

JERZY HICKIEWICZ

Katedra Maszyn Elektrycznych

WYTYCZNE DO PROJEKTOWANIA

JEDNOFAZOWYCH DWURZEMIOWYCH AMPLISTATÓW

Streszczenie. Podano zasady projektowania wzmacniaczy magnetycznych amplistatowych dla zadanych parametrów, w oparciu o charakterystyki jednoczesnego magnesowania rdzenia magnetycznego.

Rozróznilono dwa sposoby projektowania wzmacniaczy: z warunku zadanej sprawności obwodu głównego, oraz z warunku dopuszczalnego nagrzania uzwojeń. Podano tok postępowania przy obliczaniu podstawowych parametrów wzmacniaczy obu sposobami.

1. Wstęp

Na jakość i właściwości wzmacniacza magnetycznego szczególnie z wewnętrznym sprzężeniem zwrotnym decydująco wpływają własności materiału magnetycznego rdzenia. Stroma część nienasyconej charakterystyki magnesowania rdzenia decyduje o wartościach prądu minimalnego, prądu sterującego oraz o dobroci wzmocnienia mocy wzmacniacza amplistatowego. Wartość indukcji nasycenia w punkcie zakrzywienia charakterystyki magnesowania wpływa decydująco na objętość rdzenia i objętość uzwojeń roboczych, a zatem na ciężar i wymiary wzmacniacza. Nachylenie części nasyconej krzywej magnesowania wiąże się z wartością indukcyjności resztkowej uzwojeń roboczych, a liniowość części nienasyconej z liniowością charakterystyk sterowania.

Szerokość pętli histerezy, wartość strat na prądy wirowe, elektryczna rezystancja właściwa materiału magnetycznego, decydują o

zakresie częstotliwości zasilania wzmacniacza, przy jakich może być stosowany dany materiał. Łatwość obróbki mechanicznej wiąże się z kolei z możliwością wykonywania rdzeni z blach o małych grubościach, zagadnienie to jest ważne dla rdzeni stosowanych przy dużych częstotliwościach. Zmienność właściwości magnetycznych pod wpływem zmian temperatury, naprężeń mechanicznych i wstrząsów powoduje niekorzystne objawy we wzmacniaczu, takie jak: zmienność prądu minimalnego dla stanu odsycenia oraz we wzmacniaczu amplitatowym zmienność prądu sterującego.

W seryjnej produkcji wzmacniaczy magnetycznych ważną cechą jest powtarzalność własności magnetycznych materiału dla kolejnych jego wytopów. W związku z wymienioną tak wielką zależnością wynikowych parametrów elektrycznych wzmacniacza od jego parametrów magnetycznych, przy projektowaniu wzmacniaczy magnetycznych określenie podstawowych parametrów magnetycznych jest zagadnieniem znacznie ważniejszym i bardziej obszernym niż ma to miejsce w innych elementach magnetycznych takich jak np. transformatory, czy dławiki ze szczeliną. Ponadto istotnym jest obliczenie podstawowego parametru elektrycznego jakim jest gęstość prądowa w uzwojeniach.

Zależności pomiędzy parametrami magnetycznymi są dla materiałów magnetycznych stosowanych we wzmacniaczach magnetycznych z reguły nieliniowe, dlatego przy projektowaniu wzmacniaczy trzeba oprzeć się na charakterystykach pomiarowych podających zależności pomiędzy parametrami magnetycznymi.

Z tego też powodu przy obliczaniu wzmacniaczy magnetycznych korzystnie jest stosować metody graficzno-analityczne oparte o charakterystyki magnetyczne i związki analityczne pomiędzy parametrami magnetycznymi i elektrycznymi.

Dobór podstawowych parametrów magnetycznych lub ich wyznaczenie metodami analityczno-graficznymi, obliczenie gęstości prądowej w uzwojeniach oraz współczynnika zapełnienia okna uzwojeniami jest

najważniejszym zadaniem w procesie obliczania wzmacniacza. Parametry te determinują wszystkie pozostałe parametry wzmacniacza. Celem przedstawionej metodyki jest podanie powiązań pomiędzy parametrami, jakie mogą być zadane przy projektowaniu, z podstawowymi parametrami magnetycznymi, gęstością prądową i współczynnikiemapełnienia okna za pośrednictwem charakterystyk i zależności analitycznych.



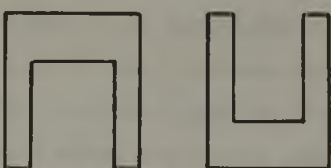
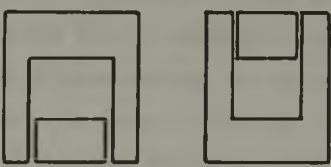
Istotnym zagadnieniem jest wybór odpowiedniego materiału magnetycznego do budowy rdzenia magnetycznego wzmacniacza. We wzmacniaczach dużej mocy są stosowane blachy zimnowalcowane o kierunkowych własnościach magnetycznych. Oprócz wymaganych właściwości elektrycznych, decydującymi czynnikami przy projektowaniu tych wzmacniaczy są: dążenie do małego ciężaru i zastosowania materiału rdzenia o niskiej cenie. Materiały stopowe głównie permaloyowe o zawartości niklu zbliżonej do 50% znajdują zastosowanie we wzmacniaczach małej mocy (do kilkuset W), tam gdzie wymagane są dobre właściwości wzmacniaczy, duża liniowość charakterystyk sterowania, duża czułość, a gdzie drugoplanową sprawą jest ciężar wzmacniacza.

