PROF. DR INŻ. ANDRZEJ JELLONEK

321.389.001.5/.

PODZESPOŁY I MATERIAŁY URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

(Część pierwsza)

Artykuł zawiera krytyczne uwagi dotyczące stanu techniki w zakresie produkcji materiałów i podzespołów elektroniki w Polsce na tle sytuacji istniejącej w tej dziedzinie w innych krajach. Autor wyciąga wnioski, w jakim kierunku powinna pójść organizacja prac badawczo-naukowych, aby można było jak najszybciej nadrobić dotychczasowe opóźnienia.

WSTĘP

Lampy elektronowe, jonowe lub półprzewodnikowe nie są zespołami samowystarczalnymi. Użyteczne stają się one dopiero jako podzespoły urządzeń elektronicznych[1)] takich, jak przyrządy pomiarowe i kontrolne, urządzenia automatyzacyjne, komunikacyjne, na przykład odbiorniki, itp. We wszystkich tych urządzeniach lampy są najcharakterystyczniejszymi podzespołami czynnymi, nie stanowią one jednak ani najważniejszej części urządzeń elektronicznych, ani też ilościowo nie wysuwają się na pierwszy plan. Kondensatory, oporniki, cewki indukcyjne, przekaźniki i inne podzespoły bierne wraz z bateriami, prostownikami, przetwornikami i innymi dodatkowymi podzespołami czynnymi dopełniają schematu urządzeń elektronicznych. Liczba tych dodatkowych podzespołów przekracza zwykle wielokrotnie liczbę lamp użytych w danym układzie. Współpraca lamp z podzespołami dodatkowymi stanowi podstawę konstrukcji urządzeń elektronicznych, a zdolność do takiej współpracy decyduje o użyteczności danej lampy. Zmusza to zarówno konstruktora, jak i wytwórcę lamp do zaznajomienia się z technologią, działaniem, warunkami pracy i współczesnymi kierunkami rozwoju innych podzespołów urządzeń elektronicznych.

---

1) Według terminologii zaproponowanej przez prof. dra J. Groszkowskiego lampy elektronowe, jonowe i półprzewodnikowe są objęte wspólną nazwą p r z y r z ą d ó w e l e k t r o n o w y c h, natomiast układy złożone z lamp oraz innych podzespołów stanowią p r z y r z ą d y lub u r z ą d z e n i a e l e k t r o n i c z n e. Każdy przyrząd elektronowy jest zatem jednym z podzespołów urządzeń elektronicznych.

W artykule niniejszym będą dodatkowo rozróżnione elementy czynne, to znaczy takie, które stanowią dla danego układu źródło prądu lub napięcia, oraz bierne, to znaczy takie, w których zachodzi tylko zużycie lub pulsowanie energii.

Specyficzne warunki pracy podzespołów elektronicznych powodują, że do konstrukcji ich stosuje się materiały znane i używane w innych urządzeniach i w innych warunkach pracy lub też materiały o właściwościach specjalnie dostosowanych do pracy urządzeń elektronicznych. Charakterystyczne cechy tych materiałów, ich właściwości fizyczne i chemiczne oraz technologia muszą być znane konstruktorowi oraz wytwórcy lamp i przyrządów elektronowych stosowanych w urządzeniach elektronicznych.

Każde urządzenie elektroniczne ma charakterystyczne cechy wyróżniające je od innych urządzeń przemysłowych. Praca takiego urządzenia jest oparta na współdziałaniu lamp i obwodów elektrycznych. Poszczególne części obwodów są zbudowane z bardzo niewielu rodzajów podzespołów, liczba natomiast powtarzających się podzespołów może być bardzo duża. I tak na przykład normalny odbiornik radiofoniczny w rodzaju Pioniera czy Mazura zawiera kilka lamp oraz $30 \div 50$ oporników i kondensatorów. Odbiornik telewizyjny posiada kilkanaście lamp oraz około 300 oporników i kondensatorów. Średniej klasy maszyna do liczenia jest zbudowana z setek lub tysięcy lamp i z setek tysięcy oporników oraz kondensatorów, zgrupowanych w tysiącach prawie identycznych zespłów.

Ponieważ odbiorniki, układy automatyzacyjne itp. są wytwarzane masowo, więc też ogólna liczba zużywanych podzespołów jest ogromna. Na przykład średniej wielkości zakład, wytwarzający rocznie $300 \div 400$ tys. odbiorników radiofonicznych[1)], zużywa $9 \div 20$ mln kondensatorów i oporników. W skali państwowej, zwłaszcza w krajach silnie uprzemysłowionych, liczby wytwarzanych podzespołów są rzędu liczb „astronomicznych". Na przykład w Stanach Zjednoczonych Am. Płn. wyprodukowano w ciągu jednego roku około 15 mln odbiorników radiofonicznych i 7 mln odbiorników telewizyjnych (rys. 1). Odpowiada to produkcji rocznej kondensatorów i oporników w liczbie $2550 \div 2850$ mln. Jeżeli do tej liczby doda się jeszcze liczbę podzespołów użytych do budowy urządzeń elektronicznych z dziedziny automatyki przemysłowej, telekomunikacji itd., to liczbę podstawowych podzespołów elektronicznych, produkowanych tylko w Stanach Zjednoczonych w ciągu roku, można oszacować na około 10^{10} sztuk.

