

mgr inż. Zbigniew Pilat, mgr inż. Marek Grabiński, mgr inż. Wiesław Kopacz,
mgr inż. Jan Olczak
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

KONTROLA JAKOŚCI W ZAUTOMATYZOWANEJ LINII MONTAŻU KOŃCOWEGO WKŁADEK BEZPIECZNIKOWYCH

Wkładki topikowe niskiego napięcia są dzisiaj najlepszymi rozwiązaniami do ochrony instalacji elektrycznych przed skutkami zwarć i przeciążeń. Wśród różnych parametrów wkładek, specjalne znaczenie mają rezystancja elementu sensorycznego (topika) oraz gęstość piasku, który wypełnia korpus. Zapewnienie 100 % kontroli tych parametrów było jednym z głównych celów projektu automatyzacji montażu końcowego wkładek. W artykule przedstawiono linię, która powstała w wyniku realizacji projektu.

QUALITY CONTROL IN THE AUTOMATIC LINE FOR FINAL ASSEMBLY OF FUSE-LINKS

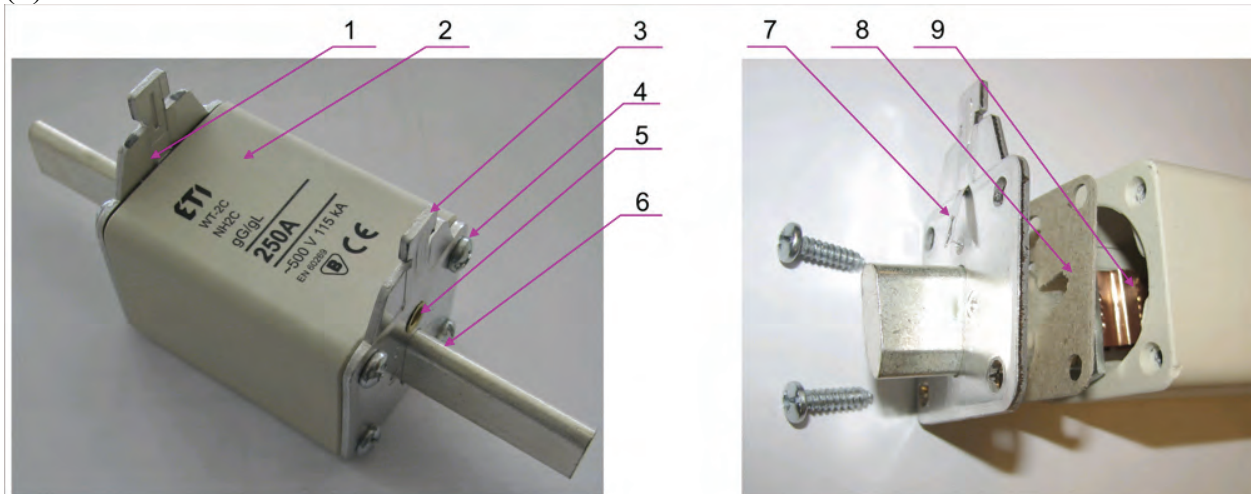
Low voltage fuse-links are the best solution for protection of electrical installations against effects of short circuits and overloading. Amount of different parameters of fuse-links, special important are resistance of sensor (fuse) element and density of sand, which fill the ceramic body. Assurance of the 100 % testing of these parameters was one of the main goals of the project, which includes automation of final assembly of fuse-links. The paper presents the manufacturing line, which is result of this project realization.

