





## ZASILACZE TRANSFORMATOROWE BEZPIECZNE

### Część I

Majsterkowicze wykonują rocznie setki, jeśli nie tysiące, rozmaitych urządzeń elektrycznych i elektronicznych takich jak: zasilacze do ładowania akumulatorów, wzmacniacze akustyczne, odbiorniki radiowe i różne inne układy z dziedziny „zrób to sam”, stosując w nich często samodzielnie wykonane transformatory. Niestety, prawie nikt (może z wyjątkiem nielicznych rodziców majsterkowiczów, którzy kierują się raczej instynktem niż wiedzą fachową) nie zdaje sobie sprawy z niebezpieczeństw, na które są narażeni nie tylko majsterkowicze, lecz także osoby postronne, zwłaszcza dzieci, i to zarówno w czasie montażu i eksperymentowania z tymi urządzeniami, jak i podczas ich normalnego użytkowania. Pierwotną przyczyną nieświadomości tych niebezpieczeństw jest niedostateczny poziom nauczania w dziedzinie bezpieczeństwa sprzętu, zwłaszcza elektronicznego, w szkołach zawodowych zasadniczych, średnich i wyższych. Swoją negatywny wkład mają tu również także autorzy książek i publikacji, którzy opisując budowę urządzenia czy transformatora zasilającego, ograniczają się z reguły do zagadnień czysto technicznych i funkcjonalnych.

### Bezpieczeństwo użytkowania

Każde urządzenie elektryczne i elektroniczne, zwłaszcza powszechnego użytku, tj. dostępne dla dowolnego człowieka, powinno być **bezpieczne dla użytkownika** w szczególności ze względu na porażenie elektryczne, podwyższoną temperaturę i pożar. Nie można precyzyjnie zdefiniować ani „**bezpieczeń-**

stwa” ani „**niebezpieczeństwa**”, ponieważ w obydwu przypadkach istotną rolę odgrywa w rzeczywistości nieznany stopień prawdopodobieństwa. Chodniki wzdłuż jezdni zapewniają bezpieczeństwo pieszym, lecz wiele osób idących chodnikami i tak ginie pod kołami samochodów. Napięcie 220 V jest niebezpieczne, lecz ile to już razy nas ono „poraziło”, a mimo to żyjemy. Nie ma w żadnej dziedzinie możliwości zapewnienia bezpieczeństwa absolutnego. Jest natomiast możliwość zwiększenia stopnia prawdopodobieństwa, że nie zaistnieje niebezpieczeństwo, wynikające, ogólnie rzecz biorąc, z postępu cywilizacyjnego. Dawniej np. izolacja w transformatorach mogła mieć wytrzymałość elektryczną tylko 1 kV i żadne tzw. odstępy izolacyjne nie były wymagane. Obecnie wytrzymałość elektryczna izolacji wynosi 3–4,5 kV, a odstępy 6–14 mm. **Proponujemy zatem, aby zapamiętać, że bezpieczeństwo jest wtedy, kiedy stopień prawdopodobieństwa, że zdarzy się niebezpieczeństwo, jest zminimalizowany i odpowiada współczesnemu poziomowi cywilizacyjnemu, odzwierciedlonemu w normach państwowych i przepisach z nimi związanych.**

Normy stawiają wymagania konstrukcyjne, technologiczne, materiałowe i eksploatacyjne oraz wymagają, aby urządzenie przeszło z wynikiem dodatnim próby sprawdzające bezpieczeństwo. Ostatecznie można podać następujące praktyczne definicje **urządzenia bezpiecznego**:

1) bezpieczne jest takie urządzenie, które spełnia **wszystkie** wymagania konstrukcyjne, technologiczne i materiałowe, stawiane mu przez normy państwowe i przepisy z nimi

związane, które przejdzie z wynikiem dodatnim **wszystkie próby** i badania wymagane przez te normy i przepisy, i które jest użytkowane zgodnie z **wszystkimi** wymaganiami tych norm i przepisów.

Podkreślenie słowa „**wszystkie**” jest uzasadnione, ponieważ zdarza się często samowolne zawężanie wymagań norm, uzasadnione pseudowiedzą (np.: powietrze wytrzymałe 20 kV/cm, potrzebując 4 kV, więc dam odstęp 4 mm), powołaniem się na autorytet (np.: ten papier jest używany w transformatorach na 100 000 V!) lub na doświadczenie (np.: Kowalski wykonał transformator tak samo i żyje);

2) urządzeniem **bezpiecznym ze względu na porażenie elektryczne** jest takie urządzenie, które albo nie zawiera części niebezpiecznych przy dotyku – jeżeli norma na to urządzenie tak wymaga, albo jego części niebezpieczne przy dotyku są niedostępne zgodnie z wymaganiami norm i przepisów na to urządzenie.

### Niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego

Urządzeniem niebezpiecznym jest każde takie urządzenie, które nie spełnia warunków zdefiniowanego wyżej urządzenia bezpiecznego. W szczególności niebezpieczne są np.:

1. Wszystkie dostępne dla dotyku bezpośrednio, np. palcem, lub pośrednio, np. drutem, części metalowe połączone elektrycznie (przewodami lub przez dowolny kondensator) z przewodem fazowym domowej sieci oświetleniowej 220 V.
2. Wszystkie dostępne dla dotyku bezpośrednio lub pośrednio części z dowolnego materiału (metalowe i niemetalowe) odizolowane gorzej niż tego wymagają normy i przepisy od części metalowych połączonych elektrycznie z przewodem fazowym domowej sieci oświetleniowej 220 V.
3. Wszystkie transformatory bez obudowy i autotransformatory zasilane z domowej sieci oświetleniowej 220 V.
4. Urządzenia zawierające materiały łatwopalne.
5. Urządzenia przenośne, których uchwyty mają temperaturę większą od wymaganej przez normy i przepisy.
6. Urządzenia w stanie rozłożonym, podłą-

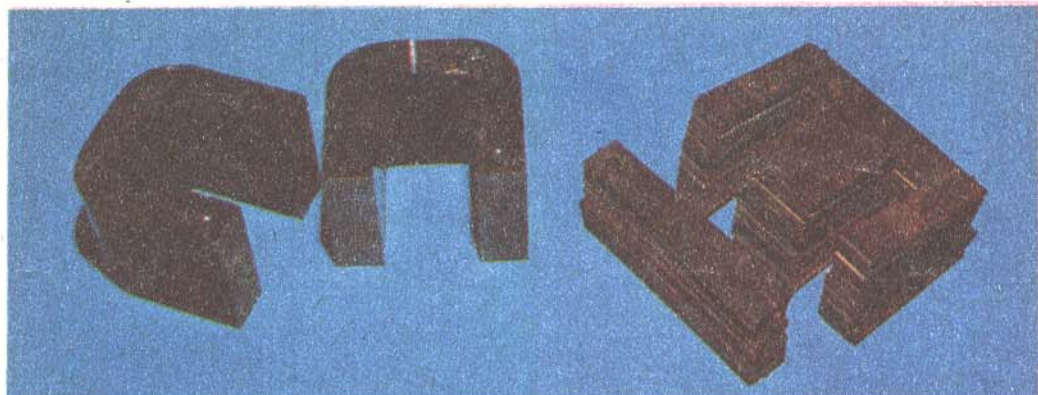
czony „na próbę” do domowej sieci oświetleniowej 220 V.

7. Zabawki zasilane z dowolnego źródła napięciem znamionowym zmiennym, większym od 24 V wartości skutecznej lub napięciem stałym większym od 34 V wartości średniej.
8. Wszystkie części przewodzące, pomiędzy którymi a ziemią, lub dowolną częścią dostępną dla dotyku, występuje trwale znamionowe napięcie zmienne większe od 24 V wartości skutecznej lub napięcie stałe większe od 34 V wartości szczytowej.
9. Wszystkie części przewodzące, pomiędzy którymi a ziemią lub dowolną inną częścią dostępną dla dotyku występuje do-raznie, okresowo lub jednorazowo napięcie o wartości szczytowej większej niż 47 V. Dotyczy to zwłaszcza naładowanych kondensatorów i obwodów impulsowych.

Kwestią często dyskutowaną wśród amatorów jest problem, co jest niebezpieczne – prąd czy napięcie? Jeżeli prąd – to ile amperów, jeżeli napięcie – to ile woltów? Niestety nie jest to dokładnie rozstrzygnięte. Wiadomo jedynie, że niebezpieczeństwo jest uwikłaną funkcją m.in. następujących czynników: stan fizjologiczny człowieka, rodzaj organów, przez które płynie prąd i na których występuje napięcie, wartość, kształt, częstotliwość i czas przepływu prądu przez te organy.

Niebezpieczeństwo może być także pośrednie, a mianowicie spowodowane nieszkodliwym fizjologicznie szokiem prądowym, w wyniku którego np. spada się z drabiny.