Ta masowa produkcja pociąga za sobą daleko idące wymagania stawiane podzespołom. Każdy z nich powinien mieć określone, możliwie wąskie granice tolerancji właściwości. Powinien on mieć również jak naj-

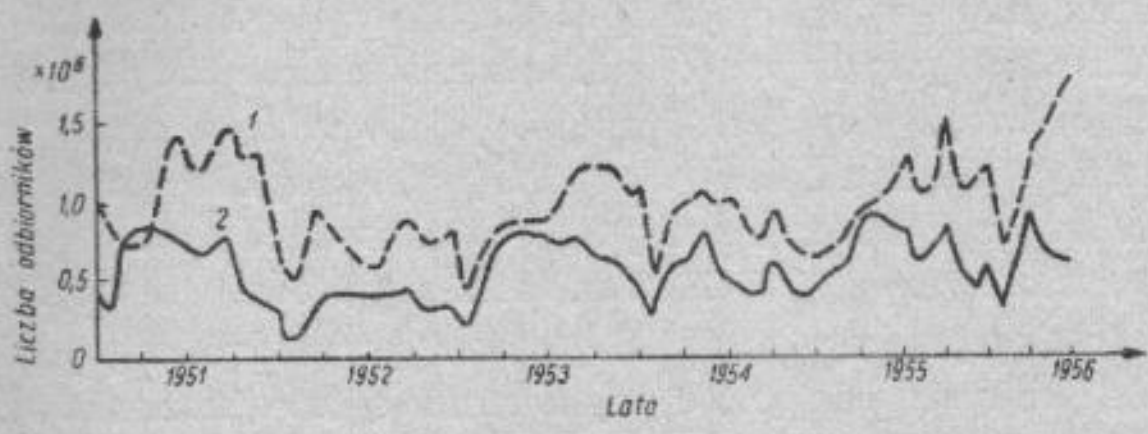
---

[1)] Dane dotyczące wytwórczości polskiej przewidzianej w planie pięcioletnim [3] są następujące: w 1960 roku zostanie wyprodukowanych
750000 odbiorników radiofonicznych
75000 odbiorników telewizyjnych
9300000 lamp odbiorczych

szersze granice warunków pracy, w obrębie których nie są przekraczane tolerancje właściwości podstawowych; powinien być również znany czas życia podzespołu, tj. czas podczas którego podstawowe właściwości podzespołu nie przekroczą granic gwarantowanej dokładności.

Wszystkie powyżej wymienione czynniki wyznaczają granice tolerancji pracy całego urządzenia elektronicznego oraz czas jego życia.

W miarę wzrostu liczby podzespołów, z których składa się pojedyncze urządzenie, pogarszają się na ogół jego tolerancje; dla zachowania stałej ich wartości muszą być zastosowane ostrzejsze warunki co do dokładności wykonania poszczególnych podzespołów składowych. Przy wzroście liczby podzespołów skraca się również czas życia urządzenia ze względu na zwiększenie prawdopodobieństwa, że przynajmniej jeden z podzespołów warunkujących jego pracę przekroczy granice tolerancji.



Rys. 1. Produkcja odbiorników radiofonicznych i telewizyjnych w Stanach Zjednoczonych Am. Płn. w latach 1950—1955 (wg Tele-Tech luty 1956 r.)

1 — odbiorniki radiofoniczne; *2* — odbiorniki telewizyjne

Dopuszczalny stopień skomplikowania konstrukcji danego urządzenia elektronicznego zależy zatem prawie wyłącznie od niezawodnego działania podzespołów. Istnieje wprawdzie możliwość przedłużenia czasu życia urządzenia przez odpowiednie jego konserwowanie, polegające na stopniowej zmianie zużywających się części, sposób ten jednak jest bardzo niewygodny, wymaga bowiem ścisłej standaryzacji podzespołów i zespołów, znajomości czasu ich życia, a oprócz tego wbudowania urządzeń kontrolujących okresowo stan podzespołów oraz wyszukujących miejsca ewentualnych uszkodzeń i wymieniających automatycznie podzespoły uszkodzone.

Liczba dopuszczalnych urządzeń kontrolujących i wykonywanych przez nie czynności jest ograniczona względami ekonomicznymi i czasem, w ciągu którego wymiana niepewnych podzespołów powoduje przerwanie pracy całego urządzenia. Tak więc niepewne podzespoły ograniczają ostatecznie możliwość budowy złożonych urządzeń elektronicznych.

Dalszą właściwością urządzeń elektronicznych oprócz skomplikowanej konstrukcji układu jest zdolność ich do pracy w różnorodnych warunkach zewnętrznych, tzn. przy dużych wahaniach częstotliwości, temperatury, wilgotności itd. Urządzenia te powinny również reagować na zjawiska impulsowe o krótkim czasie trwania oraz na sygnały o minimalnej mocy, powinny one poza tym wiernie wzmacniać przebiegi elektryczne.

