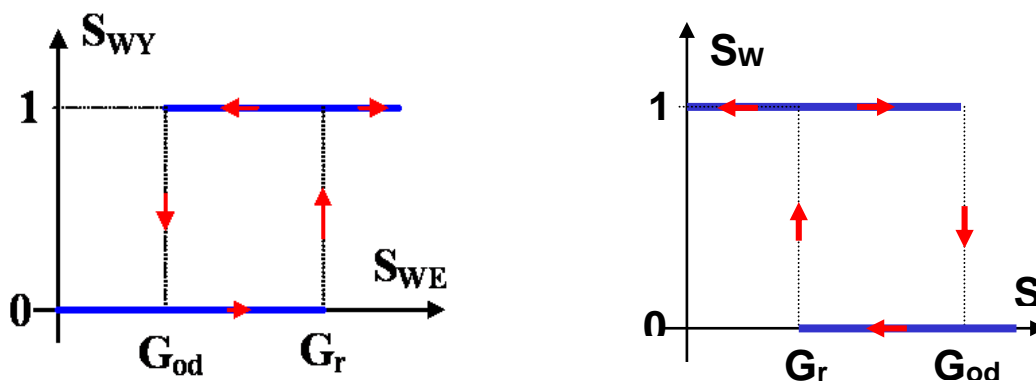


ĆWICZENIE 2

Badania zabezpieczeń o charakterystyce zależnej

Wiadomości ogólne

Do przekaźników pomiarowych jednowejściowych należą przekaźniki prądowe, napięciowe, częstotliwościowe, temperaturowe i inne. Głównym ich zadaniem jest działanie przy przekroczeniu przez sygnał wejściowy S_{we} tzw. wartości rozruchowej G_r , która nastawiana jest na skali przekaźnika. W chwili przekroczenia przez sygnał wejściowy wartości rozruchowej G_r przekaźniki przechodzi z tzw. stanu spoczynkowego do stanu działania. Odpowiada temu zmiana stanu na wyjściu przekaźnika z 1 na 0 lub z 0 na 1 w zależności od rodzaju wykorzystanego zestyku.



Rys.1. Zależność sygnału wyjściowego S_{wy} (dwustanowego) od wejściowego S_{we} (mierzonego) dla przekaźnika nadmiarowego (po lewej) i niedmiarowego.

Jeśli po zadziałaniu przekaźnika zacznie się zmniejszać wartość sygnału wejściowego, to przy pewnej jego wartości równej nazywanej wartością odpadania G_{od} przekaźnik przejdzie ze stanu działania w stan spoczynku. Jak widać charakterystyka $S_{wy}(S_{we})$ tworzy pętlę histerezy, a miarą szerokości tej pętli jest tzw. współczynnik powrotu przekaźnika k_p wyrażony poniższym wzorem:

$$k_p = \frac{G_{od}}{G_r}$$

Przekaźniki nadmiarowe: $G_r > G_{od}$, $k_p < 1$

Przekaźniki niedmiarowe: $G_r < G_{od}$, $k_p > 1$

Wartość tego współczynnika powinna być możliwie bliska 1. Uzyskanie tego w przekaźnikach elektromechanicznych było trudne ze względu na różniące się rezystancje