Niezależnie od doboru materiału magnetycznego wybranego do budowy rdzenia należy przewidzieć odpowiednią jego konstrukcję, która pozwoliłaby w pełni wykorzystać własności materiału magnetycznego, użytego do budowy rdzenia. Konstrukcja rdzenia winna zapewniać możliwie najmniejszą zastępczą szczelinę powietrzną.

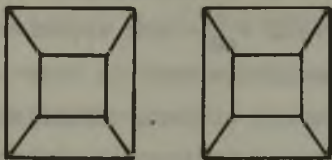
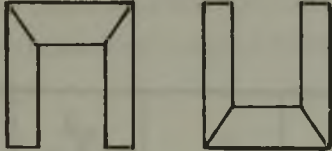


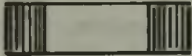

Miernikiem dobrego rozwiązania konstrukcyjnego rdzenia jest jego średnia (wypadkowa) dynamiczna charakterystyka magnesowania i jej mała rozbieżność od charakterystyki magnesowania materiału. Konstrukcja rdzenia winna być tak przewidziana, aby zapewniła prostą budowę rdzenia. Kształt rdzenia powinien zapewnić prostą budowę i technologię uzwojeń, dobre ich chłodzenie, małe ciężary i wymiary wzmacniacza, małą mos sterowania itp. Różne sposoby zaplatań rdzenia pozwalają na uzyskanie różnych wypadkowych charakte-

Tablica 1

Parametry rdzeni przy różnych sposobach zaplatania rdzeni
 (Indukcja B_m przy natężeniu pola o wartości $2A/cm$, indukcja reżan-
 mentu B_r natężenie pola koercji H_k)

Lp.	Sposób wykonania rdzenia	B_m [T]	B_r [T]	H_k [$\frac{A}{cm}$]
1		1,15	0,11	0,22
2		1,32	0,96	0,27
3		1,49	0,89	0,4
4		1,77	1,32	0,34

cd. tablicy 1

Lp.	Sposób wykonania rdzenia	B_m [T]	B_r [T]	H_K [$\frac{\Delta}{cm}$]
5		1,7	1,4	0,28
6		1,71	1,37	0,35
7		1,69	1,34	0,34
8		1,8	1,62	0,28
9		1,8	1,65	0,28
10		1,64	1,18	0,34

Tablica 2

Parametry wzmacniacza amplistatowego przy różnych zaplataniach rdzenia. (ΔH_{μ_B} natężenie pola podmagnesowania wytworzone przez uzwojenie sterujące, potrzebne do wysterowania wzmacniacza od prądu minimalnego do znamionowego. P_{oN} - moc wyjściowa wzmacniacza, $\frac{Q}{f}$ - stosunek dobroci wzmocnienia mocy do częstotliwości zasilania wzmacniacza, $\frac{G}{P_{oN}}$ - stosunek ciężaru wzmacniacza do mocy znamionowej, objętość oN względna odniesiona do objętości wzmacniacza o rdzeniu toroidalnym)

Lp.	Numer rys.	ΔH_{μ_B} [$\frac{A}{cm}$]	P_{oN} [kW]	$\frac{Q}{f}$	$\frac{G}{P_{oN}}$ [$\frac{kg}{kW}$]	Objętość względna
1	4	0,62	1,49	250	11,3	1,14
2	6	0,5	1,46	310	10,1	1,16
3	7	0,44	1,47	350	11,5	1,15
4	8	0,3	1,03	510	12,9	1,63
5	9	0,3	1,69	550	8,5	1,0

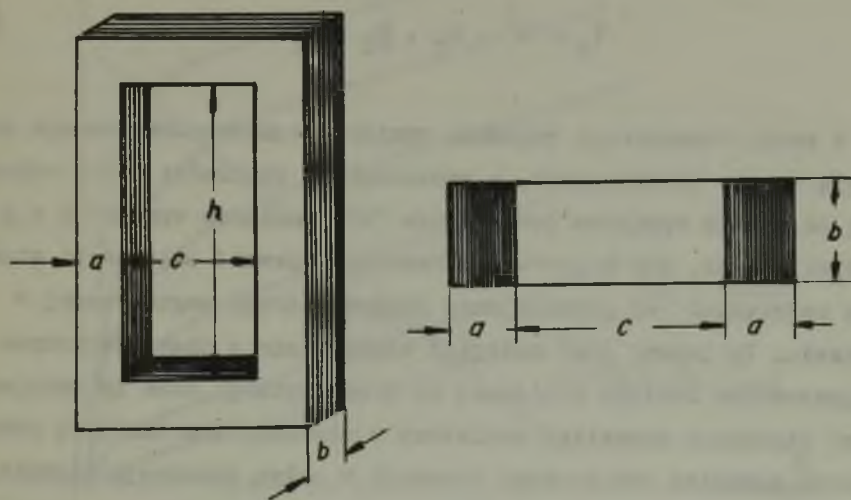
rvstyk magnesowania rdzeni. W tablicach 1 i 2 przeprowadzono porównanie (L 6, 8) właściwości rdzeni, z punktu widzenia wypadkowej charakterystyki magnesowania i ich wpływu na parametry wzmacniacza amplistatowego, przy zastosowaniu tego samego gatunku zimnowalcowanych blach żelazokrzemowych, przy rozmaitych sposobach zaplatania rdzenia, odnosząc własności do zwijanego rdzenia toroidalnego.

