

# Poprawa efektywności energetycznej przekładników elektromagnetycznych

*Autor:* Mgr. Inż. Piotr Tetlak  
*Promotor:* prof. dr hab. Inż. Robert Smoleński  
*Promotor pomocniczy:* dr inż. Piotr Leżyński

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska pt. *"Poprawa efektywności energetycznej przekładników elektromagnetycznych"* poświęcona jest opracowaniu nowych konstrukcji przekładników, które pozwalają na znaczne ograniczenie zużycia energii, co jest odpowiedzią na współczesne potrzeby przemysłu i proekologiczne regulacje prawne. Prace badawcze opisane w rozprawie prowadzone były w ramach programu, *Doktorat Wdrożeniowy*, we współpracy z firmą RELPOL S.A., która jest największym producentem przekładników elektromagnetycznych w Polsce.

Głównym źródłem zużycia energii w przekładnikach elektromagnetycznych jest cewka elektromagnesu. Choć moc cewki przekładnika jest niska (rzędu pojedynczych watów), to przy ich masowej produkcji i globalnym zastosowaniu, skumulowane zużycie energii sięga dziesiątków gigawatów. Poprawa efektywności energetycznej przekładników staje się zatem istotnym zagadnieniem naukowym i technicznym.

Analiza literatury wykazała, że istnieje potencjał do oszczędzenia energii w przekładnikach poprzez wprowadzenie funkcji bistabilności. Przekładniki bistabilne wymagają zasilania jedynie chwilowo w momencie przełączania (zmiany stanu), w odróżnieniu od przekładników klasycznych gdzie energia musi być dostarczana nieprzerwanie do podtrzymania stanu załączenia. Rozwiązania do uzyskania funkcji bistabilności z zastosowaniem magnesów stałych oraz optymalizacja parametrów elektromagnesu były znane i szeroko omawiane w literaturze. Jednakże, przegląd rynku i aplikacje przekładników bistabilnych wykazały, że pomimo tego, iż dostępne jest wiele nowoczesnych rozwiązań przekładników, to problematyczne pozostaje ich szerokie wdrożenie ze względu na wysoki koszt produkcji. Koszt ten wynika natomiast ze skomplikowanej konstrukcji oraz produkcji na niewielką skalę.

W związku z powyższym postawiono cel badawczy w postaci zaproponowania rozwiązań, które pozwolą na znaczące ograniczenie poboru energii elektrycznej po stronie sterowania w przekładnikach elektromagnetycznych. Cel ten został realizowany przy dodatkowym założeniu, aby zaproponowane rozwiązania, mogły być łatwo i efektywnie wdrożone do produkcji.

Przyjęto jednocześnie następującą Tezę Pracy:

*Możliwe jest znaczące ograniczenie zużycia energii standardowego przekładnika elektromagnetycznego poprzez wprowadzenie niskokosztowych modyfikacji, które w sposób istotny nie zmieniają bazowej struktury oraz technologii produkcji tego przekładnika.*

Przyjęte założenia były więc nie tylko nakierowane na zwiększenie efektywności energetycznej urządzeń, ale także na umożliwienie ich wdrożenia w wielkoseryjnej produkcji bez znaczących modyfikacji istniejących linii produkcyjnych.

W pracy wykorzystano ogólnie przyjętą metodologię badawczą obejmującą, analizy obwodów magnetycznych, analizy numeryczne, jak i badania eksperymentalne. W fazie projektowej zastosowano Metodę Obwodu Równoważnego (MOR) i Metodę Elementów Skończonych (MES). MOR umożliwia przeprowadzenie analizy układów magnetycznych przez zastąpienie ich równoważnymi obwodami magnetycznymi o elementach skupionych, co pozwala na szybkie porównanie alternatywnych koncepcji rozwiązań przekładników. MES, stosowana w dwu- i trójwymiarowych symulacjach, pozwala na bardziej szczegółowe odwzorowanie elementów magnetycznych i analizowanie ich zachowań w zaplanowanych warunkach pracy. W badaniach MES przeanalizowano wpływ siatki obliczeniowej na zbieżność i stabilność rozwiązań dobierając odpowiednie

parametry symulacji. Poprawność symulacji została zweryfikowana na podstawie badań eksperymentalnych w opracowanym stanowisku testowym.

