

ZASILACZE TRANSFORMATOROWE BEZPIECZNE

Część IV

Zasilacze do ładowania akumulatorów kwasowych – projekt ideowy

Zasilacze do ładowania kwasowych akumulatorów rozruchowych powinny zapewnić samoczynne ładowanie akumulatorów przy ściśle określonych charakterystykach zewnętrznych, tj. napięciowo-prądowych. Wg KG – 84/BBJ – 5806 można stosować charakterystykę typu „W” – malejącego prądu lub typu „I” – niezmiennego prądu.

Przy charakterystyce typu „W” napięcie i prąd ładowania zmienia się następująco:

- $2,0 \pm 0,05$ V na ogniwo przy prądzie I_n ,
- $2,4 \pm 0,05$ V na ogniwo przy prądzie $0,5 I_n$,
- $2,65 \pm 0,05$ V na ogniwo przy prądzie $0,25 I_n$

Przy charakterystyce typu „I” napięcie ładowania wynosi $2,0 \div 2,7$ V na ogniwo przy prądzie $I_n \pm 10\%$.

I_n jest znamionowym prądem wyprostowanym zasilacza. Prąd ten nie może przekroczyć wartości dopuszczalnej I_{dop} dla danego akumulatora, która wynosi wg KG – 84/BBJ – 5806:

– dla charakterystyki typu „W” – $I_{dop} = 0,15 \cdot Q_n$

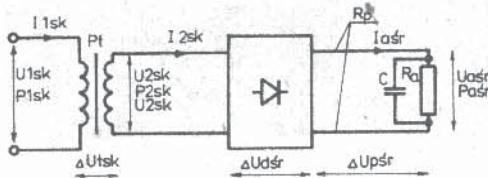
– dla charakterystyki typu „I” – $I_{dop} = 0,05 Q_n$

gdzie Q_n – znamionowa pojemność akumulatora, Ah.

(Ogólnie: $I_{dop} = x \cdot Q_n$, gdzie x – współczynnik podany w fabrycznej instrukcji eksploatacji akumulatora).

Zaprojektowanie zasilacza dokładnie do charakterystyki typu „W” lub „I” nie jest proste. Charakterystyka typu „I” wymaga ręcznej lub automatycznej stabilizacji prądu ładowania. Charakterystyka typu „W” wymaga transformatora o ściśle określonym nachyleniu jego charakterystyki zewnętrznej, większym niż w normalnych transformatorach zasilających.

W praktyce amatorskiej można uzyskać wystarczająco dobre rezultaty, jeżeli założyć się, że początkowy prąd ładowania będzie



Rys. 11. Schemat zastępczy zasilacza przy ładowaniu akumulatora

$\leq I_{dop}$, a przy końcu ładowania amplituda napięcia wtórnego transformatora będzie nie mniejsza od (2,7 V razy liczba ogniów) plus spadek napięcia na prostowniku i przewodach zasilających akumulator.

Przyjmujemy schemat zasilacza przy ładowaniu akumulatora, jak na rys. 11.

R_a, C – reprezentują obciążenie zasilacza akumulatorem.

Przyjmuje się, że $C = I_n \cdot 10000 \mu F$,

$U_{aśr}$ – wartość średnia nap. ładowania, V,

$I_{aśr}$ – wartość średnia prądu ładowania, A,

$P_{aśr}$ – wartość średnia mocy ładowania, W

$$P_{aśr} = U_{aśr} \cdot I_{aśr}$$

$\Delta U_{pśr}$ – wartość średnia spadku napięcia na przewodach, V

$$\Delta U_{pśr} = R_p \cdot I_{aśr}$$

gdzie: R_p – rezystencja przewodów, Ω

$$R_p = \frac{2 \cdot l}{56 \cdot s} \quad (\text{dla przewodów miedzianych})$$

gdzie l – długość podwójnego przewodu (tj. odległość od prostownika do akumulatora), m

s – przekrój pojedynczego przewodu, mm^2

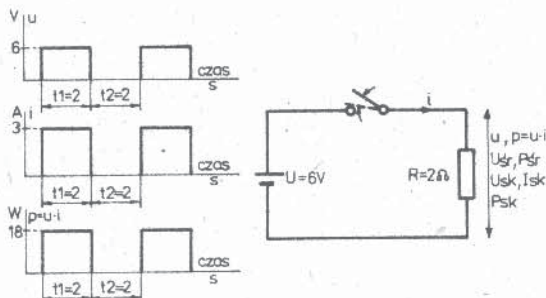
$\Delta U_{dśr}$ – wartość średnia spadku napięcia na prostowniku, V

$$\Delta U_{dśr} = n \cdot U_d$$

gdzie: n – liczba diod włączonych szeregowo

U_d – znamionowy spadek napięcia na jednej

Rys. 12. Rysunek do wyjaśnienia znaczenia pojęć „wartość średnia”, „wartość skuteczna” oraz „moc”



diodzie w kierunku przewodzenia, V (dla diody germanowej $U_d \approx 0,9$ V, dla krzemowej $U_d \approx 1,2$ V)