Najkorzystniejsze wskaźniki posiadają wzmacniacze o rdzeniach toroidalnych, najbardziej zbliżone do nich właściwościami są

wzmacniacze o rdzeniach zaplatanych sposobem uwidocznionym w tabl. 1 (pozycja 8), posiadają one jednak o kilkadziesiąt procent większe wymiary i ciężary. Pozostałe sposoby zaplatania powodują mniejsze wymiary wzmacniacza, lecz charakterystyczne wskaźniki wzmacniacza są gorsze niż przy stosowaniu rdzeni toroidalnych.

2. Rdzeń magnetyczny

Na rys. 1 podano przykład rdzenia zaplatanego i toroidalnego oraz oznaczono ich wymiary. Traktując jeden wymiar geometryczny rdzenia jako podstawowy, można wprowadzić względne wymiary geometryczne rdzenia:



Rys. 1. Wymiary rdzeni

$$\underline{b} = \frac{b}{a} \quad \underline{c} = \frac{c}{a} \quad \underline{h} = \frac{h}{a}$$

i odpowiednio do nich względne wymiary pochodne:

$$\underline{l}_f = \frac{l_f}{a} \quad \underline{S}_f = \frac{S_f}{k_f a^2} \quad \underline{l}_r = \frac{l_r}{a} \quad \underline{S}_o = \frac{S_o}{a^2}$$

gdzie:

l_f - średnia długość rdzenia,

S_f - czynny przekrój rdzenia,

l_r - średnia długość zwoju uzwojenia roboczego,

S_o - powierzchnia przekroju okna,

k_f - współczynnik zapełnienia przekroju rdzenia, który zależy od grubości blachy rdzenia oraz od izolacji blach. Waha się on w granicach od 0,95 do 0,5 dla blach o grubości od 0,35 mm do 0,05 mm.

Czynna objętość rdzenia:

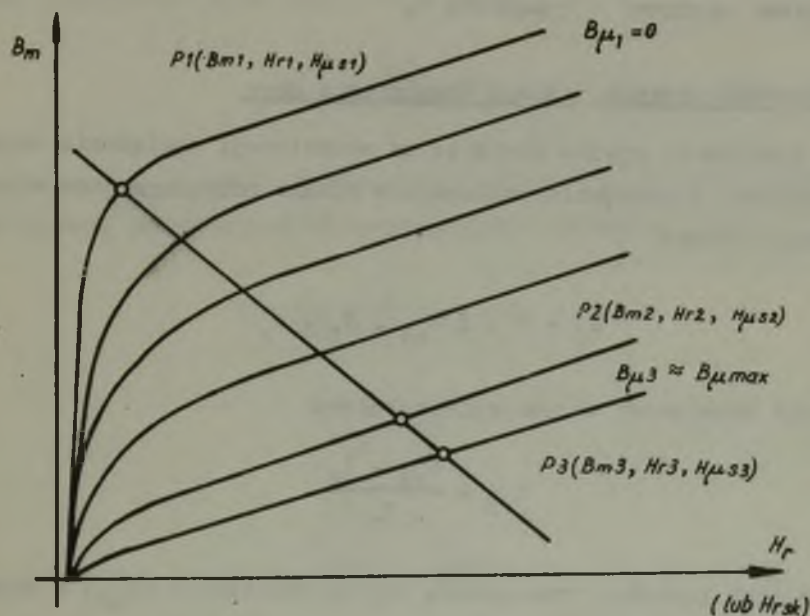
$$V_f = a^3 \cdot k_f \cdot S_f \cdot l_f \quad (1)$$

W serii wzmacniaczy względne wymiary geometryczne rdzenia pozostają zwykle niezmiennione, a poszczególne wielkości serii różnią się od siebie wymiarem podstawowym "a". Względne wymiary b c h są dobierane tak, aby w pierwszym rzędzie zapewnić odpowiedni stosunek największej od najmniejszej długości drogi magnetycznej w rdzeniu. Im lepszy jest materiał magnetyczny o charakterystyce magnesowania bardziej zbliżonej do prostokątnej oraz im mniejsza jest zastępcza szczelina powietrza w rdzeniu, tym bardziej równomierny powinien być rozkład indukcji w całym przekroju rdzenia. Np. dla rdzeni toroidalnych wykonanych z materiałów permaloyowych stosunek zewnętrznej do wewnętrznej średnicy rdzenia nie powinien przekraczać około 1,3, dla blach zimnowalcowych ok. 1,5. Ponadto dla wzmacniaczy, w których warunkiem decydującym o ich wymiarach jest nieprzekroczenie dopuszczalnego przyrostu temperatury uzwojeń należy tak dobierać względne wymiary geometryczne, aby uzyskać smukłe rdzenie o wysokich kolumnach. Wzmacniacze, w których chce

się uzyskać duże dobroci wzmocnienia mocy powinny posiadać duże okna przy jednocześnie małych średnich długościach rdzenia.

3. Charakterystyka jednoczesnego magnesowania

Gromada charakterystyk napięciowo-prądowych zdjęta przy magnesowaniu rdzenia prądem stałym i przemiennym przy zastosowaniu określonego gatunku prostowników samonasycenia, materiału rdzenia oraz typu konstrukcji rdzenia po przedstawieniu ich w układzie współrzędnych $B_m = f(H_r)$ jest podstawą do projektowania wzmacniacza.



Rys. 2. Charakterystyki jednoczesnego magnesowania amplitatu

Charakterystyki te noszą nazwę charakterystyk jednoczesnego magnesowania.

Na przecięciu charakterystyk z prostą obciążenia można określić następujące punkty:

Punkt P1. Punkt odsycenia rdzenia; wartość składowej stałej indukcji w tym punkcie jest równa zero i odpowiada minimalnemu prądowi wyjściowemu.