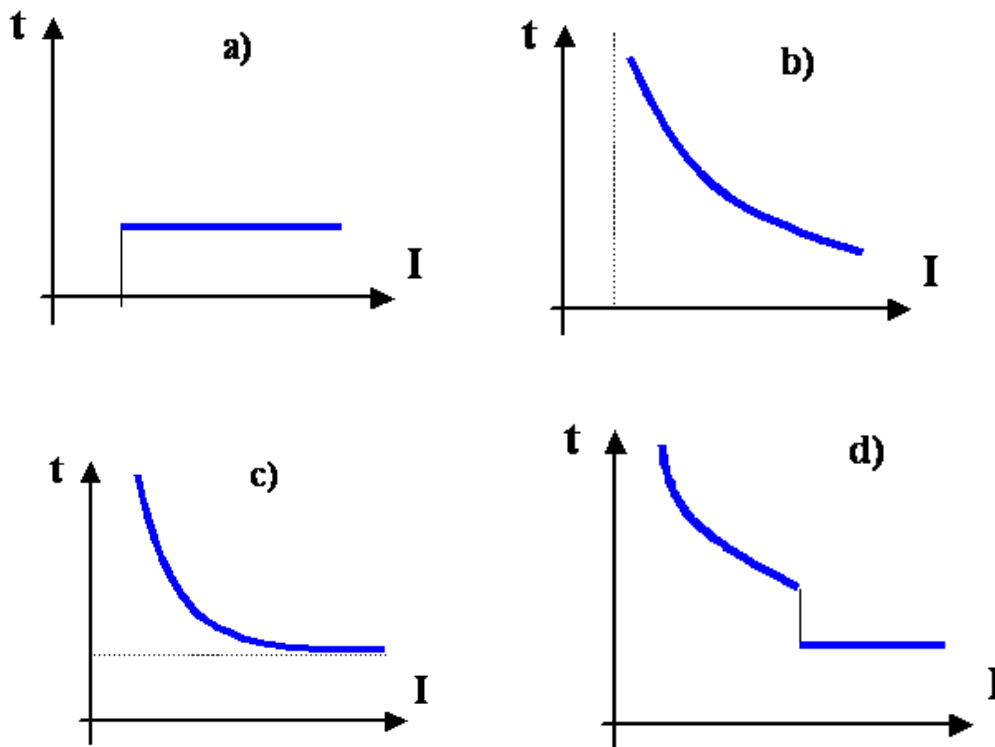
obwodu magnetycznego w stanie zadziałania przekaźnika (minimalna szczelina powietrzna) i w stanie spoczynkowym (większa szczelina). Oczywiście, w aktualnych rozwiązaniach przekaźników pomiarowych, uzyskanie dużej wartości współczynnika powrotu nie stanowi żadnego problemu.

Przekaźniki jednowęściowe, a zwłaszcza przekaźniki prądowe i napięciowe spełniają bardzo ważną rolę w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej. Kryterium wzrostu prądu ponad wartość dopuszczalną dla danego elementu układu elektroenergetycznego jest bowiem w wielu przypadkach wystarczające dla wykrycia stanu zwarcia lub przeciążenia. Stąd szerokie zastosowanie przekaźników nadprądowych w zabezpieczeniach od skutków zwarć i przeciążeń.

Przekaźniki nadprądowe są budowane jako elementy bezzwłoczne lub z wewnętrznym opóźnieniem, na ogół zależnym od wartości prądu wejściowego.

Zasadniczą właściwością przekaźników nadprądowych jest ich charakterystyka czasowo-prądowa, określająca zależność czasu zadziałania przekaźnika od wartości prądu mierzonego. Są cztery rodzaje charakterystyk czasowo-prądowych:

- a) niezależna,
- b) zależna,
- c) częściowo zależna
- d) stopniowo zależna.



Rys.2. Podstawowe charakterystyki $t(I)$ przekaźników nadprądowych

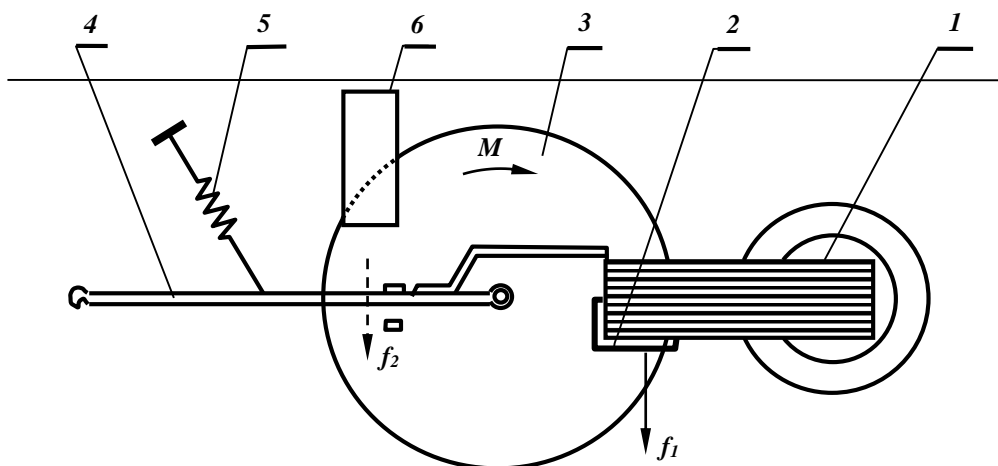
Charakterystyka niezależna uzyskiwana jest najczęściej w wyniku współdziałania bezzwłocznego członu prądowego z przekaźnikiem czasowym o nastawialnym opóźnieniu czasowym.