ΔU_{tsk} – wartość skuteczna spadku napięcia na transformatorze, V

I_{2sk} – wartość skuteczna prądu w uzwojeniu wtórnym transformatora przy $I_{aśr}, A$,

U_{2sk} – wartość skuteczna napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora przy I_{2sk}, V ,
 I_{1sk} – wartość skuteczna prądu w uzwojeniu pierwotnym transformatora przy I_{2sk}, A ,

U_{1sk} – wartość skuteczna napięcia zasilania, V

P_{2sk} – znamionowa moc wtórna transformatora, VA,

$$P_{2sk} = U_{2sk} \cdot I_{2sk}$$

P_{1sk} – znamionowa moc pierwotna transformatora, VA,

$$P_{1sk} = U_{1sk} \cdot I_{1sk}$$

P_t – znamionowa moc cieplna transformatora, VA

Konieczne jest wyjaśnienie pojęć „wartość średnia”, „wartość skuteczna” oraz „moc”, ponieważ ich znaczenie bywa zwykle opacznie rozumiane, a jest ono potrzebne do poprawnego zaprojektowania zasilacza.

Wyobraźmy sobie przykładowo obwód zasilany okresowo przez baterię o napięciu szczytowym 6 V, jak na rys. 12.

Wartości średnie definiuje się następująco:

$$U_{śr} = \frac{1}{t_1+t_2} \int_0^{t_1+t_2} U \cdot dt = \frac{U \cdot t_1 + 0 \cdot t_2}{t_1+t_2} = \frac{6 \cdot 2 + 0 \cdot 2}{2+2} = 3 \text{ V}$$

$$I_{śr} = \frac{1}{t_1+t_2} \int_0^{t_1+t_2} I \cdot dt = \frac{I}{t_1+t_2} \cdot (t_1 + \phi \cdot t_2) = \frac{3 \cdot 2 + 0 \cdot 2}{2+2} = 1,5 \text{ A}$$

Przyjmuje się, że $P_{śr} = U_{śr} \cdot I_{śr} = 3 \cdot 1,5 = 4,5$ W

Jeżeli R jest np. grzejnikiem, to czy rzeczywiście wydziela się na nim moc średnia 4,5 W? Czy rzeczywiście moc dostarczona przez baterię wynosi $P_b = U \cdot I_{śr} = 6 \cdot 1,5 = 9$ W? Z tego by wynikało, że sprawność takiego układu wynosi

$$\eta = \frac{4,5 \text{ W}}{9 \text{ W}} = 0,5$$

gdzie się zatem podzieliło 4,5 W? Jak wyjaśnić ten paradoks?

Wszystkie 3 powyższe definicje są poprawne, lecz $P_{śr} = U_{śr} \cdot I_{śr}$ jest wielkością nie rzeczywistą, lecz matematyczną.

