

## Doświadczenia z 20 lat eksploatacji urządzeń energoelektronicznych w obiektach energetyki

**Streszczenie.** W artykule poruszono zagadnienie.

**Słowa kluczowe:** energoelektronika, energetyka, eksploatacja, żywotność.

### Wprowadzenie

Urządzenia energoelektroniczne na dobre zagościły w energetyce. Zaczęło się od zasilaczy potrzeb własnych, przez napędy pomocnicze, UPS, a obecnie są to już urządzenia w torze mocy: kompensatory mocy biernej, FACTS, HVDC, przekształtniki w elektrowniach wiatrowych czy słonecznych, regulatory wzbudzenia, przemienniki energoelektroniczne. W przyszłości mówi się również o transformatorach energoelektronicznych. Rola energoelektroniki rośnie, liczba eksploatowanych urządzeń również. Od sukcesu ich pracy zależy niezawodność i jakość dostarczania energii do odbiorców [2].

W energetyce przyzwyczailiśmy się, że urządzenia eksploatuje się kilkadziesiąt lat, 20, 30 czy 40 jest normą dla linii, transformatorów, słupów, pól itp. Niestety urządzenia energoelektroniczne, jak zresztą wszystkie elektroniczne, tak długiej żywotności nie mają. Podwyższone częstotliwości pracy, duże stromości narastania prądów i napięć swoje robią. Dielektryki i półprzewodniki mają utrudnione warunki pracy.

Szczególnie współczesne urządzenia elektroniczne nie cieszą długim czasem życia. Miniaturyzacja, redukcja kosztów mają swoją cenę.

Zazwyczaj czas życia przemysłowych urządzeń energoelektronicznych mieści się w granicach od 10 do 15 lat. W tym czasie mieszczą się żywotności większości zastosowanych materiałów. Urządzenia stosowane w energetyce wymagają jednak w tym czasie regularnej i skrupulatnej eksploatacji [1].

Oczywiście istnieją przekształtniki energoelektroniczne w wyśrubowanej żywotności i to mimo braku czynności eksploatacyjnych. Urządzenia te stosuje się przede wszystkim jako źródła energii w urządzeniach technologicznych, często w strefach czystych, gdzie prowadzenie jakichkolwiek prac jest utrudnione. Jest to jednak oddzielna klasa specjalnie konstruowanych urządzeń dla specyficznych rynków i produkowanych przez wyspecjalizowane fabryki. A cena? Cóż – nieakceptowalna w świecie energetyki.

Co jednak decyduje o żywotności urządzenia, które elementy zużywają się najszybciej? Na te pytania autor stara się odpowiedzieć na podstawie własnych doświadczeń zawodowych.

### Elementy zużywające się najszybciej

Do elementów najszybciej zużywających się w urządzeniach energoelektronicznych należy zaliczyć: wentylatory, kondensatory elektrolityczne, kondensatory foliowe, elementy izolacyjne [3].

Wentylatory są najczęściej jednym urządzeniem mechanicznym i ruchomym w przekształtniku. Pełnią kluczową rolę w zapewnieniu bezpiecznej pracy zaworów półprzewodnikowych przez zapewnienie odpowiednio intensywnego odbioru ciepła. Awarie wentylatorów są spowodowane zużywaniem łożysk i osi oraz zabrudzeniami. Głównym objawem jest zatrzymanie lub spowolnienie obrotów.

Awaryjne kondensatorów elektrolitycznych wynikają z naturalnych procesów starzenia, głównie wysychania elektrolitu, ale również zachowania dopuszczalnych parametrów pracy. Szkodzą im wysokie częstotliwości, zbyt wysoka temperatura. Uszkodzenie tej grupy elementów może być długo niezauważalne. Szczególnie zmniejszenie pojemności. Przekształtnik może ulegać z tego powodu częstym awariom, choć pozornie nie widać uszkodzeń. Zwiększa się podatność na zakłócenia EMC ze względu na zmniejszenie skuteczności filtrów. W skrajnym wypadku nastąpi rozerwanie.

Kondensatory foliowe również zużywają się. Następuje w nich degradacja dielektryka. Spowodowane jest to szczególnie wzrostem temperatury w stosunku do punktu obliczeniowego oraz większymi stromościami narastania napięcia. Uszkodzenie tych elementów długo może nie być widoczne. Objawi się głównie przez spadek odporności EMS. W skrajnym wypadku nastąpi rozerwanie elementu.

### **Czynniki wpływające na żywotność**

Zdaniem autora głównymi czynnikami wpływającymi na żywotność urządzeń jest brak uwzględnienia warunków pracy przez producenta w procesie projektowania urządzenia. Szczególnie brak zachowania odpowiednio dużych zapasów parametrów. Do innych niedoszacowanych współczynników należy stopień zanieczyszczenia.

Z zakresu eksploatacji dwa najważniejsze czynniki to temperatura pracy [3] oraz czystość urządzeń. Z tego względu nie można zaniedbać okresowych przeglądów instalacji towarzyszących. Szczególnie wentylacji i klimatyzacji. Wzrost temperatury otoczenia powyżej wartości rzędu 20-30°C powoduje znaczące skrócenie żywotności urządzeń. Należy pamiętać, że temperatura wewnątrz urządzenia może być przeciętnie nawet 20°C wyższa.