1. WPROWADZENIE

Urządzenie zabezpieczające instalacje elektroenergetyczne powinno przede wszystkim zapewniać niezawodne przerwanie obwodu elektrycznego. Istotną cechą takiego urządzenia jest jego zadziałanie tylko wtedy, gdy jest to rzeczywiście potrzebne (przy wystąpieniu zwarcia lub przeciążenia). Przy szczegółowej ocenie urządzeń zabezpieczających bierze się pod uwagę również inne kryteria. Generalnie można je podzielić na pięć grup [1] odpowiedzialnych za bezpieczeństwo, niezawodność, trwałość, różnorodność (dopasowanie do różnego zakresu prądów), efektywność (relacja właściwości technicznych, kosztów urządzeń i ich działania). Końcowa ocena zależy również od typu i cech instalacji, w której zabezpieczenie ma być zastosowane. W wielu przypadkach, najkorzystniejszym na dzisiaj rozwiązaniem okazuje się bezpiecznik topikowy, nazywany również topikową wkładką bezpiecznikową. Aby elementy te skutecznie zabezpieczały instalacje, muszą mieć odpowiednie parametry. Do najważniejszych należą rezystancja elementu bezpiecznikowego (topika) i stopień zagęszczenia piasku wypełniającego obudowę wkładki. Pierwszy parametr zapewnia zadziałanie bezpiecznika przy odpowiednim prądzie. Odpowiednie zagęszczenie gwarantuje skuteczne wygaszenie łuku elektrycznego podczas przepalenia topika. W celu zapewnienia najwyższej jakości produkcji, oba te parametry powinny być kontrolowane dla każdej wkładki. Realizacja takiego zadania jest możliwa tylko w zautomatyzowanej instalacji wytórczej, nadzorowanej przez inteligentny układ sterujący. Takie urządzenie do automatycznego montażu końcowego wkładek bezpiecznikowych W T, z kontrolą jakości w zakresie wspomnianych parametrów i archiwizowaniem danych o przebiegu produkcji zostało zbudowane przez zespół PIAP dla firmy ETI Polam w Pułtuskach [2].

2. BUDOWA WKŁADKI BEZPIECZNIKOWEJ WT

Zasadniczą częścią wkładki WT (fot. 1) jest korpus ceramiczny (2) w kształcie prostopadłościanu. W środku umieszczony jest topik (9) połączony ze stykami nożowymi (6). Korpus jest zamknięty z dwóch stron pokrywami (górna – 1 i dolna – 3, stalowe lub aluminiowe). Pokrywy są przymocowane do korpusu wkrętami (4) poprzez uszczelki – podkładki (8). W jednej z pokryw (3) znajduje się otwór, przez który wsypuje się do korpusu wkładki specjalny piasek kwarcowy. Po zamknięciu wkładki otwór jest zamknięty przez wciśnięcie metalowego korka (5). Wewnątrz korpusu zainstalowany jest także drut wskaźnika zadziałania (przepalenia) bezpiecznika. Drut z jednej strony jest zamocowany do blaszki sprężystej (7) na górnej pokrywie (1) wkładki, a z drugiej strony jest przyciśnięty przez korek (5).



Fot. 1. Budowa wkładki topikowej przemysłowej na przykładzie wkładki WT-2C firmy ETI-POLAM:
1 – pokrywa górna, 2 – korpus ceramiczny wypełniony piaskiem, 3 – pokrywa dolna, 4 – wkręt,
5 – korek, 6 – styk nożowy, 7 – blaszka wskaźnika zadziałania, 8 – podkładka, 9 – element topikowy

3. PROCES PRODUKCJI WKŁADKI BEZPIECZNIKOWEJ

Wkładki bezpiecznikowe WT produkowane są w dwóch oddzielnych etapach. W pierwszym etapie, przy 100 % autokontroli elementów składowych, którymi są: styki nożowe pokrywy, topiki, uszczelki (podkładki), wkręty, korpus ceramiczny i wskaźnik zadziałania, montuje się wkładkę ręcznie. W efekcie otrzymuje się wkładkę z przykręconymi do korpusu pokrywami i naciągniętym wskaźnikiem zadziałania, którego wolny koniec drutu jest okręcony na zaczepie pokrywy dolnej (3) wkładki. Tak wstępnie zmontowana wkładka odkładana jest do skrzynki.

Drugi etap rozpoczyna się od zasypania wkładki piaskiem. Ponieważ wymagane jest odpowiednie zagęszczenie piasku, wkładka podczas zasypania poddawana jest wibracjom. Następnie wkładka jest zamknięta korkiem. Odrywany jest drut wskaźnika zadziałania. Na ścianę boczną wkładki, za pomocą tamponiarki nanoszony jest napis z danymi i technicznymi i wkładka przekazywana jest do pakowania.