Aby porażenie elektryczne mogło się zdarzyć, muszą zetknąć się ze źródłem napięcia, pośrednio lub bezpośrednio, co najmniej dwa punkty ciała: jeden punkt z jednym biegunem, drugi punkt – z drugim biegunem źródła napięcia. Jeden biegun domowej sieci oświetleniowej jest uziemiony. Przyjmuje się, że **zawsze** człowiek dotyka jakąś częścią ciała do ziemi. Istotnie, nawet jeżeli stoi się w domu na dywanie leżącym na parkiecie to nie można wykluczyć, że pod dywanem jest kałuża wody z ciekącego właśnie kolanka instalacji wodociągowej. Wtedy wystarczy jeden błąd, tj. dotknięcie się do fazy, aby nastąpiło porażenie elektryczne.



Dwa podstawowe typy rdzeni transformatorów małej mocy: rdzeń typu EI i rdzeń zwijany

Są takie normy, wg których wartość napięcia wtórnego transformatora nie jest oceniana (do pewnej jednak wysokości, lecz większej od 220 V) ze względu na bezpieczeństwo (np. PN-81/T-06250). Nie jest zbyt jasne, dlaczego czasem uważa się, że napięcie wtórne o wartości niebezpiecznej np. 220 V jest bezpieczne. Być może dlatego, że wtedy do porażenia elektrycznego konieczne są dwa równoczesne błędy, np. jeden błąd – dotykamy jedną ręką jednego bieguna takiego źródła napięcia, a drugą ręką – drugiego bieguna, co jest drugim błędem.

Są jednak i takie normy (np. PN-75/E-08105), które w niektórych rodzajach urządzeń bezpiecznych zabraniają stosowania napięć zmiennych większych np. od 24 V, jeżeli nawet pochodzą one z transformatora ochronnego. Według tych norm urządzenie powinno być zatem bezpieczne nawet po popełnieniu dwóch błędów równocześnie.

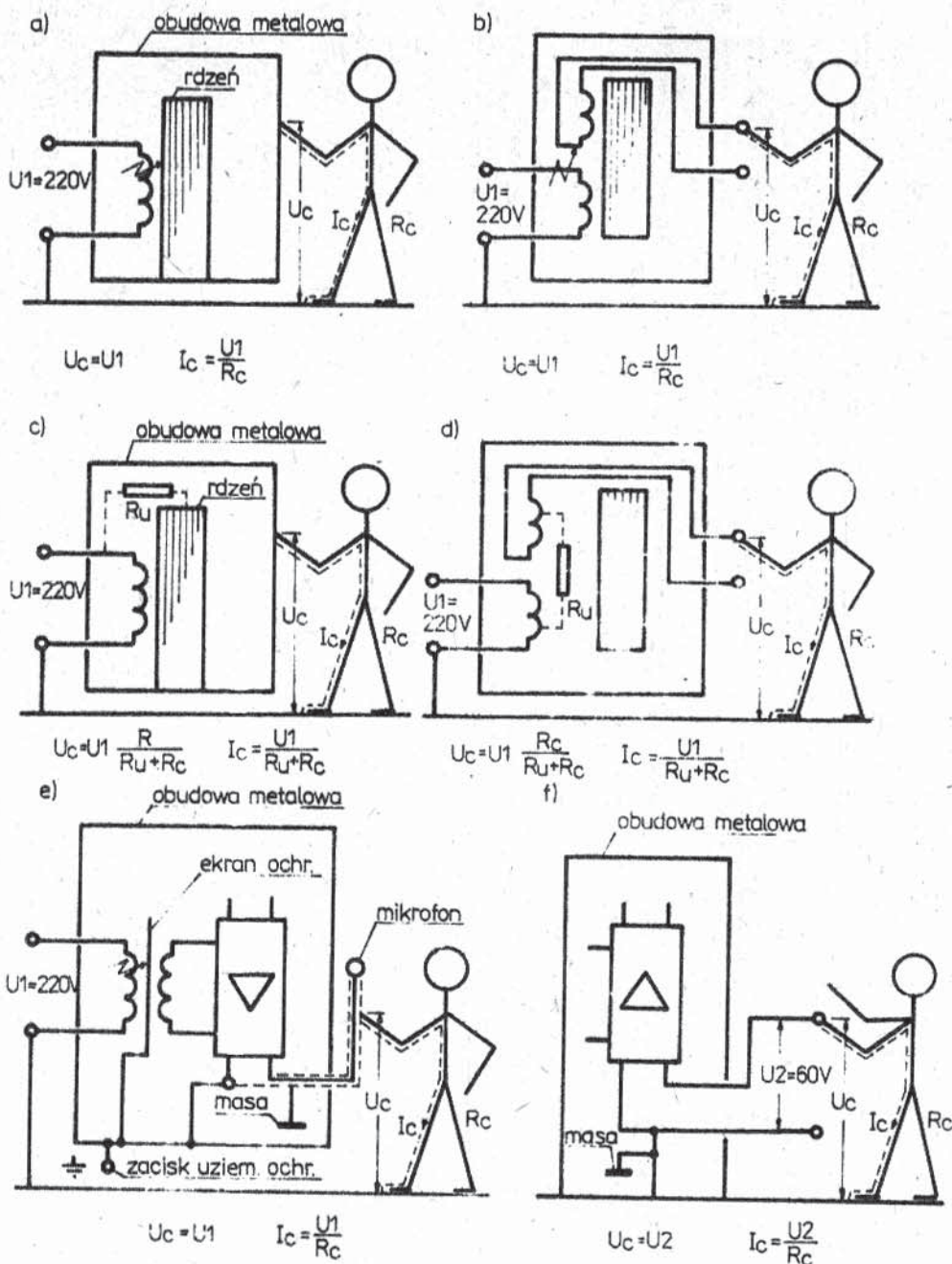
W ogóle zresztą wymagania stawiane przez różne normy na bezpieczeństwo są, mówiąc ogólnie, rozmaite, czasem wręcz niejednoznaczne i niezrozumiałe nawet przez profesjonalistów. Autor niniejszego artykułu przyjął więc zasadę zalecania surowszych wymagań, jeżeli w normach miał do dyspozycji kilka różnych wymagań, lecz kontrowersyjnych pod względem technicznym i logicznym lub nieprecyzyjnie opisanych.