Wszystkie omówione powyżej właściwości urządzeń elektronicznych muszą być uwzględnione przy wytwarzaniu podzespołów, bez uszczerbku dla masowości i taniości ich produkcji. Trudne warunki pracy podzespołów oraz różnorodne wymagania stawiane ich działaniu zmuszają do użycia w ich konstrukcji materiałów o specyficznych właściwościach. Zagadnienie stosowania specjalnych materiałów używanych do produkcji urządzeń elektronicznych wiąże się zatem bezpośrednio z zagadnieniem podzespołów i wymaga łącznego omówienia.

Celem niniejszego artykułu jest podanie systematyki materiałów i podzespołów charakterystycznych dla urządzeń elektronicznych, ogólne naszkicowanie rozwoju przemysłu produkującego te urządzenia w krajach silnie uprzemysłowionych oraz omówienie aktualnych kierunków badań naukowych związanych z rozwojem materiałoznawstwa i konstrukcji podzespołów stosowanych w elektronice. Dla porównania podano możliwości i potrzeby przemysłu polskiego oraz poruszono zagadnienie prac badawczych, których podjęcie i wykonanie będzie warunkować dalszy rozwój produkcji przemysłowej.

SYSTEMATYKA MATERIAŁÓW I PODZESPOŁÓW

Nie wszystkie materiały i podzespoły, z których zbudowane są urządzenia elektroniczne, są dla nich typowe. Część z nich jest stosowana prawie w tej samej postaci w urządzeniach elektroenergetycznych. Jeżeli przyjąć, że o przynależności do podzespołów elektronicznych decyduje ich zdolność do współpracy z lampami, możność pracy w szerokim pasmie częstotliwości przy jednoczesnej masowości wytwarzania, to otrzyma się stosunkowo niewielką liczbę rodzajów podzespołów elektronicznych (tabl. 1).

CHARAKTERYSTYCZNE CECHY WYTWÓRCZOŚCI MATERIAŁÓW I PODZESPOŁÓW ELEKTRONICZNYCH

Zasadniczą cechą produkcji podzespołów elektronicznych w państwach silnie uprzemysłowionych jest ich masowość. Trudno podać dokładne liczby obrazujące całą produkcję, można jednak przytoczyć stosunkowo dokładnie dane dotyczące produkcji dużych koncernów w powyższych kra-

Tablica 1

Charakterystyczne właściwości materiałów i podzespołów

Materiały	Charakterystyczne odmiany i właściwości
Ferromagnetyczne przeznaczone na:	
a) magnesy stałe	Duży remanent, duża korekcja
b) rdzenie małej częstotliwości	Duża i bardzo duża przenikalność magnetyczna, mała stratność
c) rdzenie wielkiej częstotliwości	Średnia przenikalność, bardzo duża oporność, mała stratność, niezależność właściwości od częstotliwości
Dielektryczne stosowane jako:	
a) materiały do produkcji izolatorów	O dużej wytrzymałości dielektrycznej, o małej przewodności, małej przenikalności dielektrycznej, małej stratności, dużej wytrzymałości mechanicznej i cieplnej, małej zależności właściwości od warunków zewnętrznych
b) materiały do produkcji kondensatorów	O dużej wytrzymałości dielektrycznej, o małej przewodności i stratności, dużej przenikalności dielektrycznej, małej zależności właściwości od warunków zewnętrznych
c) materiały do urządzeń regulacyjnych	O bardzo dużej przenikalności dielektrycznej, średniej stratności i wytrzymałości dielektrycznej, dużej zależności od natężenia pola i temperatury
Stosowane w przyrządach próżniowych:	
a) szkło i ceramika	Stosowane w lampach próżniowych i jonowych
b) pochłaniacze	
c) gazy	
d) luminofory	
Stosowane w przyrządach półprzewodnikowych:	
a) german	Stosowane w lampach półprzewodnikowych, prostownikach stykowych, kondensatorach elektrolitycznych
b) krzem	
c) selen	
d) miedź	
e) aluminium itp.	
Podzespoły	**Charakterystyczne odmiany i właściwości**
Podzespoły czynne:	
a) lampy	Próżniowe, jonowe, półprzewodnikowe
b) źródła	Elektrochemiczne, np. akumulatory, ogniwa baterie ogniw; elektryczne i elektromechaniczne, np. prostowniki i generatory, przetwornice obrotowe, wibracyjne itp.
Podzespoły bierne:	
a) oporniki	Liniowe, nieliniowe, stałe, o regulowanej wartości
b) kondensatory	Z dielektrykiem gazowym, stałym organicznym, stałym nieorganicznym, ciekłym; elektrolityczne, o wartości stałej i regulowanej
c) cewki indukcyjne	Bezrdzeniowe, z rdzeniem ferromagnetycznym, ferrytowym lub proszkowym, o wartości stałej i regulowanej (wariometry)
d) przetworniki elektroakustyczne	Głośniki i słuchawki, mikrofony i transduktory
e) wskaźniki	Elektromechaniczne, elektrooptyczne
f) przewody	Druty i lice, kable koncentryczne, falowody, linie opóźniające

jach. Według danych angielskich [46] zakłady przemysłowe Wielkiej Brytanii wykonują w ciągu jednego dnia roboczego 5 mln podzespołów, z czego przypada na

przemysł telewizyjny	48,5 %
radiofonię i radar	14,8 %
telekomunikację	5,0 %
urządzenia akustyczne	4,4 %
przyrządy elektronowe i elektronikę przemysłową	8,8 %
eksport	18,5 %

Duża wytwórnia oporników w Stanach Zjednoczonych Am. Płn. produkuje dziennie około 2 mln sztuk, tj. około 560 mln sztuk rocznie [1]. Podobna wytwórnia we Francji [1] produkuje już tylko 100 000 sztuk dziennie, tj. 28 mln rocznie. Prawie analogiczne liczby wykazuje produkcja dużych zakładów w Niemczech [20].