Punkt P2. Punkt pracy znamionowej.

Punkt P3. Punkt trwałego nasycenia na charakterystyce indukcyjności resztkowej uzwojeń roboczych.

W dalszej części pracy przyjęto oznaczenia parametrów magnetycznych: składowej przemiennej indukcji (B_m), składowej przemiennej natężenia pola (H_r), składowej natężenia pola wywołanej przychywem uzwojeń sterujących ($H_{\mu B}$) dla poszczególnych punktów pracy z indeksami zgodnymi z rysunkiem 2.

4. Objętość rdzenia, dobroć wzmocnienia mocy

Przy pominięciu spadku napięcia na rezystancji obciążenia napięcie przyłożone do uzwojenia roboczego w stanie odsyconym jest w przybliżeniu równe:

$$E_z = 4 \cdot f \cdot B_{m1} \cdot S_f \cdot z_r \quad (2)$$

Prąd znamionowy w uzwojeniu roboczym

$$I_{rN} = \frac{H_{r2} \cdot l_f}{z_r} \quad (3)$$

Związek pomiędzy znamionowym prądem obciążenia (I_{oN}) a znamionowym prądem w uzwojeniu roboczym:

$$I_{oN} = 2 I_{rN} \quad (3a)$$

Moc znamionowa uzwojeń roboczych jest zdefiniowana iloczynem napięcia zasilania i prądu znamionowego obwodu głównego.

$$P_{rN} = E_z \cdot 2 I_{rN} = 8 f \cdot B_{m1} \cdot H_{r2} S_f \cdot l_f \quad (4)$$

Stąd objętość rdzenia:

$$V_f = \frac{P_{rN}}{8 f B_{m1} \cdot H_{r2}} \quad (4a)$$

Dobroć wzmocnienia mocy amplitatu

$$Q_p = \frac{k_u \cdot k_i}{T} \quad (5)$$

Podstawiając kolejno wyrażenia (wynikające z założenia prawie prostokątnej charakterystyki magnesowania rdzenia):

$$T = \frac{1}{2f} \cdot \frac{z_s}{z_r} \cdot k_u \cdot \frac{1}{\chi}$$

$$k_i = \frac{I_o}{I_s}$$

$$\frac{I_o z_r}{I_s z_s} = \frac{2H_r}{\Delta H_{\mu s}}$$

gdzie:

$$\Delta H_{\mu s} = H_{\mu s2} - H_{\mu s1}$$

$$\chi = \frac{R_o}{R_o + R_r} \quad \text{- sprawność obwodu roboczego równa stosunkowi rezystancji obciążenia (} R_o \text{) do sumy rezystancji obciążenia i rezystancji uzwojenia roboczego (} R_r \text{).}$$

otrzyma się:

$$Q_p = 4 f \cdot \frac{H \cdot l^2}{\Delta H \mu_B} \cdot x$$

5. Sposoby obliczania wzmacniaczy magnetycznych

Danymi wyjściowymi do projektowania wzmacniaczy magnetycznych są pewne wielkości zadane takie, jak np. moc, napięcie zasilania itp.

Można wykazać, że dwa parametry charakterystyczne: sprawność obwodu roboczego (α) oraz ustalony przyrost temperatury uzwojeń (Δv), są ze sobą związane. W konsekwencji narzucenie jednego z nich przesądza o wartości drugiego.

Wynikają stąd dwa sposoby obliczania wzmacniaczy: z warunku sprawności obwodu roboczego, bądź z warunku nagrzania uzwojeń. Konstruktorowi są narzucone przeto warunki, które można określić dwoma nierównościami:

$$\Delta v \leq \Delta v \text{ dopuszczalne} \quad (6)$$

(nie przekroczenie temperatury uzwojeń dopuszczalnej dla danej klasy izolacji)

$$x \geq x \text{ zadane} \quad (7)$$

(ograniczenie z dołu rezystancji uzwojeń roboczych wynikające z zadanego prądu nasycenia).

W ostatecznym wyborze warunku do określenia wymiarów wzmacniacza przesądza warunek ostrzejszy. We wzmacniaczach małych mocy o wymiarach wzmacniacza przesądza przeważnie warunek sprawności, a uzwojenia tych wzmacniaczy osiągają temperatury mniejsze od dopuszczalnych. We wzmacniaczach większej mocy (począwszy od około

kilkudziesięciu W) o wymiarach przesądza warunek nagrzania, a sprawność obwodu roboczego jest wielkością wynikową.

6. Współczynnik zapełnienia okna i gęstości rdzowe

O możliwości pomieszczenia uzwojenia roboczego w oknie rdzenia orientuje współczynnik zapełnienia przekroju okna przez uzwojenie robocze:

$$k_r = \frac{q_r \cdot z_r}{S_o} \quad (8)$$

gdzie:

q_r - przekrój przewodu uzwojenia roboczego.