Na rys. 1 pokazano kilka przykładów sytuacji groźących porażeniem elektrycznym.

### Zakres opracowania

Jak to już powiedziano wcześniej – urządzenie jest bezpieczne wtedy, gdy spełnia wymagania norm i przepisów związanych w zakresie konstrukcji, technologii, materiałów, prób i eksploatacji. Omówienie bezpieczeństwa wszystkich urządzeń z dziedziny „zrób to sam” wymagałoby przepisania wszystkich kilkudziesięciu norm i przepisów związanych z nimi, ponieważ norm i przepisów nie można streszczać. Ograniczono się zatem, z konieczności, w zasadzie tylko do transformatorów zasilających, które są głównym (lecz nie jedynym!) elementem decydującym o bezpieczeństwie użytkowania urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Spośród wielu odmian transformatorów wybrano najczęściej stosowane, a mianowicie:

1. zasilające sprzęt elektroniczny powszechnego użytku wg PN-81/T-06250, „Sprzęt elektroniczny powszechnego użytku. Bezpieczeństwo użytkowania. Wymagania i badania”, obejmujący następujące urządzenia: radia, telewizory, wzmacniacze, magnetofony, projektory filmów dźwiękowych, zasilacze zastępujące baterie, wzmacniacze antenowe, urządzenia do przewodowego zdalnego sterowania,
2. zasilające zespoły prostownikowe bezpieczne wg PN-74/E-06074, „Zespoły prostownikowe bezpieczne. Ogólne wymagania i badania” oraz KG-84/BBJ-



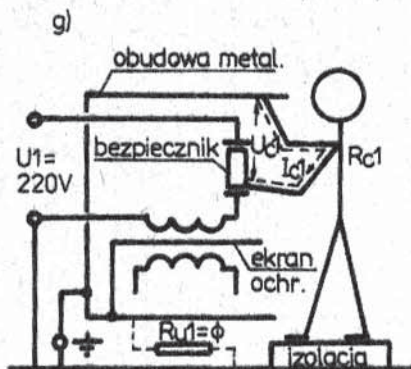
Rys. 1. Przykłady porażen elektrycznych i obwodów niebezpiecznych.

- Przebite izolacji pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a rdzeniem połączonym elektrycznie z metalową obudową.
- Przebite izolacji pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a uzwojeniem wtórnym.
- Zbyt mała oporność  $R_u$  izolacji pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a rdzeniem połączonym elektrycznie z metalową obudową.

d) Zbyt mała oporność  $R_u$  izolacji pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a uzwojeniem wtórnym.

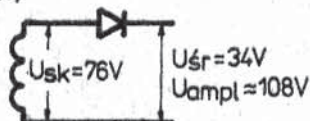
e) Przebite izolacji pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a ekranem ochronnym i jednocześnie użytkownik zapomniiał uzemieć metalową obudowę, a uzziemienie funkcjonalne (masa) jest połączone elektrycznie z obudową.

f) Porażenie elektryczne wskutek niebezpiecznego napięcia na wyjściu urządzenia w uzziemionej obudowie, do której podłączono masę.