Orientacyjne dane dotyczące wytwórczości kondensatorów papierowych zawarte są w sprawozdaniu amerykańskiego koncernu AT & A. W 1952 r. liczba tego rodzaju kondensatorów, pracujących wyłącznie w urządzeniach eksploatowanych przez sam koncern, wynosiła ponad 100 mln sztuk [28]. Dane statystyczne dotyczące wytwórczości urządzeń elektronicznych w Stanach Zjednoczonych Am. Płn. określają roczną produkcję oporników i kondensatorów na 10^{10} sztuk. Wzrost produkcji tych dwu rodzajów podzespołów w latach 1940—1954 wynosił prawdopodobnie $300 \div 500$ %. Jednocześnie objętość poszczególnych podzespołów zmniejszyła się $5 \div 10$-krotnie, ceny zaś pozostały niezmienione lub nawet obniżyły się. Wszystko to świadczy wyraźnie o masowej produkcji podzespołów oraz o stałym ulepszaniu procesów technologicznych i poprawie właściwości stosowanych materiałów.

Jednocześnie ze wzrostem produkcji następuje zmniejszenie rozmiarów produkowanych podzespołów (miniaturyzacja). Zmniejszenie to jest zawsze możliwe wówczas, gdy konstruktor zadowoli się jednocześnie skróconym czasem ich życia (rys. 2) lub zmniejszoną mocą (rys. 3).

Znaczne zmniejszenie wymiarów można uzyskać również przez udoskonalenie procesów technologicznych lub wprowadzenie nowych materiałów. Charakterystycznym przykładem jest konstrukcja kondensatorów blokowych. Tego rodzaju kondensatory składają się najczęściej z cienkiej taśmy papierowej, nasyconej odpowiednim syciwem (które razem stanowią dielektryk) oraz z elektrod wykonanych z folii aluminiowej. Dla zaoszczędzenia miejsca obie taśmy zwinięte są w rulon. Rulon ten jest chroniony przed działaniem wpływów zewnętrznych osło-

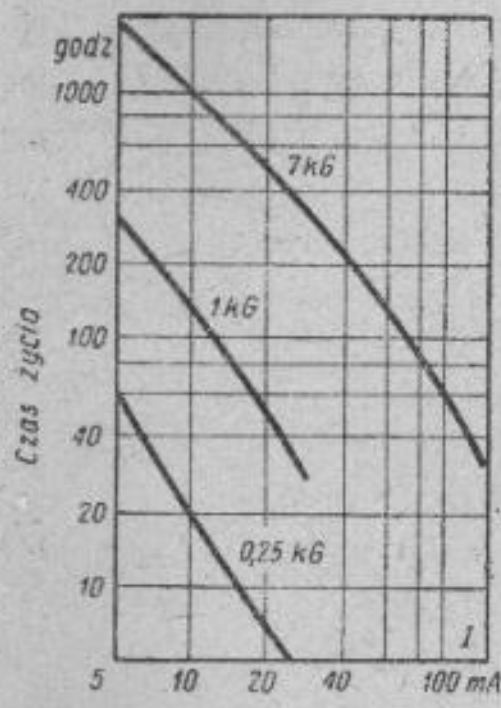
ną ceramiczną, metalową lub papierową, wypełnioną masą nie przepuszczającą wilgoci.

Objętość V zwijki, przypadającą na daną pojemność C, można obliczyć wg wzoru [29, 30, 31]