Wprowadzając do powyższego wyrażenia gęstość prądową uzwojenia roboczego (J_r)

$$k_r = \frac{H_{r2} l_f}{J_r S_o} = \frac{H_{r2}}{J_r} \cdot \frac{l_f}{a S_o} \quad (8a)$$

Z warunku sprawności głównego obwodu:

$$\frac{1-x}{z} = \frac{R_r}{R_o} = \frac{\rho \cdot l_r \cdot z_r}{R_o \cdot q_r} = 4\rho \cdot \frac{H_{r2}}{P_{oN}} \cdot J_r \cdot l_r \cdot l_f \quad (9)$$

można określić znamionową gęstość prądową w uzwojeniu roboczym

$$J_r(x) = \frac{1}{4\rho} \cdot \frac{P_{oN}}{H_{r2}} \cdot \frac{R_r}{R_o} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \frac{1}{l_r \cdot l_f} \quad (9a)$$

a z (8a.) i (9.a) współczynnik zapewnienia przekroju okna:

$$k_r(x) = 4\varrho \cdot \frac{1}{P_{oN}} \cdot \frac{R_o}{R_r} \cdot H_{r2}^2 \cdot a \cdot \frac{\frac{1}{f} \frac{1}{r}}{S_o} \quad (10)$$

gdzie:

$$P_{oN} = I_{oN}^2 R_o - \text{znamionowa moc wyjściowa}$$

Ustalony przyrost temperatury uzwojeń (Δv) jest proporcjonalny do wydzielanych we wzmacniaczu strat mocy (ΔP), a odwrotnie proporcjonalny do współczynnika oddawania ciepła (α) i całkowitej powierzchni chłodzenia uzwojeń transduktora (S_z). Można przyjąć, że współczynnik oddawania ciepła nie zależy od temperatury uzwojenia.

Główny składnik strat mocy stanowią straty w uzwojeniach, bowiem straty w rdzeniu grają podrzędną rolę, z uwagi na małą składową przenienną indukcji w stanie nasyconym. W przypadku wzmacniacza amplitatowego można ograniczyć się do strat w uzwojeniu roboczym, ze względu na mały udział strat w uzwojeniu sterującym, w całkowitych stratach wzmacniacza.

$$\Delta v = \frac{\Delta P}{\alpha \cdot S_z} = \frac{2I_{rsk}^2 R_r}{\alpha \cdot S_z} \quad (11)$$

Po przekształceniach:

$$\Delta v = \frac{2\varrho}{\alpha} \cdot J_{rsk} \cdot H_{r2} \cdot \frac{\frac{1}{f} \frac{1}{r}}{S_z} \quad (11a)$$

Stąd gęstość prądowa obliczona z warunku nagrzania uzwojeń:

$$J_{rsk}(v) = \frac{\Delta v \cdot \alpha}{2\varrho} \cdot \frac{1}{H_{r2} \cdot \frac{1}{f} \frac{1}{r}} \cdot S_z \quad (11b)$$

Gęstość prądowa i składowa przemienna natężenia pola są wyrażone w wartościach skutecznych, rezystancja właściwa materiału nawojowego jest określona dla ustalonej temperatury uzwojenia w stanie nagrzanym. W wyrażeniu powyższym nie występuje zależność od podstawowego wymiaru geometrycznego rdzenia. Jeśli uzwojenia robocze są umieszczone na dwu kolumnach:

$$J_{rsk}(\psi) = \frac{\Delta v \cdot \alpha}{2\varrho} \cdot \frac{1}{H_{r2sk}} \cdot \frac{2l_z \cdot 2h_r}{l_r \cdot l_f} \quad (12)$$

gdzie:

l_z - obwód zewnętrzny cewki uzwojenia w jednostkach względnych,

h_r - względna wysokość cewki.

Można w przybliżeniu założyć:

$$l_z \approx l_r \quad \frac{2 h_r}{l_f} > \frac{1}{2}$$

Stąd:

$$J_{rsk}(\psi) < \frac{\Delta v \cdot \alpha}{2\varrho} \cdot \frac{1}{H_{r2sk}} \quad (12a)$$

Dla uzwojenia wykonanego miedzianym przewodem nawojowym w klasie izolacji A, dla naturalnego chłodzenia powietrznego

$$\Delta v = 65^\circ\text{C}, \quad \varrho = 0,0235 \frac{\text{cm} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}, \quad \alpha = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$J_{rsk}(\psi) \left[\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right] < \frac{140}{H_{r2sk} \left[\frac{\text{A}}{\text{cm}} \right]} \quad (12b)$$

Wprowadzając do (8a) gęstość prądową z równania (11b) otrzymuje się współczynnik zapelnienia przekroju okna przez uzwojenie robocze

$$k_r(\nu) = \frac{2\theta}{\Delta\nu \cdot \alpha} H_{r2sk}^2 \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{l_r^2}{S_0} \frac{1}{S_z} \quad (13)$$

Równania (9a) i (11b) określają gęstość prądową z warunków sprawności, bądź nagrzania. Aby spełnione były jednocześnie oba warunki należy przyjąć mniejszą z tych dwu wartości jako wartość określającą wymiary geometryczne wzmacniacz. Ponieważ w równaniu (11b) występuje skuteczna wartość gęstości prądowej, należy uwzględnić w sposób szacunkowy współczynnik kształtu.

$$k_k = \frac{J_{rsk}}{J_r} \quad (14)$$

Dla znamionowego wystrojenia i obciążenia rezystancyjnego zawiera się w granicach:

$$k_k = 1,2 \dots\dots\dots 1,4$$

Całkowity współczynnik zapelnienia przekroju okna przez uzwojenia robocze i sterujące.

$$k_{rs} = \frac{q_{zr} + \sum q_{zs}}{S_0} = k_r \left(1 + \frac{J_r}{J_s} \frac{\Delta H}{H} \frac{\mu_s}{r^2} \cdot \sum_{l=1}^m t_l n_l \right) \quad (15)$$

gdzie:

t_1 - stosunek prądu sterującego dopuszczalnego ze względu nagrzewania, do prądu sterującego przy znamionowym wystrojeniu,

n_1 - ilość uzwojeń

Przyjmując w przybliżeniu jednakową gęstość prądową uzwojenia roboczego i sterującego

$$k_{rs} = k_r \left(1 + \frac{\Delta H \mu_B}{H_{r2}} \sum_{i=1}^m t_i n_i \right) \quad (15a)$$

Całkowity współczynnik zapełnienia przekroju okna k_{rs} daje tylko częściową informację o możliwości pomieszczenia uzwojeń w oknie. Wartości całkowitego współczynnika zapełnienia wahają się w granicach od 0,1 do 0,4 i zależą od rodzaju izolacji oraz wartości przekroju drutu nawojowego. O możliwości pomieszczenia uzwojeń w oknie rdzenia najpewniej przekonać się można na podstawie szkicu rozmieszczenia uzwojeń.