Często niedocenianym zjawiskiem jest zapylenie urządzeń. Zapylenie wpływa na degradację części ruchomych, ale przede wszystkim powoduje starzenie dielektryków. Wszelkie izolacje tracą właściwości szybciej niż przeciętnie. Intensyfikacja zapylenia może mieć miejsce, gdy nastąpi degradacja filtrów w wentylacji obiektu, w okolicy zmieni się sposób wykorzystywania terenu, np. będzie trwała budowa. Często jest usuwanie wkładek filtracyjnych z szaf.

### **Czynności eksploatacyjne wydłużające żywotność**

Zdaniem autora podstawową czynnością zwiększającą żywotność urządzeń jest czyszczenie. Szczególnie usuwanie kurzu i pyłu. Czynnością powiązaną jest tu prawidłowe utrzymanie filtrów przeciwpyłowych szaf. Wkładowe filtrów najczęściej mogą być prane. Na pewno należy dbać, żeby nie zostały usunięte lub nieprawidłowo założone. Z tego samego powodu wszystkie pokrywy i osłony powinny być zamknięte. Drugą istotną czynnością są oględziny. Powinny one zmierzać do wykrycia śladów zużycia takich, jak spuchnięte kondensatory, wypchnięte zawory ciśnieniowe, uszkodzenia (pęknięcia) obudów, nieszczelności itp. Oględziny często pozwalają na wykrycie wady zanim doprowadzi ona do awarii urządzenia i dokonanie naprawy planowej.

Kolejną czynnością jest kontrola stanu izolacji. Powinna ona być wykonywana okresowo, a wyniki przechowywane w dziennikach eksploatacji podobnie, jak w wypadku np. kabli czy transformatorów. Kontrola izolacji może odbywać się przez próby napięciowe, choć jest to utrudnione z powodu konieczności ochrony półprzewodników, oraz pomiar rezystancji izolacji. Badania te nie są jednak zamienne.

### **Wnioski**

Wieloletnia udana eksploatacja urządzenia energoelektronicznego jest, jak zwykle zresztą, połączeniem następujących głównych czynników:

- odpowiedniego postawienia wymagań dla danego zastosowania układu,
- doskonałości lub po prostu wystarczająco dobrze wykonanego produktu,
- regularnie i skrupulatnie prowadzonej eksploatacji,
- dotrzymania warunków pracy urządzeń.

Przy określaniu wymagań dla urządzeń należy pamiętać o prawidłowym określeniu warunków środowiskowych, w szczególności zapyleniu, zapewnieniu zapasu mocy, określeniu rzeczywistych warunków napięciowych. Autor zachęca do określania wymaganego sposobu, wskazania normy, według której należy wyznaczyć wymaganą wytrzymałość napięciową oraz odstępów izolacyjnych. Należy przy tym pamiętać, że środowisko energetyczne i przemysłowe ma znacząco odmienne warunki pracy niż budownictwo mieszkalne i biurowe.

Do elementów najszybciej starzejących się należy zaliczyć wentylatory i kondensatory, szczególnie elektrolityczne. Szybkość starzenia zależy tu od warunków napięciowych, utrzymywania się podwyższonego napięcia, czy występowania udarów. Równie ważnym czynnikiem jest zachowanie odpowiednio niskiej temperatury pracy. Stąd niezbędna jest również właściwa eksploatacja urządzeń wentylacyjnych, szczególnie ze względu na podwyższającą się temperaturą atmosfery w okresie wiosenno-letnim. Celem czynności eksploatacyjnych jest bowiem między innymi zamiana postępu awaryjnego na planowy. Ważnym czynnikiem, warunkującym żywotność, jest również dostępność części zamiennych [4]. Brak możliwości wymiany części jest często powodem trwałego wykluczenia urządzenia z użytkowania.

#### Literatura

1. J. Loman, A. Arrao and R. Wyrick, "Long term aging of electronics systems & maintainability strategy for critical applications," Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2003., Tampa, FL, USA, 2003, pp. 328-331, doi: 10.1109/RAMS.2003.1182010.
2. S. Peyghami, P. Palensky and F. Blaabjerg, "An Overview on the Reliability of Modern Power Electronic Based Power Systems," in IEEE Open Journal of Power Electronics, vol. 1, pp. 34-50, 2020, doi: 10.1109/OJPEL.2020.2973926.
3. S. Rahimpour, H. Tarzamni, N. V. Kurdkandi, O. Husev, D. Vinnikov and F. Tahami, "An Overview of Lifetime Management of Power Electronic Converters," in IEEE Access, vol. 10, pp. 109688-109711, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3214320
4. Wang, Huai & Blaabjerg, F.. (2020). *Power Electronics Reliability: State of the Art and Outlook*. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. PP. 1-1. 10.1109/JESTPE.2020.3037161.

**Autorzy:** dr hab. inż. Piotr Biczal, B+R Piotr Biczal, ul. Benedykta Hertzka 6, 04-603 Warszawa, e-mail: biczal@bplusr.com.pl.