Tablica IV. Parametry zasilaczy prostownikowych

| Parametr | | | | | |
|--|------------------------|----------|--|---|---|
| | | 1 | 1 | 2 | |
| Liczba diód półszereg. | n | — | 1 | 1 | 2 |
| Wartość średnia prądu wyprostowanego | $I_{a\bar{s}r}$ | A | $I_{a\bar{s}r} = I_n$ | $I_{a\bar{s}r} = I_n$ | $I_{a\bar{s}r} = I_n$ |
| Wartość średnia napięcia wyprostowanego | $U_{a\bar{s}r}$ | V | $U_{a\bar{s}r}$ | $U_{a\bar{s}r}$ | $U_{a\bar{s}r}$ |
| Umowna średnia moc użyteczna | $P_{a\bar{s}r}$ | W | $U_{a\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ | $U_{a\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ | $U_{a\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ |
| Średni prąd diody | $I_{d\bar{s}r}$ | A | $I_{a\bar{s}r}$ | $0,5 \cdot I_{a\bar{s}r}$ | $0,5 \cdot I_{a\bar{s}r}$ |
| Amplituda napięcia wstecznej diody | $U_{r\max}$ | V | * $3 \cdot U_{a\bar{s}r}$ | * $3 \cdot U_{a\bar{s}r}$ | * $1,5 \cdot U_{a\bar{s}r}$ |
| Amplituda prądu diody | $I_{d\max}$ | A | * $(5 \div 7) I_{a\bar{s}r}$ | * $(3 \div 3,5) I_{a\bar{s}r}$ | * $(3 \div 3,5) I_{a\bar{s}r}$ |
| Wartość śred. spadku napięcia na diodzie | U_d | V | Zależy od $I_{d\bar{s}r}$ oraz od rodzaju półprzewodnika (german $\sim 0,9V$, krzem $\sim 1,2V$) | | |
| Spadek napięcia na prostowniku | $\Delta U_{d\bar{s}r}$ | V | $n \cdot U_d$ | | |
| Rezystancja przewodów | R_p | Ω | $\frac{2 \cdot l}{56 \cdot s} \cdot l - \text{odległość obciążenia od prostownika, m}$ $s - \text{przekrój pojedynczego przewodu Cu, mm}^2$ | | |
| Spadek napięcia na przewodach | $\Delta U_{p\bar{s}r}$ | V | $R_p \cdot I_{a\bar{s}r}$ | | |
| Całkowity spadek napięcia wyprostow. | $\Delta U_{w\bar{s}r}$ | V | $\Delta U_{d\bar{s}r} + \Delta U_{p\bar{s}r}$ | | |
| Wart. śred. nap. wypr. przed prostownikiem | $U_{2\bar{s}r}$ | V | $U_{a\bar{s}r} + \Delta U_{w\bar{s}r}$ | | |
| Wart. skuteczna nap. wtórnego transform. | U_{2sk} | V | * $(1 \div 1,2) U_{2\bar{s}r}$ C=0: $2,22 \cdot U_{2\bar{s}r}$ | * $(1 \div 1,1) U_{2\bar{s}r}$ C=0: $1,11 \cdot U_{2\bar{s}r}$ | * $(1 \div 1,2) U_{2\bar{s}r}$ C=0: $1,11 \cdot U_{2\bar{s}r}$ |
| Wart. skuteczna prądu w uzw.wt. transform. | I_{2sk} | A | * $(2 \div 2,2) I_{a\bar{s}r}$ C=0: $1,57 \cdot I_{a\bar{s}r}$ | * $(1 \div 1,2) I_{a\bar{s}r}$ C=0: $0,79 \cdot I_{a\bar{s}r}$ | * $(1,4 \div 1,7) I_{a\bar{s}r}$ C=0: $1,11 \cdot I_{a\bar{s}r}$ |
| Wart. skuteczna prądu w uzw. pierw. transform. | I_{1sk} | A | * $\frac{z_2}{z_1} (1,6 \div 1,9) I_{a\bar{s}r}$ | * $\frac{z_2}{z_1} (1,2 \div 1,6) I_{a\bar{s}r}$ | * $\frac{z_2}{z_1} (1,2 \div 1,6) I_{a\bar{s}r}$ |
| Przybliżona moc cieplna transform. | P_t | VA | $2,3 \cdot U_{2\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ C=0: $3,1 \cdot U_{2\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ | $2,2 \cdot U_{2\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ C=0: $1,5 \cdot U_{2\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ | $1,95 \cdot U_{2\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ C=0: $1,23 \cdot U_{2\bar{s}r} \cdot I_{a\bar{s}r}$ |

Rzeczywista moc średnia wydzielona na rezystorze R jest to moc cieplna wynikająca z definicji energetycznej (stosunek pracy do czasu), a mianowicie:

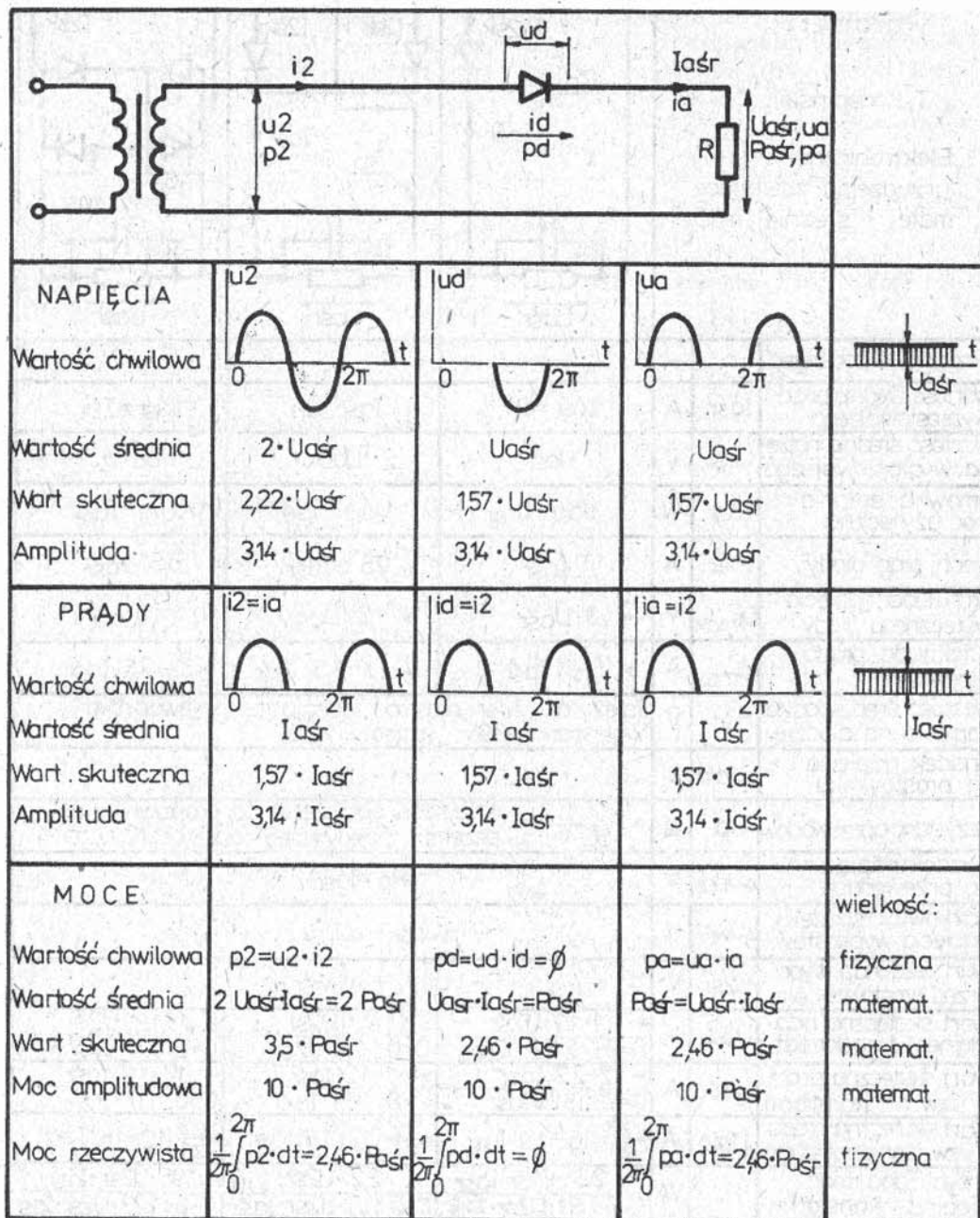
$$P_2 = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot i \cdot dt = \frac{U \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i \cdot dt}{1} = \frac{18 \cdot 2 \cdot \phi}{4} = 9 \text{ W}$$

Rzeczywista moc dostarczona przez baterię wynosi:

$$P_2 = \frac{U_R \cdot U_{11} \cdot U_{\phi 12}}{T_1 + T_2} = \frac{6 \cdot \frac{6}{2} \cdot 6 \cdot \phi \cdot 2}{2 + 2} = \frac{18 \cdot 2 \cdot \phi}{4} = 9 \text{ W}$$

Widzimy, że dopiero teraz wszystko się zgadza.

Rys. 13 Wyjaśnienie paradoksu energetycznego na przykładzie zasilacza jednodiodowego



Definicja $P_{sr} = U_{sr} \cdot I_{sr}$ przyjęta jest chyba dlatego, że przyzwyczajono się mierzyć napięcie i natężenie prądu wyprostowanego (tj. jednokierunkowego) miernikami magnetoelektrycznymi, których wskazania są wprost proporcjonalne właśnie do wartości średniej płynącego przez nie prądu i stosować tę definicję do obliczania mocy zamiast włączać watomierz do obwodu. Wartości skuteczne określa się z definicji energetycznej, jak następuje:

$$I_{sk}^2 \cdot R = P$$

$$\frac{U_{sk}^2}{R} = P$$

$$P_{sk} = U_{sk} \cdot I_{sk}$$

gdzie P – rzeczywista moc średnia wydzielona na rezystorze R , W .

Otrzymujemy dla przykładu z rys. 12:

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{9}{2}} = 2,13 \text{ A}$$

$$U_{sk} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{9 \cdot 2} = 4,24 \text{ V}$$

$$P_{sk} = 2,13 \cdot 4,24 = 9 \text{ W}$$

I znów wszystko się zgadza.

Rys. 13 wyjaśnia dokładniej ten paradoks energetyczny na przykładzie rzeczywistego prostownika jednodiodowego.