7. Dobór parametrów magnetycznych

Podstawowymi wielkościami narzucanymi do projektowania są:

1. Napięcie zasilania E_z o częstotliwości f
2. Znamionowe napięcie wyjściowe U_{oN}
3. Znamionowy prąd wyjściowy I_{oN}

Szereg innych parametrów może zawierać się w pewnym przedziale wartości, co do których konstruktor ma pewną swobodę wyboru. Należą tu:

4. Stosunek maksymalnego prądu wyjściowego do prądu znamionowego $I_{o \max} / I_{oN}$.
5. Stosunek minimalnego prądu wyjściowego do znamionowego $\frac{I_{o \min}}{I_{oN}}$ który powinien być nie większy od pewnej zadanej wartości.
6. Dobroć wzmacnienia mocy lub jej minimalna wartość, która powinna być co najmniej dotrzymana.

7. Znamionowy prąd sterujący.

8. Ponadto mogą być podane alternatywnie sprawność głównego obrotu i przyrost temperatury uzwojeń.

Z warunku zadanych napięć zasilania i wyjściowego dla prawie prostokątnej charakterystyki magnesowania rdzenia wynika:

$$\frac{U_{oN}}{E_z} = 1 - \frac{B_{r2}}{B_{m1}}$$

Z danego stosunku prądów wyjściowych maksymalnego do znamionowego:

$$\frac{I_{o \max}}{I_{oN}} = \frac{H_{r1}}{H_{r2}}$$

Na podstawie danego stosunku prądów wyjściowych minimalnego do znamionowego

$$\frac{I_{o \min}}{I_{oN}} = \frac{H_{r1}}{H_{r2}}$$

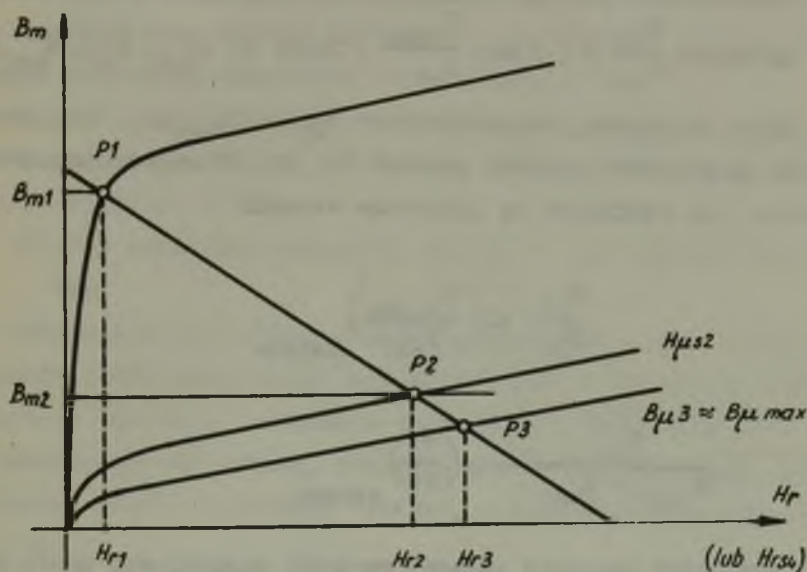
Z warunku zadanej mocy wyjściowej:

$$V_f = \frac{P_{rN}}{8 f B_{m1} \cdot H_{r2}} \quad (4a)$$

Położenie punktu odsycenia P_1 przyjąć można na ogół w niewielkim obszarze załamania charakterystyki magnesowania. Przyjęcie możliwie dużej indukcji w punkcie odsycenia prowadzi bowiem od zmniejszenia wymiarów wzmacniacza i równocześnie korzystnie wpływa na jego właściwości dynamiczne. Powiększenie indukcji poza punkt

zakłamania powoduje duży wzrost minimalnego prądu obciążenia. Dobór pozostałych punktów na gromadzie charakterystyk jednoczesnego magnesowania jest uzależniony od dwu następujących alternatyw:

- a) Przy narzuconym napięciu zasilania i napięciu wyjściowym (rys. 3) dobór punktów na gromadzie charakterystyk jednoczesnego magnesowania jest następujący:



Rys. 3. Wybór punktów na prostej obciążenia przy zadanych wartościach U_{ON} oraz E_z

1. Wybór punktu P1 w sąsiedztwie zakłamania charakterystyk jednoczesnego magnesowania przy minimalnym wysterowaniu

$$(B_{m1} \approx B_n \quad B_{\mu 1} \approx 0)$$

2. Wykreślenie prostej pomocniczej równoległej do osi odciętych przy indukcji odpowiadającej pracy znamionowej

$$B_{m2} = B_{m1} \left(1 - \frac{U}{E_z} \frac{I_{oN}}{I_{oN}}\right)$$

3. Wykreślenie prostej obciążenia o takim kącie nachylenia aby stosunek $\frac{H_{r3}}{H_{r2}}$ był równy $\frac{I_{o\max}}{I_{oN}}$. Punkt P3 ($B_{r3}, H_{r3}, H_{\mu s3}$)

leży na krzywej nasycenia przy $B_{\mu 3} \approx B_{\mu \max}$.