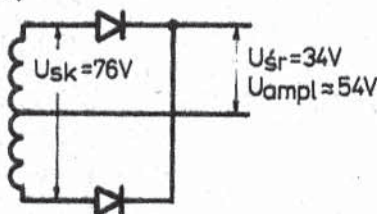


$$U_{c1} = U_1 \quad I_{c1} = \frac{U_1}{R_{c1}}$$

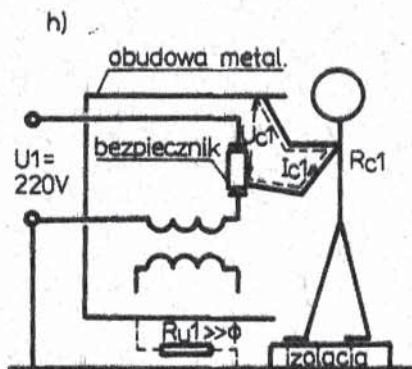
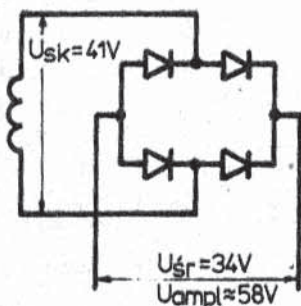
i.1)



j.1)

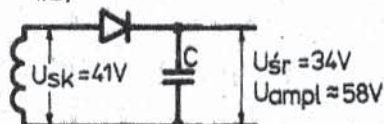


k)

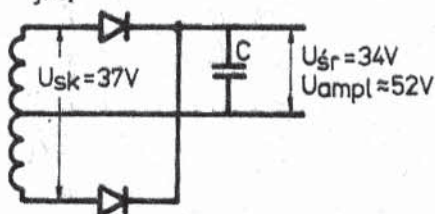


$$U_{c1} = U_1 \frac{R_{c1}}{R_{u1} + R_{c1}} \quad I_{c1} = \frac{U_1}{R_{u1} + R_{c1}}$$

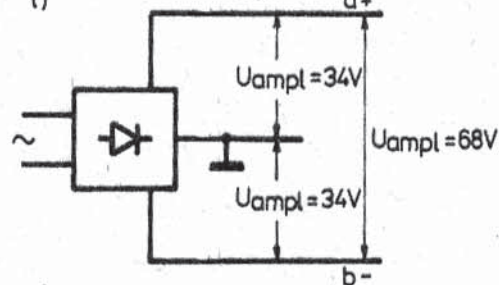
i.2)



j.2)



l)



g) Transformator z izolacją klasy I. Ekran ochronny jest podłączony do metalowej obudowy i dobrze uziemiony. Szanse na przeżycie – znikome, ponieważ  $U_{c1} = 220\text{ V}$ .

h) Transformator z izolacją klasy II. Obudowa metalowa nie jest uziemiona. Szanse na przeżycie – znacznie większe niż w przykładzie g), ponieważ  $U_{c1} < U_1$  (jeżeli oporność izolacji obudowa – ziemia  $R_{u1} > \emptyset$ ).

j,k) Obwody niebezpieczne pomimo pozornie bezpiecznej wartości średniej napięcia stałego na wyjściu pro-

stownika. Obwody stają się bezpieczne pod następującymi warunkami:

i.1 –  $U_{sk} \leq 24\text{ V}$ ,  $U_{sr} \leq \sim 11\text{ V}$

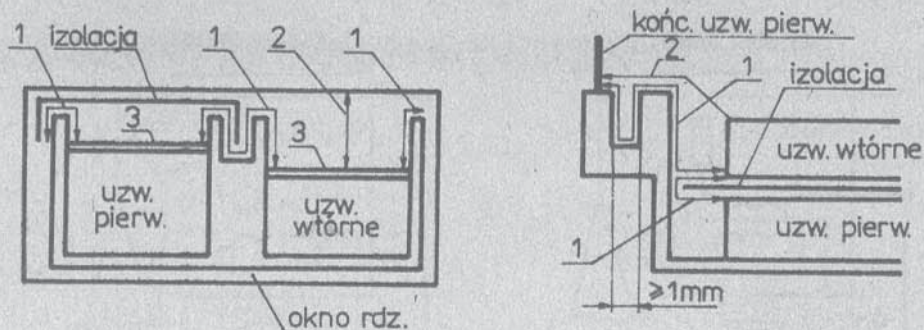
i.2 –  $U_{sk} \leq 24\text{ V}$ ,  $U_{sr} \leq \sim 20\text{ V}$

j.1 –  $U_{sk} \leq 24\text{ V}$ ,  $U_{sr} \leq \sim 11\text{ V}$

j.2 –  $U_{sk} \leq 24\text{ V}$ ,  $U_{sr} \leq \sim 22\text{ V}$

k –  $U_{sk} \leq 24\text{ V}$ ,  $U_{sr} \leq \sim 20\text{ V}$

l) Obwód pozornie bezpieczny: do masy napięcie jest bezpieczne lecz pomiędzy biegunami a i b występuje napięcie niebezpieczne.