W dotychczasowej organizacji produkcji oba etapy wykonywane były ręcznie. Jedynie do wibrowania (zasypania wkładek piaskiem) firma ma specjalne urządzenie, do którego wkładki zakładane są ręcznie i ręcznie są zdejmowane. Kontrolę zasypania i rezystancji prowadzi się, badając wybrane wkładki specjalnymi przyrządami zgodnie z normami ISO. Na podstawie doświadczeń ustalono minimalny czas wibracji dla różnych typów wkładek

(różne gabaryty obudowy). Czas ten z odpowiednim zapasem jest przyjmowany jako parametr technologiczny procesu produkcji.

Takie podejście ma dwa zasadnicze niedostatki. Po pierwsze jest pracochłonne. Po drugie wyniki badań są zapisywane ręcznie, co ogranicza możliwość ich dalszego przetwarzania. Ewentualnie możliwe jest wprowadzenie ich do komputera, ale jest to czasochłonne, a więc kosztowne.

4. ZAUTOMATYZOWANA LINIA MONTAŻU KOŃCOWEGO WKŁADEK BEZPIECZNIKOWYCH

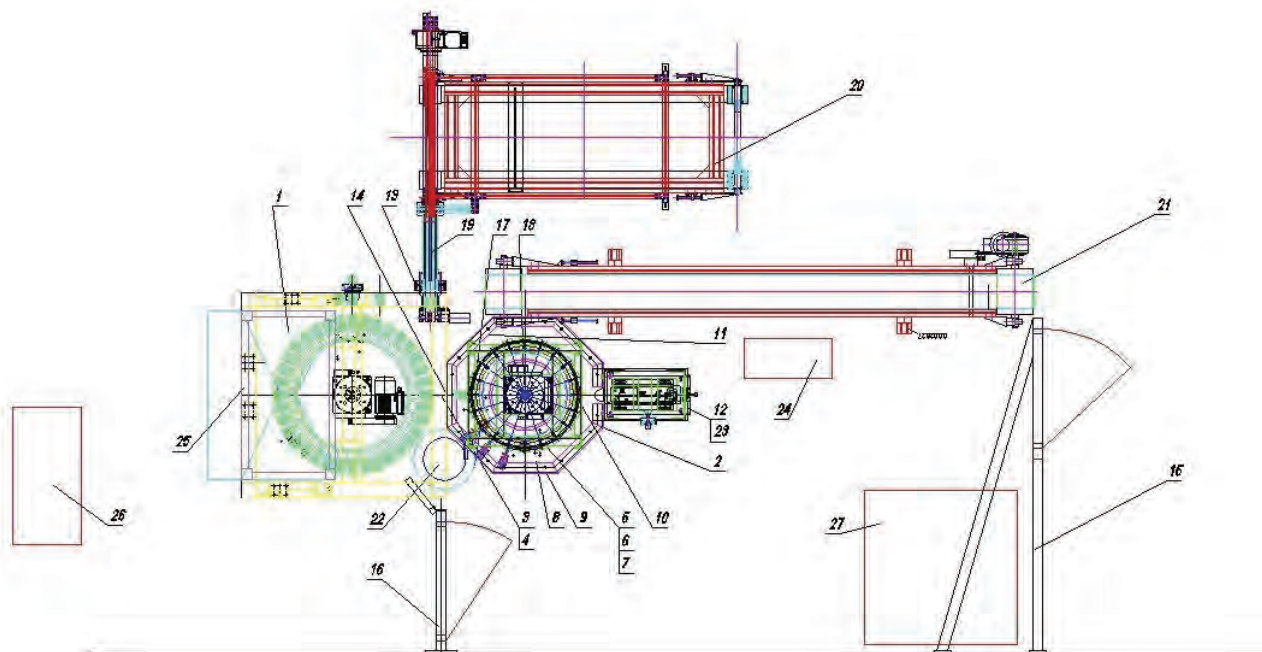
W celu rozwiązania wspomnianych wyżej problemów, firma ETI Polam zdecydowała się zamówić urządzenie do automatycznego montażu końcowego (drugiego etapu) wkładek bezpiecznikowych WT. Umowę na zaprojektowanie i wykonanie urządzenia podpisano z PIAP. W założeniach urządzenie miało mieć postać linii, umożliwiającej, po niezbędnym przebrojeniu, produkcję sześciu gabarytów wkładek (trzy obudowy duże i trzy małe). Produktem wyjściowym linii miały być wkładki wstępnie zamontowane (po pierwszym etapie), a wyjściowym zamontowane kompletnie i oznakowane – nadruk tamponowy. Biorąc pod uwagę wcześniejsze doświadczenia określono szereg wymagań technicznych i funkcjonalnych, które miały zapewnić wysoką efektywność instalacji. Jako najważniejsze z nich można wymienić:

- Konieczność 100 % kontroli rezystancji wkładki przed zaplaskowaniem. Ponieważ możliwe są pomyłki na montażu lub wady/uszkodzenia topika zdarzają się wkładki, których nie ma sensu wpuszczać w dalszą część procesu produkcyjnego. Najlepiej jest wychwycić je na wejściu linii i odłożyć do pojemnika braków.
- Konieczność 100 % kontroli poprawności zaplaskowania wkładki. Jeżeli po napełnieniu poziomu piasku w otworze zasypowym jest zdecydowanie poniżej pokrywy, to wkładka taka nie powinna być dalej montowana, ale należy ją odłożyć do pojemnika braków.
- Zamknięty obieg piasku. Podczas zasypywania wkładki piaskiem, znaczna jego część rozsypuje się wokół. Stwarza to problem strat piasku oraz utrzymania porządku na hali produkcyjnej.
- Zastosowanie urządzenia odpylającego. Podczas piaskowania powstaje pył, który jest szkodliwy dla zdrowia, a także bardzo źle wpływa na urządzenia mechaniczne.
- Stworzenie dla każdego modelu wkładki procedury zawierającej parametry produkcji. Wstępnie wymagano, aby dla danego modelu można było ustawić czas zasypu/wibrowania oraz warunki oceny pomiaru rezystancji (progi).

W wyniku realizacji projektu powstała zautomatyzowana linia montażowa wkładek bezpiecznikowych WT złożona z czterech podstawowych zespołów (rys. 1, fot. 2, [2]):

1. Transporter wejściowy w formie przenośnika indeksowego z magazynkami (kasetkami) wkładek, który stanowi jednocześnie bufor wejściowy linii.
2. Stół zasypowy (obrotowy, indeksowy), na którym wkładki są napełniane piaskiem i wibrowane.
3. Stół montażowy (obrotowy, indeksowy), na którym wykonuje się operacje: wciskania korka, obcinania nadmiaru drutu wskaźnika przepalenia, pomiaru końcowego rezystancji bezpiecznika, tamponowania.

4. Transporter wyjściowy, zbudowany w formie przenośnika taśmowego, który jest jednocześnie buforem wyjściowym linii.



Rys. 1. Rozplanowanie linii montażu końcowego wkładek WT: 1 – stół zasypowy, 2 – stół montażowy, 3, 4 – manipulator przekładający, 5 – tarcza stała, 6 – tarcza ruchoma, 7 – gniazdo stołu montażowego, 8, 9 – układ usuwania drutu, 10 – baza do tamponowania, 11 – manipulator przekładający wkładki na transporter wyjściowy, 12 – stojak tamponiarki, 13 – separator wkładek, 14 – łącznik stołów, 15, 16 – ogrodzenie, 17 – odciąg, 18 – docisk korka, 19 – transporter pośredni, 20 – transporter wejściowy (bufor), 21 – transporter wyjściowy, 22 – podajnik korka, 23, 24 tamponiarka, 25 – szafka testerów rezystancji, 26 – główna szafa sterownicza, 27 – urządzenie odpylające

Podawanie wkładek między tym i podzespołami odbywa się za pomocą systemu transporterów i manipulatorów. Przed stołem zasypowym zainstalowany jest układ pomiaru rezystancji wkładki. Elementy niezgodne z wymaganiami są odrzucane do pojemnika braków. Na końcu stołu zasypowego znajduje się optyczny czujnik poziomu piasku. Kontroluje on, czy wkładka jest całkowicie zasypana. Jeżeli nie, przechodzi ona jeszcze raz cykl zasypania. System sterowania zapamiętuje pozycję tej wkładki i jeżeli po kolejnym zapiaskowaniu poziomu piasku jest za niski, wkładka jest odkładana do pojemnika braków.