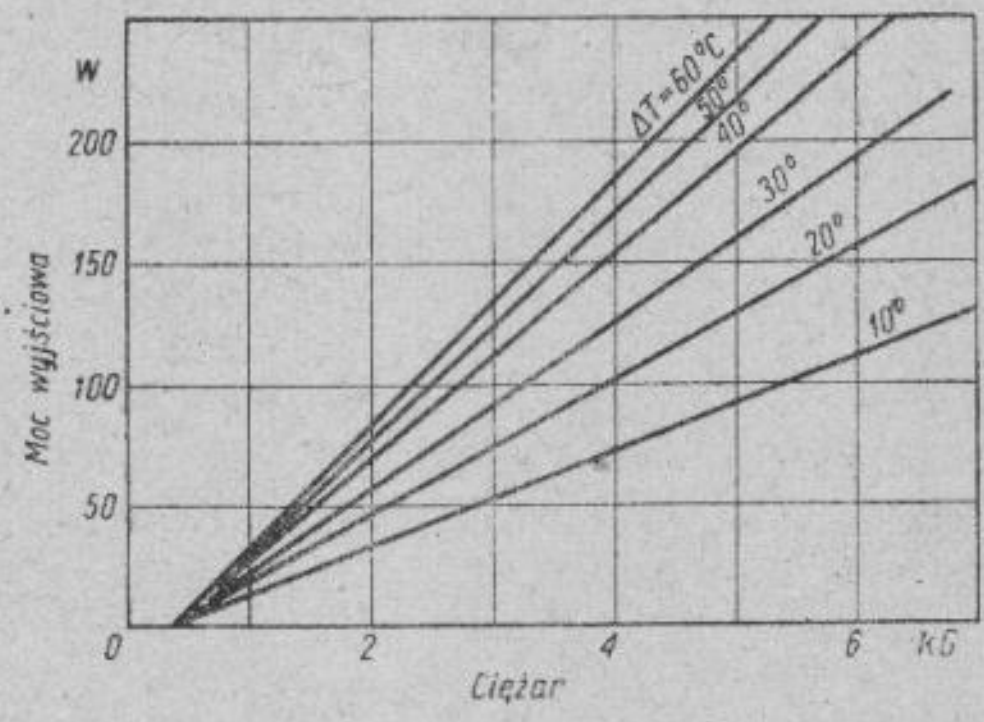
$$\frac{V\,[\mathrm{cm}^3]}{C\,[\mu\mathrm{F}]} \approx 1{,}136 \cdot 10^5 \frac{d\,[\mathrm{mm}]\,(d\,[\mathrm{mm}] + t\,[\mathrm{mm}])}{\varepsilon}$$

w którym: d — grubość taśmy papierowej; t — grubość pojedynczej elektrody metalowej; ε — względna wartość przenikalności dielektrycznej.

W kondensatorze typu zwykłego należy stosować przynajmniej dwie warstwy papieru o grubości $d \geqslant 7{,}5 \cdot 10^{-3}$ mm, a to ze względu na możliwość istnienia cząstek przewodzących w taśmie papierowej, któ-



Rys. 2. Czas użytkowania suchych baterii (produkcji z okresu II wojny światowej) w zależności od pobieranego prądu; jako parametr przyjęto ciężar. Prąd pobierany był przez 4 godziny dziennie, a jako czas życia przyjęto okres, po którym napięcie spadło z 45 na 34 V według [2]



Rys. 3. Moc oddawana przez niewielki transformator zasilający w zależności od ciężaru; jako parametr przyjęto przyrost temperatury, według [2]

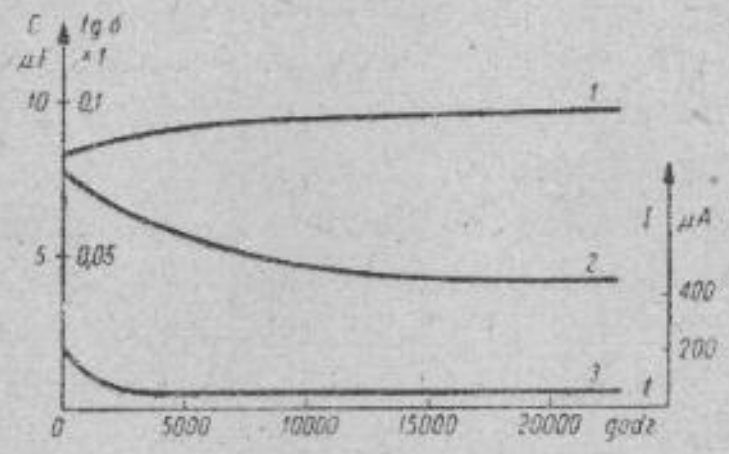
rych obecność może wywołać zwarcia i całkowite zniszczenie kondesatora. Elektrodami jest folia aluminiowa o grubości $d \geqslant 6{,}5 \cdot 10^{-3}$ mm; jako syciwo może być użyty chloronaftalen ($\varepsilon \approx 5{,}8$). W tych warunkach objętość kondensatora przypadająca na jednostkę pojemności jest

$$\frac{V}{C} = 6{,}35\ \frac{\mathrm{cm}^3}{\mu\mathrm{F}}$$

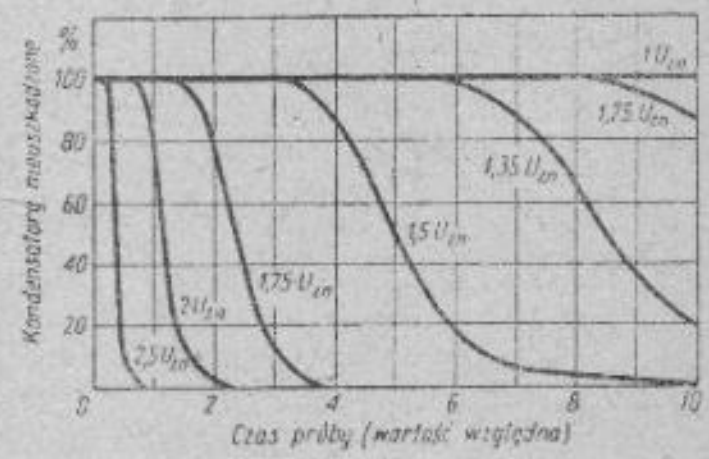
W kondensatorze złożonym z papieru metalizowanego jako dielektryka i elektrody grubość warstwy metalowej jest rzędu $t \approx 7{,}5 \cdot$

spełniające założone warunki. Liczba tych egzemplarzy jest tym mniejsza, im węższe są granice żądanych tolerancji. Zwężenie granic tolerancji powoduje zatem wzrost ceny, możliwe jest jednak prawie zawsze do uzyskania. Trudniej natomiast jest z określeniem czasu życia podzespołów.