Dla tak określonych położenia punktów P1, P2, P3 należy jeszcze sprawdzić czy spełnione są pozostałe warunki

$$\frac{H_{r1}}{H_{r2}} < \left(\frac{I_{o\min}}{I_{oN}}\right) \text{ zadane}$$

$$\frac{H_{r2}}{H_{\mu s2} - H_{\mu s1}} \geq \left(\frac{Q}{4l}\right) \text{ zadane}$$

Jeśli nie można osiągnąć zadanej wartości minimalnego prądu obciążenia, należy skorygować położenie punktu P1 zmniejszając nieco indukcję B_{m1} . Jeśli taka korekcja zawodzi trzeba dopuścić większą wartość $\frac{I_{o\min}}{I_{oN}}$ lub przyjąć mniejszą wartość $\frac{U}{E_z}$ niż zadano.

Jeśli nie można osiągnąć zadanej dobroci wzmacnienia mocy, należy powiększyć H_{r2} tj. przyjąć $\frac{U}{E_z}$ mniejsze niż zadano.

Należy jeszcze sprawdzić, czy przy dobranych parametrach magnetycznych współczynnik zapełnienia okna jest technologicznie realny.

Objętość rdzenia można określić z wzoru (4a). Znajac objętość

rdzenia, podstawowy wymiar rdzenia przy wybranych względnych wymiarach rdzenia b c h :

$$a = \sqrt[3]{\frac{V_r}{k_f \frac{S}{l_f} l_f}}$$

W zależności od warunku, dla którego obliczany jest wzmacniacz magnetyczny, współczynnikapełnienia okna uzwojeniem roboczym można określić przy zadanej sprawności z wyrażenia (10), a przy zadanym przyroście temperatury z wyrażenia (13).

Znamionową gęstość prądową w uzwojeniu roboczym można obliczyć przy zadanej sprawności z wyrażenia (9a), a przy zadanym nagrzananiu z wyrażenia (11b)

b) Przy narzuconym napięciu zasilania lub napięciu wyjściowym

Alternatywa ta dotyczy również wzmacniacza z transformatorem dopasowującym rezystancję obciążenia, przy zadanych wartościach napięcia zasilania i napięcia wyjściowego. Dobór punktu P2 wynika z rozwiązania dwu równań, równania (4b), określającego związek pomiędzy mocą i objętością rdzenia, a wynikającego z równań (4a) i (1a).

$$H_{r2}^2 a^3 = \frac{P_{rN}}{8 f B_{m1}} \cdot \frac{1}{k_f \cdot l_f \cdot S_f} = A \quad (4b)$$

i równania (10) lub (13)

Z warunku zadanej sprawności:

$$H_{r2}^2 a = \frac{1}{4Q} \cdot \frac{R_r}{R_o} \cdot P_{oN} k_r \frac{S_o}{l_f^2 \cdot l_r} = B \quad (10)$$

Rozwiązaniem układu równań (4b) i (10) jest H_{r2} i podstawowy wymiar rdzenia:

$$H_{r2}^5 = \frac{B^3}{A}$$

$$a^5 = \frac{A^2}{B}$$

Z warunku nagrzania wynika:

$$H_{r2sk}^2 \cdot \frac{1}{a} = \frac{\Delta \nu a}{2 \varrho} \cdot k_r \cdot \frac{\frac{S_{\theta}}{l_f} \cdot \frac{S_z}{l_r}}{2} = C \quad (13)$$

Rozwiązaniem układu równań (4b) i (13) jest odpowiednio:

$$H_{r2sk}^7 = A \cdot C^3$$

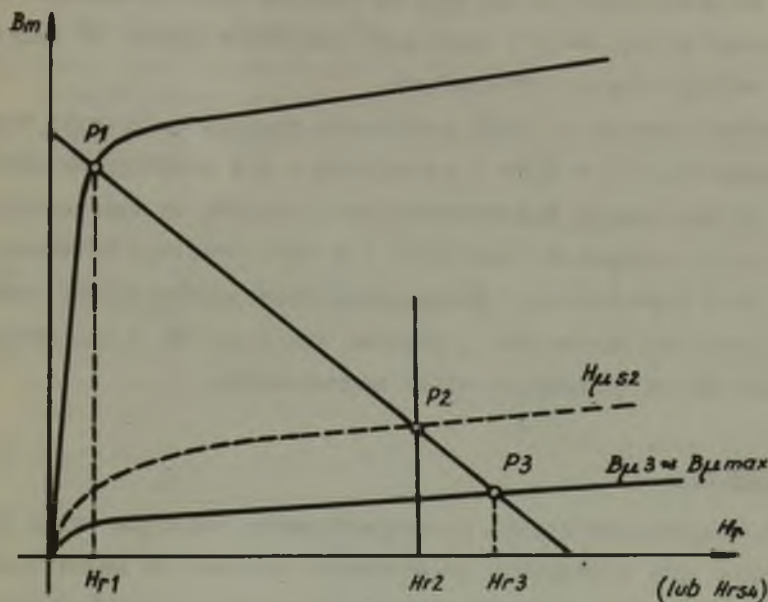
$$a^7 = \frac{A^2}{C}$$

Pokożenia punktów P1, P2, P3, otrzymuje się w sposób następujący:

1. Wybór punktu P1 na załamaniu charakterystyki magnesowania.
2. Wykreślenie pomocniczej prostej równoległej do osi odciętych przy obliczonej wartości H_{r2} .
3. Wykreślenie prostej obciążenia o takim kącie nachylenia, aby stosunek $\frac{H_{r3}}{H_{r2}}$ był równy zadanemu stosunkowi $\frac{I_{o\max}}{I_{oN}}$. Punkt P3 (B_{m3}, H_{r3}) leży na krzywej przy $B_{\mu 3} \approx B_{\mu\max}$.
4. Przecięcie prostej obciążenia z prostą pionową H_{r2} wyznacza położenie punktu P2.