Zwracamy uwagę na to, że zabezpieczenie nadprądowe należy dobrać odpowiednio do jego rodzaju. Bezpiecznik topikowy i inne zabezpieczenia reagujące na ciepło należy dobrać do wartości skutecznej prądu. Przekazniki reagujące na wartość średnią prądu należy dobrać do wartości średniej prądu. Jak wynika to np. z rys. 13 wartości średnie i skuteczne prądu mogą się znacznie między sobą różnić.

Przepis na zaprojektowanie zasilacza jest następujący:

1. Przyjąć I_n z warunku $I_n \leq I_{dop}$,
2. Obracć rodzaj prostownika i parametry diod (tabl. IV),
3. Dobracć przewód zasilający akumulator. Można przyjąć gęstość prądu $j \approx 2 \text{ [A/mm}^2\text{]}$. Wtedy

$$s = \frac{I_{a\text{sr}}}{j} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Obliczyć jego rezystancję R_p ,

4. Obliczyć spadki napięć na prostowniku – $\Delta U_{d\text{sr}}$, na przewodach – $U_{p\text{sr}}$ oraz całkowity spadek napięcia – $\Delta U_{w\text{sr}}$ przy prądzie I_n .

5. Obliczyć dla transformatora U_{2sk} , I_{2sk} oraz jego moc cieplną P_t przy prądzie I_n ,
6. Korzystając z literatury fachowej lub np. z tabl. V zaprojektować transformator o mocy cieplnej $\geq P_t$ przy U_{2sk} , I_{2sk} .

Przykład: akumulator ma 6 ogniw i pojemność znamionową

$$Q_n = 34 \text{ Ah}$$

Ponieważ spodziewamy się, że charakterystyka ładowania będzie pośrednia pomiędzy „W” i „I” to przyjmujemy np.

$$I_{dop} = 0,1 \cdot Q_n = 0,1 \cdot 34 = 3,4 \text{ A}$$

Zakładając, że napięcie w sieci może wynosić 242 V ($1,1 \cdot 220 \text{ V}$) oraz uwzględniając błędy w obliczeniach przyjmujemy ostatecznie np.

$$I_n = 0,75 \cdot I_{dop} = 0,75 \cdot 3,4 = 2,45 \text{ A}$$

$$I_{a\text{sr}} = I_n = 2,45 \text{ A}$$

$I_{a\text{sr}} = 2,45 \text{ A}$ tylko w chwili rozpoczęcia ładowania, tj. w najgorszym przypadku przy 2 V na ogniwo.

Wtedy $U_{a\text{sr}} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ V}$ przy $I_{a\text{sr}} = 2,45 \text{ A}$. Obieramy prostownik dwudiodowy z diodami krzemowymi. Prostownika jednodiodowego lepiej nie stosować, ponieważ wtedy występuje zbyt duża różnica pomiędzy amplitudą prądu ładowania a jego wartością średnią, co może zaszkodzić akumulatorowi. Diody należy dobrać z katalogu. W razie potrzeby można łączyć diody równolegle lub szeregowo. Spadek napięcia na prostowniku nie zależy w zasadzie od liczby diod połączonych ze sobą równolegle.

$$U_{m\text{aks}} = 3 \cdot U_{a\text{sr}} = 3(2,7 \cdot 6) = 49 \text{ V}$$

$$I_{d\text{maks}} = 3,5 \cdot I_{a\text{sr}} = 3,5 \cdot 2,45 = 6 \text{ A}$$

$$I_{d\text{sr}} = 0,5 \cdot I_{a\text{sr}} = 0,5 \cdot 2,45 = 1,225 \text{ A}$$

$$U_d \approx 1,2 \text{ V}$$

$$\Delta U_{d\text{sr}} = n \cdot U_d = 1 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ V}$$

Przewód zasilający akumulator

$$I = 2 \text{ m}$$

$$s = \frac{I_{a\text{sr}}}{j} = \frac{2,45}{2} = 1,225 \text{ mm}^2$$

Korygujemy s do 1,5 mm²

$$R_p = \frac{2l}{56s} = \frac{2 \cdot 2}{56 \cdot 1,5} = 0,048 \Omega$$

$$\Delta U_{p\text{sr}} = R_p \cdot I_{a\text{sr}} = 0,048 \cdot 2,45 = 0,12 \text{ V}$$

$$\Delta U_{w\text{sr}} = \Delta U_{d\text{sr}} + \Delta U_{p\text{sr}} = 1,2 + 0,12 = 1,32 \text{ V}$$

$$U_{2\text{sr}} = U_{a\text{sr}} + \Delta U_{w\text{sr}} = 12 + 1,32 = 13,32 \text{ V}$$