Korki do zamknięcia wkładek są jednakowe dla wszystkich modeli. Dostarczane są do stanowiska na stole montażowym za pomocą podajnika wibracyjnego współpracującego z manipulatorem. Na następnej pozycji stołu montażowego odbywa się odwiniecie i oderwanie nadmiaru drutu wskazanika zadziałania wkładki (przepalenia). Za tym stanowiskiem zainstalowany jest drugi układ pomiaru rezystancji wkładki. Wynik tego sprawdzenia jest zapamiętywany. Na kolejnym stanowisku wkładki dobre są tamponowane, a wkładki złe przejeżdżają dalej bez nadruku. Następna pozycja jest odpowiedzialna za wydawanie dobrych wkładek na transporter wyjściowy. Wkładki złe na kolejnej pozycji są wypychane ze stołu montażowego do pojemnika braków.

Linie obsługuje jeden operator. Jego działanie sprowadza się zasadniczo do dwóch czynności, tj. zakładania wstępnie zamontowanych wkładek do kasetek bufora wyjściowego

oraz odbierania gotowych wkładek z transportera wyjściowego i zapakowania ich w pudełka kartonowe.

Zmiana montowanej wkładki w zakresie amperażu (w tym samym typie, gabarycie obudowy) wymaga tylko wprowadzenia odpowiedniej informacji z pulpitu sterowniczego, czas zmiany nie przekracza minut. Zmiana typu montowanej wkładki na inny gabaryt obudowy wymaga przebrojenia linii. Czas wszystkich czynności przebrojenia nie przekracza 15 min.



Fot. 2. Rozmieszczenie części składowych linii montażowej w hali produkcyjnej ETI-POLAM:
1 – transporter wejściowy (bufor), 2 – transporter pośredni, 3 – stół zasypowy, 4 – manipulator przekładający wkładki pomiędzy stołami, 5 – stół montażowy wkładek, 6 – tamponiarka, 7 – manipulator przekładający wkładki na transporter wyjściowy, 8 – transporter wyjściowy, 9 – urządzenie odpylające

5. STEROWANIE ZAUTOMATYZOWANEJ LINII

Linia zarządzana modułowym układem sterowania. Jego jednostką nadrzędną jest sterownik PLC, model FX3U firmy Mitsubishi. Współpracuje on z modułami wejść/wyjść cyfrowych i analogowych oraz pozostałymi periferiami – sterownikami i stołami obrotowymi, falownikami zasilającymi silniki transporterów, układami bezpieczeństwa itp. Cały układ sterowania zamontowany jest w szafie sterowniczej (fot. 3), ustawionej obok linii.

Na drzwiach szafy został zamontowany dotykowy panel operatorski. Służą on do

komunikacji operatora z systemem. Na ścianie bocznej znajduje się m.in. złącze sieciowe Ethernet. Umożliwia ono dołączenie układu sterowania do zakładowej sieci informacyjnej. Na dachu szafy została zamontowana wielokolorowa świetlna wieża sygnalizacyjna, wyposażona również w buczek. Służy ona do informowania operatora o stanie pracy maszyny (gotowość, praca, awaria – ten stan jest dodatkowo sygnalizowany dźwiękiem).

Przed projektantami i programistami układów sterowania i automatyki zastosowanej w zautomatyzowanej linii montażu końcowego wkładek bezpiecznikowych stanęły do rozwiązania trzy istotne zagadnienia związane z procesem. Dotyczyły one kontroli poziomu zasypu wkładki, pomiarów elektrycznych oraz czasopłynnego działania maszyny, które miało zapewnić największą możliwą wydajność dla bardzo szerokiego asortymentu wkładek (łącznie w czasie uruchamiania linii było ponad sto różnych modeli wkładek, w sześciu wariantach gabarytowych).