Okres ten jest uzależniony od wielu na ogół słabo znanych procesów. Czas, w którym procesy te występują, może być tak długi, że uwidocznienie się ich wpływów wystąpi po okresie przekraczającym czas stosowany w normalnych warunkach kontroli przemysłowej. Natomiast



Rys. 4. Średnie zmiany pojemności C, prądu upływnościowego I oraz stratności tg δ 100 szt. kondensatorów elektrolitycznych o pojemności 8 μF i napięciu pracy oraz przebicia 500/550 V w czasie pracy trwającej 20 tys. godz. przy napięciu polaryzacji 400 V i przy częstotliwości napięcia pomiaru 50 Hz, według [25]
1 — zmiany pojemności; *2* — zmiany tg δ; *3* — zmiany prądu upływnościowego



Rys. 5. Liczba kondensatorów nieuszkodzonych z danej serii w zależności od czasu doprowadzania napięcia; jako parametr przyjęto stosunek napięcia pracy U do napięcia znamionowego U_{zn}, według [23]

wszelkie skrócone próby przeprowadzane w sztucznych, zaostrzonych warunkach nie dają gwarancji, że ich wyniki będą takie same, jakie występują w zwykłych warunkach w ciągu długiego czasu.

Sama definicja „życia" podzespołu jako okresu czasu, w którym właściwości nie wykraczają poza zakres dopuszczalnych tolerancji, jest niezupełnie słuszna, jeżeli chodzi o związek ze zjawiskami zachodzącymi w czasie starzenia się podzespołu. Powodem tego jest sposób ustalania tolerancji przez sortowanie podzespołów pochodzących z tego samego procesu technologicznego. Na przykład oporniki o dokładności 5% miałyby według przyjętej definicji czasu życia prawie zawsze ten czas krótszy niż oporniki o dokładności 15% itd. Tymczasem proces starzenia w obu rodzajach oporników jest identyczny. Dlatego poprawna definicja czasu życia powinna uwzględniać przede wszystkim czynniki decydujące o starzeniu, jeżeli wystąpienie któregoś z tych czynników jest przewidywane w czasie pracy podzespołu. Powinna ona oprócz tego wykluczać wpływy dające zmiany odwracalne.

Jako wskaźnik starzenia należy obrać względne zmiany wielkości, która jest charakterystyczna dla podzespołu i to w danych warunkach pracy. Na przykład dla kondensatora mogą to być [32,25] zmiany jego pojemności ($\Delta C/C$), wytrzymałości dielektrycznej, wzrost wartości $\Delta tg\delta/tg\delta$ itp. (rys. 4). Przy uwzględnianiu jednego z powyższych czynników ten sam podzespół wykazuje różne czasy życia.

Trudności w doświadczalnym lub teoretycznym określeniu czasu życia podzespołu rzeczywistego są spowodowane znaczną liczbą czynników wpływających na starzenie i jeszcze większą liczbą możliwych ich kombinacji, trudnością wyboru próbek o przeciętnych właściwościach oraz wpływem warunków, w jakich przebywa próbka, np. czasem i warunkami składowania. Rozkład rzeczywisty czasów życia podzespołów jednego rodzaju powstaje zwykle przez nałożenie się rozkładu Poissona, odwzorowującego możliwości uszkodzeń przypadkowych, oraz rozkładu normalnego lub logarytmiczno-normalnego, określającego przewidywaną część uszkodzeń. Na przykład dla kondensatorów papierowych nasyconych, pracujących w stałej temperaturze można sporządzić [28] wykresy obrazujące procentowy udział L kondensatorów dobrych w funkcji czasu ich życia przy napięciu pracy U jako parametru (rys. 5). Równanie tych krzywych ma kształt wykładniczy $L = KU^n$, przy czym wartość wykładnika n wynosi $4 \div 6$ i jest wyznaczona doświadczalnie w czasie skróconej próby dokonanej przy napięciu podwyższonym. Wykres ten pozwala wywnioskować, że kondensatory o $n = 5$ pracujące przy napięciu znamionowym ($U = U_{zn}$) w temperaturze $T = 90°$ C mają czas życia wynoszący 2,5 roku, podczas gdy podwyższenie napięcia do wartości $U \div 2U_{zn}$ skraca czas życia do około 30 dni.

Powyższy sposób określenia czasu życia obowiązuje tylko w warunkach, w których znaleziono doświadczalnie wartości wykładnika n. Na przykład dodanie składowej zmiennej napięcia, zwłaszcza o powiększonej częstotliwości, skraca wydatnie czas życia, ponieważ powoduje wydzielanie wewnątrz ciepła, którego wpływ nie jest uwzględniony w pomiarze temperatury otoczenia[1]).