Podobnie jak i poprzednio należy sprawdzić czy spełnione są warunki wynikające z zadanej wartości minimalnego prądu obciążenie, dobroci

wzmocnienia mocy oraz obliczyć wartość znamionowej gęstości prądowej w uzwojeniu roboczym.



Rys. 4. Wybór punktów na prostej obciążenia przy zadanej wartości U_{oN} lub E_z

Mając określone parametry magnetyczne, podstawowy wymiar rdzenia oraz znamionową gęstość prądową w uzwojeniu roboczym, można kolejno obliczyć:

- a) Wszystkie wymiary geometryczne i parametry rdzenia
- b) Parametry uzwojenia roboczego.

Mając zadany prąd uzwojeń sterujących, ilość uzwojeń, można obliczyć wszystkie parametry obwodu sterującego przyjmując gęstość prądową w uzwojeniach sterujących równą gęstości w uzwojeniach roboczych.

Jeśli kształt charakterystyki jednoczesnego magnesowania rdzenia jest zbliżony do kształtu prawie prostokątnego tj. gdy części nasycone są równoległe do osi H_r , to również i dla przypadku zadanych napięć wyjściowego i zasilania położenie punktu P2 należy określić według drugiej alternatywy.

Należy zwrócić uwagę, że błąd powyższego sposobu obliczania wzmacniaczy magnetycznych wynika z posługiwania się przebiegami charakterystyk jednoczesnego magnesowania wynikającymi ze zmierzonych charakterystyk napięciowo-prądowych dla rzeczywistego materiału rdzenia oraz równoczesnego posługiwania się zależnościami analitycznymi pomiędzy napięciami i prądami wynikającymi z założenia prawieprostokątnej charakterystyki magnesowania.

8. Zakończenie

W przedstawionych wytycznych do projektowania omówiono tylko tok postępowania przy określaniu podstawowych parametrów magnetycznych, gęstości prądowej w uzwojeniu roboczym i współczynnika zapełnienia okna jako najważniejszych parametrów wzmacniacza amplistatowego. Na ich podstawie, oraz przy założonych stosunkach wymiarów rdzenia i z zadanych parametrów eksploatacyjnych, takich jak moce, napięcia prądu można bezpośrednio obliczyć parametry konstrukcyjne rdzenia i uzwojeń. Daje to możliwość łatwej oceny obliczanego wzmacniacza z rozmaitych punktów widzenia: ekonomicznego (ciężar), jakości (dobroć wzmocnienia), czułości (współczynnik wzmocnienia) itp.

Rękopis złożono w redakcji we wrześniu 1968.

LITERATURA

- [1] Paszek Wł. Wzmacniacze elektromaszynowe i transduktorowe (skrypt Politechnika Śląska 1963.
- [2] Konopiński T. Mellinger A. "Projektowanie dławików nasyconych i wzmacniaczy magnetycznych" PWT 1959.
- [3] Ziomecki H. "Zasady projektowania wzmacniaczy magnetycznych" PWN 1961 r.
- [4] Kałużnik NA "Rasczet magnitnych usilitelej" Izdatielstwo Charkowskovo Uniwersiteta 1959.
- [5] Rozenblat MA "Wzmacniacze magnetyczne" (tłum. z ros) Wyd. Naukowo Techniczne Warszawa 1965 r.
- [6] Totstow JG, Mostkova GP, Kowalew FI "Triechfaznyje siłowyje połuprowodnikowyje wypryamiteli upravliajemyje droseljami nasiszczenie" Izdatielstwo AK Nuk Moskwa 1963.
- [7] Wasiliewa NP, Siedych OA, Bojaveczenkow MA "Projektirowanie magnitnych usilitelej" Gosenergoizdat Moskwa 1959 r.
- [8] Kratz E. Lang A. "Bauelemente und typenreichen magnetischer Verstärker" AEG Mitteilungen 8/9 - 1959 r.

УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВУХСЕРДЕЧНИКОВЫХ АМПЛИСТАТОВ

Р е з ю м е

Приведены принципы проектирования магнитных амплистатных усилителей для заданных параметров, на основании характеристик одновременного намагничивания магнитного сердечника.

Различаются два способа проектирования усилителей: с условия заданного к.п.д. главной цепи и с условия допускаемого нагрева обмоток.

Указано метод вычисления основных параметров усилителей при помощи обоих способов.

LINES FOR DESIGNING OF THE ONE-PHASE TWO-CORE MAGNETIC AMPLIFIERS WITH SELF-SATURATION

S u m m a r y

In the report are given the principles of designing of the magnetic amplifiers with self saturation for given parameters, on the base of characteristics of simultaneous magnetization of magnetic core.

Two methods of amplifiers designing were differentiated: from condition of given efficiency of main circuit and from condition of permissible heating of the coils.

It is given the course of action at calculation with both methods of amplifiers basic parameters.