Rys. 2. Przykładowe odległości po izolacji i odstępy izolacyjne. 1 – odległość po izolacji, 2 – odstęp izolacyjny, 3 – zabezpieczenie przed rozsypaniem się uzwojenia

5806, „Kryteria jakościowe grupowe” wydane przez SEP w 1984 r.,

3. transformatory do dzwonek i zabawek wg PN-75/E-08105, „Urządzenia elektroenergetyczne. Transformatory ochronne. Wspólne wymagania i badania”.

Przyjęto, że transformatory są suche, jednofazowe, zasilane w zasadzie z domowej sieci oświetleniowej 220 V, która ma uziemiony lub zerowany jeden z biegunów.

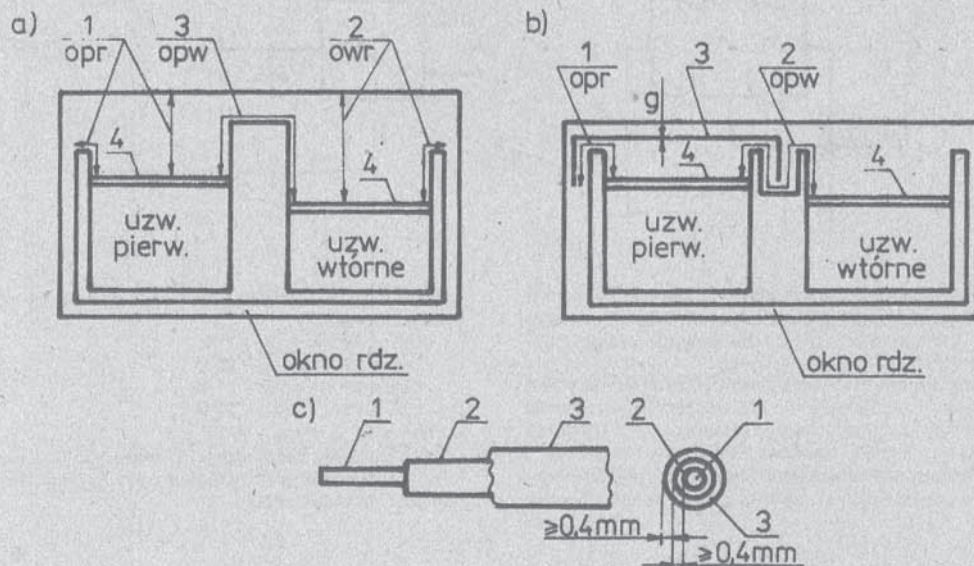
Pominięto, dopuszczone przez niektóre normy, transformatory z tzw. I klasą izolacji, w których stosuje się ekranowanie ochronne i uziemienie ochronne, ponieważ mogą one być bardzo niebezpieczne (rys. 1 g). Omówiono zatem tylko transformatory klasy II, nie przystosowane do uziemienia ochronnego, które zapewniają bezpieczeństwo użytkownika w wyniku zastosowania w nich izolacji podwójnej lub wzmocnionej.

W tabl. I podano zakres danych znamiono-

Rys. 3. Przykłady izolacji podstawowej, dodatkowej, podwójnej i wzmocnionej wg PN-81/T-06250:

- a) rdzeń niebezpieczny przy dotyku  
 1 – izolacja podstawowa, opr 3 mm  
 2 – izolacja dodatkowa, opr 3 mm  
 3 – izolacja wzmocniona, opr 6 mm  
 4 – zabezpieczenie przed rozsypaniem się uzwojenia.
- b) rdzeń bezpieczny przy dotyku  
 1 – izolacja wzmocniona, opr 6 mm  
 2 – izolacja wzmocniona, opr 6 mm  
 3 – izolacja wzmocniona (jeżeli wypraska, to g 0,4 mm)

- 4 – zabezpieczenie przed rozsypaniem się uzwojenia.
- c) izolacja podwójna przewodu wykonana z rurek PCW  
 1 – żyła przewodu  
 2 – izolacja podstawowa } izolacja podwójna  
 3 – izolacja dodatkowa }



wych transformatorów opisanych w niniejszym artykule.