$$U_{2sk} = 1,1 \cdot U_{2\text{sr}} = 1,1 \cdot 13,32 = 14,6 \text{ V}$$

$$I_{2sk} = 1,2 \cdot I_{a\text{sr}} = 1,2 \cdot 2,45 = 2,95 \text{ A}$$

$$P_{a\text{sr}} = U_{2\text{sr}} \cdot I_{a\text{sr}} = 13,32 \cdot 2,45 = 32,5 \text{ W}$$

$$P_t = 2,2 \cdot P_{a\text{sr}} = 2,2 \cdot 32,5 = 72 \text{ VA}$$

Oberamy z tablicy V b rdzeń płaszczowy, zwijany, złożony z 2 rdzeni RZC - 13,5/51-30, dla którego względna zmiana napięcia wynosi:

$$k_u = 0,88$$

Wartość skuteczna napięcia wtórnego w stanie jałowym:

$$U_{2sk} \phi = \frac{U_{2sk}}{k_u} = \frac{14,6}{0,88} = 16,6 \text{ V}$$

$$z_1 = \frac{U_{1sk} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot s_r} = \frac{220 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,7 \cdot 5,1} = 1140$$

$$z_2 = z_1 \frac{U_{2sk} \phi}{U_{1sk}} = 1140 \frac{16,6}{220} = 86$$

$$I_{1sk} = \frac{z_2}{z_1} 1,6 \cdot I_{o\phi r} = \frac{86}{1140} \cdot 1,6 \cdot 2,45 = 0,295 \text{ A}$$

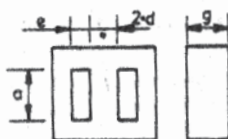
Obliczamy przewody w transformatorze (wg tabl. V $j = 3,2 \text{ A/mm}^2$):

$$s_1 = \frac{I_{1sk}}{j} = \frac{0,295}{3,2} = 0,092 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot s_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,092}{\pi}} = 0,345 \text{ mm}$$

$$s_2 = \frac{I_{2sk}}{j} = \frac{2 \cdot 95}{3,2} = 0,91 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot s_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,91}{\pi}} = 1,08 \text{ mm}$$



Tablica V. Parametry transformatorów z rdzeniami płaszczowymi.

- Pt - moc cieplna dla temp. otoczenia 30°C i przyrostu temp. 60°C, VA
 sr - przekrój czystego żelaza kolumny, cm²
 lms - średnia długość zwoju, cm
 j - średnia gęstość prądu, A/mm²
 ku - względna zmiana napięcia wtórnego - nap. wt. przy obc./nap. wt. w stanie jałowym
 xs - reaktancja rozproszenia dla uzwojeń nawijanych obok siebie (korpus z przygodą), Ω. Dla uzwojeń nawijanych na siebie $s_x \approx \emptyset$.
- Va) Rdzenie kształtowe typu EI składane przemiennie. Blacha EP 0,5 mm, Indukcja B = 1,3T, 50 Hz

| Format | Pt VA | a mm | d mm | e mm | g mm | śr cm ² | lms cm | j A/mm ² | ku - | xs |
|--------|-------|------|------|------|------|--------------------|--------|---------------------|------|-----|
| 60/20 | 17 | 30 | 10 | 10 | 20 | 3,8 | 12,2 | 4,6 | 0,77 | 142 |
| 66/22 | 26 | 33 | 11 | 11 | 22 | 4,6 | 13,3 | 4,2 | 0,81 | 104 |
| 66/3 | 41 | 33 | 11 | 11 | 33 | 6,9 | 15,5 | 4,1 | 0,86 | 54 |
| 78/26 | 51 | 39 | 13 | 13 | 26 | 6,4 | 15,6 | 3,8 | 0,86 | 62 |
| 78/39 | 79 | 39 | 13 | 13 | 39 | 9,6 | 18,2 | 3,5 | 0,90 | 32 |
| 84/28 | 68 | 42 | 14 | 14 | 28 | 7,4 | 16,8 | 3,4 | 0,88 | 49 |
| 84/42 | 103 | 42 | 14 | 14 | 42 | 11,2 | 19,6 | 3,2 | 0,91 | 25 |
| 96/32 | 112 | 48 | 16 | 16 | 32 | 9,7 | 19,1 | 3,0 | 0,91 | 32 |
| 96/48 | 167 | 48 | 16 | 16 | 48 | 14,6 | 22,3 | 2,8 | 0,93 | 17 |
| 102/34 | 140 | 51 | 17 | 17 | 34 | 11,0 | 20,3 | 2,8 | 0,92 | 27 |
| 102/51 | 207 | 51 | 17 | 17 | 51 | 16,5 | 24 | 2,7 | 0,94 | 14 |
| 120/40 | 248 | 60 | 20 | 20 | 40 | 15,2 | 24 | 2,4 | 0,94 | 16 |
| 120/60 | 358 | 60 | 20 | 20 | 60 | 22,8 | 28 | 2,2 | 0,96 | 8,4 |
| 150/50 | 524 | 75 | 25 | 25 | 50 | 23,7 | 30 | 1,9 | 0,96 | 8,1 |
| 150/75 | 714 | 74 | 25 | 25 | 75 | 35,6 | 35 | 1,7 | 0,97 | 4,2 |