W przypadku charakterystyki zależnej, czas działania przekaźnika maleje ze wzrostem prądu zwarciovego.

Charakterystyka stopniowo zależna uzyskiwana jest przez współdziałanie przekaźnika nadprądowego zależnego z przekaźnikiem nadprądowym bezzwłocznym. Takie charakterystyki bywają wykorzystane w niektórych rozwiązaniach zabezpieczeń od zwarć międzyfazowych i od przeciążeń silników (np. przekaźnik typu RIz).

Charakterystyka elektromechanicznego przekaźnika typu RIz

Przekaźnik typu RIz składa się z elementu zwłocznego indukcyjnego połączonego z elementem elektromagnetycznym bezzwłocznym. Posiada charakterystykę rozruchową zależną oraz stopniowo zależną. Człon indukcyjny (rys. 3) składa się z tarczy (3) i elektromagnesu (1) ze zwojem zwartym (2).

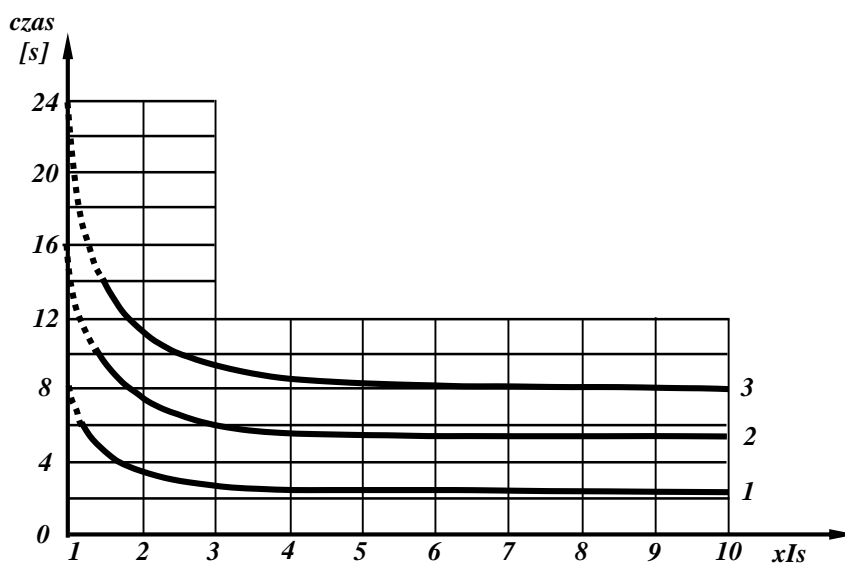


Rys. 3. Uproszczony szkic przekaźnika RIz; 1 – elektromagnes, 2 - zwoj zwarty, 3- tarcza, 4 – ramka, 5 – sprężyna, 6 – magnes trwały

Łożyska tarczy zamieszczono swobodnie w szczelinie elektromagnesu (1). Jeżeli prąd płynący przez cewkę przekaźnika przekroczy ok. 30% wartości prądu rozruchowego, to tarcza zaczyna się obracać. Przekaźnik jednak nie może jeszcze zadziałać, ponieważ ramka (4) jest odciągnięta przez sprężynę (5), wskutek czego ślimak umieszczony na osi tarczy nie jest

zazębiony z zębatką. Po osiągnięciu wartości rozruchowej następuje obrót ramki (4) wraz z osadzoną w niej osią tarczy. Obrót ten jest spowodowany działaniem na tarczę dwóch sił: siły f_1 wywołanej przez elektromagnes oraz siły hamującej f_2 wywołanej przez magnes stały (6). Wraz ze wzrostem wartości prądu wzrastają obroty tarczy, a tym samym siła hamowania f_2 , która przy określonej wartości prądu powoduje obrót ramki. Zazębia się przy tym z zębatką ślimak, obracający się wraz z tarczą. Obrót ślimaka podnosi zębatkę, która swoim ramieniem przechyla zworę bezzwłocznego elementu elektromagnetycznego. Podczas przechylania zwory zmniejsza się szczelina powietrzna aż do odstępu, przy którym zwora zostaje szybko przyciągnięta, powodując pewne zamknięcie zestyku. Czas, który upływa od chwili zamknięcia zestyku, jest zależny od obrotów tarczy, a tym samym od wartości prądu płynącego przez cewkę przekaźnika. Dla większych wartości prądu rdzeń elektromagnesu nasycy się i ze wzrostem prądu opóźnienie czasowe przekaźnika maleje bardzo nieznacznie. W ten sposób otrzymuje się charakterystykę częściowo zależną (rys. 4).