W praktyce przebieg czasu życia można uchwycić analogicznie tylko dla niewielu rodzajów podzespołów ze względu na ich bardzo różną pracę. Na przykład właściwości oporników drutowych ustalają się dopiero po upływie pewnego czasu. Właściwości jednych kondensatorów

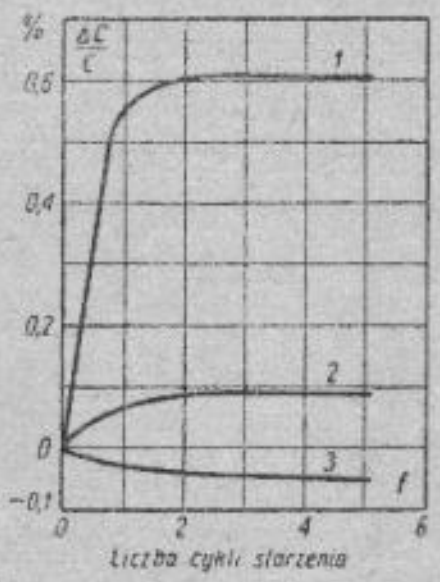
---

[1]) Wpływ temperatury i napięcia pracy uwzględnia np. wzór Rennego [32,33] mający postać następującą:

$$\frac{t_x}{t_{zn}} = \left(K \frac{U_{zn}}{U_x}\right) n$$

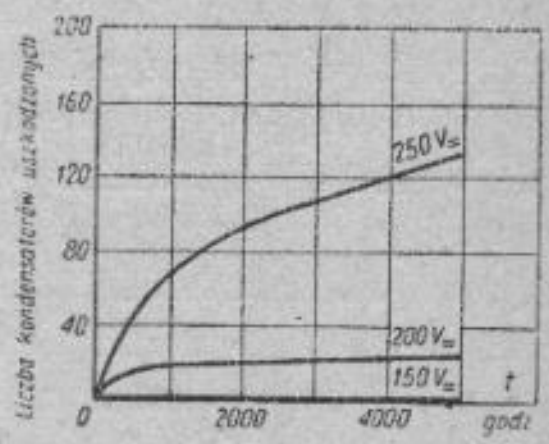
przy czym t_x, t_{zn} — aktualna i znamionowa wartość czasu pracy, U_x, U_{zn} — aktualna i znamionowa wartość napięcia, K — współczynnik uwzględniający podwyższenie temperatury, np. dla $T = 110°C$ $K = 0{,}65$.

ustalają się, a dla innych zaczynają właśnie zmieniać się silnie po upływie określonego czasu (rys. 6 i 7). Podzespoły tego drugiego rodzaju, do których należą między innymi wszelkie lampy, muszą być okresowo wymieniane, natomiast podzespoły pierwszego rodzaju, reprezen-



Rys. 6. Zmiany pojemności C kondensatorów o rozmaitych dielektrykach spowodowane starzeniem sztucznym. Starzenie obejmowało 48-godzinne cykle nagrzewania i chłodzenia w granicach temperatury od −40 do +66°C, przebiegające w następującej kolejności: 8 godz. w temp. 40°C, 16 godz. w temp. 21°C, 8 godz w temp. 66°C, 16 godz w temp. 21°C, według [23]

1 — kondensator z papierem nasyconym jako dielektrykiem; *2* — kondensator z miką jako dielektrykiem; *3* — kondensator z polistyrolem jako dielektrykiem



Rys. 7. Zależność liczby kondensatorów uszkodzonych od czasu próby i wartości doprowadzonego napięcia. Próby przeprowadzano dla kondensatorów o pojemności znamionowej 2 μF przy napięciu pracy 125 V, według [29]

towane na przykład przez oporniki metaliczne, używane są dopiero po dostatecznie długim okresie starzenia naturalnego lub sztucznego.

Odporność na wpływ warunków zewnętrznych, jak zmiany temperatury, wilgotności, przyspieszenia, ciśnienia itp., należy do tej grupy wymagań, które muszą być spełnione przez podzespoły urządzeń elektronicznych, jeżeli mają być one stosowane w takich służbach jak lotnictwo, w pociskach rakietowych oraz jeżeli mają pracować w różnych szerokościach geograficznych.

Wymagania stawiane podzespołom w poszczególnych przypadkach mogą być bardzo trudne do spełnienia (tabl. 2 i 3); wymagają one często zupełnej zmiany konstrukcji lub używanych dotychczas materiałów. Uzyskanie dużej odporności na wpływy warunków zewnętrznych jest zwykle tym trudniejsze, im bardziej skomplikowana jest konstrukcja podzespołów i urządzeń oraz im ostrzejsze są wymagania co do ich miniaturyzacji.