Fot. 3. Szafa sterownicza stanowiska. 1 – panel operatorski, 2 – kontrolka zasilania, 3 – przycisk Stopu Awaryjnego, 4 – włącznik główny

Jak wspomniano we wprowadzeniu istotnym zagadnieniem podczas produkcji wkładek bezpiecznikowych jest odpowiednia gęstość zasypanego piasku wewnątrz wkładki. Parametr ten determinuje m.in. zdolność do gaszenia łuku prądu zwarciego. Jednym ze sposobów skontrolowania na bieżąco podczas produkcji, czy piasek jest odpowiednio zagęszczony, jest wykonanie pomiaru poziomu piasku po zasypywaniu.

Jeśli proces przebiegł prawidłowo poziom piasku we wkładce powinien mieścić się w bardzo wąskim zakresie. W tej linii montażowej za granicę taką została przyjęta poziom 1 mm poniżej górnej płaszczyzny pokrywy wkładki. Pomiar ten jest wykonywany za pomocą specjalnego dalmierza laserowego przez mały okrągły otwór w pokrywie wkładki, służący właśnie do jej zasypywania. W przypadku, gdy poziom piasku we wkładce jest różny od założonego, wkładka przechodzi przez gniazda zasypowe jeszcze raz w celu jej poprawnego zasypania. Kontrola poziomu zasypania (a pośrednio gęstości zasypania) odbywa się ponownie. W przypadku poprawnego wyniku wkładka przekładana jest na stół montażowy, w przeciwnym wypadku odrzucana jako brak.

Jak widać układ sterowania autonomicznie decyduje, jak postępować w przypadku, kiedy występuje jakieś zakłócenie procesu produkcji. Aby umożliwić takie działanie sterownika, w jego pamięci utworzono specjalne rejestry śledzące całą historię produkcji wkładki, od chwili jej założenia na stół zasypowy aż do momentu, kiedy opuści ona kombajn montażowy. Rejestry te wykorzystywane są również do przechowywania wyników pomiarów elektrycznych, jakim podlega każda wkładka trafiająca do montażu w tej maszynie. Przed podaniem na stół zasypowy wkładka bezpiecznikowa jest poddawana pierwszemu pomiarowi rezystancji. W tym miejscu weryfikuje się, czy wkładka została wstępnie poprawnie zmontowana. Jeżeli wartość ta jest poprawna (mieści się w zadanej tolerancji) wkładka jest dopuszczona do dalszego etapu montażu. W przeciwnym wypadku wkładka jest odrzucana z procesu produkcji jako brak.

Wynik pomiaru zapisywany jest przez sterownik w rejestrach, o których uprzednio była mowa. Podobnie dzieje się pod koniec procesu montażu, gdy dokonywany jest drugi pomiar rezystancji wkładki (jako ostatnia operacja przed znakowaniem nadrukiem tamponowym). Ma on na celu zweryfikowanie, czy podczas montażu na linii nie doszło do jakiegoś uszkodzenia wkładki w wyniku dokonywanych na niej operacji (np. zerwania topika). Wynik drugiego pomiaru jest zestawiany z wynikiem pierwszego pomiaru dla danej wkładki i wraz z datą oraz oznaczonym typem wkładki zapisywany w specjalnym pliku na karcie pamięci w panelu operatorskim. Cały przebieg produkcji wkładki jest archiwizowany i może być w dowolnym czasie skopiowany do arkusza kalkulacyjnego na PC, np. w celu raportowania produkcji. Możliwe jest przesłanie danych za pomocą zakładowej sieci informacyjnej. Można także przenieść kartę pamięci z panelu do komputera i zgrać potrzebne dane.