Przez zmianę początkowego położenia zębatki można przesuwać w pewnym zakresie charakterystykę przekaźnika, a więc zmieniać jego opóźnienie czasowe. Nastawione na przekaźniku opóźnienie czasowe odpowiada prądowi rozruchowemu. Dla większych wartości prądu opóźnienie to maleje. Wartość rozruchową prądu można nastawiać bezprzerwowo za pomocą kołka w zakresie 4-10A co 1A lub w zakresie 2-5A co 0.5A przez zmianę liczby zwojów cewki przekaźnika. Człon bezzwłoczny działa, gdy wartość prądu osiągnie określoną krotność nastawionego prądu rozruchowego i wtedy otrzymuje się charakterystykę stopniowo zależną.



Rys. 4. Charakterystyki czasowo-prądowe przekaźnika RLz-104; 1 – dla $t_n=8s$, 2 – dla $t_n=16s$, 3 – dla $t_n=24s$.

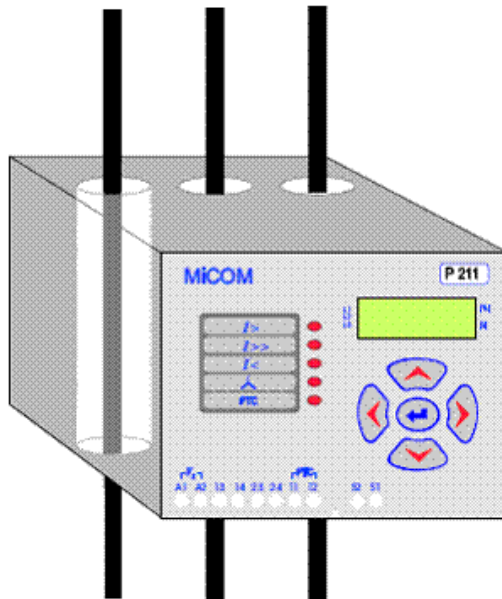
Charakterystyka cyfrowego zabezpieczenia silników typu MiCOM P211 prod. AREVA

MiCOM P211 (rys. 5) to skuteczne i selektywne zabezpieczenie silnika trójfazowego n/n zrealizowane przy wykorzystaniu kompletnego zestawu zabezpieczeń opartych na pomiarze prądów fazowych silnika. Jako najistotniejszy można tu wymienić człon przeciążeniowy, wykorzystujący matematyczny model cieplny silnika. Człon przeciążeniowy uzupełnia bezpośrednią kontrolę temperatury silnika za pomocą czujników PTC, co eliminuje niebezpieczeństwo jego przegrzania, np. przy nadmiernym wzroście temperatury otoczenia.

MiCOM P211 zapewnia ochronę silnika przed:

- skutkami przeciążeń,
- pracą silnika niedociążonego,
- pracą z asymetrią prądów fazowych,
- zanikiem fazy,
- nadmierną temperaturą silnika PTC,
- zwarciami doziemnymi (opcja),
- zwarciami międzyfazowymi,
- wydłużonym rozruchem lub zablokowanym wirnikiem.

Zabezpieczenie umieszczone jest w zwartej obudowie, zapewniającej łatwy montaż. Dostępna jest wersja w obudowie do montażu na szynę DIN 35mm oraz wersja do montażu zatablicowego. W pierwszym przypadku przewody z prądem zasilającym silnik lub przewody obwodów wtórnych, zewnętrznych przekładników prądowych, przeplata się przez otwory w obudowie. W drugim przypadku przewody z prądem są przykręcane do zacisków śrubowych przekładnika i wtedy prąd nominalny silnika (jeżeli nie zastosowano zewnętrznych przekładników) nie powinien przekraczać 6A.



Rys. 5. Widok zewnętrzny elektronicznego zabezpieczenia silnikowego typu MiCOM P211.

W sytuacji, gdy wartość prądu znamionowego silnika jest poniżej zakresu nastaw zabezpieczenia, można wielokrotnie (w zależności od potrzeb) przepleść przewody fazowe przez wewnętrzne przekładniki prądowe zabezpieczenia. Wówczas nastawa prądu bazowego w zabezpieczeniu powinna być równa prądowi znamionowemu silnika przemnożonemu przez ilość przeplotów przez otwory przekładników prądowych.

