy UPS	≤ 5
Silniki prądu stałego i napędy	20 do 40
Magnesy i generatory	Ponad 1000