Kolejnym ważnym zagadnieniem dotyczącym sterowania, istotnym z punktu widzenia wydajności całej linii, jest rozwiązanie problemu współpracy obu stołów maszyny. Z uwagi na to, że dla różnych typów wkładek czas zasypu bardzo się zmienia (od 3 s do ponad 20 s), cykl pracy pierwszego stołu jest zależny od aktualnie produkowanego asortymentu. Dla drugiego stołu montażowego cykl pracy jest stały, nie zależy od rodzaju montowanej wkładki. Powstał więc problem, w jaki najlepszy sposób należy sterować stołami, aby ich praca była najbardziej efektywna. Dodatkowo, z uwagi na fakt pewnej autonomii sterownika linii opisanej w poprzednich akapitach wiadomo, że wkładka, która przeszła proces zasypywania nie zawsze będzie przełożona na stół montażowy. Dlatego, aby skrócić czas przebywania wkładki w kombajnie montażowym (a co za tym idzie zwiększyć wydajność całej linii) zdecydowano, że cykle stołów będą niezależne od siebie. Stoły pracują asynchronicznie, każdy obraca się w chwili dla siebie dogodnej, niezależnej od drugiego stołu. Wyjątkiem w tym algorytmie jest jedynie moment przekładania wkładki ze stołu zasypowego na stół montażowy. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskuje się najlepszą wydajność dla tak szerokiego asortymentu produkowanego zautomatyzowanej linii montażu.

6. KONTROLA REZYSTANCJI WKŁADEK

Rezystancja wkładek bezpiecznikowych jest na poziomie $m\Omega$. Z wymagań dla tego typu elementów wynika, że kontrola tej rezystancji musi być dokonywana przy prądzie rzędu 10 % wartości nominalnej. Oznacza to, że urządzenie pomiarowe zainstalowane w linii musi być przestrajane w zakresie do 40 A (amperaż produkowanych wkładek przyjmuje wartości od 6 A do 400 A). Dodatkowo urządzenie to musi mieć możliwość przekazywania wyników pomiarów do jednostki nadrzędnej – sterownika linii. Te wymagania spowodowały, że podjęto decyzje o zaprojektowaniu i budowie specjalnego układu pomiarowego, dedykowanego do tego zastosowania. Tester rezystancji wkładek został opracowany przez firmę ESCO [4].

Układ składa się z trzech głównych elementów:

- zasilacza DC o dużej wydajności prądowej (5 V DC – 40 A),
- bloku czterech sterowanych źródeł prądowych 0–10 A i układu pomiaru mikrosygnalów,
- układu logiki kontrolera zarządzającego:
 - sterowaniem źródeł prądowych,
 - kontrolą wysterowania tych źródeł,
 - pomiarem i obróbką mikrosygnalów,
 - komunikacją z jednostką nadrzędną (sterownik PLC).

Zasilacz DC dostarcza energii do źródeł prądowych. Źródła prądowe są sterowane odpowiednim sygnałem analogowym wystawianym przez kontroler. Zakres wysterowania wynosi 0–10 A. Zwrotnie, każde wysterowane źródło wystawia sygnał proporcjonalny do rzeczywistego wypływu prądu. Sygnał ten służy do kontroli prawidłowości pracy źródła. Wszystkie źródła są połączone równolegle i osiągnają całkowitą wydajność sumaryczną 40 A. Źródła są zabezpieczone przeciwzwarcio.

Po wysterowaniu źródeł, sprawdzeniu prawidłowości i osiągnięciu stabilizacji wykonywany jest pomiar mikronapięć. Zakres pomiarowy wynosi 0–50 mV.

Pracą całego układu zarządza kontroler. Bada on stan wewnętrzny układów, kontroluje prawidłowość wysterowań oraz komunikuje się z PLC (przez kanał RS-485). W ramach oprogramowanego protokołu kontroler odbiera i realizuje otrzymane z PLC komendy (nastawy, start pomiaru) oraz zwrotnie przesyła do sterownika informacje o wyniku pomiaru i statusie całego układu (Gotów, Pomiar, Pomiar OK, Wynik Pomiaru, Awaria).

Kontroler wyposażony jest w ekran alfanumeryczny, na którym niezależnie wyświetla informacje o komunikatach z PLC, ustawieniach oraz wynikach pomiaru. Dodatkowo wysterowuje wskaźniki LED: Gotów, Pomiar, Alarm. Ta funkcja jest przydatna podczas uruchamiania i diagnostyki działania testera.

Całość urządzeń testera jest zabudowana w szafce sterowniczej 500×300×200 mm. Na ścianie czołowej znajdują się lampki informujące o stanie pracy testera. W linii zainstalowane są dwie takie szafki (pomiar wstępny i finalny) na konstrukcji nośnej, nad stołem zasypowym. Zamocowanie szafek zapewnia operatorowi możliwość obserwowania stanu lampek.