Rozbudowany zestaw poszczególnych członów zabezpieczeniowych, możliwości wyboru sposobu montażu, dodatkowe funkcje sterownicze jak i programowalne wejścia dwustanowe oraz programowalne przekaźniki wykonawcze, pozwalają na łatwe wykorzystanie MiCOM P211 do zabezpieczania i sterowania szerokiej gamy silników, pracujących w różnorodnych układach. Ułatwieniem jest także możliwość wyboru rodzaju łącznika (stycznik lub wyłącznik).

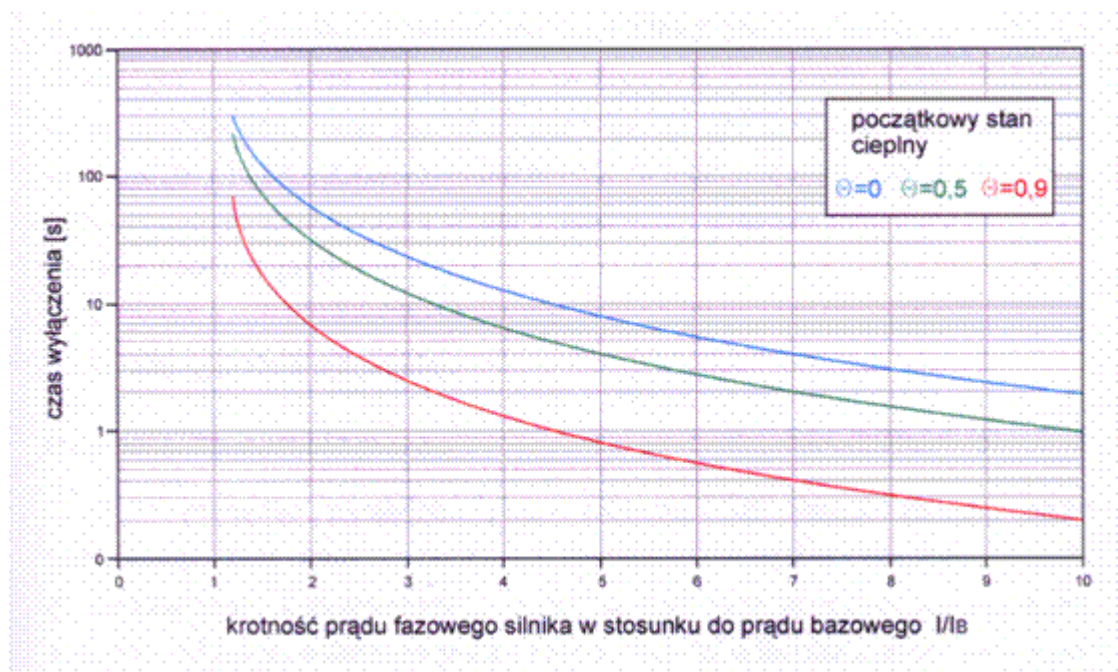
Dodatkową zaletę stanowią funkcje pomiarowe realizowane przez zabezpieczenie. Istnieją mianowicie możliwości odczytów wartości prądów fazowych (10 -1000Hz), prądu ziemnozwarciowego, bieżącego stanu cieplnego silnika oraz parametrów ostatniego rozruchu silnika. Pozwala to na doprecyzowanie nastaw zabezpieczenia np. jeżeli producent silnika nie podaje niezbędnych informacji lub są one nieprecyzyjne.

MiCOM P211 jest opcjonalnie wyposażony w port komunikacyjny RS485 oraz posiada zaimplementowany protokół ModBUS RTU. Dzięki temu możliwa jest wymiana informacji o bieżącym stanie zabezpieczenia i pomiarach z systemem nadrzędnym, jak też możliwe jest sterowanie silnika nadzorowanego przez MiCOM P211 z poziomu tego systemu.