W artykule pominięto sposoby zapewnienia bezpieczeństwa, jeżeli wewnątrz urządzeń znajdują się źródła napięć zmiennych przekraczających 24 V wartości skutecznej i napięć stałych przekraczających 34 V wartości szczytowej (np. telewizory, oscyloskopy, wzmacniacze lampowe, flesze z lampą wyładowczą itp.). Autor uważa, że takich urządzeń po prostu nie należy po amatorsku ani wykonywać, ani ich przerabiać i remontować.

Wiemy już, że nie wolno traktować transformatora i urządzenia nawet najlepiej skonstruowanego i wykonanego za bezpieczne, jeżeli to bezpieczeństwo nie zostanie potwierdzone przez dodatni wynik prób wykonanych zgodnie z normą i przepisami właściwymi dla rodzaju danego urządzenia. Artykuł ten jest zatem jedynie „przepisem” na takie skonstruowanie i wykonanie transformatora, żeby prawdopodobieństwo uzyskania dodatnich wyników prób bezpieczeństwa użytkownika było zmaksymalizowane.

Artykuł nie obejmuje wszystkich wymagań znormalizowanych (pomija np. dopuszczalne wartości prądów i strat jałowych, zmienność napięcia, wpływ skrajnych warunków środowiskowych, warunki wykonania prób) i nie wyjaśnia jak postępować we wszystkich możliwych przypadkach szczególnych. Autor zaleca unikanie przypadków szczególnych, a kiedy już są one nie do uniknięcia – zastosowanie zasady maksymalizacji wymagań: spośród możliwych wymagań należy przyjąć najwyższe.

Rozpatrzmy przykład zabawki wyposażonej w magnetofon, akumulatory i zasilacz do ich ładowania, flesz i telewizor. Z PN-75/E-08105 wynika pośrednio, chociaż to nie jest tam napisane, że w zabawce nie wolno stosować źródeł napięcia zmiennego ponad 24 V i stałego ponad 34 V ( $\sqrt{2} \cdot 24$ ). Stosując tę zasadę musimy dojść do wniosku, że w zabawce nie można zastosować akumulatora na napięcie znamionowe i ładowania ponad 34 V (choć PN-74/E-06074 dopuszcza nawet 60 V) i niczego, co wymaga napięć większych, tj. flesza i telewizora.

**Tablica I.**  
Dane znamionowe transformatorów opisanych w niniejszym artykule

Norma	Moc znamionowa VA	Znam. nap. pierwotne V	Znam. nap. wtórne V	Maks. dop. chwilowe nap. wtórne V
PN-81/T-06250	brak ograniczenia	$\leq 220^3$	brak ograniczenia w PN	brak ograniczenia w PN
PN-74/E-06074	brak ograniczenia	$\leq 220^3$	$\leq 48^1$ $\leq 34$	60 <sup>1)</sup> 34
PN-75/E-08105	$\leq 200$	$\leq 220^3$	$\leq 24$	33 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Wartość średnia napięcia wyprostowanego. Nad kreską – wg PN, pod kreską – opisane w artykule.

<sup>2)</sup> wartość skuteczna.

<sup>3)</sup> dopuszczalne maksymalne – 242 V

### Najważniejsze definicje

Zanim przejdziemy do szczegółów, konieczne jest uzgodnienie definicji najważniejszych pojęć.

- Część dostępna lub dostępna dla dotyku** – część, która może być dotknięta palcem lub przewodnikiem (drułem, łańcuszkiem itp.) o średnicy 0,5 mm. Każdy obszar części nieprzewodzącej dostępny dla dotyku jest uważany za pokryty metalem (np. powierzchnia tzw. sznura sieciowego, drewniana obudowa urządzenia, wtyczki, gałki, stoliki, na których urządzenia stoją itp.).
- Ziemia** – w przybliżeniu jest to każda część dostępna w naszym otoczeniu, np. kran, kaloryfer, podłoga, ściana, przewód uziemiający, powierzchnia ziemi itp., którą traktujemy jako metal połączony elektrycznie bezoporowo z biegunem zerowym domowej sieci oświetleniowej i z tzw. „masą”, jeżeli urządzenie ma „masę” dostępną dla dotyku.
- Część niebezpieczna przy dotyku** – część przewodząca lub nieprzewodząca, której dotknięcie może spowodować porażenie elektryczne. W szczególności jest to każda część przewodząca lub takie miejsce części nieprzewodzącej, pomiędzy którą a ziemią lub dowolną inną częścią dostępną występuje trwałe napięcie stałe lub zmienne o znamionowej wartości szczytowej większej od 34 V (przy sinusoidzie – 24 V wartości skutecznej). Jest to także



każda taka część przewodząca lub także miejsce części nieprzewodzącej, pomiędzy którą a dowolną częścią niebezpieczną przy dotyku jest izolacja gorsza niż wymagają tego normy i przepisy szczegółowe.