Zagadnienie odporności na wpływ warunków zewnętrznych wymaga przeprowadzenia dla każdej nowej konstrukcji szeregu prac badawczych z wielu dziedzin, a przede wszystkim elektrotechniki, termodyna-

Tablica 2 [47]

Rodzaj urządzenia	Lotnicze	Morskie	Naziemne
Temperatura w °C	praca normalna od −55 do +71 nieniszczenie 85	kabinowe od 0 do 50 pokładowe od −5o do +50	od −40 do +70
Wilgotność w %	od 30 do 95	95	95
Ciśnienie w mm Hg	od 75 do 125 a)	normalne	normalne

a) Odpowiada lotowi na wysokośsi 3000 m.

Tablica 3 [48]

Rodzaj klimatu	Temperatura w °C	Wilgotność w %	Ciśnienie w mm Hg	Uwagi
Umiarkowany normalny	ok. 20	60	760	
Polarny normalny	> −30	70	760	
Tropikalny dżungla	od 30 do 45	do 85 do 90	—	
Tropikalny zmienny	od 25 40	90	—	
Górski zmienny	od −20 do +70	—	200	
Morski zmienny	od −10 do +50	65	—	zawartość soli w powietrzu
Morski wybrzeże	od −10 do +45	60	—	zawartość soli w powietrzu
Pustynny	od −5 do +55	40	—	
Pustynny suchy	od 45 do 85	10	—	s'ały wpływ światła słonecznego

miki, higrometrii i wielu innych. Stanowi ono zatem bardzo obszerną i złożoną problematykę fizyko-techniczną.

Wydzielanie i zużywanie mocy przez podzespoły i wynikające z tego rozmiary aparatury wiąże się ściśle z możliwością zmniejszenia ciężaru i wymiarów aparatury elektronicznej. Wprowadzenie oszczędności zużywanej mocy jest wymagane przede wszystkim w konstrukcji aparatur przenośnych i przewoźnych. Dodatkowo pozwala ono na znaczną oszczedność materiału części nośnej i obudowy urządzenia, co ma duże znaczenie przede wszystkim w wytwórczości sprzętu masowego.

W pierwszym przypadku ciężar aparatury wraz ze źródłami energii jest ograniczony do ciężaru, który może przenieść człowiek i to w najtrudniejszych warunkach spośród spodziewanych, a więc w terenie górzystym, w złych warunkach atmosferycznych itp. W urządzeniach przewoźnych zwiększenie ciężaru aparatury lub mocy przez nią pobieranej wymaga niewspółmiernie dużego zwiększenia martwego ciężaru pojazdu i mocy napędowej. Na przykład w lotnictwie na 1 kG ciężaru aparatury przypada około 10 kG ciężaru samolotu, a każdy dodatkowy 1 kG ciężaru odpowiada zwiększeniu siły pociągowej o 5 kG.

Drugim przypadkiem, w którym zmniejszenie mocy zużywanej przez urządzenie elektroniczne ma decydujące znaczenie, są układy maszyn do liczenia. W tego rodzaju konstrukcjach głównymi motywami stosowania oszczędności mocy zużywanej są: znaczna liczba podzespołów występujących w pojedynczym urządzeniu oraz wymagania dotyczące pewności ich pracy. Przy liczbie podzespołów dochodzącej do setek tysięcy moc zużywana przy zastosowaniu normalnych lamp i podzespołów jest rzędu dziesiątek lub setek kilowatów. Moc tę należy albo odprowadzić intensywnym chłodzeniem, albo też należy liczyć się ze skróceniem czasu życia urządzenia i ze zmniejszeniem jego pewności działania. Te czynniki są decydujące, jeżeli chodzi o sens stosowania elektronowych maszyn do liczenia w służbach ruchomych, a więc przede wszystkim w rakietach, samolotach, artylerii przeciwlotniczej itp. Wówczas wymagania co do ograniczenia ciężaru i objętości kumulują się.

Przybliżone pojęcie o oszczędności materiałów w części nośnej i w obudowie aparatury można uzyskać rozpatrując możliwości zmniejszenia rozmiarów odbiorników radiofonicznych. W przeciętnym odbiorniku, takim jak np. Mazur lub Pionier, ciężar surowców zużytych na wyprodukowanie jednego aparatu wynosi około 12,5 kG. Miniaturyzacja podzespołów, takich jak oporniki i kondensatory elektrolityczne[1]), pozwoliłaby na zmniejszenie rozmiarów o jedną piątą. Odpowiada to zaoszczędzeniu materiału o ciężarze

$$Z = (\text{liczba odbiorników produkowanych rocznie}) \cdot X \cdot (\text{ciężar materiału na jeden odbiornik})$$

przy czym X — oszczędność jednostkowa.

W warunkach produkcyjnych polskich [3] odpowiada to

$$Z = 460000 \cdot 12{,}5 \cdot 0{,}20 = 1100 \text{ ton rocznie}$$

tj. zmniejszeniu dostaw surowców o 55 wagonów dwudziestotonowych w każdym roku.

---

[1]) Wyrabiany obecnie w Polsce kondensator elektrolityczny ma średnicę równą 45 mm przy pojemności 32 μF i wymaganym napięciu pracy. Kondensatory produkcji zagranicznej nie zminiaturyzowane mają średnicę równą 30 mm przy pojemności 2×32 μF w tych samych pozostałych warunkach.

(Dokończenie nastąpi)