Niżej omówiono tylko funkcję przeciążeniową zabezpieczenia MiCOM P211

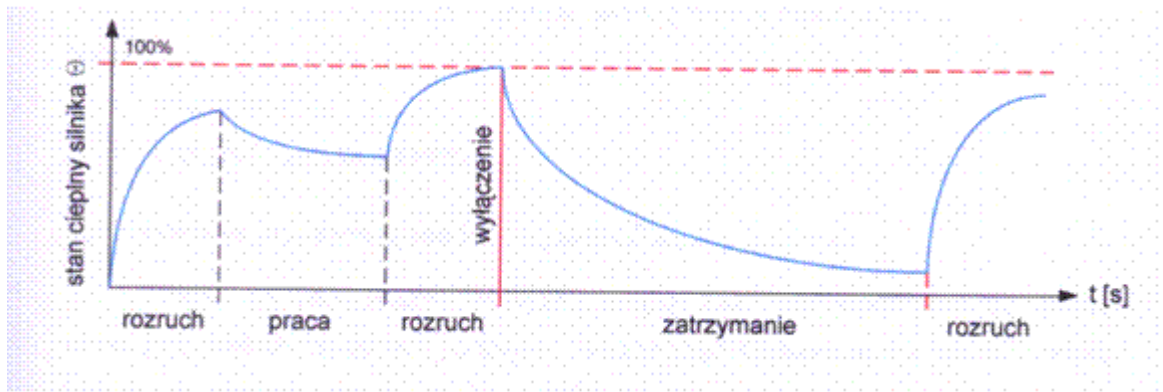
Ochrona przed skutkami przeciążeń oparta jest na matematycznym modelu cieplnym stanu nagrzania silnika, obliczanym w czasie rzeczywistym, na podstawie wartości skutecznych prądów fazowych silnika, które mierzone są w zakresie częstotliwości 10Hz ÷ 1kHz. Uwzględnienie znaczącego wpływu wyższych harmonicznych na nagrzewanie się silnika, zapewnia precyzyjne odwzorowanie jego stanu cieplnego.

Model bazuje na stałej czasowej nagrzewania, wprowadzanej do przekaźnika jako parametr t_{6xI_b} , który określa dopuszczalny czas przepływu prądu równego sześciokrotnej wartości prądu znamionowego silnika (klasa wyłączania). Przykładowe charakterystyki, dla różnego stanu wstępnego nagrzania silnika, przedstawione są na rys. 6.



Rys. 6. Przykładowe charakterystyki obciążenia cieplnego silnika.

Zadziałanie członu przeciążeniowego następuje w momencie, gdy stan cieplny silnika osiągnie 100%. Krzywa chłodzenia silnika obliczana jest na podstawie innego algorytmu, który jednak korzysta z tego samego parametru t_{6xI_b} .



Rys. 7. Przykładowy przebieg obciążenia cieplnego silnika podczas różnych stanów pracy.

Na rys. 7 przedstawiono przykładowy przebieg obciążenia cieplnego silnika, obliczanego przez MiCOM P211 na podstawie mierzonych prądów fazowych. Człon przeciążeniowy może być skonfigurowany tak, aby konieczne było skasowanie go po zadziałaniu lub też kasowanie (zezwoenie na załączenie silnika) może następować automatycznie, po schłodzeniu się silnika do nastawionej wartości.

Nastawy modelu cieplnego:

- prąd bazowy I_B (znamionowy) silnika,
- czas t_{6xI_B} (klasa wyłączenia).

I_B - prąd bazowy, czyli założony znamionowy prąd silnika przepływający przez trzy okna pomiarowe przekładników prądowych MiCOM P211 (jeśli są 2 przeploty to wprowadza się przekładnię prądową 2, a więc powinno się wprowadzić nastawę dwa razy większą niż prąd płynący w obwodzie pomiarowym MiCOM P211),

t_{6xI_B} - maksymalny dopuszczalny czas, w którym dopuszcza się przepływ prądu $I=6xI_B$ przez silnik (klasa wyłączenia). Czas ten jest określany dla stanu początkowego, w którym silnik jest zimny.

W oparciu o t_{6xI_B} MiCOM P211 oblicza stałe czasowe:

$$T_{Heat} = 32 \times t_{6xI_B} \text{ (stała nagrzewania)}$$

$$T_{Cool} = 4 \times T_{Heat} \text{ (stała chłodzenia)}$$

Aktualny stan cieplny jest obliczany z następującego równania:

$$\Theta_i = \left[\frac{I_{mean,i}}{1,1 \cdot I_B} \right]^2 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{0,128}{T_{Heat}}\right) \right] + \Theta_{i-1} \cdot \exp\left(-\frac{0,128}{T_{Heat}}\right) \quad (1)$$

gdzie:

Θ_i - aktualny stan cieplny,

Θ_{i-1} - stan cieplny wyliczony w poprzednim kroku,

$I_{mean} = (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) / 3$,

I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} - aktualne wartości skuteczne prądu w fazach L1, L2, L3,

$I_{mean,i}$ - aktualna wartość średnia prądu w kroku obliczeń "i".