7. ZAGĘSZCZANIE PIASKU I JEGO KONTROLA

Urządzenie wyposażone jest w układ grawitacyjnego zasypywania wkładek piaskiem. Elementy zawieszane są w gniazdach stołu podziałowo obrotowego, pokrywają z otworem do

góry. W trakcie zasypu wkładki poddawane są wibracjom. Wibracje wprowadzane są poprzez docisk elastycznych elementów do styków nożowych wkładki. Kierunek wibracji jest poprzeczny do osi elementu. Układ generujący drgania składa się z czterech wibratorów zbudowanych z użyciem elektromagnesów. Wibratory pracują z częstotliwością 50 Hz. Każdy wibrator wyposażony jest w indywidualną regulację amplitudy wibracji, daje to możliwość zoptymalizowania parametrów dla poszczególnych wielkości wkładek bezpiecznikowych. Zasyp z wibracjami odbywa się równocześnie na 12 gniazdach stołu podziałowo obrotowego, dzięki temu uzyskano wydłużenie czasu zasypu i wibrowania wkładki z zachowaniem wymaganego czasu cyklu produkcji jednej wkładki ok. 6 s.

Poprawność zasypania i zagęszczenia jako parametry istotne dla prawidłowej pracy wkładki poddawane są kontroli. Poprawność zasypania - uzyskanie odpowiedniego poziomu zasypu do 1 mm poniżej górnej płaszczyzny pokrywy wkładki kontrolowana jest w trakcie procesu produkcji w trybie automatycznym na 100% zasypanych wkładek. Do pomiaru został użyty precyzyjny dalmierz laserowy o wysokiej rozdzielczości, jak to opisano w części dotyczącej sterowania.

Pomiar rzeczywistego zagęszczenia piasku prowadzony jest wrywkowo w trakcie procesu produkcji. Wybrane wkładki po procesie zasypania zdejmowane są z uchwytów stołu zasypowego i poddawane sprawdzeniu na przyrządzie kontrolnym typu sonda. Sprawdzaną wkładkę umieszcza się w gnieździe przyrządu. Poprzez otwór zasypowy w pokrywie wkładki wprowadzana jest sonda w postaci trzpienia kontrolnego. Miarą poziomu zagęszczenia jest głębokość na jaką można wcisnąć trzpień o średnicy 3 mm pod naciskiem 250 N. Wskazanie dla wymaganego poziomu zagęszczenia powinno mieścić się w zakresie określonym jako parametr technologiczny procesu (dla najmniejszych wkładek jest to do 4 mm).

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Opracowana linia jest konstrukcją unikatową w skali światowej. W zakładzie użytkownika, ETI Polam w Pułtusku, została zainstalowana i przekazana do eksploatacji w 2009 roku. Po okresie rozruchu, od początku 2010 r. pracuje w normalnym reżimie produkcyjnym. Dotychczasowy okres eksploatacji potwierdza bardzo wysoką wydajność w porównaniu ze stanowiskami pracy ręcznej.

Koncentracja produkcji w ramach koncernu ETI spowodowała wzrost zapotrzebowania na wkładki WT produkowane w zakładzie w Pułtusku. Dlatego firma zdecydowała o budowie kolejnej linii, przeznaczonej głównie do produkcji wkładek o większych gabarytach. Zamówienie ponownie trafiło do PIAP. Zespół projektowo-konstrukcyjny wykorzysta doświadczenia i wnioski zebrane podczas prac nad pierwszą linią.

BIBLIOGRAFIA

1. Kłopotcki R.: Bezpieczniki topikowe i wyłączniki nadprądowe niskiego napięcia. *Elektrosystemy* 12/2005, Warszawa 2005.
2. Pilat Z., Grabiński M., Kopacz W., Olczak J.: Urządzenie do automatycznego montażu końcowego wkładek WT. *PAR* 2/2011, Warszawa 2011.
3. <http://www.etigroup.eu/index.aspx>
4. Tester rezystancji topikowych wkładek bezpiecznikowych WT. DTR. ESCO Warszawa 2010.