W ramach badań przeanalizowano różne technologie przekaźników bistabilnych dostępnych na rynku, takich jak modele Omron MY2K, Finder 2Z oraz Releco C3-R20, które różnią się konstrukcją, parametrami elektrycznymi i metodami uzyskania bistabilności. Krytyczna analiza tych rozwiązań pozwoliła na bardziej świadome poszukiwanie nowszych lepszych rozwiązań.

Ważnym osiągnięciem pracy jest zaproponowanie nowej koncepcji i konstrukcji przekaźnika elektromagnetycznego z funkcją bistabilności, wykorzystującego magnes stały. Nowa konstrukcja, która powstała na bazie przekaźnika R4N firmy RELPOL S.A., uwzględniała nie tylko poprawę efektywności energetycznej, ale także minimalizację zmian konstrukcyjnych i przydatność do masowej produkcji. Finalnie wprowadzenie funkcji bistabilności sprowadza się do dołożenia dwóch dodatkowych elementów (magnesu i dodatkowego jarzma) do istniejącego przekaźnika. Dołożenie tych elementów, nie wymagało ingerencji w pozostałe podzespoły przekaźnika. Opracowana konstrukcja ta otrzymała ochronę patentową (Pat.245744B1), potwierdzającą nowość rozwiązania i znaczący poziom wynalazczy. Finalnie, opracowana konstrukcja została, również wprowadzona do produkcji seryjnej, co stanowi sukces wdrożeniowy potwierdzający użyteczność rozwiązania.

W ramach opracowywania przekaźnika bistabilnego, korzystano z metod MES, gdzie symulowano wpływ zmiany materiałów i ich grubości na elektromechaniczne parametry przekaźników, co w konsekwencji pozwoliło na iteracyjną optymalizację konstrukcji. Wyniki badań przeprowadzonych na prototypach przekaźnika wykazały, że zaproponowana konstrukcja przynosi znaczące oszczędności energii w dużej skali. Prototypy poddano funkcjonalnym testom laboratoryjnym oraz testom środowiskowym w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, co pozwoliło na ocenę ich niezawodności i trwałości. Przeprowadzono m.in. pomiary siły trzymania zwory oraz analizę napięć zadziałania i resetu przekaźnika, co pozwoliło na kalibrację parametrów elektromagnetycznych nowego rozwiązania. Dodatkowo, analizowano wpływ różnych konfiguracji magnesów stałych na funkcję bistabilności przekaźnika oraz dostosowano układ do wymagań produkcji wielkoseryjnej, co jest istotne dla konkurencyjności kosztowej. Wyniki prowadzonych analiz zostały zaprezentowane i omówione w niniejszej dysertacji.

Wnioski z pracy wskazują, że zaprojektowany przekaźnik charakteryzuje się nie tylko wysoką efektywnością energetyczną, ale także spełnia wymagania dla stabilnej pracy w szerokim spektrum warunków środowiskowych, takich jak zmienne temperatury oraz różne typy obciążenia. Analiza porównawcza wykazała, że nowa konstrukcja RELPOL S.A. nie jest gorsza niż konkurencyjne modele dostępne na rynku pod względem energooszczędności, jednocześnie zapewniając elastyczność i możliwość integracji z liniami produkcyjnymi. To rozwiązanie jest odpowiedzią na wymagania ekologiczne i ekonomiczne rynku, co może przełożyć się na zmniejszenie kosztów operacyjnych oraz redukcję emisji CO<sub>2</sub> w produkcji i eksploatacji przekaźników.

Rozprawa wnosi więc istotny wkład do dyscypliny elektrotechniki przez dostarczenie nowego rozwiązania przekaźnika energooszczędnego jak również przez zaprezentowanie na konkretnym przykładzie metod analizy i projektowania obwodów magnetycznych. Równocześnie przedstawiona w pracy analiza potencjalnych korzyści (oszczędności energii, ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>), wskazuje na potrzebę dalszego rozwoju energooszczędnych przekaźników, które powinny być szeroko wdrażane.