Przyjmujemy $d_1 = 0,35 \text{ mm}$, $d_2 = 1,1 \text{ mm}$:

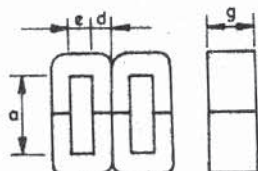
$$S_1 = \frac{\pi \cdot 0,35^2}{4} = 0,096 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot 1,1^2}{4} = 0,95 \text{ mm}^2$$

Tablica Vb. Rdzenie zwijane typu RZC.

Blacha ET 0,3 mm

Indukcja B = 1,7 T, 50 Hz



| Format | Pt VA | a mm | d mm | e mm | g mm | sr cm ² | lms cm | j A/mm ² | ku - | xs |
|------------|-------|------|------|------|------|--------------------|--------|---------------------|------|-----|
| 13/34-20 | 25 | 34 | 8 | 13 | 20 | 3,0 | 12 | 3,7 | 0,82 | 111 |
| 13,5/51-15 | 31 | 51 | 9 | 13,5 | 15 | 2,6 | 12 | 3,3 | 0,8 | 220 |
| 13,5/51-20 | 44 | " | " | " | 20 | 3,4 | 13 | 3,3 | 0,84 | 134 |
| 13,5/51-25 | 57 | " | " | " | 25 | 4,3 | 14 | 3,2 | 0,87 | 92 |
| 13,5/51-30 | 69 | " | " | " | 30 | 5,1 | 15 | 3,2 | 0,88 | 69 |
| 25/60-20 | 105 | 60 | 12 | 25 | 20 | 4,6 | 18 | 2,2 | 0,88 | 64 |
| 25/60-25 | 136 | " | " | " | 25 | 5,7 | 19 | 2,2 | 0,9 | 43 |
| 25/60-30 | 166 | " | " | " | 30 | 6,8 | 20 | 2,2 | 0,91 | 31 |
| 25/60-40 | 126 | " | " | " | 40 | 9,1 | 22 | 2,2 | 0,93 | 19 |
| 25/60-50 | 286 | " | " | " | 50 | 11,4 | 24 | 2,2 | 0,94 | 13 |
| 32/86-60 | 222 | 86 | 15,5 | 32 | 20 | 5,9 | 22 | 1,9 | 0,88 | 51 |
| 32/86-30 | 347 | " | " | " | 30 | 8,8 | 24 | 1,8 | 0,92 | 25 |
| 32/86-50 | 591 | " | " | " | 50 | 14,7 | 28 | 1,8 | 0,95 | 10 |
| 35/100-20 | 344 | 100 | 19,4 | 35 | 20 | 7,3 | 25 | 1,8 | 0,88 | 39 |
| 35/100-30 | 537 | " | " | " | 30 | 11,1 | 27 | 1,7 | 0,92 | 19 |
| 35/100-40 | 723 | " | " | " | 40 | 14,7 | 29 | 1,7 | 0,94 | 11 |
| 35/100-50 | 904 | " | " | " | 50 | 18,4 | 31 | 1,7 | 0,95 | 7,7 |
| 45/115-20 | 575 | 115 | 24,4 | 45 | 20 | 9,3 | 30 | 1,5 | 0,87 | 27 |
| 45/115-25 | 740 | " | " | " | 25 | 11,6 | 31 | 1,5 | 0,9 | 18 |
| 45/115-30 | 900 | " | " | " | 30 | 13,9 | 32 | 1,5 | 0,92 | 13 |
| 45/115-50 | 1504 | " | " | " | 50 | 23,2 | 36 | 1,4 | 0,96 | 5,1 |
| 50/140-35 | 1940 | 140 | 34,4 | 50 | 35 | 22,9 | 39 | 1,4 | 0,94 | 6,2 |
| 50/140-70 | 3680 | " | " | " | 70 | 46,0 | 46 | 1,3 | 0,97 | 1,8 |
| 90/154-50 | 4435 | 154 | 49,2 | 90 | 50 | 47,0 | 48 | 1,3 | 0,96 | 2,0 |