Obliczenia przeprowadzane są co 0,128s.

Jeśli prąd I_{mean} jest mniejszy lub równy $0,1 \times I_B$ (stan chłodzenia silnika) MiCOM P211 oblicza stan cieplny według wzoru:

$$\Theta_i = \Theta_{i-1} \cdot \exp\left(-\frac{0,128}{T_{Heat}}\right) \quad (2)$$

MiCOM P211 wyłącza, jeśli aktualny stan obciążenia cieplnego Θ_i przekracza 100%.

W przypadku, gdy silnik wcześniej był obciążony i następuje załączenie silnika ze stanu cieplnego Θ_s , czas do wyłączenia wynosi:

$$t = T_{Heat} \cdot \log_e \left[\frac{\left(\frac{I_{Mean}}{1,1 \cdot I_B}\right)^2 - \Theta_s}{\left(\frac{I_{Mean}}{1,1 \cdot I_B}\right)^2 - 1} \right] \quad (3)$$

gdzie Θ_s – stan obciążenia w chwili startu silnika w chwili $t=0$ (dla stanu zimnego $\Theta_s=0$).

Jeśli następuje załączenie silnika ze stanu zimnego ($\Theta_s = 0$), wówczas czas do wyłączenia wynosi:

$$t = T_{Heat} \cdot \log_e \left[\frac{\left(\frac{I_{Mean}}{1,1 \cdot I_B}\right)^2}{\left(\frac{I_{Mean}}{1,1 \cdot I_B}\right)^2 - 1} \right] \quad (4)$$

Charakterystyki zależne

W zabezpieczeniach, w kryteriach nadprądowym, przeciążeniowym, ziemnozwarciowym, itp. bardzo często, oprócz charakterystyk niezależnych, zaimplementowane są różne

charakterystyki zależne, wg różnych standardów. Dwa wiodące standardy to standard IEC oraz IEEE.

Norma IEC 60255 definiuje cztery standardowe charakterystyki prądowo-czasowe (rys.8):

- normalnie zależną (SI – Standard Inverse),
- mocno zależną (VI – Very Inverse),
- bardzo mocno (ekstremalnie) zależną (EI - extremely inverse),
- charakterystykę z długim czasem zwłoki.

Każda z charakterystyk opisana jest wzorem:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_r}\right)^\alpha - 1} \cdot TMS$$

gdzie:

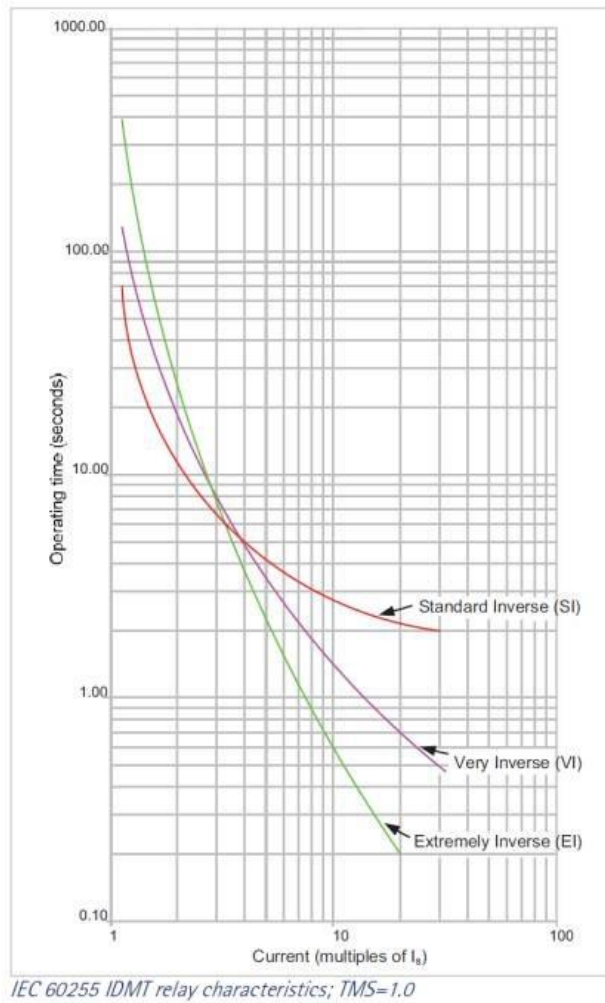
t – czas wyłączenia,

I – prąd rzeczywisty (mierzony po stronie wtórnej przekładnika),

I_r – wartość rozruchowa prądu,

TMS – indeks czasowy (time multiplier setting),

Typ charakterystyki	α	K
Normalnie zależna	0,02	0,14
Mocno zależna	1,0	13,5
Bardzo mocno zależna	2,0	80
Z długim czasem zwłoki	1,0	120