Do tej definicji konieczny jest komentarz. Wg PN-81/T-06250 „część niebezpieczna przy dotyku” jest to po prostu „część, której dotknięcie może spowodować porażenie elektryczne”, a „sieć zasilania” – jest to „każde źródło zasilania o wartości szczytowej napięcia większej niż 34 V”, a więc np. akumulator 48 V i tak zdefiniowana sieć zasilania jest niebezpieczna przy dotyku, jakby to logicznie wynikało z treści całej normy. Równocześnie norma ta traktuje wszystkie obwody wtórne transformatora jako bezpieczne, niezależnie od wartości napięć w tych obwodach.

Wg PN-74/E-06074 obwód ładowania akumulatorów o wartości średniej napięcia nawet do 60 V (tabl. I) jest bezpieczny, a więc nie jest niebezpieczny przy dotyku.

Wg PN-75/E-08105 obwód wtórny transformatora zasilającego zabawki o znamionowej wartości skutecznej napięcia większej od 24 V jest niebezpieczny przy dotyku.

Normy nie uzasadniają dlaczego sieć zasilania o napięciu np. 48 V może być równocześnie bezpieczna i niebezpieczna przy dotyku i dlaczego obwód wtórny transformatora na napięcie np. 48 V może być równocześnie bezpieczny i niebezpieczny przy dotyku. Autor artykułu przyjął, że **dopuszczalne znamionowe napięcie bezpieczne skuteczne wynosi 24 V, a szczytowe – 34 V.**

4. **Izolacja** – jest to materiał wymieniony w rozdziale „Materiały izolacyjne zabronione i zalecane” podpunkt „Materiały dopuszczone do zastosowania”. Wszystkie inne materiały należy traktować jako materiały przewodzące.
5. **Odległość po izolacji** – najkrótsza odległość między dwiema przewodzącymi częściami mierzona po powierzchni izolacji (rys. 2). Obwód żeber niższych od 2 mm i powierzchnie rowków szerokości lub głębokości mniejszej od 1 mm pomija się.
6. **Odstęp izolacyjny, odstęp w powietrzu** – najkrótsza odległość między dwiema przewodzącymi częściami mierzona w powietrzu (rys. 2).

#### Uwagi:

- W razie wątpliwości czy mamy do czynienia z odległością po izolacji czy z odstępem izolacyjnym należy przyjąć, że mamy do czynienia z odległością po izolacji
  - W izolacji zapewniającej bezpieczeństwo odstęp izolacyjny mniejszy od 1 mm należy traktować jak metal.
7. **Sieć zasilania** – każde źródło zasilania o wartości szczytowej napięcia większej niż 34 V (24 V wartości skutecznej przy sinusoidzie). W artykule – domowa sieć oświetleniowa 220 V z uziemionym lub zerowanym jednym biegunem.
  8. **Obwód zasilania, obwód pierwotny, strona pierwotna** – części przewodzące połączone bezpośrednio np. przewodem lub pośrednio, np. przez kondensator, chwilowo lub trwale z siecią zasilania.
  9. **Obwód wtórny, strona wtórna** – części przewodzące połączone bezpośrednio np. przewodem lub pośrednio np. przez kondensator lub transformator, chwilowo lub trwale z uzwojeniami wtórnymi transformatora sieciowego.
  10. **Izolacja robocza** – izolacja zapewniająca poprawne funkcjonowanie urządzenia, np. emalia na przewodach nawojowych.
  11. **Izolacja podstawowa** – izolacja części niebezpiecznych przy dotyku, zapewniająca podstawowe zabezpieczenie przed porażeniem elektrycznym.
  12. **Izolacja dodatkowa** – izolacja niezależna od izolacji podstawowej, użyta dodatkowo w celu zapewnienia ochrony przed porażeniem elektrycznym w przypadku uszkodzenia izolacji podstawowej.
  13. **Izolacja podwójna** – izolacja składająca się z izolacji podstawowej i dodatkowej (rys. 3).
  14. **Izolacja wzmocniona** – pojedynczy system izolacji części niebezpiecznych dla dotyku, który zapewnia taki sam stopień ochrony przed porażeniem elektrycznym, jak izolacja podwójna (rys. 3).
  15. **Urządzenie klasy II, klasa ochronności II, transformator klasy II** – urządzenie lub transformator, w którym ochronę przed porażeniem elektrycznym uzyskuje się przez zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej, i który nie jest przystosowany do połączenia jego dostępnych części metalowych z przewodem ochronnym.

Andrzej Przytuła