Rezystencja uzwojeń w temperaturze $t_u = 90^\circ\text{C}$:

$$R_1 = \frac{235 \cdot t_u}{255} \cdot \frac{0,01 \cdot l_{ms} \cdot z_1}{56 \cdot S_1} = \frac{235 \cdot 90}{255} \cdot \frac{0,01 \cdot 15 \cdot 1140}{56 \cdot 0,096} = 41 \Omega$$

$$R_2 = \frac{235 \cdot t_u}{255} \cdot \frac{0,01 \cdot l_{ms} \cdot z_2}{56 \cdot S_2} = \frac{235 \cdot 90}{255} \cdot \frac{0,01 \cdot 15 \cdot 86}{56 \cdot 0,95} = 0,31 \Omega$$

Dla mocy Pt < ~200 VA można przyjąć, że reaktancja rozproszenia transformatora $x_s \approx \emptyset$.

$$E_2 = \frac{86}{1140} (220 - 0,295 \cdot 41) = 15,8 \text{ V}$$

Sprawdzenie U_2 sk przy $I_{2sk} = 2,95 \text{ A}$:

$$U_2 = E_2 - I_{2sk} \cdot R_2 = 15,8 - 2,95 \cdot 0,31 = 14,9 \text{ V}$$

$$E_2 = \frac{z_2}{z_1} \left[\sqrt{U_{1sk}^2 - (I_{1sk} \cdot x_s)^2} - I_{1sk}^2 R_1 \right]$$

Ponieważ $U_2 = 14,9 \text{ V}$ jest większa od $U_{2sk} = 14,6 \text{ V}$ to trzeba zmniejszyć liczbę

zwojów wtórnych. W przeciwnym razie początkowy prąd ładowania przekroczy wartość dopuszczalną.

$$z_2 = \frac{U_2 \cdot sk\phi - (U_2 - U_{2sk})}{U_2 \cdot sk\phi} \quad z_2 = \frac{16,6 - (14,9 - 14,6)}{16,6} = 84$$

Wykonujemy obliczenia ponownie, począwszy od I_{1sk} . Ostatecznie

$$E_2 \approx \frac{84}{1140} (220 - 0,305 \cdot 41) = 15,4 \text{ V}$$

$$U_2 = 15,4 - 2,95 \cdot 0,305 = 14,5 \text{ V}$$

Gdyby napięcie U_2 było mniejsze od U_{2sk} to można zwiększyć liczbę zwojów wtórnych wg wzoru:

$$z_2 = \frac{U_{2sk}\phi - (U_{2sk} - U_2)}{U_{2sk}\phi} \quad z_2$$

Sprawdzamy, czy uzwojenia zmieszczą się w oknie rdzenia.

Ustalamy odległości i odstępy izolacyjne oraz grubości ścianek korpusu wymagane ze względu na bezpieczeństwo użytkownika oraz luzy technologiczne i obliczamy ile to wszystko zajmie miejsca w oknie rdzenia, np. S_{iz} [mm^2].

Powierzchnia na uzwojenie wyniesie:

$$S_{uzw} = S_{okna} - S_{iz}$$

gdzie $S_{okna} = a \cdot e$ (tabl. V)

Obliczamy łączny przekrój uzwojenia pierwotnego i uzwojeń wtórnych.

Średnice przewodów w izolacji DNE:

$$d_{1iz} = d_1 + 0,068 \sqrt{d_1 T} = 0,35 + 0,068 \sqrt{0,35 T} = 0,39 \text{ mm}$$

$$d_{2iz} = d_2 + 0,068 \sqrt{d_2 T} = 1,1 + 0,068 \sqrt{1,1 T} = 1,17 \text{ mm}$$

Przekrój uzwojenia pierwotnego

$$S_p = z_1 \cdot d_{1iz}^2 = 1140 \cdot 0,39^2 = 174 \text{ mm}^2$$

Przekrój uzwojeń wtórnych (są 2 uzwojenia!)

$$S_w = 2 \cdot z_2 \cdot d_{2iz}^2 = 2 \cdot 84 \cdot 1,17^2 = 230 \text{ mm}^2$$

Przekrój wszystkich uzwojeń

$$S_p + S_w = 174 + 230 = 404 \text{ mm}^2$$

Jeżeli $S_p + S_w > S_{uzw}$, to trzeba zwiększyć rdzeń. (W rozpatrywanym przykładzie $S_{okna} = a \cdot e = 51 \cdot 13,5 = 690 \text{ mm}^2$.)

Andrzej Przytuła