Rys.8. Przykładowy kształt charakterystyk wg standardu IEC [1]

Również w standardzie IEEE można wyróżnić kilka typów charakterystyk (rys.9):

- MI (Moderately Inverse),
- VI (Very Inverse),
- EI (Extremely Inverse),
- US C0₈ (Inverse).
- US C0₂ (Short Time Inverse).

Każdą z charakterystyk można wyznaczyć ze wzoru:

$$t = \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_r}\right)^\alpha - 1} + \beta \right) \cdot TD$$

gdzie:

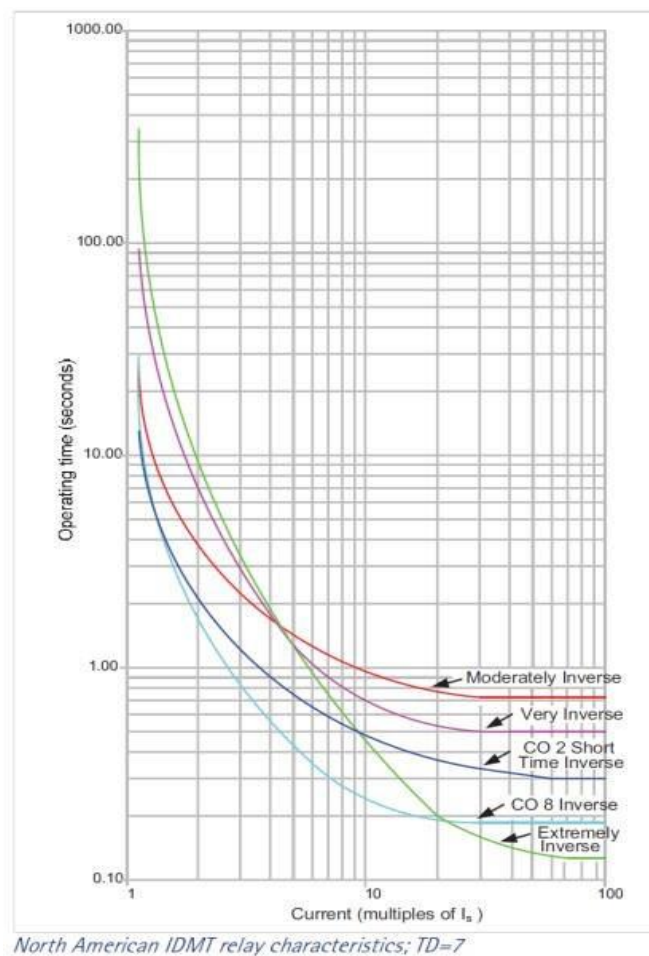
t – czas wyłączenia,

I – prąd rzeczywisty (mierzony po stronie wtórnej przekładnika),

I_r – wartość rozruchowa prądu,

TD – indeks czasowy (time dial setting (multiplier)),

Typ charakterystyki	α	β	K
IEEE MI	0,02	0,114	0,0515
IEEE VI	2,0	0,491	19,61
IEEE EI	2,0	0,1217	28,2
US CO ₈	2,0	0,18	5,95
US CO ₂	0,02	0,01694	0,02394



Rys.9. Przykładowy kształt charakterystyk wg standardu IEEE [1]

Przebieg ćwiczenia

W ramach badań przekaźnika nadprądowego należy wykonać pomiary wartości czasów zadziałania zabezpieczenia (standardy i typy charakterystyk oraz wartości rozruchowe poda prowadzący). Na podstawie badań należy wykreślić odpowiednie charakterystyki. Kilka wybranych, wyznaczonych na laboratorium charakterystyk należy porównać z charakterystykami teoretycznymi wyznaczonymi na podstawie wzorów.

[1] <http://myelectrical.com/notes/entryid/159/electromechanical-relays>